高考必刷题®

合订本

理想树

深度解析



物理

- 60个关键点拨
- 56个方法总结
- 43个易错警示

附

翻开即得 快速对答案

快速对答案

P1 1. D 2. C 3. C 4. CD 5. C

P2 1. C 2. C 3. D 4. CD 5. D

P3 1. B 2. A 3. C 4. BD 5. B 6. D 7. B 8. D
9. A 10. D 11. D 12. B

P5 1. A 2. AC 3. A 4. B 5. AC 6. AD

P7 1. B 2. D 3. AD 4. C 5. B 6. B 7. B 8. A
9. C 10. A 11. D

P9 1. A 2. C 3. C 4. D 5. C 6. B 7. D 8. C
9. A 10. B 11. C

P11 1. B 2. C 3. D 4. C 5. D 6. D 7. C 8. AD
9. B 10. BD

P13 1. D 2. B 3. D

P14 1. C 2. A 3. A 4. A 5. D

P15 1. D 2. B 3. C 4. B 5. C

P16 1. B 2. BCD 3. B 4. B 5. D

P17 1. B 2. C 3. B 4. B 5. C 6. B

P18 1. B 2. B 3. C 4. C 5. C

P19 1. C 2. BC 3. A 4. C 5. D

P20 1. B 2. D 3. B 4. A 5. D 6. C

P21 1. B 2. C 3. D 4. A 5. A 6. D 7. B 8. BD
9. C 10. B 11. B 12. D 13. AC 14. A
15. D 16. BCD 17. C 18. C 19. D 20. AC

P26 1. D 2. C 3. D 4. A 5. BC

P27 1. B 2. C 3. D 4. B 5. A 6. D 7. B 8. D
9. D 10. B

P29 1. A 2. AC 3. D 4. C 5. D 6. A 7. A 8. C
9. A 10. BC 11. C 12. A

P31 1. A 2. C 3. D 4. A 5. BC 6. C 7. C 8. BC
9. D 10. BD 11. ABD 12. D

P33 1. A 2. D 3. C 4. C 5. C 6. C 7. ABC
8. AC 9. ABC 10. BD

P35 1. ACD 2. AC 3. C 4. D 6. A 7. C 8. C
9. AD 10. A 11. B 13. C 14. C 15. BC16. BCD
18. D 19. C 20. C 21. BCD 22. AC

P42 1. C

P43 1. D 2. B 3. A 4. A 5. C 6. B 7. A 8. B
9. A 10. C 11. AD

P46 1. A 2. D 3. C 4. C 5. C 6. C 7. D 8. C
9. D 10. BD 11. B

P48 1. B 2. C 3. A 4. D 5. AC 6. B

P49 1. D 2. A 3. B 4. D 5. BD 6. BD 7. A 8. B
9. BD 10. A

P51 1. C 2. A 3. A 4. C 5. AD

P52 1. A 2. C 3. BD 4. D 5. A

P53 1. C 2. B 3. AD 4. C 6. B 7. D 8. BD 9. BC

P56 1. D 2. AC

P57 1. A 2. D 3. B 4. B 5. C 6. C 7. AD 8. BD
9. C 10. B 11. AD 12. C 13. D

P60 1. B 2. D 3. D 4. B 5. C

P61 1. B 2. B 3. BCD 4. B 5. AD 6. C 7. B 8. D
9. BD 10. ACD

P63 1. B 2. C 3. D 4. C 5. AD 6. B

P64 1. AC 2. BD 3. D 4. B 5. A 6. C 7. BC 8. B
9. B

P66 1. B 2. C 3. D 4. ACD 5. D 6. C 7. D 8. D
9. B

P68 1. D 2. C 3. D 4. BD

P69 1. D 2. B 3. A 4. BC 5. C 6. B 7. A 8. A
9. A 10. BD 11. B 12. BD

P71 1. B 2. AB 3. BD 4. BC 5. AB

P72 1. D 2. A 3. BD 4. BD 5. C

P73 1. C 2. B 3. A 5. C 6. AC 7. B 8. B 9. D

P75 1. A 2. AB 3. C 4. A 5. A 6. B

P77 1. BD 2. A 3. C 4. C 5. BC

P78 1. D 2. BC

P79 1. D 2. C 3. D 4. BD 5. AD 6. B 7. D 9. C
11. AB 12. A 13. D

P84 1. A 2. C 3. BD 4. B 5. A

P85 1. D 2. B 3. A 4. D 5. C 6. B 7. BD 8. B
9. AD 10. B 11. BCD 12. B 13. AC 14. AD

P89 1. A 2. BC 3. A 4. C 5. B

P90 1. D 2. C

P91 1. C 2. D 3. C 4. CD 5. B

P92 1. AC 2. BC 3. AB 4. AB 5. D

P93 1. C 2. AD 3. C 4. B 5. ACD

P95 1. A 2. AC 3. AD 4. AD

P97 1. ACD 2. BD 3. CD

P100 1. D 2. AD

P101 1. BD 2. AD 3. BD 4. BCD 5. A 6. D 7. D 8. D
9. ABD 10. AD

P106 1. C 2. C 3. B 4. B 5. D 6. A 7. AD 8. C
9. D 10. C 11. B

P108 1. D 2. A 3. D 4. AD 5. C 6. ACD 7. B 8. C
9. AC 10. AD

P110 1. A 2. B 3. B 4. B 5. BC

P111 1. BC 2. D 3. BD 4. AC 5. B 6. B 7. BD 8. BC

P114 1. A 2. D 3. BC 4. BC

P115 1. B 2. C 3. BC 4. D 5. AD 6. D 7. AD 8. D
9. C 10. CD 11. BC 12. BD 13. C 14. B 15. A
16. BC

P118 1. D 2. D 3. A 4. D 5. D 6. C 7. D
8. AD 9. AB 10. AD

P122 1. B 2. C 3. ABD 4. D 5. D 6. AB 7. B 8. C
9. D 10. BD

P124 1. C 2. BD 3. A 4. D 5. AD

P125 1. A 2. A 3. B 4. A 5. A

P126 1. D 2. A 3. D 4. A 5. D

P127 1. D 2. B 3. D 4. B 5. AC

P128 1. A 2. C 3. AD 4. C 5. BC 6. BC 7. D 8. C
9. A

P130 1. D 2. D 3. C

P132 1. D 2. BD 3. C 4. D 5. CD 6. BD 7. D 8. C
9. D 10. D

P134 1. C 2. B 3. A 4. AB 5. C 6. A 7. D 8. C
9. D 10. ABD

P136 1. B 2. AD 3. D 4. D 5. D 6. ABD

P139 1. AB 2. BC 3. ABC 4. C

P140 1. B 2. B 3. AD 4. ABD 5. AD 6. D 7. D 8. C
9. D 10. D 11. A 12. D 13. AC 14. C 15. AD
16. BD 17. BD

P144 1. A 2. A 3. A 4. AC 5. D

P145 1. C 2. D 3. D 4. C 5. C

P146 1. B 2. C 3. ABD 4. A

P147 1. D 2. BC 3. D 4. AD 5. A 6. A 7. BCD
8. C 9. C 10. D

P152 1. B 2. D 3. C 4. B

P155 1. A 2. B 3. C 4. AB 5. D 6. B 7. A 8. A
9. A

P157 1. C 2. BD 3. B 4. A 5. C

P158 1. C 2. ABC 3. AC 4. A 5. BC

P159 1. C 2. D 3. A 4. CD 5. ABD

P160 1. AB 2. BCD 3. AD 4. AC 5. AB 6. A

P162 1. BD 2. AC 4. AD 6. D 7. BC 9. BD 10. AD

P166 1. D 2. B 3. AC 4. AC 5. D 6. C 7. BD

P168 1. C 2. B

P169 1. B 2. B 3. A 4. C 5. C 6. AD 7. BC
8. ABD 9. BD 10. AC

P174 1. D 2. B 3. C 4. B 5. AC 6. B 8. C

P176 1. D 2. C 3. C 4. ACD

P177 1. BC 2. AD

P178 1. ABC 2. ABD 3. B 4. AC 5. D

P179 1. AD 2. A 3. D 4. BC 5. B 6. BD 7. AD

P181 1. AC 2. AD 3. ACD 4. ABC 5. BC

P183 1. C 2. AD 3. ACD 5. AC 6. BCD 7. AD

P186 1. D 2. A 3. BD 4. ACD

P187 1. B 2. C 3. CD 4. D 5. C 6. C 7. B 8. BC
9. ABD 10. BD 11. D 12. CD 13. AB 14. AC 15. C

P192 1. B 2. C 3. A 4. BC 5. D 6. C 7. D 8. AD
9. C

P194 1. D 2. A 3. AB 4. C 5. D

P195 1. C 2. B 3. C 4. D

P196 1. C 2. AD 3. D 4. B 5. D 6. D 7. AD 8. B
9. C

P198 1. AC 2. D 3. B 4. AD

P200 1. A 2. D 3. C 4. A

P201 1. BD 2. D 3. B 4. C 5. C 6. D 7. AC 8. B
9. AC 10. A

P203 1. D 2. D 3. B 4. D 5. C 6. D 7. A
8. BC 9. BD 10. BD

P208 1. C 2. C 3. C 4. C 5. BC

P209 1. C 2. B 3. B 4. B 5. BCD

P210 1. A 2. D 3. AC 4. AC 5. B 6. BC

P212 1. C 2. ABC 3. AD 4. D 5. A

P213 1. D 2. BC 3. D 4. BD

P215 1. C 2. A 5. D

P218 1. BC 2. BD

P219 1. B 2. C 3. C 4. B 5. AC 6. D 7. AD 8. B
9. ACD

P222 1. A 2. C 3. D 4. B 5. A 6. D 7. A 8. D
9. A 10. AC

P224 1. B 2. D 3. BC 4. A 5. A 6. B

P226 1. BD 2. C 3. A 4. B 5. BC

P228 1. A 2. D

P229 1. A 2. D 3. D 4. B 5. B 6. A 7. D 8. A
9. C 10. BC 11. BC

P232 1. C 2. D 3. D 4. C

P233 1. BC 2. A 3. D 4. B 5. C

P234 1. C 2. A 3. B 4. D 5. D 6. D

P235 1. C 2. CD

P236 1. BD 2. C 3. BC 4. AD 5. C 6. B 7. C 8. B
9. ABC 10. C 11. B 12. D 13. D

P257 1. A 2. B

第1章　直线运动

第1节　运动的描述

刷基础

1. D　考查点　质点、位移、时间间隔、缓冲现象

【解析】在运动员展示小轮车骑行技巧时，运动员的身体姿态不能忽略，不可将其看成质点，A 错误；运动员在参加田径女子 20 公里竞走比赛，“20 公里”指的是比赛过程中的路程，B 错误；运动员在 4×100 米决赛跑出 38 秒 06 的成绩，“38 秒 06”指的是时间间隔，C 错误；运动员跳高下落时，通过海绵垫可增加接触面与运动员的作用时间，根据 $Ft=\Delta p$ 可知，可以减小接触面对运动员的作用力从而实现缓冲，D 正确.

2. C　考查点　牛顿第三定律、质点、时刻、平均速度

【解析】2024 年 4 月 25 日 20 时 59 分，指的是时刻，A 错误；研究空间站的姿态调整问题时，空间站的形状、大小不能忽略不计，不可以将其视为质点，B 错误；空间站绕地球飞行一周，任一时刻的瞬时速度均不为零，飞行一周后回到起点，位移是零，故一周的平均速度是零（易错点：位移是由初位置指向末位置的有向线段，大小与路程无关），C 正确；飞船加速上升过程中，根据牛顿第三定律可知，飞船对航天员的支持力大小等于航天员对飞船的压力大小，D 错误.

3. C　考查点　平均速率、瞬时速度、位移、时间

【解析】由题图可知，图中三种方案汽车运动的初位置和末位置均相同，则位移相同，A 正确；方案二中要行驶“10 千米”用时约“20 分钟”，则全程的平均速率约为 $\bar{v}=\frac{s}{t}=30\ \text{km/h}$，B 正确；图中显示的“22 分钟”是指到达目的地所用的时间，C 错误；公路某处路边竖有限速标志“60”，指的是车辆在该路段行驶过程中，瞬时速度不能超过 60 km/h，D 正确.

4. CD　考查点　位移、平均速度、加速度

【解析】位移是从初位置指向末位置的有向线段，所以质点从 M 到 P 过程中的位移大小为 $x_{MP}=\sqrt{2}R$，方向由 M 指向 P，质点从 P 到 N 过程中的位移大小为 $x_{PN}=\sqrt{2}R$，方向由 P 指向 N（易错点：位移是矢量），A 错误；从 M 到 P 的过程中，时间为 $t_1=\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi R}{v}$，所以平均速度的大小为 $\bar{v}=\frac{x_{MP}}{t_1}=\frac{\sqrt{2}R}{\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi R}{v}}=\frac{2\sqrt{2}v}{\pi}$，B 错误；从 M 到 N 的过程中，设 M 点速度方向为正方向，则速度变化量为 $\Delta v=-v-v=-2v$，所以速度变化量的大小为 $2v$，C 正确；从 M 到 N 的过程中，平均加速度的大小为 $a=\frac{2v}{\frac{\pi R}{v}}=\frac{2v^2}{\pi R}$，D 正确.

5. C　考查点　速度、速度变化量与加速度的关系

【解析】根据加速度的定义式可知，加速度大小等于速度的变化率，可知物体加速度等于 0，则其速度变化率一定等于 0，A 错误；根据加速度的定义可知，加速度的方向与速度变化量的方向相同，即物体具有向东的加速度，速度变化量的方向也向东，B 错误；加速度是表示速度变化快慢的物理量，可知两物体相比，一个物体加速度较大，则其速度可能较小，但其速度变化一定较快，即一个物体速度变化较快，则其加速度一定较大，C 正确，D 错误.

易错警示　判断做直线运动的物体速度的大小变化，只需看加速度的方向与速度的方向是否相同. 若加速度与速度的方向相同，则物体一定做加速运动，若加速度与速度方向相反，物体一定做减速运动. 判断物体速度变化的快慢，只需看加速度的大小，物体的加速度大则表明物体的速度变化较快；物体的加速度小则表明物体的速度变化较慢.

刷提分

1. C　考查点　位移、质点、参考系、时间

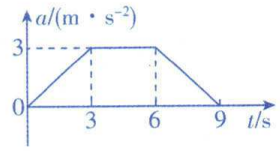
【解析】研究乒乓球运动员的击球动作，不可以把运动员看成质点，否则就没动作可言了，A 错误；双人跳水运动中，以其中一运动员为参考系，另一运动员是静止的，B 错误；运动员在男子 400 米决赛中跑出 45 秒 06 的成绩，45 秒 06 是时间间隔，C 正确；标准泳池的长度为 50 米，运动员完成 400 米需要游四个来回（关键点），最后又回到出发点，因此 400 米自由泳比赛运动员的位移为 0，D 错误.

2. C　突破点　路程和位移、平均速度的计算

【解析】由位移的定义可知，小虫的位移大小为 $\sqrt{2}R$，A、B 错误；从 P 点到南极点的平均速度大小 $\bar{v}_1=\frac{\sqrt{2}R}{t}$，从 P 点到 Q 点全过程平均速度大小 $\bar{v}_2=\frac{\sqrt{2}R}{2t}$，可得 $\bar{v}_1=2\bar{v}_2$，C 正确，D 错误.

3. D　考查点　$a-t$ 图像、急动度

【解析】根据题意有 $k=\frac{\Delta a}{\Delta t}$，0~3 s 内急动度恒定，表明汽车的加速度均匀增大，即 0~3 s 汽车做加速度增大的加速直线运动，A 错误；结合上述有 $\Delta a=k\Delta t$，可知 $k-t$ 图像与时间轴所围图形的面积表示加速度的变化量，由于 0 时刻的加速度为 0，该面积能够间接表示加速度大小，则 3 s 末汽车的加速度大小为 3 m/s^2，6 s 末汽车的加速度大小为 3 m/s^2，即 3~6 s 汽车的加速度保持不变，则 3~6 s 汽车做匀加速直线运动，B、C 错误；结合上述可知，时间轴上侧面积表示加速度大小在增大，时间轴下侧面积表示加速度大小在减小，即 6~9 s 汽车的加速度均匀减小直到 9 s 末加速度变为零，由 $k-t$ 图像作出 $a-t$ 图像如图所示，根据 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，得 $\Delta v=a\Delta t$，可知 $a-t$ 图像与时间轴所围图形的面积表示速度的变化量，由于 0 时刻的速度为 0，则该面积能够间接表示速度大小，则 9 s 末汽车的速度大小 $v=\frac{(6-3+9)\times3}{2}\ \text{m/s}=18\ \text{m/s}$，D 正确.



4. CD　突破点　利用图像分析加速度、平均速度

【解析】移动相同位移所用时间越短，速度越快. 由图像可知，0~10 s 内动车做加速运动，10~16 s 内动车做匀速运动，A、B 错误；0~10 s 内动车平均速率为 $\bar{v}=\frac{x_1}{t_1}=\frac{5\times50}{10}\ \text{m/s}=25\ \text{m/s}$，14 s 时动车速率为 $v=\frac{x_2}{t_2}=\frac{6\times50}{6}\ \text{m/s}=50\ \text{m/s}$，C、D 正确.

关键点拨 解答此题的关键在于每一次光照强度发生突变时说明阳光被电线杆所遮挡，即通过连续两次阳光被遮挡的时间内通过的位移关系判断动车的运动状态.

5. D **突破点** ▸运动的合成、平均速度

【解析】气门芯的运动是匀速圆周运动和匀速直线运动的叠加，后轮气门芯经过最低点时，气门芯相对于自行车有向后运动的趋势，速度大小和车速相等，自行车相对于地面有向前的速度，则以地面为参考系，后轮气门芯经过最低点时的速度为零，A 错误；从后轮气门芯位于车轮最高点到该气门芯第二次位于车轮最低点，后轮转动了一圈半，则自行车前进的位移为 $s=1.5\times 2\pi R=3\pi R$，所以此过程时间为 $t=\frac{s}{v_0}=\frac{3\pi R}{v_0}$，B 错误；由于此过程后轮转动了一圈半，则有 $t=1.5T=1.5\times\frac{2\pi R}{v}$，可得后轮边缘转动的线速度大小为 $v=v_0$，则后轮气门芯相对后轮转轴的线速度大小等于自行车前进的速度 v_0，C 错误；气门芯的位移大小为 $x=\sqrt{(2R)^2+s^2}=R\sqrt{4+9\pi^2}$，则气门芯的平均速度大小为 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{\sqrt{4+9\pi^2}v_0}{3\pi}$，D 正确.

易错点

方法总结 **摆线**

摆线是指一个圆在一条定直线上滚动时，圆周上一个定点的轨迹，又称圆滚线、旋轮线. 该题中气门芯的运动轨迹为一条摆线，该气门芯的运动为匀速圆周运动和匀速直线运动的合成.

第 2 节　匀变速直线运动的规律

刷基础

1. B **考查点** ▸匀变速直线运动的公式

【解析】由公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，结合汽车的位移与时间的关系 $x=15t-2.5t^2$，可得 $v_0=15\ \text{m/s}$、$a=-5\ \text{m/s}^2$，即汽车制动时的加速度大小为 $5\ \text{m/s}^2$，A 错误；由公式 $v=v_0+at$ 可得，汽车制动 2 s 时的速度大小 $v=5\ \text{m/s}$，C 错误；由公式 $v=v_0+at$ 可知，汽车从开始刹车到停止的时间 $t_1=\frac{-v_0}{a}=3\ \text{s}$，则制动后，4 s 内汽车的位移大小 $x=\frac{v_0}{2}t_1=22.5\ \text{m}$，3 s 内汽车的平均速度大小 $\bar{v}=\frac{v_0}{2}=7.5\ \text{m/s}$，B 正确，D 错误.

2. A **考查点** ▸匀变速直线运动的速度、位移和时间的关系

【解析】把飞机的运动逆向看成由静止做加速度大小为 a 的匀加速直线运动，则在 $t_1=3\ \text{s}$ 内的位移为 $x_1=\frac{1}{2}at_1^2$，在 $t_2=4\ \text{s}$ 内的位移为 $x_2=\frac{1}{2}at_2^2$，根据题意有 $x_2-x_1=7\ \text{m}$，联立解得加速度大小为 $a=2\ \text{m/s}^2$，A 正确；飞机着陆时的速度为 $v_0=216\ \text{km/h}=60\ \text{m/s}$，着陆后 5 s 时的速度大小为 $v=v_0-at=50\ \text{m/s}$，B 错误；该飞机在跑道上滑行的时间为 $t_0=\frac{v_0}{a}=\frac{60}{2}\ \text{s}=30\ \text{s}$，C 错误；该飞机在跑道上滑行的距离为 $x=\frac{v_0^2}{2a}=900\ \text{m}$，D 错误.

快解 若物体做初速度为零的匀加速直线运动，则连续相等时间内的位移之比为 1∶3∶5∶7∶…，可知该飞机在倒数第一秒内的位移为 1 m，加速度大小为 $2\ \text{m/s}^2$.

3. C **考查点** ▸$x-t$ 图像、连续相等时间内的运动比例规律

【解析】汽车每 1 s 前进的距离逐渐减小，则汽车从开始制动到停止做减速运动，根据 $x-t$ 图像的切线斜率表示速度，可知 $x-t$ 图像的倾斜程度应逐渐减小，故 A、B 错误；C 选项的 $v-t$ 图像表示汽车做匀减速直线运动，D 选项的 $v-t$ 图像表示汽车做匀加速直线运动，根据逆向思维法，汽车从停止开始在连续相等时间内的位移比满足 1∶3∶5∶7∶9，则说明汽车做匀减速直线运动，C 正确，D 错误.

4. BD **考查点** ▸匀变速直线运动推论、逐差法的应用

【解析】设加速度大小为 a，根据题意可得 $|\Delta v|=at=2\ \text{m/s}$，$AB$、$BC$ 为连续相等时间内的位移，由匀变速直线运动推论 $\Delta x=at^2$（关键点：逐差法），解得相同的时间为 $t=\frac{\Delta x}{at}=\frac{6-4}{2}\ \text{s}=1\ \text{s}$，又 $at=2\ \text{m/s}$，则质点的加速度大小为 $a=2\ \text{m/s}^2$，B 正确；质点从 A 点运动到 C 点的时间为 $t_{AC}=2t=2\ \text{s}$，C 错误；根据匀变速直线运动的平均速度公式可得 $v_B=\bar{v}_{AC}=\frac{x_{AB}+x_{BC}}{t_{AC}}=5\ \text{m/s}$，A 错误；由速度与位移公式可得 $x_{AD}=x_{AB}+\frac{v_B^2}{2a}=12.25\ \text{m}$，D 正确.

5. B **考查点** ▸连续相等位移的运动比例规律

【解析】小球做初速度为零的匀加速直线运动，通过第一个 L、第二个 L、第三个 L 所用的时间之比为 $t_\text{Ⅰ}:t_\text{Ⅱ}:t_\text{Ⅲ}=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})$，所以 $\Delta t_1:\Delta t_2=(\sqrt{2}-1):[(\sqrt{2}-1)+(\sqrt{3}-\sqrt{2})]=(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-1)$，B 正确.

关键点拨 若物体做初速度为零的匀加速直线运动，将位移从开始分为相邻相等的若干段，每段大小为 L，则由 $x=\frac{1}{2}at^2$，得 $t=\sqrt{\frac{2x}{a}}\propto\sqrt{x}$，所以物体通过前 L、前 $2L$、前 $3L$ 所用的时间之比为 $t_1:t_2:t_3=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$，物体通过第一个 L、第二个 L、第三个 L 所用的时间之比为 $t_\text{Ⅰ}:t_\text{Ⅱ}:t_\text{Ⅲ}=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})$.

6. D **考查点** ▸连续相等位移的运动比例的规律

【解析】设每段位移为 x，则对 AE 段有 $4x=\frac{1}{2}at^2$，对 AB 段有 $x=\frac{1}{2}at'^2$，解得 $t'=\frac{t}{2}$，A 错误；因 $v_E=at=v_0$，则李明通过 B 处时的速度大小为 $v_B=a\frac{t}{2}=\frac{1}{2}v_0$，B 错误；由分析可知，$B$ 处为 AE 的中间时刻，可知李明通过 B 处时的瞬时速度大小等于通过 AE 段的平均速度大小，因为李明做匀加速运动，所以通过 C 处时的瞬时速度大于通过 AE 段的平均速度大小，C 错误；根据连续相等位移与所用时间的比例关系知，李明通过 AB、BC、CD、DE 段时间之比为 $1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(2-\sqrt{3})$，李明通过 BC 段和 CE 段所用时间之比为 $1:\sqrt{2}$，D 正确.

7. B **考查点** ▸中间时刻的瞬时速度

【解析】设飞机着陆后匀速运动的时间为 t，则减速运动的时间为 $4t$，根据题意有 $s=vt+\frac{v}{2}\cdot 4t$，求得 $t=\frac{s}{3v}$，B 正确.

8. D **考查点** ▸速度“0-v-0”模型

【解析】设加速和减速过程的时间分别为 t_1、t_2，将匀减速的逆过程看成是初速度为零的匀加速过程，可知 $\frac{1}{2}at_1^2+\frac{1}{2}\times\frac{a}{3}t_2^2=d$，$at_1=\frac{a}{3}t_2$，解得 $t=t_1+t_2=\sqrt{\frac{8d}{a}}$，D 正确.

技巧必背 本题属于“0-v-0”模型，对于前后两段过程，有 $t_1:t_2=x_1:x_2=a_2:a_1$.

9. A **考查点** ▸v-t 图像的物理意义、失重

【解析】由题意结合题图可知在 $t=12$ s 时，邻居到达其所在楼层，根据 v-t 图像与横轴围成的面积表示位移，可知 0~12 s 内有 $x_1=\frac{1}{2}\times(8+12)\times3$ m$=30$ m$=(11-1)\times3$ m，可知邻居家所在的楼层为 11 楼，A 正确；由 v-t 图像可知电梯加速阶段加速度大小为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ m/s$^2=1.5$ m/s^2，B 错误；由 v-t 图像可知电梯 0~24 s 的位移为 $x=\frac{1}{2}\times(8+12)\times3$ m$+\frac{1}{2}\times(4+8)\times3$ m$=48$ m，则电梯 0~24 s 内的平均速度大小为 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{48}{24}$ m/s$=2$ m/s，C 错误；由 v-t 图像可知电梯在 10~12 s 向上做匀减速直线运动，加速度方向向下，处于失重状态，则小明感觉到肩上书包变轻了，D 错误.

10. D **考查点** ▸v-t 图像、反应时间

【解析】驾驶员在反应时间里没有操作，汽车仍做匀速直线运动，酒后驾驶将明显增加反应时间，图乙对应于酒后驾驶，A 错误；设驾驶员饮酒前、后的反应时间分别为 t_1、t_2，由图像可得 $t_1=0.5$ s，$t_2=1.5$ s；汽车初速度 $v_0=30$ m/s，正常驾驶时的减速时间为 $t_3=4.0$ s，由图像可得正常驾驶时的制动距离 $s=v_0t_1+\frac{v_0+0}{2}t_3=75$ m，同理，可求出酒后驾驶时的制动距离 $s'=105$ m，B、C 错误；根据 $\bar{v}=\frac{s}{t}$ 可得，正常驾驶时的平均速度 $\bar{v}=\frac{s}{t}=\frac{75}{4.5}$ m/s≈16.7 m/s，同理，可求出酒后驾驶时的平均速度 $\bar{v}'=\frac{s'}{t'}=\frac{105}{5.5}$ m/s≈19.1 m/s，D 正确.

11. D **考查点** ▸平均速度、匀变速直线运动的速度、位移与时间的关系

【解析】设匀速阶段时速度大小为 v_1，匀减速阶段的末速度大小为 v_2，匀加速阶段有 $s=\frac{v_1}{2}t$，匀减速阶段有 $s=\frac{v_1+v_2}{2}\cdot\frac{4}{5}t$，联立可得 $v_1=4v_2$，可知匀速阶段速度大小是匀减速阶段的末速度大小的 4 倍，C 错误；根据 $a_1=\frac{v_1}{t}=\frac{4v_2}{t}$，$a_2=\frac{v_1-v_2}{\frac{4}{5}t}=\frac{15v_2}{4t}$，可得 $a_1>a_2$，A 错误；匀速时间为 $t'=\frac{s}{v_1}=\frac{1}{2}t$，B 错误；匀加速阶段平均速度大小为 $\overline{v_1}=\frac{s}{t}$，匀减速阶段平均速度大小为 $\overline{v_2}=\frac{s}{\frac{4}{5}t}=\frac{5s}{4t}$，可知匀加速阶段平均速度大小小于匀减速阶段平均速度大小，D 正确.

关键点拨 根据三段运动位移均为 s 且匀加速和匀减速阶段的时间不同可知，匀减速阶段末速度不为零.

12. B **考查点** ▸逆向思维求解匀变速直线运动

【解析】第 2 s 内的平均速度大小为 $\overline{v_2}=\frac{x_2}{t_2}=5$ m/s，A 错误；第 2 s 内的平均速度大小为第 1.5 s 的瞬时速度，设刹车时加速度大小为 a，则有 $a=\frac{v_0-\bar{v}_2}{\Delta t}=\frac{8-5}{1.5}$ m/s$^2=2$ m/s^2，B 正确；刹车时间为 $t_0=\frac{v_0}{a}=4$ s，所以 5 s 内的位移等于 4 s 内的位移，则有 $x=\frac{v_0^2}{2a}=16$ m，D 错误；根据逆向思维可知，第 1 s 内，第 2 s 内，第 3 s 内，第 4 s 内的位移之比为 $x_1:x_2:x_3:x_4=7:5:3:1$，所以第 2 s 内与第 3 s 内通过的位移大小之比为 5∶3，C 错误.

易错警示 刹车类问题，常见的错误在减速为零后不再反向加速，在本题 D 选项中求出刹车时间为 $t_0=\frac{v_0}{a}=4$ s，所以 5 s 内的位移等于 4 s 内的位移，切勿用 $t=5$ s 直接代入计算位移.

刷提分

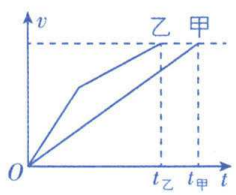
1. A **考查点** ▸匀变速直线运动位移与时间的关系

【解析】物体做匀减速直线运动，则逆向为匀加速直线运动，若为从静止开始的匀加速运动，则相同时间内的位移比为 1∶3∶5∶7∶…，又由题可知，物体在 0~1 s 内的位移与 1~3 s 内的位移之比为 $\frac{3}{1}>\frac{5}{1+3}=\frac{5}{4}$，可知物体在 3 s 末之前已停止. 设物体的初速度为 v_0，加速度大小为 a，在 1~3 s 内运动时间 Δt 后停止运动，则物体在 0~1 s 内，$v_0t_1-\frac{1}{2}at_1^2=x_1$，由题意可知 $t_1=1$ s，$x_1=3$ m，物体在 1~3 s 内，$\frac{1}{2}a\Delta t^2=x_2$，由题意可知 $x_2=1$ m，由全程可知 $0=v_0-a(t_1+\Delta t)$，联立解得 $v_0=4$ m/s，$\Delta t=1$ s，$a=2$ m/s^2，A 正确.

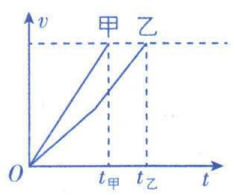
关键点拨 解答此题的关键在于物体在 3 s 末之前已停止运动，进而根据匀变速直线运动的规律设未知量列方程求解.

2. AC **突破点** ▸用 v-t 图像解决变速运动问题

【解析】由题可知，甲车到达 C 点的时间 $t_{甲}=\frac{v}{a_3}$，设乙车到达 B 点的时间为 t_1，从 B 到 C 所用时间为 t_2，则有 $a_1t_1+a_2t_2=v$，当 $a_1=a_2=a_3$ 时，可知 $t_{乙}=\frac{v}{a_2}=\frac{v}{a_3}$，两车可同时到达 C 点，但已知 $a_1\neq a_2\neq a_3$，故两车不可能同时到达 C 点，A 正确；作出两车速度—时间图像，若 $a_1>a_3$，如图甲所示，因为末速度相等，位移相等，即图线与时间轴所围成的面积相等，则 $t_{乙}<t_{甲}$，即乙一定先由 A 到达 C. 若 $a_1<a_3$，如图乙所示，因为末速度相等，位移相等，即图线与时间轴所围成的面积相等，则 $t_{乙}>t_{甲}$，C 正确，B、D 错误.



甲



乙

关键点拨 解答本题时使用公式计算较为复杂，可利用 $v-t$ 图像快速判断选项正误.

3. A **考查点** ▸匀变速直线运动

【解析】由题知，物体的初速度为零，物体通过 OA 段所用的时间为 δ，根据 $v=at$，可得物体在 A 点速度的大小为 $v_A=a\delta$，故 A 正确；若物体通过 AB 段所用的时间为 $\frac{\delta}{2}$，则物体通过 OB 段所用的时间为 $\delta+\frac{1}{2}\delta=\frac{3}{2}\delta$，根据 $v=at$，可得物体在 B 点速度的大小为 $v_B=\frac{3}{2}a\delta$，又物体通过 AB 段走过位移的大小为 δ，则有 $\delta=\frac{v_A+v_B}{2}t_{AB}$，即 $\delta=\frac{a\delta+a\times\frac{3}{2}\delta}{2}\times\frac{1}{2}\delta$，解得 $a\delta=\frac{8}{5}$，故 B 错误；若物体通过 OA 段走过位移的大小为 $\frac{\delta}{5}$，则有 $\frac{\delta}{5}=\frac{v_A}{2}t_{OA}=\frac{a\delta}{2}\times\delta$，解得 $a\delta=\frac{2}{5}$，故 C 错误；物体通过 OA 段的平均速度为 $\bar{v}_{OA}=\frac{0+v_A}{2}=\frac{a\delta}{2}$，物体通过 AB 段，则有 $x_{AB}=\frac{v_B'^2-v_A^2}{2a}$，解得 $v_B'=\sqrt{2a\delta+(a\delta)^2}$，则物体在 AB 段的平均速度为 $\bar{v}_{AB}=\frac{v_A+v_B'}{2}=\frac{a\delta+\sqrt{a\delta(2+a\delta)}}{2}$，故物体通过 OA 段与 AB 段的平均速度之比为 $\frac{\bar{v}_{OA}}{\bar{v}_{AB}}=\frac{\frac{a\delta}{2}}{\frac{a\delta+\sqrt{a\delta(2+a\delta)}}{2}}=\frac{1}{1+\sqrt{1+\frac{2}{a\delta}}}$，故 D 错误.

4. B **考查点** ▸节省时间问题

【解析】已知 $v_0=15\ \text{m/s}$，$v=5\ \text{m/s}$，$a=1\ \text{m/s}^2$，汽车选择 ETC 通道时减速和加速时间 $t_1=\frac{v_0-v}{a}=10\ \text{s}$，匀速时间 $t_2=\frac{d}{v}=\frac{10}{5}\ \text{s}=2\ \text{s}$，减速和加速位移大小 $x_1=\frac{v_0+v}{2}t_1=100\ \text{m}$，从减速到恢复到原速度所用总时间 $t=2t_1+t_2=22\ \text{s}$，从减速到恢复到原速度所走总位移 $x=2x+d=210\ \text{m}$；汽车选择人工收费通道时，减速和加速时间 $t_2=\frac{v_0}{a}=15\ \text{s}$，减速和加速位移大小 $x_2=\frac{v_0}{2}t_2=112.5\ \text{m}$，从减速到恢复到原速度所用总时间 $t'=2t_2+\Delta t=(2\times15+30)\ \text{s}=60\ \text{s}$，从减速到恢复到原速度所走总位移 $x'=2x_2=225\ \text{m}$，则汽车选择 ETC 通道比选择人工收费通道节约的时间为 $t_3=t'-t-\frac{x'-x}{v_0}=37\ \text{s}$，B 正确.

5. AC **考查点** ▸变速物体追变速物体

【解析】设经过时间 t，甲、乙刚好不相撞，此时二者速度相等，则 $v_0+at=2v_0-a\left(t-\frac{v_0}{2a}\right)$，解得 $t=\frac{3v_0}{4a}$，A 正确；甲、乙刚好不相撞时的速度为 $v=v_0+at=\frac{7v_0}{4}$，甲从开始减速到甲、乙刚好不相撞，甲的位移为 $x_{甲}=2v_0\cdot\frac{v_0}{2a}+\frac{2v_0+\frac{7}{4}v_0}{2}\left(\frac{3v_0}{4a}-\frac{v_0}{2a}\right)=\frac{47v_0^2}{32a}$，B 错误；甲、乙的驾驶员都感到危险时，两车的距离为 d，则 $x_{甲}=x_{乙}+d$、$x_{乙}=\frac{v_0+\frac{7v_0}{4}}{2}t=\frac{33v_0^2}{32a}$，联立解得 $d=\frac{7v_0^2}{16a}$，C 正确；乙开始加速到甲、乙刚好不相撞的过程中，甲、乙的平均速度分别为 $\bar{v}_{乙}=\frac{v_0+\frac{7v_0}{4}}{2}=\frac{11v_0}{8}$、$\bar{v}_{甲}=\frac{x_{甲}}{t}=\frac{47v_0}{24}$，那么 $\bar{v}_{甲}-\bar{v}_{乙}=\frac{7v_0}{12}$，D 错误.

6. AD **考查点** ▸变速物体追匀速物体

【解析】开始时无人机在筒右边，设经过时间 t_1 筒左边追上无人机，由运动学公式得 $v_1t_1-\frac{1}{2}at_1^2=v_2t_1+L$，得 $t_1=1.5\ \text{s}$ 或 $t_1'=2.5\ \text{s}$（代表无人机又追上筒左边），设筒运动时间 t_2 后碰撞，由运动学公式得 $v_1t_2-\frac{1}{2}at_2^2=s_0$，得 $t_2=3\ \text{s}$ 或 $t_2=5\ \text{s}$（不合理，舍掉），因为 $t_1<t_2$，所以无人机第一次从筒中通过还没有撞到墙，无人机通过筒的时间为 1.5 s，A 正确，B 错误；经 $t_1'=2.5\ \text{s}$ 无人机从筒的左端向右追上筒时，设筒的速度为 v_3，由运动学知识得 $v_3=v_1-at_1'$，解得 $v_3=3\ \text{m/s}$，设筒撞墙时的速度为 v_4，由运动学知识得 $v_4=v_1-at_2$，解得 $v_4=2\ \text{m/s}$，无人机从左端进入筒到筒撞墙，经过的时间为 $t_3=t_2-t_1'=(3-2.5)\ \text{s}=0.5\ \text{s}$，这段时间内，无人机追筒，设进入筒的深度为 Δx，由运动学知识得 $\Delta x=v_2t_3-\left(v_3t_3-\frac{1}{2}at_3^2\right)$，得 $\Delta x=0.75\ \text{m}$，筒碰撞后向左与无人机相向运动，设在经过 t_4 无人机从筒右侧飞出，由运动学知识得 $L-\Delta x=v_2t_4-\left(v_4t_4-\frac{1}{2}at_4^2\right)$，解得 $t_4=(3-\sqrt{6})\ \text{s}$ 或 $t_4=(3+\sqrt{6})\ \text{s}$（不合题意，舍去），筒碰撞后滑行 t_5 停下，由运动学知识得 $t_5=\frac{v_4}{a}=1\ \text{s}$，因为 $t_4<t_5$，说明无人机从右端飞出时筒还未停下，综上可知，无人机第二次通过筒的时间为 $\Delta t=t_3+t_4=(3.5-\sqrt{6})\ \text{s}$，C 错误，D 正确.

7. (1)6 m (2)1.15 m/s

考查点 ▸匀变速直线运动的规律

【解析】(1)设机器人从 A 到 B 过程中，加速到 v_{m} 所需时间为 t_1，减速所用时间为 t_2，则 $t_1=t_2=\frac{v_{\text{m}}}{a}=1.5\ \text{s}$，

机器人从 A 运动到 B 的过程，加速、减速运动的位移分别为 x_1、x_2，

则 $x_1=x_2=\frac{v_{\text{m}}}{2}t_1=2.25\ \text{m}$，

匀速运动的位移 $x_3=v_{\text{m}}(t_{AB}-t_1-t_2)=1.5\ \text{m}$，

AB 间的距离 $x_{AB}=x_1+x_2+x_3=6\ \text{m}$.

(2)机器人从 B 运动到 C 的过程恰好达到最大速度 v_{m}，不经历匀速过程，机器人从 B 运动到 C 的时间 $t_{BC}=t_1+t_2=3\ \text{s}$，

BC 间的距离 $x_{BC}=x_1+x_2=4.5\ \text{m}$，

机器人从 A 运动到 C 的位移大小 $x_{AC}=\sqrt{x_{AB}^2+x_{BC}^2}=7.5\ \text{m}$，

从 A 运动到 C 的平均速度大小 $\bar{v}=\frac{x_{AC}}{t_{AB}+t_{BC}}$，

解得 $\bar{v}=1.15\ \text{m/s}$.

8. (1)4 m 8 m/s² (2)50.5 s t 与 x 无关

考查点 ▸接力赛问题

【解析】(1)持棒者以最大速度 $v=8\ \text{m/s}$ 向前运动到标记处时，接棒者开始以加速度 a 起跑，且经过 t 时间，刚好速度最大时完成交接，持棒者位移 $s_0=vt$，

接棒者位移 $s_1=\frac{1}{2}a_1t^2$，

接棒者的速度 $v=a_1t$，

二者位移的关系为 $s_0=L_0+s_1$，

联立代入数据可得 $t=1\ \text{s}$，$a_1=8\ \text{m/s}^2$，$s_1=4\ \text{m}$.

(2) 由第一问结果可知，加速度 $a=8\ \text{m/s}^2$，从起跑加速到速度最大完成交接棒的时间 $t=1\ \text{s}$，接棒者位移 $s_1=4\ \text{m}$，持棒者位移 $s_0=8\ \text{m}$. 设运动过程由 A、B、C、D 四位同学接力完成，每个同学均在距离接力区末端 $x(x>0)$ 处起跑，其对应的有效位移为 L_A、L_B、L_C、L_D，各自所需的时间为 t_A、t_B、t_C、t_D，则 A 的实际有效位移 $L_A=100\ \text{m}-x+4\ \text{m}=104\ \text{m}-x$，

A 的运动时间 $t_A=\dfrac{L_A-s_1}{v}+t=\dfrac{104\ \text{m}-x-4\ \text{m}}{v}+1\ \text{s}=\dfrac{100\ \text{m}-x}{8\ \text{m/s}}+1\ \text{s}$，

因为 B、C、D 的匀加速时间与前一位持棒者最后的匀速运动时间重合，所以只要计算匀速运动过程有效运动位移与时间，则 B 的实际有效位移 $L_B=(x-4\ \text{m})+(100\ \text{m}-x+4\ \text{m})=100\ \text{m}$，

B 的有效时间 $t_B=\dfrac{L_B}{v}=\dfrac{100}{8}\ \text{s}$，

同理 C 的有效时间 $t_C=\dfrac{L_C}{v}=\dfrac{100}{8}\ \text{s}$，

D 的有效位移为 $L_D=(x-4\ \text{m})+100\ \text{m}$，

D 的有效时间为 $t_D=\dfrac{L_D}{v}=\dfrac{96\ \text{m}+x}{8\ \text{m/s}}$，

则完成全程接力所需时间为 $t=t_A+t_B+t_C+t_D=\dfrac{100\ \text{m}-x}{8\ \text{m/s}}+1\ \text{s}+\dfrac{100}{8}\ \text{s}\times2+\dfrac{96\ \text{m}+x}{8\ \text{m/s}}$，

因为要保证在接力区内完成交接棒，所以 $s_1<x\leqslant d$，t 与 x 的关系为 $t=\dfrac{108\ \text{m}-x+296\ \text{m}+x}{8\ \text{m/s}}$，

完成比赛的最短时间 t 与 x 无关，即完成比赛的最佳成绩 $t_{\min}=\dfrac{404}{8}\ \text{s}=50.5\ \text{s}$.

第 3 节　自由落体运动与竖直上抛运动

刷基础

1. B　考查点：伽利略对自由落体运动的探究

【解析】“冲淡”重力是指使铜球的加速度变小，不是使重力变小了，A 错误；铜球位移与时间的二次方成正比说明它做匀加速直线运动，B 正确；伽利略测量了铜球在较小倾角斜面上运动的位移和时间，发现位移与时间的二次方成正比，增大斜面倾角，该规律仍然成立，对倾角为 90°的情况进行了合理的外推得出结论，没有测量，C 错误；伽利略通过“斜面实验”来研究落体运动规律是为了便于测量时间，D 错误.

关键点

2. D　考查点：自由落体运动规律

【解析】水滴 2 刚滴下时水滴 1 具有一定的速度，水滴 2 滴下后二者具有相同的加速度，故水滴 1 相对于水滴 2 向下做匀速直线运动，二者距离逐渐增大，速度差保持不变（关键点：二者下落的时间差相等，速度差也相等），A、B 错误；每滴水滴下后在空中运动的时间都相同，故相邻的两滴水落地的时间差都相等，都等于水滴下的时间间隔，C 错误；水滴 1 相对于水滴 2 向下做匀速直线运动，水滴 2 相对于水滴 3 也向下做匀速直线运动，且相对运动的速度相等，即相等的时间内水滴 1、2 之间的距离与水滴 2、3 之间的距离的变化量相等，故水滴 1、2 之间的距离与水滴 2、3 之间的距离之差保持不变，D 正确.

3. AD　考查点：自由落体运动的三个基本公式

【解析】设两球释放的时间差为 t_0，以乙球释放的时刻为计时起点，则在 t 时刻，根据自由落体运动公式可得甲球下落的高度为 $h_{甲}=\dfrac{1}{2}g(t+t_0)^2$，乙球下落的高度为 $h_{乙}=\dfrac{1}{2}gt^2$，位移间的关系为 $d=h_{甲}-h_{乙}+h_0$，联立整理可得 $d=gt_0t+\dfrac{1}{2}gt_0^2+h_0$，结合题图可知斜率为 $k=gt_0$，解得两球释放的时间差为 $t_0=\dfrac{k}{g}$，结合题图可知截距为 $d_0=\dfrac{1}{2}gt_0^2+h_0$，解得甲球释放时，两球间的高度差为 $h_0=d_0-\dfrac{k^2}{2g}$，故选 A、D.

4. C　考查点：自由落体运动的三个基本公式

【解析】由题图可看出 $\Delta x=2d=0.12\ \text{m}$，A 错误；$A$ 点离释放点的高度约为 $h=2.5\ \text{m}-0.06\times8.6\ \text{m}=1.984\ \text{m}$，B 错误；曝光时石子的速度约为 $v^2=2gh$，解得 $v\approx6.3\ \text{m/s}$，C 正确；由于 AB 距离较小，故可以近似地认为 AB 段做匀速直线运动，故时间为 $t=\dfrac{0.12}{6.3}\ \text{s}\approx0.019\ \text{s}$，D 错误.

5. B　考查点：逐差法

【解析】由逐差法可知 $\Delta h=\Delta h_2-\Delta h_1=gT^2$，则频闪照相的时间间隔为 $T=\sqrt{\dfrac{\Delta h_2-\Delta h_1}{g}}=\sqrt{\dfrac{1.40-1.00}{10}}\ \text{s}=0.2\ \text{s}$，A 错误；运动员在 B 位置时的速度大小为 $v_B=\dfrac{\Delta h_1+\Delta h_2}{2T}=\dfrac{1.00+1.40}{2\times0.2}\ \text{m/s}=6\ \text{m/s}$，B 正确；由自由落体运动公式 $v_B=v_A+gT$，解得运动员在 A 位置时的速度大小为 $v_A=4\ \text{m/s}$，C 错误；由自由落体运动公式 $v_C=v_B+gT$，解得运动员在 C 位置时的速度大小为 $v_C=8\ \text{m/s}$，D 错误.

6. B　考查点：竖直上抛运动的高度、速度与时间的计算

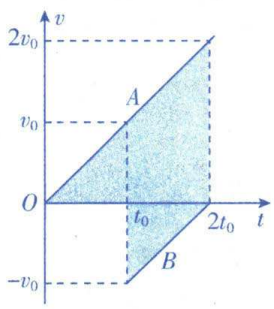
【解析】网球上升过程中，最后 0.4 s 内上升的高度 $h_1=\dfrac{1}{2}gt^2=0.8\ \text{m}$，可知网球抛出后最初 0.4 s 内上升的高度 $h_2=2h_1=1.6\ \text{m}$，设网球抛出时的初速度大小为 v_0，则有 $v_0t-\dfrac{1}{2}gt^2=h_2$，解得 $v_0=6\ \text{m/s}$，所以击球瞬间网球至抛出点的距离 $h=v_0t'-\dfrac{1}{2}gt'^2=1\ \text{m}$，B 正确.

7. B　考查点：竖直上抛运动特征

【解析】由 v-t 图像可知，$0\sim t_1$ 时间内，运动员先向上做竖直上抛运动，后做自由落体运动，A 错误；$0\sim t_1$ 时间内，运动员做匀变速直线运动，则运动员的平均速度等于 $\bar{v}=\dfrac{v_2-v_1}{2}$（关键点：虽然运动过程中速度反向增大，但加速度不变，运动员依旧做匀变速直线运动），B 正确；由 v-t 图像可知，t_3 时刻运动员的速度减为 0，此时下潜到最低点，C 错误；根据 v-t 图像的切线斜率表示加速度，可知 $t_2\sim t_3$ 时间内，运动员的加速度逐渐减小，D 错误.

8. A　考查点：自由落体和竖直上抛相遇类问题

【解析】球 B 反弹后在上升阶段与球 A 相碰，临界情况是球 B 刚好反弹到出发点时与球 A 相碰，两球的 v-t 图像如图所示，阴影部分面积之和就是球 A 的下落高度和球 B 的反弹高度之和 kh，由图可知 $h=\dfrac{1}{2}gt_0^2$，则 $kh=h+\dfrac{1}{2}g(2t_0)^2$，联



立解得 $k=5$，故 k 的取值范围 $1<k\leqslant 5$，故选 A.

9. C 考查点 ▸ 自由落体和竖直上抛相遇类问题

【解析】由题图可知，乙由静止释放时距地面的高度与甲上升到最高点时距地面的高度相等，乙由静止释放直到落地与甲由抛出直到上升到最高点所用时间相等，所以，甲的初速度与乙落地时的速度大小相等，甲上升过程的平均速度与乙下降过程的平均速度大小相等，A、B 错误；设甲竖直上抛的初速度为 v_0，则当甲、乙到达同一高度时有 $\frac{1}{2}gt^2+v_0t-\frac{1}{2}gt^2=h_0$，又 $v_0^2=2gh_0$，联立解得 $t=\sqrt{\frac{h_0}{2g}}$，C 正确；乙落地时甲刚好上升到最高点，所以甲、乙落地的时间差就等于甲从最高点下落到地面所用的时间，满足 $h_0=\frac{1}{2}g(\Delta t)^2$，得 $\Delta t=\sqrt{\frac{2h_0}{g}}$，D 错误.

快解 根据图像可知，甲、乙两小球的运动最高点高度相等，根据图像的对称性可知，甲、乙处于同一高度的时刻为乙下落时间的 $\frac{1}{2}$，则有 $t=\sqrt{\frac{h_0}{2g}}$.

10. A 考查点 ▸ 自由落体和竖直上抛相遇类问题

【解析】两物体竖直方向加速度相同，所以小球相对管来说在做匀速直线运动，所以小球从开始运动到穿过管所用的时间等于 $t=\frac{h+L}{v_0}$（关键点：选择合适的参考系），A 正确；若小球刚好在管上升到最高点时穿过管，有 $L+h-\frac{v_0^2}{2g}=\frac{1}{2}g\left(\frac{v_0}{g}\right)^2$，解得 $v_0=\sqrt{g(h+L)}$，若小球在管上升阶段穿过管，则 $v_0>\sqrt{g(h+L)}$，B、D 错误；若小球在管刚着地时穿过管，有 $L+h=\frac{1}{2}g\left(\frac{2v_0'}{g}\right)^2$，解得 $v_0'=\sqrt{\frac{g(h+L)}{2}}$，结合 B 项分析可知若小球在管下降阶段穿过管，则 $\sqrt{\frac{g(h+L)}{2}}<v_0<\sqrt{g(h+L)}$，C 错误.

11. D 考查点 ▸ 竖直上抛运动的三个基本公式

【解析】螺钉脱落时速度竖直向上，所以螺钉脱落后的运动为竖直上抛运动，A 错误；螺钉从脱落到落到井底，则 $H=vt-\frac{1}{2}gt^2$，代入数据，解得 $H=-56$ m，即螺钉脱落时，升降机底板到井底的距离为 56 m，B 错误；螺钉脱落时，升降机底板距离井口 $h=vt=24$ m，该矿井的深度为 $h+|H|=80$ m，C 错误；螺钉脱落后 3 s 时，取竖直向上为正方向，螺钉的位移为 $h_1=vt_3-\frac{1}{2}gt_3^2=-27$ m，升降机的位移为 $h_2=vt_3=18$ m，螺钉与升降机底板间的距离为 $h_2+|h_1|=45$ m，D 正确.

易错警示 本题的易错点在于误认为螺钉脱落后做自由落体运动，螺钉脱落后还具有向上的速度，应先做竖直上抛运动，再做自由落体运动.

专题 1　运动图像

刷难关

1. A 突破点 ▸ $x-t$ 图像

【解析】在位移与时间图像中，图线的斜率表示速度. 倾斜虚线的斜率为 k，由图像可知在 $t_0\sim 3t_0$ 时间内，甲、乙图线在某时刻的切线斜率可以与倾斜虚线斜率相同，即 $t_0\sim 3t_0$ 时间内某时刻，甲、乙的速度相同均为 k，故 A 正确；在 $3t_0$ 时刻，甲图线的斜率小于乙图线的斜率（斜率均大于零），所以 $3t_0$ 时刻甲的速度小于乙的速度，故 B 错误；从图像可以看出，0 时刻乙的位移不为 0，甲从 0 ~ t_0 之间某一时刻开始运动且初始位移为 0，说明甲、乙两物体不同地、不同时出发，故 C 错误；t_0 到 $3t_0$ 中间时刻为 $2t_0$，由于 t_0 和 $3t_0$ 时刻甲、乙两物体位移相同，根据运动的对称性，$2t_0$ 时刻甲、乙图像的切线斜率相等，即速度相等，故 D 错误.

2. C 突破点 ▸ $x-t$ 图像

【解析】根据 MN 段方程 $y=-2t+140$（cm）可知 MN 段无人机的速度为 $v=\frac{\Delta y}{\Delta t}=-2$ m/s，可知 MN 段无人机的速度大小为 2 m/s，A 错误；$y-t$ 图像描述无人机在竖直方向的运动，所以 FM 段无人机做直线运动（关键点：$v-t$ 图像、$x-t$ 图像表示的均为直线运动），B 错误；根据 $y-t$ 图像的切线斜率表示无人机的速度，可知 FM 段无人机先向上做减速运动、后向下做加速运动，加速度方向一直向下，则无人机处于失重状态，C 正确；根据 $y-t$ 图像的切线斜率表示无人机的速度，可知 EN 段无人机向上先做匀速运动、再做减速运动、后向下做加速运动、再做匀速运动，则 EN 段无人机重力的瞬时功率先不变，再减小，然后增大，最后不变，D 错误.

3. C 突破点 ▸ $v-t$ 图像

【解析】$v-t$ 图像切线的斜率表示加速度，所以 t_1 时刻小敏的加速度正在减小，A 错误；当速度为零时，运动到最高点（关键点），所以 t_4 时刻小敏运动到最高点，B、D 错误；t_3 时刻，小敏的加速度方向向下，则小敏处于失重状态，C 正确.

4. D 突破点 ▸ $v-t$ 图像

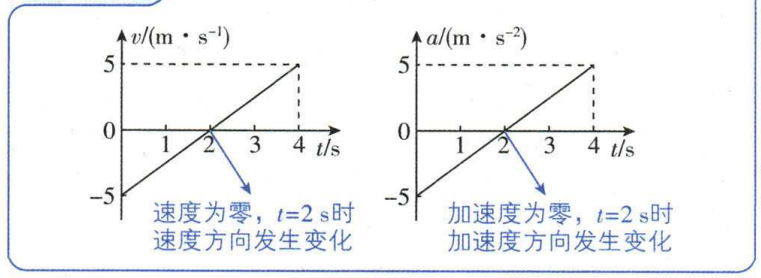
【解析】由 $v-t$ 图像可知乙车图像的斜率不变，故乙车的加速度大小不变，A 错误；由 $v-t$ 图像可知甲车图像的斜率大小逐渐增大，故甲车的加速度逐渐增大，B 错误；在 $v-t$ 图像中，图像与 t 轴围成的面积表示位移，由图可知在 $t_1\sim t_2$ 时间内乙车的位移大于甲车，而由题意可知两车在 t_2 时刻并排行驶（关键点），故在 t_1 时刻甲车在前，乙车在后，C 错误，D 正确.

5. C 突破点 ▸ $v-t$ 图像、$x-t$ 图像

【解析】足球沿边线在摩擦力的作用下做减速直线运动，速度越来越小；运动员为了追上足球做加速运动，速度越来越大. $v-t$ 图像与坐标轴围成图形的面积表示位移，当运动员追上足球时（关键点），运动员和足球的位移相同，$v-t$ 图像与坐标轴围成的面积相同，A、B 错误；$x-t$ 图像的斜率表示速度，足球做减速运动，足球的 $x-t$ 图像斜率大小逐渐减小，运动员向前追赶足球，做加速运动，运动员的 $x-t$ 图像斜率逐渐增大，当运动员追上足球时，足球和运动员在同一时刻到达同一位置，足球和运动员的 $x-t$ 图像交于一点，C 正确，D 错误.

6. B 突破点 ▸ $v-t$ 图像、$a-t$ 图像

题图剖析



【解析】$v-t$ 图像中斜率表示加速度，由图甲可知，甲物体 2 s 时的加速度方向没有变化，A 错误；已知乙的初速度为零，因 $a-t$ 图像与时间轴围成的面积等于速度的变化量，可知乙物体在 0~2 s 时间内速度为负值，在 2~4 s 内速度变化量为正值，在 $t=4$ s 时速度减为零，但是在 2~4 s 内速度仍为负值，则 2 s 时的运动方向没有发生变化，B 正确；由图甲可知，甲物体 0~2 s 内位移与 2~4 s 内的位移大小相同，方向相反，则甲物体 0~2 s 内的平均速度与 2~4 s 内的平均速度大小相同，但是方向相反，C 错误；乙物体在 0~4 s 内速度一直为负，则 4 s 时的位置与零时刻的位置不相同，D 错误.

7. D 突破点 ▸ $a-t$ 图像

【解析】根据 $a-t$ 图像可知，甲车的加速度不变，甲做匀加速直线运动，乙车的加速度逐渐减小，乙做加速度减小的加速直线运动，A 错误；由于图像与时间轴所围的面积表示速度的变化量，根据 $a-t$ 图像可知，在 0~4 s 内，两图像与 t 轴所围的面积相等，即 $t=4$ s 时两辆车的速度相等；在 4 s 前乙车的速度大于甲车的速度，所以乙车在甲车的前方，所以两车逐渐远离，当 $t=4$ s 时，两车速度相等，即相距最远，B、C 错误，D 正确.

8. C 突破点 ▸ $a-t$ 图像、超重和失重

【解析】电梯在 0~3 s 时间内一直做加速运动，加速度先增大后恒定再减小，A 错误；由于 $a-t$ 图像中图线与时间轴围成的面积表示速度变化量，电梯初、末速度为零，故在 0~3 s 内电梯速度的增加量与 27~30 s 内电梯速度的减小量应相等，图中两个梯形面积应相等，B 错误；1~2 s 内，电梯做向上的匀加速直线运动，同学质量为 50 kg，根据牛顿第二定律可得，$F_N-mg=ma$，由牛顿第三定律，可得 $F'_N=F_N=m(g+a)=550$ N（易错点：注意不要忘记减去重力），C 正确；由于整个运动过程中，电梯初、末速度为零，因此电梯加速阶段的速度变化量和减速阶段的速度变化量大小相等，且两个阶段经历的时间相同，由 $\overline{a}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ 可知，电梯加速阶段平均加速度的大小等于减速阶段平均加速度的大小，但方向相反，D 错误.

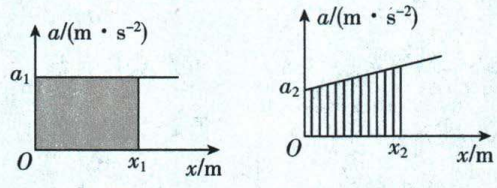
9. A 突破点 ▸ $v-x$ 图像

【解析】由图可知，汽车刹车时的初速度为 $v_0=24$ m/s，刹车距离为 $x=48$ m，根据匀变速直线运动规律 $v^2-v_0^2=2ax$，解得其制动时的加速度 $a=\dfrac{-v_0^2}{2x}=-6$ m/s^2，即刹车时的加速度大小为 6 m/s^2，A 正确；根据匀变速直线运动速度与时间的关系，解得汽车刹车 2 s 后的速度大小 $v=v_0+at=[24+(-6)\times2]$ m/s$=12$ m/s，B 错误；汽车刹车最后 1 s 内的位移大小为可以逆向看成汽车做初速度为零的匀加速运动第 1 s 内的位移，故有 $x_1=\dfrac{1}{2}at_1^2=\dfrac{1}{2}\times6\times1^2$ m$=3$ m，C 错误；汽车的刹车时间 $t_{刹}=\dfrac{-v_0}{a}=\dfrac{-24}{-6}$ s$=4$ s，D 错误.

10. B 突破点 ▸ $a-x$ 图像

【解析】根据题图中数据可知，运动员匀加速阶段 $x_1=\dfrac{1}{2}at_1^2$，解得 $t_1=2$ s，A 错误；根据 $2ax=v^2$，可知 $a-x$ 图像与横轴围成面积的两倍等于速度的平方（点拨：解答此题时也可以将纵轴乘以 m，则该图像变为 $F-x$ 图像，$F-x$ 图像与横轴围成的面积等于动能变化量），即运动员的最大速度 $v_m=\sqrt{\dfrac{(8+17)\times4}{2}\times2}$ m/s$=10$ m/s，B 正确；依题意，可知运动员匀速阶段时间为 $t_3=\dfrac{100\text{ m}-17\text{ m}}{v_m}=8.3$ s，C 错误；运动员变加速阶段，在 $x=8$ m 处的速度大小为 $v_1=at_1=8$ m/s，运动员在 $x=17$ m 处的速度大小为 10 m/s，此过程中的平均速度大于 9 m/s，根据 $t_2=\dfrac{\Delta x}{\overline{v}}<1$ s，可知此过程运动的时间小于 1 s，运动员的成绩 $t=t_1+t_2+t_3<11.3$ s，D 错误.

方法总结 $a-x$ 图像



甲　　乙

对于初速度为零的匀变速直线运动，有 $2ax=v^2$，因此其 $a-x$ 图像（如图甲）与横轴围成面积的两倍等于速度的平方，则对于图乙中的图像，也可以使用微元法，将图像分为无限多个等份，在每一个小等份中均满足匀变速直线运动规律，则对于图乙中的图像，其与横轴围成面积的两倍等于速度的平方.

11. C 突破点 ▸ 非常规图像

【解析】根据 $x=\dfrac{1}{2}at^2$，可得 $k=\dfrac{1}{2}a=\dfrac{2}{2}$ m/s$^2=1$ m/s^2，则图甲中物体的加速度为 $a=2$ m/s^2，A 正确；根据 $v^2=2ax$，可知 $k=2a=\dfrac{10}{1}$ m/s$^2=10$ m/s^2，则图乙中物体的加速度为 $a=5$ m/s^2，B 正确；根据 $x=v_0t+\dfrac{1}{2}at^2$，可得 $\dfrac{x}{t}=v_0+\dfrac{1}{2}at$，有 $k=\dfrac{1}{2}a=-\dfrac{4}{2}$ m/s$^2=-2$ m/s^2，则图丙中物体的加速度为 $a=-4$ m/s^2，C 错误；根据 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$，可知 $a-t$ 图像与横轴围成的面积等于速度变化量，可求出图丁中物体在前 2 s 内的速度变化量大小为 $\Delta v=\dfrac{1}{2}\times3\times2$ m/s$=3$ m/s，D 正确.

方法总结 对于非常规图像，可以灵活运用公式进行变换，求出图像中横纵截距代表的含义，进而利用运动学规律求解问题.

专题 2　追及和相遇问题

刷难关

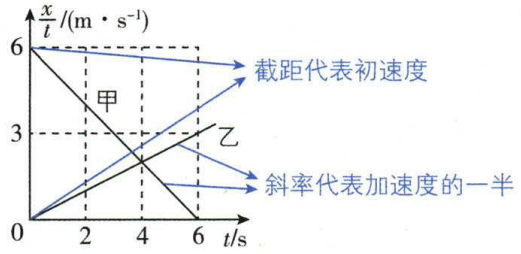
1. B 突破点 ▸ 速度小者追速度大者

【解析】由题图可知 $a_{甲}=\dfrac{22-10}{12}$ m/s$^2=1$ m/s^2，$a_{乙}=\dfrac{25-5}{10}$ m/s$^2=$

$2\ \mathrm{m/s^2}$，则 $x_{甲}=10t+\frac{1}{2}a_{甲}\cdot t^2$，$x_{乙}=5t+\frac{1}{2}a_{乙}\cdot t^2$，当乙车追上甲车时 $x_{甲}=x_{乙}$，解得 $t=10\ \mathrm{s}$，B 正确.

2. C **突破点** ▸速度小者追速度大者、$\frac{x}{t}-t$ 图像

题图剖析



【解析】根据 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 可得 $\frac{x}{t}=v_0+\frac{1}{2}at$，由图像可知 $v_{0甲}=6\ \mathrm{m/s}$，$\frac{1}{2}a_{甲}=\frac{0-6}{6}=-1\ \mathrm{m/s^2}$，解得 $a_{甲}=-2\ \mathrm{m/s^2}$，$v_{0乙}=0$，$\frac{1}{2}a_{乙}=\frac{3}{6}=0.5\ \mathrm{m/s^2}$，解得 $a_{乙}=1\ \mathrm{m/s^2}$，选项 A、B 错误；两车相距最远时速度相等，即 $v_{0甲}+a_{甲}t=a_{乙}t$，解得 $t=2\ \mathrm{s}$，选项 C 正确；甲车从出发到静止所用的时间为 $t_0=\frac{0-v_{0甲}}{a_{甲}}=3\ \mathrm{s}$，位移 $x_{0甲}=\frac{v_{0甲}}{2}t_0=9\ \mathrm{m}$，此时乙车的位移 $x_{0乙}=\frac{1}{2}a_{乙}t_0^2=4.5\ \mathrm{m}$，此时乙还没有追上甲，则汽车甲、乙相遇时有 $x_{0甲}=\frac{1}{2}a_{乙}t'^2$，解得 $t'=3\sqrt{2}\ \mathrm{s}$，选项 D 错误.

关键点拨 速度小者加速追赶速度大者，在两物体速度相等时有最大距离.

3. D **突破点** ▸速度小者追速度大者、$v-t$ 图像

【解析】两车启动后，由于 a 的速度一开始大于 b 的速度，所以 a 在前，b 在后，b 追赶 a，A 错误；根据 $v-t$ 图像可知，$2t_0$ 时刻，两车速度相等，此时为 b 追上 a 前两车之间的最大距离，根据 $v-t$ 图像与横轴围成的面积表示位移，可知相遇前，两车之间的最大距离为 $\Delta x_{max}=\frac{1}{2}v_0t_0$（关键点：两者之间距离最大的时刻为两车具有相同速度的时刻），B 错误；根据 $v-t$ 图像可知，a 在前 t_0 时间内的平均速度为 $\bar{v}_a=\frac{v_0}{2}$，b 在前 $2t_0$ 时间内的平均速度为 $\bar{v}_b=\frac{v_0}{2}$，可知 a 在前 t_0 时间内的平均速度与 b 在前 $2t_0$ 时间内的平均速度相等，C 错误；在 $2t_0$ 时刻，两车速度相等，此时两车距离最大，$\Delta x_{max}=\frac{1}{2}v_0t_0$，设再经过 t 时间，b 追上 a，则有 $\Delta x_{max}=x_b-x_a=v_0t+\frac{1}{2}a_bt^2-v_0t$，其中 b 的加速度为 $a_b=\frac{v_0}{2t_0}$，联立解得 $t=\sqrt{2}t_0$，则 a、b 两车在 $(2+\sqrt{2})t_0$ 时刻相遇，D 正确.

4. C **突破点** ▸$x-t$ 图像、避免相撞类问题

【解析】根据运动学公式 $x_1=v_0t_{10}-\frac{1}{2}a_1t_{10}^2=50\ \mathrm{m}$，解得甲车加速度大小为 $a_1=1\ \mathrm{m/s^2}$，A 错误；乙车的初速度为 $v_0'=\frac{x_2}{t_2}=\frac{28}{2}\ \mathrm{m/s}=14\ \mathrm{m/s}$，乙车加速度大小为 $a_2=\frac{v_0'^2}{2x_2'}=\frac{14^2}{2\times(77-28)}\ \mathrm{m/s^2}=2\ \mathrm{m/s^2}$，两车速度相等时，有 $v_0-a_1t=v_0'-a_2(t-t_2)$，解得 $t=8\ \mathrm{s}$，可知，当 $t=7\ \mathrm{s}$ 时，两车速度大小不相等，B 错误；两车恰好没有相撞，则 $d=v_0't_2+v_0'(t-t_2)-\frac{1}{2}a_2(t-t_2)^2-\left(v_0t-\frac{1}{2}a_1t^2\right)=28\ \mathrm{m}$，C 正确；若没有相撞，两车相距最近时乙车的位移为 $x=2v_0'+v_0'(t-t_2)-\frac{1}{2}a_2(t-t_2)^2=76\ \mathrm{m}$，D 错误.

5. D **突破点** ▸速度大者追速度小者、避免相撞类问题

【解析】依题意，可得 $v_1-a_1t=v_2+a_2t$，解得 $t=1.5\ \mathrm{s}$，可知 $t=1.5\ \mathrm{s}$ 时，A、B 的速度相等，A 错误；测试过程中，当二者速度相同时，具有最大距离为 $\Delta x=v_1t-\frac{1}{2}a_1t^2+x_0-\left(v_2t+\frac{1}{2}a_2t^2\right)=17.5\ \mathrm{m}$，B 错误；设若 B 不减速经 t_1 追上 A，则有 $v_1t_1-\frac{1}{2}a_1t_1^2+x_0=v_2t_1+\frac{1}{2}a_2t_1^2$，解得 $t_1=\frac{3+\sqrt{35}}{2}\ \mathrm{s}$ 或 $t_1=\frac{3-\sqrt{35}}{2}\ \mathrm{s}$（舍去），C 错误；依题意，$t=4\ \mathrm{s}$ 时，A 的速度为 $v_A=v_1-a_1t=2\ \mathrm{m/s}$，$B$ 的速度为 $v_B=v_2+a_2t=12\ \mathrm{m/s}$，二者距离为 $\Delta x'=v_1t-\frac{1}{2}a_1t^2+x_0-\left(v_2t+\frac{1}{2}a_2t^2\right)=5\ \mathrm{m}$，为了避免和前方的 A 相撞，设 B 的加速度大小至少为 a_B，则有 $v_B-a_Bt_2=v_A-a_1t_2$，$v_At_2-\frac{1}{2}a_1t_2^2+\Delta x'=v_Bt_2-\frac{1}{2}a_Bt_2^2$，联立解得 $a_B=12\ \mathrm{m/s^2}$，D 正确.

方法总结 **追及相遇问题的分析思路**

(1) 一个条件：两物体速度相等时满足的临界条件，如两物体的距离是最大还是最小及是否恰好追上等.

(2) 两个关系：时间关系和位移关系.

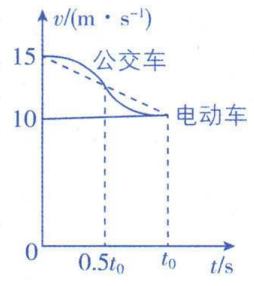
6. D **突破点** ▸速度大者追速度小者

【解析】由图像可知，$v-t$ 图像的斜率表示加速度，则 $a_A=-\frac{40}{20}\ \mathrm{m/s^2}=-2\ \mathrm{m/s^2}$，$a_B=-\frac{20}{30}\ \mathrm{m/s^2}=-\frac{2}{3}\ \mathrm{m/s^2}$，则 A、B 的加速度大小之比为 3∶1，A 错误；因为 B 车在前，A 车在后，且在 15 s 之前，A 车的速度大于 B 车的速度，在 15 s 之后，A 车的速度小于 B 车的速度，所以在 15 s 时，两车位移差 $\Delta x=v_At+\frac{1}{2}a_At^2-\left(v_Bt+\frac{1}{2}a_Bt^2\right)=150\ \mathrm{m}<160\ \mathrm{m}$，所以不会相撞，两车间距最小为 $\Delta x'=x_0-\Delta x=10\ \mathrm{m}$，B 错误，D 正确；$t=20\ \mathrm{s}$ 时，A 车运动的位移为 $x_A=\frac{1}{2}\times40\times20\ \mathrm{m}=400\ \mathrm{m}$，$B$ 车运动的位移为 $x_B=v_Bt'+\frac{1}{2}a_Bt'^2=\frac{800}{3}\ \mathrm{m}$，两车相距 $x=x_0+(x_B-x_A)=\frac{80}{3}\ \mathrm{m}$，C 错误.

关键点拨 速度大者减速追赶速度小者，若追不上，则在两物体速度相等时有最小距离.

7. C **突破点** ▸速度大者追速度小者、$a-t$ 图像

【解析】恰好不相撞，即 t_0 时刻公交车与电动车速度相等，由 $a-t$ 图像可得，刹车过程中，公交车和电动车的 $v-t$ 图像分别如图所示，$0\sim t_0$ 时间段内，公交车的平均速度 $\bar{v}=\frac{v_{公}+v_{电}}{2}=12.5\ \mathrm{m/s}$，“恰好不相撞”需满足 $\bar{v}t_0=v_{电}t_0+s_0$，代入解得 $t_0=4\ \mathrm{s}$，C 正确.



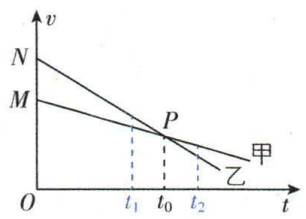
关键点拨 该题中公交车的加速度随时间先增大后减小，两个阶段加速度变化率的绝对值相等，根据 v-t 图像可知，该过程中公交车通过的位移等于以恒定加速度做匀减速运动的位移.

8. AD **突破点** ▸相遇次数问题

【解析】由 v-t 图像可以看出，5 s 末两车的速度大小相等，均为 $v=\frac{18\ \text{m/s}+0}{2}=9\ \text{m/s}$，A 正确；0~10 s，两图像与坐标轴围成图形的面积相等，由 v-t 图像的物理意义可知，10 s 末两车相遇，10~20 s 两车间距变大，20 s 之后两车间距变小，25 s 后会再相遇一次，B、C 错误；由 v-t 图像可知，5 s 末两车的速度大小均为 9 m/s，由 9 m/s 增加到 18 m/s，越野车所花的时间是自动驾驶车的 3 倍，根据 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可知，自动驾驶车的加速度大小是越野车的 3 倍，D 正确.

9. B **突破点** ▸变速物体追变速物体、相遇次数问题

【解析】由图像可知，甲、乙两车做匀减速运动，若 $s=s_0$，可知 t_0 时刻两车速度相等时两车恰好相遇，A 错误；若 $s>s_0$，两车应在 t_0 时刻前相遇，设两车在 t_1 时刻相遇，如图所示，此时刻乙车追上甲车，乙车的速度大于甲车的速度，故乙车在前甲车在后，之后在 t_2 时刻甲车追上乙车，两车可能再次相遇，B 正确，D 错误；若 $s<s_0$，在速度相等时乙车没有追上甲车，以后甲车速度大于乙车，因此以后也不可能追上，C 错误.



10. BD **突破点** ▸相遇次数问题、匀速物体追变速物体

【解析】由匀变速直线运动公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，变形可得 $\frac{x}{t}=\frac{1}{2}at+v_0(t\neq0)$，结合图像分析可知小车乙做匀速直线运动，速度为 $v_乙=5\ \text{m/s}$，小车甲做匀加速直线运动，初速度大小为 $v_甲=3\ \text{m/s}$，加速度大小为 $a_甲=2\ \text{m/s}^2$，$t=2\ \text{s}$ 时小车甲的速度大小 $v'_甲=v_甲+a_甲t=3\ \text{m/s}+2\times2\ \text{m/s}=7\ \text{m/s}>v_乙$，A 错误，B 正确；小车甲、乙相遇时应有 $v_乙t_1-\left(v_甲t_1+\frac{1}{2}a_甲t_1^2\right)=\Delta x=0.64\ \text{m}$，解得 $t_1=0.4\ \text{s}$，$t'_1=1.6\ \text{s}$，因此 0~2 s 内小车甲、乙相遇了两次，C 错误，D 正确.

全章素养提升

刷情境

1. D **创新点** ▸匀变速直线运动速度与位移的关系

【解析】初速度 $v_0=54\ \text{km/h}=15\ \text{m/s}$，末速度 $v=126\ \text{km/h}=35\ \text{m/s}$，位移 $x=3\ 000\ \text{m}$，根据 $v^2-v_0^2=2ax$，求得 $a=\frac{1}{6}\ \text{m/s}^2$，D 正确.

2. B **创新点** ▸田径运动、v-t 图像

【解析】根据题意，0~t_1 时间内，甲的位移约为 $s\approx2r_1+d=73.2\ \text{m}$，A 错误；$t_1$~$t_2$ 时间内，甲的位移比乙的位移小，故甲的平均速度比乙的平均速度小，B 正确；t_1~t_2 时间内任意相同时刻，$v_乙>v_甲$，C 错误；t_1~t_2 时间内任意相同时刻，甲的速度比乙的速度增大得慢，甲、乙的加速度不相等，$a_乙>a_甲$，D 错误.

3. D **创新点** ▸间歇闪光、自由落体运动

【解析】若调节间歇闪光时间间隔正好与水滴从 A 下落到 B 的时间相同，看到水滴似乎不再下落，可知相邻两个点的时间间隔相等，A 错误；根据 $\Delta x=g\cdot(\Delta t)^2$，可得 $\Delta t=\sqrt{\frac{\Delta x}{g}}=\sqrt{\frac{0.2}{10}}\ \text{s}=\frac{\sqrt{2}}{10}\ \text{s}$，B 错误；初速度为零的匀变速直线运动，在相邻相等时间内的位移之比为 1∶3∶5，则平均速度之比为 $\bar{v}_{AB}:\bar{v}_{BC}:\bar{v}_{CD}=1:3:5$，C 错误；根据 $v=gt$，得 $v_B:v_C:v_D=1:2:3$，D 正确.

4. (1) $\frac{2h_0}{t_0}$ (2) $\frac{2\sqrt{7}h_0}{t_0^2}$ $\frac{2\sqrt{7}h_0}{t_0}$

创新点 ▸无人机、匀速直线运动、匀变速直线运动

【解析】(1) 设 a 飞行的速度大小为 v_0，由 $2h_0=v_0t_0$，

解得 $v_0=\frac{2h_0}{t_0}$.

(2) 设 b 飞行的加速度大小为 a，从 B 点运动到 C 点的位移大小为 x，由几何关系可得 $x^2=(2h_0\cos\theta)^2+(h_0+2h_0\sin\theta)^2$，

解得 $x=\sqrt{7}h_0$，又由 $x=\frac{1}{2}at_0^2$，

解得 $a=\frac{2\sqrt{7}h_0}{t_0^2}$，

因此，b 刚到达 C 点时的速度大小 $v_C=at_0=\frac{2\sqrt{7}h_0}{t_0}$.

刷真题

刷小题

1. C **命题点** ▸匀变速直线运动

【解析】根据题干可知汽车做匀减速直线运动，由公式 $v_t=v_0-at$，代入数据可得加速度大小 $a=6\ \text{m/s}^2$，C 正确.

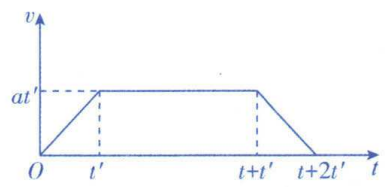
2. A **命题点** ▸运动的描述、摩擦力

【解析】

选项	分析	结论
A	位移是从初位置指向末位置的有向线段，该过程位移为 0	√
B	路程是运动轨迹的长度，该过程路程不为 0	×
C	过 a 点的速度为瞬时速度，由题图可知笔尖两次过 a 点的速度方向不同	×
D	摩擦力方向与相对运动的方向相反，笔尖两次过 a 点的速度方向不同，则笔尖两次过 a 点时摩擦力方向不同	×

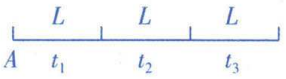
3. A **命题点** ▸匀变速直线运动

【解析】汽车匀加速运动和匀减速运动的加速度大小均为 a 且汽车到达乙站时速度恰好为 0，设汽车匀加速运动和匀减速运动的时间均为 t'，如图所示为汽车运动过程的 v-t 图像，可得 $\frac{1}{2}at'^2=x$，$\frac{1}{2}at'^2+at't+at'^2-\frac{1}{2}at'^2=8x$，解得 $t=3t'$，则 $x=\frac{1}{18}at^2$，A 正确.



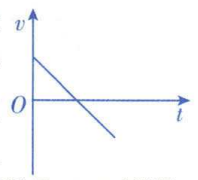
4. A 命题点▸匀变速直线运动

【解析】本题可以逆向考虑，认为木板静止不动，质点 A 向上做初速度为零的匀加速直线运动，根据 $s=\frac{1}{2}at^2$ 可得质点 A 通过连续相等的位移 L 所用时间之比为 $t_1:t_2:t_3=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})$，如图所示，由题意可知，$\Delta t_1=t_2$，$\Delta t_2=t_2+t_3$，则 $\Delta t_2:\Delta t_1=(\sqrt{3}-1):(\sqrt{2}-1)$，A 正确.



5. D 命题点▸v-t 图像和 a-t 图像

【解析】激光关闭后铯原子团在空中仅受重力作用，所以其加速度始终为重力加速度，a 恒定，C 错误，D 正确；铯原子团开始在重力作用下做匀减速运动，当速度减小到零后再反向加速，且 v-t 图像斜率表示加速度，不发生变化，正确的 v-t 图像如图所示，A、B 错误.

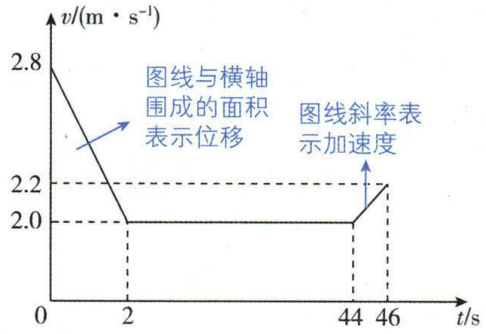


刷大题

6. (1) 2.4 m/s　(2) 0.1 m/s²　(3) 4.2 m

命题点▸v-t 图像

题图剖析



【解析】(1) 由图像可知，运动员在 0~2 s 内做匀减速直线运动，平均速度大小为 $\bar{v}=\frac{1}{2}\times(2.0+2.8)$ m/s = 2.4 m/s　(4 分)

(2) 由图像可知，运动员在 44~46 s 内做匀加速直线运动，加速度大小为 $a=\frac{2.2-2.0}{46-44}$ m/s² = 0.1 m/s²　(4 分)

(3) 运动员在 44~46 s 内的位移大小为

$x=\frac{1}{2}\times(2.0+2.2)\times2$ m = 4.2 m　(3 分)

第 2 章　相互作用

第 1 节　重力　弹力　摩擦力

刷基础

1. D 考查点▸重力的概念、大小和方向

【解析】帝企鹅受到的重力大小为 $G=mg=300$ N，A 正确；帝企鹅站在南极极点的水平冰面上，此时，帝企鹅受到的重力的方向竖直向下，即方向指向地心，B 正确；重力是由于地球的吸引使物体受到的力，可知帝企鹅受到的重力的施力物体是地球，C 正确；重心位置由物体的形状和质量分布共同决定，帝企鹅的重心不一定在帝企鹅的脚上，D 错误.

关键点拨　重力的方向竖直向下，不一定指向地心；重力是万有引力的一个分力，而不是万有引力.

2. B 考查点▸判断是否存在弹力

【解析】小球随车厢(底部光滑)一起向右做匀速直线运动，小球受到的重力和车厢底部对小球的支持力平衡，车厢左壁对小球无弹力作用，A 错误；小球被轻绳斜拉着静止在光滑的斜面上，假设轻绳对小球没有弹力，去掉轻绳，小球会沿斜面下滑，假设不成立，即轻绳对小球有弹力作用，B 正确；小球被 a、b 两轻绳悬挂而静止，其中 a 绳处于竖直方向，则小球的重力和 a 绳的拉力平衡，故 b 绳对小球一定没有拉力作用，C 错误；小球静止在光滑的三角槽中，三角槽底面水平，小球的重力和三角槽底面对小球的支持力平衡，倾斜面对小球一定无弹力作用，D 错误.

3. C 考查点▸静摩擦力大小和方向的判断

【解析】橡胶垫与墙面之间是静摩擦力(关键点：静摩擦力的大小通过受力平衡或牛顿第二定律判断)，与压力没有必然联系，A 错误；健身者在做引体向上运动时，加速度发生变化，把健身者与室内引体向上器作为研究对象，由牛顿第二定律可知，摩擦力的大小发生变化(易错点：做引体向上运动时，健身者具有向上或者向下的加速度，杆对人的作用力大小发生变化，摩擦力随之变化)，B 错误；健身者在单杆上悬停时，合力为 0，摩擦力的大小始终等于健身者与室内引体向上器的重力，故健身者的质量越大，摩擦力越大，C 正确；健身者悬停时，合力为 0，受到单杆的作用力始终等于健身者的重力，与手臂间距离无关，D 错误.

4. B 考查点▸弹力定义及产生条件、滑动摩擦力的大小与方向

【解析】由于书和白纸一起做匀速运动，因此书不受摩擦力作用，否则书将无法受力平衡，A 错误；对书、纸整体研究，桌面对纸的摩擦力大小为 $F=\mu mg$，故 $\mu=\frac{F}{mg}$，由题意可知各个接触面的动摩擦因数相同，B 正确；滑动摩擦力的大小只与压力大小和接触面粗糙程度有关，故增大拉力，桌面对纸的滑动摩擦力不变(易错点：滑动摩擦力与拉力大小无关)，C 错误；书对纸的压力是由于书的形变引起的，D 错误.

5. C 考查点▸摩擦力的突变

【解析】由题意，A 与地面间的最大静摩擦力为 $f_{Am}=\mu m_A g=0.2\times3\times10$ N = 6 N，初始状态，弹簧的弹力为 $F_{弹}=kx=200\times4\times10^{-2}$ N = 8 N，$F-F_{弹}=4$ N < f_{Am}，则 A 处于静止状态，受到的摩擦力为静摩擦力(关键点：判断物体受到的是静摩擦力还是滑动摩擦力)，则 $f_A=F-F_{弹}=12$ N − 8 N = 4 N，方向向左，A 错误；B 与地面间的最大静摩擦力为 $f_{Bm}=\mu m_B g=0.2\times5\times10$ N = 10 N，弹簧的弹力为 $F_{弹}=kx=200\times4\times10^{-2}$ N = 8 N，$F_{弹}=8$ N < $f_{Bm}=10$ N，B 处于静止状态，则有 $f_B=F_{弹}=8$ N，方向向左，B 错误；撤去推力 F 后瞬间，弹簧的弹力不变，仍为 $F_{弹}=8$ N，大于 A 的最大静摩擦力，可知 A 会向左滑动，A 受到的摩擦力为滑动摩擦力，则有 $f'_A=f_{Am}=6$ N，方向向右(易错点：若为滑动摩擦力，用公式 $F=\mu F_N$ 进行求解，不能等于推力)，C 正确；撤去推力 F 后瞬间，弹簧的弹力不变，仍为 $F_{弹}=8$ N，小于 B 的最大静摩擦力，B 仍处于静止状态，对 B 分析，可得 $f'_B=F_{弹}=8$ N，方向向左，D 错误.

易错警示　在进行摩擦力大小计算时，首先判断推力和最大静摩擦力的关系，若推力大于最大静摩擦力，则物体滑动，受到的摩擦力为滑动摩擦力，由公式 $f=\mu F_N$ 求解大小；反之为静摩擦力，通过受力分析进行求解.

刷提分

1. B 突破点▸胡克定律及其应用

【解析】设弹簧的原长为 L_0，根据胡克定律，压缩时 $F_1=k(L_0-$

L_1),伸长时 $F_2=k(L_2-L_0)$,联立解得 $L_0=\dfrac{F_1L_2+F_2L_1}{F_1+F_2}$,B 正确.

关键点拨 胡克定律 $F=kx$,其中 x 为形变量,即相对于原长的变化量.

2. BCD **突破点**·力传感器、摩擦力的测量

【解析】为了能研究摩擦力随时间的变化曲线,故物块一直要处于静止状态,则向左的摩擦力一直与向右轻绳的拉力平衡,图乙是向右轻绳的拉力随时间变化曲线,故图乙也可以反映摩擦力随时间变化的曲线,由图乙可知向右轻绳的拉力先增大后减小,最后趋于不变,故物块先受静摩擦力作用后受滑动摩擦力作用,所以不需要让木板保持匀速运动(**关键点**:滑动摩擦力大小与相对速度无关),A 错误,B 正确;由图可知,物块受到的静摩擦力逐渐增大到最大静摩擦力,达峰值 10 N 左右时为最大静摩擦力,故最大静摩擦力约为 10 N;木板运动后物块受到的是滑动摩擦力,大小几乎不变,由图可知,滑动摩擦力约为 7 N(**关键点**:拉动木板之前,物块受到的摩擦力为静摩擦力且一直增大,拉力达到最大静摩擦力之后,木板滑动,物块受到的摩擦力为滑动摩擦力,大小不再发生变化),故最大静摩擦力与滑动摩擦力之比约为 10∶7,C 正确;根据 $f=\mu F_N$、$F_N=mg$ 可知,由于不知道物块的重力,故无法求物块与木板间的动摩擦因数,D 正确.

3. B **突破点**·多个接触面叠加时的滑动摩擦力

【解析】书与 A4 纸恰好运动,$F>\mu_2Mg$,由于 A4 纸的上下两面均有摩擦力,要想 A4 纸不滑出,则 $F<2\mu_1mg$(**易错点**:注意书和 A4 纸上下两个接触面之间均有摩擦力),整理得 $2\mu_1mg>\mu_2Mg$,解得 $m>\dfrac{1}{4}M$,B 正确.

4. B **突破点**·台秤、胡克定律

【解析】由图乙可知,弹簧的形变量等于齿条 C 下降的距离(**关键点**:确定形变量),由于齿轮 D 与齿条 C 啮合,所以齿条 C 下降的距离等于齿轮 D 转过的弧长,根据数学知识可得 $s=\theta\cdot\dfrac{d}{2}$,即弹簧的形变量 $\Delta x=s=\theta\cdot\dfrac{d}{2}$,对托盘 A、竖直杆 B、水平横杆 H 与齿条 C 和物体整体研究,根据平衡条件得 $mg=2F$,根据胡克定律 $F=k\Delta x$,联立解得每根弹簧的劲度系数为 $k=\dfrac{mg}{\theta d}$,B 正确.

5. D **突破点**·复杂受力情况下的摩擦力计算

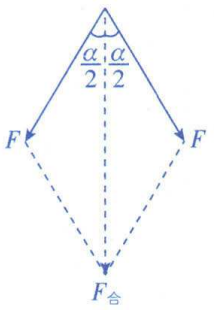
【解析】第 1 张试卷相对于第 2 张试卷向右运动,第 1 张试卷下表面受到第 2 张试卷施加的滑动摩擦力方向向左,则第 2 张试卷受到第 1 张试卷的摩擦力方向向右,A 错误;第 10 张试卷与第 11 张试卷之间及第 48 张试卷与摩擦片之间的摩擦力均为静摩擦力,根据受力平衡条件,可知大小均为 $f_{静}=f_{12}=\mu_2(F+mg)$(**易错点**:机器工作时,只有第 1 张试卷向右运动,其余试卷之间存在的摩擦力为静摩擦力,而不是滑动摩擦力),B、C 错误;要做到"每次只进一张纸",对最上面的一张纸张应满足 $\mu_1F>\mu_2(F+mg)$,可得 $\dfrac{\mu_1}{\mu_2}>\dfrac{F+mg}{F}$,D 正确.

第 2 节　力的合成与分解　牛顿第三定律

刷基础

1. B **考查点**·力的合成

【解析】根据平行四边形定则,则该牙所受两牵引力的合力大小为 $F_合=2F\cos\dfrac{\alpha}{2}$,B 正确.

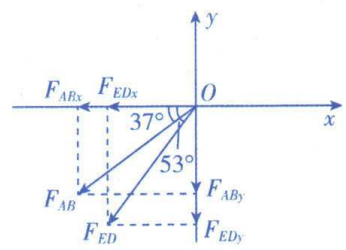


2. C **考查点**·力的分解

【解析】两个分力和合力只要能组成一个矢量三角形都是有可能的(即满足两边之和大于第三边),所以 F_1 的大小有可能小于 6 N,也有可能等于 10 N,故 A、B 错误;合力与两个分力组成一个矢量三角形,由题图可得,当 F_2 的方向与 F_1 垂直时,F_2 有最小值,大小为 $F_{2min}=12\ \text{N}\times\sin 30°=6\ \text{N}$,故 C 正确;根据力的合成法则可知,不在一条直线上的两个分力和合力组成一个矢量三角形,所以 F_2 的方向不可能与 F 平行,故 D 错误.

3. B **考查点**·力的合成和分解、正交分解法

【解析】设耳朵分别受到 AB、ED 段口罩带的拉力大小为 F_{AB}、F_{ED},且 $F_{AB}=F_{ED}=kx$,将两力正交分解如图所示,



$F_{ABx}=F_{AB}\cdot\cos 37°$、$F_{ABy}=F_{AB}\cdot\sin 37°$、$F_{EDx}=F_{ED}\cdot\cos 53°$、$F_{EDy}=F_{ED}\cdot\sin 53°$,水平方向的合力 $F_x=F_{ABx}+F_{EDx}$,竖直方向的合力 $F_y=F_{ABy}+F_{EDy}$,解得 $F_x=\dfrac{7}{5}kx$、$F_y=\dfrac{7}{5}kx$,耳朵受到口罩的作用力 $F_合=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=\dfrac{7\sqrt{2}}{5}kx$,方向与水平向左成 45°角,故选 B.

方法总结 **正交分解法求解合力的步骤**

(1)建立 xOy 直角坐标系;
(2)沿 x、y 轴将各力分解并表示出各分力;
(3)求 x、y 轴上的合力 F_x、F_y;
(4)最后求 F_x 和 F_y 的合力 F.

4. B **考查点**·牛顿第三定律、惯性

【解析】水对桨的力和桨对水的力是一对相互作用力,根据牛顿第三定律(**易错点**),水对桨的力大小等于桨对水的力的大小,与赛艇的运动状态无关,A、C 错误,B 正确;惯性是物体的固有属性,只与物体的质量有关(**关键点**),故赛艇加速时、减速时,惯性不变,D 错误.

5. C **考查点**·牛顿第三定律

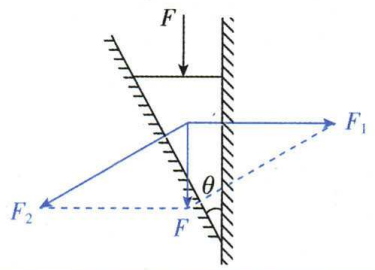
【解析】队员静止(**关键点**:处于平衡状态),队员受到绳的拉力与受到地面的摩擦力为一对平衡力,A 错误;拔河绳对双方队伍的拉力与双方队伍对绳的拉力是一对相互作用力,B 错误;每支队伍都保持静止,受力平衡,且只受绳的拉力和地面的摩擦力,故每队受到绳的拉力与受到地面的摩擦力是一对平衡力,C 正确;当一支队伍突然增加力时,另一支队伍受到绳的拉力立刻变大,若增加力后,绳的拉力超过另一支队伍与地面间的最大静摩擦力,则该队伍会被拉动(**易错点**:被拉动时拉力大于最大静摩擦力).若增大力之后,绳的拉力未超过另一支队伍与地面间的最大静摩擦力,则该队伍不会被拉动,D 错误.

关键点拨　平衡力和相互作用力的区别

项目	一对平衡力	作用力和反作用力
作用对象	同一个物体	两个相互作用的不同物体
作用时间	不一定同时产生、同时消失	一定同时产生、同时消失
力的性质	不一定相同	一定相同
作用效果	可相互抵消	不可抵消

6. B　考查点▸力的分解

【解析】按力的作用效果，分解力 F（**关键点：**按力的作用效果分解力，两个分力大小等于其竖直面和侧面对两侧木头的压力，分别为 F_1 和 F_2），如图所示，直角三角形中斜边最大，则 $F_2>F_1$，$F_2>F$，根据几何关系有 $F_2=\dfrac{F}{\sin\theta}$，$F_1=\dfrac{F}{\tan\theta}$，A 错误；由以上分析可知，力 F 一定时，夹角 θ 越小，$\sin\theta$ 和 $\tan\theta$ 均越小，则 F_1 和 F_2 均变大，B 正确，C 错误；由以上分析，夹角 θ 越大，F_1 和 F_2 均变小，所以夹角 θ 越大，凿子越不容易凿入木头，D 错误.



易错警示　弄错几何关系从而列错 F_1 和 F_2 的数学表达式

本题在解答时，要根据几何关系准确找出 F_1 和 F_2 的数学表达式，其关键在于正确找到和 θ 相等的角.

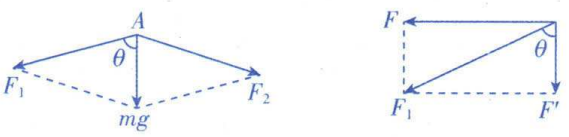
刷提分

1. B　考查点▸牛顿第三定律、摩擦力

【解析】根据牛顿第三定律，水对车的力等于车对水的力（**关键点：**作用力和反作用力始终大小相等，与运动状态无关），A 错误；用高压水流冲击静止在水平地面上的小汽车尾部，发现小汽车被推着加速向前运动，说明水对车的力大于地面对车的摩擦力，B 正确；根据牛顿第三定律，水对水枪的作用力等于水枪对水的作用力，C 错误；对水枪受力分析可知，水枪受到水对水枪的作用力、消防员对水枪的作用力，以及水枪的重力，受三力而平衡，故水对水枪的作用力与消防员对水枪的作用力不是一对平衡力，D 错误.

2. B　突破点▸分解法

【解析】该同学站在 A 点时，重力产生两个作用效果力 F_1、F_2，如图甲所示，设 F_1、F_2 与竖直方向夹角为 θ，则有 $F_1=F_2=\dfrac{mg}{2\cos\theta}$，在 B 点对 F_1 正交分解，如图乙所示，则水平推力为 $F=F_1\sin\theta=\dfrac{1}{2}mg\tan\theta$，由几何关系得 $\tan\theta=\dfrac{L}{2h}$，联立并代入数据可得 $F=\dfrac{mgL}{4h}=840$ N，故选 B.



甲　　乙

3. C　突破点▸多个力的合成、力的平行四边形定则

【解析】根据对称性，四根提绳上拉力大小相等，设每段提绳的拉力为 T，对手提袋受力分析，竖直方向有 $4T\cos 30°=G$（**关键点：**四个力在竖直方向合力为 G，水平方向合力为 0），解得 $T=\dfrac{G}{4\cos 30°}=\dfrac{\sqrt{3}}{6}G$，A、B 错误；设提绳 OM 和 ON 对手提袋的合力 F_1 与上表面夹角为 α，根据竖直方向受力平衡，可得 $F_1\sin\alpha=\dfrac{G}{2}$，解得 $F_1=\dfrac{G}{2\sin\alpha}$，若增大提绳的长度，则 α 增大，故提绳 OM 和 ON 对手提袋的合力将减小，C 正确；提绳 OM 和 OP 对手提袋的合力沿两个力的角平分线，即竖直向上，每一个拉力在竖直方向的分力，均为 $\dfrac{G}{4}$，则提绳 OM 和 OP 对手提袋的合力为 $\dfrac{G}{2}$，因此增大提绳的长度，提绳 OM 和 OP 对手提袋的合力大小不变，D 错误.

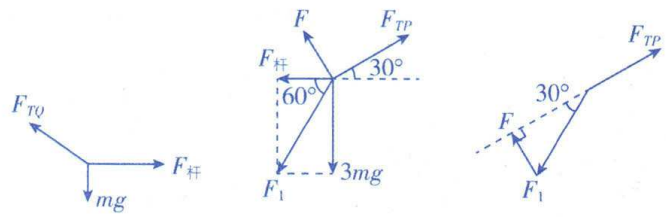
一题多解　选项 D 也可以根据对称性分析，提绳 OM 和 OP 对手提袋的合力 F_2 与提绳 ON 和 OQ 对手提袋的合力 F_3 满足 $F_2=F_3=\dfrac{G}{2}$.

4. C　突破点▸力的分解及应用

【解析】根据几何关系可得 $F_2=F\cos\theta$，A 错误；根据题意可知 F_1 与船运动的方向相同，是船前进的动力，船还受到其他阻力的作用，所以船受到的合力不是 F_1，C 正确，B 错误；若船沿着航向的阻力为 f，根据牛顿第二定律可得 $F_1-f=F\sin\theta-f=ma$，可得船的加速度大小 $a=\dfrac{F\sin\theta-f}{m}$，D 错误.

5. C　突破点▸力的合成和分解的极值问题

【解析】由几何关系，可知 OQ 与 PQ 的夹角、OP 与 PQ 的夹角均为 $\theta=30°$，对 Q 受力分析，Q 受重力大小 mg、杆的弹力大小 $F_{杆}$、绳子拉力大小 F_{TQ}，如图甲所示，由平衡条件得 $F_{杆}=F_{TQ}\cos\theta$，$F_{TQ}\sin\theta=mg$，联立解得 $F_{杆}=\sqrt{3}mg$，对 P 受力分析，P 受重力大小 $3mg$、杆的弹力大小 $F_{杆}$（**关键点：**杆对 P 和 Q 的弹力大小相等）、绳子拉力 F_{TP} 和外力 F，如图乙所示，则小球 P 受到的重力与杆的合力 $F_1=\sqrt{(3mg)^2+(F_{杆})^2}$，代入得 $F_1=2\sqrt{3}mg$，作出 F_1、F_{TP}、F 三个力的矢量三角形（**关键点：**四力化三力，用矢量三角形法求解最小值），如图丙所示，当作用在小球 P 的外力方向和与 P 相连的细绳方向垂直时，外力 F 最小，即最小值为 $F_{min}=F_1\sin\theta$，联立以上解得 $F_{min}=\sqrt{3}mg$，C 正确，A、B、D 错误.



甲　　乙　　丙

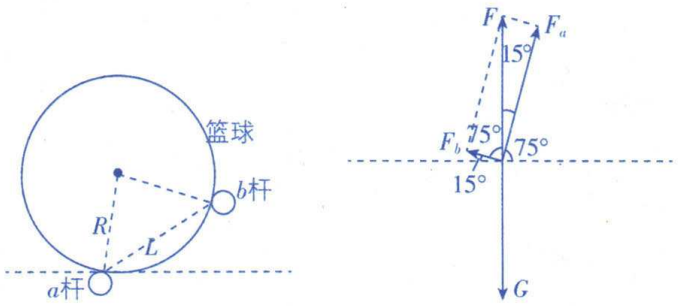
关键点拨　解答本题的关键在于先对 Q 使用隔离法分析出 $F_{杆}$ 的大小，将轻杆和球的平衡问题转化为 P 的平衡问题，利用矢量三角形法求出极值.

第 3 节　共点力作用下的静态平衡问题

刷基础

1. C　考查点▸合成法解决三力平衡问题

【解析】画出篮球的受力分析如图甲所示，



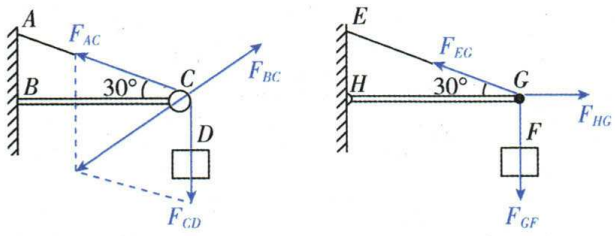
甲　　乙

两根杆相距 $L=\sqrt{2}R$，根据勾股定理，两力之间的夹角为 90°，F_a 与 F_b 方向如图乙所示，F_a 与 F_b 的合力 F 竖直向上，与重力等大反向（**关键点：**三个力平衡，任意两个力的合力与第三个力等大反向），可知 a 杆对篮球的支持力大小为 $F_a=G\cos 15°$，C 正确.

方法总结　力的合成法解决三力平衡问题，合成未知力，且两个未知力的合力与已知力等大反向.

2. BC　**考查点**　合成法、正交分解法

【解析】取 C 点为研究对象，受力分析如答图甲所示，根据几何关系有 $F_{AC}=F_{CD}=mg=20$ N，且二者夹角为 120°，故可得轻杆 BC 对 C 端的弹力大小为 $F_{BC}=F_{AC}=20$ N，滑轮对绳子的弹力大小为 20 N，A 错误，C 正确；取 G 点为研究对象，受力分析如答图乙所示，竖直方向有 $F_{EG}\sin 30°=mg$，解得绳 EG 对 G 端的拉力大小 $F_{EG}=40$ N，B 正确；将 H 端的铰链去掉，杆 HG 插入墙内，杆的弹力方向不一定沿着杆，则绳 EG 的拉力大小可能发生改变，D 错误.



甲　　乙

方法总结　**活结、死结及动杆和定杆问题**

(1) 活结：当绳绕过光滑的滑轮或挂钩时，绳上的力是相等的；

(2) 死结：若结点不是滑轮，而是固定点时，称为“死结”，其两侧绳上的弹力大小不一定相等；

(3) 动杆：若轻杆用光滑的转轴或铰链连接，当杆平衡时，杆所受到的弹力方向一定沿着杆；

(4) 定杆：若轻杆被固定，不发生转动，则杆受到的弹力方向不一定沿杆的方向.

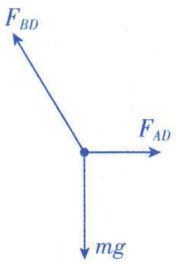
3. A　**考查点**　整体法与隔离法

【解析】设原来有 n 个球，整体受力分析，可得 $nmg\sin\theta=kx_1$，取走一个球之后，对整体受力分析有 $(n-1)mg\sin\theta=kx_2$，$\Delta x=x_1-x_2=2R$，联立得 $mg\sin\theta=k\Delta x$，代入得 $mg\sin\theta=2kR$，解得 $\sin\theta=\dfrac{2kR}{mg}$，A 正确.

一题多解　本题也可用弹力与形变量的推论：$\Delta F=k\Delta x$，其中 ΔF 为弹力的变化量，Δx 为形变量的变化量.

4. C　**考查点**　整体法与隔离法

【解析】对演员 D 进行受力分析，受重力、A 对其水平向右的支持力 F_{AD}、B 对 D 斜向上的拉力 F_{BD}，如图所示，由平衡条件有 $F_{BD}\sin 30°=F_{AD}$、$F_{BD}\cos 30°=mg$，解得 $F_{BD}=400\sqrt{3}$ N，$F_{AD}=200\sqrt{3}$ N，由牛顿第三定律可得，演员 B 右手臂受到的拉力为 $400\sqrt{3}$ N，演员 A 右手臂受到的压力为 $200\sqrt{3}$ N，A、B 错误；对演员 B 分析可知，其受 A 的支持力为 $F_{BA}=2F_{BD}\cos 30°+mg=1\,800$ N，由牛顿第三定律可得，演员 B 对演员 A 双肩的压力为 1 800 N，C 正确；对四个演员整体分析可知，地面对演员 A 的作用力为 $F_N=4mg=2\,400$ N，D 错误.



5. D　**考查点**　受力分析、整体法与隔离法

【解析】对 P 受力分析（**关键点：**采用隔离法，选取 P 作为研究对象）可知，P 受重力、支持力和沿 P、Q 间斜面向上的摩擦力，施加力 F 后，P 受力情况不变，故 P、Q 间的摩擦力不变，A 错误；对 P、Q 整体受力分析（**关键点：**采用整体法，选取 P、Q 整体作为研究对象）可知，PQ 受重力、支持力和沿 Q、N 间斜面向上的摩擦力，施加力 F 之后，由于水平推力的作用，故 Q、N 间的摩擦力可能减小，也可能增大（**易错点**），B 错误；若 F 沿斜面向上的分力与 P、Q 重力沿斜面方向上的分力平衡，则 Q 可以不受 N 的摩擦力作用，故 Q 将受重力、压力、支持力、P、Q 间的摩擦力及推力五个力的作用；若 Q、N 间有摩擦力，则 Q 受 6 个力的作用，C 错误；由于 F 有垂直于斜面向下的分力，故 Q、N 间的压力一定增大，D 正确.

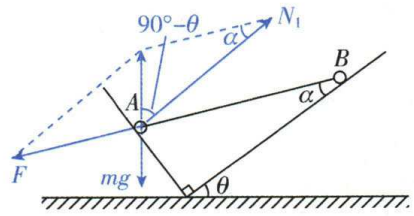
易错警示　**Q、N 之间的摩擦力情况考虑不全致错**

当有力 F 作用在 Q 上之后，若力 F 沿斜面方向的分力小于 P、Q 的重力沿斜面向下的分力，则 N 对 Q 摩擦力方向向上；若力 F 沿斜面方向的分力等于 P、Q 的重力沿斜面向下的分力，则 N、Q 间摩擦力为 0；若力 F 沿斜面方向的分力大于 P、Q 的重力沿斜面向下的分力，则 N 对 Q 摩擦力方向向下.

刷提分

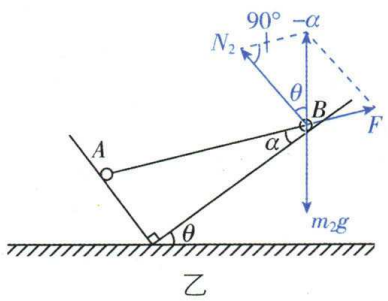
1. B　**突破点**　合成法

【解析】对 A 球受力分析，受重力、杆的弹力大小 F、槽的支持力大小 N_1，如图甲所示，



甲

根据几何知识，由正弦定理（**关键点：**已知角度，求力的大小关系，可利用正弦定理）有 $\dfrac{F}{\sin(90°-\theta)}=\dfrac{mg}{\sin\alpha}$，再对 B 球受力分析，设 B 球的质量大小为 m_2，受重力、杆的弹力大小 F、槽的支持力大小 N_2，如图乙所示，

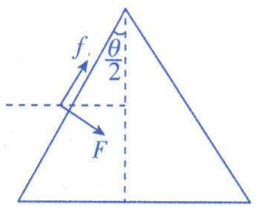


乙

由正弦定理有$\frac{m_2g}{\sin(90°-\alpha)}=\frac{F}{\sin\theta}$，联立解得$m_2=\sqrt{3}m$，B 正确.

2. D **突破点** ▸摩擦角的应用

【解析】对左侧接触面分析，圆锥受到手对它的作用力如图，设手对接触面弹力为 F，则对于圆锥体而言，$2\mu F\cos\frac{\theta}{2}\leqslant 2F\sin\frac{\theta}{2}+G$，整理得$\frac{G}{F}\geqslant 2\left(\mu\cos\frac{\theta}{2}-\sin\frac{\theta}{2}\right)$，因为无论多大的力都无法拿起，则当 $F\to\infty$ 时，$\mu\cos\frac{\theta}{2}-\sin\frac{\theta}{2}\leqslant 0$，解得$\tan\frac{\theta}{2}\geqslant\mu$，D 正确.



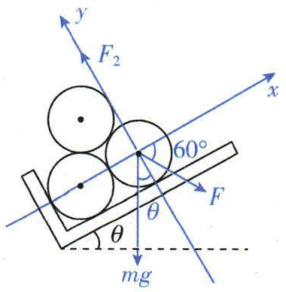
3. B **突破点** ▸整体法与隔离法

【解析】将 2 016 个木块看成一个整体，对整体进行受力分析，在竖直方向，共受到三个力的作用，分别为竖直向下的重力 2 016mg、两个竖直向上的摩擦力 f_1，由受力平衡可得 $2f_1=2\,016mg$，解得$f_1=1\,008mg$，所以第 1 个木块和第 2 016 个木块受到木板的摩擦力大小均为 1 008mg；对 2015、2016 号木块整体受力分析，它受到木板对它的摩擦力大小为 1 008mg，方向竖直向上，根据受力平衡，相邻的第 2014 号木块要给 2015 号木块一个竖直向下的摩擦力，大小为$f_2=f_1-2mg=1\,006mg$，B 正确.

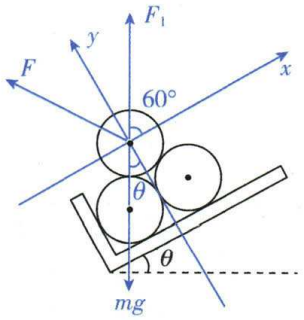
一题多解 由木块的对称性，本题也可以选取 3～2014 号木块为研究对象进行受力分析.

4. A **突破点** ▸正交分解法

【解析】当 θ 取最小值时，即将发生相对滑动，下面两足球间恰好无弹力，对最右边足球进行受力分析，如图甲所示，建立如图所示直角坐标系，沿 x 轴方向，根据平衡条件有 $mg\sin\theta=F\cos 60°$，当 θ 取最小值时，对最上面球受力分析，如图乙所示，根据平衡条件有 $mg\sin\theta+F\cos 60°=F_1\cos 60°$，$mg\cos\theta=F\sin 60°+F_1\sin 60°$，联立解得$\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{9}$，即平板与水平面夹角 θ 的正切值的最小值为$\frac{\sqrt{3}}{9}$，A 正确.



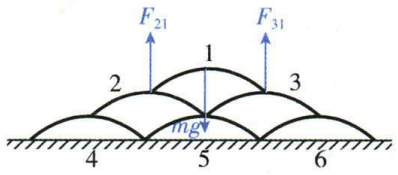
甲



乙

5. D **突破点** ▸古建筑、瓦片的受力分析

【解析】分别对 6 个瓦片受力分析如图所示（仅画出瓦片 1），



由平衡条件得$F_{21}=F_{31}=\frac{1}{2}mg$，根据牛顿第三定律可知，1 左端给 2 的压力大小为$\frac{1}{2}mg$，A 错误；同理可得$F_{42}=F_{52}=\frac{1}{2}(F_{12}+mg)=\frac{3}{4}mg$，根据牛顿第三定律可知，2 右端对 5 的压力与左端对 4 的压力均为$\frac{3}{4}mg$，B、C 错误；对 5 受力分析可得$F_{地5左}=F_{地5右}=\frac{1}{2}(mg+F_{25}+F_{35})$，根据牛顿第三定律可得$F_{25}=F_{52}=\frac{3}{4}mg$、$F_{35}=F_{53}=F_{63}=\frac{1}{2}(mg+F_{13})=\frac{3}{4}mg$，解得$F_{地5右}=\frac{5}{4}mg$，根据牛顿第三定律可知，5 右端对地面的压力大小为$\frac{5}{4}mg$，D 正确.

6. C **突破点** ▸整体法与隔离法、连接体问题

【解析】由题意，初始时，滑块受到的摩擦力大小为 f，沙子全部漏完后滑块受到的摩擦力大小也为 f（**关键点：**通过力大小相同、方向不同；判断出滑块受力），则初状态下，摩擦力沿斜面向下，对滑块受力分析可得 $T=mg\sin\theta+f$，对沙和沙桶，有 $T=m_0g$，即 $m_0g=mg\sin\theta+f$，末状态下，摩擦力沿斜面向上，对滑块有 $f=mg\sin\theta$，联立得 $m_0=2m\sin\theta$，A 错误；沙子漏完后，滑块始终静止，则滑动摩擦力与下滑分力的关系为 $f\geqslant mg\sin\theta$，故有 $\mu mg\cos\theta\geqslant mg\sin\theta$，则滑块与斜面体间的动摩擦因数应为 $\mu\geqslant\tan\theta$，B 错误；对滑块和斜面体组成的系统受力分析可知，竖直方向上，地面对斜面体的支持力与斜面体和滑块组成的系统的重力平衡，可见漏沙的过程中，地面对斜面体的支持力保持不变，C 正确；同理，对滑块和斜面体组成的系统受力分析可知，水平方向上，地面对斜面体的摩擦力始终与轻绳的拉力平衡，故地面对斜面体的摩擦力方向始终向左，D 错误.

方法总结 **整体法与隔离法的选择**

(1) 当分析相互作用的两个或两个以上物体整体的受力情况及分析外力对整体的作用时，宜用整体法；

(2) 在分析系统内各物体（或一个物体各部分）间的相互作用时，宜用隔离法；

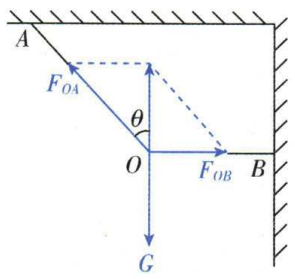
(3) 对一些较复杂问题，通常需要多次选取研究对象，交替使用整体法和隔离法.

专题 3　动态平衡问题

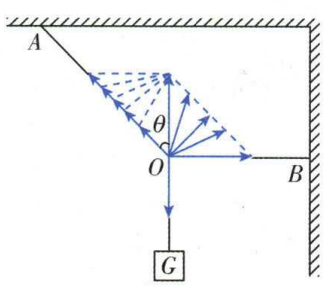
刷难关

1. B **突破点** ▸矢量三角形法

【解析】对 O 点受力分析，如图甲所示，根据几何关系可得$F_{OA}=\frac{G}{\cos\theta}$，$F_{OB}=G\tan\theta$，A 错误，B 正确；根据题意，对结点 O 受力分析（**关键点：**重力不变，绳子 OA 拉力方向不变），保持 O 点不动，缓慢向上转动绳 BO，由图乙可知，OA 拉力一直减小，OB 拉力先减小后增大，C、D 错误.



甲

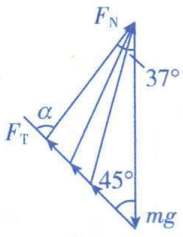


乙

方法总结 物体受三个力平衡，其中一个力恒定，一个力方向不变，考虑矢量三角形法.

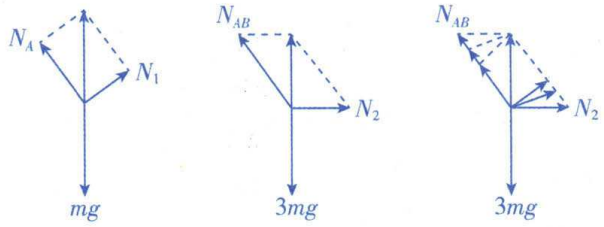
2. C **突破点** 矢量三角形法

【解析】小球受重力 mg、拉力 F_T 及斜面对小球的支持力 F_N 三个力作用，画出三个力的矢量三角形（关键点：重力恒定，拉力 F_T 方向不变）如图所示，拉力 F_T 方向与竖直方向的夹角始终保持45°不变，支持力与竖直方向间的夹角初始时为37°，后逐步减小到0，α 角由82°逐步减小为45°，所以拉力 F_T 变小，支持力 F_N 变大，C正确，A、B、D错误.



3. D **突破点** 整体法和隔离法、矢量三角形法

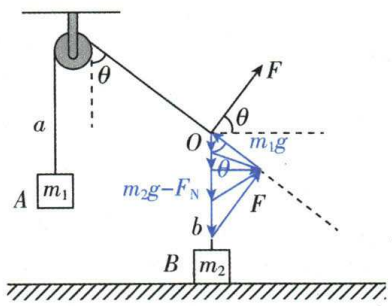
【解析】对 A 受力分析（关键点：两个支持力的合力与 A 的重力等大反向），如图甲所示，此时 B 对 A 的支持力大小为 $N_1 = mg\sin 30° = \frac{1}{2}mg$，由牛顿第三定律可知，$A$ 对 B 的压力大小为 $\frac{1}{2}mg$，缓慢转动挡板过程中，B 对 A 的支持力大小始终等于 $\frac{1}{2}mg$，由牛顿第三定律可知，A 对 B 的压力不变，A、C错误；对 AB 整体受力分析，如图乙所示，由几何关系得，竖直挡板对 B 的弹力大小为 $N_2 = 3mg\tan 30° = \sqrt{3}mg$，B错误；分析缓慢转动过程中，挡板对 B 的支持力，以 AB 整体为研究对象，受力如图丙所示（关键点：重力恒定，N_{AB} 的方向不变，故用矢量三角形法），挡板对球 B 的弹力 N_2 逐渐减小，D正确.



甲　　乙　　丙

4. A **突破点** 矢量三角形法、绳连接体的动态平衡

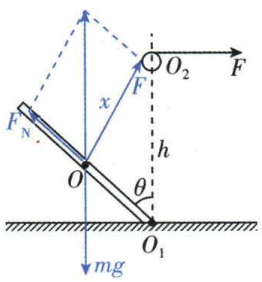
【解析】物块 B 恰好与地面间没有作用力，根据受力分析可知 $m_1 g = m_2 g\cos\theta$，可知 $m_1 = \frac{1}{2}m_2$，B错误；受力分析如图所示，



由图可知，F 的最小值为 $F_{min} = m_1 g\sin\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}m_1 g$，A正确；$F$ 从图中所示的状态顺时针转动90°的过程中，轻绳 a 的拉力大小始终等于物块 A 的重力大小，轻绳对定滑轮的作用力不变，C错误；F 从图中所示的状态顺时针转动90°的过程中，轻绳 b 的拉力变小，故地面对物块 B 的支持力变大，D错误.

5. A **突破点** 相似三角形法、动态平衡问题

【解析】细棒质量分布均匀，重心在 O 点，对细棒进行分析如图所示，令棒长为 L，O_1 与 O_2 间距为 h，左侧绳长为 x，根据相似三角形有 $\frac{mg}{h} = \frac{F}{x} = \frac{F_N}{\frac{L}{2}}$，$\theta$ 从 $\frac{\pi}{2}$ 缓慢减小到0的过程中，左侧绳长 x 减小，OO_1 长度不变为 $\frac{L}{2}$，可知，F 逐渐变小，F_N 大小不变，A正确，B、C、D错误.



方法总结 相似三角形解动态平衡问题

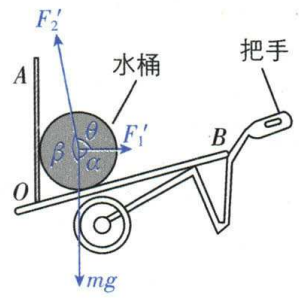
如果物体受三个力的作用平衡，其中一个力的大小和方向均不变，另外两个力方向变化，或者物体在圆上或运动轨迹为圆弧，考虑用相似三角形法.

6. D **突破点** 动态平衡问题、相似三角形法

【解析】对小球进行受力分析，小球受到重力、细线的拉力 T 与圆环的弹力 N 三个力的作用，令圆环的圆心为 O，半径为 R，则重力方向平行于图中虚线表示的直径，细线拉力方向沿细线，圆环弹力方向沿半径指向圆心，根据相似三角形有 $\frac{G}{R} = \frac{T}{x_{PQ}}$，根据几何关系有 $x_{PQ} = 2R\cos\theta$，解得 $T = 2G\cos\theta$，可知，T 随 θ 变化的图像为余弦曲线关系（关键点），且最大值为 $2G$，故选D.

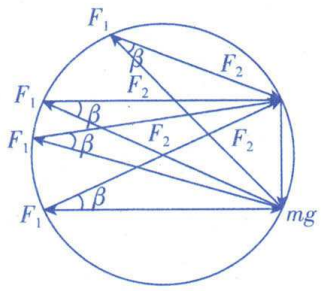
7. B **突破点** 正弦定理解决动态平衡问题

【解析】在倒出水桶的过程中，重力及两个支持力的夹角都是确定值（关键点：一个力和它所对的角不变），受力情况如图所示. 根据正弦定理，可得 $\frac{F_2'}{\sin\alpha} = \frac{F_1'}{\sin\beta} = \frac{mg}{\sin\theta}$，由于重力和 θ 不变，故该式子比值不变，在转动过程中，α 从90°增大到180°，则 $\sin\alpha$ 不断减小，F_2' 将不断减小（关键点：通过全过程角的变化，分析力的变化），根据牛顿第三定律可得 F_2 将不断减小；转动过程中，β 从钝角减小为锐角，$\sin\beta$ 先增大后减小，则 F_1' 将先增大后减小，根据牛顿第三定律可得 F_1 先增大后减小，B正确，A、C、D错误.



8. BD **突破点** 动态平衡问题、辅助圆法

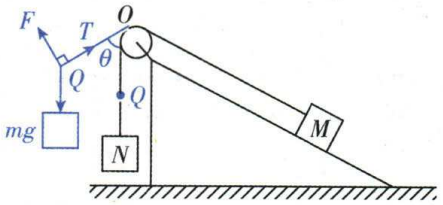
【解析】物体始终保持静止，合力为零，由于重力不变，以及 F_1 和 F_2 夹角不变，则 mg、F_1、F_2 构成封闭的矢量三角形如图所示，则 $\beta = 30°$，可知在 AO 绳由水平转动至竖直的过程中，AO 绳中的拉力先增大后减小，BO 绳中的拉力一直减小，A、C错误；当 F_1 为直径时，AO 绳的拉力最大，则 AO 绳中最大拉力为 $F_{1max} = \frac{mg}{\sin 30°} = 2mg$，B正确；在 AO 绳竖直时，BO 绳中拉力最小，为0，D正确.



9. C **突破点** 相似三角形法、整体法与隔离法

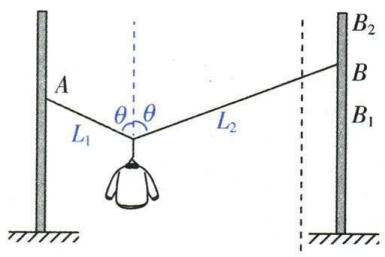
【解析】设 OQ 段绳子拉力为 T，与竖直方向的夹角为 θ，对 Q 点受力分析如图，由正弦定理知 $\frac{F}{\sin\theta} = \frac{T}{\sin\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)} = \frac{mg}{\sin\frac{\pi}{2}}$，即 $\frac{F}{\sin\theta} = \frac{T}{\cos\theta} = mg$，$\theta$ 由0°逐渐增大到90°过程中，$\sin\theta$ 一直增大，$\cos\theta$ 一直减小，则 F 一直增大，T 一直减小，A、B错误；由于刚开始物块 M 所受摩擦力方向不确定，当摩擦力沿斜面向上时，随着 T 的减小，摩擦力不断增大；当摩擦力沿斜面向下时，随着 T 的减小，摩擦力不断减小还可能接着反向增大，C正确；把物块 M 与斜面视为整体，整体受到地面的摩擦力 $f = T\sin\theta = \frac{1}{2}mg\sin 2\theta$，

θ 由 0°逐渐增大到 90°过程中，f 先增大后减小，D 错误.



10. B **突破点** ▸晾衣杆模型、动态平衡问题

【解析】挂钩属于“活结”，左、右两侧绳子张力相等，A 错误；设绳子间的夹角为 2θ（**关键点：**两等大分力，合力沿角平分线方向，两绳子与竖直方向夹角均为 θ），绳子总长为 L，两杆间距离为 d，如图所示，

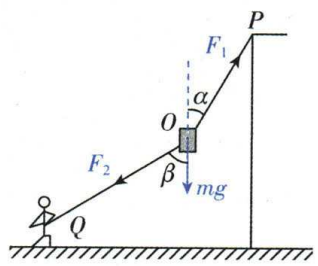


根据几何关系有 $L_1\sin\theta+L_2\sin\theta=d$，得 $\sin\theta=\dfrac{d}{L}$，当 B 端移到 B_1 位置或 B_2 位置时，d、L 都不变，则 θ 也不变；由平衡条件可知 $2F\cos\theta=mg$，解得 $F=\dfrac{mg}{2\cos\theta}$，可见绳子张力 F 也不变，B 正确，C 错误；保持两固定点不变，仅将右侧直杆向左移至图中虚线位置，则 d 减小，θ 减小，F 减小，D 错误.

技巧必背 晾衣杆模型，上下移，角不变，力不变；左右移，角与力均为杆靠近时变小，杆远离时变大.

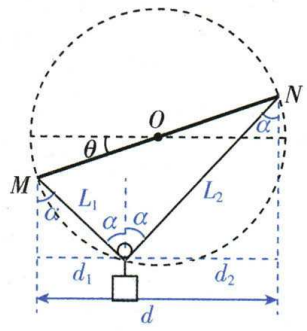
11. B **突破点** ▸解析法

【解析】对结点 O 受力分析，如图所示，将力进行正交分解，由平衡条件可得 $F_1\sin\alpha=F_2\sin\beta$，$F_1\cos\alpha=F_2\cos\beta+mg$，联立解得 $F_1=\dfrac{mg\sin\beta}{\sin(\beta-\alpha)}$，$F_2=\dfrac{mg\sin\alpha}{\sin(\beta-\alpha)}$（**关键点：**找出 F_1 和 F_2 的表达式），在题述过程中 β 不变，α 增大，故两根绳的拉力 F_1、F_2 都不断变大，A 错误，B 正确；分析地面上的人受力，由平衡条件，地面给人的支持力为 $F_N=m_人g-F_2\cos\beta$，题述过程中 β 不变，F_2 不断增大，则地面对人的支持力不断减小，C 错误；室外机受两根绳的拉力和重力三个力作用平衡，则两根绳对室外机拉力的合力与室外机的重力等大反向，故绳子 P、Q 给室外机的拉力的合力恒定，D 错误.



12. D **突破点** ▸解析法在动态平衡问题中的应用

【解析】如图所示，轻杆 MN 与水平方向的夹角 θ（$\theta<90°$）越大，MN 之间的水平距离 d 越小，由于滑轮两侧轻绳拉力相等，滑轮左右两侧轻绳与竖直方向的夹角相等（**关键点：**两等大分力，合力在角平分线上），令夹角为 α，轻绳长为 L，则有 $\sin\alpha=\dfrac{d_1}{L_1}=\dfrac{d_2}{L_2}=\dfrac{d}{L}$，可知若 θ 越大，d 越小，则 α 越小，根据平衡条件有 $mg=2T\cos\alpha$，可得 $T=\dfrac{mg}{2\cos\alpha}$，轻杆从图示位置在纸面内绕 O 点顺时针缓慢转过 2θ 的过程中，MN 之间的水平距离 d 先增大后减小，即 α 先增大后减小，$\cos\alpha$ 先减小后增大，可知，轻绳的张力先增大再减小，D 正确.



方法总结 解析法解动态平衡问题，根据题给信息列出未知量和变化量之间的函数关系式，通过函数关系式确定未知量随已知量如何变化.

13. AC **突破点** ▸直接合成法解决三力平衡问题、动态平衡问题

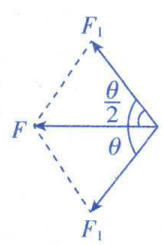
【解析】杆处于水平位置时，设轻绳与竖直方向夹角为 β，对圆环与轻绳的接触点进行分析，根据平衡条件有 $2T_1\cos\beta=mg$，根据几何关系有 $\cos\beta=\dfrac{\sqrt{L^2-\left(\frac{L}{2}\right)^2}}{L}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，解得 $T_1=\dfrac{\sqrt{3}mg}{3}$，A 正确；设轻杆从水平方向逆时针转过的角度为 θ，此时轻绳与竖直方向的夹角为 α，根据几何性质有 $2L\sin\alpha=L\cos\theta$，对圆环与轻绳的接触点进行分析，根据平衡条件有 $2T\cos\alpha=mg$，解得 $T=\dfrac{mg}{\sqrt{4-\cos^2\theta}}$，当 $T_2=\dfrac{2\sqrt{13}mg}{13}$ 时，代入上式解得 $\theta=30°$，B 错误；结合上述，当 $\theta=45°$ 时，代入上式解得 $T_3=\dfrac{\sqrt{14}mg}{7}$，C 正确；结合上述有 $T=\dfrac{mg}{\sqrt{4-\cos^2\theta}}$ 可知，随着 θ 逐渐增大，T 的值逐渐减小，D 错误.

14. A **突破点** ▸正交分解法

【解析】以小球为研究对象，设 OC 与竖直方向的夹角为 θ，根据受力平衡可得 $F=mg\sin\theta$，$T_{OC}=mg\cos\theta$，由于 θ 增大，故力 F 大小一直增大，绳 OC 受到的拉力大小减小，A 正确，B 错误；以 O 点为对象进行分析，根据受力平衡可得 $T_{OB}\sin\alpha=T_{OC}\cos\theta$，联立解得 $T_{OB}=\dfrac{mg\cos^2\theta}{\sin\alpha}$，由于 θ 增大，所以绳 OB 受到的拉力大小一直减小，C 错误；由共点力平衡有 $T_{OA}=T_{OB}\cos\alpha+T_{OC}\sin\theta$，得 $T_{OA}=\dfrac{mg\cos^2\theta\cdot\cos\alpha}{\sin\alpha}+mg\sin\theta\cos\theta$，整理得 $T_{OA}=\dfrac{mg\cos\theta\cos(\theta-\alpha)}{\sin\alpha}$，可见在 θ 增大的过程中，绳 OA 受到的拉力不是一直增大，D 错误.

15. D **突破点** ▸合成法、正交分解法

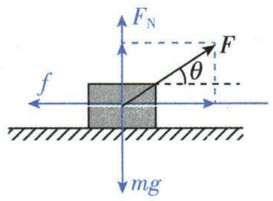
【解析】人缓慢搬起重物（**关键点：**任何一个时刻都可以看成平衡状态）的过程中，脚掌受到竖直向上的弹力与人和重物的总重力大小相等，A 错误；设大腿骨、小腿骨对膝关节的作用力大小为 F_1，则它们之间的夹角为 θ，F 即为合力，受力分析如图所示，则有 $2F_1\cos\dfrac{\theta}{2}=F$，脚掌所受地面竖直向上的弹力为 $F_N=F_1\sin\dfrac{\theta}{2}$，联立可得 $F=\dfrac{2F_N}{\tan\frac{\theta}{2}}$，人缓慢搬起重物的过程中，膝盖弯曲的角度 θ 变大，F 逐渐变小，B 错误；当 $\theta=60°$ 时，可得 $F=\dfrac{2F_N}{\tan\frac{60°}{2}}=2\sqrt{3}F_N$，当 $\theta=120°$ 时，可得 $F=$



$\frac{2F_N}{\tan\frac{120°}{2}}=\frac{2\sqrt{3}F_N}{3}$，C 错误，D 正确.

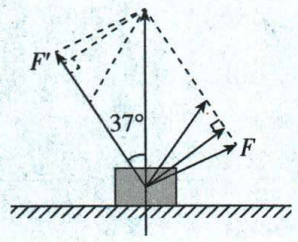
16. BCD 突破点▸正交分解法、全反力

【解析】对书箱进行受力分析如图，根据平衡条件有 $\mu(mg-F\sin\theta)=F\cos\theta$，整理得 $F=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\frac{3mg}{4\cos\theta+3\sin\theta}$，



$f=F\cos\theta=\frac{3mg}{4+3\tan\theta}$，当 θ 增大时，f 减小，A 错误；将 F 表达式整理得 $F=\frac{3mg}{4\cos\theta+3\sin\theta}=\frac{3mg}{5\left(\frac{4}{5}\cos\theta+\frac{3}{5}\sin\theta\right)}=\frac{3mg}{5\sin(53°+\theta)}$，所以将 θ 从 30°逐渐增大到 60°的过程中 $\sin(53°+\theta)$ 先增大再减小，F 先减小后增大，当 $\theta=37°$ 时，F 最小，最省力，B、C 正确；地面对书箱的作用力为支持力与摩擦力的合力，即 $F'=\sqrt{f^2+F_N^2}=\sqrt{F^2\cos^2\theta+(mg-F\sin\theta)^2}$，$\theta$ 增大，$\sin\theta$ 增大，$\cos\theta$ 减小，F' 一直减小，D 正确.

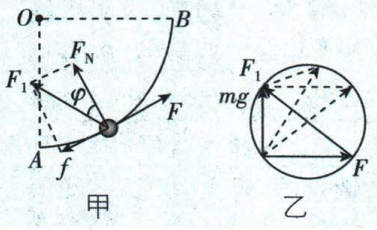
快解 可以先将支持力和摩擦力合成为一个力 F'，F' 的方向斜向左上方与竖直方向成 37°，如图所示，利用图解法可以得到 F' 一直减小，F 先减小后增大，$\theta=37°$ 时取得最小值.



17. C 突破点▸动态平衡问题、全反力

【解析】设小球的质量为 m，小球和圆心的连线与竖直方向的夹角为 θ，对小球，根据平衡条件得，$F_N=mg\cos\theta$，$F=mg\sin\theta+f$，$f=\mu F_N=\mu mg\cos\theta$，联立解得 $F=mg(\sin\theta+\mu\cos\theta)=mg\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\alpha)$，$\cos\alpha=\frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$，小球缓慢地由最低点 A 运动到最高点 B 的过程中，θ 从 0 逐渐增大到 90°，则 F_N 减小，当 $\theta+\alpha=90°$ 时，F 最大，则 F 先增大后减小，C 正确，A、B、D 错误.

一题多解 如图甲所示，小球所受支持力 F_N 与摩擦力 f 合力为 F_1，$\tan\varphi=\frac{f}{F_N}=\mu$，则 F_1 与 F 间夹角不变，小球可等效为受重力、F_1 和拉力 F 三个力作用，由图乙知，F 先增大后减小，F_1 减小，由 $F_N=F_1\cos\varphi$ 知，F_N 减小.

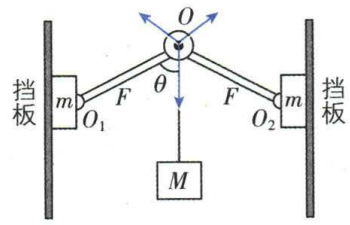


18. C 突破点▸细线断裂的临界和极值问题

【解析】该同学两手捏着细线缓慢向两边移动的过程中，钩码始终处于平衡状态，细线中拉力逐渐增大，但它们的合力始终等于钩码重力 G，故细线对钩码的作用力大小不变，A、B 错误；细线断裂时，细线中拉力为最大值，设此时细线与竖直方向夹角为 θ，则 $2F\cos\theta=G$，根据几何关系可知 $\cos\theta=\frac{\sqrt{L^2-\left(\frac{d}{2}\right)^2}}{L}$，联立解得 $F=\frac{GL}{\sqrt{4L^2-d^2}}$，C 正确，D 错误.

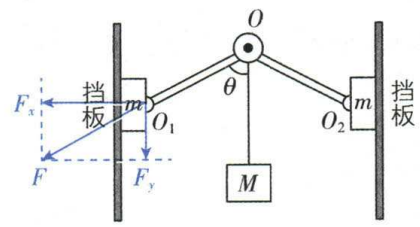
19. D 突破点▸含有活动杆的共点力平衡问题

【解析】设轻质硬杆的弹力大小为 F，与竖直方向夹角为 θ，对 O 点进行受力分析如图甲所示，



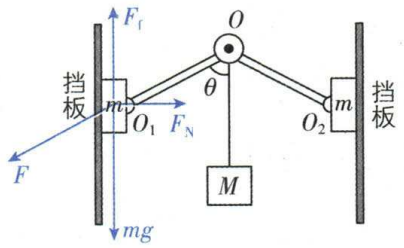
甲

有 $F_T=Mg$，故 $2F\cos\theta=Mg$，再将杆对木块的推力按照效果分解，如图乙所示，



乙

根据几何关系，有 $F_x=F\sin\theta$，联立解得 $F_x=\frac{Mg}{2}\tan\theta$，若挡板间的距离稍许减小后，$\theta$ 变小，F_x 变小，所以挡板与木块间的弹力变小，A 错误；若木块没有滑动，对整体受力分析，由平衡条件可知两挡板的摩擦力之和与整体的重力平衡，即 $2F_f=(2m+M)g$，若木块发生了相对滑动，则挡板与木块间的摩擦力由静摩擦力转变为滑动摩擦力（易错点：挡板与木块之间可能发生相对滑动），B、C 错误；若木块没有滑动，对其中一个木块受力分析如图丙所示，



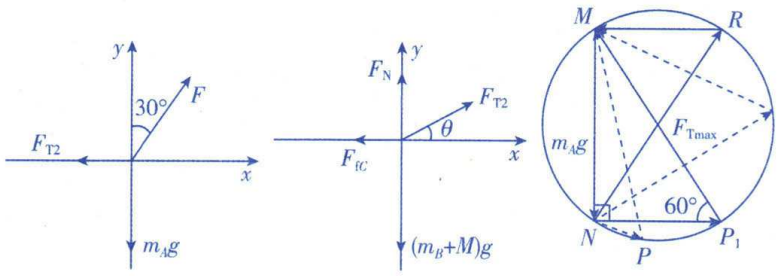
丙

竖直方向上，$F_f=mg+F\cos\theta$，联立解得 $F_f=\frac{1}{2}(M+2m)g$，由于 $F_f\leqslant\mu F_x$，则 $\mu\geqslant\frac{2m+M}{M\tan\theta}$，即木块与挡板间动摩擦因数至少为 $\frac{2m+M}{M\tan\theta}$，D 正确.

20. AC 突破点▸轻绳拉力的极值问题、辅助圆法

【解析】开始时，对 B 受力分析知，受重力、拉力、支持力、摩擦力，合力为零，拉力为 $T=m_Ag$，B 所受摩擦力大小为 $f_B=mg\sin30°-T$，联立解得 $f_B=5$ N，A 正确；OA 水平时，物块 A 的受力示意图如图甲所示，有 $F_{T2}=m_Ag\tan30°$，解得 $F_{T2}=\frac{10\sqrt{3}}{3}$ N，B 错误；OA 水平时，以 B、C 作为整体，其受力示意图如图乙所示，有 $F_N=(m_B+M)g-F_{T2}\sin30°$，解得 $F_N=\left(70-\frac{5\sqrt{3}}{3}\right)$ N，C 正确；

物块 A 在重力、拉力 F 和轻绳张力 F_T 作用下始终处于平衡状态，所以三个力的合力等于零，根据三角形定则，这三个力通过平行移动可以构成一个闭合的矢量三角形，如图丙所示，在 $\triangle PMN$ 中，MN 对应重力，NP 对应拉力 F，PM 对应轻绳张力 F_T，拉力 F 与轻绳张力 F_T 之间的夹角保持 120°不变，即 $\angle MPN$ 保持 60°不变，满足此关系的几何图形是 $\triangle PMN$ 的外接圆，P 为动点，当 P 移动到 P_1 点时经过圆直径，这时 PM 对应轻绳张力 F_T 最大，有 $F_{Tmax}=\dfrac{m_Ag}{\sin 60°}=\dfrac{20\sqrt{3}}{3}$ N，D 错误.



甲　　乙　　丙

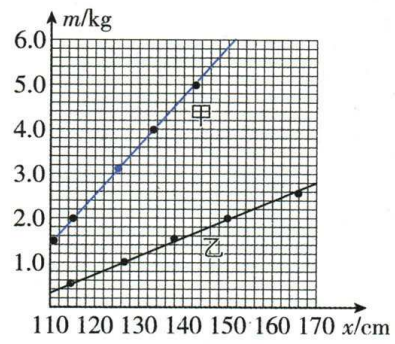
实验 1　探究弹簧弹力与形变量的关系
探究两个互成角度的力的合成规律

刷实验

1. (3) 124.15(124.14～124.16 均可)　图见解析　9.1(8.9～9.5 均可)　(4) 甲

考查点▸探究弹簧弹力与形变量之间的关系的实验操作

【解析】(3) 弹力带甲下端 P 对应的刻度值读数为 $L=124.15$ cm(**易错点**：注意估读)；弹力带甲的 $m-x$ 图像如图所示，



由此可知，在弹力带甲的弹性限度内，每增加 1 kg 的杠铃片，稳定后 P 下降 $\Delta x=\dfrac{150-110}{5.8-1.4}$ cm≈9.1 cm.

(4) 设弹力带的原长为 x_0，则 $mg=k(x-x_0)$，整理得 $m=\dfrac{k}{g}x-\dfrac{k}{g}x_0$(**关键点**：找出对应的函数关系式)，可知 $m-x$ 图像斜率越大，弹力带的劲度系数越大，由答图可知弹力带甲图像的斜率较大，弹力带甲的劲度系数较大，相同拉力下，形变量小，若要增大力量训练强度，应选用弹力带甲.

关键点拨　对于图像类问题，处理数据时，找出对应的函数关系式，明确斜率和截距的含义.

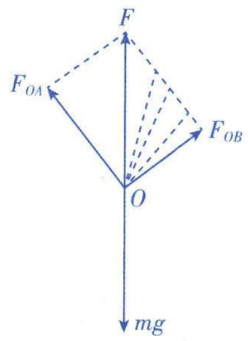
2. (1) C　(2) $\dfrac{F_1}{l_1}=\dfrac{F_2}{l_2}=\dfrac{F}{l}$　(3) 变大

考查点▸验证力的平行四边形定则的原理和实验步骤

【解析】(1) 实验中研究的是结点 O 的受力情况，无需两侧杆保持竖直状态，A 错误；两绳之间的夹角可以适当大些(**关键点**：两绳之间夹角在 60°～120°之间)，便于作图，减小实验误差，但并非越大越好，B 错误；记录细绳方向时，应选取相距较远的两点，有利于作出力的图示，便于减小误差，C 正确；不论结点在任何位置，平衡时，其他两个力的合力总是与第三个力是一对平衡力，故结点的位置可以不同(**易错点**：注意此实验原理与教材中实验不同)，D 错误.

(2) 根据三角形相似，对应边成比例，可得若在误差允许的范围内，满足 $\dfrac{F_1}{l_1}=\dfrac{F_2}{l_2}=\dfrac{F}{l}$，则能够证明力的合成遵循平行四边形定则.

(3) 作出结点 O 受力情况如图所示(**关键点**：F_{OA} 与 F_{OB} 的合力与 mg 等大反向)，



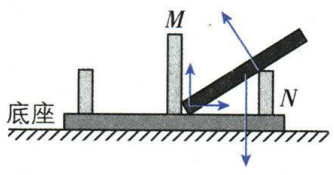
若将 OB 绕 O 点在纸面内逆时针缓慢转动一小角度，OB 与竖直方向夹角减小，可看出绳子 OB 上的拉力将变大.

全章素养提升

刷情境

1. D　**创新点**▸整体法与隔离法

【解析】对砧板受力分析如图所示，砧板至少受到重力，M、N 对砧板的弹力，可能还受到底座的支持力，故砧板可能受 3 个或 4 个力作用，A 错误；对整体受力分析可知，整体受重力和桌面的支持力，故置物架与桌面间不存在摩擦力(**易错点**)，B 错误；若仅将 M 与 N 之间的距离调小或调大，砧板仍受力平衡，置物架对砧板的作用力与砧板的重力始终等大反向，则置物架对砧板的作用力将不变，C 错误，D 正确.



2. C　**创新点**▸正交分解法

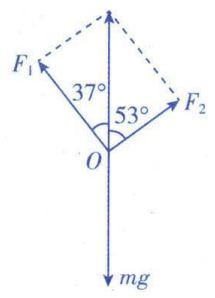
【解析】由平衡条件可知 $N\cos 53°=F\cos 37°$，$G+F\sin 37°=N\sin 53°$，联立解得 $N=120$ N，故选 C.

3. D　**创新点**▸正交分解法解共点力平衡

【解析】由分析知，当 B 恰好能相对 A 沿接触面上滑时，对应的 F 最小. 对 A、B 进行受力分析易得，对 B 在竖直方向有 $N_{AB}\cos 45°=f\cos 45°+mg$，对 A 在水平方向有 $N_{BA}\sin 45°+f'\cos 45°=F$，根据牛顿第三定律可得 $N_{AB}=N_{BA}$，$f=f'$，又 $f=\mu N_{AB}=\mu N_{BA}$，联立解得 $F=\dfrac{1+\mu}{1-\mu}mg$，故选 D.

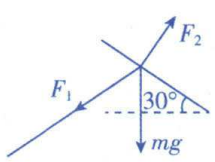
4. A　**创新点**▸合成法

【解析】由对称性，绳 AO、BO 拉力大小相等，绳 CO、DO 拉力大小相等，设绳 AO、BO 拉力的合力大小为 F_1，F_1 沿 $\angle AOB$ 的角平分线，CO、DO 拉力的合力大小为 F_2，F_2 沿 $\angle COD$ 的角平分线(**关键点**：两等大且不共线的分力，合力在角平分线上)，对 O 点受力分析如图所示，由几何关系，有 $F_1=mg\sin 53°=480$ N，$F_2=mg\sin 37°=360$ N，又 $F_1=2F_A\cos\dfrac{106°}{2}$，$F_2=2F_C\cos\dfrac{74°}{2}$，解得 $F_A=400$ N，$F_C=225$ N，A 正确.

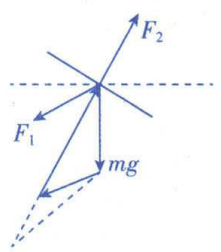


5. BC 创新点▸动态平衡问题、风筝节

【解析】风对风筝的作用力垂直于风筝面，斜向右上方，若风筝线与水平方向夹角为 30°，则线与竖直方向夹角为 60°，对风筝进行受力分析，如图甲所示，沿风筝面，有 $F_1\cos\ 60°=mg\cos\ 60°$，即 $F_1=mg$，垂直于风筝面 $F_2=F_1\sin\ 60°+mg\sin\ 60°=\sqrt{3}mg$，A 错误，B 正确；若风速缓慢增大，则风对风筝的作用力 F_2 增大，作出矢量动态三角形，如图乙所示. 由图乙可知，若风速缓慢变大，则线与水平方向夹角变大，线上的拉力也增大，C 正确，当线与水平方向夹角达到 60°时风筝无法平衡，D 错误.



甲



乙

刷真题

1. B 命题点▸胡克定律

【解析】根据胡克定律的推论 $\Delta F=k\cdot\Delta x$ 得 $3k\cdot\Delta x=mg$，代入数据解得 $k=\dfrac{mg}{3\Delta x}=\dfrac{300\times10^{-3}\times10}{3\times1.0\times10^{-2}}\ \text{N/m}=100\ \text{N/m}$，B 正确.

2. C 命题点▸摩擦力、平衡力

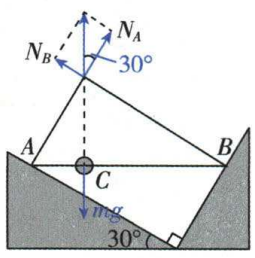
【解析】墨条相对于砚台水平向左运动，砚台对墨条有向右的摩擦力，A 错误；根据牛顿第三定律知，墨条对砚台有向左的摩擦力，砚台处于平衡状态，故桌面对砚台有向右的摩擦力，B 错误；砚台处于平衡状态，水平方向只受桌面和墨条对其的摩擦力，故这两个力是一对平衡力，C 正确；桌面对砚台的支持力等于砚台的重力与墨条对砚台的压力之和，故桌面对砚台的支持力与墨条对砚台的压力不是一对平衡力，D 错误.

3. D 命题点▸力的合成、共点力平衡、作用力与反作用力、超重和失重

【解析】运动员举起杠铃稳定时受力平衡，双臂所受杠铃作用力的合力的大小等于杠铃的重力大小，与双臂的夹角无关，A 错误；杠铃的重力为 $G=mg=121\times10\ \text{N}=1\ 210\ \text{N}$，设手臂与竖直方向夹角为 θ，根据平衡条件可知 $2F\cos\theta=G$，因为 $\cos\theta<1$，故杠铃对每只手臂的作用力 $F>605\ \text{N}$，B 错误；杠铃对手臂的压力和手臂对杠铃的支持力是一对相互作用力，C 错误；加速举起杠铃，人和杠铃构成的系统有向上的加速度，系统处于超重状态，故地面对人的支持力大于人与杠铃的总重力，D 正确.

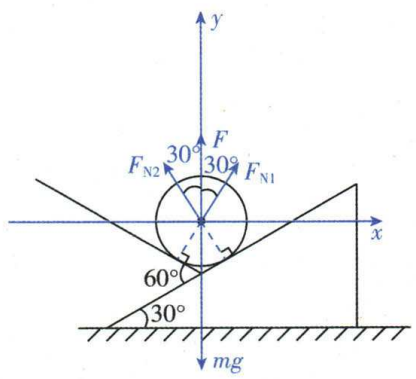
4. B 命题点▸共点力作用下物体的平衡

【解析】对细杆和小球组成的系统进行受力分析，如图，设左侧斜面对杆 AB 支持力的大小为 N_A，由平衡条件有 $N_A=mg\cos\ 30°$，解得 $N_A=\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$，B 正确.



5. A 命题点▸共点力作用下的物体静态平衡

【解析】对球体受力分析如图所示：



正交分解列方程，x 轴方向：$F_{N1}\sin\ 30°=F_{N2}\sin\ 30°$，$y$ 轴方向：$F_{N1}\cos\ 30°+F_{N2}\cos\ 30°+F=mg$，联立方程解得 $F_{N1}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\ \text{N}$，A 正确.

6. D 命题点▸受力平衡

【解析】设月球表面对探测器每条腿的支持力大小均为 F，对“嫦娥五号”受力分析，如图所示，有 $4F=\dfrac{1}{6}mg$，则有 $F=\dfrac{1}{24}mg$，由牛顿第三定律可知，每条腿对月球表面的压力大小为 $\dfrac{1}{24}mg$，D 正确.



7. B 命题点▸力的合成与分解

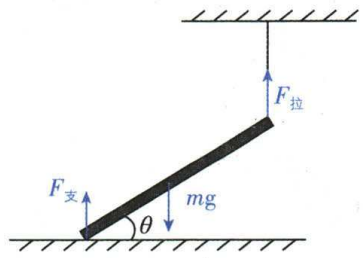
【解析】设缆绳对货船 S 的拉力为 T，对货船 S，有 $2T\cos\ 30°=f$，解得 $T=\dfrac{f}{\sqrt{3}}$，对拖船 P，设沿速度方向动力分量为 F_x，垂直速度方向动力分量为 F_y，则有 $F_x=f+T\cos\ 30°=\dfrac{3}{2}f$，$F_y=T\sin\ 30°=\dfrac{\sqrt{3}}{6}f$，每艘拖船提供的动力设为 F，则 $F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=\dfrac{\sqrt{21}}{3}f$，B 正确.

8. D 命题点▸共点力的平衡

【解析】设细线 b 与竖直方向的夹角为 α，对小球 A 受力分析，由平衡条件得 $T_b\sin\ \alpha=mg\cos\ \theta$，$mg=T_b\cos\ \alpha+mg\sin\ \theta$，解得 $T_b=0.5\ \text{N}$，对小球 A、B 整体分析，由平衡条件得 $T_a=2mg=1\ \text{N}$，D 正确.

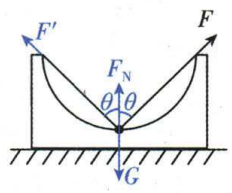
9. D 命题点▸受力平衡

【解析】对钢管受力分析如图所示，若地面对钢管有摩擦力，则钢管水平方向受力不平衡，故地面对钢管左端的摩擦力大小为 0，D 正确.



10. B 命题点▸共点力平衡

【解析】如图所示为小球受力分析图，其中 $F=F'$（点拨：绳上拉力处处相等），内壁截面为半圆形，由几何关系得 $\theta=45°$，则 $F\cos\ \theta+F'\cos\ \theta+F_N=G$，当 $F_N=0$ 时，F 有最大值，为 $F_m=\dfrac{\sqrt{2}}{2}G$，B 正确.



第3章　运动和力的关系

第1节　牛顿第一定律　牛顿第二定律

刷基础

1. A　**命题点**▸单位制

【解析】由电功 $W=Pt$ 可知，W·h 是能量的单位，A 正确.

2. AC　**考查点**▸伽利略的理想实验

【解析】该实验完全是理想实验，是在思维中进行的，同时是以真实的斜面实验为基础（**关键点：**该理想实验在实验的基础上进行推导），A 正确；如果斜面粗糙，小球会有能量损失，将不能上升到与释放点等高的位置，B 错误；该实验中，不受阻力的情况，物体一直运动下去，说明物体的运动不需要力来维持，C 正确，D 错误.

关键点拨　理想实验：它是在经验事实基础上采用科学的抽象思维来展开的实验，是人们在思想上塑造的理想过程. 牛顿第一定律是通过理想斜面实验得出的，它不能由实际的实验来验证.

3. D　**考查点**▸惯性

【解析】物体惯性的大小只与物体的质量有关，质量是物体的固有属性，与物体所处的位置无关，则在不同的位置，质量相同，惯性一样大，D 正确.

关键点拨　质量是决定惯性大小的唯一量度.

4. C　**考查点**▸牛顿第一定律、惯性、弹力

【解析】物体的惯性只由质量决定，与物体的速度无关，A 错误；球被打飞回去，是因为力是改变物体运动状态的原因，B 错误；球拍对球的弹力，是因为球拍发生弹性形变而产生的，C 正确；若球拍没有击打球，由于球仍受重力作用（**易错点：**分析受力注意考虑全面），所以球不会保持原来的运动状态不变，D 错误.

5. D　**考查点**▸牛顿第一定律的理解

【解析】沙石被冲走与沙石是否可以视为质点无关，A 错误；有力作用在物体上，物体不一定运动，如物体所受合力为零的时候，没有力作用在物体上，物体也不一定不动（**易错点：**没有力，物体可以做匀速直线运动），B 错误；“大石不移”（**关键点：**不移则大石处于静止状态）是因为水的冲力等于大石受到的阻力，大石所受的合外力为零，C 错误，D 正确.

6. A　**考查点**▸牛顿第二定律的简单应用

【解析】设小物块的质量为 m，物块受拉力和摩擦力的作用，则由牛顿第二定律可得 $F-f=ma$，当 F 加倍后，有 $2F-f=ma'$（**关键点：**滑动摩擦力 $f=\mu N$，大小不变），代入数据解得 $a'=2a+\frac{f}{m}>2a=6\ \mathrm{m/s^2}$，A 正确.

7. A　**考查点**▸安全带、牛顿第二定律

【解析】摆锤向左摆动，受沿杆方向拉力和重力的作用，故摆锤合力向右，加速度向右，因摆锤摆动的方向和车的前进方向相同，可知汽车加速度向右，与速度方向相反（**关键点：**初速度和加速度方向相反，汽车做减速运动），即汽车向前减速，A 正确.

8. C　**考查点**▸牛顿第二定律的理解和应用

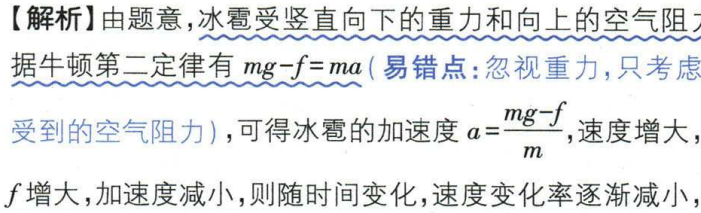
【解析】小球受重力和杆的弹力的作用，小球和小车一起在水平方向上以加速度 a 向右运动，由牛顿第二定律，小球所受到的合力水平向右，即重力和杆的作用力，合力水平向右，由力的合成法则，可得杆的弹力可能沿着 OC 方向（**关键点：**定杆问题，杆的力不一定沿杆），沿着其他方向时，由平行四边形定则分析，可得合力都不可能水平向右，A、B、D 错误，C 正确.

9. A　**考查点**▸牛顿第二定律的简单应用

【解析】设每根钢丝绳的拉力为 F，由题意可知每根钢绳与竖直方向的夹角均为 60°，根据牛顿第二定律，在竖直方向有 $4F\cos 60°-mg=ma$，代入数据解得 $F=1.2\times10^4$ N，故选 A.

10. BC　**考查点**▸牛顿运动定律与图像结合

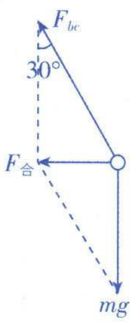
题图剖析



【解析】当 F 大于 F_2 以后，由牛顿第二定律得 $F\cos 53°-\mu(F\sin 53°-mg)=ma$，因为加速度保持不变，即 a 与 F 无关，所以有 $F\cos 53°=\mu F\sin 53°$，解得 $\mu=0.75$，$a_2=7.5\ \mathrm{m/s^2}$，B、C 正确；当 F 等于 F_1 时，有 $F_1\cos 53°=\mu(mg-F_1\sin 53°)$，解得 $F_1=5$ N，A 错误；当 F 等于 F_2 时，加速度恰好达到恒定值，此时有 $F_2\sin\theta=mg$，解得 $F_2=10$ N，D 错误.

11. C　**考查点**▸利用牛顿第二定律分析动态过程

【解析】当桶 c 随汽车匀速运动时，桶 c 受三个力而平衡，当桶 c 随汽车向左逐渐加速运动时，水平方向有向左的加速度，而竖直方向合力仍然为零，且三个力的方向都不变，重力的大小也不变，所以桶 a 对桶 c 的支持力逐渐减小，桶 b 对桶 c 的支持力逐渐增大，A、B 错误；当汽车向左加速运动的加速度增大到一定值时，桶 c 脱离桶 a，此时桶 a 对桶 c 的支持力恰好为零，桶 c 的受力情况如图所示，则 $F_{合}=mg\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$，此时桶 c 的加速度大小为 $a_0=\frac{F_{合}}{m}=\frac{\sqrt{3}}{3}g$，汽车的加速度与桶 c 的加速度相同，也为 $\frac{\sqrt{3}}{3}g$，即当汽车向左运动的加速度大小 $a_0>\frac{\sqrt{3}}{3}g$ 时，桶 c 脱离桶 a，可能运动到桶 b 的右边，C 正确，D 错误.



12. A　**考查点**▸用牛顿第二定律分析加速度

【解析】由题意，冰雹受竖直向下的重力和向上的空气阻力，根据牛顿第二定律有 $mg-f=ma$（**易错点：**忽视重力，只考虑冰雹受到的空气阻力），可得冰雹的加速度 $a=\frac{mg-f}{m}$，速度增大，阻力 f 增大，加速度减小，则随时间变化，速度变化率逐渐减小，冰雹的加速度的变化率也逐渐减小，冰雹做加速度减小的加速运动；直到加速度减小到零，冰雹做匀速直线运动，A 正确.

易错警示　**忽视牛顿第二定律中的力为合力致错**

本题中，容易忽视应用牛顿第二定律时，力为合力，而误认为阻力产生加速度，从而误认为阻力增大，加速度增大，而错选 B 或 C.

第 2 节　牛顿运动定律的基本应用

刷基础

1. A　考查点：牛顿第二定律的图像问题

【解析】对物体受力分析，根据牛顿第二定律可得 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$（突破点：受力分析，求合力，找加速度），解得 $a=\mu g\cos\theta-g\sin\theta$，加速度恒定，A 正确，B 错误；物块做加速度恒定的减速运动，所以 $v-t$ 图像斜率不变（关键点：$v-t$ 图像斜率代表加速度），C 错误；滑块做匀减速直线运动，速度不断减小，则 $x-t$ 图像切线的斜率不断减小，D 错误.

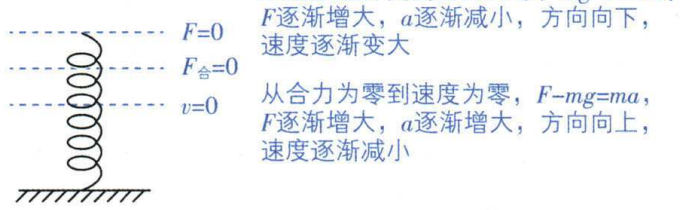
2. C　考查点：牛顿第二定律、竖直上抛运动、频闪照相技术

【解析】设每块砖的厚度为 d，小球向上运动时加速度为 a，向下运动时加速度为 a'，小球向上运动时，由位移差公式可得 $7d-3d=aT^2$，小球向下运动时，由位移差公式可得 $5d-3d=a'T^2$，联立可得 $\frac{a}{a'}=\frac{2}{1}$，由牛顿第二定律，向上运动时，$mg+f=ma$，向下运动时 $mg-f=ma'$（关键点：向上和向下运动时，阻力大小相同，方向相反），联立解得小球受到的阻力大小约为 $f=\frac{1}{3}mg$，C 正确.

关键点拨　向上运动时，小球受到的阻力向下，合力大小为重力大小和阻力大小的和，向下运动时，小球受到的阻力向上，合力大小为重力大小与阻力大小的差.

3. D　考查点：胡克定律、利用牛顿第二定律分析动态过程

题图剖析　物块接触弹簧后，开始受到向上的弹力作用



【解析】物块从接触弹簧到压缩至最短的过程中，开始时重力大于弹簧弹力，合力向下，随着弹簧压缩量增大，弹力增大，合力减小，加速度减小，当弹力大小等于重力大小时，加速度为零，速度达到最大（关键点：速度最大时，合力和加速度均为零）；之后弹力大于重力，合力向上，且随着弹簧压缩量继续增大，合力增大，加速度增大，所以加速度大小是先减小后增大，A 错误；从接触弹簧到压缩至最短的过程中，弹性势能一直增大，由系统的机械能守恒，可得物块的机械能一直减小，B 错误；速度最大时，弹簧压缩量 $x=0.1\ \text{m}$，对物块，由平衡条件有 $mg=kx$，代入题中数据得弹簧的劲度系数 $k=30.0\ \text{N/m}$，C 错误；弹簧压缩量为 $x_1=0.2\ \text{m}$ 时，由牛顿第二定律得 $kx_1-mg=ma$，代入数据解得加速度大小 $a=10\ \text{m/s}^2$，D 正确.

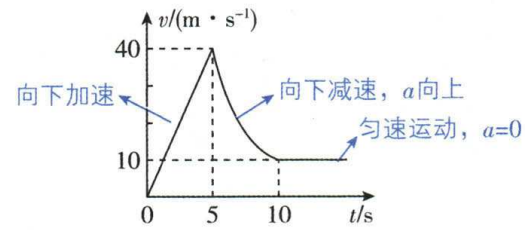
关键点拨　小球下落过程中，先做加速度减小的加速运动，加速度减小到零时，速度最大，再做加速度增大的减速运动，直到速度为零.

4. A　考查点：含弹簧的斜面连接体问题

【解析】设物体重力为 mg，当箱子处于静止状态时，物体恰好静止不动，弹簧的伸长量为 x，由胡克定律和平衡条件得 $kx=mg\sin\alpha$，使箱子水平向右做匀减速直线运动，加速度水平向左，设加速度为 a，在沿斜面方向根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\alpha-kx'=ma\cos\alpha$（关键点：分解加速度，找沿斜面方向的分加速度），可知 $x'<x$，A 正确；使箱子做自由落体运动，对物块受力分析，合力为重力，可知弹簧处于原长，B 错误；使箱子竖直向上做匀加速直线运动，设加速度为 a，在沿斜面方向，根据牛顿第二定律可得 $kx'-mg\sin\alpha=ma\sin\alpha$，可知 $x'>x$，C 错误；给物体 m 施加竖直向下的外力，对物体沿斜面方向受力分析，可得弹簧弹力增大，弹簧伸长量变大，D 错误.

5. BC　考查点：超重和失重、$v-t$ 图像

题图剖析



【解析】$v-t$ 图像的斜率代表加速度，可知 0~5 s 内的加速度大小为 $a=\frac{40}{5}\ \text{m/s}^2=8\ \text{m/s}^2<g=10\ \text{m/s}^2$，则伞兵不是处于完全失重状态（关键点：完全失重状态下，$a=g$），A 错误；根据 $v-t$ 图像可知，0~5 s 内伞兵通过的位移大小为 $x=\frac{1}{2}\times40\times5\ \text{m}=100\ \text{m}$，B 正确；5~10 s 内，伞兵向下减速运动，加速度向上，处于超重状态，C 正确；根据 $v-t$ 图像的切线斜率表示加速度，可知 5~10 s 内，伞兵的加速度逐渐减小，则伞兵受到的合力越来越小，D 错误.

关键点拨　超重、失重和完全失重的对比

超重	失重	完全失重
物体的加速度向上	物体的加速度向下	物体竖直向下的加速度等于 g
运动情况：加速上升或减速下降	运动情况：加速下降或减速上升	运动情况：自由落体运动、竖直上抛运动等

6. C　考查点：$a-t$ 图像、加速度传感器

【解析】$a-t$ 图像中图像与坐标轴所围成的面积表示速度的变化量，$t_1\sim t_3$ 时间内速度一直增加，所以手机一直加速，A 错误；由图可知，t_3 时刻后加速度方向向下，为失重状态，速度方向向上，所以向上做减速运动，t_3 时刻还没有达到最高点（易错点：速度减为零的时刻到达最高点，而不是加速度为零的时刻），B 错误；对手机进行受力分析可知，$t_2\sim t_3$ 时间内，由牛顿第二定律有 $F_N-mg=ma$，该段时间内，a 逐渐减小，因此支持力 F_N 逐渐减小，C 正确；在 $t_2\sim t_4$ 时间内，手机加速度先向上后向下，则手机先处于超重状态后处于失重状态，D 错误.

7. C　考查点：共点力平衡、瞬时突变问题

【解析】对灯笼受力分析，可得弹簧和轻绳拉力大小相同，有 $2T\sin60°=mg$，得到 $T=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$，A、B 错误；剪断轻绳瞬间，弹簧弹力不会瞬间突变（关键点：弹簧弹力不会突变，绳子弹力会突变），所以弹簧弹力与重力的合力与轻绳的拉力等大反向，则瞬时加速度为 $a=\frac{T}{m}=\frac{\sqrt{3}}{3}g$，C 正确，D 错误.

方法总结 **求解瞬时加速度问题的一般思路**

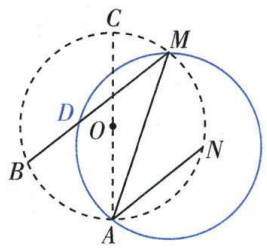
(1)分析初始状态受力情况;

(2)分析瞬时变化后,哪些力变化,哪些力不变;

(3)受力分析,根据牛顿第二定律列式;

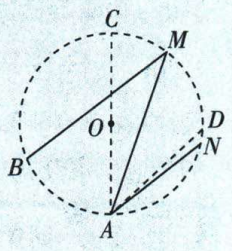
(4)分析加速度.

8. BC 考查点 ▸等时圆模型



【解析】滑环从 M 点到达 B 点和 A 点的过程,$MA=MB$,位移相同,加速度大小关系为 $a_{MB}<a_{MA}$,由速度位移公式 $v^2=2ax$,可得 $v_1<v_2$,A 错误;设 MA 与竖直方向的夹角为 α,圆周的直径为 d,根据牛顿第二定律得:滑环的加速度为 $a=\dfrac{mg\cos\alpha}{m}=g\cos\alpha$,滑杆的长度为 $s=d\cos\alpha$,则根据 $s=\dfrac{1}{2}at_2^2$,得 $t_2=\sqrt{\dfrac{2d}{g}}$,对 NA,同理可得 $t_2=t_3=\sqrt{\dfrac{2d}{g}}$,过 A 点作以 M 点为最高点,取合适的竖直直径的圆,如图所示,可知从 M 点滑到 A、D 两点的时间相同,则从 M 点滑到 B 点的时间大于 A 点,即 $t_1>t_2$,B、C 正确,D 错误.

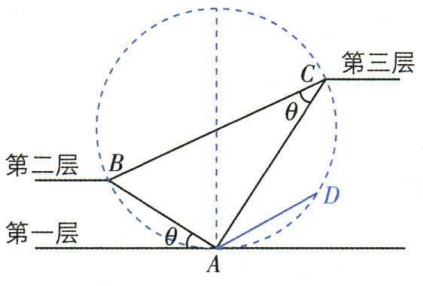
一题多解 A 选项也可以用动能定理(或是机械能守恒定律)分析,设下降的高度为 h,由动能定理得 $mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$,解得 $v=\sqrt{2gh}$,由于滑环从 M 点到达 B 点下降的高度小,故 $v_1<v_2$.



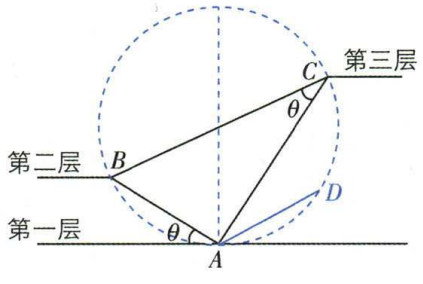
B、C、D 选项,分析时间时,过 A 点与 BM 平行的弦 AD,设小球沿弦 AD 下落所需时间为 t_4,由等时圆可得,$t_2=t_3=t_4$,又沿 BM 与沿 AD 下落的加速度相同,但 $BM>AD$,故 $t_1>t_4$,得 $t_1>t_2=t_3$.

9. D 考查点 ▸等时圆模型

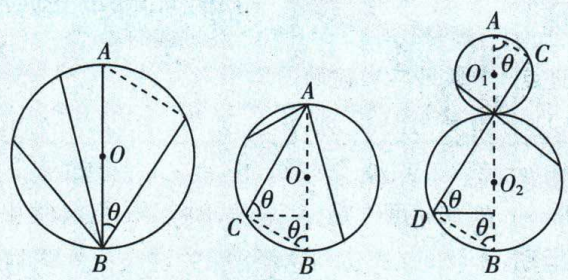
题图剖析 构建一个圆,做 BC 的平行线 AD,由等时圆模型,$t_{BA}=t_{CA}=t_{DA}$,再对比从 C 到 B 和 D 到 A 的时间,$t_{CB}>t_{DA}$.



【解析】如图,以 ABC 三点构建一个竖直面内的圆,A 为圆与第一层水平面的切点,由题可知弦切角等于圆周角,所以 A 为最低点,AB、AC 为圆的两条弦,根据等时圆知识可知 $t_{BA}=t_{CA}=t_{DA}$,又 $t_{CB}>t_{DA}$,则有 $t_{BA}=t_{CA}<t_{CB}$,D 正确.



关键点拨 **等时圆模型**



(1)质点从竖直圆环上沿不同的光滑弦上端由静止开始滑到圆环的最低点所用时间相等;

(2)质点从竖直圆环上最高点沿不同的光滑弦由静止开始滑到下端所用时间相等;

(3)两个竖直圆环相切且两环的竖直直径均过切点,质点沿不同的光滑弦从上端由静止开始滑到下端所用时间相等.

10. BD 考查点 ▸系统的牛顿第二定律

【解析】以小木块为研究对象,根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta=ma$,可得小木块的加速度大小为 $a=g\sin\theta$,方向沿斜面向下;以斜面体和小木块整体为研究对象,根据牛顿第二定律(关键点:对整体用牛顿第二定律),竖直方向有 $(m+M)g-N_{地}=ma\sin\theta=mg\sin^2\theta$,可得 $N_{地}=(m+M)g-mg\sin^2\theta<(m+M)g$,水平方向有 $f_{地}=ma\cos\theta=mg\sin\theta\cos\theta=0.5mg\sin 2\theta$,B、D 正确.

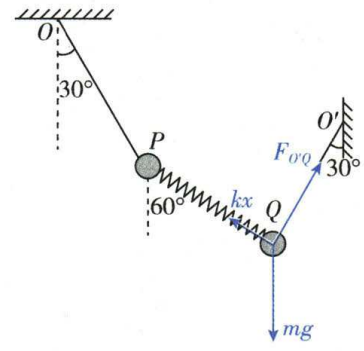
方法总结 系统所受合外力等于各部分质量与各部分加速度乘积的矢量和,即:$F_{合}=m_1a_1+m_2a_2+m_3a_3+\cdots$(注意 F 与 a 都是矢量).

11. ABD 考查点 ▸加速度不同的连接体问题、系统的牛顿第二定律

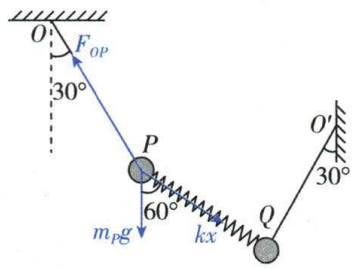
【解析】由图乙可知,加速度为 a_0 时,弹簧形变量 x 为 0,即此时弹簧处于原长,对 A、B 整体分析有 $(m_A+m_B)g\tan\theta=(m_A+m_B)a_0$,解得 $a_0=7.5\ \mathrm{m/s^2}$,故 A 正确;根据图乙,加速度为 0 时,弹簧压缩量为 $x_0=3.6\times10^{-2}\ \mathrm{m}$,$A$、$B$ 处于平衡状态,对 A、B 整体分析有 $(m_A+m_B)g\sin\theta=kx_0$,根据图乙可知,加速度大于 a_0 时,弹簧处于拉伸状态,此时 A、B 分离,对 A 进行分析有 $N_1\cos\theta=kx\sin\theta+m_Ag$,$N_1\sin\theta+kx\cos\theta=m_Aa$,解得 $x=\dfrac{4m_A}{5k}a-\dfrac{3m_Ag}{5k}$,结合图乙有 $-\dfrac{3m_Ag}{5k}=-1.2\times10^{-2}\ \mathrm{m}$,结合上述解得 $m_A=1\ \mathrm{kg}$,$m_B=2\ \mathrm{kg}$,故 B 正确,C 错误;结合上述可知,当 $a>a_0$ 时,A、B 分离,B 与斜面在垂直于斜面方向的分加速度相等,对 B 进行分析,则垂直于斜面方向上,根据牛顿第二定律有 $F_N-m_Bg\cos\theta=m_Ba\sin\theta$,结合上述解得 $F_N=16+1.2a\ (\mathrm{N})$,故 D 正确.

12. D 考查点 ▸共点力的平衡、瞬时加速度

【解析】静止状态下,对小球 Q 受力分析,如下图所示,



小球受竖直向下的重力、绳的拉力和弹簧的弹力，根据平衡条件可得 $F_{O'Q}=mg\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$，$kx=mg\sin 30°=\frac{1}{2}mg$，A、B 错误；对小球 P 受力分析，如下图所示，



可得 $kx\sin 60°=F_{OP}\sin 30°$，$m_Pg+kx\cos 60°=F_{OP}\cos 30°$，联立解得 $F_{OP}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$，$m_P=\frac{1}{2}m$，D 正确；若将弹簧剪断（**易错点：**弹簧剪断的瞬间，弹簧弹力消失），剪断瞬间 P 球的瞬时加速度的方向沿着与绳子垂直的方向，大小为 $a=\frac{m_Pg\sin 30°}{m_P}=\frac{1}{2}g$，C 错误.

易错警示 误认为剪断弹簧瞬间，小球受到的重力与绳子拉力的合力大小为剪断前弹簧的弹力的大小致错. 此类问题，需注意，剪断弹簧瞬间，弹簧的弹力减为零，绳子拉力发生突变，小球所受合力方向垂直于绳子向下.

刷提分

1. A **突破点** ▸瞬时突变问题

【解析】由于 a、b 两细线相互垂直，剪断细线 b 的瞬间（**易错点：**两线垂直，故剪断细线 b 瞬间，a 线拉力不变），小球的加速度大小为 5 m/s²，说明未剪断细线 b 时，细线 b 上的拉力大小为 $F_b=ma=5$ N，未剪断细线 b 时，根据平衡条件有 $F_a^2+F_b^2=(mg)^2$，解得 $F_a=5\sqrt{3}$ N，A 正确.

2. D **突破点** ▸牛顿第二定律

【解析】对物体受力分析，由牛顿第二定律可得，物体在拉力 F_1 的作用下，有 $F_1\cos 60°-\mu(mg-F_1\sin 60°)=ma_1$，物体在推力 F_2 的作用下，有 $F_2\cos 30°-\mu(mg+F_2\sin 30°)=ma_2$，其中 $F_1=F_2$，$a_1=a_2$，解得 $\mu=2-\sqrt{3}$，D 正确.

3. C **突破点** ▸加速度传感器、a-t 图像

【解析】重心最低时加速度向上且最大，可知 d 点为机器人起跳动作中重心最低点，A 错误；a-t 图像中图线与时间轴围成的面积表示速度的变化量，c 点位置图像总面积为负，速度增量为负，速度方向为负，机器人在向下运动，B 错误；d 点位置机器人以 20 m/s² 向上加速，由 $F-mg=ma$，解得 $F=1\ 200$ N，由牛顿第三定律可知其对地面压力大小为 1 200 N，C 正确；机器人开始离开地面时加速度应为 $-g$（**关键点：**离开地面时，地面支持力为零），故在 e 点机器人还没有开始离开地面，D 错误.

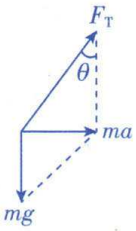
4. C **突破点** ▸牛顿第二定律的应用

【解析】小球从足够高处竖直下落的过程中，由于重力作用，先做加速运动，随着速度的增大，小球所受的阻力也增大，根据牛顿第二定律有 $mg-kv=ma$，可知小球的加速度逐渐减小（**关键点：**通过力的变化分析小球的运动情况），故小球做加速度逐渐减小的加速运动，当 $mg=kv$ 时，$a=0$，小球的速度达到最大，不再加速，此后小球做匀速直线运动，A 错误；由于 h-t 图像的斜率表示小球的速度，小球的速度应先增大后不变，即 h-t 图像的斜率应先越来越大后不变，B 错误；小球先做加速度逐渐减小的加速运动，后做匀速运动，C 正确；根据匀变速直线运动的位移公式 $v^2=2ah$，可知 v^2-h 图像的斜率表示小球加速度的 2 倍，由题意，小球的加速度一直减小，直到 $a=0$，则 v^2-h 图像的斜率应越来越小，最后为 0，D 错误.

5. C **突破点** ▸牛顿第二定律与运动学图像结合

【解析】根据图像可知，无人机在 3~4 s 内竖直向上做减速运动，加速度向下，处于失重状态，A 错误；v-t 图线斜率表示加速度，由图像可知第 1 s 内加速度大小 $a_1=\frac{4-0}{2-0}$ m/s²$=2$ m/s²，第 4 s 内的加速度大小 $a_2=\frac{4-0}{4-3}$ m/s²$=4$ m/s²，可知两时段加速度大小不等，B 错误；由图像可知前 2 s 内无人机做匀加速直线运动，设拉力大小为 F，则由牛顿第二定律有 $F-mg=ma_1$，代入数据得 $F=24$ N，C 正确；v-t 图像中图线与时间轴围成的面积表示位移，由图像可知 4 s 末无人机到达最高点（**关键点：**速度减为 0 时到达最高点），故上升的最大高度为 $h=\left(\frac{1+4}{2}\times 4\right)$ m$=10$ m，D 错误.

6. C **突破点** ▸牛顿第二定律的应用



【解析】对小球受力分析如图所示，根据牛顿第二定律可知 $mg\tan\theta=ma$，可知 $a=g\tan\theta$，方向水平向右，因为列车可能向右加速，也可能向左减速，A 错误；为中学生提供水平方向加速度的力是左侧车厢壁施加的弹力和摩擦力的合力，两者合力向右，但无法推出摩擦力一定向右，B 错误；中学生受到地铁施加的作用力与自身的重力作用，合力为 $Mg\tan\theta$，因此中学生受到地铁施加的作用力大小等于重力与 $Mg\tan\theta$ 的合力大小，为 $F=Mg\sqrt{1+\tan^2\theta}$，C 正确；由于两小球的质量和加速度均相同，它们的合力均为 ma，则细绳和轻杆对小球的作用力大小均为 $F'=\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}$，方向与竖直方向夹角均为 θ（**关键点：**杆对小球的作用力可以不沿杆），D 错误.

7. ABC **突破点** ▸系统的牛顿第二定律

【解析】剪断细绳前，以 a、b 为整体，竖直方向根据受力平衡可得 $N_{地}=(m_a+m_b)g$，剪断细绳的瞬间，由于 a 与 b 之间接触面光滑，则 b 相对 a 向下运动，b 具有竖直向下的分加速度，以 a、b 整体为研究对象，根据牛顿第二定律可得 $(m_a+m_b)g-N'_{地}=m_ba_{by}$（**关键点：**竖直方向上用牛顿第二定律分析质点系），可得 $N'_{地}<(m_a+m_b)g=N_{地}$，结合牛顿第三定律可知物块 a 对地面的压力一定减小，A 正确；剪断细绳前，以 b 为研究对象，设斜面倾角为 θ，垂直斜面方向根据受力平衡可得 $N=m_bg\cos\theta$，剪断细绳的瞬间，b 相对 a 向下运动，若 a 仍处于静止状态，以 b 为研究对象，则有 $N'=m_bg\cos\theta=N$，结合牛顿第三定律可知小物块 b 对物块 a 的压力不变；剪断细绳的瞬间，b 相对 a 向下运动，若 a 沿水平方向向左运动，则 b 具有沿斜面向下的分加速度 a_{bx} 和垂直斜面向下的分加速度 a'_{by}（**关键点：**分析 b 相对于地面的加速度情况）；以 b 为研究对象，垂直斜面方向根据牛顿第二定律可得 $m_bg\cos\theta-N''=m_ba'_{by}$，可得 $N''<m_bg\cos\theta=N$，结合牛顿第三定律可知小物块 b 对物块 a 的压力减小，B、C 正确，D 错误.

8. AC **突破点** ▸系统的牛顿第二定律

【解析】根据滑块恰好静止在斜面上可得 $mg\sin 30°=\mu mg\cos 30°$，所以 $\mu=\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}$，对滑块有 $F\cos 30°+mg\sin 30°-\mu(mg\cos 30°+$

$F\sin 30°)=ma$，解得 $a=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\ \mathrm{m/s^2}$，对整体在水平方向由牛顿第二定律有 $F\sin 30°-f_{地}=ma_x$，$a_x=a\sin 60°$，解得 $f_{地}=0$，A、C 正确，B 错误；同理对整体在竖直方向有 $(M+m)g-F_{地}+F\cos 30°=ma_y$，$a_y=a\cos 60°$，解得 $F_{地}=\left(30+\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\right)$ N，D 错误.

9. ABC 突破点 ▸整体法与隔离法解连接体问题

【解析】对 A、B、C 整体受力分析，摩擦力为 $f=\mu(m+2m+m)g=4\mu mg$，根据牛顿第二定律有 $F-f=(m+2m+m)a$，对 A 进行受力分析，根据平衡条件有 $F_{弹}-\mu mg=ma$，联立解得 $F_{弹}=\dfrac{F}{4}$，A 正确；A、B、C 三个物块保持相对静止，对 B 进行分析，可知，整体的最大加速度为 $a_{max}=\dfrac{\frac{\mu}{2}\cdot 2mg}{2m}=\dfrac{\mu g}{2}$，对 A、B、C 整体进行分析，根据牛顿第二定律有 $F_m-4\mu mg=(m+2m+m)\cdot a_{max}$，解得 $F_m=6\mu mg$，B 正确；在撤去水平推力的瞬间，弹簧对 A 的力不会发生突变，即在撤去水平推力的瞬间，A 的受力情况不变，即物体 A 的加速度不变，C 正确；在撤去水平推力的瞬间，对物块 B、C 整体进行受力分析，有 $F_{合}=3\mu mg+F_{弹}=3\mu mg+\dfrac{F}{4}=3ma$，则整体的加速度为 $a=\mu g+\dfrac{F}{12m}$，结合上述可知，物块 B 的最大加速度为 $a_{max}=\dfrac{\mu g}{2}<a$，所以，若撤去水平推力后，物块 B 和 C 不能保持相对静止，D 错误.

10. BD 突破点 ▸细绳或弹簧相连的连接体问题

【解析】由题可知，由于 P、Q 一起运动到最高点时恰好未分离，关键点 所以 P、Q 全程在做简谐运动，因此在最高点和最低点的加速度大小相同，方向相反，大小设为 a，则对于最低点，弹簧弹力 $F_{弹1}$ 和 P、Q 重力相等，即 $F_{弹1}=3mg$，设施加电场后，P 所受电场力大小为 F，则 $F=3ma$，在最高点，由于 P、Q 刚要分离，设此时弹簧弹力为 $F_{弹2}$，分别对 P 和 Q 进行分析，可得 $2mg-F=2ma$，$mg-F_{弹2}=ma$，联立解得 $F=1.2mg$，$a=0.4g$，$F_{弹2}=0.6mg$，又因为电场力 $F=qE$，解得匀强电场的场强大小为 $E=\dfrac{1.2mg}{q}$，A 错误；刚施加电场时，设 P、Q 间弹力大小为 N_1，以 P 为研究对象，则 $F+N_1-2mg=2ma$，解得 $N_1=1.6mg$，B 正确；物块 P 的速度达到最大时，P、Q 整体处于简谐运动平衡位置，即加速度为 0，设 P、Q 间弹力大小为 N_2，对 P 分析，有 $F+N_2-2mg=0$，解得 $N_2=0.8mg$，C 错误；从最低到最高点系统向上运动的位移为 $x=\dfrac{F_{弹1}}{k}-\dfrac{F_{弹2}}{k}=\dfrac{3mg}{k}-\dfrac{0.6mg}{k}=\dfrac{2.4mg}{k}$，系统机械能增加量等于电场力对系统做的功，即 $\Delta E=qEx=1.2mg\times\dfrac{2.4mg}{k}=\dfrac{2.88g^2m^2}{k}$，D 正确.

关键点拨 解答本题的关键在于认识到物块和弹簧组成的系统做简谐运动，根据简谐运动的对称性列出方程求出电场强度，进而求出物块的位移.

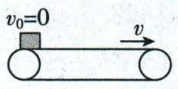
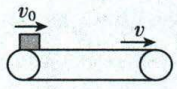
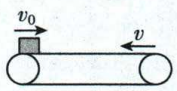
专题 4　牛顿运动定律的综合应用

刷难关

1. ACD 突破点 ▸水平传送带模型

【解析】当炭块从传送带右端滑离，根据 $L=v_0t-\dfrac{1}{2}at^2$，可知 v_0 和 a 一定，碳块通过传送带的时间一定，炭块的位移一定，划痕长度为 $\Delta x=vt+L$（关键点：传送带和炭块运动方向相反，则划痕的长度为传送带转动的距离和炭块位移大小之和，其中 vt 为传送带转动的距离），v 越大时，传送带上的划痕越长，A 正确；由上述分析可知，若 v 一定，v_0 越大，炭块通过传送带的时间越短，炭块的位移一定，传送带转动的距离变小，划痕越短，B 错误；当炭块从传送带左端滑离，在 $v_0>v$ 时（突破点：炭块先减速到 0，再反向加速到与传动带共速后匀速），炭块在传送带上的划痕长度 $x=\dfrac{v_0^2}{2a}+v\dfrac{v_0}{a}+v\dfrac{v}{a}-\dfrac{v^2}{2a}=\dfrac{v_0^2}{2a}+\dfrac{2vv_0}{2a}+\dfrac{v^2}{2a}=\dfrac{(v_0+v)^2}{2a}$，若 $v_0\leqslant v$（突破点：炭块先减速到 0，再反向加速到 v_0），划痕长度 $x=\dfrac{v_0^2}{2a}+v\dfrac{v_0}{a}+v\dfrac{v_0}{a}-\dfrac{v_0^2}{2a}=\dfrac{2vv_0}{a}$，$v$ 一定，v_0 越大，划痕越长，v_0 一定，v 越大，划痕越长，C、D 正确.

关键点拨 水平传送带模型

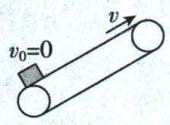
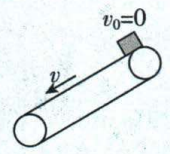
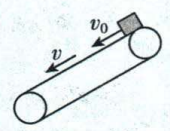
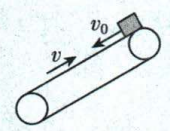
	一直加速或是先加速后匀速
	$v_0<v$ 时，一直加速或是先加速再匀速 $v_0>v$ 时，一直减速或是先减速再匀速
	滑块一直减速到右端（右端离开） 滑块先减速到速度为 0，后被传送带传回左端； 若 $v_0\leqslant v$，则滑块返回到左端时速度为 v_0；若 $v_0>v$，则滑块返回到左端时速度为 v（左端离开）

划痕长度：①运动方向相同时，划痕长度等于传送带转动的距离与滑块位移大小之差；②运动方向相反，划痕长度等于传送带转动的距离与滑块位移大小之和.

2. AC 突破点 ▸倾斜传送带模型

【解析】工件加速过程，根据牛顿第二定律有 $\mu mg\cos 30°-mg\sin 30°=ma$，解得 $a=4\ \mathrm{m/s^2}$，A 正确；加速过程，根据速度与位移的关系有 $v^2=2ax$，解得 $x_1=0.5\ \mathrm{m}$，B 错误；工件加速经历时间 $t_1=\dfrac{v}{a}=0.5\ \mathrm{s}$，根据先加速后匀速，由于每当前一个工件在传送带上停止滑动时，后一个工件立即轻放到传送带上，则两个相对静止的相邻工件间的距离为 $\Delta x=vt_1=1\ \mathrm{m}$，C 正确；工件从 A 端传送到 B 端所需要的时间为 $t_0=4\ \mathrm{s}$，则工件匀速的位移为 $x_2=v(t_0-t_1)=7\ \mathrm{m}$，$A$、$B$ 两端的距离 $x_{AB}=x_1+x_2=7.5\ \mathrm{m}$，D 错误.

方法总结　倾斜传送带

	若满足$\mu>\tan\theta$，则物块一直加速或先加速后匀速
	若$\mu\geqslant\tan\theta$，则物块先加速后匀速，若$\mu<\tan\theta$，先以a_1加速，共速后摩擦力方向改变，再以a_2加速
	$v_0<v$时，先加速，加速到共速后，若$\mu\geqslant\tan\theta$，后匀速；若$\mu<\tan\theta$，后以较小的加速度加速
	$v_0>v$时，若$\mu<\tan\theta$，一直加速；若$\mu>\tan\theta$，先减速到共速，后匀速；若$\mu=\tan\theta$，一直匀速
	$\mu<\tan\theta$，一直加速
	$\mu=\tan\theta$，一直匀速
	$\mu>\tan\theta$，先减速到速度为零后反向加速，若$v_0\leqslant v$，运动到原位置时速度大小为v_0；若$v_0>v$，运动到原位置时速度大小为v

3. C　**突破点**▸物块在倾斜传送带上运动的分析

【解析】煤块速率大于传送带速率时，煤块受到的摩擦力沿传送带向下，与煤块的运动方向相反，对煤块分析，根据牛顿第二定律有$mg\sin 37°+\mu mg\cos 37°=ma_1$，解得$a_1=8\ \text{m/s}^2$，故经时间$t_1=\frac{v_0-v}{a_1}=1\ \text{s}$与传送带共速，之后继续减速运动（**突破点：**共速后$\mu<\tan\theta$），速率小于传送带的速率，传送带对煤块的摩擦力沿传送带向上，与煤块的运动方向相同，到达传送带顶端时速率恰好为零，根据牛顿第二定律有$mg\sin 37°-\mu mg\cos 37°=ma_2$，解得$a_2=4\ \text{m/s}^2$，这段时间$t_2=\frac{v}{a_2}=1\ \text{s}$，则到2 s时煤块的速率为零，A、D错误；1 s时，煤块的速率为4 m/s，则在前1 s内煤块的位移大小为$x_1=\frac{(12+4)}{2}\times 1\ \text{m}=8\ \text{m}$，在共速后1 s内，煤块的位移大小为$x_2=\frac{(4+0)}{2}\times 1\ \text{m}=2\ \text{m}$，故传送带底端到顶端的距离为$L=x_1+x_2=10\ \text{m}$，B错误；传送带在两秒内向上运动的距离为$x_3=4\times 2\ \text{m}=8\ \text{m}$，故煤块相对传送带的位移为$\Delta x=L-x_3=10\ \text{m}-8\ \text{m}=2\ \text{m}$，C正确.

4. D　**突破点**▸物块在倾斜传送带上运动的分析

【解析】刚开始时，物块受到沿传送带向下的滑动摩擦力，物块先做匀加速直线运动，根据牛顿第二定律有$mg\sin 37°+\mu mg\cos 37°=ma$，假设能与传送带达到共速，则$x_1=\frac{v^2-v_0^2}{2a}=0.75\ \text{m}<L=5.75\ \text{m}$，假设成立，由于$\mu<\tan 37°$，所以二者共速后物块继续向下做匀加速直线运动（**关键点：**共速后，若$\mu\geqslant\tan\theta$，物块跟传送带以相同的速度匀速运动，若$\mu<\tan\theta$，物块继续加速下滑，加速度大小变小），即共速后摩擦力为沿传送带向上的滑动摩擦力，A、B错误；共速后，物块的加速度为$a'=\frac{mg\sin 37°-\mu mg\cos 37°}{m}$，根据位移时间关系有$L-x_1=vt_2+\frac{1}{2}a't_2^2$，代入数据解得$t_2=1\ \text{s}$，所以从顶端运动至底端的时间为$t=t_1+t_2=\frac{v-v_0}{a}+t_2=1.3\ \text{s}$，C错误；共速前划痕长度为$\Delta x_1=vt_1-x_1=0.45\ \text{m}$，共速后划痕长度为$\Delta x_2=L-x_1-vt_2=1\ \text{m}>\Delta x_1$（**易错点：**注意划痕有重合的地方），所以传送带上留下的划痕长度为1.0 m，D正确.

关键点拨　物块在传送带上运动达到共速时需要分析μ和$\tan\theta$的关系，再判断物块的运动；两段相对运动方向相反，划痕长度为较长的相对运动位移大小.

5. (1) $10\ \text{m/s}^2$　(2)①4 m/s　②1.2 s

突破点▸倾斜传送带模型、牛顿运动定律处理多过程问题

【解析】(1)刚开始运动时传送带对工料的滑动摩擦力沿传送带向上，根据牛顿第二定律可得此时工料的加速度大小为$a_1=\frac{F+\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta}{m}$，

则$a_1=10\ \text{m/s}^2$.

(2)①当恒力作用在工料上且工料的速度大于v_0时，传送带对工料的摩擦力沿传送带向下，此时其加速度大小为$a_2=\frac{F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}$，

则$a_2=2\ \text{m/s}^2$，

撤去恒力后，当工料的速度大于v_0时，其做匀减速运动的加速度大小为$a_3=g\sin\theta+\mu g\cos\theta$，

则$a_3=10\ \text{m/s}^2$，

当工料的速度小于v_0时，其做匀减速运动的加速度大小为$a_4=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$，

则$a_4=2\ \text{m/s}^2$，

假设在工料的速度小于或等于v_0时就撤去了恒力，且工料滑动至B端时速度恰好减到零，设撤去恒力时工料的速度大小为v_1，

根据运动学规律有$\frac{v_1^2}{2a_4}=L-\frac{v_1^2}{2a_1}$，

解得$v_1=4\ \text{m/s}>v_0$，

故假设不成立，所以一定是在工料的速度大于v_0后撤去的恒力.

为了使撤去恒力时工料速度最小，即恒力作用的时间最短，工料应先以a_1匀加速至速度大小为v_0，之后以a_2匀加速至速度大小为v_2时撤去恒力，工料之后先以a_3匀减速至v_0，最后以a_4匀减速至速度为零且恰好到B端，根据速度位移关系可得$\frac{v_0^2}{2a_1}+\frac{v_2^2-v_0^2}{2a_2}+\frac{v_2^2-v_0^2}{2a_3}+\frac{v_0^2}{2a_4}=L$，

解得$v_2=4\ \text{m/s}$.

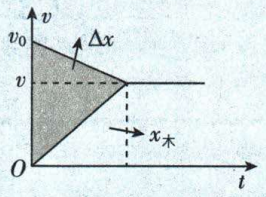
②恒力F作用的最短时间$t=\frac{v_0}{a_1}+\frac{v_2-v_0}{a_2}=1.2\ \text{s}$.

6. A　**突破点**▸无外力板块模型

【解析】滑块以一定的水平初速度v_0从左端滑上木板，在摩擦力作用下，滑块做匀减速直线运动，木板做匀加速直线运动，设经过时间t滑块与木板达到共速v，此过程木板的位移为$x_{木}=\frac{v}{2}t$，滑块的位移为$x_{滑}=\frac{v_0+v}{2}t$，则滑块相对于木板向前的位移大小为$\Delta x=x_{滑}-x_{木}=\frac{v_0}{2}t$，可得$\Delta x=\frac{v_0}{2}t>x_{木}=\frac{v}{2}t$（**易错点：**既要考虑滑块

的位移大于木板的位移，又要考虑到滑块相对于木板的位移大于木板对地的位移），故选 A.

一题多解 通过 $v-t$ 图像分析滑块和木板的位移



由图像得，滑块相对于木板的位移大于木板对地面的位移，故选 A.

7. C 突破点：板块问题与 $v-t$ 图像结合

【解析】a 和 b 的速度达到共速之前，a 受到 b 向右的摩擦力和恒力 F，b 受到 a 向左的摩擦力，a 做加速运动，b 做减速运动，则对于 a 有 $F+\mu mg=ma_1$，对于 b 有 $\mu mg=ma_2$，由此可知 a 的加速度大小大于 b 的加速度大小，A、B 错误；a、b 共速后，若在恒力 F 作用下，a、b 间的摩擦力没有达到最大静摩擦力，则 a、b 一起做加速运动，则对于 b 有 $F_f=ma_{共}$ 且 $F_f\leqslant\mu mg$，故 a 和 b 的加速度 $a_{共}<a_1$，C 正确；若在恒力 F 作用下，a、b 间的摩擦力达到最大静摩擦力，发生相对滑动，则 a、b 的加速度大小不相等，且均做加速运动，则对于 a 有 $F-\mu mg=ma_3$，对于 b 有 $\mu mg=ma_4$，可知 a 的加速度 a_3 小于共速前 a 的加速度 a_1，D 错误.（关键点）

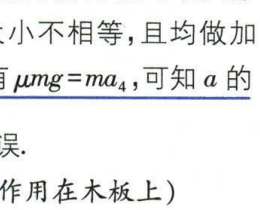
8. C 突破点：受变化外力的板块问题（外力作用在木板上）

【解析】设 A、B 发生相对滑动时的最小外力为 F_0（突破点：A、B 之间摩擦力达到最大静摩擦力），对 A 受力分析，由牛顿第二定律可得 $\mu m_Ag=m_Aa$，解得 $a=\mu g=2\ \mathrm{m/s^2}$，对 B，有 $F_0-\mu m_Ag-\mu(m_A+m_B)g=m_Ba$，联立得 $F_0=8\ \mathrm{N}$，由图乙，外力 F 与时间的关系满足 $F=6+2t(\mathrm{N})(t\geqslant0)$，当 $t=0.5\ \mathrm{s}$ 时，$F=7\ \mathrm{N}<8\ \mathrm{N}$，$A$、$B$ 没有发生相对滑动，A 错误；根据上述分析可知，$t=1\ \mathrm{s}$ 时，$F=8\ \mathrm{N}$，A、B 达到相对滑动的临界状态，仍具有共同的加速度，大小为 $2\ \mathrm{m/s^2}$，B 错误；0～1 s 时间内，两物块未相对滑动，即一起运动，由动量定理，结合图乙（关键点：$F-t$ 图像，图像与时间轴围成的面积代表冲量）可知 $I_F-\mu(m_A+m_B)gt=(m_A+m_B)v$，代入数据得 $v=\dfrac{I_F-\mu(m_A+m_B)gt}{(m_A+m_B)}=\dfrac{\frac{1}{2}\times(6+8)\times1-0.2\times2\times10\times1}{2}\ \mathrm{m/s}=1.5\ \mathrm{m/s}$，C 正确；对两物体整体应用动量定理，可得 $t=2\ \mathrm{s}$ 时，A、B 系统具有的动量之和为 $p=I_{合}=I'_F-\mu(m_A+m_B)gt'$，代入数据解得 $p=\left[\frac{1}{2}\times(6+10)\times2-0.2\times2\times10\times2\right]\ \mathrm{kg\cdot m/s}=8\ \mathrm{kg\cdot m/s}$，D 错误.

一题多解 分析 C 选项时，也可以根据 $F-t$ 图像，对整体受力分析，作出整体的 $a-t$ 图像，通过 $a-t$ 图像与时间轴围成的面积代表速度变化量求解速度 v.

9. AD 突破点：滑块和木板在倾斜的传送带上运动分析

【解析】由题图乙可知，木板先做匀变速直线运动，有 $x_1=-v_0t+\frac{1}{2}at^2$，对应的 $x-t$ 图像为一段抛物线，之后做匀速直线运动，对应的 $x-t$ 图像为一段倾斜直线，A 正确；同理，可得 $v^2-v_0^2=2ax$，可知 v^2-x 图像中 $x=0$ 时，$v^2\neq0$，B 错误；依题意，滑块一直匀减速直到与木板共速，其 $v-t$ 图像如图，由图像可得滑块与木板的相对速度 Δv 是不断减小的，根据 $\Delta x=\Delta vt$，可知 $\Delta x-t$ 图像最初并非线性关系，C 错误；根据 $Q=f\cdot\Delta x'$，可得木板做匀变速运动过程，有 $Q_1=f\left[v_0t-\left(v_0t-\frac{1}{2}at^2\right)\right]=\frac{1}{2}aft^2$，其 $Q-t$ 图像为二次函数，即抛物线，木板匀速下滑过程，有 $Q_2=f(v_0+v_{共})t$，其 $Q-t$ 图像为倾斜直线，D 正确.



10. A 突破点：无外力板块模型

【解析】设 AB 之间、B 与地面之间动摩擦因数分别为 μ_1、μ_2，0～t_1 内（突破点：共速之前，A 做减速运动，B 做加速运动），对 A、B，由牛顿第二定律分别有 $\mu_1m_Ag=m_Aa_A$，$m_Ag\mu_1-(m_A+m_B)g\mu_2=m_Ba_B$，解得 A、B 加速度分别为 $a_A=g\mu_1$，$a_B=\dfrac{m_Ag\mu_1-(m_A+m_B)g\mu_2}{m_B}$，则 0～$t_1$ 内，对 A，有 $\dfrac{v_0}{2}=v_0-a_At_1=v_0-g\mu_1t_1$，对 B，有 $\dfrac{v_0}{2}=a_Bt_1=\dfrac{m_Ag\mu_1-(m_A+m_B)g\mu_2}{m_B}t_1$，$t_1$～$2t_1$ 时间内（关键点：t_1 时刻，两物体共速，之后两物体一起减速到 0），对整体有 $v_1=\dfrac{v_0}{2}-a_{AB}t_1=\dfrac{v_0}{2}-g\mu_2t_1$，联立解得 $v_1=\dfrac{v_0}{2}-\dfrac{v_0}{2}\times\dfrac{m_A-m_B}{m_A+m_B}$，若 $m_A=2m_B$，解得 $v_1=\dfrac{v_0}{3}$，A 正确；以上分析可知 $v_1=\dfrac{v_0}{2}-\dfrac{v_0}{2}\times\dfrac{m_A-m_B}{m_A+m_B}$，若 A、B 质量相等，则 $v_1=\dfrac{v_0}{2}$，而由图乙可知，t_1 时刻速度就已经为 $\dfrac{v_0}{2}$，故 $2t_1$ 速度不可能还是 $\dfrac{v_0}{2}$，B 错误；速度—时间图像中图线的斜率表示加速度，图乙可知 0～$2t_1$ 时间内 A 始终有加速度，对 A 受力分析有，A、B 间一直存在摩擦力，t_1～$2t_1$ 时间内，对整体分析可知，B 与地面之间一定存在摩擦力，B 在 0～$2t_1$ 时间内一直同时受到 A 给的摩擦力和地面给的摩擦力，C 错误；要让 B 运动起来，必须满足 $m_Ag\mu_1>(m_A+m_B)g\mu_2$（关键点：$A$ 对 B 的向前的摩擦力大于地面对 B 向后的摩擦力），整理得 $\dfrac{\mu_1}{\mu_2}>\dfrac{m_A+m_B}{m_A}>1$，即 A 与 B 间的动摩擦因数大于 B 与地面间的动摩擦因数，D 错误.

方法总结 板块模型对滑块和木板运动分析：对滑块和木板分别进行受力分析和运动过程分析；对滑块和木板分别列动力学方程和运动学方程.

11. B 突破点：相互分离的板块问题

【解析】物块和木板分离时，根据 $\frac{1}{2}a_1t_1^2-\frac{1}{2}a'_1t_1^2=L$，$\frac{1}{2}a_2t_2^2-\frac{1}{2}a'_2t_2^2=L$（突破点：物块和木板分离时，二者的位移之差为板长），可知 $\dfrac{t_1}{t_2}=\sqrt{\dfrac{a_2-a'_2}{a_1-a'_1}}$，由牛顿第二定律，对物块有 $a=\dfrac{F-\mu mg}{m}$，对木板有 $a'=\dfrac{\mu mg}{M}$，若 $F_1=F_2$，$M_1>M_2$，则物块加速度相等，$a_1=a_2$，木板加速度 $a'_1<a'_2$，可得 $t_1<t_2$，根据 $v=a't$ 知 $v_1<v_2$，A 可能成立；若 $F_1=F_2$，$M_1<M_2$，则物块加速度相等，$a_1=a_2$，木板加速度 $a'_1>a'_2$，可得 $t_1>t_2$，根据 $v=a't$ 知 $v_1>v_2$，B 不可能成立；若 $F_1>F_2$，$M_1=M_2$，则物块加速度关系为 $a_1>a_2$，木板加速度关系为 $a'_1=a'_2$，可得 $t_1<t_2$，根据 $v=a't$ 知 $v_1<v_2$，C 可能成立；若 $F_1>F_2$，$M_1>M_2$，则物块加速度关系为 $a_1>a_2$，木板加速度关系为 $a'_1<a'_2$，可得 $t_1<t_2$，根据 $v=a't$ 知 $v_1<v_2$，D 可能成立.

关键点拨 滑块由木板一端运动到另一端的过程中，滑块和木板同向运动时，位移之差 $\Delta x=x_1-x_2=L$（板长）.

12. (1) 见解析　(2) $\frac{408}{81}$ m

突破点 ▸无外力板块问题、多过程问题

【解析】(1) 铅块在木板 1 上面滑动时，其他木板都不动，分析可知此时木板 3 受到静摩擦力恰好等于木板 3 与地面间的最大静摩擦力，大小为 $f=\mu_1 mg=0.5$ N，方向向左；同理可知，铅块在木板 2 上滑动时，其他木板都不动，此时木板 3 受到静摩擦力的作用，大小与方向均不变；当铅块滑上木板 3 时，各木板依然不动，此时木板 3 受到的静摩擦力的大小为 $f=\mu_1(m+M)g=1$ N，方向向左；而铅块滑上木板 4 时，其他木板不动，此时木板 3 所受到的摩擦力为 0，

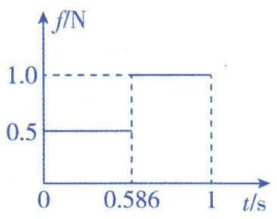
根据上述分析可知，铅块滑上木板 3 的时间为 t_1，则有 $\mu_2 Mg=Ma$，$2L=v_0t_1-\frac{1}{2}at_1^2$，

联立解得 $t_1=(2-\sqrt{2})$ s≈0.586 s，

同理则有 $3L=v_0t-\frac{1}{2}at^2$，

解得 $t=1$ s（由于铅块停止运动时间为 $t_0=\frac{v_0}{a}=2$ s，大于此时间的都舍去），

作图如下.



(2) 设铅块运动到木板 5 时速度为 v，由 $a_1=\mu_2 g=2$ m/s^2，$v_0^2-v^2=8aL$，

解得 $v=2$ m/s，

此后木板 5 和 6 开始加速，加速度 $a_2=\frac{\mu_2 Mg-\mu_1(M+2m)g}{2m}=0.25$ m/s^2，

铅块继续减速，直到与木板 5、6 共速，设到共速时经历了 t，由 $v_{共}=v-a_1t=a_2t$，解得 $t=\frac{8}{9}$ s，$v_{共}=\frac{2}{9}$ m/s，

此时铅块比木板多行了 $x=x_{铅}-x_{板}=\frac{v+v_{共}}{2}t-\frac{v_{共}}{2}t=\frac{8}{9}$ m$<L=1$ m，

故此后铅块和木板 5、6 一起匀减速直到停止，此过程的加速度 $a_3=\mu_1 g=0.5$ m/s^2，

$x_1=4$ m，$x_2=\frac{(v+v_{共})t}{2}=\frac{80}{81}$ m，$x_3=\frac{v_{共}^2}{2a_3}=\frac{4}{81}$ m，$x_{总}=x_1+x_2+x_3=\frac{408}{81}$ m.

13. C **突破点** ▸整体法与隔离法解连接体问题

【解析】动车组匀速运动时，整体受力平衡，有 $3F=9f$，后 8 节车厢受力平衡 $F_{12}+2F=8f$，解得 $F_{12}=2f$，A 错误；动车组匀加速运动时，设动车组加速度为 a，对整体 $3F-9f=9ma$，对 4~9 节车厢（**关键点：**分析 3、4 节车厢之间的作用力，可以选 1~3 节或是 4~9 节车厢为研究对象，但是不能只选 3 或 4 为研究对象），有 $F_{34}+2F-6f=6ma$，解得 $F_{34}=0$，B 错误；同 B，先整体后隔离分析 7~9 节车厢可得，第 6、7 节车厢间无作用力，C 正确；若关闭第 4 节车厢的动力，动车组的加速度发生变化，对第 9 节车厢受力分析，可得第 8、9 节车厢间的作用力也随之变化，D 错误.

14. C **突破点** ▸加速度大小相同、方向不同的连接体问题

【解析】释放两滑块的瞬间，质量为 $2m$ 的滑块重力沿斜面向下的分力大小为 $G_x=2mg\sin 30°=mg$，质量为 m 的滑块重力沿斜面向下的分力大小为 $G_x'=mg\sin 45°=\frac{\sqrt{2}}{2}mg$，由于 $G_x>G_x'$，所以，质量为 $2m$ 的滑块将沿斜面向下加速，质量为 m 的滑块将沿斜面向上加速（**关键点：**对比重力沿斜面向下的分力得出两物体的运动情况），且二者的加速度大小相等，设绳子拉力为 T，对左边的滑块有 $G_x-T=2ma$，对右边的滑块有 $T-G_x'=ma$，联立可得 $G_x-G_x'=(2m+m)a$，解得它们的加速度大小为 $a=\frac{2-\sqrt{2}}{6}g$，绳对质量为 m 的滑块的拉力大小 $T=\frac{1+\sqrt{2}}{3}mg$，C 正确，A、B、D 错误.

15. BC **突破点** ▸含弹簧的连接体问题

【解析】由题意可知，撤去手之前绳子上的拉力为 0，此时，对 A、B 整体受力分析得 $2mg=kx_0$，撤去手的一瞬间，弹簧上弹力不变，A、B、C 三个物体加速度大小相等，对 C 受力分析得 $2mg-F=2ma$，对 A、B 整体受力分析，由牛顿第二定律得 $F+kx_0-2mg=2ma$，联立解得撤去手的一瞬间，物体 C 的加速度大小为 $a=\frac{1}{2}g$，此时绳上的拉力突变，大小为 $F=mg$，A 错误；撤去手的一瞬间，对物体 B 受力分析，由牛顿第二定律得 $F+F_{AB}-mg=ma$，代入数据得此时 A 对 B 的作用力大小为 $F_{AB}=\frac{1}{2}mg$，B 正确；撤去手之后 A、B 分开前，对 A、B、C 系统受力分析，由牛顿第二定律得 $2mg+kx-2mg=4ma$，随着 A 向上运动，弹簧的形变量减小，可知加速度减小；A、B 分开后，B、C 两个物体由绳连接加速度大小一样，对 C 受力分析，由牛顿第二定律可知 $2mg-F'=2ma'$，对 B 受力分析，由牛顿第二定律可知 $F'-mg=ma'$，联立解得 B、C 的加速度大小为 $a'=\frac{1}{3}g$，加速度不再变化，C 正确；A、B 分开时，$F_{AB}=0$，此时 A、B、C 加速度大小相等，设此时弹簧的形变量为 x_1，对 A、B、C 系统受力分析解得 $2mg+kx_1-2mg=4ma$，隔离 A，由牛顿第二定律得 $kx_1-mg=ma$，联立解得此时弹簧形变量为 $x_1=\frac{4mg}{3k}$，故当物块 A、B 刚好分离时，物块 A 上升的高度为 $h=x_0-x_1=\frac{2mg}{3k}$，D 错误.

16. BCD **突破点** ▸细绳或弹簧相连的连接体问题、系统的牛顿第二定律

【解析】撤去球 c 的外力前，b、c 间绳子伸直但无拉力，以 a、b 为整体，根据受力平衡可得 $kx_1=2mg\sin 37°$（**关键点：**分析初状态下弹簧的弹力），撤去球 c 的外力一瞬间，以 c 为研究对象，根据牛顿第二定律可得 $2mg-T=2ma$，以 a、b 为整体，根据牛顿第二定律可得 $T+kx_1-2mg\sin 37°=2ma$，联立解得 a、b、c 的加速度大小为 $a=0.5g$，A 错误，B 正确；以斜面体和 a、b、c 为系统（**突破点：**对整体应用牛顿第二定律），由于 a、b 的加速度沿斜面向上，具有水平向右的分加速度，根据牛顿第二定律可得 $f_{地}=2ma\cos 37°$，可知斜面体受到水平向右的静摩擦力作用，C 正

确;撤去球 c 的外力后,a、b 刚好分离时,a、b 间的弹力为 0(关键点:分离的临界状态为弹力为 0),此时 a、b、c 的加速度大小相等,以 c 为研究对象,根据牛顿第二定律可得 $2mg-T'=2ma'$,以 b 为研究对象,根据牛顿第二定律可得 $T'-mg\sin 37°=ma'$,以 a 为研究对象,根据牛顿第二定律可得 $F_{弹}-mg\sin 37°=ma'$,联立解得弹簧弹力大小为 $F_{弹}=\frac{16}{15}mg$,D 正确.

17. (1)$\frac{\sqrt{3}}{3}$ (2)50 N/m (3)200 J

突破点 ▸倾斜传送带上的连接体问题

【解析】(1)将 b、c 整体沿传送带向下推至 P 点处由静止释放,到达 B 点时解除锁定,b、c 恰好分离,此后 c 相对于地面静止,则有 $mg\sin 30°=\mu mg\cos 30°$,

解得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$.

(2)传送带固定不转动,b、c 静止于 A 点,且与传送带间恰好均无摩擦力,设弹簧的压缩量为 x_1,则有 $2mg\sin 30°=kx_1$,

b、c 运动到 B 点时,a 与挡板间的弹力为 0,设此时弹簧的伸长量为 x_2,则有 $m_a g\sin 30°=kx_2$,

b、c 向上运动过程中,在弹簧原长位置有 $\mu\cdot 2mg\cos 30°=2mg\sin 30°$,

该位置为 b、c 沿传送带上升的平衡位置,根据简谐运动的对称性可得 $AP=x_2-x_1$,

联立解得 $k=50$ N/m.

(3)b 在平衡位置时,有 $mg\sin 30°=\mu mg\cos 30°$,

此时弹簧为原长,弹簧的弹力提供回复力,弹簧振子的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=\frac{2\sqrt{5}}{5}$ s,

从 c 和 b 到达 B 点开始计时,经历的时间 $t=2\sqrt{5}$ s$=5T$,

一个周期内,$0\sim\frac{T}{2}$ 时间内,b 相对于传送带的位移大小为 $2A+v\cdot\frac{T}{2}$,

$\frac{T}{2}\sim T$ 时间内,b 相对于传送带的位移大小为 $v\cdot\frac{T}{2}-2A$,

故五个周期内 b 和 c 相对于传送带的位移大小均为 $s=vt=20$ m,

b 由于摩擦产生的热量 $Q_1=\mu mg\cos 30°\cdot s$,

c 由于摩擦产生的热量 $Q_2=\mu mg\cos 30°\cdot s$,

a、b、c 组成的系统因摩擦而产生的热量 $Q=Q_1+Q_2=200$ J.

18. D **突破点** ▸两物体分离的临界条件、简谐运动

【解析】两物体放在轻弹簧上静止,弹簧的压缩量为 x_1,有 $kx_1=2mg$,施加恒力 $F=\frac{2}{3}mg$ 向上提物体 A,开始两物体一起向上加速运动,有 $F+kx-2mg=2ma$,随着压缩量 x 的减小,两者加速的加速度逐渐减小,则开始运动时两者的加速度最大,有 $a_A=a_B=\frac{F}{2m}=\frac{\frac{2}{3}mg}{2m}=\frac{1}{3}g$,B 错误;假设 A 与 B 一起运动,不会分离,根据简谐运动的对称性可知,A、B 运动到最高点时的加速度大小为 $\frac{g}{3}$,方向向下(突破点:简谐运动的最高点和最低点加速度等大反向),此时以 A 为研究对象,根据牛顿第二定律可得 $mg-F-N=m\cdot\frac{g}{3}$,解得 $N=0$,可知在最高点 B 对 A 恰好没有支持力作用(关键点:分离的临界状态),即 A、B 恰好可以一起做简谐运动,二者不分离,A 错误,D 正确;由以上分析可知,A、B 在最高点时,弹簧有向上的弹力,处于压缩状态,所以弹力的最小值一定大于零,C 错误.

19. C **突破点** ▸相对滑动的临界状态、连接体问题

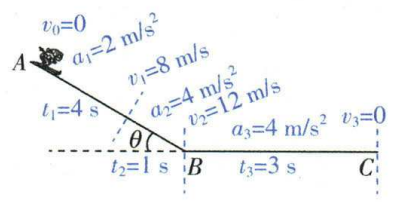
【解析】由于地面光滑,则 A、B、C 组成的系统合外力为 0,动量守恒,可得无论弹力为多大,最终三者均静止,A 错误;由于 A、C 之间的最大静摩擦力小于 B、C 之间的最大静摩擦力(突破点:相对滑动的临界条件为摩擦力达到最大静摩擦力),故随着 F 逐渐增大,A、C 之间先发生相对滑动,对 A 分析可知,当 $F_1=\mu m_A g=1$ N 时,A、C 之间发生相对滑动,B、C 之间将发生相对滑动时,对 C 分析,有 $f_{BC}-f_{AC}=m_C a$,对 B、C 整体分析可知 $F_2-f_{AC}=(m_B+m_C)a$,联立解得 $F_2=3$ N(关键点:将 B、C 看作整体,对整体受力分析),可知若 $F=1.5$ N 或 $F=2.5$ N,则释放物块后,A、C 之间发生相对滑动,B、C 之间未发生相对滑动,B 错误,C 正确;若释放物块的瞬间,物块 A、B 均相对于小车滑动,由前面分析可知,系统最终将处于静止状态,由能量守恒定律,全过程中弹簧减少的机械能等于系统内因摩擦产生的热能,D 错误.

20. C **突破点** ▸跳水运动、应用牛顿运动定律分析多过程问题

【解析】水中减速的运动员加速度方向向上,处于超重状态,A 错误;依题意,设运动员入水时的速度为 v,则有 $v^2=2gh$,解得 $v=10\sqrt{2}$ m/s,运动员水中减速过程,有 $v^2=2ax$,由牛顿第二定律可知 $f-mg=ma$,联立解得 $f=3\,000$ N,B 错误;运动员空中运动时间为 $t_1=\frac{v}{g}=\sqrt{2}$ s,运动员水中运动时间为 $t_2=\frac{v}{a}=\frac{\sqrt{2}}{5}$ s,运动员整个运动过程的平均速度大小为 $\bar{v}=\frac{h+x}{t_1+t_2}=5\sqrt{2}$ m/s,C 正确;从入水到速度为零,运动员动能变化量为 $\Delta E_k=0-\frac{1}{2}mv^2=-5\,000$ J,即运动员动能减少了 5 000 J,D 错误.

21. BCD **突破点** ▸滑沙运动、应用牛顿运动定律分析多过程问题

题图剖析



【解析】滑沙者的速度较小时,根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma_1$,代入数据可得 $a_1=2$ m/s²,速度达到 $v_1=8$ m/s 的过程中的位移 $x_1=\frac{v_1^2}{2a_1}=16$ m,滑沙者的速度超过 8 m/s 后,根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta-\mu_2 mg\cos\theta=ma_2$,代入数据可得 $a_2=4$ m/s²,设到达 B 的速度为 v_2,则 $v_2^2-v_1^2=2a_2(L-x_1)$,代入数据可得 $v_2=12$ m/s,A 错误,B 正确;设滑沙者在水平地面上的加速度大小为 a_3,则由 $\mu_3 mg=ma_3$,可得 $a_3=4$ m/s²,由运动学公式 $v_2^2=2a_3 x$,可得在水平地面上运动的最大距离为 $x=18$ m,C 正确;滑沙者的速度达到 $v_1=8$ m/s 的时间 $t_1=\frac{v_1}{a_1}=4$ s,第二段时间 $t_2=\frac{v_2-v_1}{a_2}=1$ s,滑沙者在水平面上的时

间 $t_3=\frac{v_2}{a_3}=3\ \mathrm{s}$，则在 AB 段下滑与 BC 段滑动的时间之比为 $\frac{t_{AB}}{t_{BC}}=\frac{t_1+t_2}{t_3}=\frac{4\ \mathrm{s}+1\ \mathrm{s}}{3\ \mathrm{s}}=\frac{5}{3}$，D 正确.

关键点拨 多过程问题解题的关键点：分析每个过程的情况，如物体的受力情况、运动情况及各个状态参量；上一过程的末态是下一过程的初态，可从物体的运动速度、位移、时间等方面寻找.

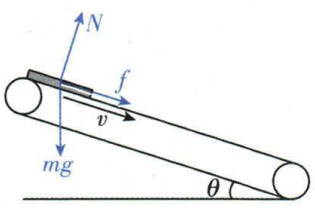
22. AC **突破点**▸板块模型、多过程问题

【解析】初始状态下，铁块恰好能静止在凹形槽后壁上（**突破点：**摩擦力等于最大静摩擦力），竖直方向受力平衡，由平衡条件有 $mg=\mu_2F_N$，对铁块，在水平方向上，根据牛顿第二定律有 $F_N=ma$，以铁块和凹形槽组成的整体为研究对象，根据牛顿第二定律有 $F-\mu_1(M+m)g=(M+m)a$，联立解得 $F=81\ \mathrm{N}$，因为 $\mu_1>\mu_2$（**突破点：**由此可得凹型槽的加速度大于铁块，即凹型槽减速更快，速度小于铁块速度），所以撤去拉力后铁块与凹形槽发生相对滑动，凹形槽先停止运动，后铁块继续减速至零，对铁块受力分析，根据牛顿第二定律有 $\mu_2mg=ma_1$，对凹形槽受力分析，根据牛顿第二定律有 $\mu_1(M+m)g-\mu_2mg=Ma_2$，铁块运动的位移为 $x_1=\frac{v_0^2}{2a_1}$，凹形槽运动的位移为 $x_2=\frac{v_0^2}{2a_2}$，则凹形槽的长度为 $L=x_1-x_2$（**关键点：**铁块恰好没有与凹形槽的前壁相碰，则铁块停下来时恰好到凹形槽前壁），联立解得 $L=0.6\ \mathrm{m}$，A、C 正确.

23. (1)6 m/s (2)8 m/s (3)8.074 m/s

突破点▸倾斜传动带上的板块问题、多过程问题

【解析】(1)木板放在传送带上受到重力、支持力和沿传送带向下的滑动摩擦力作用，如图甲所示，



甲

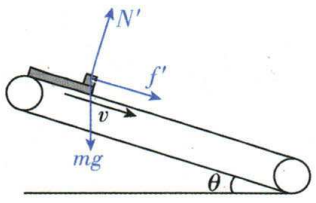
根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta+\mu_1mg\cos\theta=ma$，

代入数据，解得 $a=g\sin\theta+\mu_1g\cos\theta=6\ \mathrm{m/s^2}$，

前进 3 m，由位移—速度关系 $2ax=v_1^2$，

代入数据，木板前进 3 m 时的速度大小 $v_1=6\ \mathrm{m/s}$.

(2)放上货物后，货物受重力、支持力、滑动摩擦力作用，如图乙所示，

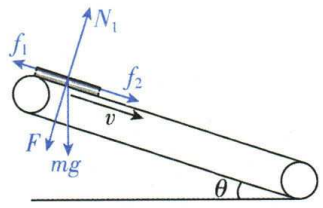


乙

货物向下做匀加速直线运动，根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta+\mu_2mg\cos\theta=ma_1$，

代入数据，解得 $a_1=g\sin\theta+\mu_2g\cos\theta=12.5\ \mathrm{m/s^2}$，

木板受到重力、压力、支持力、货物对木板向上的摩擦力和传送带对木板向下的摩擦力，如图丙所示，



丙

因为 $f_2+mg\sin\theta<f_1$，

木板向下做减速运动，根据牛顿第二定律有 $\mu_2mg\cos\theta-mg\sin\theta-\mu_1\cdot2mg\cos\theta=ma_2$，

解得 $a_2=0.5\ \mathrm{m/s^2}$，

货物加速，木板减速，当两者速度相同时 $v_{共}=v_1-a_2t=a_1t$，

解得 $t=\frac{6}{13}\ \mathrm{s}$，$v_{共}=\frac{75}{13}\ \mathrm{m/s}$，

之后，两者一起匀加速到与传送带共速，则有 $a_{共}=g\sin\theta+\mu_1g\cos\theta=6\ \mathrm{m/s^2}$，

再次加速至与传送带共速，则有 $t_1=\frac{v-v_{共}}{a_{共}}=\frac{1}{26}\ \mathrm{s}$，

与传送带共速后木板与货物一起继续做匀加速运动，则有 $2mg\sin\theta-\mu_1\cdot2mg\cos\theta=2ma'_{共}$，

解得 $a'_{共}=4\ \mathrm{m/s^2}$，

取走第一个货物时，木板的速度大小为 $v'=v+a'_{共}(1\ \mathrm{s}-t-t_1)=8\ \mathrm{m/s}$.

(3)取走第一个货物，轻放上第二货物时，对货物有 $a_1=g\sin\theta+\mu_2g\cos\theta=12.5\ \mathrm{m/s^2}$，

对木板有 $a'_2=\frac{\mu_2mg\cos\theta+\mu_1\cdot2mg\cos\theta-mg\sin\theta}{m}=4.5\ \mathrm{m/s^2}$，

且木板以 $v_2=8\ \mathrm{m/s}$ 做匀减速运动，木板与传送带共速时，则有 $t_2=\frac{v_2-v}{a'_2}=\frac{4}{9}\ \mathrm{s}$，

此时货物的速度为 $v'_1=a_1t_2=\frac{50}{9}\ \mathrm{m/s}<6\ \mathrm{m/s}$，

则木板与传送带先共速，接下来货物仍以原加速度匀加速，木板以 $a_2=\frac{\mu_2mg\cos\theta-mg\sin\theta-\mu_1\cdot2mg\cos\theta}{m}=0.5\ \mathrm{m/s^2}$ 的加速度大小做匀减速运动，直至二者共速，则有 $v'_{共}=v-a_2t_3=v'_1+a_1t_3$，

解得 $t_3=\frac{4}{117}\ \mathrm{s}$，$v'_{共}=\left(6-\frac{2}{117}\right)\ \mathrm{m/s}$，

二者共速后的加速度为 $a_{共}=g\sin\theta+\mu_1g\cos\theta=6\ \mathrm{m/s^2}$，

再次加速至与传送带共速的时间 $t'_1=\frac{v-v'_{共}}{a_{共}}=\frac{1}{351}\ \mathrm{s}$，

与传送带共速后木板与货物一起继续做匀加速运动，则有 $a'_{共}=g\sin\theta-\mu_1g\cos\theta=4\ \mathrm{m/s^2}$，

取走第二个货物时速度大小 $v'_2=v+a'_{共}(1\ \mathrm{s}-t_2-t_3-t'_1)=\left(6+\frac{728}{351}\right)\ \mathrm{m/s}=\left(8+\frac{26}{351}\right)\ \mathrm{m/s}\approx8.074\ \mathrm{m/s}$.

实验 2　探究加速度与物体受力、物体质量的关系

刷实验

1. (1)与长木板平行 (2)0.65 0.52 (3)1

考查点▸探究加速度与物体质量关系的实验步骤、数据处理与误差分析

【解析】(1)先平衡摩擦力，再悬挂槽码，调节定滑轮的高度，使牵引小车的轻绳与长木板平行.

(2)打点计时器打 B 点时小车的速度为 $v_B=\frac{x_{AB}+x_{BC}}{2T}=\frac{(6.19+6.71)\times10^{-2}}{0.2}$ m/s≈0.65 m/s,小车运动的加速度为 $a=\frac{(x_{CD}+x_{DE})-(x_{AB}+x_{BC})}{4T^2}=\frac{(7.75+7.23)\times10^{-2}-(6.71+6.19)\times10^{-2}}{4\times0.1^2}$ m/s²=0.52 m/s².

(3)根据题意,由牛顿第二定律有 $m_0g=(m_0+M)a$,整理得 $\frac{1}{a}=\frac{1}{g}+\frac{1}{m_0g}M$,图线 1 正确.

2. (1)C (2)0.40 (3)$\frac{4p}{2g-q}-m_0$

考查点 ▸用逐差法计算加速度、验证牛顿第二定律实验方法的改进

【解析】(1)平衡摩擦力时有 $Mg\sin\theta=\mu Mg\cos\theta$,解得 $\mu=\tan\theta$,可知实验中利用木板构建斜面平衡小车在木板上运动时所受阻力,每次改变 P 的质量之后,不需要重新平衡摩擦力,A 错误;实验中利用弹簧测力计测量出绳的拉力,即重物拉动小车运动时,能够准确测量小车所受合外力,不需要确保 M 应远大于 m,B 错误;重物 P 连接动滑轮,A 的位移大小始终等于 P 位移大小的 2 倍,则小车 A 的加速度大小为 P 的加速度大小的 2 倍,C 正确;弹簧测力计测量的是绳的拉力,则有 $(m+m_0)g-2F=(m+m_0)a_P$,解得 $F=\frac{(m+m_0)(g-a_P)}{2}$,D 错误. 故选 C.

(2)由于相邻两个计数点间还有四个点没有画出,则相邻计数点之间的时间间隔为 $T=5\times\frac{1}{50}$ s=0.1 s,利用逐差法,小车加速度 $a=\frac{(120.0-52.0-52.0)\times10^{-3}}{4\times0.1^2}$ m/s²=0.40 m/s².

(3)结合图像可知,在相对应点 A 时,弹簧测力计的读数 $F=p$,小车的加速度 $a=q$,由于小车 A 的加速度为 P 的加速度的 2 倍,此时对 P 与定滑轮整体进行分析有 $(m_0+m)g-2p=(m_0+m)\cdot\frac{1}{2}q$,解得 P 的质量为 $m=\frac{4p}{2g-q}-m_0$.

全章素养提升

刷情境

1. C **创新点** ▸加速度计、根据超重或失重判断物体的运动状态

【解析】当无人机悬停在空中时,弹簧的弹力的合力与重力平衡,故重力以外的力的合力 $F_{合}=mg$,通过信号系统显示出质量块受到除重力外的力产生的加速度 $a=\frac{F_{合}}{m}=g$,A 错误;当无人机自由下落时,弹簧的合力为零,通过信号系统显示出质量块受到除重力外的力产生的加速度为零,B 错误;当 $a=0.5g$ 时,弹簧弹力的合力为 $0.5mg$,小于物体的重力,无人机处于失重状态,C 正确;当 $a=1.5g$ 时,弹簧弹力的合力为 $1.5mg$,大于物体的重力,无人机处于超重状态,D 错误.

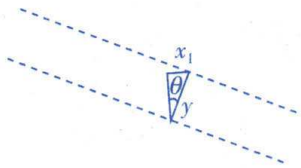
2. (1)1.0×10^{-5} m (2)1.0×10^{-3} m (3)B $\frac{FT^2}{7d}-m_0$

创新点 ▸莫尔条纹

【解析】(1)设空载时动光栅的加速度为 a,则根据牛顿第二定律有 $F=m_0a$,

第 1 ms 内的动光栅位移大小 $x=\frac{1}{2}at^2=1.0\times10^{-5}$ m.

(2)由题意画出第 1 ms 内动光栅位移大小与莫尔条纹移动距离的关系图,可知莫尔条纹移动的距离 $y=\frac{x}{\sin\theta}$,由于 θ 很小,则 $y=\frac{x}{\theta}=1.0\times10^{-3}$ m.



(3)明纹向左下方移动,则虚线对应探测点 B.

光强每变化一次,动光栅向左移动了一个 d 的距离,由题图(c)可知,连续两个时间间隔 T 内,莫尔条纹向左移动的距离分别为 $9d$、$16d$,

则 $\bar{v}_1=\frac{x_1}{T}=\frac{9d}{T}$,

$\bar{v}_2=\frac{x_2}{T}=\frac{16d}{T}$,

又 $a=\frac{\bar{v}_2-\bar{v}_1}{T}$,联立解得 $a=\frac{7d}{T^2}$,

当航天员和动光栅一起运动时,由牛顿第二定律得 $F=(m_0+m)a$

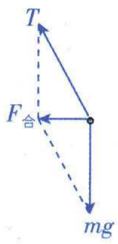
解得航天员的质量 $m=\frac{FT^2}{7d}-m_0$.

刷真题

刷小题

1. D **命题点** ▸牛顿运动定律、重力势能

【解析】对零件受力分析如图所示,零件所受合力水平向左,故无人机和零件水平向左做匀加速直线运动,A、B 错误;物体的惯性大小只和质量有关,零件的惯性不变,C 错误;零件的重力势能为 $E_p=mgh$,由于零件的重力和相对地面的高度不变,则重力势能保持不变,D 正确.



2. B **命题点** ▸牛顿运动定律、受力分析、功能关系

【解析】排球达到最高点时的速度为零,此时排球受到的合力即为其重力,由牛顿第二定律得,排球达到最高点时加速度为 g,C 错误;排球上升时重力和阻力方向均向下,下落时阻力方向向上,所以上升时的加速度大于下落时的加速度,故位移大小相等情况下,上升时间小于下落时间,A 错误;对全过程,阻力一直做负功,由功能关系可知,排球刚被垫起后瞬间的速度最大(**关键点**:对于从 O 出发再回到 O 的全过程,其初、末速度分别为上升和下降过程的最大速度),B 正确;下落过程中,阻力增大,合外力变小,排球做加速度减小的加速运动,D 错误.

3. A **命题点** ▸牛顿第二定律

【解析】对飞船与空间站整体应用牛顿第二定律有 $F=(M+m)a$,对空间站隔离分析有 $F'=Ma$,两式联立可得飞船和空间站之间的作用力 $F'=\frac{M}{M+m}F$,A 正确.

4. A **命题点** ▸牛顿第二定律的瞬时性

【解析】

剪断前：对B、C、D分析　剪断瞬间：对B分析

F_{AB}、$(3m+2m+m)g$ $\Rightarrow F_{AB}=6mg$　　F_{AB}、$3mg$ $\Rightarrow B$的加速度 $a_B=\dfrac{F_{AB}-3mg}{3m}=g$，方向向上

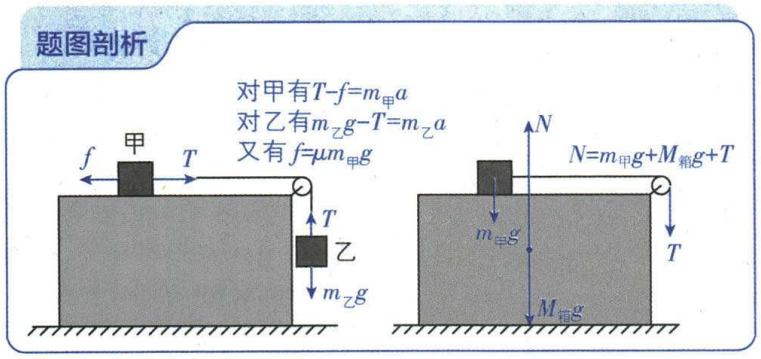
对D分析：F_{CD}、mg $\Rightarrow F_{CD}=mg$

对C分析　$F_{CD}=F_{DC}$

F_{DC}、$2mg$　C的加速度 $a_C=\dfrac{2mg+F_{DC}}{2m}=1.5g$，方向向下

A 正确.

5. C **命题点** ▸牛顿运动定律的应用、连接体问题



【解析】甲相对木箱向右运动，所以物块甲受到木箱水平向左的摩擦力，根据牛顿第三定律可知，甲对木箱的摩擦力方向水平向右，A 错误；对甲根据牛顿第二定律有 $T-f=m_{甲}a$，对乙根据牛顿第二定律有 $m_{乙}g-T=m_{乙}a$，其中 $f=\mu m_{甲}g$，联立解得加速度大小为 $a=2.5\ \mathrm{m/s^2}$，绳子的拉力大小为 $T=7.5\ \mathrm{N}$，C 正确，D 错误；把木箱和甲看成一个整体，在竖直方向上，有 $N=(m_{甲}+M_{箱})g+T$，由上述分析可知 $m_{乙}g-T=m_{乙}a$，联立可得 $N=(m_{甲}+M_{箱})g+m_{乙}g-m_{乙}a$，因为甲、乙运动过程中加速度不变，所以地面对木箱的支持力不变，B 错误.

6. B **命题点** ▸牛顿运动定律的应用

【解析】门板先在向右的外力作用下做匀加速直线运动，撤去外力后做匀减速直线运动，若外力比较大，加速时间很短，位移很小，可以忽略不计，此时门板的运动时间最短，撤去外力后根据牛顿第二定律有 $\mu mg=ma$，设撤去外力后门板最短运动时间为 t，运动的距离为 $\dfrac{L}{2}=\dfrac{1}{2}at^2$，可得门板的最短运动时间趋近于 $t=\sqrt{\dfrac{L}{\mu g}}$，B 正确.

7. A **命题点** ▸共点力的平衡、牛顿运动定律

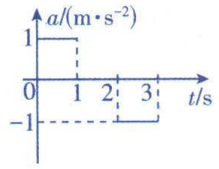
【解析】在 P 点根据共点力平衡可知小球的重力与弹簧的弹力的合力大小为 $F_{合}=2mg$，若撤去拉力，在 P 点加速度最大，最大值为 $a_1=\dfrac{F_{合}}{m}=2g$，方向竖直向下，在 O 点加速度最小，最小值为 $a_2=\dfrac{mg}{m}=g$，方向竖直向下，小球从 P 点运动到 O 点的过程中加速度减小，速度一直增大，A 正确.

8. B **命题点** ▸动力学问题

【解析】在木块下落 H 高度之前，木块所受合外力为木块的重力保持不变，即 $F=mg$，当木块接触弹簧后到合力为零前，$F=mg-k\Delta y$，随着 Δy 增大，F 线性减小，当弹簧弹力大于木块的重力后到最低点过程中 $F=k\Delta y'-mg$，木块所受合外力向上，随着 Δy 增大 F 线性增大，木块返回到原点过程是下落过程的逆过程，受力情况完全相同，A 错误，B 正确；同理，在木块下落 H 高度之前，木块做自由落体运动，根据 $y=\dfrac{1}{2}gt^2$ 和 $v=gt$ 可知速度逐渐增大，所以 $y-t$ 图像为抛物线，斜率逐渐增大，当木块接触弹簧后到合力为零前，木块的速度继续增大，做加速度减小的加速运动，所以 $y-t$ 图像斜率继续增大，当弹簧弹力大于木块的重力后到最低点过程中，木块所受合外力向上，木块做加速度增大的减速运动，所以 $y-t$ 图像斜率减小，到达最低点后，木块向上运动，由对称性可知，返回过程木块先做加速度减小的加速运动，再做加速度增大的减速运动，最后做匀减速直线运动回到原点，C、D 错误.

9. A **命题点** ▸牛顿第二定律、$F-t$ 图像、$v-t$ 图像

【解析】根据牛顿第二定律 $a=\dfrac{F}{m}$，由题图画出如图所示的 $a-t$ 图像，可知机器人在 0~1 s 和 2~3 s 内加速度大小均为 $1\ \mathrm{m/s^2}$，方向相反，由 $v-t$ 图线的斜率表示加速度可知，A 正确.



10. C **命题点** ▸倾斜传送带模型

【解析】物块刚放上传送带时受到重力、传送带所提供的支持力、沿传送带向上的滑动摩擦力，垂直传送带方向有 $N-mg\cos\theta=0$，沿传送带方向有 $\mu N-mg\sin\theta=ma$，解得加速度大小 $a=\mu g\cos\theta-g\sin\theta$，匀加速 t_0 时间后速度为 v_0，此后滑动摩擦力突变为静摩擦力，物块和传送带一起做匀速直线运动，C 正确.

11. AD **命题点** ▸牛顿运动定律、斜面模型、整体法

【解析】根据题图(b)结合题意可知甲做匀加速直线运动，乙做匀减速直线运动，对甲根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma_1$，对乙根据牛顿第二定律有 $\mu_2 mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma_2$，结合题意有 $v_0=a_2t_0$，$x_0=\dfrac{1}{2}a_2t_0^2$，$3x_0=v_0t_0+\dfrac{1}{2}a_1t_0^2$，联立可得 $a_1=a_2$，解得 $\mu_1+\mu_2=2\tan\theta$，A 正确；$t=t_0$ 时甲的速度大小为 $v_{甲}=v_0+a_1t_0=2v_0$，B 错误；在 $t=t_0$ 之前物块甲、乙都在运动，视物块甲、乙、斜面为整体，规定水平向右为正方向，在水平方向有 $-ma_1\cos\theta+ma_2\cos\theta=f_1$，可得地面对斜面的摩擦力 $f_1=0$，C 错误；$t=t_0$ 之后物块甲运动，乙静止，视物块甲、乙、斜面为整体，规定水平向右为正方向，在水平方向有 $f_2=-ma_1\cos\theta$，所以地面对斜面的摩擦力方向向左，D 正确.

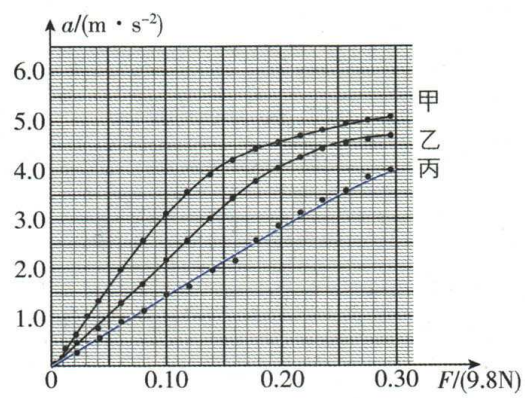
刷实验

12. (4)较大(1 分)　较小(1 分)　(5)见解析(2 分)　(6)远大于钩码的质量(2 分)　见解析(2 分)

命题点 ▸探究物体加速度与所受合外力关系的实验

【解析】(4)从题图(b)中可看出，小车质量越大，$a-F$ 图线的线性区间越大，非线性区间越小.

(5)如图所示.



(6)对小车和钩码系统有 $a=\dfrac{mg}{M+m}=\dfrac{F}{M+m}$，当 $M\gg m$ 时，可认为 $m+M\approx M$，即 $a=\dfrac{F}{M}$，a 与 F 成正比.

刷大题

13. (1) $\frac{ma}{mg+F_N}$

命题点 ▸牛顿第二定律

【解析】(1)对敏感球受力分析,设底座斜面对敏感球的作用力为 F_N',根据平衡条件,

在水平方向有 $F_N'\sin\theta=ma$ (2分)

在竖直方向有 $F_N'\cos\theta=mg+F_N$ (2分)

则斜面倾角的正切值 $\tan\theta=\frac{ma}{mg+F_N}$ (2分)

14. (1)4 m/s $\frac{1}{3}$ s (2)$\frac{5}{9}$ m

命题点 ▸牛顿运动定律、板块模型、平抛运动

【解析】(1)设物块和薄板的质量均为 m,薄板加速度大小为 a_1,物块离开薄板时薄板的速度大小为 v_1,对薄板受力分析,

由牛顿第二定律得 $\mu mg=ma_1$ (1分)

由初速度为零的匀变速直线运动规律得

$\frac{1}{6}l=\frac{1}{2}a_1t_1^2$ (1分)

$v_1=a_1t_1$ (1分)

设物块的初速度大小为 v_0,加速度大小为 a_2,离开薄板时速度大小为 v_2,由题意可知,物块滑离薄板时,相对平台向右运动的位移为 $\frac{1}{6}l+l=\frac{7}{6}l$,对物块受力分析,由牛顿第二定律得

$\mu mg=ma_2$ (1分)

由匀变速直线运动规律得

$\frac{7}{6}l=v_0t_1-\frac{1}{2}a_2t_1^2$ (1分)

$v_2=v_0-a_2t_1$ (1分)

联立解得 $t_1=\frac{1}{3}$ s,$v_0=4$ m/s (2分)

(2)物块离开薄板后做平抛运动,薄板做匀速直线运动,设运动时间为 t_2,平台高度为 h,

对薄板由运动学规律得 $\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{6}\right)l=v_1t_2$ (2分)

对物块由平抛运动规律得 $h=\frac{1}{2}gt_2^2$ (2分)

联立解得 $h=\frac{5}{9}$ m (2分)

第4章 曲线运动

第1节 曲线运动 运动的合成与分解

刷基础

1. A **考查点** ▸曲线运动的基本概念

【解析】根据曲线运动条件,质点所受合力与其速度方向不在一条直线上,故质点做曲线运动. 当质点做曲线运动时,其速度方向沿运动轨迹的切线方向,故质点的运动轨迹在 O 点与 y 轴相切,又由于曲线运动的运动轨迹会弯向受力一侧,即向左弯曲且运动轨迹不会与 x 轴平行,故选 A.

2. D **考查点** ▸物体运动轨迹、速度、受力的相互判断

【解析】烟花做曲线运动,其速度方向沿运动轨迹的切线方向,烟花在 c 点的水平分速度为 0,故烟花水平方向并非是匀速运动,还受到空气阻力的作用,A 错误;由于存在空气阻力的作用,不是只受重力,所以烟花由 b 点到 c 点不是做平抛运动,B 错误;烟花在 b 点受到空气阻力和重力的作用,其加速度方向并非是竖直向下,C 错误;由于在 b 点时烟花存在向下的加速度,故烟花处于失重状态,D 正确.

3. C **考查点** ▸运动的合成与分解

【解析】运动的合成与分解符合平行四边形定则,因此合速度可以比分速度都小,A 错误;两个匀速直线运动的合运动一定是匀速直线运动或静止状态,B 错误;两个互成角度(不包含 180°)的匀变速直线运动中分加速度大小和方向都确定,合加速度为恒定值;当合加速度为恒定值时,合运动一定是匀变速运动(**易错点**:容易混淆匀变速直线运动和匀变速曲线运动),C 正确;有初速度的匀加速直线运动可以分解为一个匀速直线运动和一个匀加速直线运动,比如竖直下抛运动可以分解成竖直方向的匀速直线运动和自由落体运动,D 错误.

4. C **考查点** ▸运动的合成的图像问题

【解析】根据 v_x-t 图像可知,0~2 s 内水平方向的加速度为 $a_x=\frac{\Delta v_x}{\Delta t}=\frac{8}{2}$ m/s^2=4 m/s^2. 根据 v_y-t 图像可知,0~2 s 内竖直方向的加速度为 $a_y=\frac{\Delta v_y}{\Delta t}=\frac{6}{2}$ m/s^2=3 m/s^2,则 0~2 s 内无人机的加速度为 $a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=5$ m/s^2,由于无人机在 $t=0$ 时刻的速度为 0,则 0~2 s 内无人机做匀加速直线运动,A 错误;2 s 末无人机的速度大小为 $v_2=\sqrt{v_{2x}^2+v_{2y}^2}=\sqrt{8^2+6^2}$ m/s=10 m/s,B 错误;2~4 s 内无人机水平方向做匀速直线运动,竖直方向做匀加速直线运动,则无人机的合运动为匀变速曲线运动,C 正确;根据 v_x-t 图像可知,0~4 s 内无人机的水平位移大小为 $x=\frac{1}{2}\times(2+4)\times8$ m=24 m,无人机的竖直位移大小为 $y=\frac{1}{2}\times6\times2$ m+$\frac{1}{2}\times(6+8)\times2$ m=20 m,则 0~4 s 内无人机的位移大小为 $s_{合}=\sqrt{x^2+y^2}=\sqrt{24^2+20^2}$ m=$4\sqrt{61}$ m,D 错误.

5. C **考查点** ▸运动的合成与分解

【解析】设乙同学速度方向与直线 MN 夹角为 θ,B 点到 MN 距离为 d. 垂直 MN 方向,有 $d=v_{乙}t\cdot\sin\theta$,沿 MN 方向,有 $\sqrt{3}d=v_{甲}t+v_{乙}t\cdot\cos\theta$,代入数据可得 $\sin(\theta-30°)=\frac{5}{7}\approx\frac{\sqrt{2}}{2}$,故乙同学速度方向与直线 MN 夹角 θ 约为 75°,故选 C.

6. C **考查点** ▸小船过河问题

【解析】该龙舟以最短时间渡河时,船速方向与河岸垂直,则最短时间为 $t_{min}=\frac{d}{v_c}=\frac{60}{5}$ s=12 s,此时沿河岸方向的位移 $x=v_st_{min}$=48 m,则龙舟渡河的位移为 $s=\sqrt{d^2+x^2}=12\sqrt{41}$ m>60 m,若水速突然变大,则渡河时间不变,A、B 错误,C 正确;由于龙舟在静水中划行的速率大于水速,所以龙舟可以沿垂直河岸的航线抵达对岸,D 错误.

7. D **考查点** ▸关联速度问题、牛顿第二定律

【解析】设轻环 A 在外力作用下沿杆以 v 匀速上升时绳与竖直方向的夹角为 θ,由绳关联的速度关系有 $v\cos\theta=v_B$(**易错点**:误将受力分解方向作为速度分解方向),因 θ 逐渐增大,则 $\cos\theta$ 减

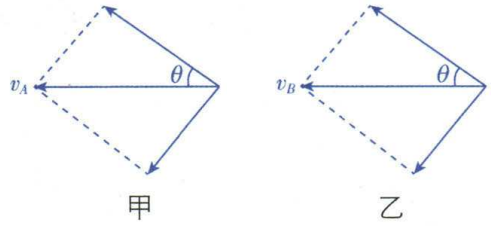
小，可知 v_B 减小，即重物 B 减速下降，A、B 错误；因重物 B 减速下降，由牛顿第二定律可知所受合外力向上，即绳对 B 的拉力大于 B 的重力，C 错误，D 正确.

8. C 考查点 斜牵引运动的分解与合成

【解析】在钉子沿水平方向向左匀速运动的过程中，设钉子的速度为 v，倾斜绳子与水平方向的夹角为 θ，将钉子速度分解为沿倾斜绳子方向分速度 v_1 和垂直倾斜绳子方向分速度 v_2，则有 $v_1 = v\cos\theta$，小球由于受到的绳子拉力与重力均处于竖直方向，所以小球水平方向做匀速直线运动，水平速度等于钉子速度，竖直方向小球的速度为 $v_y = v_1 = v\cos\theta$，由于 θ 逐渐减小，$\cos\theta$ 逐渐增大，则小球在竖直方向上做加速运动，绳子对小球的拉力大于小球重力，A、B 错误，C 正确；小球的合运动为曲线运动，所以小球的运动轨迹是一条曲线，D 错误.

9. D 考查点 杆连接物体运动的分析

【解析】根据题意，活塞沿水平方向往复运动，则活塞的运动不是匀速直线运动，A 错误；已知 A 点的线速度大小为 $v_A = 12\ \text{m/s}$，当 OA 竖直时，将 A 点和活塞的速度分别沿杆方向和垂直杆方向分解，如图甲、乙所示，由几何关系可知 $v_A\cos\theta = v_{杆1} = v_{B1}\cos\theta$，可得 $v_A = v_{B1} = 12\ \text{m/s}$，B 错误；当 OA 和 OB 共线时，A 点在沿杆方向的分速度是 0，则活塞的实际速度沿杆，也为 0，C 错误；当 OA 与 AB 垂直时，A 点的速度沿杆方向，设 AB 与 OB 的夹角为 α，有 $v_A = v_{杆2} = v_{B2}\cos\alpha$，其中 $\cos\alpha = \dfrac{AB}{OB} = \dfrac{45}{\sqrt{15^2+45^2}} = \dfrac{3\sqrt{10}}{10}$，解得 $v_{B2} = 4\sqrt{10}\ \text{m/s}$，D 正确.



甲　　乙

方法总结 关联速度模型的分析方法

(1) 先确定合运动的方向（物体实际运动的方向）；

(2) 分析这个合运动所产生的实际效果（使绳伸直或杆伸缩的效果或者使绳或杆转动的效果）；

(3) 确定两个分速度的方向（沿绳或杆方向的分速度和垂直绳或杆方向的分速度）；

(4) 绳或杆方向的分速度大小相同.

10. BD 考查点 斜牵引运动的运动分解

【解析】小球 P 沿绳方向的分速度与 Q 的速度大小相等，Q 的速度先增大后减小，则物体 Q 先超重，再失重，故 A 错误；到 M 点时，根据速度分解有 $v_P\sin 30° = v_Q$，根据系统机械能守恒有 $2mgR\sin 30° - mg(2R\cos 30° - \sqrt{2}R) = \dfrac{1}{2}\times 2mv_P^2 + \dfrac{1}{2}mv_Q^2$，解得 $v_P = \dfrac{2\sqrt{2(1+\sqrt{2}-\sqrt{3})gR}}{3}$，$v_Q = \dfrac{\sqrt{2(1+\sqrt{2}-\sqrt{3})gR}}{3}$，故 B 正确，C 错误；到 N 点时，根据系统机械能守恒有 $2mgR - mg(2R - \sqrt{2}R) = \dfrac{1}{2}\times 2mv_P'^2$，根据向心加速度公式有 $a = \dfrac{v_P'^2}{R} = \sqrt{2}g$，故 D 正确.

11. B 考查点 杆模型的关联速度问题

【解析】在 $t = 2\ \text{s}$ 时，B 的速度 $v_B = at = 0.8\ \text{m/s}$，根据牵连速度的分解规律有 $v_B = v_A\cos\theta$，解得 $v_A = 1.0\ \text{m/s}$，故选 B.

易错警示 本题容易将 A 点的合速度认为是沿水平方向，然后将该速度沿 OA 方向和垂直 OA 方向分解. 某一点的合速度即为该点实际运动速度，不能准确找到合速度方向和分解方向，是该类题目最容易出错的地方.

第 2 节　抛体运动

刷基础

1. B 考查点 平抛运动的概念

【解析】小球做平抛运动，竖直方向做自由落体运动，竖直墙面上垂直投影的运动是匀加速运动，A 错误，B 正确；小球做平抛运动，水平方向做匀速直线运动，水平地面上垂直投影的运动速度等于 v，C、D 错误.

关键点拨 做平抛运动的物体在水平方向上不受力的作用，做匀速直线运动；在竖直方向上初速度为零，只受重力，做自由落体运动.

2. C 考查点 平抛运动速度的计算

【解析】根据平抛运动规律可知 $h = \dfrac{1}{2}gt^2$，$x = v_0t$，联立解得 $v_0 = x\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$，可知青蛙跳到荷叶 a 上的初速度小于跳到荷叶 b 上的初速度，A 错误；由于水平位移一样，荷叶 c 的高度差大，所以青蛙跳到荷叶 a 上的初速度大于跳到荷叶 c 上的初速度，B 错误；青蛙跳到荷叶 c 的高度差大，水平位移小，所以青蛙跳到荷叶 c 上的初速度最小，C 正确；青蛙跳到荷叶 b 的高度差小，水平位移大，所以青蛙跳到荷叶 b 上的初速度最大，D 错误.

3. A 考查点 平抛运动的规律、$\tan\theta$-t 图像

【解析】平抛运动可分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动. 由 $\tan\theta = \dfrac{v_y}{v_0} = \dfrac{gt}{v_0}$，结合图像的信息知，$t = 4\ \text{s}$ 时，$\tan\theta = 8$，故有 $v_0 = 5\ \text{m/s}$，A 正确，B 错误；竖直方向上做自由落体运动，第 1 s 末竖直方向上的速度为 $v_{y1} = gt = 10\times 1\ \text{m/s} = 10\ \text{m/s}$，平抛初速度大小为 5 m/s，则第 1 s 末物体的速度大小为 $v = \sqrt{v_0^2 + v_{y1}^2} = \sqrt{5^2+10^2}\ \text{m/s} = 5\sqrt{5}\ \text{m/s}$，C、D 错误.

4. D 考查点 斜抛运动

【解析】第一次小球抛出时与第二次小球抛出时相比竖直分速度小，水平分速度大，因此两次抛出的初速度大小关系不能确定，（关键点）A、B 错误；设小球运动时间为 t，在竖直方向，根据 $h = \dfrac{1}{2}g\left(\dfrac{t}{2}\right)^2$ 可知，运动时间为 $t = 2\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$，由于第二次最大高度高，因此第二次小球运动的时间长，C 错误，D 正确.

5. AC 考查点 类平抛运动

【解析】A 做平抛运动，加速度为 g，B 的加速度为 $a = \dfrac{mg\sin\theta}{m} = g\sin\theta$，$A$ 与 B 的加速度大小之比为 $g : a = 1 : \sin\theta$，A 正确；设高度为 h，则 $h = \dfrac{1}{2}gt_1^2$，$\dfrac{h}{\sin\theta} = \dfrac{1}{2}g\sin\theta\cdot t_2^2$，得 $t_1 : t_2 = \sin\theta : 1$，B 错误；由 $x = v_0t$ 可知，A 与 B 在 x 轴方向位移大小之比为 $x_1 : x_2 = \sin\theta : 1$，C 正确；$B$ 在水平面内投影的位移为 $x_B =$

$\sqrt{x_2^2+\left(\frac{h}{\tan\theta}\right)^2}>x_2$，$A$ 与 B 在水平面内投影的位移大小之比不等于 $\sin\theta:1$，D 错误.

方法总结　处理类平抛运动的常用方法

(1)常规分解法：将类平抛运动分解为沿初速度方向的匀速直线运动和垂直于初速度方向(即沿合力的方向)的匀加速直线运动，两分运动彼此独立、互不影响，且与合运动具有等时性.

(2)特殊分解法：对于有些问题，可以过抛出点建立适当的直角坐标系，将加速度分解为 a_x、a_y，初速度 v 分解为 v_x、v_y，然后分别在 x、y 方向列方程求解.

6. B　考查点▸斜面上的平抛运动

【解析】两球均做平抛运动，下落高度 h 相同，由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 知，运动时间 t 相等. 小球 A 垂直落在斜面上时，速度与水平方向夹角为 60°，分解速度有 $\tan 60°=\frac{v_y}{v_1}=\frac{gt}{v_1}$，则 $v_1=\frac{\sqrt{3}}{3}gt$，小球 B 位移与水平方向夹角等于斜面倾角 30°，分解位移有 $\tan 30°=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_2t}$，得 $v_2=\frac{\sqrt{3}}{2}gt$，因此 $v_1:v_2=2:3$，故选 B.

易错警示　本题是平抛运动与斜面结合类问题，容易受到斜面影响而错误分析空间关系，尤其是与斜面结合的角度关系.

刷提分

1. D　考查点▸平抛运动的基本规律

【解析】排球在 A 点的竖直速度 $v_{Ay}=v_0\tan 30°$，在 B 点的竖直速度 $v_{By}=v_0\tan 45°$，$v_{By}=v_{Ay}+gt$，解得 $t=\frac{(3-\sqrt{3})v_0}{3g}$，D 正确.

2. A　考查点▸斜抛运动、功率的计算

【解析】对于前半段，可以看成反向的平抛运动(**关键点：**逆向思维法)，则有 $h_1=\frac{1}{2}gt^2$、$x=v_0t$，由于高度相同，所以时间相同，但是 1 水柱的水平位移小，故 1 的水平速度小. 对于后半段，也可以看成平抛运动，则有 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+2gh_2}$，由于高度相同，1 水柱的水平速度小，所以 1 的末速度小，A 正确，C 错误；对于前半段，可以看成反向的平抛运动，则有 $v_1=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+2gh_1}$，因为 1 水柱的水平速度小，所以 1 水柱的出水速度较小，根据 $Pt=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}\rho Sv_1tv_1^2$，可解得 $P=\frac{1}{2}\rho Sv_1^3$，由于不知道横截面积，所以无法判断功率，也无法判断空中路径的水量，B、D 错误.

3. B　突破点▸平抛运动与曲面相结合、平抛运动的推论

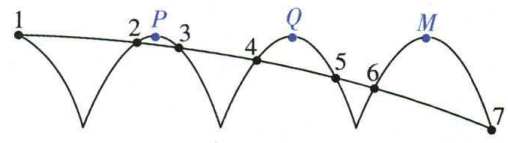
【解析】当小球做平抛运动撞击在圆弧 bc 段时，初速度 v_0 越大，其碰到圆环时的水平分位移越大，竖直位移就越小，A 错误；小球做平抛运动，当小球掉在 c 点时竖直分速度最大，设初速度为 v_0，则有 $R=\frac{1}{2}gt^2$，$R=v_0t$，解得 $v_0=\frac{\sqrt{2gR}}{2}$，B 正确；小球撞击在圆弧 ac 段时，速度方向斜向右下方，不可能与圆环垂直；当小球撞击在圆弧 cb 段时，根据“中点”结论可知，由于 O 不在水平位移的中点，所以小球撞在圆环上的速度反向延长线不可能通过 O 点，也就不可能垂直撞击圆环(**关键点：**做平抛运动的物体，速度的反向延长线必定过水平位移的中点)，C 错误；v_0 取值不同时，小球运动的轨迹不同，落到圆环上的位置不同，则位移的偏向角不同，因速度的偏向角的正切值等于位移偏向角的正切值的 2 倍，可知速度的偏向角不同，则小球落在圆环上的速度方向和水平方向之间的夹角不相同，D 错误.

4. D　突破点▸斜面上的平抛运动

【解析】设小球接触 P 点前瞬时速度大小为 v，则有 $v^2=2gh$，解得 $v=\sqrt{2gh}$，在 P 点反弹后，设从 P 到 Q 用时为 t，由平抛运动规律可得 $\tan 45°=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{vt}=\frac{gt}{2v}$，解得 $t=\frac{2v}{g}$，又因为 $s\times\sin 45°=\frac{1}{2}gt^2$，联立以上解得 $\sqrt{2}s=8h$，D 正确.

5. BD　考查点▸平抛运动中追及相遇问题

【解析】位置 2→位置 3，水平方向速度大小不同，水平方向匀速运动时间不同，在位置 2 相遇，就不会在位置 3 再次相遇，选项 A 错误；由题意可知如图所示，小球 a 从 1→3、小球 b 从 P→3，所用时间 t_1 相同，水平方向上 $x_{a1}-x_{b1}=\frac{2}{7}L=6v_0t_1$，小球 a 从 1→5、小球 b 从 Q→5，所用时间 t_2 相同，水平方向上 $x_{a2}-x_{b2}=\frac{4}{7}L=6v_0t_2$，小球 a 从 1→7、小球 b 从 M→7，所用时间 t_3 相同，水平方向上 $x_{a3}-x_{b3}=\frac{6}{7}L=6v_0t_3$，易得 $t_1:t_2:t_3=1:2:3$，又 $t_3=t$，所以 $t_2=\frac{2}{3}t$，$x_{a1}:x_{a2}:x_{a3}=1:2:3$，又 $x_{a3}=L$，所以 $x_{13}=x_{35}=x_{57}=\frac{L}{3}$，选项 B、D 正确；小球 a 从 1→2、小球 b 从 2→P，t_4 相同，水平方向上 $\frac{2}{7}L=8v_0t_4$，小球 a 从 1→4、小球 b 从 4→Q，t_5 相同，水平方向上 $\frac{4}{7}L=8v_0t_5$，小球 a 从 1→6、小球 b 从 6→M，t_6 相同，水平方向上 $\frac{6}{7}L=8v_0t_6$，易得 $t_4:t_5:t_6=1:2:3$，所以 $x_{12}=x_{24}=x_{46}$，又 $x_{12}+x_{24}+x_{46}+x_{67}=L$，所以 $x_{12}=x_{24}=x_{46}<\frac{L}{3}$，选项 C 错误.



6. BD　考查点▸类平抛运动

【解析】由题意和几何知识可知小球受到的合力为 $F=5$ N，方向与初速度的方向垂直，小球做类平抛运动，小球的加速度不变，A 错误；小球再次经过 x 轴时，沿初速度方向的位移和垂直初速度的位移关系为 $\frac{v_0t}{\frac{1}{2}at^2}=\tan 30°$，又 $a=\frac{F}{m}=10\ \mathrm{m/s^2}$，解得 $t=0.6$ s，B 正确；小球的初速度方向斜向右上，小球的高度先增加后减小，重力势能先增加后减小，C 错误；小球做类平抛运动，速度一直在增加，小球的动能一直增大，D 正确.

7. A　突破点▸斜面上平抛运动的规律、逆向思维法

【解析】由题意，小球两次的运动可以看作反方向的平抛运动，则根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$，$x=v_xt$，可得抛出时小球在水平方向的初速度大小 $v_x=x\sqrt{\frac{g}{2h}}$，竖直方向的速度大小 $v_y=gt=\sqrt{2gh}$，根据前面分析

由题意，可得到依次抛出小球时的水平速度大小，也即击中 B 点时的速度大小之比 $\frac{v_{x1}}{v_{x2}}=\frac{x_1}{x_2}\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}=\frac{2}{1}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{1}$，竖直方向速度大小之比 $\frac{v_{y1}}{v_{y2}}=\sqrt{\frac{h_1}{h_2}}=\frac{\sqrt{2}}{1}$，则两次抛出时的速度大小之比为 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sqrt{v_{x1}^2+v_{y1}^2}}{\sqrt{v_{x2}^2+v_{y2}^2}}=\frac{\sqrt{2}}{1}$，且两次抛出时速度与水平方向的夹角满足 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_x}$，可知两次抛出时速度与水平方向的夹角相等，A 正确，B、C 错误；根据 $W_G=mgh$，可得两次飞行过程中重力对小球做功之比为 $\frac{W_{G1}}{W_{G2}}=\frac{h_1}{h_2}=\frac{2}{1}$，D 错误.

技巧必背 两小球从斜面同一位置以不同速度连续两次做平抛运动，速度之比为 $1:n$，则两小球的位移之比为 $1:n^2$.

8. B 考查点 平抛运动位移和速度的计算

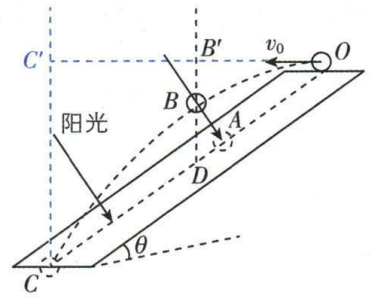
【解析】网球做平抛运动，设 CD 的水平距离为 l，竖直方向有 $H=\frac{1}{2}gt_1^2$、$H-h=\frac{1}{2}gt_2^2$，水平方向有 $L+l=v_0t_1$、$L=v_0t_2$，联立解得 $v_0=\frac{3}{2}L\sqrt{\frac{g}{2H}}$、$l=\frac{1}{2}L$，则网球在中间网左、右两侧的水平距离之比 $L:l=2:1$，A 错误，B 正确；若网球的初速度变为原来的两倍，则网球落地时的水平位移 $x=2v_0t_1=3L>2L$，网球出界，C 错误；若击球高度低于 H，则网球运动到与网上边沿等高位置的时间变短，若再减小击球速度，网球会落在网前，D 错误.

9. BD 考查点 平抛运动、动量定理、动能定理

【解析】小球落地时重力的功率为 $P_G=mgv\sin\theta$，故 A 错误；利用微元法，小球下落过程，在竖直方向上根据动量定理有 $mgt-k(v_{y1}+v_{y2}+v_{y3}+\cdots+v_{yn})\frac{t}{n}=mv\sin\theta$，其中 $(v_{y1}+v_{y2}+v_{y3}+\cdots+v_{yn})\frac{t}{n}=h$，解得小球下落的时间为 $t=\frac{mv\sin\theta+kh}{mg}$，故 B 正确；同理，在水平方向上根据动量定理有 $-k(v_{x1}+v_{x2}+v_{x3}+\cdots+v_{xn})\frac{t}{n}=mv\cos\theta-mv_0$，其中 $(v_{x1}+v_{x2}+v_{x3}+\cdots+v_{xn})\frac{t}{n}=x$，解得小球下落过程的水平位移大小为 $x=\frac{m(v_0-v\cos\theta)}{k}$，故 C 错误；小球下落的过程，根据动能定理有 $mgh+W_f=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得小球下落过程空气阻力所做的功为 $W_f=\frac{1}{2}m(v^2-v_0^2)-mgh$，故 D 正确.

10. A 突破点 斜面上的平抛运动的规律

【解析】将小球的运动分解为沿斜面和垂直斜面两个分运动，可知从 O 点到 B 点的过程中小球垂直斜面方向做初速度为 $v_0\sin\theta$、加速度为 $g\cos\theta$ 的匀减速直线运动，B 点是运动过程中距离斜面的最远处，则此时小球垂直斜面方向的分速度刚好为 0，则有 $l_{AB}=\frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g\cos\theta}=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g\cos\theta}$，则从 O 点到 B 点运动的时间为 $t_1=\frac{v_0\sin\theta}{g\cos\theta}$，根据对称性原理，可知小球从 B 点运动到 C 点的时间等于从 O 点到 B 点运动的时间为 $t_2=t_1=\frac{v_0\sin\theta}{g\cos\theta}$，故小球在空中的飞行时间为 $t=t_1+t_2=\frac{2v_0\sin\theta}{g\cos\theta}$，A 正确，B 错误；小球另一个分运动是沿斜面向下运动，即小球沿斜面方向做初速度为 $v_0\cos\theta$、加速度为 $g\sin\theta$ 的匀加速直线运动，则有 $l_{OA}=v_0\cos\theta\cdot t_1+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot t_1^2$，$l_{OC}=v_0\cos\theta\cdot 2t_1+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot(2t_1)^2$，则 $l_{AC}=l_{OC}-l_{OA}=v_0\cos\theta\cdot t_1+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot 3t_1^2$，故 OA 与 AC 长度比为 $\frac{l_{OA}}{l_{AC}}=\frac{v_0\cos\theta\cdot t_1+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot t_1^2}{v_0\cos\theta\cdot t_1+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot 3t_1^2}>\frac{1}{3}$，C 错误；将小球的运动分解为水平方向的匀速运动和竖直方向的自由落体运动，如图所示，



则从 O 到 B 有 $x_{OB}=v_0t_1$，小球从 O 到 C 有 $x_{OC}=v_0\cdot 2t_1=2x_{OB}$，根据几何关系，可知 D 点是 OC 的中点，则 OD 与 DC 长度相等，即 OD 与 DC 长度之比为 1：1，D 错误.

方法总结 斜面上平抛运动的常见结论（初速度为 v_0，斜面倾角为 θ）

(1) 斜面的倾角正好等于位移偏转角，则速度偏转角为定值.

(2) 当速度方向平行于斜面的时候，物体离斜面最远，最远时刻 $t_1=\frac{v_0\tan\theta}{g}$，最远距离 $d=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g\cos\theta}$.

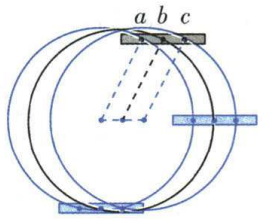
(3) 飞行时间 $t_2=2t_1=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$.

第 3 节　圆周运动

刷基础

1. C 考查点 描述圆周运动的物理量

【解析】自行车脚踏板一直保持水平，则脚踏板的运动轨迹属于平动，即脚踏板上三点 a、b、c 相对静止，b 点绕转轴做匀速圆周运动，a、c 也是做匀速圆周运动，只是圆心不同，三者的半径大小相等、线速度大小相等、角速度大小相等、向心加速度大小相等，C 正确.



2. A 考查点 杆球类模型及其临界条件

【解析】由题意知，铁球在竖直平面内做匀速圆周运动，则其所受合力大小不变，方向总是指向圆心，A 正确；铁球转动到最高点时，加速度指向圆心，方向竖直向下，处于失重状态，B 错误；铁球做匀速圆周运动时的向心加速度大小不变，方向总是指向圆心，即方向不断变化，C 错误；若铁球转动到最高点时，支架对地面的压力刚好为零，对支架进行受力分析，根据平衡条件，可

易错点

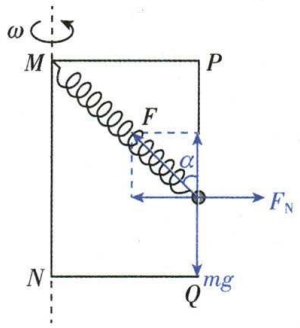
知杆对支架的弹力为 $T=Mg$，D 错误.

3. A 考查点▸倾斜转弯模型

【解析】因为玩具小熊的细线稳定后与车厢侧壁平行，故小熊与列车具有相同的运动状态，对玩具小熊有 $m_1g\tan\theta=m_1a_n$，得 $a_n=g\tan\theta$，对列车整体 $m_2a_n=m_2g\tan\theta$，说明列车的轮缘与轨道无侧向挤压作用，且加速度为水平方向，A 正确，B 错误；水杯所受支持力方向与竖直方向夹角为 θ，同理，水杯与桌面间不存在静摩擦力，C 错误；水杯受到桌面的支持力与水杯的重力方向不共线，不可能是一对平衡力，D 错误.

4. C 考查点▸圆锥摆问题

【解析】小球在水平面内做匀速圆周运动，由合外力提供向心力，如图所示，小球在竖直方向受力平衡，则 $F\cos\alpha=mg$，若 $\omega'>\omega$，假设小球上移，α 增大，$\cos\alpha$ 减小，弹簧伸长量减小，F 减小，则 $F\cos\alpha<mg$，小球在竖直方向不能平衡；同理，假设小球下移，α 减小，也不能平衡，所以 α 不变，小球的高度不变，弹簧弹力的大小一定不变，A、B 错误；规定杆对小球的弹力方向向右为正，由牛顿第二定律得 $F\sin\alpha-F_N=m\omega^2r$，可得 $F_N=F\sin\alpha-m\omega^2r$，因为 $F\sin\alpha$ 是定值，所以当 $F\sin\alpha>m\omega^2r$ 时，$F_N>0$，杆对小球弹力向右，当 $F\sin\alpha<m\omega^2r$ 时，$F_N<0$，杆对小球弹力向左，可知随着 ω 的增大，杆对小球的弹力可能存在反向的过程，所以从 $\omega=0$ 开始逐渐增大，杆对小球的弹力变化一定是先变小后变大. 因为本题中 $F\sin\alpha$ 和 $m\omega^2r$ 的关系未知，所以大小关系不确定，因此杆对小球的弹力可能变大，也可能变小，C 正确；小球所受合外力的大小 $F_合=F_n=m\omega^2r$，ω 变大，其他量不变，$F_合$ 一定变大，D 错误.



5. AD 考查点▸圆锥摆模型

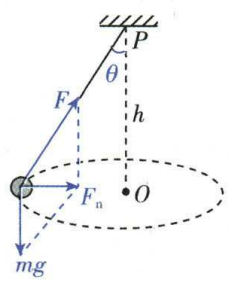
【解析】对游客与椅子的整体受力分析可知，受重力、悬绳拉力，是这两个力的合力提供向心力，A 正确；重力和拉力的合力提供向心力，由矢量三角形可得 $\frac{F_A}{F_B}=\frac{m_Ag}{\cos37^\circ}\cdot\frac{\cos53^\circ}{m_Bg}=\frac{3m_A}{4m_B}$，向心加速度为 $\frac{a_A}{a_B}=\frac{g\tan37^\circ}{g\tan53^\circ}=\frac{9}{16}$，B、C 错误；设游客做匀速圆周运动的半径为 r，根据 $mg\tan\theta=m\omega^2r$，可得 $\tan\theta=\frac{\omega^2r}{g}$，由此可知，悬绳与竖直方向的夹角与游客质量无关，D 正确.

易错警示 该题比较容易在受力分析和圆周半径确定上出现问题，要准确做好受力分析，确定向心力的来源，同时要准确做好运动分析，找准圆周平面以及圆心和半径.

刷提分

1. A 突破点▸等高摆模型

【解析】小球在水平面内做匀速圆周运动，对小球受力分析，如图所示，可得 $F\sin\theta=m\frac{4\pi^2}{T^2}l\sin\theta$、$F\cos\theta=mg$、$l\cos\theta=h$，联立解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$，周期 T 只与距离 h 有关，周期 T 不改变，A 正确，B 错误；由上述公式可得 $F=\frac{mgl}{h}$，可知轻绳的拉力大小 F 增大，C、D 错误.



技巧必背 由于圆锥摆模型中，物体运动的角速度只与绳子悬点和圆周运动圆心之间的距离有关，因此，等高摆的角速度相等，周期相等.

2. C 考查点▸简谐运动、圆周运动

【解析】方案一中小球在地面做竖直面内的圆周运动，轨迹为半圆，方案二中小球在空间站做竖直面内的匀速圆周运动，轨迹为圆，所以两种方案的轨迹不同，故 A 错误；方案一从 B 点到最低点，由动能定理 $mgL=\frac{1}{2}mv_1^2-0$，$T_1-mg=m\frac{v_1^2}{L}$，解得 $T_1=3mg$，方案二在最低点 $T_2=m\frac{v^2}{L}=2mg\neq T_1$，故 B 错误；方案二中设小球转过的圆心角为 θ，小球做匀速圆周运动，则 $\theta=\omega_2t$，其中 $T_2=\frac{2\pi L}{v}$，$\omega_2=\frac{2\pi}{T_2}=\frac{v}{L}$，那么小球运动的水平投影为 $x=L\sin\theta=L\sin\omega_2t=L\sin\frac{v}{L}t$，由此可知小球运动的水平投影位移与时间的关系为正弦函数，所以小球的投影运动为简谐运动，故 C 正确；方案二的周期 $T_2=\frac{2\pi L}{v}=\sqrt{2}\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，将方案一近似为单摆运动时，单摆运动的周期为 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}>T_2$，由于方案一从 B 点释放，所以其周期比单摆周期大，所以方案一中投影的运动周期较方案二大，故 D 错误.

3. BD 考查点▸竖直面内的圆周运动

【解析】球在 c 点对球拍的压力大小为 $5mg$，由牛顿第三定律，在 c 点球拍对球的支持力大小 $F_N=5mg$，则在 c 点 $F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$，解得 $v=2\sqrt{gR}$，A 错误；在 a 处 $F_{Na}+mg=m\frac{v^2}{R}$，解得 $F_{Na}=3mg$，B 正确；设在 b 处球拍与水平面的夹角为 θ，若满足 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$，又 $v=2\sqrt{gR}$，解得 $\tan\theta=4$，可知小球在 b 处可能受重力、支持力和摩擦力这三个力的作用，C 错误；运动的周期为 $T=\frac{2\pi R}{v}=\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，D 正确.

4. D 突破点▸圆锥摆问题、临界问题

【解析】对小物块分析，若球壳角速度最小时，受重力、支持力、摩擦力，在水平方向上有 $f\cos\theta+N\sin\theta=m\omega^2R\sin\theta$，在竖直方向上有 $mg+N\cos\theta=f\sin\theta$，且 $f=\mu N$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}{R\sin\theta(\mu\sin\theta-\cos\theta)}}$，D 正确.

5. A 突破点▸水平面内的圆周运动、胡克定律

【解析】当橡皮绳 OO_1 拉伸而 O_1O' 刚好处于原长时，设小球做匀速圆周运动的角速度为 ω_0，由牛顿第二定律有 $m\omega_0^2\cdot\frac{2}{3}R=k\left(\frac{2}{3}R-\frac{1}{3}R\right)$，解得 $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{2m}}$；当 $\omega_1=\sqrt{\frac{k}{5m}}<\omega_0$ 时，两橡皮绳均处于拉伸状态，设此时小球距离圆心为 R_1，则 $m\omega_1^2\cdot R_1=k\left(R_1-\frac{1}{3}R\right)-k\left(R-R_1-\frac{1}{3}R\right)$，求得 $R_1=\frac{5}{9}R$；当 $\omega_1=\sqrt{\frac{3k}{5m}}>\omega_0$ 时，橡皮绳 O_1O' 处于松弛状态，设此时小球距离圆心为 R_2，则 $m\omega_2^2\cdot R_2=k\left(R_2-\frac{1}{3}R\right)$，求得 $R_2=\frac{5}{6}R$，所以，小球所对应的线速

度之比为$\frac{v_1}{v_2}=\frac{R_1\omega_1}{R_2\omega_2}=\frac{2\sqrt{3}}{9}$，故选 A.

专题 5　圆周运动的临界问题

刷难关

1. C　**突破点**▸水流星、绳连物体的圆周运动

【解析】杯子运动到最高点时，水刚好不落下，对水则有 $mg=m\frac{v^2}{r}$，所以杯子在最高点时的速度大小为 $v=2$ m/s，A 错误；当杯子到最高点速度大小为 6 m/s 时，对水根据牛顿第二定律有 $F_N+mg=m\frac{v'^2}{r}$，解得 $F_N=16$ N，即杯子对水的弹力大小为 16 N，方向竖直向下，根据牛顿第三定律可得水对杯子的弹力大小为 16 N，方向竖直向上，B 错误；杯子在运动过程中做的是变速圆周运动，沿圆周下降过程速度增加是因为其受到的合力沿轨迹切线方向的分力与速度同向，C 正确；杯子在最低点时具有加速度，此时杯子不处于平衡状态，D 错误.

2. B　**突破点**▸杆球类模型

【解析】对 A 分析，根据牛顿第二定律有 $F_A-m_Ag=m_A\frac{v_A^2}{r}$，可得，圆管对小球 A 的弹力大小为 $F_A=28$ N，方向向上，则小球 A 对圆管的弹力大小为 $F_1=F_A=28$ N，方向向下；对圆管分析，则有 $F_2=F_1+mg$，解得小球 B 对圆管的弹力大小为 $F_2=44$ N，方向向上，则根据牛顿第三定律，圆管对小球 B 的弹力大小为 $F_B=F_2=44$ N，方向向下. 对小球 B 分析，有 $F_B+m_Bg=m_B\frac{v_B^2}{r}$，解得小球 B 的速度大小为 $v_B=4$ m/s，故选 B.

快解　杆对圆管的弹力为零，则将 A、B 和圆管组成的系统看为一个整体，三者的重力提供 A、B 圆周运动的向心力，则有 $(m_A+m_B+m_{管})g=m_B\frac{v_B^2}{R}-m_A\frac{v_A^2}{R}$，则 $v_B=4$ m/s.

3. AD　**突破点**▸圆锥摆问题、牛顿运动定律与图像结合

【解析】设线长为 L，锥体母线与竖直方向的夹角为 θ，当时 $\omega=0$，小球静止，受重力 mg、支持力 N 和线的拉力 T_1 而平衡，此时有 $T_1=mg\cos\theta$，ω 增大时，T 增大，N 减小，由图乙可知，$\omega^2=25(\text{rad/s})^2$，即 $\omega=5$ rad/s 时，拉力发生突变，故此时 $N=0$（关键点：突变之前，细线拉力、支持力和重力的合力提供向心力；突变之后，细线拉力和重力的合力提供向心力），有 $T_2\cos\theta=mg$，$T_2\sin\theta=m\omega^2L\sin\theta$，解得 $\cos\theta=\frac{4}{5}$，代入解得 $m=2$ kg、$T_2=25$ N，A、D 正确.

4. C　**突破点**▸圆锥摆问题

【解析】若圆台的角速度达到某一值 ω_0 时，物块 B 与侧面分离. 设此时绳子与竖直方向的夹角为 θ，根据几何关系 $\tan\theta=\frac{1.25-0.45}{0.6}=\frac{4}{3}$，可得 $\theta=53°$，此时绳的拉力 $F_T=\frac{mg}{\cos 53°}=\frac{5}{3}mg$，而此时上底面与物块 A 间的最大静摩擦力为 $f_m=4\mu mg=1.6mg<\frac{5}{3}mg$，即物块 A 已经出现相对滑动. 因此，当该稳定状态出现临界值时，绳的拉力为 $F'_T=f_m=1.6mg$，对 B 受力分析可知 $F'_T\cos 53°+N\cos 37°=mg$、$F'_T\sin 53°-N\sin 37°=mr\omega^2$，解得 $\omega=\sqrt{10}$ rad/s，故选 C.

5. (1) $\frac{\sqrt{5gL}}{2L}$　(2) $\frac{2\sqrt{42}}{5}L$

突破点▸圆锥摆问题

【解析】(1) 当小球对转盘的作用力恰好为零时，小球做圆锥摆运动，根据牛顿第二定律 $mg\tan\theta=mr\omega_1^2$，

根据几何关系 $r=L\sin\theta$，

解得 $\omega_1=\frac{\sqrt{5gL}}{2L}$.

(2) 当小球转动的角速度为 $\sqrt{\frac{5g}{L}}$ 时，设细线与竖直方向的夹角为 α，则有 $mg\tan\alpha=mL\sin\alpha\cdot\omega_2^2$，

解得 $\cos\alpha=\frac{1}{5}$，

此时小球离盘面的高度 $h=L\cos\theta-L\cos\alpha=\frac{3}{5}L$，

细线断开后，小球做平抛运动，运动的时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{6L}{5g}}$，

平抛运动的初速度 $v=\omega_2L\sin\alpha=2\sqrt{\frac{6}{5}gL}$，

平抛运动的水平位移 $x=vt=\frac{12}{5}L$，

则小球在转盘上的落点离转轴的距离 $s=\sqrt{x^2+(L\sin\alpha)^2}=\frac{2\sqrt{42}}{5}L$.

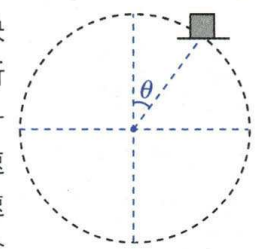
6. B　**突破点**▸摩擦力模型

【解析】磁铁受到的静摩擦力和重力的合力提供向心力，则有 $F_n=m\omega^2r$，磁铁恰好不滑动时，则有 $f=\sqrt{F_n^2+(mg)^2}$，$f=\mu F_0$，联立解得 $\omega=\sqrt[4]{\frac{\mu^2F_0^2-m^2g^2}{m^2r^2}}$，故选 B.

7. D　**突破点**▸摩擦力模型、能否相对滑动问题

【解析】两物体随圆盘转动，角速度相同为 ω，运动半径为 r，则两物体转动所需的向心力为 $F_1=mr\omega^2$，$F_2=2mr\omega^2$，即乙所需要的向心力是甲所需要的向心力的 2 倍，A 错误；设乙对甲的摩擦力大小为 f_1，圆盘对乙的摩擦力大小为 f_2，根据牛顿第二定律有 $f_1=F_1$，$f_2-f_1=F_2$，解得 $\frac{f_2}{f_1}=3$，B 错误；当甲、乙整体刚好和圆盘发生相对滑动时，有 $\mu_2\times3mg=3mr\omega^2$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{\mu_2g}{r}}$，甲与乙之间最大静摩擦力为 $f=\mu_1mg>mr\omega^2=\mu_2mg$，所以为了保证甲、乙均不发生滑动，角速度的最大值为 $\omega=\sqrt{\frac{\mu_2g}{r}}$，C 错误，D 正确.

8. BD　**突破点**▸竖直面内的圆周运动



【解析】依题意，可知在圆心等高处时物块受到的静摩擦力提供其做匀速圆周运动所需的向心力，大小为 $F_n=f=m\omega^2R$，大小不一定等于 μmg，A 错误，B 正确；由于物块加速度的水平方向分量是由摩擦力产生的，加速度的竖直方向分量是由重力和支持力的合力产生，如图，根据动力学关系有 $\mu N=m\omega^2R\sin\theta$、$mg-N=m\omega^2R\cos\theta$，联立求得 $\omega^2=\frac{\mu g}{R(\mu\cos\theta+\sin\theta)}$，由数学知识，可得 ω 的最大值为 $\omega_{max}=\sqrt{\frac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$，C 错误，D 正确.

9. BC　**突破点**▸倾斜转盘上的圆周运动

【解析】物块在圆盘上受到重力、圆盘的支持力和摩擦力，合力提供向心力；可知当物块转到圆盘的最低点，所受的静摩擦力沿斜面向

上达到最大时，角速度最大. 由牛顿第二定律得 $\mu mg\cos 30°-mg\sin 30°=m\omega_0^2L$，解得 $g=4\omega_0^2L$. 小物块在最高点位置，假设摩擦力沿盘面向上，则根据牛顿第二定律有 $mg\sin 30°-F_f=m\omega_0^2L$，解得 $F_f=m\omega_0^2L$，假设正确，摩擦力方向沿盘面向上，A 错误，B 正确；第一宇宙速度符合 $mg=m\frac{v^2}{R}$，解得 $v=\sqrt{gR}=2\omega_0\sqrt{RL}$，C 正确；绕该行星表面做匀速圆周运动的物体受到的万有引力提供向心力，$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，联立可求得该行星的质量为 $M=\frac{gR^2}{G}=\frac{4\omega_0^2R^2L}{G}$，所以密度为 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\omega_0^2L}{G\pi R}$，D 错误.

实验 3　探究平抛运动的特点　探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系

刷实验

1. (1) BC　(2) C　(3) 1.0　9.7

考查点 ▸探究平抛运动的特点

【解析】(1) 为了获得相同的初速度，需要每次从斜槽上相同的位置无初速度释放钢球，斜槽轨道不需要光滑，A 错误，C 正确；为保证小球飞出时速度水平，所以斜槽轨道末端需要水平，B 正确；挡板只需能记录下小球在下落不同高度时的位置即可，不需要等间距下移，D 错误.

(2) 因为平抛运动在竖直方向上为自由落体运动，下落的速度越来越快，则下落相等竖直位移的时间越来越短，水平方向上为匀速直线运动，所以 $x_2-x_1>x_3-x_2$，故选 C.

(3) 由题意水平方向做匀速直线运动，根据图中数据可得，小球运动到图中位置 A 时，水平方向上有 $v_x=\frac{\Delta x}{T}=\frac{0.05}{0.05}$ m/s = 1.0 m/s，在竖直方向上，做自由落体运动，根据逐差法可得 $g=\frac{(11.0+13.4)-(8.6+6.1)}{4T^2}\times10^{-2}$ m/s^2 = 9.7 m/s^2.

2. (1) A　(2) B

考查点 ▸探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系

【解析】(1) 实验中，两球放在 A 处和 C 处，则表示圆周运动半径相等，两球体积相等材料不同，故两球质量不相同，变速塔轮的半径之比为 1∶1，则角速度相等，根据 $F=m\omega^2r$，此时可研究向心力 F 的大小与质量 m 的关系，故选 A.

(2) 根据 $F=m\omega^2r$，小球质量和圆周运动半径相等，两个小球向心力的比值为 1∶4，可以判断与皮带连接的变速塔轮相对应的半径之比为 2∶1，故选 B.

全章素养提升

刷情境

1. D　**创新点** ▸圆锥摆问题

【解析】容器壁对硬币的支持力与硬币重力的合力充当了硬币做匀速圆周运动的向心力，A 错误；对硬币受力分析可知 $mg\tan\theta=ma$，因在 A 点时 θ 角较小，则硬币在 A 点做匀速圆周运动的向心加速度小于在 B 点做匀速圆周运动的向心加速度，B 错误；根据 $mg\tan\theta=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{R}{g\tan\theta}}$，因硬币在 A 点时 θ 角较小且 R 较大，则硬币在 A 点做匀速圆周运动的周期大于在 B 点做匀速圆周运动的周期，C 错误；根据 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$，可得 $E_k=\frac{1}{2}mgR\tan\theta\propto R\tan\theta$，可得硬币做匀速圆周运动在 A、B 两点的动能之比为 $\frac{E_{kA}}{E_{kB}}=\frac{R_1\tan 30°}{R_2\tan 45°}=\frac{5}{6}$，D 正确.

2. AC　**创新点** ▸斜抛运动、平抛运动、农场扬场机

【解析】谷粒 1 做平抛运动，谷粒 2 做斜抛运动，故谷粒 1 和谷粒 2 在水平方向都做匀速直线运动，A 正确；谷粒 1 在竖直方向做自由落体运动，谷粒 2 在竖直方向做竖直上抛运动，B 错误；谷粒 1 在竖直方向做自由落体运动，有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$，谷粒 2 在竖直方向做竖直上抛运动，设谷粒 2 的初速度与水平方向的夹角为 θ，有 $h=-v_2t_2\sin\theta+\frac{1}{2}gt_2^2$，可得 $t_2>t_1$，C 正确，D 错误.

3. (1) $\rho vdh\Delta t$　(2) $\frac{v^2}{R}\Delta t$　(3) $\frac{\rho dv^2}{R}$

创新点 ▸圆周运动、牛顿第二定律

【解析】(1) 极短时间 Δt 内通过观测截面流水的长度

$\Delta l=v\Delta t$，

流水横截面积为

$S=dh$，

根据 $\rho=\frac{m}{V}$，

可得流水的质量

$\Delta m=\rho\cdot\Delta V=\rho\cdot dh\cdot\Delta l=\rho vdh\Delta t$.

(2) 由于 Δt 极短，可以把流水的运动简化为匀速圆周运动，根据匀速圆周运动的规律知，其向心加速度为

$a=\frac{v^2}{R}$，

又 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，

联立解得 $\Delta v=\frac{v^2}{R}\Delta t$.

(3) 对 Δt 内通过观测截面的流水，根据牛顿第二定律可得

$F=\Delta m\frac{v^2}{R}$，

解得 $F=\frac{\rho dhv^3\Delta t}{R}$，

由牛顿第三定律可知，流水对外侧河堤的作用力大小 $F'=F$，

流水与河堤作用的面积

$S'=\Delta l\cdot h=vh\Delta t$，

故外侧河堤受到的流水冲击产生的压强

$p=\frac{F'}{S'}=\frac{\frac{\rho dhv^3\Delta t}{R}}{vh\cdot\Delta t}=\frac{\rho dv^2}{R}$.

刷真题

刷小题

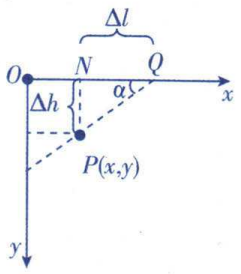
1. A　**命题点** ▸曲线运动、篮球投篮

【解析】在练习投篮时，篮球做曲线运动，篮球所受的合力 F 应指向曲线的凹向，A 正确.

2. D　**命题点** ▸运动的合成

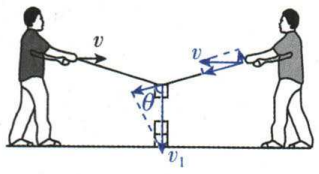
【解析】以某一粒沙子抛出点为坐标原点 O，初速度方向为 x 轴，竖直向下为 y 轴，设该沙子抛出瞬间水平方向上速度为 v_x，沙子运动过程中位置坐标为 $P(x,y)$. 运动时间 t 后，根据平抛运动有 $\begin{cases}x=v_xt\\y=\frac{1}{2}gt^2\end{cases}$，设此时罐子的坐标为 $Q(x_0,y_0)$，则 $\begin{cases}x_0=v_xt+\frac{1}{2}at^2\\y_0=0\end{cases}$，则

$\begin{cases}\Delta l=x_0-x=\dfrac{1}{2}at^2\\ \Delta h=y=\dfrac{1}{2}gt^2\end{cases}$，设 PQ 与水平方向夹角为 α，则 $\tan\alpha=\dfrac{\Delta h}{\Delta l}=\dfrac{g}{a}$ 恒定，说明沙子相对罐子运动的方向恒定且左侧沙子在下，右侧沙子在上，D 正确.



3. B **命题点** ▸关联速度

【解析】设塔块的速度为 v_1，绳与竖直方向的夹角为 θ，将速度分解，如图所示，则 $v_1\cos\theta=v\sin\theta$（**点拨：**沿绳方向速度大小相等），解得 $v=\dfrac{v_1}{\tan\theta}$，塔块沿竖直方向匀速下落的过程中，$\theta$ 减小，$\tan\theta$ 一直减小，故 v 一直增大，B 正确.



4. B **命题点** ▸平抛运动的规律

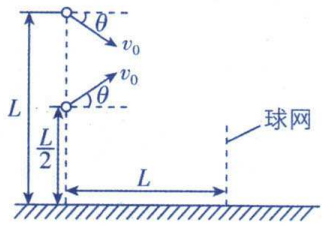
【解析】人与车做平抛运动，设运动时间为 t，竖直方向有 $h=\dfrac{1}{2}gt^2$，水平方向有 $x=v_0t$，联立可得 $h=\dfrac{gx^2}{2v_0^2}=5$ m，B 正确.

5. C **命题点** ▸平抛运动规律

【解析】由平抛运动规律得，水在桶中运动时间为 $t=\sqrt{\dfrac{4h}{g}}-\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$，$\dfrac{D}{2}=v_0t$，联立解得水离开出水口的速度大小为 $v_0=\dfrac{(\sqrt{2}+1)D}{2}\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$，C 正确.

6. C **命题点** ▸斜抛运动

【解析】由题意可画出示意图，如图所示. 设球网的高度为 h，对于斜向下击出的网球，在水平方向有 $L=v_0\cos\theta\cdot t_1$，竖直方向有 $L-h=v_0\sin\theta\cdot t_1+\dfrac{1}{2}gt_1^2$. 对于斜向上击出的网球，在水平方向有 $L=v_0\cos\theta\cdot t_2$，竖直方向有 $\dfrac{L}{2}-h=-v_0\sin\theta\cdot t_2+\dfrac{1}{2}gt_2^2$，联立可得 $t_1=t_2$，$\dfrac{L}{2}=2v_0\sin\theta\cdot t_1$，结合 $L=v_0\cos\theta\cdot t_1$，可得 $4\sin\theta=\cos\theta$，解得 $\tan\theta=\dfrac{1}{4}$，C 正确.

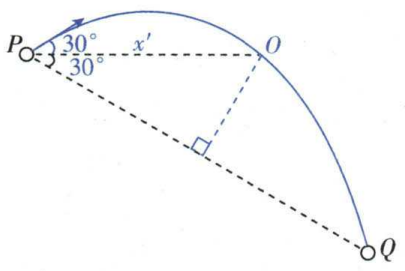


7. AD **命题点** ▸斜抛运动

【解析】小鱼斜向上跃出后，在空中做斜上抛运动，可分解为沿 x 轴正方向的匀速直线运动和沿 y 轴正方向的匀减速直线运动，两方向的位移分别为 $x=v_xt$，$y=v_{0y}t-\dfrac{1}{2}gt^2$，A 正确，B 错误；沿 x 轴正方向速度保持不变，C 错误；沿 y 轴正方向速度随时间均匀减小至 0，$v_y=v_{0y}-gt$，D 正确.

8. BD **命题点** ▸斜抛运动

【解析】设竖直向下为正方向，由题意可得 $\tan30°=\dfrac{y}{x}=\dfrac{-v_0\sin30°\cdot t+\frac{1}{2}gt^2}{v_0\cos30°\cdot t}$，解得 $t=4$ s，A 错误；重物落地时，水平速度 $v_x=v_0\cos30°=10\sqrt{3}$ m/s，竖直速度 $v_y=-v_0\sin30°+gt=30$ m/s，落地速度与水平方向夹角的正切值 $\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_x}=\sqrt{3}$，解得 $\theta=60°$，可得落地速度与水平方向夹角为 60°，B 正确；当重物速度方向与 PQ 平行时，重物离 PQ 连线最远，即 $\tan30°=\dfrac{v_y'}{v_x}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，解得 $v_y'=10$ m/s，由 $v_y'=-v_0\sin30°+gt'$，解得 $t'=2$ s，此时重物的水平位移 $x'=v_xt'=20\sqrt{3}$ m，竖直位移 $y'=-v_0\sin30°\cdot t'+\dfrac{1}{2}gt'^2=0$ m，离 PQ 连线最远位置如图中 O 点所示，则 $d=x'\sin30°=10\sqrt{3}$ m，C 错误；重物上升到最高点所需时间满足 $0=-v_0\sin30°+gt''$，解得 $t''=1$ s，轨迹最高点与落点的高度差 $h=\dfrac{1}{2}g(t-t'')^2=45$ m，D 正确.



9. C **命题点** ▸跳绳中的圆周运动

【解析】设该同学摇绳一圈所用时间为 T，由题意可得 $\dfrac{30°}{360°}T=\dfrac{1}{30}$ s，解得 $T=0.4$ s，则该同学每分钟摇绳的圈数为 $n=\dfrac{60\text{ s}}{T}=150$，C 正确.

10. B **命题点** ▸运动的合成与分解、匀速圆周运动线速度与角速度的关系

【解析】底盘以 O 点为轴匀速转动，底盘上除 O 点外所有点均做同轴转动，转杯上除 O' 点外所有点不仅相对 O 点同轴转动，还相对 O' 点同轴转动，所以 O' 点做匀速圆周运动，A 点做的不是匀速圆周运动，A 错误，B 正确；设该时刻 A 点在底盘上的竖直投影点所对应的转盘上的点为 A'，A' 点转动的半径大于 O' 点的转动半径，由 $v=\omega r$ 可知，A' 点的速度大于 O' 点的速度，又由于该时刻 A 点绕 O' 点与底盘做同方向转动，则 A 点的速度大于 A' 点的速度，则此时 A 点的速度一定大于 O' 点的速度，C、D 错误.

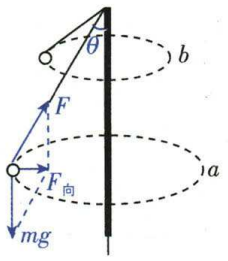
11. AD **命题点** ▸匀速圆周运动

【解析】由题图可知，P、Q 绕 O 点做同轴转动，两点的周期和角速度相同，B 错误；$r_Q>r_P$，根据 $v=\omega r$ 可知，Q 点的线速度大于 P 点的线速度，A 正确；由 $a=\omega^2r$ 可知，Q 点的向心加速度大于 P 点的向心加速度，C 错误；P 点做匀速圆周运动，合外力提供向心力，而向心力总是指向圆心 O，D 正确.

12. C **命题点** ▸圆周运动规律

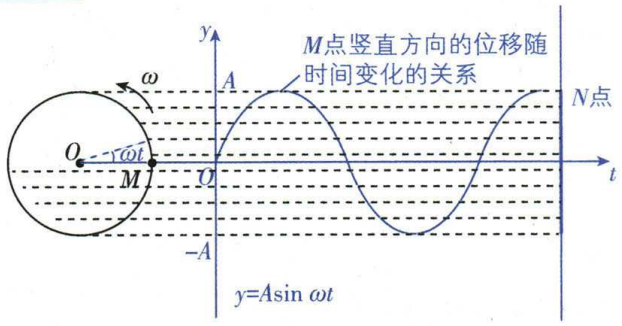
【解析】设绳与竖直方向的夹角为 θ，蜂鸣器做匀速圆周运动的

半径为 r，由于蜂鸣器上升过程中缓慢下拉绳子，绳子的拉力做功大于蜂鸣器克服重力做功，蜂鸣器的动能增大，速度增大，则 $v_a<v_b$，B 错误；设蜂鸣器到上端管口的高度为 h，由牛顿第二定律得 $mg\tan\theta=m\omega^2 r$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{g\tan\theta}{r}}$，又 $\tan\theta=\frac{r}{h}$，则 $\omega=\sqrt{\frac{g}{h}}$，又因为 $h_a>h_b$，故 $\omega_a<\omega_b$，A 错误；由牛顿第二定律得 $F_{向}=m\frac{v^2}{r}=mg\tan\theta=ma$，可知 $\theta_a<\theta_b$，$a_a<a_b$，C 正确；蜂鸣器所受拉力 $F=\frac{mg}{\cos\theta}$，可知 $F_a<F_b$，D 错误.



13. D **命题点** ▸简谐运动的图像

题图剖析



【解析】根据题意可知质点 M 在竖直方向上做简谐运动，其竖直方向上的位移随时间变化的关系为 $y=A\sin\omega t$，由题意可知 M、N 始终处于同一高度，所以 N 点也做简谐运动，且位移随时间变化的关系为 $y=A\sin\omega t$，公式两边对时间求导，可得速度随时间变化的关系为 $v=\frac{\Delta y}{\Delta t}=A\omega\cos\omega t$，即速度随时间变化的关系为余弦函数，D 正确.

刷大题

14. $\frac{\sqrt{2gh}}{\tan\theta}$

命题点 ▸平抛运动、打水漂

【解析】当石子接触水面时的速度方向与水面夹角为 θ 时，抛出速度最小，石子做平抛运动，根据平抛运动的速度和位移公式可得

水平方向上有 $v_x=v_0$ （2 分）

竖直方向上有 $h=\frac{1}{2}gt^2$ （2 分）

$v_y=gt$ （2 分）

其中 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}$ （2 分）

联立各式解得 $v_0=\frac{\sqrt{2gh}}{\tan\theta}$ （2 分）

则抛出的最小速度为 $\frac{\sqrt{2gh}}{\tan\theta}$.

15. (1) $\frac{\mu g}{\omega_1^2 r_1}$ (2) $\sqrt{\frac{\mu g\sin\theta\cos\beta}{r_2(\sin\theta\sin\beta+\mu\cos\theta)}}$

命题点 ▸圆周运动的向心力分析

【解析】(1) 设转椅质量为 m，轻绳拉力为 T，轻绳沿转椅运动轨迹切线方向分力为 $T\sin\alpha=\mu mg$ （1 分）

轻绳沿转椅轨迹半径方向分力提供向心力，

有 $T\cos\alpha=m\omega_1^2 r_1$ （1 分）

解得 $\tan\alpha=\frac{\mu g}{\omega_1^2 r_1}$ （2 分）

(2) 设轻绳拉力为 F，

竖直方向有 $N+F\cos\theta=mg$ （1 分）

转椅受到的摩擦力 $f=\mu N$ （1 分）

对转椅，沿运动轨迹切线方向有 $F\sin\theta\cdot\sin\beta=f$ （1 分）

沿圆周运动半径方向有 $F\sin\theta\cdot\cos\beta=m\omega_2^2 r_2$ （1 分）

联立解得 $\omega_2=\sqrt{\frac{\mu g\sin\theta\cos\beta}{r_2(\sin\theta\sin\beta+\mu\cos\theta)}}$ （3 分）

第 5 章　万有引力与航天

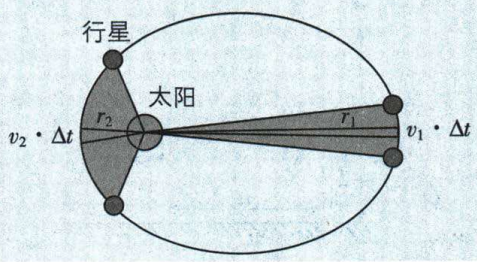
第 1 节　开普勒定律与万有引力定律

刷基础

1. B **考查点** ▸开普勒第二定律、万有引力的计算

【解析】由开普勒第二定律可知，地球绕太阳做椭圆运动时，近日点的速度大于远日点的速度，所以冬至时运行速度最大，A 错误；地球从轨道的冬至位置经足够短的时间 t，与太阳的连线扫过的面积可近似看作很小的扇形，其面积 $S=\frac{v_1 t\times r_1}{2}$，同理，地球从轨道的夏至位置经足够短的时间 t，与太阳的连线扫过的面积可近似看作很小的扇形，其面积 $S=\frac{v_2 t\times r_2}{2}$，根据开普勒第二定律，得 $\frac{v_1 t\times r_1}{2}=\frac{v_2 t\times r_2}{2}$，即速度大小之比为 $\frac{r_2}{r_1}$，B 正确；由开普勒第二定律可知，冬至附近速度快，运行时间短，所以地球从秋分至冬至的运行时间小于公转周期的 $\frac{1}{4}$，C 错误；由万有引力公式 $F=\frac{GMm}{R^2}$ 可知，F 与 R^2 成反比，冬至和夏至时地球所受引力之比为 $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$，D 错误.

技巧必背 行星在近日点与远日点的速率与行星到太阳的距离成反比.



2. D **考查点** ▸开普勒第三定律

【解析】根据开普勒第三定律可知 $\frac{a_1^3}{T_1^2}=k_1$、$\frac{a_2^3}{T_2^2}=k_2$，由于 k_1、k_2 只与中心天体的质量有关（与中心天体的质量成正比），故海王星

与地球的质量之比为$\frac{M_{海王星}}{M_{地球}}=\frac{k_1}{k_2}=\frac{\frac{a_1^3}{T_1^2}}{\frac{a_2^3}{T_2^2}}=\frac{a_1^3T_2^2}{a_2^3T_1^2}$，故选 D.

3. D 考查点：万有引力定律的应用

【解析】设月球的质量为 m，地球的质量为 M，月球绕地球做圆周运动，万有引力提供向心力，有 $G\frac{Mm}{r^2}=ma_{月}$，解得向心加速度为 $a_{月}=\frac{GM}{r^2}$；设苹果质量为 m'，苹果在地球表面自由下落时，受到的力等于地球对苹果的万有引力，则有 $G\frac{Mm'}{R^2}=m'a_{苹}$，解得地表苹果自由下落的加速度为 $a_{苹}=\frac{GM}{R^2}$，故$\frac{a_{苹}}{a_{月}}=\frac{r^2}{R^2}=\frac{3\,600}{1}$，故选 D.

4. B 考查点：万有引力的计算

【解析】设物体的质量为 m，地球质量为 M、半径为 R，木星的质量为 $M_{木}$，则木星的半径为 $11R$，由万有引力公式可知，物体在木星表面受到的引力 $F_{木}=G\frac{M_{木}m}{(11R)^2}$，物体在地球表面受到的引力 $F_{地}=G\frac{Mm}{R^2}$，因为$\frac{F_{木}}{F_{地}}=2.63$，所以$\frac{M_{木}}{M}\approx318$，故选 B.

5. C 考查点：万有引力的计算、简谐运动的回复力

【解析】由题意可知，在距地心 x 处，物体受到地球的引力为 $F=G\frac{\frac{x^3}{R^3}Mm}{x^2}=G\frac{Mm}{R^3}\cdot x=kx$，根据牛顿第二定律得 $kx=ma$，可知从 A 到 O 加速度随位移均匀减小，物体在 A、C 两点的加速度之比为 $R:x$，A 错误；根据前面分析可知引力随下降的位移线性变化，故根据动能定理，从 A 到 O 有 $E_k=\frac{GMm}{R^3}\times\frac{R}{2}\times R=\frac{GMm}{2R}$，B 错误；从 A 到 B 引力大小满足 $F=k|x|$，方向始终指向 O，所受引力与位移方向相反，故物体将在 A、B 之间做简谐运动（关键点），C 正确；物体做简谐运动的周期为 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}$，可知物体从 A 运动到 B 的时间为 $t_1=\frac{T_1}{2}=\sqrt{\frac{\pi^2R^3}{GM}}$，D 错误.

易错警示 本题的易错点在于不能推导出小球在隧道中做简谐运动. 根据均匀球壳对放于其内部的质点的引力为零的条件，可以求出 $F=k|x|$，进而根据物体做简谐运动的周期公式求出 A 到 B 的运动时间.

刷提分

1. B 考查点：万有引力定律的应用

【解析】由万有引力提供向心力可得 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，又因为 $GM=gR^2$，故可知 $T=\frac{2\pi r}{R}\sqrt{\frac{r}{g}}$，对比 $T=\frac{2\pi a}{c}\sqrt{\frac{a}{b}}$ 可知，a 为该卫星的轨道半径，b 为地球表面的重力加速度，c 为地球半径，故选 B.

2. B 突破点：$v^2-\frac{1}{r}$ 图像

【解析】发光带中的物质绕行星中心做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力，则有$\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$，整理可得 $v^2=\frac{GM}{r}$，所以斜率 $k=GM$，联立可得 $M=\frac{k}{G}$，故选 B.

3. BCD 考查点：开普勒定律

【解析】地球在 A 点和 C 点到太阳的距离相等，根据对称性可知，地球在 A 点和 C 点的速度大小相等，但速度方向不同，则地球在 A 点和 C 点的速度不相同，故 A 错误；地球从 B 点运动到 D 点的过程中，万有引力方向与速度方向夹角为钝角，可知，太阳对地球的引力做负功，故 B 正确；根据开普勒第三定律有$\frac{a^3}{T^2}=k$，若绕太阳的运动轨迹为正圆，则有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2r}{T_1^2}$，有 $k=\frac{r^3}{T_1^2}=\frac{GM}{4\pi^2}$，解得 $M=\frac{4\pi^2a^3}{GT^2}$，故 C 正确；椭圆面积为 $S=\pi ab$，太阳位于椭圆的焦点位置，设太阳到椭圆中心的距离为 c，则有 $c^2=a^2-b^2$，设地球从 A 运动到 B 所用时间为 t，该时间内地球与太阳连线扫过的面积 $S_1=\frac{S}{4}-\frac{bc}{2}$，根据开普勒第二定律有 $\frac{S}{T}=\frac{S_1}{t}$，解得 $t=\left(\frac{\pi ab-2b\sqrt{a^2-b^2}}{4\pi ab}\right)T$，故 D 正确.

4. B 考查点：类比地球求解其他星球的宇宙速度

【解析】设太阳演变成一个黑洞后的质量为 M，对于黑洞表面一个质量为 m 的物体，根据万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，可得黑洞的第一宇宙速度为 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，由题意可知，第二宇宙速度大于等于光速，第二宇宙速度是第一宇宙速度的$\sqrt{2}$倍，得 $c\leqslant\sqrt{2}v$，又根据太阳演变成一个黑洞后的质量 $M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$，联立解得 $\rho R^2\geqslant\frac{3c^2}{8\pi G}$，故选 B.

5. AD 突破点：完全失重、圆周运动

【解析】设问天实验舱质量为 m'，根据万有引力定律，在地球表面处有$\frac{GM_{地}m'}{R^2}=mg_0$，在离地 400 km 高空处有$\frac{GM_{地}m'}{(R+h)^2}=mg'$，可得 $g':g_0=16^2:17^2=256:289$，A 正确；以问天实验舱的桌面为参照物，由于在问天实验舱中小球处于完全失重环境，重力效果消失，轻绳的拉力提供小球绕 O 点做匀速圆周运动的向心力，小球经过 A 点时，轻绳的拉力大小为$\frac{mv^2}{L}$，B、C 错误，D 正确.

6. C 考查点：双星系统、万有引力定律的应用

【解析】当两星体之间的万有引力提供向心力时 $G\frac{m^2}{L^2}=m\frac{L}{2}\omega^2$，当空间充满了暗物质时，暗物质也会对星体有万有引力的作用，暗物质对星体的万有引力可以等效为质量集中在球心的质点对星体的引力（关键点），可得 $G\frac{m^2}{L^2}+G\frac{m\rho\frac{4}{3}\pi\left(\frac{L}{2}\right)^3}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}=m\frac{L}{2}\omega'^2$，其中 $\rho=$

$\frac{6m}{\pi L^3}$，联立可得$\frac{\omega}{\omega'}=\frac{1}{\sqrt{5}}$，故选 C.

7. B 突破点▸单摆的周期、不同星球上的重力加速度、第一宇宙速度

【解析】在地球表面，根据单摆周期公式有 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，变形有 $T_1^2=\frac{4\pi^2}{g}L$，在 K 星球表面，根据单摆周期公式有 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{L}{g_K}}$，变形有 $T_2^2=\frac{4\pi^2}{g_K}L$，由于地球表面重力加速度 g 大于星球 K 表面的重力加速度，可知，地球表面对应图像的斜率小一些，结合图像有 $\frac{4\pi^2}{g}=\frac{a}{4b}$，$\frac{4\pi^2}{g_K}=\frac{a}{b}$，解得 $g=\frac{16\pi^2 b}{a}$，$g_K=\frac{4\pi^2 b}{a}$，A 错误；在地球表面有 $G\frac{M_{地}m}{R_{地}^2}=mg$，在 K 星球表面有 $G\frac{M_K m}{R_K^2}=mg_K$，结合上述解得 $\frac{M_{地}}{M_K}=64$，B 正确；地球与 K 星球的密度分别为 $\rho_{地}=\frac{M_{地}}{\frac{4}{3}\pi R_{地}^3}$，$\rho_K=\frac{M_K}{\frac{4}{3}\pi R_K^3}$，结合上述解得 $\frac{\rho_{地}}{\rho_K}=1$，C 错误；第一宇宙速度即天体表面卫星的环绕速度，则有 $G\frac{M_{地}m}{R_{地}^2}=m\frac{v_{地}^2}{R_{地}}$，$G\frac{M_K m}{R_K^2}=m\frac{v_K^2}{R_K}$，解得 $\frac{v_{地}}{v_K}=4$，D 错误.

8. D 突破点▸万有引力和重力的关系

【解析】物块在该行星极地表面静止时，万有引力等于重力，$G\frac{Mm}{R^2}=mg_{极}=F$，在赤道表面静止时，有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_{赤}+F_n$，其中 $mg_{赤}=\frac{3}{4}F$，联立解得 $F_n=\frac{1}{4}F$. 根据向心力公式 $F_n=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 可得，该行星的自转周期为 $T=\sqrt{\frac{16\pi^2 mR}{F}}$，A 错误；物块在该行星极地表面静止时，万有引力等于重力 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_{极}=F$，解得 $M=\frac{FR^2}{Gm}$，B 错误；在赤道表面静止时，根据平衡条件，重力等于弹簧测力计的拉力，即 $mg_{赤}=\frac{3}{4}F$，解得 $g_{赤}=\frac{3F}{4m}$，C 错误；根据 $\rho=\frac{M}{V}$，可知，该行星的密度为 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{\frac{FR^2}{Gm}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3F}{4\pi RGm}$，D 正确.

方法总结　赤道和极地上的重力加速度的关系

赤道上：$\left.\begin{aligned}&G\frac{Mm}{R^2}-F_N=m\omega^2\cdot R\\&F_N=mg_{赤}\end{aligned}\right\}\Rightarrow G\frac{Mm}{R^2}=mg_{赤}+m\omega^2\cdot R$①

极地上：$\frac{GMm}{R^2}=mg_{极}$②

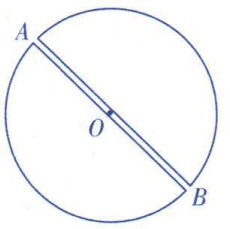
①②式联立得 $mg_{极}=mg_{赤}+m\omega^2\cdot R$，$g_{极}$、$g_{赤}$、$R$ 可互求.

9. BD 考查点▸宇宙速度、天体质量和密度的计算

【解析】根据 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，该行星的质量为地球质量的 5 倍，行星的直径是地球直径的 2.5 倍，可知 $v_{某}=\sqrt{\frac{GM_{某}}{R_{某}}}=\sqrt{\frac{G\cdot 5M_{地}}{2.5R_{地}}}=\sqrt{2}v_{地}$，A 错误；根据 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$，可得 $g=\frac{GM}{R^2}$，该行星表面的重力加速度为 $g_{某}=\frac{GM_{某}}{R_{某}^2}=\frac{G\cdot 5M_{地}}{(2.5R_{地})^2}=\frac{4}{5}g_{地}$，B 正确；该行星的密度为 $\rho_{某}=\frac{M_{某}}{V_{某}}=\frac{M_{某}}{\frac{4}{3}\pi R_{某}^3}=\frac{5M_{地}}{\frac{4}{3}\pi(2.5R_{地})^3}=\frac{8}{25}\rho_{地}$，C 错误；根据 $G\frac{mM}{R^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R$，可得 $M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$，行星围绕着恒星做匀速圆周运动的周期为地球绕太阳运动的周期的 $\frac{2}{3}$，行星到恒星的距离为地球到太阳的距离的 4 倍，可知 $M_{恒}=\frac{4\pi^2R_{某}^3}{GT_{某}^2}=\frac{4\pi^2(4R_{地})^3}{G\left(\frac{2}{3}T_{地}\right)^2}=144M_{太}$，D 正确.

10. ACD 突破点▸真空列车隧道、万有引力定律的应用

【解析】如图所示，当列车经过地心 O 时动能最大，此时列车的运动为近地卫星的一个分运动（匀速圆周运动可分解为两个正交的简谐运动），列车经过地心时的速度等于第一宇宙速度，所以列车的动能不超过 $\frac{mgR}{2}$，A 正确；由 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，可得地球表面近地卫星的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，所以列车从 A 点运动到 B 点的时间为 $\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，B 错误；将地球看作两部分，一部分是以 O 为球心、h 为半径的小球，另一部分即剩余的球壳，球壳对 O' 处的引力为零，列车在 O' 点受到的支持力大小 $F=\frac{GMmh}{R^3}=\frac{mgh}{R}$，C 正确；列车在 O' 点的速度大小 $v=\sqrt{R^2-h^2}\cdot\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{R^2-h^2}{R}g}$，D 正确.



第 2 节　宇宙速度与人造卫星

刷基础

1. B 考查点▸宇宙速度、静止卫星

【解析】飞船的发射速度应不小于第一宇宙速度（关键点：第一宇宙速度是最小的发射速度、最大的环绕速度），A 错误；根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=ma=mr\frac{4\pi^2}{T^2}=m\frac{v^2}{r}$，整理可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$a=\frac{GM}{r^2}$，由于空间站的周期小于静止卫星的周期，可知 $r_{静}>r_{空}$，$v_{静}<v_{空}$，$a_{静}<a_{空}$，B 正确，D 错误；已知静止卫星的周期为 24 h，则 $T_{静}>T_{空}$，根据角速度和周期的关系有 $\omega=\frac{2\pi}{T}$，则空间站的角速度比地球静止卫星的大，C 错误.

2. C 考查点▸第一宇宙速度的意义及推导

【解析】物体在星球表面做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，设星球质量为 M，星球半径为 R，物体质量为 m，星球的第一宇宙速度为 v，则 $G\frac{Mm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，由题意知 $M_{地}=10M_{火}$，$R_{地}=2R_{火}$，联立可得火星与地球的第一宇宙速度的比值为 $\frac{v_{火}}{v_{地}}=$

$\frac{\sqrt{5}}{5}$，故选 C.

3. D 考查点▸地球静止卫星、宇宙速度

【解析】该卫星为静止卫星，定点在赤道正上方，A 错误；近地卫星的线速度为 7.9 km/s，该卫星的轨道半径大于近地卫星的轨道半径，根据“高轨低速”可知，该卫星绕地球运动的线速度小于 7.9 km/s，B 错误；根据 $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 可知，静止卫星周期与地球自转周期相同，则角速度等于地球自转的角速度，C 错误；根据 $F=G\frac{Mm}{r^2}=ma$，解得 $a=\frac{GM}{r^2}$，可知轨道半径越大，向心加速度越小，所以静止卫星的向心加速度小于地球表面的重力加速度，D 正确.

技巧必背 比较不同轨道上卫星的物理量时，可根据口诀“高轨低速大周期”判断.

4. C 考查点▸人造卫星、卫星变轨问题

【解析】设地球质量为 M，根据 $\frac{GMm}{R^2}=ma$，可得“地球同步轨道”处的重力加速度为 $a=\frac{GM}{R^2}$，可知“地球同步轨道”处的重力加速度不为 0，A 错误；根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2 r$，解得 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，故北斗二号卫星在“墓地轨道”和“同步轨道”上运行的角速度之比为 $\sqrt{\frac{R^3}{r^3}}$，B 错误；北斗二号卫星从“同步轨道”上到“墓地轨道”上需要使其加速，使其做离心运动，除万有引力外其他力对其做正功，机械能增大，C 正确；“实践 21 号”卫星从“墓地轨道”返回“地球同步轨道”，需要减速做近心运动，D 错误.

5. AD 考查点▸不同轨道上的卫星各物理量的比较

【解析】在火星表面有 $G\frac{m_1 m_1'}{R_{火}^2}=m_1' g_{火}$，在月球表面有 $G\frac{m_2 m_2'}{R_{月}^2}=m_2' g_{月}$，其中 $g_{火}=2.25g_{月}$、$R_{火}=2R_{月}$，则 $m_1:m_2=9:1$，A 正确，B 错误；“祝融”和“玉兔”某段时间可认为以相同的轨道半径分别绕火星和月球做匀速圆周运动，则有 $G\frac{m_1 m_1'}{r^2}=m_1'\frac{v_1^2}{r}$，$G\frac{m_2 m_2'}{r^2}=m_2'\frac{v_2^2}{r}$，结合上述解得 $v_1:v_2=3:1$，C 错误，D 正确.

6. B 考查点▸静止卫星、近地卫星与赤道上物体的比较

【解析】a、c 角速度和周期相等，根据 $v=\omega r$，可知 $v_c>v_a$，根据 $a=\omega^2 r$，可知 $a_c>a_a$，对卫星 b、c，根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=ma$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$、$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$、$a=\frac{GM}{r^2}$，可知 $v_b>v_c$、$T_c>T_b$、$a_b>a_c$，则线速度的大小关系为 $v_b>v_c>v_a$，周期关系为 $T_a=T_c>T_b$，向心加速度的大小关系 $a_b>a_c>a_a$，A、C 错误，B 正确；静止卫星 c 没有脱离地球的引力，则其发射速度要小于 11.2 km/s，D 错误.

易错警示 赤道静止物体、近地卫星、静止卫星和其他卫星的比较，一定要注意万有引力的作用，尤其是赤道附近物体并不是万有引力完全提供向心力，需要通过静止卫星过渡间接比较.

刷提分

1. AC 突破点▸宇宙速度、卫星的运动周期和向心加速度

【解析】根据万有引力提供向心力，有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$、$G\frac{Mm}{r^2}=ma$、$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，求得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$、$a=\frac{GM}{r^2}$、$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，所以绕同一中心天体做匀速圆周运动的卫星，轨道半径 r 越大，线速度 v、向心加速度 a 越小，运行周期 T 越大. 当轨道半径 r 等于地球半径 R 时，线速度 v 等于第一宇宙速度，即 7.9 km/s. “夸父一号”离地面的高度为 720 km，轨道半径 r 大于地球半径 R，其运行速度小于 7.9 km/s，A 正确；“夸父一号”的轨道半径小于地球静止卫星的轨道半径，所以其向心加速度大于地球静止卫星的向心加速度，其运行周期小于地球静止卫星的运行周期，即小于 24 小时，B、D 错误；若采用轨道 a，卫星绕行一周一直能够观测太阳，若采用轨道 b，卫星绕行一周不能一直观测太阳，即采用轨道 a 能够更长时间观测太阳，C 正确.

2. BD 突破点▸星下点、卫星的运行周期

【解析】由图乙可知 $3T=T_{地}$，则该卫星的周期为 $T=8$ h，A 错误，B 正确；卫星做圆周运动，根据万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$，可得周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，该卫星的轨道半径与地球静止卫星的轨道半径关系为 $r=\frac{r_{地}}{\sqrt[3]{9}}\approx\frac{r_{地}}{2}$，该卫星到地面的距离为 $H\approx\frac{r_{地}}{2}-R=2.3R$，C 错误；该卫星纬度最高时有 $\theta=60°$，卫星离赤道平面的高度为 $h=r\sin 60°=\frac{\sqrt{3}}{4}r_{地}>\frac{1}{4}r_{地}=1.65R>R$（关键点：根据几何关系求出卫星运行轨道离赤道平面的最大高度），即卫星高度大于北极点的高度，该卫星能记录到北极点的气候变化，D 正确.

3. D 突破点▸戴森环、宇宙速度

【解析】发射太阳的卫星，卫星的发射速度要大于地球第二宇宙速度 11.2 km/s，A 错误；根据 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$，得 $a=\frac{GM}{r^2}$，由题知这些卫星的轨道半径为 0.4 AU，故这些卫星公转的加速度为地球的 $\frac{25}{4}$ 倍，B 错误；根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，由题知这些卫星的轨道半径为 0.4 AU，这些卫星公转的线速度为地球公转的 $\frac{\sqrt{10}}{2}$ 倍，C 错误；根据开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2}=k$，由题知这些卫星的轨道半径为 0.4 AU，故这些卫星公转的周期 $T_{卫}\approx 0.25$ 年，D 正确.

关键点拨 宇宙速度

(1) 第一宇宙速度：物体在地球附近绕地球做匀速圆周运动的速度，为 7.9 km/s.

(2) 第二宇宙速度：摆脱地球引力的最小速度，为 11.2 km/s.

(3) 第三宇宙速度：地球上发射的物体摆脱太阳引力束缚，飞出太阳系所需的最小速度，为 16.7 km/s.

4. B 突破点▸开普勒第二定律、卫星变轨问题

【解析】飞船在近地轨道的 A 点加速后进入转移轨道，A 错误；根据开普勒第二定律，可知飞船在转移轨道上的 A 点速度大于 B 点速度，B 正确；根据 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，可知飞船在近地轨道时的线速度大于在运行轨道时的线速度，飞船在近地轨道时的周期小于在运行轨道时的周期，C、D 错误.

5. A 突破点▸地球静止轨道卫星

【解析】由万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，因为 $\angle OMN=90°$，所以 $ON>OM$，即卫星 M 匀速圆周运动的半径小于卫星 N，所以 $T_M<T_N$，即 M 的周期小于地球的自转周期，A 正确；由万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$，可得加速度大小为 $a=\frac{GM}{r^2}$，某时刻 P、M、O、N 共面，则有 $\theta=30°$，M、N 的向心加速度大小之比为 $\frac{a_M}{a_N}=\frac{r_N^2}{r_M^2}=\frac{1}{\cos^2\theta}=\frac{4}{3}$，B 错误；卫星 M 和卫星 N 的质量未知，无法比较动能的大小（**易错点：**卫星 M 的速度一定大于卫星 N，但动能大小还与质量有关），C 错误；再经过 12 小时，P、N 转过半圈，一定再次共面，但卫星 M 的周期小于地球的自转周期，P、M、N、O 不在同一个平面内，D 错误.

6. C 突破点▸飞船运行周期的计算、开普勒第三定律

【解析】飞船在轨道 1 由万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T_1^2}R$，某物体在地球表面上有 $G\frac{Mm'}{R^2}=m'g$，联立解得 $T_1^2=\frac{4\pi^2}{g}R$，轨道 2 的半长轴 $a=\frac{(2+k)R}{2}$，根据开普勒第三定律有 $\frac{R^3}{T_1^2}=\frac{a^3}{T_2^2}$，解得 $T_2=(2+k)\pi\sqrt{\frac{(2+k)R}{2g}}$，故选 C.

7. BC 突破点▸卫星的对地张角、开普勒第三定律

【解析】由万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=mr\omega^2$，可得卫星绕地球做圆周运动的线速度和角速度大小为 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，因为卫星Ⅰ运动的轨道半径大于卫星Ⅱ的轨道半径，所以卫星Ⅰ运动的线速度小于卫星Ⅱ的线速度，卫星Ⅰ运动的角速度小于卫星Ⅱ的角速度（**关键点：**高轨低速大周期），A 错误，B 正确；由几何关系可知，卫星Ⅰ运动的轨道半径与卫星Ⅱ的轨道半径关系为 $\frac{r_1}{r_2}=\frac{1}{\sin\theta}$，由开普勒第三定律可知 $\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{r_2^3}{T_2^2}$，化简可得 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{1}{\sqrt{\sin^3\theta}}$，C 正确，D 错误.

8. B 突破点▸其他星球表面的重力加速度、天体密度的测定

【解析】小球由静止释放，经过一小段时间 t，小球的速度大小为 v_0，则有 $v_0=g_0t$，解得 $g_0=\frac{v_0}{t}$，A 错误；月球的第一宇宙速度大小为 nv_0，则有 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{(nv_0)^2}{R}$，$G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$，结合上述解得 $R=n^2v_0t$，C 错误；探测器在离月面高度为月球半径 1.25 倍的轨道上绕月球做匀速圆周运动，则有 $G\frac{Mm}{\left(R+\frac{5}{4}R\right)^2}=m\frac{v^2}{R+\frac{5}{4}R}$，解得 $v=\frac{2nv_0}{3}$，B 正确；月球的密度 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，结合上述解得 $\rho=\frac{3}{4\pi Gn^2t^2}$，D 错误.

快解 因为月球的第一宇宙速度为卫星在月球附近做匀速圆周运动的速度，由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知，$nv_0=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，则探测器的线速度大小为 $v'=\sqrt{\frac{GM}{R+\frac{5}{4}R}}=\frac{2}{3}\sqrt{\frac{GM}{R}}=\frac{2}{3}nv_0$，B 正确.

9. B 突破点▸第一宇宙速度、卫星的各个物理量计算

【解析】物体在地面所受万有引力等于重力，该人造卫星在 A 点时，所受万有引力大小为 $0.5mg$，根据万有引力定律有 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，$\frac{GMm}{r^2}=0.5mg$，解得 $r=\sqrt{2}R$，A 错误；据题图乙可知 t_1 为半个，即 $t_1=\frac{T}{2}$，根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$，解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{(\sqrt{2}R)^3}{gR^2}}=2\pi\sqrt{\frac{2\sqrt{2}R}{g}}$，则 $t_1=\pi\sqrt{\frac{2\sqrt{2}R}{g}}$，B 正确；卫星轨道为圆，$F_x$、$F_y$ 的合力即为万有引力，在 $t=0$ 时刻的 $F_{合}=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=0.5mg$，所以 $\sqrt{\left(\frac{F_x}{m}\right)^2+\left(\frac{F_y}{m}\right)^2}=0.5g$，C 错误；设地球第一宇宙速度为 v，则有 $\frac{GMm'}{R^2}=\frac{m'v^2}{R}$，对该卫星有 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$，又 $r=\sqrt{2}R$，解得该人造卫星的线速度大小与地球第一宇宙速度大小之比为 $1:\sqrt{\sqrt{2}}$，D 错误.

专题 6　卫星变轨与追及问题

刷难关

1. B 突破点▸卫星变轨问题

【解析】飞船从Ⅰ轨道进入Ⅱ轨道是由低轨道变轨到高轨道，需要加速，A 错误；根据万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$，飞船在Ⅰ轨道与Ⅱ轨道相切处，位置相同，则 a 相同，B 正确；飞船从Ⅱ轨道到Ⅲ轨道是由低轨道到高轨道，根据变轨规律可知，需要进行加速（关键点），则飞船在Ⅲ轨道上的机械能大于在Ⅱ轨道上的机械能，C 错误；由开普勒第三定律可知，半长轴越长，周期越大，所以飞船在Ⅱ轨道上的运行周期大于其在Ⅰ轨道上的运行周期，而小于在Ⅲ轨道上的运行周期，D 错误.

2. C 突破点▸卫星变轨问题、天体质量的测定

【解析】轨道Ⅰ的半长轴比轨道Ⅱ的半径大，根据开普勒第三定律可知 $T_2<T_1$，A 错误；根据题意可知轨道Ⅱ的半径为 $2R$，由万

有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{(2R)^2}=m\frac{4\pi^2}{T_2^2}\cdot 2R$，可得月球的质量为 $M=\frac{32\pi^2R^3}{GT_2^2}$，B 错误；根据万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，月球第一宇宙速度为月球表面的环绕速度，在轨道Ⅱ上运行的轨道半径为 $2R$ 大于月球半径，可知月球第一宇宙速度大于轨道Ⅱ上的运行速度，C 正确；嫦娥六号由轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ做近心运动，需要点火减速，D 错误.

方法总结　卫星变轨问题中各个物理量的比较

(1) 加速度比较：比较卫星和中心天体的距离；

(2) 周期比较：高轨大周期，椭圆轨道比较半长轴；

(3) 速度比较：高轨低速，离心加速、向心减速.

3. D　突破点　卫星变轨问题、开普勒第三定律

【解析】假设飞船经过 Q 点绕地球做匀速圆周运动，根据万有引力提供向心力可得 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，可知飞船经过 Q 点绕地球做匀速圆周运动的线速度大于天和核心舱在轨道 2 上的线速度，而做圆周运动的飞船在 Q 点需要点火加速才能变轨到轨道 1，则天和核心舱在轨道 2 上的线速度小于轨道 1 中 Q 点的线速度，A 错误；飞船从低轨道变轨到高轨道，需要在变轨处点火加速，则飞船从轨道 1 变轨到轨道 2 需要在交会点 P 点点火加速，B 错误；设飞船在轨道 1、轨道 2 运动周期分别为 T_1、T_2，由开普勒第三定律有 $\frac{T_1^2}{\left(\frac{H+2R}{2}\right)^3}=\frac{T_2^2}{(H+R)^3}$，解得 $\frac{T_1}{T_2}=\sqrt{\frac{(H+2R)^3}{(2H+2R)^3}}$，C 错误；根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{(R+H)^2}=ma$，在地球表面处有 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，联立解得 $a=\left(\frac{R}{R+H}\right)^2 g$，D 正确.

4. ACD　突破点　卫星变轨问题、动量守恒定律

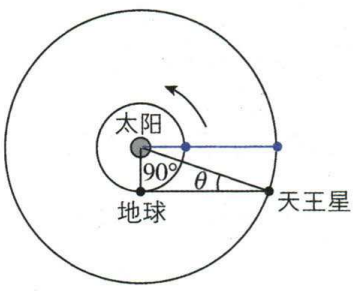
【解析】飞船在圆形轨道Ⅰ上，根据万有引力可得 $G\frac{Mm}{(R+h_1)^2}=m\frac{v_1^2}{(R+h_1)}$，解得 $v_1=\sqrt{\frac{GM}{R+h_1}}$，A 正确；飞船从 Q 到 P，在同一轨道运行时，飞船机械能守恒，根据机械能守恒定律可得 $\frac{1}{2}mv^2-G\frac{Mm}{R+h_2}=\frac{1}{2}mv_P^2-G\frac{Mm}{R+h_1}$，解得 $v_P=\sqrt{v^2+2GM\left(\frac{1}{R+h_1}-\frac{1}{R+h_2}\right)}$，B 错误；飞船从高轨道变轨到低轨道，需要在变轨处点火减速，在 P 点由轨道Ⅰ变为轨道Ⅱ的过程中，飞船需要在 P 点减速，飞船的机械能减少，故飞船在轨道Ⅱ上运行时的机械能小于在轨道Ⅰ上运行时的机械能，C 正确；飞船在 P 点由轨道Ⅰ变为轨道Ⅱ过程中，需要在 P 点减速，设应向前喷出气体质量为 Δm，根据动量守恒定律可得 $mv_1=(m-\Delta m)v_P+\Delta m(v_P+u)$，解得 $\Delta m=\frac{m}{u}\left[\sqrt{\frac{GM}{R+h_1}}-\sqrt{v^2+2GM\left(\frac{1}{R+h_1}-\frac{1}{R+h_2}\right)}\right]$，D 正确.

5. D　突破点　北斗卫星导航系统、卫星追及问题

【解析】设 B 卫星的运行周期为 T'，根据开普勒第三定律有 $\frac{r_A^3}{T^2}=\frac{r_B^3}{T'^2}$，其中 $r_A:r_B=1:2$，联立解得 $T'=2\sqrt{2}T$，两卫星顺时针转动，A 卫星离地球更近，A 卫星的角速度更大，设两卫星从图示时刻到两卫星间距离最小所需要时间为 t，根据几何关系，可得两卫星转过的圆心角之差为 $\theta_A-\theta_B=\frac{\pi}{3}$，又 $\theta=\omega t$，则有 $\frac{2\pi}{T}t-\frac{2\pi}{T'}t=\frac{\pi}{3}$，解得 $t=\frac{4+\sqrt{2}}{21}T$，故选 D.

6. C　突破点　行星冲日、卫星追及问题

【解析】根据几何关系有 $\sin\theta=\frac{R}{r}$，所以 $\frac{r}{R}=\frac{1}{\sin\theta}$，3 个月后地球转过 $\frac{1}{4}$ 圆周，其位置如答图所示，此时天王星转过 θ，即 $\frac{1}{2}\pi=\omega_{地}t$、$\theta=\omega_{天}t$，则 $\frac{\pi}{2\theta}=\frac{\omega_{地}}{\omega_{天}}=\frac{T_{天}}{T_{地}}$，由开普勒第三定律知 $\left(\frac{\pi}{2\theta}\right)^2=\left(\frac{T_{天}}{T_{地}}\right)^2=\left(\frac{r}{R}\right)^3$，所以 $\frac{r}{R}=\sqrt[3]{\left(\frac{\pi}{2\theta}\right)^2}$，故选 C.



7. D　突破点　北斗卫星导航系统、卫星追及问题

【解析】将中轨道卫星设为 a，静止卫星设为 b，两卫星做匀速圆周运动的半径分别为 r_a、r_b，根据图甲和图乙可得 $r_a+r_b=9.6R$、$r_b-r_a=3.6R$，解得 $r_a=3R$、$r_b=6.6R$（关键点：根据图示信息求出两卫星运行的轨道半径），A 错误；由万有引力提供向心力得 $\frac{GMm}{r_a^2}=ma$、$\frac{GMm}{R^2}=mg$，将 $r_a=3R$ 代入解得中轨道卫星的加速度大小为 $a=\frac{1}{9}g$，B 错误；设卫星 a、b 的运行周期分别为 T_a、T_b，由图乙可知每隔时间 T 两卫星距离最近，即每隔时间 T，卫星 a 就比卫星 b 多转了一周，则有 $\frac{2\pi}{T_a}T-\frac{2\pi}{T_b}T=2\pi$，根据开普勒第三定律有 $\frac{r_a^3}{T_a^2}=\frac{r_b^3}{T_b^2}$，联立解得 $T_a=\frac{2}{3}T$、$T_b=2T$，由于 $T_b=24\ \text{h}$，所以 $T=12\ \text{h}$，C 错误，D 正确.

8. D　突破点　极地轨道卫星、卫星追及问题

【解析】卫星围绕地球做圆周运动，由万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$，根据题意可知 $T_a:T_b=1:2$，因此 $R_a:R_b=1:\sqrt[3]{4}$，对于卫星，根据万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，因此 $\frac{v_a}{v_b}=\sqrt{\frac{R_b}{R_a}}=\frac{\sqrt[3]{2}}{1}$，A 错误；对于卫星，根据万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{R^2}=ma$，解得向心加速度

$a=G\frac{M}{R^2}$，因此$\frac{a_a}{a_b}=\frac{R_b^2}{R_a^2}=\frac{\sqrt[3]{16}}{1}$，B 错误；物体在卫星上所受地球的万有引力提供其做圆周运动的向心力，因此物体对与其接触的物体无弹力（**易错点**：太空中的物体处于完全失重状态），C 错误；当卫星 a、b 下一次同时经过 P 点正上方时，地球自转了一圈，此时卫星 b 绕地球转动了两圈，即卫星 b 绕地心转过的角度为 4π，D 正确.

9. B **突破点**▸火星冲日、不同轨道上天体物理量的比较

【解析】设地球轨道半径为 r，火星轨道半径为 $1.5r$，由开普勒第三定律得$\frac{r^3}{T^2}=\frac{(1.5r)^3}{T_{火}^2}$，解得 $T_{火}=\sqrt{\frac{27}{8}}T$，A 错误；由万有引力定律$\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2 r$，得角速度 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，故火星的角速度小于地球的角速度，两次火星冲日时，地球比火星多转了一周，设相邻两次火星冲日的时间间隔为 t，则$\left(\frac{2\pi}{T}-\frac{2\pi}{T_{火}}\right)t=2\pi$，解得 $t=\frac{3\sqrt{6}}{3\sqrt{6}-4}T$，B 正确；由万有引力定律$\frac{GMm}{r^2}=ma$，得 $a=\frac{GM}{r^2}$，可知向心加速度大小之比为$\frac{a_{火}}{a_{地}}=\frac{r^2}{(1.5r)^2}=\frac{4}{9}$，C 错误；由万有引力定律 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，火星与地球绕太阳做匀速圆周运动的线速度大小之比为$\frac{v_{火}}{v_{地}}=\sqrt{\frac{r}{1.5r}}=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$，D 错误.

全章素养提升

刷 情境

1. D **创新点**▸太空电梯

【解析】对于同步空间站，万有引力提供其绕地球做圆周运动的向心力，而配重空间站与同步空间站角速度相等，圆周运动的半径比同步空间站大，根据 $a=\omega^2 r$ 可知，配重空间站的向心加速度比同步空间站大，故对于从配重空间站脱落的小物块，万有引力不足以提供向心力，即小物块将做离心运动，故选 D.

2. C **创新点**▸多星运动问题

【解析】三颗星体之间的作用力是内力，三颗星体组成的系统不受外力，所以系统动量守恒，A 错误；由向心加速度 $a=\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r}{a}}$，B 错误；设每颗星体的质量为 m、线速度为 v，对其中一颗星体进行受力分析，由力的合成与牛顿第二定律可得$\frac{2Gm^2\cos 30°}{(\sqrt{3}r)^2}=\frac{mv^2}{r}$，可得 $m=\frac{\sqrt{3}rv^2}{G}$，则每颗星体的动量大小为 $p=mv=\frac{\sqrt{3}rv^3}{G}$，则每颗星体的动能大小为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{\sqrt{3}rv^4}{2G}$，C 正确，D 错误.

3. D **创新点**▸拉格朗日点

【解析】卫星和月球的角速度相同，根据 $v=\omega r$，该卫星的线速度比月球的线速度大，故 A 错误；根据 $a=\omega^2 r$，该卫星的向心加速度比月球的向心加速度大，故 B 错误；当物体（航天器）飞行速度达到 11.2 km/s 时，就可以摆脱地球引力的束缚，飞离地球进入环绕太阳运行的轨道，该卫星处在地球引力范围内，所以该卫星的发射速度小于第二宇宙速度 11.2 km/s，故 C 错误；对卫星，向心力 $F_{向卫}=G\frac{Mm_0}{(L+d)^2}+G\frac{mm_0}{d^2}=m_0\omega^2(L+d)$，对月球，向心力 $F_{向月}=G\frac{Mm}{L^2}=m\omega^2 L$，联立得$\frac{M}{L^3}=\frac{M}{(L+d)^3}+\frac{m}{d^2(L+d)}$，故 D 正确.

4. BD **创新点**▸登月载人飞船运行轨迹

【解析】第二宇宙速度 11.2 km/s 是卫星脱离地球引力束缚的最小发射速度，飞船只是从地球轨道转移到绕月轨道，没有脱离地球引力束缚，所以发射速度小于 11.2 km/s，A 错误；在 P 点对飞船分析，根据牛顿第二定律有$\frac{GM_{地}m_{船}}{r^2}=m_{船}a$，解得加速度 $a=\frac{GM_{地}}{r^2}$，在同一点 P，r 相同，所以飞船在“过渡轨道”上 P 点的加速度等于“停泊轨道”上 P 点的加速度，B 正确；设飞船在“停泊轨道”上运行速度为 v，对飞船在“停泊轨道”，由牛顿第二定律有$\frac{GM_{地}m_{船}}{(R+h_1)^2}=m_{船}\frac{v^2}{R+h_1}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM_{地}}{R+h_1}}$，又因为黄金代换式 $GM_{地}=gR^2$，联立解得 $v=\sqrt{\frac{gR^2}{R+h_1}}$，但飞船在“过渡轨道”上 P 点是做离心运动，所以“过渡轨道”上 P 点运行速度大于$\sqrt{\frac{gR^2}{R+h_1}}$，C 错误；飞船在“停泊轨道”的周期 $T_{停}=\frac{2\pi(R+h_1)}{v}$，对“停泊轨道”与“过渡轨道”，由开普勒第三定律有$\frac{(R+h_1)^3}{T_{停}^2}=\frac{\left(\frac{L}{2}\right)^3}{T_{过}^2}$，飞船从 P 点运动到 Q 点的时间为 $t=\frac{T_{过}}{2}$，联立解得 $t=\sqrt{\frac{\pi^2L^3}{8gR^2}}$，D 正确.

刷 真题

1. D **命题点**▸计算中心天体的密度

【解析】设月球半径为 R，质量为 M，对嫦娥六号，根据万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{[(1+k)R]^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot(1+k)R$，可得月球的质量为 $M=\frac{4\pi^2(1+k)^3R^3}{GT^2}$，月球的体积为 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$，月球的平均密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{3\pi}{GT^2}(1+k)^3$，D 正确.

2. B **命题点**▸万有引力与航天

【解析】设行星质量为 m，轨道半径为 r_1，周期为 T_1，红矮星质量为 M_1，由万有引力提供向心力有$\frac{GM_1m}{r_1^2}=m\left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2r_1$，可得 $M_1=\frac{4\pi^2r_1^3}{GT_1^2}$，同理可得太阳质量 $M_2=\frac{4\pi^2r_2^3}{GT_2^2}$，$\frac{M_1}{M_2}=\frac{r_1^3}{r_2^3}\cdot\frac{T_2^2}{T_1^2}=\frac{(0.07)^3}{(0.06)^2}\approx 0.1$，B 正确.

3. A **命题点**▸万有引力定律的应用

【解析】行星绕恒星做匀速圆周运动，恒星对行星的万有引力提供其做圆周运动的向心力，则 $G\frac{M_{恒}m_{行}}{r_{行}^2}=m_{行}\frac{4\pi^2}{T_{行}^2}r_{行}$，$T_{行}=\sqrt{\frac{4\pi^2r_{行}^3}{GM_{恒}}}$，则$\frac{T_{行}}{T_{地}}=\sqrt{\frac{r_{行}^3}{r_{地}^3}\frac{M_{日}}{M_{恒}}}=\sqrt{\frac{1}{14^3}\times\frac{7}{2}}=\frac{1}{28}$，$T_{行}=\frac{1}{28}T_{地}\approx 13$ 天，A 正确.

4. BC **命题点** ▸开普勒第三定律、万有引力定律

【解析】卫星甲和卫星乙均绕月球运动，周期相同，根据开普勒第三定律可知，卫星甲运动的轨道的半长轴与卫星乙运动的轨道半径相同，即$\frac{a+b+2R}{2}=r$，可得$r=\frac{a+b}{2}+R$，A 错误，B 正确；卫星乙绕月球做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力，可得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得$M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$，C 正确，D 错误.

5. C **命题点** ▸万有引力定律、开普勒第二定律

【解析】星体做匀速圆周运动，由牛顿第二定律得$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，可知彗星在近日点处圆轨道上的速度大于地球绕太阳的公转速度，彗星在圆轨道上近日点加速到达椭圆轨道，因此彗星在近日点的速度大于地球绕太阳的公转速度，A 错误；由开普勒第二定律知，从 b 运行到 c 的过程中彗星速度一直减小，故动能一直减小，B 错误；根据开普勒第二定律可知，彗星与太阳的连线经过相同的时间扫过的面积相同，根据 $S_1>S_2$ 可知，彗星从 a 运行到 b 的时间大于从 c 运行到 d 的时间，C 正确；由牛顿第二定律得$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，解得$a=\frac{GM}{r^2}$，则彗星在近日点的加速度 a_1 与地球的加速度 a_2 比值为$\frac{a_1}{a_2}=\frac{r_2^2}{r_1^2}=\frac{1}{0.36}$，D 错误.

6. B **命题点** ▸万有引力定律

【解析】因为行星的遮挡，探测器检测到的亮度会略有降低，所以两次亮度减弱之间的时间就是行星的公转周期，即 $T=t_1-t_0$，A 错误；行星绕恒星做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力可得$G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$，解得$r=\sqrt[3]{\frac{GM(t_1-t_0)^2}{4\pi^2}}$，B 正确；行星公转的角速度$\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{t_1-t_0}$，C 错误；该行星的向心加速度$a=\frac{GM}{r^2}=\frac{2\pi}{t_1-t_0}\cdot\sqrt[3]{\frac{2\pi GM}{t_1-t_0}}$，D 错误.

7. A **命题点** ▸万有引力定律的应用

【解析】由题意可知，$r_{甲}<r_{乙}$，根据万有引力提供向心力，可得$\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}=m\omega^2r=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r=ma$，则 $T_{甲}<T_{乙}$，$v_{甲}>v_{乙}$，$\omega_{甲}>\omega_{乙}$，$a_{甲}>a_{乙}$，A 正确.

8. A **命题点** ▸万有引力定律的应用

【解析】轨道器绕火星做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，可得$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}=m\omega^2R=m\frac{4\pi^2R}{T^2}=ma$，题中已知的物理量有轨道半径 R、轨道周期 T、引力常量 G，可推算出火星的质量，A 正确；若想推算火星的体积和逃逸速度，则还需要知道火星的半径 r，B、C 错误；根据上述分析可知，不能通过所提供物理量推算出火星的自转周期，D 错误.

9. A **命题点** ▸开普勒行星运动定律、空间站运行和变轨

【解析】由$\frac{GMm}{r^2}=ma$ 得$a=\frac{GM}{r^2}$，同一位置空间站到地心的距离相等，加速度相同，A 正确；由开普勒第三定律$\frac{r^3}{T^2}=k$ 可知，空间站椭圆轨道半长轴大于圆轨道半径，则变轨后的运动周期比变轨之前的周期长，B 错误；空间站变轨时发动机推力做正功，速度增大，所以变轨后在 P 点的速度比变轨前的大，C 错误；由$\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，高度越低，空间站运行速度越大，D 错误.

10. BD **命题点** ▸万有引力定律的应用

【解析】鹊桥二号围绕月球做椭圆运动，从 $A\to C\to B$ 做减速运动，从 $B\to D\to A$ 做加速运动，所以从 $C\to B\to D$ 的运动时间大于半个周期，即大于 12 小时，A 错误；在 A 点，根据牛顿第二定律，有$G\frac{Mm}{(r_{OA})^2}=ma_A$，在 B 点，根据牛顿第二定律，有$G\frac{Mm}{(r_{OB})^2}=ma_B$，联立并代入数据可得鹊桥二号在 A、B 两点的加速度大小之比约为 $a_A:a_B=81:1$，B 正确；根据物体做曲线运动时速度方向沿该点的切线方向，可知鹊桥二号在 C、D 两点的速度方向不垂直于其与月心的连线，C 错误；鹊桥二号发射后围绕月球沿椭圆轨道运动，并未脱离地球引力束缚，也在围绕地球运动，所以鹊桥二号在地球表面附近的发射速度大于 7.9 km/s 且小于 11.2 km/s（**关键点：**7.9 km/s 是环绕地球运动的最小发射速度，11.2 km/s 是脱离地球引力束缚的最小发射速度），D 正确.

11. B **命题点** ▸万有引力定律、机械能守恒定律

【解析】飞行器在距星球表面高度为 R_0 的轨道上做匀速圆周运动，由牛顿第二定律得$G\frac{Mm}{(2R_0)^2}=m\frac{v^2}{2R_0}$，飞行器发射过程由机械能守恒定律得$\frac{1}{2}mv_0^2+0=\frac{1}{2}mv^2+mg_0R_0^2\left(\frac{1}{R_0}-\frac{1}{2R_0}\right)$（**点拨：**飞行器在发射过程中只有万有引力做功），只考虑星球引力和忽略自转的情况下，星球表面的重力等于万有引力，即$G\frac{Mm'}{R_0^2}=m'g_0$，联立解得飞行器发射的初速度为$v_0=\sqrt{\frac{3g_0R_0}{2}}$，B 正确.

12. BD **命题点** ▸万有引力定律的应用

【解析】根据万有引力提供向心力有$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，在星球表面有$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，解得$v=\sqrt{gR}$，又$g_{月}=\frac{1}{6}g_{地}$，$R_{月}=\frac{1}{4}R_{地}$，则返回舱在月球表面的飞行速度$v_{月}=\sqrt{\frac{1}{24}}v_{地}$，返回舱相对于月球的速度小于地球第一宇宙速度，A 错误，B 正确；设返回舱绕星球飞行周期为 T，由万有引力提供向心力得$G\frac{Mm}{R^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R$，在星球表面附近有$\frac{GMm}{R^2}=mg$，联立可得周期$T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，则$\frac{T_{月}}{T_{地}}=\sqrt{\frac{R_{月}}{R_{地}}\cdot\frac{g_{地}}{g_{月}}}=\sqrt{\frac{3}{2}}$，C 错误，D 正确.

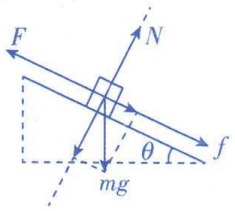
第6章　机械能守恒定律

第1节　功和功率

刷基础

1. B　考查点　共点力平衡、功的理解和计算

【解析】对货物进行受力分析，如图所示，则有 $N=mg\cos\theta$，$F=f+mg\sin\theta$，$f=\mu N$，解得 $F=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=\sqrt{1+\mu^2}\,mg\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}\sin\theta+\frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}\cos\theta\right)$，令 $\cos\alpha=\frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$，$\sin\alpha=\frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$，则有 $F=mg\sqrt{1+\mu^2}\sin(\alpha+\theta)$，可知当 $\alpha+\theta=90°$ 时，推力 F 有最大值 $F_{max}=mg\sqrt{1+\mu^2}$，可知斜面倾角 θ 在 0°到 90°之间变化的过程中，推力 F 先增大后减小，由于斜面顶端的高度一定，可知斜面在由足够长逐渐变短的过程，推力 F 先增大后减小，反之，斜面在由足够短逐渐变长的过程，推力 F 也是先增大后减小，C、D 错误；斜面顶端高度一定，令高度为 h，结合上述可知，推力做的功 $W=(mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta)\frac{h}{\sin\theta}=mgh+\frac{\mu mgh}{\tan\theta}$，当斜面越长时，斜面倾角越小，根据上述表达式可知，推力对货物做的功越多，A 错误，B 正确.



2. AB　考查点　变力做功的计算、动能定理

【解析】根据 $F-x$ 图像与横轴所围图形的面积表示力做功，可知推力对物体做的功为 $W_F=\frac{1}{2}\times(2+10)\times80\ \text{J}=480\ \text{J}$，A 正确. 设物体整个运动过程的位移大小为 x_0，根据动能定理可得 $W_F-\mu mgx_0=0$（关键点：物体在整个运动过程中只有推力和摩擦力做功，大小相等，可根据摩擦力做功的大小求出物体的位移），解得 $x_0=12\ \text{m}$，B 正确. 推力不变，物体的加速度大小不变；一开始推力大于摩擦力，当推力开始减小时，物体的加速度逐渐减小；当推力等于摩擦力时，物体的加速度为 0，之后推力小于摩擦力，物体的加速度反向逐渐增大，撤去推力后，物体的加速度大小保持不变，C 错误. 当推力等于摩擦力时，物体速度最大，则有 $F=\mu mg=40\ \text{N}$，结合 $F-x$ 图像可知此时 $x=6\ \text{m}$，根据动能定理可得 $W'_F-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_m^2-0$，其中 $W'_F=80\times2\ \text{J}+\frac{1}{2}\times(80+40)\times4\ \text{J}=400\ \text{J}$，解得最大速度为 $v_m=2\sqrt{10}\ \text{m/s}$，D 错误.

3. BD　考查点　冲量、功率、动能定理、机械能守恒

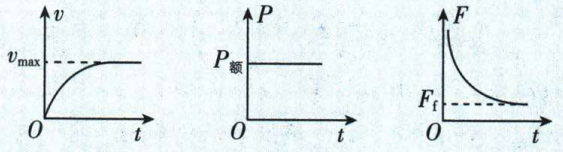
【解析】水平右移过程中，移动板对轿车的支持力的冲量大小为 $I=F_Nt_2=mgt_2=1\times10^3\times10\ \text{N}\cdot12\ \text{s}=1.2\times10^5\ \text{N}\cdot\text{s}$，不为零，A 错误；竖直抬升过程中，由动能定理有 $W-W_G=0$，则移动板对轿车的支持力做的功为 $W=W_G=mgh=1\times10^3\times10\ \text{N}\times2\ \text{m}=2\times10^4\ \text{J}$，B 正确；竖直抬升过程中，除重力做功外，支持力做正功，轿车的机械能增加，不守恒，C 错误；整个过程中，移动板对轿车做功的功率 $P=\frac{W}{t_1+t_2}=\frac{2\times10^4\ \text{J}}{8\ \text{s}+12\ \text{s}}=1\times10^3\ \text{W}$，D 正确.

4. BC　考查点　恒定加速度启动、动能定理

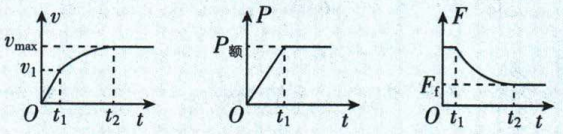
【解析】由图可知，$0\sim t_1$ 时间内汽车做匀加速运动，有 $F-f=ma$，$P=Fv$，汽车速度增大过程中，牵引力不变，功率增大，匀变速运动的速度达到最大时，功率达到额定功率，即 t_1 时刻汽车的功率达到额定功率，有 $P=Fv_1$，当汽车的功率为 $\frac{P}{2}$ 时，汽车的速度为 $v=\frac{\frac{P}{2}}{F}$，解得 $v=\frac{v_1}{2}$，A 错误，B 正确；$t_1\sim t_2$ 时间内若做匀变速直线运动，则路程满足 $x=\frac{v_1+v_2}{2}\cdot(t_2-t_1)$，由实际速度—时间图像可知 $x>\frac{v_1+v_2}{2}\cdot(t_2-t_1)$，C 正确；$t_1\sim t_2$ 时间内由动能定理得 $P(t_2-t_1)-fx=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，解得 $x=\frac{P(t_2-t_1)-\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}mv_1^2}{f}$，D 错误.

技巧必背　两种机车启动模型的图像

(1) 恒定功率启动



(2) 恒定加速度启动



5. AB　考查点　瞬时功率、动能定理

【解析】根据题意可知，小球克服重力做功的功率 $P=mgv\cos\theta$，在 θ 由 30°到 90°的过程中，$\cos\theta$ 一直减小，则功率一直减小，A 正确；根据题意，由动能定理有 $W_F+W_G=0$（关键点：小球在转动过程中角速度恒定，小球的动能变化量为零），可知，拉力做功等于克服重力做功，克服重力做功的多少等于重力势能的增加量，则拉力 F 做了多少功，小球的重力势能就增加多少，B 正确；拉力 F 的功率等于克服重力做功的功率，当杆与水平方向成 60°角时，拉力的功率为 $P_F=mgv\cos60°=\frac{1}{2}mg\omega L$，C 错误；由上述分析可知 $F\omega\frac{L}{2}\cos30°=mg\omega L\cos60°$，所以 $F=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$，D 错误.

易错警示　本题的易错点在于忽视了杆以角速度 ω 匀速转动这一条件，杆以角速度 ω 匀速转动，则小球的速度大小不变，动能不变. 根据动能定理可知，任意时刻拉力的功率等于克服重力做功的功率，拉力做的功等于重力势能的变化量.

刷提分

1. D　突破点　变力做功的求解、平均功率

【解析】磨杆末端的向心加速度大小为 $a=\omega^2r=\frac{4\pi^2}{T^2}r=\frac{4\times3^2}{7^2}\times0.7\ \text{m/s}^2\approx0.51\ \text{m/s}^2$，A 错误；磨杆末端的线速度大小为 $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\times3\times0.7}{7}\ \text{m/s}=0.6\ \text{m/s}$，B 错误；驴转动一周，拉力所做的功为 $W=F\cdot2\pi r=800\times2\times3\times0.7\ \text{J}=3\ 360\ \text{J}$，拉力的平均功率为 $\overline{P}=\frac{W}{T}=\frac{3\ 360}{7}\ \text{W}=480\ \text{W}$，C 错误，D 正确.

2. A 突破点 功和功率的计算

【解析】轮轴的轴与轮的半径比为 1∶2,根据同轴转动角速度相等结合 $v=r\omega$,可知重物匀速上升的速度大小为 $v_B=2.5$ m/s,则重物克服重力做功的功率为 $P_B=mgv_B=2\ 500$ W,A 正确,B 错误;A 的速度大小与 B 的速度大小之比为 2∶1,则当 A 收缩 20 m 时,重物上升了 $h=10$ m,钢绳 B 的拉力大小等于重物的重力大小,则钢绳 B 对重物做的功 $W=mgh=10\ 000$ J,C、D 错误.

3. BD 突破点 机车启动问题

【解析】当列车行驶速度为 20 m/s 时,解得牵引力 $F_1=\dfrac{P_{额}}{v_1}=5\times10^5$ N,根据牛顿第二定律有 $F_1-kmg=ma_1$,解得 $a_1=4$ m/s^2,A 错误;列车保持额定功率行驶,列车达到最大速度后受力平衡,则有 $\dfrac{P_{额}}{v_{max}}=kmg$,解得 $v_{max}=100$ m/s,B 正确;若列车由静止开始,保持 1.0 m/s^2 的加速度做匀加速运动,根据牛顿第二定律有 $F_0-kmg=ma_0$,解得 $F_0=2.0\times10^5$ N,则匀加速运动末状态有 $P_{额}=F_0v_0$(关键点:恒定加速度启动,匀加速运动的末状态功率等于额定功率),匀加速过程,根据速度—时间公式有 $v_0=a_0t_0$,解得 $t_0=50$ s,即匀加速运动的最长时间为 50 s,C 错误;若列车由静止开始,保持 1.0 m/s^2 的加速度做匀加速运动,则 25 s 末的速度 $v_2=a_0t_1=25$ m/s,此时列车的瞬时功率 $P_1=F_0v_1=2.0\times10^5\times25$ W$=5\times10^6$ W,D 正确.

4. BD 突破点 恒定加速度启动、$\dfrac{1}{v}-F$ 图像

【解析】根据 $P=Fv$,可得 $\dfrac{1}{v}=\dfrac{1}{P}\cdot F$,结合图线的斜率可得 $P=8$ W,即模型车的速度从 2 m/s 增加至 4 m/s 的过程中,模型车以恒定的功率行驶(关键点),速度最大时合外力为零,即牵引力等于阻力,根据图像可知,在 $F=2$ N 时速度达到最大值,因此有 $F=f=2$ N,A 错误;由图像可知模型车初始牵引力为 $F_1=4$ N,且匀加速结束时模型车的速度大小 $v_1=2$ m/s,根据牛顿第二定律有 $F_1-f=ma$,解得加速度 $a=2$ m/s^2,根据匀变速直线运动中速度与时间的关系可得匀加速运动的时间 $t_1=\dfrac{v_1}{a}=1$ s,B 正确;根据以上分析可知,模型车牵引力功率最大时即为匀加速结束时获得的功率,可知最大功率为 8 W,C 错误;根据题意,使模型车速度达到最大用时 5 s,而匀加速阶段用时 1 s,则可知模型车以恒定功率运动的时间 $t_2=4$ s,根据动能定理有 $Pt_2-fx_2=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$,式中 $v_2=4$ m/s,$v_1=2$ m/s,解得 $x_2=13$ m,匀加速阶段位移 $x_1=\dfrac{1}{2}at_1^2=\dfrac{1}{2}\times2\times1^2$ m$=1$ m,故总位移 $x=x_1+x_2=14$ m,D 正确.

快解 由图像可知,斜线部分 $\dfrac{1}{v}$ 和 F 成正比例关系,则 $F\cdot v$ 为定值;竖线部分 F 为定值,可知该模型车以恒定加速度启动,最大功率为斜线部分对应的功率.

5. C 突破点 重力和摩擦力做功的计算、传送带模型

【解析】一个成年人上山过程中克服总重力做功为 $W_G=mgh=mgl\sin16°=70\times10\times100\times0.28$ J$=1.96\times10^4$ J,A 错误;一个成年人上山过程中,摩擦力做正功,不是克服摩擦力做功,静摩擦力做的功为 $W_f=f_{静}\,l=mgl\sin16°=1.96\times10^4$ J(易错点:上山过程中"魔毯"对人的摩擦力做正功),B 错误;当"魔毯"上同时承运 $n=100$ 个成年人时,有 $f=mg\sin\theta$,$f_{总}=nf$,对"魔毯"有 $F=f_{总}$,"魔毯"正常工作时,有 $P_{额}=Fv_m$,可得 $v_m=\dfrac{P_{额}}{nf}=\dfrac{40\times10^3}{100\times70\times10\times0.28}$ m/s$\approx$2 m/s,C 正确;同理可得,若"魔毯"以 1 m/s 速度运行,由 $P_{额}=F'v$,可得 $F'=\dfrac{P_{额}}{v}=n'f$,代入数据解得 $n'\approx204$ 个,则最多可以同时承运 204 个成年人,D 错误.

第 2 节　动能定理的应用

刷 基础

1. C 考查点 动能定理的简单应用

【解析】篮球从高 h 的手掌处自由下落,根据自由落体运动规律可得 $v_1^2=2gh$,反弹后到达原来高度的 $\dfrac{4}{5}$ 处,有 $v_2^2=2g\cdot\dfrac{4}{5}h$,碰撞后的相对速度大小与碰撞前相对速度大小的比值为 $\dfrac{v_2}{v_1}=\dfrac{2}{\sqrt{5}}$,若篮球反弹后能回到 h 高度处,则 $v_4^2=v_1^2=2gh$,又 $\dfrac{v_4}{v_3}=\dfrac{v_2}{v_1}=\dfrac{2}{\sqrt{5}}$,所以 $v_3=\dfrac{\sqrt{10gh}}{2}$,根据动能定理有 $W+mgh=\dfrac{1}{2}mv_3^2$,解得 $W=\dfrac{1}{4}mgh$,故选 C.

快解 因为质量为 m 的篮球从高 h 的手掌处自由下落接触木地板后能反弹到原来高度的 $\dfrac{4}{5}$ 处,则为使篮球能反弹回高 h 的手掌处,应将小球从高 $\dfrac{5}{4}h$ 处自由落下,则每次拍球需要对篮球做的功 $W=\dfrac{5}{4}mgh-mgh=\dfrac{1}{4}mgh$.

2. B 考查点 动能定理、匀变速直线运动

【解析】从 A 运动到 B,根据动能定理有 $-mgh-W_f=0-\dfrac{1}{2}mv_0^2$,所以克服阻力做的功为 $W_f=\dfrac{1}{2}mv_0^2-mgh$,A 错误;克服阻力做的功等于系统产生的内能,则该过程产生的热量为 $\dfrac{1}{2}mv_0^2-mgh$,B 正确;因为货车所受阻力恒定,则阻力做的功与路程成正比,故货车在 AC 段克服阻力做的功等于在 CB 段克服阻力做的功,C 错误;货车从 A 到 B 做匀减速运动,AC 段的平均速度大于 CB 段的平均速度,且 AC 段的位移等于 CB 段的位移,故货车在 AC 段的运动时间小于在 CB 段的运动时间,D 错误.

3. A 考查点 杆球模型、应用动能定理求变力的功

【解析】当小球在 B、D 两点时,杆对小球的作用力在竖直方向的分力应等于重力,在水平方向的分力提供向心力,故杆对小球的作用力为 $F=\sqrt{(m\omega^2L)^2+(mg)^2}>mg$(关键点:杆的作用力和重力的合力提供小球做圆周运动的向心力),A 正确,C 错误;若小球在最高点,杆对小球的作用力为支持力,则在 A 点有 $mg-F_{N1}=m\omega^2L$,在 C 点有 $F_{N2}-mg=m\omega^2L$,所以 $F_{N2}-F_{N1}=2m\omega^2L$,若小球在最高点,杆对小球的作用力为拉力,则在 A 点有 $mg+$

$F'_{N1}=m\omega^2L$，在 C 点有 $F'_{N2}-mg=m\omega^2L$，所以 $F'_{N2}-F'_{N1}=2mg$，B 错误；小球从 A 点到 B 点的过程，根据动能定理可得 $W+mgL=0$，解得杆对小球做的功 $W=-mgL$，D 错误.

4. (1)2 m/s　(2)0.33 J　(3)4 m/s

考查点 ▸用动能定理求解摩擦力做功、传送带模型、平抛运动、竖直平面内圆周运动

【解析】(1)铁块恰好能通过 D 点，由牛顿第二定律得 $mg=\frac{mv_D^2}{R}$，

解得 $v_D=2$ m/s.

(2)铁块从 A 点到 B 点，由平抛运动规律得 $v_y^2=2gH$，

铁块恰好从 B 点沿切线进入圆弧轨道，根据几何关系可得

$\sin\theta=\frac{v_y}{v_B}$，

解得 $v_B=5$ m/s，

从 B 点到 D 点，根据动能定理得 $-mgR(1+\cos\theta)-W_f=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，

解得 $W_f=0.33$ J.

(3)铁块从 A 点到 B 点的过程中做平抛运动，根据平抛运动规律有 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_A}$，

铁块离开 A 点时的速度 $v_A=4$ m/s，

铁块在传送带上运动，根据动能定理得 $\mu mgs=\frac{1}{2}mv_A^2-0$，

解得 $s=2$ m，

因 $s<L$，故铁块在传送带上先做匀加速直线运动，跟传送带达到共同速度后做匀速直线运动，故传送带的速率 $v=v_A=4$ m/s.

5. C　**考查点** ▸圆锥摆问题、动能定理和圆周运动相结合

【解析】设当 b 绳刚好拉直时，小球运动的线速度大小为 v_1，则有 $T_a\cos\theta_1=mg$，$T_a\sin\theta_1=m\frac{v_1^2}{r}$，$r=L_a\sin\theta_1$，联立解得 $v_1=\sqrt{10}$ m/s；设当 a 绳刚好要松弛，即 $T_a=0$ 时，小球运动的线速度大小为 v_2，则有 $T_b\cos\theta_2=mg$，$T_b\sin\theta_2=m\frac{v_2^2}{r}$，联立解得 $v_2=\sqrt{10\sqrt{3}}$ m/s，可知在保持两根绳均拉直、ω 缓慢增大的过程中，系统对小球做的功最多为 $W=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=(5\sqrt{3}-5)$ J，故选 C.

关键点拨 因为在转动过程中两绳均拉直，即两绳上都有拉力，两绳拉力的合力在竖直方向上的分力和小球重力等大反向，水平方向上的分力提供小球做圆周运动的向心力，转动过程中的临界状态为 b 绳刚好拉直和 a 绳刚好松弛.

6. AC　**考查点** ▸动能定理和斜面问题相结合

【解析】物块所受重力沿斜面向下的分力大小为 $mg\sin30°=10$ N，根据图像可知，在拉力作用下，物块先沿斜面向上做匀加速直线运动，后向上做加速度减小的直线运动，当拉力大小为 10 N 时，加速度减小为 0，此时速度达到最大值，根据图乙，结合数学函数关系，可以解得 $x=7.5$ m，A 正确；从初始到 $x=10$ m 过程中，根据动能定理有 $W_F-mgx\sin30°=\frac{1}{2}mv^2-0$，其中 $W_F=\frac{(5+10)\times20}{2}$ J$=150$ J，解得 $v=5\sqrt{2}$ m/s，B 错误；设物块沿斜面运动到 $x=10$ m 位置之后，能够沿斜面继续向上减速至 0 的位移为 x_1，则有 $-mgx_1\sin30°=0-\frac{1}{2}mv^2$，解得 $x_1=5$ m，则上升过程中，物块能达到的最大高度为 $H=(x+x_1)\sin30°=(10+5)\times\frac{1}{2}m=7.5$ m，C 正确；物块由最高点下降至最低点过程有 $mg(x+x_1)\cdot\sin30°=\frac{1}{2}mv_1^2-0$，解得 $v_1=5\sqrt{6}$ m/s，则下降过程中，当 $x=0$ 时重力对物块做功的功率为 $P=mgv_1\sin30°$（**关键点：**重力做功的功率等于重力乘沿重力方向的分速度），解得 $P=50\sqrt{6}$ W，D 错误.

7. B　**考查点** ▸应用动能定理解多段过程问题

【解析】从 A 点释放，恰好能滑动到 C 点，物块受重力、支持力、滑动摩擦力，设斜面 AC 长为 L，小物块 P 质量为 m，运用动能定理，则有 $mgL\sin\theta-\mu_1mg\cos\theta\times\frac{3}{5}L-\mu_2mg\cos\theta\times\frac{2}{5}L=0$，解得 $\tan\theta=\frac{3\mu_1+2\mu_2}{5}$，故选 B.

8. B　**考查点** ▸弹簧类问题、用动能定理求解多过程问题

【解析】由图乙可知，小球处于释放位置的重力势能为 0.70 J，根据 $E_p=mgH$，可得 $H=0.7$ m，A 错误；对下落的小球的运动状态分析，小球接触弹簧前，做匀加速直线运动，此时小球受重力和竖直向上的恒定风力 f，根据牛顿第二定律有 $mg-f=ma_1$，在小球接触弹簧后，弹簧发生形变，此时小球受重力、风力、弹簧的弹力，根据牛顿第二定律有 $mg-f-T=ma_2$，$T=k\Delta x$，Δx 在增大，则 T 在增大，a_2 在减小，此时小球做加速度减小的加速运动，直到 $mg-f=T$，即 $a_2=0$ 时，小球速度最大，之后小球继续向下运动，但此时 $T>mg-f$，而 Δx 在增大，小球做加速度增大的减速运动，直到小球速度减为 0，由图乙可知，小球速度减为 0 时，小球下落高度为 $h=0.6$ m，根据动能定理有 $mgh-fh+W_{弹}=0$，其中 $W_{弹}=-0.54$ J，解得 $f=0.1$ N，B 正确；小球刚接触弹簧时，小球下落高度为 $h_1=0.5$ m，根据动能定理有 $mgh_1-fh_1=E_k-0$，解得 $E_k=0.45$ J，C 错误；接触弹簧前，根据牛顿第二定律知 $mg-f=ma_1$，则接触弹簧前，小球下落过程中加速度为 $a_1=9$ m/s^2，D 错误.

关键点拨 图乙为小球下落的全过程中的图像，因此小球下落至 $x=0.6$ m 时，弹簧的弹性势能最大，小球的速度大小为零，可根据此关系对全过程列动能定理关系式求解.

9. D　**考查点** ▸应用动能定理求变力做功

【解析】重力对物块做的功为 $W_G=-mgL\sin\alpha$，A 错误；物块始终保持与板相对静止，在这个过程中物块所受的摩擦力为静摩擦力，静摩擦力的方向总是与速度的方向垂直，则摩擦力对物块做的功为零（关键点），B 错误；根据动能定理可知 $W-mgL\sin\alpha=\frac{1}{2}mv^2-0$，解得弹力对物块做的功为 $W=mgL\sin\alpha+\frac{1}{2}mv^2$，C 错误；根据动能定理可知，合力对物块做的功为 $\frac{1}{2}mv^2$，重力对物块做的功为 $-mgL\sin\alpha$，则板对物块做的功为 $mgL\sin\alpha+\frac{1}{2}mv^2$，D 正确.

易错警示 **混淆恒力做功和变力做功而致错**

题中的摩擦力为变力,方向随着木板的转动发生变化,但转动过程中摩擦力的方向始终与速度方向垂直,因此摩擦力不做功.

刷提分

1. A **突破点** ▸ E_k-x 图像

【解析】由于 $\mu>\tan\theta$,物块先向下匀减速运动,合力 $F_{合}=\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta$,方向沿传送带向上;速度减为零后物块向上匀加速运动,合力 $F'_{合}=\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta$,方向沿传送带向上. 因为 $v_2>v_1$,物块向上运动至与传送带速度相同后,与传送带一起相对静止向上匀速运动,此时物块合力为零,由动能定理得 $F_{合}\cdot\Delta x=\Delta E_k$,得 $\frac{\Delta E_k}{\Delta x}=F_{合}$,物块的动能 E_k 与位移 x 的关系图像斜率表示合力,动能减小过程和动能增加过程图像的斜率应相同,最后物块的动能小于初动能,且物块最后又回到了出发点,位移为零,故选 A.

关键点拨 注意题中求的是动能 E_k 与位移 x 的关系图像,经过整个过程后,物块又回到了起点,物块的位移为零.

2. AB **突破点** ▸ 利用动能定理求解机车启动问题

【解析】汽车从 a 点保持恒定功率 P 从静止开始启动,汽车的功率为 $P=Fv$,随着速度增大,汽车的牵引力 F 减小,由牛顿第二定律可得 $a=\frac{F-f}{m}$,则加速度 a 减小,当牵引力等于摩擦力时,汽车的加速度为零,速度达到最大,此时 $P=\frac{1}{3}mgv_m$,解得 $v_m=\frac{3P}{mg}$,A 正确,D 错误;汽车在 bc 段运动时,有 $P'=(mg\sin 30°+f)v_m$,解得 $P'=2.5P$,B 正确;汽车从 a 点运动到 b 点的过程中,由动能定理得 $Pt_0-\frac{1}{3}mgx=\frac{1}{2}mv_m^2-0$,解得 $x=\frac{3Pt_0}{mg}-\frac{27P^2}{2m^2g^3}$,C 错误.

3. C **突破点** ▸ 用动能定理求解变力做功

【解析】当无人机速度达到最大时,合力为零,阻力最大,则 $(M+m)g+f_m=F$,解得速度最大时的阻力大小为 $f_m=F-(M+m)g$,B 错误;空气阻力的大小始终是速度大小的 k 倍,则 $f_m=kv_m$,解得最大速率为 $v_m=\frac{F-(M+m)g}{k}$,A 错误;速度最大时牵引力的功率为 $P=Fv_m=\frac{F-(M+m)g}{k}F$,C 正确;上升高度 H 的过程中,对无人机及负重由动能定理得 $FH-(M+m)gH+W_f=\frac{1}{2}(M+m)v_m^2-0$,解得阻力做的功为 $W_f=\frac{1}{2}(M+m)\cdot\left[\frac{F-(M+m)g}{k}\right]^2+(M+m)gH-FH$,D 错误.

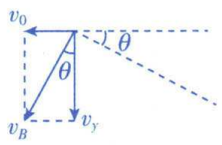
4. A **突破点** ▸ 应用动能定理解多段过程问题

【解析】设 B 点坐标为 $(x_B,0)$,小木块由 $\left(\frac{1}{4}x,\frac{3}{4}h\right)$ 下滑到 A 点的过程,由动能定理有 $mg\cdot\frac{3}{4}h-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{x_B-\frac{1}{4}x}{\cos\theta}-\mu mg(x-x_B)=0$,解得 $\mu=\frac{h}{x}$,改变斜面倾角和斜面长度,小木块仍在 A 点停下,设小木块静止释放点的坐标为 (x_0,y_0),则有 $mgy_0-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{x_B-x_0}{\cos\theta}-\mu mg(x-x_B)=0$,解得 $y_0=h-\frac{h}{x}x_0$,由上述分析可知,$x_0=0$ 时,$y_0=h$,故释放点坐标可能为 $(0,h)$,A 正确;由上述分析可知,$x_0=\frac{x}{2}$ 时,$y_0=\frac{h}{2}$,故释放点坐标不可能为 $\left(\frac{1}{2}x,\frac{2}{3}h\right)$,B 错误;由上述分析可知,$x_0=\frac{x}{3}$ 时,$y_0=\frac{2h}{3}$,故释放点坐标不可能为 $\left(\frac{1}{3}x,\frac{1}{3}h\right)$,C 错误;由上述分析可知,$x_0=\frac{x}{6}$ 时,$y_0=\frac{5h}{6}$,故释放点坐标不可能为 $\left(\frac{1}{6}x,\frac{2}{3}h\right)$,D 错误.

快解 由于斜面上运动的小木块所受摩擦力做的功等效于小木块在水平面上走过该斜面在水平面投影长度摩擦力做的功,则小木块在 $\left(\frac{1}{4}x,\frac{3}{4}h\right)$ 由静止开始滑下,滑到 A 点停下的过程中,有 $\frac{3}{4}mgh=\mu mg\left(x-\frac{1}{4}x\right)$,即 $\mu=\frac{h}{x}$.

5. A **突破点** ▸ 应用动能定理求解多过程问题、圆周运动

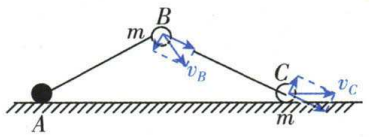
【解析】由图乙可知,物块从 D 点离开轨道后到落回轨道所用时间 $t=(1.675-0.875)\,s=0.8\,s$(**关键点:**在 0.875~1.675 s 时间内轨道受到的压力为零,说明物块脱离轨道),该过程中物块做竖直上抛运动,有 $2v_D=gt$,求得 $v_D=4\,m/s$,A 正确;物块经过 C 点时,重力和支持力的合力提供向心力,即 $F_1-mg=m\frac{v_C^2}{R}$,由牛顿第三定律知 $F_1=F_0$,物块由 C 点运动到 D 点过程中,根据动能定理有 $-mgR=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_C^2$,两式联立,求得 $F_0=70\,N$,B 错误;物块水平抛出后做平抛运动,将物块经过 B 点时的速度沿着水平方向和竖直方向分解,如图所示,



由图可知 $v_B\sin\theta=v_0$,物块由 B 点运动到 D 点过程中,根据动能定理有 $mgR\sin\theta=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_B^2$,两式联立,求得 $v_0=\sqrt{3}\,m/s$,C 错误;物块在 AC 段运动过程中,物块竖直方向的速度先增大后减小,因此重力的瞬时功率先增大后减小,D 错误.

6. B **突破点** ▸ 系统的动能定理

【解析】$t=t_1$ 时 AB 和 BC 间的夹角变为 120°,此时 C 发生的位移大小为 $x=2L\cos 30°=\sqrt{3}L$,根据 $2ax=v_C^2$,可得此时 C 的速度大小为 $v_C=\sqrt{2gL}$,此时 B、C 沿杆方向的分速度相等,如图所示,有 $v_C\cos 30°=v_B\cos 30°$,



可得 $t=t_1$ 时重力对 B 做功的瞬时功率为 $P_G=mgv_B\cos 30°=\frac{\sqrt{6m^2g^3L}}{2}$,故 B 正确,A 错误;对 A、B、C 整体,根据动能定理有 $mgL(1-\cos 60°)+W_F=\frac{1}{2}mv_B^2+\frac{1}{2}mv_C^2-0$,求得 $W_F=\frac{3}{2}mgL$,故 C

错误;若 F 为恒力,$t=0$ 时刻对 C 分析,根据牛顿第二定律有 $F=ma=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$,$t=t_1$ 时刻对 C 分析,根据牛顿第二定律有 $F_C\cos 30°+F=ma$,联立解得 $F_C=0$,又 B 绕 A 做圆周运动,对 B 进行受力分析,设连接 A、B 的细杆对 B 的弹力沿杆指向 B,根据牛顿第二定律,有 $F_C\sin 30°+mg\sin 30°-F_A=m\frac{v_B^2}{L}$,求得 $F_A=-\frac{3}{2}mg$,此时连接 A、B 的细杆对 B 的弹力大小为 $\frac{3mg}{2}$,但由于 F 不是恒力,则 $F_C\neq 0$,故此时连接 A、B 的细杆中的弹力大小不等于 $1.5mg$,故 D 错误.

7. (1)0.4　0.2　(2)6 kg　(3)见解析

突破点 ▸应用动能定理解多段过程问题、牛顿运动定律与 v-t 图像结合

【解析】(1)由 v-t 图像可知,$t=0.5$ s 到 $t=1$ s 时间内,B 的加速度大小 $a_B=4\ \text{m/s}^2$,

A 的加速度大小 $a_A=2\ \text{m/s}^2$,

设 A 与 B 间的动摩擦因数为 μ_1,A 与桌面间的动摩擦因数为 μ_2,

由牛顿第二定律,对 B 有 $\mu_1 m_B g=m_B a_B$,

对 A 有 $\mu_1 m_B g-\mu_2(m_B+m_A)g=m_A a_A$,

联立解得 $\mu_1=0.4$,$\mu_2=0.2$.

(2)由 v-t 图像可知,$t=0$ 到 $t=0.5$ s 时间内,B 的加速度大小 $a_B'=8\ \text{m/s}^2$,设重物质量为 m,对 B 和重物组成的系统,由牛顿第二定律有 $mg-\mu_1 m_B g=(m+m_B)a_B'$,

解得 $m=6$ kg.

(3)$t=1$ s 时刻,A、B 共速,B 刚好进入虚线区域,且 B 受到水平向右的恒力 F 作用,假设 A、B 进入虚线区域后会发生相对滑动,

由分析知 $\frac{F+\mu_2(m_A+m_B)g}{m_A+m_B}\geqslant\frac{\mu_1 m_B g+\mu_2(m_A+m_B)g}{m_A}$,

得 $F\geqslant 18\ \text{N}>5\ \text{N}$,假设不成立,

因此,进入虚线区域后,A、B 会保持相对静止一起水平向左做匀减速直线运动,一起匀减速的加速度大小 $a_{共}=\frac{F+\mu_2(m_A+m_B)g}{m_A+m_B}=\frac{2F+6}{3}\ \text{m/s}^2$,

接下来,分析三种情况:

①若 A、B 恰好一起滑出左边界,则 $2ad=v^2$,

其中 $a=a_{共}$,

解得 $F=2$ N;

②若 A、B 滑不出左边界,停下后 A、B 均能在虚线区域内静止,则 $2\ \text{N}<F\leqslant\mu_2(m_A+m_B)g=3\ \text{N}$;

③若 A、B 滑不出左边界,停下后 A、B 不能在虚线区域内静止,则将反向水平向右加速,若 A、B 向右加速过程中会发生相对滑动,

由分析知 $\frac{F-\mu_2(m_A+m_B)g}{m_A+m_B}\geqslant\frac{\mu_1 m_B g-\mu_2(m_A+m_B)g}{m_A}$,

解得 $F\geqslant 6\ \text{N}>5\ \text{N}$,

因此,A、B 会保持相对静止一起向右加速,综上可知:

①当 $0<F\leqslant 2$ N 时,A、B 将一起滑出左边界,又由 $\mu_2 g<\mu_1 g$ 知,A、B 之后将一起匀减速到零,由动能定理,则有

$-Fd-\mu_2(m_A+m_B)gs_1=0-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$,

解得 $s_1=\frac{5-F}{5}$ m;

②当 $2\ \text{N}<F\leqslant 3\ \text{N}$ 时,A、B 将一起停在虚线区域中,由动能定理,则有 $-Fs_2-\mu_2(m_A+m_B)gs_2=0-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$,

解得 $s_2=\frac{3}{F+3}$ m;

③当 $3\ \text{N}<F<5\ \text{N}$ 时,A、B 将先一起向左匀减速,设减速到零时位移为 s',由动能定理,则有 $-Fs'-\mu_2(m_A+m_B)gs'=0-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$,

然后一起向右先匀加速离开虚线区域再匀减速,由动能定理,则有 $Fs'-\mu_2(m_A+m_B)g(s_3+s')=0$,

联立解得 $s_3=\frac{F-3}{F+3}$ m.

第 3 节　机械能守恒定律

刷基础

1. BD　**考查点** ▸机械能守恒定律、平均功率、瞬时功率

【解析】依题意,铅球做斜抛运动,只有重力做功,机械能守恒,由于两次铅球在 B 点机械能相同,所以两次抛出的初速度大小相等,方向不同,A 错误;小球在空中运动过程中机械能守恒,由于两次铅球在 B 点机械能相同,因此两次铅球在空中运动过程机械能相同(关键点),它们在最高点的机械能也相同,B 正确;由于两次铅球的机械能相同,则两次铅球落地时的速度大小相等,但速度方向不同,所以两次落地时的竖直方向分速度大小不相等,根据 $P=mgv_y$,可知两次铅球落地时重力的瞬时功率不相等,C 错误;由图可知,第一次铅球在空中轨迹的最高点较高,运动时间较长,重力做功相同,根据 $\overline{P}=\frac{W}{t}$,可知过程 2 中重力做功平均功率更大,D 正确.

关键点拨　铅球在空中运动时不计空气阻力,只有重力做功,铅球的机械能守恒,因此两个运动轨迹中任意两点的机械能相等时,两次空中运动过程的任意位置机械能相等.

2. A　**考查点** ▸弹簧类机械能转化的问题

【解析】若弹簧压缩至最短时,弹簧对轻质杆的弹力小于轻质杆与槽间的最大静摩擦力,则轻质杆不会滑动,小球的重力势能转化为弹簧的弹性势能,则 $E_{p1}=mg(h+x)$(关键点:外力不做功,系统机械能守恒),可知 h 越大,弹簧的压缩量 x 越大,弹簧的弹性势能越大,即 h 增大,$E_{p2}>E_{p1}$;若弹簧压缩时,弹簧对轻质杆的弹力大于轻质杆与槽间的最大静摩擦力,轻质杆会向下滑动(关键点:摩擦力做功,系统机械能不守恒),当小球和轻质杆速度相等时,弹簧的弹性势能达到最大,此时小球的重力等于弹簧的弹力,即 $mg=kx$,不管 h 如何增大,当弹性势能最大时,弹簧的形变量不变,弹簧的弹性势能不变,即 $E_{p2}=E_{p1}$,故选 A.

3. C　**考查点** ▸机械能守恒与曲线运动结合问题、冲量

【解析】恰能使小球做完整的圆周运动,从最低点到最高点,根据机械能守恒定律有 $mg\cdot 2r=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$,最高点有 $mg=m\frac{v^2}{r}$,解得 $r=0.72$ m,A 错误;小球做圆周运动,但不是匀速圆周运动,小球的速度大小和方向不断改变,所受重力与弹力的合力并非

始终指向圆心，B 错误；小球转动一圈，根据动量定理有 $I_F-I_G=0$，重力的冲量竖直向下，则轨道对小球的弹力的冲量竖直向上（**关键点**：轨道对小球的弹力为变力，冲量无法直接求出，可先求出重力的冲量，进而求出弹力的冲量），C 正确；根据向心加速度公式 $a=\frac{v^2}{r}$，由于在最高点小球速度最小，则在最高点向心加速度最小，D 错误.

4. C **考查点** ▸铁链下滑问题

【解析】铁链下滑过程中靠近 B 端的一小段铁链受到上边铁链的拉力，该拉力做负功，故机械能不守恒，A 错误；根据几何关系可知，铁链长度为 $L=\frac{\pi R}{3}=2$ m，铁链质量分布均匀且形状规则，则初始位置其重心在 $\angle AOB$ 的平分线上，铁链在初始位置时其重心与圆心连线长度等于端点 B 滑至 C 处时其重心与圆心连线长度，均设为 h_0，根据机械能守恒定律有 $mgh_0-mgh_0\sin 30°=\frac{1}{2}mv_1^2$，代入数据解得 $h_0=1.8$ m，B 错误；铁链的端点 A 滑至 C 点时，其重心在参考平面下方 $\frac{L}{2}$ 处，则铁链的端点 A 滑至 C 点时其重心下降 $\Delta h=h_0+\frac{L}{2}=2.8$ m，C 正确；铁链从初始位置到端点 A 滑至 C 处过程，根据机械能守恒定律有 $mg\Delta h=\frac{1}{2}mv_2^2$，解得 $v_2=2\sqrt{14}$ m/s，D 错误.

关键点拨 本题中铁链的重心高度较难直接求出，可以根据铁链的端点 B 滑至 C 处时的速度并结合机械能守恒定律求得.

5. BC **考查点** ▸机械能守恒定律的应用、关联速度问题

【解析】A、B 两点弹簧对滑块 P 的弹力大小相等，可知在 A 点弹簧对滑块 P 的弹力向上，此时加速度向上，在 B 点弹簧对滑块 P 的弹力向下，此时加速度向下，故滑块 P 先加速上升再减速上升，A 错误；当滑块 P 运动至 B 点时有 $v_P\cos 90°=v_Q$，则此时重物 Q 的速度为零（**关键点**：P 在 B 点时，滑块 P 运动方向与绳垂直，沿绳方向的分速度为零），B 正确；P、Q 与弹簧组成的系统机械能守恒，根据几何关系可知，滑块 P 上升的高度为 $h=L\tan\theta=\frac{3}{4}L$，重物 Q 下落的高度为 $h'=\frac{L}{\cos\theta}-L=\frac{1}{4}L$，$A$、$B$ 两点弹簧对滑块 P 的弹力大小相等，可知 A、B 两点弹簧的弹性势能相等，滑块 P 运动至 B 点，沿绳方向的速度为零，故重物 Q 的速度为零，根据机械能守恒定律可得 $5mgh'-mgh=\frac{1}{2}mv^2$，解得滑块 P 在 B 点的速度为 $v=\sqrt{gL}$，C 正确；假设滑块 P 能上升到 A 关于 B 的对称点 A'，则滑块 P 在 A 点和 A' 点时，重物 Q 的重力势能相等，但滑块 P 在 A 点时，重力势能更小，且弹簧的弹性势能小于滑块 P 在 A' 点时，不满足机械能守恒定律，假设不成立，D 错误.

易错警示 **误以为 P、Q 速度大小相等而致错**

本题涉及关联速度问题，P、Q 沿绳方向的速度大小相等，当两物体的速度方向不都沿绳时，必须将两物体的速度沿绳方向进行分解.

刷提分

1. D **突破点** ▸机械能守恒定律的应用

【解析】释放 C 球使其从静止开始下落，绳的拉力对 C 球做负功，C 球的机械能减小，A、B、C 组成的系统机械能守恒，则 A、B 两球组成的系统机械能增大，A 错误；释放 C 球使其从静止开始下落到 A 球第一次转到最高点过程中，A 球的重力势能与动能均增大，即 A 球的机械能增大，可知 A 球第一次转到最高点过程中轻杆对 A 球做正功，B 错误；C 球下落高度为 R 时，A、B 两球速度大小、角速度均相等，根据线速度与角速度的关系有 $\omega=\frac{v_A}{2R}=\frac{v_B}{2R}=\frac{v_C}{R}$（**关键点**），根据三个小球组成的系统机械能守恒有 $mgR=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2+\frac{1}{2}mv_C^2$，解得 $v_A=\frac{2\sqrt{2Rg}}{3}$，$v_C=\frac{\sqrt{2Rg}}{3}$，C 错误，D 正确.

2. BC **突破点** ▸绳连系统的机械能守恒、关联速度问题

【解析】由几何关系可知，杆保持水平时绳与竖直方向夹角正切值为 $\tan\alpha=\frac{3}{5}$，可得 $\sin\alpha=\frac{3}{\sqrt{34}}$，$\cos\alpha=\frac{5}{\sqrt{34}}$，对小球 A 受力分析如图 1，可知 $F\cos\alpha=F'\cos\alpha+mg$，$F\sin\alpha=T+F'\sin\alpha$，对 B 有 $F'=mg$，解得轻杆对小球 A 的拉力大小为 $T=\frac{3mg}{5}$，A 错误；如图 2 所示，运动过程中，两小球速度大小相等时，绳的方向与杆垂直（**关键点**：轻绳的方向与杆垂直时，两小球沿绳方向上的速度相等），则此时绳与竖直方向夹角正弦值为 $\sin\theta=\frac{3}{5}$，由机械能守恒定律有 $mg\cdot 3L\sin\theta+mg\left[\sqrt{(5L)^2+(3L)^2}-\sqrt{(5L)^2-(3L)^2}\right]=2\times\frac{1}{2}mv^2$，解得 $v=\sqrt{\left(\sqrt{34}-\frac{11}{5}\right)gL}$，B 正确；两小球速度大小相等时，对小球 A 受力分析如图 3，沿绳方向有 $F_1+mg\cos\theta=ma_1$（**关键点**），小球 B 与小球 A 沿绳方向的加速度大小相等，则对小球 B 有 $mg-F_1=ma_1$，联立解得 $F_1=\frac{1}{10}mg$，C 正确；两小球速度大小相等时，对小球 A，沿杆方向应有 $T'-mg\sin\theta=m\frac{v^2}{3L}$，代入数据解得 $T'=\left(\frac{\sqrt{34}}{3}-\frac{2}{15}\right)mg$，D 错误.

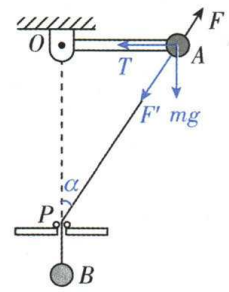


图 1

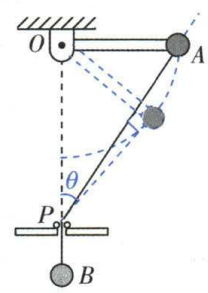


图 2

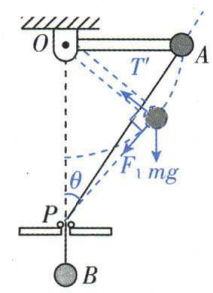


图 3

3. (1) 0.72 kg　(2) $2\sqrt{2}$ m/s　(3) 2.76 J

突破点 ▸连接体问题中机械能守恒定律的应用

【解析】(1) 当小环在 Q 点时由平衡条件可知 $T\cos 53°=Mg$，

对 A、B 整体有 $T=2mg\sin 37°$，

解得 $M=0.72$ kg.

(2) 小环在 R 和 Q 位置时弹簧的弹性势能相等，小环从位置 R 运动到位置 Q 的过程中，对于小环 C、弹簧和 A 组成的系统，由机械能守恒定律有 $Mg\frac{2d}{\tan\alpha}=\frac{1}{2}Mv^2+\frac{1}{2}mv_A^2$，

又 $v_A=v\cos\alpha$，

两式联立可得 $v=2\sqrt{2}$ m/s.

(3) 由题意及对称性可知，开始时 B 恰好对挡板没有压力，所以 B 受到重力、斜面的支持力和弹簧的拉力，弹簧处于伸长状态，由

平衡条件有 $mg\sin\theta=k\Delta x_1$，

解得弹簧的伸长量为 $\Delta x_1=0.05\ \text{m}$，

当小环 C 通过位置 S 时，A 下降的距离为 $x_A=\dfrac{d}{\sin\alpha}-d=0.1\ \text{m}$，

此时弹簧的压缩量为 $\Delta x_2=x_A-\Delta x_1=0.1\ \text{m}-0.05\ \text{m}=0.05\ \text{m}$，

由速度分解可知此时 A 的速度为零，所以小环 C 从 R 运动到 S 的过程中，初末状态弹簧的弹性势能相等，对于小环 C、弹簧和 A 组成的系统，由机械能守恒定律有 $Mg\dfrac{d}{\tan\alpha}+mgx_A\sin\theta=E_k$，

解得 $E_k=2.76\ \text{J}$.

专题7　功能关系

刷难关

1. D　**突破点**▸常见力做功与相应的能量转化

【解析】击球过程，根据动能定理有 $W=\dfrac{1}{2}mv_1^2-0$，即球拍对网球做功为 $\dfrac{1}{2}mv_1^2$，A 错误；网球从被击出到落地，根据动能定理有 $\Delta E_k=mgh-W_f$，B 错误；根据功能关系可知，网球从被击出到落地，网球的机械能减少 W_f，C 错误；根据动能定理有 $mgh-W_f=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$，解得 $W_f=mgh+\dfrac{1}{2}mv_1^2-\dfrac{1}{2}mv_2^2$，D 正确.

2. C　**突破点**▸功能关系

【解析】下滑过程中，物块重力势能减少 20 J，动能只增加了 12 J，故机械能不守恒，A 错误；斜面高为 2 m，长度为 2.5 m，故倾角为 53°，在顶端时，重力势能为 $E_p=mgh=20\ \text{J}$，解得 $m=1\ \text{kg}$，损失的机械能 $Q=\mu mgs\cos 53°=8\ \text{J}$，解得 $\mu=\dfrac{8}{15}$，B 错误；由牛顿第二定律有 $mg\sin 53°-\mu mg\cos 53°=ma$，解得 $a=4.8\ \text{m/s}^2$，C 正确；物块下滑 1.25 m 时，重力势能为 10 J，动能为 6 J，机械能为 16 J，则机械能损失了 4 J，D 错误.

3. D　**突破点**▸弹簧模型中的功能关系、冲量

【解析】设物块由 A 点运动到 B 点所用时间为 t，重力的冲量 $I=mgt$（易错点：该过程中重力做功为零，但是冲量不为零），A 错误；由于水平面粗糙且 O 点为弹簧在原长时物块的位置，所以弹力与摩擦力平衡的位置在 OA 之间，加速度为零时弹力和摩擦力平衡，所以物块在从 A 到 O 的过程中加速度先减小后反向增大，B 错误；从 A 到 O 运动，当弹簧的弹力等于摩擦力时，加速度为 0，速度最大，弹力与摩擦力平衡的位置在 OA 之间，故速度最大的位置在 OA 之间，C 错误；由功能关系知，从 A 到 B，弹簧弹力对物块做的功等于物块与水平面摩擦产生的热量，D 正确.

4. BD　**突破点**▸轻绳弹簧连接体、功能关系、简谐运动

【解析】物体 Q 速度最大时，加速度等于零，此时弹性绳拉力等于 Q 的重力，即 $F=mg$，对物体 P 受力分析可知，P 受到的静摩擦力与拉力的水平分力平衡，有 $f=F\cos 37°=\dfrac{4}{5}mg$，A 错误；物体 Q 在竖直方向做简谐运动，由对称性可知，当 Q 落地前瞬间速度为零时，回复力竖直向上，大小等于 mg，有 $F'-mg=mg$，解得 $F'=2mg$，此时 P 受到的摩擦力为 $f'=F'\cos 37°=\dfrac{8}{5}mg$，B 正确；由 $F=kx$，从 Q 开始下落到速度最大的瞬间，下落的高度为 $x=\dfrac{mg}{k}$，由机械能守恒可得 $mgx=E_k+\dfrac{1}{2}kx^2$，解得 $E_k=\dfrac{m^2g^2}{2k}$，C 错误；Q 下落的最大距离为 $x'=\dfrac{2mg}{k}$，从 Q 开始下落到落地前的瞬间应用机械能守恒定律可得 $mgx'=E_{p弹}$，联立可得 $E_{p弹}=\dfrac{2m^2g^2}{k}$，若更换 Q 的质量为 $m'(m'>m)$，从同一位置由静止释放，则 $m'gx'=E_k'+E_{p弹}$，解得 $E_k'=\dfrac{2(m'-m)\cdot mg^2}{k}$，D 正确.

5. AD　**突破点**▸关联速度问题、弹簧类机械能转化

【解析】系统静止时，右侧轻绳竖直、长度为 L 且绳中无弹力，对 B 分析得 $mg\sin 37°=kx$，运动到 P 点时 A 恰好不离开挡板，对 A 分析得 $mg\sin 37°=kx$，可得这一过程中 B 上滑了 $2x=\dfrac{L}{4}$，由几何关系可得，小车缓慢运动至 P 点过程中位移为 $s=\sqrt{(L+2x)^2-L^2}=\dfrac{3}{4}L$，A 正确；在小车从图示位置缓慢运动到 P 时，该过程中初、末态弹簧的弹性势能不变，对 B 由功能关系得绳的拉力对 B 做的功等于 B 增加的重力势能，B 错误；小车缓慢运动到 P 点时，对 B 受力分析，根据平衡条件可得绳的拉力为 $T=mg\sin 37°+kx=\dfrac{6}{5}mg$，由几何关系得，此时滑轮右侧轻绳与水平地面夹角正切值为 $\tan\alpha=\dfrac{L}{\frac{3}{4}L}=\dfrac{4}{3}$，得 $\alpha=53°$，此时对小车受力分析，根据平衡条件可得 $T\sin\alpha+N=mg$，求得地面对小车的支持力大小为 $N=\dfrac{1}{25}mg$，显然此时小车对地面压力不为零，C 错误；由前面分析可知，当小车向右运动位移大小为 $\dfrac{3}{4}L$ 时，由关联速度关系得 $v_B=v\cos 53°=\dfrac{6}{5}\sqrt{gL}$，由于小车向右运动 $\dfrac{3}{4}L$ 距离时，弹簧弹性势能与初始相等，对 B 由功能关系可得绳的拉力对 B 做的功为 $W=mg\sin 37°\cdot 2x+\dfrac{1}{2}mv_B^2=\dfrac{87}{100}mgL$，D 正确.

6. B　**突破点**▸板块模型、功能关系

【解析】由功能关系可知拉力 F 做的功，除了增加两物体动能以外，还有系统产生热量（关键点：滑块和木板之间存在摩擦力），A 错误；由于木板受到摩擦力不变，当 M 越大时，木板加速度越小，而滑块加速度不变，相对位移不变，M 越大时，滑块在木板上运动时间越短，所以木板在滑块运动到木板右端时运动的位移越小，B 正确；滑块和木板都是做初速度为零的匀加速运动，在其他条件不变的情况下，木板的运动情况不变，滑块和木板的相对位移还是 L，所以拉力 F 越大，滑块的加速度越大，离开木板的时间就越短，C 错误；系统产生的热量等于摩擦力和相对位移的乘积，相对位移不变，摩擦力越大，产生的热量越多，D 错误.

7. D　**突破点**▸倾斜板块模型、功能关系

【解析】铁块 A 刚放在长木板 B 上时，对 A 分析，根据牛顿第二定律，设沿斜面向下为正方向，有 $\mu mg\cos 37°+mg\sin 37°=ma_A$，解得 $a_A=10\ \text{m/s}^2$，方向沿斜面向下，对 B 根据牛顿第二定律，设沿斜面向上为正方向，有 $\mu(M+m)g\cos 37°+\mu mg\cos 37°-Mg\sin 37°=Ma_B$，解得 $a_B=6\ \text{m/s}^2$，方向沿斜面向上，铁块 A 和长木板 B 共速的时间为 $t=0.5\ \text{s}$，则 $v_0-a_Bt=a_At$，解得 $v_0=8\ \text{m/s}$，A 错误；此时 A 和 B 相对位移为 $\Delta x=x_B-x_A=v_0t-\dfrac{1}{2}a_Bt^2-\dfrac{1}{2}a_At^2=2\ \text{m}$，$A$ 离长木板上端 0.5 m，C 错误；系统损失的机械能 $\Delta E=\mu mg\cos\theta\cdot\Delta x+\mu(m+M)g\cos\theta\cdot x_B=34\ \text{J}$，B 错误；$A$、$B$ 共速后，由于 $\mu<\tan 37°$，A、B 一起沿斜面加速下滑的加速度 $a=g\sin 37°-\mu g\cos 37°=2\ \text{m/s}^2$，方向沿斜面向下，设经过时间 t_1 再次加速到 v_0，有 $v_0=v_{共}+at_1$，$v_{共}=v_0-a_Bt$，解得 $t_1=1.5\ \text{s}$，全程用时 $t_2=1.5\ \text{s}+0.5\ \text{s}=2\ \text{s}$，D 正确.

8. (1)4 N<F≤8 N　(2)11.25 m　(3)324 J

突破点 板块模型中的功能关系

【解析】(1)要保持A、B一起做匀加速运动,由整体法可知,拉力的最小值F_{min}需满足$F_{min}>\mu_1(M+m)g=4$ N,

二者一起匀加速运动,当A、B间摩擦力达到最大静摩擦力时拉力最大为F_{max},故对整体研究,有$F_{max}-\mu_1(M+m)g=(M+m)a$,

隔离B研究,有$F_{max}-\mu_2 mg=ma$,

联立解得$F_{max}=8$ N,

故力F的范围为4 N<F≤8 N.

(2)分析可知,$F=F_1=10$ N时,二者已发生相对滑动,由牛顿第二定律可知,B的加速度为$a_B=\dfrac{F_1-\mu_2 mg}{m}=4$ m/s^2,

同理,A的加速度为$a_A=\dfrac{\mu_2 mg-\mu_1(m+M)g}{M}=2$ m/s^2,

则木板A右端到达O点时,有$l=\dfrac{1}{2}a_A t^2$,

解得$t=3$ s,

此时A的速度$v_A=a_A t=6$ m/s,

此时B的位移$x_B=\dfrac{1}{2}a_B t^2=18$ m,

此时B的速度$v_B=a_B t=12$ m/s,

故该过程铁块相对木板滑行的距离$\Delta x_1=x_B-l=9$ m,

撤去F后,A继续加速运动,且加速度和之前一样,为$a_A=2$ m/s^2,

撤去F后,B做减速运动,且加速度大小为$a_{B1}=\dfrac{\mu_2 mg}{m}=6$ m/s^2,

设经过时间t_1,二者共速,则有$v_{共}=v_A+a_A t_1=v_B-a_{B1}t_1$,

解得$v_{共}=7.5$ m/s,$t_1=0.75$ s,

则该过程二者相对位移$\Delta x_2=\left|\dfrac{v_{共}^2-v_B^2}{2a_{B1}}\right|-\left|\dfrac{v_{共}^2-v_A^2}{2a_A}\right|=2.25$ m,

因为$\mu_2>\mu_1$,故共速后二者相对静止一起匀减速,故整个过程中铁块相对木板滑行的距离$\Delta x_{总}=\Delta x_1+\Delta x_2=11.25$ m.

(3)若$F=F_2=12$ N时,由牛顿第二定律可知,B的加速度为$a_{B2}=\dfrac{F_2-\mu_2 mg}{m}=6$ m/s^2,

同理,A的加速度为$a_A=\dfrac{\mu_2 mg-\mu_1(m+M)g}{M}=2$ m/s^2,

则木板A右端到达O点时,有$l=\dfrac{1}{2}a_A t^2$,

解得$t=3$ s,

此时B的位移$x_{B1}=\dfrac{1}{2}a_{B2}t^2=27$ m,

撤去F后,A、B最终速度减为零,则从初始到A、B都相对地面静止过程,由功能关系可知,整个系统产生的热量$Q_{热}=F_2 x_{B1}=324$ J.

9. C　**突破点** 倾斜传送带模型

【解析】由图乙可知,在0~2.5 s内,货物的速度大于传送带的速度,则货物受沿传送带向上的滑动摩擦力,在2.5~4.5 s内,货物匀速下滑,根据平衡条件可知,货物受沿传送带向上的静摩擦力,所以2.5 s时货物所受摩擦力方向不变,A错误;图线与横轴围成的图形的面积表示位移,根据题意可得$L=\dfrac{v_1+v_0}{2}t_1+v_0 t_2$,其中$t_1=2.5$ s,$t_2=2$ s,解得$v_0=0.5$ m/s,C正确;由图乙和C选项分析可知,在0~2.5 s内对货物由牛顿第二定律有$\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$,由图像可知货物的加速度大小为$a=\dfrac{v_1-v_0}{t_1}$,联立解得$\mu=0.8$,B错误;由于货物向下运动过程中所受到的摩擦力一直沿传送带向上,摩擦力一直做负功,根据功能关系可知,货物所具有的机械能一直减小,D错误.

10. (1)0.5 N,方向沿传送带向上　(2)5.4 m　(3)4 J

突破点 传送带模型和功能关系的综合应用

【解析】(1)刚开始由于煤块A的速度小于传送带速度,所受摩擦力沿传送带向上,大小为$f=\mu mg\cos 30°$,

解得$f=0.5$ N.

(2)刚开始由于煤块A的速度小于传送带速度,由牛顿第二定律,对A、B受力分析,可得$T+\mu mg\cos 30°-mg\sin 30°=ma_1$,$Mg-T=Ma_1$,

联立解得$a_1=5$ m/s^2,

从开始到煤块A与传送带第一次共速所用时间为$t_1=\dfrac{v_1}{a_1}=\dfrac{5}{5}$ s=1 s,

发生的位移为$x_1=\dfrac{v_1^2}{2a_1}=\dfrac{5^2}{2\times5}$ m=2.5 m<9 m,

此过程煤块A相对传送带向下发生的相对位移大小为$s_1=v_1 t_1-\dfrac{v_1 t_1}{2}=2.5$ m,

煤块A与传送带共速后,由于$Mg=3$ N>$\mu mg\cos 30°+mg\sin 30°=1.5$ N,

A继续加速,煤块A受到沿传送带向下的滑动摩擦力,对A、B受力分析,可得$T'-\mu mg\cos 30°-mg\sin 30°=ma_2$,$Mg-T'=Ma_2$,

解得$a_2=3$ m/s^2,

从煤块A与传送带共速到物体B落地过程,设物体B落地瞬间速度大小为v_2,则有$2a_2 x_2=v_2^2-v_1^2$,

其中$x_2=9$ m−2.5 m=6.5 m,

解得$v_2=8$ m/s,

从煤块A与传送带共速到物体B落地过程,所用时间为$t_2=\dfrac{v_2-v_1}{a_2}=\dfrac{8-5}{3}$ s=1 s,

此过程煤块A相对传送带向上发生的相对位移大小为$s_2=\dfrac{v_1+v_2}{2}t_2-v_1 t_2=1.5$ m,

物体B落地后,煤块A向上做匀减速运动的加速度大小为$a_3=\dfrac{\mu mg\cos 30°+mg\sin 30°}{m}=7.5$ m/s^2,

煤块A从速度v_2减速到再次与传送带共速,所用时间为$t_3=\dfrac{v_2-v_1}{a_3}=\dfrac{8-5}{7.5}$ s=0.4 s,

此过程煤块A相对传送带向上发生的相对位移大小为$s_3=\dfrac{v_1+v_2}{2}t_3-v_1 t_3=0.6$ m,

煤块A再次与传送带共速后,煤块A继续向上做匀减速运动的加速度大小为$a_4=\dfrac{mg\sin 30°-\mu mg\cos 30°}{m}=2.5$ m/s^2,

煤块A从再一次与传送带共速到刚好到达顶端,所用时间为$t_4=\dfrac{v_1}{a_4}=\dfrac{5}{2.5}$ s=2 s,

此过程煤块A相对传送带向下发生的相对位移大小为$s_4=v_1 t_4-\dfrac{v_1}{2}t_4=5$ m,

则过程中产生的划痕长度为$l=s_1+s_4-s_2-s_3=2.5$ m+5 m−

1.5 m−0.6 m=5.4 m.

(3)由于运送煤块 A,摩擦力对传送带做功为 $W_f=f(-v_1t_1+v_1t_2+v_1t_3-v_1t_4)=-4$ J,

故传送带电动机多消耗的电能 $E_{多}=-W_f=4$ J.

11. AB 突破点▸斜面模型、功能关系、E_p-x 图像

【解析】根据 $E_p=mgx\sin 30°$,可知 E_p-x 图像的斜率为 $mg\sin 30°=3$ N,解得物块的质量为 $m=0.6$ kg,A 正确;对物块从 $x=1.5$ m 到 $x=2.5$ m,由动能定理可得 $-mg\cdot(2.5\text{ m}-1.5\text{ m})\cdot\sin 30°=0-\frac{1}{2}mv^2$,解得 $v=\sqrt{10}$ m/s,B 正确;设位移 x 处物块的重力势能与动能相等,有 $mgx\sin 30°=\frac{1}{2}mv^2$,由机械能守恒有 $mgx\sin 30°+\frac{1}{2}mv^2=mg\times(2.5\text{ m})\sin 30°$,解得 $x=1.25$ m,C 错误;当 $x=2$ m 时,有 $mg\times(2\text{ m})\sin 30°+E_k=mg\times(2.5\text{ m})\sin 30°$,解得 $E_k=1.5$ J,D 错误.

12. A 突破点▸$F-t$ 图像、动量定理

【解析】$F-t$ 图线与横轴围成的面积表示合外力的冲量,则根据动量定理可知合外力的冲量等于质点动量的变化量,$0\sim t_0$ 时间内,质点动量的变化量为 $\Delta p_1=mv_1-0=\frac{F_0t_0}{2}$,质点的速度为 $v_1=\frac{F_0t_0}{2m}$,根据动能定理可知 $0\sim t_0$ 时间内,合外力对 P 做的功为 $W_1=\frac{1}{2}mv_1^2-0=\frac{F_0^2t_0^2}{8m}$,A 正确;同理可得 $0\sim\frac{3}{2}t_0$ 时间内,质点动量的变化量为 $\Delta p_2=m\Delta v=\frac{F_0t_0}{2}-\frac{F_0\cdot\frac{t_0}{2}}{2}=\frac{F_0t_0}{4}$,解得 $0\sim\frac{3}{2}t_0$ 时间内,P 的速度变化量为 $\Delta v=\frac{F_0t_0}{4m}$,B 错误;质点初始速度为 0,则从初始状态开始到达动量变化量最大的时刻,速率取得最大值,根据上述分析可知图线与横轴围成的面积最大时质点速度最大,则图像上速率最大的时刻为 t_0 和 $3t_0$,C、D 错误.

13. D 突破点▸功能关系的应用、多过程问题

【解析】木箱离开弹簧后,对木箱受力分析,设沿轨道向下为正方向,根据牛顿第二定律可得 $Mg\sin 30°+\mu Mg\cos 30°=Ma$,解得 $a=g\sin 30°+\mu g\cos 30°=0.8g$,方向沿轨道向下,A 错误;设弹簧的最大弹性势能为 E_{pm},弹簧将木箱弹回到最高点的过程中,根据能量守恒有 $E_{pm}=MgL\sin 30°+\mu Mg\cos 30°\cdot L=0.8MgL$,设运送的货物的质量为 m,货物和木箱向下运动过程中,根据能量守恒有 $(M+m)gL\sin 30°=E_{pm}+\mu(M+m)g\cos 30°\cdot L$,解得 $m=3M$,B、C 错误;当木箱和货物向下运动的速度达到最大时,设弹簧的压缩量为 x_1,根据力的平衡有 $kx_1+\mu(m+M)g\cos 30°=(m+M)g\sin 30°$,解得 $x_1=0.02L$,设弹簧的最大压缩量为 x_2,则 $E_{pm}=\frac{1}{2}kx_2^2$,解得 $x_2=0.2L$,设木箱与货物运动过程中的最大动能为 E_k,根据能量守恒有 $[(m+M)g\sin 30°-\mu(m+M)g\cos 30°](L-x_2+x_1)=\frac{1}{2}kx_1^2+E_k$,解得 $E_k=0.648MgL$,D 正确.

14. (1)$\frac{7}{5}mg$,方向竖直向上 (2)$0.8mgd$ (3)见解析

突破点▸圆周运动、功能关系的综合应用

【解析】(1)从 C 到 B 的过程中,机械能守恒,所以有 $mg\cdot 2d(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_B^2$,

根据牛顿第二定律 $F_N-mg=\frac{mv_B^2}{2d}$,

解得 $F_N=\frac{7}{5}mg$,方向竖直向上.

(2)由能量守恒有 $E_p=mgd\sin\theta-\mu mgd\cos\theta+mg\cdot 2d(1-\cos\theta)$,得 $E_p=0.8mgd$.

(3)缓冲装置解除锁定时,滑块从 C 点由静止释放至滑块向右速度为零,设弹簧最大的弹性势能为 E_{pm},则根据能量守恒有 $E_{pm}=\frac{1}{2}mv_B^2-f\cdot\frac{1}{5}d$,

①若杆未被推动,滑块刚接触弹簧时动能的最大值为 $E_k=E_{pm}$,则有 $mgH=E_k=E_{pm}$,

联立解得,滑块释放时距 B 点的最大高度 $H=\frac{1}{5}d$,

即当 $H\leqslant\frac{1}{5}d$ 时,$h=H$;

②若杆被推动,滑块被弹簧弹回时的动能为 $E_k=E_{pm}$,

则有 $mgh=E_{pm}$,得 $h=\frac{1}{5}d$,

即当 $\frac{1}{5}d<H\leqslant d$ 时,$h=\frac{1}{5}d$.

实验 4　验证机械能守恒定律

刷实验

1. (1)$\frac{h_3-h_1}{2T}$　$(m_B-m_A)gh_2$　(2)$\frac{(m_B-m_A)g}{m_A+m_B}$　(3)116

突破点▸验证机械能守恒定律的实验操作、数据处理

【解析】(1)根据匀变速直线运动过程中一段时间内的中间时刻速度等于该段时间内的平均速度可得 $v_2=\frac{h_3-h_1}{2T}$;在打 0 和 2 两点的过程中重物 A 的重力势能增加,B 的重力势能减少,则系统减小的重力势能为 $\Delta E_p=m_Bgh_2-m_Agh_2=(m_B-m_A)gh_2$.

(2)若 A、B 在运动过程中系统的机械能守恒,则减少的重力势能等于增加的动能,即 $(m_B-m_A)gh=\frac{1}{2}(m_B+m_A)v^2$,整理得 $\frac{v^2}{2}=\frac{(m_B-m_A)g}{m_B+m_A}\cdot h$,即当斜率为 $\frac{(m_B-m_A)g}{m_B+m_A}$ 时,则验证了 A、B 在运动过程中系统的机械能守恒.

(3)根据 A、B、C 组成的系统在运动过程中系统的机械能守恒,有 $(m_B+m_C-m_A)gh=\frac{1}{2}(m_B+m_C+m_A)v^2$,整理得 $\frac{v^2}{2}=\frac{(m_B+m_C-m_A)g}{m_B+m_C+m_A}\cdot h$,结合图线 b 可知,斜率为 $k=\frac{(m_B+m_C-m_A)g}{m_B+m_C+m_A}=\frac{3.60}{0.60}$ m/s^2,解得 $m_C\approx 116$ g.

2. (1)没有　(2)不可　(4)$\frac{d^2}{2t^2}=gL(1-\cos\theta)$　(5)5.4　(6)AD

突破点▸验证机械能守恒定律的实验步骤、数据处理和误差分析

【解析】(1)该实验的原理为 $mgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$,可知没有必要测量小球的质量.

(2)若 $\theta>90°$,由静止释放小球后,小球将做一段自由落体运动,细线绷紧后做圆周运动,而细线绷紧的过程,小球的机械能将损失一部分,所以 θ 不可大于 90°.

(4)小球到达最低点时的速度 $v=\frac{d}{t}$,结合实验原理有 $\frac{d^2}{2t^2}=$

$gL(1-\cos\theta)$.

(5)由实验原理可得$\frac{1}{t^2}=\frac{2gL}{d^2}-\frac{2gL}{d^2}\cos\theta$,由图乙可知,图线纵截距$b=\frac{2gL}{d^2}$,代入数据解得$b\approx5.4$.

(6)图乙中的虚线在纵轴上的截距减小了,据$b=\frac{2gL}{d^2}$可知,可能是L的测量值偏小,或者是小球直径d的测量值偏大,总之$\frac{L}{d^2}$偏小,导致截距理论值偏小A、D正确,B、C错误.

全章素养提升

刷情境

1. A 创新点▸机械能与曲线运动结合问题

【解析】设乒乓球离台面的最大高度为h,乒乓球从最高点到落点做平抛运动,设乒乓球在最高点的速度为v,从最高点到落点的时间为t,则$h=\frac{1}{2}gt^2$,乒乓球在台面上的两个落点间的距离为$L=2$ m,则$\frac{L}{2}=vt$,得$v=\frac{L}{2}\sqrt{\frac{g}{2h}}$,从击球点到乒乓球离台面最高点过程中机械能守恒,可得$\frac{1}{2}mv_0^2+mgh_0=\frac{1}{2}mv^2+mgh$,联立解得$h=0.25$ m,故选A.

2. C 创新点▸能量守恒定律的简单应用、溜溜球

【解析】绳绕在轴上的溜溜球一边下落一边旋转,绳不绕在轴上的溜溜球只下落,根据能量守恒定律,减少的重力势能转化为动能,两者下降高度一样,减少的重力势能相同,但是绳绕在轴上的溜溜球有旋转速度和下降速度(关键点),则根据能量守恒定律可知$mg\cdot0.5l=\frac{1}{2}mv_1^2+E_{k旋}$,$mg\cdot0.5l=\frac{1}{2}mv_2^2$,则$v_1<v_2$,故选C.

3. BD 创新点▸汽车发动机和变速传动系统、功率

【解析】汽车匀速行驶时,汽车受到空气阻力$f_1=\frac{P_3}{v}=\frac{5\times10^3}{20}$ N=250 N,汽车所受路面的阻力$f_2=\frac{P_4}{v}=\frac{5\times10^3}{20}$ N=250 N,汽车匀速行驶时,驱动力和阻力平衡,则有$F=f_1+f_2=500$ N,A错误,B正确;由图示可知,发动机的输出功率$P_{输出}=P_{输入}-P_{热损耗}=17$ kW,故汽车发动机的效率$\eta=\frac{P_{输出}}{P_{输入}}\times100\%=\frac{17}{69}\times100\%\approx25\%$,C错误,D正确.

4. B 创新点▸天体运动中机械能的变化

【解析】根据万有引力提供向心力,得$\frac{GMm}{(R+h_0)^2}=m\frac{v^2}{R+h_0}$,嫦娥六号在环月轨道绕月球做圆周运动的动能$E_k=\frac{1}{2}mv^2$,联立以上两式解得$E_k=\frac{GMm}{2(R+h_0)}$,嫦娥六号在距月球表面高度$h_0$的引力势能为$E_p=-\frac{GMm}{R+h_0}$,在月球表面的引力势能为$E_{p0}=-\frac{GMm}{R}$,根据功能关系,从开始发射到进入预定环月轨道需要对嫦娥六号做的功为$W=E_p+E_k-E_{p0}=\frac{GMm(2h_0+R)}{2R(R+h_0)}$,故选B.

5. A 创新点▸筒车、功率的计算

【解析】由题知,水筒在筒车上均匀排布,单位长度上有n个水筒,且每个水筒离开水面时装有质量为m的水,其中的75%被输送到高出水面H处灌入稻田,则水轮转一圈灌入农田的水的总质量为$m_总=2\pi Rnm\cdot75\%=1.5\pi Rnm$,则水轮转一圈灌入稻田的水克服重力做的功$W=1.5\pi RnmgH$,则筒车对灌入稻田的水做功的功率为$P=\frac{W}{T}$,其中$T=\frac{2\pi}{\omega}$,联立解得$P=\frac{3nmg\omega RH}{4}$,A正确,B错误;筒车消耗的功率大于$\frac{3nmg\omega RH}{4}$,C、D错误.

刷真题

刷小题

1. D 命题点▸功率、机车启动

【解析】设额定功率为P_1的动车受到的阻力大小为f_1,额定功率为P_2的动车受到的阻力大小为f_2,则有$P_1=f_1v_1$,$P_2=f_2v_2$(关键点:动车以最大速度运行时,动车的牵引力等于阻力),当将它们编成动车组后,每节动车运行时受到的阻力与编组前相等,有$P_1+P_2=(f_1+f_2)v_m$,解得该动车组在铁轨上能达到的最大速度为$v_m=\frac{(P_1+P_2)v_1v_2}{P_1v_2+P_2v_1}$,D正确.

2. B 命题点▸平抛运动规律、能量守恒定律、功率

【解析】由平抛运动规律得$l=v_0t$,$h=\frac{1}{2}gt^2$,联立解得$v_0=\frac{l}{2h}\sqrt{2gh}$,以单位时间流出的水为研究对象,则$m=\rho Sv_0$,根据能量守恒定律得$\eta P=mg(H+h)+\frac{1}{2}mv_0^2$,联立解得水泵的输出功率为$P=\frac{\rho gSl\sqrt{2gh}}{2\eta h}\left(H+h+\frac{l^2}{4h}\right)$,B正确.

3. A 命题点▸机车启动、动能定理

【解析】第一阶段,小车在恒定牵引力作用下拉动物体运动,对小车和物体组成的整体,由动能定理有$(F-f-\mu mg)S_1=\frac{1}{2}(m+M)v_0^2-0$,第二阶段,轻绳从物体上脱落,物体做匀减速直线运动,由动能定理有$-\mu mg(S_2-S_1)=0-\frac{1}{2}mv_0^2$,联立解得$v_0=\sqrt{\frac{2(F-f)(S_2-S_1)S_1}{(M+m)S_2-MS_1}}$,在第一阶段的末时刻,小车达到额定功率,可知小车的额定功率$P_0=Fv_0=\sqrt{\frac{2F^2(F-f)(S_2-S_1)S_1}{(M+m)S_2-MS_1}}$,A正确.

4. D 命题点▸动能定理

【解析】根据动能定理有$mgh-W_{f克}=\frac{1}{2}mv^2-0$,可得此过程中人与滑板克服摩擦力做的功为$W_{f克}=mgh-\frac{1}{2}mv^2$,D正确.

一题多解 根据功能关系可得此过程中人与滑板克服摩擦力做的功等于重力势能的减小量与动能的增加量之差,即可得此过程中人与滑板克服摩擦力做的功为$mgh-\frac{1}{2}mv^2$,D正确.

5. C 命题点▸动能的表达式

【解析】由$E_k=\frac{1}{2}mv^2$可知,若小车水平离开甲板时的动能变为调整前的4倍,速度将变为调整前的2倍,小车离开甲板后做平抛运动,运动的时间不变,由$x=v_0t$可知小车在海面上的落点与其离开甲板处的水平距离为调整前的2倍,C正确.

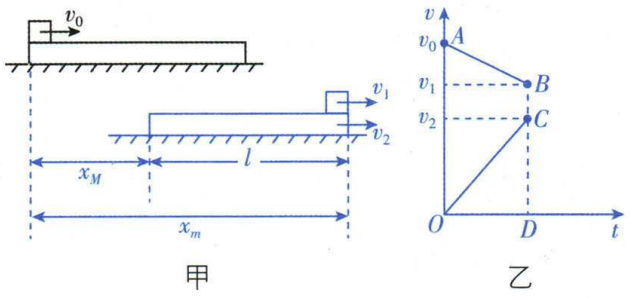
6. B 命题点▸功和能

【解析】小物块沿Ⅱ下滑做匀加速直线运动,所以甲对应Ⅱ,乙对应Ⅰ.根据题图(b)可知,相同时刻乙的速度大小均大于甲的速

度大小，甲沿Ⅱ下滑且同一时刻甲的动能比乙的小，A 错误，B 正确；重力功率 $P=mgv_{竖直}$，乙沿Ⅰ下滑，在 M 点时，速度为零，则此时重力功率为零，在 N 点时，速度沿水平方向，竖直方向速度为零，此时重力功率为零，所以乙的重力功率先增大后减小，C、D 错误.

7. BD 命题点▸动能定理在板块模型中的应用

【解析】作出木板及物块的运动草图，如图甲所示，根据木板和物块的运动情况可以作出其 $v-t$ 图像如图乙所示（关键点：物块脱离木板时，速度 v_1 大于 v_2）. 木板受到的摩擦力向右，摩擦力对木板做正功，设木板对地位移为 x_M，对木板，由动能定理得 $fx_M=\frac{1}{2}Mv_2^2$，$v-t$ 图像中图线与横轴围成图形的面积表示位移，可知 $x_M<l$（关键点：利用 $v-t$ 图像判断木板的位移和木板长度的关系，x_M 等于三角形 OCD 面积，l 等于梯形 $OABC$ 面积），则木板的末动能一定小于 fl，A 错误，B 正确；对整体运用能量守恒定律，有 $\frac{1}{2}mv_0^2-fl=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$，则物块的末动能 $\frac{1}{2}mv_1^2<\frac{1}{2}mv_0^2-fl$，C 错误，D 正确.

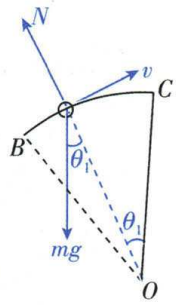


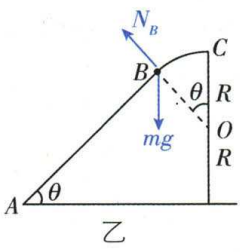
8. B 命题点▸平抛运动、机械能守恒

【解析】铅球做平抛运动，除重力外没有其他力做功，则机械能守恒，A 错误；铅球只受重力，则加速度为重力加速度 g，保持不变，B 正确；铅球做平抛运动过程中重力一直做正功，被推出后动能一直增加，速度大小一直变大，C、D 错误.

9. AD 命题点▸匀减速直线运动、竖直面内的圆周运动

【解析】小球从 B 到 C 的受力分析如图甲所示，沿半径方向，由牛顿第二定律有 $mg\cos\theta_1-N=\frac{mv^2}{R}$，解得 $N=mg\cos\theta_1-\frac{mv^2}{R}$，由 B 到 C 的过程中，θ_1 逐渐减小，v 逐渐减小，故 N 逐渐增大，由牛顿第三定律可知，小球从 B 到 C 的过程中，对轨道的压力逐渐增大，A 正确；由 A 到 C 的过程中，小球的竖直分速度逐渐减小，故重力的功率逐渐减小，B 错误；小球从 A 到 C 的过程中机械能守恒（点拨：小球沿轨道恰好运动到达 C 点，说明小球运动到 C 点的速度为零），有 $\frac{1}{2}mv_0^2=mg\cdot 2R$，解得 $v_0=2\sqrt{gR}$，C 错误；若小球初速度 v_0 增大，则小球一定可以到达 B 点（关键点：小球只在圆弧段的 B 点有可能因速度过大而脱离轨道），在 B 点时对小球进行受力分析如图乙所示，沿半径方向，有 $N_B=mg\cos\theta-\frac{mv_B^2}{R}$，当 $v_B>\sqrt{gR\cos\theta}$ 时，$N_B<0$，则小球会从 B 点脱离轨道，D 正确.





10. B 命题点▸功和能

【解析】无风时，雨滴受空气阻力和重力的作用在地面附近会以恒定的速率竖直下落，速度不变，初、末状态动能不变，由动能定理可得 $mgh-W_f=0$，可得克服空气阻力做的功 $W_f=mgh$，B 正确.

11. BCD 命题点▸功能关系、圆周运动

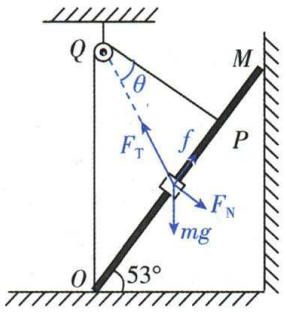
【解析】货物从 P 点运动到 Q 点过程中重力做功 $W_G=mgh=20\times10\times4\ \text{J}=800\ \text{J}$，A 错误；货物从 P 点运动到 Q 点过程中由动能定理有 $mgh-W_f=\frac{1}{2}mv^2-0$，解得 $W_f=440\ \text{J}$，则货物克服阻力做的功为 440 J，B 正确；货物在圆弧滑道上做圆周运动，经过 Q 点时的向心加速度 $a=\frac{v^2}{h}=9\ \text{m/s}^2$，C 正确；货物经过 Q 点时，根据牛顿第二定律有 $F_N-mg=\frac{mv^2}{h}$，解得 $F_N=380\ \text{N}$，根据牛顿第三定律可知货物对轨道的压力大小为 380 N，D 正确.

12. B 命题点▸功能关系

【解析】甲所坐木板刚要离开原位置时所受摩擦力为最大静摩擦力，设弹性绳的伸长量为 x，则 $kx=\mu mg$. 由于乙所坐的木板缓慢运动，可认为处于静止状态，动能为零. 开始时弹性绳无弹力，由功能关系得，$W=\frac{1}{2}kx^2+\mu mg(l-d+x)$，解得 $W=\frac{3(\mu mg)^2}{2k}+\mu mg(l-d)$，B 正确.

13. AC 命题点▸共点力平衡、胡克定律、能量守恒定律

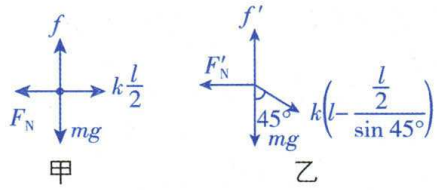
【解析】滑块下滑后弹性轻绳与 PQ 间夹角为 θ 时，对滑块进行受力分析，如图所示，则 $F_N=F_T\cos\theta-mg\cos53°$，$F_T=k\frac{PQ}{\cos\theta}$，即 $F_N=k\cdot PQ-mg\cos53°=10\ \text{N}$，$f=\mu F_N=1.6\ \text{N}$，A 正确；由于滑块下滑过程和上滑过程中摩擦力方向不同，摩擦力的冲量方向不同，B 错误；设滑块从释放到静止的位移大小为 x，此时摩擦力方向向上，且受力平衡，有 $F_{T1}\sin\theta_1=mg\sin53°-f$，$F_{T1}=k\frac{PQ}{\cos\theta_1}$，即 $\tan\theta_1=0.4$，则下滑了 $x=PQ\cdot\tan\theta_1=0.64\ \text{m}$，根据能量守恒定律有 $W_f=mgx\sin53°-\frac{1}{2}k(x^2+PQ^2-PQ^2)=3.072\ \text{J}$，C 正确，D 错误.



14. AD 命题点▸动力学综合问题、弹簧、摩擦力

【解析】关注点一：小球置于杆上 P 点时恰好静止. 对小球受力分析如图甲所示，有 $f=mg$，$F_N=k\frac{l}{2}$，$f=\mu F_N$，解得 $k=\frac{4mg}{l}$，A 正确.

关注点二：小球在 P 点下方 $\frac{l}{2}$ 处的合力. 对小球进行受力分析如图乙所示，则有 $F_N'=k\left(l-\frac{\frac{l}{2}}{\sin45°}\right)\sin45°$，$mg+k\left(l-\frac{\frac{l}{2}}{\sin45°}\right)\cdot\cos45°-\mu F_N'=ma$，解得 $a=\sqrt{2}g$，B 错误.



关注点三：在 M 点到 N 点的运动过程中，小球受到摩擦力. 小球与竖直杆间的正压力等于弹簧弹力的水平分量，设弹簧弹力与竖直方向的夹角为 θ，则正压力 $F_N''=k\left(l-\frac{\frac{l}{2}}{\sin\theta}\right)\sin\theta=k\left(l\sin\theta-\frac{l}{2}\right)$，由于 θ 先增大，后减小，则从 M 点到 N 点的过程

中正压力先变大再变小，则滑动摩擦力也先变大再变小，C 错误.

关注点四：M 点到 P 点和 P 点到 N 点，小球受到摩擦力. 小球在关于 P 点对称的位置受到的滑动摩擦力相等，根据微元法可知从 M 点到 P 点和从 P 点到 N 点的运动过程中，小球受到的滑动摩擦力做功相同，D 正确.

刷大题

15. (1)450 N　(2)9.0×10^3 J　(3)600 W

命题点 ▸共点力平衡、功、平均功率

【解析】(1)由于木板做匀速直线运动，由平衡条件得

$2F\cos\theta=f$　(3分)

解得 $f=450$ N　(2分)

(2)根据功的定义式得 $W=2Fl\cos\theta$　(2分)

解得 $W=9.0\times10^3$ J　(1分)

(3)由功率 $P=\dfrac{W}{t}$　(2分)

解得 $P=600$ W　(1分)

16. (1)1.5 J　(2)0.5 N　(3)$r\leqslant0.2$ m

命题点 ▸动能定理、牛顿第二定律、圆周运动

【解析】(1)0~1 m 内，$F=1.5$ N，

F 做功为 $W=Fx_1$　(1分)

代入数据得 $W=1.5$ J　(1分)

(2)$x=1$ m 时，$F=1.5$ N，

对 A、B 整体受力分析，由牛顿第二定律得 $F-\mu mg=2ma$　(1分)

设 A、B 之间的弹力为 N，

对 B，由牛顿第二定律得 $N=ma$　(1分)

联立解得 $N=0.5$ N　(1分)

(3)设 A、B 分开时推力为 F_1，此时 A 所受合外力为 0，有

$F_1-\mu mg=0$，

解得 $F_1=0.5$ N　(1分)

由题图乙可得此时位移大小 $x_2=3$ m　(1分)

设 A、B 分开时速度大小为 v_1，由动能定理得

$W_F-\mu mgx_2=\dfrac{1}{2}\times2mv_1^2$　(1分)

$F-x$ 图线与横轴所围面积表示 F 做的功，由题图乙可得

$W_F=1.5\times1\text{ J}+\dfrac{1}{2}\times(1.5+0.5)\times2\text{ J}=3.5\text{ J}$，

解得 $v_1=\sqrt{10}$ m/s　(1分)

设圆弧半径为 r，若 B 能到达 M 点，设 B 到达 M 点时速度大小为 v_2，则满足 $mg\leqslant m\dfrac{v_2^2}{r}$　(1分)

对 B 由动能定理得 $-2mgr=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$　(1分)

联立解得 $r\leqslant0.2$ m　(1分)

17. (1)$4\sqrt{5}$ m/s　17 N　(2)4 m　(3)$2\sqrt{15}$ m/s

命题点 ▸半径突变的竖直面内圆周运动、平抛运动、动能定理

【解析】(1)小球从最低点开始做圆周运动到绕过 N、M 两点到达 M 点正下方过程，绳子拉力不做功，设小球到达 M 点正下方时速度大小为 v，小球所受拉力大小为 T，由于绳子刚好被拉断，结合牛顿第三定律可知，绳子所受最大拉力大小也为 T，由动能定理得 $-mg\cdot2L=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$　(2分)

解得 $v=4\sqrt{5}$ m/s　(1分)

对小球有 $T-mg=m\dfrac{v^2}{L}$　(2分)

解得 $T=17$ N　(1分)

(2)设小球平抛运动水平位移大小为 x，下落高度 $h=2L$，由平抛运动规律有

$x=vt$　(1分)

$h=\dfrac{1}{2}gt^2$　(1分)

解得 $x=4$ m　(1分)

(3)设小球恰好到达 N 点正上方时的速度大小为 v_1，对应小球初速度 v_0' 最小，

此时有 $mg=m\dfrac{v_1^2}{2L}$　(2分)

小球从最低点到 N 点正上方过程，由动能定理得

$-mg\cdot5L=\dfrac{1}{2}mv_1^2-\dfrac{1}{2}mv_0'^2$　(2分)

解得 $v_0'=2\sqrt{15}$ m/s　(1分)

第7章　动量守恒定律

第1节　动量定理

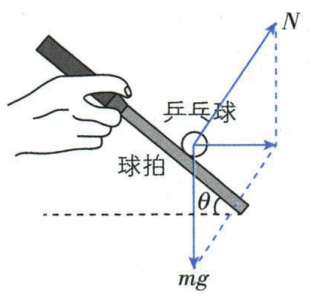
刷基础

1. A　**考查点** ▸动量、冲量、动量定理

【解析】以竖直向下为正方向，碰撞前后，足球的动量变化量为 $\Delta p=m(-v)-mv=-2.7$ kg·m/s，则碰撞前后，足球的动量变化量的大小为 2.7 kg·m/s，故 A 正确；碰撞前，足球的动量大小为 $p=mv=1.35$ kg·m/s，故 B 错误；以竖直向下为正方向，碰撞过程中，根据动量定理可得 $Ft+mgt=\Delta p$，解得 $F=-18$ N，则大腿对足球的平均作用力大小为 18 N，根据牛顿第三定律可知，足球对大腿的平均作用力大小为 $F_{球}=18$ N，则足球对大腿的冲量大小为 $I_{球}=F_{球}t=3.6$ N·s，故 C、D 错误.

2. BC　**考查点** ▸动量、冲量、动能定理

【解析】乒乓球受到重力 mg 和支持力 N 做匀加速直线运动，受力分析如图所示，由牛顿第二定律有 $mg\tan\theta=ma$，解得加速度大小 $a=g\tan\theta$，故 A 错误；合外力冲量大小 $I=F_{合}t=mgt\tan\theta$，故 B 正确；球拍对乒乓球的弹力为 $N=\dfrac{mg}{\cos\theta}$，则球拍对乒乓球的弹力做的功 $W=Nx\sin\theta=mgx\tan\theta$，故 C 正确；根据动能定理，乒乓球所受合外力做的功等于该过程中乒乓球动能改变量，即 $W_{合}=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}m(v^2-v_0^2)\neq\dfrac{1}{2}m(\Delta v)^2$，故 D 错误.



3. A　**考查点** ▸用动量定理解决流体问题

【解析】对无人机受力分析可知 $mg=F$，在极短时间 t 内，对空气

列动量定理 $Ft=\Delta mv=\rho Svt\cdot v$，联立解得 $v=\sqrt{\frac{mg}{S\rho}}$，故选 A.

4. C 考查点▸用动量定理解决流体类问题

【解析】设当电吹风设置在某挡位垂直向托盘吹风时，功率恒定为 P，出风口的风速大小为 v，对于 Δt 时间内吹出的风有 $P\Delta t=\frac{1}{2}\Delta mv^2$，与托盘作用过程，根据动量定理有 $F\Delta t=\Delta mv$，解得 $F=\frac{2P}{v}$，风力大小与电吹风出风口面积无关，即电子秤示数大小与出风口面积无关，A 错误；单位时间内出风口吹出气体的质量 $\Delta m'=\rho Sv=\rho\pi r^2v$，B 错误；根据题意可知，风与托盘间的相互作用力大小 $F=mg$，对 Δt 时间内吹出的风根据动量定理有 $F\Delta t=\Delta mv=\rho Sv^2\Delta t=\pi r^2\rho v^2\Delta t$，解得 $v=\sqrt{\frac{mg}{\pi\rho r^2}}$，C 正确；电吹风吹风的平均功率为 $P=\frac{\frac{1}{2}\Delta mv^2}{\Delta t}=\frac{mg}{2}\sqrt{\frac{mg}{\pi\rho r^2}}$，D 错误.

方法总结　应用动量定理处理流体类问题

研究对象	流体类：液体流、气体流等，通常已知密度 ρ	
	微粒类：电子流、光子流、尘埃等，通常给出单位体积内粒子数 n	
分析步骤	①构建“柱体”模型：沿流速 v 的方向选取一段小柱体，其横截面积为 S	
	②微元研究	小柱体的体积 $\Delta V=vS\Delta t$
		小柱体的质量 $m=\rho\Delta V=\rho vS\Delta t$ 小柱体的粒子数 $N=nvS\Delta t$
		小柱体的动量 $p=mv=\rho v^2S\Delta t$
	③建立方程，应用动量定理 $F\Delta t=\Delta p$ 进行研究	

5. B 考查点▸机械能守恒、动量、冲量

【解析】重力为恒力，根据 $I=Ft$ 可知，恒力在一段时间内的冲量一定不为零，A 错误；选手的速度先减小后增大，根据 $p=mv$ 可知，选手的动量先减小后增大，B 正确；选手从离地到着地前的整个过程，仅有重力做功，选手的机械能守恒，C 错误；选手竖直方向的速度 v_y 先减小后增大，由 $P=mgv_y$ 可知，选手重力的功率先减小后增大，D 错误.

易错警示　误认为重力的冲量为零而致错

选手从离地到着地前的整个过程，虽然重力做功为零，但是重力的冲量并不为零.

刷提分

1. D 突破点▸动量定理的应用、汽车性能测试

【解析】汽车在恒定牵引力作用下启动的过程中，根据牛顿第二定律有 $F-f_0-kv=ma$，解得 $a=\frac{F-f_0-kv}{m}$，可知汽车速率增大时加速度大小减小，即加速越慢，A 错误；当汽车所受合力为零时，汽车达到最大速度，由受力平衡有 $F-f_0-kv_m=0$，解得 $v_m=\frac{F-f_0}{k}$，B 错误；由上述分析可知，汽车在恒定牵引力作用下启动的过程中，汽车做加速度越来越小的加速运动，则整个过程汽车的平均速度大于 $\frac{F-f_0}{2k}$，C 错误；汽车从静止到达到最大速度的过程中，根据动量定理有 $Ft-\sum(f_0+kv)t=mv_m-0$，解得整个过程所用时间为 $t=\frac{kx}{F-f_0}+\frac{m}{k}$，D 正确.

技巧必背　若汽车运行过程中阻力大小和速度大小成正比，则有 $\sum f\cdot t=\sum kv\cdot t=k\sum vt=kx$，则在任意相同的位移中，阻力的冲量相同.

2. C 突破点▸机车启动问题、用动量定理解决流体类问题

【解析】当列车最大速度为 v 时，1 号车厢所受的空气阻力大小为 f，对单位时间的空气分析，根据动量定理可得 $f\Delta t=\rho Sv\Delta tv$（突破点：根据动量定理列出方程），解得 $f=\rho Sv^2$，根据牛顿第二定律分析可知，当速度最大时，加速度为 0，即 $F_{牵}=f$，则有额定功率 $P=F_{牵}v=\rho Sv^3$，A 错误；在速度为 $\frac{1}{2}v$ 时，空气阻力大小和牵引力大小分别为 $f'=\frac{1}{4}\rho Sv^2$，$F'_{牵}=2\rho Sv^2$，对列车分析，根据牛顿第二定律可得 $F'_{牵}-f'=4ma$，求得此时列车的加速度 $a=\frac{7\rho Sv^2}{16m}$，对 2、3、4 节车厢分析，1 号车厢对 2 号车厢的拉力 $T=3ma$，可得 $T=\frac{21}{16}\rho Sv^2$，B 错误，C 正确；列车从静止启动到达到最大速度，根据动能定理可得 $Pt-W_f=\frac{1}{2}\times4mv^2$，克服空气阻力所做的功为 $W_f=\rho Sv^3t-2mv^2$，D 错误.

3. (1) $\frac{\Delta mu}{\Delta t}$　不变　(2) $\frac{\Delta mu}{(M-m)\Delta t}-g$　(3) $k=\frac{1}{u}$，$b=\frac{M\Delta t}{u\Delta m}$

考查点▸用动量定理解决流体问题

【解析】(1) 在火箭速度大小为 v 的瞬间，以极短时间 Δt 内喷射出的燃气为研究对象，设燃气受到火箭对其作用力的大小为 F'，规定竖直向下为正方向，根据动量定理有 $F'\Delta t=\Delta m(u-v)-\Delta m(-v)$，

解得 $F'=\frac{\Delta mu}{\Delta t}$，

根据牛顿第三定律，此时火箭受到燃气推力的大小 $F=F'=\frac{\Delta mu}{\Delta t}$，可知推力 F 的大小不变，火箭受到燃气推力的方向始终竖直向上，则火箭在竖直上升阶段受到燃气的推力不变.

(2) 质量为 m 的燃料燃尽时，火箭的加速度最大，根据牛顿第二定律解得 $a_m=\frac{F-(M-m)g}{M-m}=\frac{\Delta mu}{(M-m)\Delta t}-g$.

(3) 在 t 时刻，火箭及火箭内剩余燃料的质量 $m'=M-\frac{\Delta m}{\Delta t}t$，

根据牛顿第二定律有 $F-m'g=m'a$，

解得 $\frac{1}{a+g}=\frac{M\Delta t}{u\Delta m}-\frac{1}{u}\cdot t$，

则 $k=\frac{1}{u}$，$b=\frac{M\Delta t}{u\Delta m}$.

第 2 节　动量守恒定律

刷基础

1. C 考查点▸动量守恒、机械能守恒

【解析】弹簧恢复原长时甲与弹簧分离，此时甲向左运动，说明在该过程中甲的速度先向右逐渐减小，然后向左逐渐增大，故甲的动能先减小后增大，动量先减小后增大，A、B 错误；该过程中弹簧的弹性势能一直减小，减小的弹性势能转化为甲、乙系统的动能，即甲、乙系统的动能一直增大，C 正确；甲、乙系统所受合外力

为零，动量守恒，D 错误.

2. D 考查点▸板块模型、动量守恒定律

【解析】木板接触弹簧前，物块与木板组成的系统所受合外力为零，所以系统动量守恒，A 错误；木板接触弹簧前，物块与木板组成的系统动量守恒，设向右为正方向，有 $m_2v_0=(m_1+m_2)v_{共}$，则木板刚接触弹簧时的速度大小为 $v_{共}=2\ \text{m/s}$，B 错误；木板接触弹簧前，对木板根据动能定理，设向右为正方向，有 $\mu m_2 g\cdot x=\frac{1}{2}m_1v_{共}^2-0$，所以木板运动前右端距弹簧左端的距离为 $x=0.5\ \text{m}$，C 错误；木板与弹簧接触以后，物块与木板之间即将发生相对滑动时，根据牛顿第二定律，对物块与木板整体有 $k\Delta x=(m_1+m_2)a$，对物块有 $\mu m_2 g=m_2 a$（关键点：两者发生相对滑动的临界条件是板块间的摩擦力等于最大静摩擦力），两式联立，解得此时弹簧的压缩量为 $\Delta x=0.2\ \text{m}$，D 正确.

3. C 考查点▸水平方向上的动量守恒

【解析】小球在第一次经过最低点前的过程中，小车保持静止，之后小车开始运动，A 错误；小车离开墙壁后，小球和小车组成的系统在水平方向不受外力，系统在水平方向动量守恒（关键点：系统在某一方向上不受外力，则在该方向上动量守恒），但在竖直方向所受外力不为零，所以小球与小车组成的系统动量不守恒，小球在水平方向上做变速运动，则小车离开墙壁后不做匀速运动，B、D 错误；小球从释放至第一次摆到最低点的过程中，只有重力做功，机械能守恒，C 正确.

4. CD 考查点▸水平方向上的动量守恒、机械能守恒定律

【解析】由题意可知，小球恰好能到达管道的最高点，此时二者速度相同，之后小球沿右侧管道滑下，从管道的右端滑离，全过程中小车先向右做加速运动，后向右做减速运动，不可能回到原来位置，A 错误；设向右为正方向由动量守恒可得 $mv=mv_1+mv_2$，其中 v_1 是小球速度，v_2 是小车速度，由机械能守恒定律可得 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$，解得 $v_1=0$，$v_2=v$，则小球滑离小车时的速度大小是 0，B 错误；小球恰好到达管道的最高点时，小球和小车的速度相同设为 v'，由动量守恒定律可得 $mv=2mv'$，解得 $v'=\frac{v}{2}$，根据机械能守恒定律可得 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times 2mv'^2+mgh$，解得 $h=\frac{v^2}{4g}$，C 正确；小球滑到管道的最高点时，小车的速度为 $v'=\frac{v}{2}$，根据动量定理可得，小车所受合外力冲量为 $I=mv'-0=\frac{mv}{2}$，D 正确.

5. B 考查点▸相对速度、动量守恒定律

【解析】设整体质量为 m，每发子弹的质量为 m_0，子弹射出的反方向为正方向，子弹相对步枪的速度为 u，士兵第一次射出子弹后艇的速度为 v_1，由动量守恒定律可得 $0=(m-m_0)v_1+m_0(v_1-u)$，解得 $v_1=\frac{m_0}{m}u$，设第二次射出子弹后艇的速度为 v_2，由动量守恒定律可得 $(m-m_0)v_1=(m-2m_0)v_2+m_0(v_2-u)$，解得 $v_2-v_1=\frac{m_0}{m-m_0}u$，设第三次射出子弹后艇的速度为 v_3，同理可得 $(m-2m_0)v_2=(m-3m_0)v_3+m_0(v_3-u)$，解得 $v_3-v_2=\frac{m_0}{m-2m_0}u$，对整体过程中的艇应用动量定理，可得 $F\Delta t=(m-3m_0)\cdot v_3-0$，解得 $F\approx 18\ \text{N}$，故选 B.

易错警示 解答本题时需要注意题中给出的子弹的速度是相对于步枪的速度，使用动量守恒定律计算时需要将其转换为相对于地面的速度.

刷提分

1. AC 突破点▸动量守恒、机械能守恒定律

【解析】小球在 U 形管中的圆弧部分中运动时，小球对 U 形管的作用力一直对 U 形管做正功，则 U 形管的速度一直在增大，A 正确；小球运动到 U 形管圆弧部分的最左端的过程中，沿水平方向，小球在轨道最左端与 U 形管共速，由动量守恒有 $mv_0=2mv_x$（关键点：小球和 U 形管组成的系统在沿着导槽的方向上不受外力，因此只在该方向上动量守恒），设此时小球的速度为 v，由机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_x^2+\frac{1}{2}mv^2$，解得 $v=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$，B 错误；小球从 U 形管的另一端射出时，小球与 U 形管组成的系统机械能守恒，沿着导槽方向，系统动量守恒，类比弹性碰撞，交换速度，小球从 U 形管的另一端射出时，速度大小为 $v'=0$，C 正确；小球在最左端时垂直导槽方向的速度最大，速度大小为 $v_y=\sqrt{v^2-v_x^2}=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$（关键点），则小球在 U 形管中的圆弧部分中的运动时间一定超过 $t=\frac{2R}{v_y}=2\sqrt{2}\frac{R}{v_0}$，D 错误.

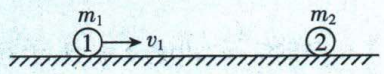
关键点拨 小球和 U 形管组成的系统在沿着导槽的方向上动量守恒，根据数学知识可知，两者共速时水平方向上动能之和最小，小球垂直导槽方向上动能最大.

2. BC 突破点▸弹性碰撞、多次碰撞问题

【解析】根据碰撞规律可知物块 b 与槽壁碰后速度大小不变、方向改变，与 a 碰后交换速度，则根据物块 b 的 v-t 图像可知，前 17 s 内 a 与 b 共碰撞 4 次，发生在 4～6 s 之间、8 s 时刻、10～12 s 之间以及 16 s 时刻，前 17 s 内 b 与槽的侧壁碰撞 3 次，分别在 2 s、10 s 和 12 s 时刻，A 错误，C 正确；b 与 a 碰前速度大小为 $v_2=2\ \text{m/s}$、方向向左，碰后 b 的速度大小为 $v_2'=1\ \text{m/s}$、方向向右，因两物块质量相同且碰撞为弹性碰撞，则碰后两物块交换速度（关键点），可知碰前 a 的速度大小为 $v_1=v_2'=1\ \text{m/s}$，即初始时 a 的速度大小为 1 m/s，B 正确；槽内底部长为 $L=2v_2\Delta t=2\times 2\times 2\ \text{m}=8\ \text{m}$，D 错误.

关键点拨 因为所有碰撞均为弹性碰撞，则图中速度大小不变、方向改变的时刻为 b 与槽的侧壁碰撞的时刻，速度大小改变的时刻为 b 与 a 碰撞的时刻.

技巧必背 弹性碰撞（动碰静）



在光滑水平面上质量为 m_1 的小球 1 以速度 v_1 与质量为 m_2 的静止的小球 2 发生弹性碰撞，

根据动量守恒定律有 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$；

根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2$；

联立解得 $v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$、$v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$.

（1）若 $m_1=m_2$，可知 $v_1'=0$、$v_2'=v_1$，则碰后两小球交换速度.

（2）若 $m_1>m_2$，可知 $v_1'>0$、$v_2'>0$，两小球运动方向与小球 1 初始速度方向一致；若 $m_1\gg m_2$，则 $v_1'=v_1$、$v_2'=2v_1$，小球 1 速度不变，小球 2 获得的速度大小是小球 1 的速度大小的两倍.

（3）若 $m_1<m_2$，可知 $v_1'<0$，即碰后小球 1 被弹回；若 $m_1\ll m_2$，则 $v_1'=-v_1$、$v_2'=0$，小球 1 原速率弹回，小球 2 速度不变.

3. AB 突破点▸完全非弹性碰撞、简谐运动、机械能守恒定律

【解析】以 A 球为研究对象，由平衡条件可得 $mg=kx_0$，解得弹簧的劲度系数 $k=\frac{mg}{x_0}$，A 正确；设 B 与 A 碰撞前瞬间速度大小为 v_0，根据运动学公式可得 $v_0^2=2g\cdot 3x_0$，B 与 A 碰撞过程满足动量守恒，则有 $mv_0=2mv$，联立解得 B 与 A 碰撞后瞬间速度大小为 $v=\frac{\sqrt{6gx_0}}{2}$，B 正确；小球 A、B 回到 O 点时，弹簧弹力为零，两球都受到重力作用，加速度不为零，C 错误；碰撞后两球做简谐运动，两球恰能回到 O 点，此时两球的加速度为 g，方向向下，根据简谐运动对称性可知两球处于最低点时的加速度大小为 g，方向向上（关键点），设最低点的压缩量为 x_1，则有 $kx_1-2mg=2mg$，解得 $x_1=4x_0$，弹簧在最低点有最大弹性势能 E_{pm}，从 O 点运动到最低点的过程中，根据系统机械能守恒可得 $E_{pm}=2mgx_1=8mgx_0$，D 错误.

4. AB 突破点▸单一方向的动量守恒

【解析】B、C 分离时，B、C 间的弹力为 0，且 B、C 加速度相等，故 C 的加速度为 0，则 B 的加速度也为 0，杆上的弹力大小为 0，则 A 的加速度为 g，方向竖直向下（易错点：分析物体的受力情况和加速度时，要根据物体的实际受力情况和运动状态分析），A 正确；A、B、C 三个小球组成的系统在水平方向上所受合外力为 0，水平方向动量守恒，但竖直方向动量不守恒，D 错误；A 球落地前瞬间，A、B 在水平方向速度相等，对 A、B、C 三个小球组成的系统在水平方向有 $0=mv-(2m+3m)v_x$，又 B 球只有水平方向的速度，由机械能守恒有 $3mgl=\frac{1}{2}\cdot 3mv_A^2+\frac{1}{2}\cdot 2mv_x^2+\frac{1}{2}mv^2$，联立解得 $v_A=\sqrt{2gl-\frac{9}{25}v^2}$，B 正确；$B$、$C$ 分离前，杆中弹力沿杆向外，此时杆对 B 做正功，对 A 做负功，B、C 分离后，杆中弹力沿杆向内，对 A 做正功，C 错误.

关键点拨 A、B、C 三个小球组成的系统在水平方向上动量守恒，分离前 B、C 两球速度相同，B 球速度方向向右；A 球落地之后，A、B 两球速度相同，C 球速度向右，则根据水平方向上动量守恒，A、B 两球速度向左；则 B、C 两球分离之后一段时间内杆对 B 球做负功，对 A 球做正功.

5. D 突破点▸子弹打木块模型

【解析】设子弹的初速度为 v_0，水平向右为正方向，第一次子弹穿过 A、B 时三者的共同速度为 v，对系统由动量守恒有 $mv_0=(m+2m)v$，此过程中 A 和 B 的位移大小为 $x=\frac{v}{2}t$，子弹的位移大小为 $x+2d=\frac{v_0+v}{2}t$，解得 $x=\frac{2}{3}d$，A 错误；第一次子弹相对 A、B 做匀减速直线运动，恰击穿时相对 A、B 的末速度为 0，根据逆向思维，可以看成子弹相对 A、B 做初速度为 0 的反向匀加速直线运动，穿过 B、A 的相对位移相等，根据连续相邻相等位移的时间间隔比例规律可知，穿过 B、A 的时间之比为 $1:(\sqrt{2}-1)$（关键点：转换参考系，用相对位移计算），所以穿过 A、B 所用时间之比为 $(\sqrt{2}-1):1$，B 错误；设子弹受到的阻力大小为 f，对系统由动量守恒有 $mv_0=(m+2m)v$，由能量守恒有 $f\cdot 2d=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+2m)v^2$，解得 $fd=\frac{1}{6}mv_0^2$，设第二次子弹穿过 A 时，子弹速度大小为 v_1，A 的速度大小为 u，且 $v_1>u$，假设不能穿透 B，最后与 B 的共同速度大小为 v_2，进入 B 的深度为 d'，对子弹和 A 由动量守恒有 $mv_0=mv_1+mu$，由能量守恒有 $fd=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mu^2$，解得 $v_1=\frac{3+\sqrt{3}}{6}v_0\left(v_1=\frac{3-\sqrt{3}}{6}v_0\text{ 舍去}\right)$，对子弹和 B，由动量守恒有 $mv_1=(m+m)v_2$，由能量守恒有 $fd'=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}(m+m)v_2^2$，解得 $d'=\frac{2+\sqrt{3}}{4}d<d$，假设成立，C 错误；第一次系统损失的机械能 $\Delta E_1=f\cdot 2d$，第二次系统损失的机械能 $\Delta E_2=f\cdot\left(d+\frac{2+\sqrt{3}}{4}d\right)$，则第一次、第二次系统损失的机械能之比为 $\Delta E_1:\Delta E_2=8:(6+\sqrt{3})$，D 正确.

第 3 节　碰撞

刷提分

1. C 考查点▸完全非弹性碰撞

【解析】A 加速过程中，一开始弹簧压缩量逐渐增大，之后弹簧压缩量又逐渐减小，所以 A 受到的弹簧弹力先增大后减小，则 A 的加速度先增大后减小，A 错误；A、B、C 共速时，弹簧的压缩量达到最大，弹簧弹性势能最大，此时 B、C 受到的弹力不为 0，B、C 的加速度不为 0，则 B 的加速度不为 0，所受合力不为 0，B 错误，C 正确；B、C 碰后粘在一起，属于完全非弹性碰撞，所以 B、C 碰撞过程中，B、C 系统机械能不守恒，D 错误.

2. AD 突破点▸非弹性碰撞、冲量、冰壶运动

【解析】由图可知，碰后白、黑两壶的位移之比为 $\frac{x_1}{x_2}=\frac{2}{18}=\frac{1}{9}$，根据 $v^2=2ax$ 可知，两壶碰后的速度大小之比为 $\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{x_1}{x_2}}=\frac{1}{3}$，两壶发生碰撞，根据动量守恒有 $mv=mv_1+mv_2$，解得 $v_1=\frac{v}{4}$，$v_2=\frac{3v}{4}$，则碰前白壶的动能为 $E_{k1}=\frac{1}{2}mv^2$，碰后两壶的动能之和为 $E_{k2}=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{5mv^2}{16}<E_{k1}$，所以两壶发生的是非弹性碰撞，A 正确；碰撞过程中，白壶对黑壶的冲量与黑壶对白壶的冲量大小相等，方向相反，B 错误；从碰撞后到两壶停止的过程中，地面受到冰壶向右的摩擦力，以及冰壶对地面向下的压力，所以地面受到冰壶的冲量的方向向右下方，C 错误；两壶因碰撞而损失的机械能为 $\Delta E_k=E_{k1}-E_{k2}=\frac{3mv^2}{16}$，D 正确.

3. C 突破点▸光滑圆轨道中的碰撞问题、加速器

【解析】小球 1 从 N 处以初速度 v_0 沿轨道逆时针运动到 P 的过程中加速度大小不变，但方向时刻在改变，故加速度是变化的，A 错误；经过 P 点后的瞬间，小球 1 的速度大小变为 $2v_0$，故此时向心力的大小为 $F_n=m\frac{(2v_0)^2}{R}=\frac{4mv_0^2}{R}$，B 错误；由题意可知，第一次碰撞后两球速度大小相等，方向相反，以碰前小球 1 的速度方向为正，根据动量守恒可得 $m\cdot 2v_0=(m_2-m)v$，由能量守恒可得 $\frac{1}{2}m\cdot(2v_0)^2=\frac{1}{2}(m+m_2)v^2$，联立解得小球 2 的质量为 $m_2=3m$，C 正确；第一次碰撞后，小球 1 和小球 2 的速度大小相等，由 C 选项可知为 $v=v_0$，设从第一次碰撞到第二次碰撞所用时间为 Δt，由题意可知从第一次碰撞到小球 1 回到 P 点所用时间为 $t_1=\frac{\pi R}{2v_0}$，设小球 1 离开 P 点到第二次碰撞所用时间为 t_2，则有 $v_0t_2+2v_0t_2=\pi R$，所以 $\Delta t=t_1+t_2=\frac{5\pi R}{6v_0}$，D 错误.

4. B 突破点▸轻绳连接体、弹性碰撞、水平方向上的动量守恒

【解析】两个小球在竖直方向均做自由落体运动，所以竖直方向运动情况相同，整个运动过程中，两球始终处于同一高度，A 正确；弹性轻绳伸长过程中，水平方向上 a、b 两球组成的系统不受外力作用，水平方向动量守恒，竖直方向受重力作用，竖直方向系统动量不守恒（易错点：a、b 两球组成的系统只在水平方向上动量守恒），B 错误；两球从开始运动到第一次相碰，经过的时间 $t=\frac{L}{v_0}$，a 球下落的高度 $h=\frac{1}{2}gt^2$，联立可得 $h=\frac{gL^2}{2v_0^2}$，C 正确；当两球水平方向速度相等时，弹性绳最长，弹性势能最大，根据两球组成的系统水平方向上动量守恒有 $mv_0=2mv_1$，根据能量守恒有 $\frac{1}{2}mv_0^2+2mgh'=\frac{1}{2}\cdot 2m(v_1^2+v_{y1}^2)+E_p$，又有 $v_{y1}^2-0=2gh'$，解得 $E_p=\frac{1}{4}mv_0^2$，D 正确.

5. ACD 突破点▸板块模型、完全非弹性碰撞、多过程问题

【解析】设平板的质量为 m，物体的质量为 $2m$，P_1、P_2 碰撞瞬间，P_1、P_2 组成的系统在水平方向上外力可忽略，则系统在水平方向上动量守恒，设 P_1、P_2 碰撞后，二者的共同速度为 v_1，则有 $mv_0=2mv_1$，解得 $v_1=2\ \text{m/s}$，设物体 P 停在 A 点时三者具有的共同速度为 v_2，弹簧的最大压缩量为 x，P_1、P_2 和 P 组成的系统动量守恒，则有 $2mv_1+2mv_0=(2m+2m)v_2$，解得 $v_2=3\ \text{m/s}$，根据能量守恒定律有 $\frac{1}{2}\times 2mv_1^2+\frac{1}{2}\times 2mv_0^2=\mu\cdot 2mg\left(\frac{1}{2}L+2x\right)+\frac{1}{2}(2m+2m)v_2^2$，解得 $x=0.1\ \text{m}$，A 正确；若 P 与 P_1、P_2 之间接触面光滑，P 与 P_1、P_2 整体作用过程动量守恒、机械能守恒，可视为弹性碰撞，因为 P 的质量与 P_1、P_2 整体的质量相等，故当弹簧恢复原长时，P 与 P_1、P_2 整体交换速度，即此时 P 的速度大小为 2 m/s，B 错误；若将弹簧换成另一劲度系数较小的弹簧，则系统内三物体第一次共速时，弹簧的最大压缩量 $x'>x=0.1\ \text{m}$，系统内三物体第二次共速时，三物体损失的总动能 $E_{损}$ 与未换弹簧时相同，所以物体 P 无法返回 A 点，而是在 A 点右侧与 P_2 相对静止，此时弹簧处于压缩状态，故物体 P 受到向左的弹力和向右的摩擦力而处于平衡状态，C 正确；由上述分析可知，系统稳定时，三物体最终损失的总动能 $E_{损}$ 与弹簧的劲度系数无关（关键点），未换弹簧前，三物体最终损失的总动能 $E_{损}$ 全部转化为因摩擦增加的内能，但将弹簧换成另一劲度系数较小的弹簧，则系统稳定时，弹簧处于压缩状态，所以三物体损失的总动能 $E_{损}$ 一部分转化为因摩擦增加的内能，另一部分转化为弹簧的弹性势能（关键点：属于系统的机械能），所以此时系统损失的机械能减小，D 正确.

6. (1) 1 m/s　(2) 0.4 s　(3) 24 m

突破点▸多次碰撞问题

【解析】(1) 对于 A 球下滑的过程中列动能定理，则有 $m_AgL\sin\theta=\frac{1}{2}m_Av_0^2$，

可解得 $v_0=1\ \text{m/s}$.

(2) 第一次发生弹性碰撞的过程中，满足动量守恒和能量守恒，则有 $m_Av_0=m_Av'_{A1}+m_Bv'_{B1}$，$\frac{1}{2}m_Av_0^2=\frac{1}{2}m_Av'^2_{A1}+\frac{1}{2}m_Bv'^2_{B1}$，

可解得 $v'_{A1}=\frac{1}{3}\ \text{m/s}$，$v'_{B1}=\frac{4}{3}\ \text{m/s}$，

碰后由于 B 满足 $m_Bg\sin\theta=\mu m_Bg\cos\theta$，

所以 B 做匀速直线运动，而 A 做匀加速直线运动，则有 $m_Ag\sin\theta=m_Aa$，

从发生第一次碰撞到发生第二次碰撞，存在 A 和 B 位移相等，即 $v'_{A1}t+\frac{1}{2}at^2=v'_{B1}t$，

可解得 $t=0.4\ \text{s}$.

(3) 刚要发生第二次碰撞前瞬间，小球与滑块的速度分别为 $v_{A2}=v'_{A1}+at=\frac{7}{3}\ \text{m/s}$，$v_{B2}=v'_{B1}=\frac{4}{3}\ \text{m/s}$，

第二次碰撞的过程中，同样满足动量守恒和能量守恒，则有 $m_Av_{A2}+m_Bv_{B2}=m_Av'_{A2}+m_Bv'_{B2}$，$\frac{1}{2}m_Av_{A2}^2+\frac{1}{2}m_Bv_{B2}^2=\frac{1}{2}m_Av'^2_{A2}+\frac{1}{2}m_Bv'^2_{B2}$，

可解得 $v'_{A2}=\frac{5}{3}\ \text{m/s}$，$v'_{B2}=\frac{8}{3}\ \text{m/s}$，

发生第三次碰撞，仍需满足位移相等，则有 $v'_{A2}t'+\frac{1}{2}at'^2=v'_{B2}t'$，

可解得 $t'=0.4\ \text{s}$，

由此可知，任意相邻两次碰撞的时间间隔均为 $\Delta t=0.4\ \text{s}$，第 n 次碰后 B 的速度为 $v'_{Bn}=\frac{4n}{3}\ \text{m/s}$，

所以直到第十次碰撞，与第一次碰撞位置间的距离为 $x=(v'_{B1}+v'_{B2}+\cdots+v'_{B9})\Delta t=24\ \text{m}$.

方法总结 多次碰撞问题的处理方法是数学归纳法，先利用所学知识把前几次碰撞过程理顺、分析透彻. 根据前几次数据利用数学归纳法，可写出之后碰撞过程中对应规律或结果，然后可以计算全程的路程或发生碰撞的总次数等数据. 多次碰撞问题涉及的主要模型有：(1) 两个物体之间或物体与挡板之间发生多次碰撞；(2) 多个物体发生连续碰撞.

7. (1) $3mg$　(2) $\frac{1}{3}\sqrt{10gl}$　(3) $3L\sqrt{\frac{10}{gl}}$

(4) $\frac{5mgl}{9}-\frac{n(n+1)\mu mgL}{2}$　$\frac{1}{i+1}(i\leqslant n-1)$

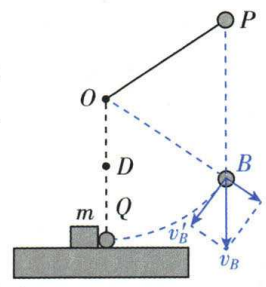
突破点▸多次碰撞问题

【解析】(1) 如图，小球从 P 点由静止释放后，先做自由落体运动到 B 点，

由动能定理可得 $2m'gl\sin 30°=\frac{1}{2}m'v_B^2$，

解得 $v_B=\sqrt{2gl}$，

在 B 点，对 v_B 沿细线方向与垂直细线方向进行分解，如图所示，细线绷直后，沿细线方向的分速度变为零，则细线绷直后，由几何知识可得小球的速度 $v'_B=v_B\cos 30°=\frac{1}{2}\sqrt{6gl}$，



设小球运动到 Q 点时的速度大小为 v_Q，小球从 B 点运动到 Q 点，由动能定理有 $m'gl(1-\cos 60°)=\frac{1}{2}m'v_Q^2-\frac{1}{2}m'v_B'^2$，

解得 $v_Q=\sqrt{\frac{5gl}{2}}$，

小球与滑块1碰撞前的瞬间，由牛顿第二定律可得 $T-m'g=\dfrac{m'v_Q^2}{\frac{l}{2}}$，

解得 $T=3mg$.

(2)小球与滑块1在 Q 点发生弹性碰撞，设碰撞后滑块1的速度大小为 v_0，取水平向左为正方向，根据动量守恒定律与机械能守恒定律有 $m'v_Q=mv_0+m'v_Q'$，$\dfrac{1}{2}m'v_Q^2=\dfrac{1}{2}mv_0^2+\dfrac{1}{2}m'v_Q'^2$，

解得 $v_0=\dfrac{2}{3}v_Q=\dfrac{1}{3}\sqrt{10gl}$.

(3)根据题意，设第 k 个滑块被撞后的速度大小为 v_k，由动量守恒定律有 $mv_0=kmv_k$

解得 $v_k=\dfrac{1}{k}v_0$，

从小球与滑块1碰撞瞬间到第5个滑块被撞瞬间所经过的时间

$$t=\frac{L}{v_0}+\frac{L}{v_2}+\frac{L}{v_3}+\frac{L}{v_4}=\frac{L}{v_0}+2\frac{L}{v_0}+3\frac{L}{v_0}+4\frac{L}{v_0}=10\frac{L}{v_0}=3L\sqrt{\frac{10}{gl}}.$$

(4)根据题意可知，全过程因摩擦产生的热量 $Q=\mu mgL+\mu mg\cdot 2L+\cdots+\mu mg\cdot nL=\dfrac{n(n+1)\mu mgL}{2}$，

由能量守恒定律可知碰撞损失的总机械能 $\Delta E_{总}=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{n(n+1)\mu mgL}{2}=\dfrac{5mgl}{9}-\dfrac{n(n+1)\mu mgL}{2}$，

设滑块之间的第 i 次($i\leqslant n-1$)碰撞前滑块的速度大小为 v_i，碰撞后速度大小为 v_i'，则有 $(i+1)mv_i'=imv_i$，

碰撞过程中损失的动能 ΔE_{ki} 与碰撞前的动能 E_{ki} 的比值 $\dfrac{\Delta E_{ki}}{E_{ki}}=\dfrac{\frac{1}{2}imv_i^2-\frac{1}{2}(i+1)mv_i'^2}{\frac{1}{2}imv_i^2}(i\leqslant n-1)$，

解得 $\dfrac{\Delta E_{ki}}{E_{ki}}=\dfrac{1}{i+1}(i\leqslant n-1)$.

第4节　爆炸与反冲

刷 提分

1. A　**突破点**▸火箭的原理、反冲

【解析】高压气体对火箭箭体做正功，A正确；喷水时间极短，可以认为喷水过程中水和箭体组成的系统动量近似守恒，有 $mv_0+(M-m)v=0$，可得喷水后箭体速度大小为 $v=\dfrac{mv_0}{M-m}$，B错误；喷水后，箭体做竖直上抛运动，由机械能守恒得 $(M-m)gh=\dfrac{1}{2}(M-m)\left(\dfrac{mv_0}{M-m}\right)^2$，则箭体上升的最大高度为 $h=\dfrac{1}{2g}\left(\dfrac{mv_0}{M-m}\right)^2$，C错误；瓶内气体的内能转化为水和箭体的机械能，故机械能不守恒，D错误.

2. AC　**突破点**▸双响爆竹、平抛运动、爆炸问题

【解析】设 P、Q 质量分别为 m 和 $2m$，在最高点对爆炸过程根据动量守恒有 $0=mv_1-2mv_2$，可得 $v_1=2v_2$，爆炸后 P、Q 均做平抛运动，落地时间 $t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$，二者在水平方向均做匀速直线运动，则有 $x_1=v_1t$，$x_2=v_2t$，又 $x_1+x_2=L$，联立解得 P 部分获得的速度大小 $v_1=\dfrac{2L}{3}\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$，$Q$ 部分获得的速度大小 $v_2=\dfrac{L}{3}\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$，A正确，B错误；上层火药燃爆时爆竹增加的机械能 $\Delta E_1=\dfrac{1}{2}mv_1^2+\dfrac{1}{2}\cdot 2mv_2^2=\dfrac{mgL^2}{6h}$，下层火药燃爆时爆竹增加的机械能 $\Delta E_2=3mgh$，则上、下两层火药燃爆时爆竹增加的机械能的比值为 $\dfrac{\Delta E_1}{\Delta E_2}=\dfrac{L^2}{18h^2}$，C正确，D错误.

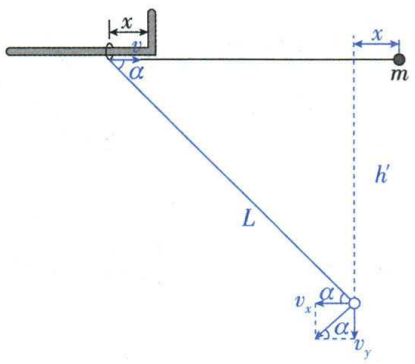
3. AD　**突破点**▸人船模型、反冲

【解析】系统在水平方向动量守恒，设向右为正方向，则有 $mv_1-5mv_2=0$，又 $x_1=v_1t$，$x_2=v_2t$，$x_1+x_2=2R$，解得 $x_1=\dfrac{5}{3}R$，$x_2=\dfrac{1}{3}R$，A正确；小球达到最大速度时处于最低点，此时小球与槽的速度均最大，速度大小分别为 v_3、v_4，由机械能守恒定律可得 $2mgR=\dfrac{1}{2}mv_3^2+\dfrac{1}{2}\times 5mv_4^2$，由水平方向动量守恒可得 $mv_3-5mv_4=0$，解得 $v_3=\sqrt{\dfrac{10}{3}gR}$，$v_4=\sqrt{\dfrac{2}{15}gR}$，B、C错误；若槽固定，设小球下落到槽内速度和水平方向夹角为 θ 时重力的功率最大，即竖直方向上速度最大(**关键点**：竖直方向上速度最大，即在竖直方向上支持力的分力和重力相等)，则有 $mgR(1+\cos\theta)=\dfrac{1}{2}mv^2$，$N-mg\cos\theta=m\dfrac{v^2}{R}$，$N\cdot\cos\theta=mg$，解得 $\cos\theta=\dfrac{1}{3}$，$v=\sqrt{\dfrac{8gR}{3}}$，则 $\sin\theta=\sqrt{\dfrac{8}{9}}$，则重力的最大功率为 $P=mgv\sin\theta=\dfrac{8mg}{3}\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$，D正确.

4. AD　**突破点**▸反冲现象、水平方向上的动量守恒、机械能守恒

【解析】当 $M=0$(轻质环)、$m=1\ \text{kg}$、$x=0.4\ \text{m}$、$L=1\ \text{m}$ 时，小球先竖直下落，直至环与短臂碰撞前的瞬间，设下落高度为 h，此时有 $(L-x)^2+h^2=L^2$，根据机械能守恒定律有 $mgh=\dfrac{1}{2}\times mv_1^2$，联立解得 $h=0.8\ \text{m}$，$v_1=4\ \text{m/s}$，环与短臂粘连时，小球沿绳方向的速度减为0，小球的速度为 $v_2=v_1\cos\alpha$，$\cos\alpha=\dfrac{L-x}{L}$，小球从此位置运动到最低点，根据动能定理有 $mg(L-h)=\dfrac{1}{2}mv_3^2-\dfrac{1}{2}mv_2^2$，联立解得 $v_3=\dfrac{2\sqrt{61}}{5}\ \text{m/s}<v_1$，所以小球运动的最大速度大小为 $4\ \text{m/s}$，在最低点，根据牛顿第二定律有 $F-mg=m\dfrac{v_3^2}{L}$，解得 $F=19.76\ \text{N}$，根据牛顿第三定律，小球对绳子的拉力大小 $F'=F=19.76\ \text{N}$，A正确，B错误；当 $M=1\ \text{kg}$、$m=1\ \text{kg}$、$x=3(\sqrt{2}-1)\ \text{m}$、$L=6\sqrt{2}\ \text{m}$ 时，小球与环水平方向动量守恒，则有 $m\dfrac{x_1}{t}=M\dfrac{x_2}{t}$，则 $x_1=x_2$，即小球与环在水平方向上的位移相等，环与短臂碰撞前速度达到最大，此时小球位置如图所示，有 $Mv=mv_x$，可得 $v=v_x$，根据环与球组成的系统机械能守恒，可得 $mgh'=\dfrac{1}{2}Mv^2+\dfrac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2)$、$h'=\sqrt{L^2-(L-2x)^2}=6\ \text{m}$，在小球向下摆动的过程中，小球与环沿绳方向速度始终相等，有 $v\cos\alpha=v_y\sin\alpha-v_x\cos\alpha$、$\sin\alpha=\dfrac{h'}{L}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，可得 $\alpha=45°$，联立求得 $v=2\sqrt{5}\ \text{m/s}$，C错误；小球运动到最低点时速

度最大，设速度为 v'，环与短臂粘连时，小球与环沿绳方向的速度减为零，小球的速度为 $v_4=v_x\sin\alpha+v_y\cos\alpha=3\sqrt{10}$ m/s，根据动能定理，有 $mg(L-h')=\frac{1}{2}mv'^2-\frac{1}{2}mv_4^2$，解得 $v'=\sqrt{30(4\sqrt{2}-1)}$ m/s，D 正确.



5. (1)$\frac{1}{2}mgH$　(2)0　$2\sqrt{gH}$　(3)$2H$

突破点 ▸多级火箭、机械能守恒定律

【解析】(1)根据机械能守恒定律可得 $2E_p=mgH$，

解得 $E_p=\frac{1}{2}mgH$.

(2)设一级推进完成瞬间，火箭的速度大小为 v_0，根据机械能守恒定律可得 $E_p=\frac{1}{2}mv_0^2$，

解得 $v_0=\sqrt{gH}$，

二级推进过程，根据动量守恒定律和机械能守恒定律可得 $mv_0=\frac{1}{2}mv_1+\frac{1}{2}mv_2$、$E_p+\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}\times\left(\frac{1}{2}m\right)v_1^2+\frac{1}{2}\times\left(\frac{1}{2}m\right)v_2^2$，

联立解得 $v_1=0$，$v_2=2\sqrt{gH}$.

(3)二级推进完成后，对二级火箭，则有 $h=\frac{v_2^2}{2g}$，

解得 $h=2H$.

6. (1)30 J　(2)$\frac{10}{3}$ m　(3)$\frac{65}{9}$ m

突破点 ▸爆炸模型、板块模型

【解析】(1)铁块 A、B 弹开过程，以向左为正方向，根据动量守恒定律有 $4mv_A-2mv_B=0$，

铁块 A 弹开后恰好过半圆形轨道最高点 P，由牛顿第二定律有 $4mg=4m\frac{v_P^2}{R}$，

铁块 A 弹开后，一直运动到半圆形轨道最高点 P，根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}\times(4m)v_A^2=\frac{1}{2}\times(4m)v_P^2+4mg\times(2R)$，

解得 $v_A=\sqrt{5}$ m/s，$v_B=2\sqrt{5}$ m/s，

释放前，微型弹簧的弹性势能 $E_p=\frac{1}{2}\times(4m)v_A^2+\frac{1}{2}\times(2m)v_B^2$，

解得 $E_p=30$ J.

(2)设木板 C 与弹性挡板碰撞前瞬间的速度大小为 v_1，铁块 B 滑上木板 C 后，铁块 B 和木板 C 整体动量守恒，有 $2mv_B=(2m+m)v_1$，

解得 $v_1=\frac{4\sqrt{5}}{3}$ m/s，

对木板 C 从开始运动到第一次碰撞弹性挡板的过程，对 B、C 系统，由能量守恒有 $\mu\times2mgx=\frac{1}{2}\times2mv_B^2-\frac{1}{2}\times(2m+m)v_1^2$，

解得 $x=\frac{10}{3}$ m.

(3)由于木板 C 与弹性挡板碰撞过程没有机械能损失，碰撞前后瞬间 C 的速度大小不变，方向相反，加速度大小不变，木板 C 第一次与弹性挡板碰撞后以大小为 v_1 的初速度返回出发点，在摩擦力的作用下，木板 C 先向左减速到零再向右加速到与铁块 B 共速；铁块 B 则一直向右匀减速到与木板 C 再次共速，根据 $x'=\frac{v^2}{2a}$，可得木板 C 第一次碰撞后向左减速的路程大于第二次碰撞前向右加速的路程，即木板 C 再次与弹性挡板碰撞之前已经与铁块 B 共速，依此类推，木板 C 每次与弹性挡板碰撞之前均已经与铁块 B 共速. 对木板 C 与弹性挡板第 n 次碰撞后到第 $n+1$ 次碰撞前的过程，以向右为正方向，由动量守恒定律有 $2mv_n-mv_n=(2m+m)v_{n+1}(n=1,2,3,4,\cdots)$，

解得 $\frac{v_{n+1}}{v_n}=\frac{1}{3}$，

设木板 C 与弹性挡板第 n 次碰撞后，木板 C 在速度减为 0 的过程中运动的位移大小为 x_n，则

由动能定理有 $-\mu\times2mgx_n=0-\frac{1}{2}mv_n^2$，

解得 $x_n=\frac{v_n^2}{4\mu g}$，

则有 $\frac{x_{n+1}}{x_n}=\frac{v_{n+1}^2}{v_n^2}=\frac{1}{9}$，

即 x_n 是公比 $q=\frac{1}{9}$ 的等比数列，其中对木板 C，第一次与台阶碰撞前，有 $2mg\mu x_1=\frac{1}{2}mv_1^2$，

解得 $x_1=\frac{20}{9}$ m，

故 $s=\frac{20}{9}$ m$+2\times\left(\frac{20}{9}+\frac{20}{9^2}+\frac{20}{9^3}+\cdots\right)$ m，

结合等比数列求和公式知，从铁块 B 滑上木板 C 到 C 停止运动，木板 C 运动的总路程 $s=x_1+\frac{2x_1}{1-q}$，

解得 $s=\frac{65}{9}$ m.

专题 8　三种力学观点的综合应用

刷 难关

1. ACD **突破点** ▸板块模型、三种力学观点的综合应用

【解析】由图(b)可知，碰后 $0\sim t_0$ 时间内乙做匀减速直线运动，t_0 时刻甲、乙共速，之后二者做匀速运动，设碰后瞬间乙的速度大小为 v_1，碰后乙的加速度大小为 a，则有 $x=v_1t_0-\frac{1}{2}at_0^2=v_0t_0$，抛物线的顶点为 Q，若乙一直做匀减速运动将在 $2t_0$ 时刻速度减为 0，则有 $v_1=a\cdot2t_0$，联立解得 $a=\frac{2v_0}{3t_0}$，$v_1=\frac{4}{3}v_0$，B 错误；物块丙与乙发生弹性碰撞，碰撞过程根据动量守恒定律和机械能守恒定律可得 $Mv_0=Mv_2+mv_1$、$\frac{1}{2}Mv_0^2=\frac{1}{2}Mv_2^2+\frac{1}{2}mv_1^2$，解得 $v_1=\frac{2M}{M+m}v_0=\frac{4}{3}v_0$，可得 $\frac{m}{M}=\frac{1}{2}$，D 正确；丙、乙碰后，甲、乙动量守恒，则 $mv_1=2mv_3$，由能量守恒可得 $fL=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}\cdot2mv_3^2$、$f=ma$，联立解得

$L=\frac{2}{3}v_0t_0$，C 正确；由于 $a=\mu g=\frac{2v_0}{3t_0}$，所以 $\mu=\frac{2v_0}{3gt_0}$，A 正确.

2. BD **突破点**▸弹性碰撞、多次碰撞问题

【解析】发生第一次接触时，以向右为正方向，由动量守恒定律和能量守恒定律得 $Mv_0+m\cdot 4v_0=Mv_1+mv_2$、$\frac{1}{2}Mv_0^2+\frac{1}{2}m\cdot(4v_0)^2=\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$，解得 $v_1=\frac{M+7m}{M+m}v_0$，$v_2=\frac{4m-2M}{M+m}v_0$，若要发生两次接触，则有 $v_2<0$，$v_1+v_2<0$，解得 $M>11m$，A 错误；若 $M=12m$，当 A、B 第一次共速时，弹簧达到最大弹性势能，由动量守恒定律和能量守恒定律得 $Mv_0+m\cdot 4v_0=(M+m)v_{共}$、$\frac{1}{2}Mv_0^2+\frac{1}{2}m\cdot(4v_0)^2=\frac{1}{2}(M+m)v_{共}^2+E_p$，解得 $E_p=\frac{54mv_0^2}{13}$，B 正确；若 $M=12m$，根据 A 选项分析可知 A、B 可以发生两次接触，第 1 次接触后，A 的速度为 $v_2=\frac{4m-2M}{M+m}v_0=-\frac{20}{13}v_0$，$B$ 的速度为 $v_1=\frac{M+7m}{M+m}v_0=\frac{19}{13}v_0$，发生第二次接触时，以向右为正方向，由动量守恒定律和能量守恒定律得 $Mv_1-mv_2=Mv_3+mv_4$、$\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}Mv_3^2+\frac{1}{2}mv_4^2$，解得 $v_4=\frac{20Mm-4m^2}{(M+m)^2}v_0=\frac{236}{169}v_0$，$B$ 的速度为 $v_3=\frac{M^2+10Mm-15m^2}{(M+m)^2}v_0=\frac{249}{169}v_0$，可知 A 最终以 $\frac{236}{169}v_0$ 的速度向右运动，B 最终以 $\frac{249}{169}v_0$ 的速度向右运动，C 错误；第 2 次共速时，由动量守恒定律和能量守恒定律得 $Mv_1-mv_2=(M+m)v'_{共}$、$\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}(M+m)v'^2_{共}+E'_p$，解得 $E'_p=\frac{6}{2\,197}mv_0^2$，D 正确.

3. CD **突破点**▸连接体问题、动量守恒

【解析】同时由静止释放三个物体，C 做自由落体运动，A、B 一起做匀加速直线运动，对 A、B 整体分析，根据牛顿第二定律有 $3mg-mg=4ma$，得 $a=\frac{1}{2}g$，B、C 发生碰撞时 $x_B+x_C=h$、$x_C=\frac{1}{2}gt^2$、$x_B=\frac{1}{2}at^2$，解得 $t=\sqrt{\frac{4h}{3g}}$，此时 A 下降的高度 $x_A=x_B=\frac{h}{3}$，A 错误；C 与 B 发生碰撞并立即粘在一起，对 B、C 碰撞过程由动量守恒有 $mv_C-mv_B=2mv$、$v_C=gt$、$v_B=at=\frac{1}{2}gt$，解得 $v=\frac{1}{4}gt$，B、C 与 A 通过不可伸长的细线连接，对 A、B、C 整体分析，有 $3mv_A-2mv=5mv'$、$v_A=at=\frac{1}{2}gt$，解得 $v'=\frac{2}{5}\sqrt{\frac{gh}{3}}$，B 错误；接下来 A 和 B、C 一起做匀变速运动，根据牛顿第二定律有 $3mg-2mg=5ma_1$，得 $a_1=\frac{1}{5}g$，A 与地面碰撞前继续向下运动的位移 $x'_A=1.1h-x_A=\frac{23}{30}h$，$A$ 落地时有 $v'^2_A-v'^2=2a_1x'_A$，解得 $v'_A=\frac{3}{5}\sqrt{gh}$，此后 B 向上做竖直上抛运动，上升的高度 $h_B=\frac{v'^2_A}{2g}=\frac{9}{50}h$，$B$ 最终离地面的最大高度为 $H_B=2.2h+\frac{9}{50}h=2.38h$，C 正确；在第一次碰撞至共速过程中，三个物体损失的机械能为 $\Delta E_1=\frac{1}{2}\cdot 3mv_A^2+\frac{1}{2}\cdot mv_B^2+\frac{1}{2}\cdot mv_C^2-\frac{1}{2}\cdot 5mv'^2=1.2mgh$，$A$ 与地面碰撞时系统损失的机械能为 $\Delta E_2=\frac{1}{2}\cdot 3mv'^2_A=0.54mgh$，则从开始至 A 与地面碰撞后，该过程中三个物体损失的机械能为 $\Delta E=\Delta E_1+\Delta E_2=1.74mgh$，D 正确.

4. (1)2 m/s　(2)2 m　(3)2.5 m 或 2 m

命题点▸牛顿第二定律、动能定理、动量守恒定律、机械能守恒定律、斜抛运动

【解析】(1)对滑块 1，由动能定理得

$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$　(1 分)

解得滑块 1 与滑块 2 碰前的速度大小为

$v_0=4$ m/s，

滑块 1 与滑块 2 碰撞过程中，由动量守恒定律得

$mv_0=2mv_C$　(1 分)

解得碰撞后瞬间滑块 3 的速度大小为

$v_C=2$ m/s　(1 分)

(2)滑块 3 恰好能通过圆轨道 CDC'，在圆轨道 D 点，由牛顿第二定律得

$2mg=2m\frac{v_D^2}{R}$　(1 分)

解得 $v_D=\sqrt{2}$ m/s，

滑块 3 从 C 点到 D 点，由机械能守恒定律得

$\frac{1}{2}\times 2mv_C'^2=\frac{1}{2}\times 2mv_D^2+2mg\cdot 2R$　(1 分)

解得 $v'_C=\sqrt{10}$ m/s，

结合 $mgh=\frac{1}{2}mv_0'^2$，$mv'_0=2mv'_C$，

联立解得 $h=2$ m　(1 分)

(3)滑块 3 从 C' 点到 F 点的过程中，由动能定理得

$-2mgL\sin 37°-\mu\cdot 2mg\cos 37°\cdot L=\frac{1}{2}\times 2mv_F^2-\frac{1}{2}\times 2mv_C''^2$　(1 分)

若滑块 3 直接落入洞中，则

竖直方向 $v_F\sin 37°=g\frac{t_1}{2}$，

水平方向 $L_{FG}+L_{GH}+L_{HI}=v_F\cos 37°\cdot t_1$　(1 分)

结合 $mgh_1=\frac{1}{2}mv_0''^2$，$mv''_0=2mv''_C$，

联立解得 $h_1=2.5$ m　(1 分)

若滑块 3 经一次反弹落入洞中，则

$t_2=\frac{2v'_F\sin 37°}{g}+\frac{v'_F\sin 37°}{g}$，

水平方向 $L_{FG}+L_{GH}+L_{HI}=v'_F\cos 37°\cdot t_2$，

结合 $mgh_2=\frac{1}{2}mv_0'''^2$，$mv'''_0=2mv'''_C$，

滑块 3 从 C' 点到 F 点的过程中，由动能定理得

$-2mgL\sin 37°-\mu\cdot 2mg\cos 37°\cdot L=\frac{1}{2}\times 2mv'^2_F-\frac{1}{2}\times 2mv'''^2_C$　(1 分)

联立解得 $h_2=2$ m　(1 分)

由(2)中分析可知此时滑块 3 恰好通过圆轨道 CDC'，故不存在多次反弹后落入洞中的情况，

综上可知，$h=2.5$ m 或 $h=2$ m.

5. (1)$\sqrt{\frac{2Fd}{M}}$　(2)$\frac{M-m}{M+m}L$　(3)$d+\frac{3M^2-Mm}{k(M+m)}\left(v'_0-\frac{kd}{M}\right)$

突破点▸三种力学观点的综合应用

【解析】(1)对车厢,由动能定理可得 $Fd=\frac{1}{2}Mv_0^2$,

解得 $v_0=\sqrt{\frac{2Fd}{M}}$.

(2)车厢与滑块的碰撞为弹性碰撞,设第一次碰撞后车厢和滑块的速度大小分别为 v_M 和 v_m,由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}Mv_0^2=\frac{1}{2}Mv_M^2+\frac{1}{2}mv_m^2$,

根据动量守恒定律得 $Mv_0=Mv_M+mv_m$,

解得 $v_M=\frac{M-m}{M+m}v_0$、$v_m=\frac{2M}{M+m}v_0$,

第一次碰撞到第二次碰撞之间,车厢与滑块的位移大小分别为 x_M、x_m,则有 $x_M=v_Mt$、$x_m=v_mt$

位移关系为 $x_m-x_M=L$,

联立解得 $x_M=\frac{M-m}{M+m}L$.

(3)每一次碰撞后车厢的运动过程中,由动量定理得 $-\sum f\Delta t=\sum M\Delta v$,

即 $-\sum kv\Delta t=\sum M\Delta v$,

累加后得 $-ks=M\Delta v$,

第一次碰撞前,车厢的路程为 d,所以 $kd=M(v_0'-v)$,

碰撞前车厢的速度大小 $v=v_0'-\frac{kd}{M}$,

设第 n 次碰撞后,车厢的速度大小为 v_n,滑块的速度大小为 v_n',第 n 次碰撞至停下,车厢的路程为 s_n. 第一次碰撞,由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_1'^2=\frac{1}{2}Mv^2$,

由动量守恒定律得 $Mv_1+mv_1'=Mv$,

解得 $v_1=\frac{M-m}{M+m}v$、$v_1'=\frac{2M}{M+m}v$,

第一次碰撞后,对车厢有 $-ks_1=M\Delta v$,

解得 $s_1=\frac{M(M-m)}{k(M+m)}v$,

第二次碰撞,由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}Mv_2^2+\frac{1}{2}mv_2'^2=\frac{1}{2}mv_1'^2$,

根据动量守恒定律得 $Mv_2+mv_2'=mv_1'$,

解得 $v_2=\frac{2m}{M+m}v_1'$、$v_2'=\frac{M-m}{M+m}v_1'$,

所以第二次碰撞后车厢的路程 $s_2=\frac{Mv_2}{k}=\frac{2mM}{k(m+M)}v_1'=\frac{4M^2m}{k(M+m)^2}v$,

此后的每次碰撞前滑块的速度大小都变为前一次的 $\frac{M-m}{M+m}$,车厢均静止;

所以第三次碰撞后车厢的路程 $s_3=\frac{Mv_3}{k}=\frac{M}{k}\cdot\frac{M-m}{M+m}v_2=\frac{M-m}{M+m}s_2$,

第四次碰撞后车厢的路程 $s_4=\frac{Mv_4}{k}=\left(\frac{M-m}{M+m}\right)^2s_2$,

第 n 次碰撞后车厢的路程 $s_n=\frac{Mv_n}{k}=\left(\frac{M-m}{M+m}\right)^{n-2}s_2$,

根据等比数列求和公式求得车厢在第二次及以后的路程之和 $s=\frac{2M^2}{k(M+m)}v$,

所以 $s_{总}=d+s+s_1=d+\frac{M(M-m)}{k(M+m)}v+\frac{2M^2}{k(M+m)}v=d+\frac{3M^2-Mm}{k(M+m)}\left(v_0'-\frac{kd}{M}\right)$.

方法总结　力学规律的选用原则

(1)如果要列出各物理量在某一时刻的关系式,可用牛顿第二定律.

(2)研究某一物体受到力的持续作用发生运动状态改变时,一般用动量定理(涉及时间)或动能定理(涉及位移)去解决问题.

(3)若研究的对象为多物体系统,且它们之间有相互作用,一般用动量守恒定律和机械能守恒定律去解决,但需注意所研究的问题是否满足守恒的条件.

(4)在涉及相对位移问题时则优先考虑能量守恒定律,系统克服摩擦力所做的总功等于系统机械能的减少量,即转变为系统内能的量.

(5)在涉及碰撞、爆炸、打击、绳绷紧等物理现象时,需注意到这些过程一般均含有系统机械能与其他形式能量之间的转换. 作用时间都极短,因此用动量守恒定律去解决.

实验 5　验证动量守恒定律

刷实验

1. (1)BCD　(2)$m_a\cdot OB=m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$　(3)8.55　(4)1.4

考查点▸验证动量守恒定律的实验操作、数据处理和误差分析

【解析】(1)斜槽轨道的斜面不必是光滑的,只要球 a 每次都从同一高度由静止释放即可,A 错误;斜槽轨道末端的切线是水平的,这样球飞出后才是做平抛运动,B 正确;碰撞的瞬间,球 a 与球 b 的球心连线与轨道末端的切线平行,这样才是对心碰撞,且碰后速度沿水平方向,故球 a 与球 b 的体积应当相同,为了保证两球碰后都向右运动,球 a 的质量应该更大一些,C、D 正确.

(2)若两球碰撞过程动量守恒,则有 $m_av_0=m_av_1+m_bv_2$、$v_0=\frac{OB}{t}$、$v_1=\frac{OA}{t}$、$v_2=\frac{OC}{t}$,所以验证的动量守恒定律的关系式是 $m_a\cdot OB=m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$.

(3)用尽量小的圆把各落点位置圈起来,圆心就表示落点的平均位置,刻度尺的零刻度线到圆心的距离即为球 a 的水平位移,即 $OB=8.55$ cm.

(4)由题意可知 $p=m_a\cdot OB$、$p'=m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$,代入数据可得 $\left|\frac{p'-p}{p}\right|\times100\%\approx1.4\%$.

2. (1)A　(2)$\frac{m_1}{T_1}=-\frac{m_1}{T_2}+\frac{m_2}{T_3}$　(3)2

考查点▸验证动量守恒定律的实验目的、原理、器材

【解析】(1)本实验采用气垫导轨使两滑块发生碰撞,此时两滑块所受摩擦力可以忽略,所以本实验不需要通过垫高导轨的方式平衡滑块和导轨间的摩擦阻力,A 正确;本实验通过光电门测量两滑块的速度,根据题干实验步骤,需要滑块 A 碰撞滑块 B 后被弹回,所以两滑块的质量应满足 $m_1<m_2$,B 错误;光电门可以测量滑块经过光电门的时间,用刻度尺测量遮光片的长度,可求出小车通过光电门时的速度,所以不需要再测量两光电门之间的距离,C 错误;光电门本身可以测量时间,所以不需要再用秒表测量时间,D 错误.

(2)设遮光片的宽度为 d,碰撞前滑块 A 通过光电门的速度大小

$v_1=\frac{d}{T_1}$，碰撞后滑块 A 通过光电门的速度大小 $v_2=\frac{d}{T_2}$，碰撞后滑块 B 通过光电门的速度大小 $v_3=\frac{d}{T_3}$，取水平向右为正方向，根据动量守恒定律得 $m_1v_1=-m_1v_2+m_2v_3$，化简得 $\frac{m_1}{T_1}=-\frac{m_1}{T_2}+\frac{m_2}{T_3}$.

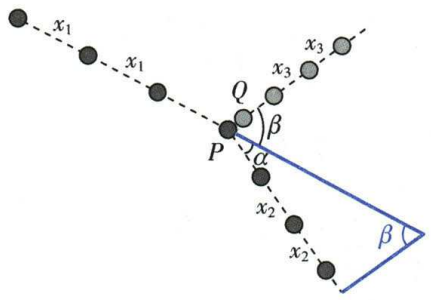
(3)若两滑块为弹性碰撞，根据机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_2^2+\frac{1}{2}m_2v_3^2$，整理可得 $\frac{m_1}{T_1^2}=\frac{m_1}{T_2^2}+\frac{m_2}{T_3^2}$，联立以上两个守恒的表达式可得 $v_2=\frac{m_2-m_1}{m_1+m_2}v_1$，$v_3=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$，所以 $\frac{T}{T'}=\frac{v_3}{v_1}=\frac{2m_1}{m_1+m_2}=\frac{2}{1+\frac{m_2}{m_1}}$，当 $m_1\gg m_2$ 时，$\frac{T}{T'}$有最大值，最大值为 2.

全章素养提升

刷情境

1. D **创新点**▸动量守恒、频闪照片

【解析】设闪光的时间间隔为 t，若碰撞过程中动量守恒，需要满足 $m\frac{x_1}{t}=m\frac{x_2}{t}\cos\alpha+m\frac{x_3}{t}\cos\beta$，$m\frac{x_2}{t}\sin\alpha=m\frac{x_3}{t}\sin\beta$，约分后有 $x_1=x_2\cos\alpha+x_3\cos\beta$，$x_2\sin\alpha=x_3\sin\beta$，故 A、B 错误；若碰撞过程中机械能、动量都守恒，还需要满足 $\frac{1}{2}m\left(\frac{x_1}{t}\right)^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{x_2}{t}\right)^2+\frac{1}{2}m\cdot\left(\frac{x_3}{t}\right)^2$，整理可得 $x_1^2=x_2^2+x_3^2$，碰撞前后总动量方向在同一直线上，如图所示，由于 $x_1^2=x_2^2+x_3^2$，可知 $\alpha+\beta=\frac{\pi}{2}$，故 D 正确，C 错误.



2. AD **创新点**▸碰撞、溜冰电动车

【解析】根据速度—时间图像的斜率表示加速度，可知碰撞前桐桐与车的加速度大小为 $a_1=\frac{4-3}{1.0}\ \text{m/s}^2=1\ \text{m/s}^2$，根据牛顿第二定律，可得桐桐与车受到的合力为 $F_1=m_1a_1=40\times1\ \text{N}=40\ \text{N}$，A 正确；由图可知碰撞前瞬间桐桐与车的速度为 $v_1=4\ \text{m/s}$，乐乐与车的速度为 0，碰撞后桐桐与车的速度为 $v_1'=1\ \text{m/s}$，乐乐与车的速度为 $v_2=4\ \text{m/s}$，碰撞过程动量守恒，以碰撞前桐桐与车的速度方向为正方向，则有 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2$，解得 $m_2=30\ \text{kg}$，B 错误；碰撞前瞬间系统的机械能为桐桐与车的动能，则有 $E_k=\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}\times40\times4^2\ \text{J}=320\ \text{J}$，碰撞后系统的机械能为桐桐与车的动能和乐乐与车的动能，则有 $E_k'=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}\times40\times1^2\ \text{J}+\frac{1}{2}\times30\times4^2\ \text{J}=260\ \text{J}$，可知 $E_k>E_k'$，故此次碰撞过程有机械能损失，C 错误；根据速度—时间图像与时间轴围成的面积表示位移，可得两车碰后，桐桐与车的位移为 $x_1=\frac{1}{2}\times1\times(2.1-1.1)\ \text{m}=0.5\ \text{m}$，对乐乐与车，在 1.1~2.1 s，可得加速度大小为 $a_2=\frac{4-3}{2.1-1.1}\ \text{m/s}^2=1\ \text{m/s}^2$，则碰撞后，乐乐与车的速度从 4 m/s 减到 0，所经过的位移为 $x_2=\frac{v_2^2}{2a_2}=\frac{4^2}{2\times1}\ \text{m}=8\ \text{m}$，故两车碰后，均停止运动时相距 $\Delta x=x_2-x_1=8\ \text{m}-0.5\ \text{m}=7.5\ \text{m}$，D 正确.

3. (1)$\frac{2\sqrt{6gL}}{3}$　(2)$\frac{11}{3}mg$　(3)$\frac{4s+L}{4gL}\sqrt{6gL}$

创新点▸人船模型、微元法

【解析】(1)小球第一次到最高点时，小球和滑块达到相同速度，由水平方向的动量守恒 $mv_0=4mv_{共}$，

由系统机械能守恒 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}\times4mv_{共}^2+mgL$，

联立得 $v_0=\frac{2\sqrt{6gL}}{3}$.

(2)小球第 1 次返回最低点时，以初速度方向为正方向，设小球的速度为 v_1，滑块的速度为 v_2，对系统由动量守恒定律和机械能守恒定律 $mv_0=mv_1+3mv_2$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}\times3mv_2^2$，

解得 $v_1=-\frac{1}{2}v_0$，$v_2=\frac{1}{2}v_0$，

由牛顿第二定律 $F_T-mg=\frac{m(v_2-v_1)^2}{L}$，

联立解得 $F_T=\frac{11}{3}mg$.

(3)从开始到第 1 次摆到最高点的过程中二者组成的系统水平方向动量守恒，以 v_0 方向为正方向，取极短时间 Δt 内有 $mv_0\Delta t=mv_1'\Delta t+3mv_2'\Delta t$，

累加可得 $mv_0\sum\Delta t=m\sum v_1'\Delta t+3m\sum v_2'\Delta t$，

又 $\sum v_1'\Delta t=s_1=s+L$，$\sum v_2'\Delta t=s_2=s$，

则 $mv_0t=ms_1+3ms_2$，

解得 $t=\frac{4s+L}{v_0}=\frac{4s+L}{4gL}\sqrt{6gL}$.

刷真题

刷小题

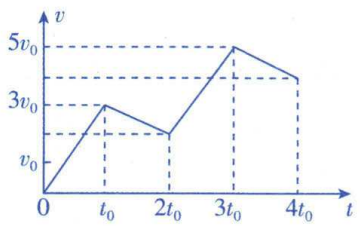
1. BD **命题点**▸机械能守恒、竖直上抛运动、动量定理

【解析】根据牛顿第三定律可知，$t=0.15\ \text{s}$ 时蹦床对运动员的作用力最大，运动员在最低点，重力势能最小，A 错误；由题图可知，$t=0.30\ \text{s}$ 时运动员离开蹦床做竖直上抛运动，$t=2.30\ \text{s}$ 时落回蹦床，竖直上抛运动总时间为 2 s，则上升时间为 1 s，在 $t'=0.30\ \text{s}+1\ \text{s}=1.30\ \text{s}$ 时，运动员运动到最大高度处，由 $v_0=gt$ 可得运动员竖直上抛的初速度大小为 10 m/s，B 正确，C 错误；取竖直向上为正方向，运动员每次与蹦床接触到离开蹦床过程，由动量定理得 $(\overline{F}-mg)\Delta t=mv_0-(-mv_0)$，运动员与蹦床作用时间 $\Delta t=0.30\ \text{s}$，解得 $\overline{F}=4\ 600\ \text{N}$，D 正确.

2. AD **命题点**▸动量定理、F-t 图像

【解析】$F=2mg\sin\theta$ 时，由牛顿第二定律得 $2mg\sin\theta+mg\sin\theta=ma_1$，解得滑块加速度大小为 $a_1=3g\sin\theta$，方向沿斜面向下；$F=-2mg\sin\theta$ 时，由牛顿第二定律得 $2mg\sin\theta-mg\sin\theta=ma_2$，解得滑块加速度大小为 $a_2=g\sin\theta$，方向沿斜面向上，作出滑块在 $0\sim4t_0$ 内的 v-t 图像(**点拨**：将 F-t 图像转化为 v-t 图像，利用 v-t 图像分析)，如图所示，由图像知，$0\sim4t_0$ 内滑块一直沿斜面向下

运动(**点拨**:速度方向始终不变),A 正确;由图像知,$4t_0$ 时滑块的速度不等于 0,根据动量定理得 $I_{合}=\Delta p\neq 0$,B 错误;由图像知,t_0 时滑块的速度大于 $2t_0$ 时滑块的速度,故 t_0 时动量大小不是 $2t_0$ 时的一半,C 错误;$v-t$ 图像与横轴围成的面积表示位移,由图像知,$2t_0\sim 3t_0$ 内滑块的位移小于 $3t_0\sim 4t_0$ 内的位移,D 正确.



3. BD **命题点** ▸ $F-t$ 图像、牛顿运动定律

【解析】由题图(2)知,x 方向合力为变力,故物块所受合力为变力,物块做变加速运动,A 错误;y 方向,由牛顿第二定律得 $mg\sin 30°=ma$,解得 $a=5\ \mathrm{m/s^2}$,$t=1\ \mathrm{s}$ 时,物块的 y 坐标值为 $y=\frac{1}{2}at^2=2.5\ \mathrm{m}$,B 正确;由题图(2)知,$t=1\ \mathrm{s}$ 时 x 方向合力为 6 N,加速度为 $a_x=\frac{F_x}{m}=5\ \mathrm{m/s^2}$,将两个方向的加速度合成可知,此时物块的加速度大小为 $5\sqrt{2}\ \mathrm{m/s^2}$,C 错误;$t=2\ \mathrm{s}$ 内,x 方向,根据动量定理得 $\frac{1}{2}\times(2+4)\times 2\ \mathrm{N\cdot s}+\frac{1}{2}\times 2\times 6\ \mathrm{N\cdot s}=mv_x$,解得 $v_x=10\ \mathrm{m/s}$,y 方向,$v_y=at=10\ \mathrm{m/s}$,故 $t=2\ \mathrm{s}$ 时,物块的速度为 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=10\sqrt{2}\ \mathrm{m/s}$,D 正确.

4. BCD **命题点** ▸ 动量定理、功能关系

【解析】以竖直向上为正方向,木栓进入过程,木栓重力的冲量为 $-mg\Delta t$,对木栓分析可知合外力的冲量为 0,可知木料对木栓的合力的冲量 $I'=-mg\Delta t-I$,A 错误;锤子撞击木栓后木栓获得的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{I^2}{2m}$,木料对木栓的阻力方向竖直向上,对木栓,由动能定理得 $(mg-\bar{f})\Delta x=0-E_k$,解得平均阻力 $\bar{f}=\frac{I^2}{2m\Delta x}+mg$,B 正确;木料机械能未发生变化,木栓进入过程损失的机械能即为阻力做的功,所以 $\Delta E_k=\bar{f}\Delta x=\left(\frac{I^2}{2m\Delta x}+mg\right)\Delta x=\frac{I^2}{2m}+mg\Delta x$,C 正确;由题意知弹力呈线性变化,故摩擦力也呈线性变化,木栓进入过程,对木栓由动能定理得 $mg\Delta x-4\times\frac{1}{2}(F_N\cdot\Delta x\cdot\cos\theta+\mu F_N\cdot\Delta x\cdot\sin\theta)=0-\frac{1}{2}mv^2$,最大静摩擦力 $f=\mu F_N$,联立解得 $f=\frac{\mu(I^2+2m^2g\Delta x)}{4m\Delta x(\cos\theta+\mu\sin\theta)}$,D 正确.

5. A **命题点** ▸ 动量守恒定律、机械能守恒定律

【解析】系统所受合外力为 0,系统动量守恒,C 错误;系统在运动过程中只有动能和弹性势能的转化,系统机械能守恒,D 错误;根据动量守恒定律有 $m_Av_A=m_Bv_B$,根据机械能守恒定律有 $\Delta E_p=\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2$,联立解得 $\Delta E_p=\frac{1}{2}\left(\frac{m_B^2}{m_A}+m_B\right)v_B^2$,弹簧处于原长时弹性势能的变化量 ΔE_p 最大,A、B 的速度最大,A、B 的动量最大,A、B 的动能最大,A 正确,B 错误.

6. D **命题点** ▸ 动量守恒定律

【解析】由题图可知三小车速度变化量的大小关系是 $\Delta v_P>\Delta v_N>\Delta v_Q$,$P$ 碰撞 N 过程中两车组成的系统动量守恒,有 $m_Pv_P+m_Nv_N=m_Pv_P'+m_Nv_N'$,则有 $m_P(v_P-v_P')=m_N(v_N'-v_N)$,则速度变化量越大质量越小,则 $m_P<m_N$,同理可知 $m_N<m_Q$,故 $m_Q>m_N>m_P$,D 正确.

7. D **命题点** ▸ 动量守恒定律、能量守恒定律

【解析】碰撞瞬间 C 的速度不变,相对地面向左运动,A 错误;以向右为正方向,A、B 碰撞过程中,由动量守恒定律得 $mv_A-mv_B=2mv_1$,解得 $v_1=1\ \mathrm{m/s}$,方向向右,三者共速时有 $2mv_1-mv_C=3mv$,解得 $v=0$,可知最终三者一起静止,经历的时间 $t=\frac{v_C}{\mu g}=\frac{2}{0.5\times 10}\ \mathrm{s}=0.4\ \mathrm{s}$,B 错误;从碰撞后到三者相对静止的过程,由能量守恒定律可知,摩擦产生的热量 $Q=\frac{1}{2}\times 2mv_1^2+\frac{1}{2}mv_C^2=3\ \mathrm{J}$,C 错误;从碰撞后到三者相对静止的过程,由功能关系可得 $Q=\mu mgx_{相对}$,解得 $x_{相对}=0.6\ \mathrm{m}$,D 正确.

8. D **命题点** ▸ 静电场、动量守恒定律、能量守恒定律

【解析】小球 3 在题图乙位置时所受合力为零,细线剪断瞬间所受合力不为零,故该过程中小球 3 受到的合力大小是变化的,A 错误;该过程中,系统所受合外力为零,系统动量守恒,B 错误;1、2 两小球的运动情况相同,则 $v_1=v_2$,由动量守恒定律得 $mv_1+mv_2-mv_3=0$,解得 $v_3=2v_1$,C 错误;由能量守恒定律得 $\frac{kq^2}{2d}=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}mv_3^2$,解得 $v_3=\sqrt{\frac{2kq^2}{3md}}$,D 正确.

9. ABD **命题点** ▸ 力学综合问题

【解析】由于斜坡光滑,则两滑块加速度相同,两滑块的初速度都为 0,所以在斜坡上运动过程中两滑块始终保持相对静止,A 正确;由于甲、乙的碰撞属于弹性碰撞,又因为两滑块的质量相同,所以碰撞前后甲、乙交换速度,B 正确;在判断乙的运动时间是否与 $H_乙$ 有关时,可以采用极限法,假设甲位于十分接近 O 点的位置,则乙的运动时间无限接近于在斜面上的运动时间,故乙的运动时间与 $H_乙$ 有关,C 错误;由于甲、乙碰撞后交换速度,甲在水平面上的位移可以等效为没有甲时乙单独在水平面上的位移,由能量守恒定律得 $mgH_乙-\mu mgx=0$,解得 $x=\frac{H_乙}{\mu}$,D 正确.

10. AD **命题点** ▸ 子弹打木块模型

【解析】由题意可知,子弹恰好射穿木块且二者共速时木块获得的速度最大,由动量守恒定律可得 $mv_0=(M+m)v$,由能量守恒定律得 $kv_0L=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v^2$,解得子弹的初速度大小为 $v_0=\frac{2kL(M+m)}{Mm}$,A 正确;由动量定理,对木块,有 $kv_0t=Mv$,解得子弹在木块中运动的时间为 $t=\frac{Mm}{k(M+m)}$,B 错误;木块和子弹损失的总动能为 $\Delta E_k=kv_0L=\frac{2k^2L^2(M+m)}{Mm}$,C 错误;对木块,由动能定理有 $kv_0x=\frac{1}{2}Mv^2$,解得 $x=\frac{mL}{M+m}$,D 正确.

刷大题

11. (1)0.6 m (2)0.1 N·s 0

命题点 ▸ 动量定理、牛顿运动定律、平抛运动

【解析】(1)物块在平台上做匀减速直线运动,根据牛顿第二定

律有 $\mu mg=ma$ （1分）

根据运动学公式有 $v_1^2-v_0^2=-2aL$ （1分）

物块离开平台后做平抛运动，有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$，$x_1=v_1t_1$ （2分）

联立解得 $t_1=0.6\ \text{s}$，$v_1=1\ \text{m/s}$，$x_1=0.6\ \text{m}$ （2分）

（2）物块第一次落到地面后弹起，在竖直方向，有 $h_2=\frac{1}{2}gt_2^2$ （1分）

解得 $t_2=0.3\ \text{s}$ （1分）

物块与地面接触的时间为 $t_3=t-t_1-t_2=0.1\ \text{s}$ （1分）

在竖直方向，规定竖直向上为正方向，物块从离开平台到弹起至最大高度过程，根据动量定理，有 $I_N-mgt=0$ （1分）

物块第一次与地面接触过程中所受弹力冲量的大小

$I_N=F_Nt_3=0.1\ \text{N}\cdot\text{s}$ （1分）

在水平方向，规定水平向右为正方向，根据动量定理，有 $-\mu F_Nt_3=mv_2-mv_1$ （1分）

解得 $v_2=-1\ \text{m/s}$ （1分）

由于物块水平方向速度减为0后，不再受到摩擦力，故物块弹离地面时水平速度的大小为0 （1分）

12. （1）5 m/s （2）0.3 J （3）0.2 m

命题点 ▸匀变速直线运动、圆周运动、牛顿第二定律、动能定理、动量守恒

【解析】（1）假设小物块在传送带上一直做匀加速直线运动，对小物块受力分析，由牛顿第二定律得 $\mu mg=ma$ （2分）

$v^2=2ax$ （2分）

联立解得 $v=6\ \text{m/s}>5\ \text{m/s}$，假设不成立，则小物块在传送带上的末速度为5 m/s，

可知小物块与传送带共速后匀速运动一段，然后与小球碰撞，碰前速度大小为 $v_1=5\ \text{m/s}$ （1分）

（2）小物块与小球碰撞，以水平向右为正方向，由动量守恒定律得 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2$ （2分）

其中 $v_1'=-1\ \text{m/s}$，

动能损失为 $E_{k损}=\frac{1}{2}m_1v_1^2-\left(\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$ （2分）

联立解得 $v_2=3\ \text{m/s}$，$E_{k损}=0.3\ \text{J}$ （1分）

（3）设 OP 距离为 x 时，小球恰能运动到 P 点正上方，由动能定理得 $-m_2g(l+l-x)=\frac{1}{2}m_2v_2'^2-\frac{1}{2}m_2v_2^2$ （2分）

在最高点由牛顿第二定律有 $m_2g=m_2\frac{v_2'^2}{l-x}$ （2分）

联立解得 $x=0.2\ \text{m}$，即 P 点到 O 点的最小距离为0.2 m （2分）

13. （1）$\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$ （2）$\frac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$

（3）$\beta=\frac{4n(2n+1)(8n^2+10n+5)}{3(2n-1)}$ 或 $\beta=\frac{4}{3}n(2n+1)(4n+1)+\frac{8n(2n+1)^2}{2n-1}$

命题点 ▸多次完全非弹性碰撞、牛顿运动定律

【解析】（1）对长木板和滑块分别受力分析，可知长木板不动，第1个滑块做匀减速运动，由牛顿第二定律，有 $2\mu mg=ma$ （1分）

第1个滑块的初速度大小为 $v_1=\sqrt{\beta\mu gL}$，设第1个滑块与第2个滑块碰撞前瞬间速度为 v_{10}，

由运动学公式，有 $v_1^2-v_{10}^2=2aL$ （1分）

解得 $v_{10}=\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$ （1分）

（2）第1个滑块与第2个滑块碰撞，设碰撞后共同速度为 v_2，根据动量守恒定律有 $mv_{10}=2mv_2$，

解得 $v_2=\frac{1}{2}v_{10}=\frac{1}{2}\sqrt{v_1^2-4\mu gL}$ （1分）

设第2个滑块与第3个滑块碰撞前速度为 v_{20}，有

$v_2^2-v_{20}^2=2aL$，

解得 $v_{20}=\sqrt{v_2^2-4\mu gL}$ （1分）

第2个滑块与第3个滑块碰撞，设碰撞后共同速度为 v_3，根据动量守恒定律有 $2mv_{20}=3mv_3$，

解得 $v_3=\frac{2}{3}v_{20}=\frac{2}{3}\sqrt{v_2^2-4\mu gL}$ （1分）

即 $v_n=\frac{1}{n}\sqrt{(\beta-4\sum_{n=1}^{n-1}i^2)\mu gL}$，

以此类推，可得

$v_{j+1}=\frac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$ （2分）

（3）设 k 个滑块一起在木板上滑动时，木板开始滑动. 则

$2\mu kmg>\mu(nm+3nm)g$ （1分）

解得 $k>2n$ （1分）

故第 $2n+1$ 个滑块在木板上滑动时，木板开始滑动，其余滑块和木板相对静止，设第 $2n+1$ 个滑块刚开始在木板上滑动时的速度大小为 v_{2n+1}、加速度大小为 a_1，木板的加速度大小为 a_2 （1分）

由（2）问分析得 $v_{2n+1}=\frac{1}{2n+1}\sqrt{\mu gL\left[\beta-\frac{4}{3}n(2n+1)(4n+1)\right]}$ （1分）

由牛顿第二定律得

$2\mu(2n+1)mg=(2n+1)ma_1$ （1分）

$2\mu(2n+1)mg-4\mu nmg=[4n-(2n+1)]ma_2$ （1分）

设第 $2n+1$ 个滑块开始滑动后，经时间 t 与木板达到共同速度，恰好不与下一个滑块相碰，由运动学知识得

$v_{2n+1}-a_1t=a_2t$ （1分）

$v_{2n+1}t-\frac{1}{2}a_1t^2-\frac{1}{2}a_2t^2=L$ （1分）

联立上式解得

$\beta=\frac{4n(2n+1)(8n^2+10n+5)}{3(2n-1)}$

或 $\beta=\frac{4}{3}n(2n+1)(4n+1)+\frac{8n(2n+1)^2}{2n-1}$ （2分）

14. （1）24.5 J （2）5 s

命题点 ▸动量守恒、能量守恒、运动学公式

【解析】（1）物块 Q 与物块 P 碰撞过程动量守恒，设水平向右为正方向，由动量守恒定律有 $m_2v_0=m_2v_Q+m_1v$ （1分）

解得 $v_Q=3.5\ \text{m/s}$，

由能量守恒定律可知 $\Delta E=\frac{1}{2}m_2v_0^2-\frac{1}{2}m_2v_Q^2-\frac{1}{2}m_1v^2$ （1分）

代入数据得 $\Delta E=24.5\ \text{J}$ （1分）

（2）物块 P 在防滑带上做匀减速直线运动，由牛顿第二定律有 $\mu m_1g=m_1a$ （1分）

解得 $a=5\ \text{m/s}^2$，

P 在防滑带上减速到零，滑行的距离为（**点拨：要判断物块 P 减速至停止的距离与防滑带长度的关系**）$x_1=\dfrac{v^2}{2a}=4.9\ \text{m}$，因为 $2l_2<x_1<3l_2$，即 P 滑到第三个防滑带后速度减为零，则 P 匀减速通过第一个防滑带，设到达第一个防滑带右边缘时速度为 v_1，所用时间为 t_1，有 $v^2-v_1^2=2al_2$ （1 分）

解得 $v_1=5\ \text{m/s}$，$t_1=\dfrac{v-v_1}{a}=0.4\ \text{s}$ （1 分）

P 以速度 v_1 匀速通过第一个防滑带右侧的光滑直道所用时间为 $t_2=\dfrac{l_1}{v_1}=0.6\ \text{s}$ （1 分）

设 P 匀减速通过第二个防滑带后速度为 v_2，所用时间为 t_3，有 $v_1^2-v_2^2=2al_2$ （1 分）

解得 $v_2=1\ \text{m/s}$，$t_3=\dfrac{v_1-v_2}{a}=0.8\ \text{s}$ （1 分）

P 以速度 v_2 匀速通过第二个防滑带右侧的光滑直道所用时间为 $t_4=\dfrac{l_1}{v_2}=3\ \text{s}$ （1 分）

P 会停在第三个防滑带上，所用时间为 $t_5=\dfrac{v_2}{a}=0.2\ \text{s}$ （1 分）

则 P 从开始运动到静止经历的时间为 $t=t_1+t_2+t_3+t_4+t_5=5\ \text{s}$ （1 分）

15. （1）1.5 m　（2）90 J　2　（3）$s_{AC}=\dfrac{7}{4}L_B$

命题点 动量守恒定律、功能关系

【解析】（1）机器人从 A 木板左端走到 A 木板右端的过程中，机器人与 A 木板组成的系统动量守恒，A 木板向左运动，B、C 木板静止，设机器人的质量为 M，三个木板的质量均为 m，

由动量守恒定律得 $Mv=mv_A$，

设所用时间为 t，则有 $Mvt=mv_At$，即 $Ms=ms_A$ （1 分）

又 $s+s_A=L_A$ （1 分）

联立解得 $s_A=1.5\ \text{m}$ （1 分）

则 A、B 木板间的水平距离为 1.5 m.

（2）设机器人起跳的速度大小为 v_0，速度方向与水平方向的夹角为 θ，机器人从 A 木板右端跳到 B 木板左端的时间为 t_1，

由斜抛运动规律得

$v_0\cos\theta\cdot t_1=s_A$，

$v_0\sin\theta=g\cdot\dfrac{t_1}{2}$ （1 分）

联立解得 $v_0^2=\dfrac{15}{2\sin\theta\cos\theta}$，

机器人跳离 A 木板的过程中，系统水平方向动量守恒，

由动量守恒定律得 $Mv_0\cos\theta=mv_A'$ （1 分）

由功能关系得，机器人做的功为 $W=\dfrac{1}{2}Mv_0^2+\dfrac{1}{2}mv_A'^2$ （1 分）

联立可得 $W=\dfrac{1+3\cos^2\theta}{2\sin\theta\cos\theta}\cdot 45\ \text{J}=\dfrac{\sin^2\theta+4\cos^2\theta}{2\sin\theta\cos\theta}\cdot 45\ \text{J}=\left(\dfrac{1}{2}\tan\theta+\dfrac{2}{\tan\theta}\right)\cdot 45\ \text{J}$ （1 分）

由数学知识可知，当且仅当 $\dfrac{1}{2}\tan\theta=\dfrac{2}{\tan\theta}$ 时，即 $\tan\theta=2$ 时，机器人做功最少，代入可得 $W_{\min}=90\ \text{J}$ （1 分）

（3）由 $\tan\theta=2$，可计算出 $v_0\cos\theta=\dfrac{\sqrt{15}}{2}\ \text{m/s}$，由 $Mv_0\cos\theta=mv_A'$ 解得 $v_A'=\dfrac{3}{2}\sqrt{15}\ \text{m/s}$，此后 A 木板以此速度向左做匀速直线运动. 机器人跳离 A 木板到与 B 木板相对静止的过程中，机器人与 B、C 木板组成的系统在水平方向上动量守恒，由动量守恒定律得

$Mv_0\cos\theta=(M+2m)v_B$ （1 分）

此过程中 A 木板向左运动的距离 $s_A'=v_A't_1$，

代入数据得 $s_A'=4.5\ \text{m}$ （1 分）

机器人连续三次等间距跳到 B 木板右端，整个过程机器人和 B 木板组成的系统水平方向动量守恒，设每次跳起后机器人的水平速度大小为 v_1，B 木板的速度大小为 v_{B1}，机器人每次跳跃的时间为 Δt，

以向右为正方向，由动量守恒定律得

$(M+m)v_B=Mv_1-mv_{B1}$ ①　（1 分）

每次跳跃，机器人和 B 木板的相对位移为 $\dfrac{L_B}{3}$，则有

$\dfrac{L_B}{3}=(v_1+v_{B1})\Delta t$ ②　（1 分）

机器人到达 B 木板右端时，B 木板恰好追上 A 木板，从机器人跳上 B 左端到跳到 B 的右端的过程中，A、B 木板的位移之差为 $\Delta s=s_A+s_A'=6\ \text{m}$，则有 $(v_{B1}-v_A')\cdot 3\Delta t=\Delta s$ ③　（1 分）

联立①②③三个式子得 $\Delta t=\dfrac{L_B}{4(v_A'+v_B)}-\dfrac{\Delta s}{3(v_A'+v_B)}$ （1 分）

A、C 两木板的间距为 $s_{AC}=(v_A'+v_C)\cdot 3\Delta t+\Delta s+L_B$，$v_C=v_B$ （1 分）

整理得 $s_{AC}=\dfrac{7}{4}L_B$ （1 分）

16. （1）$\dfrac{m_Av_0}{m_A+m_B}$　$\dfrac{m_A^2v_0^2}{(m_A+m_B)R}$　（2）2:1 或 5:1

（3）$\dfrac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\cdot\dfrac{e^{2n}-1}{e^{2n}(e-1)}$

命题点 牛顿运动定律、碰撞问题

【解析】（1）对 A、B 系统，碰撞前、后动量守恒，设碰撞后小球组合体的速度大小为 v，

由动量守恒有 $m_Av_0=(m_A+m_B)v$ （1 分）

碰撞后，对组合体，由牛顿第二定律有

$F_n=(m_A+m_B)\dfrac{v^2}{R}$ （1 分）

联立解得 $v=\dfrac{m_Av_0}{m_A+m_B}$，$F_n=\dfrac{m_A^2v_0^2}{(m_A+m_B)R}$ （2 分）

（2）设 A、B 第一次碰撞后的速度大小分别为 v_A、v_B，碰撞过程动量守恒、机械能守恒，对 A、B 系统有

$m_Av_0=m_Av_A+m_Bv_B$ （1 分）

$\dfrac{1}{2}m_Av_0^2=\dfrac{1}{2}m_Av_A^2+\dfrac{1}{2}m_Bv_B^2$ （1 分）

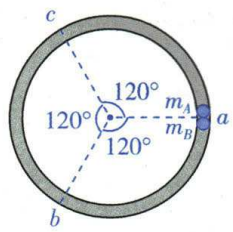
联立解得 $v_A=\dfrac{(m_A-m_B)v_0}{m_A+m_B}$，$v_B=\dfrac{2m_Av_0}{m_A+m_B}$，

分两种情况讨论：

第一种情况，若第二次碰撞发生在图中的 b 点，则从第一次碰撞到第二次碰撞之间，A、B 通过的路程之比为 $\dfrac{1+3k_1}{4+3k_1}$，其中 $k_1=$

$0,1,2,3,\cdots$，则$\frac{v_A}{v_B}=\frac{1+3k_1}{4+3k_1}$，

联立解得$\frac{m_A}{m_B}=\frac{4+3k_1}{2-3k_1}$，显然 k_1 只能取 0，则



$\frac{m_A}{m_B}=2$　　（1 分）

对第二次碰撞，设 A、B 碰撞后的速度大小分别为 v_A'、v_B'，则

$m_Av_A+m_Bv_B=m_Av_A'+m_Bv_B'$　　（1 分）

$\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2=\frac{1}{2}m_Av_A'^2+\frac{1}{2}m_Bv_B'^2$　　（1 分）

联立解得 $v_A'=v_0$，$v_B'=0$，故第三次碰撞发生在 b 点、第四次碰撞发生在 c 点，以此类推，满足题意.

第二种情况，若第二次碰撞发生在图中的 c 点，则从第一次碰撞到第二次碰撞之间，A、B 通过的路程之比为$\frac{2+3k_2}{5+3k_2}$，其中 $k_2=0$，$1,2,3,\cdots$，则$\frac{v_A}{v_B}=\frac{2+3k_2}{5+3k_2}$，

联立解得$\frac{m_A}{m_B}=\frac{5+3k_2}{1-3k_2}$，显然 k_2 只能取 0，则$\frac{m_A}{m_B}=5$　　（1 分）

同理可得第二次碰撞后 $v_A'=v_0$，$v_B'=0$，则第三次碰撞发生在 c 点、第四次碰撞发生在 b 点，以此类推，满足题意.

综上所述，$\frac{m_A}{m_B}=2$ 或 5.

（3）第一次碰前相对速度大小为 v_0，第一次碰后的相对速度大小为 $v_{1相}=ev_0$，第一次碰后与第二次相碰前 B 球比 A 球多运动一圈，即 B 球相对 A 球运动一圈，有 $t_1=\frac{2\pi R}{v_{1相}}$，

第一次碰撞有 $m_Av_0=m_Av_{A1}+m_Bv_{B1}$，

第一次碰撞后有 $v_{1相}=v_{B1}-v_{A1}=ev_0$，

解得 $v_{B1}=\frac{m_A}{m_A+m_B}(v_0+v_{1相})$　　（2 分）

B 球运动的路程 $s_1=v_{B1}t_1=\frac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\left(\frac{v_0}{v_{1相}}+1\right)=\frac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\left(\frac{1}{e}+1\right)$，

第二次碰撞的相对速度大小为 $v_{2相}=ev_{1相}=e^2v_0$，$t_2=\frac{2\pi R}{v_{2相}}$，

第二次碰撞有 $m_Av_0=m_Av_{A2}+m_Bv_{B2}$，

第二次碰撞后有 $v_{2相}=v_{A2}-v_{B2}$，

解得 $v_{B2}=\frac{m_A}{m_A+m_B}(v_0-v_{2相})$　　（2 分）

B 球运动的路程 $s_2=v_{B2}t_2=\frac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\left(\frac{v_0}{v_{2相}}-1\right)=\frac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\left(\frac{1}{e^2}-1\right)$，

由以上规律可以归纳为第 $2n+1$ 次碰前一共碰撞了 $2n$ 次，

$s=s_1+s_2+s_3+\cdots+s_{2n}=\frac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\left(\frac{1}{e}+\frac{1}{e^2}+\frac{1}{e^3}+\cdots+\frac{1}{e^{2n}}\right)$，

解得 $s=\frac{2\pi Rm_A}{m_A+m_B}\cdot\frac{e^{2n}-1}{e^{2n}(e-1)}$　　（2 分）

第 8 章　机械振动与机械波

第 1 节　机械振动

刷基础

1. C　**考查点**　简谐运动的振幅、周期、功能关系和回复力

【解析】根据 $F=kx$ 可知，在平衡位置时，弹簧的伸长量为 $x_0=\frac{mg}{k}$，烧断细线前，弹簧的伸长量 $x_1=\frac{2mg}{k}$，所以小球 a 做简谐运动的振幅 $A=x_1-x_0=\frac{mg}{k}$，A 错误；根据简谐运动的对称性可知，小球 a 运动到最高点时，弹簧的形变量为 $x_2=x_0-A=0$，即小球 a 运动到最高点时弹簧处于原长，所以小球 a 做简谐运动的周期为 $T=2t_0$，B 错误；根据简谐运动的对称性可知，$t=\frac{t_0}{2}$ 时，小球 a 运动到平衡位置，此时小球 a 的动能最大，C 正确；$t=t_0$ 时，小球 a 运动到最高点，位移最大，回复力最大，D 错误.

技巧必背　**简谐运动的对称性**

（1）速率的对称性：系统在关于平衡位置对称的两位置具有相等的速率.

（2）加速度和回复力的对称性：系统在关于平衡位置对称的两位置具有等大反向的加速度和回复力.

（3）时间的对称性：系统通过关于平衡位置对称的两段位移所用时间相等.

2. C　**考查点**　简谐运动

【解析】vt 是 t 时间内纸带运动的路程，并不是小球的运动路程，A 错误；小球振动过程中只有弹簧的弹力做功，小球和弹簧组成的系统机械能守恒，但小球的机械能不守恒，B 错误；小球做简谐运动，由图可知小球通过 a 点时更靠近平衡位置，由简谐运动规律可知其速度大于通过 b 点时的速度（**关键点**：简谐运动中，位移、回复力、加速度和势能四个物理量同时增大或减小，且与速度和动能的变化情况相反），C 正确；小球的运动为简谐运动，其振动周期与振幅无关，D 错误.

3. B　**考查点**　简谐运动的 $v-x$ 图像

【解析】设平衡位置 O 处振子速度为 v_0，振子运动过程中，振子和弹簧组成的系统机械能守恒（**关键点**），则有 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}kx^2+\frac{1}{2}mv^2$，则 $\frac{v^2}{k}+\frac{x^2}{m}=\frac{v_0^2}{k}$，则 $v-x$ 图像是椭圆，B 正确.

4. B　**考查点**　弹簧振子运动时能量的转化、$F-t$ 图像

【解析】弹簧与小球组成的系统机械能守恒，故在振动过程中，弹簧的弹性势能和小球的机械能总和不变（**易错点**：在运动过程中小球重力做功，弹簧的弹性势能和小球动能的总和发生变化），A 错误；小球处于最高点时，弹簧的压缩量为 $x_1=\frac{mg}{k}$，小球处于最低点时，弹簧的伸长量为 $x_2=\frac{3mg}{k}$，根据对称性可得 $2A=x_1+x_2$，解得小球的振幅为 $A=\frac{2mg}{k}$，B 正确；小球处于平衡位置时，弹簧的伸长量为 $x_0=x_2-A=\frac{mg}{k}$，小球在平衡位置时弹簧弹性势能为 $E_p=\frac{1}{2}kx_0^2=\frac{(mg)^2}{2k}$，C 错误；小球在距平衡位置的位移最大处加速度最大，可知小球在最高点或最低点时加速度最大，则有 $3mg-mg=ma$，解得小球的最大加速度为 $a=2g$，D 错误.

5. D 考查点▸圆周运动的投影、简谐运动

【解析】设小球做匀速圆周运动的速度为 v，角速度为 ω，轨迹圆心在接收器上的投影坐标为 Y，则在 0 时刻小球与轨迹圆心的连线与 x 轴夹角为 φ_0，则经过时间 t，小球在接收器上的投影坐标为 $y=R\sin(\omega t+\varphi_0)+Y$，由图(b)可得 $R=2y_0$，$Y=3y_0$，$T=\frac{2\pi}{\omega}=6t_0$，解得小球在接收器上的投影坐标与时间的关系式为 $y=2y_0\sin\left(\frac{\pi}{3t_0}t+\frac{\pi}{6}\right)+3y_0$，由上面分析可得，小球运动周期为 $T=6t_0$，小球所受洛伦兹力提供向心力，由牛顿第二定律可得 $qBv=\frac{mv^2}{R}$，又 $T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$，解得磁场磁感应强度大小 $B=\frac{\pi m}{3qt_0}$，故 A 错误；小球投影坐标对时间求导，可得 $v=\frac{2\pi y_0}{3t_0}\cos\left(\frac{\pi}{3t_0}t+\frac{\pi}{6}\right)$，则投影的最大速度 $v_{max}=\frac{2\pi y_0}{3t_0}$，故 B 错误；小球投影做简谐运动，故 C 错误；小球投影在 $3t_0$、$4t_0$ 时刻的坐标分别为 $y_3=2y_0\sin\left(\frac{\pi}{3t_0}\times3t_0+\frac{\pi}{6}\right)+3y_0=2y_0$、$y_4=2y_0\sin\left(\frac{\pi}{3t_0}\times4t_0+\frac{\pi}{6}\right)+3y_0=y_0$，$3t_0\sim4t_0$ 时间内，投影的位移大小为 $s=|y_4-y_3|=y_0$，故 D 正确.

6. A 考查点▸圆锥摆问题、单摆周期公式的简单应用

【解析】小球受重力 G 和悬线的拉力 F，在水平面内做匀速圆周运动，由牛顿第二定律得 $mg\tan\theta=mR\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$，又 $R=L\sin\theta$，解得小球做圆周运动的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$，小球在竖直面内做单摆运动，则 $T'=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，联立解得 $T'=\frac{T}{\sqrt{\cos\theta}}$，A 正确.

7. AD 考查点▸等效单摆及其摆长的计算

【解析】对小球进行受力分析可知，摆球的重力垂直于斜面的分力始终与斜面的支持力平衡，令等效重力加速度为 g_0，则有 $mg\sin\theta=mg_0$，解得 $g_0=g\sin\theta$，可知，多次改变题图 1 中 θ 角的大小，即可获得不同的等效重力加速度，故 A 正确；摆球在运动过程中，在 A、C 两位置时的摆线的拉力最小，根据题图 2 可知，相邻两个摆线拉力最小的时刻的时间间隔为半个周期，可知，单摆 n 次全振动的时间为 $t=nT=2nT_0$，故 B 错误；根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g\sin\theta}}$ 可知，多次改变斜面倾角 θ，只要得出 $T\propto\frac{1}{\sqrt{\sin\theta}}$ 就可以证明单摆周期 T 与重力加速度的二次方根成反比，故 C 错误；摆球自然悬垂时，摆线的拉力为 F_1，根据平衡条件有 $F_1=mg\sin\theta$，在测量过程中，摆球在 A 位置时有 $F_2=mg\sin\theta\cos\alpha$，摆球在 B 位置时有 $F_3-mg\sin\theta=\frac{mv^2}{L}$，摆球从 A 位置运动到 B 位置过程有 $mg\sin\theta(L-L\cos\alpha)=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $F_3=3F_1-2F_2$，故 D 正确.

8. C 考查点▸影响单摆周期的因素、重力加速度

【解析】在与珠峰同纬度零海拔高度处，在一定时间内测得单摆完成全振动 N 次，设零海拔高度处的重力加速度为 g，则有 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}=\frac{t}{N}$，到达山顶后，在相同时间内测得同一单摆完成全振动的次数为 $(N-2)$ 次. 设山顶的重力加速度为 g'，则有 $T'=2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}}=\frac{t}{N-2}$，可得 $\sqrt{\frac{g}{g'}}=\frac{N}{N-2}$，根据 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，$\frac{GMm}{(R+h)^2}=mg'$，联立可得 $\frac{R+h}{R}=\sqrt{\frac{g}{g'}}=\frac{N}{N-2}$，则珠峰的高度为 $h=\frac{2R}{N-2}$，C 正确.

9. D 考查点▸受迫振动、共振

【解析】飞力士棒做受迫振动，振动频率与驱动力频率一致，与用力大小无关，A 错误；飞力士棒振动的幅度与驱动力频率跟固有频率的差值有关，差值越小，幅度越大，B 错误；飞力士棒的振动频率与驱动力频率一致，与固有频率无关，C 错误；当使用者驱动的频率从大于 3 Hz 开始减小到 3 Hz 时，飞力士棒振动的幅度会增大，D 正确.

10. C 考查点▸共振现象产生的条件及特点

【解析】现在某电压下偏心轮的转速是 54 r/min，偏心轮振动的频率为 $f=\frac{54}{60}$ Hz=0.9 Hz，突然断电，共振筛不会立即停下来，频率不会立即变为 0.8 Hz，仍为 0.9 Hz，D 错误；由共振曲线可知，共振筛的固有频率为 0.8 Hz，质量不变时，增大电压，共振筛的固有频率不变，则题图乙中振幅的峰值不会移动，A 错误；电压不变，适当增加共振筛的质量，则共振筛的固有周期增大，固有频率减小，则固有频率与驱动力频率的差值变大，共振筛的振幅减小，B 错误；共振筛质量不变时，适当减小电压，会减小偏心轮的转速，则驱动力频率减小，固有频率与驱动力频率的差值变小，共振筛的振幅增大，C 正确.

11. B 考查点▸简谐运动的图像

【解析】$t=2$ s 时振子在平衡位置，正向左运动，速度最大，加速度为零，A 错误；$t=3$ s 时振子在负向最大位移处，回复力最大，方向向右，B 正确；1~2 s 内振子由正向最大位移处向平衡位置运动，速度逐渐增大，C 错误；振子在前 4 s 内的位移为零，D 错误.

易错警示　混淆简谐运动的位移和路程而致错

简谐运动的位移可以用从平衡位置指向小球所在位置的有向线段表示，是矢量；简谐运动的路程指的是运动路径的总长度，是标量，在运动过程中会持续增加.

第 2 节　机械波

刷基础

1. D 考查点▸波的产生和传播、绳波

【解析】$t=\frac{1}{2}T$ 时，质点 7 的位移向上，则加速度方向向下，A 错误；由同侧法可知，$t=\frac{1}{2}T$ 时，质点 9 开始向上运动，再经过 $\frac{T}{4}$ 时间即 $t=\frac{3}{4}T$ 时，质点 9 第一次到达波峰，B 错误，D 正确；$t=\frac{3}{4}T$ 时，质点 5 到达平衡位置，则此时质点 5 的加速度为零，C 错误.

2. A 考查点▸波的产生和传播、波速的计算

【解析】O、O_1 两质点在平衡位置，由图则有 $\lambda+\frac{\lambda}{2}=x$，绳波的传

播速度大小 $v=\frac{\lambda}{T}$，解得 $v=\frac{2x}{3T}$，A 正确；介质中的质点只在各自平衡位置上下振动，质点并不随波迁移，B 错误；介质中的各质点振动周期均与波源振动周期相等，C 错误；题图中质点振动方向与波的传播方向垂直，可知，机械振动在绳子上传播形成了横波，D 错误.

3. D 考查点 波的图像

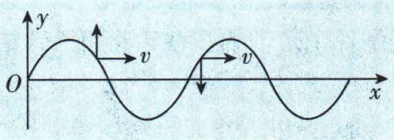
【解析】经过 3 s，该列波传播到 $x=6$ m 处，则波速为 $v=\frac{x}{t}=\frac{6}{3}$ m/s=2 m/s，A 错误；波传播的速度只与介质有关，与频率无关（关键点：提高振动频率会改变波长），B 错误；该简谐波的周期 $T=\frac{\lambda}{v}=2$ s，0.5 s 为 $\frac{1}{4}T$，因为题图时刻质点 P 沿 y 轴正方向运动，距平衡位置越远，速率越小，故质点 P 在此后的 0.5 s 内的路程小于振幅 A，即小于 2 cm，C 错误；由于该简谐波沿 x 轴正方向传播到 $x=6$ m 处时，此处质点将沿 y 轴正方向振动，故 0 时刻手的起振方向沿 y 轴正方向，D 正确.

4. AD 考查点 波形图的物理意义及信息读取

【解析】根据 $t=0$ 时刻的波形图过（0，$\sqrt{2}$ cm）和（3 m，−2 cm）两点，代入数值可得波的函数关系式为 $y=2\sin\left(\frac{\pi}{4}x+\frac{3\pi}{4}\right)$ cm=$A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x+\varphi_0\right)$，则波长为 $\lambda=8$ m，波的周期为 $T=\frac{\lambda}{v}=4$ s，A 正确，B 错误；波沿 x 轴负方向传播，由同侧法可知质点 P 在 $t=0$ 时刻沿 y 轴负方向振动，C 错误；由题意可知质点 P 的振动方程为 $y_P=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi_0\right)=2\sin\left(\frac{\pi}{2}t+\frac{3\pi}{4}\right)$ cm，则在 $t=1$ s 时，$y_{P1}=-\sqrt{2}$ cm，则第 1 s 内，质点 P 通过的路程为 $s=2\sqrt{2}$ cm，D 正确.

方法总结 同侧法

判断方法：在波的图像上的某一点，沿 y 轴方向画出一个箭头表示质点运动方向，并在同一点沿 x 轴方向画一个箭头表示波的传播方向，那么这两个箭头总是在曲线的同侧，如图所示.



5. C 考查点 波的图像、波发生稳定干涉的条件

【解析】根据同侧法可知，左侧波形的波前 P 沿 y 轴正方向运动，右侧波形的波前 Q 沿 y 轴正方向运动，由于波源起振方向与波前振动方向相同，可知，两波源的起振方向相同，A 错误；根据 6 s 时的波形图可知 $T_1=6$ s，$T_2+\frac{1}{2}T_2=6$ s，解得 $T_2=4$ s，两波源振动的周期不相同，即两波源振动的频率不相同，可知，两列波在重叠区域不会形成稳定的干涉现象，B 错误；两列波传播速度相等，均等于 $v=\frac{\lambda_1}{T_1}=\frac{\lambda_2}{T_2}=1$ m/s，则 6～10 s 内两列波传播的距离 $\Delta x=v\Delta t=1\times(10-6)$ m=4 m，则将 6 s 时的波形沿波传播方向平移 4 m 即可得到 10 s 时的波形，平移后可知，10 s 时左侧波形的平衡位置传到 M 点，右侧波形的波峰传到 M 点，则 $t=10$ s 时质点 M 的位移为 2 cm，C 正确；由于质点 P、Q 之间的间距为 4 m，结合上述可知，6～10 s 内，右侧波形没有到达 P 点，左侧波形没有到达 Q 点，则 6～10 s 内，由于（10−6）s=4 s=$\frac{1}{2}T_1+\frac{1}{6}T_1$，（10−6）s=4 s=$T_2$，则质点 P 通过的路程 $x_1>2A_1=8$ cm，质点 Q 通过的路程 $x_2=4A_2=8$ cm，可知，6～10 s，质点 P 和 Q 通过的路程不相同，D 错误.

方法总结 产生稳定的干涉现象的条件

（1）频率相同：同种介质中波长相同；

（2）振动方向相同；

（3）相位差恒定.

6. ACD 考查点 振动图像与波形图的结合

【解析】由图乙知，$T_1=0.2$ s，则 $f_1=5$ Hz. 在同一介质中，频率相同的两列机械波，波长相等，则两列波的波速均为 $v=10$ m/s，波源 P_2 产生的波在 0～0.25 s 时间内传播的距离 $s=v\Delta t=10\times0.25$ m=2.5 m，则波源 P_2 在 $t=0.25$ s 时刚好传播到 $x=2.5$ m 处，根据图丙，结合“同侧法”可知 $x=2.5$ m 处质点的起振方向沿 y 轴正方向，因此波源 P_2 的起振方向沿 y 轴正方向，故 A 正确；根据图乙可知，波源 P_1 的起振方向沿 y 轴正方向，因为 S 点到两波源的波程差为 $\Delta x=|P_1S-P_2S|=|7$ m−9 m|=2 m，满足 $\Delta x=n\lambda(n=1)$，且两波源的起振方向相同，所以 S 点为振动加强点，故 B 错误；根据 A 选项分析可知，波速均为 $v=10$ m/s，则波源 P_1 产生的波传到 S 点的时间为 $t_1=\frac{SP_1}{v}=\frac{7}{10}$ s=0.7 s，同理 P_2 产生的波传到 S 点的时间为 $t_2=0.9$ s，由于 S 点为振动加强点，起振方向沿 y 轴正方向，当 $t=1$ s 时，S 质点已经振动了 0.3 s，刚好为 1.5 个周期，所以它此时沿 y 轴负方向运动，故 C 正确；若以 P_1 为圆心，P_1S 为半径画一个圆，则振动减弱点 R 满足 $|RP_2-RP_1|=\frac{\lambda}{2}(2n+1)(n=0,1,2,3\cdots)$ 即 $|RP_2-7$ m|=（2n+1）m（n=0，1，2，3，…），3 m≤RP_2≤17 m，当 $n=0$ 时，$RP_2=8$ m 或 6 m，当 $n=1$ 时，$RP_2=10$ m 或 4 m，当 $n=2$ 时，$RP_2=12$ m，当 $n=3$ 时，$RP_2=14$ m，当 $n=4$ 时，$RP_2=16$ m，即在圆周水平直径上方共有 7 个减弱点（包括直径两端），可知在该圆上有 14 个振动减弱点，故 D 正确.

7. B 考查点 求波速的多解问题

【解析】由题图可知波长 $\lambda=8$ m. 若波沿 x 轴正方向传播，传播距离 $s=n\lambda+2$ m（$n=0,1,2,\cdots$），则传播速度大小 $v=\frac{s}{\Delta t}=(16n+4)$ m/s（$n=0,1,2,\cdots$），即 $v=4$ m/s，20 m/s，36 m/s，52 m/s，68 m/s，…；若波沿 x 轴负方向传播，传播距离 $s'=n\lambda+6$ m（$n=0,1,2,\cdots$），则传播速度大小 $v'=(16n+12)$ m/s（$n=0,1,2,\cdots$），即 $v=12$ m/s，28 m/s，44 m/s，60 m/s，…，B 正确.

方法总结 求解波的多解问题的思路

（1）考虑波的传播方向的双向性；

（2）对设定的传播方向，首先确定 Δt 和 T（或确定 Δx 和 λ）的关系，一般先确定最简单的情况，即一个周期内（或一个波长内）的情况，然后在此基础上加 nT（或 $n\lambda$）；

（3）注意题目的限制条件，如有的题目限制波的传播方向或限制时间.

8. C 考查点 波的多解问题

【解析】简谐横波沿 x 轴正方向传播，根据波形平移法可知，$t=0$

时，质点 P 正沿 y 轴正方向运动，A 错误；质点 P 在一个周期内的路程为 $s=4A=4\times10\ \text{cm}=40\ \text{cm}$（**关键点：**质点振动的路程不等于波传播的距离），B 错误；由题图可知波长为 5 m，根据波形平移法可知，该波在 1 s 内沿 x 轴正方向传播的距离为 $\Delta x=n\lambda+1\ \text{m}=(5n+1)\ \text{m}(n=0,1,2,\cdots)$，当 $n=1$ 时，$\Delta x=6\ \text{m}$，C 正确；该波的传播速度为 $v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=(5n+1)\ \text{m/s}(n=0,1,2,\cdots)$，可知波的传播速度大小不可能为 4 m/s，D 错误.

9. AC **考查点** 机械波相关物理量的计算、波的多解性

【解析】由图乙知，振动周期为 $T=4\ \text{s}$，则 $t=10\ \text{s}=2.5T$，A 质点通过的路程 $s=2.5\times4A=20\ \text{cm}$，A 正确；由题知 $18.5\ \text{s}=4T+\dfrac{5T}{8}$，由图乙可知，$B$ 质点的位移为 $-\sqrt{2}\ \text{cm}$，B 错误；A、B 两质点的平衡位置相距 3 m，由图乙可知 $n\lambda+\dfrac{3}{4}\lambda=3\ \text{m}$，代入 $\lambda=0.8\ \text{m}$，可知 $n=3$，C 正确；由 $v=\dfrac{\lambda}{T}$，可得 $v=\dfrac{3}{4n+3}\ \text{m/s}$，代入 $v=1.8\ \text{m/s}$，可知 n 不为整数，D 错误.

10. AD **考查点** 波的叠加原理，波长、频率和波速的关系

【解析】由于两波在同种均匀介质中沿 x 轴传播，则甲、乙两波的波速相等，则有 $v_1=v_2=\dfrac{\lambda_{乙}}{T}=\dfrac{2}{0.5}\ \text{m/s}=4\ \text{m/s}$，A 正确；由于两列波的波速相同，波长不同，则两列波的频率不同，故在两列波叠加区域内不能产生稳定的干涉图样，B 错误；由题图可知 $t=0$ 时刻甲波的波谷与乙波的波峰的最近距离为 $\Delta x=1.5\ \text{m}+1.5\ \text{m}=3\ \text{m}$，则甲波的波谷与乙波的波峰第一次相遇所用时间为 $\Delta t=\dfrac{\Delta x}{v_1+v_2}=\dfrac{3}{4+4}\ \text{s}=0.375\ \text{s}$，C 错误；从 $t=0$ 时刻起再经过 0.625 s，甲、乙两波传播的距离均为 $\Delta x'=4\times0.625\ \text{m}=2.5\ \text{m}$，由题图可知，$t=0.625\ \text{s}$ 时甲、乙两波的波谷均传到 $x=0$ 处，则从 $t=0$ 时刻起再经过 0.625 s，$x=0$ 处的质点处在负方向最大位移处，D 正确.

易错警示 **忽视同种介质中波的传播速度相等而致错**

甲、乙两列横波在同种均匀介质中传播，则二者的传播速度相等，根据乙波的波长和周期可以求出乙波的波速，则可得到甲波的波速；两列波的波速相同，但是波长不同，即两列波的频率不同，不能产生稳定的干涉图样.

第 3 节　机械波的干涉、衍射、多普勒效应

刷基础

1. A **考查点** 波的干涉

【解析】因为降噪耳机的基本原理是在耳机内产生一列相应的抵消声波，通过波的干涉起到消音作用，则由波的干涉可知，两列波应频率相同、振幅相同、波长相同、波速相同，但相位相反，A 正确.

2. B **考查点** 多普勒效应、波的干涉图样

【解析】由图(1)可知在两波源连线的中垂线上的点均是振动加强点（关键点），故两波源起振方向相同，A 错误，B 正确；根据图(2)可知，波源 S_3 左侧波面比右侧波面密集，可知波源 S_3 向左运动，且运动速度小于波速，C 错误；由图(2)可知 E 点附近波面密集，则单位时间内 E 点接收到的波面比 F 点多，故在 E 点观察到的振动频率大于在 F 点观察到的振动频率，D 错误.

3. B **考查点** 多普勒效应、波的干涉和衍射、共振

【解析】人造地球卫星先靠近跟踪站，然后远离跟踪站，根据多普勒效应，跟踪站接收到的信号频率先增大后减小，A 错误；根据波的干涉，波长为 λ 的同一声波通过上下两通道后相遇的路程差应该为半波长的奇数倍，叠加后振动减弱，起到消声的目的，B 正确；如果孔的大小不变，使波源的频率增大，则波的波长减小，则可能观察不到明显的衍射现象，C 错误；用手掌摩擦盆耳，起初频率非常低，逐渐提高摩擦的频率，当摩擦的频率等于盆的固有频率时，会发生共振现象，此时振幅最大，使得水花飞溅，D 错误.

4. B **考查点** 多普勒效应

【解析】根据多普勒效应可知，当声源靠近观察者时观察者接收到的频率大于声源发出的频率，则声源由 a 向 b 运动的过程中，观察者 a 接收到的频率始终低于声源发射的频率，观察者 c 和 d 接收到的频率先大于后小于声源发射的频率，观察者 b 接收到的频率始终高于声源发射的频率，B 正确.

5. BC **考查点** 波的干涉、机械波相关物理量的计算

【解析】由于波源 S_1 产生的机械波经过 0.6 s 传播到 P 点，故波速为 $v=\dfrac{x_{AP}}{t_{AP}}=\dfrac{1.2}{0.6}\ \text{m/s}=2\ \text{m/s}$，在 0~0.8 s 时间内，$P$ 处质点振动的时间为 $\Delta t=0.2\ \text{s}$，由图乙可知，波源 S_1 的振动周期 $T=0.2\ \text{s}$，故在 0~0.8 s 时间内，P 处质点刚好振动了一个周期，波源 S_2 产生的机械波传到 P 点的时间 $t_2=\dfrac{x_{BP}}{v}=\dfrac{1.6}{2}\ \text{s}=0.8\ \text{s}$，此时 P 处质点刚好开始振动，路程为零，则这段时间内 P 处质点的路程为 $s=4A=0.4\ \text{m}$，A 错误；对于波源 S_1 产生的机械波，$t=1\ \text{s}$ 时，P 处质点振动的时间 $\Delta t=(1-0.6)\ \text{s}=0.4\ \text{s}=2T$，此时位移为零，结合上述分析可知，波源 S_2 产生的机械波传到 P 点时间为 0.8 s，故 $t=1\ \text{s}$ 时，P 处质点振动的时间 $\Delta t'=(1-0.8)\ \text{s}=0.2\ \text{s}=T$，则 P 处质点的位移也为零，B 正确；由题可知，两列波的波速均为 $v=2\ \text{m/s}$，两列波的波长均为 $\lambda=vT=2\times0.2\ \text{m}=0.4\ \text{m}$，由几何知识可得 $x_{AB}=\sqrt{x_{AP}^2+x_{BP}^2}=2\ \text{m}$，由于两列波步调相反，故当 $\Delta x=(2n+1)\cdot\dfrac{1}{2}\lambda$ 时，为振动的加强点（**关键点：**注意两列波的步调相反），即 $\left|(2n+1)\cdot\dfrac{1}{2}\lambda\right|<2\ \text{m}$，解得 $-5.5<n<4.5$，AB 边上（不含波源）有 10 个振动加强点，同理当 $\Delta x=n\lambda$ 时为振动的减弱点，则有 $|n\lambda|<2\ \text{m}$，解得 $-5<n<5$，故 AB 边上（不含波源）有 9 个振动减弱点，C 正确，D 错误.

易错警示 本题容易误认为波程差等于零的点就是振动加强点. 某质点的振动是加强还是减弱，取决于该点到两相干波源的距离之差 Δr 和相干波源的振动步调.

方法总结 **振动加强/减弱点的判断方法**

(1) 当两波源振动步调一致时

若 $\Delta r=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$，则振动加强；

若 $\Delta r=(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$，则振动减弱.

(2) 当两波源振动步调相反时

若 $\Delta r=(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$，则振动加强；

若 $\Delta r=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$，则振动减弱.

专题 9　振动与波的综合问题

刷 难关

1. BC　**突破点** 振动图像与波形图的结合

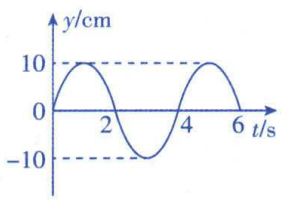
【解析】该机械波沿 x 轴的正方向传播，$t=5$ s 时，质点 M 开始从平衡位置向 y 轴正方向运动，则 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{20}{5}$ m/s $=4$ m/s，再结合题图甲可得 $T=4$ s，则 $\lambda=vT=16$ m、$x_N=20$ m -16 m $=4$ m，A 错误，B 正确；因为 $y_P=-5$ cm $=-\frac{A}{2}$，推理可得质点平衡位置 x_N 与 x_P 之间的距离为 $\Delta x'=\frac{5\lambda}{12}=\frac{20}{3}$ m，所以 $x_P=\left(4+\frac{20}{3}\right)$ m $=\frac{32}{3}$ m，C 正确；波传到 P 点需要时间 $t_1=\frac{x_P-0}{v}=\frac{\frac{32}{3}\text{ m}}{4\text{ m/s}}=\frac{8}{3}$ s，$t=5$ s 时，质点 P 从平衡位置开始运动的时间 $t_2=5$ s $-t_1=5$ s $-\frac{8}{3}$ s $=\frac{7}{3}$ s $=\frac{7}{12}T=\frac{T}{2}+\frac{T}{12}$，其运动的路程为 $2A+\frac{A}{2}=25$ cm，D 错误.

2. D　**突破点** 波的分布图和振动图像的综合应用

【解析】根据图乙可知波长为 $\lambda=10$ cm $=0.1$ m，根据图丙可知周期为 $T=4$ s，则波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{0.1}{4}$ m/s $=0.025$ m/s $=2.5$ cm/s，A 错误；A 处质点与波源 O 相距 2λ，振动情况完全相同，根据图丙可知，$t=2$ s 时，波源处于波峰，则 A 处质点也处于波峰，B 错误；根据图乙可知，B 处质点与波源 O 相距 1.5λ，二者的振动情况完全相反，根据图丙可知，$t=3$ s 时，波源处于平衡位置且向下振动，则 B 处质点处于平衡位置且向上运动，C 错误；C 处质点与波源 O 相距 λ，振动情况完全相同，根据图丙可知，$t=3$ s 时，波源处于平衡位置且向下振动，则 C 处质点也处于平衡位置且向下振动，D 正确.

3. BD　**突破点** 振动图像与波形图的结合

【解析】由题图乙可知，周期为 4 s，根据回复力 $F=-ky$，结合题图甲（振幅为 10 cm），可得质点 Q 振动图像如图所示，由振动图像可知，$t=0$ 时刻质点 Q 沿 y 轴正方向运动，根据同侧法判断地震横波沿 x 轴负方向传播，故 $t=0$ 时刻，质点 P 沿 y 轴负方向运动，A 错误；由题图甲可知 $\frac{5}{12}\lambda=15$ m，解得 $\lambda=36$ m，由题图乙可知 $T=4$ s，故地震横波的传播速度大小为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{36\text{ m}}{4\text{ s}}=9$ m/s，B 正确；$t=5$ s 时，质点 Q 的加速度为 y 轴负方向最大值，根据牛顿第二定律，回复力也为 y 轴负向最大值，根据 $F=-ky$，质点 Q 位移为 y 轴正向的最大值，故质点 Q 振动到波峰，C 错误；因为振幅 $A=10$ cm，周期 $T=4$ s，则一个周期内，质点运动的路程为 $4A=40$ cm，而时间 $\Delta t=5\text{ s}=\left(1+\frac{1}{4}\right)T$，在 $t=0$ s 时质点 P 沿 y 轴负方向振动，则在经过一个周期后 P 的速度正在减小，在此后 $\frac{T}{4}$ 的时间内其路程小于 10 cm，故 0～5 s 的时间内，质点 P 所走的路程小于 50 cm，D 正确.

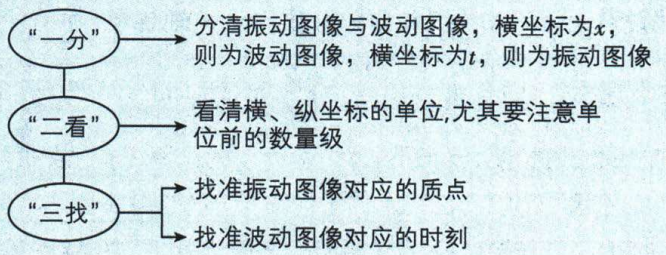


关键点拨　根据简谐运动回复力的公式有 $F=-ky$（y 为偏离平衡位置的位移），同理，根据牛顿第二定律有 $F=ma$，则有 $a=-\frac{k}{m}y$，则可以将 a-t 图像转化为振动图像.

4. AC　**突破点** 机械波相关物理量的计算、振动与波的综合

【解析】根据质点 Q 的振动图像可知，$t=0$ 时质点 Q 沿 y 轴正方向运动，可知该简谐横波的传播方向沿 x 轴负方向，A 正确；由波动图像可得 $\frac{5}{6}\lambda=10$ m，则该简谐横波的波长为 $\lambda=12$ m，B 错误；由振动图像可知 $\frac{T}{12}=0.5$ s，则 $T=6$ s，可得该简谐横波的传播速度大小 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{12}{6}$ m/s $=2$ m/s，C 正确；设 P 的振动方程为 $y=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right)$ m，当 $t=0$ 时 $y=0.2$ m，即 $0.2\text{ m}=0.4\sin\varphi$ m，可得 $\varphi=\frac{\pi}{6}$，则 P 的振动方程为 $y=0.4\sin\left(\frac{\pi}{3}t+\frac{\pi}{6}\right)$ m，D 错误.

方法总结　**巧解振动图像与波动图像综合问题的基本方法**



5. B　**突破点** 波的叠加原理

【解析】波长 $\lambda=\frac{v}{f}=12$ m、$AD=6$ m $=\frac{\lambda}{2}$，则 $t=0$ 时刻波源 A 产生的波在 D 点引起的位移大小为 0.1 m，方向垂直纸面向里，$BD=12$ m $=\lambda$，则 $t=0$ 时刻波源 B 产生的波在 D 点引起的位移为 0，且垂直纸面向里振动，所以 $t=0$ 时刻波源 A、B 产生的波在 D 点引起的合位移大小为 0.1 m，方向垂直纸面向里，B 正确.

6. B　**突破点** 波的叠加原理、机械波相关物理量的计算

【解析】根据同侧法可知，波源 P、Q 产生的波的波前振动方向均沿 y 轴正方向，则两波源的起振方向均沿 y 轴正方向，A 错误；由图可知，0～0.5 s 内，两列波的传播距离相等，均为 $s=0.6\text{ m}-(-0.4)\text{ m}=1$ m，则两列波的波速大小均为 $v=\frac{s}{t}=2$ m/s，B 正确；由图可知，两列波的波长均为 0.8 m，则两列波的周期均为 $T=\frac{\lambda}{v}=0.4$ s，再经过 $0.1\text{ s}=\frac{1}{4}T$，$x=-0.2$ m 处的质点回到平衡位置，则位移为 0，C 错误；波源 P 产生的波传播到 $x=0.2$ m 的时间为 $t_1=\frac{0.6-0.2}{2}$ s $=0.2$ s，波源 Q 产生的波传播到 $x=0.2$ m 的时间为 $t_2=\frac{0.2-(-0.6)}{2}$ s $=0.4$ s，则 0～0.4 s 内，$x=0.2$ m 处的质点运动的路程为 $s_1=2A_P=2\times20$ cm $=40$ cm，由于两列波的起振方向相同，两波源到 $x=0.2$ m 的距离差 $\Delta x=0.4\text{ m}=\frac{1}{2}\lambda$，则此处为振动减弱点，0.4～0.5 s 内，$x=0.2$ m 处的质点运动的路程为 $s_2=A_P-A_Q=10$ cm，则 $x=0.2$ m 处的质点在前 0.5 s 内运动的路程为 $\Delta s=s_1+s_2=50$ cm，D 错误.

关键点

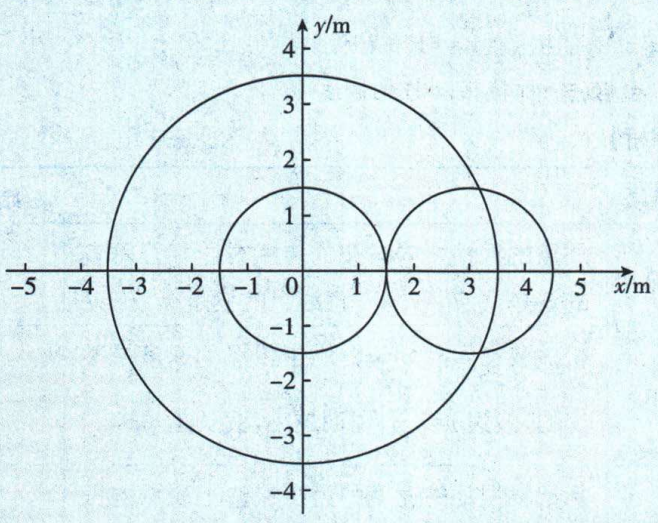
关键点拨 本题中 $x=0.2$ m 处的质点的位移在 0.4~0.5 s 的时间内发生了叠加，$x=0.2$ m 处为振动减弱点，因此 $x=0.2$ m 处的质点在前 0.5 s 内运动的路程要分成两段计算.

7. BD **突破点** 波的干涉和叠加、波峰相遇位置的计算

【解析】由题意可知，两列简谐波的波速相同，周期 $T=0.5$ s，再根据“在 $t=0.75$ s 时波源 S_1 发出的简谐波的最远波谷传到了图示中的位置”可知 $0.75\lambda=1.5$ m，因此波长 $\lambda=2$ m，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=4$ m/s，A 错误；根据“$t=0.25$ s 时波源 S_2 从平衡位置开始沿 z 轴负方向起振做简谐运动”和“且恰好与波源 S_2 发出的简谐波的最远波谷只有一个交点”可知波源 S_2 的坐标为(3 m,0,0)，B 正确；$t=1$ s 时波源 S_1 发出的简谐波在空间有两个波峰，波源 S_2 发出的简谐波在空间只有一个波峰，且波源 S_1 的第二个波峰与波源 S_2 的波峰恰好在 x 轴上相遇，出现一个相切点，同时，空间中波源 S_1 的第一个波峰与波源 S_2 的波峰相交，出现两个交点，因此此时波峰与波峰相遇的位置有 3 个，C 错误；在 $t=0.375$ s 时波源 S_1 发出的简谐波达到 1.5 m 处，1.5 m 处的质点开始振动，在 $t=0.625$ s 时，波源 S_2 发出的简谐波也达到 1.5 m 处，此时 1.5 m 处的质点已经振动了 0.25 s(半个周期)，运动的路程为 $2\times A=10$ cm，此后该位置为振动加强点，振幅为 $2A$，经过 0.375 s(四分之三个周期)后，运动的路程为 $3\times 2A=30$ cm，因此 $t=1$ s 时 1.5 m 处的质点运动的总路程是 40 cm，D 正确.

关键点拨 **波峰相遇位置的计算**

可以用作图的方法计算 $t=1$ s 时波峰和波峰相遇的位置，如图



由图可知，$t=1$ s 时波峰与波峰相遇的位置有 3 个.

8. BC **突破点** 波的干涉图样、判断干涉的加强和减弱点

【解析】两列波的波长均为 $\lambda=vT=0.2$ m 因直线 $y=x$ 上的所有点均为振动减弱点，且该直线上各点到两波源的距离之差等于零，可知两波源振动方向相反，所以振动减弱点到两个波源的距离之差等于波长的整数倍，即 $\Delta x=n\lambda(n=0,1,2,3,\cdots)$，若 M 点坐标为(0.3 m,0.4 m)，则 $\Delta x=0.1\ \text{m}=\frac{\lambda}{2}$，则该点为振动加强点，若 M 点坐标为(0.6 m,0.8 m)，则 $\Delta x=0.2\ \text{m}=\lambda$，则该点为振动减弱点，A 错误，B 正确. 直线 $y=\frac{4}{3}x$ 上的振动减弱点满足 $\frac{4}{3}x-x=n\lambda=0.2n$ m$(n=0,1,2,3,\cdots)$，当 $n=0$ 时 $x=0$，$y=0$，当 $n=1$ 时 $x=0.6$ m，$y=0.8$ m，则直线 $y=\frac{4}{3}x$ 上的相邻振动减弱点距离为 $s=\sqrt{x^2+y^2}=1$ m，D 错误，C 正确.

实验 6　用单摆测量重力加速度

刷实验

1. (1)最低点　(2)9.68　(3)$4\pi^2k$　9.69　(4)见解析

考查点 用单摆测重力加速度的实验步骤和数据处理

【解析】(1)摆球经过最低点时速度最大，在相等的距离误差上引起的时间误差最小，测量的周期误差最小，所以为了减小计时误差，应选摆球经过最低点时开始计时.

(2)根据题意可知摆球摆动的周期 $T=\frac{t}{30}=2.02$ s，根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，其中 $l=100.0\ \text{cm}=1.000\ \text{m}$，代入数据可得 $g\approx9.68$ m/s^2.

(3)根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，整理可得 $l=\frac{g}{4\pi^2}\cdot T^2$，可知 $l-T^2$ 图像斜率 $k=\frac{g}{4\pi^2}$，可得重力加速度 $g=4\pi^2k$；由图 2 求得当地的重力加速度大小 $g\approx9.69$ m/s^2.

(4)用图像法得到的重力加速度数值要比(2)中得到的结果更精确，其原因是用图像法处理数据时，无论是否考虑摆球的半径，图像斜率均为 $\frac{g}{4\pi^2}$，对 g 的测量值没有影响.

2. (1)98.20　(2)2.0　(3)9.82

考查点 用单摆测重力加速度的实验步骤和数据处理

【解析】(1)单摆的摆长为 $l=H-h_0=124.00\ \text{cm}-25.80\ \text{cm}=98.20$ cm.

(2)由图乙可知，单摆的周期为 $T=2.0$ s.

(3)由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，得 $g=\frac{4\pi^2l}{T^2}=\frac{4\times10\times98.20\times10^{-2}}{2.0^2}$ m/s$^2=9.82$ m/s^2.

全章素养提升

刷情境

1. A **创新点** 振动图像与波形图的结合

【解析】由波形图可知，此时刻质点 P 在平衡位置之上、最高点之下，向平衡位置运动，结合振动图像可知，图 A 正确，故选 A.

2. D **创新点** 阻尼器、共振

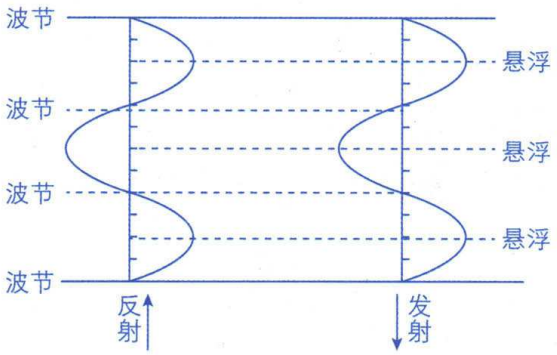
【解析】阻尼器的振动是受迫振动，摆动频率与大厦晃动频率相同，A 错误；大厦晃动频率与阻尼器的固有频率相同时，阻尼器发生共振现象，振幅达到最大值，此时阻尼器吸收能量最多，减震效果最好，B 错误，D 正确；阻尼器还能对地震的横波成分有一定的减震效果，C 错误.

3. BC **创新点** 降噪耳机、波的干涉

【解析】降噪过程应用的是声波的干涉原理，A 错误；声波是机械波，机械波的传播速度由介质决定，则理想状态下，降噪声波与环境噪声声波的传播速度大小相等，B 正确；由振动方程可知噪声的振动频率为 $f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{200\pi}{2\pi}\ \text{Hz}=100\ \text{Hz}$，降噪过程应用的是声波的干涉原理，根据干涉条件可知，降噪声波频率应为 100 Hz 才能有效降噪，C 正确；机械波传播的是质点的振动形式与能量，质点自身并不随波迁移，D 错误.

4. BC 创新点▸驻波、超声波发射器、悬浮装置

【解析】超声波是纵波，为了研究方便，图中画成了横波形式，如果发射端和反射端的间距为 1.5 倍波长，如图所示，仍然可以形成驻波，A 错误；由图可知相邻波节的间距为波长的一半，由题意，可知悬浮位置间的最小距离也为波长的一半，B 正确；波长 λ 与频率 f 成反比，悬浮位置间的最小距离为波长的一半，则这个距离也与频率成反比，C 正确；若增大频率，由 C 的分析，悬浮位置间的最小距离减小，若不改变发射端与反射端的距离，悬浮位置数量会增加，要想悬浮位置的数目不变，需减小发射端与反射端的距离，D 错误.



刷真题

刷小题

1. B 命题点▸简谐运动的振动图像

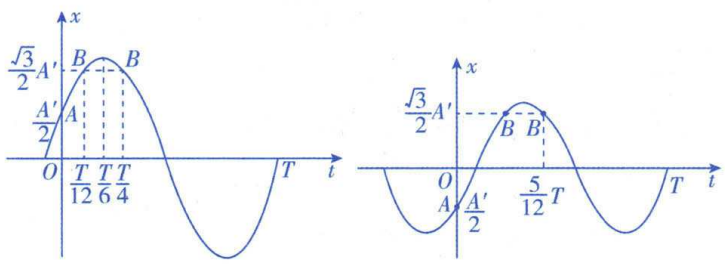
【解析】根据题图(b)知，试管做简谐运动的振幅为 1.0 cm，周期为 $T=0.4$ s，则频率为 $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.4}$ Hz $=2.5$ Hz，A 错误，B 正确；根据题图(b)知，$t=0.1$ s 时试管处于平衡位置，速度最大，C 错误；根据题图(b)知，$t=0.2$ s 时试管处于负向最大位移处，加速度方向竖直向上(点拨：加速度方向始终指向平衡位置)，D 错误.

2. C 命题点▸简谐运动

【解析】根据题意可知，紫外光笔的光点在纸面上沿 x 轴方向做简谐运动，可求解 $\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi n=0.4\pi$ rad/s ≈ 1.26 rad/s，A、B 错误；$T=\frac{1}{n}=5$ s，由杆长 0.1 m 可知振幅 $A=0.1$ m，$\frac{t}{T}=2.5$，则运动路程 $s=2.5\times4\times0.1$ m $=1.0$ m，C 正确，D 错误.

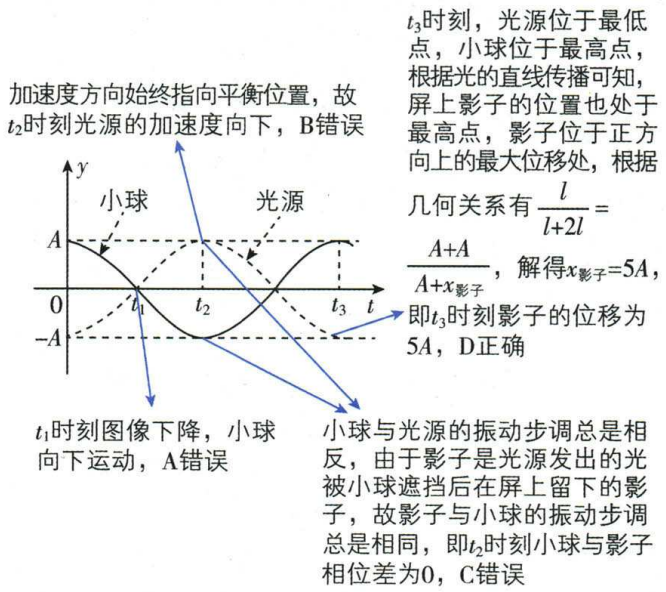
3. BC 命题点▸机械振动、振幅、周期

【解析】设质点的振动方程为 $x=A'\sin(\omega t+\varphi)$，根据题意，当 $t=0$ 时，质点在 A 点的位移 $x_1=\pm\frac{A'}{2}$，质点到达 B 点的位移 $x_2=\frac{\sqrt{3}}{2}A'$，由于从经过 A 点开始计时，则 $\varphi=\pm\frac{\pi}{6}$，当 $x_1=\frac{A'}{2}$ 时 A、B 两点的位置如图甲所示，则 $\frac{\sqrt{3}}{2}A'-\frac{1}{2}A'=L$，$\frac{T}{4}=t$，解得振幅 $A'=\frac{2L}{\sqrt{3}-1}$，周期 $T=4t$，A 错误，B 正确；当 $x_1=-\frac{A'}{2}$ 时，A、B 两点的位置如图乙所示，则 $\frac{\sqrt{3}}{2}A'+\frac{1}{2}A'=L$，$\frac{5}{12}T=t$，解得振幅 $A'=\frac{2L}{\sqrt{3}+1}$，周期 $T=\frac{12}{5}t$，C 正确，D 错误.



4. D 命题点▸简谐运动、弹簧振子

【解析】



5. AD 命题点▸简谐运动、连接体模型

【解析】释放小球 b 后，当小球 b 向上运动挤压弹簧时，若弹簧的弹力大于小球 a 的重力，小球 a 会向上运动，A 正确；当小球 a 向上运动时小球 b 不做简谐运动，所以小球 b 始终做简谐运动的临界条件是弹簧压缩时的最大弹力等于 mg，此时弹簧的压缩量为 $x_1=\frac{mg}{k}$，小球 b 做简谐运动，在平衡位置时弹簧的伸长量为 $x_2=\frac{mg}{k}$，所以最大振幅为 $A_{max}=x_1+x_2=\frac{2mg}{k}$，即将小球 b 下拉 $l\leqslant A_{max}=\frac{2mg}{k}$ 时，小球 b 才能始终做简谐运动，C 错误，D 正确；小球 b 做简谐运动时的振幅为 $A=l$，B 错误.

6. D 命题点▸机械振动与机械波

【解析】

选项	分析	结论
A	质点的振动方向与波的传播方向相互垂直的波是横波，在同一直线上的波是纵波	×
B	机械波在同种均匀介质中传播的速度是不变的，波速 $v=\frac{\lambda}{T}$，周期越小，波长越短	×
C	标记物振动的速度即为机械波上质点的振动速度，与机械波传播的速度无关	×
D	机械波带动标记物由静止开始振动，说明机械波能传递能量	√

7. AD 命题点▸波长、频率与波速的关系

【解析】波速由介质决定，则 A_5 音和 D_6 音在空气中的传播速度相同，由 $\lambda=\frac{v}{f}$ 得，A_5 音的波长大于 D_6 音的波长，A 正确，B 错误；波的频率由波源决定，波从一种介质传播到另一种介质时，频率不变，C 错误；波从空气进入水中，速度变化量相同，A_5 音频率小于 D_6 音频率，故 A_5 音的波长变化量大于 D_6 音的，D 正确.

8. D 命题点▸机械振动、机械波

【解析】由题意知 A、B 的平衡位置之间的距离 $x=\frac{3}{2}\lambda=6$ m，解得 $\lambda=4$ m，A 错误；波源的振动频率为 $f=\frac{60}{60}$ Hz $=1$ Hz，则波速 $v=$

$\lambda f=4\ \text{m/s}$，B 错误；质点的振动周期 $T=1\ \text{s}$，$0.25\ \text{s}=\frac{T}{4}$，$B$ 点在 $t_0+0.25\ \text{s}$ 时刻运动至平衡位置，位移为 0，速度最大，C 错误；$0.50\ \text{s}=\frac{T}{2}$，$A$ 点在 $t_0+0.50\ \text{s}$ 时刻运动至波峰，位移最大，速度为 0，D 正确.

9. C **命题点** ▸机械波的传播

【解析】甲、乙两列横波相距 $\Delta x_1=15\ \text{m}-7\ \text{m}=8\ \text{m}$，在同一均匀介质中相向传播，两列横波的波速大小相等，所以在 $x=7\ \text{m}+\frac{\Delta x_1}{2}=11\ \text{m}$ 处开始相遇，A、B 错误；甲、乙两列横波的波峰相距 $\Delta x_2=16\ \text{m}-5\ \text{m}=11\ \text{m}$，所以波峰在 $x'=5\ \text{m}+\frac{\Delta x_2}{2}=10.5\ \text{m}$ 处相遇，C 正确，D 错误.

10. CD **命题点** ▸波的图像、多解问题

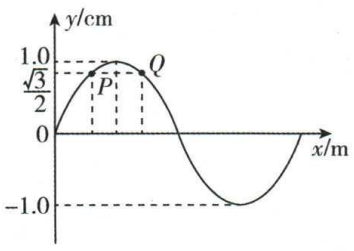
【解析】由图像可得波的周期 $T=2\ \text{s}$，a 与 b 的振动起始时间相差 $t=(0.5+2n)\ \text{s}(n=0,\pm1,\pm2,\cdots)$，设 a、b 两点相距 x，波速为 v，则 $t=\frac{x}{v}=\frac{xT}{\lambda}$，波长 $\lambda=\frac{xT}{t}=\left|\frac{4}{0.5+2n}\right|\ \text{m}(n=0,\pm1,\pm2,\cdots)$，因为 $\lambda>1\ \text{m}$，则可能的波长有 $8\ \text{m}$、$\frac{8}{3}\ \text{m}$、…，分别与 D、C 选项图中波长对应，A 选项不满足 $\lambda>1\ \text{m}$，由题图可知，$t=0$ 时 b 点位于波谷，B 选项 $t=0$ 时，b 点不在波谷位置，A、B 错误，C、D 正确.

11. BC **命题点** ▸波的叠加

【解析】$t=0.5\ \text{s}$ 时，甲、乙两列波传播的距离均为 $x=vt=1\ \text{m}$，则 $t=0$ 时刻甲波平衡位置在 $x=1\ \text{m}$ 处和乙波平衡位置在 $x=3\ \text{m}$ 处的振动形式传播到 P 点，由波的叠加可知，P 偏离平衡位置的位移为 $-2\ \text{cm}$，B 正确，A 错误；$t=1.0\ \text{s}$ 时，甲、乙两列波传播的距离均为 $x'=vt=2\ \text{m}$，则 $t=0$ 时刻甲波平衡位置在 0 处和乙波平衡位置在 4 m 处的波形传播到 P 点，由“同侧法”知，两列波在 P 点引起的振动方向均向 y 轴正方向，由波的叠加知，P 向 y 轴正方向运动，C 正确，D 错误.

12. BD **命题点** ▸机械振动、机械波

【解析】由题图乙可知 $2\ \text{s}=\frac{5}{6}T$，$T=\frac{12}{5}\ \text{s}=2.4\ \text{s}$，频率为 $f=\frac{5}{12}\ \text{Hz}$，B 正确；由题意，在题图甲中标出位移为 $\frac{\sqrt{3}}{2}\ \text{cm}$ 的质点 P、Q，如图所示，则波长可以为 $\frac{1}{6}\lambda=3\ \text{m}$ 即 $\lambda=18\ \text{m}$，或 $\frac{1}{3}\lambda'=3\ \text{m}$ 即 $\lambda'=9\ \text{m}$，A 错误；$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{18\ \text{m}}{2.4\ \text{s}}=\frac{15}{2}\ \text{m/s}$，$v'=\frac{\lambda'}{T}=\frac{9\ \text{m}}{2.4\ \text{s}}=\frac{15}{4}\ \text{m/s}$，C 错误；根据题图乙计算该质点在 2 s 内运动的路程为 $\left(4-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\ \text{cm}$，D 正确.



13. C **命题点** ▸波的干涉

【解析】波峰与波峰相遇时质点处于最大正位移处，故 P 点应为波峰与波峰相遇，B、D 错误；根据波的传播和干涉规律可知，选项 A 中曲线 ab 上存在振动加强点，C 正确，A 错误.

14. B **命题点** ▸机械波的干涉、折射、衍射、多普勒效应

【解析】两列波发生干涉的条件是：①频率相同，②具有恒定的相位差，③振动方向平行. 被反射回来的波的振动方向可能与发出的波振动方向不平行，不一定能发生干涉现象，A 错误. 波由一种介质传播到另一种介质中时，频率不变，传播速度会发生变化，根据 $v=\lambda f$ 可知波长会发生变化，B 正确. 波发生明显衍射现象的条件是：障碍物或小孔尺寸比波的波长小，或者是和波长接近. 由题中数据结合 $v=\lambda f$，得出波长为 $10^{-3}\ \text{m}$，被探测物尺寸为 1 m，被探测物尺寸远大于波长，不能发生明显的衍射现象，C 错误. 根据多普勒效应可知，观察者和波源之间有相对速度，则接收到的波的频率会发生变化，D 错误.

15. A **命题点** ▸波的干涉

【解析】根据题图可知，超声波在机翼材料中的传播周期 $T=2\times10^{-7}\ \text{s}$，由题干可知波速 $v=6\ 300\ \text{m/s}$，则超声波在机翼材料中的波长 $\lambda=vT=1.26\times10^{-3}\ \text{m}$，结合题图(b)和题图(c)可知，两个反射信号传播到探头处的时间差为 $\Delta t=1.5\times10^{-6}\ \text{s}$，故两个反射信号的路程差 $2d=v\Delta t=9.45\times10^{-3}\ \text{m}=\frac{15}{2}\lambda$，解得 $d=4.725\times10^{-3}\ \text{m}$，且两个反射信号在探头处振动减弱，A 正确.

16. BC **命题点** ▸波的传播、波的干涉

【解析】波在 $x=6\ \text{m}$ 处左侧的波速为 $v_1=\frac{4}{0.1}\ \text{m/s}=40\ \text{m/s}$，在 $x=6\ \text{m}$ 处右侧的波速为 $v_2=\frac{6}{0.1}\ \text{m/s}=60\ \text{m/s}$，两列波相遇时有 $v_1t+6\ \text{m}+v_1\left(t-\frac{6\ \text{m}}{v_2}\right)=12\ \text{m}$，解得 $t=0.125\ \text{s}$，A 错误；由题图 2 知，两列波的周期为 $T=0.02\ \text{s}$，在 $6\ \text{m}<x\leqslant12\ \text{m}$ 间，S_2 波的波长为 $\lambda_2=v_2T=60\times0.02\ \text{m}=1.2\ \text{m}$（**点拨：**波速由介质决定），B 正确；左侧波传到 $x=8.4\ \text{m}$ 时，用时为 $t'=\frac{6}{40}\ \text{s}+\frac{8.4-6}{60}\ \text{s}=0.19\ \text{s}$，此时右侧波在该质点已经振动的时间为 $\Delta t=0.19\ \text{s}-\frac{12-8.4}{60}\ \text{s}=0.13\ \text{s}=6\frac{1}{2}T$，故此时左侧波在该质点引起的振动在平衡位置向上运动，右侧波在该质点引起的振动在平衡位置向下振动，由波的叠加可知，该质点的振动减弱，C 正确；当右侧波传到 $x=6\ \text{m}$ 位置时，用时为 $0.1\ \text{s}=5T$，即此时 $x=6\ \text{m}$ 处质点从平衡位置向上振动，此时 $x=0$ 处的波源 S_1 也在平衡位置向上振动，即振动方向相同，在 $0<x<6\ \text{m}$ 内到 $x=0$ 和 $x=6\ \text{m}$ 两点的路程差为波长整数倍时振动加强，波在该区间内的波长 $\lambda_1=v_1T=40\times0.02\ \text{m}=0.8\ \text{m}$，$x-(6\ \text{m}-x)=n\lambda_1=n\cdot0.8\ \text{m}$，即 $x=3+0.4n(\text{m})$，其中 n 取 0、±1、±2、±3、±4、±5、±6、±7，则共有 15 个振动加强点，D 错误.

刷实验

17. (1)摆长(2 分)　(2)1.16(2 分)

(3)$x=\frac{gT^2\sin2.5^\circ}{2\pi^2}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ 或写为 $x=\frac{gT^2\sin5^\circ}{4\pi^2}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$(2 分)

命题点 ▸制作单摆模型研究简谐运动

【解析】(1)选择题图甲方式的目的是要保持单摆在摆动中摆长不变;

(2)由题图丙知,摆球直径为 $d=1.1\ \text{cm}+6\times0.1\ \text{mm}=1.16\ \text{cm}$;

(3)根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可得单摆的摆长为 $L=\frac{gT^2}{4\pi^2}$.

从平衡位置拉开 5°的角度处释放摆球,可得振幅为 $A=2L\sin 2.5°$ 或近似写为 $A=L\sin 5°$,以该位置为计时起点,根据简谐运动规律可得摆球偏离平衡位置的位移 x 与时间 t 的关系为 $x=A\cos\omega t=\frac{gT^2\sin 2.5°}{2\pi^2}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ 或写为 $x=\frac{gT^2\sin 5°}{4\pi^2}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$.

力学模块综合测试

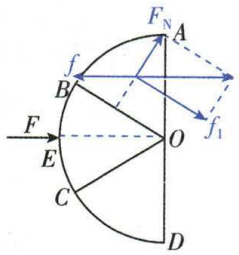
刷综合

1. D **考查点** ▸v-t 图像

【解析】v-t 图像的斜率表示加速度,4 s 时,图像的斜率不等于 0,所以 4 s 时无人机的加速度不为零,A 错误;0~7 s,速度方向一直为正,7 s 时,无人机离地面最远,B 错误;0~4 s,加速度方向为正方向,向上,处于超重状态,C 错误;v-t 图像与 t 轴围成的面积表示位移,6~7 s 的竖直位移为 $x=\frac{1}{2}\times10\times1\ \text{m}=5\ \text{m}$,D 正确.

2. D **考查点** ▸利用平衡推论求力

【解析】设每个木板受到水平面的滑动摩擦力为 f,则对整体分析可知 $F=3f$,对木板 AOB 分析可知,受到水平面向左的摩擦力 f、木板 COB 的弹力 F_N 和摩擦力 f_1,如图,则由平衡条件可知 $F_N=f\cos 60°$,即 $F_N=\frac{F}{6}$,D 正确.



3. A **突破点** ▸三星系统

【解析】在双星系统中,设中心天体的质量为 M,万有引力提供圆周运动的向心力,有 $G\frac{Mm_0}{R^2}=m_0\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R$,解得 $\frac{R^3}{T^2}=\frac{GM}{4\pi^2}=k_1$,在三星体系中,同理可得 $\frac{Gm^2}{L^2}+\frac{Gm^2}{(2L)^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2L$,解得 $\frac{L^3}{T^2}=\frac{5Gm}{16\pi^2}=k_2$,A 正确.

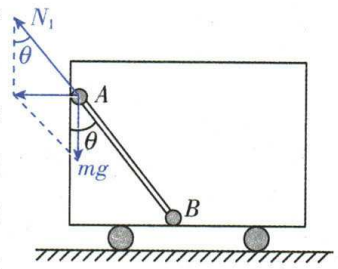
4. D **考查点** ▸机械波相关物理量的计算

【解析】由题知 $\frac{1}{2}T=0.1\ \text{s}$,$\lambda=4\ \text{m}$,则 $v=\frac{\lambda}{T}=20\ \text{m/s}$,A 错误;各个质点只在平衡位置附近振动,并不随波发生迁移,B 错误;由题图知,质点 P 的起振方向为 y 轴正方向,则质点 Q 的起振方向也为 y 轴正方向,波从 P 传播到 Q 所用的时间 $t_{PQ}=\frac{x_{PQ}}{v}=0.2\ \text{s}$,$t=0.25\ \text{s}$ 时质点 Q 已经振动了 $0.05\ \text{s}=\frac{1}{4}T$,第一次到达波峰位置,C 错误;当质点 Q 第一次到达波谷位置时,质点 P 已振动的时间为 $t_{PQ}+\frac{3}{4}T=\frac{7}{4}T$,由于质点在一个周期内振动的路程为 4 个振幅,所以当质点 Q 第一次到达波谷位置时,质点 P 已通过的路程为 35 cm,D 正确.

关键点

5. D **突破点** ▸整体法与隔离法解连接体问题

【解析】轻杆的弹力方向沿杆,若 A 球所受车厢壁弹力为零,对 A 进行分析,A 受到重力与轻杆对 A 沿杆向上的弹力,合力方向水平向左,如图所示,则有 $N_1=\frac{mg}{\cos\theta}$,A 错误;若 A 球所受车厢壁弹力为零,结合上述分析,根据牛顿第二定律有 $mg\tan\theta=ma_1$



对小车、A、B 和轻杆构成的整体进行分析,根据牛顿第二定律有 $F=(2m+m+m)a_1$,解得 $F=4mg\tan\theta$,B 错误;对 A 球进行分析,轻杆对 A 的弹力沿竖直方向的分力始终与 A 的重力平衡,即有 $N_1\cos\theta=mg$,可知轻杆对 A 的弹力始终不变,则轻杆对 B 的弹力方向沿杆向下,大小为 $N_1=\frac{mg}{\cos\theta}$,若 B 球受到的摩擦力为零,对 B 进行分析,根据牛顿第二定律有 $N_1\sin\theta=ma_2$,对小车、A、B 和轻杆构成的整体进行分析,根据牛顿第二定律有 $F=(2m+m+m)a_2$,解得 $F=4mg\tan\theta$,C 错误,D 正确.

6. C **创新点** ▸圆周运动、自由落体运动

【解析】小球在水平方向上做匀速圆周运动,圆周运动周期为 $T=\frac{2\pi R}{v_0}$,小球在竖直方向上做自由落体运动,小球到达 C 点时,经历时间为 $3T$,则有 $h_{PC}=\frac{1}{2}g(3T)^2$,解得 $h_{PC}=\frac{18g\pi^2R^2}{v_0^2}$,A 错误;小球在水平方向上做匀速圆周运动,由筒壁对小球的支持力提供向心力,有 $N_1=m\frac{v_0^2}{R}$,根据牛顿第三定律有 $N_2=N_1$,解得 $N_2=\frac{mv_0^2}{R}$,可知,小球在 A、B、C 三点时对筒壁的压力大小之比为 1∶1∶1,B 错误;小球在竖直方向上做自由落体运动,小球到达 A 点、B 点经历时间分别为 T、$2T$,则有 $h_{AB}=\frac{1}{2}g(2T)^2-\frac{1}{2}gT^2$,解得 $h_{AB}=\frac{6g\pi^2R^2}{v_0^2}$,C 正确;小球在水平方向上做匀速圆周运动,由筒壁对小球的支持力提供向心力,有 $N_1=m\frac{v_0^2}{R}$,小球所受外力的合力 $F=\sqrt{N_1^2+(mg)^2}>mg$,D 错误.

关键点拨 小球的运动可以看作自由落体运动和匀速圆周运动的合运动,水平方向上圆筒对小球的支持力提供小球做匀速圆周运动所需的向心力,竖直方向上小球做自由落体运动.

7. D **考查点** ▸判断系统机械能是否守恒、子弹打木块模型

【解析】子弹 A 射入木块 B 过程中有机械能损失,故 A 错误;弹性棒向右弯曲最大时,A、B、C 相对静止,具有相同的速度,由 $m_Av_0=(m_A+m_B+m_C)v_2$,得 $v_2=10\ \text{m/s}$,故 B 错误;弹性棒向右弯曲最大时具有的弹性势能大小应等于子弹射入木块 B 之后系统减少的动能与 A、B 减少的重力势能之和,故弹性棒向右弯曲最大时具有的弹性势能大小应大于子弹 A 射入木块 B 之后系统减

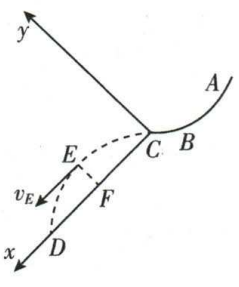
少的动能，故 C 错误；A 射入 B 后瞬间，由 $m_Av_0=(m_A+m_B)v_1$，得 $v_1=50$ m/s，弹性棒第一次回到竖直状态时，系统满足水平方向动量守恒和机械能守恒，由 $(m_A+m_B)v_1=(m_A+m_B)v_3+m_Cv_C$，$\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_1^2=\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_3^2+\frac{1}{2}m_Cv_C^2$，可得 $v_C=\frac{2(m_A+m_B)}{m_A+m_B+m_C}v_1=20$ m/s，故 D 正确.

8. AD 考查点▸弹簧连接体问题、弹簧类分离问题

【解析】将质量为 m_2 的物块 Y 放在 X 上竖直下压，由静止释放，两物体一起向上加速，若 X、Y 恰能分离（关键点：恰好分离的条件为 X、Y 之间无压力），则弹簧到达原长时二者速度刚好为零，则弹性势能刚好全部转化为系统的重力势能，由机械能守恒定律可知 $E_p=(m_1+m_2)g(l_0-l)$，A 正确，B 错误；若 X、Y 能分离，则弹簧到达原长时两物体还有速度，设为 v，则有 $E_p=(m_1+m_2)g\cdot(l_0-l)+\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$，弹簧恢复原长时两物体开始分离，当物块 Y 的动能全部转化为重力势能时，则有 $\frac{1}{2}m_2v^2=m_2gh$，则 Y 的最大离地高度为 $H=l_0+h=\frac{E_p}{(m_1+m_2)g}+l$，C 错误，D 正确.

9. AB 突破点▸斜面上的平抛运动

【解析】以 C 点为原点，以 CD 为 x 轴，以垂直 CD 向上为 y 轴建立坐标系，如图所示，对运动员的运动进行分解，y 轴方向上做类竖直上抛运动，x 轴方向上做匀加速直线运动（关键点：建立适当的坐标系，对运动进行分解），当运动员速度方向与 CD 平行时，在 y 轴方向上到达最高点，根据对称性，可知 $t_1=t_2$，而 x 轴方向运动员做匀加速运动，因 $t_1=t_2$，则 $CF<FD$，A 正确；设在 C 点的初速度 v 与斜面的夹角为 θ，将初速度沿 x 轴、y 轴方向分解，为 $v_1=v\cos\theta$、$v_2=v\sin\theta$，将加速度沿 x 轴、y 轴方向分解，为 $a_1=g\sin\theta$、$a_2=g\cos\theta$，则运动员的运动时间 $t=\frac{2v\sin\theta}{a_2}$，落在斜面上的距离 $s=v\cos\theta\cdot t+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot t^2$，则 $t\propto v$，s 与 v 不成正比，B 正确，C 错误；设运动员落在斜面上的速度方向与水平方向的夹角为 β，斜面的倾角为 α，则有 $\tan\beta=2\tan\alpha$，α 一定，则 β 一定，则运动员落在斜面上的速度方向与从 C 点飞出时的速度大小无关，D 错误.



技巧必背　斜面上平抛运动的规律

从斜面上做平抛运动的物体，最后落到斜面上时，物体的速度方向与抛出的速度大小无关，则在斜面上抛出速度方向一定、速度大小不同的物体，落到斜面上时的速度方向一定平行.

10. AD 突破点▸利用动量守恒及能量守恒解决（类）碰撞问题

【解析】小球从初始位置到第一次到达最低点的过程中，设滑块在水平轨道上向右移动的距离为 x，小球的质量为 m，滑块的质量为 M，取向左为正方向，根据水平方向动量守恒有 $m\frac{L-x}{t}-M\frac{x}{t}=0$，解得 $x=0.30$ m，A 正确；小球从初始位置到第一次到达最低点的过程中，小球和滑块系统水平方向动量守恒，取水平向左为正方向，设小球到最低点时的瞬时速度大小为 v_1，滑块的速度大小为 v_2，则有 $mv_1-Mv_2=0$，根据能量守恒有 $mgL+\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$，联立解得 $v_1=\frac{6\sqrt{10}}{5}$ m/s，$v_2=\frac{4\sqrt{10}}{5}$ m/s，此时小球相对于滑块的速度 $v_{相}=v_1+v_2=2\sqrt{10}$ m/s，故对小球有 $F-mg=\frac{mv_{相}^2}{L}$，代入数据解得 $F=12.67$ N，B、C 错误；设小球相对于初始位置可以上升的最大高度为 h，此时竖直方向速度为 0，根据水平方向动量守恒得 $(M+m)v=0$，根据能量守恒可得 $\frac{1}{2}mv_0^2=mgh+\frac{1}{2}(M+m)v^2$，解得 $h=0.45$ m，D 正确.

11. (1) 0.540　(2) 0.240　0.236

考查点▸验证动量守恒定律的实验步骤和数据处理

【解析】(1) 游标卡尺的读数为主尺读数与游标尺读数之和，所以 $d=5\text{ mm}+8\times0.05\text{ mm}=5.40\text{ mm}=0.540\text{ cm}$.

(2) 碰撞前滑块 1 的速度为 $v_0=\frac{d}{t_1}=\frac{0.540\times10^{-2}}{4.50\times10^{-3}}$ m/s $=1.2$ m/s，所以碰撞前滑块 1、2 的总动量为 $p_1=m_1v_0=0.240$ kg·m/s；碰撞后滑块 1 的速度为 $v_1=\frac{d}{t_1'}=\frac{0.540\times10^{-2}}{22.50\times10^{-3}}$ m/s $=0.24$ m/s，碰撞后滑块 2 的速度为 $v_2=\frac{d}{t_2}=\frac{0.540\times10^{-2}}{5.70\times10^{-3}}$ m/s $=0.947$ m/s，所以碰撞后 1、2 滑块的总动量为 $p_2=m_2v_2-m_1v_1\approx0.236$ kg·m/s.

12. (1) B　(2) mgl_1-mgl_3　(3) $g\sqrt{\frac{m}{k}}$

考查点▸验证机械能守恒定律的实验步骤和数据处理

【解析】(1) 物块经过光电门的速度为 $v=\frac{d}{t}$，若系统机械能守恒，则有 $mgl=\frac{1}{2}kl^2+\frac{1}{2}mv^2$，整理得 $\frac{1}{t^2}=-\frac{k}{md^2}l^2+\frac{2g}{d^2}l$，故选 B.

(2) 当 $l=l_1$ 和 $l=l_3$ 时，物块通过光电门的时间相等，即物块经过光电门的速度相等，故动能也相等，根据机械能守恒定律有 $mgl_1=E_{p1}+E_k$、$mgl_3=E_{p3}+E_k$，整理可得 $E_{p1}-E_{p3}=mgl_1-mgl_3$.

(3) 物块经过光电门的速度越大，则物块经过光电门所用时间越短，故由 (1) 可知，当 $l=l_2$ 时，物块通过光电门时的速度最大，且此时物块的加速度为零. 对其进行受力分析有 $kl_2=mg$，解得 $l_2=\frac{mg}{k}$，代入 (1) 中可得最大速度为 $v_m=g\sqrt{\frac{m}{k}}$.

13. (1) 8 m/s²　(2) 9.3 m/s　(3) 0.25　16 N

考查点▸物体在粗糙斜面上的运动、牛顿运动定律与图像结合

【解析】(1) 由 $v-t$ 图像可知，0～2 s 内物体的加速度大小 $a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，

解得 $a_1=\frac{16}{2}$ m/s² $=8$ m/s².

(2) 由 $v-t$ 图像可知，0～3 s 内物体的位移 $x=\frac{1}{2}\times2\times16\text{ m}+\frac{16+8}{2}\times1\text{ m}=28\text{ m}$，

0～3 s 内物体的平均速度 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{28}{3}$ m/s ≈9.3 m/s.

(3) 0～2 s 内，对物体受力分析有 $F-\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma_1$，

2~3 s 内，对物体受力分析有 $\mu mg\cos\theta+mg\sin\theta=ma_2$，

由 $v-t$ 图像可知，2~3 s 内，物体的加速度大小 $a_2=\left|\frac{\Delta v'}{\Delta t'}\right|=8\ \text{m/s}^2$，

联立解得 $\mu=0.25$，$F=16$ N.

14. (1)−15 J　(2)1 s　(3)0.7 m

考查点 ▸快递自动分拣系统、动能定理、动量守恒定律

【解析】(1)对快件 A 分析，穿过摆轮分拣区的过程，由动能定理得 $W=\frac{1}{2}m_Av_1^2-\frac{1}{2}m_Av_0^2$，

解得 $W=-15$ J.

(2)快件 A 进入倾斜滑道时，由牛顿第二定律得 $m_Ag\sin\theta-\mu_1m_Ag\cos\theta=m_Aa$，

解得 $a=4\ \text{m/s}^2$，

由运动学公式得 $s=v_1t+\frac{1}{2}at^2$，

解得 $t=1$ s.

(3)快件 A 进入光滑平台时的速度大小 $v_A=v_1+at$，

解得 $v_A=5$ m/s，

碰撞后，对快件 B 分析，由动能定理可得 $-\mu_2m_Bgl=0-\frac{1}{2}m_Bv_B^2$，

解得 $v_B=4$ m/s.

快件 A、B 发生碰撞时，由动量守恒定律得 $m_Av_A=m_Av_A'+m_Bv_B$，

解得 $v_A'=3$ m/s，

再对快件 A 分析，由动能定理得 $-\mu_2m_Agl_A=0-\frac{1}{2}m_Av_A'^2$，

解得 $l_A=0.9$ m，

快件 A、B 停止位置的距离 $\Delta l=l-l_A$，

解得 $\Delta l=0.7$ m.

15. (1)0.5 s　(2)3.5 m/s　(3)0.125 m　(4)1.25 s

突破点 ▸板块问题、完全弹性碰撞、多过程问题

【解析】(1)令 C 减速的加速度大小为 a_C，对 C，根据牛顿第二定律，有 $\mu_2Mg=Ma_C$，

解得 $a_C=5\ \text{m/s}^2$，

对 A、B 整体，假设 A、B 保持相对静止有 $\mu_2Mg-\mu_1(M+2m)g=2ma_B$，

解得 $a_B=3\ \text{m/s}^2<a_{Bm}=\mu_2g=5\ \text{m/s}^2$，假设成立，

设经时间 t_1，C 追上 B 发生碰撞，根据位移—时间关系式及位移间的关系，有 $L_0=v_0t_1-\frac{1}{2}a_Ct_1^2-\frac{1}{2}a_Bt_1^2$，

代入数据解得 $t_1=0.5$ s.

(2)碰撞前滑块 C 的速度大小为 $v_C=v_0-a_Ct_1$，

解得 $v_C=7.5$ m/s，

碰撞前滑块 B 的速度大小为 $v_B=a_Bt_1$，

解得 $v_B=1.5$ m/s，

C 与 B 碰撞过程动量守恒，设碰后速度大小分别为 v_{C1} 和 v_{B1}，根据动量守恒，有 $Mv_C+mv_B=Mv_{C1}+mv_{B1}$，

碰撞过程机械能守恒，有 $\frac{1}{2}Mv_C^2+\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}Mv_{C1}^2+\frac{1}{2}mv_{B1}^2$，

解得 $v_{C1}=3.5$ m/s，$v_{B1}=9.5$ m/s.

(3)碰后滑块 B、C 均减速，A 加速，设经时间 t_2，滑块 C 减速到与木板 A 的速度相同，滑块 B、C 减速的加速度大小均为 $a_C=5\ \text{m/s}^2$，设木板加速的加速度大小为 a_A'，由牛顿第二定律有 $\mu_2(M+m)g-\mu_1(M+2m)g=ma_A'$，

解得 $a_A'=11\ \text{m/s}^2$，

碰撞时木板 A 的速度大小 $v_A=v_B=1.5$ m/s，

A、C 速度相等时有 $v_A+a_A't_2=v_{C1}-a_Ct_2$，

解得 $t_2=0.125$ s，

设此段时间内 C、A 前进的位移分别为 x_{C1} 和 x_{A1}，根据位移—时间关系，有 $x_{C1}=v_{C1}t_2-\frac{1}{2}a_Ct_2^2$，$x_{A1}=v_At_2+\frac{1}{2}a_A't_2^2$，

代入数据解得 C 相对 A 滑动的距离为 $\Delta x=x_{C1}-x_{A1}=0.125$ m.

(4)设 A、C 共速时的速度为 v_{A2}，B 的速度为 v_{B2}，根据速度—时间关系，有 $v_{A2}=v_A+a_A't_2=2.875$ m/s，$v_{B2}=v_{B1}-a_Ct_2=8.875$ m/s，

之后 A、C 一起加速，B 减速，设再经时间 t_3，B 不再相对木板滑动. B 减速的加速度不变，仍为 $a_B'=5\ \text{m/s}^2$，

设 A、C 加速的加速度大小为 a_A''，根据牛顿第二定律有 $\mu_2mg-\mu_1(M+2m)g=(M+m)a_A''$，

解得 $a_A''=\frac{1}{3}\ \text{m/s}^2$，

三者速度相等时，有 $v_{A2}+a_A''t_3=v_{B2}-a_B't_3$，解得 $t_3=1.125$ s，

碰撞后瞬间到滑块 B 不再相对木板滑动经过的时间为 $\Delta t=t_2+t_3=1.25$ s.

第 9 章　静电场

第 1 节　电荷　库仑定律

刷基础

1. B　**考查点** ▸电荷

【解析】元电荷等于电子的电荷量，但元电荷不是电子，是带电荷量的最小单元，没有电性之说，当两个带电体的形状对它们的相互作用力的影响可忽略时，这两个带电体可看作点电荷，所以体积很小的带电体未必可以看作点电荷，A 错误；元电荷 e 的数值最早是由美国物理学家密立根通过实验测得的，B 正确；在与外界没有电荷交换的情况下，一个系统所带的电荷量总是守恒的（**易错点**：电荷守恒定律并不意味着带电系统一定和外界没有电荷交换），C 错误；静电感应不能使绝缘体带电，电子和质子所带电荷量相等，但它们的质量不相等，比荷不相等，D 错误.

2. C　**考查点** ▸感应起电

【解析】当开关 S_1、S_2 均断开时，由于静电感应的作用，导体 M 左端（近端）带负电，导体 N 右端（远端）带正电，A 错误；开关 S_1、S_2 均闭合时，导体 M 左端（近端）会感应异种电荷，带负电（**关键点**：近异远同），导体 N 右端通过接地线使金属导体右端带的正电荷被从大地上来的负电荷中和，所以金属导体 M 左端带负电，N 右端不再带有电荷，B 错误；只闭合开关 S_1 时，由于静电感应的作用，金属导体 N 右端带的正电荷会被从大地上来的负电荷中和，接着将导体 M、N 分开，再移走带电小球，金属导体 M 带负电，N 不再带有电荷（**易错点**：接地不会影响近端电荷分布），C

正确；只闭合开关 S_2 接着移走带电小球，电荷重新分布均匀，M、N 均不带电，最后将导体 M、N 分开，则导体 M 和 N 均不带电，D 错误.

3. ABD 考查点 ▸库仑定律

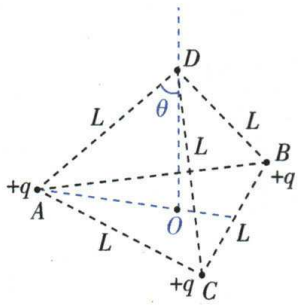
【解析】库仑力是电荷间的相互作用力，库仑力与电荷所带电荷量的多少、电荷间的距离有关，在探究库仑力的规律时，A、B 所带电荷量不一定相等，A 正确；A 对 B 的库仑力与 B 对 A 的库仑力是一对相互作用力，故大小相等，B 正确；两电荷间的库仑力与它们间的距离的二次方成反比，C 错误；用与 A 相同且不带电的金属圆片 C 与 A 接触后移开，则 C 与 A 所带电荷量均是原 A 所带电荷量的一半，因 A、B 间的库仑力与它们所带电荷量的乘积成正比，所以电子秤的示数将减半，D 正确.

4. D 考查点 ▸库仑定律

【解析】两个下夸克带同种电荷，故两者间的库仑力为斥力，大小为 $F=\dfrac{k\times\frac{e}{3}\times\frac{e}{3}}{r^2}=\dfrac{ke^2}{9r^2}$，A、B 错误；一个下夸克和一个上夸克带异种电荷，故两者间的库仑力为引力，大小为 $F=\dfrac{k\times\frac{2e}{3}\times\frac{e}{3}}{r^2}=\dfrac{2ke^2}{9r^2}$，C 错误，D 正确.

5. D 考查点 ▸静电力的叠加

【解析】设 A 点的带电小球对 D 的电场力与竖直方向的夹角为 θ，如图所示，则 $\cos\theta=\dfrac{\sqrt{L^2-\left(\frac{2}{3}\times\frac{\sqrt{3}}{2}L\right)^2}}{L}=\dfrac{\sqrt{6}}{3}$，根据平衡条件有 $3\dfrac{kQq}{L^2}\cos\theta=mg$，解得 $Q=\dfrac{\sqrt{6}mgL^2}{6kq}$，故选 D.



关键点拨　解决空间内静电力的叠加问题的注意事项

(1) 空间图形必要时利用三视图转换为平面图形；

(2) 根据电荷的正、负确定力的方向；

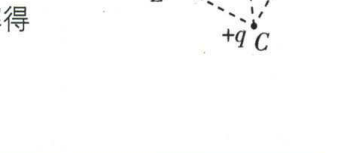
(3) 利用空间内的几何关系确定电荷之间的距离，力的方向可参考与 x、y、z 轴之间的角度.

6. AB 考查点 ▸带电小球的平衡问题

【解析】三个小球均处于静止状态，合力为零，则三个小球所带的电荷量总和为 0（关键点：整体法分析），如果 a、b 带正电，则 c 必带负电，A 正确；设小球 c 电荷量大小为 Q，匀强电场场强大小为 E，对小球 c，有 $2\cdot\dfrac{kQq}{L^2}\cdot\cos 30°=EQ$，解得 $E=\dfrac{\sqrt{3}kq}{L^2}$（方向与 a、b 连线垂直），B 正确；把三个小球作为整体，由题意知整体电场力合力为 0，所以整体电荷量为 0，由于 a、b 所带的电荷量均为 q 且为同种电荷，所以 c 所带电荷量的大小为 $2q$，C 错误；由于三个小球所带电荷的电性未知，故只能确定电场的方向垂直于 a、b 连线，不能确定匀强电场的具体方向，D 错误.

7. B 考查点 ▸带电小球的平衡问题、微元法

【解析】由几何关系可知，细线与水平方向的夹角为 45°，将带电金属圆环分成无数小段，每一小段带电荷量为 Δq，则每一小段在 P 点沿水平方向的场强大小为 $\Delta E=k\dfrac{\Delta q}{(\sqrt{2}R)^2}\cos 45°$，则 P 点的合场强大小为 $E=\sum\Delta E=\sum k\dfrac{\Delta q}{(\sqrt{2}R)^2}\cos 45°=\dfrac{\sqrt{2}kQ}{4R^2}$，对小球受力分析如图所示，根据受力平衡可得 $\tan 45°=\dfrac{mg}{qE}=1$，解得小球所带的电荷量为 $q=\dfrac{2\sqrt{2}mgR^2}{kQ}$，故选 B.

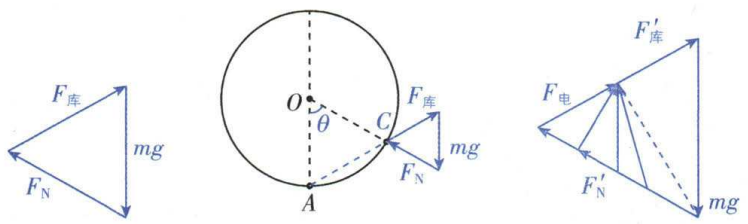


8. C 考查点 ▸库仑力、带电小球的平衡问题

【解析】因为 $\mu=0.5<\tan 37°=0.75$，欲使滑块静止于斜面上，必须增大其对斜面的压力，故滑块受到带电小球的库仑力为斥力，故滑块带正电，A 错误；无论将带电小球沿两者的连线靠近或者远离滑块，只要滑块处于静止状态，其所受斜面的静摩擦力总是与其重力沿斜面向下的分力等大反向，静摩擦力不变（关键点），B 错误；若远离滑块，库仑力随距离的增大而减小，滑块对斜面的压力减小，其最大静摩擦力减小，故有可能发生相对运动，C 正确；若靠近滑块，库仑力随距离的减小而增大，滑块对斜面的压力增大，其最大静摩擦力增大，故不可能发生相对运动，D 错误.

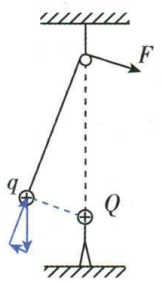
9. D 考查点 ▸带电体综合受力问题、动态平衡问题

【解析】由几何关系可知，两个小球之间的距离为 R，对小球 b 进行受力分析，如图甲所示，解得小球 b 所受的库仑力大小为 $F_{库}=mg$，根据库仑定律有 $F_{库}=k\dfrac{Qq}{R^2}$，联立解得小球 b 所带的电荷量为 $q=\dfrac{mgR^2}{kQ}$，A 错误；若小球 b 缓慢漏电，对小球 b 进行受力分析，如图乙所示，小球 b 将会沿着圆环缓慢下滑，设某时刻小球 b 处于 C 点，两个小球之间的距离为 x，由相似三角形可得 $\dfrac{mg}{R}=\dfrac{F_N}{R}=\dfrac{F_{库}}{x}$，随着 x 的减小，库仑力 $F_{库}$ 逐渐减小，圆环对小球 b 的支持力大小 F_N 不变（关键点：相似三角形法），B、C 错误；若小球 b 的电荷量减半，且仍能静止在 B 点，此时对小球 b 进行受力分析，如图丙所示，小球 b 所受的库仑力大小变为 $F'_{库}=\dfrac{1}{2}mg$，根据力的合成与分解可知，当静电力方向垂直于支持力 F'_N 向上时大小最小，根据共点力平衡有 $F_{电min}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}F'_{库}$，根据电场强度的定义式有 $E_{min}=\dfrac{F_{电min}}{\frac{1}{2}q}$，联立解得 $E_{min}=\dfrac{\sqrt{3}kQ}{2R^2}$，D 正确.



10. BD 考查点 ▸库仑力作用下的动态平衡问题

【解析】分析小球的受力情况，作出力的矢量关系图，在小球到达正点电荷的正上方过程中，力的矢量三角形与滑轮、小球、正点电荷构成的三角形相似. 令滑轮到正点电荷的距离为 h，小球到正点电荷的距离为 r，滑轮左侧的绳长为 l，q 所受库仑力为 F_1，小球重力为 G，由三角形相似，有 $\dfrac{F}{l}=\dfrac{G}{h}=\dfrac{F_1}{r}$，则有 $F_1=\dfrac{G}{h}r$，若 r



增大，则 F_1 增大；由库仑定律，有 $F_1=k\frac{Qq}{r^2}$，若 r 增大，则 F_1 减小，故 r 只能不变（**关键点：根据库仑力的性质和几何分析确定小球的运动情况**），即开始的一段运动，小球绕正点电荷做圆周运动，库仑力 F_1 大小不变，拉力 F 减小，当小球到达正点电荷的正上方后，再上升到靠近滑轮的过程中，小球受到的库仑力 F_1 减小，拉力 F 增大，A 错误，B 正确；在小球的运动过程中，拉力一直做正功，系统的重力势能和电势能的总和一直增大，C 错误；小球绕正点电荷做圆周运动的过程中，小球电势能不变，则拉力做的功等于小球重力势能的增量，D 正确.

易错警示 本题易忽略小球先做圆周运动，后沿直线向上靠近滑轮. 做题过程需注意当小球运动时，所受库仑力的大小和方向都有可能变化，因此需要借助图中的几何关系分析距离变化，通过相似三角形确定力的变化.

第 2 节　电场强度　电场力的性质

刷基础

1. C　**考查点**▸电场强度的基本概念

【解析】元电荷是最小的电荷量，即为 e，元电荷不是带电体，A 错误；电场强度与试探电荷无关（关键点），B 错误；由点电荷电场强度决定式 $E=k\frac{Q}{r^2}$ 知，点电荷周围某点的电场强度与 r 的二次方成反比，在 r 减半的位置上，电场强度变为原来的 4 倍，C 正确；由 $F=Eq$ 知，不同的电荷，在匀强电场中受力是不同的，D 错误.

2. BD　**考查点**▸带电粒子在异种点电荷形成电场中的运动

【解析】根据电场线方向可知 q_1 带正电，粒子运动受到的合力指向轨迹凹侧（关键点），可知粒子带负电，A 错误；根据电场线疏密可知 q_1 附近电场较强，则 q_1 的电荷量大于 q_2 的电荷量，A 点的场强小于 B 点的场强，B 正确，C 错误；粒子运动的速度沿运动轨迹切线方向，粒子从 A 点到 B 点时，电场力先做正功，再做负功，则动能先增大后减小，D 正确.

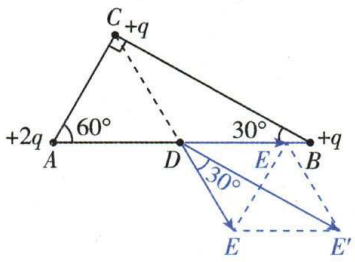
3. A　**考查点**▸电场强度的叠加法则、等效法求电场强度

【解析】图甲可以看作两个四分之一圆环，其在圆心产生的合场强大小为 E，而这两个四分之一的圆环分别产生的场强成 90°夹角，根据平行四边形定则，单个四分之一圆环产生的场强大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2}E$，图乙在圆心产生的场强可以等效为三个四分之一圆环产生的合场强，而关于圆心对称的两个四分之一圆环在圆心产生的合场强为零，所以剩余的是四分之一圆环在圆心产生的场强. 因为图甲、乙圆环所带的电荷量比为 1∶3，而图甲、乙圆环长度之比为 2∶3，所以图乙圆环的电荷量线密度是图甲的 2 倍，故图乙中四分之一圆环在圆心产生的场强大小为 $\sqrt{2}E$，故选 A.

关键点拨 本题中半圆环可利用对称性进行等效，解题过程中需注意圆环长度不同，电荷量不同.

4. D　**考查点**▸电场强度的叠加

【解析】由几何关系可知，$AD=CD=BD=r$，由题意知 C 点处的点电荷在 AB 连线中点 D 处的场强大小为 $E=k\frac{q}{r^2}$，方向沿 CD 方向斜向下，A、B 处的两个点电荷在 D 点产生的合场强 $E_{AB}=k\frac{2q}{r^2}-k\frac{q}{r^2}=k\frac{q}{r^2}=E$，方向沿 AB 连线向右，如图所示，所以 D 点处的合场强大小 $E'=2E\cos 30°=\sqrt{3}E$，故选 D.



5. AD　**考查点**▸等量同种点电荷中垂线上的电场强度

【解析】由图乙可知，A、B 左侧场强为正方向，可知 A、B 带等量负电荷，A 正确；沿电场线方向电势降低，可知 O 点处的电势高于 x_1 处的电势，可知正点电荷 q 在 O 点的电势能大于在 x_1 处的电势能，即在 x_1 处电势能不是最大的，B 错误；P 点左侧场强向右，正电荷从 O 点释放后被加速，P 点右侧场强向左，可知过了 P 点后正电荷做减速运动，则经过 P 点时速度最大，即点电荷 q 在 x_3 处动能不是最大的，C 错误；因 x_2 处对应 P 点，由对称性可知，点电荷从 O 点释放能运动到 P 点右侧距离 P 点 x_2 的位置，即点电荷 q 沿 x 轴正方向运动的最远距离为 $2x_2$，D 正确.

易错警示 **对 E-x 图像理解不到位而致错**

等量同种点电荷中垂线上的场强分布存在最大值，因此电荷在中垂线上 O 点由静止释放后电场力大小先增后减，跨过两电荷连线中点后，电场力反向，大小先增后减. 根据牛顿第二定律，点电荷加速度变化趋势与电场力变化趋势相同，但是点电荷速度无法突变，因此点电荷先做加速度先增后减的加速运动，再做加速度先增后减的减速运动，依据 E-x 图像与横轴所围面积为电势差，进而可以分析能量变化关系.

刷提分

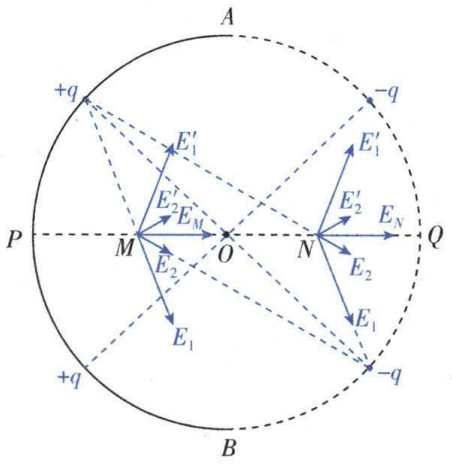
1. A　**突破点**▸电场强度的叠加

【解析】根据场强叠加原理可知，两个点电荷在 b 点的电场强度大小为 $E_{点b}=\frac{kq}{R^2}+\frac{kq}{9R^2}=\frac{10kq}{9R^2}$，方向由 a 指向 b，由题意可知，b 点的合电场强度大小为 $E=\frac{kq}{9R^2}$，方向由 b 指向 a，则 $E=E_{盘b}-E_{点b}$，解得圆盘在 b 点的电场强度大小为 $E_{盘b}=\frac{kq}{9R^2}+\frac{10kq}{9R^2}=\frac{11kq}{9R^2}$，由对称性可知圆盘在 b、d 两点产生的电场强度大小相等且方向相反，两个点电荷在 b、d 两点产生的电场强度大小相等且方向相同，根据电场叠加原理，可得出 d 点的电场强度大小为 $E_d=E_{盘d}+E_{点d}=\frac{11kq}{9R^2}+\frac{10kq}{9R^2}=\frac{7kq}{3R^2}=21E$，故选 A.

关键点拨 解答此类题目的关键在于利用圆盘上电荷形成的电场强度具有对称性的特点，根据已知点的电场强度和点电荷周围的电场强度进行叠加.

2. A　**突破点**▸电场强度的叠加

【解析】如图所示，把带正电的半圆弧形绝缘体和带负电的半圆弧形绝缘体分割成无限多个电荷量分别为 $+q$、$-q$ 的点电荷，关于 O 点对称的两正、负点电荷 $+q$、$-q$ 在 M、N 两点产生的电场强度都大小相等方向相同，如图中 E_1、E_2. 由对称性可知，M、N 两点的合电场强度 $E_M=E_N$，方向相同（关键点），都沿从 P 到 Q 方向. 同理，PQ 连线上的电场线方向为从 P 到 Q 方向，沿电场线方向电势逐渐降低，故有 $\varphi_M>\varphi_N$，故 M、N 两点的电场强度相同、电势不同，故选 A.



3. B **突破点** ▸等量同种、异种点电荷周围的电场强度分布

【解析】在 b、c 两点的等量异种点电荷形成的电场中，P 点和 O 点的电势相等，另外四个正电荷形成的电场中，在 P 点和 O 点的电势也相等，所以 $\varphi_P=\varphi_O$，A 错误；根据对称性，M、N 两点的正电荷形成的电场在 O 点场强为 0，同理，b、d 两点的正电荷在 O 点产生的场强也为 0，O 点场强等于 a、c 两点的等量异种点电荷在 O 点产生的场强，$E=2\times\frac{kQ}{(\sqrt{2}L)^2}=\frac{kQ}{L^2}$，B 正确；将一带负电的检验电荷沿着直线 PS 从 P 点移动到 S 点的过程中，b、c 两点的等量异种点电荷形成的电场对其不做功，再根据对称性，另外四个正电荷对此负电荷的电场力先做正功再做负功，C 错误；同理，将一带正电的检验电荷沿着直线 PS 从 P 点移动到 S 点的过程中，电场力先做负功再做正功，D 错误.

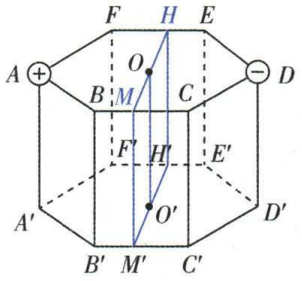
关键点拨 解答此题的关键在于将六个独立的点电荷看作两组等量同种点电荷、一组等量异种点电荷的组合，利用等量同种点电荷和等量异种点电荷的电场强度和电势规律快速解题.

4. A **突破点** ▸均匀带电导体棒周围的电场强度分布

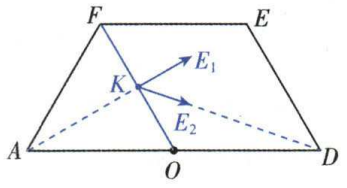
【解析】设电荷量为 q、$2q$、$3q$ 的微粒所在位置对应的电场强度分别为 E_1、E_2、E_3，由平衡条件得 $E_1=\frac{mg}{q}$，$E_2=\frac{mg}{2q}$，$E_3=\frac{mg}{3q}$，即 $E_1:E_2:E_3=\frac{1}{1}:\frac{1}{2}:\frac{1}{3}$，而它们到导体棒的距离之比总是 1∶2∶3，可知某点电场强度的大小与该点到导体棒的距离成反比. 则 关键点 任意一点的电场强度大小表达式可写成 $E=\frac{k}{r}$（k 为常量），由于电子绕导体棒做匀速圆周运动，则 $e\frac{k}{r_A}=m'\frac{v_A^2}{r_A}$，$e\frac{k}{r_B}=m'\frac{v_B^2}{r_B}$，解得 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{1}{1}$，故选 A.

5. A **突破点** ▸三维空间中的电场强度叠加

【解析】由两等量异种点电荷产生的电场的对称性可知，F' 点与 C' 点的电场强度大小相等，A 正确；由两等量异种点电荷产生的电场的对称性可知，B' 点与 E' 点的电场强度方向不相同，B 错误；根据等量异种点电荷所形成的电场的特性可知，将 O 点与 O' 点连接，可知 OO' 连线的电势为 0，分别作 OO' 的平行线 HH' 和 MM'，如图甲所示，可知平面 $HH'M'M$ 的电势为 0，因为 A' 到平面 $HH'M'M$ 的距离与 D' 到平面 $HH'M'M$ 的距离相等，根据等量异种点电荷的电场分布规律可知，两点与平面 $HH'M'M$ 间的平均电场强度相等，则根据 $U=\bar{E}d$，A' 点与 O' 点的电势差等于 O' 点与 D' 点的电势差，同理，可知 A' 点与 F' 点的电势差小于 A' 点与 O' 点的电势差，所以 A' 点与 F' 点的电势差小于 O' 点与 D' 点的电势差，C 错误；正六棱柱上半表面（部分）如图乙所示，由几何关系可知，正电荷在 OF 中点 K 的场强方向垂直于 OF，负电荷在 K 点的场强方向指向 D 点，则 K 点的合场强与 OF 的夹角为锐角，而 F 点的合场强与 OF 的夹角为钝角，因此将试探电荷 $+q$ 由 F 点沿直线移动到 O 点，电场力先做负功后做正功，其电势能先增大后减小，D 错误.



甲



乙

方法总结 在三维空间内电场强度合成时，电场强度之间的角度易出错，解题过程中应灵活选用三视图，依据平面图内的几何关系利用平行四边形定则进行合成.

第 3 节　电势　电场能的性质

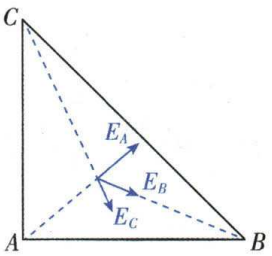
刷基础

1. D **考查点** ▸电势、等势面

【解析】带电导体是个等势体，内部电势与表面电势处处相等，A 点 关键点 的电势等于 B 点的电势，A 错误；B 点处的电场线比 C 点处的电场线密集，则 B 点的电场强度大于 C 点的电场强度，B 错误；若一正试探电荷从 B 点移到 D 点，电场力做的功大于从 B 点移到 E 点做的功，则有 $qU_{BD}>qU_{BE}$，可得 $U_{BD}=\varphi_B-\varphi_D>U_{BE}=\varphi_B-\varphi_E$，可得 $\varphi_E>\varphi_D$，则 E 点的电势高于 D 点的电势，C 错误；若一负试探电荷从 D 点移到 E 点，电场力做负功，电势能增大，则负试探电荷在 D 点的电势能小于在 E 点的电势能（**易错点：**负电荷在电势低的地方电势能更大，解决电势能增大、减小问题建议利用电场力做功判断），D 正确.

2. A **考查点** ▸电势能

【解析】由题图可知，A、B 两点的正、负电荷在 E 点的电势之和为 0，C 点的正电荷在 E 点的电势为正，可知 E 点的电势为正，可知负试探电荷在 E 点的电势能小于 0，A 正确；A、C 两点的正电荷在 F 点的电势之和为正，B 点的负电荷在 F 点的电势为负，因小于 A、C 两点的正电荷的电势，可知 F 点电势为正，则负试探电荷在 F 点的电势能小于 0，B 错误；在三角形内部任取一点，其电场强度如图所示，由图可知，合电场强度都是指向右侧的，合场强不可能为 0，C 错误；若将正试探电荷从 F 点移到 D 点，电场力做正功，电势能减小，可知在 D 点的电势能小于其在 F 点的电势能，D 错误.



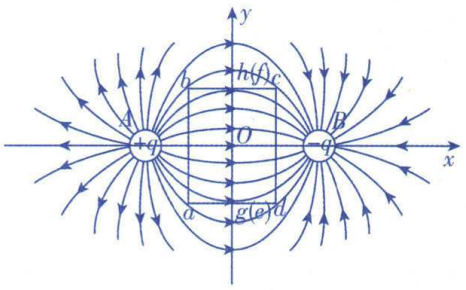
3. D **考查点** ▸点电荷的等势面、电势能

【解析】根据点电荷电场线的分布情况可知，A、B、C 三点的电场强度大小相等、方向不同，而场强是矢量，则 A、B、C 三点的电场强度不同（**易错点：**电场强度是矢量），A 错误；A、B、C 三点处于同一等势面上，电势相同，由于 A、B、C 三点所在的等势面为球面，所以平面 ABC 不是等势面，B 错误；若将试探电荷 $+q$ 自 A 点沿 x 轴负方向移动，该试探电荷受到沿着 x 轴负方向的吸引力，

则电场力对该试探电荷做正功，其电势能将减小，C 错误；若在 A、B、C 三点放置三个点电荷，任意两个点电荷对 $-Q$ 的电场力的合力与第三个点电荷对 $-Q$ 的电场力不在同一直线上，所以三个点电荷对 $-Q$ 的电场力的合力不可能为 0，D 正确.

4. A 考查点 ▸ 等量异种点电荷电势

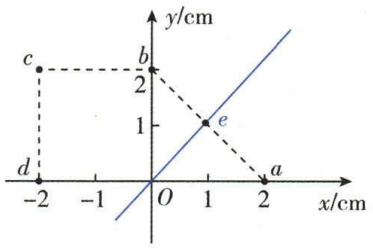
【解析】由于等量异种点电荷电场与电势分布的图像具有对称性，假设 A 点为正电荷，B 点为负电荷，根据等量异种点电荷的电场线分布规律可知，$abcd$ 所在平面中电场分布如图所示，



根据题目描述，$eghf$ 所在平面为 AB 的中垂面，电势都为 0，所以 关键点 e、f 两点的电势相等且为 0，A 正确；将一电荷由 e 点沿 $eghf$ 移到 f 点，由于 $eghf$ 所在平面为电势为 0 的等势面，所以在移动电荷的过程中电场力始终不做功，B 错误；因为 g 点和 O 点的电势相等且均为 0，所以将一电荷由 a 点分别移到 g 点和 O 点的过程中电势差相等，则电场力做功相等，电势能变化量相等，C 错误；因为场强是既有大小又有方向的矢量，根据上述图像可知，a、b 两点的电场强度方向不同，D 错误.

5. D 考查点 ▸ 电场强度和电势差的关系

【解析】由于是匀强电场，所以沿同一方向前进相同距离，电势差相等，故 $\varphi_b-\varphi_c=\varphi_a-\varphi_O$，代入数据解得 $\varphi_c=10$ V，A 错误；点电荷在 c 点的电势能 $E_{pc}=\varphi_c q=-2\times10^{-4}$ J，B 错误；沿电场线方向电势降低，其中 $\varphi_a<\varphi_b$，则匀强电场的方向不是从 a 指向 b，C 错误；由于是匀强电场，所以沿同一方向前进相同距离，电势差相等，可知 ab 中点 e 的电势为 $\varphi_e=6$ V，连接 Oe 则为等势线，如图所示，由几何关系可知，ab 垂直于 Oe，则 ab 为一条电场线，且方向由 b 指向 a，电场强度大小为 $E=\dfrac{U_{be}}{d_{be}}=\dfrac{8-6}{\sqrt{2}\times10^{-2}}$ V/m $=100\sqrt{2}$ V/m，D 正确.



易错警示 本题核心考点为利用等分法求电场强度，将电势最高点和电势最低点连接后根据需要平分成若干段，找到与已知的第三个点的电势相等的点，这两个等势点的连线即等势线（或等势面），与等势线（或等势面）垂直的线即为电场线.

刷提分

1. D 突破点 ▸ $\varphi-x$ 图像、E_k-x 图像

【解析】沿电场线方向电势逐渐降低，电场线的疏密表示电场强度的大小，从 O 到 A 场强先增大后减小，由于 $\varphi-x$ 图像的切线斜率绝对值表示电场强度的大小，则从 O 到 A 的电势随位移的变化图像的切线斜率绝对值先增大后减小，A、B 错误；根据动能定理可得 $qEx=\Delta E_k=E_k-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，可知 E_k-x 图像的切线斜率表示电场力，由于电荷带正电，从 O 到 A 电场力做正功，电荷的动能增大，且 E_k-x 图像的切线斜率先增大后减小，C 错误，D 正确.

2. B 突破点 ▸ 电势变化与电场线分布的关系

【解析】电场线越密集的地方，场强越大，则中性粒子 C 附近电场强度比中性粒子 D 附近的大，A 错误；正离子在高压电场的作用下，从针状电极 A 向环形电极 B 运动，则电场方向向右，沿着电场线，电势逐渐降低，则电极 A 的电势高于电极 B 的电势，根据 $E_p=q\varphi$ 可知，正离子在电势高的位置电势能较大，则同一正离子的电势能在电极 A 附近比在电极 B 附近大，B 正确，D 错误；碰撞期间系统动量守恒，机械能不一定守恒，C 错误.

3. D 突破点 ▸ 电势的叠加

【解析】由于电势为标量，由题意可知，每个小立方体在 O 点的电势相等为 $\varphi_3=\dfrac{\varphi_1}{8}$，A 错误；上层四个小立方体在 P 点的电势和为 $\varphi_4=4\varphi_3=\dfrac{1}{2}\varphi_1$，下层四个小立方体在 P 点的电势和为 $\varphi'=\varphi_2-\varphi_4=\varphi_2-\dfrac{1}{2}\varphi_1$，下层一个小立方体在 P 点产生的电势为 $\varphi_5=\dfrac{\varphi'}{4}=\dfrac{\varphi_2}{4}-\dfrac{\varphi_1}{8}$，B 错误；现撤去下层一个小立方体，则 O 点电势为 $\varphi_6=7\varphi_3=\dfrac{7}{8}\varphi_1$，C 错误；撤去下层一个小立方体，则 P 点电势 $\varphi_P=\varphi_4+3\varphi_5=\dfrac{1}{8}\varphi_1+\dfrac{3}{4}\varphi_2$，D 正确.

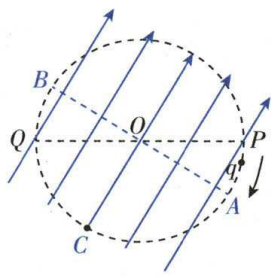
关键点拨 电势为标量，没有方向，则根据对称性，上层四个小立方体在 P 点的电势相等，下层四个小立方体在 P 点的电势相等.

4. B 突破点 ▸ 电势差与电场强度的关系

【解析】电场强度沿 x 轴方向的分量为 $E_x=\left|\dfrac{\Delta\varphi_x}{\Delta x}\right|=\dfrac{6-0}{(3-0)\times10^{-2}}$ V/m $=200$ V/m，电场强度沿 y 轴方向的分量为 $E_y=\left|\dfrac{\Delta\varphi_y}{\Delta y}\right|=\dfrac{6-0}{(4-0)\times10^{-2}}$ V/m $=150$ V/m，电场强度大小为 $E=\sqrt{E_x^2+E_y^2}=250$ V/m，故选 B.

5. AC 突破点 ▸ 带电体在匀强电场中的圆周运动

【解析】由图乙可知当小球运动距离为 $\dfrac{2\pi L}{3}$ 时，转过的角度 $\theta=\dfrac{2}{3}\pi$，此时电势能最大，则圆周上电势能最大的位置即为该点，电场线方向垂直于该点的切线方向，如下图所示，小球转过 $\dfrac{\pi}{6}$ 的位置所在的直径与圆周的交点为同一等势面上的点（图中虚线 AOB 为等势线）. 关键点



可知小球转过 $\dfrac{\pi}{6}$ 的过程中 $U_{PA}=\varphi_P-\varphi_A=\dfrac{E_{pP}}{q}-\dfrac{E_{pA}}{q}=-\dfrac{0.5E_{p0}}{q}$，电场

强度的大小为 $E=\left|\frac{U_{PA}}{L\sin\frac{\pi}{6}}\right|=\frac{E_{p0}}{qL}$，A 正确；由对称性可知 Q 点的电势满足 $\varphi_Q-\varphi_O=\varphi_O-\varphi_P$，从 P 点到 Q 点电场力对小球做功为 $W_{PQ}=(\varphi_P-\varphi_Q)q=-E_{p0}$，B 错误；带电小球恰好能在桌面内沿顺时针做圆周运动，运动路程为 $\frac{2}{3}\pi L$ 时速度取得最小值，此时电场力提供小球做圆周运动的向心力，即 $Eq=m\frac{v_{min}^2}{L}$，解得 $v_{min}=\sqrt{\frac{E_{p0}}{m}}$，C 正确；小球运动路程为 $\frac{5}{3}\pi L$ 时细线拉力取得最大值，此时速度也最大，根据动能定理有 $Eq\cdot 2L=\frac{1}{2}mv_{max}^2-\frac{1}{2}mv_{min}^2$，在该点处合外力提供向心力，即 $F_{拉}-Eq=m\frac{v_{max}^2}{L}$，解得 $F_{拉}=\frac{6E_{p0}}{L}$，D 错误.

第 4 节　静电的应用　电容器

刷基础

1. A　考查点 尖端放电

【解析】等差等势面密集的地方电场强度大，则 A、B、C 三个位置中 A 点处的电场强度最大，A 正确；积雨云的底部积聚负电荷，根据静电感应可知避雷针的针尖带正电，B 错误；图中的虚线为等势面，则 B、A 两点间的电势差等于 B、C 两点间的电势差，C 错误；等势面与电场线垂直，且从带正电的避雷针的针尖指向带负电的云层，则空气中一电子由 B 点运动到 C 点，逆着电场线运动，电场力做正功，电势能减少，D 错误.（关键点）

2. C　考查点 静电屏蔽、等差等势面

【解析】电工服是用金属丝织成的金属网制成的，对外部电场能起到屏蔽作用，A 错误；在 c、d、e、f 四点中，f 点的等差等势面最密集，则 f 点的场强最大，B 错误；在 e 点由静止释放一个电子，它会向 d 点所在高等势面运动，C 正确；c、d 两点的电势差为 5 V，且 c 点电势较高，则将一个电子由 c 移到 d，电场力所做的功为 −5 eV，D 错误.

3. AD　考查点 静电的应用、电场力做功和电势能的关系

【解析】非导体分子中的电子和原子核结合得相当紧密，电子处于束缚状态. 当非导体接触电极时，非导体分子中的电子与原子核之间只能做微观的相对移动，产生“极化”现象，使得非导体和外电场垂直的两个表面上分别出现正、负电荷，这些正、负电荷的数量相等，但不能离开原来的分子，根据图中所示可知，左边矿粒发生了接触起电现象，右边矿粒发生了“极化”现象，即左边矿粒是导体，右边矿粒是非导体，A 正确；结合上述可知，左边矿粒是导体，由于接触起电，导体矿粒带正电，所受电场力方向向上，导体矿粒在电场力作用下向极板 b 运动，电场力做正功，电势能减少，D 正确；右边矿粒是非导体，由于矿粒与高压带电极板 a 直接接触，电场对非导体矿粒下表面的负电荷的电场力大于电场对非导体矿粒上表面的正电荷的电场力，即非导体矿粒所受电场力合力方向向下，非导体矿粒在电场力的作用下将聚集在极板 a 上，非导体矿粒不会向极板 b 运动，B、C 错误.（关键点）（关键点）

4. C　考查点 电容器的动态问题（Q 不变）

【解析】M、N 间的电场强度大小 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，从位置“1”到位置“2”，$S$ 变大，其余各量不变，所以 M、N 间的电场强度变小，A 错误；从位置“2”到位置“4”，d 减小，其余各量不变，但 E 与 d 无关，所以 M、N 间的电场强度不变，B 错误；从位置“1”到位置“2”，M、N 间的距离 d 不变，而 M、N 间的电场强度变小，由 $U=Ed$ 可知，M、N 间的电势差变小，而 N 板电势始终是 0，且 M 板带正电，电势高于 N 板电势，所以该过程中 M 板电势降低，C 正确；从位置“2”到位置“4”，M、N 间的距离 d 减小，而 M、N 间的电场强度不变，由 $U=Ed$ 可知，M、N 间的电势差变小，而 N 板电势始终是 0，且 M 板带正电，电势高于 N 板电势，所以该过程中 M 板电势降低，D 错误.

方法总结　电容器的动态问题分析思路

（1）U 不变

①根据 $C=\frac{Q}{U}=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，先分析电容的变化，再分析 Q 的变化.

②根据 $E=\frac{U}{d}$，分析场强的变化.

③根据 $U_{AB}=Ed_{AB}$，分析某点电势的变化.

（2）Q 不变

①根据 $C=\frac{Q}{U}=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，先分析电容的变化，再分析 U 的变化.

②根据 $E=\frac{U}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，分析场强变化.

5. BC　考查点 电容器的动态分析

【解析】保持开关闭合，即电容器两端的电压 U 不变，若将电容器上极板右移少许，正对面积减小，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4k\pi d}$，可知电容减小，根据 $Q=CU$，可知两极板所带电荷量减少，A 错误；保持开关闭合，若将电容器上极板下移少许，两板间的距离减小，根据 $E=\frac{U}{d}$，可知电场强度增大，故电场力增大，所以带电微粒向上移动，B 正确；断开开关，电容器的电荷量不变，若上极板左移少许，正对面积减小，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4k\pi d}$，可知电容减小，根据 $Q=CU$，可知电压 U 增大，根据 $U=Ed$，可知电场强度增大，设 P 点与下极板的电势差为 U'，则有 $U'=Ed'$，因电场强度增大，故 U' 增大，根据 $U'=\varphi-\varphi_{下}$，下极板接地，即电势为 0，故 P 点的电势升高，C 正确；断开开关，若上极板上移少许，两极板间的距离增大，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，$Q=CU$，$U=Ed$，可得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，可知此时电场强度不变（关键点：$Q$ 不变时，电容器极板间的电场强度和极板间距无关），故带电微粒仍处于静止状态，D 错误.

6. BC　考查点 电容式液位计

【解析】根据电容的决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，在液面升高的过程中，两极板间填充电介质增加，即电容器的电容增大，A 错误；根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，由于电容器电压不变，电容增大，则电容器的电荷量增加，电容器充电，有从右到左的电流通过灵敏电流计 G，B、C 正确；电容器两板间应绝缘，液体换成氯化钠水溶液，整个电路将短路，不能用于测量液面的升降，D 错误.（关键点）

7. D 考查点▸电容器的动态分析、加速度电容传感器

【解析】根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，电介质插入极板间越深，相对介电常数 ε_r 越大，则电容器的电容越大，A 错误；汽车向右做匀加速直线运动的过程中，加速度不变，汽车向左做匀速直线运动的过程中，加速度为 0，这两种情况下弹簧的长度都保持不变，即电介质插入极板间的深度一定，则极板间的相对介电常数一定，电容器电容一定，电容器与供电电源连接，极板间电压一定，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，极板所带电荷量一定，即电路中没有充电电流或者放电电流，B、C 错误；在汽车向右做加速度增大的加速运动的过程中，加速度方向向右，大小逐渐增大，可知弹力方向向右，大小逐渐增大，弹簧处于拉伸状态，弹簧长度增大，即电介质插入极板间的深度增大，则极板间的相对介电常数增大，电容器电容增大，电容器与供电电源连接，极板间电压一定，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，极板所带电荷量增加，即电路中有充电电流，根据题图可知，电容器上极板带正电，则电路中有顺时针方向的充电电流，D 正确.

8. C 考查点▸电容振动检测仪

【解析】当被测物体向右运动时，两板间的距离变小，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，电容 C 增大，由于极板间电压 U 不变，根据 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，电容器带电荷量 Q 增加，A 错误；被测物体振动时，两极板间距离 d 变化，由于 U 不变，根据电场强度 $E=\frac{U}{d}$ 可知，E 一定变化，B 错误；灵敏电流计的电流方向由 b 到 a，与电容器充电时电路中的电流方向相反，说明电容器放电，电容器带电荷量 Q 减少，由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，电容 C 减小，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知，两极板间距离变大，被测物体向左运动，C 正确；检测结束，断开开关，电容器通过电阻 R 放电，由于开关断开前右极板接电源正极，带正电荷，故此时有由 b 到 a 的放电电流，D 错误.

9. A 考查点▸电容器串联

【解析】电容器 C_1、C_2 串联并充电后，由于电容器 C_1 的 B 板与 C_2 的 C 板的总电荷量为 0，所以 C_1 的 B 板所带的负电荷与 C_2 的 C 板所带正电荷的电荷量相等，所以两电容器的带电荷量相等. 根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$、$C=\frac{Q}{U}$、$E=\frac{U}{d}$，可得 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，两电容器内电场线疏密程度和方向均相同，故选 A.

易错警示 本题的易错点在于不能正确认识到 C_1 的 B 板所带的负电荷与 C_2 的 C 板所带正电荷的电荷量相等，从而无法根据公式 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 推导出两电容器内场强相同.

第 5 节　带电粒子在电场中的运动

刷提分

1. D 突破点▸多级直线加速器

【解析】若漂移管用绝缘材料制成，则加速缝隙间无法形成电场，质子无法加速，A 错误；质子在每个管内运动的时间相等，在漂移管间做加速运动，所以漂移管应越来越长，B 错误；电源的周期为 $T=\frac{1}{f}=1\times10^{-7}$ s，漂移管 B 的长度为 $L_B=v_B\cdot\frac{T}{2}=8\times10^6\times\frac{1\times10^{-7}}{2}$ m=0.4 m，C 错误；由题图可知，质子从管 B 到管 E 被加速了 3 次，由动能定理得 $3qU=\frac{1}{2}mv_E^2-\frac{1}{2}mv_B^2$，求得 $U=6\times10^4$ V，D 正确.

2. D 考查点▸带电粒子在有界匀强电场中的运动

【解析】由题意可知，所有粒子在区域Ⅰ、Ⅱ电场中的运动对称，所以所有粒子离开区域Ⅱ时速度方向都沿 x 轴正方向，A 错误；由区域Ⅰ电场最高点进入电场的粒子经过 O 点时的速度偏角最大，在两电场中运动的时间最长，该粒子经过 O 点时，由 $\tan45°=\frac{v_y}{v_0}$，可得 $v_y=v_0$，在区域Ⅰ电场中运动时，有 $4L=\frac{1}{2}v_y t_0$，$x_0=v_0t_0$，解得 $x_0=8L$，所以该粒子在两电场中运动的时间 $t=2t_0=\frac{2x_0}{v_0}=\frac{16L}{v_0}$，对这一粒子有 $4L=\frac{1}{2}at_0^2=\frac{1}{2}\times\frac{Eq}{m}t_0^2$，解得 $E=\frac{mv_0^2}{8qL}$，B、C 错误；对进入区域Ⅰ电场的任意粒子有 $y=\frac{1}{2}at_1^2$，$-x=v_0t_1$，联立可解得 $y=\frac{x^2}{16L}$，D 正确.

3. C 突破点▸带电粒子在匀强电场中的直线运动、简谐运动

【解析】根据题意可知，粒子运动到 O 点时速度最大，由动能定理有 $E_1q|x|=\frac{1}{2}mv_m^2$，解得 $v_m=\sqrt{\frac{2E_1q|x|}{m}}=4$ m/s，A 错误；根据题意可知，设粒子运动到原点右侧最远点时电势最低为 φ，运动过程中只有电场力做功，由能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_m^2=\varphi\cdot(-q)$，解得 $\varphi=-1.6$ V，B 错误；粒子在 $x<0$ 区域电场中单程运动的时间为 $t_1=\frac{|x|}{\frac{v_m}{2}}=0.2$ s，粒子在 $x>0$ 区域电场中受电场力 $F_2=E_2\cdot(-q)=-4\times10^{-5}x$ N$=-kx$，则 $k=4\times10^{-5}$ N/m，粒子在 $x>0$ 区域电场中做简谐运动（关键点：回复力和物体运动位移满足 $F=-kx$，物体做简谐运动），根据简谐运动周期公式有 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=\frac{\sqrt{5}\pi}{5}$ s，粒子运动周期为 $T=2t_1+\frac{T_2}{2}=\frac{4+\sqrt{5}\pi}{10}$ s，C 正确；设从 O 点向右最远运动距离为 x'，由动能定理有 $\frac{1}{2}mv_m^2=\frac{1}{2}qE_2\cdot x'$，解得 $x'=\frac{2\sqrt{10}}{5}$ m，D 错误.

4. (1) $\sqrt{\frac{2U_0q}{m}}$　(2) $2U_0$　(3) $\frac{L}{4}\leqslant y_Q\leqslant\frac{3L}{4}$

突破点▸飞行时间质谱仪、带电粒子在周期性变化的电场中运动

【解析】(1) 加速过程，由动能定理得 $U_0q=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $v=\sqrt{\frac{2U_0q}{m}}$.

(2) 水平方向做匀速运动，有 $L=vt$，

解得 $t=\frac{L}{2}\sqrt{\frac{2m}{U_0q}}$,

竖直方向做匀加速运动,有 $\frac{L}{2}=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{U_{CD}q}{Lm}t^2$,

解得 $U_{CD}=2U_0$.

(3)由(2)可知,离子通过偏转电场的时间刚好为 T,

考虑 $0\sim\frac{T}{2}$ 内离子全程匀加速的偏转 $\Delta y=\frac{1}{2}\times\frac{2U_0q}{Lm}\times\left(\frac{T}{2}\right)^2=\frac{L}{8}$,

入射偏转电场时间 $t=nT(n=0,1,2,\cdots)$,离子向下偏转最大 $\Delta y_1=2\Delta y=\frac{L}{4}$,

入射偏转电场时间 $t=(2n+1)\frac{T}{2}(n=0,1,2,\cdots)$,离子向上偏转最大 $\Delta y_2=2\Delta y=\frac{L}{4}$,

所以,探测头坐标 y_Q 的范围为 $\frac{L}{2}-\Delta y_1\leqslant y_Q\leqslant\frac{L}{2}+\Delta y_2$,

即 $\frac{L}{4}\leqslant y_Q\leqslant\frac{3L}{4}$.

5. (1)正电 $\sqrt{\frac{2qU}{m}}$ (2)$\frac{2U}{E_1}$ (3)$\sqrt{\frac{U}{E_2d_2}}$

(4)$d_1\sqrt{\frac{2m}{qU}}+\frac{\pi}{E_1}\sqrt{\frac{mU}{2q}}+\sqrt{\frac{2md_2}{E_2q}}$

突破点 静电分析器、带电粒子在电场中运动

【解析】(1)根据粒子在静电分析器中所受电场力指向圆心,即沿电场线方向,故粒子带正电;

在加速电场中,根据动能定理,有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$,

解得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$.

(2)粒子在静电分析器中,根据牛顿第二定律,有 $qE_1=\frac{mv^2}{R}$,

解得 $R=\frac{2U}{E_1}$.

(3)粒子在偏转电场中,在水平方向做匀加速直线运动,根据牛顿第二定律,有 $qE_2=ma_3$,

根据运动学公式,有 $d_2=\frac{1}{2}a_3t_3^2=\frac{E_2q}{2m}t_3^2$,

在竖直方向做匀速直线运动,速度大小为 $v_y=v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$,

在水平方向的末速度大小为 $v_x=a_3t_3=\sqrt{\frac{2E_2qd_2}{m}}$,

所以,粒子打在 Q 点时速度与水平方向夹角的正切值为 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\sqrt{\frac{U}{E_2d_2}}$.

(4)在加速电场中,根据运动学公式可知 $d_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2$,

根据牛顿第二定律可知,加速度大小为 $a_1=\frac{qU}{md_1}$,

解得 $t_1=d_1\sqrt{\frac{2m}{qU}}$,

在静电分析器中,为匀速圆周运动的四分之一,则 $\frac{\pi R}{2}=vt_2$,

解得 $t_2=\frac{\pi}{E_1}\sqrt{\frac{mU}{2q}}$,

在偏转电场中,有 $d_2=\frac{E_2q}{2m}t_3^2$,

解得 $t_3=\sqrt{\frac{2md_2}{E_2q}}$,

所以粒子在电场中运动的总时间为 $t=t_1+t_2+t_3=d_1\sqrt{\frac{2m}{qU}}+\frac{\pi}{E_1}\sqrt{\frac{mU}{2q}}+\sqrt{\frac{2md_2}{E_2q}}$.

专题 10　粒子运动轨迹与电场分布的相互判断

刷·难关

1. D **突破点** 电场线和粒子运动轨迹的相互判断

【解析】由带电粒子的运动轨迹可知,带电粒子受的电场力指向轨迹内侧,沿着电场线的方向,所以带电粒子带正电,A 错误;根据运动的轨迹可以判断受力的方向,但不能判断运动的方向一定是从 M 点运动到 N 点(关键点),B 错误;假设带电粒子从 M 到 N 沿着电场线的方向运动,电场力做正功,带电粒子的电势能减小,动能增大,所以粒子在 M 点的动能小于它在 N 点的动能,C 错误;电场线密的地方电场强度大,电场线疏的地方电场强度小,由图可知,N 点的场强大小大于 M 点的场强大小,在 N 点的受力大于在 M 点的受力,所以粒子在 M 点的加速度小于它在 N 点的加速度,D 正确.

2. BD **突破点** 电场线和粒子运动轨迹

【解析】根据题图,左端接电源负极,右端接地,所以电场线方向从右指向左,根据曲线运动的特点,带电粒子所受电场力指向轨迹内侧,即右侧,根据电场力方向和电场方向的关系可知,粒子带负电,A 错误;根据题图可知,P 点处的电场线比 Q 点处的电场线密集,所以 P 点处的电场强度大于 Q 点处的电场强度,根据电场力公式,带电粒子在 P 点所受的电场力大于在 Q 点所受的电场力,因为带电粒子仅在电场力作用下运动,根据牛顿第二定律有 $qE=ma$,可知带电粒子在 P 点的加速度大于在 Q 点的加速度,B 正确;沿着电场线的方向,电势降低,电场中 P 点的电势低于 M 点的电势,C 错误;从 P 点到 Q 点,电场力做正功,电势能减小,即带电粒子在 P 点的电势能大于在 Q 点的电势能,D 正确.

3. C **突破点** 电场线、等势面与粒子运动轨迹

【解析】由于电场方向不确定,则粒子所受电场力方向与电场强度方向的关系也不确定,即粒子的电性不确定,A 错误;粒子做曲线运动的合力(电场力)沿电场线指向轨迹内侧,所以两粒子受到的合力与速度方向夹角为锐角,合力做正功,两粒子动能都增大,B 错误;M、N 两点之间任意位置电场线分布均比 N、Q 两点之间任意位置密集一些,则 M、N 两点之间任意位置电场强度均比 N、Q 两点之间任意位置大,根据 $U=Ed$,可知 M、N 两点电势差 $|U_{MN}|$ 大于 N、Q 两点电势差 $|U_{NQ}|$,C 正确;根据动能定理,有 $q_aU_{NQ}=\Delta E_{ka}$,$q_bU_{NM}=\Delta E_{kb}$,根据上述分析,M、N 两点电势差 $|U_{MN}|$ 大于 N、Q 两点电势差 $|U_{NQ}|$,由于两粒子所带电荷量大小关系不确定,则 a 到达等势面 3 的动能变化量与 b 到达等势面 1

的动能变化量大小关系也不能够确定，D 错误.

关键点拨 涉及带电粒子在电场中运动的问题，需特别注意粒子的正负、电场的方向. 题目中信息不明确时，要进行分类讨论. 涉及做功或加速度问题，需考虑粒子的电荷量和质量关系.

4. D **突破点** 根据带电粒子的运动轨迹判断电势高低和能量转化情况

【解析】金属球壳处于静电平衡状态，内部电场强度处处为 0，故 A 错误；根据带负电的粒子运动轨迹可知，其所受电场力方向指向轨迹凹侧，场强方向与粒子所受电场力方向相反，则金属球壳右半部分一定带正电，金属球壳整体呈电中性，故左半部分一定带负电，故 B 错误；金属球壳右半部分带正电，电场方向是从左向右，则 b 点电势高于 a 点，故 C 错误；因负电荷在电势低处电势能大，故该粒子在 a 点的电势能一定大于其在 b 点的电势能，故 D 正确.

5. CD **突破点** 电场线与粒子运动轨迹

【解析】由于 M 点的电场线稀疏，N 点的电场线密集，故 M 点的电场强度小于 N 点的电场强度，A 错误；沿电场线的方向，电势逐渐降低，故 M 点的电势高于 N 点的电势，B 错误；设该电场中某一点的电场强度为 E，根据牛顿第二定律，有 $qE=ma$，解得 $a=\frac{qE}{m}$，由于茶叶的比荷大于茶梗的比荷，可知在任何同一位置茶叶的加速度大于茶梗的加速度，水平方向都做加速运动，即在相等时间内，茶叶的水平位移大于茶梗的水平位移，可知茶叶落入右桶，茶梗落入左桶，C 正确；设茶梗 P 落入桶底速度大小为 v，由题意，初速度大小 $v_0=1\ \text{m/s}$，茶梗 P 从 O 点到落入桶底过程中，由动能定理，可知 $mgh+qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，代入数据，解得 $v=5\ \text{m/s}$，D 正确.

关键点拨 做题过程中注意茶梗 P 的运动轨迹为从 O 点落入桶内，求解电场力做功时需注意初末位置的电势差，做题时易忽略题中桶底电势为 0.

6. BD **突破点** 点电荷周围的电场、等势面与粒子运动轨迹

【解析】由点电荷电场强度公式 $E=k\frac{Q}{r^2}$，可知离点电荷越近，电场强度越大，再由牛顿第二定律 $a=\frac{F_{合}}{m}=\frac{qE}{m}$，可知离子 M、N 在运动过程中加速度先增大后减小，离子 M、N 做非匀变速曲线运动，A 错误；由题图可判定 M 在从 a 到 p 运动过程中，静电力做正功，动能增大，而 N 在从 a 到 q 运动过程中，静电力做负功，动能减小，所以 M 在 p 点的速率一定大于 N 在 q 点的速率，B 正确；由题图可知离子 N 受到固定点电荷的斥力，而离子 M 受到固定点电荷的引力，故两离子的电性一定不同，b、c 两点位于同一等势面，b、c 两点的电势相等，根据电势能 $E_p=q\varphi$，可知 M 在 b 点的电势能不等于 N 在 c 点的电势能，C 错误；由题图可知 q 点离固定点电荷更近一些，离子 N 在从 q 向 c 运动过程中静电力做正功的值大于离子 M 从 p 向 b 运动过程中静电力做负功的值，故 M 从 p 到 b 过程电势能的增加量一定小于 N 从 q 到 c 过程电势能的减少量，D 正确.

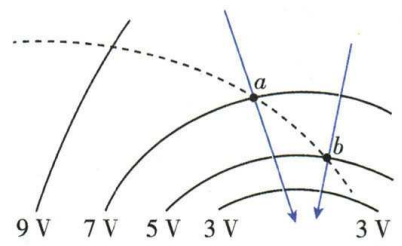
7. D **突破点** 等势面和运动轨迹

【解析】根据粒子所受电场力指向曲线轨迹的凹侧可知，电场力方向向下，电场线方向由高电势指向低电势，二者方向相反，则粒子带负电，A 错误；等差等势面越密集的地方场强越大，故 M 点的电场强度比 N 点的电场强度大，B 错误；粒子带负电，因为 M 点的电势高于 N 点的电势，故粒子在 M 点的电势能小于在 N 点的电势能，C 错误；由于带电粒子仅在电场力的作用下运动，电势能与动能总和不变，故可知粒子从 M 点运动到 N 点的过程中，其电势能先增大后减小，动能先减小后增大，D 正确.

关键点拨 等势面反映电势能的特点，要分析粒子在电场中运动需结合电场线分析电场力的大小和方向.

8. C **突破点** 等势面和运动轨迹

【解析】等差等势面越密集的地方场强越大，故 a 点的电场强度比 b 点的小，A 错误；电场线与等势面垂直，且指向低等势面，如图所示为 a、b 两点电场强度的方向（**关键点：**根据等势面画出电场线），可知 a、b 两点电场强度的方向不同，B 错误；曲线运动的合力方向指向曲线的凹侧，合力与电场强度方向相同，质子从 a 点运动到 b 点，力与速度的夹角为锐角，所以电场力做正功，C 正确；根据 $E_p=q\varphi$，可知质子处于 a、b 两点时，其电势能在 a 点时较大，D 错误.



方法总结 **粒子运动轨迹和电场分布的互判方法**

(1) 电场力方向指向轨迹的凹侧.

(2) 电场强度大小看疏密，电势高低看顺逆.

(3) 若静电力与速度方向成锐角，则静电力做正功，电势能减少；若静电力与速度方向成钝角，则静电力做负功，电势能增加.

9. D **突破点** 等势面和运动轨迹

【解析】相邻等势面间电势差相等，等差等势面越密集，场强越大，则电子从 O 点运动到 Q 点的过程中，场强先变大后变小，则电子受到的电场力先增大后减小，加速度先增大后减小，A 错误；根据曲线运动的合力指向轨迹的凹侧，且场强方向与等势面垂直，可知电子受到的电场力垂直于等势面向右，所以电场力与速度方向的夹角小于 90°，则电场力对电子做正功，电子的动能增大，速度一直增大，B 错误；由于电场力对电子做正功，则电子电势能减少，电子在 O 点的电势能比在 Q 点的电势能大，C 错误；由于相邻等势面间电势差相等，则有 $U_{OP}=U_{PQ}$，根据 $W=qU$ 可知，从 O 点到 P 点电场力做的功等于从 P 点到 Q 点电场力做的功，D 正确.

10. D **突破点** 粒子运动轨迹和电场线、等势面的互判

【解析】根据电子的运动轨迹，结合电子轨迹要夹在合力和速度之间，且合力指向轨迹的凹侧，可判断点电荷 A 带正电，A 错误；电场线的疏密可表示电场强度的大小，由图可判断 $E_M<E_N$，B 错误；根据沿电场线方向电势逐渐降低，由题图可知 $\varphi_M>\varphi_N$，C 错误；电子从 M 点运动到 N 点，根据 $W_{MN}=eU_{MN}=e(\varphi_M-\varphi_N)<0$，可知电场力对电子做负功，电子的电势能增加，D 正确.

专题 11　电场的图像问题

刷 难关

1. C　突破点 ▸ 等量异种点电荷周围的电场分布

【解析】根据等量的正、负点电荷的电场特点，可知 A、B 连线上 O 点场强最小，根据牛顿第二定律，可知正点电荷的加速度应先减小后增大，由于加速度与速度方向同向，则速度增大，结合 $v-t$ 图像的斜率可知应为 C 图，故选 C.

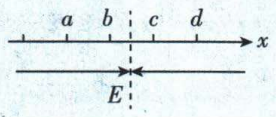
2. B　突破点 ▸ 库仑定律、动量守恒定律

【解析】由 $v-t$ 图像，可知 B 球先做减速运动，A 球做加速运动，两球带同种电荷，两球组成的系统动量守恒（关键点：水平面光滑无外力，两球组成的系统动量守恒），设 $t=0$ 时刻，B 球速度为 v_0，由图像可知 t_2 时刻，B 球速度为 0，设此时 A 球速度为 v_A，根据动量守恒定律，可得 $m_Bv_0=0+m_Av_A$，又 $v_A<v_0$，联立可得 $m_A>m_B$，A 错误；由 $v-t$ 图像，可知在 t_1 时刻两球速度相等，此时两球距离最近，故 t_1 时刻两球所组成的系统电势能最大，动能最小，B 正确；由 $v-t$ 图像，可知在 t_1 时刻两球速度相等，此时两球距离最近，两球间的库仑力最大，加速度最大（关键点），C 错误；由 $v-t$ 图像，可知 B 球在 $0\sim t_3$ 内速度先减小后增大，则动能先减小后增大，D 错误.

3. A　突破点 ▸ $\varphi-x$ 图像

【解析】由图可知 a、d 两点电势相等，根据 $E_p=q\varphi$，可知粒子在 d 点的电势能等于在 a 点的电势能，B 错误；$\varphi-x$ 图像斜率表示电场强度（关键点），由图可知 b 点与 c 点的电场强度方向相反，根据 $F=qE$，可知粒子在 b 点与在 c 点所受电场力方向相反，C 错误；根据沿着电场线方向电势降低可知，在 d 点电场方向为 x 轴负方向，粒子带正电，则粒子受到沿 x 轴负方向的电场力，即粒子将沿 x 轴负方向运动，粒子仅受电场力，则粒子的动能和电势能之和恒定，根据 B 选项分析，可知粒子在 d 点的电势能等于在 a 点的电势能，则粒子在 d 点的动能等于在 a 点的动能，均为 0，即粒子将在 a、d 之间做周期性运动，不能到达 O 点，A 正确，D 错误.

快解　根据沿电场线方向电势降落最快的特点，定性描绘出 x 轴正方向上电场线的走势，根据电场线的方向和 $\varphi-x$ 图线的斜率，分析粒子的运动.

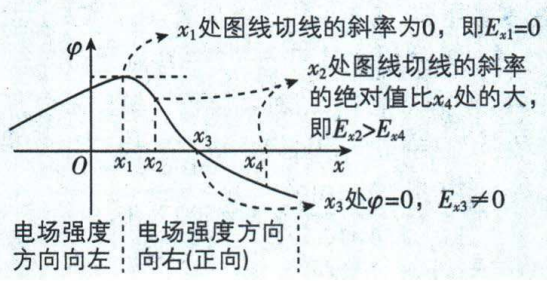


4. AB　突破点 ▸ $\varphi-x$ 图像

【解析】$\varphi-x$ 图像某点切线斜率的绝对值表示电场强度大小，根据图像可知，C 点电场强度为 0，点电荷 q_2 与 C 点的间距小于点电荷 q_1 与 C 点的间距，根据点电荷的电场强度的表达式，由电场强度的叠加，可知点电荷 q_1 的电荷量的绝对值大于点电荷 q_2 的电荷量的绝对值（关键点：沿 x 轴正方向到无穷远处电势为正值，可说明正电荷的电荷量大于负电荷的电荷量），由于沿电场线方向电势降低，则 O 到 M 的电场线方向沿着 x 轴正方向，又由于电场线起源于正电荷（或无穷远），终止于负电荷（或无穷远），所以 q_1 为正电荷，q_2 为负电荷，A 正确；由于沿电场线方向电势降低，则 C 点右侧的电场线沿着 x 轴正方向，由于 $\varphi-x$ 图像某点切线斜率的绝对值表示电场强度的大小，可知沿着电场线方向的电场强度先增大后减小，所以将一个正电荷从 C 点右侧附近由静止释放，该电荷将沿着 x 轴正方向做加速度先增大后减小的加速直线运动，B 正确；结合上述，q_1 为正电荷，q_2 为负电荷，根据 $\varphi=k\frac{q}{r}$，由于电势为标量，空间某点的电势等于各点电荷在该点电势的代数和，可知撤去 q_2 后，C 点的电势将增大，C 错误；由于沿电场线方向电势降低，则 M、C 之间的电场线方向沿着 x 轴负方向，C 点右侧的电场线沿着 x 轴正方向，若将一个负电荷在 N 点由静止释放，则该电荷先向右做加速运动，后向右做减速运动，由于 N 点电势为 0，x 轴正方向无穷远处电势也为 0，根据动能定理，可知若将一个负电荷在 N 点由静止释放，该电荷将一直向右运动，D 错误.

方法总结　$\varphi-x$ 图像

利用 $\varphi-x$ 图像可以直接判断各点电势的高低，并可根据电势关系确定电场强度的方向，进而可以判断电荷在电场中的受力方向.



5. C　突破点 ▸ $E-x$ 图像

【解析】粒子在 O 点由静止释放，刚好能沿 x 轴正方向运动到 $x=x_3$ 处，粒子先做加速运动后做减速运动，故粒子带正电，A 错误；粒子从 $x=x_1$ 到 $x=x_2$ 的过程中，电场力一直做正功，电势能减少，所以粒子在 $x=x_1$ 处的电势能大于 $x=x_2$ 处的电势能，B 错误；从 O 点到 $x=x_1$ 处，$E-x$ 图线与横坐标轴所围的面积 $\frac{E_0x_1}{2}$ 表示 O 点到 $x=x_1$ 处的电势差，从 O 点到 $x=x_1$ 处，由动能定理，得 $q\frac{E_0x_1}{2}=E_k$，故在 $x=x_1$ 处的动能为 $\frac{qE_0x_1}{2}$，C 正确；设 O 点到 $x=x_2$ 之间的电势差为 U_1，$x=x_3$ 到 $x=x_2$ 之间的电势差为 U_2，由动能定理，得 $qU_1-qU_2=0$，可得 $U_1=U_2$，O 点到 $x=x_2$ 之间的电势差与 $x=x_3$ 到 $x=x_2$ 之间的电势差相等，D 错误.

6. A　突破点 ▸ $E-x$ 图像

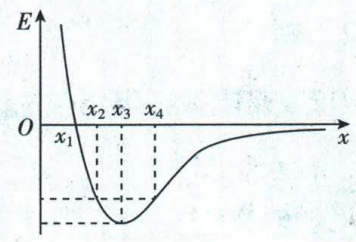
【解析】$E-x$ 图像与 x 轴围成的面积表示电势差，由图可知，从 $-x_0$ 处到 x_0 处之间的电势差为 0，电场力做功为零，所以电子到 x_0 处速度为 v_0，沿 $+x$ 方向，能越过 x_0 处，A 正确；在 O 点左侧，电场强度方向为 x 轴负方向，在 O 点右侧，电场强度方向为 x 轴正方向，由于沿电场线方向电势逐渐降低，所以 O 点为电势最高点，B、C 错误；由 $E-x$ 图像与横轴所围面积可知，O 点与 $-x_0$ 处之间的电势差为 $U_1=E_0x_0$，O 点与 $0.5x_0$ 处之间的电势差为 $U_2=\frac{1}{2}\times2E_0\times0.5x_0=\frac{1}{2}E_0x_0$，所以 $-x_0$ 处电势小于 $0.5x_0$ 处电势，根据 $E_p=q\varphi$，由于电子带负电，所以电子在 $-x_0$ 处电势能大于在 $0.5x_0$ 处，D 错误.

方法总结　$E-x$ 图像

(1) $E-x$ 图像描述的是电场强度 E 随位置 x 变化的情况.

(2) 可由纵坐标的变化直接确定场强的变化，根据正、负值可判定场强方向.

(3) 图像与横轴围成的面积表示电势差.



7. D 突破点▸电场的图像问题、带电体在电场中的运动

【解析】由于电子所受的电场力的方向与电场强度方向相反，所以电子向圆心运动，电场强度逐渐增大，根据 $F=eE$，可知电子受到的电场力逐渐增大，电场力对电子做正功，动能增大，故电子的速度逐渐增大，根据牛顿第二定律，可知 $a=\frac{eE}{m}$，电子的加速度也是逐渐增大，$v-t$ 图像斜率在增大，A、B 错误；根据 $E_p=eEx$，电子向圆心运动，电场强度增大，E_p-x 图线的斜率绝对值增大，C 错误；根据 $\varphi=\frac{E_p}{e}$，$E_p=eEx$，解得 $\varphi=Ex$，电子向圆心运动，逆着电场线运动，电势升高，电场强度增大，$\varphi-x$ 图线的斜率增大，D 正确.

8. C 突破点▸$F-q$ 图像

【解析】由图像可知，在 A 点放正电荷时，所受电场力沿 x 轴正方向，可知 A 点的场强沿 x 轴正方向，在 B 点放负电荷时，所受电场力沿 x 轴正方向，可知 B 点的场强沿 x 轴负方向，可知点电荷 Q 在 A、B 之间，且带负电，A 错误；根据图像可知，B 点的电场强度大小为 $E_B=\left|\frac{F_B}{q_B}\right|=\frac{2\times10^{-3}}{4\times10^{-6}}\ \text{N/C}=500\ \text{N/C}$，B 错误；$A$ 点的电场强度大小为 $E_A=\frac{F_A}{q_A}=\frac{4\times10^{-3}}{2\times10^{-6}}\ \text{N/C}=2\ 000\ \text{N/C}$，设点电荷 Q 与 A 点的距离为 Δx，则 $E_A=k\frac{Q}{(\Delta x)^2}=2\ 000\ \text{N/C}$、$E_B=k\frac{Q}{(0.3\ \text{m}-\Delta x)^2}=500\ \text{N/C}$，解得 $\Delta x=0.1\ \text{m}$，可知点电荷 Q 的位置坐标为 $x=0.3\ \text{m}$，C 正确；A 点距离点电荷 Q 比 B 点近，可知 A 点电势低于 B 点电势，D 错误.

9. D 突破点▸电场的图像问题

【解析】$\varphi-x$ 图像的斜率反映的是电场强度，$-x_0\sim0$ 段电场强度为定值，方向沿 x 轴负方向，$0\sim x_0$ 段电场强度为 0，$x_0\sim2x_0$ 段电场强度大小与 $-x_0\sim0$ 段相同，方向沿 x 轴正方向，A 错误；$-x_0\sim0$ 段电子所受电场力为恒力，沿 x 轴正方向做匀加速直线运动，速度 v 随时间 t 均匀增大，$0\sim x_0$ 段做匀速直线运动，$x_0\sim2x_0$ 段做匀减速直线运动，速度 v 随时间 t 均匀减小，B 错误；$-x_0\sim0$ 段电场力做正功，电势能减小，C 错误；根据动能定理 $qEx=E_k$，可知 $-x_0\sim0$ 段电场力是恒力，做正功，动能均匀增加，$0\sim x_0$ 段做匀速直线运动，动能不变，$x_0\sim2x_0$ 段做匀减速直线运动，动能均匀减小，D 正确.

10. ABD 突破点▸E_p-x 图像、带电粒子在电场中的运动

【解析】根据 $W=F\Delta x=-\Delta E_p$，可知 E_p-x 图像的斜率的绝对值表示电场力大小，在 $0\sim x_0$ 范围内斜率不变，电场力不变，加速度不变，则粒子在 $0\sim x_0$ 范围内做匀加速直线运动，A、B 正确；粒子的电势能减小了 E_{p0}，根据能量守恒定律，有 $E_{p0}=E_k=\frac{1}{2}mv^2$，解得粒子离开电场时的速度大小 $v=\sqrt{\frac{2E_{p0}}{m}}$，C 错误；根据 $x_0=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{F}{m}t^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{E_{p0}}{mx_0}t^2$，解得粒子在电场中运动的时间为 $t=\sqrt{\frac{2mx_0^2}{E_{p0}}}$，D 正确.

专题 12　带电体在电场中的运动

刷难关

1. B 突破点▸带电体在电场中的直线运动、动能定理

【解析】带正电的物体从 A 点到 B 点的过程中，减小的动能中有 $\frac{3}{5}$ 转化为电势能，可知克服电场力做功与克服摩擦力做功之比为 3∶2；则从 B 点到速度减为 0 的过程中，克服电场力做功与克服摩擦力做功之比仍然为 3∶2，B 点动能为 $E_{kB}=E_{kA}\times\frac{4}{5}=80\ \text{J}$，从 B 点到速度减为 0，动能减小量为 80 J，则克服摩擦力做功为 $W_f=E_{kB}\times\frac{2}{5}=32\ \text{J}$，对物体从 B 点向右运动到返回 B 点的过程运用动能定理，电场力做功为 0，则有 $-2W_f=E'_{kB}-E_{kB}$，解得 $E'_{kB}=16\ \text{J}$，B 正确.

2. AD 突破点▸求恒力的冲量、带电体在匀强电场中的直线运动

【解析】滑块沿斜面上滑的最大距离为 5 m，对下滑过程有 $v^2=2ax$，得加速度大小 $a=4\ \text{m/s}^2$，由牛顿第二定律，有 $mg\sin37°-\mu mg\cos37°=ma$，得 $\mu=0.25$，A 正确；上滑过程中，有 $v_m^2=2a_1x_1=2a_2x_2$，得 $a_2=4a_1$，上滑过程中，由牛顿第二定律，电场存在时有 $qE-mg\sin37°-\mu mg\cos37°=ma_1$，撤去电场后有 $mg\sin37°+\mu mg\cos37°=ma_2$，联立解得 $a_1=2\ \text{m/s}^2$、$a_2=8\ \text{m/s}^2$、$E=1\times10^5\ \text{N/C}$，B 错误；由 $v_m^2=2a_1x_1$，求得 $v_m=4\ \text{m/s}$，故电场力的最大瞬时功率为 $P_m=qEv_m=40\ \text{W}$，C 错误；电场力作用时间为 $t_1=\frac{v_m}{a_1}=2\ \text{s}$，则冲量大小为 $I=qEt_1=20\ \text{N}\cdot\text{s}$，D 正确.

3. D 突破点▸带电体在匀强电场中做类抛体运动

【解析】小球在水平方向与竖直方向的初速度分别为 $v_{x0}=v_0\cos53°=6\ \text{m/s}$，$v_{y0}=v_0\sin53°=8\ \text{m/s}$（关键点：将速度分解为沿电场力方向和竖直方向，分别求解），B 点为轨迹的最高点，所以在 B 点竖直速度为 0，由 $v_{y0}=gt$，可得 $t=\frac{v_{y0}}{g}=0.8\ \text{s}$，A 错误；小球水平方向的加速度为 $a_x=\frac{qE}{m}=5\ \text{m/s}^2$，小球在 B 点速度为 $v_x=v_{x0}+a_xt=10\ \text{m/s}$，B 错误；$D$、$E$ 两点高度相等，小球从 D 点到 E 点重力做功为 0，电场力做正功，所以 E 点速度大于 D 点速度，C 错误；小球从 A 点到 C 点的时间为从 A 点到 B 点的时间的 2 倍，则到 C 点时，水平速度为 $v_{xC}=v_{x0}+a_x\cdot2t=14\ \text{m/s}$，则小球落地时速度方向与水平方向的夹角正切值为 $\tan\beta=\frac{v_{y0}}{v_{xC}}=\frac{8\ \text{m/s}}{14\ \text{m/s}}=\frac{4}{7}<\frac{4}{3}$，故小球落地时速度方向与水平方向的夹角小于 53°，D 正确.

4. D 突破点▸圆弧轨道模型、带电体在匀强电场中的圆周运动

【解析】当小球通过 D 点时，设速度为 v，由牛顿第二定律，得 $mg-\frac{\sqrt{2}}{2}F=m\frac{v^2}{R}$，小球通过 D 点后水平方向做匀变速直线运动，落地时恰好落在 B 点，即 $x=vt-\frac{1}{2}a_xt^2=0$，根据牛顿第二定律，得 $\frac{\sqrt{2}}{2}F=ma_x$，竖直方向做匀加速直线运动，即 $2R=\frac{1}{2}a_yt^2$，根据牛顿第二定律，得 $mg-\frac{\sqrt{2}}{2}F=ma_y$，又 $F=qE$，联立解得 $E=\frac{\sqrt{2}mg}{2q}$，A 错误；由 A 到 D 的过程，由动能定理，得 $qEL\cos45°-2mgR+qE\cdot2R\sin45°=\frac{1}{2}mv^2$，联立解得 $L=2.5R$，B 错误；在 D 点由重力和电场力的竖直分力的合力提供向心力，则 $mg-\frac{\sqrt{2}}{2}F=m\frac{v^2}{R}$，解得过 D 点的速度为 $v=\frac{\sqrt{2gR}}{2}$，C 错误；A、B 两点的电势差为 $U_{AB}=EL\cos45°=\frac{5mgR}{4q}$，D 正确.

方法总结 解决带电体在等效重力场中的圆周运动的方法

(1)把电场和重力场组合为一个新的场——等效重力场;

(2)确定等效最高点和等效最低点——等效重力和圆周运动轨迹的交点;

(3)确定等效重力加速度:$g'=\frac{\text{等效重力}}{\text{物体质量}}$;

(4)根据圆周运动规律、能量守恒定律等求解.

5. D 考查点 静电场中的功能关系

【解析】小圆环恰能静止在(1 m,1 m)处,则小圆环受到的电场力沿 x 轴正方向,小圆环从释放到运动到(0,0)处,由动能定理得 $-qE\cdot 3\ \text{m}+mg\cdot 9\ \text{m}=\frac{1}{2}mv^2$,解得 $v=2\sqrt{15}\ \text{m/s}$,C 错误;小圆环在(-3 m,9 m)处和(3 m,9 m)处重力势能相等,在(-3 m,9 m)处电势能大,所以不能运动到(-3 m,9 m)处,A 错误;小圆环运动到(1 m,1 m)处时做曲线运动,速度一定变化,加速度不为零,B 错误;设小圆环运动到(-1 m,1 m)处时的速率为 v_1,由动能定理得 $-qE\cdot(3+1)\ \text{m}+mg\cdot(9-1)\ \text{m}=\frac{1}{2}mv_1^2$,解得 $v_1=0$,即小圆环恰好运动到(-1 m,1 m)处,克服电场力做功最多,小圆环的机械能最小,D 正确.

6. ABD 突破点 碰撞、带电小球在电场中运动的多过程问题

【解析】以水平向右为正,设 P_1 经时间 t_1 与 P_2 碰撞,则 $t_1=\frac{L_0}{v_0}=T$,由图像可知 $0\sim t_1$ 这段时间内 AB 区域内场强为 0,P_1 以速度 v_0 与 P_2 碰撞,由题意知,碰撞后小球 P_1 的速度为 $v_1=\frac{2v_0}{3}$(水平向左),P_1、P_2 碰撞,设碰撞后 P_2 的速度为 v_2,由动量守恒定律有 $m_1v_0=m_1\left(-\frac{2}{3}v_0\right)+m_2v_2$,解得 $v_2=\frac{v_0}{3}$(水平向右),故 P_1 向左运动的最大距离 $x_m=\frac{v_1^2}{2a_1}$,又根据牛顿第二定律,有 $qE_0=m_1a_1$,联立解得 $x_m=\frac{L_0}{3}$,所需时间 $t_2=\frac{v_1}{a_1}=\frac{L_0}{v_0}$,A、B 正确,C 错误;假设 P_1、P_2 碰撞后又经时间 Δt 在 OB 区间内再次发生碰撞,且 P_1 所受电场力不变,即 $x_1=x_2$,由运动学公式有 $-v_1\Delta t+\frac{1}{2}a_1(\Delta t)^2=v_2\Delta t$,解得 $\Delta t=\frac{3L_0}{v_0}=3T$,$P_1$ 所受电场力不变,对 P_2 分析,有 $x_2=v_2\Delta t=\frac{1}{3}v_0\cdot\frac{3L_0}{v_0}=L_0<L=\frac{4L_0}{3}$,所以假设成立,两球能在 OB 区间内再次发生碰撞,D 正确.

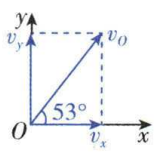
7. (1)10 m/s (2)1.6 s (3)25.2 m

突破点 带电体在电场中运动的多过程问题

【解析】(1)从 A 到 O,根据动能定理得 $(Eq-mg)(R+R\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_O^2-\frac{1}{2}mv_A^2$,

解得小球在 O 点的速度大小为 $v_O=10\ \text{m/s}$.

(2)小球进入第一象限后将速度沿 x 轴和 y 轴方向分解,如图所示,



x 轴方向的速度为 $v_x=v_O\cos 53°=6\ \text{m/s}$,

y 轴方向的速度为 $v_y=v_O\sin 53°=8\ \text{m/s}$,

小球再次回到 x 轴时的时间为 $t=2\frac{v_y}{g}=1.6\ \text{s}$.

(3)水平方向加速度为 $a_2=\frac{E_0q}{m}=20\ \text{m/s}^2$,

小球在电场中水平方向运动的最远距离为 $x_1=R+R\cos\theta=7.2\ \text{m}$,

设离开电场时的时间为 t',则 $x_1=v_xt'+\frac{1}{2}a_2t'^2$,

解得 $t'=0.6\ \text{s}<1.6\ \text{s}$,

故小球离开电场时还未到 x 轴,

接下来小球在水平方向做匀速直线运动,则小球出电场后在水平方向运动的距离为 $x_2=(v_x+a_2t')(t-t')=18\ \text{m}$,

则小球第二次经过 x 轴的横坐标 $x=x_1+x_2=7.2\ \text{m}+18\ \text{m}=25.2\ \text{m}$.

实验 7 观察电容器的充、放电现象

刷实验

1. (1)D (2)a b (3)不变 变长

考查点 电容器的充、放电过程及其特点

【解析】(1)电容器充电过程中,电容器极板所带电荷量逐渐增多,充电电流逐渐减小(易错点),电源提供的电能一部分转化为内能,一部分储存于电容器中,A、C 错误;电容器放电过程中,电容器极板所带电荷量逐渐减少,电容器极板间电压逐渐减小,电容器储存的电能逐渐减少,B 错误,D 正确.

(2)电容器上极板与电源正极相连,所以电容器上极板带正电,当放电时,放电电流由上极板经电阻 R 流向下极板,所以经过电阻 R 的电流方向为从 a 到 b.

(3)i-t 图像与横坐标轴围成的面积表示电荷量,将电阻 R 换成阻值更大的电阻,重新给电容器充电,由于电容器的电容不变,电容器两极板间的电压不变,仍等于电源的电动势,根据 $Q=CU$,可知电容器电荷量不变,即 i-t 图像与横坐标轴围成的面积保持不变. 因为电阻变大,所以充电电流变小,根据 $Q=It$,可知充电时间 t 将变长.

方法总结 电容器充放电实验整体简单,考题常对充放电的实验操作、电流方向、电荷量关系进行考查. 做题过程中需注意:

(1)充、放电过程电流方向相反.

(2)充、放电过程中 I-t 图像斜率绝对值都是越来越小.

(3)I-t 图像与 t 轴所围面积表示电荷量 Q.

(4)与电容器串联的电阻,不影响电容器最终充、放电的电压和电荷量,会影响充、放电电流和充、放电时间.

2. (1)①1 800 ②$b\to a$ ③D (2)5 5.4×10^{-2} (3)变长

考查点 观察电容器充、放电现象

【解析】(1)①由图 2 可知电阻箱接入电路的阻值为 $R=(1\times1\,000+8\times100+0\times10+0\times1)\ \Omega=1\,800\ \Omega$.

②由电路图可知,充电后电容器右极板带正电,左极板带负电,则放电过程流过电流传感器的电流方向为 $b\to a$.

③已知灵敏电流计电流从左端流入时指针向左偏转,则开关 S 掷于 2 时,电容器进行放电,灵敏电流计电流从右端流入;刚开始由于电容器极板电压最大,所以放电电流最大,随着电容器所带电荷量的逐渐减小,电容器极板电压逐渐减小,则放电电流逐渐减小为 0;可知观察到灵敏电流计指针偏转情况是迅速偏到右边并慢慢回到正中,D 正确.

(2)电容器充完电后极板间的电压为 $U_m=9\ \text{V}$,由于两电容器为并

联关系，所以放电时相当于两相同电源并联，电动势为 $U_m=9$ V；则图 3 中图线与纵轴的交点坐标为 $I_m=\frac{U_m}{R}=\frac{9}{1\,800}$ A$=5$ mA；根据 $q=It$ 可知，图线与横轴所围的面积等于两电容器充完电所带的总电荷量，则有 $S=Q_{总}=2CU_m=2\times3\,000\times10^{-6}\times9$ C$=5.4\times10^{-2}$ C.

(3)若电容器充满电后，增大电阻箱的阻值，放电电流与原来相比减小，则放电时间变长.

全章素养提升

刷情境

1. AB 创新点▸静电矿料分选器

【解析】矿粉 a 带正电，且落入左侧收集器，则矿粉 a 受到向左的电场力，电场方向水平向左，所以 N 板带正电，M 板带负电，M 的电势比 N 的电势低，A、B 正确；矿粉在电场中所受电场力均对矿粉做正功，所以矿粉 a、b 的电势能均减小，C、D 错误.

2. BC 创新点▸加速度传感器

【解析】当手机在水平面内以沿 NM 方向的加速度 a 运动时，N 板所受合力方向向右，N 板将压缩弹簧，两极板间距增大，令极板间距为 d，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k_0 d}$，可知电容器的电容变小，A 错误；电容器充电后与电源断开，极板所带电荷量一定，根据 $C=\frac{Q}{U}$，$E=\frac{U}{d}$，解得 $E=\frac{4\pi k_0 Q}{\varepsilon_r S}$，可知 M、N 板间的电场强度不变，B 正确；加速运动前有 $C_0=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k_0 d_0}$，$C_0=\frac{Q}{U_0}$，加速运动之后有 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k_0 d}$，$C=\frac{Q}{U}$，$N$ 板所受外力的合力等于弹簧压缩后的弹力，则有 $2k(d-d_0)=ma$，解得 $U=U_0\left(1+\frac{ma}{2kd_0}\right)$，C 正确，D 错误.

3. ABC 创新点▸自动体外除颤器、带电粒子在电场中的运动

【解析】当心脏发生房颤时产生的电荷量减少而不能达到所需的电压值，AED(自动体外除颤器)则在人体外加强电场，使心脏兴奋时的电荷量恢复正常值，即必须在人体左侧形成更多的正电荷，右侧形成更多的负电荷，贴片 1 为正极，贴片 2 为负极，A 正确；实施抢救过程中，电子从人体的左侧移动到右侧，B 正确；实施抢救过程中，人体心脏的电场对移动电荷做负功，电荷移动是外界电场对其做正功导致的，C 正确；抢救成功后，人体心脏的电场强度变强，D 错误.

4. C 创新点▸膜电位、带电粒子在匀强电场中的直线运动

【解析】正一价钠离子做匀减速直线运动，刚好到达 B 点，即到达 B 点时速度为 0，由 $0-v_0^2=-2ad$，解得加速度大小 $a=\frac{v_0^2}{2d}$，A 错误；由牛顿第二定律，可知 $Ee=ma$，联立解得 $E=\frac{mv_0^2}{2ed}$，B 错误；由动能定理，可得 $(\varphi_a-\varphi_b)e=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 B 点电势为 $\varphi_b=\varphi_a+\frac{mv_0^2}{2e}$，C 正确；钠离子在 B 点电势能为 $E_b=\varphi_a e+\frac{mv_0^2}{2}$，D 错误.

刷真题

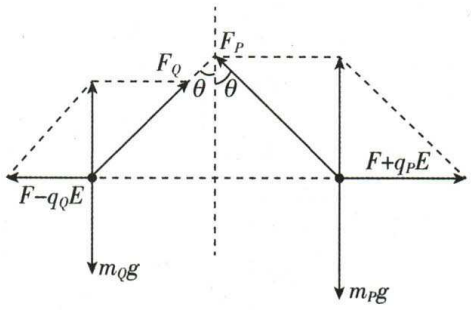
刷小题

1. B 命题点▸静电场的电场线

【解析】静电场中电场线不相交、不闭合，A、C 错误，B 正确；若电场线相互平行，应等间距，D 错误.

2. B 命题点▸库仑定律与力学的综合

【解析】设细绳与竖直方向的夹角均为 θ，两球之间的库仑力大小为 F，将两球的库仑力与电场力合成为一个力，将四力平衡转化为三力平衡，如图所示，$F_Q=\frac{F-q_Q E}{\sin\theta}$，$F_P=\frac{F+q_P E}{\sin\theta}$，则两绳中的张力大小关系为 $F_Q<F_P$，A 错误；由 $m_Q g=\frac{F-q_Q E}{\tan\theta}$，$m_P g=\frac{F+q_P E}{\tan\theta}$，可知 $m_P>m_Q$，B 正确；$F=m_Q g\tan\theta+q_Q E=m_P g\tan\theta-q_P E$，只根据 $m_P>m_Q$ 无法确定 q_P 与 q_Q 的大小关系，C、D 错误.



3. AD 命题点▸库仑定律、电荷守恒定律

【解析】金属小球 C 跟 A 接触后再分开，金属小球 A、C 的电荷量为 $q_A=q_C=\frac{Q+q}{2}$，金属小球 C 跟 B 接触后再分开，金属小球 B 的电荷量为 $q_B=\frac{\frac{Q+q}{2}+q}{2}=\frac{Q}{4}+\frac{3q}{4}$，根据库仑定律，有 $\frac{kq^2}{r^2}=\frac{k\frac{Q+q}{2}\cdot\left(\frac{Q}{4}+\frac{3}{4}q\right)}{r^2}$，可得 $\frac{Q}{q}=1$ 或 $\left|\frac{Q}{q}\right|=5$，A、D 正确.

4. ABD 命题点▸力学综合

【解析】根据题意对两小球进行受力分析，如图 1 所示，静电力合成后的受力分析如图 2 所示，由图 2 可知 $F_1=mg\tan\theta$、$F_2=2mg\tan\theta$，所以 $F_1=\frac{1}{2}F_2$，A 正确；在图 1 中 $F_1=k\frac{2q^2}{L^2}-qE$、$F_2=k\frac{2q^2}{L^2}+2qE$，可得 $k\frac{2q^2}{L^2}-qE=\frac{1}{2}\left(k\frac{2q^2}{L^2}+2qE\right)$，即 $k\frac{q^2}{L^2}=2qE$，$E=\frac{kq}{2L^2}$，B 正确；若将甲、乙互换位置，两小球受到的库仑力大小不变、方向相反，两小球受到的静电力的合力发生变化，小球沿倾斜轨道方向上受到的合力不为零，故二者均不能保持静止(**关键点**：两小球间的库仑力等大反向，两小球受到的电场力方向均向右)，C 错误；撤去甲前，对乙受力正交分解，可知沿倾斜轨道方向上，有 $2mg\sin\theta=\left(2qE+k\frac{2q^2}{L^2}\right)\cos\theta$，撤去甲后，对乙受力分析如图 3 所示，沿倾斜轨道方向上，有 $2mg\sin\theta-2qE\cos\theta=2ma$，得 $k\frac{2q^2}{L^2}\cos\theta=2ma$，$a=k\frac{q^2}{mL^2}\cos\theta$，乙滑至倾斜轨道底端的过程中，由 $v^2=2a\cdot\frac{L}{2\cos\theta}$，解得 $v=\sqrt{\frac{kq^2}{mL}}$(**点拨**：题中未给出倾斜轨道的长度，也未给出倾斜轨道的倾角，利用两倾斜轨道倾角相等可知倾斜轨道的长度可表示为 $\frac{L}{2\cos\theta}$，结合加速度表达式可消去 θ)，D 正确.

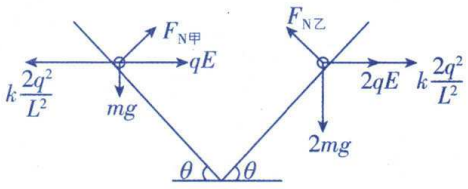


图 1

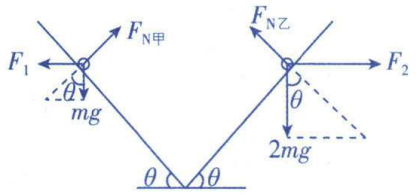


图 2

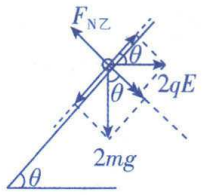
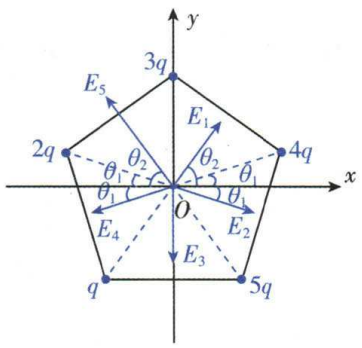


图 3

5. AD **命题点** ▸不等量同种点电荷的场强的叠加

【解析】点电荷在 O 点产生的场强方向如图所示. 由几何关系可知 $\theta_1 = 18°$，$\theta_2 = 54°$，将 5 个场强沿 x、y 轴分解可得 $E_x = E_1\cos 54° + E_2\cos 18° - E_4\cos 18° - E_5\cos 54° = -\frac{2kq}{R^2}(2\cos 54° + \cos 18°)$，$E_y = E_1\sin 54° + E_5\sin 54° - E_4\sin 18° - E_2\sin 18° - E_3 = \frac{6kq}{R^2}\left(\sin 54° - \sin 18° - \frac{1}{2}\right) = 0$，根据场强叠加原理可知 O 点电场强度方向沿 x 轴负方向，大小为 $\frac{2kq}{R^2}(2\cos 54° + \cos 18°)$，A、D 正确.



6. D **命题点** ▸电势与电场线的关系

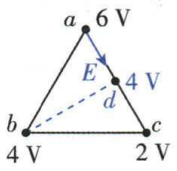
【解析】沿电场线方向电势逐渐降低，由题图可知 $\varphi_d > \varphi_c > \varphi_b > \varphi_a$，D 正确.

7. D **命题点** ▸点电荷电势的叠加

【解析】真空中点电荷周围某点处的电势 $\varphi = k\frac{Q}{r}$，设坐标为 $x_0(x_0>0)$ 位置处的电势为 0，则 $k\frac{4q}{1+x_0} + k\frac{-q}{x_0} = 0$，解得 $x_0 = \frac{1}{3}$，当 $0 < x < \frac{1}{3}$ 时，电势 $\varphi < 0$，当 $x > \frac{1}{3}$ 时，电势 $\varphi > 0$，D 正确.

8. C **命题点** ▸电势差与电场强度的关系

【解析】匀强电场中任一线段上电势均匀变化（**点拨**：匀强电场大小、方向处处相同，则沿任一线段方向的分电场强度大小、方向处处相同），设 ac 中点为 d，d 点处的电势为 $\varphi_d = \frac{\varphi_a + \varphi_c}{2} = 4\ \text{V} = \varphi_b$，连接 bd 即为等势线，如图所示，由几何关系可知 ac 垂直 bd，因电场线方向垂直于等势线且从高电势指向低电势，则 a 点电场的方向如图所示，C 正确.



9. D **命题点** ▸电场线、等势线

【解析】由沿电场线方向电势越来越低可知，b 点所在的等势线电势高于 a 点所在的等势线电势，A 错误；由电场强度沿电场线切线方向可知，a、c 两点电场强度方向不同，故两点电场强度不同（**点拨**：电场强度是矢量，既要考虑大小也要考虑方向），B 错误；从 $d \to e \to f$ 电场强度逐渐减小（**点拨**：电场线越密集的地方，电场强度越大），$d_{de} = d_{ef}$，由 $U = Ed$ 可知，$U_{df} \neq 2U_{de}$，C 错误；a 点与 f 点在同一等势线上，a、b 两点和 f、b 两点的电势差相等，根据电场力做功 $W = qU$ 可知，从 a 到 b 与从 f 到 b，电场力对电子做功相等，D 正确.

10. D **命题点** ▸质谱仪

【解析】由题意知，电子沿 $\overset{\frown}{ABC}$ 做圆周运动，由电场力提供向心力，有 $Ee = m\frac{v^2}{r}$，又 $E_k = \frac{mv^2}{2}$，联立解得 $E = \frac{2E_k}{er}$，A 错误；另一个电子沿 $\overset{\frown}{APQ}$ 运动，可知电子受到电场力的大小发生变化，不符合做圆周运动的条件，即 $\overset{\frown}{APQ}$ 不是圆弧的一部分，B 错误；轨迹为 $\overset{\frown}{ABC}$ 的电子初动能为 E_k，则轨迹为 $\overset{\frown}{APQ}$ 的电子初动能不为 E_k，故电子到达 P 点的动能不为 $E_k - eU$，C 错误；由题意知，$|CQ| = 2|BP|$，且离圆心 O 越远，场强越小，由 $U = Ed$，可得 CQ 之间的电势差小于 $2U$，电子从 A 经 P 到 Q 全程克服电场力做的功小于 $2eU$，D 正确.

11. A **命题点** ▸电容器的动态变化

【解析】两金属板与电源相连，则两板间电势差 U 不变，设两板间距离为 d，a、b 两点沿电场方向的距离为 x，两板移动前将点电荷从 a 移动到 b，电场力做功 $W = q \cdot \frac{x}{d}U$，当两板间距离增大到原来的 2 倍时，再将该电荷从 a 移动到 b，电场力做功 $W' = q \cdot \frac{x}{2d}U = \frac{1}{2}W$，A 正确.

12. D **命题点** ▸平行板电容器、U-F 图像

【解析】电容 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd} = \frac{Q}{U}$，解得极板间电势差 $U = \frac{4\pi kdQ}{\varepsilon_r S}$，电容器充电后断开电源，所带电荷量不变，则 Q 不变，F 较小时，随 F 的增大，极板间距 d 减小，且减小得越来越慢，则 U 减小，且减小得越来越慢，F 较大时，极板间距 d 难以减小，则 U 难以减小，D 正确.

一题多解 Q 不变时，极板间距 d 改变，极板间的电场强度不变，又 $U = Ed$，F 较小时，随 F 的增大，极板间距 d 容易减小，则 U 容易减小，F 较大时，极板间距 d 难以减小，则 U 难以减小，D 正确.

13. AC **命题点** ▸电场和电势

【解析】像素呈黑色：下方电极极性为负，且越靠近下方电极的地方电势越低，白色微粒靠近下方电极，所以黑色微粒所在区域的电势高于白色微粒所在区域的电势，A 正确.

像素呈白色：下方电极极性为正，且越靠近下方电极的地方电势越高，黑色微粒靠近下方电极，所以黑色微粒所在区域的电势高于白色微粒所在区域的电势，B 错误.

像素变化过程中：像素不管由黑变白还是由白变黑，均是在电场力作用下由静止开始移动，则电场力一定对带电微粒做正功，C 正确，D 错误.

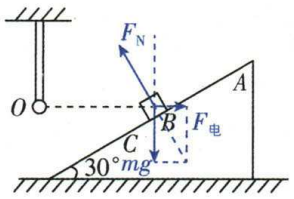
14. C **命题点** ▸带电物体在匀强电场中的运动、动能定理的应用

【解析】根据题意可知物块在 A、B、C 三点时弹簧的弹性势能相等（**关键点**：通过题图与题意分析物块在 A、B、C 三点弹簧的形变量相同，弹性势能相等），从 A 点到 B 点的过程，电场力做正功，重力不做功，根据动能定理可知 $E_{kB} - E_{kA} = qE\sqrt{(3r)^2 - r^2} = 2\sqrt{2}mgr$，从 B 点到 C 点的过程，电场力不做功，重力做负功，根据动能定理可知 $E_{kC} - E_{kB} = -2mgr$，则 $E_{kC} - E_{kA} = (2\sqrt{2} - 2)mgr$，所以有 $E_{kA} < E_{kC} < E_{kB}$，C 正确.

15. AD **命题点** ▸静电力做功、动能定理

【解析】小滑块在 B 点时，对小滑块受力分析如图所示，由平衡

条件得$\frac{kq^2}{l^2}=mg\tan 30°$，解得 OB 的距离 $l=\sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{mg}}$，A 正确，B 错误；小滑块从 A 运动到 C，由动能定理得 $mgS\sin 30°+W=0$，解得静电力对小滑块做功为 $W=-\frac{1}{2}mgS$，C 错误；AC 之间的电势差 $U_{AC}=\frac{W}{q}=-\frac{mgS}{2q}$，D 正确.

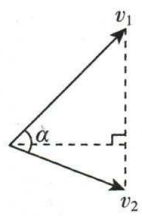


16. BD 命题点▸受力分析和运动分析、能量守恒定律

【解析】小球甲第一次下落到最低点的过程中，设最低点坐标为 x，根据能量守恒定律有 $(mg-f)(x_0-x)+\frac{kQq}{x_0}-\frac{kQq}{x}=0$，解得 $x=\frac{kQq}{(mg-f)x_0}$，A 错误；速率最大处加速度为零，小球甲受力平衡，有 $mg=f+\frac{kQq}{x^2}$，解得 $x=\sqrt{\frac{kQq}{mg-f}}$，B 正确；最后停留的位置要求小球甲所受的电场力和重力的合力小于或等于最大静摩擦力，即 $\left|\frac{kQq}{x^2}-mg\right|\leqslant f$，解得 $\sqrt{\frac{kQq}{mg+f}}\leqslant x\leqslant\sqrt{\frac{kQq}{mg-f}}$，C 错误；若小球甲在最低点能返回，则有 $\frac{kQq}{x^2}>mg+f$，解得 $x<\sqrt{\frac{kQq}{mg+f}}$，由 A 项分析可知，当 $\frac{kQq}{(mg-f)x_0}<\sqrt{\frac{kQq}{mg+f}}$ 时，在最低点小球甲能返回，即初始电势能 $E_{p0}=\frac{kQq}{x_0}<(mg-f)\sqrt{\frac{kQq}{mg+f}}$，D 正确.

17. BD 命题点▸类斜抛运动、带电微粒在电场中的加速和偏转

【解析】设微粒在平行板电容器中的加速度大小为 a，刚进入该电容器时速度大小为 v_1，微粒从刚进入到最高点的过程中，根据类斜抛运动规律有 $2L=v_1\cos 45°\cdot t_1$，$d=v_1\sin 45°\cdot t_1-\frac{1}{2}at_1^2$，$0-v_1\sin 45°=-at_1$，解得 $d=L$，A 错误；微粒在电压为 U_1 的电场中加速，有 $qU_1=\frac{1}{2}mv_1^2-0$，微粒从刚进入平行板电容器到最高点过程中，有 $-q\times\frac{1}{2}U_2=\frac{1}{2}m(v_1\cos 45°)^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，解得 $U_1=U_2$，B 正确；微粒刚要出平行板电容器时，竖直方向的速度大小 $v_y=a\frac{L}{v_1\cos 45°}=\frac{v_x}{2}$，合速度大小 $v_2=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\frac{\sqrt{10}}{4}v_1$，作出进入和穿出平行板电容器时速度的示意图如图所示，由几何关系可知速度变化量大小为 $\frac{3\sqrt{2}}{4}v_1$，由余弦定理可知 $\cos\alpha=\frac{v_1^2+v_2^2-\left(\frac{3\sqrt{2}}{4}v_1\right)^2}{2v_1v_2}=\frac{\sqrt{10}}{10}$，解得 $\tan\alpha=3$，C 错误；以微粒进入平行板电容器的点为坐标原点，水平向右为 x 轴正方向，竖直向上为 y 轴正方向建立坐标系，微粒在坐标系中的坐标 (x,y) 满足 $x=v_1\cos 45°\cdot t$，$y=v_1\sin 45°\cdot t-\frac{1}{2}\cdot\frac{qU_2}{2md}\cdot t^2$，又 $\frac{1}{2}mv_1^2=qU_1$，所以轨迹方程为 $y=x-\frac{U_2}{4dU_1}x^2$，轨迹与微粒质量或电荷数量无关，故仅改变微粒质量或者电荷数量，微粒在电容器中的运动轨迹不变，D 正确.



刷大题

18. (1)q　3 个点电荷均带正电　(2)$\frac{(3-\sqrt{3})q}{3}$

命题点▸库仑定律、电场强度的叠加

【解析】(1) 由 M 点的电场强度方向竖直向下可知，A、B 处点电荷在 M 处的合场强为零，C 处点电荷在 M 处的场强竖直向下，故可判断 C 点处的点电荷带正电　(1 分)

且 A、B 处点电荷所带电荷量大小相等，即 $|q_A|=|q_B|=q$　(1 分)

由 N 处的场强竖直向上可知，B、C 在 N 处的合场强由 B 指向 C，则 B 处点电荷带正电　(1 分)

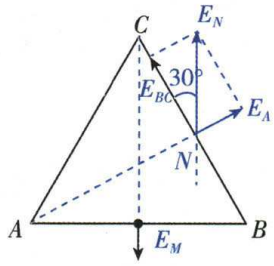
A 在 N 处的场强由 A 指向 N，则 A 处点电荷也带正电　(1 分)

由上述分析可知，A、B、C 三处的点电荷均带正电.

(2) 作出 A 处点电荷在 N 处的场强、B 和 C 处点电荷在 N 处的合场强，与 N 处的竖直向上的电场强度满足平行四边形定则，如图所示　(1 分)

设正三角形边长为 a，根据点电荷的场强公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$，结合几何关系可得，

A 点处的点电荷在 N 处产生的场强大小 $E_A=\frac{kq}{\left(\frac{\sqrt{3}a}{2}\right)^2}$　(1 分)



B 点处的点电荷在 N 处产生的场强大小 $E_B=\frac{kq}{\left(\frac{a}{2}\right)^2}$　(1 分)

C 点处的点电荷在 N 处产生的场强大小 $E_C=\frac{kq_C}{\left(\frac{a}{2}\right)^2}$　(1 分)

B、C 点处的点电荷在 N 处产生的合场强 $E_{BC}=E_B-E_C$　(1 分)

根据几何关系可得 $\tan 30°=\frac{E_A}{E_{BC}}$　(2 分)

联立解得 $q_C=\frac{(3-\sqrt{3})q}{3}$　(1 分)

19. (1)$\frac{U}{L}$　(2)$\sqrt{\frac{qU-mgL}{m}}$　$\sqrt{\frac{3qU-3mgL}{m}}$

命题点▸带电体在静电场中的运动

【解析】(1) 在匀强电场中，由公式 $E=\frac{U}{d}$ 可得 $E=\frac{U}{L}$　(2 分)

(2) 在 A 点细线对小球的拉力为 0，由牛顿第二定律得

$Eq-mg=\frac{mv_A^2}{L}$　(2 分)

由 A 点到 B 点，由动能定理得

$Uq-mgL=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$　(2 分)

联立解得 $v_A=\sqrt{\frac{qU-mgL}{m}}$，$v_B=\sqrt{\frac{3qU-3mgL}{m}}$　(2 分)

20. (1)$\frac{mv_0\sin\theta}{qE}$　(2)$\frac{2mv_0^2\sin^2\theta}{qE}$

命题点▸带电粒子在匀强电场中的匀变速曲线运动、运动的分解

【解析】(1) 带电粒子在匀强电场中做类抛体运动，粒子 a 的运动可分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上加速度大小为 a 的匀变速直线运动，在竖直方向上有

$qE=ma$ （1分）

$v_0\sin\theta=at$ （1分）

解得 $t=\dfrac{mv_0\sin\theta}{qE}$ （2分）

(2)水平方向上，a、b 均以 $v_0\cos\theta$ 做匀速直线运动，竖直方向上，规定向上为正方向，b 以 $-v_0\sin\theta$ 为初速度，以 $-a$ 为加速度做匀加速直线运动，

竖直方向上，粒子 a 的位移 $y_a=v_0\sin\theta\cdot t-\dfrac{1}{2}at^2$ （1分）

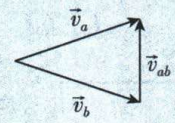
粒子 b 的位移 $y_b=-v_0\sin\theta\cdot t-\dfrac{1}{2}at^2$ （1分）

$H=y_a-y_b$ （1分）

解得 $H=\dfrac{2mv_0^2\sin^2\theta}{qE}$ （1分）

一题多解　转换参考系

以地面为参考系，粒子 a、b 加速度相同，则以 b 为参考系，$\vec{v}_{ab}=\vec{v}_a-\vec{v}_b$，如图所示，



即 a 相对于 b 向上以 $2v_0\sin\theta$ 做匀速直线运动 （1分）

$H=2v_0\sin\theta\cdot t$ （2分）

解得 $H=\dfrac{2mv_0^2\sin^2\theta}{qE}$ （1分）

第10章　电路和电能

第1节　电路的基本概念

刷基础

1. A 考查点 电流的计算、动量定理

【解析】在离子流中，设 t 时间内有 n 个质量为 m、电荷量为 q 的离子被喷出，电场力对离子做功，有 $Uq=\dfrac{1}{2}mv^2$，电流 $I=\dfrac{nq}{t}$，根据动量定理，有 $Ft=nmv$，可得 $I=F\sqrt{\dfrac{k}{2U}}$，A 正确.

2. A 考查点 电流的微观表达式及其应用

【解析】煤粉粒子吸附电子后带负电，因此向正极 A 运动，由于电离出的气体中电子导电，设每天处理煤粉的总量为 m 千克，煤粉吸附的总电荷量为 q，则 $q=mnN_Ae$，因为 $I=\dfrac{q}{t}=\dfrac{mnN_Ae}{t}$，联立解得 $m=\dfrac{It}{nN_Ae}$，A 正确.

3. A 考查点 灵敏电流计改装成电流表

【解析】接“A、B”时，R_1 为分流电阻，接“A、C”时，R_1 与 R_2 串联的总电阻为分流电阻，故此为电流表，根据串、并联电路规律，接“A、B”时，其量程为 $I_1=I_g+\dfrac{I_g(R_g+R_2)}{R_1}=I_g\left(1+\dfrac{R_g+R_2}{R_1}\right)$，接“$A$、$C$”时，其量程为 $I_2=I_g+\dfrac{I_gR_g}{R_1+R_2}=I_g\left(1+\dfrac{R_g}{R_1+R_2}\right)$，显然 $I_1>I_2$，即接“A、B”时量程更大，A 正确，B 错误；由以上分析可知，若 R_2 被短路，则接“A、B”时，电流表量程变小，测量值将偏大，若 R_1 被短路，则接“A、C”时，电流表量程变大，测量值将偏小，C、D 错误.

4. AC 考查点 电阻定律、闭合电路欧姆定律

【解析】由闭合电路欧姆定律，有 $E=IR+IR_A+Ir$，代入数据可得沿 x 轴方向时 $R_x=4\ \Omega$，沿 y 轴方向时 $R_y=1\ \Omega$，由电阻定律，有 $R=\rho\dfrac{L}{S}$，代入数据可得 $d=4\ \text{cm}$，沿 z 轴方向时 $R_z=\dfrac{1}{4}\ \Omega$，由闭合电路欧姆定律，有 $E=I_zR_z+I_zR_A+I_zr$，代入数据可得沿 z 轴方向时电流最大，为 $I_z=\dfrac{8}{3}\ \text{A}<3\ \text{A}$，A、C 正确，B 错误；根据电功率的计算公式，有 $P_x=I_x^2R_x=4\ \text{W}$，$P_y=I_y^2R_y=4\ \text{W}$，$P_z=I_z^2R_z=\dfrac{16}{9}\ \text{W}$，D 错误.

5. D 考查点 电表改装

【解析】电压表是用小量程电流表(表头)串联一个分压电阻改装而成的，而两个电压表串联，故电流相等，指针偏角相同，故 A 错误；电流表是用小量程电流表(表头)并联一个分流电阻改装而成，由于两电流表串联，电流表电流相等，但电流表 A_1 的量程小于 A_2 的量程，所以 A_1 指针的偏角大于 A_2 指针的偏角，故 B 错误；以上分析可知两电压表指针偏角相同，但由于电压表 V_1 的量程大于 V_2 的量程，故 V_1 的读数大于 V_2 的读数，由于两电流表串联，故读数相同，故 C 错误；由图可知，两电压表串联再与 R 并联，故 R 两端的电压为两电压表读数之和，由串、并联关系可知，通过 A_1 的电流大小等于通过 R 的电流与通过两电压表的电流之和，故通过 R 的电流小于 A_1 的读数，故 D 正确.

易错警示　对电表的内部结构和原理认识不到位出错

电表的偏角取决于流经表头的电流，而电表的读数指的是改装以后的总电流或总电压. 一般来讲，电流表串联，读数相同，量程大的偏角小，电流表并联，偏角相同，量程大的读数大；电压表串联，偏角相同，量程大的读数大，电压表并联，读数相同，量程大的偏角小.

第2节　闭合电路欧姆定律

刷基础

1. C 考查点 闭合电路欧姆定律

【解析】根据电路图和闭合电路欧姆定律，可得 $E=U+I(R_2+r)$，由图乙数据，可得 $E=2\ \text{V}+0.1\ \text{A}\cdot(R_2+r)$，$E=1\ \text{V}+0.3\ \text{A}\cdot(R_2+r)$，解得 $E=2.5\ \text{V}$，$R_2+r=5\ \Omega$，A、B 错误；图乙中 B 点对应的滑动变阻器 R_1 接入实验电路的阻值最小，则有 $R_{1\min}=\dfrac{U_B}{I_B}=\dfrac{1}{0.3}\ \Omega=\dfrac{10}{3}\ \Omega$，C 正确；图乙中 A 点对应的滑动变阻器 R_1 接入实验电路的阻值最大，则有 $R_{1\max}=\dfrac{U_A}{I_A}=\dfrac{2}{0.1}\ \Omega=20\ \Omega$，D 错误.

2. D 考查点 闭合电路欧姆定律的应用

【解析】由 I-U 图像可知，定值电阻 $R=\dfrac{\Delta U}{\Delta I}=\dfrac{4-2}{1-0.5}\ \Omega=4\ \Omega$，当滑片 P 位于 B 端时，电流最大且 $I_{\max}=1\ \text{A}$，由闭合电路欧姆定律，

可得 $I_{max}=\frac{E}{R+r}$，解得电源的内阻 $r=6\ \Omega$，B 错误；当滑片 P 位于 A 端时，电流最小且 $I_{min}=0.5\ A$，根据 $I_{min}=\frac{E}{R+r+R_{AB}}$，可得电阻丝 AB 的阻值 $R_{AB}=10\ \Omega$，A 错误；当电源内阻和外阻相等时，电源的输出功率最大，可知当 $R_{AB接入}+R=r$，即电阻丝 AB 接入电路的阻值 $R_{AB接入}=2\ \Omega$ 时，电源的输出功率最大，因此，滑片 P 从 A 端缓慢滑到 B 端过程中，电源的输出功率先增加后减少，D 正确；若将定值电阻 R 与电源内阻 r 一起视为电源的新内阻 r'，则 $r'=R+r=10\ \Omega$，此时电阻丝 AB 消耗的电功率即为新电源的输出功率，同理，当内、外电阻相等时，新电源的输出功率最大，由 $R_{AB接入}\leqslant R_{AB}=r'=10\ \Omega$，可知滑片 P 从 A 端缓慢滑到 B 端过程中，电阻丝 AB 消耗的电功率一直减少，C 错误.

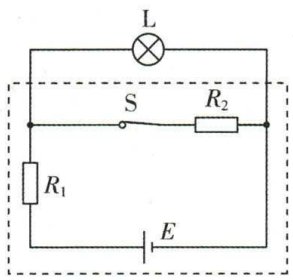
关键点

3. D 考查点 ▸ $U-I$ 图像、电源的输出功率

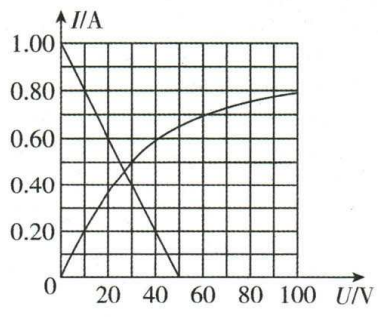
【解析】由闭合电路欧姆定律可得，当电流为 0 时，图线 a 的纵截距表示电源电动势，所以 $E=5\ V$，A 错误；由图可知在该光照强度下将它们组成闭合回路时，该电阻两端电压为 4 V，通过该电阻的电流为 0.2 A，该电阻的阻值为 $R=\frac{U}{I}=\frac{4}{0.2}\ \Omega=20\ \Omega$，C 错误；光敏电阻的功率为 $P=UI=0.8\ W$，B 错误；太阳能电池的内阻为 $r=\frac{E-U}{I}=5\ \Omega$，D 正确.

4. C 考查点 ▸ 利用图像计算功率、等效电源

【解析】当开关 S 断开时，灯泡消耗的实际电功率为 24 W，即电压电流的乘积为 24 W，根据题图乙可知，电压为 $U_1=40\ V$，电流为 $I_1=0.60\ A$，根据闭合电路欧姆定律，可知 $U_1=E-I_1R_1$，解得 $R_1=100\ \Omega$，由题意知，定值电阻 $R_1=R_2$，故 $R_2=100\ \Omega$，开关闭合后，电源和 R_1、R_2 构成一个新电源（关键点：等效电源）如图甲所示，此新电源电动势和内阻分别为 $E_1=\left(\frac{E}{R_1+R_2}\right)R_2=\left(\frac{100}{100+100}\right)\times100\ V=50\ V$、$r_1=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}=50\ \Omega$，此新电源短路电流为 $I_{短}=\frac{E_1}{r_1}=1.0\ A$，图乙中画出此新电源的 $I-U$ 图像，图像与白炽灯泡的伏安特性曲线交点横、纵坐标即为灯泡的电压、电流，分别为 $U_2=26\ V$、$I_2=0.46\ A$，灯泡消耗的实际功率 $P_2=U_2I_2=26\times0.46\ W=11.96\ W\approx12\ W$，C 正确.



甲



乙

5. C 考查点 ▸ 串反并同、电源的输出功率和效率

【解析】滑动变阻器滑片向右滑动，滑动变阻器接入电路的阻值变大，根据“串反并同”可知，与滑动变阻器 R_2 等效串联的电流表 A 和电压表 V_1 的示数都变小，与滑动变阻器 R_2 等效并联的电压表 V_2 和电压表 V_3 的示数都变大，A 错误；当电源外电阻等于电源内阻时电源输出功率最大，因为 $R_1>r$，外电阻一定大于 r，故电源输出功率随着外电阻的增大而减小，电源的效率为 $\eta=\frac{UI}{EI}=\frac{U}{E}$，其中 U 为路端电压，E 为电源电动势，因为电压表 V_3 的示数变大，即路端电压 U 变大，所以电源的效率增大，B 错误；由闭合电路欧姆定律 $E=U+Ir$，可知 $U_3=U=E-Ir$，所以 $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}=r$，将电阻 R_1 看成电源的内阻，则 $U_2=U'=E-Ir'$，其中 $r'=r+R_1$，所以 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=r'=R_1+r$，所以 $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}$、$\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 均不变，C 正确；电容器的电压等于 V_1 示数，V_1 示数变小，根据 $C=\frac{Q}{U}$，电荷量减小，但由于二极管的存在，电容器不能放电，故电容器所带电荷量不变，D 错误.

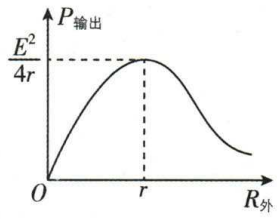
关键点

易错警示 本题的易错点在于忽略了二极管具有单向导电性，该电路中由于有二极管的存在，电容器只能充电、不能放电.

刷提分

1. B 突破点 ▸ 电源的输出功率、含容电路、闭合电路欧姆定律

【解析】令电路的外电阻为 $R_{外}$，则电源输出功率 $P_{输出}=\left(\frac{E}{r+R_{外}}\right)^2R_{外}=\frac{E^2}{R_{外}+\frac{r^2}{R_{外}}+2r}$，



根据数学知识可知，电源输出功率随外电阻变化的图像如图所示，当外电阻等于电源内阻时，电源输出功率最大，由于 $r<R_0$，将可变电阻 R 调大，外电阻增大，所以外电阻总大于电源内阻，则电流稳定时，电源输出功率会减小，A 错误；根据电容的定义式，有 $C=\frac{Q}{U}=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$，解得该过程电容器的电荷量变化量绝对值 $\Delta Q=C\Delta U$，B 正确；可变电阻 R 两端电压为电压表示数 U，电流表示数 I 为流过可变电阻 R 的电流，由电阻的定义，可知可变电阻的阻值 $R=\frac{U}{I}$，C 错误；由闭合电路欧姆定律，可知 $U=E-I(R_0+r)$，可知 $\frac{\Delta U}{\Delta I}=R_0+r$，D 错误.

2. C 突破点 ▸ $\frac{P}{I^2}-\frac{1}{I}$ 图像

【解析】蓄电池的输出功率 $P=EI-I^2r$，变形可得 $\frac{P}{I^2}=E\frac{1}{I}-r$，$\frac{P}{I^2}-\frac{1}{I}$ 图像斜率表示电动势，纵截距表示蓄电池内阻的负值，可得 $r=0.25\ \Omega$，短路电流为 $I=\frac{E}{r}=\frac{12}{0.25}\ A=48\ A$，A、B 错误；根据闭合电路欧姆定律，可知蓄电池的输出功率 $P_{输出}=I^2R=\frac{E^2}{(R+r)^2}R=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$，故当外电阻等于内阻时，蓄电池有最大输出功率，为 $P_{max}=\frac{E^2}{4r}=144\ W$，C 正确；若该蓄电池仅与内阻为 $5.75\ \Omega$ 的一个座椅加热电阻丝相连，则每分钟消耗电能为 $Q=\frac{E^2}{R+r}t=1\ 440\ J$，D 错误.

关键点

3. ABD 突破点 ▸ $P-I$ 图像、电源输出功率

【解析】根据能量守恒，电源总功率应该等于电源内部的发热功

率和电源输出功率之和，即当电流相等时对应的三点的纵坐标一定满足关系 $P_A=P_B+P_C$，A 正确；b、c 图线的交点表示电源内部发热功率与电源输出功率相等，根据 $P=I^2R$，可知电流相等，则内阻等于外阻，此时电流为 $I_1=\frac{E}{R+r}=\frac{E}{2r}$，$a$、$b$ 图线的交点表示电源内部发热功率等于电源总功率，则外电阻为 0，此时电流为 $I_2=\frac{E}{r}$，则电流之比，即两交点横坐标之比，为 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{1}{2}$，根据 $P_E=EI$，结合 a 图线数据，可知电动势 $E=3\ \text{V}$，短路电流为 3 A，则 $r=\frac{E}{I_{短}}=1\ \Omega$，电源输出功率为 $P_R=I^2R=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$，可知当 $R=r$ 时电源输出功率最大，此时对应数据即为 b、c 图线的交点，则电源最大输出功率 $P_{\max}=\frac{E^2}{4r}=\frac{9}{4}\ \text{W}$，又因为 a、b 图线的交点纵坐标为 9 W，可知 b、c 图线的交点与 a、b 图线的交点的纵坐标之比为 1∶4，B、D 正确，C 错误.

4. A 考查点 电源最大输出功率、闭合电路欧姆定律

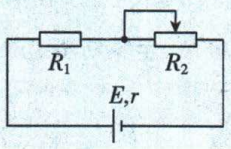
【解析】由 $\left(\frac{E}{R_1+r}\right)^2R_1=\left(\frac{E}{R_2+r}\right)^2R_2$，解得 $r=\sqrt{R_1R_2}$，A 正确；由 $P_0=\left(\frac{E}{R_1+\sqrt{R_1R_2}}\right)^2R_1$，解得 $E=\sqrt{P_0R_1}+\sqrt{P_0R_2}$，B 错误；电源短路时的电流 $I_0=\frac{E}{r}=\sqrt{\frac{P_0}{R_1}}+\sqrt{\frac{P_0}{R_2}}$，C 错误；电源的最大输出功率 $P_{\max}=\frac{E^2}{4r}=\frac{P_0}{4}\left(\sqrt[4]{\frac{R_1}{R_2}}+\sqrt[4]{\frac{R_2}{R_1}}\right)^2$，D 错误.

方法总结 求最大功率问题

(1) 对定值电阻来说，通过其电流最大时功率也最大.

(2) 电源的输出功率在外电阻等于内阻时最大，若不能相等，外电阻越接近内阻，电源的输出功率越大.

(3) 如图所示，求解滑动变阻器 R_2 消耗的最大功率时，可把定值电阻 R_1 等效为电源内阻的一部分，则当 $R_2=R_1+r$ 时，滑动变阻器上消耗的功率最大.



5. (1) 1 Ω (2) 72 W

考查点 含有电动机电路综合计算、由闭合电路欧姆定律计算电源的电动势和内阻

【解析】(1) 启动开关 S 断开时，两车灯正常工作，有 $I_L=\frac{P_L}{U_L}=2\ \text{A}$，

由闭合电路欧姆定律有 $E=U_L+2I_Lr$，

解得 $r=1\ \Omega$.

(2) 启动开关 S 闭合，电动机正常工作，由闭合电路欧姆定律有 $E=U_M+Ir$，$U_M=15\ \text{V}$，

此时通过车灯的电流 $I_L'=\frac{U_M}{R_L}$，$R_L=\frac{U_L}{I_L}$，

通过电动机的电流 $I_M=I-2I_L'=6\ \text{A}$，

电动机的输出功率 $P_{出}=U_MI_M-I_M^2R_M$，

解得 $P_{出}=72\ \text{W}$.

专题 13 电路的动态分析、故障分析和含容电路问题

刷 难关

1. D 突破点 超重和失重、力敏电阻

【解析】在 $0\sim t_1$ 内，电压表的示数从 U_0 开始逐渐变大，则电路中的电流减小，电源的总功率变小，总电阻变大，力敏电阻的阻值增大，则力敏电阻所受压力减小，物块所受的重力大于支持力，物块加速度向下，此时电梯内的物块处于失重状态，A、B 错误；在 $t_1\sim t_2$ 内，电压表的示数大于静止时的示数且保持不变，说明外电路电阻变大且保持不变，力敏电阻受压力减小，电梯的加速度向下且保持不变，此时电梯处于匀变速直线运动状态，C 错误；在 $t_2\sim t_3$ 内，电压表的示数大于静止时的示数，所以物块应该处于失重状态，D 正确.

2. BC 突破点 电路的动态分析

【解析】根据部分电路欧姆定律，可得 $U_1=R_1I$，则 $\Delta U_1=R_1\Delta I$，由闭合电路欧姆定律，可得 $U_2=E-(R_1+r)I$、$U=E-rI$，则 $\Delta U_2=-(R_1+r)\Delta I$，$\Delta U=-r\Delta I$，所以 $|\Delta U_1|<|\Delta U_2|$，$|\Delta U|<|\Delta U_2|$，A 错误，B 正确；当滑动变阻器的滑片向下滑动时，R_2 的阻值增大，根据部分电路欧姆定律，可得 $R_2=\frac{U_2}{I}$，则 $\frac{U_2}{I}$ 变大，由 A、B 选项分析，可得 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=-(R_1+r)$，即 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 不变，C 正确；由 A、B 选项分析，可得 $\left|\frac{\Delta U_2}{\Delta I}\right|=R_1+r$，$\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=r$，$\left|\frac{\Delta U_1}{\Delta I}\right|=R_1$，所以 $\left|\frac{\Delta U_2}{\Delta I}\right|=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|+\left|\frac{\Delta U_1}{\Delta I}\right|$，D 错误.

3. D 突破点 电路的动态分析

【解析】当水流速度增大时，根据流体压强与流速的关系可知，探头上方流速大、压强小，会产生一个向上的升力，探头带动连杆向上运动，滑片 P 上滑，滑动变阻器连入电路中的电阻减小，根据 $I=\frac{E}{R_1+R_2}$，可知电流增大，电流表的示数增大，A 错误；当水流速度增大时，电路中电流增大，根据 $U=E-IR_1$，有 $\frac{U}{I}=\frac{E}{I}-R_1$，可知电压表与电流表的示数之比减小，B 错误；由于通过理想电流表的最大电流为 0.6 A，所以滑动变阻器的最小电阻为 $R_{\min}=\frac{E}{I_{\max}}-R_1=2\ \Omega$，理想电压表的量程为 0~3 V，所以滑动变阻器的最大电阻为 $R_{\max}=\frac{U_{\max}}{I_{\min}}$，由 $U_{\max}=E-I_{\min}R_1$，可得 $I_{\min}=0.3\ \text{A}$，$R_{\max}=10\ \Omega$，所以滑动变阻器允许接入电路的取值范围为 $2\sim10\ \Omega$，C 错误；由选项 C 的分析可知，电路中电流的变化范围为 0.3~0.6 A，根据 $P=I^2R_1$，可得 $P_{\min}=0.54\ \text{W}$，$P_{\max}=2.16\ \text{W}$，D 正确.

关键点

4. AD 突破点 电路的动态分析、酒精测试仪

【解析】由图像可知，随着气体中酒精含量的升高，气敏电阻的阻值减小，电路中的总电阻减小，由闭合电路欧姆定律 $I=\frac{E}{R_{总}}$，可知电流增大，电流表示数增大，根据 $U=E-I(r+R_0)$，可知电压表的示数减小，电源的输出功率 $P=\left(\frac{E}{R+r+R_0}\right)^2(R+R_0)$，由于 $R+R_0>r$，当 R 减小时，电源的输出功率增大，A 正确，B 错误；根据 $U=E-I(r+R_0)$，可知电压表、电流表示数变化量绝对值的比值 $\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=r+R_0$，保持不变，C 错误；由题意可知，当酒精测试仪调

零时，气敏电阻 $R=50\ \Omega$，两端电压 $U=5\ \text{V}$，则有 $r+R_0=\dfrac{E-U}{\dfrac{U}{R}}=10\ \Omega$，当电流表的示数 $I'=0.4\ \text{A}$ 时，气敏电阻的阻值 $R'=\dfrac{E}{I'}-r-R_0=5\ \Omega<10\ \Omega$，即气体中酒精含量大于 80 mg/mL，D 正确.

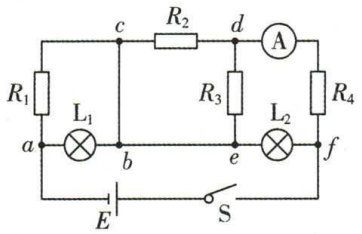
方法总结 对于一个变化的电阻，求解其电压变化量绝对值与电流变化量绝对值的比值时，可以看与其串联部分的电阻，如果串联部分的电阻是定值，则比值是定值. 对于较复杂的电路，可以先画等效电路图.

5. A **突破点** ▸电路的故障分析、多用电表的使用

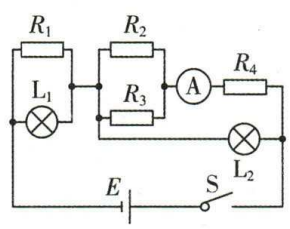
【解析】若 a、b 间电压接近电源电动势，则断路在 a、b 之间，A 正确；若 a、d 间电压接近电源电动势，则断路在 ab 或 L_1 或 cd 处，B 错误；若 a、c 间电压为 0，则断路在 cd 或 L_2 或 ef 处，C 错误；根据电流红进黑出，a 端应接红表笔，D 错误.

6. A **突破点** ▸电路的故障分析、电路简化

【解析】在原图中标上 a、b、c、d、e、f 共 6 个点，如图甲所示. 由图可知，R_1 两端电压为 $U_{ca}=\varphi_c-\varphi_a$，灯 L_1 两端的电压为 $U_{ba}=\varphi_b-\varphi_a$，因 $\varphi_c=\varphi_b$，故 $U_{ca}=U_{ba}$，即 R_1 与灯 L_1 并联；R_2 两端的电压为 $U_{dc}=\varphi_d-\varphi_c$，$R_3$ 两端的电压为 $U_{de}=\varphi_d-\varphi_e$，因 $\varphi_c=\varphi_e$，故 $U_{dc}=U_{de}$，即 R_2 与 R_3 并联；R_4 两端的电压为 $U_{fd}=\varphi_f-\varphi_d$，灯 L_2 两端的电压为 $U_{fe}=\varphi_f-\varphi_e$，因 $\varphi_c=\varphi_e$，故 $U_{fe}=\varphi_f-\varphi_c=\varphi_f-\varphi_d+\varphi_d-\varphi_c=U_{fd}+U_{dc}$，即 R_2 与 R_3 并联再与电流表、R_4 串联，最后与灯 L_2 并联，简化电路如图乙所示. 若 R_1 断路，则电路中总电阻增大，总电流减小，右侧部分总电阻不变，则右侧分压将减小，电流表 A 的示数变小，灯 L_2 变暗，灯 L_1 两端的电压将增大，则灯 L_1 将变亮，A 正确；若 R_2 断路，则电路中总电阻增大，总电流减小，可知灯 L_1 应变暗，B 错误；若 R_3 短路，则 R_2 被短路，电路中总电阻将减小，电路中电流增大，灯 L_1 两端的电压增大，灯 L_1 变亮，灯 L_2 两端的电压减小，灯 L_2 变暗，总电流变大，通过灯 L_2 的电流变小，则电流表的示数将增大，C 错误；若 R_4 短路，则电路中总电阻减小，电路中电流增大，灯 L_1 变亮，灯 L_2 两端的电压减小，故灯 L_2 变暗，总电流变大，通过灯 L_2 的电流变小，则电流表 A 的示数增大，D 错误.



甲



乙

关键点拨 题图中的电路较为复杂，解答本题时需要先将题图中的电路进行简化，便于分析.

7. BCD **突破点** ▸含容电路中有关电荷量及其变化的计算

【解析】当电位器的触头向 b 端滑动时，电路的总电阻增大，干路电流减小，路端电压增大，电阻 R_1 两端的电压变大，流过 R_1 的电流增大，电流表的示数增大，而干路电流是减小的，故通过灯 L_1 的电流变小，所以 L_1 指示灯变暗，灯 L_1 两端的电压减小，并联电路两端的电压增大，通过灯 L_2 的电流增大，L_2 指示灯变亮，电容器两端的电压等于并联电路两端的电压，根据 $Q=CU$，得电容器 C 的带电荷量增大，A 错误，B、C、D 正确.

关键点拨 本题考查电路的动态分析，注意碳膜电位器的原理与滑动变阻器的原理相同以及动态电路的分析方法，遵循先局部、再整体、后局部的分析思路.

8. C **突破点** ▸含容电路的动态分析、带电体在电场中的平衡

【解析】若将 P 向左滑，滑动变阻器 R_2 接入电路中的阻值减小，则总电阻减小，总电流增大，则 A 表示数变大，R_1 和内阻上的电压变大，则 R_2 上的电压减小，即 V 表的示数减小，由于 R_1 两端电压增大，则电容器两极板间电压增大，则电容器两极板上带电荷量增加，电容器两极板间电场强度变大，则 θ 将增大，A、B 错误，C 正确；由图可知，若断开 S，平行板电容器与 R_1 组成新的回路，电容器将放电，最终极板上电荷量为 0，则极板间电场强度为 0，θ 变为 0，即 θ 变小，D 错误.

9. C **突破点** ▸电路的动态分析、含容电路、光敏电阻

【解析】带电微粒受向下的重力和向上的电场力，当断开开关 S，电容器将对所处的回路放电，即带电微粒所受电场力减小，所以带电微粒将向下运动，A 错误；当减小对 R_1 的光照强度时，R_1 的阻值增大，电路中的总电阻增大，总电流减小，则电路的路端电压增大，所以电压表示数增大，根据热功率的公式 $P_0=I_{总}^2R_0$，可知电阻 R_0 消耗的电功率减小，B 错误；分析电路可知，电容器两端的电压与 R_2 上半部分电阻的电压相等，只调节电阻 R_2 的滑片 P_1 向下移动时，外电路电阻不变，电路中的总电流不变，电压表的示数不变，但是 R_2 上半部分的电阻增大，电压增大，即电容器两端的电压增大，根据公式 $E=\dfrac{U}{d}$，可知电场强度增大，带电微粒所受电场力将增大，所以带电微粒向上运动，C 正确；由电路结构可知，电路稳定时，没有电流通过 R_3，所以当只调节电阻 R_3 的滑片 P_2 向上移动时，不会影响电路中的电流，即电路中的电流不变，电源消耗的电功率不变，电阻 R_3 中也没有电流通过，D 错误.

关键点

方法总结 **含电容器电路的分析方法**

(1) 电路稳定后，电容器处电路可看成是断路.

(2) 在直流电路中，当电容器充、放电时，电路中有充、放电电流. 如果电容器两端电压升高，电容器将充电；如果电容器两端电压降低，电容器将通过与它连接的电路放电. 充电时电容器相当于用电器，电流从正极进；放电时电容器相当于电源，电流从正极出.

10. D **突破点** ▸电动机功率、含容电路、带电粒子在电场中的运动

【解析】闭合开关 S、S_1 稳定后电流表示数为 $I_1=3.2\ \text{A}$，根据闭合电路欧姆定律，可得 $I_1=\dfrac{E}{R+r}$，解得定值电阻 R 的阻值为 $R=\dfrac{E-I_1r}{I_1}=\dfrac{8-3.2\times0.5}{3.2}\ \Omega=2\ \Omega$，再将开关 S_2 闭合，稳定后电流表示数为 $I_2=4\ \text{A}$，此时电动机 M 和定值电阻 R 并联，两者电压相等，根据闭合电路欧姆定律，有 $E=U+I_2r$，解得两者的电压为 $U_M=U_R=E-I_2r=8\ \text{V}-4\times0.5\ \text{V}=6\ \text{V}$，通过定值电阻的电流为 $I_R=\dfrac{U_R}{R}=\dfrac{6}{2}\text{A}=3\ \text{A}$，通过电动机的电流为 $I_M=I_2-I_R=1\ \text{A}$，因为电动机为非纯电阻电路，所以电动机的绕线电阻小于 $\dfrac{U_M}{I_M}=6\ \Omega$，电动机的输出功率小于 $U_MI_M=6\ \text{W}$，A、B 错误；闭合开关 S、S_1 时，稳定后定值电阻 R 消耗的功率为 $P_R=I_1^2R=20.48\ \text{W}$，再将开关 S_2 闭合，稳定后定值电阻 R 消耗的功率为 $P'_R=I_R^2R=18\ \text{W}$，定值电阻 R 消耗的功率的变化为 $\Delta P_R=P'_R-P_R=-2.48\ \text{W}$，因此定值电阻 R 消耗的功率减小 2.48 W，C 错误；设电子从 P 板以速度 $2v_0$ 垂直于极板射出，运动的距离为 x，根据动能定理，可

得$-eE\cdot\frac{d}{2}=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，$-eE'x=0-\frac{1}{2}m(2v_0)^2$，由于极板间电压减小，则电场强度减小，联立解得$x>2d>d$，因此让电子从$P$板以速度$2v_0$垂直于极板射出，能到达$Q$板，D正确.

技巧必背　电动机的功率

电动机的功率分为两部分，机械功率和热功率，$P_{入}=P_{机}+P_{热}$，即$IU=P_{机}+I^2R$，其中R为电动机线圈电阻. 注意电动机通电但是卡住不转动时相当于纯电阻电路.

实验8　测量金属丝的电阻率

刷实验

1. (1)0.740　(2)11.6(11.4~11.8)　$\frac{\pi R_xD^2}{4L}$　(3)2.9(2.7或2.8也可)　(4)偏小

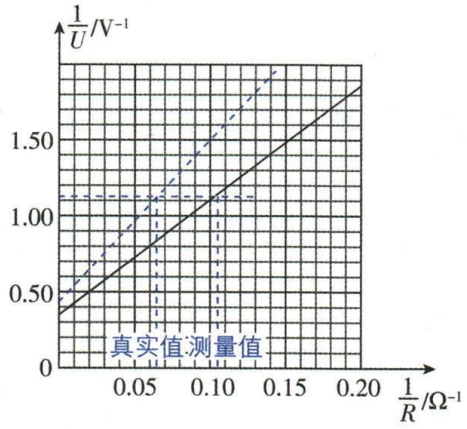
考查点▸测量电阻丝电阻率的实验步骤、数据处理和误差分析

【解析】(1)螺旋测微器的精度为0.01 mm，由图乙可知电阻丝的直径为0.5 mm+24.0×0.01 mm=0.740 mm.

(2)电压$U=1.00$ V，则$\frac{1}{U}=1.00$ V^{-1}，由图丙中的图线得$\frac{1}{R}=0.086\ \Omega^{-1}$，解得$R_x=R\approx11.6\ \Omega$；根据电阻定律，可得$R_x=\rho\frac{L}{S}=\rho\frac{L}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$，解得该材料的电阻率为$\rho=\frac{\pi R_xD^2}{4L}$.

(3)由闭合电路欧姆定律，可得$E=U+\frac{U}{R}(R_0+r)$，整理得$\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{R_0+r}{E}\cdot\frac{1}{R}$，则$\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$图像的纵轴截距为$\frac{1}{E}=0.35$ V^{-1}，解得$E\approx2.9$ V.

(4)当电动势E减小、内阻r增大时，则作出的$\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$图像的纵轴截距增大，斜率变大，如图中虚线所示，则同样电压时使用原来的图像对应的$\frac{1}{R}$偏大，则R_x测量值偏小.



2. (1)A　(2)①0.22　②ac　fh　③C

考查点▸测量导体电阻率的数据处理

【解析】(1)某次测量合金丝的直径为0.039 6 cm，则使用的仪器是螺旋测微器，故选A.

(2)①由表中数据可知，电流表所选用的量程为0~0.6 A，即每一小格为0.02 A，所以示数为0.22 A.

②由表中数据可知，待测电阻的阻值约为5 Ω，由于$R_x<\sqrt{R_A\cdot R_V}$，所以电流表应采用外接法. 同时若滑动变阻器采用限流接法，回路中最小电流为$I_{min}=\frac{E}{R_x+R}=\frac{3}{5+10}$ A=0.2 A，与表格中数据不符，所以滑动变阻器应采用分压接法，故需要连接的导线为ac、fh.

③根据电阻定律$R_x=\rho\frac{L}{S}$，$S=\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2=\frac{\pi D^2}{4}$，所以$\rho=\frac{\pi D^2R_x}{4L}=\frac{\pi\times(0.039\ 6\times10^{-2})^2\times4.5}{4\times58.00\times10^{-2}}\ \Omega\cdot m=9.6\times10^{-7}\ \Omega\cdot m\approx1\times10^{-6}\ \Omega\cdot m$，C正确.

方法总结　测量电路的选择——电流表内、外接的选择方法

(1)直接比较法：当$R_x\gg R_A$时，采用内接法；当$R_x\ll R_V$时，采用外接法，可记忆为“大内小外”.

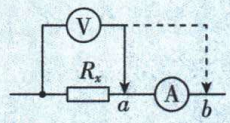
(2)公式计算法：

①当$\frac{R_V}{R_x}<\frac{R_x}{R_A}$即$R_x>\sqrt{R_AR_V}$时，用电流表内接法；

②当$\frac{R_V}{R_x}>\frac{R_x}{R_A}$即$R_x<\sqrt{R_AR_V}$时，用电流表外接法；

③当$R_x=\sqrt{R_AR_V}$时，两种接法效果相同.

(3)试触法：适用于R_x、R_V、R_A的阻值关系不能确定的情况，如图所示，把电压表的一个接线端分别接a、b两点，观察两电表的示数变化：若电流表的示数变化明显，即$\frac{|I_2-I_1|}{I_1}>\frac{|U_2-U_1|}{U_1}$，则说明电压表的分流对电路影响大，表明$R_x$较大，应选用电流表内接法；反之，应选用电流表外接法.



除此以外，若题目所给电流表内阻已知，则不管电阻大小，均选择内接法，这样可以消除系统误差；同理，若电压表内阻已知，则均选择外接法，同样可以消除系统误差.

实验9　用多用电表测量电学中的物理量

刷实验

1. (1)×1 k　(2)17　(3)35　(4)小　13

考查点▸多用电表测电阻的原理、实验步骤和读数

【解析】(1)根据题意可知，用“×100”挡测量某电阻时，操作步骤正确，发现表头指针偏转角度很小，说明待测电阻较大，为了较准确地进行测量，应换到“×1 k”挡.

(2)由图甲可知，被测电阻的测量值为17×1 kΩ=17 kΩ.

(3)由题可知，满偏时，干路中的总电流$I=I_g+I_0=I_g+2I_g=3I_g$，根据闭合电路欧姆定律，可知电阻表的内阻为$R_{内}=\frac{E}{I}=\frac{4.5}{300\times10^{-6}}\ \Omega=15$ kΩ，则表盘上30 μA刻度线对应的电阻值是$R_x=\frac{E}{3I'}-R_{内}=\frac{4.5}{3\times30\times10^{-6}}\times10^{-3}$ kΩ−15 kΩ=35 kΩ.

(4)根据题意可知，电池的电动势下降到4.2 V，则电阻表内阻为$R'_{内}=\frac{E'}{I}=\frac{4.2}{300\times10^{-6}}\ \Omega=14$ kΩ，内阻增加了5 Ω时仍可调零，则调零电阻R的阻值将变小，若测得某电阻的阻值为14 kΩ，电池电动势为$E=4.5$ V，电阻表内阻为$R_{内}=15$ kΩ，则灵敏电流计的电流为$I_1=\frac{E}{R_{内}+R_{测}}\times\frac{1}{3}=\frac{1500}{29}$ μA，电动势下降到4.2 V，电阻表内阻为14 kΩ，则这个电阻的真实值为$R_{真}=\frac{E'}{3I_1}-R'_{内}\approx13$ kΩ.

2. (1)BD　(2)①100　②不需要　(3)①机械调零　③见解析

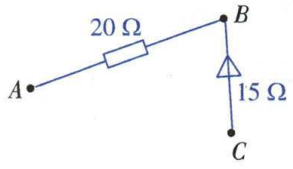
考查点 多用电表测量黑箱中的元件

【解析】(1)图甲中,多用电表与小灯泡并联,但由于黑表笔与电源的正极相连,故不可以测量小灯泡的电压,A 错误;图乙中,多用电表串联在电路中,红表笔与电源正极相连,可以用直流电流挡测量电路中的电流,B 正确;图丙中,若用电阻挡测量小灯泡的工作电阻,电源不可接入电路中,C 错误;图丁中,黑表笔与内部电源的正极相连,所以用的是电阻挡测量二极管的反向电阻,D 正确.

(2)①由图己可知,表盘中间刻度为 10,所以当倍率为×10 时,电阻表的内阻为 $R_{内}=10\times10\ \Omega=100\ \Omega$;②若某个多用电表内的电学元件 R_1(图戊)损坏,换成最大阻值比 R_1 略大的 R_2,由于电源电动势不变,满偏电流不变,所以电阻表的内阻不变,所以不需要更换该多用电表的表头.

(3)①由于用多用电表的直流电压挡测量电压,所以测量前应进行机械调零;由于使用直流电压 2.5 V 挡依次接 A 和 B、B 和 C、A 和 C,示数均为 0,说明黑箱内没有电源;

③将选择开关旋到电阻挡,正确调零后,由测量结果可知,A、B 间正接、反接示数相同,说明 A、B 间存在阻值为 20 Ω 的定值电阻;同理 B、C 间正接、反接示数变化较大,说明 B、C 间存在二极管,且二极管的正向电阻为 15 Ω;A、C 间正接、反接示数变化较大,说明 A、C 间存在二极管,且黑表笔接 C,红表笔接 A 时,电阻表的读数等于定值电阻与二极管正向电阻之和,说明此时二极管与定值电阻串联,故黑箱的结构如图所示.



实验 10　测量电源的电动势和内阻

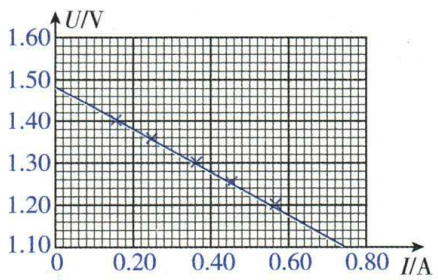
刷实验

1. (1)D　F　(2)见解析　1.48(1.46~1.48 均可)　0.51(0.46~0.51 均可)　(3)电压表分流　小于

考查点 测量电源电动势和内阻的注意事项和误差分析

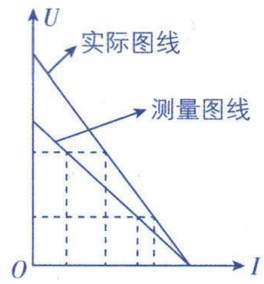
【解析】(1)干电池的电动势约为 1.5 V,故电压表应选 D,实验中流过电池的电流不能太大,否则电池的内阻变化较大,则电流表应选 F.

(2)U-I 图像如图所示.



纵截距表示电动势 $E=1.48$ V,图线斜率的绝对值表示内阻,则 $r=\dfrac{1.48-1.10}{0.74}\ \Omega\approx0.51\ \Omega$.

(3)在测量电源的电动势和内阻时,电压表测量电源的外电压准确,因为电压表起分流作用,电流表测量通过电源的电流偏小,作出 U-I 图像实际图线和测量图线如图所示,可知电动势的测量值偏小,内阻的测量值偏小.



关键点拨 由于干电池内阻较小,一般纵轴都不是从 0 开始的,计算内阻时需要找电流变化量对应的电压变化量.

2. (1)D　(2)0.40　1.30　(3)a　$\dfrac{a}{b}-R_0$　(4)A

考查点 测量电源电动势和内阻的实验步骤和数据处理

【解析】(1)一个电流表、一个电压表和一个滑动变阻器,即伏安法,根据闭合电路欧姆定律有 $E=U+Ir$,调节滑动变阻器,从而得到多组 U、I,进而求得 E、r,A 正确,不符合题意;一个电压表和多个定值电阻,即伏阻法,根据闭合电路欧姆定律有 $E=U+\dfrac{U}{R}r$,换用不同的定值电阻,从而得到多组 U、R,进而求得 E、r,B 正确,不符合题意;一个电流表和一个电阻箱,即安阻法,根据闭合电路欧姆定律有 $E=I(R+r)$,调节电阻箱的阻值,从而得到多组 I、R,进而求得 E、r,C 正确,不符合题意;两个电流表和一个滑动变阻器,因无法知道滑动变阻器连入电路的确切阻值,无法根据闭合电路欧姆定律测出 E、r,D 错误,符合题意.

(2)由于电流表量程为 0~0.6 A,一小格为 0.02 A,所以电流为 0.40 A;电压表量程为 0~3 V,一小格为 0.1 V,所以电压为 1.30 V.

(3)根据闭合电路欧姆定律可得 $U=E-I(r+R_0)$,结合图像可得 $E=a$,$r+R_0=\dfrac{a}{b}$,所以 $r=\dfrac{a}{b}-R_0$(**易错点**:与电源串联的定值电阻 R_0 起到一个扩大电源内阻的作用,计算电源内阻时需要减掉).

(4)本实验方案的系统误差是由于电压表分流,所以 $I_{真}=I_{测}+I_V=I_{测}+\dfrac{U}{R_V}$,由此可知,随着电压 U 增大,$I_{测}$ 与 $I_{真}$ 偏差增大,则真实图线纵截距更大,当 U 等于 0 时,$I_{测}$ 与 $I_{真}$ 相等,即两图线的横截距相等,A 正确.

关键点拨 测电源的电动势和内阻的核心方法为伏安法以及由此延伸的伏阻法和安阻法,其他的变形(电表的改装、给电源串联定值电阻等)均由基本模型变化而来,所以应熟记其基本模型,以不变应万变.

全章素养提升

刷真题

刷小题

1. B　**命题点** 电阻率的计算

【解析】根据电阻定律 $R=\rho\dfrac{x}{S}$ 与欧姆定律 $I=\dfrac{U}{R}$,可得 $U=\dfrac{I\rho}{S}\cdot x$,则 U-x 的图像斜率 $k=\dfrac{I\rho}{S}\propto\rho$,$\dfrac{\rho_1}{\rho_2}=\dfrac{2}{1}$,B 正确.

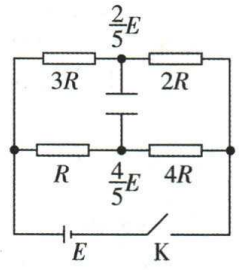
2. D　**命题点** 霍尔现象模型

【解析】设样品每平方米载流子数为 n,则流过石墨烯材料的电流 $I=\dfrac{Q}{t}=\dfrac{nbvte}{t}=nbve$,当电压表示数稳定时,载流子受到的电场

力与洛伦兹力平衡，即 $e\frac{U}{b}=evB$，联立解得 $U=\frac{I}{ne}B$，结合题图(b)中图线斜率 $k=\frac{I}{ne}=\frac{88\ \text{mV}}{320\ \text{mT}}$，代入数据解得 $n\approx2.3\times10^{16}$，D 正确.

3. C 命题点 电路、电容

【解析】定义电源负极电势为 0，则正极电势为 E，根据串联电路的分压规律求得电容器两端的电势，如图所示，根据电路分析可知，电容器两端的电势差 $U=\frac{4}{5}E-\frac{2}{5}E=\frac{2}{5}E$，则电容器上电荷量为 $q=CU=\frac{2}{5}CE$，C 正确.



4. B 命题点 自感

【解析】当开关 S 断开时，A 选项中的整个电路均断开，则不能给电池充电，A 错误；当开关 S 闭合稳定时，B 选项中的线圈 L 有电流通过，当开关 S 断开时，线圈 L 产生自感电动势阻碍电流减小，线圈 L 相当于电源，电源 U 与线圈 L 中的自感电动势共同加在电池两端，且此时二极管正向导通，从而实现向高压充电，B 正确；当开关 S 闭合稳定时，C 选项中的线圈 L 中有电流通过，但当开关 S 断开时，线圈 L 也与电路断开，还是只有回收系统的电压 U 加在电池两端，则不能实现向高压充电，C 错误；当开关 S 闭合稳定时，D 选项中的线圈 L 中有电流通过，但当开关 S 断开时，电源 U 也断开，只有 L 产生的自感电动势相当于电源，但此时线圈中的电流无法通过二极管，则不能实现向高压充电，D 错误.

刷实验

5. (1)①A(2 分)　(2)$\frac{1}{b}$(2 分)　(3)$\frac{R_0}{n-1}$(2 分)

命题点 测量电源的电动势和内阻

【解析】(1)①闭合开关前，为了保护电路，应使电阻丝接入电路的阻值最大，金属夹应置于电阻丝的 A 端.

(2)设电阻丝单位长度的电阻为 λ，对题图(a)，由闭合电路欧姆定律得 $U=\frac{\lambda L}{\lambda L+r}E$，整理得 $\frac{1}{U}=\frac{r}{\lambda E}\cdot\frac{1}{L}+\frac{1}{E}$；对题图(b)，由闭合电路欧姆定律得 $U=\frac{\lambda L}{\lambda L+r+R_0}E$，整理得 $\frac{1}{U}=\frac{r+R_0}{\lambda E}\cdot\frac{1}{L}+\frac{1}{E}$. 纵轴截距为 b，有 $b=\frac{1}{E}$，解得 $E=\frac{1}{b}$.

(3)由(2)中表达式可知 $k_1=\frac{r}{\lambda E}$，$k_2=\frac{r+R_0}{\lambda E}$，又 $\frac{k_2}{k_1}=n$，解得 $r=\frac{R_0}{n-1}$.

6. (1)CAB(1 分)　负极、正极(1 分)　×100(1 分)　1.6(1 分)

(2)R_1(2 分)　a(2 分)　(3)$\frac{UR_0}{U_1-U}$(2 分)　(4)1.57(2 分)

命题点 测电表的内阻

【解析】(1)用多用电表测电阻时，首先是选择倍率，然后将红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指示在电阻为零的位置，因此顺序为 CAB. 电流从多用电表的黑表笔流出，流入电压表的正极，则红表笔接电压表的负极，黑表笔接电压表的正极. 指针指示 I 位置时，表盘显示示数偏大，大电阻用大倍率，若旋转到“×1 k”位置，表盘显示示数将偏小，读数不准确，故应将选择开关旋转到欧姆挡“×100”位置，由题图(a)可知，粗测得到的该电压表内阻为 1.6 kΩ.

(2)由题图(b)可知，滑动变阻器采用分压式接法，滑动变阻器应选最大阻值较小的滑动变阻器，故选 R_1. 闭合开关 S 前，滑动变阻器的滑片应置于 a 端.

(3)由题图(b)可知，待测电压表与定值电阻 R_0 串联，根据串联电路电流特点结合部分电路欧姆定律可得 $\frac{U}{R_V}=\frac{U_1-U}{R_0}$，解得 $R_V=\frac{UR_0}{U_1-U}$.

(4)把数据代入 $R_V=\frac{UR_0}{U_1-U}$，可得 $R_V=1.57\ \text{kΩ}$.

7. (1)2.450(或 2.449 或 2.451)(2 分)　(2)1(2 分)　(3)1.92(1.90～1.94 均可)(2 分)　(4)大于(2 分)

命题点 测量铅笔芯电阻率实验

【解析】(1)由题图甲知，铅笔芯直径为 $d=2\ \text{mm}+45.0\times0.01\ \text{mm}=2.450\ \text{mm}$；

(2)开关 K 接 1 时电流表为外接法，接 2 时电流表为内接法，开关 K 由 1 掷到 2，电压表示数比电流表示数变化更明显，则待测铅笔芯的电阻与电流表的内阻相差较小，电流表分压较多，故电流表应采用外接法，故测量铅笔芯时应将 K 掷到 1；

(3)由题图丙得 $R_Y=\frac{2.50\ \text{V}}{1.30\ \text{A}}=1.92\ \text{Ω}$；

(4)由 $R=\rho\frac{L}{S}$ 得，电阻率 $\rho=\frac{RS}{L}$，则 $\frac{\rho_X}{\rho_Y}=\frac{R_X}{R_Y}\cdot\frac{L_Y}{L_X}\approx1.32>1$，故 X 型号铅笔芯的电阻率大于 Y 型号铅笔芯的电阻率.

8. (1)M(2 分)　(2)4 000(2 分)　(3)$\frac{U}{I}-R_1-R_2$(2 分)　(4)A(2 分)　(5)0.86(2 分)

命题点 电表的改装和校准

【解析】(1)为了保护电流表 G，闭合 S_1 瞬间电流表 G 应被短路，故滑片 P 应移至 M 端.

(2)S_2 接 b 时，改装电压表量程为 1 V，故 $1\ \text{V}=I_g(R_g+R_1)$，S_2 接 a 时，改装电压表量程为 3 V，故 $3\ \text{V}=I_g(R_g+R_1+R_2)$，把 $I_g=500\ \mu\text{A}$、$R_g=800\ \text{Ω}$、$R_1=1\ 200\ \text{Ω}$ 代入，得 $R_2=4\ 000\ \text{Ω}$.

(3)S_2 接 a 时，有 $U=I(R_g+R_1+R_2)$，可得 $R_g=\frac{U}{I}-R_1-R_2$.

(4)若改装后电压表读数始终比标准电压表读数偏大，说明电流表 G 与电阻箱串联后，流过电流表 G 的电流较大，故增大电阻箱 R_1 的阻值即可.

(5)S_2 与 b 连接，题图(2)中电流表 G 的示数为 430 μA，改装后电压表量程为 1 V，则有 $\frac{500\ \mu\text{A}}{1\ \text{V}}=\frac{430\ \mu\text{A}}{U}$，解得 $U=0.86\ \text{V}$.

第 11 章　磁　场

第 1 节　磁感应强度　磁感线　磁通量

刷基础

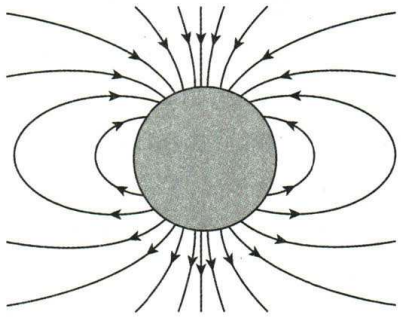
1. A 考查点 磁场的方向、磁感线

【解析】由右手螺旋定则可得出，电流在小磁针位置产生的磁场垂直纸面向外，故 N 极垂直纸面向外，A 正确；由右手螺旋定则可得出，电流在小磁针位置产生的磁场垂直纸面向里，故 N 极垂直纸面向里，B 错误；磁铁外部的磁感线由 N 极指向 S 极，题图丙中小磁针 N 极水平向右，题图丁中小磁针 N 极指向左，C、D 错误.

关键点拨 磁感线在空间的分布是闭合的，电场线是不闭合的；磁体与磁体之间、磁体与通电导体之间，以及通电导体与通电导体之间的相互作用都是通过磁场产生的.

2. B 考查点 地磁场及其磁感线分布、磁感应强度的叠加

【解析】由题意，当 x 轴、y 轴、z 轴方向的分量与所建坐标系对应正方向相同时的示数为正值，反向时为负值，则说明当坐标轴与磁场方向垂直时，示数为 0，A 错误，B 正确；前四次测量时手机屏面保持水平且正面朝上，而表中 z 轴数值为负值，说明该地地磁场方向向下，根据地磁场分布图（如图所示）可判断该地位于北半球，C 错误；根据 $B_{地}=\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$，利用表格中六组数据求出磁感应强度大小后，再求平均值可算出当地的磁感应强度大小约为 50 μT，D 错误.



方法总结 地磁场分布特点

(1) 地磁场的 N 极在地球南极附近，S 极在地球北极附近. 地球的地理两极与地磁两极并不重合，因此，磁针并非准确地指向南、北，其间有一个夹角，这就是地磁偏角.

(2) 在南半球地面某点地磁场的方向斜向上，在北半球地面某点地磁场的方向斜向下，水平分量由南到北.

(3) 在赤道地面上，磁场方向与地面平行，方向由南向北.

3. C 考查点 磁通量的计算

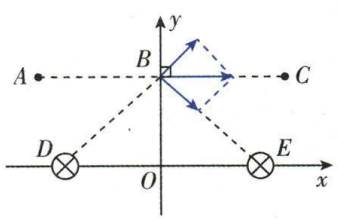
【解析】由题图可知通过该矩形线框的磁通量为 $\Phi=BS_{\perp}=BS\cdot\sin\theta$，C 正确.

4. AB 考查点 直线电流周围的磁场、磁感应强度的叠加

【解析】根据安培定则和磁场的叠加可知，a、c 点处的磁感应强度方向与近端导线中电流产生的磁场方向相同，均为竖直向上，A 正确，C 错误；根据安培定则和磁场的叠加可知，b 点的磁感应强度方向竖直向下，B 正确；根据安培定则和磁场的叠加可知，d 点的磁感应强度方向竖直向下，D 错误.

5. D 考查点 磁感应强度的矢量性与叠加

【解析】根据安培定则，D、E 两位置的通电长直导线在 B 点产生的磁感应强度方向如图所示，由矢量合成法则，可知合磁感应强度方向水平向右，第三根通有相反方向电流的长直导线放置的位置分别在 A、C 点时，在 B 点产生的磁感应强度方向都在竖直方向，B 点的合磁感应强度不可能为零，A、C 错误；第三根通有相反方向电流的长直导线放置的位置在 B 点时，B 点的合磁感应强度不可能为零，B 错误；第三根通有相反方向电流的长直导线放置的位置在 O 点时，由安培定则，可知在 B 点产生的磁感应强度方向水平向左，则 B 点的合磁感应强度可能为零，D 正确.



6. B 考查点 磁感应强度的叠加、洛伦兹力

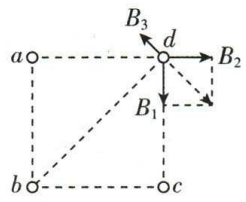
【解析】根据右手螺旋定则，结合磁场的叠加可知 C、D 之间的磁场方向沿 CD 向里，从 C 点到 D 点磁感应强度大小先增大后减小，根据左手定则可知，带正电的小滑块以初速度 v_0 从 a 点出发在桌面上沿虚线 CD 运动到 b 点过程中，带正电的小滑块不受洛伦兹力（**关键点：**带正电的小滑块的运动方向与磁场方向平行，洛伦兹力的大小为零），沿 CD 方向只受到滑动摩擦力作用，方向沿 DC 向外，滑动摩擦力不变，根据牛顿第二定律可知小滑块的加速度不变，所以小滑块做匀减速直线运动，B 正确.

7. A 考查点 磁感应强度的矢量性与叠加、地磁场

【解析】指南针向西偏转，根据磁场的叠加判断直导线上方磁场应该为向西方向，根据题目中的已知条件，可以计算出导线在手机处产生磁场的磁感应强度大小为 $B_{线}=k\frac{I}{r}=13.8\ \mu T$，结合地磁场和导线产生的磁场叠加后使指南针偏转 30°，可得 $B_{水平}=\frac{B_{线}}{\tan 30^\circ}$，解得 $B_{水平}\approx 24\ \mu T$，A 正确.

8. A 考查点 磁感应强度的矢量性与叠加

【解析】由题意知，a、c 到 d 点的距离相等，则 a、c 中电流在 d 点产生的磁场的磁感应强度大小相等，即 $B_2=B_1=B_0$，由 $B=k\frac{I}{r}$，可知，b 中电流在 d 点产生的磁场的磁感应强度大小 $B_3=\frac{1}{\sqrt{2}}B_0$，如图所示，所以 d 处的合磁感应强度大小 $B_{合}=\sqrt{2}B_0-\frac{1}{\sqrt{2}}B_0=\frac{\sqrt{2}}{2}B_0$，A 正确.



9. A 考查点 磁感应强度的矢量性与叠加

【解析】设流经 L_1 的电流在 a、b 两点产生的磁感应强度大小均为 B_1，流经 L_2 的电流在 a、b 两点产生的磁感应强度大小均为 B_2，由安培定则可知流经 L_1 的电流在 a 点产生的磁场方向垂直于纸面向里，流经 L_2 的电流在 a 点产生的磁场方向垂直于纸面向里；流经 L_1 的电流在 b 点产生的磁场方向垂直于纸面向里，流经 L_2 的电流在 b 点产生的磁场方向垂直于纸面向外，所以根据已知条件得到 $B_0-(B_1+B_2)=\frac{B_0}{3}$、$B_0-B_1+B_2=\frac{B_0}{2}$，解得 $B_1=\frac{7B_0}{12}$，$B_2=\frac{B_0}{12}$，A 正确.

易错警示 通电导线周围的磁感应强度方向是垂直于该点到导线的垂线指向右手环绕方向，解答本题时需结合右手螺旋定则判断出通电导线在 a、b 产生的磁感应强度的大小和方向，然后遵循矢量叠加原理求解.

第 2 节 磁场对通电导体的作用

刷基础

1. C 考查点 安培力、磁感应强度的叠加

【解析】导线中通有等大、同向的恒定电流，则分别过 a、b、c、d 的四根导线在 O 点产生的磁感应强度大小均为 B，方向分别沿 $O\to d$、$O\to a$、$O\to b$、$O\to c$，根据矢量叠加原理可知，O 点的磁感应强度大小为 0，A、B 错误；导线中通有等大、同向的恒定电流，根据右手螺旋定则可知，分别过 b、c、d 的三根导线在 a 点产生的磁感应强度方向分别为 $d\to a$、垂直于 ca 向外、$a\to b$，根据通电直导线电流产生的磁场特征可知，分别过 b、d 的两根导线在 a 点产生的磁感应强度大小相等，根据矢量叠加原理可知，分别过 b、c、d 的三

根导线在 a 点产生的磁感应强度方向垂直于 ca 向外，根据左手定则可知，过 a 点的导线所受安培力沿 aO 方向，C 正确，D 错误.

2. BD 考查点▸安培力的简单计算、有效长度

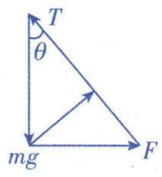
【解析】由题可知，安培力减小时，示数变大，说明安培力方向向上，根据左手定则可知，电流沿逆时针方向，A 错误，B 正确；设圆环的重力为 G，由几何关系得下移后圆环的有效长度为 $1.6R$，则 $F+2BIR=G$，$1.2F+1.6BIR=G$，解得 $G=2F$，C 错误，D 正确.

方法总结 有效长度的计算

l 指的是导线在磁场中的“有效长度”，弯曲导线的有效长度 l 等于连接两端点直线段的长度. 对任意形状的闭合平面线圈，当线圈平面与磁场方向垂直时，线圈的有效长度 $l=0$.

3. B 考查点▸安培力作用下的平衡问题

【解析】对棒进行受力分析，由图可知，棒受到的最小安培力 $F=mg\sin 37°$，结合安培力公式 $F=BIL$，解得最小的磁感应强度 $B=6$ T，B 正确.



关键点拨 根据矢量三角形法可知，当安培力与悬线垂直时，安培力最小.

4. A 考查点▸安培力、共点力平衡

【解析】取单位长度的导线为研究对象，将 a 悬挂在弹簧下端，不通入电流时，由平衡条件得 $m_ag=k\Delta l$；通入方向相反的电流 I 时，有 $m_ag+BIL=2k\Delta l$（点拨：异向电流相互排斥）；将 b 悬挂在弹簧下端，通入同向电流 $2I$ 时，有 $m_bg=2B\cdot 2I\cdot L+2k\Delta l$（点拨：同向电流相互吸引），联立解得 $m_a:m_b=1:6$，A 正确.

5. C 考查点▸安培力的大小和方向

【解析】由左手定则可得导电圆环上各小段所受安培力斜向上，指向圆环内侧，则导电圆环有收缩的趋势，由对称性可知，导电圆环所受安培力的方向竖直向上，大小为 $F_{安}=BI\cdot 2\pi R\sin 30°=\pi BIR$，C 正确.

易错警示 解答本题时应注意磁感应强度在竖直方向的分量产生的安培力相互抵消，则合力为水平分量产生的安培力，本题应采用微元法的思想，可知有效受力长度为环的周长.

刷 提分

1. C 突破点▸安培力的计算

【解析】导体棒连入电路的实际阻值为 R，由闭合电路欧姆定律可知电路中电流 $I=\dfrac{E}{R+r}$，导体棒 MN 部分的长度 $L=\dfrac{d}{\sin 30°}=2d$，故导体棒所受安培力 $F=BIL=B\dfrac{E}{R+r}\times 2d=\dfrac{2BEd}{R+r}$，C 正确.

2. ABC 考查点▸电磁炮

【解析】弹丸所受安培力向右，根据左手定则可知，弹丸中的电流方向为由 a 向 b，所以导轨 a 的电势较高，A 正确；弹丸在导轨上运动时，可控电源提供给弹丸的功率不变，根据 $P=Fv$ 可知，随着速度增大，弹丸受到的安培力不断减小，弹丸的加速度不断减小，B 正确；此过程中弹丸受到的合力的功率不变，根据动能定理有 $Pt=\dfrac{1}{2}mv^2$，解得 $t=\dfrac{mv^2}{2P}$，C 正确；若弹丸做匀加速直线运动，则弹丸在导轨上的加速距离为 $x=\dfrac{v}{2}t=\dfrac{mv^3}{4P}$，而实际上弹丸做加速度减小的加速运动，在导轨上的加速距离应大于 $\dfrac{mv^3}{4P}$，D 错误.

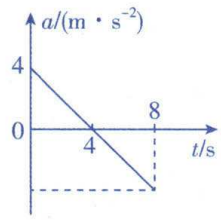
3. AC 考查点▸安培力

【解析】由题意知Ⅱ区域内的磁场减小时橡皮筋伸直且无弹力，可知 MN 受到的安培力竖直向上，根据左手定则可知电流方向为 M 指向 N，由于Ⅱ区域内的磁场减小，根据楞次定律可知Ⅱ区域的磁场方向垂直于纸面向里，A 正确；线框第一次下降高度 h 时速度达到最大，则线框合力为 0，线框继续向下运动，弹力增大，合力增大，运动至 MN 与 aa' 重合时弹力最大，合力最大，线框将会向上运动，所以线框最终静止时 MN 边不会与 aa' 重合，B 错误；线框最大速度时，线框合力为 0，由平衡条件有 $mg=BIL+2kh$，因为 $I=\dfrac{BLv_0}{R}$，联立解得 $v_0=\dfrac{(mg-2kh)R}{B^2L^2}$，C 正确；线框在运动过程中，除了弹簧弹力和重力外，还受到安培力，安培力大小与速度有关，不满足简谐运动回复力 $F=-k'x$（k' 为常数）的特征，所以线框不做简谐运动，D 错误.

4. A 突破点▸安培力的图像问题

【解析】$0\sim L$ 内，导体棒经过时间 t 移动的距离为 $x=vt=\dfrac{2kL}{B_0}t$，此时导体棒在磁场中的长度 $l=2x=\dfrac{4kL}{B_0}t$，所受的安培力 $F=IBl=I(B_0-kt)\dfrac{4kL}{B_0}t=\dfrac{4kLI}{B_0}(B_0t-kt^2)$，则图像为开口向下的抛物线的一部分；同理 $L\sim 2L$ 内，所受安培力 $F=I(B_0-kt)\left(4L-\dfrac{4kL}{B_0}t\right)=4LI\left(B_0-2kt+\dfrac{k^2t^2}{B_0}\right)$，由数学知识可知 $F-t$ 图像为开口向上的抛物线的一部分，A 正确.

5. BC 突破点▸安培力和力学问题的综合



【解析】根据左手定则可知，导体棒受到的安培力方向垂直斜面向下，A 错误；对导体棒受力分析，导体棒的速度最大时，其所受的合力为 0，则有 $mg\sin\theta=F_f$，$F_N=mg\cos\theta+F_{安}$，其中 $F_{安}=BIl$，$B=\dfrac{0.4}{0.5}t(\mathrm{T})=0.8t(\mathrm{T})$，$F_f=\mu F_N$，解得 $t=4$ s，B 正确；在导体棒沿斜面向下运动的过程中，由牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta-F_f=ma$，解得 $a=4-t(\mathrm{m/s^2})$，作出导体棒运动的 $a-t$ 图像如图所示，由于导体棒初速度为零，故图线与横轴所围的面积即可表示导体棒的末速度，由图可知，导体棒的最大速度为 $v_m=4\times 4\times\dfrac{1}{2}\ \mathrm{m/s}=8\ \mathrm{m/s}$，C 正确；导体棒受到的摩擦力为 $F_f=\mu(mg\cos\theta+BIl)$，即有 $F_f=0.2t+0.4(\mathrm{N})$，可知导体棒运动时间越长，受到的摩擦力就越大，故可判断出导体棒的速度再次减为零时，导体棒受到的摩擦力最大，由图可知，$t=8$ s 时导体棒的速度为零，此时导体棒受到的摩擦力大小为 $F_f=2.0$ N，D 错误.

第 3 节 带电粒子（带电体）在磁场中的运动

刷 基础

1. C 考查点▸洛伦兹力的方向

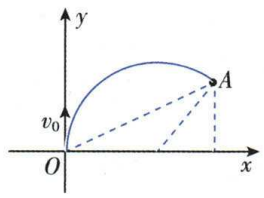
【解析】由图乙可知，电子顺时针偏转，根据左手定则，可知所加磁场的方向是垂直纸面向内，C 正确.

关键点拨 利用左手定则判断洛伦兹力的方向时，四指应该指正电荷运动方向，负电荷运动反方向.

2. D 考查点 洛伦兹力、带电粒子在磁场中的运动、动量守恒定律

【解析】由洛伦兹力提供向心力，则有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，可得粒子轨迹半径 $r=\frac{mv}{qB}$，由于粒子甲在 M 点突然向与原运动相反的方向放出一个不带电的粒子乙，由动量守恒定律可知，放出粒子乙后，新粒子丙的动量大于粒子甲的动量，且电荷量不变，故轨迹半径变大，D 正确.

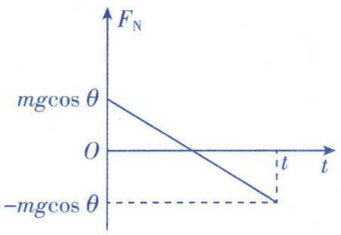
3. A 考查点 带电粒子在磁场中的运动



【解析】设轨迹半径为 R，磁感应强度为 B，根据洛伦兹力提供向心力有 $qv_0B=\frac{mv_0^2}{R}$，结合几何关系 $(x_0-R)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{3}x_0\right)^2=R^2$，解得 $B=\frac{3mv_0}{2qx_0}$，A 正确.

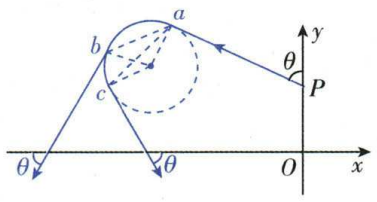
4. CD 考查点 动量定理、冲量、洛伦兹力

【解析】根据动量定理有 $I=0-mv_0=-mv_0$，故合力冲量大小为 mv_0，A 错误；小球上滑的时间为 $t=\frac{v_0}{g\sin\theta}$，重力的冲量大小为 $I_G=mgt=\frac{mv_0}{\sin\theta}$，B 错误；小球所受洛伦兹力为 $Bqv=Bq(v_0-at)=-Bqat+Bqv_0$，$a=g\sin\theta$，故洛伦兹力随时间线性变化，洛伦兹力冲量大小为 $I_{洛}=q\times\frac{v_0}{2}\times Bt=q\times\frac{v_0}{2}\times B\times\frac{v_0}{g\sin\theta}=\frac{qBv_0^2}{2g\sin\theta}$，C 正确；若 $v_0=\frac{2mg\cos\theta}{qB}$，则 0 时刻小球所受洛伦兹力为 $Bqv_0=2mg\cos\theta$，由于小球在垂直细杆方向所受合力为零，可得 $Bqv=mg\cos\theta+F_N$，即 $F_N=Bqv-mg\cos\theta=Bq(v_0-at)-mg\cos\theta=mg\cos\theta-Bqtg\sin\theta$，则小球在整个减速过程的 F_N-t 图像如图，F_N-t 图像与横轴围成的面积表示弹力的冲量，可得弹力的冲量为零，D 正确.



5. ABD 考查点 带电粒子在圆形有界磁场中运动

【解析】设电子在磁场中运动的半径为 r，由 $e(2v_0)B=m\frac{(2v_0)^2}{r}$，解得 $r=\frac{4}{3}L$，电子与 y 轴负方向的夹角为 30°对应两种情况，其运动轨迹图如图所示，



设两种情况下圆形磁场的最小半径分别为 R_1 和 R_2，由几何知识可得 $R_1=\frac{ab}{2}=r\sin 45°=\frac{2\sqrt{2}}{3}L$、$R_2=\frac{ac}{2}=r\sin 75°=\frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{3}L$，A、B 正确；两种情况下电子在圆形磁场中的运动时间分别为 $t_1=\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi r}{2v_0}=\frac{\pi L}{3v_0}$、$t_2=\frac{5}{12}\cdot\frac{2\pi r}{2v_0}=\frac{5\pi L}{9v_0}$，C 错误，D 正确.

易错警示 误认为临界状态只有一种而致错

解答本题时容易误认为电子经过 x 轴时与 y 轴负方向的夹角为 30°的情况只有一种，应当注意的是与 y 轴负方向的夹角为 30°的情况有两种.

刷提分

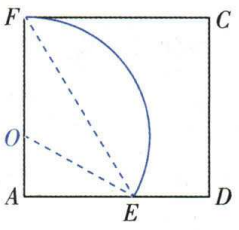
1. AB 突破点 托卡马克、带电微粒在环形边界磁场中的运动

【解析】根据图乙，结合左手定则可知，带电微粒带负电，A 正确；洛伦兹力提供向心力，有 $Bqv=m\frac{v^2}{R}$，解得 $R=\frac{mv}{Bq}$，可知，偏转半径 R 与动量成正比，与电荷量成反比. 由于碰撞过程动量守恒，电荷量不变，故偏转半径不变，新微粒仍能从 D 点返回反应区，B 正确；圆周运动的周期为 $T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{Bq}$，碰撞后微粒质量变大，电荷量不变，则周期变大，C 错误；碰撞过程动量守恒，则 $m_1v=(m_1+m_2)v_{共}$，解得 $v_{共}=\frac{m_1}{m_1+m_2}v$，根据洛伦兹力大小计算公式 $F=Bqv$，可知，碰撞后微粒速度变小，电荷量不变，故新微粒在磁场中受到的洛伦兹力变小，D 错误.

关键点

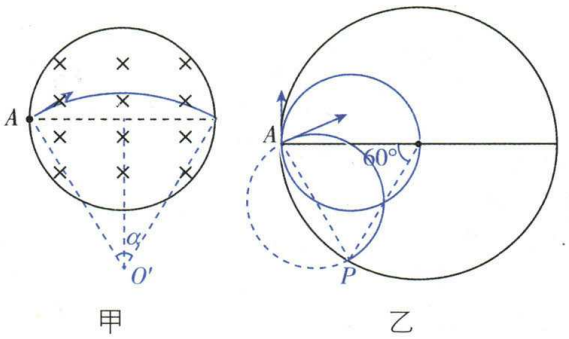
2. BCD 突破点 带电粒子在正方形磁场中的运动

【解析】由左手定则可知，正方形区域磁场方向垂直纸面向外，A 错误；由几何关系知 $AE=\frac{\sqrt{3}}{3}d$，$(d-r)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{3}d\right)^2=r^2$，解得 $r=\frac{2}{3}d$，根据 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 得，粒子的质量为 $m=\frac{2Bqd}{3v}$，B 正确；由几何关系知，粒子在磁场中运动转过的角度为 120°，则时间为 $t=\frac{120°}{360°}\cdot\frac{2\pi r}{v}=\frac{4\pi d}{9v}$，C 正确；若粒子从 D 点射出，则运动的轨迹半径为 d，速度 $v'=\frac{qBd}{m}=1.5v$，若粒子射入磁场的速度大于 $1.5v$（方向不变），则粒子运动半径变大，一定从 CD 边射出，D 正确.



3. AD 突破点 旋转圆、带电粒子在圆形有界磁场中的运动

【解析】若 $r=2R$，根据几何关系可知，粒子沿不同方向射入磁场，会从磁场圆的不同位置出射，范围是整个圆周；其中粒子在磁场中运动的时间最长时，运动轨迹的弦是磁场区域的直径（关键点：弦长越长，对应的圆心角越大，粒子在磁场中运动的时间越长），作出轨迹如图甲所示，因为 $r=2R$，则圆心角 $\alpha=60°$，粒子在磁场中运动的最长时间为 $t_{max}=\frac{60°}{360°}T=\frac{1}{6}\times\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi m}{3qB}$，A 正确，B 错误；若 $r=\frac{1}{2}R$，粒子在磁场圆的出射点都在 AP 之间，如图乙所示，由几何关系可知，对于磁场圆，AP 弧长对应的圆心角为 60°，所以粒子能打在圆形磁场圆周上的范围是六分之一圆周，在磁场中运动时间最长的粒子正好转过了一周，时间为 $t_{max}=T=\frac{2\pi m}{qB}$，C 错误，D 正确.



方法总结　旋转圆模型

粒子源发射速度大小一定、方向不同的同种带电粒子进入匀强磁场时，它们在磁场中做匀速圆周运动的轨迹圆半径相同，可将其中一个轨迹圆以入射点为圆心进行旋转，从而探索出临界条件，这种方法称为“旋转圆”法.

4. AC　**突破点**▸带电粒子在直线边界磁场中的圆周运动

【解析】根据洛伦兹力提供向心力，可得 $evB=m\frac{v^2}{R}$，代入数据解得质子做匀速圆周运动的半径 $R=\frac{mv}{Be}=\frac{p}{Be}=0.3\ \text{m}$，A 正确；质子打在探测板上的左端点与 P 点连线为轨迹的直径，左端点到 O 点的距离为 $L_1=\sqrt{(2R)^2-a^2}=0.3\sqrt{3}\ \text{m}$，右端点对应的轨迹与探测板相切，右端点到 O 点的长度为 0.3 m，则总长度为 $L_{总}=(0.3\sqrt{3}+0.3)\ \text{m}$，B 错误；竖直向上与竖直向下发射的质子对应的轨迹恰好与边界相切，入射方向在竖直方向左侧的质子均可以打到探测板上，则质子计数率为 $\eta=\frac{180°}{360°}=\frac{1}{2}$，C 正确；在确保计数率为 $\eta=\frac{1}{2}$ 的情况下，质子做圆周运动半径 R 应与 a 相等，则由 $R=\frac{p}{Be}=a$，可得磁感应强度 B 和 a 的关系满足 $B=\frac{3}{100a}(\text{T})$，当 $0<a\leqslant\frac{\sqrt{3}}{3}\ \text{m}$ 时，轨迹对应的弦长恰好为直径时对应临界条件，此时打到探测板的左端，即 $4R_{\max}^2-R_{\max}^2=\frac{1}{4}L^2$，即 $B\geqslant\frac{3\sqrt{3}}{100}\ \text{T}$，D 错误.

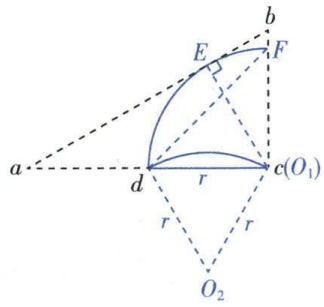
关键点

5. AB　**突破点**▸洛伦兹力、受恒定外力的板块问题

【解析】若磁场方向垂直纸面向里，物块所受洛伦兹力竖直向上，开始时物块与木板一起加速，随着速度增大，当满足 $qv_mB=mg$ 时，支持力为零，则静摩擦力为零，物块将匀速运动，则物块的最大速度为 $v_m=\frac{mg}{qB}$（**关键点：**物块速度增加的原因是存在摩擦力），A 正确；当物块与木板恰好发生相对滑动时，对物块有 $F_N=mg-qvB$，$\mu F_N=ma$，对整体有 $F=(M+m)a$，联立解得 $v=\frac{mg}{qB}-\frac{mF}{\mu qB(M+m)}$，B 正确；若磁场方向垂直纸面向外，物块所受洛伦兹力竖直向下，初始时物块与木板一起运动，随着速度增加，洛伦兹力增大，最大静摩擦力增大，而静摩擦力依然保证物块与木板一起做匀加速直线运动，则物块与木板将一直做匀加速直线运动，C、D 错误.

6. A　**突破点**▸带电粒子在三角形边界磁场中的运动、旋转圆

【解析】由题意，粒子在磁场中做匀速圆周运动，由左手定则知，粒子沿顺时针方向运动到 bc 边，根据 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，得半径 $r=\frac{\sqrt{3}}{2}L$，结合几何关系，可知从 bc 边射出的粒子的运动轨迹与 ab 相切时，对应在磁场中运动的时间最长（**关键点：**此时轨迹对应的弦长最长），由几何知识求得轨迹对应圆心角为 90°，从 c 点射出时，时间最短，轨迹对应圆心角为 60°，运动轨迹如图所示，根据 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，$t=\frac{\theta}{2\pi}T$，从 bc 边射出的粒子，在磁场中运动的时间满足 $\frac{\pi m}{3qB}\leqslant t\leqslant\frac{\pi m}{2qB}$，A 正确；由几何知识，可得从 bc 边射出的粒子，在磁场中发生的位移最大为 $dF=\sqrt{2}r=\frac{\sqrt{6}}{2}L$，B 错误；$bc$ 边有粒子射出的区域长度为 $Fc=r=\frac{\sqrt{3}}{2}L$，C 错误；从 c 点射出的粒子，由几何知识判断知速度方向偏转 60°，D 错误.



7. (1) 1 m　(2) (−8 m, 0)　(3) 0.5 m

突破点▸带电粒子在磁场中做圆周运动的多过程问题

【解析】(1) 由题意知粒子 a 在匀强磁场中做匀速圆周运动，有 $qv\times2B=m\frac{v^2}{r}$，

解得 $r=1\ \text{m}$.

(2) 设粒子 a 在第一象限运动的周期为 T_a，粒子 b 在第二象限运动的周期为 T_b，有 $T_a=\frac{2\pi r}{v}$，解得 $T_a=\pi\times10^{-2}\ \text{s}$，

粒子 b 在第二象限运动的半径 $r'=2r=2\ \text{m}$，可得 $T_b=2\pi\times10^{-2}\ \text{s}$，

粒子 a 从坐标原点 O 至第一次到达 x 轴的时间 $t_a=\frac{1}{2}T_a+\frac{1}{4}T_b=\pi\times10^{-2}\ \text{s}$，

第一次到达 x 轴的坐标为 $(-2r,0)$，即 $(-2\ \text{m},0)$，

粒子 b 第一次到达 x 轴的时间 $t_b=\frac{1}{2}T_b=\pi\times10^{-2}\ \text{s}$，

第一次到达 x 轴的坐标为 $(-2r',0)$，即 $(-4\ \text{m},0)$，

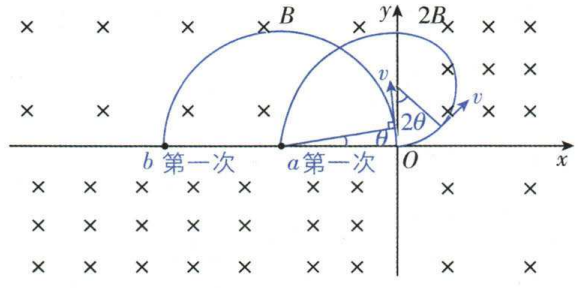
可推得此后二者完全同步，当粒子 a 第 8 次经过 x 轴时，粒子 b 也经过 x 轴. 由几何关系可知粒子 b 第 8 次经过 x 轴的横坐标 $x_{b8}=-8\ \text{m}$，

则此时粒子 b 的坐标为 $(-8\ \text{m},0)$.

(3) 由题意可知粒子 a 经过 y 轴后就和粒子 b 同步运动，即 $\Delta y=0$，

当粒子 a 在第一象限运动时，由 $\omega=\frac{v}{r}$ 和 $\theta=\omega t$ 可知粒子 a 运动对应的圆心角是粒子 b 的两倍，设粒子 b 运动对应的圆心角为 θ，则粒子 a 运动对应的圆心角为 2θ，由几何关系有 $\Delta y=2r\sin\theta-r(1-\cos2\theta)=2r\sin\theta(1-\sin\theta)$，

由数学基本不等式可知当 $\sin\theta=\frac{1}{2}$ 时，Δy 有最大值，$\Delta y_m=0.5\ \text{m}$.

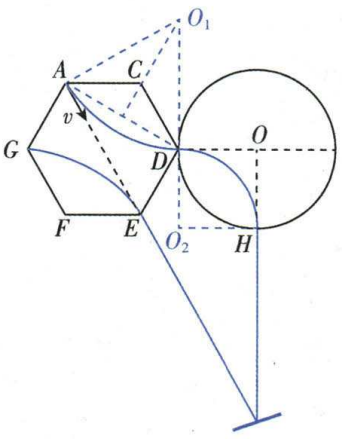


专题 14　带电粒子（带电体）在电磁场中的运动

刷 难关

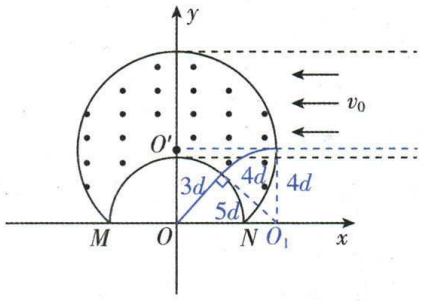
1. BD　突破点 ▸带电粒子在有界磁场中的运动

【解析】粒子在磁场中运动的轨迹如图所示，由左手定则可知，两磁场方向相反，A 错误；根据几何关系可得，粒子在六边形磁场中运动的轨迹半径为 $r_1=2l\cos 30°=\sqrt{3}l$，在圆形磁场中运动的轨迹半径为 $r_2=l$，根据洛伦兹力提供向心力有 $qvB_1=\dfrac{mv^2}{r_1}$，$qvB_2=\dfrac{mv^2}{r_2}$，联立可得 $\dfrac{B_1}{B_2}=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$，B 正确；粒子在六边形磁场中运动轨迹对应的圆心角共为 120°，在圆形磁场中运动轨迹对应的圆心角为 90°，粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{s}{v}=\left(\dfrac{2\sqrt{3}}{3}+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{\pi l}{v}$，C 错误；根据几何关系可得，粒子从 H 点运动到 E 点的轨迹长度为 $x=\dfrac{3l}{2}\times 2+(2\sqrt{3}-1)l=(2\sqrt{3}+2)l$，所以粒子在此过程中运动的时间 $t=\dfrac{x}{v}=\dfrac{(2\sqrt{3}+2)l}{v}$，D 正确.



2. AC　突破点 ▸带电粒子在弧形边界磁场中运动

【解析】粒子在磁场中做匀速圆周运动，根据洛伦兹力提供向心力有 $qv_0B=\dfrac{mv_0^2}{R_0}$，可得粒子在磁场中的轨道半径为 $R_0=\dfrac{mv_0}{qB}=4d$，正对 O' 点入射的粒子，圆心恰好在 x 轴上，进入磁场后做匀速圆周运动，如图甲所示，

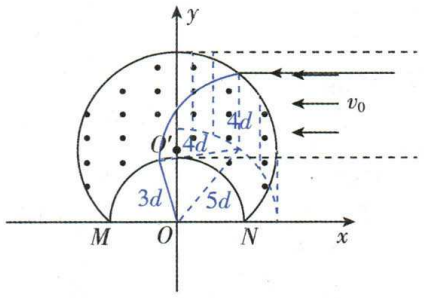


甲

根据勾股定理可知，进入无磁场区域后，速度方向恰好指向 O 点，

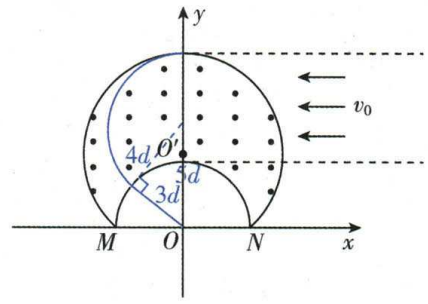
关键点

即正对 O' 点入射的粒子离开磁场后一定会过 O 点，A 正确，B 错误；根据题意知，所有粒子沿水平方向射入磁场，半径与速度方向垂直，圆心均在入射点的正下方，半径均为 $4d$，所有圆心所在的轨迹相当于将磁场边界向下平移 $4d$ 后的形状，O' 平移到 O 点位置，即所有粒子进入磁场后做圆周运动的圆心到 O 点距离均为 $5d$，如图乙所示，



乙

利用勾股定理可知，进入无磁场区域后，所有粒子速度方向都指向 O 点，因此所有粒子都过 O 点. 由上述分析可知，从最上方进入的粒子，在磁场中偏转角度最大，运动的时间最长，如图丙所示，



丙

由几何关系可知，该粒子在磁场中旋转了 143°，因此运动的时间为 $t=\dfrac{143°}{360°}\cdot\dfrac{2\pi\cdot 4d}{v_0}=\dfrac{143\pi d}{45v_0}$，C 正确，D 错误.

3. (1) $E=\dfrac{mg}{q}$，方向沿 y 轴正方向　$r=L$　(2) $t_{max}=\left(\pi+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{m}{qB}$　$y=L(\sin\alpha-\sqrt{2\cos\alpha-\cos^2\alpha})$　(3) $y_2=-y_1$

突破点 ▸带电粒子在有界磁场中运动

【解析】(1) 因为微粒能做匀速圆周运动，所以 $qE=mg$，

得 $E=\dfrac{mg}{q}$，

方向沿 y 轴正方向；

又 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$，

得 $r=\dfrac{mv}{qB}=L$.

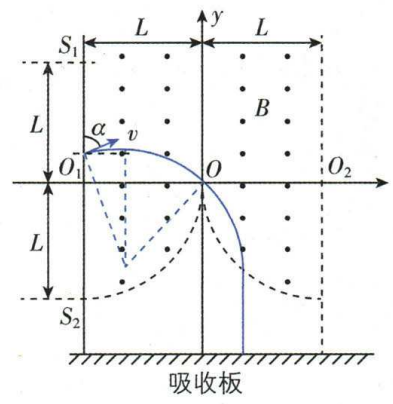
(2) ①求最长时间，即从 S_2 竖直向上发出的粒子，

在磁场中做圆周运动的周期 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$，

粒子在左右磁场区各运动 $\dfrac{1}{4}$ 圆周，时间均为 $t_1=\dfrac{1}{4}T$，

出右侧磁场后平行 y 轴做匀速运动打到吸收板，匀速运动时间 $t_2=\dfrac{\frac{3}{2}L-L}{v}=\dfrac{m}{2qB}$，

最长时间 $t_{max}=2t_1+t_2=\left(\pi+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{m}{qB}$，



吸收板

②要从 O 点经过，则 $L\cos\alpha+\sqrt{L^2-(L\sin\alpha-y)^2}=L$，

得 $y=L(\sin\alpha-\sqrt{2\cos\alpha-\cos^2\alpha})$.

(3) 打在吸收板上的 x 坐标满足 $x=L\cos\alpha$，

由 $x_1+x_2=L$，

得 $\cos\alpha_1+\cos\alpha_2=1$，

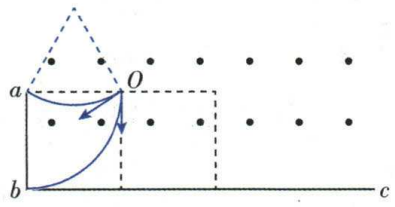
由 $y=L(\sin\alpha-\sqrt{2\cos\alpha-\cos^2\alpha})$，

有 $y_1 = L(\sin\alpha_1 - \sqrt{2\cos\alpha_1 - \cos^2\alpha_1})$，$y_2 = L(\sin\alpha_2 - \sqrt{2\cos\alpha_2 - \cos^2\alpha_2})$，

即 $y_2 = -y_1$.

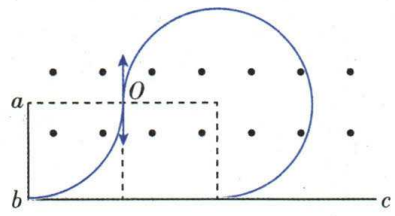
4. AD 突破点 临界状态不唯一形成多解

【解析】如图甲所示，当速度方向与 Oa 夹角为 30°时，粒子恰好经过 a 点，当速度方向与 Oa 夹角满足 30°≤α≤90°时，粒子到达 ab 边，所以从 ab 边出磁场的粒子数为总数的$\frac{1}{6}$，A 正确；



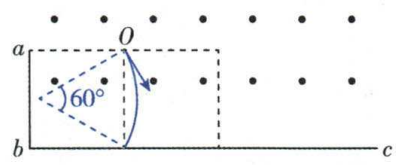
甲

如图乙所示，从 bc 边出磁场的粒子的速度方向与 Oa 夹角需要满足 90°≤α≤270°，则占粒子总数的$\frac{1}{2}$，B 错误；



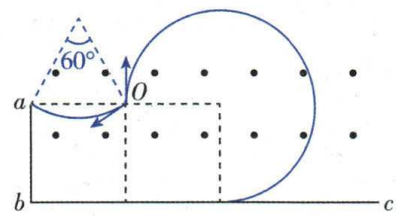
乙

如图丙所示，当射入点 O 与 bc 边上的出射点的连线与 bc 边垂直时，对应的粒子在磁场中运动时间最短，运动时间 $t = \frac{T}{6} = \frac{\pi m}{3qB}$，C 错误；



丙

如图丁所示，当轨迹对应的圆心角为 270°时路径最长，轨迹对应的圆心角为 60°时路径最短，则最长路径与最短路径之比为 9∶2，D 正确.



丁

5. (1)增大 $\frac{mv^2}{NSq}$ **(2)**$\frac{\sqrt{3}}{2}r$ **(3)**$\frac{2\sqrt{3}r\cdot\arcsin\frac{\sqrt{3}}{2n}}{3v}(n=1,2,3,\cdots)$ $\frac{8\sqrt{3}nr\cdot\arcsin\frac{\sqrt{3}}{2n}}{3v}(n=1,2,3,\cdots)$

突破点 带电粒子在交变磁场中的运动、粒子运动周期性造成的多解问题

【解析】(1)依题意，带正电的粒子 c 释放后加速向金属板 b 运动，可知金属板 b 带负电，电阻 R 中的电流向上，根据楞次定律可知磁感应强度 B_1 随时间增大. 由动能定理有 $qU = \frac{1}{2}mv^2$，

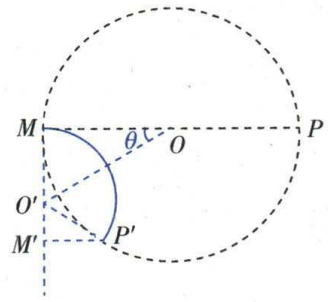
根据法拉第电磁感应定律，可得 $E = N\frac{\Delta B_1 S}{\Delta t}$，

又 $U = \frac{E}{R+R}\cdot R$，

联立解得 $\frac{\Delta B_1}{\Delta t} = \frac{mv^2}{NSq}$.

(2)两粒子发生碰撞，系统动量守恒，有 $mv = (m+m)v_e$，

由电荷守恒定律可知，粒子 e 的电荷量为 $-q$，质量为 $2m$，进入匀强磁场后做匀速圆周运动，轨迹如图甲所示，



甲

由几何关系可得 $\tan\theta = \frac{r_e}{r}$，

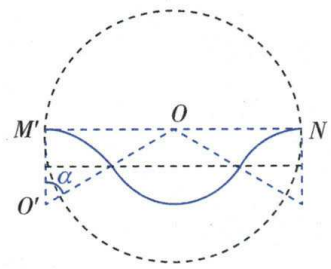
又 $qv_eB_2 = 2m\frac{v_e^2}{r_e}$，

联立解得 $r_e = \frac{\sqrt{3}}{3}r$，$\theta = 30°$，

由几何关系可知 $\angle M'P'O' = \theta = 30°$，

粒子 e 离开圆形有界磁场时偏离入射方向的距离 $y = r_e + r_e\sin\angle M'P'O' = \frac{\sqrt{3}}{2}r$.

(3)依题意，要使粒子 e 从边界直径 MP 的另一端 P 点飞出的临界轨迹如图乙所示，



乙

由(2)分析，结合几何关系可得 $r_e\sin\alpha = \frac{2r}{4}$，

解得 $\alpha = 60°$，

又 $T_e = \frac{2\pi r_e}{v_e} = \frac{4\sqrt{3}\pi r}{3v}$，

结合题图乙，可得 $T = \frac{\alpha}{2\pi}T_e = \frac{2\sqrt{3}}{9v}\pi r$，

粒子 e 从 M 点运动到 P 点所需的时间为 $t = T + 2T + T = 4T = \frac{8\sqrt{3}}{9v}\pi r$，

考虑到粒子运动的周期性，可知 $r_e\sin\alpha = \frac{2r}{4n}(n=1,2,3,\cdots)$，

解得 $\alpha = \arcsin\frac{\sqrt{3}}{2n}(n=1,2,3,\cdots)$，

可得 $T = \frac{\alpha}{2\pi}T_e = \frac{2\sqrt{3}r\cdot\arcsin\frac{\sqrt{3}}{2n}}{3v}(n=1,2,3,\cdots)$，

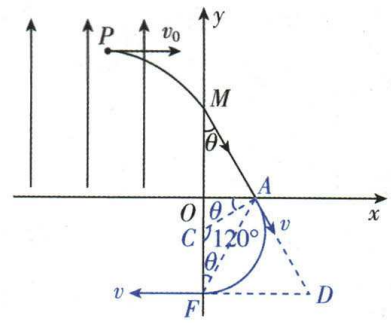
粒子 e 从 M 点运动到 P 点所需的时间为 $t=4nT=\dfrac{8\sqrt{3}nr\cdot\arcsin\dfrac{\sqrt{3}}{2n}}{3v}(n=1,2,3,\cdots)$.

6. D **突破点** ▸带电粒子在组合场中的运动

【解析】当电场强度为 0 时，从 O 点射入的粒子恰能运动到 N 点，则 $r_1=\dfrac{y_0}{2}$，根据洛伦兹力提供向心力有 $qv_0B=m\dfrac{v_0^2}{r_1}$，解得 $B=\dfrac{2mv_0}{qy_0}$，A 错误；若粒子从 $\dfrac{1}{3}y_0$ 处射入，则 $x_0=v_0t_1$、$y_1=\dfrac{1}{2}at_1^2$、$a=\dfrac{Eq}{m}$，联立解得 $y=y_1+\dfrac{y_0}{3}=\dfrac{y_0}{2}+\dfrac{y_0}{3}=\dfrac{5}{6}y_0<y_0$，由此可知，粒子从 N 点下方进入磁场，B 错误；设粒子进入磁场时速度方向与竖直方向的夹角为 θ，粒子进入磁场中的速度大小为 v，则 $v=\dfrac{v_0}{\sin\theta}$、$qvB=m\dfrac{v^2}{r}$，所以粒子在磁场中偏转距离为 $d=2r\sin\theta=y_0$，由此可知，粒子在磁场中偏转距离相等，C 错误；由以上分析可知，粒子在电场中的竖直位移为 $y_1=\dfrac{y_0}{2}$，所以从 $\dfrac{1}{2}y_0$ 处射入的粒子，恰好从 N 点进入磁场，且经磁场偏转后恰好打在 M 点，即只有 $0\sim\dfrac{1}{2}y_0$ 范围内平行于 x 轴正方向射出的粒子能被接收器接收，所以接收器接收的粒子数占粒子总数的 50%，D 正确.

7. BC **突破点** ▸带电粒子在组合场中的运动、磁场的最小面积问题

【解析】带电粒子(不计重力)，从第二象限内的 P 点 $(-L,\sqrt{3}L)$ 以平行于 x 轴的初速度 v_0 射出，并从 y 轴上 M 点 $\left(0,\dfrac{\sqrt{3}L}{2}\right)$ 射出电场，则有 $L=v_0t_1$，$\sqrt{3}L-\dfrac{\sqrt{3}L}{2}=\dfrac{1}{2}at_1^2$，且 $a=\dfrac{qE}{m}$，联立解得 $t_1=\dfrac{L}{v_0}$，$E=\dfrac{\sqrt{3}mv_0^2}{qL}$，B 正确；粒子经过 M 点时竖直速度 $v_y=at_1=\sqrt{3}v_0$，则此时速度与 y 轴负方向的夹角为 $\tan\theta=\dfrac{v_0}{v_y}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，大小为 $v=2v_0$，所以 $\theta=30°$，A 错误；设粒子经过 x 轴 A 点，由几何关系可知 $\cos\theta=\dfrac{x_{OM}}{x_{MA}}=\dfrac{\sqrt{3}L-\dfrac{\sqrt{3}}{2}L}{x_{MA}}$，解得 $x_{MA}=L$，则 $x_{OA}=\dfrac{1}{2}L$，由 $qvB=\dfrac{mv^2}{r}$ 知 $r=\dfrac{\sqrt{3}}{3}L$，则作出粒子运动轨迹如图，此时磁场面积最小，$x_{AF}=L$，正三角形区域磁场的最小面积为 $S=\dfrac{1}{2}\times L\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}L=\dfrac{\sqrt{3}}{4}L^2$，C 正确；粒子在第一象限运动的时间 $t_2=\dfrac{x_{MA}}{v}=\dfrac{L}{2v_0}$，粒子在磁场中运动的周期 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}=\dfrac{\sqrt{3}\pi L}{3v_0}$，粒子在磁场中的运动时间 $t_3=\dfrac{120°}{360°}T=\dfrac{\sqrt{3}\pi L}{9v_0}$，当粒子在第四象限只在磁场中运动时，时间最短，所以粒子从开始运动到第二次到达 y 轴的最短时间为 $t=t_1+t_2+t_3=\dfrac{3L}{2v_0}+\dfrac{\sqrt{3}\pi L}{9v_0}$，D 错误.



8. (1) $y=\dfrac{1}{4h}x^2(x\leqslant0)$ (2) $(\sqrt{2}+1)\dfrac{mv_0}{qB}$ (3) $(\pi+1)\left(\dfrac{mv_0}{qB}\right)^2$

突破点 ▸带电粒子在组合场中的运动

【解析】(1) 设离子从坐标为 (x,y) 的位置进入电场，电场强度 $E=\dfrac{mv_0^2}{2qh}$，

根据牛顿第二定律可得 $qE=ma$，

又根据类平抛运动规律可得 $-x=v_0t$、$y=\dfrac{1}{2}at^2$，

联立可得电场边界的轨迹方程为 $y=\dfrac{1}{4h}x^2(x\leqslant0)$.

(2) 从 $y=h$ 处入射的离子在电场中加速后速度最大，进入磁场后其轨迹的半径最大，故边界刚好与之相切. 对该电场边界轨迹方程分析可得 $y=\dfrac{1}{4h}x^2(x\leqslant0)$，

当 $y=h$ 时 $x=-2h$，

该离子位移与 x 轴夹角的正切值为 $\tan\alpha=\dfrac{y}{-x}=\dfrac{1}{2}$，

其速度与 x 轴夹角的正切值 $\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_0}$，

根据类平抛运动规律有 $\tan\theta=2\tan\alpha=1$ 故 $\theta=45°$，则 $v=\dfrac{v_0}{\cos45°}=\sqrt{2}v_0$，

进入磁场后，由洛伦兹力提供向心力可得 $qvB=\dfrac{mv^2}{R}$，则 $R=\dfrac{mv}{qB}=\dfrac{\sqrt{2}mv_0}{qB}$，

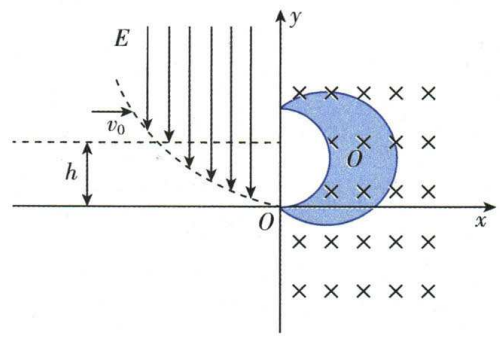
由几何关系可得 $a=R+\dfrac{\sqrt{2}}{2}R=\left(1+\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right)\dfrac{\sqrt{2}mv_0}{qB}=(\sqrt{2}+1)\dfrac{mv_0}{qB}$.

(3) 对于任意 $0\leqslant y\leqslant h$ 进入电场的离子，离开 O 点时，设其速度方向与 x 轴方向的夹角为 β，则 $v=\dfrac{v_0}{\cos\beta}$，

离子在磁场中运动的半径 $R'=\dfrac{mv}{qB}=\dfrac{mv_0}{qB\cos\beta}$，

其轨迹与 y 轴的交点与坐标原点 O 的距离 $L=2R'\cos\beta=\dfrac{2mv_0}{qB}$，

所有离子均经过该位置. 故离子覆盖的区域面积如图中阴影部分所示，



根据几何关系有 $S=\frac{3}{4}\pi\left(\frac{\sqrt{2}mv_0}{qB}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{2}mv_0}{qB}\right)^2-\frac{1}{2}\pi\left(\frac{mv_0}{qB}\right)^2=(\pi+1)\left(\frac{mv_0}{qB}\right)^2$.

9. BD 突破点 ▸圆滚线、带电粒子在叠加场中的运动

【解析】离子由静止开始自 A 点沿曲线 ACB 运动，电场力先做正功后做负功，则电势能先减小后增大，C 错误；洛伦兹力不做功，结合上述，离子由静止开始自 A 点沿曲线运动到 C 点时，电场力做正功最多，根据动能定理可知，离子到达 C 点时离子速度最大，D 正确；离子在 A 点时，速度为 0，将离子速度分解为水平向右的 v_0 与水平向左的 v_0（关键点：使用配速法分解速度），使水平向右的 v_0 对应的洛伦兹力与电场力平衡，则有 $qE=qv_0B_0$，解得 $v_0=\frac{E}{B_0}$，即离子水平向右的分运动为速度大小为 v_0 的匀速直线运动，则另一分运动为水平向左的 v_0 对应的逆时针方向的匀速圆周运动，且有 $qv_0B_0=m\frac{v_0^2}{R}$，$T=\frac{2\pi R}{v_0}$，解得 $R=\frac{mv_0}{qB_0}=\frac{mE}{qB_0^2}$，$T=\frac{2\pi m}{qB_0}$，由于离子从静止开始自 A 点沿曲线 ACB 运动到 B 点时速度为零，即离子恰好经过圆周运动的一个周期的时间，即 A 点运动到 B 点的时间为 $\frac{2\pi m}{qB_0}$，A 错误；结合上述可知，A、C 两点间的水平距离 $x_{AC}=\frac{1}{2}v_0T=\frac{\pi mE}{qB_0^2}$，可知 A、C 两点间的水平距离随着电场强度 E 的增大而增大，B 正确.

方法总结　配速法

带电粒子垂直于磁场方向进入磁场与重力场、电场的叠加场时，如果粒子所受的重力、电场力没有能够平衡，则粒子的运动轨迹将是一条圆滚线，处理这类圆滚线常见的方法之一是配速法（速度分解法），应用时注意以下两点：

(1) 将速度分解，其中一个分速度引起的洛伦兹力与电场力（或重力）平衡；

(2) 另一个分速度引起匀速圆周运动. 粒子的实际运动为这两个分运动的合运动.

10. AD 突破点 ▸带电体在叠加场中做匀速圆周运动

【解析】小球的运动轨迹是圆弧，故带电小球在复合场内做圆周运动，电场力与重力平衡，有 $qE=mg$，小球受到的电场力竖直向上，故小球带正电，且电场强度的大小为 $E=\frac{mg}{q}=1\ \text{N/C}$，A 正确，B 错误；带电小球在磁场中运动的周期为 $T=\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi}{5}\ \text{s}$，小球每相邻两次与挡板碰撞的时间间隔等于带电小球在磁场中运动周期的一半，故小球每相邻两次与挡板碰撞的时间间隔不变，为 $t=\frac{T}{2}=\frac{\pi}{10}\ \text{s}$，C 错误；根据洛伦兹力提供向心力可得 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{r_1}$，解得 $r_1=\frac{mv_0}{qB}=0.5\ \text{m}$，每次碰撞后速度大小变为原来的一半，半径也变为原来的一半，则有 $r_n=0.5^{(n-1)}r_1$，小球最终停止的位置与 P 点的距离为 $s=2r_1+2r_2+2r_3+\cdots+2r_n=\frac{2r_1}{1-0.5}=2\ \text{m}$，D 正确.

技巧必背　带电体只在重力、电场力和洛伦兹力作用下如果做圆周运动，必有 $qE=mg$，洛伦兹力提供向心力，一定做匀速圆周运动；如果做直线运动，则一定做匀速直线运动，重力、电场力、洛伦兹力的合力为零.

11. (1) $\frac{mg}{q}$　$\frac{mv_0}{qB}$　(2) $\frac{v_0}{3}$　$\frac{4v_0}{3}$　(3) $B_2=\frac{2\pi nmg}{qv_0}(n=1,2,3,\cdots)$　$\frac{7}{3}mv_0^2$

突破点 ▸带电体在叠加场中的运动、动量守恒定律

【解析】(1) 小球 M 做匀速圆周运动，电场力与重力平衡，可得 $2Eq=2mg$，

解得 $E=\frac{mg}{q}$，

由洛伦兹力提供向心力有 $2qv_0B=\frac{2mv_0^2}{r}$，

解得 $r=\frac{mv_0}{qB}$，

由几何关系可得 $x=r=\frac{mv_0}{qB}$.

(2) 两球发生弹性碰撞满足动量守恒定律和机械能守恒定律，

可得 $2mv_0=2mv_M+mv_N$，$\frac{1}{2}\times2mv_0^2=\frac{1}{2}\times2mv_M^2+\frac{1}{2}mv_N^2$，

联立解得 $v_M=\frac{v_0}{3}$，$v_N=\frac{4v_0}{3}$.

(3) 碰后两球电荷量均分，均为 q，小球 N 受到的电场力与重力平衡，

小球 N 进入 x 轴下方磁场时速度方向与 x 轴正方向成 30°角，

对速度正交分解得 $v_{Nx}=\frac{2\sqrt{3}v_0}{3}$，$v_{Ny}=\frac{2v_0}{3}$；

小球 N 在 x 轴下方磁场中做竖直向下的匀速直线运动和水平方向的匀速圆周运动.

小球 M 在竖直方向受到的电场力与重力的合力 $F_{合}=2mg-Eq=mg$，

小球 M 进入 x 轴下方磁场时速度方向与 x 轴正方向成 30°角，

对速度正交分解得 $v_{Mx}=\frac{\sqrt{3}v_0}{6}$，$v_{My}=\frac{v_0}{6}$；

由牛顿第二定律知，竖直方向加速度为 $a=\frac{mg}{2m}=\frac{g}{2}$，

小球 M 在 x 轴下方磁场中做竖直方向的匀加速直线运动和水平方向的匀速圆周运动.

小球 M、N 在 x 轴下方磁场中做匀速圆周运动，根据 $qvB_2=m\frac{v^2}{r'}$，$T=\frac{2\pi r'}{v}$，

解得 $T_M=\frac{4\pi m}{qB_2}$，$T_N=\frac{2\pi m}{qB_2}$；

要使两球能再次发生碰撞，有竖直方向位移相等，即 $\frac{v_0}{6}t+\frac{1}{2}\times\frac{g}{2}t^2=\frac{2v_0}{3}t$，

解得 $t=\frac{2v_0}{g}$，

小球 M 转动 n 个周期的时间等于 t 时，两球能再次发生碰撞，即 $t=nT_M(n=1,2,3,\cdots)$，

联立解得 $B_2=\frac{2\pi nmg}{qv_0}(n=1,2,3,\cdots)$，

则两球碰撞前瞬间，小球 M 的竖直速度大小为 $v_{My}=\frac{v_0}{6}+\frac{g}{2}\times t=\frac{7}{6}v_0$，

碰撞前瞬间两球的总动能 $E_k=E_{kM}+E_{kN}$，

代入数据解得 $E_k=\frac{7}{3}mv_0^2$.

专题 15　洛伦兹力在现代科学仪器中的应用

刷 难关

1. D　突破点 ▸速度选择器

【解析】若撤掉磁场，质子带正电，所受电场力与电场方向相同，即电场力方向向下，所以质子将向 Q 极板偏转，A 错误；若撤掉电场，根据左手定则可知，质子受到向上的洛伦兹力，所以质子将向 P 极板偏转，B 错误；质子做匀速直线运动，电场力大小等于洛伦兹力大小，即 $qvB=qE$，得 $v=\frac{E}{B}$，所以，质子做匀速直线运动时的速度为 $\frac{E}{B}$，若增大入射速度，则洛伦兹力变大，电场力不变，所以质子将向 P 极板偏转，C 错误；若将电子以相同速度从 M 点射入，则电场力向上，洛伦兹力向下，且 $evB=eE$，电场力大小仍等于洛伦兹力大小，即电子仍然受力平衡，做匀速直线运动，D 正确.

方法总结　速度选择器只对选择的粒子速度有要求，而对粒子的电性及电荷量无要求.

2. B　突破点 ▸质谱仪

【解析】由题意，粒子在质谱仪加速电场中加速时，有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，进入磁场中时，有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，联立可得粒子在磁场中的偏转半径 $r=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$，设铀 235 的质量为 m，则其在磁场中偏转的最大半径为 $r_{max}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m(U+\Delta U)}{q}}$，设铀 238 的质量为 m'，则其在磁场中偏转的最小半径为 $r'_{min}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m'(U-\Delta U)}{q}}$，这两种粒子在磁场中运动的轨迹不发生交叠的条件为 $r_{max}<r'_{min}$，联立可得 $\frac{\Delta U}{U}<\frac{m'-m}{m'+m}=\frac{238-235}{238+235}\approx0.0063=0.63\%$，故选 B.

3. AC　突破点 ▸速度选择器、质谱仪

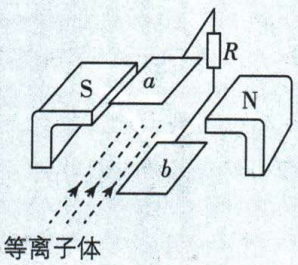
【解析】粒子在静电分析器内沿中心线方向运动，说明粒子带正电，在速度选择器中由左手定则可判断出粒子受到的洛伦兹力方向向上，则粒子受到的电场力方向向下，所以速度选择器的极板 P_1 带正电，电势比极板 P_2 的高，A 正确；由 $qvB_1=qE_1$ 可知，粒子的速度 $v=\frac{E_1}{B_1}$，B 错误；由上述分析以及 $qE=\frac{mv^2}{R}$ 可得，粒子的比荷为 $\frac{q}{m}=\frac{E_1^2}{ERB_1^2}$，C 正确；粒子在磁分析器中做圆周运动，故 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，PQ 为轨迹圆的直径，则 P、Q 两点间的距离为 $2r=\frac{2ERB_1}{E_1B}$，D 错误.

4. AC　突破点 ▸磁流体发电机的相关计算

【解析】根据左手定则，带正电的离子向下偏转，b 板带正电，电势高，A 正确；磁流体发电机稳定发电时，离子在电场力和洛伦兹力作用下做匀速直线运动，则 $qvB=q\frac{E}{d}$，可得电源电动势为 $E=Bdv$，电动机正常工作时的电压为路端电压，为 $U=E-Ir<E=Bdv$，B 错误；两板间的等离子体的电阻为 $r=\rho\frac{d}{S}$，电动机正常工作时的机械功率为 $P=IE-I^2(R+r)=IBdv-I^2\left(R+\rho\frac{d}{S}\right)$，C 正确；电动机正常工作时板间带正电的离子受到的电场力方向与速度方向不共线，受到的电场力功率不可能为 qBv^2，D 错误.

技巧必背　磁流体发电机

正电荷偏向的一极为发电机正极，负电荷偏向的一极为发电机负极，电荷不再偏转时，洛伦兹力大小等于电场力大小，发电机两端电压最大，$q\frac{U}{d}=qvB$，可得 $U=Bdv$，接入电路时，$E=U=Bdv$.



5. D　突破点 ▸电磁流量计的相关计算

【解析】根据左手定则可知正离子向血管上侧偏转，负离子向血管下侧偏转，则血管上侧电势高，血管下侧电势低，A 错误；血液的流量（单位时间内流过管道横截面的液体体积）一定，设为 V，若血管内径变小，则血管的横截面积变小，根据 $V=Sv$ 可知血液流速变大，B 错误；稳定时，离子所受洛伦兹力大小等于所受的电场力大小，根据 $qvB=\frac{qU}{d}$，可得 $U=dvB$，又 $v=\frac{V}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}$，联立可得 $U=\frac{4VB}{\pi d}$，根据 $U=\frac{4VB}{\pi d}$，可知血管上下侧电势差变大，说明血管内径变小，D 正确；血液的流速变化，则血管内径一定改变，血管上下侧电势差改变，所以血管上下侧电势差与血液流速有关，C 错误.

6. C　突破点 ▸霍尔效应的相关计算

【解析】电子达到稳定时，所受洛伦兹力大小等于静电力大小，即 $evB=e\frac{U}{a}$，由电流的微观表达式有 $I=nevad$，联立解得 $B=\frac{nedU}{I}$，故选 C.

7. BD　突破点 ▸回旋加速器的原理和相关计算

【解析】由题图乙可知 $t=0$ 时 $U_{AB}<0$，粒子向右加速，故被加速的粒子带负电，A 错误；由题图乙可知交流电压的周期为 $4t_0$，粒子在回旋加速器中做圆周运动的周期与交流电压的周期相等，粒子在磁场中运动时，洛伦兹力提供向心力有 $qvB=\frac{mv^2}{r}$、$T=\frac{2\pi r}{v}$，则 $r=\frac{mv}{qB}$、$T=\frac{2\pi m}{Bq}$，则 $4t_0=\frac{2\pi m}{Bq}$，又 $\frac{q}{m}=k$，解得磁体间匀强磁场的磁感应强度大小为 $B=\frac{\pi}{2kt_0}$，B 正确；根据 $R=\frac{p_m}{Bq}$ 可知，粒子被加速的

最大动量大小与 D 形盒的半径有关，C 错误；根据 $R=\frac{mv_m}{Bq}$、$NqU=\frac{1}{2}mv_m^2$、$B=\frac{\pi}{2kt_0}$，解得 $N=\frac{\pi^2R^2}{8kUt_0^2}$，则带电粒子在 D 形盒中被加速次数与交流电压有关，D 正确.

方法总结　回旋加速器的常用结论

(1)交流电周期和粒子做圆周运动的周期相等；

(2)带电粒子每加速一次，回旋半径增大一次，半径之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots$；

(3)粒子获得的最大动能为 $E_{km}=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$；

(4)加速次数 $n=\frac{E_{km}}{qU}$；

(5)粒子在磁场中运动的总时间 $t=\frac{n}{2}T=\frac{E_{km}}{2qU}\cdot\frac{2\pi m}{Bq}=\frac{\pi BR^2}{2U}$.

8. (1)$\frac{2}{B}\sqrt{\frac{mU}{q}}$　(2)$2d\sqrt{\frac{2m}{qU}}+\frac{3\pi m}{qB}$　(3)$\frac{\pi^2mU}{8qd^2B^2}$　$\frac{\pi mU}{2dqB^2}$

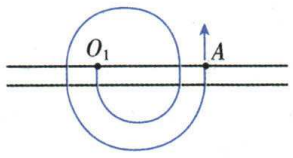
突破点▸回旋加速器的综合计算、带电粒子在交变电场中的运动

【解析】(1)设粒子经两次加速进入金属盒 D_1 区域内，做匀速圆周运动的速度大小为 v_1，则由动能定理有 $2qU=\frac{1}{2}mv_1^2$，

由洛伦兹力提供向心力有 $qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$，

联立解得 $r_1=\frac{2}{B}\sqrt{\frac{mU}{q}}$.

(2)粒子的运动轨迹如图所示，



设在电场中加速度为 a，加速的总时间为 t_1，则有 $q\frac{U}{d}=ma$，$4d=\frac{1}{2}at_1^2$，

解得 $t_1=2d\sqrt{\frac{2m}{qU}}$，

粒子在磁场中运动的总时间为 $t_2=\frac{3}{2}T=\frac{3\pi m}{qB}$，

则有 $t=t_1+t_2=2d\sqrt{\frac{2m}{qU}}+\frac{3\pi m}{qB}$.

(3)由 $R=\frac{mv}{qB}$，可得粒子出射的最大速度为 $v=\frac{qBR}{m}$，

粒子在交变电场中连续加速的总时间为 $t_m=\frac{T}{2}-\frac{T}{4}=\frac{\pi m}{2qB}$，

且有 $v=at_m$，$nd=\frac{1}{2}at_m^2$，

解得 $n=\frac{\pi^2mU}{8qd^2B^2}$，$R=\frac{\pi mU}{2dqB^2}$.

全章素养提升

刷情境

1. C　**创新点**▸超导金属环、带电体在磁场中的运动

【解析】两通电金属环在中点处(圆管)的磁场沿半径方向向里，带正电小球在管道中运动时，受到竖直向下的重力，竖直向上的洛伦兹力，圆管对小球的弹力，洛伦兹力不做功，小球做匀速圆周运动，A、B 错误；圆管对小球弹力的水平分力指向圆心(**关键点**：重力、弹力和洛伦兹力的合力提供小球做圆周运动的向心力)，提供向心力，若洛伦兹力大小等于重力大小，弹力竖直分力为零，则弹力方向指向圆心，若洛伦兹力大小小于重力大小，弹力竖直分力向上，则弹力斜向内上方，若洛伦兹力大小大于重力大小，弹力竖直分力向下，则弹力斜向内下方，C 正确，D 错误.

2. B　**创新点**▸圆柱体回旋加速器、带电粒子在叠加场中的运动

【解析】粒子从加速器底部边缘引出时在水平方向上的速度 v_x 取决于加速器金属盒的半径，由洛伦兹力提供向心力，有 $qv_xB=\frac{mv_x^2}{R}$，解得 $v_x=\frac{qBR}{m}$，竖直方向上在电场力的作用下做匀加速直线运动，设向下为正方向，由牛顿第二定律有 $qE=ma_y$，由运动学知识得出粒子从加速器底部边缘引出时在竖直方向上的速度 v_y 满足 $v_y^2=2a_yH$，联立解得粒子引出时的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2)=\frac{q^2B^2R^2}{2m}+qEH$，A 错误；粒子在竖直方向上受电场力，做匀加速直线运动，由运动学知识得 $H=\frac{1}{2}a_yt^2$，代入数据解得粒子的运动时间为 $t=\sqrt{\frac{2Hm}{Eq}}$，可知粒子的运动时间与 U 无关，B 正确，C 错误；粒子每次通过金属盒间的狭缝时，设竖直方向电场力对粒子做功为 W，由动能定理可知 $qU+W=\Delta E_k$，故粒子每次通过金属盒间的狭缝时粒子获得动能一定大于 qU，D 错误.

3. (1)$\sqrt{\frac{2qU}{m}}$　$\frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$　(2)$\frac{1}{12d}\sqrt{\frac{6Um}{q}}\leqslant B<\frac{2}{9d}\sqrt{\frac{2Um}{q}}$

(3)$\frac{9(2-\sqrt{3})}{2}d^2$

创新点▸离子注入机、磁分析器

【解析】(1)离子经过加速电场，由动能定理可知 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，

解得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，

离子在磁分析器中，洛伦兹力提供向心力，有 $B_0qv=m\frac{v^2}{R}$，

解得 $B_0=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$.

(2)离子在匀强磁场中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，有 $Bqv=m\frac{v^2}{r}$，

解得 $r=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2Um}{q}}$，

离子能打在 QD 上，则既没有从 SQ 边出去，也没有从 MD 边出去，则离子运动径迹的边界如图 1 所示，

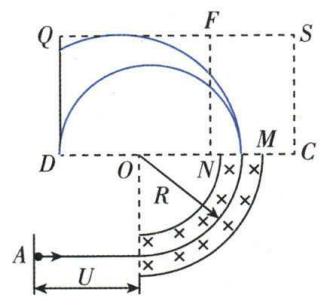


图 1

由几何关系知，离子能打在 QD 上，必须满足 $\frac{9}{2}d<r\leqslant 4\sqrt{3}d$，

则有 $\frac{1}{12d}\sqrt{\frac{6Um}{q}}\leqslant B<\frac{2}{9d}\sqrt{\frac{2Um}{q}}$.

(3)离子在匀强磁场中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，有 $B_1qv=m\frac{v^2}{r_1}$，

解得 $r_1=3d$，

如图 2 所示，

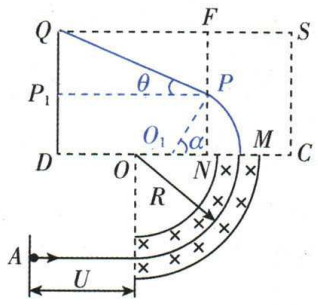


图 2

由几何关系可知 $\cos\alpha=\frac{O_1N}{O_1P}=0.5$，

解得 $\alpha=60°$，

根据几何关系有 $PN=\sqrt{O_1P^2-O_1N^2}=\frac{3\sqrt{3}}{2}d$，

则有 $\sin\theta=\frac{P_1Q}{QP}=0.5$，

解得 $\theta=30°$，

故离子从 P 点射出后沿 PQ 方向做匀速直线运动，最终打在 Q 点上；如图 3 所示，

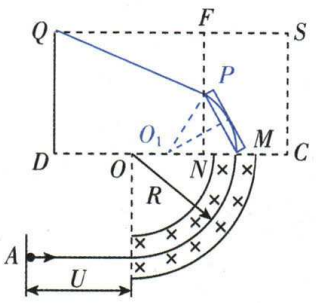


图 3

当 PM 为矩形一边，PM 的平行边与圆弧相切时，其面积最小，

则有 $S=r_1\cdot r_1(1-\sin 60°)=\frac{9(2-\sqrt{3})}{2}d^2$.

刷真题

刷小题

1. B **命题点** ▸磁感应强度与磁感线的关系

【解析】根据题图中磁感线的分布情况可知(**点拨：**磁感应强度大小可以用磁感线的疏密来描述，磁感线越密集的地方，磁感应强度越大)，a、b、c 三点中 b 点的磁感应强度最大，a 点次之，c 点最小，B 正确.

2. B **命题点** ▸安培定则、磁场叠加

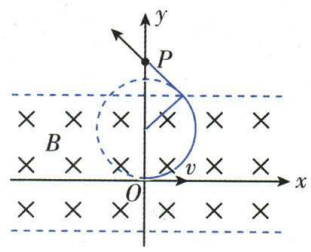
【解析】设电流 I_1 在 M 点产生的磁感应强度大小为 B，电流 I_2 在 M 点产生的磁感应强度大小为 B'，根据题意和对称性可知，电流 I_1、I_2 在 O 点产生的磁感应强度大小均为 B，根据安培定则和场强叠加原理可得 $B_1=B-B'$，$B_2=2B$，联立可得 $B'=\frac{B_2}{2}-B_1$，即电流 I_2 在 M 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{B_2}{2}-B_1$，根据对称性可知，电流 I_1 在 N 点产生的磁感应强度大小也为 $\frac{B_2}{2}-B_1$，可知，仅将 L_2 撤去，N 点的磁感应强度大小为 $\frac{B_2}{2}-B_1$，B 正确.

3. A **命题点** ▸安培定则、磁场叠加

【解析】由安培定则可以判断出电流在圆线圈轴线上产生的磁场方向相同，因为 M 点和 N 点在圆线圈轴线上，且它们到 O 点的距离相等，则通电圆线圈在 M 点和 N 点产生的磁感应强度大小相等、方向相同，又因为匀强磁场大小和方向处处相同，则通电圆线圈和匀强磁场在 M 点和 N 点的叠加磁场相同，N 点的总磁感应强度大小与 M 点相等，也为 0，A 正确.

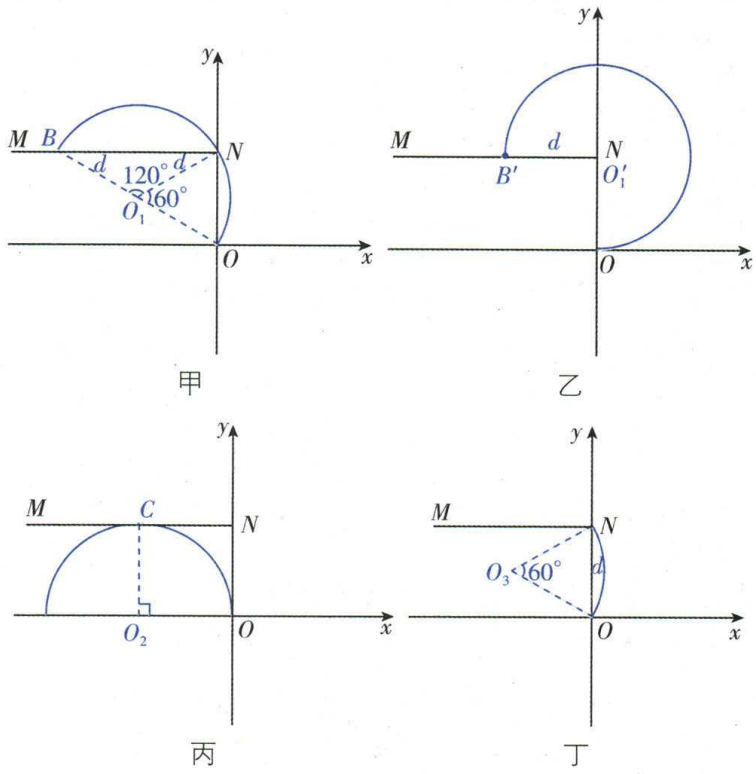
4. C **命题点** ▸带电粒子在有界磁场中的运动

【解析】根据题意作出粒子的运动轨迹，根据洛伦兹力提供向心力有 $qBv=\frac{mv^2}{r}$，可得粒子做圆周运动的半径 $r=\frac{mv}{qB}$，由几何关系可以得到 P 点至 O 点的距离 $d=(1+\sqrt{2})r=(1+\sqrt{2})\frac{mv}{qB}$，C 正确.



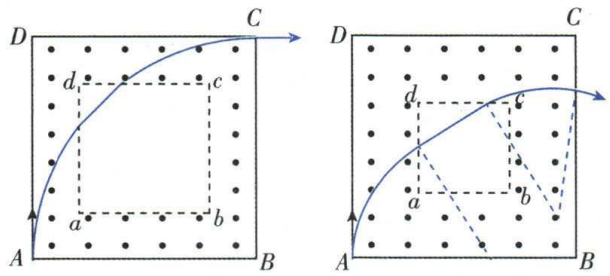
5. C **命题点** ▸带电粒子在直边界磁场中的运动

【解析】粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动，根据洛伦兹力提供向心力，有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，解得粒子在磁场中做圆周运动的半径为 $r=d$，A 错误；粒子能打到薄板上表面最远位置如图甲所示，薄板的上表面接收到粒子的最远位置距 N 点的距离为 $L_{NB}=2d\cos 30°=\sqrt{3}d$，粒子能打到薄板上表面最近位置如图乙所示，薄板上表面接收到粒子的最近位置距 N 点的距离 $L_{NB'}=d$，所以薄板上表面接收到粒子的区域长度为 $L_{BB'}=(\sqrt{3}-1)d$，B 错误；粒子能打到薄板下表面最远距离如图丙所示，此时粒子的运动轨迹在 C 点与 MN 恰好相切，薄板的下表面接收到粒子的区域长度为 $L_{NC}=d$，C 正确；薄板接收到的粒子运动的最短时间对应的运动轨迹的弦长最短，如图丁所示，粒子的运动周期为 $T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$，粒子打到 N 点处薄板下表面的运动时间最短，$t_{min}=\frac{60°}{360°}T=\frac{\pi m}{3qB}$，D 错误.

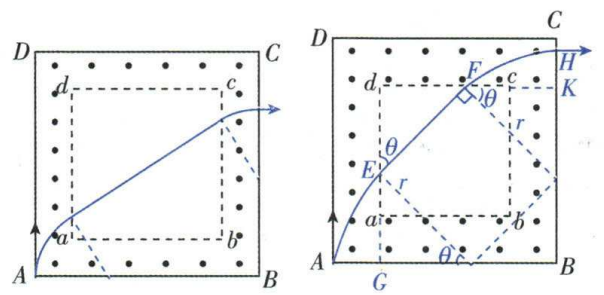


6. AD 命题点▸带电粒子在有界磁场中的运动

【解析】若粒子穿过 ad 边时速度方向与 ad 边夹角为 45°，则粒子必经过 cd 边，作出粒子运动轨迹图，如图甲所示，粒子从 C 点垂直于 BC 射出，A 正确；当粒子穿过 ad 边速度方向与 ad 边夹角为 60°时，若粒子从 cd 边再次进磁场，作出粒子运动轨迹如图乙所示，则粒子不能垂直 BC 射出，若粒子经 bc 边再次进入磁场，作出粒子运动轨迹如图丙所示，则粒子一定垂直 BC 边射出，B 错误，D 正确；设粒子穿过 ad 边时速度方向与 ad 边的夹角为 θ，作出粒子运动轨迹如图丁所示，由几何关系易得 $AG=r(1-\cos\theta)$，$HK=r(1-\sin\theta)$，$FK=r\cos\theta$，由图可知，$AG=KC$，$HK\leqslant KC=AG$，即 $r(1-\sin\theta)\leqslant r(1-\cos\theta)$，$FK\geqslant CK=AG$，即 $r\cos\theta\geqslant r(1-\cos\theta)$，综上可得 $45°\leqslant\theta\leqslant60°$，可知粒子速度方向与 ad 夹角在 45°~60°范围内均满足 C 选项，C 错误.



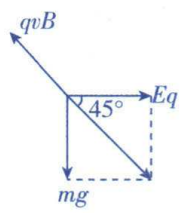
甲　乙



丙　丁

7. BC 命题点▸带电粒子在复合场中的运动

【解析】带电粒子沿着 MN 做匀速直线运动，故粒子受力平衡，受力分析如图所示，可知 $qE=mg$，解得 $E=\dfrac{mg}{q}$，$qvB=\sqrt{2}mg$，解得 $B=\dfrac{\sqrt{2}mg}{qv}$，A 错误，B 正确；撤去磁场后，粒子由 N 到 P 的过程中，水平方向上在电场力作用下做初速度大小为 $\dfrac{\sqrt{2}v}{2}$、加速度大小为 g 的匀加速直线运动，竖直方向上在重力作用下做初速度大小为 $\dfrac{\sqrt{2}v}{2}$、加速度为 g 的竖直上抛运动，粒子由 N 到 P 运动过程中，由竖直上抛运动规律可知，运动时间 $t=\dfrac{\sqrt{2}v}{2g}\times2=\dfrac{\sqrt{2}v}{g}$，由匀加速直线运动的规律可知，水平位移大小 $x_{NP}=\dfrac{\sqrt{2}v}{2}t+\dfrac{1}{2}gt^2=\dfrac{2v^2}{g}$，则 N、P 两点的电势差为 $U=Ex_{NP}=\dfrac{2mv^2}{q}$，C 正确；粒子从 N 运动到 P 的过程中，竖直分速度减为 0 时距离 NP 最远，根据运动规律可知，$y_{max}=\dfrac{\left(\frac{\sqrt{2}v}{2}\right)^2}{2g}=\dfrac{v^2}{4g}$，D 错误.

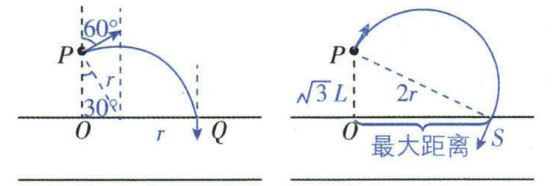


8. ABD 命题点▸带电粒子在电磁场中的运动、动量守恒定律

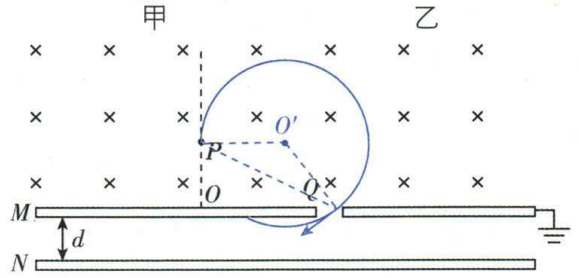
【解析】由 a 做圆周运动可知，a 所受重力等于电场力，故 a 带负电，且 $Eq=mg$，解得 $q=\dfrac{mg}{E}$，A 正确；对 a 有 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$，可得 $v=\dfrac{qBR}{m}$，$q=\dfrac{mg}{E}$，则 $v=\dfrac{gBR}{E}$，B 正确；Ⅰ、Ⅱ二者质量相同，均为 $\dfrac{1}{2}m$，带电量相同，均为 $\dfrac{1}{2}q$，对Ⅰ有 $\dfrac{1}{2}qv_{\text{Ⅰ}}B=\dfrac{m}{2}\cdot\dfrac{v_{\text{Ⅰ}}^2}{3R}$，可得 $v_{\text{Ⅰ}}=3v=\dfrac{3gBR}{E}$，则小油滴Ⅰ做圆周运动的周期为 $T=\dfrac{2\pi\cdot3R}{v_{\text{Ⅰ}}}=\dfrac{2\pi E}{gB}$，C 错误；在 P 点，由动量守恒定律得 $mv=\dfrac{1}{2}mv_{\text{Ⅰ}}+\dfrac{1}{2}mv_{\text{Ⅱ}}$，可得 $v_{\text{Ⅱ}}=-v$，对小油滴Ⅱ受力分析可知，其重力等于所受电场力，初速度方向水平向右，且带负电，由左手定则可知，小油滴Ⅱ沿顺时针方向做圆周运动，D 正确.

9. BD 命题点▸带电粒子在电磁场中运动、平行板电容器

【解析】根据题意，结合左手定则知，粒子带负电，A 错误；发射方向与 OP 夹角为 60°的粒子恰好垂直穿过 Q 点，运动轨迹如图甲所示，由几何关系得 $r\cos60°+r=3L$，解得 $r=2L$，板间电场强度最大时，垂直穿过 M 板的粒子恰好不能到达 N 板，由动能定理得 $-qEd=-\dfrac{1}{2}mv^2$，解得 $v=\sqrt{\dfrac{2qEd}{m}}$，v 不变，则间距 d 增大，板间形成的最大电场强度减小，B 正确；由几何知识可知 $OP=\sqrt{3}L$，粒子打在 M 板上表面的位置与 O 点距离最大时轨迹圆弧对应的弦长为直径，如图乙所示，最大距离为 $\sqrt{(4L)^2-(\sqrt{3}L)^2}=\sqrt{13}L$，C 错误；设打到 M 板下表面的粒子在磁场中做圆周运动的圆心为 O'，由于 $PO\perp OQ$，可得 $PQ=\sqrt{PO^2+OQ^2}=2\sqrt{3}L$，由几何关系可知 $\angle PQO'=30°$，$\angle PQO=30°$，则粒子斜射入极板间的速度与 M 板夹角 $\theta=90°-\angle PQO'-\angle PQO=30°$，板间电场强度最大时粒子打到 M 板下表面的位置到 Q 点的距离最小，粒子在板间做类斜抛运动，运动轨迹如图丙所示，沿电场力方向，由牛顿第二定律得 $qE=ma$，粒子在板间运动的时间 $t=\dfrac{2v\sin\theta}{a}$，粒子距离 Q 点的最小距离为 $x_1=v\cos\theta\cdot t$，联立解得 $x_1=\sqrt{3}d$，D 正确.



甲　乙



丙

10. AC 命题点▸磁流体发电机的原理

【解析】由左手定则可知，进入磁场后，正电荷受力向上，正电荷聚集在 MN 极板，负电荷受力向下，负电荷聚集在 PQ 极板，所以 MN 极板为发电机正极，A 正确；等离子体射入磁场，受洛伦兹力作用发生偏转，使两极板带正、负电荷，设两极板间电压为 U 时达到稳定，则有 $q\dfrac{U}{d}=qvB$，可得 $U=Bvd$，d 为两极板间距，可知仅增大极板间距离或仅增大等离子体的喷入速率，极板间电压增大，极板间电压与粒子数密度无关，C 正确，B、D 错误.

刷大题

11. (1) $\dfrac{2v_0}{B_0R}$　(2) $2\sqrt{3}\pi^2R^2$

命题点 电子在弧形或圆形边界匀强磁场中的运动

【解析】(1)当磁感应强度大小为 B_0 时,恰好没有电子落到筒壁上,根据几何关系可知电子在磁场中做圆周运动的轨迹半径为

$r_1=\frac{1}{2}R$ (2分)

由洛伦兹力提供向心力有 $ev_0B_0=\frac{mv_0^2}{r_1}$ (1分)

可得电子的比荷为 $\frac{e}{m}=\frac{v_0}{B_0r_1}=\frac{2v_0}{B_0R}$ (2分)

(2)当磁感应强度大小为 $\frac{1}{2}B_0$ 时,设速度方向与磁场方向成 θ 角的电子恰好落到筒壁上,在垂直磁场方向该电子在磁场中做圆周运动,则有 $ev_0\sin\theta\cdot\frac{1}{2}B_0=\frac{m(v_0\sin\theta)^2}{r_1}$ (2分)

解得 $\sin\theta=\frac{1}{2}$,

该电子在磁场中运动的周期满足 $ev_0\sin\theta\cdot\frac{1}{2}B_0=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r_1$ (1分)

该电子在磁场中运动的时间为 $t=\frac{1}{2}T=\frac{\pi R}{v_0}$ (1分)

在平行磁场方向该电子做匀速直线运动,则有 $L=v_0\cos\theta\cdot t=\frac{\sqrt{3}\pi R}{2}$ (2分)

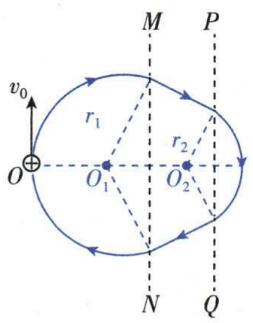
筒壁上落有电子的区域面积 $S=2\pi R\cdot 2L$(**关键点**:电子在平行磁场方向有沿磁场方向与逆磁场方向的运动,所以竖直方向的长度为 $2L$) (1分)

解得 $S=2\sqrt{3}\pi^2R^2$ (2分)

12. (1)$\frac{mv_0}{qB}$ (2)$\frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$ (3)$\frac{5\pi m}{3qB}+\frac{\sqrt{3}m}{qB}$

命题点 带电粒子在磁场中的运动

题图剖析 粒子能回到 O 点,则粒子的运动轨迹对称,其运动的轨迹如图所示.



【解析】(1)粒子在 MN 左侧区域磁场中做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力,有 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{r_1}$ (2分)

解得 $r_1=\frac{mv_0}{qB}$ (1分)

(2)O 点到 MN 的距离为 $\frac{3mv_0}{2qB}=\frac{3}{2}r_1$ (1分)

粒子在 MN 左侧磁场中运动的轨迹如上图所示,轨迹对应的圆心为 O_1,粒子在中间无磁场区域做匀速直线运动,运动到 PQ 右侧后,粒子以 O_2 为圆心、r_2 为半径做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力,有 $qv_0\cdot 2B=m\frac{v_0^2}{r_2}$ (1分)

解得 $r_2=\frac{mv_0}{2qB}=\frac{1}{2}r_1$ (1分)

由几何关系得,粒子在 PQ 右侧磁场中运动的轨迹所对的圆心角为 120°,

则粒子第一次和第二次经过 PQ 时位置的间距为

$d=2r_2\sin 60°=\frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$ (2分)

(3)由几何关系得粒子在 MN 左侧磁场中运动的轨迹所对的圆心角为 240°,运动时间为 $t_1=\frac{240°}{360°}T_1=\frac{2}{3}T_1$ (1分)

$T_1=\frac{2\pi r_1}{v_0}$ (1分)

粒子在 PQ 右侧磁场中运动的轨迹所对的圆心角为 120°,运动时间为 $t_2=\frac{120°}{360°}T_2=\frac{1}{3}T_2$ (1分)

$T_2=\frac{2\pi r_2}{v_0}$ (1分)

粒子在中间无磁场区域做匀速直线运动的时间

$t_3=\frac{2(r_1-r_2)\tan 60°}{v_0}$ (2分)

则粒子的运动周期为 $T=t_1+t_2+t_3=\frac{5\pi m}{3qB}+\frac{\sqrt{3}m}{qB}$ (2分)

13. (1)$\frac{2qBy_0}{m}$ $\frac{\pi m}{3qB}$ (2)$\frac{6kq}{By_0^2}$ (3)$\frac{2\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$

命题点 带电粒子在电磁场中的运动

【解析】(1)粒子的运动轨迹如图 1 所示,由几何知识可知粒子在磁场中运动的轨迹半径满足 $r\sin\theta=y_0$,解得 $r=2y_0$ (1分)

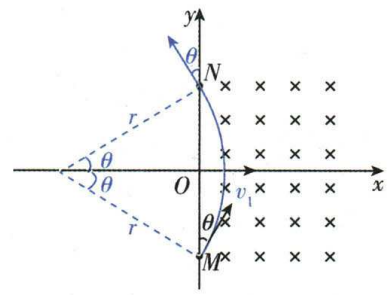


图 1

由牛顿第二定律得 $qv_1B=m\frac{v_1^2}{r}$ (1分)

解得 $v_1=\frac{2qBy_0}{m}$ (1分)

粒子在磁场中做圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi r}{v_1}=\frac{2\pi m}{qB}$ (1分)

粒子从 M 点运动到 N 点,转过了 60°,所用时间 $t_1=\frac{60°}{360°}T$,

解得 $t_1=\frac{\pi m}{3qB}$ (1分)

(2)若在 xOy 平面内某点固定一负点电荷,粒子仍沿(1)中的轨迹从 M 点运动到 N 点,则粒子运动轨迹半径不变,分析可知负点电荷位于粒子做圆周运动的圆心处,根据牛顿第二定律有

$k\frac{48q^2}{r^2}+qv_2B=m\frac{v_2^2}{r}$ (2分)

代入 $m=\frac{B^2y_0^3}{k}$ 解得 $v_2=\frac{6kq}{By_0^2}$(另一解舍去) (1分)

(3)库仑力与万有引力形式相似,粒子从 N 点离开磁场后做椭圆运动,N 为“近日点”,则速度方向与 N 点速度方向相反的点为“远日点”,设粒子离负点电荷的最远距离为 r',速度大小为 v_3,轨迹如图 2 所示,

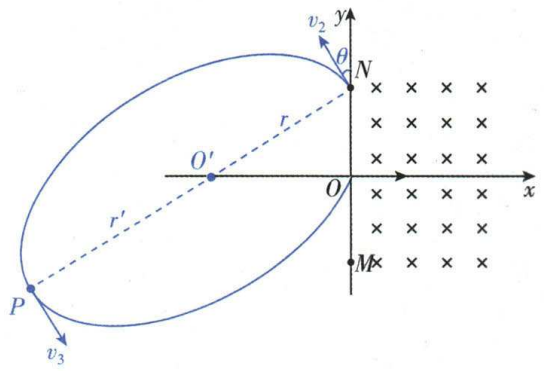


图 2

类比行星做椭圆运动时行星与太阳连线在相等时间内扫过的面积相等，可知粒子与负点电荷连线在相等时间内扫过的面积也应相等，则

$\frac{1}{2}v_2r\Delta t=\frac{1}{2}v_3r'\Delta t$ （1 分）

即 $v_2r=v_3r'$①

从“近日点”到“远日点”，粒子的动能与电势能之和保持不变，有

$\frac{1}{2}mv_2^2+q\varphi_2=\frac{1}{2}mv_3^2+q\varphi_3$ （1 分）

即 $\frac{1}{2}mv_2^2-k\frac{48q^2}{r}=\frac{1}{2}mv_3^2-k\frac{48q^2}{r'}$ ②

联立①②式得 $r'=6y_0$ （1 分）

类比开普勒第三定律可知 $\frac{\left(\frac{r+r'}{2}\right)^3}{T'^2}=k\frac{48q^2}{4m\pi^2}$（点拨：根据 $k\frac{Qq}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得 $\frac{r^3}{T^2}=k\frac{Qq}{4m\pi^2}$） （2 分）

解得 $T'=\frac{4\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$ （1 分）

粒子从 N 点离开磁场到速度方向首次与 N 点速度方向相反，所用时间为粒子做椭圆运动周期的一半，

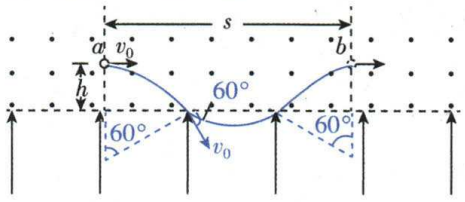
$t_2=\frac{T'}{2}$ （1 分）

解得 $t_2=\frac{2\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$ （1 分）

14. （1）$\frac{mv_0}{2qh}$ （2）$\frac{mv_0^2}{2qh}$ （3）$\frac{3\sqrt{3}}{8\pi+6\sqrt{3}}v_0$

命题点 ▸带电粒子在电磁组合场中的运动

【解析】（1）粒子的运动轨迹如图甲所示，



甲

设粒子在磁场中运动轨迹半径为 R，由几何关系得

$R\cos 60°=R-h$ （1 分）

解得 $R=2h$ （1 分）

由洛伦兹力提供向心力得

$qv_0B=m\frac{v_0^2}{R}$ （1 分）

解得 $B=\frac{mv_0}{2qh}$ （1 分）

（2）粒子在电场中做类斜抛运动，粒子在水平方向上做匀速直线运动，

由对称性知 $x_1=s-2R\sin 60°=\sqrt{3}h$ （1 分）

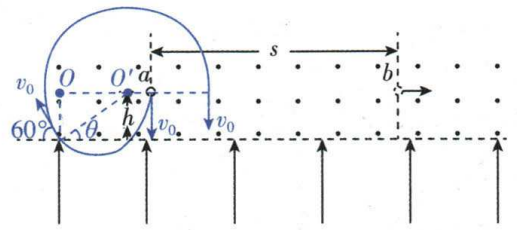
$x_1=v_0\cos 60°\cdot t$ （1 分）

竖直方向上有 $v_0\sin 60°=a\cdot\frac{t}{2}$ （1 分）

由牛顿第二定律得 $qE=ma$ （1 分）

联立解得 $E=\frac{mv_0^2}{2qh}$，$a=\frac{v_0^2}{2h}$ （1 分）

（3）若粒子从 a 点以速度 v_0 竖直向下发射，先在磁场中做匀速圆周运动，后进入电场做类斜抛运动，再进入磁场做匀速圆周运动，一个周期的运动轨迹如图乙所示，



乙

由几何关系得 $\sin\theta=\frac{h}{R}=\frac{1}{2}$ （1 分）

则 $\theta=30°$ （1 分）

粒子在电场中做类斜抛运动，

粒子在电场中运动时间 $t'=\frac{2v_0\cos 30°}{a}=\frac{2\sqrt{3}h}{v_0}$ （1 分）

粒子在电场中运动的水平位移为 $x_2=v_0\sin 30°\cdot t'=\sqrt{3}h$ （1 分）

粒子再次进入磁场后做匀速圆周运动，

一个周期内粒子的位移 $x=2R-[R(1-\cos 30°)+x_2+R(1-\cos 30°)]=\sqrt{3}h$ （1 分）

粒子运动的周期为 $T=t'+\frac{240°}{360°}\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{(8\pi+6\sqrt{3})h}{3v_0}$ （1 分）

则漂移速度大小为 $v=\frac{x}{T}=\frac{3\sqrt{3}}{8\pi+6\sqrt{3}}v_0$ （2 分）

15. （1）${}_0^1n+{}_7^{14}N\rightarrow{}_6^{14}C+{}_1^1H$　${}_6^{14}C\rightarrow{}_7^{14}N+{}_{-1}^0e$　（2）1.93×10^6 V　2.0 T　（3）1.65×10^6 V　（4）8 957 年

命题点 ▸带电粒子在电磁场中运动、衰变

【解析】（1）中子与 ${}_7^{14}N$ 发生核反应生成 ${}_6^{14}C$ 的核反应方程式为

${}_0^1n+{}_7^{14}N\rightarrow{}_6^{14}C+{}_1^1H$ （1 分）

${}_6^{14}C$ 发生 β 衰变生成 ${}_7^{14}N$ 的核反应方程式为

${}_6^{14}C\rightarrow{}_7^{14}N+{}_{-1}^0e$ （1 分）

（2）在加速电场中，由动能定理得

$qU=\frac{1}{2}mv^2$ （1 分）

解得 $v=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$ （1 分）

在磁场中，由洛伦兹力提供向心力有

$qvB=\frac{mv^2}{R}$ （1 分）

联立解得 $v=\frac{qBR}{m}$，$U=\frac{qB^2R^2}{2m}$ （1 分）

相比 ${}_6^{13}C$，${}_6^{12}C$ 的比荷更大，通过圆弧细管道所需要的电压更大，由题图 2 知当电压为 1.93×10^6 V 时，${}_6^{12}C$ 与 ${}_6^{13}C$ 的离子数百分比为 100%，故 ${}_6^{12}C$ 的 C^{3+} 离子所对应的 U 值为 1.93×10^6 V （1 分）

根据 $U=\frac{qB^2R^2}{2m}$ 可得

$B=\sqrt{\dfrac{2mU}{qR^2}}=\sqrt{\dfrac{2\times 12\ \text{u}\times U}{3eR^2}}=2.0\ \text{T}$ （1分）

（3）由题意知，$^{14}_{6}\text{C}$ 离子在板间做类斜抛运动，

水平方向 $v_x=\dfrac{\sqrt{2}}{2}v$，$L=v_x t$ （1分）

竖直方向 $v_{y0}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}v$，$a=\dfrac{qU_1}{m'd}$，$v_{y0}=a\dfrac{t}{2}$ （1分）

联立解得 $U_1=\dfrac{qB^2R^2d}{m'L}=\dfrac{3eB^2R^2d}{14\ \text{u}\cdot L}=1.65\times10^6\ \text{V}$ （1分）

（4）古木样品中 $^{14}_{6}\text{C}$ 与 $^{12}_{6}\text{C}$ 离子数比值是活木头中的 $\dfrac{1}{3}$，说明经过衰变后 $^{14}_{6}\text{C}$ 只剩下 $\dfrac{1}{3}$，已知经过一个半衰期 $^{14}_{6}\text{C}$ 剩下 $\dfrac{1}{2}$，设经过 n 个半衰期后 $^{14}_{6}\text{C}$ 剩下 $\dfrac{1}{3}$，则 $\left(\dfrac{1}{2}\right)^n=\dfrac{1}{3}$ （1分）

解得 $n=\log_2 3=\dfrac{\ln 3}{\ln 2}=\dfrac{11}{7}$，

则古木被砍伐距今的时间 $t=n\times5\ 700\ \text{年}=8\ 957\ \text{年}$ （1分）

第12章 电磁感应

第1节 楞次定律 探究影响感应电流方向的因素

刷基础

1. D 考查点 电磁感应现象、电流的磁效应

【解析】脉冲电流流经线圈在其周围会产生高强度的磁场，这是电流的磁效应，A错误；脉冲磁场使脑部特定区域产生感应电流是电磁感应现象，B错误；若将脉冲电流改为恒定电流，就不能产生变化的磁场，也就不会产生感应电流，不可持续对脑神经产生电刺激作用，C错误；若脉冲电流最大值不变，但缩短脉冲电流周期，则产生的磁场变化得更快，在脑部产生的感应电流会增强，D正确.

2. B 考查点 楞次定律

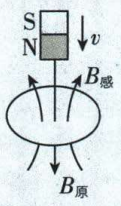
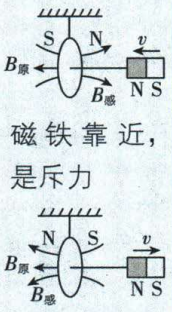
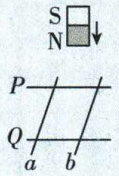
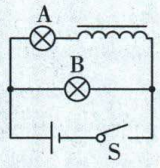
【解析】地磁场的竖直分量 B_y 随距离地面高度 h 的增大而减小，关键点 故穿过线框的磁通量减小，A错误；向下的磁通量减小，根据楞次定律，感应电流的磁场向下，线框中感应电流方向为 $abcd$，B正确；穿过线框的磁通量减小，根据楞次定律，线框的四条边有向外扩张的趋势，C错误；线框受到的安培力的合力为0，当飞机带动线框匀速上升时，绳索对线框的作用力等于线框的重力，D错误.

3. C 考查点 楞次定律

【解析】由楞次定律“增反减同”结合安培定则可知回路中感应电流方向为逆时针，关键点 根据左手定则可知左侧导体棒所受安培力斜向右上方，右侧导体棒所受安培力斜向左上方，C正确.

快解 根据楞次定律中的“增缩减扩”，当穿过闭合回路中磁通量增加时，回路有缩小面积的趋势，结合电流方向可知选C.

方法总结 楞次定律的推论

内容	阻碍原磁通量变化——“增反减同”	阻碍相对运动——“来拒去留”	使回路面积有扩大或缩小的趋势——“增缩减扩”	阻碍原电流的变化——“增反减同”
例证	 磁铁靠近线圈，$B_{感}$ 与 $B_{原}$ 方向相反	 磁铁靠近，是斥力 磁铁远离，是引力	 P、Q 是光滑固定导轨，a、b 是可动金属棒，磁铁下移，a、b 靠近	 合上开关S，B先亮

4. B 考查点 楞次定律

【解析】只改变沿径向向外的磁场，并不会使穿过铝环的磁通量发生变化，关键点 铝环不会产生感应电流，不能使铝环跳起来，A、C错误；只改变竖直向上的磁场，会使穿过铝环的磁通量发生变化，铝环会产生感应电流，根据楞次定律可知，增大 B_y，穿过铝环的磁通量增加，铝环有远离线圈的趋势，铝环可能跳起来，B正确；减小 B_y，穿过铝环的磁通量减小，铝环有靠近线圈的趋势，铝环不可能跳起来，D错误.

5. AC 考查点 电磁感应

【解析】当小车沿直线赛道行驶时，穿过 c、d 线圈的磁通量始终为零，若 c、d 中的电流增大，则穿过 c、d 线圈的磁通量发生变化，小车中心离开了引导线，小车前方为弯道，A正确；引导线上任一点周围的磁感线均可视为与该点电流方向相垂直的同心圆，则沿直线赛道运动时，穿过 a、b 线圈的磁通量变化率不为零，a、b 中的电流不为零，B错误；a 中电流大于 b 中电流时，穿过 a 线圈的磁通量变化率更大，又知离引导线越近磁场越强，可知线圈 a 离引导线近，需增大线圈 a 与引导线的距离，小车需要向左调整方向，C正确；当小车沿直线赛道行驶时，a 中电流大于 c 中电流，小车不需要调整方向，D错误.

6. B 考查点 楞次定律、法拉第电磁感应定律

【解析】该科普玩具的原理是电磁感应，A错误；磁铁上下翻转后重复实验，穿过线圈过程中，磁通量方向相反，根据楞次定律可知，将会先产生负向电流，后产生正向电流，B正确；若将线圈匝数加倍，根据法拉第电磁感应定律 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，可知线圈中感应电动势也加倍，由电阻定律 $R=\rho\dfrac{l}{S}$，可知线圈匝数加倍，长度加倍，电阻也加倍，由 $I=\dfrac{E}{R}$，可知线圈中感应电流的峰值不变，C错误；若不受安培力，则由机械能守恒定律有 $mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$，可得 $v=\sqrt{2gh}$，若将 h 加倍，速度变为原来的 $\sqrt{2}$ 倍，实际中存在安培力做负功，速度小于原来的 $\sqrt{2}$ 倍，则线圈中产生的电流峰值不会加倍，D错误.

7.（1）D （2）①右偏 ②右偏

考查点 探究影响感应电流方向因素的实验

【解析】（1）进行上述实验最主要的目的是推断电流从不同接线柱流入时灵敏电流计指针偏转的方向，故选D.

（2）①闭合开关时灵敏电流计的指针左偏，即线圈内磁通量增加时，灵敏电流计的指针左偏. 滑动变阻器的滑片 P 向左移动时，接入电路的阻值变大，电路中电流变小，线圈 A 的磁场变弱，线

圈 B 内磁通量减小，所以灵敏电流计的指针右偏；

②将线圈 A 拔出时，线圈 B 内磁通量减小，灵敏电流计的指针右偏.

8. C 考查点 楞次定律、安培力

【解析】由题意可知，穿过圆环的磁通量向外增加，根据楞次定律结合安培定则可知，圆环中有沿顺时针方向的感应电流，A 错误；根据左手定则可知，圆环受到的安培力方向垂直于 MN 向下，B 错误；撤去水平力后，由于安培力与速度不在一条直线上，圆环将做曲线运动，C 正确；撤去水平力后，由于圆环受到的安培力方向垂直于 MN 向下（易错点），则圆环垂直于 MN 方向做减速运动，沿 MN 方向做匀速运动，若圆环完全进入磁场前垂直于 MN 方向的速度已经减为 0，则圆环的最小速度为 $v_{min}=v\cos\theta$，若圆环完全进入磁场时垂直于 MN 方向的速度还没有减为 0，则圆环的最小速度大于 $v\cos\theta$，D 错误.

易错警示 使用右手定则判断感应电流方向时需注意切割磁感线的有效长度，而利用左手定则判断安培力时同样需要注意有效长度. 本题中涉及的两个有效长度并不相同，需注意圆环所受安培力方向垂直于 MN 向下.

第 2 节　法拉第电磁感应定律

刷基础

1. D 考查点 感生电动势

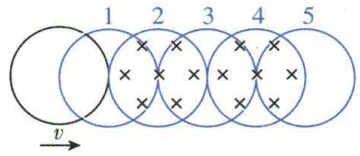
【解析】0~0.1 s 内穿过线框的磁通量向里减小，由楞次定律可知，正方形线框中产生的感应电流方向为顺时针，0.1~0.2 s 的时间内穿过线框的磁通量向外增大，由楞次定律可知，正方形线框中产生的感应电流方向为顺时针，所以 b 端为电流表的正接线柱，A 错误；由于正方形线框的四条边没处在磁场中，则正方形线框的四条边不受安培力的作用（易错点），所以正方形线框的面积没有增大或缩小的趋势，B 错误；由法拉第电磁感应定律，得 $E=N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=N\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot\pi R^2$，代入数据解得 $E=\frac{9\pi}{5}$ V（关键点：感生电动势计算过程中需注意磁场的有效面积），回路中的感应电流为 $I=\frac{E}{R_0+r}=\frac{9\pi}{50}$ A，则定值电阻上产生的焦耳热为 $Q=I^2R_0t$，解得 $Q\approx0.51$ J，C 错误；0~0.2 s 内流过定值电阻的电荷量为 $q=It$，解得 $q=\frac{9\pi}{250}$ C，D 正确.

2. C 考查点 动生电动势

【解析】金属棒在运动过程中切割磁感线的分速度为水平速度 v_0，保持不变，则金属棒产生的感应电动势大小为 $E=BLv_0$，根据左手定则，可判断金属棒中的电子在洛伦兹力的作用下向 a 端移动，所以金属棒 b 端比 a 端电势高，即 $\varphi_a<\varphi_b$，C 正确.

3. C 考查点 动生电动势

【解析】画出圆环运动的 5 个状态，如图所示. 当 $t=\frac{R}{v}$ 时，圆环运动到 1 位置，由右手定则，可判断出此时圆环的感应电流方向为逆时针，由几何关系，可知此时切割磁感线的有效长度为 $L=2R\sin60°=\sqrt{3}R$，根据法拉第电磁感应定律有 $E=\sqrt{3}BRv$，故此时感应电流大小为 $I=\frac{E}{r}=\frac{\sqrt{3}BRv}{r}$，A、B 错误；当 $t=\frac{2R}{v}$ 时，圆环运动到 2 位置，当 $t=\frac{3R}{v}$ 时，圆环运动到 3 位置，从初始位置到 2 位置，穿过圆环的磁通量变大，从 2 位置到 3 位置，穿过圆环的磁通量变小，根据楞次定律可知 $t=\frac{2R}{v}$ 时，即圆环运动到 2 位置时，电流方向第一次反向，C 正确；当 $t=\frac{3R}{v}$ 时，圆环运动到 3 位置，此时圆环的左右两侧都在切割磁感线，有效切割长度和方向均相同，此时的感应电动势相互抵消，实际感应电动势为 0，D 错误.



4. ACD 考查点 感生电动势和动生电动势相结合

【解析】由于电阻 R 的电功率始终保持不变，故通过电阻 R 的电流始终不变，即金属棒产生的感应电动势始终不变（关键点），A 正确；金属棒在 x_2 与 x_3 处受到磁场的作用力大小之比为 $\frac{F_2}{F_3}=\frac{B_2Il}{B_3Il}=\frac{B_2}{B_3}=\frac{(0.8-0.2x_2)\ \mathrm{T}}{(0.8-0.2x_3)\ \mathrm{T}}=\frac{2}{1}$，B 错误；金属棒从 x_1 到 x_2 过程中有 $q_{12}=\bar{I}_{12}t_{12}=\frac{\bar{E}_{12}}{R}t_{12}=\frac{\Delta\Phi_{12}}{t_{12}R}t_{12}=\frac{\Delta\Phi_{12}}{R}$，同理，金属棒从 x_2 到 x_3 过程中有 $q_{23}=\frac{\Delta\Phi_{23}}{R}$，故 $\frac{q_{12}}{q_{23}}=\frac{\Delta\Phi_{12}}{\Delta\Phi_{23}}=\frac{\bar{B}_{12}l(x_2-x_1)}{\bar{B}_{23}l(x_3-x_2)}=\frac{\bar{B}_{12}}{\bar{B}_{23}}$，而 $\frac{\bar{B}_{12}}{\bar{B}_{23}}=\frac{\frac{B_1+B_2}{2}}{\frac{B_2+B_3}{2}}=\frac{[(0.8-0.2x_1)+(0.8-0.2x_2)]\ \mathrm{T}}{[(0.8-0.2x_2)+(0.8-0.2x_3)]\ \mathrm{T}}=\frac{5}{3}$，故 $\frac{q_{12}}{q_{23}}=\frac{5}{3}$，C 正确；同理，$\frac{q_{01}}{q_{23}}=\frac{\bar{B}_{01}}{\bar{B}_{23}}=\frac{7}{3}$，由于电流始终不变，故 $\frac{t_{01}}{t_{23}}=\frac{q_{01}}{q_{23}}=\frac{7}{3}$，金属棒从 x_0 到 x_1 与从 x_2 到 x_3 的过程中电阻 R 产生的焦耳热之比为 $\frac{Q_{01}}{Q_{23}}=\frac{Pt_{01}}{Pt_{23}}=\frac{t_{01}}{t_{23}}=\frac{7}{3}$，D 正确.

易错警示 本题将感生电动势和动生电动势的两大特点结合，既有磁场强弱的变化，又有导体切割磁感线的运动，做题时易陷入困境. 建议解答该类题目时回归到电磁感应定律的基础形式，利用磁通量的变化将磁场强弱变化和有效面积变化有机结合.

刷提分

1. BC 突破点 金属棒转动切割磁感线

【解析】OA 段切割磁感线的平均速度小于 CD 段切割磁感线的平均速度，因此 O、A 两点的电势差绝对值小于 C、D 两点的电势差绝对值，A 错误；因 AC 段无磁场，所以 A、C 两点电势相等，由右手定则，有 $\varphi_O<\varphi_A$，$\varphi_D<\varphi_C$，又因为 C、D 两点电势差绝对值更大，故 $\varphi_D<\varphi_O<\varphi_A=\varphi_C$，B 正确；$O$、$D$ 两点的电势差绝对值 $U=Br\frac{2\omega r+3\omega r}{2}-Br\frac{\omega r}{2}=2Br^2\omega$，C 正确；因未形成闭合回路（易错点），所以金属棒中无感应电流，D 错误.

技巧必背 对于导体棒旋转切割磁感线模型，求解感应电动势时，速度代入导体棒的中点的速度. 本题中虽然 OA、CD 长度相同，但是 OA、CD 中点速度不同，感应电动势大小也不同.

2. AD 突破点▸感应电动势、反电动势

【解析】杆 OP 绕 O 点匀速转动切割磁感线时产生的感应电动势恒为 $E=B\bar{v}=\frac{1}{2}Br^2\omega$，A 正确；由右手定则，可知杆 OP 中的电流方向为由 O 到 P，则杆 MN 中的电流方向为由 M 到 N，由左手定则，可知杆 MN 受到向左的安培力，杆 MN 向左做加速运动，也产生感应电动势，与杆 OP 产生的感应电动势方向相反，则有 $E_{总}=E-BLv_{MN}=\frac{Br^2\omega}{2}-BLv_{MN}$（关键点：金属杆 MN 运动产生反电动势），随着杆 MN 的速度增加，总电动势逐渐减小，杆 MN 中的电流逐渐减小，D 正确；根据闭合电路欧姆定律，有 $U=E-IR=\frac{Br^2\omega}{2}-IR$，由于电流减小，所以电压表示数变大，C 错误；杆 MN 中电流逐渐减小，杆 MN 受到的安培力逐渐减小，则杆 MN 向左做加速度逐渐减小的加速直线运动，B 错误.

关键点拨 解题时首先找到发生电磁感应现象从而作为电源的装置，其次注意回路中受到安培力驱动的物体可产生反电动势，从而影响回路中的电流.

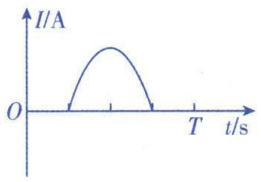
3. (1) 10 V　0　(2) 4 J　(3) 1.3×10^{-2} C　(4) −0.94 J

突破点▸辐向磁场、法拉第电磁感应定律

【解析】(1) 由振动方程可知，$t=0$ 时刻磁铁位于平衡位置且以速度 v_m 向上运动，线圈中产生电动势的大小为 $E_0=nB\cdot\pi dv_m=20\times0.5\times\pi\times0.1\times\pi$ V $=10$ V，

此时线圈相对磁体向下运动，由右手定则判断图 3 中电流方向，可知电流由 b 端流出. 由于理想二极管为反向截止状态，故电流大小为 $I_0=0$.

(2) 流过 R 的电流在一个周期内 I-t 图像如图甲所示，



甲

电流最大值为 $I_m=\frac{E_0}{R+r}=2$ A，

根据有效值定义可得 $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}I_m\right)^2R\frac{T}{2}=I^2RT$，

解得电流有效值为 $I=1$ A，

则 0~1 s 内，电阻 R 上产生的热量为 $Q=I^2Rt=4$ J.

(3) 由振动方程可知周期为 $T=\frac{2\pi}{\omega}=0.02$ s，

前 0.02 s 内，仅在 0.005 s 到 0.015 s 有电流通过电阻 R，则有 $q=n\frac{\Delta\Phi}{R+r}=n\frac{0.02B\pi d}{R+r}\approx1.3\times10^{-2}$ C.

(4) 0.01~0.015 s 内，磁铁由平衡位置向最大负位移运动，受力如图乙所示，



乙

由动能定理得 $W+mgh+W_{弹}+W_{安}=0-\frac{1}{2}mv_m^2$，

安培力做功 $W_{安}=-\left(\frac{\sqrt{2}}{2}I_m\right)^2(R+r)\cdot\frac{T}{4}=-0.05$ J，

又 $kx_1=mg$，$x_2=x_1+0.01$ m $=0.02$ m，$W_{弹}=\frac{1}{2}kx_1^2-\frac{1}{2}kx_2^2=-0.03$ J，

联立解得外力 F 做的功为 $W=-0.94$ J.

第 3 节　电磁感应的生活应用实例

刷提分

1. ABC 突破点▸涡流的应用

【解析】增大交变电流的电压，其他条件不变，则线圈中交变电流增大，磁通量变化率增大，因此产生的感应电动势增大，感应电流也增大，则焊接处消耗的电功率增大，A 正确；高频焊接利用高频交变电流产生高频交变磁场，在焊接的金属工件中产生感应电流，根据法拉第电磁感应定律可知，电流变化的频率越高，磁通量变化频率越高，产生的感应电动势越大，感应电流越大（关键点：磁通量变化频率越高，其变化率越大），焊接处消耗的电功率越大，B 正确；感应电流相同的条件下，增大焊接处的接触电阻，由 $P=I^2R$，可知焊接处消耗的电功率增大，C 正确，D 错误.

2. ABD 突破点▸互感

【解析】电池系统 cd 端的功率为 $P_2=U_2I_2=12$ kW，若供电线圈和受电线圈可视为理想变压器，则供电线圈两端的功率 $P_1=P_2=12$ kW，故 $P_{ab}=P_1+P_R>12$ kW，A 正确；无线充电技术利用电磁感应的原理，与变压器的原理相同，B 正确；因 $U_{ab}=380$ V，所以 $U_1<380$ V，$U_2=600$ V，若供电线圈和受电线圈可视为理想变压器，则 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}<\frac{19}{30}$，C 错误；无线充电技术只适用于变化的电流，若用稳恒直流电，则无法达到充电的目的，D 正确.

3. B 突破点▸自感

【解析】开关 S 闭合的瞬间，B 灯立即发光，由于线圈的自感阻碍，电阻可以忽略，A 灯逐渐变亮，最后和 B 灯一样亮，A 错误，B 正确；两灯完全相同，线圈的电阻可以忽略不计，所以电路中的电流稳定时流过支路的电流相等，开关 S 断开的瞬间，线圈与两灯一起构成一个自感回路，通过线圈的电流要减小，线圈中产生自感电动势，相当于电源，两灯同时逐渐熄灭，B 灯不会闪亮一下，且此时流过 B 灯的电流方向向左，C、D 错误.

4. AC 突破点▸电磁阻尼、涡流

【解析】所加磁场的磁感应强度越强，感应电流越强，安培力越大，对圆盘转动的阻碍越大，A 正确；金属圆盘中的涡流是由于磁通量的变化而产生的环形电流，存在于磁场所扫过的区域，B 错误；把圆盘看成沿半径方向紧密排列的“辐条”，由右手定则知，靠近圆心处的电势高，C 正确；若将整个圆盘置于磁场中，则圆盘中无感应电流，圆盘将匀速转动，D 错误.

5. D 突破点▸电磁阻尼与电磁驱动

【解析】图示时刻穿过铝管的磁通量向左增大，根据楞次定律，铝管中感应电流产生的磁场方向向右，再根据安培定则，从左往右看铝管中的感应电流为顺时针方向，A 错误；由于磁铁向右穿过了铝管，因此磁铁的速度一直大于铝管的速度，根据楞次定律，铝管和磁铁间的安培力方向将阻碍磁铁和铝管之间的相对运动，铝管对磁铁的安培力方向一直水平向左，磁铁对铝管的安培力方向一直水平向右，且安培力的大小随相对速度的减小而减小，故磁铁做加速度减小的减速运动，铝管做加速度减小的加速运动，B 错误；磁铁穿过铝管的过程中，铝管中将产生感应电流，铝管中有热量产生（关键点），根据能量守恒定律，磁铁减少的动能等于铝管增加的动能和产生的热量之和，C 错误；假设铝管足够长，最后铝管和磁铁的速度相等，选择水平向右的方向为正方向，根据动量守恒定律，可得 $mv=(M+m)v_{共}$，则 $v_{共}=3$ m/s，因铝管最终未与磁铁共速，所以铝管获得的速度小于 3 m/s，D 正确.

专题 16　电磁感应的图像问题

刷 难关

1. AD　突破点 ▸ B-t 图像

【解析】由图乙可知 0~1 s 内，磁感应强度向垂直于线圈平面向里方向增加，根据楞次定律和安培定则可知，线圈中感应电流的方向为逆时针方向，线圈产生的感应电动势大小 $E_1=\frac{nS\Delta B}{\Delta t}=2\ \text{V}$，1~5 s 内，线圈中感应电流的方向沿顺时针方向，产生的感应电动势大小 $E_2=1\ \text{V}$，同理，5~6 s 内，线圈中感应电流的方向沿逆时针方向，产生的感应电动势大小 $E_3=4\ \text{V}$，A 正确；0~1 s 内的感应电流方向为逆时针方向（正值），大小 $I_1=\frac{E_1}{r}=1\ \text{A}$，1~5 s 内的感应电流方向为顺时针方向（负值），大小 $I_2=0.5\ \text{A}$，5~6 s 内的感应电流方向为逆时针方向（正值），大小 $I_3=2\ \text{A}$，B 错误；线圈在 0~1 s 内的热功率 $P_1=\frac{E_1^2}{r}=2\ \text{W}$，在 1~5 s 内的热功率 $P_2=\frac{E_2^2}{r}=0.5\ \text{W}$，在 5~6 s 内的热功率 $P_3=\frac{E_3^2}{r}=8\ \text{W}$，C 错误；线圈产生的焦耳热 $Q=I^2rt$，结合以上分析，0~1 s 内产生的焦耳热为 $Q_1=I_1^2rt=2\ \text{J}$，1~5 s 内产生的焦耳热为 $Q_2=2\ \text{J}$，5~6 s 内产生的焦耳热为 $Q_3=8\ \text{J}$，D 正确.

2. A　突破点 ▸ 线框进出磁场区域的 i-t 图像

【解析】线框刚进入磁场阶段，根据右手定则可以判断，感应电流方向为逆时针，是正方向，进入磁场 L 距离后，线框继续向右运动，磁通量继续增大，根据楞次定律可知，线框中仍有逆时针方向的感应电流，线框向右移动 $2L$ 距离后，继续向右运动，磁通量减小，根据楞次定律可知，此时线框中感应电流方向为顺时针，是负方向，故选 A.

3. D　突破点 ▸ 线框进出磁场区域的 i-t 图像

【解析】在 $0\sim\frac{L}{v}$ 内，由几何关系可知，线框有效切割长度为 $L-vt$，可得感应电动势 $E=B(L-vt)v$，可知感应电动势随时间线性减小，根据右手定则可判断电流方向由 b 指向 a 即线框中电流方向为逆时针，所以感应电流为正方向，且线性减小到 0，在 $\frac{L}{v}\sim2\frac{L}{v}$ 内，穿过线框的磁通量保持不变，线框中没有感应电流，在 $2\frac{L}{v}\sim3\frac{L}{v}$ 内，线框有效切割长度为 $L-v\left(t-2\frac{L}{v}\right)$，可得感应电动势 $E=B(3L-vt)v$（易错点：解题时注意线框有效切割长度是变化的），可知感应电动势线性减小，根据右手定则可判断电流方向由 c 指向 a，即线框中的电流方向为顺时针，所以感应电流为负方向，且线性减小到 0，A、B 错误；由以上分析可知，在 $0\sim\frac{L}{v}$ 内，线框处于磁场中的有效长度为 $L-vt$，可得安培力大小为 $F_{安}=\frac{B^2(L-vt)^2v}{R}$，根据左手定则可判断安培力方向为水平向左，拉力与安培力二力平衡，所以拉力水平向右，即拉力方向为正方向，其大小为 $F=F_{安}=\frac{B^2(L-vt)^2v}{R}$，同理在 $2\frac{L}{v}\sim3\frac{L}{v}$ 内，有 $F=F_{安}=\frac{B^2\left[L-v\left(t-2\frac{L}{v}\right)\right]^2v}{R}$，且拉力方向为正方向，在 $\frac{L}{v}\sim2\frac{L}{v}$ 范围内，穿过线框的磁通量保持不变，没有感应电流，安培力为零，拉力也为零，C 错误，D 正确.

快解　进出磁场过程中都是 ab 边先通过边界，则感应电流和安培力的变化均为由大到小，根据楞次定律和右手螺旋定则，可知进出磁场过程中感应电流方向相反，A、B 错误；线框进出磁场过程中感应电流和有效长度都成线性变化，则安培力的变化不成线性，C 错误.

4. BC　突破点 ▸ 线框进出磁场区域的 i-t 图像

【解析】设导线框电阻为 R，则 0~1 s 内线框中感应电流 $i_1=\frac{E_1}{R}=\frac{Bvt\cdot v}{R}=\frac{Bv^2}{R}t$ 均匀增大，该过程最大电流为 $\frac{Blv}{R}$，由右手定则可知电流方向为逆时针，为正方向；1~2 s 内，导线框一部分在垂直纸面向里的磁场，一部分在垂直纸面向外的磁场，此时两边切割磁感线产生的感应电动势相加，可得 $i_2=\frac{E_2}{R}=\frac{B\cdot2[l-v(t-1\ \text{s})]\cdot v}{R}=\frac{2Blv}{R}-\frac{2Bv^2}{R}(t-1\ \text{s})$，可知电流从最大值 $\frac{2Blv}{R}$ 逐渐减小到 0，由右手定则可知电流方向为顺时针，为负方向；2~3 s 内，导线框离开磁场，电流 $i_3=\frac{E_3}{R}=\frac{B[l-v(t-2\ \text{s})]v}{R}=\frac{Blv}{R}-\frac{Bv^2}{R}(t-2\ \text{s})$，可知电流逐渐减小到 0，由右手定则可知电流方向为逆时针，为正方向，故 B 正确，A 错误；0~1 s 内，AC 边在磁场外，安培力 $F_{AC1}=0$，1~2 s 内，导线框一部分在垂直纸面向里的磁场，一部分在垂直纸面向外的磁场，AC 边安培力大小 $F_{AC2}=B\cdot\frac{B\cdot2[l-v(t-1\ \text{s})]v}{R}\cdot[l-2v(t-1\ \text{s})]$，可知该过程安培力从最大值 $\frac{2B^2l^2v}{R}$ 逐渐减小到 0，再反向增大最后减小到 0，分析可知 AC 边安培力方向先向左后向右，即方向先正后负，且图像为开口向上的二次函数；2~3 s 内，线框出磁场，AC 边安培力大小 $F_{AC3}=B\cdot\frac{B[l-v(t-2\ \text{s})]v}{R}\cdot[l-v(t-2\ \text{s})]=\frac{B^2[l-v(t-2\ \text{s})]^2v}{R}$，可知安培力从最大值 $\frac{B^2l^2v}{R}$ 逐渐减小，且图像为开口向上的二次函数，故 C 正确，D 错误.

5. B　突破点 ▸ $\frac{1}{B}$-t 图像

【解析】$t=0$ 时金属棒 ab 在 ef 处脱离弹簧，此后金属棒 ab 在没有外力的作用下，在磁场中能沿金属框做匀速运动，则金属棒 ab 不受安培力，即导体棒 ab 中一定没有感应电流，即穿过 $abPN$ 部分的磁通量变化量为零（关键点），设金属框宽为 l，ef 与 NP 之间的距离为 x_0，$t=0$ 时刻磁场的磁感应强度为 B_0，则从 $t=0$ 开始，有 $Bl(x_0+vt)=B_0lx_0$ 整理得 $\frac{1}{B}=\frac{1}{B_0}+\frac{v}{B_0x_0}t$，所以 $\frac{1}{B}$ 是 t 的一次函数，即 $\frac{1}{B}$-t 图像为一条倾斜直线，故选 B.

6. BD　突破点 ▸ 单杆模型、非常规图像

【解析】当运动时间为 t 时，导体棒的位移为 $x=vt$，则连入电路的导体棒的长度为 $l=2x\tan\frac{\theta}{2}=2vt\tan\frac{\theta}{2}$，连入电路的框架的长度

为 $l'=\dfrac{2x}{\cos\dfrac{\theta}{2}}=\dfrac{2v}{\cos\dfrac{\theta}{2}}t$，则回路中的电动势为 $e=Blv=2Bv^2\tan\dfrac{\theta}{2}\cdot t$，A 错误；电流为 $i=\dfrac{E}{R_{总}}=\dfrac{B\cdot 2vt\tan\dfrac{\theta}{2}\cdot v}{\left(2vt\tan\dfrac{\theta}{2}+\dfrac{2v}{\cos\dfrac{\theta}{2}}t\right)R}=\dfrac{Bv\tan\dfrac{\theta}{2}}{\left(\tan\dfrac{\theta}{2}+\dfrac{1}{\cos\dfrac{\theta}{2}}\right)R}$，可知电流为一定值，B 正确；因导体棒做匀速运动，则外力 F 与安培力平衡，则有 $F=BIl=\dfrac{2B^2v^2\tan^2\dfrac{\theta}{2}}{\left(\tan\dfrac{\theta}{2}+\dfrac{1}{\cos\dfrac{\theta}{2}}\right)R}t$，C 错误；拉力 F 的功率 $P=Fv=\dfrac{2B^2v^3\tan^2\dfrac{\theta}{2}}{\left(\tan\dfrac{\theta}{2}+\dfrac{1}{\cos\dfrac{\theta}{2}}\right)R}t$，D 正确.

快解 金属框架和导体棒单位长度的电阻相等，则根据几何关系，电阻和电动势等比例变化，电流不变，拉力 F 和拉力 F 的功率 P 成线性变化，故选 B、D.

7. AD **突破点** ▸线框模型、非常规图像

【解析】设每边电阻为 R，运动第一个 L 过程中电动势 $E_1=2BLv$，电流大小为 $I_1=\dfrac{E_1}{4R}=\dfrac{BLv}{2R}$，由右手定则可知，电流方向为顺时针，$u_{ab1}=-\dfrac{E_1}{4}=-\dfrac{BLv}{2}$，安培力 $F_1=2BI_1L=\dfrac{B^2L^2v}{R}$，方向沿 x 轴方向，由于匀速运动，外力功率与安培力功率大小相同，则 $P_1=F_1v=\dfrac{B^2L^2v^2}{R}$，同理，运动第二个 L 的过程中电动势 $E_2=2BLv+BLv=3BLv$，电流大小为 $I_2=\dfrac{E_2}{4R}=\dfrac{3BLv}{4R}$，电流方向为逆时针，$u_{ab2}=-2BLv+\dfrac{E_2}{4R}R=-\dfrac{5BLv}{4}$，安培力 $F_2=2BI_2L+BI_2L=\dfrac{9B^2L^2v}{4R}$，方向沿 x 轴负方向，$P_2=F_2v=\dfrac{9B^2L^2v^2}{4R}$，运动第三个 L 的过程中电动势 $E_3=BLv$，电流大小为 $I_3=\dfrac{E_3}{4R}=\dfrac{BLv}{4R}$，电流方向为顺时针，$u_{ab3}=\dfrac{3E_3}{4}=\dfrac{3BLv}{4}$，安培力 $F_3=BI_3L=\dfrac{B^2L^2v}{4R}$，方向沿 x 轴负方向，$P_3=F_3v=\dfrac{B^2L^2v^2}{4R}$，因此感应电流大小之比为 2∶3∶1，安培力大小之比为 4∶9∶1，a、b 两点间电势差大小之比为 2∶5∶3，外力功率大小之比为 4∶9∶1，故选 A、D.

方法总结 **电磁感应图像类选择题的常用解法**

(1) 排除法：定性地分析电磁感应过程中物理量的变化趋势（增大还是减小）、变化快慢（均匀变化还是非均匀变化），特别是物理量的正负，排除错误的选项.

(2) 函数法：根据题目所给条件定量地写出两个物理量之间的函数关系，然后由函数关系对图像进行分析和判断.

专题 17　电磁感应中的动力学问题

刷 难关

1. AC **突破点** ▸阻尼杆

【解析】以磁场为参考系，金属杆 ab 以大小为 v 的初速度向左减速运动，则 ab 刚进入磁场时产生的电动势最大，感应电流最大，加速度也最大（关键点），根据法拉第电磁感应定律，感应电动势为 $E=BLv$，根据欧姆定律可得电流 $I=\dfrac{BLv}{R_0}$，根据牛顿第二定律可得，$F=BIL=ma$，联立解得加速度 $a=\dfrac{B^2L^2v}{mR_0}$，A 正确，B 错误；以磁场为参考系，对 ab，设一小段时间 Δt 根据动量定理可得 $\sum BLI\Delta t=mv-mv'$，即 $BL\dfrac{\Delta\Phi}{R_0}=mv-mv'$，$\dfrac{B^2L^3}{R_0}=mv-mv'$（关键点：转换参考系，使用动量定理求解），解得 $v'=v-\dfrac{B^2L^3}{mR_0}$，所以 ab 相对水平面的速率 $v''=\dfrac{B^2L^3}{mR_0}$，此时感应电动势 $E'=BL\left(v-\dfrac{B^2L^3}{mR_0}\right)$，定值电阻的功率 $P=\dfrac{E'^2}{R_0}=\dfrac{B^2L^2}{R_0}\left(v-\dfrac{B^2L^3}{mR_0}\right)^2$，C 正确，D 错误.

方法总结 **电磁感应中不同物理量的求解策略**

(1) 求加速度：动力学观点.

(2) 求焦耳热：能量观点.

(3) 求系统的初、末速度关系：动量守恒定律.

(4) 求电荷量、位移或时间：动量定理.

2. AD **突破点** ▸单杆模型

【解析】开关 S 闭合后，当外力与安培力相等时，金属棒的速度最大，则 $F=F_{安}=BIL$，由闭合电路欧姆定律有 $I=\dfrac{E}{R}$，金属棒切割磁感线产生的感应电动势为 $E=BLv_0$，联立可得，恒定的外力为 $F=\dfrac{B^2L^2v_0}{R}$，故 A 正确；开关断开前，金属棒达到最大速度过程，由动量定理有 $Ft-B\bar{I}Lt=mv_0-0$，又 $\bar{I}=\dfrac{\bar{E}}{R}=\dfrac{\dfrac{BLx}{t}}{R}$，解得金属棒运动的位移大小 $x=v_0t-\dfrac{mv_0R}{B^2L^2}$，故 B 错误；开关闭合后，金属棒做匀速直线运动，当外力的功率为定值电阻功率的 3 倍时，设回路的电流为 I'，则 $F_{外}v_0=3I'^2R$，由平衡条件知，外力 $F_{外}=BI'L$，联立解得 $I'=\dfrac{BLv_0}{3R}$，金属棒产生的感应电动势 $E=BLv_0$，则电容器两端的电压 $U=E-IR=\dfrac{2}{3}BLv_0$，此时电容器所带的电荷量即通过电源的电荷量，为 $q=CU=\dfrac{2}{3}CBLv_0$，由功能关系知，外力做功 $W=qE=\dfrac{2}{3}CB^2L^2v_0^2$，故 C 错误，D 正确.

3. ACD **突破点** ▸初速类型双杆

【解析】a 刚开始运动时电路中的感应电流 $I=\dfrac{BLv_0}{2R+R}$，对金属棒 b 进行分析，根据牛顿第二定律，设向右为正方向有 $BIL=2ma$，解得 $a=\dfrac{B^2L^2v_0}{6mR}$，A 正确；根据右手定则判定感应电流方向为逆时针

方向，根据左手定则可知，两金属棒开始运动后受到的安培力方向均向左，系统外力的合力不等于0，因此 a、b 两金属棒组成的系统动量不守恒（**易错点**：磁场方向相反，安培力方向相同，系统合外力不为零，动量不守恒），B 错误；结合上述可知，a 开始向右做减速运动，b 开始向左做加速运动，最终回路中总的感应电动势为零，即最终回路中感应电流为零，因此最终 a、b 速度等大反向（**关键点**），设最终速度大小均为 v，分别对 b、a 应用动量定理有 $I_{安}=-2mv$，$I_{安}=mv-mv_0$，解得 $v=\frac{1}{3}v_0$，对金属棒 a 进行分析有 $BqL=\frac{2}{3}mv_0$，解得 $q=\frac{2mv_0}{3BL}$，C 正确；结合上述可知，运动过程中，整个回路产生的焦耳热为 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}\times3m\left(\frac{1}{3}v_0\right)^2=\frac{1}{3}mv_0^2$，由于金属棒 a、b 的电阻之比为 2∶1，则金属棒 b 产生的焦耳热 $Q_b=\frac{1}{3}Q=\frac{1}{9}mv_0^2$，D 正确.

方法总结 求解焦耳热 Q 的三种方法

焦耳热 Q 的三种求法：
- $Q=I^2Rt$，电流、电阻都不变时适用
- $Q=W_{克服安培力}$，任意情况都适用
- $Q=\Delta E_{其他能的减少量}$，任意情况都适用

4. ABC **突破点** ▸双杆在不等宽导轨上运动

【解析】 a 棒刚进入磁场时，根据右手定则可知 a、b 两棒与平行导轨组成的回路电流方向为逆时针，再根据左手定则可知 b 棒受到的安培力方向水平向右，根据牛顿第二定律可知 b 棒的加速度方向水平向右，A 正确；根据左手定则可知 a 棒受到的安培力方向水平向左，b 棒受到的安培力方向水平向右，大小分别为 $F_a=2BIL$，$F_b=BI\cdot2L$，可知 a 棒和 b 棒受到的安培力大小相等，方向相反，则从 a 棒进入磁场到两棒达到稳定过程中，a 棒和 b 棒组成的系统所受外力之和为0，系统满足动量守恒（**关键点**：本题由于两棒所处磁场的磁感应强度大小满足两倍关系，结合导轨间距关系可得安培力等大反向，因此动量守恒，对于一般性的双杆问题要重点分析安培力特点，判断动量是否守恒），B 正确；设 a 棒刚进入磁场时的速度为 v_0，根据动能定理可得 $mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $v_0=\sqrt{2gh}$，设水平向右为正方向，根据系统动量守恒可得 $mv_0=2mv$，解得稳定时两棒的速度均为 $v=\frac{1}{2}v_0=\frac{1}{2}\sqrt{2gh}$，从 a 棒进入磁场到两棒达到稳定过程中，对 b 棒根据动量定理可得 $B\bar{I}\cdot2Lt=mv$（**关键点**：应用动量定理列式时，优先选择受力、运动简单的棒作为研究对象），又 $q=\bar{I}t$，联立解得通过 b 棒的电荷量为 $q=\frac{m\sqrt{2gh}}{4BL}$，C 正确；从 a 棒进入磁场到两棒达到稳定过程中，根据能量守恒可得 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}\times2mv^2=\frac{1}{4}mv_0^2=\frac{1}{2}mgh$，则 b 棒上产生的焦耳热为 $Q_b=\frac{1}{2}Q=\frac{1}{4}mgh$，D 错误.

5. BC **突破点** ▸线框进出磁场的运动

【解析】 由题意，设 ab 边刚进磁场时的速度大小为 v_1，根据动能定理有 $Fx=mgx=\frac{1}{2}mv_1^2$，解得 $v_1=\sqrt{2gx}$，ab 边刚进磁场时线框的加速度为零，则 $F=\frac{B^2L^2v_1}{R}$，解得 $x=\frac{m^2gR^2}{2B^4L^4}$，A 错误；$ab$ 边刚进磁场时线框的加速度为零，则线框进入磁场的过程中做匀速直线运动，线框进磁场过程中，通过线框截面的电荷量为 $q_1=\bar{I}_1t_1=\frac{\frac{\Delta\Phi}{t_1}}{R}t_1=\frac{\Delta\Phi}{R}=\frac{BL^2}{R}$，B 正确；线框进入磁场的过程中做匀速直线运动，则线框进入磁场的过程中有 $Ft_1-BI_1Lt_1=0$，线框进入磁场后到 ab 边刚好出磁场过程中有 $Ft_2=mv_2-mv_1$，线框 ab 边刚好出磁场到线框离开磁场的过程中有 $Ft_3-B\bar{I}_2Lt_3=mv_3-mv_2$，其中 $q_2=\bar{I}_2t_3=\frac{\frac{\Delta\Phi}{t_3}}{R}t_3=\frac{\Delta\Phi}{R}=\frac{BL^2}{R}$，当 cd 边刚要出磁场时的加速度恰好为零，则 $F=B\frac{BLv_3}{R}L=\frac{B^2L^2v_3}{R}$，即 $v_3=v_1$，联立可得从线框 cd 边刚进磁场到 cd 边刚好出磁场过程中，线框运动的时间 $t_2+t_3=\frac{B^2L^3}{mgR}$，线框穿过磁场过程中，拉力 F 的冲量 $I_F=F(t_1+t_2+t_3)=\frac{2B^2L^3}{R}$，C 正确，D 错误.

快解 从线框 cd 边刚进磁场到 cd 边刚好出磁场过程中，由动量定理可知 $mgt-\sum\frac{B^2L^2\Delta v}{R}\cdot t=0$，则有 $mgt=\frac{B^2L^3}{R}$，$t=\frac{B^2L^3}{mgR}$，C 正确.

6. (1) $\frac{2B^2L^2v_0}{R}$ (2) $\frac{2B^2L^2v_0^2}{R}$ (3) $d-\frac{v_0t}{2}-\frac{mv_0R}{16B^2L^2}$

突破点 ▸线框模型

【解析】 (1) 当列车向右匀速运动时，感应电动势 $E=2BL\left(v_0-\frac{v_0}{2}\right)$，

回路电流 $I=\frac{E}{R}$，

安培力 $F_{安}=2BIL$，

根据题意 $F_{安}=f$，

可得 $f=\frac{2B^2L^2v_0}{R}$.

(2) 金属框中的电功率 $P_1=\frac{E^2}{R}$，

克服阻力的功率 $P_2=f\frac{v_0}{2}$，

外界单位时间提供的能量 $P=P_1+P_2=\frac{2B^2L^2v_0^2}{R}$.

(3) 在 t 时间内，由动量定理 $\frac{4B^2L^2(v_{磁}-v_{车})}{R}t-ft=m\frac{3v_0}{4}-m\frac{v_0}{2}$，

即 $\frac{4B^2L^2}{R}(d-x_{车})-ft=m\frac{3v_0}{4}-m\frac{v_0}{2}$，

可得 $x_{车}=d-\frac{v_0t}{2}-\frac{mv_0R}{16B^2L^2}$.

专题 18　电磁感应中的能量、动量问题

刷 难关

1. C　**突破点**▸恒速杆模型

【解析】由于电阻丝 PQ 做匀速运动，由法拉第电磁感应定律有 $E=Blv$，可知 PQ 产生的电动势大小恒定，由电路知识可知，在 PQ 从 ad 边向 bc 边运动的过程中，电路中的总电阻 R 先增大后减小，由 $I=\frac{E}{R}$ 可知通过电阻丝 PQ 的电流 I 先减小后增大，A 错误；将导线框电阻设为负载电阻 r，由 $U=E-Ir$ 可知电阻丝 PQ 两端的电压先增大后减小，B 错误；由 $F=BIl$，可知电阻丝受到的安培力先减小后增大，故拉力也先减小后增大，由于拉力的功率 $P=Fv$，故拉力的功率先减小后增大，C 正确；将电阻丝 ab 看作外电路，将电阻丝 PQ 看作电源，则外电路的电阻不大于电阻丝 PQ 的电阻，由于外电路的电阻先增大后减小，故由电源输出功率与外电阻之间的关系（**关键点：**需注意外电路为并联关系，结合闭合电路欧姆定律判断）可知，电阻丝 ab 的发热功率先增大后减小，D 错误.

方法总结　**解决电磁感应中的电路问题**

(1) 识别电源：切割磁感线导体或者磁通量发生变化的回路；

(2) 识别电路结构，画出等效电路图：分清电源，外电路以及它们的串并联关系；

(3) 利用电路的知识解题.

2. AD　**突破点**▸计算导体棒切割磁感线时的加速度、位移

【解析】根据右手定则，导体棒切割磁感线运动时，产生的感应电流方向由 a 流向 b，A 正确；由题意结合闭合电路欧姆定律可知，电路中的电流 $I=\frac{E}{2R}$，故定值电阻两端电压 $U=IR=\frac{E}{2}$，其中 E 为导体棒切割磁感线产生的电动势，导体棒切割磁感线产生的电动势最大值为 BLv_0，故定值电阻 R 两端的最大电压为 $\frac{BLv_0}{2}$，B 错误；根据题意知，导体棒中产生的最大电流 $I_{max}=\frac{E_{max}}{2R}=\frac{BLv_0}{2R}$，故导体棒的最大加速度 $a_{max}=\frac{F_{合}}{m}=\frac{mg\sin\theta+BI_{max}L}{m}=g\sin\theta+\frac{B^2L^2v_0}{2mR}$（**关键点：**注意导体棒本身的电阻），C 错误；根据能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2=mgx\cdot\sin\theta+Q$，其中 x 为导体棒上滑的最大距离，解得 $x=\frac{mv_0^2-2Q}{2mg\sin\theta}$，D 正确.

3. ACD　**突破点**▸动生电动势、单杆模型和简谐运动结合

【解析】根据 $x-t$ 关系式，在式中对 t 求导可得 t 时刻导体棒的速度 $v=2\sin 4t\ (\mathrm{m/s})$（**关键点：**速度是位移对时间的导数），所以导体棒在运动过程中，速度的最大值为 $v_m=2\ \mathrm{m/s}$，通过导体棒的感应电流 $I_m=\frac{BLv_m}{R}$，联立解得 $I_m=0.5\ \mathrm{A}$，A 正确；设导体棒做简谐运动的周期为 T，根据 $x=-0.5\cos 4t\ \mathrm{m}$，结合 $T=\frac{2\pi}{\omega}$，解得 $T=\frac{\pi}{2}\ \mathrm{s}$，在 $0\sim\frac{\pi}{8}\ \mathrm{s}$ 内，即 $0\sim\frac{T}{4}$ 内，导体棒运动的位移大小 $|x_m|=0.5\ \mathrm{m}$，感应电动势的平均值 $\bar{E}=\frac{BL|x_m|}{\frac{T}{4}}$，感应电流的平均值 $\bar{I}=\frac{\bar{E}}{R}$，通过导体棒的电荷量 $q=\bar{I}\cdot\frac{T}{4}$，联立解得 $q=0.125\ \mathrm{C}$，B 错误；在 $0\sim\frac{\pi}{8}\ \mathrm{s}$ 内，设 T 形支架对导体棒做功为 W_T，电阻 R 上产生的热量为 Q，根据功能关系，则有 $W_T=\frac{1}{2}mv_m^2+Q$，$Q=I_{有效}^2Rt=\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2R\cdot\frac{\pi}{8}$，联立解得 $W_T=\left(2+\frac{\pi}{16}\right)\ \mathrm{J}$，C 正确；由于加速度是速度对时间的导数，则有 $a=v'(t)=8\cos 4t\ (\mathrm{m/s^2})$（**关键点**），由牛顿第二定律可得 $\frac{B^2L^2v}{R}=ma$，结合题意解得 $\tan 4t=16$，解得 $v=2\sin 4t\ (\mathrm{m/s})=\frac{32}{\sqrt{257}}\ \mathrm{m/s}$，D 正确.

4. (1) $\frac{Sk}{2}$　(2) $\frac{S^2k^2}{4R}$　(3) $\frac{B_0dk^2S^2}{16R^3g\sin\theta}+\frac{2Q}{Sk}$

突破点▸单杆模型、法拉第电磁感应定律的综合应用

【解析】(1) 线圈中产生的感应电动势为 $E=N\frac{\Delta B}{\Delta t}S$，

闭合回路的总电流 $I=\frac{E}{\frac{R}{2}+\frac{R\cdot R}{R+R}}$，

定值电阻 R 两端的电压 $U=E-I\cdot\frac{R}{2}$，

解得 $U=\frac{Sk}{2}$.

(2) 开关闭合时，金属棒 ab 恰好处于静止状态，则 $mg\sin\theta=B_0I_1d$，

此时金属棒中的电流为 $I_1=\frac{1}{2}I$，

联立解得 $m=\frac{B_0Skd}{2gR\sin\theta}$，

断开开关，金属棒速度最大时，金属棒受力平衡，棒中的电流仍为 I_1，设棒的最大速度为 v，则根据闭合电路欧姆定律有 $B_0dv=I_1(R+R)$，

则当速度为最大速度一半时，重力的瞬时功率为 $P=mg\sin\theta\cdot\frac{v}{2}$，

解得 $P=\frac{S^2k^2}{4R}$.

(3) 由题意，设金属棒运动到最大速度过程中位移为 x，根据能量守恒定律，有 $mg\sin\theta\cdot x=\frac{1}{2}mv^2+Q_R+Q_{ab}$，

由于金属棒 ab 的电阻与定值电阻阻值相等，则有 $Q_R=Q_{ab}=Q$，

在此过程中，流过金属棒的平均电流为 $\bar{I}=\frac{B_0xd}{(R+R)t}$，

流过金属棒的电荷量 $q=\bar{I}t$，

解得 $q=\frac{B_0dk^2S^2}{16R^3g\sin\theta}+\frac{2Q}{Sk}$.

5. AC　**突破点**▸动量定理、线框模型、楞次定律

【解析】线圈进入磁场的过程中，穿过线圈的磁通量向里增加，根据楞次定律可知，感应电流的方向为逆时针方向，A 正确；线圈离开磁场的过程中，穿过线圈的磁通量向里减小，根据楞次定律可知，感应电流的方向为顺时针方向，B 错误；设线圈完全进入磁场时的速度为 v，线圈进入磁场的过程，根据动量定理可得 $-B\bar{I}_1Lt_1=mv-mv_1$，其中 $\bar{I}_1t_1=q_1=\frac{\Delta\Phi_1}{R}=\frac{BL^2}{R}$，线圈离开磁场的过

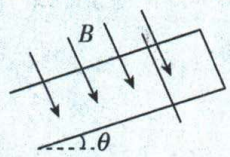
程，根据动量定理可得$-B\bar{I}_2Lt_2=mv_2-mv$，其中$\bar{I}_2t_2=q_2=\frac{\Delta\Phi_2}{R}=\frac{BL^2}{R}$，联立可得$mv-mv_1=mv_2-mv$，则有$v=\frac{v_1+v_2}{2}$，C正确，D错误.

方法总结　动量定理在电磁感应问题中的应用

(1)已知初末速度，求电荷量($q=\bar{I}\Delta t$)：$-B\bar{I}L\Delta t=0-mv_0$，$q=\bar{I}\Delta t$，$q=\frac{mv_0}{BL}$.

(2)已知初末速度，求位移($x=\bar{v}\Delta t$)：$-\frac{B^2L^2\bar{v}}{R}\Delta t=0-mv_0$，$x=\bar{v}\Delta t=\frac{mv_0R}{B^2L^2}$.

(3)求时间：需要有其他恒力参与，如对倾斜单杆模型(如图)，



有$-B\bar{I}L\Delta t+mg\sin\theta\cdot\Delta t=mv-0$，$q=\bar{I}\Delta t$；$-\frac{B^2L^2\bar{v}}{R}\Delta t+mg\sin\theta\cdot\Delta t=mv-0$，$x=\bar{v}\Delta t$，从而求出$\Delta t$.

(4)求初末速度：(1)(2)中，若已知q或x可求初末速度.

6. BCD　**突破点**▸双杆在不等宽导轨上运动

【解析】给导体棒a、b大小相同的水平向右的初速度v_0，则$E=2B_0Lv_0-B_0Lv_0=B_0Lv_0$，$I=\frac{E}{2R}$，$F_{安}=2B_0IL$，解得$a$棒所受安培力$F_{安}=\frac{B_0^2L^2v_0}{R}$，由牛顿第二定律得$F_{安}=2ma$，解得$a=\frac{B_0^2L^2v_0}{2mR}$，$a$棒运动的速度减小，加速度也减小，A错误；设$b$棒到达$OO'$时的速度大小为$v_b$，此时导体棒$a$的速度大小为$v_a$，因为此时已经无电流(关键点)，即$B_0Lv_b=2B_0Lv_a$，设向右为正方向，对$a$、$b$棒分别根据动量定理可得$-2B_0ILt=2mv_a-2mv_0$，$B_0ILt=mv_b-mv_0$，解得$v_a=\frac{2}{3}v_0$，$v_b=\frac{4}{3}v_0$，B正确；导体棒$b$运动至$OO'$前，导体棒$a$和导体棒$b$构成的回路产生的热量为$Q=\frac{1}{2}(2m+m)v_0^2-\left(\frac{1}{2}\times2mv_a^2+\frac{1}{2}mv_b^2\right)=\frac{1}{6}mv_0^2$，C正确；设$b$棒与U形金属框碰撞后共同速度为$v_1$，设向右为正方向，根据动量守恒定律可得$mv_b=2mv_1$，解得$v_1=\frac{2}{3}v_0$，由$OO'$右侧存在分布规律为$B=B_0+kx$($k>0$)的磁场可知U形金属框右边的磁场始终比U形金属框左边的磁场大，即$\Delta B=kL$，从导体棒b与U形金属框碰撞后到最终静止的过程，设向右为正方向，根据动量定理可知$-\Delta B\bar{I}Lt=0-2mv_1$，通过导体棒$b$截面的电荷量为$q=\bar{I}t$，解得$q=\frac{4mv_0}{3kL^2}$，D正确.

7. AD　**突破点**▸降压限流器件、法拉第电磁感应定律的综合应用

【解析】导体棒由静止释放后向右运动，故其所受的安培力向右，由左手定则可知，电流方向由M到N，a端接电源的正极，A正确；对导体棒分析，设其在PQ左侧运动的最大速度为v，受到的安培力$F=BIL$，受到的摩擦力$f=\mu mg$，导体棒在PQ左侧运动的速度最大时，有$F=f$，根据闭合电路欧姆定律有$E-BLv=Ir$，解得$v=20$ m/s，导体棒越过PQ后速度变为$v_1=\frac{1}{2}v=10$ m/s，如果降压限流器件的电阻为零，电路中电流$I_1=\frac{BLv_1}{R}=1$ A>0.5 A，当导体棒的速度减为$v_2=\frac{0.5\text{ A}\cdot R}{BL}=5$ m/s时，降压限流器件的电阻恰好为零，此过程中，通过导体棒的电流恒为$I_2=0.5$ A；在导体棒的速度从v_1减到v_2的过程中，导体棒受到的安培力不变，导体棒做匀减速直线运动(**关键点**：由于降压限流器件的存在，导体棒回路中电流为0.5 A不变，导体棒所受安培力不变，加速度不变)，根据牛顿第二定律有$a=\frac{BLI_2}{m}=2.5$ m/s^2，导体棒做匀减速直线运动的时间$t_1=\frac{v_1-v_2}{a}=2$ s，位移大小$x_1=v_1t_1-\frac{1}{2}at_1^2=15$ m，通过导体棒的电荷量$q_1=I_2t_1=1$ C，之后降压限流器件的电阻为零，导体棒接下来做加速度减小的减速直线运动直到静止，依据动量定理有$-F_{安}t_2=m\Delta v$，即$-\frac{B^2L^2}{R}x_2=0-mv_2$，解得$x_2=10$ m，通过导体棒的电荷量$q_2=\frac{\Delta\Phi}{R}=\frac{BLx_2}{R}=1$ C(**关键点**：由于降压限流器件的存在，只能用动量定理求解后半段过程的位移和电荷量)，导体棒越过PQ后运动的距离$x=x_1+x_2=25$ m，B错误；通过降压限流器件上的总电荷量$q=q_1+q_2=2$ C，C错误；降压限流器件仅在t_1时间内产生热量，根据能量守恒定律有$Q=\frac{1}{2}m(v_1^2-v_2^2)-I_2^2Rt_1=0.125$ J，D正确.

8. (1)3 m/s　(2)1.5 m/s　(3)见解析　18 J

突破点▸双杆在等宽导轨上运动问题、法拉第电磁感应定律的综合应用

【解析】(1)到达cd前匀速运动时，有$mg\sin\theta=F_{安}=BIL$，$E=BLv_0$，$I=\frac{E}{R+r}$，

联立解得$v_0=3$ m/s.

(2)根据题意可得$mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$，

故到达NQ前再次匀速运动时有$BLv_1=BLv_2$，

设金属棒1沿倾斜导轨向下运动s_1，金属棒2沿着水平导轨向右运动s_2，由动量定理得，设沿倾斜导轨向下为正方向对金属棒1有$(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)t-\frac{B^2L^2(s_1-s_2)}{2r}=mv_1-mv_0$，

即$-\frac{B^2L^2(s_1-s_2)}{2r}=mv_1-mv_0$，

设水平向右为正方向对金属棒2有$\frac{B^2L^2(s_1-s_2)}{2r}=mv_2$，

联立解得$v_1=v_2=1.5$ m/s，即金属棒2的速度大小为1.5 m/s.

(3)由第(2)问可得$s_1-s_2=0.75$ m，当金属棒1运动到NQ时，$s_1=8$ m，所以$s_2=7.25$ m，

此后两棒都以大小为1.5 m/s的初速度在EF的右侧相向运动，两棒初始相距8 m−7.25 m=0.75 m，并以大小相同的加速度减速，如果相碰，各自原速率反弹后继续以相同的加速度减速，直至两棒的速度都为零，设两棒在此过程中所经历的路程分别为s_a'、s_b'，对任意棒有$-\frac{B^2L^2(s_a'+s_b')}{2r}=0-mv_1$，

解得 $s_a'+s_b'=0.75\ \text{m}$，

最终两棒相向运动 0.75 m 后停止运动，即金属棒 1 停在 NQ 左侧 0.375 m 处，

在任意阶段都是金属棒 1 的电阻 r 与另一等大电阻（R 或金属棒 2 的电阻 r）产生等量焦耳热，

故由能量守恒有 $Q_1=\dfrac{mg(x_1+x_2+x_3)\sin\theta-\mu mg\cos\theta\cdot x_3}{2}=\dfrac{mg(x_1+x_2)\sin\theta}{2}$，

解得 $Q_1=18\ \text{J}$.

全章素养提升

刷情境

1. D 创新点▸无线门铃按钮、楞次定律

【解析】按下按钮过程，通过螺线管的磁通量向左增大，根据楞次定律和右手螺旋定则，可知电流从 Q 端流出，则螺线管 Q 端电势较高，A 错误；松开按钮后，穿过螺线管的磁通量变小，但不为零，B 错误；按住按钮不动，穿过螺线管的磁通量不变，螺线管中不会产生感应电动势，C 错误；若按下和松开按钮的时间相同，螺线管中磁通量的变化率相同，故螺线管产生的感应电动势大小相同，D 正确.

2. A 创新点▸航天飞机用导电缆绳切割磁感线的相关计算

【解析】导电缆绳竖直，a 端在上、b 端在下，导电缆绳所在区域的地磁场的磁感应强度方向与水平方向成 37°角，由以上信息可知磁感应强度方向与绳的夹角为 53°，由法拉第电磁感应定律可知 $E=BLv\sin 53°=6\times10^3\ \text{V}$，由右手定则可知，$a$ 端电势比 b 端电势高，故选 A.

3. BD 创新点▸航母电磁阻拦技术

【解析】飞机着舰时金属棒 ab 受安培力，由牛顿第二定律可得 $F=ma$，由乙图可得 $F=F_0-\dfrac{F_0}{s_0}s$，解得加速度 $a=\dfrac{F_0}{m}-\dfrac{F_0}{ms_0}s$，故飞机的加速度即 ab 的加速度与位移不成正比，A 错误；设导轨宽度为 L，由牛顿第二定律有 $F=BIL=ma$，因为电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{BLv}{R}$，解得加速度 $a=\dfrac{B^2L^2}{mR}v$，可知飞机的加速度与速度成正比，B 正确；通过 ab 的电荷量 $q=\bar{I}\Delta t=\dfrac{\bar{E}}{R}\Delta t=\dfrac{\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}}{R}\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{R}=\dfrac{BL}{R}s$，可知通过 ab 的电荷量与位移成正比，C 错误；由功能关系可知导体棒克服安培力做功的多少即为整个回路产生的焦耳热，由图乙可知导体棒克服安培力做功 $W_{克安}=\dfrac{1}{2}F_0s_0=Q_{焦耳热}$，D 正确.

4. ACD 创新点▸线框切割磁感线产生的等效电路相关计算

【解析】轿厢悬停或者竖直向上做匀速运动时，均需要受到竖直向上的安培力，由楞次定律可知，磁场相对轿厢的运动方向均为竖直向上，即速度 v_1 和 v_2 的方向都是竖直向上，故 A 正确，B 错误；设导线框和电梯轿厢的总质量为 m，轿厢悬停时，导线框中的电流大小为 $I_1=\dfrac{2E}{R}=\dfrac{2Bdv_1}{R}$，由平衡条件有 $mg=2BI_1d$，解得 $m=\dfrac{4B^2d^2v_1}{gR}$，故 C 正确；当磁场平动速度为 v_1 时，轿厢悬停，则 $F_{安}=2BI_1d=\dfrac{4B^2d^2v_1}{R}=mg$，当磁场平动速度为 v_2 时，导线框向上运动，当其加速度为零时，达到最大速度 v_3，则 $F_{安}=2BI_2d=\dfrac{4B^2d^2(v_2-v_3)}{R}=mg$，则 $v_1=v_2-v_3$，当磁场以速度 v_2 平动时，轿厢最终速度为 $v_3=v_2-v_1$，故 D 正确.

刷真题

刷小题

1. B 命题点▸楞次定律

【解析】闭合开关瞬间，由安培定则知，线圈 M 产生的磁场方向向右，穿过线圈 P 的向右的磁通量增大，由楞次定律可知，线圈 P 的感应电流的磁场方向向左，同名磁极相互排斥，可知线圈 M 和线圈 P 相互排斥，A 错误；闭合开关，达到稳定后，通过线圈 P 的磁通量保持不变，感应电流为零，电流表的示数为零，B 正确；断开开关瞬间，由安培定则知，通过线圈 P 的磁场方向向右，磁通量减小，由楞次定律可知线圈 P 的感应电流的磁场方向向右，由安培定则知流过电流表的感应电流方向由 b 到 a，C、D 错误。

2. C 命题点▸涡电流

【解析】金属薄片中心运动到 N 极正下方时，穿过金属薄片的磁场竖直向下，金属薄片向右运动，通过金属薄片右半部分的磁场正在减弱，所以右侧涡电流产生的磁场向下，由安培定则判断可知涡电流为顺时针方向（俯视），通过金属薄片左半部分的磁场正在增强，所以左侧涡电流产生的磁场向上，由安培定则判断可知涡电流为逆时针方向（俯视）（**点拨：**选项中将金属薄片分成左右两部分来判断涡电流方向，根据通过各部分的磁场方向及磁场的变化进而确定涡电流方向），C 正确.

3. CD 命题点▸电磁感应现象、面积的极值

【解析】由数学知识可知金属杆所围回路的面积先增大后减小，金属杆所围回路内磁通量 $\Phi=BS$ 先增大后减小，根据楞次定律和安培定则可知电流方向先沿逆时针方向，后沿顺时针方向，A 错误；由于金属杆所围回路的面积非均匀变化，故感应电流的大小不恒定，故通过金属杆截面的电荷量 $q=It$ 随时间不是均匀增加的，B 错误；由上述分析和左手定则，可知金属杆 1 所受安培力方向与运动方向先相同后相反，金属杆 4 所受安培力方向与运动方向先相反后相同，C、D 正确.

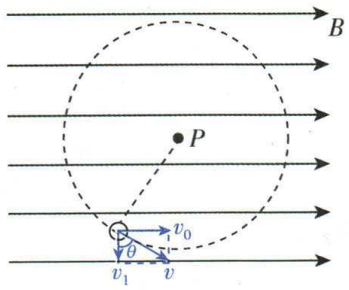
4. D 命题点▸楞次定律

【解析】当钢制线圈与电容器组接通时，钢制线圈中产生迅速增大的电流，即在线圈里产生迅速增强的磁场，根据楞次定律可知，铜环中产生的感应电流的磁场会阻碍引起感应电流的磁通量的增大，故铜环中的感应电流与钢制线圈中的电流方向相反，磁感线被“浓缩”，$\Delta\Phi$ 几乎不变，则 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 几乎不变，铜环中的感应电流 $I=\dfrac{E}{R}$ 几乎不变，远小于钢制线圈中的电流，D 正确.

5. C 命题点▸导体棒旋转切割磁感线、感应电动势图像

【解析】将导体棒的速度沿平行磁场方向和垂直磁场方向分解（**点拨：**利用法拉第电磁感应定律 $E=Blv_\perp$ 时，速度 $v_\perp$ 是垂直磁

感应强度的方向的分速度大小),如图所示,



则 $v_1 = v\cos\ \theta$,$\theta = \omega t$,导体棒两端电势差 $u = Blv_1 = Blv\cos\ \theta = Blv\cos\ \omega t$,所以 $u-t$ 图像是一条余弦曲线,C 正确.

6. C **命题点** 法拉第电磁感应定律、拓扑结构

【解析】铜丝构成的莫比乌斯环形成了两匝($n=2$)线圈串联的闭合回路,穿过回路的磁场有效面积为 $S=\pi r^2$,根据法拉第电磁感应定律得,回路中产生的感应电动势大小为 $E = n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n\dfrac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = 2k\pi r^2$,C 正确.

7. B **命题点** 电磁感应

【解析】根据法拉第电磁感应定律,闭合回路中产生的感应电动势 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,根据闭合电路欧姆定律得电流 $I=\dfrac{E}{2R}$,通过回路的电荷量为 $q=I\Delta t$,$0\sim T$ 时间内 $\Delta\Phi=B_0Lx_0$,联立解得 $q=\dfrac{\Delta\Phi}{2R}=\dfrac{B_0Lx_0}{2R}$,B 正确.

8. BC **命题点** 左手定则、安培力

【解析】

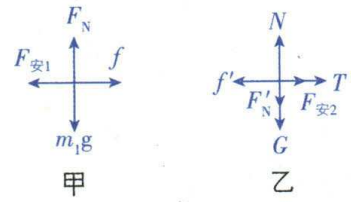
选项	分析	结论
A	I_c 沿顺时针方向,$I_d=0$ 时,由左手定则判断可知线圈 c 受到的安培力向右,则表明 a 的方向向左(**点拨:**手机框架有加速度时线圈中通电流获得相反方向的安培力从而保持镜头稳定)	×
B	I_d 沿顺时针方向,$I_c=0$ 时,由左手定则判断可知线圈 d 受到的安培力向上,则表明 a 的方向向下	√
C	若 a 的方向沿左偏上 30°,则 $a_{左}>a_{上}$,故线圈 c 受到的安培力应向右,I_c 沿顺时针方向,线圈 d 受到的安培力应向下,I_d 沿逆时针方向,$F_{右}>F_{下}$,则 $I_c>I_d$	√
D	若 a 的方向沿右偏上 30°,则 $a_{右}>a_{上}$,故线圈 c 受到的安培力应向左,I_c 沿逆时针方向,线圈 d 受到的安培力应向下,I_d 沿逆时针方向,$F_{左}>F_{下}$,则 $I_c>I_d$	×

9. ABD **命题点** 单杆切割模型、能量守恒

【解析】金属棒 MN 运动过程中,穿过闭合回路的磁通量发生变化,由楞次定律、安培定则和左手定则可知:安培力与 MN 的运动方向的夹角始终大于 90°,则安培力始终做负功,MN 的机械能一直减少,最终一定静止于 OO' 位置,A、B 正确;根据楞次定律和安培定则可知,从释放到第一次到达 OO' 位置过程中,MN 中电流方向由 M 到 N,在即将到达 OO' 位置的时刻,MN 所受安培力水平向左,沿速度方向的分力一定大于 MN 所受重力沿速度方向的分力,处于减速状态,即 MN 的速率先增大后减小,C 错误,D 正确.

10. BD **命题点** 电磁感应中的双棒平衡

【解析】由于 MN 和 CD 均做匀速直线运动,故两者处于平衡状态,由于 $v_2>v_1$,导体棒 MN 受到向右的摩擦力 f,则通过导体棒 MN 的感应电流方向为 $N\rightarrow M$,MN 的受力分析如图甲,对 MN 有 $F_{安1}=B_1IL$,又 $f=F_{安1}=\mu m_1g=2$ N,解得 $I=1$ A,对导轨 CD 段受力分析,如图乙,受到向左的摩擦力 $f'=f=2$ N,又轻绳拉力向右且 $T=m_2g=1$ N,所以 U 形导轨 CD 段受到的安培力方向一定向右,对 U 形导轨 CD 段有 $f'=F_{安2}+T=B_2IL+T$,解得 $B_2=1$ T,根据左手定则及电流方向可知,B_2 的方向向下,A 错误,B 正确;$E=IR=1$ V,由于感应电流方向由 D 到 C,所以 $E=B_1Lv_1-B_2Lv_2$,解得 $v_2=3$ m/s,C 错误,D 正确.



11. D **命题点** 楞次定律、安培力、动量定理、能量守恒定律

【解析】线框进磁场时,磁通量增大,感应电流的磁场阻碍磁通量增大,由安培定则知甲线框进磁场时电流方向为顺时针,出磁场时,磁通量减小,感应电流的磁场阻碍磁通量减小,由安培定则知电流方向为逆时针,A 错误;线框刚进磁场时,切割磁感线的有效长度为 L,感应电动势 $E=BLv_0$,甲线框中电流 $I_{甲}=\dfrac{BLv_0}{R}$,乙线框中电流 $I_{乙}=\dfrac{BLv_0}{2R}$,安培力 $F=BIL$,则甲线框所受合力大小 $F_{甲}=B\dfrac{BLv_0}{R}L=\dfrac{B^2L^2v_0}{R}$,乙线框所受合力大小 $F_{乙}=B\dfrac{BLv_0}{2R}L=\dfrac{B^2L^2v_0}{2R}$,$\dfrac{F_{甲}}{F_{乙}}=\dfrac{2}{1}$,B 错误;乙线框进磁场和出磁场过程,总磁通量变化 $\Delta\Phi=2\times2BL^2=4BL^2$,根据动量定理有 $-B\bar{I}_{乙}L\Delta t=mv_{乙}-mv_0$,又 $\bar{I}_{乙}\Delta t=\dfrac{\bar{E}}{2R}\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{2R\Delta t}\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{2R}$,联立解得 $v_{乙}=\dfrac{2B^2L^3}{mR}\neq0$,C 错误;同理,可求出甲线框完全出磁场时的速度 $v_{甲}=0$,由能量守恒定律可知,整个过程甲线框产生的焦耳热 $Q_{甲}=\dfrac{1}{2}mv_0^2-0=\dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{4B^2L^3}{mR}\right)^2=\dfrac{8B^4L^6}{mR^2}$,乙线框产生的焦耳热 $Q_{乙}=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}mv_{乙}^2=\dfrac{8B^4L^6}{mR^2}-\dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{2B^2L^3}{mR}\right)^2=\dfrac{6B^4L^6}{mR^2}$,$\dfrac{Q_{甲}}{Q_{乙}}=\dfrac{4}{3}$,D 正确.

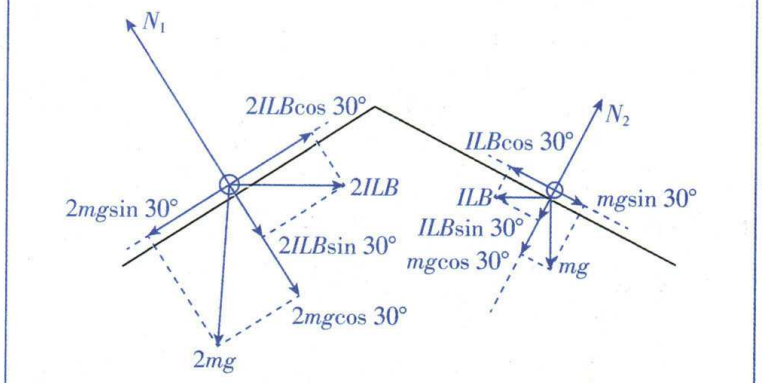
12. CD **命题点** 电磁感应、动量定理

【解析】设金属杆在 BB_1 处速度为 v,导轨间距为 L,金属杆在 AA_1B_1B 区域运动时,只受安培力,由动量定理有 $-\sum BiL\Delta t=mv-mv_0$,即 $-\dfrac{B^2L^2d}{2R}=mv-mv_0$($\text{关键点:}\sum i\Delta t=\sum\dfrac{BLv_i}{2R}\Delta t=\dfrac{BLd}{2R}$),在 BB_1C_1C 区域运动时,受安培力和滑动摩擦力,由动量定理有

$-\sum BiL\Delta t-\mu mgt=0-mv$，即 $-\mu mgt-\frac{B^2L^2d}{2R}=0-mv$，联立可知 $v>\frac{v_0}{2}$，A 错误；在整个过程中，由功能关系可得 $\frac{1}{2}mv_0^2=2Q_R+\mu mgd$（**易错点**：金属杆的动能转化为摩擦产生的热量以及定值电阻和金属杆上的焦耳热），解得 $Q_R=\frac{1}{4}mv_0^2-\frac{1}{2}\mu mgd$，B 错误；金属杆经过 AA_1B_1B 与 BB_1C_1C 区域，安培力的冲量均为 $-\sum BiL\Delta t=-\frac{B^2L^2d}{2R}$，C 正确；对全过程由动量定理有 $-\mu mgt-\frac{B^2L^2}{2R}2d=0-mv_0$，若将金属杆的初速度加倍，由动量定理有 $-\mu mgt'-\frac{B^2L^2}{2R}2d'=0-2mv_0$，由于金属杆在 BB_1C_1C 区域运动的速度比第一次大，$t'<t$，即 $t'<2t$，则 $d'>2d$，D 正确.

13. AB **命题点**▸电磁感应的双杆问题

题图剖析



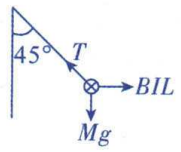
【解析】两导体棒均向下运动，穿过闭合回路的磁通量增加，根据楞次定律和安培定则可知回路中的电流方向为 $abcda$，A 正确；如图，对两导体棒受力分析，对 ab 有 $2mg\sin 30°-2ILB\cos 30°=2ma_1$，对 cd 有 $mg\sin 30°-ILB\cos 30°=ma_2$，初始时两导体棒均加速，闭合回路的电动势增大，电流增大，导体棒受到的安培力增大，导体棒的加速度减小，最终加速度为零，此时 $I=\frac{mg\sin 30°}{LB\cos 30°}=\frac{\sqrt{3}mg}{3LB}$，B 正确；由 B 项分析可知两导体棒加速阶段加速度大小之比为 $a_1:a_2=1:1$，最终加速度均为零，C 错误；由前面分析可知，两导体棒的速度大小始终相等，但两部分磁场的磁感应强度大小为两倍的关系，根据公式 $E=BLv$ 可知，两导体棒产生的电动势应为两倍的关系，D 错误.

14. AC **命题点**▸楞次定律、动量守恒定律、法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律

【解析】弹簧伸展过程中，穿过 MN、PQ 组成回路的磁通量变大，由楞次定律和安培定则知回路中产生顺时针方向的电流，A 正确. 设 MN 的质量为 m，以水平向右为正方向，由动量守恒定律得 $2mv_{PQ}-mv_{MN}=0$，解得 MN 的速度大小 $v_{MN}=2v_{PQ}$，方向与 PQ 的速度方向相反，由右手定则知两棒产生的感应电流方向相同，回路中的感应电动势 $E=2Bdv_{MN}+B\cdot 2dv_{PQ}$，从开始运动到 PQ 速率为 v 时，可得 $E=6Bdv$，由闭合电路欧姆定律得回路中的电流 $I=\frac{E}{3R}=\frac{2Bdv}{R}$，则 MN 所受安培力的大小为 $F=2BId=\frac{4B^2d^2v}{R}$，B 错误；整个运动过程中，根据动量守恒的推论得 $mx_{MN}=2mx_{PQ}$，解得 MN 与 PQ 的路程之比为 $x_{MN}:x_{PQ}=2:1$，C 正确；两棒在磁场中停止运动时弹簧恢复原长，则 $x_{MN}+x_{PQ}=L$，解得 $x_{MN}=\frac{2}{3}L$，$x_{PQ}=\frac{1}{3}L$，根据 $q=\bar{I}t=\frac{\bar{E}}{R_{总}}t=\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$ 可知，整个运动过程通过 MN 的电荷量 $q=\frac{2Bd\times\frac{2}{3}L+B\times 2d\times\frac{1}{3}L}{3R}=\frac{2BLd}{3R}$，D 错误.

15. C **命题点**▸电磁阻尼、电磁感应、振动

【解析】开关 S 接 1，对静止时的导体棒受力分析，画侧视图如图所示.



根据平衡条件和几何关系有 $BIL=Mg$，根据闭合电路欧姆定律有 $I=\frac{E_0}{R}$，联立解得 $E_0=\frac{MgR}{BL}$，A 错误；棒从右向左摆的过程中，二极管正向导通，系统的机械能转化为电能，再转化为焦耳热，由于机械能损失，故棒从左向右摆时（**点拨**：从左向右摆时，二极管阻碍电流流过，则导体棒中无电流，不受安培力作用，可认为导体棒从左向右做等高的摆动），最大摆角小于 $\frac{\pi}{4}$，完成一次振动的过程后，导体棒并非静止于最低点，则棒消耗的焦耳热 $Q<(1-\frac{\sqrt{2}}{2})Mgl$，B 错误，C 正确；棒向左运动时，由于电磁感应现象，棒产生焦耳热，所以棒从最低点向左运动再回到最低点的过程中，机械能有损失，则两次过最低点的速度不相等，故产生的感应电动势也不相等，D 错误.

刷大题

16. (1) 0.015 N　(2) 见解析　(3) 0.01 m/s

命题点▸感生电动势、动量定理

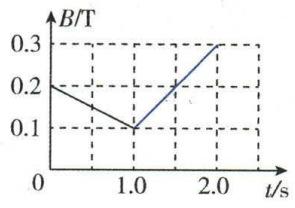
【解析】(1) 由题图(b)可知 $t=0.5$ s 时 $B_1=0.15$ T，$B-t$ 图线斜率大小 $|k|=\frac{|\Delta B|}{\Delta t}=0.1$ T/s，

由 $E=\frac{|\Delta B|}{\Delta t}\cdot\frac{L^2}{2}$ 得 $E=0.05$ V　(1 分)

导体框中电流 $I=\frac{E}{R}=0.1$ A　(1 分)

导体框 ad 边受到的安培力大小 $F=B_1IL=0.015$ N　(1 分)

(2) 由楞次定律和安培定则可知，0~1 s 过程中，导体框中的电流沿顺时针方向，为正，由题图(c)可知 1~2 s 过程导体框中的电流沿逆时针方向、大小为 0.2 A，故磁场方向不变，磁感应强度应均匀增大，斜率是 0~1 s 时图线斜率的 2 倍，$B-t$ 图像如图所示.



(3 分)

(3)由(2)知 $t=2$ s 时 $B_2=0.3$ T,

2 s 后,导体框离开磁场过程中,以向右为正方向,由动量定理有 $-B_2\bar{I}L\cdot\Delta t=mv_1-mv_0$ (2分)

又 $q=\bar{I}\cdot\Delta t$ (1分)

$\bar{I}\cdot\Delta t=\dfrac{B_2L\bar{v}\cdot\Delta t}{R}=\dfrac{B_2L^2}{2R}$ (2分)

可得 $v_1=0.01$ m/s (1分)

17. (1)$BL\omega_0r_1$ (2)$\dfrac{8\pi B^2L^2r_1^2\omega_0}{R}$ (3)$\dfrac{2\pi BLr_1}{IR}$

命题点 ▸电磁感应综合应用、辐射状磁场、线圈模型、相对运动

【解析】(1)ab 边所处磁场区域的磁感应强度大小为 B,则 $E=BLv$ (2分)

其中 $v=\omega_0r_1$ (1分)

解得 $E=BL\omega_0r_1$ (2分)

(2)分析可知单个线圈中产生的感应电动势为 $E'=2BL\omega_0r_1$ (1分)

线圈转动过程中电动势大小恒定,可得

$Q=\dfrac{E'^2}{R}T_1$ (1分)

$T_1=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$ (1分)

解得 $Q=\dfrac{8\pi B^2L^2r_1^2\omega_0}{R}$ (2分)

(3)四个线圈带动四个内转子转动,可选择其中一个线圈 $abcd$ 分析,设内转子转动的角速度为 ω,

线圈产生的电动势大小为 $E''=IR$ (1分)

且 $E''=2BL(\omega_0-\omega)r_1$ (1分)

线圈相对内转子转动 90°,线圈内电流改变一次方向,线圈相对内转子继续转动 90°,线圈内电流再改变一次方向,刚好经过一个电流的周期,则 $T=\dfrac{\pi}{\omega_0-\omega}$ (2分)

解得 $T=\dfrac{2\pi BLr_1}{IR}$ (2分)

18. (1)$\dfrac{B^2L^2v_0^2}{2R}$ (2)$\dfrac{mv_0}{BL}$ (3)$\dfrac{n}{2(n+1)}mv_0^2$

命题点 ▸单棒模型、电磁感应中的能量和动量综合问题

【解析】(1)第 1 根导体棒刚进入磁场时产生的感应电动势大小为 $E=BLv_0$ (1分)

回路中总电阻为 $R_{总}=R+R=2R$ (1分)

故回路中的电流大小 $I=\dfrac{E}{2R}=\dfrac{BLv_0}{2R}$ (1分)

导体棒所受安培力大小 $F=BIL=B\dfrac{BLv_0}{2R}L=\dfrac{B^2L^2v_0}{2R}$ (1分)

导体棒所受安培力的功率 $P=Fv_0=\dfrac{B^2L^2v_0^2}{2R}$ (1分)

(2)对第 2 根导体棒,由动量定理有

$-\sum BIL\Delta t=0-mv_0$ (1分)

$q=\sum I\Delta t$ (1分)

解得 $q=\dfrac{mv_0}{BL}$ (1分)

(3)第 1 根导体棒速度减为 0 时,由能量守恒定律有

$\dfrac{1}{2}mv_0^2=Q_{总1}$,

因为定值电阻与导体棒阻值相等且是串联关系,所以它们产生的热量相同,

故 $Q_{R1}=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\left(1-\dfrac{1}{2}\right)\times\dfrac{1}{2}mv_0^2$ (2分)

第 2 根导体棒速度减为 0 时,由能量守恒定律有

$\dfrac{1}{2}mv_0^2=Q_{总2}$,其中 $Q_{总2}=Q_{R2}+Q_{棒12}+Q_{棒22}$,

解得 $Q_{R2}=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{\frac{1}{2}R}{\frac{1}{2}R+R}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2\times3}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\left(\dfrac{1}{2}-\dfrac{1}{3}\right)\times\dfrac{1}{2}mv_0^2$ (2分)

同理,第 3 根导体棒速度减为 0 时,由能量守恒定律有

$\dfrac{1}{2}mv_0^2=Q_{总3}$,其中 $Q_{总3}=Q_{R3}+Q_{棒13}+Q_{棒23}+Q_{棒33}$,

解得 $Q_{R3}=\dfrac{1}{3}\times\dfrac{\frac{1}{3}R}{\frac{1}{3}R+R}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{3\times4}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\left(\dfrac{1}{3}-\dfrac{1}{4}\right)\times\dfrac{1}{2}mv_0^2$ (2分)

……

第 n 根导体棒速度减为 0 时,由能量守恒定律有

$\dfrac{1}{2}mv_0^2=Q_{总n}$,其中 $Q_{总n}=Q_{Rn}+Q_{棒1n}+Q_{棒2n}+Q_{棒3n}+\cdots+Q_{棒nn}$,

解得 $Q_{Rn}=\dfrac{1}{n}\times\dfrac{\frac{1}{n}R}{\frac{1}{n}R+R}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{n(n+1)}\times\dfrac{1}{2}mv_0^2=\left(\dfrac{1}{n}-\dfrac{1}{n+1}\right)\times\dfrac{1}{2}mv_0^2$ (2分)

所以 $Q_{R总}=Q_{R1}+Q_{R2}+Q_{R3}+\cdots+Q_{Rn}=\left(1-\dfrac{1}{2}+\dfrac{1}{2}-\dfrac{1}{3}+\dfrac{1}{3}-\dfrac{1}{4}+\cdots+\dfrac{1}{n}-\dfrac{1}{n+1}\right)\times\dfrac{1}{2}mv_0^2$,

解得 $Q_{R总}=\dfrac{n}{2(n+1)}mv_0^2$ (2分)

19. (1)500 A (2)25 m/s 是 40 V (3)能 分析见解析

命题点 ▸电磁感应、碰撞问题

【解析】(1)分离后当导体棒 a 的速度大小为 10 m/s 时,根据法拉第电磁感应定律有 $E=BLv$ (1分)

通过 a 的电流 $I_1=\dfrac{E}{R}$ (1分)

解得 $I_1=500$ A (1分)

(2)规定水平向右为正方向,a 从 MM' 运动至 b 位置过程中由安培力提供加速度,

则 $BIL=m_aa_1$,a、b 间初始距离 $x_1=\dfrac{1}{2}a_1t_1^2$,碰撞前 a 的速度为 $v_1=a_1t_1$,

解得 $a_1=250$ m/s^2,$t_1=0.1$ s,$v_1=25$ m/s (1分)

a 与 b 碰撞过程中系统动量守恒,有 $m_av_1=(m_a+m_b)v_2$,储存的

弹性势能为 $E_p=\frac{1}{2}m_a v_1^2-\frac{1}{2}(m_a+m_b)v_2^2$ （1分）

解得 $v_2=5\ \text{m/s}$，$E_p=500\ \text{J}$ （1分）

a、b 碰后一起运动至 NN' 过程中，$x_2=5\ \text{m}-1.25\ \text{m}=3.75\ \text{m}$，由安培力提供加速度，有 $BIL=(m_a+m_b)a_2$，位移为 $x_2=v_2t_2+\frac{1}{2}a_2t_2^2$，分离前速度为 $v_3=v_2+a_2t_2$，

解得 $a_2=50\ \text{m/s}^2$，$t_2=0.3\ \text{s}$，$v_3=20\ \text{m/s}$ （1分）

a、b 分离过程，由动量守恒定律有 $(m_a+m_b)v_3=m_av_4+m_bv_5$，

由能量守恒定律有 $E_p=\frac{1}{2}m_av_4^2+\frac{1}{2}m_bv_5^2-\frac{1}{2}(m_a+m_b)v_3^2$ （1分）

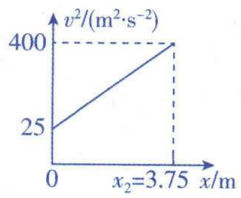
解得 $v_4=0$，$v_5=25\ \text{m/s}$ （1分）

在整个过程中安培力大小恒定，安培力做功大小为一定值，若 a、b 分离时 a 的速度为零，则此时 b 能获得最大速度，最大速度为 25 m/s （1分）

上述过程中通过导体棒 a 的电荷量 $q=I(t_1+t_2)=400\ \text{C}$，

电容器电压的减少量 $\Delta U=\frac{q}{C}$，解得 $\Delta U=40\ \text{V}$ （1分）

（3）规定水平向右为正方向，a、b 碰后共同速度为 $v_2=5\ \text{m/s}$，若无空气阻力，到达 NN' 的速度为 $v_3=20\ \text{m/s}$，其 v^2-x 图像如图所示，若考虑阻力 $f=kv^2$，则实际 v^2-x 图像应在图中所示图像的下方，可知克服阻力做的功为 $W<\frac{kv_2^2+kv_3^2}{2}\cdot x_2$ （1分）



由动能定理有 $Fx_2-W=\frac{1}{2}(m_a+m_b)(v_2'^2-v_2^2)$ （2分）

解得 $v_2'^2>396\ \text{m}^2/\text{s}^2>392.04\ \text{m}^2/\text{s}^2=v_3^2\cdot 0.99^2$ （1分）

可知 a、b 分离前的速度大小能达到（2）问中分离前速度的 99% （1分）

第 13 章　交变电流

第 1 节　交变电流的描述及其变化规律

刷基础

1. B 考查点▸交变电流的产生、$\Phi-t$ 图像

【解析】由 $\Phi-t$ 图像易知，$t=0.5\ \text{s}$ 时刻穿过该线圈的磁通量最大，A 错误，B 正确；由 $\Phi-t$ 图像易知，$t=0.5\ \text{s}$ 时刻穿过线圈的磁通量变化率为零，产生的感应电动势为零，线圈中的电流为零，C、D 错误.

关键点

2. C 考查点▸交变电流的产生、有效值

【解析】从图中位置开始计时，线圈的磁通量 Φ 与时间 t 的变化规律为 $\Phi=BL_1L_2\sin(\omega t)$（关键点：$t=0$ 时线圈中的磁通量为零，可代入数值进行验证），A 错误；线圈由图中位置绕转轴旋转 90° 的过程中平均电动势为 $\overline{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{BL_1L_2}{\frac{\pi}{2\omega}}=\frac{2BL_1L_2\omega}{\pi}$，B 错误；线圈的最大电动势为 $E_m=BL_1L_2\omega$，电动势有效值为 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=\frac{BL_1L_2\omega}{\sqrt{2}}$，线圈的热功率为 $P=\frac{E^2}{r}=\frac{(BL_1L_2\omega)^2}{2r}$，C 正确；线圈在图中位置时，根据右手定则可知，$bc$ 边电流方向由 $c\to b$，ad 边电流方向由 $a\to d$，则线圈中的电流方向为 $a\to d\to c\to b\to a$，D 错误.

3. A 考查点▸换向器、交变电流的图像问题

【解析】从图示位置顺时针转 60° 角的过程中，线圈的磁通量在减小，由楞次定律可知，感应电流方向由 b 通过 R 流向 a，即为负方向，这段时间为 $\Delta t_1=\frac{\pi}{3\omega}$，当转到线圈平面与磁场方向平行时，线圈的感应电流最大，继续转 30° 角的过程中，线圈的磁通量在增大，由楞次定律可知，感应电流方向由 b 通过 R 流向 a，即为负方向，这段时间为 $\Delta t_2=\frac{\pi}{6\omega}$，继续转 60° 角的过程中，线圈的磁通量在增大，线圈两个接头通过换向器改变了与 R 两端的连接，由楞次定律可知，感应电流方向由 a 通过 R 流向 b，即为正方向，这段时间为 $\Delta t_3=\frac{\pi}{3\omega}$，此时，线圈平面与磁场方向垂直，感应电流为 0，故选 A.

关键点拨　该题目中涉及了换向器，题中若无换向器，该回路产生的电流为正弦式交变电流，使用换向器后，每隔半个周期，电流会改变一次方向；从图示时刻开始，下次换向的时刻为四分之一周期时（左侧金属半圆环转到右侧时）.

4. BC 考查点▸交变电流的产生

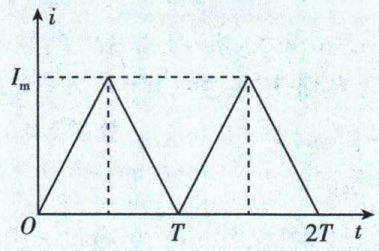
【解析】金属棒左侧没有接触薄铜片时，回路中没有感应电流，外力做功为零，接触薄铜片时，回路中有感应电流，外力做功不为零，所以转动过程中，外力功率不恒定，A 错误；金属棒左侧接触薄铜片时，回路中的感应电流为 $I=\frac{Bdr\omega}{R}$，绝缘筒转动一周克服安培力做功为 $W=BIdb=\frac{B^2d^2br\omega}{R}$，B 正确；根据法拉第电磁感应定律可得铜片上下边缘间的电势差大小为 $Bar\omega$，根据右手定则可知下边缘电势高，C 正确；金属棒左侧接触薄铜片过程中电阻 R 才有热功率，绝缘筒的角速度为 ω 时，电阻 R 的热功率为 $P=I^2R=\frac{r^2B^2d^2\omega^2}{R}$，若绝缘筒的角速度变成 2ω，则电阻 R 的热功率变为原来的 4 倍，D 错误.

5. D 考查点▸交变电流有效值的相关计算

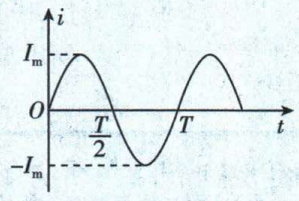
【解析】根据交流电的有效值的定义可知 $\frac{\left(\frac{E_1}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}\cdot\frac{T}{2}+\frac{\left(\frac{E_2}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}\cdot\frac{T}{2}=\frac{E^2}{R}\cdot T$，解得 $E=\frac{\sqrt{E_1^2+E_2^2}}{2}$，即交变电流电动势的有效值为 $\frac{\sqrt{E_1^2+E_2^2}}{2}$，故选 D.

技巧必背 几种常见交变电流的有效值

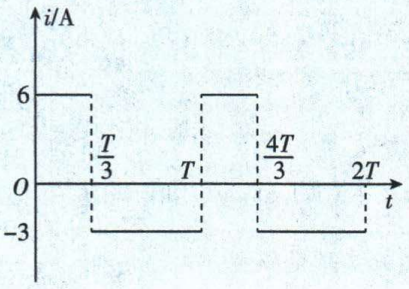
(1)锯齿形交变电流:$I=\frac{\sqrt{3}}{3}I_m$.



(2)正弦式交变电流:$I=\frac{\sqrt{2}}{2}I_m$.



(3)矩形波交变电流:利用有效值计算公式计算.



6. C 考查点 交变电流产生的特殊图像

【解析】由图乙可知,交流电的周期为 0.4 s,A 错误;线圈中电动势的峰值为 $E_m=NBLv_m=NB\cdot 2\pi r'v_m=2\sqrt{2}$ V,B 错误;速度是正弦变化,故线圈中电动势的有效值为 $E_{有}=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=2$ V,线圈中电流的有效值 $I_{有}=\frac{E_{有}}{R+r}=0.2$ A,C 正确;灯泡的功率为 $P=I_{有}^2R=0.36$ W,D 错误.

7. D 考查点 交变电流的频率、有效值、桥式整流器

【解析】由图甲电路可知,电流从整流电路上端流入时,经右上二极管、灯泡、左下二极管形成回路,电流从整流电路下端流入时,经右下二极管、灯泡、左上二极管形成回路,即每个周期内通过灯泡的电流方向始终不变(关键点:电感和电容在交变电流电路中虽不消耗能量,但会影响电流、电压的大小和相位),C 错误,D 正确;由 C、D 选项分析可知,经整流电路后,流经灯泡的电流方向不再改变,电流大小仍周期性变化(关键点),所以电压表示数即交流电源输出电压的有效值,为 $U=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=10$ V,A、B 错误.

8. AD 考查点 交流电的四值、交变电流的图像

【解析】图乙所示的直流电是通过正弦交流电转化而来,其有效值相同,则有 $\left(\frac{i_m}{\sqrt{2}}\right)^2RT=I^2RT$,解得 $I=\frac{45\sqrt{2}}{2}$ A,A 正确;由图甲可知电压有效值为 $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=220$ V,根据电功率的公式可知 $P=UI=220\times\frac{45\sqrt{2}}{2}$ W≈7 kW,B 错误;根据电流的定义式有 $q=\bar{I}t$ 且 $\bar{I}\neq I=\frac{45\sqrt{2}}{2}$ A(易错点:注意交变电流的四值的含义),则 $q\neq 0.45\sqrt{2}$ C,C 错误;充电时间 $t=\frac{E}{P}\approx\frac{84\text{ kW}\cdot\text{h}}{7\text{ kW}}=12$ h,D 正确.

方法总结 交变电流"四值"的理解与计算

物理量	表达式	适用情况及说明
瞬时值	$e=E_m\sin\omega t$ $u=U_m\sin\omega t$ $i=I_m\sin\omega t$	计算线圈某时刻的受力情况
最大值(峰值)	$E_m=NBS\omega$ $I_m=\frac{E_m}{R+r}$	讨论电容器的击穿电压
有效值	对正(余)弦式交流电有: $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$;$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$; $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$	(1)计算与电流的热效应有关的量(如电功、电功率、电热等); (2)电气设备"铭牌"上所标的一般是有效值; (3)保险丝的熔断电流为有效值; (4)电表的读数为有效值
平均值	$\bar{E}=BL\bar{v}$ $\bar{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\bar{I}=\frac{\bar{E}}{R+r}$	计算通过电路横截面的电荷量

9. C 考查点 交变电流的图像、二极管

【解析】输入电压表达式为 $u=311\sin 100\pi t$(V),经过变压器和二极管半波整流后,整个波形只剩下一半,A、B 错误;手机充电器工作电压有效值为 5 V,故有 $\left(\frac{U_m}{\sqrt{2}}\right)^2\cdot\frac{T}{2}=v_{有}^2\cdot T$,解得 $U_m=10$ V,C 正确,D 错误.

易错警示 由于二极管的单向导电性,通过二极管的电流或加在二极管两端的电压的波形会发生改变,计算有效值时要分别计算正半周和负半周(电流为零)在一个周期内产生的热量,再根据有效值的定义求解.

第 2 节 变压器与电能的输送

刷基础

1. D 考查点 理想变压器、电动机

【解析】原线圈电压的有效值为 $U_1=\frac{u_m}{\sqrt{2}}=220$ V,根据理想变压器电压与线圈匝数的关系 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 可知,副线圈两端的电压有效值为 $U_2=36$ V,电动机两端电压与副线圈两端的电压相等,则电动机消耗的电功率 $P_{电}=U_2I=18$ W,电动机输出的机械功率 $P_{机}=P_{电}-I^2R=17.5\text{ W}=mgv$,解得 $v=0.5$ m/s,故选 D.

2. A 考查点 理想变压器两端功率的计算

【解析】设 a、b 两端的电压为 U,当开关 S 闭合时,电阻 R 消耗的功率为 $P=\frac{(3U)^2}{R}$,断开开关 S,设电阻 R_0 中电流为 I,则 $U=IR_0+$

$I\left(\frac{1}{3}\right)^2R$，电阻 R 消耗的功率为 $\frac{1}{2}P=\left(\frac{1}{3}I\right)^2R$，联立三式解得 $R=9(\sqrt{2}+1)R_0$，故选 A.

3. AB 考查点 ▸远距离输电模型

【解析】由题意可知，总功率为 $P_{总}=\frac{P_{基站}}{1-10\%}=10\ \text{kW}$，线路损耗功率 $\Delta P=10\%P_{总}=1\ \text{kW}$，又 $\Delta P=I^2r$，解得输电线路中的电流有效值为 $I=5\ \text{A}$，A 正确，C 错误；高压变压器副线圈的电压有效值为 $U_2=\frac{P_{总}}{I}=2\ \text{kV}$，高压变压器原、副线圈的匝数比为 $n_1:n_2=U_1:U_2=50:1$，B 正确，D 错误.

4. C 考查点 ▸远距离输电在导线上损失功率的计算

【解析】对原线圈电路 $P_1=I_1U_1$，解得 $I_1=1.5\times10^3\ \text{A}$，故 A 错误；对用户端有 $P_4=U_4I_4$，所以 $I_4=\frac{44\ 000}{220}\ \text{A}=200\ \text{A}$，对输电回路有 $\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$，$\Delta P=I_3^2R$，$U_2=I_3R+U_3=I_3R+\frac{n_3}{n_4}U_4$，代入数据解得 $I_3=5\ \text{A}$，$R=40\ \Omega$，$U_2=9\ 000\ \text{V}$，所以 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{2}{45}$，故 B 错误，C 正确；输送给储能站的功率为 $P_{储}=P_1-\Delta P-P_4=555\ \text{kW}$，故 D 错误.

5. D 考查点 ▸特殊结构的变压器

【解析】左、右两个线圈的输出电压之比为 4∶2=2∶1，由欧姆定律可得电流之比也为 2∶1，A、C 错误；由于日字形理想变压器铁芯的上下左右结构均对称，则通过中间铁芯磁感线的条数是左右铁芯磁感线条数的两倍（关键点），结合变压器的原理可得 $\frac{U}{U_{左}}=\frac{4}{0.5\times4}=2:1$、$\frac{U}{U_{右}}=\frac{4}{0.5\times2}=4:1$，B 错误；左、右线圈两端的电压分别为 $\frac{U}{2}$、$\frac{U}{4}$，电流分别为 $I_{左}=\frac{U}{2R}$，$I_{右}=\frac{U}{4R}$，由能量守恒定律可得 $UI=I_{左}^2R+I_{右}^2R$，则有 $I=\frac{5U}{16R}$，比较可得 $I:I_{左}=5:8$，D 正确.

易错警示 对于“日”字形理想变压器，中间线圈产生的磁场分别流向左右两侧，通过左右两侧的线圈最终回到中间线圈，通过左（右）侧的磁通量变化量和中间的不一致，因此不能直接利用电压之比等于线圈匝数之比进行计算.

刷提分

1. C 突破点 ▸二极管、有效值的相关计算

【解析】副线圈电压有效值为 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=10\ \text{V}$，经过二极管后，交流电变成了半波，电压表测量的是该半波电压的有效值，根据有效值定义有 $\frac{U_2^2}{R}\cdot\frac{T}{2}+0=\frac{U_2'^2}{R}T$（易错点：电流表和电压表测得的都是有效值），解得 $U_2'=\frac{U_2}{\sqrt{2}}=5\sqrt{2}\ \text{V}\approx7.07\ \text{V}$，A 错误；由于 $U_2'<10\ \text{V}$，即电压有效值小于灯泡的额定电压，灯泡不能正常发光，B 错误；小灯泡的电阻 $R=\frac{U^2}{P}=20\ \Omega$，实际功率 $P'=\frac{U_2'^2}{R}=\frac{(5\sqrt{2})^2}{20}\ \text{W}=2.5\ \text{W}$，C 正确；变压器不能在电压恒定的直流电路中工作，D 错误.

2. B 突破点 ▸含有多个副线圈的变压器

【解析】a、b 两端输入的电压为 E_0，已知 S_1、S_2 均闭合时，电流表示数为仅闭合 S_1 时的 4 倍，表明 S_1、S_2 都闭合时电源变压器的输入功率 P_2 为仅闭合 S_1 时的输入功率 P_1 的 4 倍，因 S_1、S_2 均闭合时与仅闭合 S_1 时 R_1 两端的电压有效值不变，由 $P=\frac{U^2}{R}$ 可知，闭合 S_2 前后，R_1 消耗的功率 P_1' 不变，由理想变压器输入功率等于输出功率可知，当 S_1、S_2 均闭合时的输出功率 $P_2'=P_2=4P_1=4P_1'$，则此时 R_2 消耗的功率 $P'=P_2'-P_1'=3P_1'$，设自耦变压器原线圈的匝数和 c 与抽头 e 之间的匝数比为 $1:n$，自耦变压器原线圈的匝数和 c 与抽头 d 之间的匝数比为 $1:n'$，根据变压器变压比关系有 $\frac{E_0}{U_{R2}}=\frac{1}{n}$，$\frac{E_0}{U_{R1}}=\frac{1}{n'}$，则开关均闭合时，$R_2$ 和 R_1 两端的电压分别为 $U_{R2}=nE_0$，$U_{R1}=n'E_0$，故有 $\frac{U_{R2}^2}{R_2}=3\frac{U_{R1}^2}{R_1}$，联立并代入数据可得 $\frac{n}{n'}=\frac{3}{2}$，故选 B.

方法总结 含有多个副线圈的变压器

计算具有两个或两个以上副线圈的变压器问题时，需注意三个关系：

(1) 电压关系：$\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}=\frac{U_3}{n_3}=\cdots=\frac{U_n}{n_n}$；

(2) 功率关系：$P_1=P_2+P_3+P_4+\cdots+P_n$；

(3) 电流关系：$n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+n_4I_4+\cdots+n_nI_n$.

3. C 突破点 ▸远距离输电模型

【解析】根据输电线上消耗的功率 $\Delta P=I_{线}^2R_0$，可得 $I_{线}=8\ \text{A}$，A 错误；输电线上损失的电压 $\Delta U=I_{线}R_0=480\ \text{V}$，根据电压比与匝数比的关系可知 $\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$，可得降压变压器的输入电压有效值 $U_3=11\ 000\ \text{V}$，升压变压器的输出电压有效值 $U_2=U_3+\Delta U=11\ 480\ \text{V}$，根据电压比和匝数比的关系可知 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，可得发电机输出电压的有效值 $U_1=287\ \text{V}$，则最大值为 $U_{1m}=\sqrt{2}U_1=287\sqrt{2}\ \text{V}$（关键点：注意正弦式交变电流的有效值和最大值的关系），B 错误；根据公式 $\frac{I_{线}}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$，解得 $I_4=400\ \text{A}$，所以用户得到的功率 $P=U_4I_4=88\ \text{kW}$，C 正确；转子转动产生的电动势有效值 $E=\frac{\sqrt{2}}{2}NBS\omega$，转子角速度 ω 增加一倍，变压器、负载不变，则 E 变为原来的 2 倍，故通过 R_0 的电流变为原来的 2 倍，根据 $P=I^2R$，可知 R_0 上消耗的功率变为原来的 4 倍，大小为 15 360 W，D 错误.

4. D 突破点 ▸远距离输电模型、交变电流的产生

【解析】发电机线圈产生的感应电动势最大值为 $E_m=NBS\omega$，又 $\omega=2\pi n$，输出电压有效值为 $U_1=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$，联立，解得 $U_1=\sqrt{2}\pi nNBS$，A 错误；升压变压器电流有效值为 $I_1=\frac{P}{U_1}$，由 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，解得两变压器间输电线上的电流有效值为 $I_2=\frac{\sqrt{2}n_1P}{2n_2\pi nNBS}$，B 错误；输电线上损耗的功率为 $P_{损}=I_2^2R$，用户获得的功率为 $P_{用户}=P-P_{损}$，联立解得 $P_{用户}=P-\frac{1}{2}\left(\frac{n_1P}{\pi nn_2NBS}\right)^2R$，C 错误；若其他条件不变，只减小 $\frac{n_1}{n_2}$，则 U_2 增大，将降压变压器和用户端等效为一个纯电阻 R'，U_2

增大，则 R' 两端电压增大，即 U_3 增大，根据 $\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$ 可知，U_4 增大，D 正确.

专题 19　交流电路的动态分析

刷 难关

1. C　**突破点**▸变压器两端电路的动态分析

【解析】当用电器增加时，电路中的总电阻减小，所以变压器副线圈的电流 I_2 要变大，根据 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 可知，I_1 将变大，即电流表 A 示数变大，A 错误；由于原、副线圈的匝数不变，原线圈输入有效值恒定的正弦式交流电压，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 可知，变压器副线圈两端的电压 U_2 不变，即电压表 V_1 示数不变，B 错误；用电高峰期，住户使用的用电器增加时，副线圈电流变大，输电线电阻 R 两端的电压 U_R 变大，又因为 U_2 不变，根据 $U_{V2}=U_2-U_R$ 可知 V_2 示数减小，C 正确；由于变压器的输入功率和输出功率相等，副线圈所接的负载电阻减小，输出功率变大，所以原线圈的输入功率也变大，D 错误.

2. AD　**突破点**▸变压器两端电路的动态分析

【解析】$t=0$ 时刻，磁通量为零，电动势最大，A 正确；角速度变为 2 倍，由 $E_m=NBS\omega$ 知，电动势峰值变为原来的 2 倍，由 $P=\frac{\left(\frac{E_m}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_{总}}$ 可知，电路总功率变为原来的 4 倍，B 错误；电阻 R 变大，副线圈电压 U_2 不变，即 L_1 两端电压不变，因此 L_1 亮度不变，根据“串反并同”规律可知，L_4 两端电压变大，L_4 变亮，L_2 和 L_3 的电流减小，亮度变暗，C 错误，D 正确.

3. D　**突破点**▸变压器两端电路的动态分析、滑动变阻器的并联

【解析】根据变压器电压比等于匝数比可得 $\frac{U_2}{U_1}=\frac{n_2}{n_1}$，可知副线圈输出电压 U_2 保持不变，则灯泡 L 两端电压不变，通过灯泡 L 的电流不变，灯泡 L 亮度不变，A_2 示数不变，B、C 错误；滑动变阻器滑片在 a 端时，滑动变阻器并联后的阻值为 0，在 b 端时，滑动变阻器并联后的阻值也为 0，所以将滑动变阻器滑片从 a 端滑动到 b 端，滑动变阻器并联的阻值先增大后减小（**关键点：**需注意滑动变阻器的串、并联关系），则副线圈总电阻先增大后减小，根据欧姆定律可知副线圈电流 I_2 先减小后增大，根据变压器电流比等于匝数比的倒数可得 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，可知原线圈电流 I_1 先减小后增大，即 A_1 示数先减小后增大，根据 $P_入=U_1I_1$，可知原线圈输入功率先减小后增大，A 错误，D 正确.

4. B　**突破点**▸变压器两端电路的动态分析

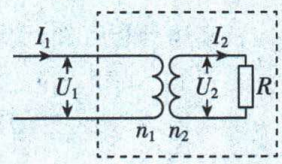
【解析】电流表测的是有效值，则 A_2 的示数为 $I_2=\frac{i_{2m}}{\sqrt{2}}=1$ A，根据 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 得原线圈电流，即 A_1 的示数为 $I_1=I_2\frac{n_2}{n_1}=0.2$ A，A 错误；滑动变阻器 R_1 滑片初始时处在最右端，则 R_2 两端的电压为副线圈电压，则 $U_2=I_2R_2=20$ V，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 得交流电输出电压的有效值 $U_1=U_2\frac{n_1}{n_2}=100$ V，B 正确；副线圈交流电的频率为 $f=\frac{1}{T}=50$ Hz，变压器不改变交流电的频率，则原线圈交流电的频率为 50 Hz，C 错误；若滑片向左滑，则负载电阻增大，根据 $I=\frac{U}{R}$ 可知，负载电流减小，根据 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 可知，原线圈电流减小，因此电流表 A_1、A_2 示数均变小（**关键点：**原副线圈电压、电流、功率的制约关系），D 错误.

5. D　**突破点**▸等效电阻法、变压器两端的动态分析

【解析】设六个定值电阻阻值均为 R，将副线圈电阻等效到原线圈，则有 $R_{等}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 4R$，理想变压器的输入功率 $P_1=U_1I_1=U_1\frac{U-U_1}{R}$，可知当 $U_1=\frac{U}{2}$ 时，输入功率最大，此时输出功率也最大，由于等效电阻和 R_1 串联且电压相等，则有 $R_{等}=R$，解得 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{1}{2}$，A 错误；S 闭合后，$R_{等}$ 与 R_2 并联再与 R_1 串联，则 $R_{等}$ 分担的电压即输入电压为 $U_1'=\frac{U}{3}$，副线圈输出电压 $U_2'=\frac{n_2}{n_1}U_1'=\frac{2}{3}U$，$R_4$ 两端电压为 $U_{R4}=\frac{1}{4}U_2'=\frac{U}{6}$，B 错误；S 闭合后，$R_2$ 两端电压与等效电阻的电压相等，即 $U_{R2}=U_1'=\frac{U}{3}$，C 错误；S 闭合后，R_1 两端的电压 $U_{R1}=\frac{2}{3}U$，R_1 的功率 $P_{R1}=\frac{U_{R1}^2}{R}=\frac{4U^2}{9R}$，$R_2$ 的功率 $P_{R2}=\frac{U_{R2}^2}{R}=\frac{U^2}{9R}$，所以 $\frac{P_{R1}}{P_{R2}}=4$，D 正确.

方法总结　等效电阻法

当理想变压器的副线圈接纯电阻元件时，可以把理想变压器（含副线圈中的元件）等效成一个电阻来处理，设原、副线圈回路的匝数分别为 n_1、n_2，原线圈输入电压为 U_1，电流为 I_1，副线圈输出电压为 U_2，电流为 I_2，副线圈负载电阻为 R，则等效电阻 $R_{等效}=\frac{U_1}{I_1}=\frac{\frac{n_1}{n_2}U_2}{\frac{n_2}{n_1}I_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\frac{U_2}{I_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R$.



6. D　**突破点**▸线圈动态变化分析、图像问题

【解析】设原线圈的匝数为 n_1，副线圈的匝数为 n_2，交流电源电压的有效值为 U_1，根据理想变压器电压比等于匝数比可知 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，解得副线圈电压的有效值 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$，当 Q 从均匀密绕的副线圈最下端开始，沿副线圈匀速上滑时，副线圈的匝数 n_2 均匀增大，由于 U_1 不变，故 U_2 均匀增大，根据欧姆定律 $I_2=\frac{U_2}{R}$，可知副线圈中电流的有效值 I_2 均匀增大，根据变压器原、副线圈电流与匝数关系可得 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，解得 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2$，由于 n_1 不变，n_2、I_2 都是均匀增大，故 I_1-t 不是正比关系，I_1-t^2 应是正比关系，A、B 错误；定值电阻的功率 $P=I_2^2R$，结合上述分析可知，I_2 均匀增大，故 $I_2^2-t^2$

成正比，即 P-t^2 成正比，C 错误，D 正确.

7. AD 突破点▸线圈动态变化分析

【解析】根据原、副线圈电压、电流与匝数的关系 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$、$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 可知，U_1 不变，则 U_2 不变，若闭合开关 S，则副线圈回路中总电阻减小，根据欧姆定律可知，副线圈回路中电流 I_2 增大，电阻 r 两端的电压变大，原线圈回路中电流 I_1 增大，则原线圈的输入功率变大，B、C 错误；由于电阻 r 两端的电压变大，则灯泡两端电压减小，所以灯泡 L_1 电流减小，亮度变暗，A 正确；将滑片 P 适当向下移动，则 n_1 减小，U_2 变大，副线圈回路中电流增大，则可使灯泡 L_1 再次正常发光，D 正确.

8. B 突破点▸自耦变压器、变压器的动态分析

【解析】根据题意，R 的滑片不动，滑片 P 位于线圈中点时，原、副线圈匝数比为 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{2}{1}$，根据理想变压器原、副线圈的电流与匝数比关系有 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{2}{1}$，可知电流表 A_1 与 A_2 示数之比为 1∶2，A 错误；R 的滑片不动，滑片 P 上移时，副线圈两端电压变大，副线圈回路的总电阻不变，则电流表 A_2 示数变大，灯泡变亮，总功率增大，输入电压不变，则电流表 A_1 示数变大，B 正确；滑片 P 不动，R 的滑片右移时，接入电路中的电阻变大，副线圈两端电压不变，电流表 A_2 示数变小，电流表 A_1 示数变小，灯泡变暗，灯泡消耗的电功率变小，C、D 错误.

9. C 突破点▸自耦变压器、变压器两端电路的动态分析

【解析】若仅将滑片 P_2 向右移动，副线圈电压 U_2 不变，由于滑动变阻器 R_2 接入电路阻值变大，根据欧姆定律可知，副线圈的电流 I_2 减小，电压表测量定值电阻 R_1 两端的电压，由 $U_V=I_2R_1$，可知，电压表的示数减小，A 错误；若仅将 P_1 由 M 滑动到 N，副线圈匝数 n_2 变大，原线圈电压 U_1 不变，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，可知副线圈电压 U_2 变大，结合欧姆定律 $I_2=\frac{U_2}{R_1+R_2}$，可知，副线圈的电流 I_2 变大，电流表的示数增大，B 错误；根据变压器的原理可知，原、副线圈的电流关系 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，解得 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2$，当仅改变 P_1 的位置时，若电流表示数增大，结合上述分析可知，副线圈匝数 n_2 变大，故原线圈中电流的有效值 I_1 增大，根据正弦交流电的峰值 $I_{1m}=\sqrt{2}I_1$，故原线圈上电流的峰值增大，C 正确；滑动变阻器 R_2 消耗的功率 $P_{R2}=I_2^2R_2=\left(\frac{U_2}{R_1+R_2}\right)^2R_2=\frac{U_2^2}{\frac{(R_1+R_2)^2}{R_2}}$，因滑动变阻器 R_2 与定值电阻 R_1 的阻值关系不确定，因此若仅将滑片移动，滑动变阻器 R_2 消耗的功率变化不能确定，D 错误.

关键点拨 对于自耦变压器，易混淆原线圈与不同抽头之间的匝数比和电压比的关系，导致无法建立正确的等式进行求解，解题过程中需时刻注意理想变压器输入功率和输出功率的相等关系，根据电流表示数变化得出功率变化关系.

第 3 节　电磁波与电磁振荡　传感器

刷基础

1. AC 考查点▸电磁波

【解析】我们周围的一切物体都在辐射电磁波，A 正确；不同频率的电磁波在真空中的传播速度相同，B 错误；电磁波的传播不需要介质，C 正确；红外线的频率比可见光的频率低，D 错误.

2. D 考查点▸振荡回路

【解析】$t=0$ 时刻电容器的上极板带正电，此时刻将开关 S 接 2，$0\sim\frac{T}{4}$ 的时间内电容器放电，$\frac{T}{4}$ 时刻放电结束，$\frac{T}{4}\sim\frac{T}{2}$ 开始反向充电，$\frac{T}{2}$ 充电结束，接着在 $\frac{T}{2}\sim\frac{3}{4}T$ 又开始放电，由题可知，LC 振荡电路的周期 $T=2\pi\sqrt{LC}$，$t=\frac{4\pi}{3}\sqrt{LC}=\frac{2T}{3}$，刚好在 $\frac{T}{2}\sim\frac{3}{4}T$ 时间内，电容器处于放电状态，A 错误；结合上述分析可知，$\frac{T}{2}\sim\frac{3T}{4}$ 电容器处于反向放电状态，故此时上极板带负电，B 错误；$0\sim\frac{T}{4}$ 的时间内电容器放电，电路中的电流沿顺时针方向，从右向左看线圈中的电流恰好沿逆时针方向，而 $\frac{T}{2}\sim\frac{3}{4}T$ 时间内，电容器恰好处于反向放电状态，电路中的电流沿逆时针方向，从右向左看线圈中的电流沿顺时针方向，C 错误；根据上述分析可知，$t=\frac{4\pi}{3}\sqrt{LC}=\frac{2}{3}T$ 时电容器处于反向放电状态，线圈电流在线圈内产生的磁场方向向左，线圈中的电流逐渐增大，则产生的磁场也在增强，通过金属小球的磁通量增大，根据楞次定律可知，金属小球有向右运动的趋势，可知金属小球受到的磁场力方向向右，D 正确.

3. B 考查点▸自动分拣装置

【解析】大苹果通过托盘秤时，R_2 两端的电压达到某一值，使控制电路中的电磁铁吸动分拣开关的衔铁，大苹果进入下面的通道，D 错误；为了选出质量更大的苹果，就要保持电磁铁的磁性不变，而因压力越大，传感器 R_1 阻值越小，此时回路中的电流就越大，而要保持电磁铁的磁性不变，只需要减小缠绕电磁铁线圈的匝数，A 错误；为了选出质量更大的苹果，就要使得 R_2 两端电压保持不变，因 R_1 减小，而其他条件不变的情况下，只能减小和传感器 R_1 相连接电路中电源 A 的电压，B 正确；为了选出质量更大的苹果，就要使得 R_2 两端电压保持不变，因压力越大，电阻 R_1 越小，此时回路中的电流就越大，R_2 的电压就会变得更大，则要想保持 R_2 的电压和原来一致，则只适当减小 R_2 的阻值即可，C 错误.

4. AD 考查点▸酒精浓度检测仪、闭合电路欧姆定律

【解析】由图乙知，测试者呼出的气体中酒精浓度越低，气敏电阻 R 的阻值越大，电路中电流越小，电流表的示数越小，故 A 正确. 电压表示数与电流表示数比值等于 R 的阻值，由图乙知，测试者呼出的气体中酒精浓度越低，气敏电阻 R 的阻值越大，所以电压表示数与电流表示数比值越大，故 B 错误. 由图乙知，呼出气体中酒精的浓度为 c_1 时 R 的阻值为 R_1，设电路中电流为 I_1；呼出气体中酒精的浓度为 c_2 时 R 的阻值为 R_2，设电路中电流为 I_2；因为气敏电阻的阻值与酒精浓度 c 成反比，则 $\frac{R_1}{R_2}=\frac{c_2}{c_1}=4$，根据闭合电路欧姆定律得 $I_1=\frac{E}{R_1+R_0+r}$，$I_2=\frac{E}{R_2+R_0+r}$，解得 $\frac{I_2}{I_1}=\frac{4R_2+R_0+r}{R_2+R_0+r}=\frac{4(R_2+R_0+r)-3(R_0+r)}{R_2+R_0+r}=4-\frac{3(R_0+r)}{R_2+R_0+r}<4$，C 错误，D 正确.

易错警示 分析传感器类型的题目尤其要注意对应的传感器是正反馈还是负反馈类型，明确物理量之间的变化关系，除此之外警惕比例陷阱，涉及倍数关系时（如浓度4倍），需结合电路结构验证实际电流变化是否为线性变化.

实验11 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系 利用传感器制作简单的自动控制装置

刷实验

1. (1) $\frac{n_3U_1}{U_3}$ $\frac{n_3U_2}{U_3}$ (2)大于

考查点 探究理想变压器原、副线圈两端电压与匝数的关系

【解析】(1)由理想变压器原、副线圈两端电压与匝数比关系有 $\frac{n_1}{n_3}=\frac{U_1}{U_3}$，$\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}$，解得 $n_1=\frac{n_3U_1}{U_3}$，$n_2=\frac{n_3U_2}{U_3}$.

(2)根据法拉第电磁感应定律，线圈中感应电动势大小与磁通量变化率成正比，因变压器铁芯存在漏磁的情况，副线圈磁通量变化率偏小，会导致变压器原、副线圈电压之比大于原、副线圈匝数之比.

2. (1)B 小于 (2)15.0 通道1

考查点 用压力传感器设计自动分拣装置

【解析】(1)由于 $R_N<\sqrt{R_A\cdot R_V}=\sqrt{5\times20\,000}\ \Omega=100\sqrt{10}\ \Omega$，所以电流表应采用外接法，且待测电阻阻值与滑动变阻器的总电阻相比较大，所以滑动变阻器应采用分压式接法，故选B. 根据电路的连接方式可知，由于电压表分流，导致电流的测量值偏大，故电阻的测量值小于真实值.

(2)质量为0.14 kg的物体对 R_N 的压力为1.4 N，由题图甲可知，此时 $R_N=30.0\ \Omega$，由闭合电路欧姆定律可得 $E=U+IR_N$，且 $R'=\frac{U}{I}$，联立可得 $R'=15.0\ \Omega$；由题图甲可知，压力变大，R_N 阻值变小，故电路中电流变大，R' 两端电压变大，大于2 V，故物体将进入通道1.

全章素养提升

刷情境

1. A **创新点** 无线充电

【解析】若不漏磁，根据发射线圈与接收线圈的电压比与匝数比相等，即 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，可计算出接收线圈的电压为 $U_2=10$ V，根据题意穿过接收线圈的磁通量小于发射线圈的磁通量，则接收线圈的电压小于10 V，A正确.

2. D **创新点** 风速报警器

【解析】由理想变压器的规律可知 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，解得 $U_1=0.4$ V，由正弦交变电流可知 $U_{1m}=\frac{2}{5}\sqrt{2}$ V，叶片转速最小时，线圈产生的感应电动势的最大值 $E_m=U_{1m}=\frac{2}{5}\sqrt{2}$ V，$E_m=BS\omega$，$\omega=2\pi n_{min}$，解得 $n_{min}=10\sqrt{2}$ r/s，D正确.

3. C **创新点** 微风摇摆发电装置

【解析】导体棒切割磁感线产生电动势的瞬时值为 $e=BLv_m\sin\omega t$，回路中电流的有效值为 $I=\frac{BLv_m}{\sqrt{2}(R+r)}$，一个周期内电阻 R 产生的焦耳热 $Q=I^2RT=I^2R\cdot\frac{2\pi}{\omega}=\frac{\pi B^2L^2v_m^2R}{(R+r)^2\omega}$，C正确.

4. A **创新点** 自行车车轮带动发电装置

【解析】设线圈角速度为 ω，则发电机产生的电动势有效值 $E=\frac{nBS\omega}{\sqrt{2}}$，有效电流 $I=\frac{E}{R+R_0}$，则功率 $P=I^2R$，联立解得 $\omega=\frac{R+R_0}{nBS}\sqrt{\frac{2P}{R}}$，故自行车的行驶速度 $v=\omega r=\frac{(R_0+R)r}{nBS}\sqrt{\frac{2P}{R}}$，A正确；根据交流电频率 $f'=\frac{\omega}{2\pi}$，联立以上解得 $f'=\frac{R+R_0}{2\pi nBS}\sqrt{\frac{2P}{R}}$，转动一周电流方向改变两次，故流经车灯的电流方向变化的频率为 $f=2f'=\frac{R+R_0}{\pi nBS}\sqrt{\frac{2P}{R}}$，B错误；由能量守恒可知，线圈转动一圈克服安培力做的功 $W=EIT$，又因为 $E=\frac{nBS\omega}{\sqrt{2}}$，$I=\sqrt{\frac{P}{R}}$，$T=\frac{2\pi}{\omega}$，联立解得 $W=\pi nBS\sqrt{\frac{2P}{R}}$，C错误；由能量守恒可知，骑车人做功的功率 $P_人=F_fv+I^2(R+R_0)$，联立以上解得 $P_人=\frac{F_f(R_0+R)r}{nBS}\sqrt{\frac{2P}{R}}+\frac{(R_0+R)P}{R}$，D错误.

刷真题

1. BD **命题点** 交变电流

【解析】$t=0$ 时刻，线圈处于中性面位置，磁极转过90°时，穿过线圈的磁通量为零，感应电动势最大，电流最大，A错误，B正确；磁极顺时针转过90°时，根据右手定则可判断，电流方向由 Q 指向 P，C错误，D正确.

2. D **命题点** 交变电流

【解析】由题图可知 $T=0.02$ s，该交流电的频率为 $f=\frac{1}{T}=50$ Hz，A错误；由图可知电阻两端电压的峰值为 $U_m=10\sqrt{2}$ V，通过电阻电流的峰值为 $I_m=\frac{U_m}{R}=\frac{\sqrt{2}}{5}$ A，B错误；通过电阻电流的有效值为 $I_{有}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0.2$ A，电阻在1秒内消耗的电能为 $Q=I_{有}^2Rt=2$ J，C错误；电阻两端电压表达式为 $u=U_m\sin\frac{2\pi}{T}t=10\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V，D正确.

3. B **命题点** 交流电有效值的计算

【解析】设 R_1、R_2 的阻值均为 R，根据题中所给信息，结合题图图像可得（**关键点**：图1中前 $\frac{T}{2}$ 是三角形脉冲，后 $\frac{T}{2}$ 是直线脉冲）$Q_1=\frac{\left(\frac{U_0}{\sqrt{3}}\right)^2}{R}\cdot\frac{T}{2}+\frac{U_0^2}{R}\cdot\frac{T}{2}=\frac{2U_0^2}{3R}T$，$Q_2=\frac{\left(\frac{U_0}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}T=\frac{U_0^2}{2R}T$，则 $\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{4}{3}$，B正确.

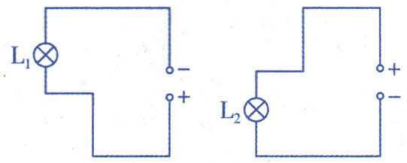
4. C **命题点** 交变电流的产生

【解析】由题图乙可得，磁场区域变化前线圈的感应电动势瞬时值表达式为 $e=E\sin\frac{2\pi}{T}t$，将 $e=\frac{\sqrt{3}}{2}E$ 代入可得 $t=\frac{T}{6}$，则 $d'=d\cos\frac{2\pi}{T}t=\frac{d}{2}$，C正确.

5. C **命题点** 交变电压的有效值、欧姆定律

【解析】设电源电动势最大值为 U_m，有效值设为 $U_{有}$，根据二极管

的单向导电性，则 $U_{有}\cdot t=\frac{U_m}{\sqrt{2}}\cdot\frac{t}{2}+0\times\frac{t}{2}$，可得 $U_{有}=\frac{U_m}{2\sqrt{2}}$，当电路中电流为顺时针



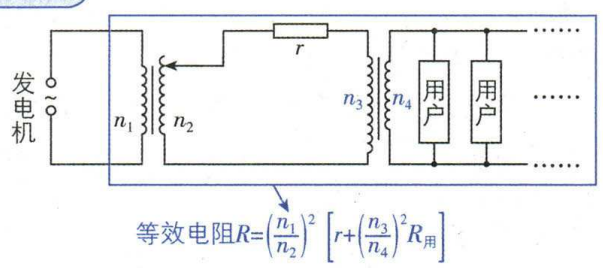
时，等效电路如图甲所示，灯泡 L_1 的电功率为 $P_1=\frac{U_{有}^2}{R_{L1}}$，当电路中电流为逆时针时，等效电路如图乙所示，灯泡 L_2 的电功率为 $P_2=\frac{U_{有}^2}{R_{L2}}$，故 $P_1:P_2=R_{L2}:R_{L1}=1:2$，C 正确.

6. D **命题点** ▸变压器的规律

【解析】由题意，开关 S 接 3 时，副线圈接入电路的匝数为 $n_3=n-\frac{n}{10}-\frac{n}{10}=\frac{4n}{5}$，此时有 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_3}$，开关 S 接 2 时，副线圈接入电路的匝数为 $n_2=n-\frac{n}{10}=\frac{9n}{10}$，此时有 $\frac{U_1}{U_2'}=\frac{n_1}{n_2}$，联立解得 $U_2'=\frac{9}{8}U_2$，则 $u_2'=\frac{9}{8}u_2=\frac{9}{8}U_m\sin\omega t$，D 正确.

7. AC **命题点** ▸远距离输电

题图剖析



【解析】如上图所示，R 为理想变压器和用户端的等效电阻，仅增加用户数，$R_{用}$ 减小，R 减小，由闭合电路欧姆定律得 $I_1=\frac{U_1}{R}$，则 I_1 变大，由 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 知 I_2 变大，由 $P=I_2^2r$ 知 r 消耗的功率增大，A 正确；由 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 知 U_2 不变，$U_3=U_2-I_2r$，则 U_3 减小，由 $\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$ 知 U_4 减小，即用户端电压减小，B 错误；仅适当增加 n_2，则等效电阻 R 减小，由闭合电路欧姆定律得 $I_1=\frac{U_1}{R}$，则 I_1 变大，I_2 变大，I_3 变大，则用户端电压 $U_{用}=I_3R_{用}$ 增大，C 正确；整个电路消耗的功率为 $P=U_1I_1$，I_1 变大，则 P 增大，D 错误.

8. B **命题点** ▸理想变压器

【解析】由题意可知变压器原、副线圈的总匝数之比为 1∶3，初始时滑动触头 P 位于副线圈正中间（**点拨：**P 的位置分割上下部分电压，同样遵循电压与匝数成正比的规律）.

选项	分析	结论
A	原线圈接入的电压 $u=12\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V，可知原线圈两端电压的有效值为 12 V，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，可知副线圈两端电压有效值为 36 V，电阻箱 R 分得一半的电压，为 18 V，若电流表的示数为 2.0 A，则 $R=\frac{U}{I}=9\ \Omega$，即电阻箱 R 的阻值应调为 9 Ω	×

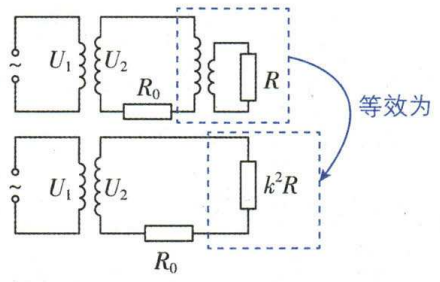
续表

选项	分析	结论
B	电阻箱 R 的阻值为 6 Ω，若电流表的示数为 2.0 A，则电阻箱 R 两端的电压应为 12 V，占副线圈两端电压有效值的 $\frac{1}{3}$，所以副线圈接入电路的匝数应调为其总匝数的 $\frac{1}{3}$	√
C、D	原线圈输入电压可变，电阻箱 R 的阻值为 6 Ω，若电流表的示数为 2.0 A，则电阻箱 R 两端的电压应为 12 V，滑动触头 P 位于副线圈的正中间，则副线圈两端电压有效值应为 24 V，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，可知原线圈两端电压有效值应为 8 V，输入端电压最大值应调为 $8\sqrt{2}$ V	×

9. AC **命题点** ▸理想变压器

【解析】滑片 P 在最左端时，图甲、乙中变压器输出电压均为灯泡的额定电压 6 V，因此 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{220}{6}=\frac{110}{3}$，A 正确；当 P 滑到 R 中点时，图甲中总电阻为 P 左端电阻与灯泡电阻串联，图乙中总电阻为灯泡电阻与 P 右端的电阻并联后再与 P 左端电阻串联，由于并联电阻小于灯泡电阻，则图甲中灯泡电压大于图乙中灯泡电压，则图甲中灯泡功率比图乙中灯泡功率大，B 错误；当 P 滑到 R 最左端时，图甲中只有灯泡，图乙中 R 与灯泡并联，总电阻更小，输出功率更大，图甲比图乙更节能，C 正确；图乙中的灯泡两端电压在 0 到 6 V 间变化，图甲中灯泡两端电压最高为 6 V，最低达不到 0，则图乙中灯泡两端可调电压范围大，D 错误.

10. A **命题点** ▸远距离输电



【解析】如图所示画出降压变压器的等效电路图，设降压变压器原、副线圈的匝数比为 $k:1(k>1)$，则输电线路上的电流 $I_2=\frac{U_2}{R_0+k^2R}$，转子在磁场中转动时产生的电动势 $e=NBS\omega\sin\omega t$，当转子角速度增加一倍时，则升压变压器原、副线圈两端电压都增加一倍，则输电线路上的电流变为 $I_2'=2I_2$，R_0 上消耗的功率 $P_1=I_2'^2R_0=4I_2^2R_0=4P$，A 正确；同理，当升压变压器的副线圈匝数增加一倍时，副线圈两端电压增加一倍，输电线上的电流也增加一倍，R_0 上消耗的功率 $P_2=P_1=4P$，C 错误；若 R_0 阻值增加一倍，输电线路上的电流 $I_2''=\frac{U_2}{2R_0+k^2R}$，$R_0$ 消耗的功率 $P_3=I_2''^2\cdot2R_0\neq4P$，B 错误；若在用户端并联一个完全相同的电阻 R，用户端电阻相当于减为原来的一半，输电线上的电流 $I_2'''=\frac{U_2}{R_0+\frac{k^2R}{2}}=\frac{2U_2}{2R_0+k^2R}$，$R_0$ 消耗的功率 $P_4=I_2'''^2R_0\neq6P$，D 错误.

电磁模块综合测试

刷 综合

1. D 考查点 楞次定律

【解析】磁体在铜管内下落过程中做加速运动，由于速度增加，阻碍作用增强（关键点：速度增加，磁通量变化率增大，感应电流增加），所以不是匀变速直线运动，A 错误；磁体下落过程中，对铜管的作用力向下，但铜管没有位移，所以安培力对铜管不做功，B 错误；磁体下落过程中铜管产生的焦耳热等于磁体机械能的减少量，C 错误；磁体下落过程中，磁场对铜管始终有竖直向下的安培力，由平衡条件和力的作用是相互性的可知，铜管对桌面的压力始终大于铜管所受的重力，D 正确.

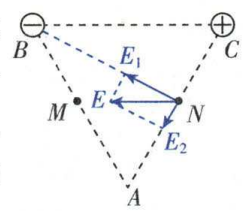
2. D 创新点 火灾警报系统

【解析】由题分析，可知要使报警器报警的临界温度升高，则需要减小报警器两端的电压，而 R_1 与报警器并联，所以需要减小 R_1 两端的电压. 只增大输入电压 U，变压器原、副线圈的匝数比不变，故副线圈两端的电压增大，副线圈的电流增大，所以 R_1 两端的电压增大，则报警器报警的临界温度降低，A 错误；只减少原线圈匝数 n_1，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 可知副线圈两端的电压增大，副线圈的电流增大，所以 R_1 两端的电压增大，则报警器报警的临界温度降低，B 错误；只增加副线圈匝数 n_2，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 可知副线圈两端的电压增大，副线圈的电流增大，所以 R_1 两端的电压增大，则报警器报警的临界温度降低，C 错误；只将 R_1 的滑片 P 适当向上移动，则 R_1 的有效阻值减小，此时副线圈的电压不变，故副线圈的电流增大，则 R_0 两端的电压增大，所以 R_1 两端的电压减小，则报警器的电压变小，报警器报警的临界温度升高，D 正确.

3. B 考查点 电阻定律、安培力表达式

【解析】根据电阻定律 $R=\frac{\rho l}{S}$，其中 $S=\frac{\pi d^2}{4}$，$l=\frac{V}{S}$，联立解得 $R=\frac{16\rho V}{\pi^2 d^4}$，可知图乙中，拉长该段导线使直径减小，导线电阻随之增大，A 正确；图丙中，导线两端的电压 $U=IR=\frac{16\rho VI}{\pi^2 d^4}$，电流不变时，拉长该段导线使直径减半，导线两端电压变为原来的 16 倍（关键点：注意电阻丝长度变化的同时横截面积也会发生变化），B 错误；图丙中该段导线的发热功率 $P=I^2R=\frac{16\rho VI^2}{\pi^2 d^4}$，流过导线的电流不变，改变导线直径，该段导线发热功率与直径的四次方成反比，C 正确；图乙中，由闭合电路欧姆定律得 $I=\frac{E}{R+r}$，导线受到的安培力 $F=BIl$，联立解得 $F=\frac{BEV}{\frac{\rho V}{S}+rS}$，可知通过改变导线直径可改变导线所受的安培力，由数学知识可知当且仅当 $\frac{\rho V}{S}=rS$ 时，$\frac{\rho V}{S}+rS$ 最小，此时 $S=\sqrt{\frac{\rho V}{r}}$，最小值为 $2rS=2r\cdot\sqrt{\frac{\rho V}{r}}=2\sqrt{\rho Vr}$，故最大安培力为 $F_m=\frac{1}{2}BE\sqrt{\frac{V}{\rho r}}$，D 正确.

4. D 考查点 电场强度的叠加法则



【解析】根据矢量的合成法则，在 A 点放入某个电荷 q 后，N 点电场强度的方向恰好平行于 BC，则 A、C 两处点电荷在 N 点的合场强 E_2 应从 N 指向 A，如图所示，设正三角形的边长为 L，根据点电荷形成的电场，可得 $E_1=\frac{kQ}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}L\right)^2}=\frac{4kQ}{3L^2}$，由几何知识可得 $E_2=E_1\tan 30°=\frac{4\sqrt{3}kQ}{9L^2}$，又因为 C 处的点电荷在 N 点的电场强度大小为 $E_C=\frac{kQ}{\left(\frac{1}{2}L\right)^2}=\frac{4kQ}{L^2}>E_2$，所以 A 点处的点电荷为正电荷，根据矢量的合成，可知 A 点的点电荷在 N 点的场强 $\frac{kq}{\left(\frac{1}{2}L\right)^2}=E_C-E_2$，联立解得 $q=\frac{9-\sqrt{3}}{9}Q$，A、B 错误；由于 A 点的点电荷为正电荷，根据矢量的合成法则可知，M 点的电场强度不可能平行于 BC，C 错误；负电荷从 M 到 N 的过程中，电场力做正功，电势能减小，故负电荷在 M 点的电势能大于在 N 点的电势能，D 正确.

5. C 考查点 φ-x 图像的物理意义

【解析】φ-x 图像的斜率大小表示电场强度大小（关键点），由图可知原点图像的切线斜率为零，故原点的电场强度为零，不是最大，A 错误；若电子在 x_1 位置释放，电子在 x_1 处的动能为零，由图可知，电子在 x_1 和 x_4 两个位置的电势相等，则电子在两处的电势能也相等，根据总能量守恒可知，电子在 x_4 的动能也为零，即电子运动到 x_4 位置时，速度才会减为零，故电子可以通过 x_3 点，且电子先加速运动，而后减速运动，在 x_1 和 x_4 间来回往复运动，B 错误；电子带负电荷，开始时由电势低处向电势高处运动，又因为电子沿 x 轴运动过程中的总能量恒为零，则开始运动时动能为零，电势能也为零，则粒子的活动区间是 $[x_2,x_3]$，C 正确；电子开始时由电势低处向电势高处运动，若电子在 $x=0$ 处释放，电子将保持静止，D 错误.

6. D 考查点 电场中的功能关系、电势

【解析】x_1、x_2 两处电场强度之比为 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{k\frac{Q}{x_1^2}}{k\frac{Q}{x_2^2}}=\frac{x_2^2}{x_1^2}$，故 A 错误；由图可知，点电荷 b 由 x_2 运动到 x_1 的过程中，动能减小，电势能增大，但由于点电荷 b 的电性未知，所以不能确定电势的变化，故 B 错误；根据能量守恒定律可得 $E_{k0}=E_{p1}-E_{p2}=\frac{kQq}{x_1}-\frac{kQq}{x_2}$，所以 $Q=\frac{E_{k0}x_1x_2}{kq(x_2-x_1)}$，故 C 错误；若仅将 a 的电荷量变为 $2Q$，点电荷 b 速度减为 0 时，有 $E_{k0}=E_p-E_{p2}=\frac{2kQq}{x}-\frac{2kQq}{x_2}$，解得 $x=\frac{2x_1x_2}{x_1+x_2}$，故 D 正确.

7. A 考查点▸单杆模型、动量定理、电磁缓冲装置

【解析】设平行金属导轨间距为 L，金属杆在 AA_1-CC_1 区域向右运动的过程中切割磁感线有 $E=BLv$，$I=\frac{E}{2R}$，金属杆在 AA_1-CC_1 区域运动的过程中，Δt 时间内，根据动量定理有 $-BIL\Delta t=m\Delta v$，则 $-\frac{B^2L^2v}{2R}\Delta t=m\Delta v$，由于 $2d=\sum v\Delta t$，则上面方程左右两边累计求和，可得 $-\frac{B^2L^2 2d}{2R}=-mv_0$，设金属杆经过 BB_1 的速度为 v_1，同理对金属杆在 BB_1-CC_1 区域运动的过程中根据动量定理，同理可得 $-\frac{B^2L^2d}{2R}=-mv_1$，综上有 $v_1=\frac{v_0}{2}$，则金属杆经过 BB_1 的速度大小等于 $\frac{v_0}{2}$，A 正确；在整个过程中，根据能量守恒有 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2$，则在整个过程中，定值电阻 R 产生的热量为 $Q_R=\frac{1}{4}mv_0^2$（关键点：注意金属杆接入电路部分的电阻也会产生热量），B 错误；金属杆经过 AA_1-BB_1 与 BB_1-CC_1 区域，金属杆所受安培力的冲量为 $-\sum BIL\Delta t=-\sum\frac{B^2L^2}{2R}v\Delta t=\frac{B^2L^2x}{2R}$，因金属杆经过 AA_1-BB_1 与 BB_1-CC_1 区域滑行距离均为 d，所以金属杆所受安培力的冲量相同，C 错误；根据 A 选项可得，金属杆以初速度 v_0 在磁场中运动有 $-\frac{B^2L^2 2d}{2R}=-mv_0$，可见若将金属杆的初速度变为原来的 2 倍，则金属杆在磁场中运动的最大距离等于原来的 2 倍，D 错误。

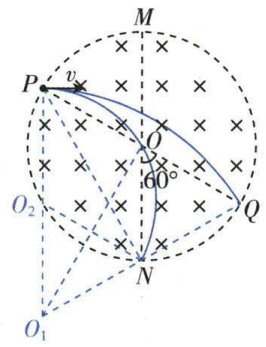
技巧必背 在匀强恒定磁场中，安培力 F 对恒长为 L 的导体棒的冲量与棒的平动位移 x 成正比，考虑导轨与导体棒之间的摩擦力时同样成立。

8. BC 考查点▸电场的力、能性质

【解析】粉尘吸附电子之后，带负电会向带正电的金属管壁聚集，A 错误；沿着电场线方向电势逐渐降低，知 a 点的电势大于 b 点的电势，粉尘在吸附电子后，根据 $E_p=q\varphi$ 可知，粉尘在 a 点的电势能小于在 b 点的电势能，B 正确；由图乙可知，$\varphi_a-\varphi_b<\varphi_b-\varphi_c$，得 $\varphi_b>\frac{\varphi_a+\varphi_c}{2}$（关键点：该电场不是匀强电场，电场线越密集的地方电场强度越大），C 正确；由于该电场为非匀强电场，故粉尘吸附电子后在运动过程中加速度大小改变，D 错误。

9. BD 考查点▸带电粒子在圆形边界磁场中运动

【解析】两粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹如图所示，设磁场圆的半径为 R，粒子甲的轨迹半径为 r_1，粒子乙的轨迹半径为 r_2，根据几何关系可得 $r_1=2R$，$r_2=R$，根据洛伦兹力提供向心力有 $qvB=m\frac{v^2}{r}=ma$，所以 $v=\frac{qBr}{m}$，$a=\frac{qvB}{m}$，所以粒子甲速度大，加速度大，B 正确，C 错误；粒子甲运动轨迹的圆心角等于 60°，粒子乙运动轨迹的圆心角等于 120°，根据 $t=\frac{\theta}{2\pi}T$，$T=\frac{2\pi m}{qB}$ 可知，粒子甲运动的时间较短，A 错误；由以上分析可知，粒子甲运动速度是粒子乙运动速度的 2 倍，而粒子甲的运动时间是粒子乙运动时间的一半，根据 $l=vt$ 可知，两粒子的运动路程相等，D 正确。



技巧必背 当粒子运动方向与磁场方向垂直时，沿圆形磁场半径方向射入的带电粒子，必沿径向射出，即粒子出射速度的反向延长线必过磁场圆的圆心。

10. BD 考查点▸双杆模型、$i-t$ 图像

【解析】a 棒刚进入磁场时，产生的电动势为 $E_0=BLv_0$，电流为 $i_0=\frac{E_0}{2R}$，设 b 棒刚要进入磁场之前，a 棒的速度大小为 v_2，则此时产生的电动势为 $E_2=BLv_2$，由图乙可得，此时电流为 $\frac{i_0}{3}=\frac{E_2}{2R}$，解得 $v_2=\frac{v_0}{3}$，b 棒刚进入磁场时，由图乙可知，电流反向，说明 $v_1>v_2$，此时回路中的电动势为 $E_1=BL(v_1-v_2)$，由图乙可得，此时电流为 $\frac{2i_0}{3}=\frac{E_1}{2R}$，解得 $v_1=v_0$，A 错误；b 棒即将进入磁场时，a 棒在磁场中根据动量定理 $-B\bar{I}Lt=mv_2-mv_0$，其中 $\bar{I}=\frac{\bar{E}}{2R}$，$\bar{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{BLx_a}{t}$，解得 $x_a=\frac{4mRv_0}{3B^2L^2}$，B 正确；$b$ 棒进入磁场后，当两棒的速度相同后达到稳定时，设相同的速度大小为 v，则根据动量守恒 $mv_2+2mv_1=(m+2m)v$，解得 $v=\frac{7v_0}{9}$，此过程对 a 棒根据动量定理 $B\bar{I}'Lt'=mv-mv_2$，其中 $\bar{I}'=\frac{\bar{E}'}{2R}$，$\bar{E}'=\frac{\Delta\Phi'}{\Delta t'}=\frac{BL\cdot\Delta x}{t'}$，解得 b 棒进入磁场后，比 a 棒多走的位移为 $\Delta x=\frac{8mRv_0}{9B^2L^2}$，两棒最终的间隔距离为 $d=x_a-\Delta x=\frac{4mRv_0}{9B^2L^2}$，C 错误，D 正确。

11. (1) 50　36.0　(2) 25　(3) 36.5　2.00

考查点▸测量电源的电动势和内阻的实验步骤和数据处理

【解析】(1) 用多用电表的表笔直接与电芯的正负极连接进行测量，应选择 50 V 的量程。最小刻度为 1 V，则测量结果读数为 36.0 V。

(2) 需要串联的定值电阻 $R_0=\frac{U-U_1}{U_1}R_V=\frac{40-15}{15}\times 15\ \text{k}\Omega=25\ \text{k}\Omega$。

(3) 由电路可知 $U_{端}=U+\frac{U}{R_V}R_0=\frac{8U}{3}$，忽略通过电压表的电流，则 $E=U_{端}+\frac{U_{端}}{R}r$，可得 $\frac{1}{U}=\frac{8}{3E}+\frac{8r}{3E}\cdot\frac{1}{R}$，由图像可知 $\frac{8}{3E}=0.073$，$\frac{8r}{3E}=\frac{0.073}{0.5}=0.146$，解得 $E\approx 36.5\ \text{V}$，$r\approx 2.00\ \Omega$。

12. (1)90° (2)乙 8.0×10^2 250 (3)减小

考查点▸用光敏电阻设计自动调光装置

【解析】(1)根据光的偏振原理可知,当偏振片 M、N 透振方向夹角为 90°时,透光性最差.

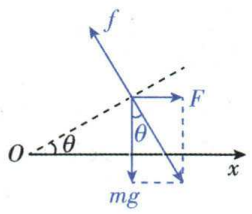
(2)①机械调零后,选择开关拨至"×100"挡,红黑表笔短接,然后调节欧姆调零旋钮,即乙部件,直到指针停在表盘右端 0 刻度处. ②由图可知光敏电阻的阻值为 $8\times100\ \Omega=8.0\times10^2\ \Omega$. ④由表格数据可知,控制室内照度在 1 370 Lux 时电阻为 500 Ω,根据串联电路电压与电阻的比例关系可知$\frac{U}{E-U}=\frac{R}{R_1}$,解得 $R_1=250\ \Omega$.

(3)若要提高室内照度上限,则光敏电阻阻值变小,需要减小电阻箱的阻值.

13. (1)3 N/C 10 m/s (2)2 s

突破点▸带电粒子在叠加场中的直线运动、带电粒子在电场中的抛体运动

【解析】(1)设小球所受电场力为 F,洛伦兹力为 f,对小球进行受力分析如图所示,由题意可得小球做匀速直线运动,所以小球处于平衡状态,对小球受力分析可得 $F=Eq$,$f=qv_0B$,



由平衡条件可得 $F=mg\tan\theta$,$f=\frac{mg}{\cos\theta}$,

联立解得 $E=3\ \text{N/C}$,$v_0=10\ \text{m/s}$.

(2)突然撤去磁场后,小球做匀变速曲线运动,水平方向做匀加速直线运动,竖直方向做竖直上抛运动. 小球从 P 点到 x 轴的过程中,竖直分位移 $y=L\sin\theta$,方向向下,小球在 P 点时的竖直分速度 $v_y=v_0\sin\theta$,方向向上,

规定竖直向下为正方向,则有 $y=-v_yt+\frac{1}{2}gt^2$,

解得小球运动时间为 $t=2\ \text{s}$.

14. (1)$\frac{\sqrt{3}mv_0^2}{2qL}$ (2)$\frac{\pi m}{6qB}$ (3)$\frac{(5n+3)mv_0}{6qB_0}(n=0,1,2,\cdots)$

突破点▸带电粒子在交变磁场中的运动

【解析】(1)粒子在电场中做类平抛运动,有 $qE=ma$,

水平方向,有 $2L=v_0t$,

竖直方向,有$\sqrt{3}L=\frac{1}{2}at^2$,

联立解得 $E=\frac{\sqrt{3}mv_0^2}{2qL}$.

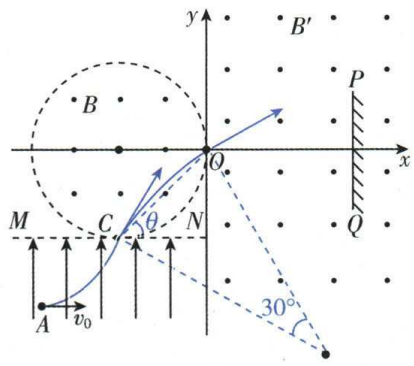
(2)粒子从 A 到 C 过程,由动能定理,有 $qE\cdot\sqrt{3}L=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,

解得粒子在 C 点的速度 $v=2v_0$,

粒子在 C 点时,速度 v 与 x 轴正方向的夹角 θ 满足 $\cos\theta=\frac{v_0}{v}$,

故 $\theta=60°$,

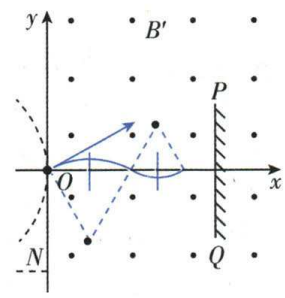
粒子从 C 点运动到 O 点,如图所示,根据几何关系可知粒子在圆形区域磁场内运动的圆弧轨迹所对应圆心角为 30°,



粒子做圆周运动,有 $T=\frac{2\pi R}{v}$,$qvB=m\frac{v^2}{R}$,

联立解得粒子在圆形区域磁场内运动的时间 $t=\frac{30°}{360°}T=\frac{\pi m}{6qB}$.

(3)粒子到达 O 点时速度大小为 v,与 x 轴正方向夹角 30°,在第一、四象限内,磁感应强度为 $2B_0$ 和 $3B_0$ 时粒子做圆周运动的半径为 R_1 和 R_2,周期为 T_1 和 T_2,则 $qv\cdot2B_0=m\frac{v^2}{R_1}$,$qv3B_0=m\frac{v^2}{R_2}$,$T_1=\frac{2\pi R_1}{v}$,$T_2=\frac{2\pi R_2}{v}$,



联立解得 $R_1=\frac{mv_0}{qB_0}$,$R_2=\frac{2mv_0}{3qB_0}$,$T_1=\frac{\pi m}{qB_0}$,$T_2=\frac{2\pi m}{3qB_0}$,

通过计算和对比 $B'-t$ 图像可以发现,粒子运动轨迹是圆心角为 60°、半径 R_1 和 R_2 的圆弧交替变化的周期性运动,如图所示,由几何关系可知,若要粒子能够垂直击中挡板(**关键点**:根据粒子运动的对称性,垂直击中发生于轨迹的最低点或最高点),则

$x_0=\frac{R_1}{2}+n\cdot\frac{R_1+R_2}{2}(n=0,1,2,\cdots)$,

联立解得 $x_0=\frac{(5n+3)mv_0}{6qB_0}(n=0,1,2,\cdots)$.

15. (1)1∶1 (2)$x>\frac{2mR\sqrt{2gh}}{B^2L^2}$ (3)$\frac{5}{8}mgh$

考查点▸双杆模型

【解析】(1)当 c 棒进入磁场时产生感应电动势,a、b 棒并联,两端的电压 U 总相等,则有 $I_a=\frac{U}{R}$,$I_b=\frac{U}{2R}$,又 $F_a=I_aLB$,$F_b=I_bLB$,根据牛顿第二定律可得 $F_a=2ma_1$,$F_b=ma_2$,

联立可得 a 棒和 b 棒的加速度大小之比为$\frac{a_1}{a_2}=1\colon1$.

(2)对 c 棒:由动能定理得 $mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 c 棒刚进入磁场的速度大小为 $v_0=\sqrt{2gh}$,

由(1)可知,a 棒、b 棒总是相对静止的,由于 c 棒受到的安培力

与 a、b 棒受到的安培力的合力为 0，所以 a 棒、b 棒、c 棒构成的系统动量守恒，设三棒速度相等时的速度为 v_1，以向右为正方向，则根据动量守恒有 $mv_0=(m+m+2m)v_1$，解得 $v_1=\frac{1}{4}\sqrt{2gh}$，

对 c 棒，由动量定理得 $-BL\bar{I}t=mv_1-mv_0$，

又 $q=\bar{I}t=\frac{\bar{E}}{R_{总}}t=\frac{\frac{\Delta\Phi}{t}}{R_{总}}t=\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}=\frac{BL\Delta x}{R_{总}}$，其中 $R_{总}=2R+\frac{2R\cdot R}{2R+R}=\frac{8R}{3}$，

联立解得 $\Delta x=\frac{2mR\sqrt{2gh}}{B^2L^2}$，则要 c 棒与 b 棒不发生碰撞，b 棒与磁场左边界的距离应满足 $x>\frac{2mR\sqrt{2gh}}{B^2L^2}$.

(3) 因为 c 棒进入磁场时与 b 棒之间的距离 $x_0=\frac{mR\sqrt{2gh}}{B^2L^2}<\frac{2mR\sqrt{2gh}}{B^2L^2}$，

所以 c 棒与 b 棒将发生碰撞并粘在一起. 全过程三棒减少的机械能中，一部分转化为三棒生成的焦耳热 Q_1，另一部分 Q_2 在 c 棒与 b 棒发生完全非弹性碰撞中损失掉. 则有 $E_{损}=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+m+2m)v_1^2=\frac{3}{4}mgh$，

c 棒与 b 棒碰撞前瞬间，设 b 棒、a 棒的速度大小均为 v_2，c 棒的速度大小为 v_3，以向右为正方向，根据动量守恒定律得 $mv_0=mv_3+(m+2m)v_2$，

对 c 棒，由(2)得 $-\frac{B^2L^2x_0}{R_{总}}=mv_3-mv_0$，

联立解得 $v_2=\frac{1}{8}v_0$，$v_3=\frac{5}{8}v_0$，

c 棒与 b 棒碰撞过程，由动量守恒定律可得 $mv_2+mv_3=(m+m)v_4$，

解得 $v_4=\frac{3}{8}v_0$，

碰撞瞬间损失的机械能为 $Q_2=\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}mv_3^2-\frac{1}{2}\times2mv_4^2=\frac{1}{8}mgh$，

则 a、b、c 三棒在全过程中产生的焦耳热为 $Q_1=E_{损}-Q_2=\frac{5}{8}mgh$.

第 14 章　热　学

第 1 节　分子动理论

刷基础

1. C 考查点▸布朗运动

【解析】在空气中观察到尘埃的运动受到气流和重力的影响，不是布朗运动，A 错误；悬浮在水中花粉微粒的无规则运动是布朗运动，而不是花粉微粒内的分子运动为布朗运动，B 错误；在显微镜下观察到煤油中小粒灰尘的运动是布朗运动，C 正确；悬浮在液体中的微粒越大，液体分子撞击微粒的不平衡性越不明显，布朗运动越不明显，D 错误.

2. C 考查点▸平均摩尔质量、计算物质所含分子个数

【解析】大气压强由大气的重力产生，即 $mg=p_0S$，而 $S=4\pi R^2$，地球大气层空气分子总数为 $N=\frac{m}{M}N_A$，联立解得 $N=\frac{4\pi R^2p_0N_A}{Mg}$，故 A、B 错误；大气体积为 $V=4\pi R^2h$，则空气分子之间的平均距离为 $d=\sqrt[3]{\frac{V}{N}}=\sqrt[3]{\frac{Mgh}{N_Ap_0}}$，故 C 正确，D 错误.

3. C 考查点▸分子间力和分子势能变化曲线

【解析】取无穷远处分子势能 $E_p=0$，在 $r=r_0$ 时，分子势能最小，但不为零，此时分子力为零，所以题图乙图线为分子势能与分子间距离的关系图线，A 错误；当 $r>r_0$ 时，分子间作用力表现为引力，随距离增大，分子间作用力做负功，B 错误，C 正确；当 $r=r_0$ 时，分子间作用力为 0，随着分子间距离从接近于零开始增大到无穷远，分子间作用力先减小后增大再减小，D 错误.

4. C 考查点▸气体内能

【解析】气球内气体温度升高，内能增加，A 错误；温度升高，分子的平均动能增大，但不是每个分子的动能均增大，B 错误；气球内气体压强增大，气球内气体分子对气球壁单位面积的平均撞击力增大，C 正确；箱内气体及气球内气体从加热器中吸收的热量等于总内能增加量和气球弹性势能增加量的总和，D 错误.

5. BC 考查点▸布朗运动、浸润和不浸润、分子速率分布图像、表面张力

【解析】每隔一段时间把观察到的炭粒的位置记录下来，然后用直线把这些位置依次连接成折线，所以布朗运动图像反映每隔一段时间固体微粒的位置，而不是运动轨迹，A 错误；管内的液面低于管外液面，液体不浸润管壁，即水与该材料属于不浸润，B 正确；由题图丙可知气体在①状态下速率大的分子占比较大，即气体在①状态下温度较高，气体在①状态下的分子平均动能大于②状态下的分子平均动能，C 正确；水有表面张力，水黾停在水面上时，水面对水黾的支持力等于其重力，D 错误.

易错警示 本题目易误认为布朗运动中折线图为布朗运动轨迹而出错，应注意微粒的布朗运动同样是永不停息的无规则运动.

第 2 节　固体　液体

刷基础

1. C 考查点▸晶体和非晶体

【解析】晶体有确定的熔点，石英是单晶体，有确定的熔点，A、B 错误；组成单晶体的微粒，按照一定的规律排列，具有空间上的周期性，C 正确；由题意知，石英晶体具有各向异性的压电效应，但其导热性不一定具有各向异性，D 错误.

2. B 考查点▸晶体和非晶体、各向异性

【解析】单晶体和多晶体均有固定的熔点，A 错误；晶体熔化过程中温度不变，分子平均动能不变，B 正确；晶体熔化吸收热量，内能增加，由于分子平均动能不变，所以分子平均势能必增加，C 错

误;单晶体在某些物理性质上是各向异性的,但其光学性质不一定是各向异性,D 错误.

3. B 考查点▸液体的表面张力

【解析】产生"露似真珠"现象的主要原因是液体的表面张力,B 正确.

4. B 考查点▸晶体、浸润和不浸润、热力学第一定律

【解析】题图甲为方解石的双折射现象,光学性质表现为各向异性,说明方解石是晶体,A 错误;由题图乙中的毛细现象可知,左细管材料与水是浸润的,右细管材料与水是不浸润的,用右细管的材料制作防水衣效果更好,B 正确;题图丙为 α 粒子散射实验现象,实验现象中只有极少量的粒子发生较大角度的偏转,所以运动轨迹为 J 的粒子所占的比例是很小的,C 错误;题图丁的绝热容器中,抽掉隔板,气体向真空自由膨胀并不对外做功,根据热力学第一定律可知,气体的内能不变,所以容器内气体的温度不变,D 错误.

5. BCD 考查点▸表面张力

【解析】由 $F=\sigma l$,得 $\sigma=\dfrac{F}{l}$,其中 F 的单位是 N,即 kg·m/s^2,l 的单位是 m,代入上式,得到表面张力系数 σ 的单位是 kg·s^{-2},A 错误;肥皂水上下两个表面都存在表面张力,故有 $F_0=2\sigma L$,得到肥皂水的表面张力系数为 $\sigma=\dfrac{F_0}{2L}$,B 正确;由于肥皂泡表面存在表面张力,肥皂泡呈球形,为了维持球形的形状,肥皂泡内部气体压强大于外部大气压强,C 正确;右侧半球膜受到膜内、外气体的压力和膜边缘的表面张力,如图,



根据受力平衡可知 $F_{内}=F_{外}+F$,因肥皂泡的内外表面都存在表面张力,故肥皂泡内外气体对右侧半球膜的压力差为 $F_{内}-F_{外}=F=2\sigma\cdot 2\pi R=2\cdot\dfrac{F_0}{2L}\cdot 2\pi R=\dfrac{2\pi RF_0}{L}$,D 正确.

易错警示 本题属于信息给予题,正确提取题干所给予的信息是解题关键. 本题的易错点在于未注意题干描述的上下表面均存在作用力.

第 3 节 气体实验定律 理想气体状态方程

刷提分

1. A 突破点▸汽缸活塞模型

【解析】对汽缸内密封的气体,根据玻意耳定律有 $p_1V_1=p_2V_2$,气体的体积减小,压强增大,A 正确,B 错误;由于弹簧始终处于伸长状态,所以弹簧的伸长量减小,弹性势能减小,C 错误;外界对气体做正功,$W>0$,质量一定的理想气体内能由温度决定,温度始终不变,气体的内能不变,$\Delta U=0$,根据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 可知,气体放出热量,D 错误.

2. D 突破点▸p-V 图像、理想气体状态方程

【解析】$a\to b$ 过程中 pV 乘积增加,可知温度升高,不是等温过程,A 错误;$a\to b$ 过程中体积变大,气体对外做功,$W<0$,温度升高,内能增加,则 $\Delta U>0$,由热力学第一定律可知,$Q>0$,即气体吸热,B 错误;$a\to c$ 过程中状态 b 的 pV 乘积最大,可知状态 b 的温度最高,C 错误;$a\to c$ 过程中气体体积变大,则外界对气体做负功,D 正确.

技巧必背 p-V 图像中横、纵坐标乘积的变化代表温度的变化. 若该过程是等温变化,则 p 和 V 成反比例函数关系.

3. AC 考查点▸玻意耳定律、盖-吕萨克定律

【解析】当篮球内气体压强 p_0 不变,根据盖-吕萨克定律有 $\dfrac{0.9V_0}{(27+273)\ \mathrm{K}}=\dfrac{V_0}{(t+273)\ \mathrm{K}}$,解得 $t\approx 60\ ℃$,故 A 正确,B 错误;温度不变时,设充入外界气体体积为 ΔV,根据玻意耳定律 $p_0\times 0.9V_0+p_0\Delta V=2p_0V_0$,解得 $\Delta V=1.1V_0$,故 C 正确,D 错误.

4. AC 考查点▸气体等压变化、盖-吕萨克定律

【解析】分析可知热气球在加热时,球内压强一直等于大气压(关键点:热气球内的气体和大气连通),随着温度的升高,有部分球内原来的气体会排出,以开始时热气球内的所有气体为研究对象,气体发生等压变化,则 $\dfrac{V_0}{T_0}=\dfrac{V}{T}$,又 $\dfrac{\rho}{\rho_0}=\dfrac{V_0}{V}$,则 $\rho=\dfrac{T_0}{T}\rho_0$,A 正确,B 错误;从开始加热至气球刚要升空过程,排出气体质量为 $\Delta m=\rho(V-V_0)=\dfrac{T-T_0}{T}\rho_0V_0$,C 正确,D 错误.

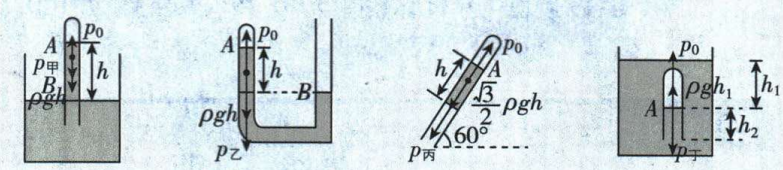
5. B 考查点▸气体等容变化、查理定律

【解析】根据题意可知,在平原地区时,轮胎内部压强为 $p_1=3.6p_0$,温度 $T_1=315\ \mathrm{K}$,设在高原地区轮胎内部压强为 p_2,温度 $T_2=280\ \mathrm{K}$,轮胎内气体做等容变化,根据 $\dfrac{p_1}{T_1}=\dfrac{p_2}{T_2}$,解得 $p_2=3.2p_0$,该高原地区的大气压强 $p=3.2p_0-2.5p_0=0.7p_0$,B 正确.

6. BC 突破点▸液柱模型、超重、失重

【解析】假设两部分气体做等容变化,则根据 $\dfrac{p_0}{T}=\dfrac{p_1}{T+\Delta T}$,可得压强变化 $\Delta p=|p_1-p_0|=\left|\dfrac{\Delta T}{T}\right|p_0$,则 $\Delta p_{左}=\left|\dfrac{\Delta T}{T}\right|p_{左}$、$\Delta p_{右}=\left|\dfrac{\Delta T}{T}\right|p_{右}$,而其中 $p_{左}=p_{右}+\rho gh$,若同时升高相同的温度,则左侧气体压强增加得多,所以左侧水银面上升,右侧水银面下降,左右水银面高度差变小,A 错误;同理,若同时降低相同的温度,则左侧气体压强减少得多,所以左侧水银面下降,右侧水银面上升,左右水银面高度差变大,C 正确;玻璃管竖直减速下落,水银柱处于超重状态,有向上的加速度,则有 $(p_{左}-p_{右}-\rho gh)S=ma$,假设左右水银面高度差不变,则可知左侧压强增大,右侧压强减小,由 $p_0V_0=pV$,可知左侧气体体积减小,右侧气体体积增大,则左右水银面高度差变大,B 正确;玻璃管竖直加速下落,水银柱处于失重状态,有向下的加速度,则有 $(p_{右}+\rho gh-p_{左})S=ma$,假设左右水银面高度差不变,则可知左侧压强减小,右侧压强增大,由 $p_0V_0=pV$,可知左侧气体体积增大,右侧气体体积减小,则左右水银面高度差变小,D 错误.

方法总结 液柱类封闭气体压强的计算



7. (1)2.1×10^5 Pa　(2)2.3×10^5 Pa

考查点 ▸气体等温变化、等容变化

【解析】(1)初始状态 $p_0=6.3\times10^4$ Pa，$V_0=10\ \text{m}^3$，舱内体积 $V_1=SL=3\ \text{m}^3$，

由玻意耳定律 $p_0V_0=p_1V_1$，

解得舱内气压 $p_1=2.1\times10^5$ Pa.

(2)关闭阀门，开启加热装置(舱内体积不变)，使舱内气体温度达到 27 ℃，

则 $T_1=T_0=270\ \text{K}$，$T_2=300\ \text{K}$，

由查理定律 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$，

解得 $p_2\approx2.3\times10^5$ Pa.

8. (1)$\frac{mg}{S}$　(2)$\frac{20CT_0+5mgd}{16}$

考查点 ▸理想气体状态方程、热力学第一定律、汽缸活塞模型

【解析】(1)初始时，活塞受力平衡，有 $mg=p_1S$，

解得 $p_1=\frac{mg}{S}$.

(2)活塞缓慢向上移动了 $\frac{d}{4}$，对活塞受力分析有 $\frac{2mg}{d}\cdot\frac{d}{4}+mg=p_2S$，

解得 $p_2=\frac{3mg}{2S}$，

根据理想气体状态方程有 $\frac{p_1\cdot\frac{dS}{2}}{T_0}=\frac{p_2\cdot\frac{3dS}{4}}{T}$，

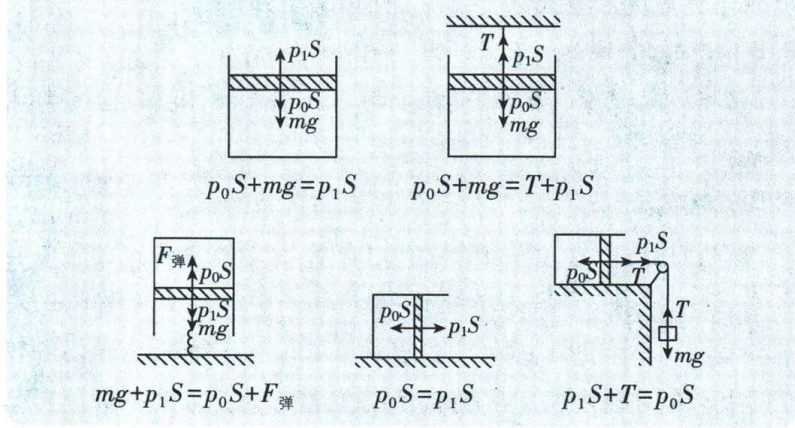
解得 $T=\frac{9}{4}T_0$，

根据热力学第一定律有 $\Delta U=W+Q$，

可得 $C\left(\frac{9T_0}{4}-T_0\right)=-\frac{1}{2}\left(\frac{3mg}{2}+mg\right)\frac{d}{4}+Q$，

解得 $Q=\frac{20CT_0+5mgd}{16}$.

方法总结 汽缸类封闭气体压强的计算



第 4 节　热力学定律和能源的可持续发展

刷基础

1. C **考查点** ▸热力学第一定律的应用

【解析】根据题意可知，脚踩下时，由于气垫表面材料导热良好，则气体温度不变，内能不变，气体分子平均动能不变，外界对气体做功，由热力学第一定律可知，气体放热，A、B 错误；同理可知，踩下后抬起脚时，气体温度不变，内能不变，气体分子平均动能不变，气体对外界做功，气体从外界吸收热量且吸收的热量等于对外做功的数值，C 正确，D 错误.

2. ABC **考查点** ▸理想气体状态方程、热力学第二定律

【解析】阀门 K 打开后，气体自Ⅰ向Ⅱ的真空中的扩散是不可逆的，遵循热力学第二定律，A 正确；气体自Ⅰ向Ⅱ的真空中扩散时不做功，总内能不变，温度不变，体积变为原来的 2 倍，由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$，可知 t_2 时刻Ⅰ中气体的压强是 t_1 时刻气体压强的 $\frac{1}{2}$，B 正确；$t_2\sim t_3$ 时间内Ⅲ中气体通过活塞对Ⅰ、Ⅱ中的气体做功，Ⅲ中气体的内能减小，Ⅰ、Ⅱ中气体的内能增加，温度升高，C 正确，D 错误.

3. AD **考查点** ▸热力学第一定律、理想气体状态方程

【解析】由压强关系可知 $p_1=\rho gh+p_0=3.5\times10^5$ Pa，故 A 正确；气泡上升过程中，气泡的温度逐渐升高，气泡内气体的分子平均动能增大，但不是每个气体分子的平均速度都增大，故 B 错误；由题意可知气泡内气体的内能增大，同时对外做功，由热力学第一定律有 $\Delta U=W+Q$，所以气体从湖水中吸收的热量大于气体对湖水做的功，故 C 错误；气泡上升到湖面时压强 $p_2=p_0=1.0\times10^5$ Pa，温度由 $T_1=(273+7)\ \text{K}=280\ \text{K}$ 升高到 $T_2=(273+27)\ \text{K}=300\ \text{K}$，由理想气体状态方程有 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$，解得 $V_2=\frac{15}{4}\ \text{cm}^3=3.75\ \text{cm}^3$，故 D 正确.

4. D **考查点** ▸能源与可持续发展

【解析】能源在利用的过程中，能量在数量上虽未减少，但在可利用的品质上降低了，可知，即使自然界的能量是守恒的，仍然会有能源危机，A 错误；能量耗散说明自然界便于人类利用的能量减少，但总能量仍然是守恒的，B 错误；实现可持续发展，一方面

要大力提倡节能，而不是多使用能源，另一方面要发展可再生能源以及天然气、核能等对生态环境的污染程度低的清洁能源，推动形成人与自然和谐发展的生态文明，C 错误；水能是可再生能源，水电站是利用水能的重要形式，D 正确.

5. A 考查点▸p-V 图像、热力学第一定律

【解析】在 $A\to B$ 过程中，气体发生等容变化，根据查理定律得 $\frac{p_A}{T_A}=\frac{p_B}{T_B}$，解得 $T_B=800\ \mathrm{K}$，A 正确；在 $A\to B$ 过程中，气体的体积不变，所以气体对外不做功，B 错误；在 $B\to C$ 过程中，气体的压强不变，体积减小，外界对气体做功为 $W_1=p_B(V_B-V_C)=4\times10^5\times(5-2)\times10^{-3}\ \mathrm{J}=1\ 200\ \mathrm{J}$，C 错误；在 $A\to B\to C\to A$ 一个循环过程中，内能不变，则 $\Delta U=0$；ABC 围成的面积表示一个循环过程中外界对气体做的功，为 $W=\frac{1}{2}\times(5-2)\times10^{-3}\times(4-1)\times10^5\ \mathrm{J}=450\ \mathrm{J}$，根据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$，可知，气体从外界吸收的热量 $Q=\Delta U-W=-450\ \mathrm{J}$，即气体向外界释放热量 450 J，D 错误.

易错警示 本题易错点在于混淆气体对外做的功和外界对气体做的功，气体对外做功还是外界对气体做功，需要看 p-V 图像所反映过程是气体体积增大还是减小.

专题 20　气体实验定律与热力学定律的综合应用

刷难关

1. D 考查点▸气体等压变化、等容变化、热力学第一定律

【解析】根据 $\frac{pV}{T}=C$，变形可得 $V=\frac{C}{p}T$，可知状态 a 到状态 b 是等压变化，即 $p_a=p_b$，由题图可知，状态 b 到状态 c 是等容变化，则有 $\frac{p_b}{2T_0}=\frac{p_c}{4T_0}$，解得 $p_c=2p_b=2p_a$，A 错误，D 正确；由题图可知，状态 a 到状态 b，体积增大，气体对外做功，状态 b 到状态 c，体积不变，气体对外不做功，B 错误；状态 a 到状态 b 过程，温度升高，故气体内能增大，同时气体对外做功，则气体吸收的热量大于其内能的增加量，C 错误.

2. BC 突破点▸理想气体状态方程、热力学第一定律

【解析】根据理想气体状态方程得 $\frac{3p_2V_1}{T_1}=\frac{4p_2V_1}{T_2}$，可得 $T_1<T_2$，说明从状态 1 变化到状态 2，气体内能增加，分子平均动能增加，气体对外做功，内能增加，说明气体吸热，A 错误；分子平均动能增加，分子撞击器壁的力增大，由于气体压强减小，可得器壁单位面积上在单位时间内受分子撞击的次数减少，B 正确；若气体由状态 2 再变化到状态 1 时外界对气体做的功与题图所示变化过程气体对外做的功相等，则根据热力学第一定律可知，气体放出的热量与题图所示变化过程吸收的热量大小也相等，C 正确；气体由状态 2 变化到状态 1，变化的过程不确定，所以气体从状态 2 变化到状态 1 的过程外界对气体做的功与图示变化过程气体对外做的功不一定相等，D 错误.

3. D 突破点▸气体实验定律的图像分析

【解析】设活塞面积为 S，初始时大气压强为 p_0，对活塞受力分析，有 $mg+p_0S=p_AS$，解得气体压强 $p_A=p_0+\frac{mg}{S}$，在活塞与卡口接触前，活塞受力不变，气体做等压变化，当活塞与卡口接触后，气体体积不变，继续加热气体，温度升高，由理想气体状态方程可知，压强增大，故整个过程气体先等压膨胀，再等容升压，题图甲气体一直等压膨胀，一定错误；题图乙气体先等压膨胀，再等容升压，正确；题图丙气体先等压压缩，再等容升压，一定错误；题图丁气体先等压膨胀，再等容升压，正确. 故选 D.

4. BD 突破点▸p-V 图像

【解析】由题图可知 $A\to B$ 是等压膨胀过程，气体温度升高，$B\to C$ 是等容降压过程，气体温度降低，A、B、C 三个状态中，气体在状态 B 的温度最高，分子平均动能最大，A 错误；从 D 到 A 的过程是等温变化，因此 $p_AV_A=p_DV_D=p_0V_0$，由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$，可知气体在状态 C 的温度是在状态 A 温度的 4 倍，而内能与热力学温度成正比，所以气体在状态 C 的内能是在状态 A 内能的 4 倍，B 正确；循环过程的 p-V 图线围成图形的面积表示气体对外界做的功，所以在 $A\to B\to C\to D\to A$ 整个过程中，气体对外界做功不为 0，C 错误；$B\to C$ 是等容降压过程，气体温度降低，气体分子的平均动能减小，气体分子的平均速率降低，容器壁单位时间单位面积内受到气体分子撞击的次数减少，D 正确.

5. (1)吸收热量为 W　(2)$\frac{1}{15}p_0$　(3)$-3\ ^\circ\mathrm{C}$

突破点▸气体实验定律与热力学第一定律综合应用

【解析】(1)理想气体的内能只与温度有关，因为忽略环境温度变化，故封闭气体内能不变，即内能变化量 $\Delta U=0$，

根据热力学第一定律可得 $\Delta U=Q-W$，

解得 $Q=W>0$，

故包装袋内密封空气吸收的热量为 W；

(2)在海拔 4 000 m 处，结合题意知大气压强 $p=p_0-\frac{4\ 000}{10\ 000}p_0=0.6p_0$，

由题意知此时体积为 $V=1.5V_0$，

根据玻意耳定律可得 $p_0V_0=(p+\Delta p)V$，

解得 $\Delta p=\frac{1}{15}p_0$；

(3)设低海拔地区与高海拔地区的温度分别为 T_0 和 T，根据理想气体状态方程可得 $\frac{p_0V_0}{T_0}=\frac{pV}{T}$，

解得 $T=270\ \mathrm{K}$，

因为 $T=(t+273)\ \mathrm{K}$，联立解得 $t=-3\ ^\circ\mathrm{C}$.

6. (1)2 kg　(2)①306 K 或 33 ℃　②吸热　170.4 J

突破点▸玻意耳定律、热力学第一定律

【解析】(1)汽缸从水平到竖直，气体做等温变化，由玻意耳定律得 $p_0L_1S=\left(p_0+\frac{mg}{S}\right)L_2S$，

代入数据可得 $m=2\ \mathrm{kg}$.

(2)①活塞回到原先位置的过程中气体压强不变，由盖-吕萨克

定律得$\frac{L_2S}{T_2}=\frac{L_1S}{T_3}$,

其中$T_2=(27+273)\ \mathrm{K}=300\ \mathrm{K}$,

代入数据可得$T_3=306\ \mathrm{K}$或$t_3=33\ ℃$;

②活塞回到原先位置的过程中气体对外做功$W=p\Delta V=\left(p_0+\frac{mg}{S}\right)(L_2-L_1)S=-20.4\ \mathrm{J}$,

气体的内能变化$\Delta U=a\Delta T=25\times(306-300)\ \mathrm{J}=150\ \mathrm{J}$,

由热力学第一定律得$\Delta U=W+Q$,

代入数据得$Q=170.4\ \mathrm{J}$,

即气体吸热 170.4 J.

7. (1)$5SL$　(2)$1.5pSL$

突破点▸气体实验定律和热力学第一定律的综合应用、气压传动

【解析】(1)右侧缸内气体始终与外界大气相通,则右侧缸内气体压强始终为p,

C关闭前活塞对左侧立柱恰无作用力时,左侧缸内气体体积为SL,压强满足$p_{左}S=pS+2pS$,

活塞恰运动到右侧立柱时左侧缸内气体体积为$2SL$,压强满足$p'_{左}S=pS+2pS+kL$,

设充入气体在压强p时的体积为V,则对左侧缸内气体和充入气体整体有$p_{左}SL+pV=2p'_{左}SL$,

解得$V=5SL$.

(2)活塞从右侧立柱缓慢移动到左侧立柱过程,活塞对气体的作用力从$4pS$随位移线性减为$3pS$,则活塞对左侧缸内气体做的功为$W_1=\frac{3+4}{2}pSL$,

从C处阀门排出气体在大气压强下的体积为V,对外界做的功为$W_2=5pSL$,

则该过程左侧缸内气体从外界吸收的热量$Q=W_2-W_1=1.5pSL$.

专题 21　变质量问题

刷难关

1. C　**突破点**▸充气问题

【解析】设应打n次,则有$p_1=1\ \mathrm{atm}$,$V_1=50\ \mathrm{mL}\times n+2\ \mathrm{L}=(0.05n+2)\ \mathrm{L}$,$p_2=2.5\ \mathrm{atm}$,$V_2=2\ \mathrm{L}$,根据玻意耳定律得$p_1V_1=p_2V_2$,解得$n=60$次.

2. A　**突破点**▸充气问题

【解析】由玻意耳定律可知$p_0(V_1+V_0)=pV_2$,可得吸入气体的体积为$V_0=\frac{pV_2-p_0V_1}{p_0}$,故选 A.

3. (1)漏气　$\frac{1}{39}$　(2)9.6 L

突破点▸应用玻意耳定律和查理定律解决实际问题

【解析】(1)若轮胎没有漏气,设轮胎内气体在冬季的压强为p'_2,

由查理定律可得$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p'_2}{T_2}$,

解得$p'_2=2.34\times10^5\ \mathrm{Pa}$,

因为$p'_2>p_2$,所以有漏气,

假设轮胎内气体在温度为T_2、压强为p_2状态下,漏出气体的体积为ΔV,由理想气体状态方程可得$\frac{p_1V}{T_1}=\frac{p_2(V+\Delta V)}{T_2}$,

漏出气体的质量Δm与轮胎内原有气体质量m的比值$\frac{\Delta m}{m}=\frac{\Delta V}{V+\Delta V}$,

解得$\frac{\Delta m}{m}=\frac{1}{39}$.

(2)设充进轮胎的气体的体积为V_1,由玻意耳定律有$p_2V+p_0V_1=p_3V$,

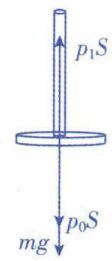
解得$V_1=9.6\ \mathrm{L}$.

4. (1)30 cm　(2)$3\times10^{-4}\ \mathrm{m}^3$

突破点▸汽缸活塞模型、玻意耳定律

【解析】(1)当活塞静止时,设下部分气柱长度为h,如图所示,

对活塞和活塞杆进行受力分析可得$p_1S=p_0S+mg$,



解得$p_1=p_1+\frac{mg}{S}=2\times10^5\ \mathrm{Pa}$,

对下部分气体应用玻意耳定律可得$p_0LS=p_1hS$,

解得$h=\frac{L}{2}=30\ \mathrm{cm}$.

(2)对下部分气体,根据玻意耳定律可得$p_0V+p_1\frac{L}{2}S=p_1SL$,

解得$V=3\times10^{-4}\ \mathrm{m}^3$.

5. D　**突破点**▸玻意耳定律、抽气问题

【解析】第一次抽气相当于气体的体积由V变为$V+\Delta V$,且$\frac{\Delta V}{V}=\frac{1}{10}$,温度不变,根据玻意耳定律得$p_0V=p_1(V+\Delta V)$,解得$p_1=\frac{10}{11}p_0$,同理可得,第二次抽气后有$p_1V=p_2(V+\Delta V)$,解得$p_2=\frac{100}{121}p_0$,故选 D.

关键点拨　抽气问题:将每次抽气过程中抽出的气体和剩余气体作为研究对象,可把抽气过程中的气体质量变化的问题转化为定质量问题.

6. (1)$\frac{p_0V_A}{V_A+V_B}$　(2)$\left[1-\left(\frac{V_A}{V_A+V_B}\right)^n\right]p_0S$

突破点▸应用玻意耳定律解决实际问题

【解析】(1)第一次抽气后,设A中压强为p_1,根据玻意耳定律有$p_0V_A=p_1V$,

压强为p_1的气体体积$V=V_A+V_B$,

解得$p_1=\frac{p_0V_A}{V_A+V_B}$.

(2)第二次抽气后有$p_1V_A=p_2V$,

解得$p_2=\frac{p_1V_A}{V_A+V_B}=\left(\frac{V_A}{V_A+V_B}\right)^2p_0$,

以此类推……

则当n次抽气后容器内的气体压强$p_n=\left(\frac{V_A}{V_A+V_B}\right)^np_0$,

开始进行第$n+1$次抽气时,以活塞为研究对象,受力分析,有$F+p_nS=p_0S$,

解得$F=(p_0-p_n)S=\left[1-\left(\frac{V_A}{V_A+V_B}\right)^n\right]p_0S$.

7. (1)54　(2)$\frac{22}{3}$ atm　44∶45

突破点▸分装问题

【解析】(1)根据玻意耳定律有$p_0V_0=p_m(V_0+nV)$，

代入数据解得$n=54$.

(2)对大氧气瓶内的氧气，根据查理定律有$\frac{p}{T}=\frac{p_0}{T_0}$，

其中$T=300\ \mathrm{K}$、$T_0=280\ \mathrm{K}$，

解得$p=7.5\ \mathrm{atm}$，

根据玻意耳定律有$pV_0=p_m(V_0+\Delta V+2V)$、$p_1V_0=p_m(V_0+\Delta V)$，

解得$p_1=\frac{22}{3}\ \mathrm{atm}$、$\Delta V=87\ \mathrm{L}$，

充气后大氧气瓶内剩余氧气质量与原来氧气质量之比

$k=\frac{V_0+\Delta V}{V_0+\Delta V+2V}$，

解得$k=\frac{44}{45}$.

关键点拨　分装问题：把大容器中的气体和多个小容器中的气体看成整体来作为研究对象，将变质量问题转化为定质量问题.

实验 12　用油膜法估测油酸分子的大小　探究气体等温变化的规律

刷实验

1. (1)DABEC　(2)$71a^2$　$\frac{V_0V_2}{nSV_1}$　(3)AB

考查点▸油膜法测分子直径的误差分析

【解析】(1)实验过程应先用注射器将事先配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，记下量筒内每增加一定体积时的滴数，由此计算出一滴油酸酒精溶液的体积. 再根据油酸酒精溶液的浓度计算出油酸的体积，然后往边长约为 40 cm 的浅盘里倒入约 2 cm 深的水，待水面稳定后将适量的痱子粉均匀地撒在水面上，再用注射器将事先配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待薄膜形状稳定. 随后将玻璃板放在浅盘上，将油酸膜的形状用彩笔描绘在玻璃板上. 最后将画有油酸膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油酸膜的面积. 根据油酸的体积和油酸膜的面积计算出油酸分子直径的大小. 即实验步骤的正确顺序是 DABEC.

(2)根据数格子的办法，多于半格算一格，少于半格舍去，油膜的总格数为 71 格，则油膜总面积为$S=71a^2$，由于所用油酸酒精溶液每V_1体积溶液中有纯油酸体积V_2，则溶液的浓度为$x=\frac{V_2}{V_1}$，用注射器和量筒测得体积为V_0的上述溶液有n滴，则一滴溶液中纯油酸的体积为$V=\frac{V_0}{n}x$，油酸分子直径为$d=\frac{V}{S}$，联立解得$d=\frac{V_0V_2}{nSV_1}$.

(3)计算油膜面积时，舍去了所有不足一格的方格，导致油膜面积测量值偏小，根据$d=\frac{V}{S}$，可知油酸分子直径测量值偏大，A 正确；水面上痱子粉撒得太多，油膜没有充分展开，导致油膜面积测量值偏小，根据$d=\frac{V}{S}$，可知油酸分子直径测量值偏大，B 正确；用注射器和量筒测V_0体积溶液滴数时多记录了几滴，导致油酸体积测量值偏小，根据$d=\frac{V}{S}$，可知油酸分子直径测量值偏小，C 错误.

2. (1)BC　(2)$\frac{k}{b}$　变小

考查点▸探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系

【解析】(1)设大气压强为p_0，被封闭气体的横截面积为S，对活塞有$pS=p_0S+F$，气体压强为$p=p_0+\frac{F}{S}$，若要作$p-\frac{1}{V}$的图像，还需要测量气柱的横截面积和大气压，横截面积可以通过测量注射器的内径计算得出，故选 BC.

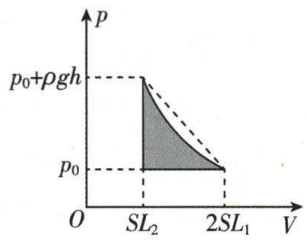
(2)设气体刚封闭时，气体体积为V_0，此时的压强为p_0，细管内的体积忽略不计，由玻意耳定律得$p_0V_0=\left(p_0+\frac{F}{S}\right)V$，整理得$F=\frac{p_0V_0S}{V}-p_0S$，则$k=p_0V_0S$、$b=p_0S$，可得$V_0=\frac{k}{b}$；若细管内气体的体积不可忽略，设细管内气体的体积为ΔV，由玻意耳定律得$\left(p_0+\frac{F}{S}\right)(V+\Delta V)=C$($C$为定值)，整理得$F=\frac{CS}{1+\frac{\Delta V}{V}}\cdot\frac{1}{V}-p_0S$，$\frac{1}{V}$增大时，图像斜率减小.

全章素养提升

刷情境

1. BC　**创新点**▸汽缸活塞模型、玻意耳定律、浸润和不浸润

【解析】初始时，活塞A静止，封闭气体的压强为$p_1=p_0$，A 错误；题图中液面呈凹液面，液体浸润竖直管道，B 正确；最终封闭气体的压强大小为$p_2=p_0+\rho gh$，活塞缓慢移动过程中，气体温度保持不变，由玻意耳定律可得$p_1L_1\cdot 2S=p_2L_2S$，解得$L_2=\frac{2p_0L_1}{p_0+\rho gh}$，C 正确；该过程中，气体发生等温变化，$p-V$图像如图所示，外界对气体做正功，且功的大小等于图中阴影部分面积，则$W<(2p_0+\rho gh)\left(L_1-\frac{1}{2}L_2\right)S$，D 错误.



2. BD　**创新点**▸超重报警装置、玻意耳定律

【解析】不挂重物时，对活塞列平衡方程$p_1S+mg=p_0S$，封闭气体的初始压强$p_1=p_0-\frac{mg}{S}$，挂上重物刚好触发超重预警时平衡方程为$p_2S+(m+M)g=p_0S$，封闭气体压强$p_2=p_0-\frac{(m+M)g}{S}$，气体发生等温变化有$p_1V_1=p_2V_2$，即$p_1S\frac{L}{5}=p_2S\frac{4L}{5}$，解得$M=\frac{3p_0S}{4g}-\frac{3}{4}m$，A 错误，B 正确；刚好触发超重预警时，若环境温度缓慢降低 5%，即温度变为$0.95T_0$，气体发生等压变化有$\frac{V_2}{T_0}=\frac{V_3}{0.95T_0}$，即$V_3=0.95V_2$，而$V_2=\frac{4}{5}LS$，则$hS=0.95\times\frac{4}{5}LS$，解得$h=0.76\ L$，C 错误，D 正确.

3. (1) 5.0×10^4 Pa　(2) 1.5 kg

创新点 ▸吸盘、玻意耳定律

【解析】(1) 设锁扣扳下前密封空气的体积为 V，由玻意耳定律得 $p_0V=2pV$，

解得 $p=5.0\times10^4$ Pa.

(2) 设吸盘与墙壁间的正压力大小为 F_N，

由平衡条件得，水平方向有 $F_N=(p_0-p)S$，

竖直方向有 $mg=\dfrac{F_N}{2}$，

联立解得 $m=1.5$ kg.

刷 真题

刷小题

1. B **命题点** ▸查理定律、分子动理论

【解析】糖果瓶从刚进入车厢到进入车厢一段时间后，瓶内气体温度升高，内能变大，A 错误；气体体积不变，由查理定律可知，温度升高，压强变大，B 正确；糖果瓶气密性良好，气体分子数不变，气体体积不变，则分子的数密度不变，C 错误；气体的温度升高，分子的平均动能变大，但并非每个分子动能都变大，D 错误.

2. C **命题点** ▸气体分子速率分布图像

【解析】理想气体质量不变，则分子总数不变，气体体积不变，则分子的数密度不变，平均每个分子占据的空间大小不变，即分子间平均距离保持不变，A、B 错误；由图像可知气体在状态乙相比于在状态甲“各速率区间的分子数占总分子数的百分比”中分子速率大的更多，即气体在状态乙温度更高，分子的平均动能较大，C 正确；气体温度较高，分子的平均速率较大，气体体积不变，则单位时间内分子碰撞单位面积器壁的次数较多，D 错误.

3. C **命题点** ▸分子力和分子势能

【解析】分子间距离大于 r_0 时，分子力表现为引力，分子从无限远靠近到距离 r_0 处的过程中分子力做正功，分子势能减小，A、B 错误；分子间距离小于 r_0 时，分子力表现为斥力，分子间距离减小，分子力做负功，分子势能增大，因此分子势能在 r_0 处最小，C 正确，D 错误.

4. B **命题点** ▸盖-吕萨克定律的应用

【解析】根据题意有 $V_1=V_0+Sl_1=335\ \text{cm}^3$，$T_1=(273+27)\ \text{K}=300\ \text{K}$，在吸管上标注等差温度值有 $V_2=V_0+Sl_2=330+0.5x\ (\text{cm}^3)$，由盖-吕萨克定律有 $\dfrac{V_1}{T_1}=\dfrac{V_2}{T}$，可得 $T=\dfrac{30}{67}x+\dfrac{19\,800}{67}$ (K)，根据 $T=t+273$ K 可知 $t=\dfrac{30}{67}x+\dfrac{1\,509}{67}$ (℃)，若在吸管上标注等差温度值，则刻度均匀，A 错误；当 $x_1=20$ cm 时，该装置所测的温度最高，由盖-吕萨克定律解得 $t_{max}=31.5$ ℃，该装置所测温度不高于 31.5 ℃；当 $x_2=0$ 时，该装置所测的温度最低，由盖-吕萨克定律解得 $t_{min}=22.5$ ℃，该装置所测温度不低于 22.5 ℃，B 正确，C 错误；其他条件不变，缓慢把吸管拉出来一点，由盖-吕萨克定律可知封闭气体的体积不变，则油柱离罐口距离不变，D 错误.

5. AC **命题点** ▸查理定律、玻意耳定律

【解析】设开始时两部分气体压强为 p_0，固定 M、N，假设 P 不动，由查理定律得，$\Delta p_1=\dfrac{\Delta T}{T_1}p_0$，$\Delta p_2=\dfrac{\Delta T}{T_2}p_0$，$T_1<T_2$，则 $\Delta p_1>\Delta p_2$，故 P 将右移，A 正确，B 错误；保持 T_1、T_2 不变，假设 P 不动，M、N 移动相同的距离，则两部分气体体积减小量相同，由玻意耳定律得，$p_0V_1=p_1(V_1-\Delta V)$，$p_0V_2=p_2(V_2-\Delta V)$，解得 $p_1=\dfrac{1}{1-\dfrac{\Delta V}{V_1}}p_0$，$p_2=\dfrac{1}{1-\dfrac{\Delta V}{V_2}}p_0$，$V_1<V_2$，则 $p_1>p_2$，故 P 将右移，C 正确，D 错误.

6. D **命题点** ▸热力学定律

【解析】当橡胶塞跳出后，气体占据空间增大，瓶内气体的体积迅速膨胀，瓶内的气体对外做功且无热传递（**点拨：**做功过程时间很短，可近似认为无热传递），故瓶内气体的内能迅速减小，温度迅速降低，使瓶内的气体液化成水，即出现白雾，A、B 错误，D 正确；瓶内气体的体积迅速膨胀且温度迅速降低，根据理想气体状态方程可知，瓶内气体的压强迅速减小，C 错误.

7. AD **命题点** ▸热力学第一定律、气体实验定律

【解析】1→2 过程中，气体体积减小，外界对气体做功，$W>0$，该过程是绝热过程，$Q=0$，由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 知 $\Delta U>0$，气体内能增加，A 正确；2→3 过程中，气体体积增大，对外界做功，$W<0$，气体压强不变，由盖-吕萨克定律 $\dfrac{V}{T}=C$ 可知温度升高，内能增加，$\Delta U>0$，由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 知 $Q>0$，气体从外界吸收热量，B 错误；3→4 过程中，气体体积增大，对外界做功，$W<0$，该过程是绝热过程，$Q=0$，由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 知 $\Delta U<0$，气体内能减小，C 错误；4→1 过程中，气体体积不变，外界对气体不做功，$W=0$，气体压强减小，由查理定律 $\dfrac{p}{T}=C$ 可知温度降低，内能减小，$\Delta U<0$，由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 知 $Q<0$，气体向外界释放热量，D 正确.

8. B **命题点** ▸热力学第一定律、理想气体状态方程

【解析】气体的热力学温度增大到初态的 2 倍，温度升高，内能增大，又气体体积减小，则由理想气体状态方程 $\dfrac{pV}{T}=C$（**关键点：**公式中的 T 为热力学温度，单位为 K）可知气体压强增大，对活塞受力分析，有 $F+mg+p_0S=pS$，可知外力 F 增大，A 错误，B 正确；气体体积减小，气体对外界做负功，C 错误；由理想气体状态方程 $\dfrac{pV}{T}=C$ 可知，气体的热力学温度增大到初态的 2 倍，若气体体积不变，则密封气体的末态压强是初态的 2 倍，但气体体积减小，则密封气体的末态压强大于初态的 2 倍，D 错误.

9. ACD **命题点** ▸理想气体

【解析】初始状态活塞受到左侧气体向右的压力和弹簧向左的弹力处于平衡状态，弹簧处于压缩状态. 因活塞密封不严，可知左侧气体向右侧真空散逸，左侧气体压强变小，右侧出现气体，对活塞有向左的压力，最终左、右两侧气体压强相等，且弹簧恢复原长，A 正确；由于活塞向左移动，左侧气体体积小于右侧气体体积，则左侧气体质量小于右侧气体质量，B 错误；密闭的汽缸绝热，与外界没有能量交换，但弹簧弹性势能减少了，可知气体内能增加，C 正确；初始时气体在左侧，最终气体充满整个汽缸，初始左侧单位体积内气体分子数应该是最终的两倍，D 正确.

刷大题

10. (1)9×10^4 Pa　(2)3.6×10^{-2} m^3　(3)110 kg

命题点 ▸查理定律、盖-吕萨克定律

【解析】(1)假设此过程中差压阀关闭,A 内气体做等压变化,B 内气体做等容变化,

对 B 内气体,由查理定律得$\frac{p_{B1}}{T_1}=\frac{p_{B2}}{T_2}$　(2分)

解得 $p_{B2}=0.9p_0=9\times10^4$ Pa　(1分)

A 内气体的压强 $p_A=p_0$,

此时 A、B 内气体的压强差 $\Delta p'=p_A-p_{B2}=0.1p_0<\Delta p=0.11p_0$,假设成立,差压阀处于关闭状态,此时 B 内气体压强为 9×10^4 Pa　(1分)

(2)对 A 内气体,由盖-吕萨克定律得$\frac{V_{A1}}{T_1}=\frac{V_{A2}}{T_2}$　(1分)

解得 $V_{A2}=3.6\times10^{-2}$ m^3　(1分)

(3)B 中气体压强能够回到 p_0,说明差压阀在该过程中打开,当 A、B 中压强差为 Δp 时,差压阀关闭,可知当 B 中气体压强回到 p_0 时,A 中的气体压强为

$p_0+\Delta p=1.11p_0$　(1分)

对活塞,有 $p_0S+mg=1.11p_0S$　(1分)

解得 $m=110$ kg　(1分)

11. (1)2 cm　(2)8.92×10^{-4} m^3

命题点 ▸玻意耳定律

【解析】(1)液面内外相平时,长柄内气体压强为 $p_1=p_0$,长度为 $H-x$,

将汲液器提出液面时,长柄内气体压强为 $p_2=p_0-\rho gh$,长度为 H,

气体发生等温变化,根据玻意耳定律有

$p_1(H-x)S_1=p_2HS_1$　(2分)

解得 $x=2$ cm　(2分)

(2)当储液罐中剩余一半液体时,气体压强为 $p_3=p_0-\frac{1}{2}\rho gh$,气体体积为 $HS_1+\frac{1}{2}hS_2$,

由玻意耳定律有 $p_2HS_1+p_0V=p_3\left(HS_1+\frac{1}{2}hS_2\right)$　(2分)

解得 $V=8.92\times10^{-4}$ m^3　(2分)

12. (1)3.3×10^5 Pa　(2)6.6×10^4 J

命题点 ▸理想气体状态方程、热力学第一定律

【解析】(1)初状态下,$T_1=300$ K,$V_1=0.528$ m^3,$p_1=3.0\times10^5$ Pa,

末状态下,$T_2=350$ K,$V_2=0.560$ m^3,压强为 p_2,

根据理想气体状态方程有$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$　(2分)

解得 $p_2=3.3\times10^5$ Pa　(2分)

(2)$p-V$ 图线与 V 轴围成的面积代表做功的大小,

该过程气体体积增大,则外界对气体做负功,可得外界对气体做功为 $W=-\frac{1}{2}\times(3.0\times10^5+3.3\times10^5)\times(0.560-0.528)$ J$=-1.008\times10^4$ J　(2分)

由热力学第一定律得 $\Delta U=Q+W$　(1分)

代入数据可得 $\Delta U=6.6\times10^4$ J　(2分)

13. (1)$\frac{U_m^2}{50R}$　(2)$\frac{50CT_0R}{U_m^2}$

命题点 ▸理想变压器、理想气体的等容变化

【解析】(1)设原线圈两端电压为 U_1,副线圈两端电压为 U_2,对理想变压器有$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,则副线圈两端电压 $U_2=\frac{1}{5}U_1$　(1分)

又 $U_1=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$,负载消耗的电功率 $P_2=\frac{U_2^2}{R}=\frac{U_m^2}{50R}$　(1分)

则变压器的输出功率 $P=P_2=\frac{U_m^2}{50R}$　(2分)

(2)对封闭的理想气体,加热前后气体发生等容变化,容器内初始气体压强设为 p_1,由查理定律得$\frac{p_1}{T_0}=\frac{2p_1}{T_2}$　(1分)

解得加热后气体的温度 $T_2=2T_0$　(1分)

则气体吸收的热量 $Q=C\Delta T=C(2T_0-T_0)=CT_0$　(1分)

又 $Q=P_2t$　(1分)

联立解得 $t=\frac{50CT_0R}{U_m^2}$　(2分)

第15章　光　学

第1节　光的反射和折射

刷基础

1. A　**考查点** ▸光的折射、折射率

【解析】由题图乙可知,太阳光射入冰晶时,a 光的偏折程度比 b 光的偏折程度大,则冰晶对 a 的折射率比对 b 的大,故A正确;因为冰晶对 a 的折射率比对 b 的大,所以 a 的频率比 b 的大,故B错误;根据 $c=\lambda f$,因为 a 的频率比 b 的大,所以 a 的波长比 b 的短,故D错误;根据 $v=\frac{c}{n}$,可知在冰晶中 a 的传播速度比 b 的小,故C错误.

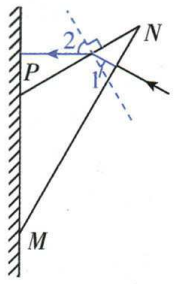
2. C　**考查点** ▸光的折射定律、光在介质中的传播

【解析】折射不改变光的频率,黄光在水中的频率和在空气中的频率相同,A错误;由 $v=\frac{c}{n}$ 可知,黄光在水中的速度比在空气中的速度小,B错误;黄光的频率比红光的频率大,则水对黄光的折射率比对红光的大,根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知,黄光在水中传播的速度比红光在水中传播的速度小,红光在水中传播的时间比黄光在水中传播的时间短,C正确;由折射定律有 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$,可知红光在空气中的折射角小,将射到 M 点上方,D错误.

3. D　**考查点** ▸光的折射、折射率

【解析】根据题意画出光路图如图所示,根据几何关系可得∠1=

30°，∠2=60°，根据折射定律可得 $n=\frac{\sin 60°}{\sin 30°}=\sqrt{3}$，故选 D.



4. B 考查点 光的折射、全反射、光的色散

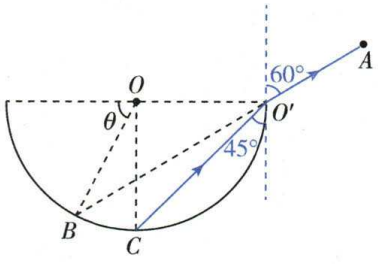
【解析】由图可知，单色光 b 的偏折程度较小，故玻璃三棱镜对单色光 b 的折射率较小（关键点），A 错误；由图可知，单色光 a 的偏折程度较大，故玻璃三棱镜对单色光 a 的折射率较大，根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知，单色光 a 在玻璃三棱镜中的速度较小，B 正确；增大 θ，则折射角减小，光线在 BC 面的入射角增大，由几何关系可知，最大为 $\angle B$，由于玻璃三棱镜对 a 的折射率较大，则光束 a 发生全反射的临界角较小，但由于无法确定全反射临界角与 $\angle B$ 的大小关系，所以无法确定光束能否发生全反射，C 错误；减小 θ，光线在 BC 面的入射角减小，两单色光在 BC 面不会发生全反射，D 错误.

5. A 考查点 光的折射、全反射、波长和介质的关系

【解析】由光路图可知，a 光的偏折程度大于 b 光，可知水滴对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率，A 正确；根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知，a 光在水滴中的传播速度小于 b 光在水滴中的传播速度，B 错误；a、b 光由空气进入水滴后波速变小，频率不变，根据 $\lambda=\frac{v}{f}$，则波长变短（关键点：光在不同介质中传播时，频率不变，但是波速和波长会发生改变），C 错误；根据 $\sin C=\frac{1}{n}$，水滴对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率，可知 a 光发生全反射的临界角小于 b 光发生全反射的临界角，则若 a 光、b 光在同一介质中，以相同的入射角由介质射向空气，a 光能够发生全反射，则 b 光不一定能够发生全反射，D 错误.

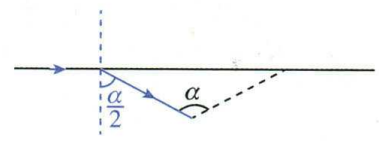
6. D 考查点 折射率、光的传播时间的计算

【解析】由几何关系及折射率计算式可得，油的折射率 $n=\frac{\sin 60°}{\sin 45°}=\frac{\sqrt{6}}{2}$，A、B 错误；光在油中传播的速度为 $v=\frac{c}{n}$，装满油时，光从 C 点出发传播到 A 点所用时间 $t=\frac{\sqrt{2}R}{v}+\frac{R}{c}$，联立可得 $t=(\sqrt{3}+1)\frac{R}{c}$，C 错误，D 正确.



7. A 考查点 全反射临界角

【解析】水面以上光线射入人眼的临界光路如图所示，由光路的可逆性可知，光在水中发生全反射的临界角为 $C=\frac{\alpha}{2}$，又 $\sin C=\frac{1}{n}$，$n=\frac{c}{v}$，联立解得光在水中的传播速度为 $v=c\sin\frac{\alpha}{2}$，故选 A.



8. D 考查点 光的折射、全反射

【解析】根据光的折射定律有 $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=n$，根据折射率和临界角的关系有 $\sin C=\frac{1}{n}$，根据几何关系可知 $\beta=90°-C$，解得 $n=\frac{5}{4}$，故选 D.

9. A 考查点 光的折射、全反射临界角

【解析】根据折射定律有 $n=\frac{\sin 45°}{\sin\theta}$，根据发生全反射的临界角与折射率的关系有 $n=\frac{1}{\sin C}=\frac{1}{\frac{r}{\sqrt{r^2+h^2}}}$，解得 $\sin\theta=\frac{\sqrt{2}r}{2\sqrt{r^2+h^2}}$，故选 A.

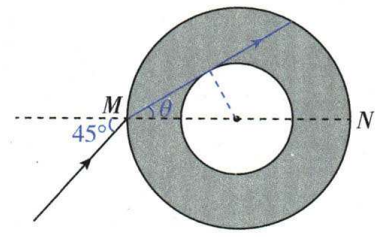
10. AC 考查点 光导纤维

【解析】发生全反射的条件之一是光由光密介质射向光疏介质，所以 $n_1>n_2$，故 A 正确，B 错误；当入射角为 θ 时，设光的折射角为 r，根据折射定律有 $n_1=\frac{\sin\theta}{\sin r}$，则由数学知识可得 $\cos r=\frac{\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta}}{n_1}$，根据几何关系可知，光在光导纤维内芯中的传播距离为 $x=\frac{L}{\cos r}$，由 $n=\frac{c}{v}$ 知光在光导纤维内芯中传播速度为 $v=\frac{c}{n_1}$，则光在光导纤维中传播的时间为 $t=\frac{x}{v}=\frac{Ln_1^2}{c\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta}}$，故 C 正确，D 错误.

11. (1)$\sqrt{2}$ (2)$\frac{2\sqrt{6}R}{c}$

考查点 光的折射、折射率、光的传播时间

【解析】(1) 折射光线恰好与容器内壁相切，如图所示，设折射角为 θ，



由几何关系得 $\sin\theta=\frac{R}{2R}=\frac{1}{2}$，

解得 $\theta=30°$，

容器对该光线的折射率 $n=\frac{\sin 45°}{\sin\theta}=\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{2}$.

(2) 光从 M 点射入到第一次到达容器外壁走的路程 $s=2\times 2R\cos 30°=2\sqrt{3}R$，

光在容器中的传播速度 $v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}c$，

光从 M 点射入到第一次到达容器外壁所经历的时间 $t=\frac{s}{v}=$

$$\frac{\frac{2\sqrt{3}R}{\frac{\sqrt{2}}{2}c}=\frac{2\sqrt{6}R}{c}}{}.$$

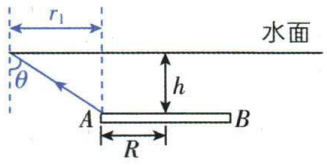
易错警示 注意本题中为中空柱形容器，且光线折射后恰好与容器内壁相切，则可根据几何关系求出折射角.

专题 22　光的折射和全反射规律的应用

刷 难关

1. B **突破点** ▸发生全反射的条件、临界角

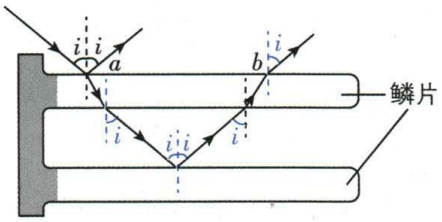
【解析】光路图如图所示，



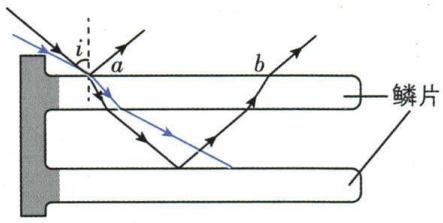
全反射临界角 θ 满足 $\sin\theta=\frac{1}{n}=\frac{3}{4}$，所以 $\tan\theta=\frac{3}{\sqrt{7}}$，而 $r_1=h\tan\theta=\frac{\sqrt{7}}{5}\times\frac{3}{\sqrt{7}}$ m$=0.6$ m，所以光斑半径 $r=r_1+R=0.7$ m，故选 B.

2. D **突破点** ▸光的折射定律、折射率

【解析】图中鳞片平行，厚度均匀，如图甲所示，可知 a 点的反射光线与 b 点的折射光线平行，A 错误；



甲

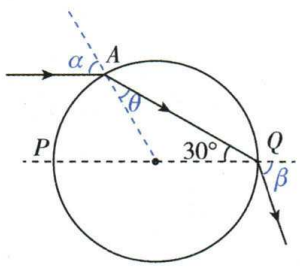


乙

由图乙可知，若入射角 i 变大，则折射角变大，折射光线在下面鳞片发生反射的位置右移，则 b 点的位置也右移，a、b 两点间的距离变大，B 错误；若仅将蓝光换为红光，鳞片对光的折射率变小，根据折射定律可知，折射角变大，则入射点 a 与出射点 b 间的距离变大，C 错误；若仅将蓝光换为紫光，鳞片对光的折射率变大，根据折射定律可知，折射角变小，则入射点 a 与出射点 b 间的距离变小，D 正确.

3. BC **突破点** ▸光的折射、传播时间的计算

【解析】如图所示，



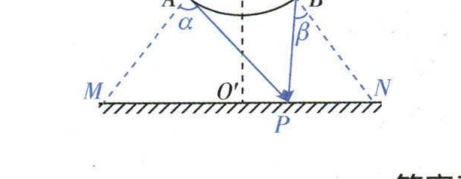
由几何关系可知，光线射入时的入射角 $\alpha=2\theta=60°$，折射率为 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\theta}=\frac{\sin 60°}{\sin 30°}=\sqrt{3}$，A 错误；光在水晶球中的传播速度为 $v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{3}}{3}c$，B 正确；由几何关系可知 $AQ=2r\cos\theta=\sqrt{3}r$，光在水晶球中的传播时间为 $t=\frac{AQ}{v}=\frac{3r}{c}$，C 正确；由几何关系可知 $\alpha=\beta=2\theta$，若逐渐增大射向水晶球表面光的入射角，光不会因为全反射而无法射出水晶球，D 错误.

4. A **突破点** ▸光的折射定律、折射率

【解析】根据题意，由几何关系可得，光在 B 点的折射角为 $30°$，则介质对此单色光的折射率为 $n=\frac{\sin 60°}{\sin 30°}=\sqrt{3}$，B、C 错误；设正方形的边长为 a，由余弦定理有 $\cos 120°=\frac{\left(\frac{a}{2}\right)^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2-R^2}{2\times\frac{a}{2}\times\frac{a}{2}}$，解得 $a=\frac{2\sqrt{3}}{3}R$，A 正确；光在介质中的传播速度为 $v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{3}}{3}c$，光从 B 到 C 的传播时间为 $t=\frac{\frac{a}{2}}{v}=\frac{R}{c}$，D 错误.

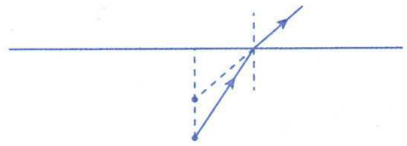
5. A **突破点** ▸折射和全反射的综合问题

【解析】根据题意作出刚好发生全反射的光路图如图甲所示，



甲

根据几何关系可得 $D=d+2h_0\tan C$，又 $\sin C=\frac{1}{n}$，联立解得环形彩灯的宽度为 $d=0.03$ m$=3$ cm，A 正确；彩灯发出的黄光射出水面的最长距离为 $s=\frac{h_0}{\cos C}$，黄光在水中的传播速度为 $v=\frac{c}{n}$，彩灯发出的黄光射出水面的最长时间为 $t=\frac{s}{v}$，联立解得 $t=\frac{16h_0}{3\sqrt{7}c}$，B 错误；若彩灯发出红光，由于水对红光的折射率小于对黄光的折射率，所以红光发生全反射的临界角较大，根据几何关系可知，水面透光区域的半径变大，则水面透光区域变大，C 错误；由于光线从水中射出空气时的折射角大于入射角，如图乙所示，



乙

可知水面观察者沿折射光线看到彩灯的深度比实际深度浅，且与观察者的位置有关，D 错误.

6. B **突破点** ▸光的折射定律、干涉条纹间距与波长的关系

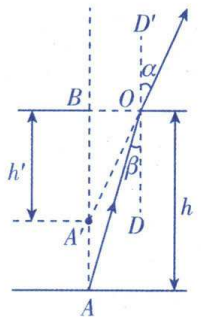
【解析】由题意，可画出光路图如图所示，

由几何关系可知，两束光的入射角 θ 满足 $\sin\theta=\dfrac{\frac{R}{2}}{R}=\dfrac{1}{2}$，解得 $\theta=30°$，则 $\triangle OMN$ 是正三角形，边长为 $l_1=\dfrac{OO'}{\cos\theta}=\dfrac{9}{4}R$，对 a 光由折射定律得 $n_a=\dfrac{\sin\alpha}{\sin\theta}=\sqrt{3}$，解得 $\alpha=60°$，$\triangle AMP$ 也是正三角形，其边长 $l_2=l_1-R=\dfrac{5}{4}R$，光斑 P 到 O' 点的距离 $d=l_2-l_1\sin\theta=\dfrac{R}{8}$，A 错误，B 正确；在 $\triangle BPN$ 中，由几何关系可知 $NP=l_1-l_2=R$，根据正弦定理有 $\dfrac{\sin\beta}{NP}=\dfrac{\sin(180°-60°-\beta)}{l_2}$，解得 $\sin\beta=\dfrac{2\sqrt{7}}{7}$，根据 $n_b=\dfrac{\sin\beta}{\sin\theta}=\dfrac{4\sqrt{7}}{7}$，可知玻璃体对 a 光的折射率大于对 b 光的，则 a 光的频率大于 b 光的频率，a 光的波长小于 b 光的波长，用同一双缝干涉仪做光的双缝干涉实验，根据 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 可知，a 光条纹间距小于 b 光条纹间距，C 错误；由对称性知，仅将 a、b 光入射的位置互换，而与 O 的距离不变，光斑到 O' 点的距离不变，D 错误.

7. (1) 1.5 m　(2) $\dfrac{36\pi}{7}$ m^2

突破点 ▸折射和全反射的综合问题

【解析】(1) 如图甲所示，设 A 的视深为 h'，从 A 上方看，光的入射角及折射角均很小，由折射定律有 $n=\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}\approx\dfrac{\tan\alpha}{\tan\beta}=\dfrac{h}{h'}=\dfrac{4}{3}$，解得 $h'=1.5$ m.



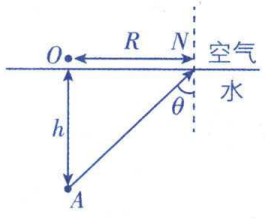
甲

(2) 画出临界光路图，如图乙所示，当从 A 发出的光在 N 点处发生全反射时，有 $\sin\theta=\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{3}{4}$，

则 $\dfrac{R}{\sqrt{R^2+h^2}}=\dfrac{3}{4}$，

解得 $R=\dfrac{6\sqrt{7}}{7}$ m，

则最大面积 $S=\pi R^2=\dfrac{36\pi}{7}$ m^2.



乙

8. (1) 60°　(2) 不能

突破点 ▸光的折射和全反射的综合应用

【解析】(1) 单色光在透明材料上表面的入射角为 θ，反射角也为 θ，反射光线和折射光线恰好垂直，则折射角为 $\theta_1=90°-\theta$，根据折射定律有 $n=\dfrac{\sin\theta}{\sin\theta_1}=\dfrac{\sin\theta}{\sin(90°-\theta)}=\dfrac{\sin\theta}{\cos\theta}$，

折射光线在介质中的速度为 $v=\dfrac{c}{n}$，

折射光线经长方体侧面反射后射到下表面，折射光线在介质中的路程为 $s=\dfrac{L}{\sin\theta}$，

折射光线经长方体侧面反射后射到下表面，

所用时间为 $\dfrac{2L}{c}$，即 $\dfrac{s}{v}=\dfrac{2L}{c}$，

解得 $\theta=60°$，$n=\sqrt{3}$.

(2) 发生全反射临界角满足 $\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{1}{\sqrt{3}}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，

折射光线到长方体侧面时入射角为 $\theta=60°$，$\sin\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，

所以 $\theta>C$，入射角大于临界角，所以会在侧面发生全反射，光不能从透明材料侧面射出.

9. (1) $\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$　(2) $\dfrac{(3\sqrt{2}-\sqrt{3}-1)a}{2}$

突破点 ▸光的折射定律、折射率

【解析】(1) 光路图，如图 1 所示，

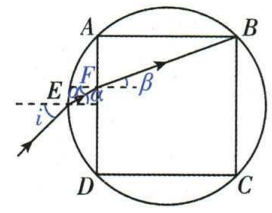


图 1

由折射定律可得 $\dfrac{\sin i}{\sin\alpha}=n_2$，$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\dfrac{n_1}{n_2}$，

解得 $\sin\beta=\dfrac{\sin i}{n_1}=\dfrac{1}{3}$，

则 $AF=AB\tan\beta=\dfrac{a}{2\sqrt{2}}$，

所以光在 E 点折射角的正切值 $\tan\alpha=\dfrac{\frac{a}{2}-AF}{OE-\frac{a}{2}}=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$，$\sin\alpha=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$，

所以材料乙对该单色光的折射率 $n_2=\dfrac{\sin i}{\sin\alpha}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$.

(2) 如图 2 所示，

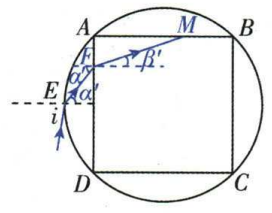


图 2

光在 E 点的入射角接近 90° 时，折射角的正弦值为 $\sin\alpha'=\dfrac{1}{n_2}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，

则 $AF=\dfrac{a}{2}-\left(\dfrac{\sqrt{2}a}{2}-\dfrac{a}{2}\right)\tan\alpha'$，

光在 F 点发生折射有 $\dfrac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}=\dfrac{n_1}{n_2}=\sqrt{3}$，

由几何知识可得 AB 边上能被光照射到部分的长度为 $BM=a-\frac{AF}{\tan\beta'}=\frac{(3\sqrt{2}-\sqrt{3}-1)a}{2}$.

第 2 节　光的干涉、衍射和偏振

刷基础

1. BD　考查点▸双缝干涉条纹间距与波长的关系

【解析】第 1 条亮纹中心与第 6 条亮纹中心间距为 1.500 cm，则相邻两条亮条纹中心间距为 $\Delta x=\frac{1.500\ \text{cm}}{5}=0.300\ \text{cm}$，A 错误；根据 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知，增大双缝到屏的距离 L，Δx 将变大，B 正确；由 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知，增大双缝的距离 d，Δx 将变小，C 错误；绿色光换用红光照射，即光的波长 λ 变长，由 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 知，Δx 将变大，D 正确.

2. C　考查点▸薄膜干涉现象和原理

【解析】每个圆环实际上是一条等厚线，即同一个圆环上所对应的空气膜的厚度相等，由于从圆心越向外，空气膜的厚度变化越快，即空气膜厚度发生相同的变化经过的距离越短，所以从圆心越向外条纹越来越密集，A、B 错误；若对透镜上表面均匀施加适量压力，各处的空气膜都会变薄，干涉条纹向边缘移动，C 正确；若把入射的单色光由紫色换为红色，由于红光比紫光波长大，所以相邻两个干涉圆环对应的空气膜厚度变化变大，条纹间距会变大，D 错误.

关键点

3. A　考查点▸光的偏振

【解析】因为偏振片透振方向与各个等腰梯形的对称轴均平行，则假设沿某一方向偏振的光的偏振方向与该等腰梯形的偏振片的透振方向相同，则光线最强，与之共线对称的另一个等腰梯形透振方向也是与该偏振光的偏振方向平行的，光线也是最强的；与之垂直的两个等腰梯形的透振方向与该偏振光的偏振方向垂直，则光线最暗，可知可能观察到的现象是图 A，故选 A.

4. B　考查点▸折射率、临界角、光的干涉、衍射

【解析】由图乙可知，单色光 a 照射到小圆区域边界处刚好发生全反射，设此时入射角为 i，则有 $\sin i=\sin C_a=\frac{1}{n_1}$，则单色光 b 照射到小圆区域边界处时，根据折射定律可得 $\frac{\sin r}{\sin i}=n_2$，联立可得单色光 b 照射到小圆区域边界处的折射角正弦值为 $\sin r=\frac{n_2}{n_1}<1$，即 $n_2<n_1$，A 错误，B 正确；因为 $n_2<n_1$，故单色光 b 频率小，波长长，由双缝干涉相邻两条亮条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，知 a 光比 b 光的干涉条纹间距窄，C 错误；波长越长，衍射现象越明显，单色光 b 波长长，所以某单缝能使 b 光发生明显衍射现象，则不一定能使 a 光发生明显衍射现象，D 错误.

5. BC　考查点▸薄膜干涉、双缝干涉、衍射

【解析】两列光发生稳定的干涉现象的条件是两列光的频率相同、振动方向相同且相位差恒定，故频率相同的两列光相遇时不一定能发生干涉现象，A 错误；在双缝干涉现象中，根据 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，可知入射光波长变长，相邻两个亮条纹间距将变大，B 正确；同一条明条纹处空气膜的厚度相同，条纹向左弯曲，表明条纹弯曲处左侧空气膜的厚度与直条纹处空气膜的厚度相同，弯曲处是凹陷的，C 正确；单缝宽度增大，衍射条纹宽度将变小，由题图乙知该单色光通过单缝 b 后的衍射条纹较窄，所以单缝 b 的宽度较大，D 错误.

易错警示　等厚干涉中，同一级条纹对应的空气膜厚度相等，若某处条纹弯曲，意味亮条纹提前或者滞后出现，需要结合薄膜厚度变化，分析工件表面凹凸情况.

实验 13　测量玻璃的折射率　用双缝干涉测量光的波长

刷实验

1. (1)C　(2)D　(3)$\sqrt{2}$　(4)小于

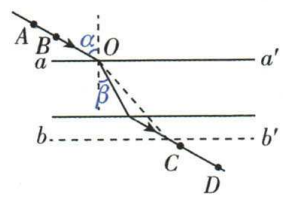
考查点▸用插针法测介质折射率的实验步骤、数据处理和误差分析

【解析】(1)在“测定玻璃砖的折射率”实验中，由折射的光路可知插针时应使 C 同时挡住 A、B 的像，D 同时挡住 C 和 A、B 的像，故选 C.

(2)在 aa' 界面，入射角适当大些，可以减小误差，A 错误；由于玻璃砖上下表面平行，光在下表面的入射角等于上表面的折射角，根据光路可逆可知，光在玻璃砖的下表面的折射角等于上表面的入射角，即不会发生全反射，B 错误；不可以用铅笔沿着玻璃砖的边画线，防止划伤和污染玻璃砖光学面，C 错误；实验选择玻璃砖只要可以得到入射角和折射角即可，其两个界面 aa' 和 bb' 可以不平行，D 正确.

(3)从 O 点射入时，设入射角为 α，折射角为 β. 根据题中所给数据可得 $\sin\alpha=\frac{10.0\ \text{mm}}{\sqrt{(10.0\ \text{mm})^2+(20.0\ \text{mm})^2}}=\frac{\sqrt{5}}{5}$，$\sin\beta=\frac{5.0\ \text{mm}}{\sqrt{(15.0\ \text{mm})^2+(5.0\ \text{mm})^2}}=\frac{\sqrt{10}}{10}$，再由折射定律可得玻璃砖的折射率 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\sqrt{2}$.

(4)光路如图所示，这种做法使折射角 β 测量值偏大，由折射定律 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$，可知折射率测量值小于真实值.



2. (1)P　(2)B　(3)17.75　(4)$\frac{(x_2-x_1)d}{5L_2}$

考查点▸用双缝干涉实验测量光的波长

【解析】(1)因为双缝干涉实验是让单色光经过双缝在光屏上形成干涉图样，所以先让光源通过滤光片形成单色光，再经过单缝得到线状光源，再经过双缝形成干涉条纹，所以 M、N、P 三个光学元件依次为滤光片、单缝片、双缝片.

(2)旋转测量头，分划板竖线随之旋转，可使分划板竖线与亮条

纹对齐.

(3)游标卡尺的精度为 0.05 mm,读数为 17 mm+15×0.05 mm=17.75 mm.

(4)亮条纹 A 和亮条纹 B 的间距为 $5\Delta x=x_2-x_1$,结合条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L_2}{d}\lambda$,解得 $\lambda=\frac{(x_2-x_1)d}{5L_2}$.

全章素养提升

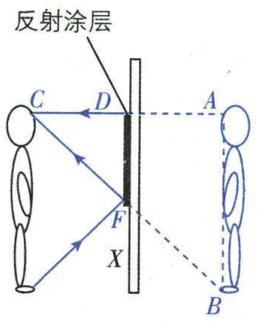
刷情境

1. A 创新点▸手机防窥屏

【解析】因屏障的高度一定,则从光源发出的光射到界面时的最大入射角一定,则可视角度 θ 也是一定的,防窥屏的厚度不影响可视角度 θ,A 正确;若屏障的高度越高,即 d 越大,则入射角越小,根据折射定律可知,其折射角越小,可视角度 θ 越小,B 错误;因可视角度 θ 是光线进入空气中时折射角的 2 倍,故透明介质的折射率越小,折射角越小,可视角度 θ 越小,C 错误;防窥屏实现防窥效果主要是因为某些角度范围内的光被吸光屏障吸收,能射出到空气中的光的入射角都小于临界角,没有发生全反射,D 错误.

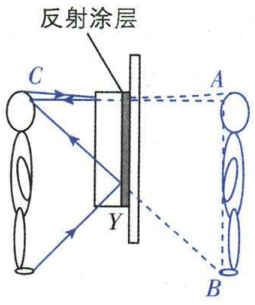
2. D 创新点▸光的折射

【解析】光路图如图甲所示,



甲

AB 为人在平面镜中的全身像,根据平面镜成像原理,物像关于镜面对称,则 DF 为 $\triangle ABC$ 的中位线,那么镜子的长度 DF 至少为 AB 的一半,即人眼到脚底距离的一半. 当换成厚玻璃制作的平面镜 Y 时,光垂直通过平面镜的光路没有改变,光倾斜通过平面镜时光线会发生折射,所以头顶和脚部的光线通过平面镜时都会不同程度的发生折射,因为头部光线几乎垂直于平面镜,光线偏离原来方向的程度低,脚部反之,光路图如图乙所示,



乙

因此若该同学仍能看到自己的全身像,则有 $\Delta l_2>\Delta l_1>0$,故选 D.

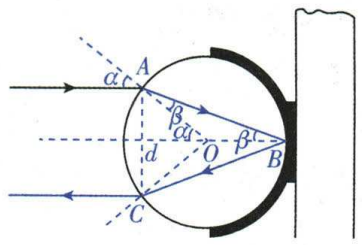
3. (1)60° (2)$D\leqslant 2\times10^{-5}$ m (3)3.18×10^{7} 颗

创新点▸玻璃微珠、折射和全反射的综合应用

【解析】(1)光路如图所示,光线从球面上的 A 点折射进入,入射角为 α,折射角为 β,根据折射定律有 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\sqrt{3}$,

由几何关系知 $\alpha=2\beta$,

解得 $\beta=30°$,$\alpha=60°$.



(2)设入射光线与出射光线间的距离 AC 为 d,玻璃微珠直径为 D,由几何关系知 $d=D\sin\alpha$,

若 $d\leqslant10\sqrt{3}$ μm,

有 $D\sin\alpha\leqslant10\sqrt{3}$ μm,

解得 $D\leqslant2\times10^{-5}$ m.

(3)当 $D=2\times10^{-5}$ m 时,一个玻璃微珠的横截面积 $S_0=\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$,

所以在 $S=1$ dm^2 的反光膜材料中的玻璃微珠最少颗数 $N=\frac{S}{S_0}$,

解得 $N\approx3.18\times10^{7}$ 颗.

刷真题

刷小题

1. A 命题点▸光的折射

【解析】入射角相同,$\beta_1<\beta_2$,根据折射定律知 $n_{甲}>n_{乙}$,A 正确;折射率随浓度增大而变大,则甲的浓度大,B 错误;根据 $v=\frac{c}{n}$ 知,光在甲中的传播速度小,C 错误;由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 知,甲的临界角小,D 错误.

2. D 命题点▸光的全反射

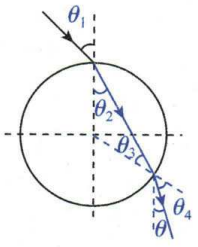
【解析】激光的波长的数量级为 10^{-7} m,亮环的周长数量级一般为 $10^{-2}\sim10^{-1}$ m,A 错误;光从一种介质射入另一种介质,频率不变,B 错误;衍射现象是光可以绕过障碍物继续传播的现象,C 错误;激光从肥皂泡外表面射入后,在膜内向气泡外出射时,是从光密介质射向光疏介质,当入射角等于或大于全反射临界角时,发生全反射现象,在肥皂泡内形成亮环,D 正确.

3. D 命题点▸光的折射、全反射

【解析】激光的频率仅与光源本身有关,与介质无关,A、B 错误;全反射临界角公式 $\sin C=\frac{1}{n}$,甲的折射率比乙的大,则甲的全反射临界角比乙的小,C 错误,D 正确.

4. B 命题点▸光的折射

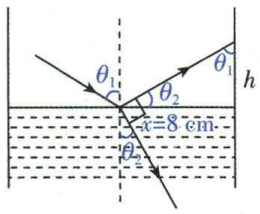
【解析】如图所示,$\theta_1=45°$,由 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 可得 $\theta_2=30°$,由几何关系得 $\theta_3=30°$,由 $n=\frac{\sin\theta_4}{\sin\theta_3}$ 可得 $\theta_4=45°$,由几何关系可得该光线从圆柱内射出时,与竖直方向的夹角为 $\theta=15°$,B 正确.



5. B 命题点▸几何光学

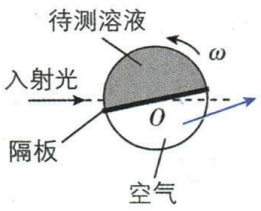
【解析】根据几何关系画出光路图,如图所示,标注入射角 θ_1、折

射角 θ_2，根据折射定律可得 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{x}{h}=\dfrac{8\text{ cm}}{h}$，代入选项中的数据可知，B 正确.



6. A 命题点▸全反射、折射定律

题图剖析



观测屏上无亮点时，光线从隔板射到空气时发生了全反射；出现亮点时，光线能透过液体和隔板从空气中射出，从屏上出现亮点到亮点消失(点拨：刚好发生全反射时，出现亮点或亮点消失)满足$2\theta=\omega\Delta t$

【解析】亮点恰好消失时，光线在隔板和空气界面发生全反射，则有 $n=\dfrac{1}{\sin C}$，在隔板和液体界面，根据折射率公式有 $\dfrac{\sin\theta}{\sin C}=\dfrac{n}{n_x}$，由题意知，$2\theta=\omega\Delta t$，则 $\theta=\dfrac{\omega\Delta t}{2}$，解得 $n_x=\dfrac{1}{\sin\dfrac{\omega\Delta t}{2}}$，A 正确.

7. D 命题点▸光的偏振

【解析】观看立体电影的特制眼镜利用了光的偏振，其镜片为偏振片，左右两镜片的透振方向互相垂直，用该眼镜去观察手机液晶屏幕上的图片，透过左镜片的图片明亮，右镜片的灰暗，则左镜片的透振方向与光的偏振方向夹角较小，右镜片的透振方向与光的偏振方向夹角较大，旋转手机屏幕 90°后，左镜片透振方向与光的偏振方向夹角较大，透过的图片变暗，右镜片透振方向与光的偏振方向夹角较小，透过的图片变亮，D 正确.

8. A 命题点▸双缝干涉实验

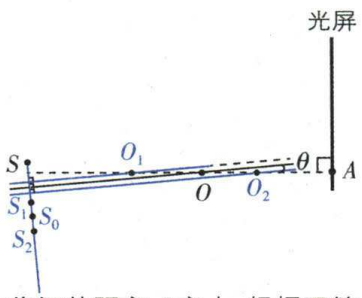
【解析】双缝干涉中相邻两亮条纹的间距 $\Delta x=\dfrac{L\lambda}{d}$，换用更粗的头发丝，$d$ 增大，Δx 减小，A 正确；换用红色激光照双缝，λ 增大，Δx 增大，B 错误；增大纸板与墙面的距离，L 增大，Δx 增大，C 错误；减小光源与纸板的距离对产生的亮条纹间距无影响，D 错误.

9. C 命题点▸薄膜干涉

【解析】用单色平行光垂直照射平板玻璃，将发生薄膜干涉，由光的干涉知识可知，同一条干涉条纹位置处光的波程差相等，则滚珠 a、b 的直径相等，即滚珠 b 合格，不同的干涉条纹位置处光的波程差不同，则滚珠 a 与 c 的直径不相等，即滚珠 c 不合格，C 正确.

10. BC 命题点▸光的干涉现象

【解析】S 与 S 关于平面镜所成的像将作为两光源或双缝，在光屏上出现干涉条纹，如图所示.



设 S 与 S 关于平面镜所成的像间的距离为 d，平面镜意外倾斜了某微小角度 θ 后，向左略微平移平面镜，像从 S_0 移动到 S_1，S 与像间的距离 d 变小，根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$，可知 Δx 变大，A 错误；向右略微平移平面镜，像从 S_0 移动到 S_2，S 与像间距离 d 变大，根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$，可知 Δx 变小，B 正确；若 $\theta=0°$，向左或向右略微平移平面镜，S 与像间距离 d 都不会发生变化，条纹间距始终不变，C 正确，D 错误.

11. BC 命题点▸双缝干涉实验的原理和相关计算

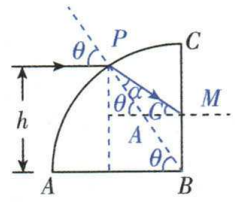
【解析】蓝光与红光频率不同，不满足干涉条件，故不能发生干涉形成条纹，A 错误；条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L\lambda}{d}$，$L$、$d$ 相同，λ 越大，Δx 越大，蓝光波长小于红光波长，故相邻条纹间距 $\Delta x_{蓝}<\Delta x_{红}$，B 正确；亮条纹中心位置到中央亮条纹的距离满足 $x=k\dfrac{L\lambda}{d}$($k=0,1,2,\cdots$)，蓝光与红光条纹中心重叠时，需满足 $k_1\dfrac{L\lambda_{蓝}}{d}=k_2\dfrac{L\lambda_{红}}{d}$，即 $k_1\lambda_{蓝}=k_2\lambda_{红}$，代入波长有 $k_1\times440\text{ nm}=k_2\times660\text{ nm}$，化简得 $2k_1=3k_2$，即 $k_1=3n$，$k_2=2n$($n=1,2,3,\cdots$)，当 $n=1$ 时，$k_1=3$，$k_2=2$，此时中心重叠位置到中央亮条纹的距离 $x_1=3\dfrac{L\lambda_{蓝}}{d}=3\times\dfrac{500\times10^{-3}\times440\times10^{-9}}{0.5\times10^{-3}}\text{ m}=1.32\times10^{-3}\text{ m}=1.32\text{ mm}$，同理可得，当 $n=2$ 时，$k_1=6$，$k_2=4$，$x_2=2.64\text{ mm}$，故距中央亮条纹中心 1.32 mm 处蓝光和红光亮条纹中心重叠，C 正确，D 错误.

刷大题

12. $\dfrac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{2}$

命题点▸光的折射与全反射

【解析】作出光路图如图所示，光线在 BC 边的入射角为临界角 C，



则 $\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，$\cos C=\sqrt{1-\sin^2C}=\dfrac{\sqrt{6}}{3}$ (2 分)

由几何关系得 $\theta=C+\alpha$，则 $\sin\theta=\sin(C+\alpha)$ (2 分)

光线射入玻璃柱时，由折射定律有

$\dfrac{\sin\theta}{\sin\alpha}=n=\sqrt{3}$ (2 分)

又 $\sin\theta=\dfrac{h}{R}$ (2 分)

联立解得 $\dfrac{h}{R}=\dfrac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{2}$ (2 分)

13. (1)$\sqrt{2}$　(2)$\theta\leqslant45°$或$\theta\geqslant135°$

命题点▸光的折射、全反射

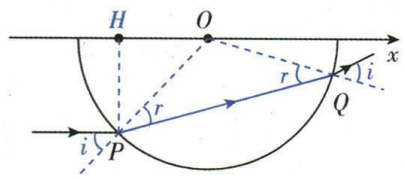
【解析】(1)光路图如图所示，根据折射率公式有

$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ (1 分)

由题意可知 $\sin i=\dfrac{\frac{\sqrt{2}}{2}R}{R}$ (1 分)

由几何关系有 $2R\cos r=\sqrt{3}R$ （1分）

解得 $n=\sqrt{2}$ （2分）



（2）全反射临界角 C 和折射率 n 的关系为 $\sin C=\frac{1}{n}$ （1分）

解得 $C=45°$ （1分）

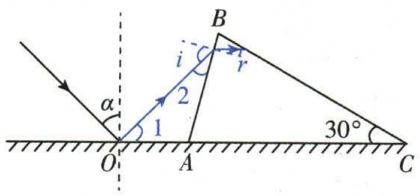
要使光线在圆心 O 点发生全反射（**关键点：**清楚光的入射方向沿半径方向），则入射光线与 x 轴正方向夹角为 $\theta\leqslant 90°-C$ 或 $\theta\geqslant 90°+C$ （1分）

即 $\theta\leqslant 45°$ 或 $\theta\geqslant 135°$ （2分）

14. （1）$\frac{\sqrt{6}}{4}$ （2）60°

命题点 光的折射、全反射

【解析】（1）光路图如图甲所示，



甲

$\angle C=30°$，$AC=BC$，

则 $\angle BAC=\angle B=75°$，

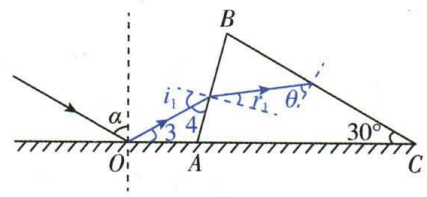
当 $\alpha=45°$ 时，

由几何关系得，光线在 AB 边上的入射角 $i=90°-(\angle BAC-\angle 1)=60°$ （1分）

由折射定律得 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ （1分）

解得 $\sin r=\frac{\sqrt{6}}{4}$ （1分）

（2）光在 BC 边上恰好发生全反射时，入射角等于临界角，光路图如图乙所示，



乙

$\sin\theta=\sin C=\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}$ （1分）

则 $\theta=45°$ （1分）

由几何关系知光在 AB 边上的折射角为

$r_1=180°-(180°-\angle B)-\theta=30°$ （1分）

由折射定律得 $n=\frac{\sin i_1}{\sin r_1}$ （1分）

解得 $i_1=45°$ （1分）

由几何关系得 $\alpha=60°$ （1分）

第16章　近代物理

第1节　光电效应　波粒二象性

刷基础

1. C **考查点** 光电效应

【解析】正常工作时，光电管阴极 K 上逸出光电子，因此 A 端接电源正极，B 端接电源负极（**关键点：**若 A 端接电源负极，B 端接电源正极，则相当于接反向电压，不利于光电子到达光电管另一端），电阻 R 上的电流方向自上而下，A、D 项错误；紫外线的频率比可见光大，则换用紫外线照射光电管时有光电效应发生，电路有电信号输出，B 项错误；正常工作时，光照强度越大，光电流越大，电阻 R 两端的电压越大，C 项正确.

2. D **考查点** 遏止电压、爱因斯坦光电效应方程、光子动量的公式

【解析】图甲中滑片向 a 端移动，则所加电压为反向电压，所以微安表的示数不可能增大，A 错误；根据动能定理、光电效应方程可得 $eU_c=h\nu-W_0$，所以 $U_c=\frac{h}{e}\nu-\frac{W_0}{e}$，可知图乙中直线的斜率为 $\frac{h}{e}$，B 错误；由 $W_0=h\nu_c$，可得 $W_0\approx 1.77\ \text{eV}$，C 错误；由图乙可知，$A$ 点的入射光频率为 $\nu_1=5.5\times10^{14}\ \text{Hz}$，则入射光光子的动量为 $p=\frac{h}{\lambda}=\frac{h\nu_1}{c}\approx 1.2\times10^{-27}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，D 正确.

关键点拨 当滑片 P 向 a 端移动时，下方 O 点的电势高于滑片 P 所在位置的电势，所加电压为反向电压；当滑片 P 向 b 端移动时，下方 O 点的电势低于滑片 P 所在位置的电势，所加电压为正向电压.

3. D **考查点** 光子能量、动量的公式

【解析】碰撞前光子的动量和能量分别为 $p=\frac{h}{\lambda}$、$E=\frac{hc}{\lambda}$，A、B 错误；碰撞后光子的动量和能量分别为 $p'=\frac{2h}{3\lambda}$、$E'=\frac{2hc}{3\lambda}$，C 错误，D 正确.

4. C **考查点** 饱和光电流的本质及其决定因素

【解析】直线 AB 对应的电压是用不同频率光照射时 A、K 两端加的遏止电压，由动能定理和光电效应方程有 $eU_{ab}=E_k$，$E_k=h\nu-W_0$，解得 $eU_{ab}=h\nu-W_0$，变形得 $\nu=\frac{e}{h}U_{ab}+\frac{W_0}{h}$，由题意有 $\frac{e}{h}=k$，$\frac{W_0}{h}=\nu_0$，解得 $h=\frac{e}{k}$，$W_0=\frac{e\nu_0}{k}$，A 错误；由图乙可知，D 点和 C 点对应的电压相同，D 点对应的入射光频率更大，但形成的光电流的大小还与入射光的强度有关，由图无法判断两种情况下的入射光强度，D 点条件下形成的光电流不一定比 C 点条件下形成的光电流大，B 错误；由光电效应方程和动能定理可得满足 D 点条件的光电子到达 A 极的最大动能为 $E_{kD}=eU_1+h\nu_1-W_0$，解得 $E_{kD}=U_1e+\frac{e}{k}(\nu_1-\nu_0)$，C 正确；因为存在饱和光电流，所以在光照

强度相同的情况下，沿直线从 A 到 D，灵敏电流计示数不一定逐渐变大，D 错误.

易错警示 当入射光频率相同时，饱和光电流的大小由入射光强度决定，入射光强度越大饱和光电流越大，题图中没有给出入射光的强度信息，无法判断饱和光电流的大小.

第 2 节　原子结构

刷基础

1. BC 考查点：α 粒子散射实验

【解析】原子的内部是很空阔的，原子核非常小，所以绝大多数 α 粒子的运动轨迹没有发生偏转，则在位置 3 接收到的 α 粒子最多，所以 A 错误；在位置 1 接收到 α 粒子说明正电荷不可能均匀分布在原子内，所以 B 正确；位置 2 接收到的 α 粒子一定比位置 1 接收到的 α 粒子所受金原子核斥力的冲量小，因为在位置 1，α 粒子速度几乎反向，则动量的变化量大，所以冲量大，则 C 正确；若正电荷均匀分布在原子内，则 1、2 位置几乎接受不到 α 粒子，3 位置接受得最多，所以 D 错误.

2. A 考查点：氢原子能级图

【解析】由能级图可得 $E_4-E_1=12.75\ \text{eV}$，$E_3-E_1=12.09\ \text{eV}$，$E_2-E_1=10.2\ \text{eV}$，$E_4-E_2=2.55\ \text{eV}$，$E_3-E_2=1.89\ \text{eV}$，$E_4-E_3=0.66\ \text{eV}$，由于可见光的光子能量范围约为 1.62～3.11 eV，则一群处于 $n=4$ 能级的氢原子，向低能级跃迁过程中产生的不同频率的可见光共有 2 种，故选 A.

3. D 考查点：原子结构、跃迁

【解析】由于原子能级具有分立性，可知氢原子的光谱是分立谱，A 正确；大量处于 $n=4$ 能级的氢原子向 $n=2$ 能级跃迁时，能产生不同频率的光子：4 能级到 2 能级、4 能级到 3 能级与 3 能级到 2 能级，可知能产生 3 种不同频率的光子，B 正确；氢原子由低能级跃迁至高能级需要吸收能量，可知氢原子不可以自发地从基态向 $n=5$ 能级跃迁，C 正确；结合题意可知，a 光的光子能量大于 b 光的光子能量，根据 $E=h\nu$ 可知，a 光的频率大于 b 光的频率，由于蓝光的频率大于红光的频率，可以判定，若 b 光是蓝光，则 a 光不可能是红光，D 错误. 故选 D.

4. B 考查点：氢原子能级图

【解析】与可见光相比，紫外线的频率高，能量高，题目列出的线系中能量最高的即为紫外光区. 而根据频率 $\nu=\dfrac{c}{\lambda}$，即波长最短的为紫外光区，根据 $\dfrac{1}{\lambda}=R\left(\dfrac{1}{m^2}-\dfrac{1}{n^2}\right)$，可得 $\dfrac{1}{m^2}-\dfrac{1}{n^2}$ 最大时波长最短，频率最高能量最大即对应紫外光区，则赖曼系的能量最高为紫外光区，A 错误；若巴耳末系的某种光能使某种金属发生光电效应，根据题图可知赖曼系光子的能量都大于巴耳末系的光子的最大能量，则赖曼系的光都能使该金属发生光电效应，B 正确；每一次能级跃迁都会释放出一个光子，氢原子不会变成离子，C 错误；巴耳末系中能量最小的光子的能量为 $E_{\min}=-1.51\ \text{eV}-(-3.4)\ \text{eV}=1.89\ \text{eV}$，赖曼系中能量最大的光子的能量为 $E_{\max}=0\ \text{eV}-(-13.6)\ \text{eV}=13.6\ \text{eV}$，根据 $E=h\nu$ 可知巴耳末系中能量最小的光子的频率与赖曼系中能量最大的光子频率之比为 $\dfrac{\nu_{\min}}{\nu_{\max}}=\dfrac{E_{\min}}{E_{\max}}=\dfrac{1.89}{13.6}=\dfrac{189}{1\,360}$，D 错误.

5. C 考查点：氢原子能级图、单个氢原子的跃迁

【解析】一个氢原子吸收光子能量后由基态跃迁到 $n=4$ 的激发态，然后向低能级跃迁，可知最多可发出 3 种能量的光子，A、B 错误；一个氢原子吸收光子能量后由基态跃迁到 $n=4$ 的激发态，则吸收的光子的能量为 $\Delta E=E_4-E_1=-0.85\ \text{eV}-(-13.6)\ \text{eV}=12.75\ \text{eV}$，C 正确；同理氢原子由激发态向低能级跃迁时，发出光子的能量也要等于两个能级的能量差，0.85 eV 不符合两个能级的能量差，D 错误.

易错警示 一个氢原子向基态跃迁时，能够辐射的光子种类最多为 $n-1$ 种.

第 3 节　原子核

刷基础

1. C 考查点：α、β 和 γ 三种射线的性质

【解析】射线 1 为 α 射线，带正电，A 错误；射线 2 为 γ 射线，电离能力很弱，B 错误；射线 3 为 β 射线，带负电，光电效应现象中从金属板中逸出的为核外电子，带负电，二者为同一种粒子，C 正确；三束射线穿透能力不同，2 最强，3 比较强，1 最弱，D 错误.

2. A 考查点：衰变、半衰期、核反应方程

【解析】根据电荷数守恒，U 的电荷数为 $Z=90+0+2=92$，根据质量数守恒，U 的质量数为 $A=232+1=233$，A 正确；该反应属于人工核转变，B、C 错误；半衰期不会随着环境温度改变而改变，D 错误.

3. B 考查点：α 衰变和 β 衰变的次数

【解析】每一次 α 衰变，质量数减少 4，电荷数减少 2，每一次 β 衰变，质量数不变，电荷数增加 1，根据 $232-220=4m$，$90-86=2m-n$，解得 $m=3$，$n=2$，B 正确.

4. D 考查点：核裂变、β 衰变

【解析】^{232}Th 的增殖反应既不是裂变反应也不是聚变反应，A 错误；^{233}U 与 ^{233}Pa 的质量数相同，但属于不同类型的原子，质子数不同，B 错误；β 衰变辐射的电子是中子转化成质子时产生的，电子不可能单独存在于原子核内，C 错误；该反应堆在反应过程中产生的核废料更少，该反应堆中有重核 ^{233}U，核废料具有放射性，D 正确.

5. D 考查点：半衰期、质能方程

【解析】根据质量数守恒，X 的质量数为 $235-139-95=1$，根据电荷数守恒，X 的电荷数为 $92-54-38=0$，所以该核反应中的 X 是中子 ^1_0n，A 错误；半衰期是原子核自身属性，不随外界环境变化而变化，B 错误；一个铀原子核反应放出的能量 $E_1=139\times8.4\ \text{MeV}+95\times8.7\ \text{MeV}-235\times7.6\ \text{MeV}=208.1\ \text{MeV}\approx3.3\times10^{-11}\ \text{J}$，1 kg 铀含有的原子数 $N=\dfrac{M}{m_{\text{mol}}}N_{\text{A}}=2.6\times10^{24}$ 个，1 kg 铀释放的能量为 $E=NE_1=8.58\times10^{13}\ \text{J}$，C 错误；按照比结合能的定义可知 $\Delta m_{\text{Xe}}=\dfrac{139\Delta E_{\text{Xe}}}{c^2}$，$\Delta m_{\text{Sr}}=\dfrac{95\Delta E_{\text{Sr}}}{c^2}$，质子的质量与中子的质量接近，设为 m，则 $\overline{m}_{\text{Xe}}=\dfrac{139m-\Delta m_{\text{Xe}}}{139}=m-\dfrac{\Delta m_{\text{Xe}}}{139}$，$\overline{m}_{\text{Sr}}=\dfrac{95m-\Delta m_{\text{Sr}}}{95}=m-\dfrac{\Delta m_{\text{Sr}}}{95}$，所以

Xe 与 Sr 的平均核子质量相差为 $\Delta m=\overline{m}_{Xe}-\overline{m}_{Sr}\approx 5.3\times10^{-31}$ kg，D 正确.

6. D 考查点▸核反应、比结合能

【解析】核反应中电荷数与质量数均守恒，根据电荷数和质量数守恒可知，X 为中子（${}_0^1n$），A、B 错误；氢核聚变释放大量的核能，生成物更稳定，结合能增大，比结合能也增大，C 错误，D 正确.

易错警示 结合能大小与原子核种类及核子数均有关系，不能反映原子核稳定程度，而比结合能越大越稳定.

专题 23　原子物理与其他知识综合问题

刷 难关

1. C 突破点▸原子物理、光的干涉

【解析】用单色光 a、b 分别照射同一双缝干涉实验装置，双缝到光屏的距离保持不变，由公式 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$ 可知，单色光 a 比单色光 b 波长短，频率大. 单色光 a 比单色光 b 波长短，更不容易发生明显衍射，A 错误；单色光 a 的频率大于单色光 b 的频率，B 错误；根据 $\varepsilon=h\nu$ 可知，单色光 a 的光子能量大于单色光 b 的光子能量，C 正确；单色光 a 的频率大于单色光 b，则同一玻璃砖对单色光 a 的折射率大，由公式 $v=\frac{c}{n}$ 可知，在同一玻璃砖中单色光 a 的传播速度比 b 小，D 错误.

2. CD 突破点▸光电效应、光的折射定律、折射率、干涉

【解析】玻璃砖对 a 光的折射率 $n_a=\frac{\sin 45°}{\sin 30°}=\sqrt{2}$，则 a 光的临界角为 $\sin C_a=\frac{1}{n_a}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，可得 $C_a=45°$，A 错误；由图可知 a 光的偏折程度小于 b 光，可知 a 光的折射率小于 b 光的折射率，a 光的频率小于 b 光的频率，则如果 a 光能使某种金属发生光电效应，则 b 光一定也能使这种金属发生光电效应，B 错误；因 a 光的频率小于 b 光的频率，则 a 光波长大于 b 光的波长，根据 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知，用同一装置对 a 光和 b 光分别进行双缝干涉实验，a 光在光屏上得到的条纹间距较大，C 正确；设玻璃砖的宽度为 d，进入玻璃砖光线的折射角为 θ，则光线在玻璃砖中走过的路程 $x=\frac{d}{\cos\theta}$，光线在玻璃砖中的传播时间 $t=\frac{x}{v}=\frac{d}{\cos\theta}\cdot\frac{n}{c}=\frac{d}{\cos\theta}\cdot\frac{1}{c}\cdot\frac{\sin\alpha}{\sin\theta}=\frac{2d\sin\alpha}{c\cdot\sin 2\theta}$，因为入射角相同，单色光 a 比单色光 b 的折射角大，且 $2\theta<90°$，则 a 光比 b 光通过玻璃砖的时间短，D 正确.

3. (1) $\frac{1}{B_0}\sqrt{\frac{2m_0U_0}{e}}$　(2) R　(3) $h\nu+eU_0-\frac{e^2B_1^2R^2}{2m_0}$

突破点▸爱因斯坦光电效应方程、粒子由电场进入磁场

【解析】(1) 光电子在电场中加速，根据动能定理有 $eU_0=\frac{1}{2}m_0v^2$，在磁场中，根据洛伦兹力提供向心力有 $evB_0=\frac{m_0v^2}{R_1}$，联立解得 $R_1=\frac{1}{B_0}\sqrt{\frac{2m_0U_0}{e}}$.

(2) 能打在接收器上的光电子在磁场中的运动轨迹半径 $r=R$，由几何关系可得，$\theta=30°$ 偏上进入的光电子打在 P 点右侧 x 处，根据几何关系有 $x=R\sin 30°=\frac{R}{2}$，$\theta=30°$ 偏下进入的光电子打在 P 点左侧 x' 处，有 $x'=R\sin 30°=\frac{R}{2}$，粒子接收器上能接收到光电子的长度 $L=x'+x=R$.

(3) 当磁感应强度最大时，对应最大的入射速度 $v_{max}=\frac{eB_1R}{m_0}$，$A$ 板处光电效应逸出光电子的最大动能 $\frac{1}{2}m_0v_0^2=h\nu-W_0$，经过电场加速后有 $eU_0=\frac{1}{2}m_0v_{max}^2-\frac{1}{2}m_0v_0^2$，解得 $W_0=h\nu+eU_0-\frac{e^2B_1^2R^2}{2m_0}$.

全章素养提升

刷 真题

1. BD 命题点▸光电效应

【解析】金属的逸出功与金属本身有关，与入射光无关，A 错误；光子的能量 $E=h\nu$，与入射光强度无关，B 正确；根据爱因斯坦光电效应方程 $h\nu=E_{k0}+W_0$ 可知，逸出的光电子最大初动能与入射光的强度无关，C 错误；入射光的强度增加，可知单位时间内入射的总能量增加，每个光子的能量不变，故单位时间内入射的光子数增多，则单位时间内逸出的光电子数增多，D 正确.

2. C 命题点▸动能定理、德布罗意波

【解析】设电子经电压 $U=100$ V 加速后速度达到 v_1，由动能定理得 $eU=\frac{1}{2}mv_1^2-0$，则电子的动量为 $p_1=mv_1$，德布罗意波长为 $\lambda=\frac{h}{p_1}$，当加速电压 $U'=10\text{ kV}=100U$ 时，有 $eU'=\frac{1}{2}mv_2^2-0$，$p_2=mv_2$，$\lambda'=\frac{h}{p_2}$，解得 $\lambda'=\frac{\lambda}{10}$，C 正确.

3. BC 命题点▸光电效应、衍射、能级跃迁、德布罗意波

【解析】根据光电效应方程及动能定理得 $U_ce=\frac{1}{2}mv_m^2=h\nu-W_{逸出功}$，$Q$ 的截止电压大于 R 的，故 Q 的频率大于 R 的频率，Q 的波长小于 R 的波长，单缝衍射中央亮纹的宽度与波长成正比，则 Q 的中央亮纹比 R 窄，A 错误；同理可知，P、Q 产生的光电子在 K 处 Q 的最大初动能比 P 的大，根据 $\lambda=\frac{h}{p}$ 知，$\lambda_{min}=\frac{h}{\sqrt{2mE_{km}}}$，最小德布罗意波长 P 大于 Q，B 正确；Q 对应的能量最大，则氢原子向第一激发态跃迁发光时，根据 $h\nu=E_m-E_2$ 可知，三束光中 Q 对应的能级最高，C 正确；对应于题图 2 中的 M 点，P 和 Q 的光电流相等，故 P 和 Q 单位时间到达阳极 A 的光电子数目相等，D 错误.

4. AD 命题点▸双缝干涉、光电效应

【解析】双缝干涉：根据 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，可得电子的德布罗意波长 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$，所以电子的动量 $p_e=\frac{h}{\lambda}=\frac{hL}{d\Delta x}$，A 正确；电子的动能 $E_k=$

$\frac{p_e^2}{2m}=\frac{h^2L^2}{2md^2(\Delta x)^2}$，B 错误.

光电效应：根据爱因斯坦光电效应方程有 $h\nu=W_0+E_k$，光子的能量 $E=h\nu=W_0+E_k=W_0+\frac{h^2L^2}{2md^2(\Delta x)^2}$，C 错误；光子的动量 $p=\frac{E}{c}=\frac{W_0}{c}+\frac{h^2L^2}{2cmd^2(\Delta x)^2}$，D 正确.

5. C **命题点** ▸光电效应、能级跃迁

【解析】只有一种光子可使某金属发生光电效应，则该光子的能量最大，根据题图中能级图知跃迁时对应波长为 λ_3 的光子能量最大，C 正确.

6. B **命题点** ▸氢原子能级跃迁

【解析】大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁时可以辐射出的光子种类为 $C_3^2=3$ 种，其中 $n=3$ 能级的氢原子向 $n=2$ 能级跃迁时，发出的光子能量 $\Delta E_1=E_3-E_2=1.89\ \text{eV}<3.11\ \text{eV}$，$n=2$ 能级的氢原子向 $n=1$ 能级跃迁时，发出的光子能量 $\Delta E_2=E_2-E_1=10.2\ \text{eV}>3.11\ \text{eV}$，$n=3$ 能级的氢原子向 $n=1$ 能级跃迁时，$\Delta E_3=E_3-E_1=12.09\ \text{eV}>3.11\ \text{eV}$，故辐射不同频率的紫外光有 2 种，B 正确.

7. C **命题点** ▸氢原子光谱、衍射、折射、光电效应

【解析】由 $\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ 和 $c=\lambda f$，解得 $f=cR\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n$ 越大，频率越大，相邻光的频率之差越小，由题图知，H_δ 的频率大于 H_γ 的频率，由 $c=\lambda f$ 知，H_δ 的波长小于 H_γ 的波长，由波长越长衍射现象越明显知，照射同一衍射装置，H_δ 的中央明条纹宽度窄，A 错误；频率越大，折射率越大，偏折程度越大，以相同入射角斜射入平行玻璃砖，H_δ 光的侧移量大，B 错误；功率 $P=nh\nu$，故以相同功率发射的细光束，频率越大，光子数越少，真空中单位长度上 H_γ 光的平均光子数多，C 正确；频率越大，光子能量越大，相同光强的光，H_γ 光的光子数多，故分别照射同一光电效应装置时 H_γ 光的饱和光电流大，D 错误.

8. B **命题点** ▸核反应方程

【解析】由题意可知该核反应方程为 ${}_{90}^{232}\text{Th}+x{}_0^1\text{n}\rightarrow{}_{92}^{233}\text{U}+y{}_{-1}^{0}\text{e}$，根据核反应过程中质量数守恒及电荷数守恒得 $x=233-232=1$，$y=92-90=2$，B 正确.

9. ABC **命题点** ▸核反应方程、光子能量

【解析】根据核反应过程质量数守恒和电荷数守恒有 $A=100$，$y=2$，A、B 正确；根据光子能量 $E=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$ 可知，γ_1 光子的频率大于 γ_2 光子的频率，γ_1 光子的波长小于 γ_2 光子的波长，C 正确，D 错误.

10. C **命题点** ▸核反应方程、半衰期

【解析】设 X 的质量数为 a，电荷数为 b，根据核反应过程中质量数守恒及电荷数守恒，可得 $a=18$，$b=8$，X 为 ${}_8^{18}\text{O}$，A 错误；该反应为正 β 衰变，不是核聚变，B 错误；1 g ${}_9^{18}\text{F}$ 经过一个半衰期，质量变为原来的 $\frac{1}{2}$，还剩下 0.5 g，C 正确；${}_0^0\nu$ 的电荷数为 0，在磁场中不受洛伦兹力，不会发生偏转，D 错误.

11. B **命题点** ▸半衰期

【解析】采集时 ${}_4^7\text{Be}$ 原子个数设为 x，由题意可知，经过 106 天，${}_4^7\text{Be}$ 经历两个半衰期，原子个数变为原来的四分之一，${}_4^{10}\text{Be}$ 不考虑衰变（**关键点：**106 天相对于 139 万年可忽略不计，故可认为 ${}_4^{10}\text{Be}$ 数量不变），采集时 ${}_4^{10}\text{Be}$ 原子个数设为 y，保持不变，总数变为原来的 $\frac{3}{4}$，则有 $\frac{\frac{1}{4}x+y}{x+y}=\frac{3}{4}$，解得 $\frac{x}{y}=\frac{1}{2}$，B 正确.

12. D **命题点** ▸原子核衰变

【解析】核反应方程遵循质量数守恒和电荷数守恒，则 ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ 衰变成 ${}_{39}^{90}\text{Y}$ 的核反应方程为 ${}_{38}^{90}\text{Sr}\rightarrow{}_{39}^{90}\text{Y}+{}_{-1}^{0}\text{e}$，A 错误；${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 衰变成 ${}_{92}^{234}\text{U}$ 的核反应方程为 ${}_{94}^{238}\text{Pu}\rightarrow{}_{92}^{234}\text{U}+{}_2^4\text{He}$，B 错误；相同数目的 ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ 经 50 年，衰变超过一半，剩余的 ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ 数目少于一半，${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 经 50 年，还没有半数发生衰变，剩余的 ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 数目多于一半，则剩余的 ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 数目多，C 错误；相同数目的 ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ 经 87 年，经过三个半衰期，剩余的数目是原来的 $\left(\frac{1}{2}\right)^3=\frac{1}{8}$，${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 经 87 年，刚好有半数发生衰变，剩余的数目是原来的 $\frac{1}{2}$，则剩余的 ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 数目多，D 正确.

13. D **命题点** ▸核反应、比结合能、质能方程、核聚变

【解析】核反应过程中质量数和电荷数守恒，核反应方程式为 ${}_1^2\text{H}+{}_1^3\text{H}\rightarrow{}_2^4\text{He}+{}_0^1\text{n}$，A 错误；核反应过程中，生成物比反应物要稳定，比结合能越大，原子核越稳定，故氘核的比结合能比氦核的小，B 错误；核力是短程力，数量级在 10^{-15} m 内才会发生核聚变，故氘核与氚核的间距达到 10^{-10} m 不会发生核聚变，C 错误；一个氘核与一个氚核聚变反应质量亏损 $\Delta m=(2.0141+3.0161-4.0026-1.0087)\text{u}=0.0189\ \text{u}$，聚变反应释放的能量是 $\Delta E=\Delta m\cdot 931.5\ \text{MeV}\approx 17.6\ \text{MeV}$，4 g 氘完全参与聚变释放出能量 $E=\frac{4}{2}\times 6.0\times 10^{23}\times\Delta E\approx 2.11\times 10^{25}\ \text{MeV}$，数量级为 $10^{25}\ \text{MeV}$，D 正确.

第 17 章　创新实验专题

第 1 节　力学实验

刷 提分

1. (1) $\frac{d}{t_1'}$　$t_1'=t_2'$　**(2) 不需要**　**(3)** $\frac{d^2M}{2L}$　**(4) 见解析**

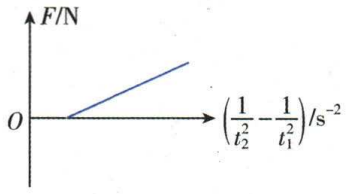
创新点 ▸验证牛顿第二定律实验方法的改进

【解析】(1) 根据题意可知，遮光板 1 经过光电门时的速度为 $v_1=\frac{d}{t_1'}$；若小车做匀速直线运动，则有 $t_1'=t_2'$.

(2) 根据题意可知，合力的测量值为 $F=(m+m_0)g$，无需满足小车的质量远远大于砝码和砝码盘的质量.

(3) 根据牛顿第二定律有 $F=Ma$，根据运动学规律有 $\left(\frac{d}{t_2}\right)^2-\left(\frac{d}{t_1}\right)^2=2aL$，联立可得 $F=\frac{d^2M}{2L}\left(\frac{1}{t_2^2}-\frac{1}{t_1^2}\right)$，图像的斜率为 $k=\frac{d^2M}{2L}$.

(4)应该记录砝码和砝码盘的质量($m+m_0$),如果只记录砝码的质量,则不加砝码时也存在合外力,即在外力为零时,加速度不为零,即图像的斜率不变,与横轴有交点,如图.



2. (1)自由落体　(2)匀速直线　(3)1(或1.0)

创新点▸验证平抛运动规律实验方法的改进

【解析】(1)因为平抛运动在竖直方向上为自由落体运动,所以影子2做自由落体运动.

(2)M在N正上方且两斜槽在同一竖直平面内,从斜槽最高点同时释放两个完全相同的小球P、Q,P球落地时正好与Q球相碰,可判断P球水平方向做匀速直线运动.

(3)小球在水平方向有$x=v_0t$,在竖直方向有$y=\frac{1}{2}gt^2$,$\tan\theta=\frac{y}{x}$,所以$x=\frac{2v_0^2}{g}\tan\theta$,结合题图丁可得$\frac{2v_0^2}{g}=\frac{0.1}{0.5}$ m,所以$v_0=1.0$ m/s.

3. (1)$\frac{d}{tr_1}$　(2)BC　(3)$\frac{k}{r_1-r_2}$

创新点▸利用向心力测量物块的质量

【解析】(1)物块1匀速转动的线速度大小$v=\frac{d}{t}$,由线速度与角速度的关系$v=\omega r_1$,可得$\omega=\frac{d}{tr_1}$.

(2)物块与水平转台间刚好达到最大静摩擦力时$\mu mg=mr\omega_0^2$,可得$\omega_0=\sqrt{\frac{\mu g}{r}}$,当$\omega\leqslant\omega_0$时,转台对物块的摩擦力提供向心力,当$\omega>\omega_0$时,绳对物块的拉力和转台对物块的摩擦力的合力提供向心力.

(3)对物块1有$F_1+\mu mg=mr_1\omega^2$,对物块2有$F_2+\mu mg=mr_2\omega^2$,所以$F_1-F_2=m(r_1-r_2)\omega^2$,由此可知题图乙的图线斜率$k=m(r_1-r_2)$,解得$m=\frac{k}{r_1-r_2}$.

4. (1)A　(2)$\frac{d}{\Delta t_1}$　$\frac{d}{\Delta t_2}$　(3)Fh　$\frac{md^2}{8}\left[\frac{1}{(\Delta t_2)^2}-\frac{1}{(\Delta t_1)^2}\right]$

创新点▸探究合外力做功与动能变化量的关系

【解析】(1)该实验中力传感器测量细绳中拉力,不需要重物质量远小于滑块质量,A正确;实验中,滑块的位移由两光电门的距离决定,重物经过两光电门前后,滑块的动能变化量可以直接计算,所以重复多次实验时每次没有必要从同一位置静止释放重物,也不需要测量重物(含遮光条)的质量,B、C错误.

(2)通过光电门A、B时,重物(含遮光条)的速度大小$v_A=\frac{d}{\Delta t_1}$,$v_B=\frac{d}{\Delta t_2}$.

(3)重物从A点运动到B点过程中,合外力对滑块做功的表达式为$W=2F\cdot\frac{h}{2}=Fh$;滑块动能变化量的表达式为$\Delta E_k=\frac{1}{2}m\cdot\left(\frac{v_B}{2}\right)^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{v_A}{2}\right)^2=\frac{md^2}{8}\left[\frac{1}{(\Delta t_2)^2}-\frac{1}{(\Delta t_1)^2}\right]$.

5. (1)大　(2)5.40　(3)$\tan\theta-\frac{d^2}{2gt^2\cos\theta}\cdot\frac{1}{L}$　$\frac{1}{t^2}$　(4)气垫导轨

创新点▸利用牛顿第二定律测量动摩擦因数

【解析】(1)挡光片的宽度越大,挡光片经过光电门的时间越长,滑块的瞬时速度误差就越大.

(2)挡光片的宽度为5 mm+8×0.05 mm=5.40 mm.

(3)滑块在长铁片上滑动时,设滑块的质量为m,加速度大小为a,由牛顿第二定律得$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$,得$a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$,滑块通过光电门的速度大小$v=\frac{d}{t}$,由运动学公式$v^2=2aL$,联立解得$\mu=\tan\theta-\frac{d^2}{2gt^2\cos\theta}\cdot\frac{1}{L}$,即$L=\frac{d^2}{2(\tan\theta-\mu)g\cos\theta}\cdot\frac{1}{t^2}$,如果$x$轴表示$A$、$B$两点间的距离$L$,那么,$y$轴表示$\frac{1}{t^2}$,得到的图像是一条经过坐标原点的直线.

(4)利用该实验装置,只需要将图中的长铁片换成气垫导轨,其他设备仪器均不变,就可以验证机械能守恒定律.

6. (1)B　(2)$\frac{d}{2\Delta t}$　(3)$(xgk-N)m_0$　(4)偏小

创新点▸验证机械能守恒定律的实验操作、数据处理和误差分析

【解析】(1)滑块释放时若尽量靠近光电门,则通过光电门的速度很小,速度测量值误差较大,A错误;动滑轮上的细绳应尽量竖直,以有效减小砝码盘下落高度的测量实验误差,B正确;本实验不需要测量细绳上的拉力,不需要滑块质量必须远远大于砝码质量,C错误.

(2)滑块通过光电门时,滑块的速度大小为$v=\frac{d}{\Delta t}$,砝码盘中砝码的速度大小为$v_1=\frac{v}{2}=\frac{d}{2\Delta t}$.

(3)根据系统的机械能守恒定律,系统动能的增加量等于系统重力势能的减少量,即$\frac{1}{2}M\frac{d^2}{(\Delta t)^2}+\frac{1}{2}(N-n)m_0\frac{d^2}{(\Delta t)^2}+\frac{1}{2}nm_0\cdot\frac{d^2}{4(\Delta t)^2}=nm_0g\cdot\frac{x}{2}$,解得$\frac{(\Delta t)^2}{d^2}=\frac{M+Nm_0}{m_0gx}\cdot\frac{1}{n}-\frac{3}{4gx}$,所绘制的$\left(\frac{\Delta t}{d}\right)^2-\frac{1}{n}$图像斜率为$k$,则$\frac{M+Nm_0}{m_0gx}=k$,解得滑块的质量$M=(xgk-N)m_0$.

(4)本实验中系统机械能守恒,动滑轮、砝码盘以及砝码盘中砝码的机械能的减少量等于滑块和滑块上砝码增加的机械能(动能),$\Delta E_{减}=\Delta E_{增}=\frac{1}{2}[M+(N-n)m_0]v^2$,由于未测量动滑轮和砝码盘的质量,所以减少的机械能偏小,则得出的滑块的质量与实际值相比将会偏小.

7. (1) $m_1\frac{d}{t_1}+m_1\frac{d}{t_2}=m_2\sqrt{2gL(1-\cos\alpha)}$　(2) $\frac{t_1}{t_2}=\frac{m_2-m_1}{m_2+m_1}$

(3)①BC　②AB

创新点 ▸探究两钢球碰撞过程中系统动量与机械能是否守恒

【解析】(1)由题意,若两球碰撞过程中系统动量守恒,有 $m_1v_0=m_2v_2-m_1v_1$,其中 $v_0=\frac{d}{t_1}$、$v_1=\frac{d}{t_2}$、$\frac{1}{2}m_2v_2^2=m_2gL(1-\cos\alpha)$,可得应满足的关系式为 $m_1\frac{d}{t_1}+m_1\frac{d}{t_2}=m_2\sqrt{2gL(1-\cos\alpha)}$.

(2)若两球碰撞过程中系统动量、机械能都守恒,有 $m_1v_0=m_2v_2-m_1v_1$、$\frac{1}{2}m_1v_0^2=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$,可得 $v_1=\frac{m_2-m_1}{m_1+m_2}v_0$,代入 v_1 和 v_0,可得 $\frac{t_1}{t_2}=\frac{m_2-m_1}{m_2+m_1}$.

(3)①若碰后的系统机械能比碰前的少一些. 测量钢球 B 的摆角偏大,碰后速度偏大,碰后机械能偏大,A 不正确;圆弧凹槽存在摩擦,A 球碰后速度偏小,机械能偏小,B 正确;碰撞过程中发生的形变没能完全恢复,系统有机械能损失,C 正确.

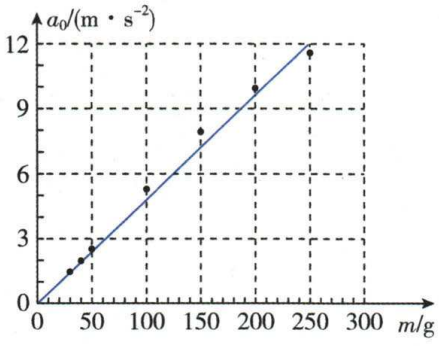
②若发现碰后的系统动量比碰前的多一些. 测量钢球 B 的摆角偏大,碰后速度偏大,碰后动量偏大,A 正确;圆弧凹槽存在摩擦,A 碰前动量偏大,碰后 A 向左的动量偏小,有可能系统碰后动量偏大,B 正确;碰撞过程中发生的形变没能完全恢复,不影响动量守恒,C 错误.

8. (3)A　(4)见解析　(5)200(195~205)　(6)9.45(9.22~9.69)

创新点 ▸根据简谐运动规律测量手机质量和弹簧劲度系数

【解析】(3)前面的数据波动是保持平衡时的轻微扰动,后续的数据波动是因为手机在做(近似)简谐运动,故第一个峰值即为手机在绳子被剪断时的瞬时加速度,故选"A"点.

(4)描点作图如下.



(5)设绳子没剪断时弹簧的弹力为 F,手机质量为 M,绳子未剪断时,有 $F-Mg-mg=0$,绳子剪断的瞬间,根据牛顿第二定律 $F-Mg=Ma_0$,联立解得 $a_0=\frac{g}{M}m$,故在 a_0-m 图像中,其斜率 $k=\frac{g}{M}$,结合图像解得 $M=\frac{g}{k}\approx200\ \mathrm{g}$.

(6)由题图可知振子的振动周期 $T=\frac{10.2-1.0}{20}\times2\ \mathrm{s}=0.92\ \mathrm{s}$,代入振子的周期公式可得 $k\approx9.45\ \mathrm{N/m}$.

9. (2)$\frac{FLt_a^2}{d^2}$　(4)等高　(5)4

创新点 ▸用动力学方法测质量、验证弹性碰撞

【解析】(2)由牛顿第二定律有 $F=\frac{m_av^2}{L}$,又有 $v=\frac{d}{t_a}$,解得小球 a 的质量为 $m_a=\frac{FLt_a^2}{d^2}$.

(4)该实验是在太空完全失重环境下进行,当小球 a 运动至最低点时剪断轻绳,由于惯性小球 a 将沿着圆周最低点切线方向做匀速直线运动,所以要使小球 a 与小球 b 能发生正碰,小球 b 放置的高度与小球 a 运动至最低点的高度相等.

(5)经过光电门时小球 a 的速度为 $v_a=\frac{d}{t_1}$,小球 b 的速度为 $v_b=\frac{d}{t_2}$. 若小球 a、b 的碰撞为弹性碰撞,应满足 $m_av_0=m_av_a+m_bv_b$、$\frac{1}{2}m_av_0^2=\frac{1}{2}m_av_a^2+\frac{1}{2}m_bv_b^2$,若测得 $\frac{m_a}{m_b}=2$,则由以上各式解得 $\frac{t_1}{t_2}=4$.

第2节　电学实验

刷提分

1. (1)①c　③见解析　(2)2.0　2.0　(3)0.25(0.23~0.27)

创新点 ▸描绘电动机的 $U-I$ 图线的实验步骤和数据处理、测量电源电动势和内阻

【解析】(1)①滑动变阻器采用分压式接法,为了确保安全,闭合开关之前,需要使得控制电路输出电压为 0,即应先将滑动变阻器的滑片 P 滑到 c 端;

③$U-I$ 图线中,图线上的点与坐标原点连线的斜率表示电阻,OA 段为直线表明电阻不变,原因是电压较小,电动机不转动,可视为纯电阻.

(2)断开 S_1,闭合 S_2,S_3 接 b,根据闭合电路欧姆定律有 $U=E-\frac{U}{R_1}r$,则有 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R_1}$,结合题图(c)有 $\frac{1}{E}=0.50\ \mathrm{V^{-1}}$,$\frac{r}{E}=\frac{0.50}{0.50}\ \Omega/\mathrm{V}$,解得 $E=2.0\ \mathrm{V}$,$r=2.0\ \Omega$.

(3)把两个上述规格的相同电动机串联后接在该电源两端,通过两电动机的电流相等,两电动机两端电压相等,根据题图(b)可知,当电流为 0.45 A 时,每个电动机两端电压约为 0.55 V,此时有 $0.45\times2\ \mathrm{V}+2\times0.55\ \mathrm{V}=2.0\ \mathrm{V}$,可知,此时恰好为把上述两个规格相同的电动机串联后接在该电源两端时电路的工作状态,则其中一个电动机的电功率为 $P=0.45\times0.55\ \mathrm{W}\approx0.25\ \mathrm{W}$.

2. (1)b　(2)50　(3)$\frac{1}{I}$　(4)1 250

创新点 ▸伏安法测电阻、力敏电阻

【解析】(1)电流表 A_1 内阻已知,可以准确地测量电流值和电压值,为减小测量误差,应把电流表内接,测量电路中电压表的右端应接在 b 端.

(2)根据欧姆定律有 $U=I(R_x+R_{A1})$,解得 $R_x=50\ \Omega$.

(3)根据闭合电路欧姆定律有 $E=I(R_0+R_{A2}+R_x)$,由 $R_x=\frac{k}{F}$,解得 $\frac{1}{F}=\frac{E}{kI}-\frac{1}{k}(R_0+R_{A2})$,可知 $\frac{1}{F}$ 与 $\frac{1}{I}$ 成线性关系.

(4)由 $R_x=\frac{k}{F}$,已知压力 $F_N=500$ N 时,$R_x=50$ Ω,解得 $k=25\,000$ N·Ω,可知当施加最大压力时,R_x'最小,电流最大,电流为 $I_m=\frac{2}{3}\times0.6$ A$=0.4$ A,由 $E=I_m(R_0+R_{A2}+R_x')$,解得 $R_x'=20$ Ω,由 $R_x'=\frac{k}{F'}$,解得 $F'=1\,250$ N.

3. (1)保护电源　(2)2.83　1.03　(3)1.94

创新点▸测量电源电动势和内阻的实验步骤和数据处理

【解析】(1)为防止滑动变阻器接入电路的阻值为零导致电路电流太大损坏电源,要在电路中接入保护电阻,因此定值电阻 R_0 在电路中的作用是保护电源.

(2)根据闭合电路欧姆定律 $U=E-Ir$、$U-I$ 图像表达式可知,电源电动势 $E=2.83$ V,内阻 $r=1.03$ Ω.

(3)由题意可知 $y=IU=P_{出}$、$x=\frac{U}{I}=R_{外}$,则功率 $P_{出}=I^2R_{外}=\left(\frac{E}{R_{外}+r}\right)^2R_{外}=\frac{E^2}{\frac{(R_{外}-r)^2}{R_{外}}+4r}$,当 $R_{外}=r=1.03$ Ω 时,电源的输出功率最大,$P_{max}=\frac{E^2}{4r}\approx1.94$ W,所以图像最高点 A 点的纵坐标 $y=1.94$ W.

4. (1)黑　(2)4　36　(3)×1　100 Ω

创新点▸多用电表测电阻的方法、操作步骤、注意事项和读数

【解析】(1)根据电阻表的"红入黑出"原则,c 端接黑表笔.

(2)由串、并联电路特点及欧姆定律得,10 mA$=1$ mA$+\frac{I_gR_g}{R_1+R_2}$,100 mA$=1$ mA$+\frac{I_gR_g+I_gR_2}{R_1}$,由以上两式得 $R_1=4$ Ω,$R_2=36$ Ω.

(3)由题意及闭合电路欧姆定律得,开关 S_2 接 1 时 $R_{内1}=\frac{E}{100\text{ mA}}$,开关 S_2 接 2 时 $R_{内2}=\frac{E}{10\text{ mA}}$,由以上两式得 $R_{内1}<R_{内2}$,因为电阻表内阻大的挡位大,所以将开关 S_2 接 1 时,电阻表的挡位为"×1";欧姆调零后将待测电阻 R_x 接在 c、d 间,发现电流表指针偏转角很小,断开电路并将挡位换成"×10"挡,此时开关 S_2 接 2,设此时滑动变阻器电阻大小为 R,由闭合电路欧姆定律得 $R=\frac{E-I_gR_g}{10\text{ mA}}$,$R+R_x=\frac{E-0.6R_g}{I}$ Ω,又 $I=0.6\text{ mA}+\frac{0.6R_g}{R_1+R_2}$ mA$=6$ mA,联立以上三式并代入数据得 $R_x=100$ Ω.

5. (2)1.595(1.594~1.597)　(4)右　(5)$\frac{R_2R_3}{R_1}$　100.7

创新点▸电桥法测电阻、测量金属丝的电阻率的实验操作和数据处理

【解析】(2)螺旋测微器的读数为 $d=1.5$ mm$+9.5\times0.01$ mm$=1.595$ mm.

(4)为保证电路安全,闭合开关前,滑动变阻器的阻值应该调节到最大,故滑片应滑到右端.

(5)电流计示数为零时,表明达到了电桥平衡,此时有$\frac{R_1}{R_3}=\frac{R_2}{R_x}$,解得 $R_x=\frac{R_2R_3}{R_1}$;根据电阻定律 $R_x=\rho\frac{L}{S}$、$S=\frac{\pi d^2}{4}$,代入数据解得 $l=\frac{L}{5}=100.7$ m.

6. (2)$\frac{U_1R_1R_2+(U_1-U_2)R_2R}{U_2R}$　(4)$\frac{1}{4}k\pi d^2$　**温度越高水的电阻率越小(或者温度越低水的电阻率越大)**　(5)3.94

创新点▸测量自来水的电阻率

【解析】(2)开关拨到 1 位置时,电压表 V_1 示数为 U_1,开关拨到 2 位置时,电压表 V_2 示数为 U_2,则 $E=U_1+\frac{U_1}{R}R_1$,$E=\frac{U_2}{R_2}R_x+U_2$,联立可得 $R_x=\frac{U_1R_1R_2+(U_1-U_2)R_2R}{U_2R}$.

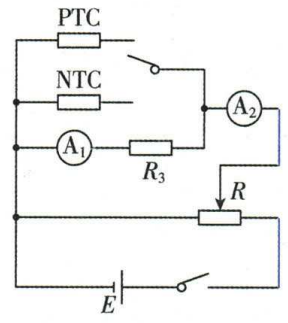
(4)根据 $R_x=\rho\frac{l}{S}$,$S=\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2$,联立可得 $R_x=\frac{4\rho}{\pi d^2}\cdot l$,若 R_x-l 图线的斜率为 k,则自来水的电阻率表达式为 $\rho=\frac{1}{4}k\pi d^2$. 由题图乙可知温度越高,图线斜率 k 越小,结合前面分析可知:温度越高水的电阻率越小(或者温度越低水的电阻率越大).

(5)由题意,可得长度最短时该塑料管中水的阻值为 $R_x=\frac{U}{I}=\frac{220}{1.0\times10^{-2}}=2.2\times10^4$ Ω,由图像Ⅱ可得 $k=\frac{10\times10^3}{0.7}$ Ω/m,由 $R_x=\frac{4\rho}{\pi d_2^2}\cdot l$,$\rho=\frac{1}{4}k\pi d_1^2$,联立可得 $l=\left(\frac{d_2}{d}\right)^2\frac{R_x}{k}$,把 $d_2=1.6\times10^{-2}$ m、$d_1=1.0\times10^{-2}$ m 代入,可求得该塑料水管的长度至少为 $l\approx3.94$ m.

7. (1)D　见解析　(2)2.5(2.4~2.6)　(3)PTC　**在汽车电路中,当温度升高,PTC 热敏电阻的阻值会增大,由串联分压可知,可以防止其他元件两端的电压过大,从而保护电路和设备**

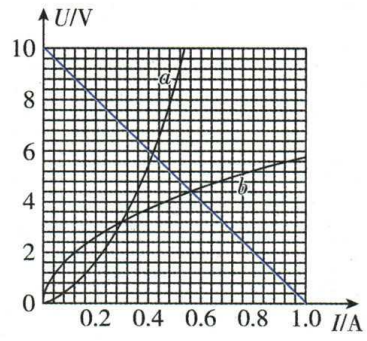
创新点▸双安法测电阻、探究热敏电阻的电学性质

【解析】(1)因为要求热敏电阻两端的电压从零开始逐渐增大,所以滑动变阻器采用分压接法,为了便于调节,应选用最大阻值较小的滑动变阻器 R_1,即选 D,电路图如图(a)所示.



图(a)

(2)由测量电路,可知热敏电阻电压为 $U=I_1(R_3+r_1)=1\,000I_1$,热敏电阻的电流为 $I=I_2-I_1\approx I_2$,把 I_1-I_2 图像转换为 $U-I$ 图像,并作出电动势 $E=10$ V、内阻 $r=10$ Ω 的电源的 $U-I$ 图像,如图(b)所示,



图(b)

图像中电源的 $U-I$ 图像与图像 b 的交点坐标的乘积为该元件的实际功率，$P=UI=4.4\times0.56\ \text{W}\approx2.5\ \text{W}$.

(3)在汽车电路中，当温度升高，PTC 热敏电阻的阻值会增大，由串联分压可知，可以防止其他元件两端的电压过大，从而保护电路和设备. 所以应该选用 PTC 热敏电阻.

8. (1)①等于　②$\frac{l_2}{l_1}E_1$　2.4　③不变　(2)2.0　0.36

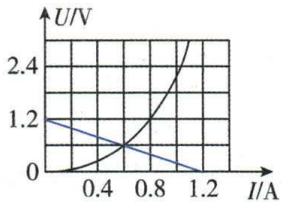
创新点▸电源的并联、测量电源的电动势

【解析】(1)①开关 S 合向 1，当电流计 G 的示数为零时，由电路知识可知，电阻丝 cb 段的电压 U_{cb} 与标准电源的电动势 E_1 相等；

②设电阻丝的长度为 l_0，单位长度的电阻为 r_0，则当开关 S 合向 1 时，则有 $E_1=\frac{E}{l_0r_0}\cdot l_1r_0$，当开关 S 合向 2 时有 $E_x=\frac{E}{l_0r_0}\cdot l_2r_0$，两式联立可得 $E_x=\frac{l_2}{l_1}E_1$，代入数据可解得 $E_x=2.4\ \text{V}$；

③若考虑供电电源的内阻，则 $E_1=\frac{E}{r+l_0r_0}\cdot l_1r_0$，$E_x=\frac{E}{r+l_0r_0}\cdot l_2r_0$，两式联立仍可解得 $E_x=\frac{l_2}{l_1}E_1$，可知待测电源电动势的测量值不变.

(2)由闭合电路欧姆定律可得 $I=\frac{E_x}{r_x+R_0}$，代入数据可解得 $r_x=2.0\ \Omega$；设每个小灯泡两端的电压为 U，流过小灯泡的电流为 I，由闭合电路欧姆定律可得 $2U=E_x-Ir_x$，整理可得 $U=-I+1.2(\text{V})$，在题图 2 中作出该电源 $U-I$ 图像如图所示，可得每个小灯泡两端的电压为 $U=0.6\ \text{V}$，流过每个小灯泡的电流为 $I=0.6\ \text{A}$，故每个小灯泡消耗的电功率为 $P=UI=0.36\ \text{W}$.



9. (1)×1　欧姆调零　7　(2)①最大　③R_1-R_2

创新点▸探究弹性绳伸长量与其电阻增量的关系

【解析】(1)选用“×10”倍率的电阻挡测量，发现多用电表指针偏转过大，说明所选倍率过大，则应将开关拨至较小的“×1”电阻挡，然后将两表笔短接，进行欧姆调零；可读出此时多用电表的读数为 $7\times1\ \Omega=7\ \Omega$.

(2)①连接好电路，为了防止电路中的电流过大，将电阻箱 R 的阻值调整至最大，保护电路.

③由于前后两次测量，电流表读数为 I 不变，故回路中阻值不变，那么弹性绳电阻的增加量必然等于电阻箱阻值的减少量，即弹性绳电阻增加量为 R_1-R_2.

10. (1)4.0　(2)左　(3)9　(4)$\frac{mE}{kL}$

创新点▸加速度计

【解析】(1)加速度为零时，滑片应处于滑动变阻器的中央，滑动变阻器全长 8.0 cm，应将滑片调到距滑动变阻器左端 4.0 cm 处.

(2)当物体具有题图示方向的加速度 a 时，滑块所受的弹簧的拉力的合力向右，滑块向左移动，根据顺着电流方向电势降低，可知 P 端的电势低于 Q 端的电势，则电压表的指针将向零点左侧偏转.

(3)设加速度最大时，滑块向左移动的距离为 x_m，根据牛顿第二定律得 $2kx_m=ma_m$，解得 $x_m=3\ \text{cm}$，此时电压表的读数为 $U=\frac{x_m}{L}\cdot2E=9\ \text{V}$，故电压表的量程应为 9 V.

(4)设加速度为 a 时，电压表的读数为 U，则 $2kx=ma$，又 $U=\frac{x}{L}\cdot2E$，联立解得 $U=\frac{mE}{kL}a$.

11. (1)③　(2)1.50　5.6　(3)大于

创新点▸测量硅光电池的电动势和内阻

【解析】(1)测量电源电动势和内阻实验需要电流表串联在电路中，电压表并联在电路中，如题图 1 所示连接电路，导线③可使得电压表短路，所以应该去掉图中序号为③的导线.

(2)观察题图 3 中电压表，其量程为 3 V，分度值为 0.1 V，指针指在 1 刻度后的第 5 格上，所以电压表的示数为 1.50 V；根据闭合电路欧姆定律 $U=E-Ir$，$U-I$ 曲线的斜率的绝对值表示内阻，当电流表的示数为 250 mA，电压为 1.50 V，当电流 $I=0$ 时，$E=2.90\ \text{V}$，可得 $r=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=\frac{2.90-1.50}{0.25-0}\ \Omega=5.6\ \Omega$.

(3)当 $I<200\ \text{mA}$ 范围内可视为直线，该直线斜率为 $-r_0$，由 $U=E-Ir$，在 $I_1<200\ \text{mA}$ 时硅光电池的内阻可视为 r_0，对于硅光电池与定值电阻 R 构成的闭合回路，其输出功率 $P=UI$，根据闭合电路欧姆定律 $I=\frac{E}{R+r_0}$，则输出功率 $P=\frac{E^2R}{(R+r_0)^2}$，当 $R_1R_2=r_0^2$ 时，对于 R_1，输出功率 $P_1=\frac{E^2R_1}{(R_1+r_0)^2}$，对于 R_2，假设电池内阻不变，输出功率 $P_2'=\frac{E^2R_2}{(R_2+r_0)^2}=\frac{E^2\frac{r_0^2}{R_1}}{\left(\frac{r_0^2}{R_1}+r_0\right)^2}=\frac{E^2R_1r_0^2}{(r_0^2+R_1r_0)^2}=\frac{E^2R_1}{(r_0+R_1)^2}$，所以当电池内阻恒为 r_0 且 $R_1R_2=r_0^2$ 时，$P_1=P_2'$，由题图 2 知，$I_2>200\ \text{mA}$ 时，硅光电池的 $U-I$ 曲线不再是斜率为 $-r_0$ 的直线，其内阻不再是 r_0，从 $U-I$ 曲线的性质来看，随着电流的增大，电池的内阻增大(实际电池的内阻会随工作状态变化)，即 $P_2<P_2'=P_1$，所以 $U_1I_1=U_2'I_2'>U_2I_2$.

第 3 节　光学、热学实验

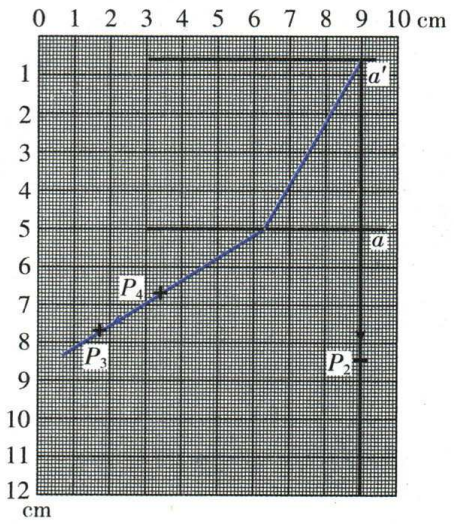
刷 提分

1. (1)BD　(2)见解析　(3)1.67

创新点▸用插针法测介质折射率的实验步骤和数据处理

【解析】(1)插大头针 P_1、P_2 时，应保证两针顶端处于同一高度，且连线垂直于 a 边，移动两针，使 P_1 的顶端挡住 P_2 顶端和 M 点，A 错误，B 正确；插大头针 P_3、P_4 时，应先插距 a 边较近的 P_4，且 P_3、P_4 距离尽量大些，插大头针 P_3、P_4 时，需保证 P_4 顶端挡住 M 点，P_3 顶端挡住 P_4 顶端和 M 点，C 错误，D 正确.

(2)光路图如图所示.



(3)结合光路图,根据折射定律有 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\dfrac{2.7}{\sqrt{2.7^2+1.6^2}}}{\dfrac{2.7}{\sqrt{2.7^2+4.5^2}}}\approx 1.67$.

2. (1)BC　(2)$\dfrac{h\Delta x}{3D}$

创新点▸用洛埃德镜研究单色光的干涉现象

【解析】(1)根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda=\dfrac{D}{2h}\lambda$ 可知,将单缝稍向下移动一些,h 减小,则光屏上相邻两条亮纹之间的距离增大,A 错误;将平面镜稍向下移动一些,h 增大,则光屏上相邻两条亮纹之间的距离减小,B 正确;将光屏稍向左移动一些,D 减小,则光屏上相邻两条亮纹之间的距离减小,C 正确;将光源由绿色光改为红色光,波长 λ 增大,则光屏上相邻两条亮纹之间的距离增大,D 错误.

(2)光屏上形成的第 2 条亮纹与第 8 条亮纹的中心间距为 Δx,则相邻两亮条纹间距为 $\Delta x'=\dfrac{\Delta x}{6}$,根据 $\Delta x'=\dfrac{D}{2h}\lambda$,所以单色光的波长为 $\lambda=\dfrac{h\Delta x}{3D}$.

3. (1)0.45　675　(2)C

创新点▸杨氏双缝干涉实验的实验步骤和数据处理

【解析】(1)由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 可知,本实验中条纹间距较小的题图丙对应的为双缝间距较大的双缝,即题图丙所对应的双缝的间距为 0.45 mm. 由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$,可知 $\lambda=\dfrac{d\Delta x}{L}=\dfrac{0.30\times\frac{21.6}{4}}{2\,400}$ mm $=675$ nm.

(2)由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 可知,当双缝与屏的间距减小时,条纹间距也减小,故选 C.

4. (1)5.0　(2)非线性　(3)偏小

创新点▸测量物体重力

【解析】(1)设活塞静止时注射器内气体压强为 p_1,由题意可知该过程气体经历等温变化,根据玻意耳定律有 $p_0l_0S=2p_1l_0S$,对活塞根据力的平衡条件有 $p_1S+G=p_0S$,联立可得重物的重力为 $G=5.0$ N.

(2)以注射器顶端作为测量长度零点,设活塞静止时与顶端距离为 $x(x>5\text{ cm})$,根据(1)问分析同理可得 $G=p_0S-\dfrac{p_0l_0S}{x}$,所以 G 随 x 成非线性变化.

(3)当悬挂重物后气体对外做功,因为注射器壁导热时间较长,所以初步达到平衡时注射器内气体温度略低于外界温度,将继续吸热,之后气体温度继续升高至原温度,气体体积继续膨胀,活塞最终静止时距顶端的距离比读数时大,即测量值比真实值偏小.

5. (1)$\dfrac{1}{V_0-V}$　(2)V　n

创新点▸探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系

【解析】(1)设烧瓶容积为 V_0,由玻意耳定律有 $p(V_0-V)=C$,得 $p=\dfrac{1}{V_0-V}C$,以 p 为纵轴、$\dfrac{1}{V_0-V}$ 为横轴的图像为近乎过原点的倾斜直线.

(2)烧瓶容积为 V_0,由玻意耳定律有 $p(V_0-V)=C$,得 $V=V_0-\dfrac{1}{p}\cdot C$,所以图线的纵轴为 V,图线的纵截距为容器的体积,则有 $V_0=n$.

全章素养提升

刷真题

1. (1)逐渐增大(2 分)　竖直向下(2 分)　(2)0.11(2 分)

命题点▸探究斗在使用时竖直面内的受力与运动特点

【解析】(1)设细线与竖直方向夹角为 θ,沙桶匀速上升,$2T\cos\theta=Mg$,当 θ 逐渐增大时,T 逐渐增大,沙桶上升到最高点 B 然后下落,在最高点的加速度方向竖直向下;

(2)沙桶从开始运动到静止上升高度为 8.4 cm,机械能增加量为 $Mgh=0.136\times9.8\times0.084$ J $=0.11$ J.

2. (1)107(106~108 均可)(2 分)　偏大(2 分)　(2)C(2 分)　(3)见解析(2 分)

命题点▸根据橡皮筋弹力与形变量的关系和共点力平衡测量物体的质量

【解析】(1)根据题图(b)可知当 $x=11.60$ cm 时,杯中物体质量为 107 g,所以该芒果的质量 $m_0=107$ g;若杯中放入芒果后,绳 1 与竖直方向夹角为 30°但与橡皮筋不垂直,此时橡皮筋的拉力大于 $F=mg\sin30°=\dfrac{1}{2}mg$,即橡皮筋长度测量值偏大,由图像读出的芒果质量与 m_0 相比偏大.

(2)另一组同学利用同样方法得到的 $x-m$ 图像在后半部分弯曲,可能的原因是橡皮筋伸长量过大,超过橡皮筋的弹性限度,弹力与其伸长量不成正比,C 正确.

(3)绳 1 与竖直方向夹角为 θ 且与橡皮筋垂直,此时橡皮筋的拉力 $F=mg\sin\theta$,使测量质量范围增大的措施是保证绳 1 与橡皮筋

垂直的情况下，减小绳 1 与竖直方向夹角；或保证绳 1 与竖直方向夹角为 θ 且与橡皮筋垂直的情况下，增大橡皮筋的劲度系数.

3. (1)0.515(2 分)　(2)$\frac{d}{t}$(2 分)　$\frac{(M+m)d^2}{2H(M-m)t^2}$(3 分)

(3)9.81(2 分)

命题点▸测量重力加速度实验、数据处理

【解析】(1)游标卡尺的精度是 0.05 mm，主尺部分读数为 5 mm，游标尺的刻度 3 和主尺上刻度线对齐，则游标卡尺的读数 $d=5\ \text{mm}+3\times0.05\ \text{mm}=5.15\ \text{mm}=0.515\ \text{cm}$.

(2)重锤 1 上遮光片的宽度为 d，遮光片通过光电门的时间为 t，利用平均速度代替瞬时速度可知 $v=\frac{d}{t}$. 两个重锤组成的系统运动过程中机械能守恒，则有 $(M-m)gH=\frac{1}{2}(M+m)v^2$，联立可得 $g=\frac{(M+m)v^2}{2(M-m)H}=\frac{(M+m)d^2}{2H(M-m)t^2}$.

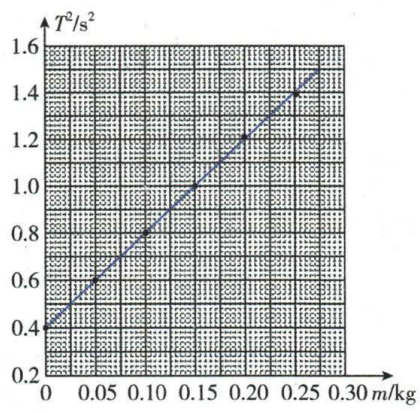
(3)由题意有 $a_i=(\beta_i-\gamma)g$，即 $g=\frac{a_i}{\beta_i-\gamma}$，由逐差法可得 $g=\frac{a_3+a_4-(a_1+a_2)}{\beta_3+\beta_4-2\gamma-(\beta_1+\beta_2-2\gamma)}=\frac{0.477+0.673-(0.084+0.281)}{0.08+0.10-(0.04+0.06)}\ \text{m/s}^2=9.81\ \text{m/s}^2$(**关键点**：题中给出了 γ 是常数).

4. (4)见解析(3 分)　(5)线性的(2 分)

(6)0.120(2 分)　(7)负方向(2 分)

命题点▸通过简谐运动测物体的质量

【解析】(4)描点连线如图所示.



(5)图线是一条倾斜的直线，说明弹簧振子振动周期的平方与砝码质量为线性关系.

(6)在图线上寻找 $T^2=0.880\ \text{s}^2$ 的点，对应横坐标为 0.120 kg.

(7)换一个质量较小的滑块做实验，滑块和砝码总质量较原来偏小，要得到相同的周期，应放质量更大的砝码，对应纵坐标点应右移，则所得图线与原图线相比下移，即沿纵轴负方向移动.

5. (1)①断开(2 分)　②R_1(2 分)

命题点▸研究热敏电阻的温度特性

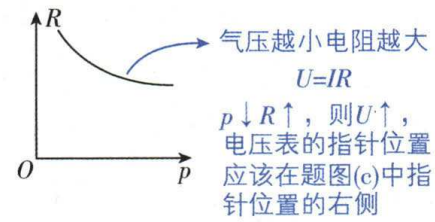
【解析】(1)①测量电阻时，电阻应未接入电路，此时开关 S 应断开；②由题意可知，为防止电流异常增大，导致个别电子元件损坏，接入的热敏电阻应起过热保护作用，应在电流异常增大时，电阻迅速增大，从而抑制电流异常增大，由题图 2 可知这种热敏电阻与电阻 R_1 具有相同的温度特性.

6. (1)1.23(1 分)　12.3(2 分)　(4)右(2 分)　(5)小于(2 分)

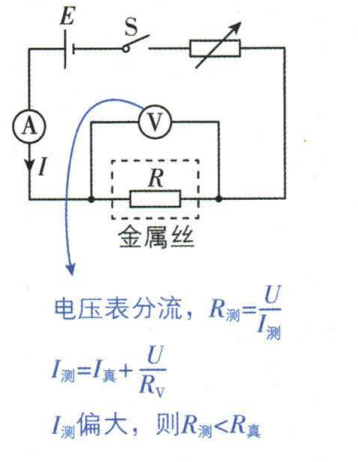
命题点▸伏安法测电阻

【解析】(1)电压表量程为 0~3 V，分度值为 0.1 V，则电压表读数需估读一位，为 1.23 V，则金属丝的测量值 $R=\frac{U}{I}=12.3\ \Omega$.

(4)



(5)



7. (2)a(2 分)　(3)2.82(2.81~2.83 均可)(1 分)　282(281~283 均可)(1 分)　(4)电阻随电压增大而减小(1 分)　(5)见解析(2 分)

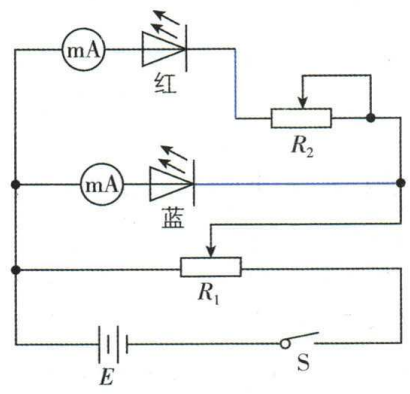
命题点▸非线性元件的伏安特性曲线、伏安法测电阻、电路设计

【解析】(2)实验电路中滑动变阻器采用分压式接法，为了保护用电器，开关 S 闭合前应将滑动变阻器的滑片置于 a 端，使测量部分电路两端电压为 0.

(3)电压表量程为 3 V，分度值为 0.1 V，所以题图(b)所示电压表示数为 2.82 V；发光元件的电阻为 $R=\frac{U}{I}=\frac{2.82}{10.0\times10^{-3}}\ \Omega=282\ \Omega$.

(4)根据题图(c)和 $R=\frac{U}{I}$ 知，电流在 1.0~18.0 mA 范围内，两个发光元件的电阻均随电压增大而减小.

(5)由题图(c)知，电流为 10.0 mA 时蓝光发光元件两端电压大于红光发光元件两端电压，故可将滑动变阻器 R_2 与红光发光元件串联后再与蓝光发光元件并联接入电路，如图所示.



8. (1)B(1分)　(2)串联(1分)　1 980(1分)　(3)2和3(2分)　1和4(2分)　1和2(2分)

命题点 ▸多用电表的使用、电表改装、创新实验

【解析】(1)要测量一个阻值约为15 kΩ的电阻，需要选择电阻“×1 k”挡，即把选择开关旋转到“×1 k”位置，后将红表笔和黑表笔短接，然后调节欧姆调零旋钮使指针指向欧姆零点，B正确.

(2)将表头改装为电压表需要串联一个电阻，串联电阻的阻值为

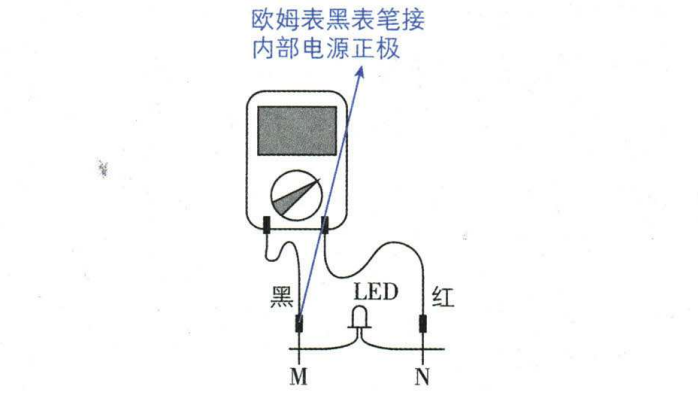
$$R=\frac{U}{I_g}-R_g=\frac{2}{1\times10^{-3}}\ \Omega-20\ \Omega=1\ 980\ \Omega.$$

(3)用电压表进行测量，电源两端电压最大，可知直流电源E处于2和3之间；接1和2、3和4时电压表示数为0，接1和4时电压表有示数，则1和2、3和4之间为电阻，电容器在1和4之间；接1和3时电压表示数比接2和4时小，则1和2之间的电阻阻值比3和4之间的大，即1和2之间电阻为R_A，3和4之间电阻为R_B.

9. (1)负极(1分)　(2)①A(1分)　A(1分)　C或D(1分)　②减小(2分)　(3)增大(2分)

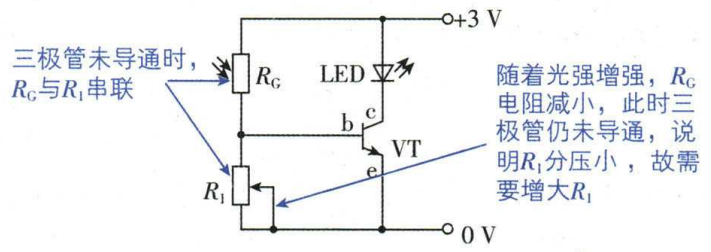
命题点 ▸多用电表测电阻、闭合电路欧姆定律

【解析】(1)



(2)①题目要求电压表、电流表读数从零开始，所以应该采用滑动变阻器分压式接法连接电路，故L_1、L_2接滑动变阻器A接线柱，L_3必须接在金属杆两端接线柱任意一个，即C或D. ②由题图4可知，随光照强度增加，I-U图像斜率增大，所以电阻减小.

(3)



10. (1)①不会(2分)　②H(2分)　③与集气室相连的细管中的气体被忽略不计(2分)　(2)乙(2分)

命题点 ▸探究气体压强与体积的关系、LC振荡电路的频率

【解析】(1)①集气室内气体压强的大小$p_1=p_0+\rho g(H-h)$，所以洗衣桶内水位H一定时，其内径D的大小不会影响集气室内气体压强的大小；

②由于实验中使用同一把刻度尺进行测量，分度值相同，根据数据分析，桶内水位高度H明显大于集气室进水高度h，所以测量桶内水位高度H产生的相对误差较小；

③该延长线不过原点的主要原因是与集气室相连的细管中的气体被忽略不计，导致集气室气体体积V相比于实际气体体积偏小.

(2)桶内水位高度H越大，集气室内气体压强越大，铁芯进入电感线圈的长度越大，电感线圈的自感系数越大，LC振荡电路的频率越小，周期$T=\frac{1}{f}$越大，所以题图3中乙对应的水位较高.

11. (1)B(2分)　(2)1.58(2分)　(3)不变(3分)

命题点 ▸测量玻璃砖的折射率

【解析】(1)入射角越小，误差越大，A错误；选择O点作为入射点是为了保证$\frac{x}{R}$(R为玻璃砖半径)为折射角的正弦值，$\frac{y}{R}$为入射角的正弦值，C错误. 故选B.

(2)设入射角为α，折射角为β，入射角正弦值为$\sin\alpha=\frac{y}{R}$，折射角正弦值为$\sin\beta=\frac{x}{R}$，折射率$n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{y}{x}$，根据题图(b)算出斜率为$k\approx1.58$，即折射率为$n=1.58$.

(3)轮廓半径大于玻璃砖半径，不影响入射角和折射角的测量，折射率测量结果不变.

题型风向　微实验专练

刷情境

1. (1)平衡摩擦力(或补偿阻力)　(2)远离　靠近　0.86　(3)毫米刻度尺(或刻度尺)

考查点 ▸探究加速度与物体受力和质量的关系、测量做直线运动物体的瞬时速度、探究弹力和弹簧伸长量的关系

【解析】(1)将木板的右端垫高是为了平衡摩擦力.

(2)小车应停在远离滑轮的一端，并靠近打点计时器，使小车拖动纸带打出更多的点迹，便于分析小车的运动情况；由题可知，相邻计数点之间的时间间隔$T=5\times0.02\ \text{s}=0.1\ \text{s}$，打$A$点时小车的瞬时速度大小$v_A=\frac{x_3+x_4}{2T}=\frac{(8.33+8.95)\times10^{-2}}{2\times0.1}\ \text{m/s}\approx0.86\ \text{m/s}$.

(3)还需要用刻度尺测量弹簧的长度.

2. (1)(i)1.75　(ii)1.46　(2)58.0　5.0×10^{-7}

考查点▸发生全反射的条件、临界角、用双缝干涉测量光的波长

【解析】(1)玻璃砖直径 d 的读数为 $d=17\ \text{mm}+5\times0.1\ \text{mm}=17.5\ \text{mm}=1.75\ \text{cm}$;光线在玻璃砖内发生全反射,可知此时 $\sin\angle POQ=\frac{1}{n}$,由 PQ 长为 L,半径为 $\frac{d}{2}$,可知 $n=\frac{1}{\sin\angle POQ}=\frac{1}{\frac{2L}{d}}\approx1.46$.

(2)A、B 间的距离为 $x=8.30\ \text{cm}-2.50\ \text{cm}=5.80\ \text{cm}=58.0\ \text{mm}$;根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$,其中由题意可知 $\Delta x=\frac{x}{9}$,代入数值解得 $\lambda=5.0\times10^{-7}\ \text{m}$.

3. (1)③100　④1 900　(2)1.5　1.0　(3)①电流表指针的偏转方向　②右

考查点▸用多用电表测电阻、测电源电动势和内阻、探究影响感应电流方向的因素

【解析】(1)③将两表笔分别与待测电阻两端相接,发现指针偏转角度过小,说明待测电阻阻值较大,应换大倍率,即将 K 旋转到电阻挡"×100"的位置;④电阻表的读数为指针所指刻度与倍率的乘积,所以题图中所测电阻阻值为 $19.0\times100\ \Omega=1\ 900\ \Omega$.

(2)根据 $U=E-Ir$,可知图像与纵轴交点的纵坐标为电动势,斜率的绝对值为内阻,则 $E=1.5\ \text{V}$,$r=\left|\frac{0.8\ \text{V}-1.5\ \text{V}}{0.7\ \text{A}-0}\right|=1.0\ \Omega$.

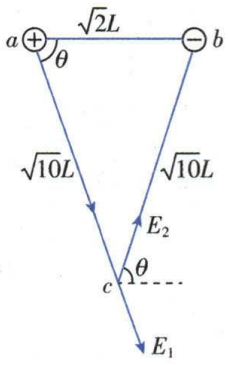
(3)①要探究线圈中感应电流的方向,必须知道感应电流从正(负)接线柱流入时,电流表指针的偏转方向.②闭合开关时,线圈 A 产生感应磁场,穿过线圈 B 的磁通量增大,产生的感应电流使电流表指针向右偏转.当向左移动滑动变阻器滑片时,回路中电流增大,会使线圈 A 中的感应磁场增强,穿过线圈 B 中的磁通量增大,产生的感应电流使电流表指针向右偏转.

综合突破　立体空间中的物理问题与数学工具的应用

刷情境

1. A　**考查点**▸电场强度的叠加法则

【解析】由题意,可知 c 点电场强度方向平行于 ab 连线,由 a 指向 b,作出平面图如图所示,a、b 之间的距离为 $\sqrt{2}L$,a、c 之间,b、c 之间的距离均为 $\sqrt{10}L$,设正电荷单独作用时在 c 点产生的电场强度大小为 E_1,则 $E_1=\frac{kq}{(\sqrt{10}L)^2}$,设 ac 与 ab 的夹角为 θ,由余弦定理有 $\cos\theta=\frac{(\sqrt{2}L)^2+(\sqrt{10}L)^2-(\sqrt{10}L)^2}{2\times\sqrt{2}L\times\sqrt{10}L}=\frac{\sqrt{5}}{10}$,则有 $E_c=2E_1\cos\theta=\frac{\sqrt{5}kq}{50L^2}$,故选 A.



2. B　**创新点**▸蝴蝶瓦的受力分析

【解析】以两片底瓦和盖瓦整体为研究对象,易得整体的重力在垂直椽子所在平面方向上的分力为 $3mg\cos\theta$,垂直椽子所在平面方向上整体处于平衡状态,则有 $3mg\cos\theta=4F_N\cos\alpha$,可得椽子与底瓦接触部位之间的弹力 $F_N=\frac{3mg\cos\theta}{4\cos\alpha}$,A 错误,B 正确;在无外界干扰的情况下,为使底瓦与盖瓦不下滑,应使 $4\mu F_N\geqslant3mg\sin\theta$,解得 $\mu\geqslant\tan\theta\cos\alpha$,C、D 错误.

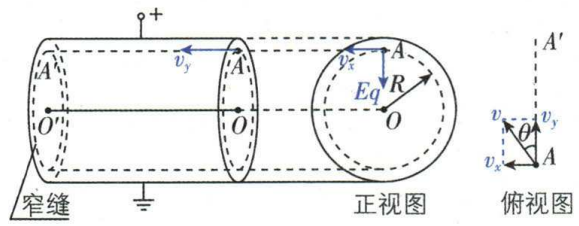
3. (1)$\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$　(2)$L\sqrt{\frac{2m}{3Uq}}$　(3)$\frac{U}{2R}$

突破点▸运动的合成和分解、带电粒子在电场中的运动

【解析】(1)离子由静止开始经电压为 U 的加速电场加速,由动能定理可知 $Uq=\frac{1}{2}mv^2$,

解得 $v=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$.

(2)如图所示.



离子在离子阱中的运动可分为两部分:以速度大小 v_x 围绕 OO' 的匀速圆周运动和以速度 v_y 沿 AA' 的匀速直线运动.将速度 v 正交分解可得 $v_x=v\sin30°=\sqrt{\frac{Uq}{2m}}$、$v_y=v\cos30°=\sqrt{\frac{3Uq}{2m}}$,

根据合运动与分运动的同时性,可知离子在离子阱中的运动时间为 $t=\frac{L}{v_y}=L\sqrt{\frac{2m}{3Uq}}$.

(3)以速度 v_x 围绕 OO' 做匀速圆周运动,电场力提供向心力,根据牛顿第二定律可得 $Eq=m\frac{v_x^2}{R}$,解得 $E=\frac{U}{2R}$.

4. (1)$y=\frac{3}{2}x^2$　(2)$3.925\times10^{-3}\ \text{m}^2$　(3)13.36 N

突破点▸用动量定理解决流体问题、带电粒子在立体空间中的运动

【解析】(1)设从 (x,y) 处射入电场的质子轨迹如图所示.

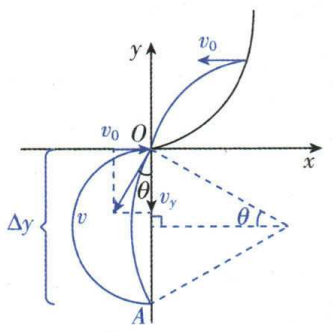


图 1

由类平抛运动知识得 $x=v_0t$、$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times\frac{eE_1}{m}\cdot\frac{x^2}{v_0^2}$,

解得满足条件的 OM 曲线的函数方程为 $y=\frac{3}{2}x^2$.

(2)由洛伦兹力提供向心力有 $evB_1=m\frac{v^2}{r}$,

可得 $r=\frac{mv}{eB_1}$,

由几何关系可得 $\Delta y=2r\sin\theta=2\frac{mv\sin\theta}{eB_1}=\frac{2mv_0}{eB_1}$,

代入数据解得 $\Delta y=\frac{2mv_0}{eB_1}=0.1\ \text{m}$,

因为从 O 点水平射入磁场的质子轨道为最左边界(半圆),从 $y\to\infty$ 射入电场的质子轨迹无限接近 y 轴,为右边界,如图 2 所示,

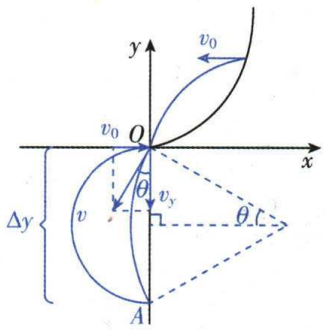


图 2

所求面积为 $S=\frac{\pi\left(\frac{\Delta y}{2}\right)^2}{2}=\frac{\pi}{800}\ \text{m}^2=3.925\times10^{-3}\ \text{m}^2$.

(3)因为粒子进入容器 D 的水平速度 $v_x=v_0$,

之后水平方向做匀加速运动,有

$a=\frac{eE_2}{m}=1.6\times10^{10}\ \text{m/s}^2$,

所以到达 PQ 时的速度 $v_t=\sqrt{v_0^2+2aL}=8\times10^5\ \text{m/s}$,

对质子流由动量定理有 $F\Delta t=\Delta mv=nmv_t\Delta t$,

所以质子对容器产生的 x 方向压力大小为 $F'=F=nmv_t=13.36\ \text{N}$.

5. (1)0.7 m　(2)6 m/s　(3)6.8 m　3.6 m

突破点 ▸多次碰撞问题、等比数列求和

【解析】(1)小球 A、B 在桌面上被弹簧弹开的过程中,由动量守恒定律得 $m_A(L_2-L_0-L_1)-m_BL_1=0$,

解得 $L_2=0.7\ \text{m}$.

(2)设小球 B 与物块 C 发生碰撞前瞬间的速度大小为 v_{B1},由动能定理得 $m_Bgh=\frac{1}{2}m_Bv_{B1}^2-\frac{1}{2}m_Bv_B^2$,

小球 B 与物块 C 发生弹性正碰,由动量守恒和机械能守恒得 $m_Bv_{B1}=m_Bv_{B2}+m_Cv_C$,$\frac{1}{2}m_Bv_{B1}^2=\frac{1}{2}m_Bv_{B2}^2+\frac{1}{2}m_Cv_C^2$,

解得 $v_C=v_{B1}=6\ \text{m/s}$,$v_{B2}=0$.

(3)物块 C 获得向右的速度 $v_C=6\ \text{m/s}$,开始在木板 D 上滑动,假设木板 D 和右侧墙壁发生碰撞前,物块 C 和木板 D 已经达到共速 v_1,此过程木板 D 的位移为 x_0,则 $m_Cv_C=(m_C+m_D)v_1$,

$\mu m_Cgx_0=\frac{1}{2}m_Dv_1^2-0$,

解得 $v_1=5\ \text{m/s}$、$x_0=0.5\ \text{m}<d$,

故物块 C 与木板 D 共速后再与墙壁发生碰撞,规定向右为正方向,以 m_C 和 m_D 为对象,第 1 次与墙碰撞后有 $m_Cv_1-m_Dv_1=(m_C+m_D)v_2$,

解得 $v_2=\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}v_1$,

对木板 D 有 $\mu m_Cg=m_Da$,$s_1=\frac{v_1^2}{2a}$,

第 2 次与墙碰撞后 $m_Cv_2-m_Dv_2=(m_C+m_D)v_3$,

解得 $v_3=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^2v_1$,

对木板 D 有 $s_2=\frac{v_2^2}{2a}=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^2\cdot\frac{v_1^2}{2a}$,

第 3 次与墙碰撞后 $m_Cv_3-m_Dv_3=(m_C+m_D)v_4$,

解得 $v_4=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^3v_1$,

对木板 D 有 $s_3=\frac{v_3^2}{2a}=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^4\cdot\frac{v_1^2}{2a}$,

……

第 $n-1$ 次与墙碰撞后 $m_Cv_{n-1}-m_Dv_{n-1}=(m_C+m_D)v_n$,

解得 $v_n=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^{n-1}v_1$,

对木板 D 有 $s_{n-1}=\frac{v_{n-1}^2}{2a}=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^{2(n-2)}\cdot\frac{v_1^2}{2a}$,

第 n 次与墙碰撞后 $m_Cv_n-m_Dv_n=(m_C+m_D)v_{n+1}$,

解得 $v_{n+1}=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^nv_1$,

对木板 D 有 $s_n=\frac{v_n^2}{2a}=\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^{2(n-1)}\cdot\frac{v_1^2}{2a}$,

木板 D 运动的总路程为 $s=d+2(s_1+s_2+s_3+\cdots+s_n)$,

即 $s=d+2\left[1+\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^2+\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^4+\cdots+\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^{2(n-1)}\right]\cdot\frac{v_1^2}{2a}=d+2\times\frac{v_1^2}{2a}\times\frac{1\times\left[1-\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^{2n}\right]}{\left[1-\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^2\right]}$,当 $n\to\infty$ 时,$\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^{2n}\to0$

可得 $s=d+2\times\frac{v_1^2}{2a}\times\frac{1}{1-\left(\frac{m_C-m_D}{m_C+m_D}\right)^2}$,

代入数据解得 $s=6.8\ \text{m}$,

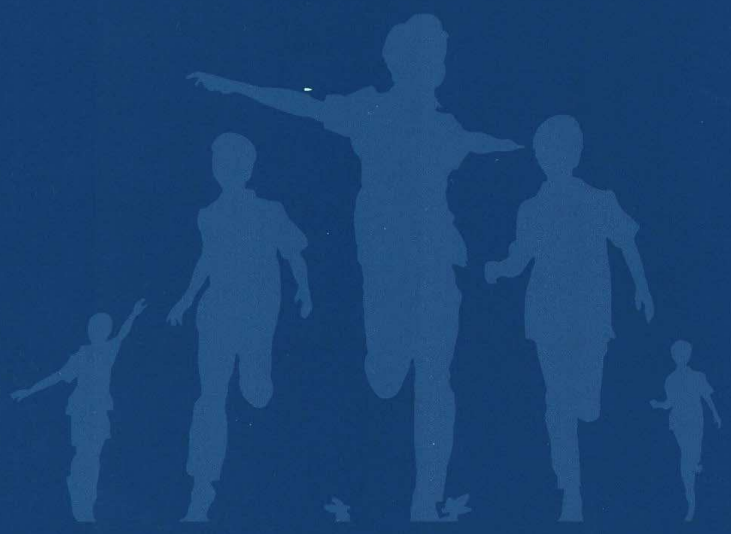
木板 D 和物块 C 最终停在右侧墙壁处,设物块恰好停在右端,根据能量守恒定律可得 $\mu m_Cgl_3=\frac{1}{2}m_Cv_C^2$,

解得 $l_3=3.6\ \text{m}$.

为每一个理想
全力以赴

领取福利
882991440810
刮码认证会员

高考，无非是很多人同时做同一份卷子
然后决定去哪一座城，和谁走四年，和谁走一辈子
最终发现，错的每一道题都是为了遇上对的人
而对的每一道题，让你遇见更好的自己



核心特色栏目

关键点拨

平衡力和相互作用力的区别
超重、失重和完全失重的对比
等时圆模型
水平传送带模型
宇宙速度
波峰相遇位置的计算
解决空间内静电力的叠加问题的注意事项

方法总结

追及相遇问题的分析思路
活结、死结及动杆和定杆问题
相似三角形解动态平衡问题
求解瞬时加速度问题的一般思路
关联速度模型的分析方法
处理类平抛运动的常用方法
卫星变轨问题中各个物理量的比较
应用动量定理处理流体类问题
力学规律的选用原则
振动加强/减弱点的判断方法
电容器的动态问题分析思路
粒子运动轨迹和电场分布的互判方法
解决带电体在等效重力场中的圆周运动的方法
含电容器电路的分析方法
测量电路的选择——电流表内、外接的选择方法
电磁感应图像类选择题的常用解法
电磁感应中不同物理量的求解策略
动量定理在电磁感应问题中的应用
等效电阻法
液柱类封闭气体压强的计算
汽缸类封闭气体压强的计算

易错警示

混淆恒力做功和变力做功而致错
误认为重力的冲量为零而致错
混淆简谐运动的位移和路程而致错
忽视同种介质中波的传播速度相等而致错
对$E-x$图像理解不到位而致错
对电表的内部结构和原理认识不到位出错
误认为临界状态只有一种而致错
……
注：篇幅有限，仅列举部分特色栏目。

（共三册，本册不单独销售）

全科AA+初中教辅资源导航



教辅资源更新，关注公众号★全科AA+

