2026年高考物理题汇编

已收录：

1.浙江卷、云南、湖南、湖北、四川、陕西、广东、黑吉辽、贵州、河南、河北、北京、江西、广西

一、必修一

1. [202606 · 浙江卷]下列物理量属于标量的是

A. 位移　　B. 电场强度　　C. 磁感应强度　　D. 热量

答案 *D*

2. [202601 · 浙江卷]第六代移动通信技术(6G)使用的电磁波，部分处于太赫兹(THz)波段。1 THz $=10^{12}$ Hz，单位 THz 对应的物理量是

A. 能量　　B. 功率　　C. 频率　　D. 波长

答案 *C*

3. [202601 · 浙江卷]下列问题中，图示物体可看成质点的是


甲：四川舰


乙：歼-35


丙：神舟二十二号


丁：蛟龙号

A. 研究图甲中“四川舰”的航行路径
B. 研究图乙中“歼—35”战斗机的飞行姿态
C. 研究图丙中“神舟二十二号”载人飞船与空间站的对接方式
D. 研究图丁中“蛟龙号”潜水器完成任务出水后调整方位回舱过程

答案 *A*

4. [202606 · 浙江卷]在 2026 年人形机器人半程马拉松比赛中，“闪电”机器人以 50 分 26 秒的成绩获得冠军，比赛路程为 21.0975 km。下列说法正确的是



A. 途中转弯时，机器人的加速度大小一定不为零
B. 以冲刺的机器人为参考系，站在终点的裁判员是静止的
C. 研究机器人在奔跑过程中的姿态时，可将机器人视为质点
D. “21.0975 km”与“50 分 26 秒”之比为机器人的平均速度大小

答案 *A*

5. [2026 · 黑吉辽卷]某游客驾车由丹东出发，沿“最美边境公路”国道 G331 到达额济纳旗，路线如图中实线所示，总里程约 7500 km，起点到终点的直线距离约 2000 km。此过程



A. 该车的路程约为 2000 km　　B. 该车的位移大小约为 7500 km
C. 某时刻该车速度计显示的是平均速度　　D. 若研究该车的运动轨迹，该车可视为质点

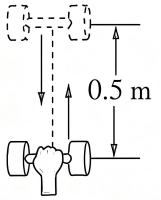
答案 *D*

6. [2026 · 广西卷]若在平陆运河试运行时，要分析航道内货轮的运动，可忽略货轮形状和大小的是

A. 研究货轮的调头过程　　B. 计算货轮穿过跨河大桥的时间
C. 计算货轮航行 10 km 的平均速率　　D. 研究货轮避让障碍物时的相对位置

答案 *C*

7. [2026 · 河北卷]某同学健身时，哑铃被举高 0.5m 后再回到原位置，如图所示。如此重复 10 次，哑铃的位移大小为 (　　)



A. 0　　B. 5m　　C. 10m　　D. 11m

答案 *A*

8. [2026 · 陕西卷]现代科技为物资运输提供了多种方式。某物流企业分别利用无人机和新能源货车从山上装货点 P 运输货物至山下仓库 Q，两种方式中一定相同的是

A. 位移　　B. 路程　　C. 时间　　D. 平均速度

答案 *A*

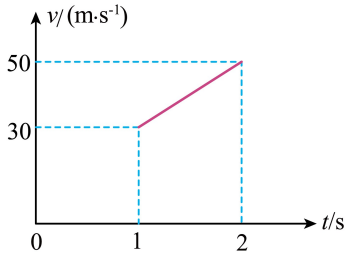
9. [2026 · 贵州卷]某同学乘坐列车时，在自己的座位上利用车厢内信息屏和手机秒表估算隧道长度。该同学进隧道时速度为 60m/s，出隧道时速度为 50m/s，总用时 200s。若列车在隧道中做匀减速直线运动，则该隧道长为 (　　)

A. 5000m　　B. 8000m　　C. 11000m　　D. 14000m

答案 *C*

解析 $x=\frac{v_0+v}{2}t=\frac{60+50}{2}\times 200=11000\,\mathrm{m}$

10. [2026 · 湖南卷]某舰载机起飞时，在第 2 s 内的 $v-t$ 图像如图所示，该段时间内舰载机加速度的大小为

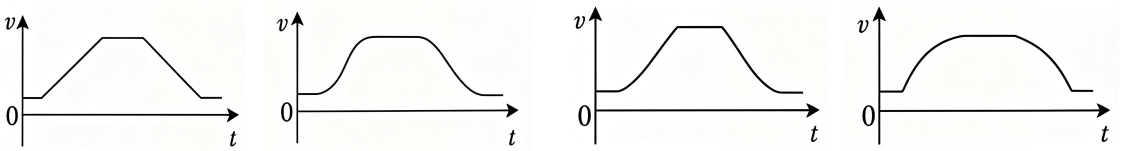


A. 10m/s^2　　B. 20m/s^2　　C. 30m/s^2　　D. 40m/s^2

答案 B

解析 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{50-30}{2-1}=20\text{m/s}^2$

11. [2026 · 江西卷]具身智能机器人应用到精密制造生产线时，需要避免其加速度突变，以显著降低机械冲击。为实现这一目的，关于机器人 $v-t$ 图像的设计，下列选项最符合要求的是

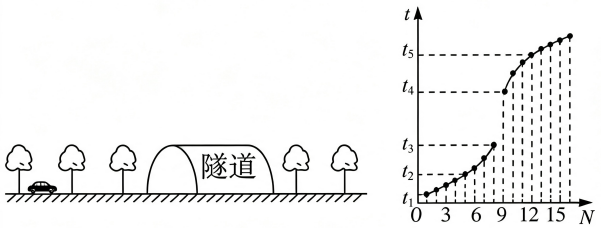


A　　B　　C　　D

答案 B

解析 须保持曲线光滑，故选 B。

12. [2026 · 山东卷]如图甲所示，汽车在平直公路上行驶，路边有等间距的树木，车载摄像机记录了沿途景色。某同学根据一段视频绘制了图乙，横坐标 N 为树木序号，纵坐标 t 为对应树木出现的时刻，$t_3\sim t_4$ 内汽车通过隧道。关于汽车的运动，下列说法合理的是



甲　　乙

A. $t_1\sim t_2$ 内做加速运动　　B. $t_2\sim t_3$ 内做减速运动

C. $t_1\sim t_2$ 内的路程小于 $t_2\sim t_3$ 内的路程　　D. $t_2\sim t_3$ 内的路程大于 $t_4\sim t_5$ 内的路程

答案 B

解析 题目给出了 $t-N$ 图像，树木间隔相等，序号每增加 1，距离增加 Δx，实际上给出的是 $t-x$ 图像，则图像斜率对应速度的倒数，$t_1\sim t_2$ 斜率增大，速度减小，$t_2\sim t_3$ 斜率增大，速度减小，A 错误，B 正确。由图可知，汽车单向运动，$t_1\sim t_2$ 路程为 $4\Delta x$，同理 $t_2\sim t_3$ 路程为 $3\Delta x$，$t_4\sim t_5$ 路程为 $3\Delta x$，C、D 错误。

13. [2026 · 广东卷]足球比赛中，某队员为接应传球，由静止开始沿直线跑动，先匀加速冲刺，后匀减速至接球点停止。全程用时 5s，位移大小为 20m，则该队员在某时刻的速度和加速度的大小可能是（　　）

A. 6m/s，2m/s²　　B. 6m/s，1m/s²　　C. 9m/s，2m/s²　　D. 9m/s，1m/s²

答案 *A*

解析 设运动过程中最大速度为 v_m，则有 $x=\frac{v_m}{2}t$，得 $v_m=8\text{m/s}$；

由于加速时间或减速时间均小于 5 s，即 $\Delta t<5\text{ s}$，则加速度 $a=\frac{v_m}{\Delta t}>1.6\text{m/s}^2$，故加速度不可能是 1m/s^2。

14. [2026 · 陕西卷]我国科研人员利用仿生机器鱼研究湖泊生态，当仿生机器鱼在湖中匀速直线下潜时，它受到水的合力方向是

A. 斜向下　　B. 竖直向下　　C. 斜向上　　D. 竖直向上

答案 *D*

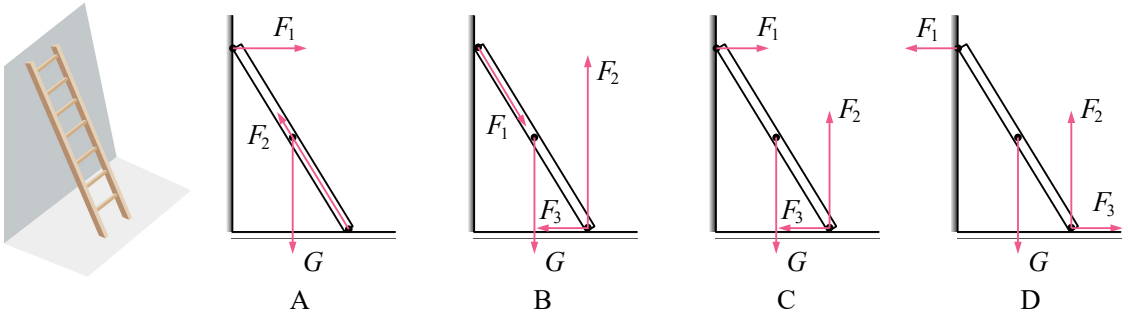
15. [2026 · 黑吉辽卷]秧马是古代插秧时用的一种农具，苏轼用“日行千畦”形容其高效。如图，人抬脚跨坐在秧马上，与其一起向前减速滑行的过程中



A. 秧马的加速度方向向后
B. 秧马受到秧田的摩擦力方向向前
C. 秧马对人的支持力和人对秧马的压力是一对平衡力
D. 秧马对人的支持力和人受到的重力是一对作用力与反作用力

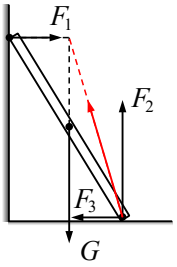
答案 *A*

16. [202606 · 浙江卷]一架直梯静止斜靠在光滑的竖直墙壁上，下端置于粗糙的水平地面。从侧面观察直梯，其受力示意图正确的是

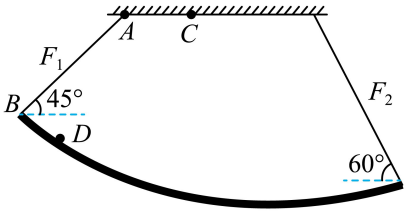


答案 *C*

解析 必修一　第三章A组习题　图3—1



17. [202601 · 浙江卷]如图所示，一盏重为 G 的艺术灯用细绳悬挂，左右两侧细绳与水平方向夹角分别为 45° 和 60°，细绳拉力分别为 F_1 和 F_2。A 和 B 是左侧细绳两端点，C 和 D 分别是天花板和灯上的点，CD 与 AB 平行，则



A. F_1 大于 F_2

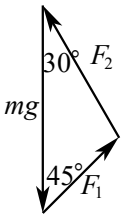
B. F_1 和 F_2 都小于 G

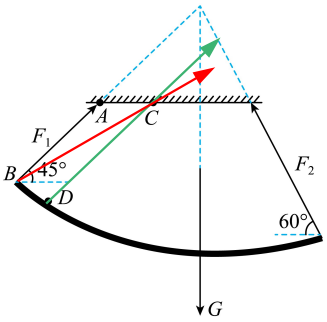
C. 用细绳连接 C 和 B 后撤去 AB 绳，可使灯位置不变

D. 用细绳连接 C 和 D 后撤去 AB 绳，可使灯位置不变

答案 B

解析 AB．对艺术灯的受力分析如图，由正弦定理可知 $F_1 < F_2 < mg$，故 A 错误，B 正确；





CD．三力汇交原理 艺术灯平衡时，三个力作用线交于同一点，当用细绳连接 CB 或连接 CD 后撤去 AB 绳，则三个力作用线不再交于同一点，故灯不再平衡，故灯位置会变化，直到重新达到三力汇交而平衡，故 CD 错误。

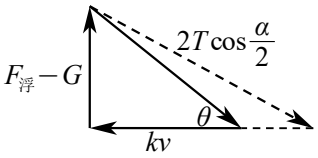
18. [2026 · 湖南卷]（多选）如图，某同学将两个相同的球形氦气球用等长的轻绳系在一起，拉着绳使气球随人一起做水平匀速运动。运动过程中，球心始终在绳的延长线上且球心连线水平，两绳所构成的平面与水平面的夹角为 $\theta(\theta<90°)$，两球间的弹力为 F。气球受到空气阻力的大小与相对空气的速率成正比，空气始终相对于地面静止，忽略气球形状的变化。该同学沿原方向运动速度缓慢增大，下列说法正确的是



A. θ 增大　　B. θ 减小　　C. F 增大　　D. F 减小

答案 BC

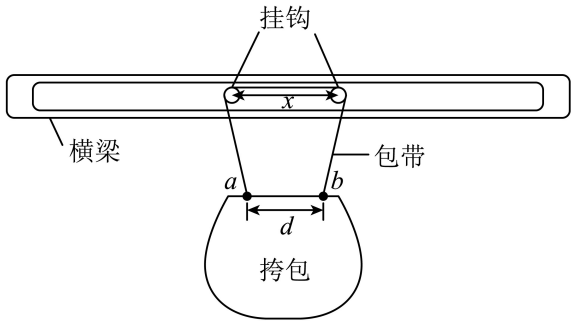
解析 以两个气球整体为研究对象，受到重力 G、空气浮力 $F_{浮}$、两个绳子拉力 T 和空气阻力 $f=kv$。设两绳子夹角为 α，则两绳子拉力的合力为 $2T\cos\frac{\alpha}{2}$，作矢量三角形如图。

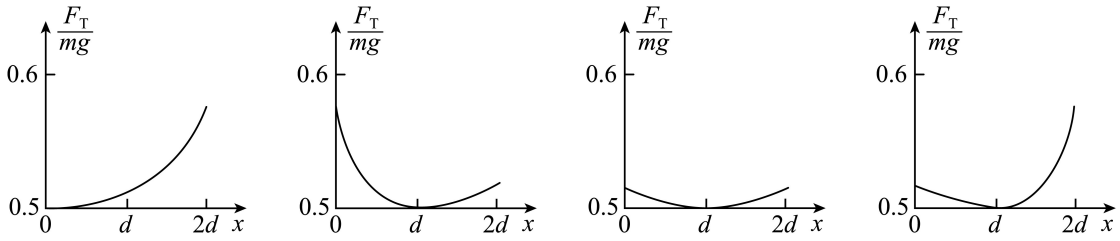


对整体有 $F_{浮}-G=kv\tan\theta=2T\cos\frac{\alpha}{2}\sin\theta$，当 v 增大时，θ 减小，T 增大，弹力 $F=T\sin\frac{\alpha}{2}$ 增大。

【图解法】由于 $F_{浮}-G$ 是定值，且阻力 kv 方向不变，故随着 kv 的增大，θ 减小，T 增大，弹力 $F=T\sin\frac{\alpha}{2}$ 增大。

19. [2026 · 云南卷]如图所示，两挂钩可沿固定水平横梁滑动到任意位置后锁定。一挎包质量为 m，其轻质包带长度约为 $4d$，a、b 为包与包带的连接点，相距为 d。将挎包悬挂在两挂钩上，两挂钩相距为 x 时，锁定挂钩。挎包静止时，a、b 在同一水平直线上，包带的张力大小为 F_T，重力加速度为 g，不计包带与挂钩之间的摩擦及两挂钩尺寸。能正确反映 $\frac{F_T}{mg}$ 随 x 变化的图像是





A　B　C　D

答案 D

解析 A．$x=d$ 时，a、b 点包带的拉力竖直向上，有 $2F_T=mg$，此时 $\frac{F_T}{mg}=0.5$，故 A 错误；

B．$x=0$ 时，包带与竖直方向夹角 θ 满足 $\sin\theta=\frac{0.5d}{2d}=\frac{1}{4}$，对包有 $2F_T\cos\theta=mg$，此时 $\frac{F_T}{mg}=\frac{1}{2\cos\theta}=\frac{2}{\sqrt{15}}\approx\frac{2}{\sqrt{16}}=0.5$，即接近 $0.5(\approx0.516)$，故 B 错误；

CD．当 $x=2d$ 时，由几何关系得包带与竖直方向夹角 $\theta=30°$，此时 $\frac{F_T}{mg}=\frac{1}{2\cos\theta}=\frac{1}{\sqrt{3}}\approx\frac{1}{1.7}\approx0.58$，故 D 正确。

20. [2026 · 云南卷]云南宣威尼珠河大峡谷的“青云电梯”为谷底孩子们上学提供了交通便利。若电梯由静止开始上升 260 m，用时 100 s，则此过程电梯的平均速度大小及电梯向上加速时乘客所处的状态分别为

A. 2.6 m/s，超重　　B. 0.38 m/s，超重　　C. 2.6 m/s，失重　　D. 0.38 m/s，失重

答案 A

解析 由定义得平均速度 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{260}{100}=2.6\,\text{m/s}$，加速上升过程中乘客处于超重状态。

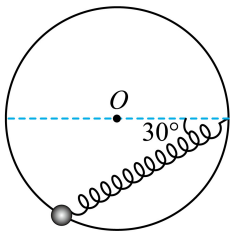
21. [2026 · 北京卷]质量为 $2.0\times10^3\,\text{kg}$ 的汽车在水平直道上进行刹车性能测试。汽车速度为 30 m/s 时开始刹车直至停止，刹车过程中所受合力为 $2.0\times10^4\,\text{N}$，则刹车距离为

A. 135 m　　B. 90 m　　C. 45 m　　D. 15 m

答案 C

解析 $a=\frac{F}{m}=10\,\text{m/s}^2$，故 $x=\frac{v_0^2}{2a}=45\,\text{m}$

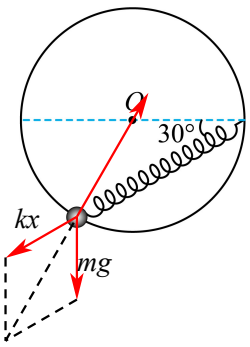
22. [2026 · 湖北卷]如图所示，半径为 R 的光滑圆环固定在竖直平面内，原长为 $2\sqrt{3}R$ 的轻质弹簧一端固定在圆环上与圆心 O 等高的位置，另一端连接一个套在圆环上质量为 m 的小球，平衡时弹簧与水平方向的夹角为 30°。弹簧在弹性限度内，重力加速度大小为 g，弹簧的劲度系数为



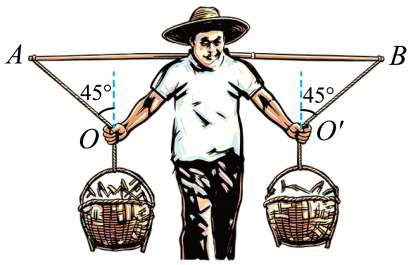
A. $\frac{\sqrt{3}mg}{6R}$　　B. $\frac{mg}{2R}$　　C. $\frac{\sqrt{3}mg}{3R}$　　D. $\frac{mg}{R}$

答案 C

解析 此时弹簧长度为 $\sqrt{3}R$，即处于压缩状态。小球受力分析如图，由几何关系可知 $kx=mg$，其中形变量 $x=2\sqrt{3}R-\sqrt{3}R=\sqrt{3}R$，故 $k=\frac{mg}{\sqrt{3}R}$



23. [2026 · 贵州卷]如图，农民伯伯挑玉米时用双手分别抓住轻绳的 O、O' 点处，某时刻绳 OA、$O'B$ 与竖直方向的夹角均为 45°，手对绳的作用力分别垂直于 OA、$O'B$，所有作用力在同一竖直平面内，此时人和物均处于平衡状态。已知每筐玉米质量为 m，重力加速度大小为 g，忽略筐和扁担质量，则此时扁担对肩膀的作用力大小为 （　　）



A. $\frac{\sqrt{2}}{2}mg$　　B. mg　　C. $\sqrt{2}mg$　　D. $2mg$

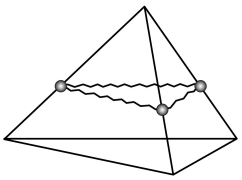
答案 B

解析 对轻绳的 O 点分析，由三力平衡得 OA 绳拉力 $F=\frac{mg}{\sqrt{2}}$，同理 $O'B$ 绳拉力 $F=\frac{mg}{\sqrt{2}}$；

对扁担分析，其受到 OA、$O'B$ 拉力和肩膀的支持力 F_N，有 $F_N=2F\cos45°=mg$，由牛顿第三定律得扁担对肩膀的作用力 $F_N'=F_N=mg$。

【一根绳子，如果不计质量，没有外力（如摩擦、人手点力、自身重力分量）沿绳子方向作用在绳子上，则拉力处处相等。】此题有手的作用，故 O 点两侧绳子拉力不同（若相同，则手对绳的作用力方向沿绳子角平分线）。

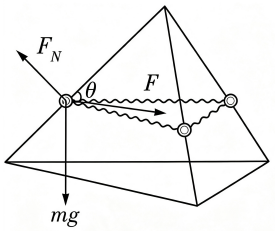
24. [2026 · 山东卷]如图所示，由光滑刚性杆组成的正四面体框架放置在水平面上，三条棱上各套有一个质量为 m 的小球。三个小球通过相同的轻质弹簧连接，静止时恰好处于同一水平面。已知弹簧始终在弹性限度内，劲度系数为 k，重力加速度大小为 g，则每根弹簧的伸长量为



A. $\frac{2\sqrt{3}mg}{3k}$　　B. $\frac{\sqrt{6}mg}{3k}$　　C. $\frac{\sqrt{2}mg}{k}$　　D. $\frac{\sqrt{3}mg}{k}$

答案 B

解析 由题意得每根弹簧的伸长量相等，设每根弹簧的伸长量为 x，光滑刚性杆与水平面的夹角为 θ，结合正四面体的特点，由几何关系可得 $\cos\theta=\frac{1}{\sqrt{3}}$，设两根弹簧对小球的弹力的合力大小为 F，则有 $F=2kx\cos30°=\sqrt{3}kx$。



对其中一个小球受力分析，如图所示

沿杆方向上，由平衡条件有 $mg\sin\theta=F\cos\theta$，得 $F=mg\tan\theta=\sqrt{2}mg$，故 $\sqrt{3}kx=\sqrt{2}mg$，$x=\frac{\sqrt{6}mg}{3k}$

25. [2026 · 江西卷]某大桥是一座独柱斜塔斜拉桥，如图 (a) 所示。大桥斜塔、正索区及两组对称分布的背索区结构分别等效为刚性杆 PO、拉索 PA、PB 和 PC，如图 (b) 所示，AD 为桥面中心线，BC 与 AD 垂直，PO、PA 所在平面与桥面垂直，且 PO、PA 与桥面的夹角分别为 θ、α，PB 与 PC 长度相等且夹角为 2β，$\angle DPO=\gamma$。设 PA、PB 和 PC 对 PO 的拉力分别为 T_1、T_2 和 T_3。若此三力的合力沿 PO 方向，且 $T_2=T_3$，不考虑拉索的质量，则 T_1 与 T_2 的比值为



图 (a)

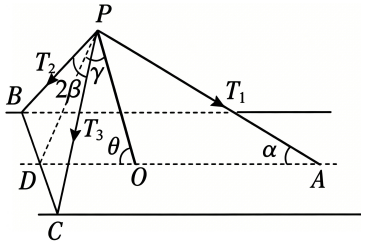
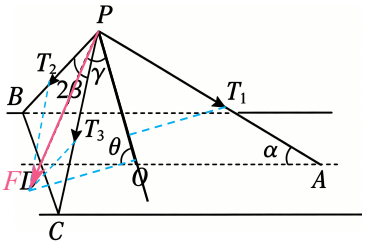


图 (b)

A. $\dfrac{2\sin\gamma\cos\beta}{\sin(\theta-\alpha)}$　　B. $\dfrac{2\sin(\theta-\alpha)\cos\beta}{\sin\gamma}$　　C. $\dfrac{2\sin\gamma}{\sin(\theta-\alpha)\cos\beta}$　　D. $\dfrac{2\sin(\theta-\alpha)}{\sin\gamma\cos\beta}$

答案　A

解析　T_2 和 T_3 的合力为 $F=2T_2\cos\beta$，由于三力的合力沿 PO 方向，故垂直 PO 方向上，F 分力和 T_1 分力相等，即 $2T_2\cos\beta\sin\gamma=T_1\sin(\theta-\alpha)$，故 $\dfrac{T_1}{T_2}=\dfrac{2\sin\gamma\cos\beta}{\sin(\theta-\alpha)}$。



26. [2026 · 四川卷]（多选）如图所示，球心为 O、半径为 R 的半球体固定于水平地面，质量为 m 的杂技演员依靠双手支撑竖直倒立在球面上。双手对球面压力的作用点的连线是与地面平行、圆心为 O' 的小圆的直径，压力大小均为 N 且不超过 $\frac{3}{5}mg$（g 为重力加速度大小）。手与球面间动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等。设 OO' 长为 h，则 （　　）



A. $h=\frac{R}{2}$ 时，演员保持平衡状态，N 大小可能为 $\frac{3}{5}mg$

B. $h=\frac{R}{2}$ 时，演员可以通过增大 N 往上移动

C. $h<\frac{\sqrt{3}}{4}R$ 时，演员不可能保持平衡状态

D. 演员要保持平衡状态，N 的最小值为 $\frac{\sqrt{3}}{4}mg$

答案 AD

解析 平衡时，对人受力分析，受到两个支持力 N、两个静摩擦力 f 和自身重力，竖直方向有

$N\sin\alpha+f\cos\alpha=\frac{mg}{2}$，其中 $\sin\alpha=\frac{h}{R}$，$f\leqslant\frac{\sqrt{3}}{3}N$　　得 $N\geqslant\frac{\sqrt{3}mg}{4\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)}$

A．当 $h=\frac{R}{2}$ 时 $\alpha=\frac{\pi}{6}$，则 $N\geqslant\frac{mg}{2}$，故结合题意得 $\frac{1}{2}mg\leqslant N\leqslant\frac{3}{5}mg$，故 A 正确；

B．结合选项 A 分析可知，当 N 增大时，演员仍能保持平衡状态，不会往上移动，故 B 错误；

D．当 $\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)=1$，即 $\alpha=\frac{\pi}{3}$ 时 N 有最小值 $\frac{\sqrt{3}}{4}mg\left(\leqslant\frac{3}{5}mg\right)$，故 D 正确；

C．由 $\frac{\sqrt{3}mg}{4\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)}\leqslant N\leqslant\frac{3}{5}mg$ 得 $\frac{5\sqrt{3}}{12}\leqslant\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)$，数值解得 $h=R\sin\alpha\approx0.28R<\frac{\sqrt{3}}{4}R$，故 C 错误。

【方法二】结合全反力、摩擦角、受力图图解法（略）

27. [2026 · 河南卷]（多选）智能飞行器飞行表演中，两飞行器 M、N 位于同一高度，沿同一直线同向匀速飞行。依据表演要求，M 保持飞行速度不变，N 先匀加速后匀减速调整与 M 的间距，20s 以内完成调整。从开始调整时计时，N 传回的数据如表所示，则调整过程中（　　）

时间(s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
间距(m)	281	294	297	290	273	248	227	212	203	200	200

A. 10s 末 N 的速度达到最大值　　B. 7s 末 N 与 M 的间距为 281.5m

C. N 加速阶段的加速度大小为 2.5m/s^2　　D. N 与 M 的相对速度的最大值为 13.5m/s

答案 *CD*

解析 由于 0~2 s 内 M、N 相互远离，故存在两种可能：

Ⅰ．初始时 $v_N \geqslant v_M$，N 在 M 前方加速；　　Ⅱ．初始时 $v_N < v_M$，N 在 M 后方加速。

以 M 为惯性参考系，N 相对 M 做匀变速运动，分析表格数据如下（表中负号代表相互靠近）。

时间区间 (s)	0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20
相对位移 (m)	13	3	−7	−17	−25	−21	−15	−9	−3	0

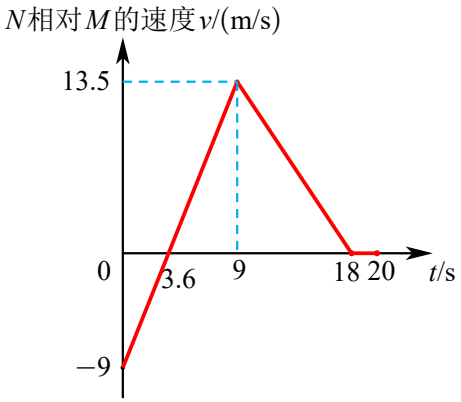
① 0~8 s 内，连续相等时间间隔的位移差都为 −10 m，说明这段时间 N 一直相对 M 做匀变速运动，即一直相对地面做匀加速运动，且 N 先远离后靠近 M，故排除情况①，符合情况②。由 $\Delta x = a_1 T^2$ 得 N 加速阶段的加速度大小 $a_1 = \dfrac{\Delta x}{T^2} = \dfrac{10}{2^2} = 2.5\text{m/s}^2$，故 C 正确。

② 10~18 s 内，连续相等时间间隔的位移差都为 6 m，可得 N 减速阶段的加速度大小 $a_2 = \dfrac{\Delta x}{T^2} = \dfrac{6}{2^2} = 1.5\text{m/s}^2$。

③ 8~10 s 内的某时刻 t，N 速度达到最大值。$t = 6$ s 时 N 相对 M 的速度 $v_6 = \dfrac{-7-17}{4} = -6\text{ m/s}$，$t = 12$ s 时 N 相对 M 的速度 $v_{12} = \dfrac{-21-15}{4} = -9\text{ m/s}$（负号仅代表 N 向 M 靠近）。

由匀加速直线运动的速度与时间关系得 $6 + a_1(t-6) = v_{相max}$，$v_{相max} - a_2(12-t) = 9$ 得 $t = 9$ s，即 9 s 末 N 速度最大，N 与 M 的相对速度的最大值 $v_{相max} = 13.5\text{ m/s}$，故 A 错误 D 正确；

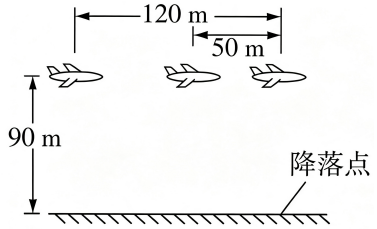
6~7 s，N 相对 M 靠近距离 $\Delta x = 6 \times 1 + \dfrac{1}{2} \times 2.5 \times 1^2 = 7.25\text{ m}$，故 7s 末 N 与 M 的间距 $s = 290 - \Delta x = 282.75\text{ m}$，故 B 错误。



28. [2026 · 四川卷]某款国产民用无人机已实现全自动作业。如图所示，无人机完成某次任务后开始返航，此时所在位置与降落点的水平距离为120m，竖直距离为90m。无人机先以10m/s的速度沿水平直线飞行至与降落点水平距离50m处，然后沿原运动方向做匀减速直线运动至降落点正上方，随后用时33s竖直下降至降落点，返航结束。求：

(1) 无人机沿水平方向做匀减速直线运动的加速度大小；

(2) 无人机从开始返航到返航结束的位移大小和平均速度大小。



答案 (1)$a=1\text{m/s}^2$　(2)$\Delta x=150\,\text{m}$，$\bar{v}=3\,\text{m/s}$

解析 (1) 由 $v^2=2ax_2$　得 $a=\dfrac{v^2}{2x_2}=\dfrac{10^2}{2\times50}\,\text{m/s}^2=1\text{m/s}^2$

(2) 位移大小 $\Delta x=\sqrt{120^2+90^2}=150\,\text{m}$

$t_1=\dfrac{x_1}{v}=\dfrac{120-50}{10}\,\text{s}=7\,\text{s}$，$t_2=\dfrac{v}{a}=10\,\text{s}$，$t_3=33\,\text{s}$，故 $t=t_1+t_2+t_3=50\,\text{s}$

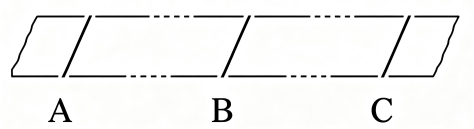
则平均速度大小 $\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{t}=3\,\text{m/s}$

29. [2026 · 重庆卷]智能交通控制中，为提升通行效率，某些路段设置了“绿波带”，能使以一定速度行驶的车辆连续绿灯通行。小明选取某平直道路相邻三个路口 A、B、C 的信号灯进行模拟研究(如图)，路口间距 $AB=BC=600\text{m}$。三个路口绿灯、红灯持续时间均为30s。$t=0$ 时，A 的绿灯开启；$t=30\text{s}$ 时，B 的绿灯开启；$t=90\text{s}$ 时，C 的绿灯开启。$t=0$ 时，车由静止从 A 开始做匀加速直线运动直到速度大小为15m/s，之后一直做匀速直线运动并依次通过 B、C 路口。车视为质点，不计通过路口的时间，不考虑黄灯时间。

(1) 求车做匀加速直线运动的平均速度大小。

(2) 若 $t=50\text{s}$ 时，车刚好通过 B 路口，求车做匀加速直线运动的位移大小。

(3) 若车在 $90\text{s}\leqslant t\leqslant100\text{s}$ 内通过 C 路口，求车做匀加速直线运动的加速度大小范围。



答案 (1)7.5m/s　(2)150m　(3)$0.375\text{m/s}^2\leqslant a\leqslant0.75\text{m/s}^2$

解析 (1) 对于匀变速直线运动，某段过程的平均速度满足 $\bar{v}=\dfrac{v_0+v}{2}$，其中 $v_0=0$，$v=15\text{m/s}$，

故 $\bar{v}=\dfrac{0+15}{2}\,\text{m/s}=7.5\text{m/s}$

(2) 设匀加速时间为 Δt，则有 $AB=\dfrac{v}{2}\Delta t+v(t-\Delta t)$　其中 $t=50\,\text{s}$　得 $\Delta t=20\,\text{s}$

车做匀加速直线运动的位移大小 $\Delta x=\bar{v}\Delta t=150\,\text{m}$

(3)【方法一】设匀加速时间为 t_1，匀速时间为 t_2，总时间为 t，有

$AC=\frac{v}{2}t_1+vt_2$，$t_1+t_2=t$，$90\text{s}\leqslant t\leqslant 100\text{s}$　　得 $20\text{s}\leqslant t_1\leqslant 40\text{s}$

由 $a=\frac{v}{t_1}$　　得 $\frac{3}{8}\text{m/s}^2\leqslant a\leqslant\frac{3}{4}\text{m/s}^2$

【方法二（取临界情况）】由于 $30\text{s}\leqslant t\leqslant 60\text{s}$ 内 B 处绿灯，且 $t_1=\frac{BC}{v}=40\text{s}$，

①若 $t=100\text{s}$ 时到达 C 处，则 $t=60\text{s}$ 时恰通过 B，符合题意，故有

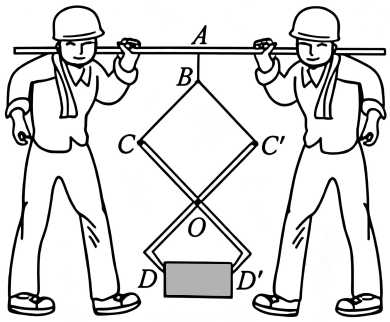
$AB=\bar{v}\Delta t+v(t-\Delta t)$　　其中 $t=60\text{s}$　　得 $\Delta t=40\text{s}$，可知最小加速度 $a_1=\frac{v}{\Delta t}=\frac{3}{8}\text{m/s}^2$

②若 $t=90\text{s}$ 时到达 C 处（由①可知 BC 段已经匀速），则 $t=50\text{s}$ 时通过 B，符合题意，故有

$AB=\bar{v}\Delta t+v(t-\Delta t)$　　其中 $t=50\text{s}$　　得 $\Delta t=20\text{s}$，可知最大加速度 $a_2=\frac{v}{\Delta t}=\frac{3}{4}\text{m/s}^2$

综上可知，车做匀加速直线运动的加速度大小范围为 $\frac{3}{8}\text{m/s}^2\leqslant a\leqslant\frac{3}{4}\text{m/s}^2$

30. [2026 · 广西卷]如图，工人使用夹具移动石料，夹具由不可伸长的绳 AB、BC、BC' 及硬杆 CD'、$C'D$ 组成，两杆在 O 点铰接。若长方体石料质量 $m=80\text{kg}$，质量分布均匀，夹具夹起石料时，石料底面保持水平，$BCOC'$ 为正方形。忽略绳和杆的质量，重力加速度 g 取 10m/s^2。



(1) 夹具夹着石料离开地面静止时，求绳 BC 中的拉力大小；

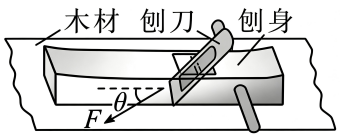
(2) 工人放下石料时，夹具夹着石料由静止开始匀加速下落 0.1m，用时 0.2s，求此过程中石料受到的摩擦力大小。

答案　(1)$400\sqrt{2}\,\text{N}$　　(2)$400\,\text{N}$

解析　(1) 对 B 点分析，B 上端拉力即为 Mg，故 $F_{BC}=\frac{Mg}{\sqrt{2}}=400\sqrt{2}\,\text{N}$

(2) 由 $h=\frac{1}{2}at^2$ 得 $a=5\text{m/s}^2$，对石块有 $Mg-f=Ma$，得 $f=400\,\text{N}$

31. [2026 · 重庆卷]《天工开物》记载了一种传统木工工具——刨子。如图所示，刨子主要由刨身和刨刀构成。为体验使用刨子，小明先将刨刀取下，用大小为 F、方向斜向下并与水平面夹角为 θ 的力作用于刨身，使其在木材水平表面做匀速直线运动，已知重力加速度大小为 g。



(1) 求刨身做匀速直线运动时受到的滑动摩擦力大小。

(2) 若刨身与木材间的动摩擦因数为 μ，求刨身的质量。

(3) 将刨刀装入后，刨子质量为 M，改变推力，使刨子在木材水平表面由静止开始做匀加速直线运动。若加速度大小为 a，运动距离为 L，求该过程中刨子所受合力的冲量大小。

答案 (1)$F\cos\theta$　(2)$\dfrac{F(\cos\theta-\mu\sin\theta)}{\mu g}$　(3)$M\sqrt{2aL}$

解析 (1) 刨身匀速直线运动，水平方向受力平衡。将斜向下的推力 F 沿水平、竖直方向分解，水平分力为 $F\cos\theta$，滑动摩擦力与水平分力大小相等，因此滑动摩擦力 $f=F\cos\theta$

(2) 竖直方向受力平衡，木材对刨身的支持力 N 满足 $N=mg+F\sin\theta$

滑动摩擦力满足 $f=\mu N$，$f=F\cos\theta$

代入得 $F\cos\theta=\mu(mg+F\sin\theta)$　得刨身质量 $m=\dfrac{F(\cos\theta-\mu\sin\theta)}{\mu g}$

(3) 刨子由静止开始做匀加速直线运动，由运动学公式 $v^2=2aL$　得末速度 $v=\sqrt{2aL}$

根据动量定理，合力的冲量等于物体动量的变化量，初动量为 0，因此

合力冲量 $I=\Delta p=Mv-0=M\sqrt{2aL}$

二、必修二

1. [2026 · 四川卷]小车在水平地面上做匀速直线运动。零时刻，站在小车上的甲沿与小车运动方向平行的方向抛出一个小球，乙站在小车侧方水平地面上观测到小球做直线运动直至落地。忽略空气阻力。则　(　　)

A. 乙观测到小球的运动轨迹与地面垂直　　B. 乙观测到小球的加速度为零

C. 甲抛球方向与小车前进方向相同　　D. 小球相对地面的初速度不为零

答案 A

解析 AB．乙观察到小球做自由落体运动，加速度为 g，轨迹与地面垂直，故 A 正确，B 错误；

CD．小球相对地面的初速度为零，则甲抛球方向应与小车前进方向相反，故 CD 错误。

2. [202601 · 浙江卷]如图所示，钢架雪车运动员在具有阻力的倾斜赛道上滑行，则



A. 运动员在转弯时加速度为 0

B. 运动员和钢架雪车整体机械能守恒

C. 钢架雪车所受重力和赛道对钢架雪车的支持力是一对平衡力

D. 钢架雪车对赛道的压力与赛道对钢架雪车的支持力是一对作用力和反作用力

答案 D

解析 A．转弯时有向心加速度；

B．由于赛道有阻力，故机械能不守恒；

C．两力的大小和方向都不同，不是一对平衡力。

3. [2026·重庆卷]2026年我国自主设计和制造的摩托车在世界大赛中多次夺冠，实现了历史性突破。如图所示，某次比赛中，骑手和车以一定速度经过拱形赛道最高点时，骑手和车(整体视为质点)



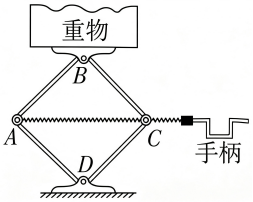
A. 向心加速度为零　　B. 速度越大向心力越小

C. 所受支持力大于重力　　D. 所受重力与支持力的合力提供向心力

答案 D

解析 $mg-F_N=F_n=ma_n=\dfrac{mv^2}{R}$

4. [2026 · 河北卷](多选)某千斤顶的结构如图所示，四根等长杆由铰链相连。摇动手柄竖直抬升重物过程中，A、C两点的间距每秒均匀缩短2mm，当$\angle CAB=45°$时，下列说法正确的是　　(　　)



A. A与C两点速度大小相等，方向相反

B. B点速度方向竖直向上，大小为2mm/s

C. C点速度方向沿CB向上，大小为1mm/s

D. A点相对C点的速度沿水平方向，大小为2mm/s

答案 BD

解析 题目中AB、BC、CD、DA四点间为刚性杆，杆长不变，则A、B、C、D四点运动时沿杆方向的速率一定相等；A、C两点间距缩小，DA、DC杆均绕D点转动，A点速度垂直于DA斜向右上，C点速度垂直于DC斜向左上。

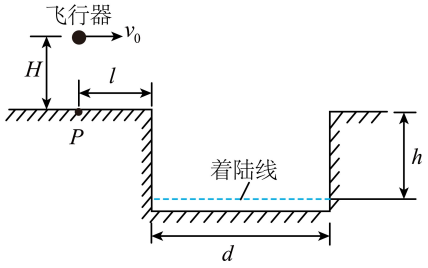
A．当$\angle CAB=45°$时，A点速度沿AB方向，C点速度沿CB方向，故A错误；

B．由对称性可知B点合速度竖直向上，由沿杆方向速度相同可知$v_B\sin 45°=v_A$，而A、C两点水平靠近的相对速度为$2v_A\cos 45°=2\text{mm/s}$，故$v_A=\sqrt{2}\,\text{mm/s}$，$v_B=2\text{mm/s}$，故$B$正确；

C．C点速度大小$v_C=v_A=\sqrt{2}\,\text{mm/s}$，故$C$正确；

D．由于A、C竖直方向的分速度相等，故A点相对C点的速度沿水平方向，大小即为$2v_A\cos 45°=2\text{mm/s}$，故$D$正确。

5. [2026·广东卷]如图是月球上一圆柱形阴影坑竖直截面图。假定某飞行器在月面上空 $H=1.28\text{km}$ 向坑中心方向以速度 v_0 匀速水平飞行。在距坑边 $l=1.2\text{km}$ 的 P 点正上方关闭动力，此后只受月球重力，直至抵达着陆线。已知坑直径 $d=3\text{km}$，月面至着陆线深度 $h=1.6\text{km}$，月面重力加速度取 $g_{月}=1.6\text{m/s}^2$，飞行器可视为质点。飞行器安全到达着陆线，则 v_0 的大小可能是　　(　　)



A. 20m/s　　B. 50m/s　　C. 110m/s　　D. 120m/s

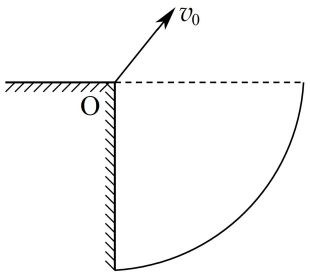
答案 B

解析 ①恰好掠过坑左上角，有 $H=\frac{1}{2}gt^2$，$l=v_0t$，得 $v_0=l\sqrt{\frac{g}{2H}}=30\,\text{m/s}$；

②恰好到达着陆线右端，同理得 $v_0=(l+d)\sqrt{\frac{g}{2(H+h)}}=70\,\text{m/s}$。

故要到达着陆线，应有 $30\,\text{m/s}<v_0<70\,\text{m/s}$。

6. [2026·湖北卷](多选)某山沟竖直截面图如图所示，山沟的一侧竖直，另一侧是以 O 点为圆心、R 为半径的 $\frac{1}{4}$ 圆弧，圆弧最高点与 O 点等高。救援队从 O 点以大小为 $v_0=\frac{\sqrt{2gR}}{2}$ 的初速度向该山沟投掷救援物资，其中 g 是重力加速度大小。物资可视为质点，不计空气阻力。为避免损坏救援物资，要求物资落到圆弧上的速率最小，则物资



A. 在空中运动的时间为 $\sqrt{\frac{2R}{g}}$　　B. 与水平方向成 45° 角斜上抛

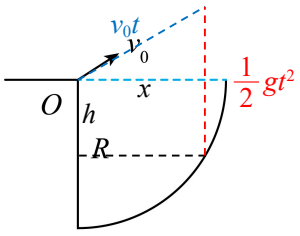
C. 抛出点与落点的高度差为 $\frac{\sqrt{2}R}{2}$　　D. 落到圆弧上的最小速率为 $\frac{\sqrt{6gR}}{2}$

答案 AD

解析 A．设初速度与水平方向的夹角为 θ，规定竖直向下为正方向，有

$$\begin{cases} h=-v_0\sin\theta\cdot t+\frac{1}{2}gt^2 & ① \\ x=v_0\cos\theta\cdot t & ② \\ h^2+x^2=R^2 & ③ \end{cases}$$

由①②得 $\begin{cases} v_0t\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2-h \\ v_0t\cos\theta=x \end{cases}$ 两方程平方再相加，得



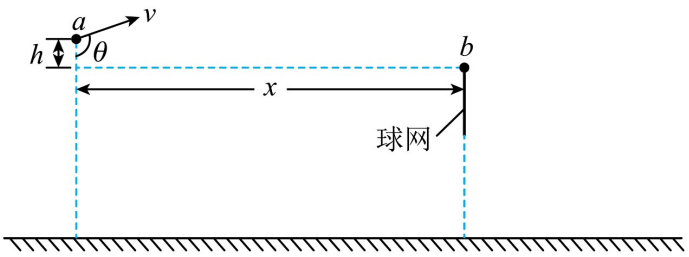
$v_0^2t^2=x^2+(\frac{1}{2}gt^2-h)^2$　【或根据“斜交分解法”直接得到】

即 $v_0^2t^2=R^2-h^2+(\frac{1}{2}gt^2-h)^2$　　整理得 $h=\frac{R^2}{gt^2}+\frac{gt^2}{4}-\frac{R}{2}$

由动能定理 $mgh=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ 可知，要求物资落到圆弧上的速率最小，应使 h 最小。

当且仅当 $\frac{R^2}{gt^2}=\frac{gt^2}{4}$，即 $t=\sqrt{\frac{2R}{g}}$ 时，有最小值 $h_{min}=\frac{R}{2}$，此时 $x=\frac{\sqrt{3}}{2}R$，$\theta=30°$，$v_{min}=\frac{\sqrt{6gR}}{2}$。

7. [2026 · 云南卷]（多选）如图所示，运动员在空场上将排球从 a 点击出，a 点与球网顶部 b 点的水平距离为 x、竖直距离为 h，排球被击出时速度大小为 v、方向与重力方向之间的夹角为 θ（$0°<\theta<180°$）。将排球视为质点，其运动轨迹所在平面与球网平面垂直，不计空气阻力，不考虑擦网球。运动员某次以 $\theta=90°$ 击球时，排球贴近 b 点越过球网后正好落到对方场地的底线上，相对于此次击球，下列说法正确的是



A. 保持 v、x、h 不变，减小 θ，排球一定下网

B. 保持 v、x、h 不变，增大 θ，排球一定不会出界

C. 保持 θ 不变，增大 x 同时减小 h，排球不下网就一定出界

D. 保持 x、h 不变，同时增大 v 和 θ，排球从被击出到落地所需时间可能不变

答案　AC

解析　A．$\theta=90°$ 时由平抛规律得 $\begin{cases}x=vt\\h=\frac{1}{2}gt^2\end{cases}$。减小 θ，则到达球网的时间 $t'=\frac{x}{v\sin\theta}>t$，下落距离 $y=v_yt'+\frac{1}{2}gt'^2>h$，故一定下网，$A$ 正确；

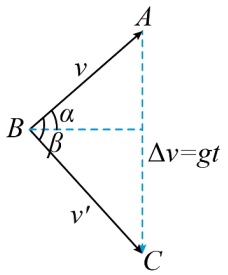
C．增大 x 同时减小 h，要使排球不下网，必须增大初速度，则球从 b 点上方经过时的水平速度比之前大，故水平位移变大，一定出界，C 正确；故选 AC。

D．同时增大 v 和 θ，则排球抛出时有竖直向上的分速度，故落地时间更久，D 错误；

B．设球抛出时与水平方向的夹角为 $\alpha(0\leqslant\alpha\leqslant90°)$，由动能定理可知落地时速度 v' 大小不变，作出初、末速度的矢量关系图如图。三个速度矢量构成的三角形的面积 $S=\frac{1}{2}gt\cdot v_0\cos\alpha$，而水平位移 $L=v_0\cos\alpha\cdot t$，

联立得 S 和 L 的关系 $S=\frac{1}{2}gL$。

可知要使水平位移 L 最大，应使 S 最大。由于 v 和 v' 均为定值，故当 v 与 v' 方向相互垂直时 S 最大。由于球水平抛出时初、末速度的夹角小于 $90°$，所以到达底线时仍没有超过理论最大值 L，故增大 θ 时可能出界，B 错误。



8. [2026 · 河南卷]如图1，网球运动员将球沿水平方向击出，球运动轨迹所在平面与球网面的夹角为45°，球恰好擦过球网上沿的P点，图2为球运动轨迹在球网所在平面的投影，轨迹投影在P点的切线与球网上沿的夹角为φ。已知击出时球的速度大小为20m/s，$\tan\varphi=0.2$，重力加速度大小取$g=10\text{m/s}^2$，不计阻力，则击球点到球网面的距离为（　　）

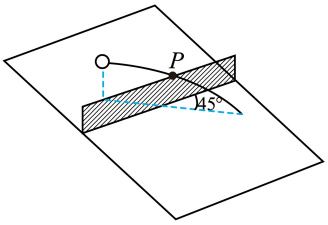


图1

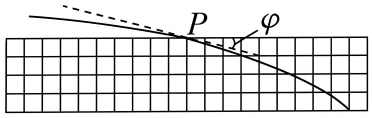


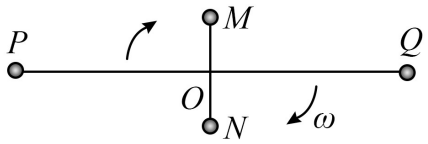
图2

A. 4m　　B. 6m　　C. 8m　　D. 10m

答案 A

解析 将平抛运动的水平分运动，沿着网面和垂直网面继续分解为两个匀速直线分运动，则沿网面的分运动速度（即投影点的水平分速度）$v_x=v_0\cos45°=10\sqrt{2}\ \text{m/s}$，则到$P$点时的竖直分速度$v_y=v_x\tan\varphi=2\sqrt{2}\ \text{m/s}$，到$P$点的时间$t=\dfrac{v_y}{g}=\dfrac{\sqrt{2}}{5}\ \text{s}$，击球点到球网面的距离$d=v_0\sin45°\times t=4\ \text{m}$。

9. [2026 · 广东卷]（多选）如图所示，在光滑的水平地面上，P、Q、M、N四个质量相等的小球通过两根不可伸长的轻绳相连，P、Q间的绳长为L_1，M、N间的绳长为L_2，两绳相交于各自的中点O，四球以相同角速度ω绕固定的O点做匀速圆周运动，已知$L_1=2\text{m}$，P、Q的向心加速度大小均为$a_1=4\text{m/s}^2$，M、N的向心加速度大小均为$a_2=1\text{m/s}^2$，四球均可视为质点，忽略空气阻力，下列说法正确的有（　　）



A. $\omega=2\text{rad/s}$　　B. $L_2=0.5\text{m}$

C. P的线速度大小为0.5m/s　　D. 轻绳对四球的拉力大小相等

答案 AB

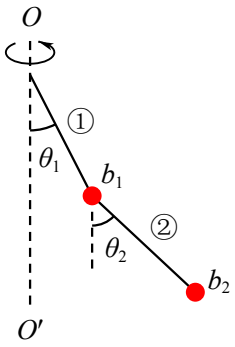
解析 A．由$a_1=\omega^2\left(\dfrac{L_1}{2}\right)$得$\omega=2\text{rad/s}$，故$A$正确；

B．由$a_2=\omega^2\left(\dfrac{L_2}{2}\right)$得$L_2=0.5\ \text{m}$，故$B$正确；

C．对P有$v_1=\omega\dfrac{L_1}{2}=2\text{m/s}$，故$C$错误；

D．绳子拉力提供向心力，由$F=m\omega^2r$可知由于四球质量相等，角速度相等，但半径不同，故拉力大小不相等，故D错误。

10. [2026 · 重庆卷]马年春晚《喜雨》舞蹈用珠帘勾勒出“春雨万物生”的唯美景象。小明用如图所示的模型分析珠帘上珠子的运动，他用柔软轻质细线连接两个相同的小球 b_1、b_2，当两小球以相同角速度绕竖直轴 OO' 做匀速圆周运动时，细线①、②与竖直方向夹角分别为 θ_1 和 $\theta_2(\theta_1<\theta_2)$，若细线①、②上弹力大小分别为 F_1 和 F_2，b_1、b_2 的线速度大小分别为 v_1 和 v_2，向心加速度大小分别为 a_1 和 a_2，忽略空气阻力，则



A. $v_1>v_2$　　B. $2a_2>a_1>a_2$　　C. $F_1>2F_2$　　D. $2F_2>F_1>F_2$

答案 D

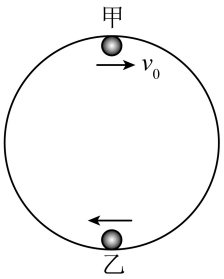
解析 A．由 $v=\omega r$，$r_1<r_2$ 可知 $v_1<v_2$，故 A 错误；

B．由 $a=\omega^2 r$ 可知 $a_1<a_2$，故 B 错误；

C．对 b_2 竖直方向有 $F_2\cos\theta_2=mg$，对 b_1、b_2 整体竖直方向有 $F_1\cos\theta_1=2mg$，其中 $\theta_1<\theta_2$，故 $2F_2>F_1$，故 C 错误；

D．对 b_1 水平方向有 $F_1\sin\theta_1-F_2\sin\theta_2=\dfrac{mv_1^2}{r_1}>0$，故 $F_1>F_2$，故 D 正确。

11. [2026 · 湖北卷]（多选）如图所示，半径为 R、内壁光滑的圆环轨道固定在竖直平面内。初始时刻，质量为 m 的小球甲从圆环内表面最高处以大小为 $v_0=\sqrt{2gR}$（g 为重力加速度大小）的水平初速度向右运动，同时质量为 $2m$ 的小球乙从圆环内表面最低处以某一水平初速度向左运动。当甲第一次运动到圆环最低点时，乙恰好第一次运动到圆环最高点。不计空气阻力，下列说法正确的是



A. 乙的初速度大小为 $3\sqrt{gR}$

B. 甲、乙两小球运动的周期相等

C. 任意时刻两小球的连线均过圆环圆心

D. 任意时刻两小球对圆环作用力的合力均不为零

答案 BD

解析 B．根据运动可逆和对称性，甲乙周期应相等，故 B 正确；

A．对甲，由动能定理 $mg(2R)=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ 得到达最低点的速度 $v=\sqrt{6gR}$，则乙的初速度为 $\sqrt{6gR}$，故 A 错误；

C．小球在竖直平面内做变速圆周运动，即小球在上半圆运动慢，下半圆运动快，故两球在相等时间内转过的角度不同，即除了初末位置外，两球连线不会经过圆环圆心，故 C 错误；

D．在初始时刻，对甲由 $mg+F_1=\frac{mv_0^2}{R}$ 得 $F_1=mg$，对乙由 $F_1'-2mg=\frac{2mv^2}{R}$ 得 $F_1'=14mg$，故由牛顿第三定律可知在初始时刻两球对圆环作用力的合力大小 $F_1'-F_1=13mg$ 不为零；

在末时刻，对甲由 $F_2-mg=\frac{mv^2}{R}$ 得 $F_2=7mg$，对乙由 $2mg+F_2'=\frac{2mv_0^2}{R}$ 得 $F_2'=2mg$，故由牛顿第三定律可知在末时刻两球对圆环作用力的合力大小 $F_2-F_2'=5mg$ 不为零；

其他时刻由于两球连线不会经过圆环圆心，故两球对圆环作用力的合力不可能为零。

综上可知，故 D 正确。

12. [202601 · 浙江卷]已知行星的平均密度为 ρ，靠近行星表面运行的卫星做圆周运动的周期为 T。对于任何行星均为同一常量的是

A. ρT　　B. ρT^2　　C. $\rho^2 T$　　D. $\rho^2 T^3$

答案 B

解析 必修二第七章 B 组习题

由引力提供向心力得 $\frac{GMm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$　　其中 $M=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$　得 $\rho T^2=\frac{3\pi}{G}$

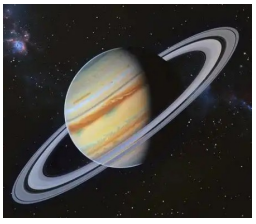
13. [2026 · 湖南卷]郭守敬望远镜是我国首个天文领域大科学装置，积累了大量的观测数据。分析观测数据表明，某行星绕一恒星做匀速圆周运动的周期为 T，轨道半径为该恒星半径的 n 倍。不考虑其他星体的影响，引力常量为 G，则该恒星的平均密度为

A. $\frac{3\pi n^3}{GT}$　　B. $\frac{3\pi}{GT}$　　C. $\frac{3\pi n^3}{GT^2}$　　D. $\frac{3\pi}{GT^2}$

答案 C

解析 设恒星半径为 R，对行星有 $\frac{GMm}{(nR)^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2(nR)$，其中 $M=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$，得 $\rho=\frac{3\pi n^3}{GT^2}$

14. [2026 · 河南卷]“土星环”是由绕土星运动的颗粒组成的带状薄圆环，图为拍摄的真实照片。已知土星的平均密度约为 $7.0\times10^2\text{kg/m}^3$，引力常量 $G=6.67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$，由照片信息估算位于“土星环”上的中间颗粒绕土星做圆周运动的周期是（　　）



A. $2.0\times10^3\text{s}$　　B. $4.0\times10^4\text{s}$　　C. $2.0\times10^5\text{s}$　　D. $4.0\times10^5\text{s}$

答案 B

解析 设土星半径为 R，由图可知“土星环”上的中间颗粒的轨迹半径约为 $2R$，有

$\frac{GMm}{(2R)^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2(2R)$，其中 $M=\rho\frac{4}{3}\pi R^3$　　得 $T=\sqrt{\frac{24\pi}{\rho G}}$

代入数据得 $T=\sqrt{\frac{24\times3.14}{7.0\times10^2\times6.67\times10^{-11}}}\approx\sqrt{\frac{24\times30\times10^8}{7\times6}}\approx\sqrt{\frac{120}{7}}\times10^4\approx4\times10^4\,\mathrm{s}$。

15. [2026 · 江西卷]我国长征八号运载火箭以“一箭十八星”的方式将千帆星座组网卫星成功送入预定轨道。已知地球质量 $M=6.0\times10^{24}\mathrm{kg}$，地球半径 $R=6.4\times10^6\mathrm{m}$，引力常量 $G=6.67\times10^{-11}\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$，不考虑地球自转的影响，则某颗卫星在高度约为 $h=600\mathrm{km}$ 的绕地球圆形轨道上运行时的速度约为

A. 6.5km/s　　B. 7.0km/s　　C. 7.6km/s　　D. 8.1km/s

答案 C

解析 由 $\frac{GMm}{(R+h)^2}=\frac{mv^2}{(R+h)}$ 得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}=\sqrt{\frac{6.67\times10^{-11}\times6.0\times10^{24}}{6.4\times10^6+0.6\times10^6}}\,\mathrm{m/s}=\sqrt{\frac{6.67\times6.0\times10^7}{7}}\,\mathrm{m/s}\approx\sqrt{\frac{40\times10^7}{7}}\,\mathrm{m/s}\approx\sqrt{\frac{400}{7}}\,\mathrm{km/s}\approx\sqrt{57}\,\mathrm{km/s}$，而 $7.6^2=57.76$，故选 C。

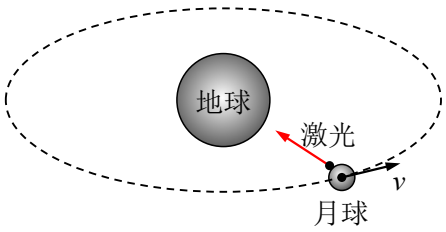
16. [2026 · 云南卷]我国“天宫”空间站的轨道离地高度约为 400 km，空间站内的宇航员每 24 h 能看到 16 次日出。“吉林一号”遥感卫星组网中的某颗卫星轨道离地高度约为 535 km。已知地球半径约为 6400 km，空间站与该卫星绕地球的运动均视为匀速圆周运动，则该卫星的周期约为

A. 1.0 h　　B. 1.5 h　　C. 2.0 h　　D. 2.4 h

答案 B

解析 空间站公转周期 $T_1=\frac{24\,\mathrm{h}}{16}=1.5\,\mathrm{h}$，由开普勒第三定律可知 $\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{r_2^3}{T_2^2}$，代入数据得 $\frac{(6400+400)^3}{1.5^2}=\frac{(6400+535)^3}{T_2^2}$，由于两者轨道半径很接近，故 $T_2\approx T_1=1.5\,\mathrm{h}$

17. [202606 · 浙江卷]月球上的宇航员用测力计测得质量为 m 的钩码重力为 W。已知月球绕地球做圆周运动的速度大小 v、月球半径 R、光速 c、引力常量 G。下列说法正确的是



A. 月球的质量为 $\frac{WR^2}{Gm}$

B. 月球的第一宇宙速度为 $\sqrt{\frac{Gm}{R}}$

C. 月球上测力计弹簧的劲度系数是地球上的 $\frac{1}{6}$

D. 宇航员将激光射向地球，地球上测得激光速度大小为 $\sqrt{v^2+c^2}$

答案 A

解析 A．由 $\frac{GMm}{R^2}=W$ 得月球质量 $M=\frac{WR^2}{Gm}$，故 A 正确；

B．月球的第一宇宙速度 v_1 跟月球自身质量有关，肯定与 m 无关，故 B 错误（由 $\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv_1^2}{R}$ 得 $v_1=\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{\frac{WR}{m}}=\sqrt{g'R}$，与 m 无关）；

C．弹簧的劲度系数与重力加速度无关，故 C 错误；

D．地球上测得激光速度仍为真空中的光速 c，不可能超过光速，故 D 错误。

18. [2026 · 重庆卷]（多选）中国空间站已成为我国规模最大、功能最全的综合性近地空间研究平台。若空间站绕地球的运动视为匀速圆周运动，轨道半径为 r，地球半径为 R，地球表面的重力加速度大小为 g，引力常量为 G，忽略地球自转的影响，则

A. 地球的质量为 $\frac{gr^2}{G}$　　B. 空间站绕地球运行的向心加速度大小大于 g

C. 空间站绕地球运行的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$　　D. 空间站绕地球运行的线速度大小为 $\sqrt{\frac{gR^2}{r}}$

答案　CD

解析　A．地球表面的重力由引力提供，由 $\frac{GMm}{R^2}=mg$ 得地球质量 $M=\frac{gR^2}{G}$，故 A 错误；

B．由 $\frac{GMm}{r^2}=ma$ 得 $a=\frac{GM}{r^2}$，而 $g=\frac{GM}{R^2}$，故 $a<g$，故 B 错误；

C．由 $\frac{GMm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$ 得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$，故 C 正确；

D．由 $v=\frac{2\pi r}{T}$ 得 $v=\sqrt{\frac{gR^2}{r}}$，故 D 正确。

19. [2026·北京卷]2026 年 2 月，我国捷龙三号运载火箭成功发射七颗卫星。假设某卫星在距离地面高度为 h 的轨道上绕地球做匀速圆周运动，周期为 T。地球的半径为 R，下列说法正确的是

A. 若已知引力常量 G，可计算地球的质量

B. 该卫星的运行速度大于第一宇宙速度

C. 该卫星的加速度大于地球表面的重力加速度

D. h 越大，卫星运行的周期 T 越小

答案　A

解析　A．由 $\frac{GMm}{(R+h)^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2(R+h)$ 可知，只需知道卫星的轨道半径和周期，即可计算地球质量，故 A 正确；

BD．物体在地球附近绕地球做匀速圆周运动的速度，叫作第一宇宙速度。依据“高轨低速大周期”可知运行速度小于第一宇宙速度，h 越大轨道越高，周期 T 越大，故 BD 错误；

C．由 $\frac{GMm}{(R+h)^2}=ma$ 可知该卫星的加速度小于地球表面的重力加速度，故 C 错误。

20. [2026 · 湖北卷]已知某卫星绕地球做椭圆运动，在近地点所受的地球引力为其在地面附近的 $\frac{1}{4}$，在远地点所受的地球引力为其在地面附近的 $\frac{1}{16}$。地面附近的重力加速度大小为 g，地球半径为 R，该卫星的运动周期为

A. $4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$　　B. $6\pi\sqrt{\frac{3R}{g}}$　　C. $16\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$　　D. $12\pi\sqrt{\frac{6R}{g}}$

答案 B

解析 近地点有 $\frac{GMm}{r_1^2}=\frac{1}{4}\frac{GMm}{R^2}$，远地点有 $\frac{GMm}{r_2^2}=\frac{1}{16}\frac{GMm}{R^2}$，故 $r_1=2R$，$r_2=4R$，椭圆半长轴 $a=\frac{r_1+r_2}{2}=3R$；地面附近有 $mg=m(\frac{2\pi}{T_0})^2R$，得 $\frac{1}{T_0^2}=\frac{g}{4\pi^2R}$；

由开普勒第三定律得 $\frac{a^3}{T^2}=\frac{R^3}{T_0^2}=\frac{gR^2}{4\pi^2}$ 得 $T=6\pi\sqrt{\frac{3R}{g}}$

21. [2026 · 四川卷]离地球 280 光年外有一恒星 TOI−561。与 TOI−561 相距约 0.01AU(日地距离为 1AU) 的行星绕其公转的周期约为地球公转周期的 $\frac{1}{800}$，该行星和地球的公转均视为匀速圆周运动。则 TOI−561 与太阳的质量的比值约为 （　　）

A. 0.16　　B. 0.64　　C. 1.6　　D. 6.4

答案 B

解析 由 $\frac{GMm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$ 得 $M\propto\frac{R^3}{T^2}$，故两者质量比 $\frac{M_1}{M_2}=\frac{0.01^3}{(\frac{1}{800})^2}=0.64$

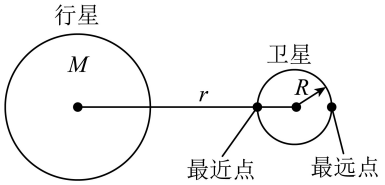
22. [2026 · 山东卷]海王星的卫星海卫二绕海王星的公转周期与地球公转周期近似相等。若太阳与海王星的质量比为 a，定义地球与太阳间的距离为 1 个天文单位 (1AU)，则海卫二公转轨道的半长轴约为

A. $\frac{1}{\sqrt[3]{a}}$AU　　B. $\frac{1}{\sqrt{a}}$AU　　C. $\sqrt[3]{a}$AU　　D. $\sqrt{a}$AU

答案 A

解析 由开普勒第三定律可知，$\frac{r^3}{T^2}=k$ 与中心天体质量成正比（r 为半长轴），则有 $\frac{(1\text{AU})^3}{T^2}/\frac{r^3}{T^2}=a$，得海卫二公转轨道的半长轴 $r=\frac{1}{\sqrt[3]{a}}$AU

23. [2026 · 广东卷]如图所示，某行星对单个卫星表面最远点与最近点的单位质量物体的“引力差值”可近似为 $F=k\frac{MR}{r^3}$，其中 k 为常量，M 为行星质量，R 为卫星球体半径，r 为行星中心到卫星中心的距离。两卫星 P 和 Q 的球体半径之比 $R_P:R_Q$ 为 2 : 1，它们绕该行星做匀速圆周运动的周期之比 $T_P:T_Q$ 为 8 : 1，该行星对卫星 P、Q 的“引力差值”分别为 F_P、F_Q，则 $F_P:F_Q$ 为 （　　）

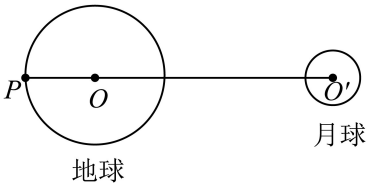


A. 1 : 4　　B. 1 : 16　　C. 1 : 32　　D. 1 : 64

答案 C

解析 由 $\frac{r_P^3}{T_P^2}=\frac{r_Q^3}{T_Q^2}$ 得 $\frac{r_P}{r_Q}=\sqrt[3]{8^2}=4$，故 $F_P:F_Q=\frac{R_P}{R_Q}\cdot\frac{r_Q^3}{r_P^3}=\frac{1}{32}$。

24. [2026 · 贵州卷]月球引潮力是引起海洋潮汐的主要原因，可等效为地表某点处质量为 Δm 的海水所受月球引力减去地心处相同质量的物质所受月球引力。已知地球半径为 R，地心 O 与月心 O' 间距为 d，月球质量为 M，引力常量为 G，地表 P 点背对月球，P、O 和 O' 在同一直线上，如图所示，则 P 点处质量为 Δm 的海水所受月球引潮力大小为 （　　）

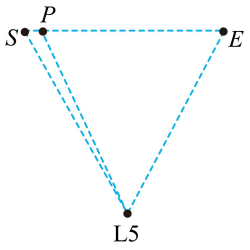


A. $\left|\frac{GM\Delta m}{d}-\frac{GM\Delta m}{R}\right|$　　B. $\left|\frac{GM\Delta m}{d^2}-\frac{GM\Delta m}{R^2}\right|$

C. $\left|\frac{GM\Delta m}{d+R}-\frac{GM\Delta m}{d}\right|$　　D. $\left|\frac{GM\Delta m}{(d+R)^2}-\frac{GM\Delta m}{d^2}\right|$

答案 D

25. [2026 · 黑吉辽卷]（多选）我国计划将“羲和二号”太阳探测卫星部署至日地系统拉格朗日点 $L5$。研究表明，太阳中心 S、地球中心 E 和 $L5$ 的连线构成稳定的等边三角形，太阳、地球和部署在 $L5$ 的卫星以相同周期绕日地连线上的 P 点做圆周运动，如图所示，则



A. 卫星的向心加速度比地球的大

B. 卫星与地球的线速度大小相等

C. 太阳和地球对卫星引力的合力指向 E、S 连线中点

D. 太阳和地球对卫星的引力大小之比等于太阳和地球的质量之比

答案 AD

解析 A．ΔPEL 中 $\angle E>\angle PLE$，故 $PL>PE$，由 $a=(\frac{2\pi}{T})^2r$ 可知 $a_{卫}>a_{地}$，故 A 正确；

B．由 $v=\frac{2\pi r}{T}$ 可知 $v_{卫}>v_{地}$，故 B 错误；

C．太阳和地球对卫星引力的合力指向 P 点，故 C 错误；

D．由 $SL=EL$，结合 $F_{引}=\frac{GMm_{卫}}{r^2}$ 可知 $F_{引}\propto M$，故 D 正确。

26. [2026 · 陕西卷]我国自主建设运行的北斗全球卫星导航系统空间段由多颗卫星组成。若轨道半径不同的两颗卫星绕地球做匀速圆周运动，角速度大小分别为 ω_1、ω_2，线速度大小分别为 v_1、v_2，则

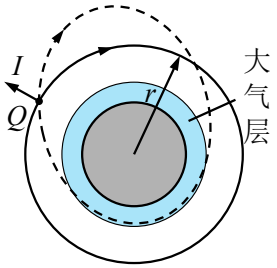
A. $\frac{v_1}{\omega_1}=\frac{v_2}{\omega_2}$　　B. $\frac{v_1}{\omega_1^2}=\frac{v_2}{\omega_2^2}$　　C. $\frac{v_1^2}{\omega_1}=\frac{v_2^2}{\omega_2}$　　D. $\frac{v_1^3}{\omega_1}=\frac{v_2^3}{\omega_2}$

答案 D

解析 由 $\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2 r=\frac{mv^2}{r}$ 得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，消去 r 可得 $\frac{v^3}{\omega}=GM$

（只要观测到任意一颗绕中心天体做圆周运动的卫星（或行星）的线速度 v 和角速度 ω，就能直接计算出中心天体的质量 $M=\frac{v^3}{G\omega}$，无需知道轨道半径。）

27. [2026 · 河北卷]为清除太空碎片对航天器的潜在威胁，某兴趣小组提出一种设想。如图所示，一质量为 m 的太空碎片绕地球做半径为 r 的匀速圆周运动，在 Q 点受到一个与其速度方向垂直且背离地心向外的瞬时冲量 I 作用，变轨到图中的椭圆轨道，最终进入大气层而烧毁，设地球质量为 M，引力常量为 G，则该太空碎片受到冲量作用后瞬间的动能为 （　　）



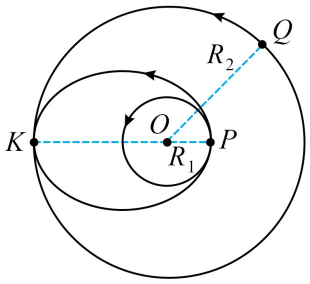
A. $\frac{GMm}{r}+\frac{I^2}{2m}$　　B. $\frac{GMm}{2r}+\frac{I^2}{2m}$

C. $\frac{GMm}{r}+\frac{I^2}{2m}+I\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　D. $\frac{GMm}{2r}+\frac{I^2}{2m}+I\sqrt{\frac{GM}{r}}$

答案 B

解析 由 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv_0^2}{r}$ 得 $v_0=\sqrt{\frac{GM}{r}}$；受到冲量 I 作用后，垂直方向获得的速度 $v_1=\frac{I}{m}$，故动能 $E_k=\frac{1}{2}m(v_0^2+v_1^2)=\frac{GMm}{2r}+\frac{I^2}{2m}$

28. [2026 · 广西卷]（多选）如图，两颗人造卫星的轨道可视为以地心 O 为圆心的共面同心圆，卫星 1、卫星 2 的轨道半径分别为 R_1、$R_2(R_2>R_1)$。初始时刻，卫星 1 位于 P 点、卫星 2 位于 Q 点，此时卫星 1 沿自身轨道切线方向发射探测器，探测器沿椭圆轨道无动力飞行，第一次到达 K 点时恰好与卫星 2 相遇，且 P、O、K 三点共线。已知地球质量为 M，引力常量为 G，图中箭头所示为卫星及探测器的绕行方向。若卫星发射探测器时自身的速度变化忽略不计，则



A. 卫星 2 运行速度大小为 $\sqrt{\dfrac{GM}{R_2}}$

B. 探测器沿椭圆轨道运动的周期为 $2\pi\sqrt{\dfrac{(R_1+R_2)^3}{GM}}$

C. 图中 $\angle POQ$ 等于 $\pi-\dfrac{\pi}{4}\sqrt{\dfrac{2(R_1+R_2)^3}{R_2^3}}$

D. 两卫星从初始时刻到第一次相距最近时，历时 $\dfrac{2\pi\sqrt{R_1^3R_2^3}-\pi\sqrt{2R_1^3(R_1+R_2)^3}}{2\sqrt{GM}\left(\sqrt{R_2^3}-\sqrt{R_1^3}\right)}$

答案 AC

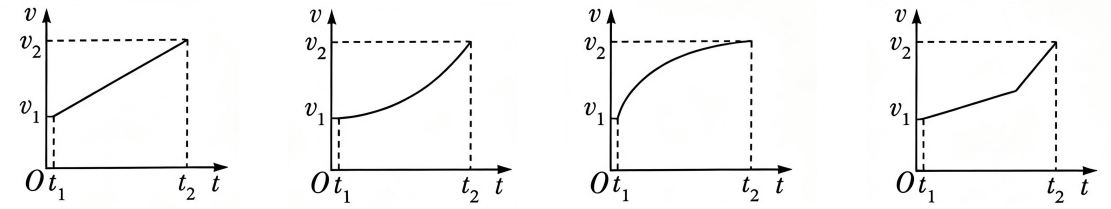
解析 A．由 $\dfrac{GMm}{R_2^2}=\dfrac{mv_2^2}{R_2}$ 得 $v_2=\sqrt{\dfrac{GM}{R_2}}$，故 A 正确；

B．卫星在高轨道时有 $\dfrac{GMm}{R_2^2}=m\left(\dfrac{2\pi}{T_2}\right)^2R_2$，得 $\dfrac{R_2^3}{T_2^2}=\dfrac{GM}{4\pi^2}$；由开普勒第三定律 $\dfrac{\left(\frac{R_1+R_2}{2}\right)^3}{T^2}=\dfrac{R_2^3}{T_2^2}$，得 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{(R_1+R_2)^3}{8GM}}$，故 B 错误；

C．由 B 选项分析可知 $T=\sqrt{\dfrac{\left(\frac{R_1+R_2}{2}\right)^3}{R_2^3}}T_2$，椭圆轨道上从 P 到 Q 的时间 $t=\dfrac{1}{2}T$，则 $\angle QOK=\dfrac{t}{T_2}(2\pi)=\pi\sqrt{\dfrac{(R_1+R_2)^3}{8R_2^3}}$，故 $\angle QOP=\pi-\angle QOK=\pi-\dfrac{\pi}{4}\sqrt{\dfrac{2(R_1+R_2)^3}{R_2^3}}$，故 C 正确；

D．$\left(\dfrac{2\pi}{T_1}-\dfrac{2\pi}{T_2}\right)t=\angle QOP$，其中 $T_2=2\pi\sqrt{\dfrac{R_2^3}{GM}}$，$T_1=2\pi\sqrt{\dfrac{R_1^3}{GM}}$，得 $t=\dfrac{\sqrt{R_1^3R_2^3}\left[\pi-\pi\sqrt{\frac{(R_1+R_2)^3}{8R_2^3}}\right]}{\sqrt{GM}\left(\sqrt{R_2^3}-\sqrt{R_1^3}\right)}$，故 D 错误。

29. [2026 · 河北卷]我国科技爱好者复原了春秋战国时期带有刃车軎(wèi)的马车，并对其性能进行了测试。在t_1~t_2时间内，若马车以恒定功率在水平路面上沿直线运动，速度从v_1加速到v_2，假定马车所受阻力不变，则马车运动的$v-t$图像可能是 （　　）

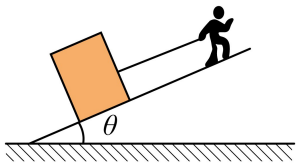


A　　B　　C　　D

答案 C

解析 由$P=Fv$可知F减小，由$F-f=ma$可知a减小，即$v-t$图像斜率减小。

30. [2026 · 山东卷]“外骨骼机器人”是一种能增强运动能力的可穿戴装置。如图所示，在倾角为θ的斜坡上，某同学最多能拉着质量为m的物体以恒定速度v沿斜坡向上运动；穿戴“外骨骼机器人”后，最多能拉着质量为$1.4m$的物体仍以相同的速度沿斜坡向上运动，绳子始终平行于斜坡，物体与斜坡之间的动摩擦因数为μ，重力加速度大小为g，则该同学穿戴装置后，拉力的功率增加了



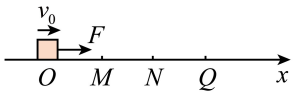
A. $0.4mgv(\sin\theta+\mu\cos\theta)$　　B. $1.4mgv(\cos\theta+\mu\sin\theta)$

C. $0.4mgv(\sin\theta-\mu\cos\theta)$　　D. $1.4mgv(\cos\theta-\mu\sin\theta)$

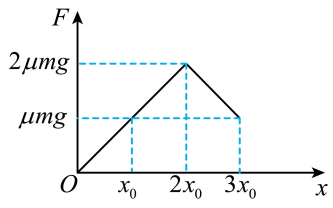
答案 A

解析 匀速时拉力$F=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$，穿戴装置后拉力$F'=1.4mg\sin\theta+1.4\mu mg\cos\theta$，故拉力的功率增加了$\Delta P=F'v-Fv=0.4mgv(\sin\theta+\mu\cos\theta)$

31. [2026 · 黑吉辽卷]如图(a)，水平面上一质量为m的物块在拉力F作用下，以初速度v_0由原点O出发，沿x轴依次经过M、N、Q三点。已知$\overline{OM}=\overline{MN}=\overline{NQ}=x_0$，物块与水平面间的动摩擦因数为$\mu$，重力加速度为$g$，$v_0=\sqrt{2\mu gx_0}$，$F$随位置$x$的变化如图$(b)$所示。设物块经过$N$、$Q$两点时$F$的瞬时功率分别为$P_N$、$P_Q$，经过$OM$、$MN$、$NQ$段$F$的平均功率分别为$\overline{P}_{OM}$、$\overline{P}_{MN}$、$\overline{P}_{NQ}$，则



图(a)



图(b)

A. $P_N>P_Q$，$\overline{P}_{OM}>\overline{P}_{MN}$　　B. $P_N<P_Q$，$\overline{P}_{OM}>\overline{P}_{MN}$

C. $P_N>P_Q$，$\overline{P}_{MN}<\overline{P}_{NQ}$　　D. $P_N<P_Q$，$\overline{P}_{MN}<\overline{P}_{NQ}$

答案 C

解析 $O\to N$过程，由动能定理得 $W_{ON}-\mu mg\cdot 2x_0=\frac{1}{2}mv_N^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，其中由 $F-x$ 图像可知 $W_{ON}=\overline{F}\cdot 2x_0=2\mu mgx_0$，故 $v_N=v_0=\sqrt{2\mu gx_0}$；

同理 $N\to Q$ 过程，由动能定理得 $W_{NQ}-\mu mgx_0=\frac{1}{2}mv_Q^2-\frac{1}{2}mv_N^2$，其中 $W_{NQ}=\frac{3\mu mgx_0}{2}$，故 $v_Q=\sqrt{3\mu gx_0}$。

故 $P_N=F_Nv_N=2\mu mg\sqrt{2\mu gx_0}$，$P_Q=F_Qv_Q=\mu mg\sqrt{3\mu gx_0}$，所以 $P_N>P_Q$。

由于 $M\to Q$ 过程始终有 $F>\mu mg$，故物块始终加速，有 $\overline{v}_{MN}<\overline{v}_{NQ}$，所以 $t_{MN}>t_{NQ}$。由图像可知 $M\to N$ 和 $N\to Q$ 过程 F 做功相同，故由 $\overline{P}=\frac{W}{t}$ 可知 $\overline{P}_{MN}<\overline{P}_{NQ}$。

32. [2026 · 江西卷]某地需设计一额定功率为 3.14×10^6W 的水平轴风力发电机。在风速为 13m/s、空气的密度为 1.3kg/m^3、发电机叶片的旋转平面与风向垂直，以及叶片转动形成圆面内的风能有 20% 转化为电能的条件下，发电机以额定功率工作。若叶片转速为 15r/min，则该圆面的直径和叶片尖端的速度分别约为

A. 59m，16m/s　　B. 59m，46m/s　　C. 118m，46m/s　　D. 118m，93m/s

答案 D

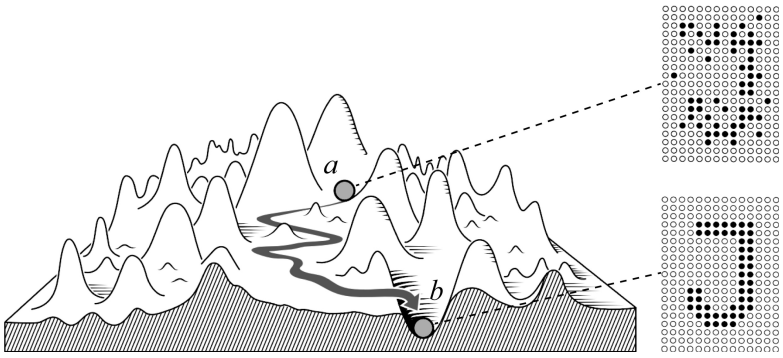
解析 风速为 v，Δt 内通过圆面 S 的空气质量为 $m=\rho Sv\Delta t$，故有 $P\Delta t=\eta\frac{1}{2}mv^2$，得 $P=\frac{1}{2}\eta\rho Sv^3$，

其中 $S=\frac{\pi d^2}{4}$，故 $d=\sqrt{\frac{8P}{\pi\eta\rho v^3}}=\sqrt{\frac{8\times3.14\times10^6}{\pi\times0.2\times1.3\times13^3}}\approx\sqrt{\frac{8\times10^6}{0.02\times13^4}}=\frac{20\times10^3}{13^2}\approx118\,\text{m}$，

叶片尖端线速度 $v'=\omega\frac{d}{2}=\frac{15\times2\pi}{60}\times\frac{118}{2}\approx93\,\text{m/s}$。

33. [2026 · 北京卷]霍普菲尔德模型是神经网络实现联想记忆的核心机制之一。作为物理思想方法在人工神经网络领域应用的重要成果，这项工作获得2024年诺贝尔物理学奖。

简单来说，该模型以0或1表示神经元的状态，所有神经元状态的集合表示神经网络状态；并给神经网络定义了一个“能量函数”(以下简称函数)，通过训练使函数变化产生多个极小值，每个极小值对应的神经网络状态代表一个存储信息，也就是记忆。在信息检索与重现过程中，神经网络状态向函数值降低的方向演化，最终达到某个极小值为止，实现已存储信息的重现。该过程可做如下类比：在如图所示的峰谷交错地形中某位置释放一个小球，小球始终沿着重力势能减小的方向运动，直至停在某个山谷底部；小球的位置对应神经网络状态，势能对应函数值。例如，输入模糊字母对应设定小球的初始位置a，小球到达谷底b对应重现出已存储的字母J。下列说法正确的是



（图片来自诺贝尔奖官方网站）

A. 信息的重现过程可类比小球在光滑的凹凸曲面上运动

B. 输入具有微小差别的两个模糊字母，可能重现出不同的已存储字母

C. 输入函数值相等的模糊字母，都可以重现出相同的已存储字母

D. 函数变化使某个谷底消失，仍可重现出原来对应的存储信息

答案 *B*

解析 *A*．若曲面光滑，小球运动过程中动能和重力势能相互转化，小球会在山谷间往复运动，无法最终停在谷底。而信息重现过程要求小球最终停在势能极小值点，类比的是存在阻力、小球沿势能持续减小方向运动直到静止的过程，*A*错误；

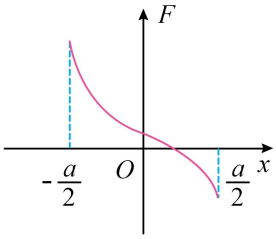
B．输入具有微小差别的两个模糊字母，类比山谷中的运动，可能到达不同的谷底，对应不同的已存储字母，*B*正确；

C．函数值相等仅对应初始位置的重力势能相等，两个势能相等的初始位置最终可能到达不同的谷底，重现出不同的存储信息，*C*错误；

D．每个谷底对应一个已存储的记忆信息，若该谷底消失，不存在对应的势能极小值点，无法重现原来对应的存储信息，D错误。

三、必修三

1. [2026 · 河南卷]在 x 坐标轴上放置电荷量为 Q_M 和 Q_N 的两点电荷，其坐标分别为 $x_M=-a$，$x_N=a$。电荷量为 $q(q>0)$ 的试探电荷沿 x 轴移动，所受静电力 F 随 x 变化的图像如图所示。取 x 轴的正向为 F 的正方向，则 （　　）



A. $Q_M>0$，$|Q_M|>|Q_N|$　　B. $Q_M>0$，$|Q_M|<|Q_N|$

C. $Q_M<0$，$|Q_M|>|Q_N|$　　D. $Q_M<0$，$|Q_M|<|Q_N|$

答案 A

解析 由图像可知在 $0<x<\frac{a}{2}$ 区域存在一点 $x=x_0$ 使得 $F=0$，故 Q_M、Q_N 带同种电荷，由 $\frac{kQ_Mq}{(a+x_0)^2}=\frac{kQ_Nq}{(a-x_0)^2}$ 可知 $|Q_M|>|Q_N|$；在 $x=0$ 处 F 方向沿 x 轴正方向，故 $Q_M>0$。

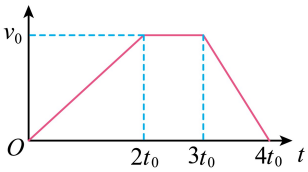
2. [2026 · 河北卷]河北雄安新区融合静电探测技术构建起“天空之网”，实现了对低空飞行器的全天候实时监测。当飞行器靠近时，固定在地面上的静电探测器探头感应出了正电荷。在感应电荷产生的静电场中，电场线 （　　）

A. 是闭合曲线　　B. 从感应正电荷出发

C. 在无电荷区域相交　　D. 终止于感应正电荷

答案 B

3. [2026 · 湖北卷]一带正电粒子仅受静电力作用，从静止开始沿直线运动，$0\sim4t_0$ 时间内，其速度 v 随时间 t 的变化图像是如图所示的三条线段。t_0 时刻、$1.5t_0$ 时刻、$3.5t_0$ 时刻粒子所在位置分别为 a 点、b 点、c 点。下列说法正确的是



A. b 点的电势比 a 点的高　　B. b 点的电场强度比 a 点的大

C. 粒子在 a、c 两点的电势能相等　　D. 粒子在 a、c 两点受到的电场力大小相等

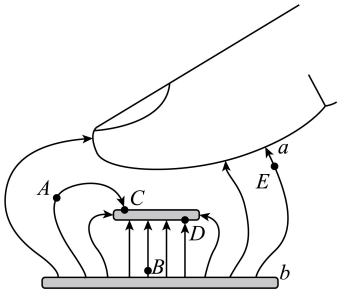
答案 C

解析 C．由图像可知 a、c 点速度相同，都为 $\frac{1}{2}v_0$，故动能相同，由能量守恒可知电势能相同，故 C 正确；

AB．粒子从 a 到 b 点过程匀加速，即电场力不变，由 $F=qE$ 可知 a、b 点电场强度相同，故 B 错误；从 a 到 b 点过程电场力做正功，电势能减小，又粒子带正电，由 $E_p=q\varphi$ 可知电势减小，故 A 错误；

D．由图像斜率可知 a、c 点加速度不同，故受到电场力不同，故 D 错误。

4. [202601 · 浙江卷]手机电容式触摸屏的核心部件可简化为平行板电容器。当手指靠近触摸屏时，电容器两极板和手指间的电场线分布如图所示。下列说法正确的是



A. A 点的电场强度大于 B 点的电场强度

B. 将一电子从 A 点移到 B 点，电子的电势能增大

C. 极板上表面 C 点的电势等于下表面 D 点的电势

D. 若电子在 E 点释放，仅受静电力作用将沿电场线 ab 运动

答案 C

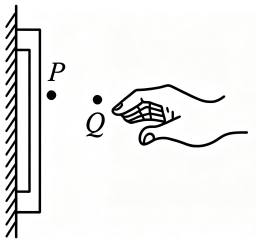
解析 A．根据电场线疏密程度，可知 A 点场强小于 B 点场强；

B．【方法一】电子从 A 到 B，电场力做正功，故电势能减小；【方法二】利用电势能公式 $E_p=q\varphi$，由于 $\varphi_A<\varphi_B$，电子 $q<0$，故 $E_{pA}>E_{pB}$；

C．该极板是一个等势体，导体表面是等势面，即 $\varphi_C=\varphi_D$，故 C 正确；

D．电子运动轨迹和电场线没有必然关系，故 D 错误。（假设能沿电场线 ab 运动，而电场力沿着电场线切线方向，无法提供曲线轨迹的向心力，故假设错误）

5. [2026 · 广西卷]天气干燥，人体因与衣服摩擦而带上正电，当手靠近金属门把手时，两者间形成静电场，P、Q 是同一条电场线上的两点，如图。则



A. P 点电势高于 Q 点电势

B. P 点电场强度大小大于 Q 点电场强度大小

C. 试探电荷 $+q$ 在 P 点电势能高于其在 Q 点电势能

D. 手触碰门把手瞬间，电子从门把手流向人体

答案 D

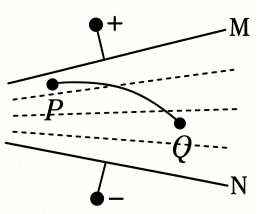
解析 A．由于人手带正电，在门把手表面感应出负电荷，电场线由正电荷指向负电荷，故电场线由 Q 指向 P，沿电场线方向电势逐渐降低，则 $\varphi_P<\varphi_Q$，故 A 错误；

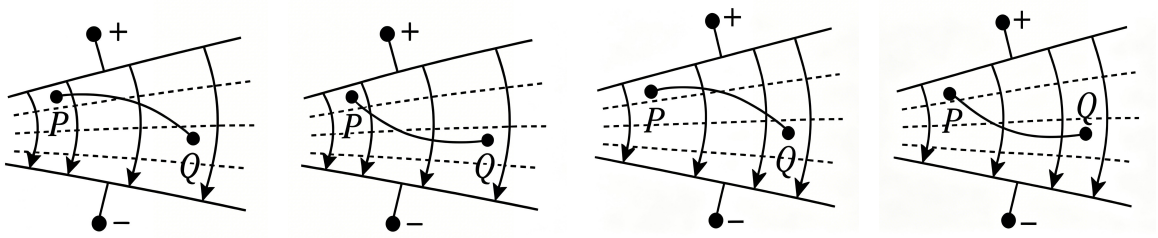
B．Q 点更靠近作为场源的手指，因此 Q 点电场强度大于 P 点，即 $E_Q>E_P$，故 B 错误；

C．正电荷的电势能 $E_{\mathrm{p}}=\varphi q$，结合 $\varphi_P<\varphi_Q$，可知 $E_{\mathrm{p}P}<E_{\mathrm{p}Q}$，故 C 错误；

D．人手与门把手触碰时，电子从门把手流向人手，与正电荷进行中和，故 D 正确。

6. [2026 · 江西卷]两块可视为无限大非平行金属板 M、N 接在恒定电压的电源上，其截面如图所示，虚线表示等势线，相邻等势线间的电势差相等。若一电子仅受电场力作用下从 P 处运动到 Q 处，则关于电场线分布和电子运动轨迹，下列选项可能正确的是



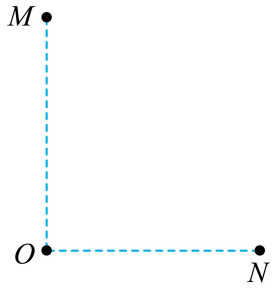


A　　B　　C　　D

答案　B

解析　电场线从正极板指向负极板，等势线密集之处电场线也密集，由负电荷受到的电场力方向可知 B 正确。

7. [2026 · 云南卷]如图所示，在大小、方向均未知的匀强电场中，O、M、N 三点处于同一竖直面内，将一质量为 0.1 kg、电荷量为 1.0×10^{-6} C 的带正电的小球(视为质点)从 O 点抛出，小球 1 s 后到达 O 点正上方 3 m 处的 M 点，再经 1 s 到达 N 点，O、N 两点在同一水平线上且相距 3 m。不计空气阻力，重力加速度 g 取 10 m/s²，设电场强度大小为 E，O、N 两点的电势分别为 φ_O 和 φ_N，则　(　　)



A. $E=6.7\times10^5$ V/m，$\varphi_O>\varphi_N$　　B. $E=6.7\times10^5$ V/m，$\varphi_O<\varphi_N$

C. $E=5.0\times10^5$ V/m，$\varphi_O>\varphi_N$　　D. $E=5.0\times10^5$ V/m，$\varphi_O<\varphi_N$

答案　C

解析　将运动分解为水平和竖直的两个匀变速直线运动，

①竖直方向上，先匀减速上升后匀加速下降，由时间对称性可知，到达 M 点时 $v_y=0$，

故 $d=\frac{1}{2}a_yt^2$　其中 $d=3$ m，$t=1$ s　　得 $a_y=6$ m/s²，方向竖直向下

由 $mg-qE_y=ma_y$　　得 $E_y=4\times10^5$ V/m，方向竖直向上

②水平方向上，由于 1 s 内水平位移为零，故先向左匀减速 0.5 s，后向右匀加速 1.5 s，

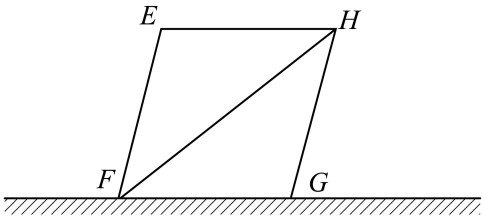
故 $d=\frac{1}{2}a_x(\frac{1}{2}t+t)^2-\frac{1}{2}a_x(\frac{1}{2}t)^2=a_xt^2$　　得 $a_x=3$ m/s²，方向水平向右

由 $qE_x=ma_x$ 得 $E_x=3\times10^5\,\mathrm{V/m}$，方向水平向右

故 $E=\sqrt{E_x^2+E_y^2}=5\times10^5\,\mathrm{V/m}$，$\tan\theta=\dfrac{E_y}{E_x}=\dfrac{4}{3}$，电场方向斜向右上方，与水平方向夹角 $\theta\approx53^\circ$

从 O 到 N，电场对正电小球做功 $W=qE_xd>0$，故 $\varphi_O>\varphi_N$。

8. [2026 · 四川卷]如图所示，边长为 l 的绝缘菱形支架 $EFGH$ 竖直放置，FG 边固定于水平地面，$\angle EFG=60^\circ$。E、G 两点各固定一带电小球，两小球带等量异种电荷。点 H、F 间固定一光滑绝缘直轨道，另一带电小球 q 从 H 点沿轨道由静止下滑至 F 点。重力加速度大小为 g，小球均可视为点电荷。则小球 q 在运动过程中 （　　）



A. 某时刻所受支持力可能为零　　B. 到达 F 点时的速率为 $\sqrt{gl}$

C. 电势能先增大后减小　　D. 所受电场力的冲量为零

答案 A

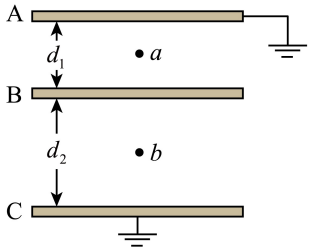
解析 C．由题意可知 FH 为等势线，故电场力不做功，电势能不变，故 C 错误；

B．只有重力做功，由 $mgl\sin60^\circ=\dfrac{1}{2}mv^2$ 得 $v=\sqrt{\sqrt{3}gl}$，故 B 错误；

D．由于运动过程中 q 始终受到方向不变的电场力，故所受电场力冲量不为零，故 D 错误；

A．若 q 受到的电场力方向垂直 FH 斜向上，则某时刻重力垂直 FH 的分量可能等于电场力，即支持力可能为零，故 A 正确。

9. [2026 · 湖南卷]如图，三个足够大的金属板 A、B、C 平行放置，B 板到 A、C 板的距离分别为 d_1、d_2，$d_1<d_2$。a 点到 A、B 板的距离相等，b 点到 B、C 板的距离相等。A、C 板均接地，B 板带电。关于 a、b 两点的电场强度 E_a、E_b 和电势 φ_a、φ_b，下列关系正确的是



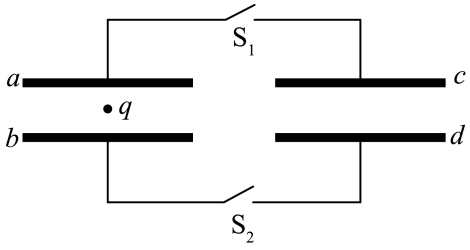
A. $E_a>E_b$　　B. $E_a<E_b$　　C. $\varphi_a>\varphi_b$　　D. $\varphi_a<\varphi_b$

答案 A

解析 AB．由于 $\varphi_A=\varphi_C=0$，带电 B 板是等势体，故电势差 $U_{BA}=U_{BC}$，由 $E=\dfrac{U}{d}$ 可知 $E_a>E_b$，故 A 正确；

CD．由于 $\varphi_a-0=U_{aA}=\dfrac{1}{2}U_{BA}$，$\varphi_b-0=U_{bC}=\dfrac{1}{2}U_{BC}$，故 $\varphi_a=\varphi_b$，故 CD 错误。

10. [2026 · 四川卷]如图所示，金属薄板 a、b、c、d 完全相同，用长导线和开关 S_1、S_2 连接，a 与 b、c 与 d 平行且间距相等，S_1、S_2 均断开。a、b 带等量异种电荷，c、d 不带电。一质量为 m、带电量为 q 的微粒静止在 a、b 之间。忽略边缘效应。则 （　　）



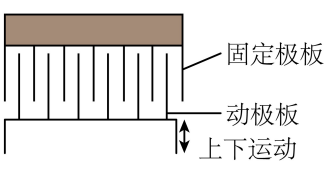
A. S_1 闭合、S_2 断开，微粒向下运动　　B. S_1 断开、S_2 闭合，微粒向上运动

C. S_1、S_2 同时闭合，微粒向下运动　　D. S_1、S_2 同时闭合，微粒保持静止

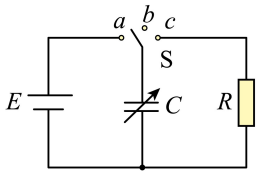
答案 C

解析 AB．只闭合 S_1，b 极板带电量不变，a 极板上的电荷被 b 极板电荷“牢牢吸引”，使得电荷不会流向 c 极板，即 ab 间电场强度不变，故微粒仍受力平衡静止不动，故 A 错误；同理可知 B 也错误；CD．同时闭合时，相当于两电容并联，左电容给右电容充电，稳定后两电容两端电压相同，由 $Q=CU$ 可知两电容带电量相同，即电荷等量分配，ab 间电荷量减小，电场强度减小，故微粒向下移动，C 正确。【方法二】同时闭合后相当于电容正对面积增大，故电容 C 增大，电压 U 减小，故电场强度减小。

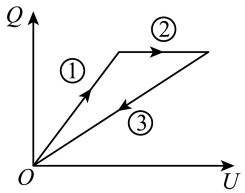
11. [2026 · 广东卷]图 (a) 为某梳齿状可变电容器截面图，上端为固定极板，下端为可上下运动的动极板。将该电容器接入图 (b) 所示电路，探究其电荷量 Q、极板电压 U 和电容 C 的变化。过程为：①当动极板运动到最高处，开关 S 接 a 端，电源 E 向电容器充电；②充电结束后 S 接 b 端空置，动极板向下运动；③当动极板运动到最低处，S 接 c 端，电容器通过 R 放电。关于该过程，下列图像可能正确的是 （　　）



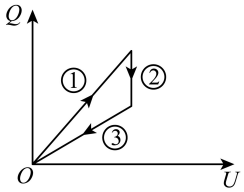
图(a)



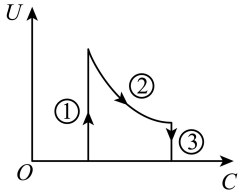
图(b)



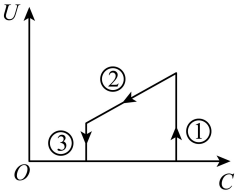
A



B



C



D

答案 A

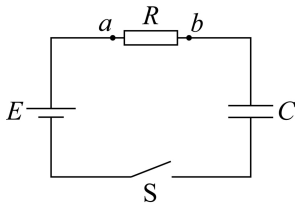
解析 ①充电过程，电容 C 不变，由 $C=\dfrac{Q}{U}$ 可知 Q 与 U 成正比；

②接 b 时电荷量 Q 不变，故排除 B 选项。动极板向下运动两极板的正对面积减小，由 $C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}\propto S$ 可

知 C 减小，故排除 C 选项；而 $U=\dfrac{Q}{C}$ 与 C 成反比，故排除 D 选项，故 A 正确。

（③放电过程，电容 C 不变，由 $C=\dfrac{Q}{U}$ 可知 Q 与 U 成正比。）

12. [2026 · 北京卷]将直流电源 E、电阻 R、平行板电容器 C 与开关 S 连接成如图所示的电路。闭合开关 S，电路达到稳定状态。下列说法正确的是



A. 此过程电源输出的能量等于电容器存储的电场能

B. 若增大电容器两极板间距离，有从 b 到 a 的电流流过电阻

C. 若断开开关，减小电容器两极板间距离，极板间电场强度增大

D. 若断开开关，在电容器两极板间插入电介质后，两极板间电势差增大

答案 B

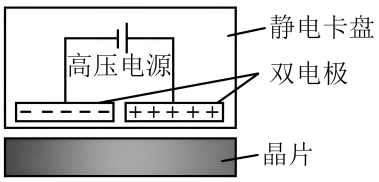
解析 A．电阻 R 上有焦耳热产生，故 A 错误；

B．由 $C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}=\dfrac{Q}{U}$ 可知，d 增大 C 减小，电路再次达到稳定状态（$U=E$）时上极板正电荷量 Q 减小，即增大 d 时电容放电，有从 b 到 a 的电流流过电阻，故 B 正确；

C．断开开关后电容所带电荷量 Q 不变，则电场强度 $E'=\dfrac{U}{d}=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$，减小 d 时 E' 不变，故 C 错误；

D．由 C 选项分析得 $U=\dfrac{4\pi kQd}{\varepsilon_r S}$，插入电介质后 ε_r 变大，故 U 减小，故 D 错误。

13. [2026 · 广东卷]静电卡盘是芯片制造中的重要设备，如图为双极型静电卡盘吸附原理简图，双电极接高压电源后，晶片靠近卡盘的一侧带上与电极极性相反的电荷，在电场力作用下向卡盘运动并被吸附。在晶片运动过程中，下列说法正确的是 （　　）



A. 电场力对晶片做负功　　B. 晶片在电场中的电势能逐渐减少

C. 晶片与卡盘电极之间表现为斥力　　D. 晶片与卡盘电极之间电场强度处处相同

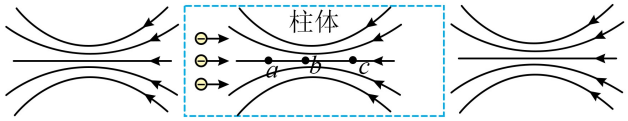
答案 B

解析 AC．晶片向卡盘运动并被吸附，故晶片与卡盘电极之间表现为引力；晶片所受电场力方向指向卡盘，与晶片向卡盘运动的位移方向同向，电场力对晶片做正功，AC 错误；

B．电场力对晶片做正功，则晶片在电场中的电势能逐渐减少，故 B 正确；

D．正电极与其正对的晶片部分间的电场线指向晶片，负电极与其正对的晶片部分间的电场线指向负电极，故 D 错误。

14. [2026 · 黑吉辽卷]某种微型“纳米光子电子加速器”利用激光照射周期性排列的纳米柱体时产生的交变电场来加速电子束。电子束通过虚线框区域的极短时间内，电场可视为恒定的，电场线分布如图所示，这段时间内



A. a 点的电场强度比 b 点的大

B. 电子沿直线从 a 点运动到 b 点时，动能减小

C. 电子沿直线从 b 点运动到 c 点时，速度增大

D. 电子束的横截面大小和形状均不变

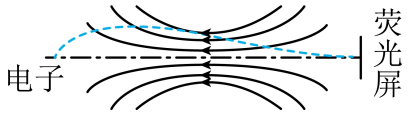
答案 C

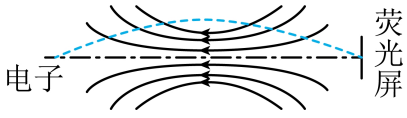
解析 A．电场线越密场强越大，故 $E_a < E_b$，A 错误；

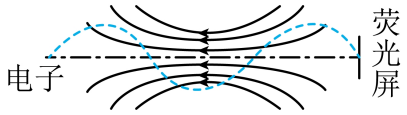
BC．从 a 到 c 过程，电场力始终做正功，故动能一直增大，故 B 错误，C 正确；

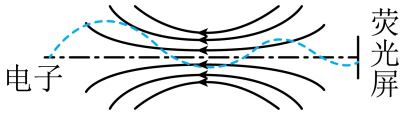
D．水平中轴线 ac 外的电子，从 a 附近到 b 附近过程中受到指向轴线的分力，故会向轴线方向加速偏移，从 b 附近到 c 附近过程中电子会向轴向方向减速偏移（指垂直分速度减小），故横截面会缩小，故 D 错误。

15. (2023·全国甲·18) 在一些电子显示设备中，让阴极发射的电子束通过适当的非匀强电场，可以使发散的电子束聚集．下列 4 幅图中带箭头的实线表示电场线，如果用虚线表示电子可能的运动轨迹，其中正确的是（　　）

A.


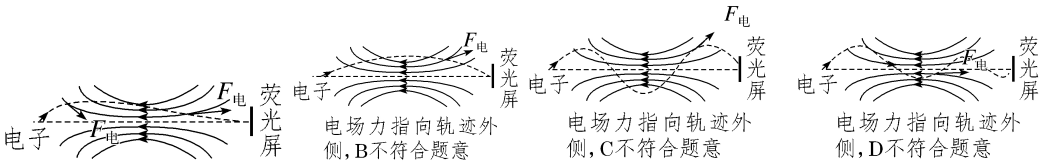
B.


C.


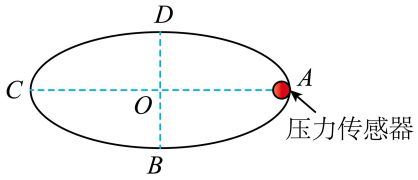
D.


答案 A

解析 带电粒子在电场中做曲线运动，粒子所受电场力指向轨迹的凹侧，如图，故 A 符合题意。



16. [2026 · 山东卷]（多选）融合新型功能材料的传感器在智能感知领域得到广泛应用。如图所示，光滑、绝缘椭圆轨道竖直放置，长轴 $AC=2a$、短轴 $BD=2b$，AC 与 BD 交于 O 点，B 为最低点，A 点处内置可感知轨道压力的传感器。空间内充满平行轨道平面、斜向上的匀强电场（图中未画出）。质量为 m、电荷量为 $+q$ 的小球置于 A 点时恰好静止，此时传感器示数等于 mg，g 为重力加速度的大小。下列说法正确的是



A. 电场强度的大小为 $\frac{mg}{q}$

B. 电场强度方向与 OA 的夹角为 $45°$

C. A、B 两点间的电势差 $U_{AB}=-\frac{(a+b)mg}{q}$

D. 若小球在 B 点的速度水平向右、大小为 v_0，则到达 D 点时速度大小仍为 v_0

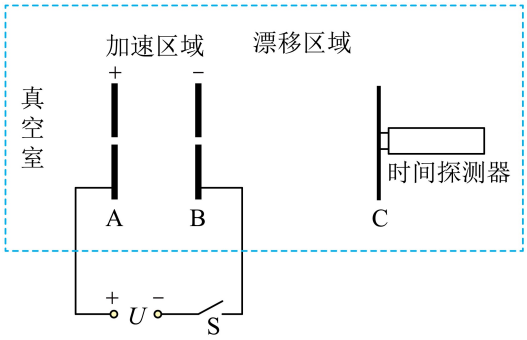
答案 BCD

解析 AB．小球在 A 点静止时受到水平向左的支持力 mg，重力 mg 和电场力 qE，由力的合成可知 $qE=\sqrt{2}mg$，即 $E=\frac{\sqrt{2}mg}{q}$，方向与 OA 夹角为 $45°$，故 A 错误 B 正确；

C．假设小球从 B 运动到 A，则电场力做功 $qU_{BA}=qE\sin45°\times b+qE\cos45°\times a=(a+b)mg$，故 $U_{AB}=-U_{BA}=-\frac{(a+b)mg}{q}$，故 C 正确；

D．由动能定理 $-mg\times2b+qE\sin45°\times2b=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，得 $v=v_0$，故 D 正确。

17. [2026 · 陕西卷] 飞行时间质谱仪可用于创新药物研发等领域，其简化工作原理如图。开关 S 闭合，在真空室内，电容器极板 AB 间加速电压为 U，两极板中央开有小孔，C 为接收端，BC 间为无场漂移区域。有一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电大分子（不计重力），自飘入（忽略初速度）A 极板小孔起，经加速区域和漂移区域到达 C 端结束，时间探测器显示整个过程时间为 t，则



A. 保持 S 闭合，仅 $\frac{q}{m}$ 变大，t 变长

B. 保持 S 闭合，仅 U 增大，t 变长

C. 保持 S 闭合，AC 位置不变，仅 B 极板向右移动，t 变长

D. 将 S 断开，AC 位置不变，仅 B 极板向右移动，t 变长

答案 C

解析 设 AB 间距为 d_1，BC 间距为 d_2，到达 B 的速度为 v，由 $qU=\frac{1}{2}mv^2$ 得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，

总时间 $t=\frac{d_1}{v/2}+\frac{d_2}{v}=\frac{2d_1+d_2}{v}=\frac{2d_1+d_2}{\sqrt{\frac{2qU}{m}}}$

AB．仅 $\frac{q}{m}$ 变大或仅 U 增大时，t 都变短，故 AB 错误；

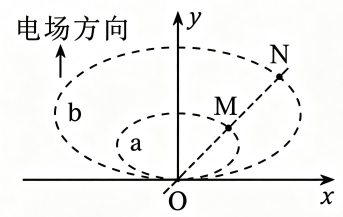
C．仅 B 极板向右移动，即 d_1 变大，则 $2d_1+d_2=d_1+d_{AC}$ 变大，故 t 变长，C 正确；

D．将 S 断开后，电容器极板带电量 Q 不变，两极板 AB 之间的电场 $E=\frac{Q}{Cd_1}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d_1}d_1}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$

与 d_1 无关，故粒子加速度不变。粒子通过距离 d_1 时的时间和速度不变，由于 B 极板向右移动，故会继续加速，则在距离 d_2 上的平均速度更大，故时间变短，故总时间 t 变短（作 $v-t$ 图像更直观），D 错误。【方法二】到达 B 板的速度 $v=\sqrt{2ad_1}$，则 $t=\frac{2d_1+d_2}{v}=\frac{d_1+d_{AC}}{\sqrt{2ad_1}}=\frac{1}{\sqrt{2a}}(\sqrt{d_1}+\frac{d_{AC}}{\sqrt{d_1}})$，

当 $\sqrt{d_1}=\frac{d_{AC}}{\sqrt{d_1}}$，即 $d_1=d_{AC}$ 时有最小值 $t_{\min}$；当 $d_1<d_{AC}$ 时，t 随着 d_1 的增大而减小，故 D 错误。

18. [2026 · 重庆卷]（多选）如图所示，xOy 平面内充满沿 y 轴正方向的匀强电场，原点 O 处的粒子源以不同的初速度沿 x 轴发射多个比荷为 k 的带正电粒子。将粒子在电场中运动速率相同的位置连接起来，得到一条平滑闭合曲线。图中曲线 a、b 对应的速率分别为 v、$\sqrt{2}v$，直线 $y=x$ 与 a、b 交于 M、N 两点。若 a 与 y 轴交于 $(0,L)$ 点，不考虑粒子重力及粒子间相互作用，则 （　　）



A. 电场强度的大小为 $\frac{v^2}{2kL}$

B. M、N 两点间的电势差为 $\frac{2v^2}{5k}$

C. 经过 a 最右端的粒子初速度大小为 $\frac{1}{2}v$

D. 粒子从 O 到 M 所用时间与从 O 到 N 所用时间之比为 1∶2

答案 AB

解析 A．初速度为 0 的粒子到达 $(0,L)$ 点时速度为 v，有 $qEL=\frac{1}{2}mv^2$，得 $E=\frac{mv^2}{2qL}=\frac{v^2}{2kL}$，故 A 正确；

B．初速度为 v_0 的粒子沿 x 轴正方向射出时做类平抛运动，有 $x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$，得 $y=\frac{kEx^2}{2v_0^2}$。

当达到 M 点时有 $y=x$，$qEy=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，得 $v^2=\frac{5kEx}{2}$，$x=\frac{4}{5}L$，故 M 点纵坐标 $y_M=\frac{4}{5}L$；

同理当达到 N 点时有 $(\sqrt{2}v)^2=\frac{5kEx}{2}$，得 N 点纵坐标 $y_N=\frac{8}{5}L$，所以 M、N 两点间的电势差 $U_{MN}=E$

$(y_N-y_M)=\frac{2v^2}{5k}$，故 B 正确；

D．由 $y=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$ 得 $t\propto\sqrt{y}$，故 $\frac{t_M}{t_N}=\sqrt{\frac{y_M}{y_N}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，故 D 错误；

C．由 $y=\frac{kEx^2}{2v_0^2}$，$qEy=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，得 $x^2=\frac{v_0^2(v^2-v_0^2)}{k^2E^2}$，当 $v_0^2=v^2-v_0^2$ 即 $v_0=\frac{v}{\sqrt{2}}$ 时有最大值 x_{max}，故 C 错误。

【补充】对于到达等速率曲线 v_1 的粒子，联立 $x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$，$qEy=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，消去 v_0 得

$\frac{(y-\frac{v_1^2}{4kE})^2}{(\frac{v_1^2}{4kE})^2}+\frac{x^2}{4(\frac{v_1^2}{4kE})^2}=1$，即等速率曲线 v_1 为椭圆。

对于曲线 a，代入 $(0,L)$ 和 $v_1=v$，得 $E=\frac{v^2}{2kL}$，曲线 a 方程为 $\frac{(y-\frac{L}{2})^2}{(L/2)^2}+\frac{x^2}{L^2}=1$

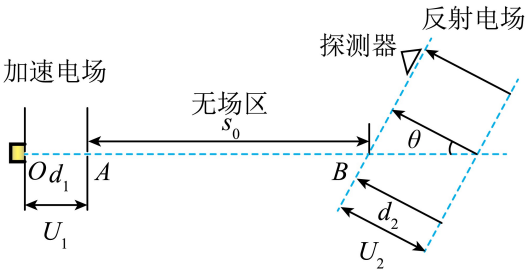
曲线 a 最右端的纵坐标 $y=\frac{L}{2}$，故对应初速度 $v_0=\frac{v}{\sqrt{2}}$；

对于曲线 b，代入 $v_1=\sqrt{2}v$ 得曲线方程 $\frac{(y-L)^2}{L^2}+\frac{x^2}{4L^2}=1$，结合 $y=x$ 得 $y_N=\frac{8}{5}L$。

19. [2026 · 河南卷]反射式飞行时间质谱仪是通过测量离子在真空中的飞行时间来对其进行质量分析的仪器。原理如图所示，离子源 O 产生不同种类、初速度为零的正离子，离子经匀强电场加速后从 A 点射出，进入无场区做直线运动，然后从 B 点进入匀强反射电场，最后从反射电场射出。已知 A、B 间的距离为 s_0；加速电场和反射电场两极板间的电压分别为 U_1 和 $U_2(U_2>U_1)$，间距分别为 d_1 和 d_2；反射电场方向与 AB 的夹角为 θ。不计离子重力。

(1) 证明从离子源 O 产生的正离子都能从同一点射出反射电场；

(2) 测得两种离子从 O 到射出反射电场所用时间之比 $\frac{\tau_1}{\tau_2}=\frac{2}{3}$，求其比荷之比 $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$。



答案 (1) 见解析　　(2)$\frac{9}{4}$

解析 (1) 加速电场中，有 $qU_1=\frac{1}{2}mv^2$

反射电场中做斜抛运动，运动时间 $\Delta t=\frac{2v\cos\theta}{a}$，其中 $a=\frac{qU_2}{md_2}$　　得 $\Delta t=\frac{2mvd_2\cos\theta}{qU_2}$

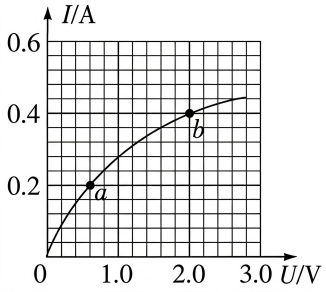
故离子在垂直反射电场方向上的位移 $x=v\sin\theta\times\Delta t$　　得 $x=\frac{2U_1d_2\sin2\theta}{U_2}$

x 与粒子比荷无关，即从离子源 O 产生的正离子都能从同一点射出反射电场。

(2) 总时间 $t=\frac{d_1}{v/2}+\frac{s_0}{v}+\Delta t=(2d_1+s_0)\sqrt{\frac{m}{2qU_1}}+\frac{2d_2\cos\theta}{U_2}\sqrt{\frac{2U_1m}{q}}$

可知 $t\propto\sqrt{\frac{m}{q}}$，即比荷 $\frac{q}{m}\propto t^{-2}$，故 $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}=(\frac{\tau_1}{\tau_2})^{-2}=\frac{9}{4}$

20. [2026 · 黑吉辽卷]某同学做“描绘小灯泡的伏安特性曲线”实验时，得到的 $I-U$ 图像如图所示。从图中状态 a 到状态 b，小灯泡电阻的变化量和电功率的变化量分别为



A. 2.0Ω，0.28 W　　B. 2.0Ω，0.68 W　　C. 7.0Ω，0.28 W　　D. 7.0Ω，0.68 W

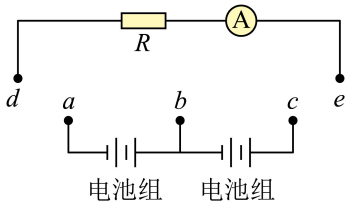
答案 B

解析 状态 a 时 $U_1=0.6\,\text{V}$，$I_1=0.2\,\text{A}$，故 $R_1=\frac{U_1}{I_1}=3\Omega$，$P_1=U_1I_1=0.12\,\text{W}$；

状态 b 时 $U_2=2.0\,\text{V}$，$I_2=0.4\,\text{A}$，故 $R_2=\frac{U_2}{I_2}=5\Omega$，$P_2=U_2I_2=0.8\,\text{W}$。

故 $\Delta R=R_2-R_1=2\Omega$，$\Delta P=P_2-P_1=0.68\,\text{W}$。

21. [2026 · 湖南卷]如图，电阻 R 的阻值为 10Ω，电流表为理想电表，两个电池组完全相同。若将 a、b 端分别接入 d、e 端，电流表示数为 1.0 A；若将 a、c 端分别接入 d、e 端，电流表示数为 1.5 A。则单个电池组的电动势和内阻分别为



A. 15 V，5Ω　　B. 15 V，10Ω　　C. 30 V，5Ω　　D. 30 V，10Ω

答案 A

解析 a、b 端接入时有 $E=I_1(R+r)$，a、c 端接入时有 $2E=I_2(R+2r)$，解得 $E=15\,\text{V}$，$r=5\Omega$。

22. [2026 · 重庆卷]（多选）图 1 为某同学设计的可调亮度台灯的电路图。电源 E 的电动势为 6V，内阻为 1Ω，灯泡 L 和三个电阻的阻值均为 R。S_1 闭合，当 S_2 处于图 1 所示断开状态时，测得 L 两端电压为 1.80V，再将 S_2 接 a 或 b，测量 L 两端电压。若 L 阻值视为不变，则

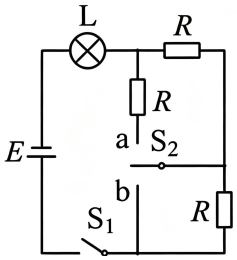


图 1

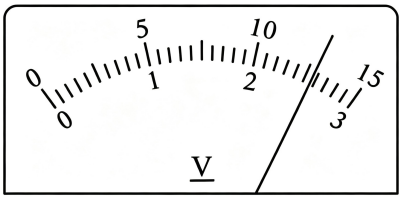


图 2

A. R 为 3Ω
B. 图 2 示数为 S_2 接 a 时 L 两端电压
C. 图 2 示数为 S_2 接 b 时 L 两端电压
D. S_2 接 b 时外电路的电功率约为 3.74W

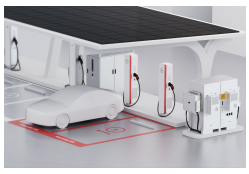
答案 AC

解析 A．S_2 断开时，灯泡两端电压 $U_L=\dfrac{RE}{r+3R}$，得 $R=3\Omega$，故 A 正确；

BCD．S_2 接 b 时右下的电阻 R 被短路，只有右上的电阻 R 接入回路，故外电路电阻为 $2R$，电流 $I=\dfrac{E}{r+2R}=\dfrac{6}{7}$ A，L 两端电压 $U_L'=IR=\dfrac{18}{7}\approx 2.57$ V，外电路的电功率 $P_{外}=I^2(2R)\approx 4.41$ W，故 C 正确 BD 错误；

B．S_2 接 a 时电流 $I'=\dfrac{E}{r+2R+\dfrac{R}{2}}=\dfrac{12}{17}$ A，此时 L 两端电压 $U_L'=I'R\approx 2.12$ V，故 B 错误。

23. [202606 · 浙江卷]我国某企业正式发布了全液冷兆瓦(MW)级充电装置 (图甲)，其持续充电电流约为 2400 A，每分钟可充电 20 度，装置中的充电电路发热功率约为 10 kW。为保持充电装置的稳定运行，现采用水冷却技术，如图乙所示，让 15℃ 冷水通过水泵流入充电电路的水冷系统，经过热交换后流出，水温升至 25℃。已知水的比热容为 4200J/(kg·℃)，水的密度为 1000kg/m³，忽略水的重力势能变化及其它散热。则


甲



乙

A. 充电装置的输出功率约为 12 MW
B. 充电装置的输出电压约为 220 V
C. 水的流量约为 2.4×10^{-4}m³/s
D. 每分钟流出约 24 L 水

答案 C

解析 A．$P_{出}=\dfrac{20\text{kW}\cdot\text{h}}{1/60\text{h}}=1200\text{ kW}=1.2\text{ MW}$，故 A 错误；

B．$U_{出}=\dfrac{P_{出}}{I_{出}}=\dfrac{1200\text{kW}}{2400\text{A}}=500\text{ V}$，故 B 错误；

C．设水的流量为 Q，由能量守恒得 $P\Delta t=\rho Q\Delta t\Delta Tc$，得 $Q=\dfrac{P}{\rho\Delta Tc}=\dfrac{10000}{1000\times10\times4200}\approx 2.4\times$

$10^{-4}\mathrm{m^3/s}$，故 C 正确；

D．每分钟流出约 $2.4\times10^{-4}\mathrm{m^3/s}\times60\mathrm{s}=14.4\,\mathrm{L}$，故 D 错误。

24. [2026 · 广西卷]某学习小组对一辆纯电动汽车的能耗开展研究：

(1) 电池放电时能输出的总电荷量称作电池容量，通常以安培小时（A · h）为单位，则 1A · h 等于多少库仑（C）的电荷量？

(2) 该车的电池容量为 240A · h，电池输出电压为 375V，求该车电池充满电后可输出的电能 E。

(3) 若该车在平直高速公路上行驶，受到的阻力来自轮胎与路面间的阻力 $F_1=k_1Mg$ 和空气阻力 $F_2=k_2v^2$，其中 k_1、k_2 为系数，M 为车的质量，v 为行驶速度，g 为重力加速度，以上物理量的单位均采用国际单位制表示。该车电池输出电能转化为牵引力做功的效率为 η，求该车在平直高速公路上匀速行驶时，电池的输出功率 P 的表达式。

(4) 该车充满电后，计划 4 小时内在平直高速公路上行驶 400 千米。该车 $M=2000\mathrm{kg}$，$k_1=0.0144$，$k_2=0.36\mathrm{kg/m}$，当 $80\mathrm{km/h}\leqslant v\leqslant110\mathrm{km/h}$ 时 $\eta=0.9$，当 $v=120\mathrm{km/h}$ 时 $\eta=0.8$。重力加速度 g 取 $10\mathrm{m/s^2}$。请从时间和能耗的角度分析如下三种方案能否达成上述计划。

方案 1	以 90km/h 的速度匀速行驶
方案 2	以 108km/h 的速度匀速行驶
方案 3	以 120km/h 的速度匀速行驶

答案 (1)3600C　(2)$E=3.24\times10^8\mathrm{J}$　(3)$P=\dfrac{k_1Mgv+k_2v^3}{\eta}$　(4) 只有方案 2 能达成计划

解析 (1)$Q=It=1\mathrm{A}\cdot3600\mathrm{s}=3600\mathrm{C}$

(2)$E=Uq=375\mathrm{V}\times240\times3600\mathrm{C}=3.24\times10^8\mathrm{J}$

(3) 匀速行驶时，牵引力 $F=k_1Mg+k_2v^2$，故 $P=\dfrac{Fv}{\eta}=\dfrac{k_1Mgv+k_2v^3}{\eta}$

(4) 方案 1：行驶 400 km 时间 $t_1=\dfrac{x}{v_1}=\dfrac{400}{90}\,\mathrm{h}>4\,\mathrm{h}$，达不成计划；

方案 2：$t_2=\dfrac{x}{v_2}<4\,\mathrm{h}$，$v_2=30\ \mathrm{m/s}$，$P_2=\dfrac{k_1Mgv_2+k_2v_2^3}{\eta}=\dfrac{0.0144\times2000\times10\times30+0.36\times30^3}{0.9}=20400\,\mathrm{W}$，总能耗 $W_2=P_2t_2=20400\times\dfrac{400}{108}\times3600=2.72\times10^8\,\mathrm{J}<E$，能达成计划；

方案 3：$t_3=\dfrac{x}{v_3}<4\,\mathrm{h}$，$v_3=\dfrac{100}{3}\ \mathrm{m/s}$，

$P_3=\dfrac{k_1Mgv_3+k_2v_3^3}{\eta}=\dfrac{0.0144\times2000\times10\times100/3+0.36\times(100/3)^3}{0.8}=\dfrac{86000}{3}\,\mathrm{W}$

总能耗 $W_3=P_3t_3=\dfrac{86000}{3}\times\dfrac{400}{120}\times3600=3.44\times10^8\,\mathrm{J}>E$，达不成计划。

四、选修一

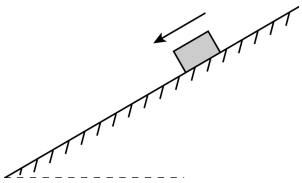
1. [2026·四川卷]2026年2月，我国某科创团队发布全球首款速度达到10m/s的全尺寸人形机器人，该机器人体重75kg；2025年1月，该团队发布的四足机器人体重38kg。若两款机器人均以10m/s的速度同方向运动，则二者的动量大小之差为（　　）

A. 1850kg·m/s　　B. 750kg·m/s　　C. 370kg·m/s　　D. 37kg·m/s

答案 C

解析 $\Delta p = m_1 v_1 - m_2 v_2 = 75 \times 10 - 38 \times 10 = 370\text{kg}\cdot\text{m/s}$

2. [2026·北京卷]如图所示，一物块在固定斜面上匀速下滑，不计空气阻力。物块在下滑过程中



A. 所受合力的冲量为零　　B. 所受支持力的冲量为零

C. 所受重力与摩擦力的合力做正功　　D. 机械能守恒

答案 A

解析 A．该过程动量不变，由动量定理 $I = \Delta p$ 可知合外力冲量 I 为零，故 A 正确；

B．由冲量概念可知 $I_N = F_N t \neq 0$，故 B 错误；

C．合外力不做功，支持力不做功，故所受重力与摩擦力的合力也不做功，C 错误；

D．动能不变，重力势能减小，故机械能减小，D 错误。

3. [2026·江西卷]在篮球运动中，运动员跳起投篮后竖直落地。设地面对运动员的平均冲击力大小为 F，冲击力作用的时间为 Δt。运动员在触地时往往会主动屈膝下蹲，关于这一动作对 Δt 和 F 产生的影响，下列选项正确的是

A. Δt 增加，F 减小　　B. Δt 增加，F 增加　　C. Δt 减小，F 减小　　D. Δt 减小，F 增加

答案 A

解析 对人由动量定理得 $(-F + mg)\Delta t = 0 - mv$，屈膝下蹲会使 Δt 增加，从而 F 减小。

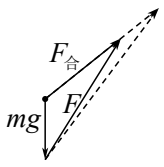
4. [2026·广西卷]立定跳远的起跳过程可简化为人从半蹲姿势发力至双脚离地的过程。某同学训练后在起跳过程中对水平地面的平均作用力大小增大。若训练前后该同学起跳过程持续时间不变，起跳方向与地面夹角不变。则与训练前相比，该同学

A. 离地瞬间的动量大小变小　　B. 离地瞬间的速度大小变大

C. 起跳过程中受到地面的冲量不变　　D. 起跳过程中受到地面的平均支持力不变

答案 B

解析 AB．由于起跳方向与地面夹角 θ 不变，由动量定理可知人受到的平均合外力方向（即起跳方向）不变。根据牛顿第三定律可知，训练后地面对人的平均作用力 F 增大，对人受力分析，重力 mg 不变，平均合外力 $F_{合}$ 方向不变，F 增大，由矢量合成可知 $F_{合}$ 增大，故由 $F_{合}\Delta t = p = mv$ 可知，离地瞬间的动量大小变大，离地瞬间的速度大小变大，故 A 错误，B 正确；



C．由于作用时间 Δt 不变，故起跳过程中受到地面的冲量 $I = F\Delta t$ 增大，故 C 错误；

D．竖直方向有 $F_N-mg=F_{合}\sin\theta$，可知受到地面的平均支持力 F_N 变大，故 D 错误。

5. [202606 · 浙江卷]在建筑工地上的某次打桩过程中，质量为 $1\times10^3\,\mathrm{kg}$ 的重锤，从 $t_1=0$ 时刻开始由某一高度静止下落，$t_2=0.6\,\mathrm{s}$ 时刻与质量为 $3\times10^3\,\mathrm{kg}$ 的桩发生撞击，随后一起运动，$t_3=0.8\,\mathrm{s}$ 时刻桩静止于软土中。则

A. $t_2\sim t_3$ 时间内，锤对桩的平均作用力大小为 $3\times10^4\,\mathrm{N}$

B. $t_2\sim t_3$ 时间内，软土对桩的平均阻力大小为 $7\times10^4\,\mathrm{N}$

C. $t_1\sim t_3$ 时间内，软土对桩做的功等于锤和桩的机械能损失

D. $t_1\sim t_3$ 时间内，锤的重力冲量值大于桩对锤作用力的冲量值

答案 B

解析 撞击前重锤速度 $v_1=gt_2=6\,\mathrm{m/s}$，撞击过程可认为系统动量守恒，有 $m_1v_1=(m_1+m_2)v_2$，得 $v_2=\frac{1}{4}v_1=1.5\,\mathrm{m/s}$。

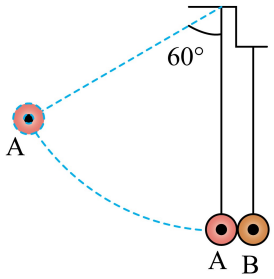
A．$t_2\sim t_3$ 时间内，对锤由动量定理 $-F_N(t_3-t_2)+m_1g(t_3-t_2)=0-m_1v_2$ 得 $F=17.5m_1=1.75\times10^4\,\mathrm{N}$，由牛顿第三定律可知锤对桩的平均作用力大小为 $1.75\times10^4\,\mathrm{N}$，故 A 错误；

B．$t_2\sim t_3$ 时间内，对整体由动量定理 $-F(t_3-t_2)+(m_1+m_2)g(t_3-t_2)=0-(m_1+m_2)v_2$，得 $F=17.5(m_1+m_2)=7\times10^4\,\mathrm{N}$，故 B 正确；

C．由于撞击有动能损失，故该过程软土对桩做的功小于锤和桩的机械能损失，故 C 错误；

D．该过程对锤由动量定理得 $I_G-I_N=0-0$，即 $I_G=I_N$，故 D 错误。

6. [2026 · 贵州卷]如图，完全相同的均质小球 A、B 被不可伸长的细线悬挂，静止在同一竖直平面内，相互接触无挤压，悬挂点到球心的距离分别为 L 和 $\frac{4}{5}L$，A 被拉至与竖直方向成 $60°$ 的位置并由静止释放，随后与 B 发生弹性正碰。忽略空气阻力，B 的球心上升的最大高度为（　　）

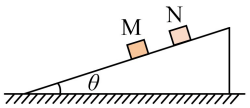


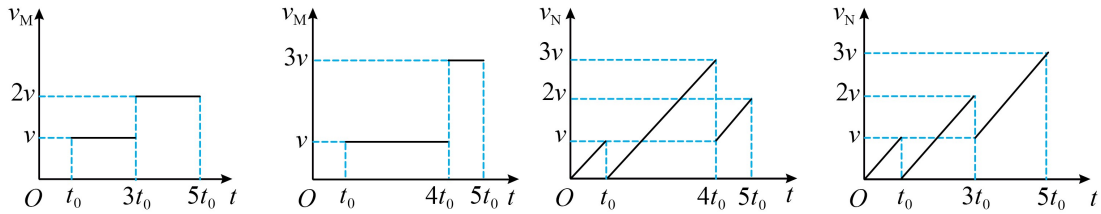
A. $\frac{1}{2}L$　　B. $\frac{1}{3}L$　　C. $\frac{1}{4}L$　　D. $\frac{1}{5}L$

答案 A

解析 由于球 A、B 质量相同，故速度发生交换。A 球下降 $L(1-\cos60°)=\frac{1}{2}L$，则 B 球上升 $\frac{1}{2}L$。

7. [2026 · 山东卷](多选)如图所示,质量相等的两个小物块 M 和 N,M 恰好静止于倾角为 θ 的固定斜面上,N 从斜面上某位置由静止释放,t_0 时刻以速度 v 与 M 发生弹性碰撞。已知 M 与斜面间动摩擦因数为 $\tan\theta$,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,N 与斜面间无摩擦,碰撞时间极短,斜面足够长,下列描述 M、N 速度规律的 v_M-t、v_N-t 图像正确的是

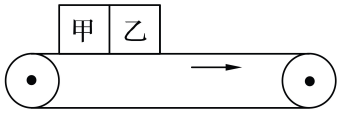




答案 AD

解析 质量相同的两个物体发生弹性碰撞,速度发生交换,故碰撞后 M 以 v 匀速下滑,N 从静止开始以 $a=\dfrac{v}{t_0}$ 的加速度匀加速下滑。由 $vt=\dfrac{1}{2}at^2$ 可知,再经过 $t=2t_0$ 两者发生第二次碰撞,碰前 N 的速度 $v_N=at=2v$,碰后 M、N 速度发生交换,分别为 $2v$、v。由 $2vt'=vt'+\dfrac{1}{2}at'^2$ 可知,再经过 $t'=2t_0$ 两者发生第三次碰撞,碰前 N 的速度 $v_N'=v+at'=3v$,故 AD 正确。

8. [2026 · 四川卷]如图所示,以恒定速率运行的传送带上有甲、乙两物块,二者与传送带相对静止,由不可伸长轻绳连接,之间无间隙。甲、乙质量均为 m,与传送带间的动摩擦因数分别 $\dfrac{1}{8}$、$\dfrac{1}{4}$。某时刻,对乙施加水平向右的外力使其以恒定加速度 $\dfrac{g}{4}$(g 为重力加速度大小)运动,经时间 t_1 撤去外力,再经时间 t_2 绳绷直。甲、乙均可视为质点,传送带足够长。则 (　　)



A. t_1 和 t_2 满足 $t_1<t_2$

B. 从撤去外力到绳绷直,因摩擦产生的热量为 $\dfrac{mg^2(t_1-t_2)^2}{32}$

C. 绳绷直后瞬间甲的动能为 $\dfrac{mg^2(t_1-t_2)^2}{128}$

D. 绳绷直以后甲、乙不会发生碰撞

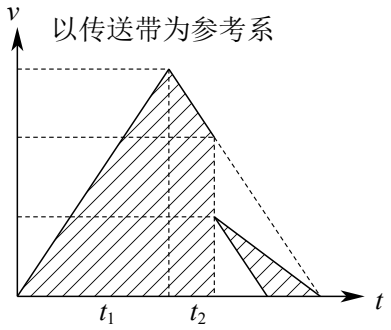
答案 D

解析 A. 以传送带为参考系,初始甲乙均静止。乙先做匀加速运动,t_1 时刻速度 $v_1=\dfrac{g}{4}t_1$,后做匀减速运动,加速度大小 $a_2=\dfrac{\mu_2 mg}{m}=\dfrac{g}{4}$,$t_2$ 时刻速度要大于等于零才能使绳子绷直,即 $v_2=v_1-a_2t_2=\dfrac{g}{4}t_1-\dfrac{g}{4}t_2\geqslant 0$,故 $t_1\geqslant t_2$,故 A 错误;

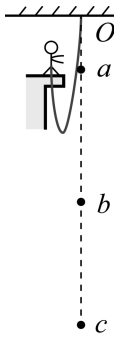
B．该过程乙相对传送带的位移 $s=\frac{v_1+v_2}{2}t_2=\frac{g(2t_1-t_2)t_2}{8}$，故摩擦产生热量 $Q=\mu_2 mgs=\frac{mg^2t_2(2t_1-t_2)}{32}$，故 B 错误；

C．绳绷直后瞬间甲乙速度相同。以传送带为参考系，绷直前后甲乙系统动量守恒，由 $mv_2=2mv_{共}$ 得 $v_{共}=\frac{1}{2}v_2=\frac{g}{8}(t_1-t_2)$，故绷直后瞬间甲的动能 $E_k=\frac{1}{2}m(v_{传}+v_{共})^2>\frac{1}{2}mv_{共}^2=\frac{mg^2(t_1-t_2)^2}{128}$，故 C 错误；

D．假设绳子绷直后瞬间立刻松弛，两者在各自摩擦力作用下减速，加速度分别为 $a_1=\frac{g}{8}$、$a_2=\frac{g}{4}$，即乙减速更快，甲乙会相对靠近，即假设成立。以传送带为参考系，甲减速到 0 的位移 $x_1=\frac{v_{共}^2}{2a_1}=\frac{g(t_1-t_2)^2}{16}$，乙减速到 0 的位移 $x_2=\frac{v_{共}^2}{2a_2}=\frac{g(t_1-t_2)^2}{32}$，而绷直时甲乙相距 $L=\frac{v_1t_1}{2}+s$，由于 $\Delta x=x_1-x_2=\frac{g(t_1-t_2)^2}{32}<\frac{g(t_1-t_2)^2}{8}<\frac{gt_1^2}{8}$，$L>\frac{v_1t_1}{2}=\frac{g}{8}t_1^2$，所以 $\Delta x<L$，即绳绷直以后甲、乙不会发生碰撞，故 D 正确。



9. [2026 · 北京卷]将蹦极运动简化为直线运动。如图所示，轻质弹性绳的一端固定在 O 点，另一端和人（视为质点）相连。人从 a 点静止下落，经 b 点时绳恰好伸直，到达最低点 c 后向上运动。假设整个过程弹性绳的弹力与伸长量成正比，不计空气阻力。下列说法正确的是



A. 人运动到 bc 中点处速度最大

B. 人在 b 点的加速度大于在 c 点的加速度

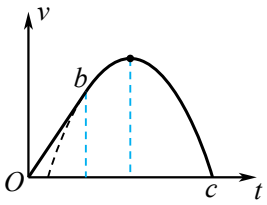
C. 从 b 点到 c 点的过程中，人一直处于失重状态

D. 从 a 点到 c 点的过程中，重力势能与弹性势能之和先减小后增大

答案 D

解析 C．接近 c 点时人的加速度向上，处于超重状态，故 C 错误；

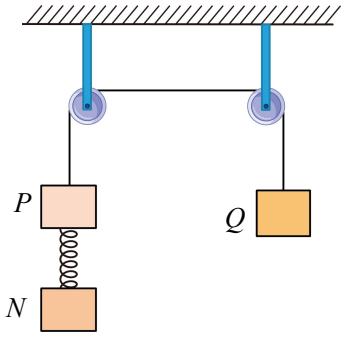
D．该过程中“人和绳”系统机械能守恒，由于人的动能增大后减小，故重力势能与弹性势能之和先减小后增大，故 D 正确；



A．$b\to c$ 过程人和绳构成弹簧振子，做简谐运动。作 $v-t$ 图像如图，$a\to b$ 过程为直线，$b\to c$ 过程为正弦函数的一部分。速度最大位置为平衡位置，由图像面积可知 b 到平衡位置的位移小于平衡位置到 c 的位移，即平衡位置在 bc 中点上方，故 A 错误；

B．由图像斜率可知，在 b 点的加速度小于 c 点加速度，故 B 错误。

10. [2026 · 陕西卷](多选)如图,物块 N、P、Q 的质量分别为 m、m、$2m$,Q 通过不可伸长的轻绳绕过两个固定轻质光滑定滑轮与 P 连接,P 与位于正下方的 N 用劲度系数为 k 的轻弹簧相连。初始时托住 N 和 Q,使弹簧处于原长,三个物块均静止。现同时无初速度释放 N 和 Q,运动中物块均视为质点且不与滑轮相碰,不计空气阻力,弹簧始终在弹性限度内,弹性势能 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$(x 为形变量),重力加速度大小为 g。则



A. 释放后瞬间 Q 的加速度大小为 $\frac{g}{3}$　　B. 释放后瞬间轻绳上的拉力大小为 mg

C. 释放后 N 下降的最大距离为 $\frac{3mg}{4k}$　　D. 释放后 N 的速度最大值为 $\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$

答案 AD

解析 AB. 绳长不变,P、Q 的速度、加速度大小始终相等。释放后瞬间,$\begin{cases}\text{对}Q:\ 2mg-T=2ma\\ \text{对}P:\ T-mg=ma\end{cases}$,得 $a=\frac{g}{3}$,$T=\frac{4}{3}mg$,Q 将向下运动,故 A 正确,B 错误;

C. 释放后 N 向下加速,P 向上加速,Q 向下加速,弹簧弹力 F 逐渐增大。

设 t 时刻弹簧形变量为 x,此时 $\begin{cases}\text{对}N\text{有}\ mg-kx=ma_N\\ \text{对}PQ\text{有}\ mg-kx=3ma_P\end{cases}$,得任意时刻 $a_N=3a_P$,

累加得 $\sum a_N\Delta t=\sum 3a_P\Delta t$,得 $v_N=3v_P$,再次累加可得 $x_N=3x_P$。

(【方法二】"NPQ"系统沿绳方向合外力为零,故沿绳方向动量守恒,即 $mv_N=3mv_P$,得 $x_N=3x_P$)

当 N 下降最大距离 h 时有 $v_N=0$,此时 $v_p=\frac{1}{3}v_N=0$,$x_P=\frac{1}{3}h$,弹簧形变量 $\Delta x=h+\frac{1}{3}h=\frac{4}{3}h$,对 NPQ 系统由能量守恒得 $mgh+2mg\frac{h}{3}=mg\frac{h}{3}+\frac{1}{2}k(\frac{4h}{3})^2$,得 $h=\frac{3mg}{2k}$,故 C 错误;

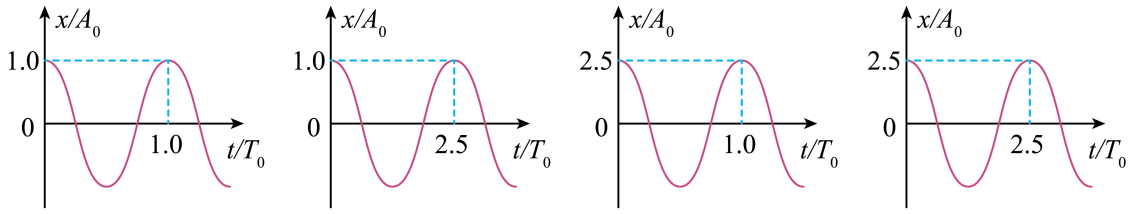
D. 当 $a_N=0$ 时 N 达到最大速度 v,此时 $a_P=\frac{1}{3}a_N=0$,即 P、Q 也同时达到最大速度 $\frac{v}{3}$。

此时对 N 有 $mg=kx$,得 $x=\frac{mg}{k}$,即 N、P 相对位移为 x,则 N 下降了 $\frac{3}{4}x$,P 上升了 $\frac{1}{4}x$,Q 下降了 $\frac{1}{4}x$。对 NPQ 系统由能量守恒得 $mg\frac{3x}{4}+2mg\frac{x}{4}=mg\frac{x}{4}+\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}(3m)(\frac{v}{3})^2+\frac{1}{2}kx^2$ 得 $v=\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$,故 D 正确。

【简谐运动法】释放后,设运动中任意时刻,弹簧形变量为 x,此时对物块 N 有 $mg-kx=F_N=k(x_1-x)$(当 $mg=kx_1$ 时,N 的速度最大),对物块 P、Q 整体有 $mg-kx=F_{PQ}=k(x_1-x)$,可知 N 及 P、Q 均做简谐运动,由 C 选项分析有 $v_N=3v_P$,$x_N=3x_P$,由简谐运动的对称性可知弹簧最大伸长量 $x_m=2x_1=\frac{2mg}{k}$,此时 N 下降距离最大,为 $\frac{3}{4}x_m=\frac{3mg}{2k}$,由机械能守恒得 $v_1=\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$,C 错

误，D 正确。

11. [2026 · 河南卷]将一单摆的摆球拉开一个小角度后释放，单摆摆动的振幅为 A_0，周期为 T_0。若将此摆移到月球上，拉开相同的角度，则摆球的振动图像可能正确的是 （　　）



A　　B　　C　　D

答案 B

解析 移到月球上时 g 减小，由 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ 可知 T 增大；拉开相同角度，说明振幅不变。

12. [2026 · 北京卷]长为 l 的轻绳一端固定在 O 点，另一端系一个质量为 m 的小球。重力加速度为 g，不计空气阻力。

(1) 如图 1 所示，将小球拉至某一位置，轻绳与竖直方向夹角为 θ，静止释放小球。

a. 求小球运动到最低点时受到绳的拉力大小 F；

b. 若 θ 较小，释放后小球做简谐运动。求一个周期内绳对小球拉力的冲量大小 I。

(2) 如图 2 所示，使小球在水平面内做匀速圆周运动，轻绳与竖直方向夹角为 θ，求小球运动的周期，并与 (1) b 中小球运动的周期比较大小。

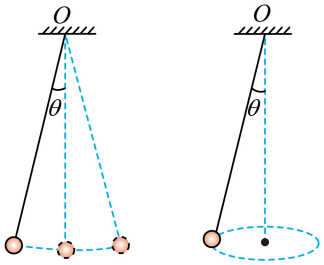


图1　　图2

答案 (1)a. $F=mg(3-2\cos\theta)$；b. $I=2\pi m\sqrt{gl}$　(2)$T'=2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\theta}{g}}$，小于 (1)$b$ 中小球运动的周期

解析 (1) a. $mgl(1-\cos\theta)=\dfrac{1}{2}mv^2$，$F-mg=m\dfrac{v^2}{l}$　　得 $F=mg(3-2\cos\theta)$

b. 由动量定理得 $I-mgT=\Delta p=0$　　其中 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　得 $I=2\pi m\sqrt{gl}$

(2)$mg\tan\theta=m\dfrac{4\pi^2}{T'^2}l\sin\theta$　　得 $T'=2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\theta}{g}}$　　故 $T'<T$

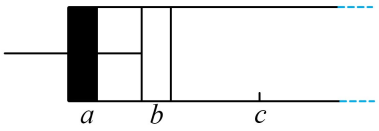
13. [2026 · 广西卷]二胡发出的乐音中含频率为 1000 Hz 的声波，空气中的声速约为 340 m/s，则该频率声波在空气中的波长约为 （　　）

A. 0.34 m　　B. 2.94 m　　C. 3.40 m　　D. 340 m

答案 A

解析 $\lambda=\dfrac{v}{f}=340/1000=0.34\ \text{m}$

14. [2026 · 四川卷]如图所示，空气中水平放置两端开口的圆柱形长管，管内有 a、b、c 三个位置，a、b 距离为 1cm，c 在 b 右侧。持续驱动活塞使其在 a、b 间做周期为 0.1s 的简谐运动，管内形成稳定机械波。声波在空气中的传播速度取 340m/s，管足够长。则 （　　）



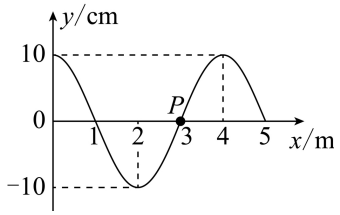
A. 管内机械波为横波　　B. 管内机械波的振幅为 1cm

C. 管内机械波的波长为 1cm　　D. 每秒有 10 个完整的波经过位置 c

答案 D

解析 声波为纵波，振幅为 0.5 cm，周期 $T=0.1\ \mathrm{s}$，波长 $\lambda=vT=34\ \mathrm{m}$，每秒传播距离 $x=v\times 1\ \mathrm{s}=340\ \mathrm{m}=10\lambda$，故 D 正确。

15. [2026 · 北京卷]一列简谐横波在 $t=0$ 时的波形图如图所示，此时 $x=3\ \mathrm{m}$ 处的质点 P 位于平衡位置且沿 y 轴正方向运动，经过 1 s 第一次回到平衡位置。下列说法正确的是



A. 波沿 x 轴正方向传播　　B. 波的传播速度为 4 m/s

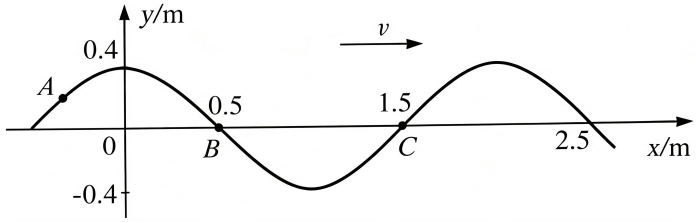
C. 一个周期内质点 P 运动的路程为 4 m　　D. $t=0.5\ \mathrm{s}$ 时，质点 P 的加速度沿 y 轴负方向

答案 D

解析 由题意可知波沿 x 轴负方向传播，周期 $T=2\ \mathrm{s}$，波长 $\lambda=4\ \mathrm{m}$，故波速 $v=\dfrac{\lambda}{T}=2\ \mathrm{m/s}$。

一个周期内质点 P 运动的路程 $s=4A=40\ \mathrm{cm}=0.4\ \mathrm{m}$；当 $t=0.5\ \mathrm{s}=\dfrac{1}{4}T$ 时 P 在波峰，故此时加速度沿 y 轴负方向。

16. [202606 · 浙江卷]一列波速为 $v=4\ \mathrm{m/s}$、沿 x 轴正方向传播的简谐波，$t=0.5\ \mathrm{s}$ 时刻的波形如图所示。A、B、C 为传播方向上的三个质点，B、C 所在的位置分别为 $x_B=0.5\ \mathrm{m}$ 和 $x_C=1.5\ \mathrm{m}$。则



A. 波的频率为 0.5 Hz　　B. 图示时刻，A 向 y 轴正方向运动

C. 当波从 x_B 点传播到 x_C 点，B 运动了 1 m　　D. C 的振动方程为 $y=0.4\sin(4\pi t-\pi)\ \mathrm{m}$

答案 D

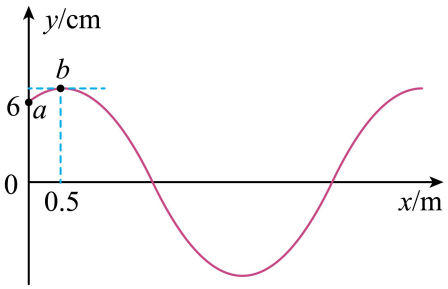
解析 A．波长 $\lambda=2\ \mathrm{m}$，故频率 $f=\dfrac{v}{\lambda}=2\ \mathrm{Hz}$，故 A 错误；

B．此刻 A 向 y 轴负方向运动，故 B 错误；

C．该过程所需时间 $t=\frac{1}{2}T$，故 B 运动路程 $s=2A=0.8\,\mathrm{m}$，故 C 错误；

D．$y_C=A\sin(2\pi ft+\varphi)=0.4\sin(4\pi t+\pi)\,\mathrm{m}=0.4\sin(4\pi t-\pi)\,\mathrm{m}$，故 D 正确。

17. [2026 · 陕西卷]（多选）一列简谐横波在均匀介质中沿直线传播，a、b 为介质中平衡位置相距 0.5 m 的两个质点。$t=0$ 时刻的波形图如图，0.5 s 时 a 振动至波谷，1.2 s 时 b 第一次回到波峰，则



A. 波的周期为 1.2 s　　B. 波速为 10 m/s

C. 波的振幅为 $4\sqrt{3}$ cm　　D. 0~0.6 s 内质点 a 的路程为 $8\sqrt{2}$ cm

答案 AC

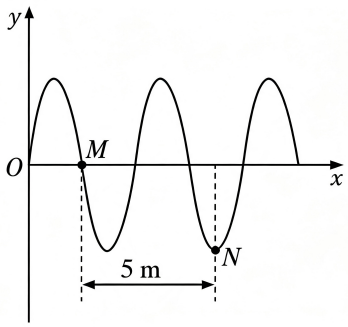
解析 A．由于 0 时刻 b 在波峰，1.2 s 时 b 第一次回到波峰，故 $T=1.2\,\mathrm{s}$，故 A 正确；

B．由于 $t=0.5\,\mathrm{s}<\frac{T}{2}$，故波向右传播。可知波从 a 传播到 b 所需时间为 0.1 s，故 $v=\frac{0.5\,\mathrm{m}}{0.1\,\mathrm{s}}=5\,\mathrm{m/s}$，故 B 错误；

C．a 从 6 cm 到平衡位置需要经过 $\frac{T}{4}-0.1\,\mathrm{s}=0.2\,\mathrm{s}=\frac{1}{6}T$，则有 $A\sin(\frac{1}{6}\times 2\pi)=6\,\mathrm{cm}$，得 $A=4\sqrt{3}\,\mathrm{cm}$，故 C 正确；

D．a 正好振动 $\frac{T}{2}$ 时间，故 $s=2A=8\sqrt{3}\,\mathrm{cm}$，故 D 错误。

18. [2026 · 山东卷]（多选）波源 O 在 $t=0$ 时开始振动，产生一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波。$t=4\,\mathrm{s}$ 时质点 M 刚好开始振动，质点 M 与 N 的平衡位置相距 5m。某时刻的波形如图所示，下列说法正确的是



A. 波速为 2m/s

B. 波长为 4m

C. 从图示状态经过 2s，M 和 N 速度相同

D. 从图示状态经过 3s，M 和 N 偏离平衡位置的位移相同

答案 BD

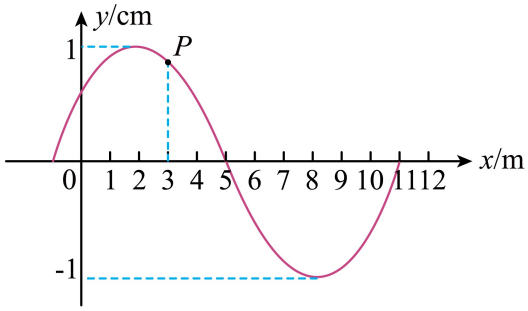
解析 B．由图可知$\lambda+\frac{1}{4}\lambda=x_{MN}$，得$\lambda=4\text{m}$，故$B$正确；

A．O、M相距$\frac{1}{2}\lambda=2\,\text{m}$，故$v=\frac{2\text{m}}{4\text{s}}=0.5\,\text{m/s}$，故$A$错误；

C．从图示状态经过2s，波形向右传播了1 m，此时M在波峰，N在平衡位置，故速度不相同，C错误；

D．周期$T=\frac{\lambda}{v}=8\,\text{s}$，从图示状态经过3s$=\frac{3}{8}T$，此时$M$位移$y_M=A\sin(\frac{2\pi}{T}\times\frac{3}{8}T)=\frac{\sqrt{2}}{2}A$，$N$位移$y_N=-A\cos(\frac{2\pi}{T}\times\frac{3}{8}T)=\frac{\sqrt{2}}{2}A=y_M$，故$D$正确。

19. [2026 · 湖北卷]一列简谐横波沿x轴传播，波速为$v=2\text{m/s}$。$t=0$时刻的波形图如图所示，此时$x=3\text{m}$处的质点P的振动方向沿y轴负方向，$x=5\text{m}$和$x=11\text{m}$处的质点均处于平衡位置。



(1) 求波的传播方向、波长λ和周期T。

(2) 从$t=0$时刻开始，经多长时间质点P第二次到达平衡位置？

答案 (1) 沿x负方向传播，$\lambda=12m$，$T=6s$；　(2)4s

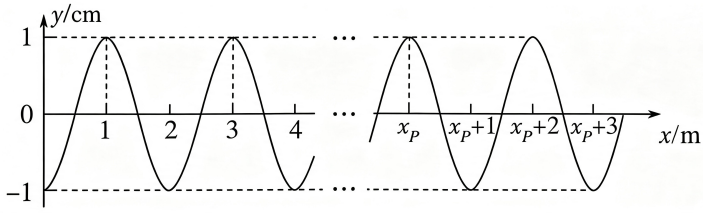
解析 (1)由于$t=0$时刻质点P的振动方向沿y轴负方向，故波沿x轴负方向传播。

由图像可知波长$\lambda=2\times(11-5)\text{m}=12\text{m}$，周期为$T=\frac{\lambda}{v}=6\text{s}$

(2)当质点P第二次到达平衡位置时，波形沿x轴负方向传播了$x=11\,\text{m}-3\,\text{m}=8\,\text{m}$

故$t=\frac{x}{v}=4\,\text{s}$

20. [2026 · 河北卷]如图为一列沿x轴正方向传播的简谐横波在$t=0$时的波形(中间部分未画出)，此时平衡位置在$x=x_P$的质点处于波峰。



(1) 写出该波的波长，以及x_P在10~14m范围内的所有可能值。

(2) 若平衡位置位于原点处的质点在0~1s内通过的路程为5cm，求该波的周期和波速。

答案 (1)$\lambda=2\,\text{m}$，$x_P=11\,\text{m}$或$13\,\text{m}$　　(2)$T=0.8\,\text{s}$，$v=2.5\,\text{m/s}$

解析 (1)$\lambda=2\,\text{m}$，$x_P=\frac{1}{2}\lambda+n\lambda$，$n=0,1,2,\cdots$

由$10\leqslant x_P\leqslant 14$　　得$4.5\leqslant n\leqslant 6.5$　　故$n=5,6$

故$x_P=11\,\text{m}$或$13\,\text{m}$

(2) 振幅 $A=1\,\text{cm}$，由于 $t=0$ 时原点处质点在波谷，$5\,\text{cm}=5A$，故 1 s 内该质点振动了 $\frac{5}{4}T$，得 $T=0.8\,\text{s}$，$v=\frac{\lambda}{T}=2.5\,\text{m/s}$

21. [2026 · 贵州卷]图 (*a*) 是绳波在某时刻的照片。设该绳波为简谐横波，以绳中各质点平衡位置的连线为 *x* 轴、质点振动方向为 *y* 轴，建立如图 (*b*) 所示的直角坐标系，图中实线、虚线分别表示 $t=0$ 和 $t=0.25\text{s}$ 时绳波的图像。若该绳波沿 *x* 轴负方向传播，周期大于 0.25s。

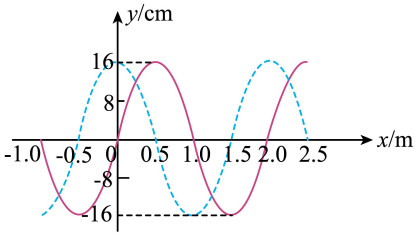
(1) 求绳波的波长和振幅；

(2) 求绳波的周期和传播速度；

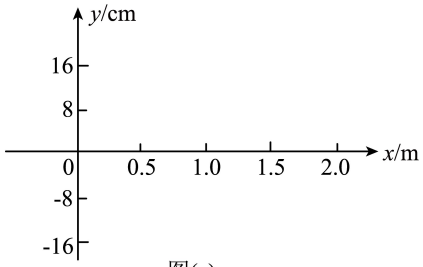
(3) 在图 (*c*) 中，画出 $t=0.5\text{s}$ 时绳波在 0~2.0m 内的图像。



图(a)



图(b)



图(c)

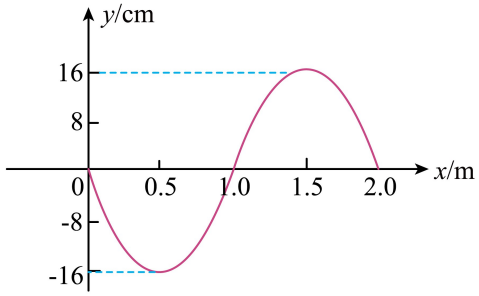
答案 (1)$\lambda=2\text{m}$，$A=16\text{cm}$　(2)$T=1\text{s}$，$v=2\text{m/s}$　(3) 见解析

解析 (1) 由题图 (*b*) 可知绳波的波长 $\lambda=2\text{m}$，振幅 $A=16\text{cm}$

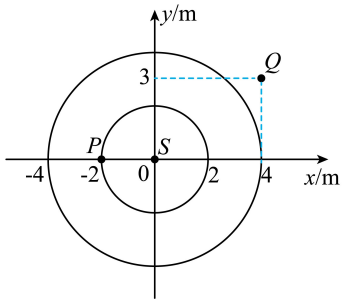
(2) 由于 $T>0.25\text{s}$，故 0.25 s 内该绳波向 *x* 轴负方向的传播距离 $x=0.5\,\text{m}$。

故 $v=\frac{x}{\Delta t}=\frac{0.5}{0.25}\,\text{m/s}=2\,\text{m/s}$，$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{2}{2}\,\text{s}=1\,\text{s}$

(3)$x'=v\Delta t'=2\times0.5\,\text{m}=1\,\text{m}=\frac{1}{2}\lambda$。$t=0.5\text{s}$ 时绳波在 0~2.0m 内的图像如下。



22. [2026 · 云南卷]如图所示，均匀介质中的三个质点 S、P、Q，它们分别静止于直角坐标系 Oxy 平面内的 $(0,0)$、$(-2,0)$ 和 $(4,3)$ 处。$t=0$ 时刻，S 从平衡位置开始垂直 Oxy 平面向上振动，振动频率为 2 Hz，形成向外传播的简谐横波，图中实线圆表示某时刻相邻的两个波峰，则



A. 该波的波速大小为 8 m/s　　B. $t=0.125$ s 时，P 位于波峰

C. 该波传播到 P、Q 的时间差为 0.75 s　　D. $t=1.25$ s 以后，P、Q 的位移始终相同

答案 C

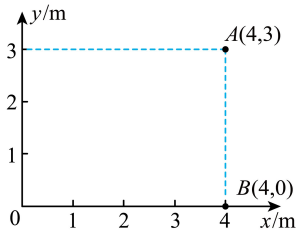
解析 A. 由图可知波长 $\lambda=2$ m，则波速 $v=\lambda f=4$ m/s，故 A 错误；

B. 传播到 P 点的时间 $t_P=\dfrac{2\text{m}}{v}=0.5\text{s}>0.125\text{s}$，即 $t=0.125$ s 时 P 仍处于静止，故 B 错误；

C. 传播到 Q 点的时间 $t_Q=\dfrac{5\text{m}}{v}=1.25\text{s}$，故时间差 $\Delta t=t_Q-t_P=0.75\text{s}$，故 C 正确；

D. $T=\dfrac{1}{f}=0.5\text{s}$，由于传播到 P、Q 的时间差 $\Delta t=1.5T$，故 P、Q 振动步调相反，故 D 错误。

23. [2026 · 湖南卷]如图，均匀介质中有且仅有一个点波源产生简谐横波在 xy 平面内传播，$A(4,3)$、$B(4,0)$ 在 xy 平面内。某时刻，A 处质点位于波峰，B 处质点位于波谷。下列说法正确的是



A. 若波源在 $(0,0)$ 处，波长可能为 1 m　　B. 若波源在 $(0,0)$ 处，波长可能为 2 m

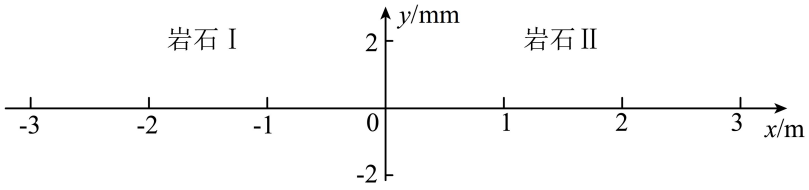
C. 若波源在 $(0,3)$ 处，波长可能为 3 m　　D. 若波源在 $(0,3)$ 处，波长可能为 4 m

答案 B

解析 AB. 若波源在 $(0,0)$ 处，则 A、B 到波源的距离分别为 5 m、4 m，由于 A、B 振动步调相反，故距离差应等于半波长的奇数倍，即 $\dfrac{2n+1}{2}\lambda=1\text{m}$，波长 $\lambda=\dfrac{2}{2n+1}\text{m}$，故 A 错误，B 正确；

CD. 若波源在 $(0,3)$ 处，同理有 A、B 到波源的距离之差应等于半波长的奇数倍，故 $\lambda=\dfrac{2}{2n+1}\text{m}$，故 C、D 错误。

24. [202601 · 浙江卷]在地质探测中，可利用横波传播速度的不同，获得岩石密度信息。选择岩石分界面上的一点为原点，垂直分界面方向为x轴，建立如图所示的坐标系。在坐标原点安装周期$T=1\times10^{-3}\,\mathrm{s}$、振幅$A=2\,\mathrm{mm}$的人工振源。$t=0$时振源从平衡位置$(y=0)$开始沿$y$轴正方向振动，同时向两侧传播简谐横波。$t=3\times10^{-3}\,\mathrm{s}$时在岩石Ⅰ$(x<0)$中的波恰好到达$x=-3\,\mathrm{m}$处，岩石Ⅱ$(x>0)$中的波速为$v_{\mathrm{II}}=3\times10^{3}\,\mathrm{m/s}$，则



A. 岩石Ⅰ和岩石Ⅱ中两波波长之比为3∶1

B. $t=1.5\times10^{-3}\,\mathrm{s}$时，$x=-1\,\mathrm{m}$处质点的振动方向沿$y$轴正方向

C. 在$0\sim3\times10^{-3}\,\mathrm{s}$内，$x=1.25\,\mathrm{m}$处质点经过的路程为21 mm

D. 增大振源的振动周期，岩石Ⅱ中的波速将变小

答案 C

解析 A．岩石Ⅰ中的波速$v_{\mathrm{I}}=\dfrac{3}{3\times10^{-3}}=10^{3}\,\mathrm{m/s}$，由$\lambda=\dfrac{v}{f}$可知$\dfrac{\lambda_{\mathrm{I}}}{\lambda_{\mathrm{II}}}=\dfrac{v_{\mathrm{I}}}{v_{\mathrm{II}}}=\dfrac{1}{3}$，故$A$错误；

B．波传播到$x=-1\,\mathrm{m}$的时间$t=\dfrac{1\,\mathrm{m}}{v_{\mathrm{I}}}=10^{-3}\,\mathrm{s}$，此时该质点开始向上起振，再经过$\Delta t=0.5\times10^{-3}\,\mathrm{s}=\dfrac{1}{2}T$，该质点振动方向沿$y$轴负方向，故$B$错误；

D．机械波的波速由介质决定，即波速不变，故D错误；

C．波传播到$x=1.25\,\mathrm{m}$的时间$t=\dfrac{1.25\,\mathrm{m}}{v_{\mathrm{II}}}=\dfrac{5}{12}\times10^{-3}\,\mathrm{s}$，此时该质点开始向上起振，再经过$\Delta t=3\times10^{-3}-\dfrac{5}{12}\times10^{-3}\,\mathrm{s}=2\dfrac{7}{12}T$，该质点经过路程$S=8A+2A+\dfrac{1}{2}A=21\,\mathrm{mm}$，故$C$正确。

25. [2026 · 北京卷]如图所示，插入水中的筷子看上去产生了侧移。这种现象属于

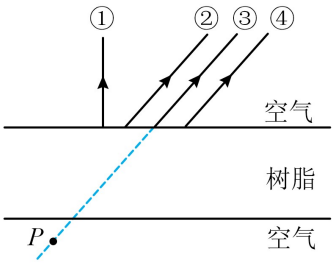


A. 光的全反射　　B. 光的折射　　C. 光的干涉　　D. 光的衍射

答案 B

解析 选修二　图4.1－8

26. [2026 · 云南卷]在测量某种透明树脂折射率的实验中，让激光束射入一块两面平行的树脂砖，改变入射点和入射角，得到①、②、③、④四条出射光线，如图所示。不考虑反射，图中经 P 点射入树脂砖的光，出射后的光线可能是

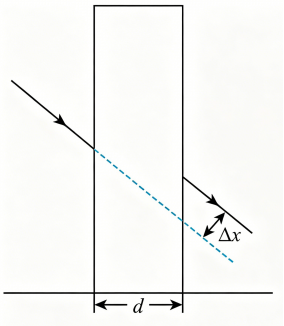


A. ①　　B. ②　　C. ③　　D. ④

答案 B

解析 由于树脂折射率 $n>1$，故入射时折射角小于入射角，出射光线可能是②。

27. [2026 · 陕西卷]（多选）玻璃镜片折射率是影响眼镜厚度的主要因素之一。如图，一束单色光从空气斜射入厚度为 d 的平行玻璃砖左表面，从右表面射出，出射光线相对入射光线侧移量为 Δx。现换用折射率较大的玻璃砖，保持入射角不变，下列说法正确的是

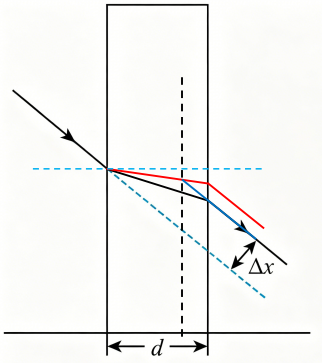


A. 若厚度 d 相同，侧移量变小　　B. 若厚度 d 相同，侧移量变大

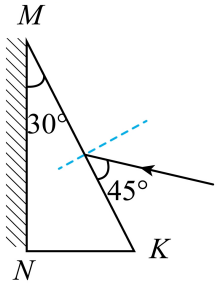
C. 若侧移量 Δx 相同，厚度变小　　D. 若侧移量 Δx 相同，厚度变大

答案 BC

解析 作图法



28. [2026 · 重庆卷]某种特殊眼镜通过三棱镜改变光路给人们视物带来方便。如图所示，三棱镜的 MN 面为镜面，光从空气经 MK 面射入棱镜，最终从 NK 面射出，进入眼睛。若 $\angle M=30°$，某单色光从 MK 面 P 点与 MK 成 $45°$ 角射入后，垂直射到镜面 MN 上，则 （　　）



A. 三棱镜对该光的折射率为 1.5

B. 三棱镜对该光的折射率为 $\sqrt{3}$

C. 该光从三棱镜射入空气发生全反射的临界角为 $45°$

D. 该光从三棱镜射入空气发生全反射的临界角为 $60°$

答案 C

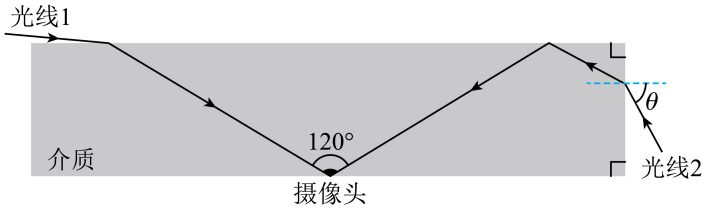
解析 AB．由几何关系可知，MK 面的入射角 $i=90°-45°=45°$，折射角 $r=90°-60°=30°$，故折射率 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\sqrt{2}$，故 AB 错误；

CD．由 $\sin C=\dfrac{1}{n}$ 可知临界角 $C=45°$，故 C 正确。

29. [2026 · 湖南卷]车载摄像头需要有较大的拍摄角度。一摄像头由于结构限制，拍摄角度为 $120°$。如图，将摄像头嵌入均匀透明介质，介质截面为矩形。只考虑该截面内光线传播情况，通过空气与介质间界面的折射，可将实际拍摄角度扩大。

(1) 若希望几乎贴着介质表面入射的光线 1 能够以图示路径恰好射入摄像头，即拍摄角度扩大为 $180°$，求介质的折射率；

(2) 若介质折射率为 1.8，从侧后方向入射的光线 2 能够以图示路径折射之后发生一次全反射，然后恰好射入摄像头，求光线 2 的入射角 θ 的正弦值。

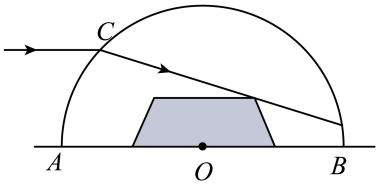


答案 (1)$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$　　(2)0.9

解析 (1) 入射时的折射角 $C=60°$，故 $n=\dfrac{1}{\sin C}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$

(2) 由几何关系可知，入射时的折射角 $\alpha=30°$，故有 $\dfrac{\sin\theta}{\sin\alpha}=n$　　得 $\sin\theta=n\sin\alpha=0.9$

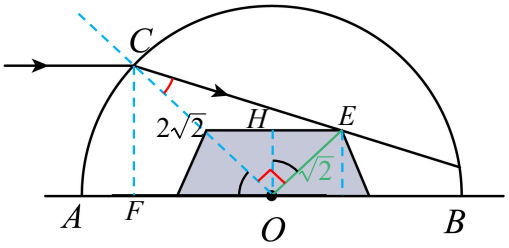
30. [2026 · 山东卷]半径为$2\sqrt{2}$cm的半圆形玻璃砖横截面如图所示，底部等腰梯形区域充满不反射、不透光的吸光性材料。梯形下底中点与圆心O重合，下底为$2\sqrt{2}$cm，上底为2cm，高为1cm。单色光线从左侧入射，方向始终平行于直径AB。当入射点从A点逐渐向上移动至C点时，光线恰能从玻璃砖另一侧射出，C点与AB的距离为2cm，该玻璃的折射率为



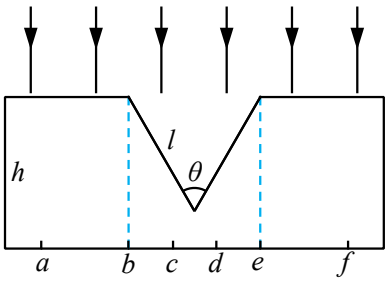
A. $\sqrt{2}$　　B. $\sqrt{5}$　　C. $\frac{\sqrt{10}}{2}$　　D. $\frac{\sqrt{5}}{2}$

答案 C

解析 如图所示，$\sin\angle COA=\frac{CF}{CO}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，$\tan\angle EOH=\frac{HE}{HO}=1$，可知入射角$i=45°$，$\angle COE=90°$，故折射角$\theta$满足$\tan\theta=\frac{EO}{CO}=\frac{1}{2}$，$\sin\theta=\frac{1}{\sqrt{5}}$，所以$n=\frac{\sin i}{\sin\theta}=\frac{\sqrt{2}/2}{1/\sqrt{5}}=\frac{\sqrt{10}}{2}$



31. [2026 · 四川卷]（多选）如图所示，在折射率为$\sqrt{3}$、厚度为h的长方体玻璃砖上加工一V形凹槽，将其制成左右对称的工件，凹槽边长$l=\frac{\sqrt{3}}{2}h$，$\theta=60°$。将工件放置在水平面上，用单色平行于光沿竖直方向照射工件，观测到工件底部有多个亮度不同的区域，各区域分界线用a、b、c、d、e、f表示。不考虑光的反射和干涉，所有表面均视为平面。则（　　）

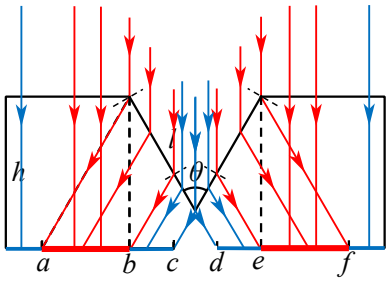


A. c、d间亮度最高　　B. a、b间和e、f间亮度最高

C. c、d间距为$\frac{\sqrt{3}}{6}h$　　D. a、b间距和e、f间距均为$\frac{\sqrt{3}}{4}h$

答案 BC

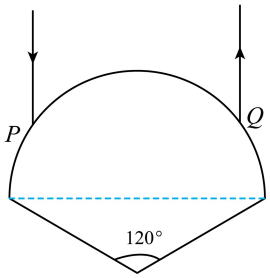
解析 AB. 由$n=\frac{\sin 60°}{\sin\alpha}$可知光从凹槽处射入时的折射角$\alpha=30°$，作光路图如下。可知$ab$、$ef$区域亮度最高，其次是$bc$、$de$区域，而$cd$区域没有光照到，故$B$正确；



C．由几何关系可知，c、d 间距 $x=\dfrac{h}{\cos 30^\circ}-l=\dfrac{\sqrt{3}}{6}h$，故 C 正确；

D．由几何关系可知，、b 间距和 e、f 间距均为 $x'=h\tan 30^\circ=\dfrac{\sqrt{3}}{3}h$，故 D 错误。

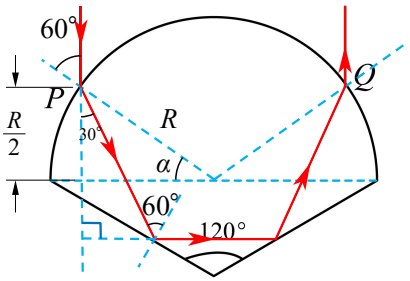
32. [2026 · 河南卷]如图，一棱镜的横截面视为半径 R 的半圆与等腰三角形的组合，半圆直径与三角形底边重合，等腰三角形的顶角为 120°。在横截面所在平面内，一束光从 P 点垂直于三角形底边入射，从 Q 点射出。已知 P、Q 到三角形底边距离均为 $\dfrac{R}{2}$，出射光线与入射光线平行，则棱镜的折射率为 （　　）



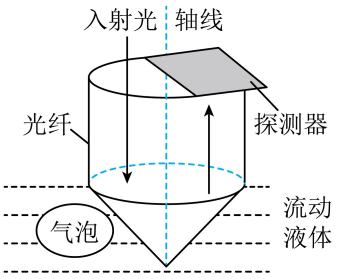
A. $\sqrt{2}$　　B. $\dfrac{3}{2}$　　C. $\sqrt{3}$　　D. 2

答案 C

解析 由对称性画出光路图如下（光经过三角形腰而发生全发射，反射角为 60°，然后水平射向另一腰）。由 $\sin\alpha=\dfrac{R/2}{R}$ 可知 $\alpha=30^\circ$，故 P 点处的入射角为 60°，折射角为 30°，$n=\dfrac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{3}$。



33. [2026·广东卷](多选)图中底端为锥形且顶角为90°的直光纤,可用于检测流动液体中的空气泡,某单色光从光纤顶端左部入射,平行于轴线方向传播,探测器在光纤顶端右部探测锥面反射光的光强,已知锥面外为空气时,该单色光在锥面恰好发生全反射,空气折射率取1,被测液体折射率大于此光纤折射率。下列说法正确的有 (　　)



A. 此光纤对该单色光的折射率为$\sqrt{2}$

B. 该单色光在此光纤中的传播速度是真空中光速的$\frac{1}{2}$

C. 锥面浸入液体过程中,探测到的光强相对于浸入液体前变强

D. 锥面完全浸入液体后,若探测到的光强在变强,说明检测到气泡

答案 *AD*

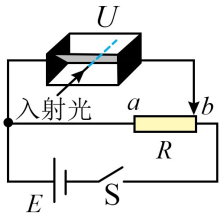
解析 *A*. 由于恰好发生全发射,可知临界角$C=45°$,故$n=\frac{1}{\sin 45°}=\sqrt{2}$,故*A*正确;

B. 由$v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}c$可知,此光纤中的传播速度是真空中光速的$\frac{\sqrt{2}}{2}$,故*B*错误;

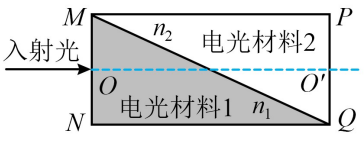
C. 锥面浸入液体过程中,光从光纤(光疏介质)进入液体(光密介质),不发生全反射,故探测到的光强相对于浸入液体前变弱,故*C*错误;

D. 锥面完全浸入液体后,若探测到的光强在变强,说明光在某些地方发生了全反射,发生全反射的地方即有空气,说明检测到气泡,故*D*正确。

34. [2026·广西卷](多选)两块楔形电光材料置于两平行金属电极之间,通过图甲所示电路施加电压实现光束偏转,右视图如图乙。两电光材料的折射率与电极间的电压U分别满足关系$n_1=n_0+kU$和$n_2=n_0-kU$,其中$U>0$且在安全电压范围内,$k>0$,$n_2>1$。空气中一束光从正前方沿OO'垂直电光材料1的MN界面入射,最终从电光材料2的PQ界面出射,出射光线相对于入射光线偏转的角度为θ。已知所有界面均不发生全反射,且只考虑折射。初始时刻,滑动变阻器R的滑片置于b端,闭合开关S。则



图甲



图乙

A. 光线从$O'P$区域出射

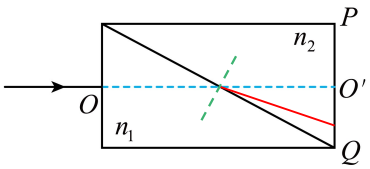
B. 光线从$O'Q$区域出射

C. 当滑动变阻器的滑片从b向a移动时,θ逐渐增大

D. 当滑动变阻器的滑片从b向a移动时,θ逐渐减小

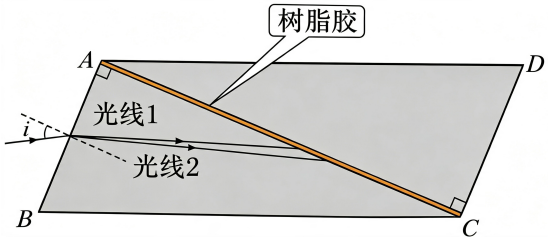
答案 BD

解析 AB．$n_1>n_2$，从光密介质射入光疏介质时，折射光偏离法线，故从 $O'Q$ 区域射出，故 B 正确；



CD．滑片向左移动时，材料两端电压 U 逐渐减小，故 n_1 减小，n_2 增大，由 $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$ 可知折射角变小，故 θ 变小，D 正确。

35. [202606 · 浙江卷]（多选）光射入方解石晶体发生双折射，产生寻常光（o 光）和非常光（e 光）。现将一方解石晶体沿特定方向切割成相同的两块，把切割面磨成平整的光学面、用均匀等厚的薄透明树脂胶粘合在一起，形成晶体—树脂胶—晶体 AC 界面，制作成如图所示的光学器件 $ABCD$（俯视图），其中 $\angle BAC=\angle ACD=90°$，$BC$ 和 AD 面涂黑吸收光线。已知黄光在树脂胶中折射率 $n=1.55$；在方解石晶体中，o 光折射率 $n_o=1.658$，e 光折射率 $n_e=1.486$。一束黄光以入射角 i 从 AB 面射入该器件，折射光均能到达 AC 面。下列说法正确的是（光从折射率为 n_1 的介质射入折射率为 n_2 的介质，入射角为 θ_1，折射角为 θ_2，有 $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{n_2}{n_1}$）



A．o 光和 e 光的光子能量不相等

B．图中光线 1 是 e 光，光线 2 是 o 光

C．从 CD 面不可能射出平行的两束光

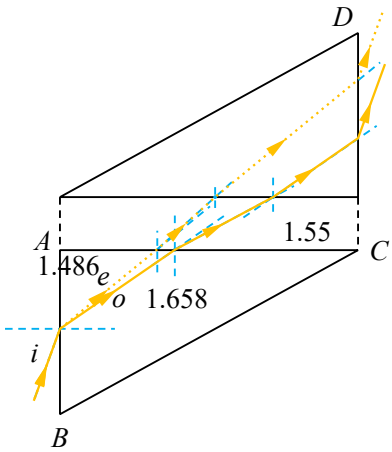
D．当 $\sin i\leqslant\sqrt{n_o^2-n^2}$ 时，只有一束光从 CD 面射出

答案 BD

解析 A．光子能量 $\varepsilon=h\nu$ 只跟频率 ν 有关，介质不影响频率，所以两光子能量相等，故 A 错误；

B．由于 $n_o>n_e$，故 o 光在 AB 边界的折射角更小，图中光线 2 是 o 光，故 B 正确；

D．o 光从晶体射向树脂胶时，是从光密介质到光疏介质，可能发生全发射。当 o 光恰好全反射时，有 $\dfrac{\sin i}{\sin\theta}=n_o$，$\dfrac{\sin(90°-\theta)}{\sin 90°}=\dfrac{n}{n_o}$，得 $\sin i=\sqrt{n_o^2-n^2}$，所以当 $\sin i<\sqrt{n_o^2-n^2}$ 时 o 光发生全反射；而 e 光肯定从能从 AC 边射入树脂胶，由“平行玻璃砖模型”可知必能从树脂胶射出，e 光通过树脂胶时只是发生了偏移，故必能从 CD 边射出，故 D 正确；



C．当 $\sin i>\sqrt{n_o^2-n^2}$ 时两束光都能通过树脂胶，从 CD 面射出，故 C 错误。

36. [202601 · 浙江卷]如图1所示，三块同质有机玻璃板甲、乙、丙，拼接形成两层同心圆弧空气膜。现让一束激光从P点射入，并在空气膜Q处注入一滴油，呈现图2所示的光路(其中α、β为相应光线的入射角)。已知空气折射率为1，光在空气中的传播速度为c。下列说法正确的是

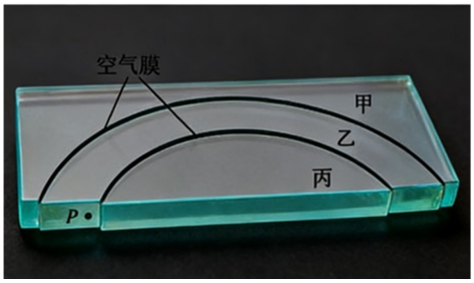


图1



图2

A. 有机玻璃的折射率$n\geqslant\frac{1}{\sin\beta}$

B. 光在有机玻璃中的传播速度$v\geqslant c\sin\alpha$

C. 有机玻璃的折射率可能大于油的折射率

D. 若在R处注入同种油滴，光线不会从R处进入乙

答案 AC

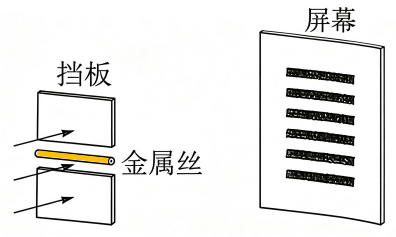
解析 A．由图2可知，光从玻璃乙射向空气膜时发生全反射，故有$\beta\geqslant C$，$\sin\beta\geqslant\sin C$，所以$n=\frac{1}{\sin C}\geqslant\frac{1}{\sin\beta}$，故$A$正确；

B．由图2可知$\alpha>\beta\geqslant C$，故$n>\frac{1}{\sin\alpha}$，则光在玻璃中的速度$v=\frac{c}{n}<c\sin\alpha$，故$B$错误；

D．若R处注入同种油滴，现象跟Q点一样，光会从R处几乎直线传播进入乙，故D错误；

C．光经过Q点过程几乎直线传播，且Q点处几乎没有反射光，故油的折射率很接近玻璃折射率。如果光从玻璃射入Q点油时，入射角小于折射角，则玻璃折射率大于油折射率；反之则小于油折射率，故C正确。

37. [2026 · 河北卷]如图所示，一根粗细均匀的细金属丝置于两挡板之间的水平狭缝中央，其中心轴与狭缝平行，直径小于狭缝宽度。一束平行单色光垂直挡板入射，在屏幕上形成了稳定的双缝干涉图样，相邻两条亮条纹中心间距为Δx。若金属丝经加热均匀膨胀，则 (　　)



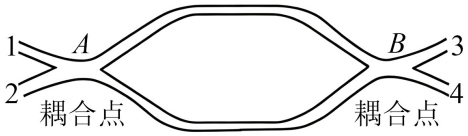
A. Δx变小　　B. Δx变大

C. 双缝间的距离减小　　D. 双缝间的距离不变

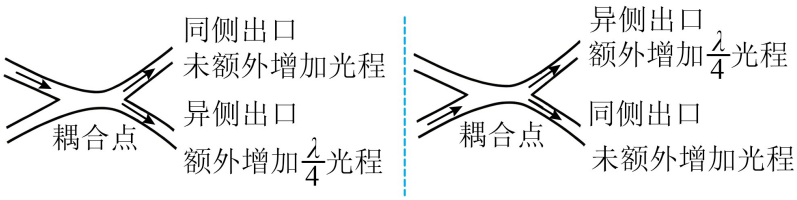
答案 A

解析 金属丝将单缝隔离成双缝，金属丝膨胀后双缝间距(两缝中心之间的距离)d变大，由$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$可知$\Delta x$减小。

38. [2026 · 贵州卷]（多选）光在折射率为 n 的光纤中传播路程 L，等效于光在真空中传播路程 nL，nL 称为光程。如图 (a)，两根同种光纤在 A、B 处被熔接为耦合点，形成上下两支路，上下支路 A、B 之间的光纤长度相同。波长为 λ 的光经过耦合点时的变化情况如图 (b) 所示，任意支路的光经过耦合点，与输入口同侧的输出口的光未额外增加光程，异侧输出口的光额外增加 $\frac{\lambda}{4}$ 光程。现有波长为 λ 的光从 1 口入射，则上下支路的光 （　　）



图（a）

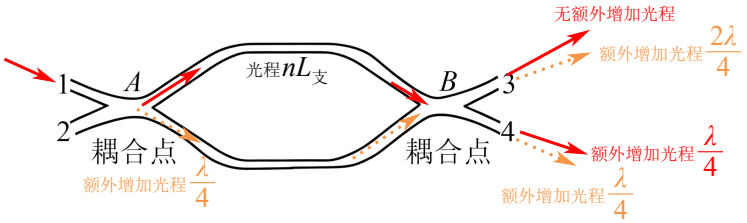


图（b）

A. 在 3 口干涉加强　　B. 在 3 口干涉削弱　　C. 在 4 口干涉加强　　D. 在 4 口干涉削弱

答案 BC

解析 由于上下支路 A、B 之间的光纤长度相同，故只需要考虑耦合点处的额外增加光程即可。如图，在 3 口出射的两种光的光程差为 $\frac{\lambda}{2}$，故干涉削弱；在 4 处出射的两种光的光程差为 0，故干涉加强。（题中的波长 λ 指的是真空中的波长）



五、选修二

1. [2026 · 北京卷]如图所示实验装置中，两根平行直导线两端固定。通以电流，可演示电流间的相互作用，有助于建立电流产生磁场的认识。若可分别改变每根导线中的电流，还可以探究



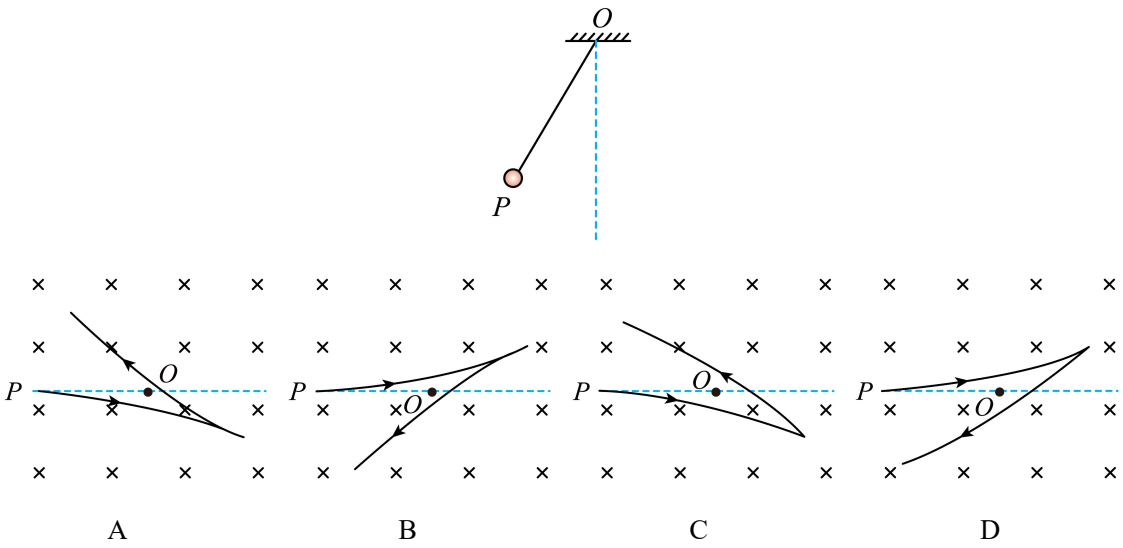
A. 磁场强弱与距离的定性关系　　B. 磁场强弱与电流大小的定性关系

C. 磁场是否可以叠加　　D. 磁场有无沿电流方向的分量

答案 *B*

解析 导线的弯曲程度可以反映磁场强弱，故 *B* 正确。

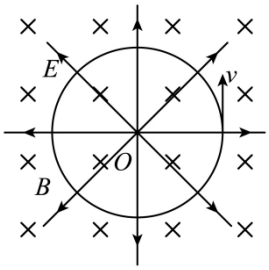
2. [2026 · 黑吉辽卷]如图，真空中一带正电的小球用绝缘轻绳悬于 *O* 点，处于竖直向下的匀强磁场中。将小球从 *P* 点由静止释放，小球运动轨迹的俯视示意图可能是



答案 *B*

解析 从俯视图看，从 *P* 向右运动时，由左手定则可知受力方向向上，会往上偏；到达最右端后开始向左运动，此时受力方向向下，运动轨迹向洛伦兹力方向弯曲，故 *B* 正确。

3. [2026 · 贵州卷]如图，空间中存在垂直于纸面向里的匀强磁场及从 O 点沿径向向外的电场，某处电场强度大小 $E=\dfrac{k}{r^2}$，k 为常量，r 为该处到 O 的距离。一带负电粒子在纸面内沿逆时针方向做匀速圆周运动。当磁感应强度大小为 B_1 时，粒子运动半径为 r_1，速率为 v，电势能为 E_{p1}；当磁感应强度大小为 $B_2(B_2>B_1)$ 时，粒子运动半径为 r_2，速率仍为 v，电势能为 E_{p2}。取无限远处的电势为零，不计粒子重力，则



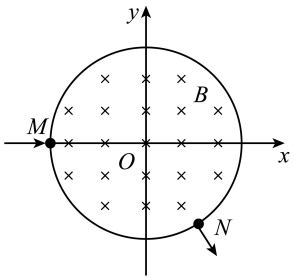
A. $r_2>r_1$，$E_{p2}>E_{p1}$　　B. $r_2>r_1$，$E_{p2}<E_{p1}$　　C. $r_2<r_1$，$E_{p2}<E_{p1}$　　D. $r_2<r_1$，$E_{p2}>E_{p1}$

答案　C

解析　由 $q\dfrac{k}{r^2}-qvB=\dfrac{mv^2}{r}$ 可知 $qvBr^2+mv^2r=qk$ 为定值，由于 $B_2>B_1$，故 $r_2<r_1$；

沿电场方向电势降低，故 $\varphi_2>\varphi_1$，结合 $E_p=q\varphi$，$q<0$ 可知 $E_{p2}<E_{p1}$。

4. [2026 · 广西卷]如图，在以坐标原点 O 为圆心、半径为 R 的圆形区域内，存在磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里的匀强磁场。一带电粒子从 M 点沿 x 轴正方向射入，从 N 点射出，出射方向与 x 轴正方向夹角为 60°。已知粒子电荷量为 q，质量为 m，不计重力。该粒子



A. 带正电荷　　B. 从 M 到 N 的运动轨迹是抛物线

C. 射入磁场时的速率为 $\dfrac{\sqrt{3}qBR}{m}$　　D. 从 M 到 N 的运动时间为 $\dfrac{2\pi m}{3qB}$

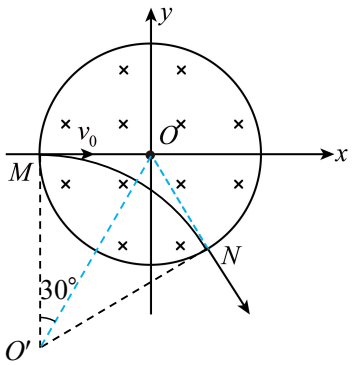
答案　C

解析　A．由左手定则可知粒子带负电，故 A 错误；

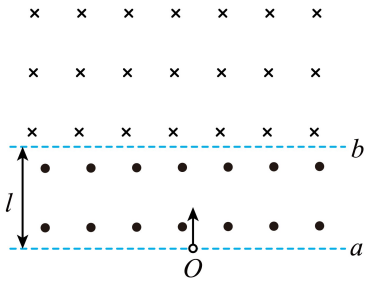
B．带电粒子垂直射入匀强磁场后做匀速圆周运动，轨迹是圆弧，故 B 错误；

C．由几何关系可知粒子轨迹半径 $r=\sqrt{3}R$，由 $qv_0B=\dfrac{mv_0^2}{r}$ 得 $v_0=\dfrac{qBr}{m}=\dfrac{\sqrt{3}qBR}{m}$，故 C 正确；

D．$t=\dfrac{1}{6}T=\dfrac{1}{6}\times\dfrac{2\pi r}{v_0}=\dfrac{\pi m}{3qB}$，故 D 错误。



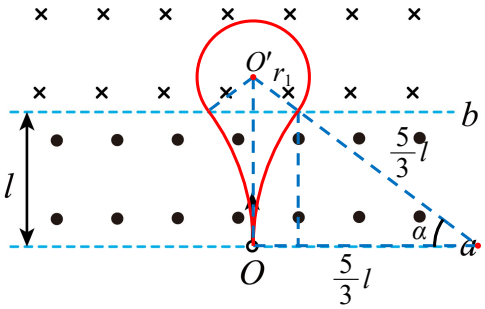
5. [2026 · 河南卷]如图，间距为 l 的两虚线 a、b 间存在方向垂直于纸面向外的匀强磁场，虚线 b 上方存在方向垂直于纸面向里的匀强磁场。一带电粒子在纸面内垂直于虚线 a 从 O 点射入磁场，一段时间后又从 O 点射出磁场。已知该粒子在下方磁场中运动的圆轨迹半径为 $\frac{5}{3}l$，不计重力，则上、下磁场的磁感应强度大小之比为 （　　）



A. 2∶1　　B. 3∶1　　C. 4∶1　　D. 5∶1

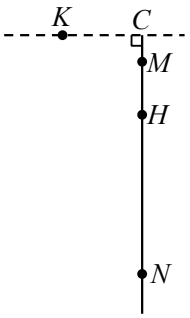
答案 C

解析 根据运动的对称性，画出粒子的运动轨迹如图。由几何关系可知上磁场中的轨迹半径 r_1 满足 $(r_1+\frac{5}{3}l)\cos\alpha=\frac{5}{3}l$，其中 $\sin\alpha=\frac{l}{\frac{5}{3}l}=\frac{3}{5}$　　得 $r_1=\frac{5}{12}l$



由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 得 $B=\frac{mv}{qr}$，故上、下磁场的磁感应强度大小之比 $\frac{B_1}{B_2}=\frac{r_2}{r_1}=\frac{\frac{5}{3}l}{\frac{5}{12}l}=4$。

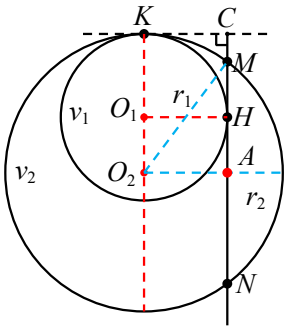
6. [2026 · 重庆卷]某同学设计了一种测量粒子速率的装置，其原理示意图如图所示。空间充满匀强磁场，粒子源位于 K 点，可发射比荷相同、速率分别为 v_1 和 v_2 的带正电粒子 $(v_1<v_2)$。粒子源右侧有一过 C 点的竖直挡板。若磁场方向垂直于纸面向外，水平向右发射的粒子打在 M、H 两点；若磁场方向垂直于纸面向里，水平向左发射的粒子打在 H、N 两点，$CM:MN=1:8$，$KC\perp CN$，不考虑粒子重力及粒子间相互作用，则 $v_1:v_2$ 为 （　　）



A. 3∶5　　B. 2∶3　　C. 3∶4　　D. 4∶5

答案 A

解析 由 $qvB=\dfrac{mv^2}{r}$ 得轨迹半径 $r=\dfrac{mv}{qB}\propto v$。同一粒子在相反磁场方向下的轨迹构成一个完整的圆，如图所示，小圆对应速率为 v_1 的粒子。



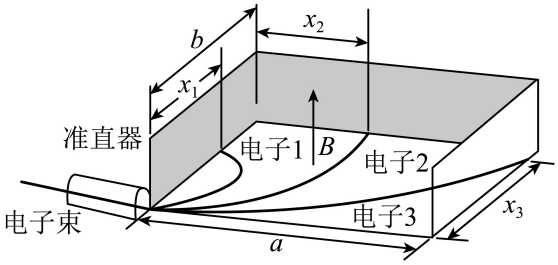
由于速率为 v_1 的粒子两次都打在 H 点，故小圆刚好与挡板相切。

设 $CM=a$，则 $MN=8a$，$MA=\dfrac{MN}{2}=4a$，

所以 $r_2=KO_2=CM+MA=5a$，$MO_2=r_2=5a$，$r_1=AO_2=\sqrt{MO_2^2-MA^2}=3a$，

故 $\dfrac{r_1}{r_2}=\dfrac{3}{5}$，故 $\dfrac{v_1}{v_2}=\dfrac{3}{5}$。

7. [2026 · 广东卷]（多选）如图是一种长方体电子磁谱仪结构示意图，磁谱仪内存在磁感应强度大小为 B、方向垂直底面向上的匀强磁场，磁场区域长为 a、宽为 b。电子束中有三个电子通过准直器后垂直左侧面沿边缘进入磁场，偏转后分别到达磁谱仪三个侧面，与边缘的距离分别为 x_1、x_2 和 x_3，电子电荷量为 $-e$、质量为 m，不考虑相对论效应，下列说法正确的有 （　　）



A. 电子 1 的动能比电子 3 的大

B. 电子 1 在磁场中的运动时间为 $\dfrac{\pi m}{eB}$

C. 电子 2 的动能为 $\dfrac{e^2B^2(x_2^2+b^2)^2}{8mb^2}$

D. 电子 3 的动量大小为 $\dfrac{eB(x_3^2+a^2)}{2x_3}$

答案 BCD

解析 A．由 $evB=m\frac{v^2}{r}$ 得 $v=\frac{eBr}{m}$，故 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{e^2B^2r^2}{2m}\propto r^2$，可知电子 1 动能比电子 3 小，故 A 错误；

B．电子在磁场中做匀速圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{eB}$，则时间 $t_1=\frac{T}{2}=\frac{\pi m}{eB}$，故 B 正确；

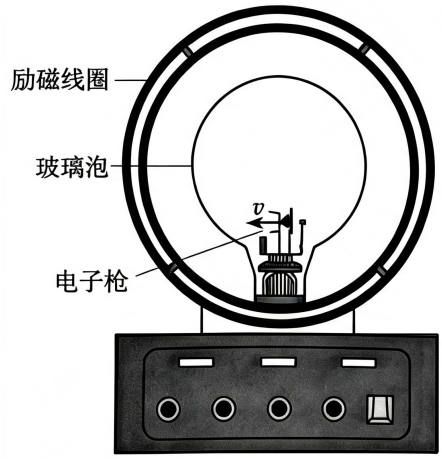
C．对电子 2，由几何关系得 $(b-r_2)^2+x_2^2=r_2^2$，得轨迹半径 $r_2=\frac{b^2+x_2^2}{2b}$，则 $E_k=\frac{e^2B^2}{2m}(\frac{b^2+x_2^2}{2b})^2$，故 C 正确；

D．对电子 3，由几何关系得 $(r_3-x_3)^2+a^2=r_3^2$，得轨迹半径 $r_3=\frac{x_3^2+a^2}{2x_3}$，则 $p_3=mv_3=eBr_3=\frac{eB(x_3^2+a^2)}{2x_3}$，故 D 正确。

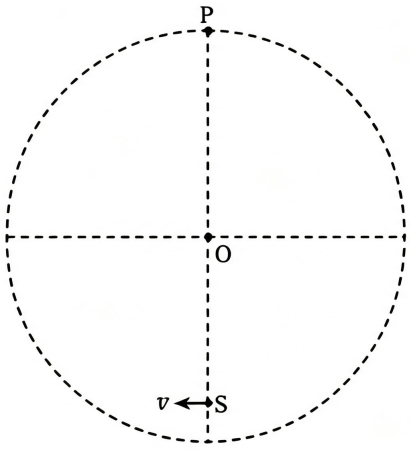
8. [2026 · 云南卷]洛伦兹力演示仪示意图如图甲所示，玻璃泡处于励磁线圈产生的磁场中。玻璃泡内有一垂直磁场的竖直圆面，图乙为其放大示意图，其圆心为 O、半径为 R、最高点为 P，区域内的磁场视为匀强磁场。电子枪将电子从 O 点正下方 $0.8R$ 处的 S 点，以速度 v 水平向左射出，电子在圆面内运动一段时间后到达 P 点。已知电子质量为 m、电荷量为 e，不计电子的重力和电子之间的相互作用。求：

(1) 匀强磁场的磁感应强度大小和方向；

(2) 电子从 S 点第一次到达 P 点所用的时间。



图甲　洛伦兹力演示仪示意图



图乙　匀强磁场区域

答案 (1)$evB=\frac{mv^2}{r}$，其中 $r=\frac{R+0.8R}{2}=0.9R$　　得 $B=\frac{10mv}{9eR}$，方向垂直纸面向里。

(2)$T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{1.8\pi R}{v}$　　得 $t=\frac{T}{2}=\frac{9\pi R}{10v}$

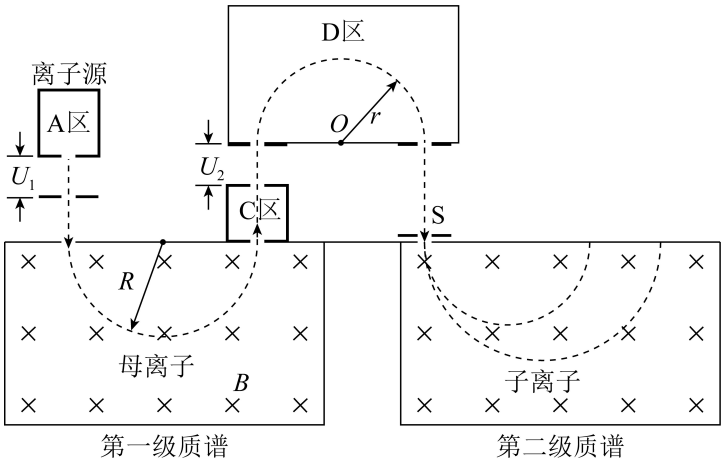
9. [2026 · 北京卷]药物研发中常需要二级质谱分析。一级质谱分析只能检出与目标离子具有相同比荷的离子(母离子)。为进一步鉴别目标离子,需将母离子打碎成更小的离子(子离子),进行第二次质谱分析。某种二级串联质谱系统装置如图所示,假设离子均带正电。

(1) 第一级质谱:A 区中的离子由静止经电场加速后,垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场,比荷为 $\frac{q}{m}$ 的母离子做半径为 R 的匀速圆周运动进入 C 区。求加速电压 U_1。

(2) 两级质谱连接:C 区产生的子离子经聚焦、冷却后,由静止经电压 U_2 加速后进入 D 区。为保证不同比荷的子离子均由小孔 S 垂直进入第二级质谱的磁场,在 D 区施加某种场,使这些子离子都做以 O 点为圆心、半径为 r 的匀速圆周运动。请设计 D 区中的场:

a. 推导说明仅施加匀强磁场是否可行;

b. 推导说明仅施加电场是否可行。



解析 (1)$qU_1=\frac{1}{2}mv^2$, $qvB=\frac{mv^2}{R}$ 得 $U_1=\frac{qB^2R^2}{2m}$

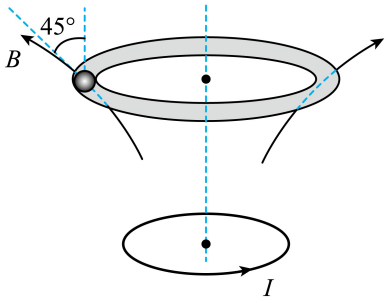
(2)$qU_2=\frac{1}{2}mv^2$

a. 若仅加匀强磁场,由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 得 $r=\frac{mv}{qB}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU_2}{q}}$ 与比荷有关,故不可行;

b. 若仅加以 O 点为圆心的辐向电场(半径 r 处的电场大小处处相等,记为 E),

由 $qE=\frac{mv^2}{r}$ 得 $r=\frac{2U_2}{E}$ 与比荷无关,故可行,取 $E=\frac{2U_2}{r}$。

10. [2026 · 湖南卷](多选)某小组设计了一磁悬浮装置。如图,环形通电线圈固定在水平面上,其上方固定一半径为 R 的环形细管道,管道任意处磁场方向与竖直方向夹角为 45°。质量为 m 的带正电小球在环形管道中以某一速率做匀速圆周运动,此时小球与管道间无弹力,重力加速度为 g。下列说法正确的是



A. 从管道上方俯视,小球沿顺时针方向做圆周运动

B. 小球做圆周运动的周期为 $\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}}$

C. 小球做圆周运动的半个周期内洛伦兹力的冲量大小为 $m\sqrt{(2+\pi^2)gR}$

D. 若小球的绕行方向不变,速率为其做匀速圆周运动速率的 2 倍,则小球与管道间的弹力大小为 $\sqrt{5}mg$

答案 AD

解析 A. 由左手定则可知,洛伦兹力方向与竖直方向夹角 $\theta=45°$,小球沿顺时针运动,故 A 正确;

B. 设小球圆周运动速度为 v,洛伦兹力 $F=qvB=\sqrt{2}mg$,由合力提供向心力得 $mg=\dfrac{mv^2}{R}$,得 $v=\sqrt{gR}$,周期 $T=\dfrac{2\pi R}{v}=2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}}$,故 B 错误;

C. 经过半个周期小球速度反向,由动量定理得 $\vec{I_G}+\vec{I_{洛}}=\vec{\Delta p}$,

其中重力冲量 $\vec{I_G}=mg\cdot\dfrac{T}{2}=\pi m\sqrt{gR}$,方向竖直向下,动量变化量 $\vec{\Delta p}=2mv=2m\sqrt{gR}$,方向水平,

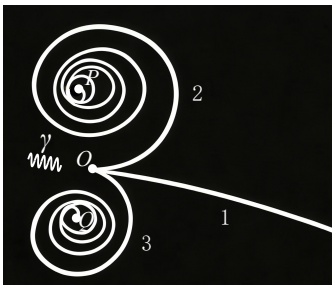
故由矢量合成可知,洛伦兹力冲量大小 $I_{洛}=\sqrt{\vec{I_G}^2+\vec{\Delta p}^2}=m\sqrt{(\pi^2+4)gR}$,故 C 错误;

【方法二】竖直方向上,洛伦兹力冲量 $I_y=F\cos45°\cdot\dfrac{T}{2}=\pi m\sqrt{gR}$,水平方向上,洛伦兹力冲量 $I_x=2mv=2m\sqrt{gR}$,故 $I_{洛}=\sqrt{I_x^2+I_y^2}=m\sqrt{(\pi^2+4)gR}$。

D. 此时洛伦兹力 $F=2qvB=2\sqrt{2}mg$,$\begin{cases}\text{竖直方向}\quad N_y+mg=F\cos\theta\\ \text{水平方向}\quad N_x+F\sin\theta=\dfrac{m(2v)^2}{R}\end{cases}$ 得 $\begin{cases}N_y=mg\\ N_x=2mg\end{cases}$,

故小球与管道间的弹力大小 $N=\sqrt{N_x^2+N_y^2}=\sqrt{5}mg$,故 D 正确。

11. [202601 · 浙江卷]在充满液态氢的气泡室中存在方向垂直图示平面、磁感应强度为 B 的匀强磁场。一束 γ 射线通过气泡室，其中一个 γ 光子将一个氢原子打出一个电子 (e^-)，同时自身转变为一对正负电子对 (e^+-e^-)。三个电子在气泡室中的径迹如图所示（氢原子和产生的质子均可视为静止），开始时，三条径迹共切于 O 点，其半径分别为 r_1、r_2 和 r_3。假设电子在气泡室中所受阻力大小正比于速率，比例系数为 k，方向与速度方向相反。沿径迹 1、2、3 运动的电子速度减为 0 时的位置分别位于 M（图中未标出）、P、Q 三点。已知电子质量为 m_e，元电荷为 e，光速为 c。下列说法正确的是



A. γ 光子的能量小于 $2m_ec^2$

B. γ 光子的动量大小为 $eB(r_1+r_2+r_3)$

C. O 与 P、Q 的距离之比 $\overline{OP}:\overline{OQ}=r_2:r_3$

D. 沿径迹 1 运动的电子总路程为 $\dfrac{\sqrt{(eB)^2+k^2}}{k}r_1$

答案 BC

解析 A．γ 光子的能量转化为正负电子对的静止质量能 $(2m_ec^2)$ 和动能，即 γ 光子的能量大于 $2m_ec^2$，故 A 错误；

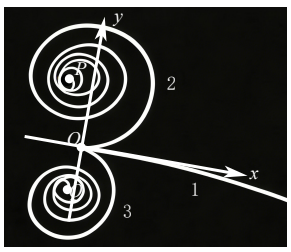
B．根据 O 点处动量守恒，有 $p=p_1+p_2+p_3$；由 O 点处 $ev_0B=\dfrac{mv_0^2}{r}$ 可知 $p_0=mv_0=eBr_0$，所以 γ 光子的动量 $p=eBr_1+eBr_2+eBr_3$，故 B 正确；

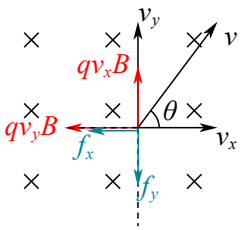
D．在速度方向上，极短时间 Δt 内，由动量定理得 $-kv\Delta t=m\Delta v$，两边求和得 $-ks=0-p_1$，故运动总路程 $s=\dfrac{p_1}{k}=\dfrac{eBr_1}{k}$，故 D 错误；

C．分析可知，粒子 2 是正电子，磁场方向垂直纸面向里。

以初速度方向为 x 轴方向建立直角坐标系。设某时刻粒子 2 的速度为 v，

将速度沿 x、y 轴方向正交分解，在极短 Δt 内由动量定理得





$$\begin{cases} x\text{方向：} & -kv_x\Delta t-qBv_y\Delta t=m\Delta v_x \\ y\text{方向：} & -kv_y\Delta t+qBv_x\Delta t=m\Delta v_y \end{cases} \quad \text{即} \quad \begin{cases} -k\Delta x-qB\Delta y=m\Delta v_x \\ -k\Delta y+qB\Delta x=m\Delta v_y \end{cases}$$

求和得 $\begin{cases}-kX-qBY=0-mv_0\\-kY+qBX=0-0\end{cases}$　　得 $\begin{cases}\text{横坐标}X=\dfrac{kmv_0}{q^2B^2+k^2}\\\text{纵坐标}Y=\dfrac{qBmv_0}{q^2B^2+k^2}\end{cases}$　　(v_0为粒子初速度)

故粒子2运动的位移大小，即 $\overline{OP}=\sqrt{X^2+Y^2}=\dfrac{mv_0}{\sqrt{q^2B^2+k^2}}$，结合 $p_2=eBr_2$ 可知 $\overline{OP}\propto r_2$，

同理可知 $\overline{OQ}\propto r_3$，故 $\overline{OP}:\overline{OQ}=r_2:r_3$，故 C 正确。

【有个问题：从 X，Y 都是正值可知，P 点应该在第一象限，但是图像中 P 在第二象限，矛盾点应该在 $f=kv$ 阻力假设上】

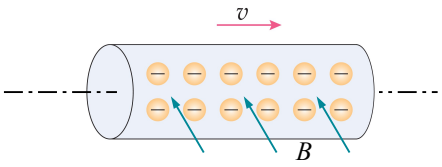
12. [202601 · 浙江卷]如图所示，一根带负电的塑料棒，长为 l、横截面积为 S、均匀分布有 N 个电子(电子电荷量为 $-e$)。让棒垂直于匀强磁场 B，以速度 v 沿轴向做匀速运动。下列说法正确的是

A. 等效电流的方向与 v 方向相同

B. 等效电流大小 $I=\dfrac{Nev}{l}$

C. 棒产生的感应电动势 $E=Blv$

D. 棒所受安培力的大小 $F=NeSvlB$



答案 B

解析 必修三第十一章　B组习题

AB．在时间 $t=\dfrac{l}{v}$ 内，通过某个横截面的电荷量为 Ne，故等效电流 $I=\dfrac{Ne}{t}=\dfrac{Nev}{l}$，方向与负电荷运动方向相反，故 A 错误，B 正确；

C．绝缘塑料棒上的电荷不能自由移动，即使受到竖直方向的洛伦兹力，电荷也无法重新分布形成积累而产生电动势，即感应电动势为0，故 C 错误；

D．安培力 $F=BIl=B\dfrac{Nev}{l}l=BNev$，故 D 错误。

13. [2026 · 北京卷]用如图1所示的装置研究线圈中的感应电流。固定在支架上的线圈与电流传感器、滑动变阻器连接。$t=0$ 时磁铁从线圈上方某高处开始下落，穿过线圈并远离线圈。电流传感器采集的电流随时间变化的图像如图2所示。下列说法正确的是

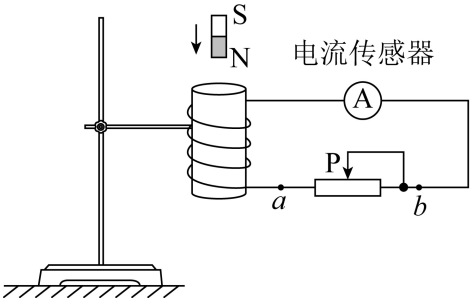


图1

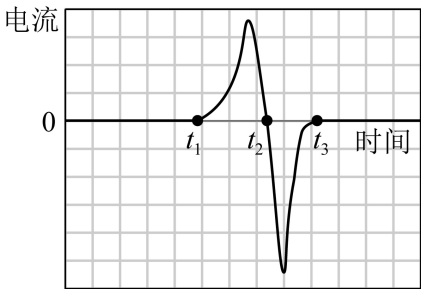


图2

A. $t_1\sim t_2$ 时间内，感应电流方向从 b 到 a

B. t_2 时刻，穿过线圈的磁通量为0

C. $t_1\sim t_2$、$t_2\sim t_3$ 两段时间内曲线与时间轴围成的面积相等

D. 向左移动滑片 P，重复实验所得图像中的 $\Delta t=t_2-t_1$ 变小

答案 C

解析 A．磁铁靠近线圈过程中，由楞次定律可知感应电流方向从 a 到 b，故 A 错误；

B．t_2 时刻电流为 0，对应磁通量达到最大 Φ_m，磁铁在中间，磁通量不为 0，故 B 错误；

C．t_1 前和 t_3 后电流为零，可认为 t_1 和 t_3 时刻磁通量为 0，$t_1 \sim t_3$ 过程 $\Delta\Phi = 0$，由 $q = \dfrac{n\Delta\Phi}{R_{总}}$ 可知通过线圈的净电荷为 0，即顺时针通过线圈的电荷量等于逆时针通过线圈的电荷量，即 C 正确；【方法二】t_2 时刻电流为 0，对应磁通量达到最大 Φ_m，$t_1 \sim t_2$ 的磁通量变化为 $\Delta\Phi = \Phi_m - 0$，$t_2 \sim t_3$ 的磁通量变化为 $\Delta\Phi' = 0 - \Phi_m$，由 $q = \dfrac{n|\Delta\Phi|}{R_{总}}$ 可知两段过程电荷量相同，故 C 正确；

D．向左移动滑片 P，滑动变阻器接入电路的阻值减小，回路总电阻减小。感应电流 I 增大，线圈对磁铁的安培力阻碍作用增强，磁铁下落的加速度减小，平均速度减小，到达线圈中间的时间 Δt 变大，故 D 错误。

14. [2026 · 河南卷]（多选）某种呼吸监测装置的原理如图 1 所示。呼吸气流可从绕有线圈的空心圆管左端进出，使位于圆管右端的磁性薄膜运动。呼气时薄膜向右运动，吸气时薄膜向左运动。图 2 为电压传感器显示的电压 U 随时间 t 变化的图像，U 为正时 b 点电势高于 a 点，下列说法正确的是（　　）

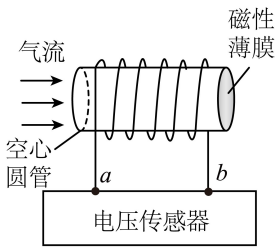


图1

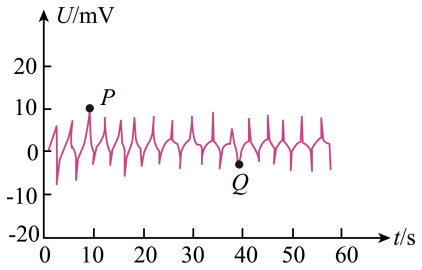


图2

A. 若磁性薄膜的 N 极在右侧，则吸气时 a 点电势高

B. 若磁性薄膜的 N 极在右侧，则吸气时 b 点电势高

C. 若图 2 中 P 点对应呼气，则磁性薄膜的 S 极在右侧

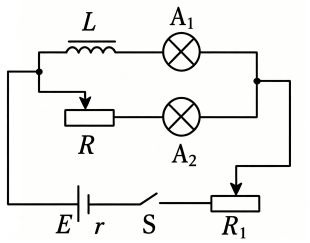
D. 若图 2 中 Q 点对应呼气，则磁性薄膜的 S 极在右侧

答案 BC

解析 AB．若磁性薄膜的 N 极在右侧，则吸气时薄膜左侧的 S 极向左运动，线圈中向右的磁通量增大，由右手定则可知感应电流在线圈中从 a 流向 b，b 点充当电源正极，故 b 点电势高，故 B 正确；

CD．若磁性薄膜的 S 极在右侧，则呼气时薄膜左侧的 N 级向右运动，线圈中向左的磁通量减小，由右手定则可知感应电流在线圈中从 a 流向 b，即 b 点电势高，对应 P 点，故 C 正确。

15. [2026 · 江西卷](多选)某小组探究线圈的自感现象,实验电路如图所示,其中 A_1 和 A_2 是两个相同的灯泡,线圈的自感系数很大。下列选项正确的是



A. 闭合 S,稳定后缓慢减小 R 的阻值,A_1 亮度不变,A_2 变亮

B. 闭合 S,A_1 缓慢变亮

C. 断开 S 的瞬间,通过 A_1 的电流方向改变

D. 断开 S 的瞬间,通过 A_2 的电流方向改变

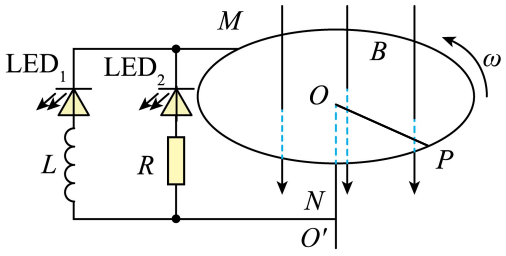
答案 *BD*

解析 *A*. 由于是缓慢调节,故电流变化很慢,可忽略线圈自感电动势,实验电路当作纯电阻电路。R 阻值减小,总电阻减小,干路电流 I 增大,r、R_1 上的电压增大,故两支路上的电压减小,通过 A_1 的电流 I_1 减小,A_1 变暗;通过 A_2 的电流 $I_2=I-I_1$ 增大,A_2 变亮,故 *A* 错误;

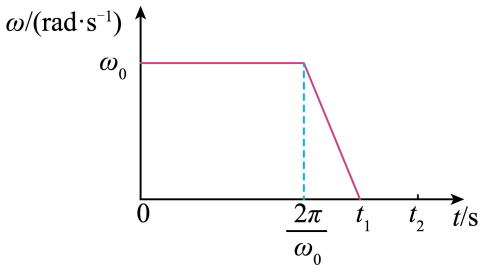
B. 闭合 S,由于线圈阻碍电流 I_1 的增大,故 A_1 缓慢变亮,*B* 正确;

CD. 断开 S 瞬间,I_2 消失,由于线圈阻碍电流 I_1 的减小,I_1 通过 A_2 构成回路,故通过 A_1 的电流方向不变,通过 A_2 的电流方向改变,故 *C* 错误,*D* 正确。

16. [2026 · 广西卷]某发光装置的电路如图甲。金属棒 OP 一端固定在竖直导电转轴 OO' 的 O 点,另一端固定在水平导电圆环的 P 点,圆环圆心为 O、半径为 l。圆环和转轴分别通过电刷 M、N 保持与外电路的连接。圆环内存在磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场。转动转轴时,金属棒 OP 和圆环随转轴一起以角速度 ω 逆时针转动。$t=0$ 时刻,发光二极管 LED_1 和 LED_2 亮度相同,ω 随 t 的变化关系如图乙。已知电路中金属棒 OP、电阻 R、电感线圈 L 的电阻均为 r,LED_1 和 LED_2 正向导通的电阻均为 r,其余电阻不计。则



图甲



图乙

A. $t=0$ 到 $t=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$ 的过程中,通过 LED_1 的电流为 $\dfrac{Bl^2\omega_0}{4r}$

B. $t=0$ 到 $t=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$ 的过程中,整个装置消耗的电能为 $\dfrac{\pi B^2 l^4\omega_0}{4r}$

C. $t=t_1$ 时,电感线圈 L 两端的电压为 0

D. $t=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$ 到 $t=t_2$ 的过程中,LED_1 比 LED_2 先熄灭

答案 B

解析 A．$t=0$ 到 $t=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$ 过程，棒 OP 旋转切割产生的动生电动势 $E=Bl\cdot\dfrac{\omega_0 l}{2}=\dfrac{1}{2}Bl^2\omega_0$ 不变，故电感线圈无感抗。回路总电阻 $R_{总}=r+\dfrac{2r\cdot 2r}{2r+2r}=2r$，干路电流 $I=\dfrac{E}{R_{总}}=\dfrac{Bl^2\omega_0}{4r}$，故通过 L_1 的电流 $I_1=\dfrac{1}{2}I=\dfrac{Bl^2\omega_0}{8r}$，$A$ 错误；

B．该过程消耗电能 $E_{电}=EI\dfrac{2\pi}{\omega_0}=\dfrac{\pi B^2l^4\omega_0}{4r}$，故 B 正确；

C．$t=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$ 到 $t=t_1$ 过程中角速度在变化，金属棒 OP 产生的感应电动势在变化，电路中的电流在变化，由于电感 L 的自感作用，会产生自感电动势阻碍电流的变化，所以 t_1 时刻通过电感 L 的电流不为 0，电感 L 两端电压不为 0，故 C 错误；

D．t_1 时 OP 产生的电动势为 0，但此时电感 L 仍有自感电动势，自感电流与原电流方向相同。由于自感电流能通过电刷 MN 构成回路，但是无法通过 LED_2 支路，故 LED_2 比 LED_1 先熄灭，故 D 错误。

17. [2026 · 黑吉辽卷]动圈式扬声器的结构和线圈绕向如图 (a) 所示，图 (b) 为线圈所在区域磁场分布。将其用作话筒时，锥形纸盆的振动带动线圈运动，把声信号转化为电信号。规定向右为线圈位移 x 的正方向，若 x 随时间 t 的变化如图 (c) 所示，则 a、b 间电势差 U_{ab} 随 t 变化的图像可能为

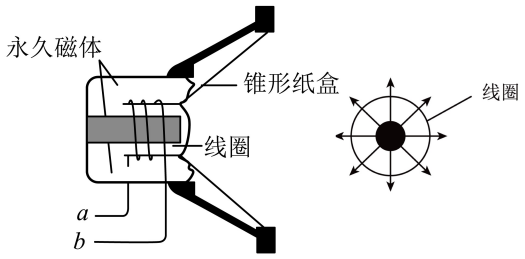


图 (a)

图 (b)

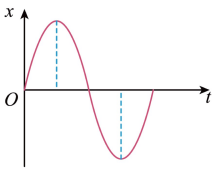
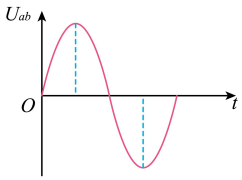
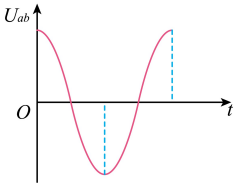


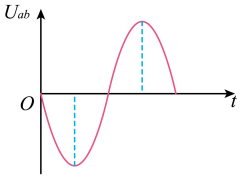
图 (c)



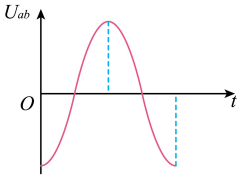
A



B



C

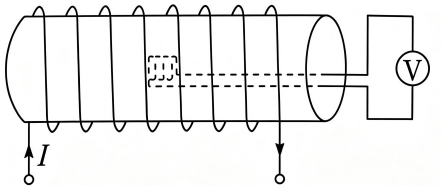


D

答案 D

解析 $x=0$ 时速度最大，线圈向右切割磁感线时充当电源，由右手定则可知电源正极为 b 端，故此时 $U_{ab}<0$，且 U_{ab} 绝对值最大，故 D 正确。

18. [2026 · 河北卷]如图所示，在长直螺线管中间区域放置一个匝数为 n、面积为 S 的同轴小线圈。已知，长直螺线管通电后其内部磁场处处相同，磁感应强度的大小 B 与螺线管中的电流 I 成正比，即 $B=\alpha I$。在一段时间内，若电流 I 随时间 t 的变化关系满足 $I=\beta t(\beta$ 为常量)，由理想电压表测出小线圈的感应电动势为 E，则 α 可以表示为 (　　)

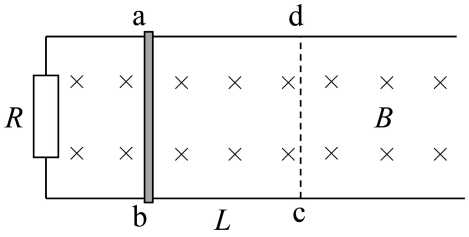


A. $\frac{\sqrt{2}E}{\beta S}$　　B. $\frac{\sqrt{2}E}{n\beta S}$　　C. $\frac{E}{\beta S}$　　D. $\frac{E}{n\beta S}$

答案　D

解析　由法拉第电磁感应定律可知，$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{S\Delta B}{\Delta t}$，其中 $\frac{\Delta B}{\Delta t}=\alpha\frac{\Delta I}{\Delta t}=\alpha\beta$，故 $E=nS\alpha\beta$，所以 $\alpha=\frac{E}{n\beta S}$。

19. [2026 · 湖北卷]如图所示，固定在水平面内的两足够长平行金属导轨相距 L，其左端用导线连接一阻值为 R 的电阻，两导轨间存在垂直于导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。质量为 m 的导体棒跨放在两导轨上，导体棒在两导轨间的电阻为 $2R$。导轨上 a、b、c、d 是正方形的四个顶点。导体棒以大小为 $\frac{4B^2L^3}{mR}$ 的初速度从 ab 出发沿导轨向右运动，刚过 cd 后，$abcd$ 区域内磁场的磁感应强度方向不变、大小在极短时间内增大到 $3B$，然后保持不变。导体棒运动过程中始终与导轨垂直，且与导轨接触良好，不计导轨电阻与所有摩擦，导体棒最终静止的位置离初始位置的距离为



A. $9L$　　B. $10L$　　C. $11L$　　D. $12L$

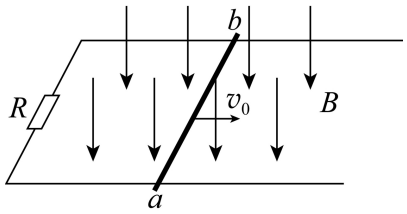
答案　B

解析　极短时间内，通过棒的电荷量 $q=\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}=\frac{(3B-B)L^2}{R+2R}=\frac{2BL^2}{3R}$，则全过程由动量定理得 $-\frac{B^2L^2x}{3R}-BLq=0-m(\frac{4B^2L^3}{mR})$，得 $x=10L$

【方法二】全过程磁通量变化 $\Delta\Phi_{总}=BLx+(3B-B)L^2$，通过棒的总电荷量 $Q=\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$，

则由 $-BLQ=0-m(\frac{4B^2L^3}{mR})$ 得 $x=10L$

20. [2026 · 北京卷]如图所示，匀强磁场的磁感应强度大小为 B、方向竖直向下，宽为 L 的 U 型长直金属导轨水平放置，导轨左端接阻值为 R 的电阻。质量为 m 的导体棒 ab 在导轨上以初速度 v_0 开始运动。运动过程中导体棒与导轨垂直且接触良好，不计导体棒和导轨的电阻及它们间的摩擦。求：



(1) 初始时刻通过导体棒的电流大小和方向；

(2) 初始时刻导体棒加速度的大小；

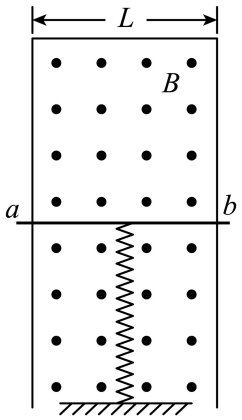
(3) 导体棒速度从 v_0 减为 0 的过程中电阻 R 产生的热量。

答案 (1)$E=BLv_0$，$I_0=\dfrac{E}{R}$　　得 $I_0=\dfrac{BLv_0}{R}$，通过导体棒的电流方向从 $a\to b$

(2)$BI_0L=ma$　　得 $a=\dfrac{B^2L^2v_0}{mR}$

(3)$Q=\dfrac{1}{2}mv_0^2$

21. [2026 · 陕西卷]电磁泵减速部分的简化工作原理如图。在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，竖直放置的 U 形光滑金属导轨左右间距为 L，水平放置的导体棒 ab 质量为 m，与竖直放置且下端固定的绝缘轻弹簧相连，ab 与导轨接触良好且其接入回路的电阻阻值为 R。将 ab 自弹簧原长位置由静止释放，ab 第一次到达最低点时下降高度为 h，此过程中其最大速度为 v。导轨电阻忽略不计，弹簧始终在弹性限度内。在 ab 从静止释放到第一次到达最低点的过程中



A. 流过导体棒的感应电流方向由 a 向 b　　B. 导体棒所受安培力的冲量为零

C. 通过导体棒的电荷量大小为 $\dfrac{BLh}{R}$　　D. 导体棒的加速度最大值为 $\dfrac{B^2L^2v}{mR}$

答案 C

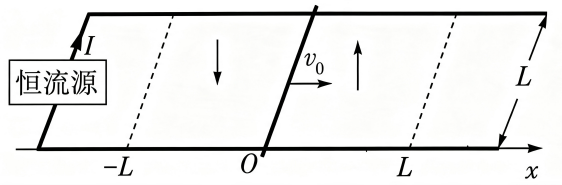
解析 A．回路中磁通量增大，由楞次定律得流过导体棒的感应电流方向由 b 向 a，故 A 错误；

B．由于下降过程始终有向上的安培力，故对应冲量不可能为零，故 B 错误；

C．$q=\sum I\Delta t=\sum\dfrac{BLv}{R}\Delta t=\dfrac{BLh}{R}$，故 C 正确；

D．最大速度为v时有$mg=\frac{B^2L^2v}{R}+kx$，故$\frac{B^2L^2v}{R}<mg$，故$\frac{B^2L^2v}{mR}<g$，即D选项值小于初始位置加速度g，故D错误。【方法二】若不存在磁场，则棒做简谐运动，初始位置有最大加速度g；当存在磁场时，棒做阻尼运动，初始位置才有最大加速度g，故D错误。

22. [2026·河北卷]（多选）如图所示，两平行光滑金属导轨固定在绝缘水平面上，间距为L，电阻不计，左端接有输出电流大小恒为I的恒流源，电流方向如图。导轨间分布着两个紧邻的正方形磁场区域，宽度均为L，左侧磁场方向竖直向下，右侧磁场方向竖直向上。以导轨上两磁场交界处的O点为坐标原点，沿导轨方向建立x坐标轴，两磁场的磁感强度大小B仅随坐标x变化，且满足$B=\begin{cases}2B_0\frac{|x|}{L}, & 0\leqslant|x|\leqslant\frac{L}{2}\\ 2B_0\left(1-\frac{|x|}{L}\right), & \frac{L}{2}<|x|\leqslant L\end{cases}$，式中$B_0$为已知常量。$t=0$时，一根质量为$m$，导轨间电阻为$R$的导体棒以初速度$v_0$从$x=0$处向右运动；$t=t_0$时，导体棒第一次到达$x=\frac{L}{2}$处，且速度为0。整个运动过程中导体棒始终与导轨接触良好且垂直，不计空气阻力，忽略磁场的边界效应及电流对磁场的影响，下列说法正确的是（　　）



A. 导体棒做简谐运动

B. 初速度$v_0=\sqrt{\frac{B_0IL^2}{2m}}$

C. 若初速度变为$0.5v_0$，则导体棒的速度第一次变为0所需时间为$\frac{\sqrt{2}}{2}t_0$

D. 若初速度变为$1.5v_0$，则导体棒将以两磁场交界线为中心做往复运动

答案　AB

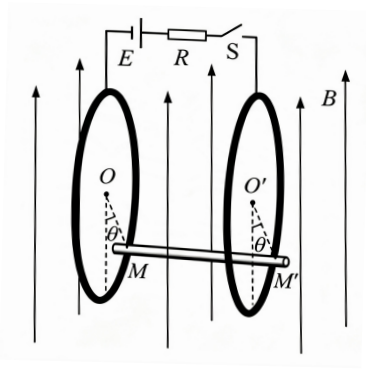
解析　A．导体棒在$x(0\leqslant|x|\leqslant\frac{L}{2})$处受到的安培力$F=BIL=2B_0Ix$正比于$x$，且方向指向平衡位置（$x=0$处），又棒到达$x=\frac{L}{2}$处时速度为0，故导体棒在$-\frac{L}{2}\leqslant x\leqslant\frac{L}{2}$范围内做简谐运动，$A$正确；

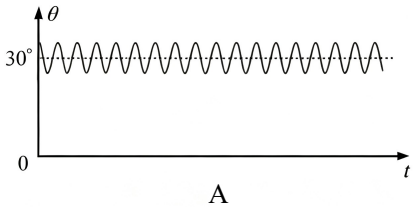
B．$0\sim t_0$过程，对棒由动能定理$W_F=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，其中$W_F=-\overline{F}\frac{L}{2}=-\frac{0+2B_0I\frac{L}{2}}{2}\times\frac{L}{2}=-\frac{B_0IL^2}{4}$，得$v_0=\sqrt{\frac{B_0IL^2}{2m}}$，$B$正确；

C．若初速度变为$0.5v_0$，故最大位移小于$\frac{L}{2}$，导体棒仍做简谐运动，周期（$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$）不变，故速度第一次变为0所需时间仍为t_0，C错误；

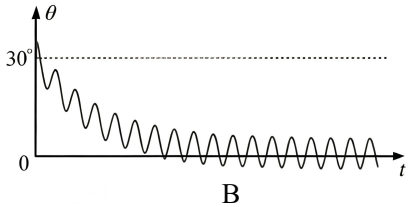
D．$\frac{L}{2}<x\leqslant L$范围内安培力$F=2B_0\left(1-\frac{x}{L}\right)IL$是$x$的线性函数，棒通过该范围时安培力做的功仍等于$W_F=-\overline{F}\frac{L}{2}=-\frac{1}{2}mv_0^2$。若初速度变为$1.5v_0$，从$x=0$到$x=L$过程对棒由动能定理$2W_0=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}m(1.5v_0)^2$，得$v=\frac{1}{2}v_0>0$，即棒能穿出磁场，不做往复运动，$D$错误。

23. [202606 · 浙江卷]如图所示，在竖直向上的匀强磁场中，同轴固定的两个电阻不计、光滑的相同金属圆环，其轴线水平，它们与电动势恒为 E 的电源相连接。有一导体棒水平置于两圆环之间、且具有良好的电接触，接触点记作 M、M'，它们与环心 O、O' 的连线 MO、$M'O'$ 与竖直方向的夹角为 θ。闭合开关 S 后，导体棒平衡在 $\theta_0=30°$ 处；让其偏离 θ_0 小角度，此后运动的 $\theta-t$ 关系示意图最接近的是

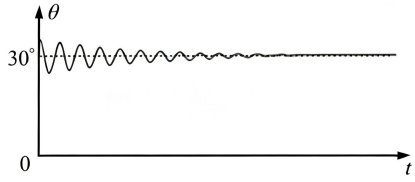




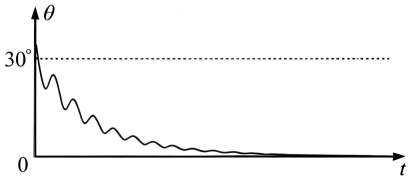
A



B



C



D

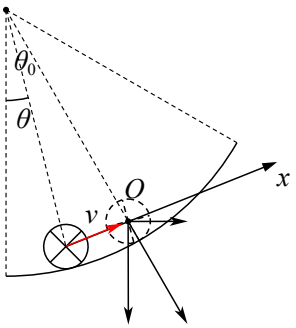
答案 C

解析 棒在平衡时有 $I_0=\dfrac{E}{R}$；偏离后棒开始运动，切割磁感线产生感应电动势 $\varepsilon=BLv\cos\theta$（可正可负），总电流 $I=\dfrac{E+\varepsilon}{R}=\dfrac{E}{R}+\dfrac{\varepsilon}{R}=I_0+I_{感}$，即总电流可等效为两个独立电流的叠加，对应产生两个安培力 F_0 和 $F_{感}$，

棒的运动可等效为单摆运动：

棒在等效重力（F_0 和 mg 的合力）作用下小角度摆动，即做简谐运动；但是由于棒还会受到额外阻力作用，即 $F_{阻}=F_{感}\cos\theta=BI_{感}L\cos\theta=\dfrac{B^2L^2\cos^2\theta}{R}v$，故棒做阻尼振动，振幅越来越小，最后停在 θ_0 处。

【推导】棒在平衡时，沿圆环切线方向合力为零，即 $mg\sin\theta_0=BIL\cos\theta_0=\dfrac{BLE}{R}\cos\theta_0$；



如图，当角度为 θ 时棒的速度为 $v=R\omega=\dfrac{R\Delta\theta}{\Delta t}$（规定 θ 增大时速度方向为正方向），此时棒产生的感应电动势 $\varepsilon=BLv\cos\theta$，回路感应电流 $I=\dfrac{E-\varepsilon}{R}$，

安培力 $F_A=BIL=\dfrac{BLE-B^2L^2v\cos\theta}{R}$，

沿速度 v 方向，合力 $F=F_A\cos\theta-mg\sin\theta=(\dfrac{BLE\cos\theta}{R}-mg\sin\theta)-\dfrac{B^2L^2v\cos^2\theta}{R}=F_{回}+F_{阻}$

① $F_{回}=\dfrac{BLE\cos\theta}{R}-mg\sin\theta$ 充当回复力，

利用小量近似，$\Delta\theta=(\theta-\theta_0)\to0$，有 $\cos\theta=\cos(\theta_0+\Delta\theta)=\cos\theta_0\cos\Delta\theta-\sin\theta_0\sin\Delta\theta\approx\cos\theta_0-(\sin\theta_0)\Delta\theta$，同理 $\sin\theta\approx\sin\theta_0+(\cos\theta_0)\Delta\theta$，故 $F_{回}\approx(-\dfrac{BLE\sin\theta_0}{R}-mg\cos\theta_0)\Delta\theta$

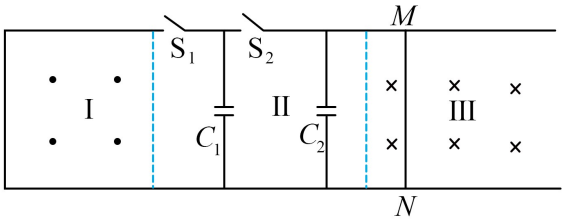
如图，以初始平衡位置为原点 O，沿切线方向建立 x 轴，则 $\Delta\theta=\dfrac{x}{R}$，得 $F_{回}=-kx$，方向始终指向平衡

位置。

② $F_{阻}=-\dfrac{B^2L^2\cos^2\theta}{R}v$ 充当阻力

故棒做阻尼振动。

24. [2026 · 山东卷]（多选）如图所示，足够长 U 形光滑金属导轨固定在绝缘水平面上，宽度为 L，电阻不计。区域 Ⅰ 为正方形，充满垂直轨道平面向上、磁感应强度大小 B_1 随时间 t 均匀变化的匀强磁场，即 $B_1=kt$（k 为大于零的常量）；区域 Ⅱ 内，导轨上接有开关 S_1、S_2，导轨间接有电容为 C_1、C_2 的两电容器；区域Ⅲ内充满方向垂直轨道平面向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。初始时，质量为 m、有一定阻值的导体棒 MN 静止于区域Ⅲ中某处，S_1 闭合，S_2 断开，C_1 充电。C_1 充电完毕后，断开 S_1，闭合 S_2，MN 开始运动，经过一段时间系统达到最终稳定状态。MN 长度与导轨宽度相同并始终与导轨接触良好。下列说法正确的是



A. C_1 充电完毕时的电荷量为 C_1kL^2

B. C_1 充电完毕时，上极板带负电

C. 最终 MN 的速度为 $\dfrac{kC_1BL^3}{B^2L^2(C_1+C_2)+m}$

D. 最终 C_2 的电荷量为 $\dfrac{kC_1C_2B^2L^4}{B^2L^2C_2+m}$

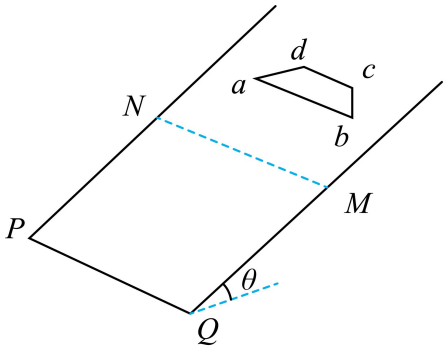
答案 AC

解析 B．由楞次定律得感应电流为顺时针，故 C_1 上级板带正电，B 错误；

A．感应电动势 $E=\dfrac{L^2\Delta B_1}{\Delta t}=kL^2$，$C_1$ 充电完毕时两端电压等于感应电动势，故 $Q=C_1E=C_1kL^2$，A 正确；

CD．当 MN 达到最终速度 v 时，通过 MN 的电流为 0，C_1、C_2 和 MN 两端电压相等，有 $BLv=U$。该过程 C_1 释放的电荷量 $q_1=C_1(E-U)$，C_2 充得的电荷量 $q_2=C_2U$，对棒由动量定理 $BL(q_1-q_2)=mv$，联立得 $v=\dfrac{kC_1BL^3}{B^2L^2(C_1+C_2)+m}$，$q_2=\dfrac{kC_1C_2B^2L^4}{B^2L^2(C_1+C_2)+m}$，$C$ 正确 D 错误。

25. [2026 · 云南卷]（多选）如图所示，光滑绝缘斜面固定在水平面上，与水平面交于 PQ，倾角 $\theta=30°$，斜面上矩形 $MNPQ$ 区域存在垂直斜面向下、磁感应强度大小 $B=0.5\,\mathrm{T}$ 的匀强磁场（图中未画出）。单匝等腰梯形导线框 $abcd$ 的下底 $ab=1.2\,\mathrm{m}$，上底 $cd=0.6\,\mathrm{m}$，$\angle a=53°$，质量 $m=0.5\,\mathrm{kg}$，总电阻 $R=0.12\,\Omega$。线框从斜面上高于 MN 的某处由静止释放，ab 边进入磁场时开始对线框施加外力 F 控制其运动，cd 边进入磁场时 ab 边未出磁场。线框始终沿斜面运动，ab 边始终与 MN 平行，速度方向始终与 ab 边垂直。取重力加速度大小 $g=10\mathrm{m/s^2}$，$\sin53°=0.8$，设 ab 边进入磁场时速度为 v_0，在线框进入磁场的过程中 （　　）



A. 若速度保持恒定，且 $v_0=2.0\,\mathrm{m/s}$，则线框中的感应电流方向为 $abcda$

B. 若速度保持恒定，且 $v_0=2.0\,\mathrm{m/s}$，则该过程中 F 对线框始终做正功

C. 若感应电流恒定，且 F 对线框做的功 $W=-0.79\,\mathrm{J}$，则 $v_0=0.3\,\mathrm{m/s}$

D. 若感应电流恒定，且 F 对线框做的功 $W=-0.79\,\mathrm{J}$，则该过程的时间 $t=1.5\,\mathrm{s}$

答案 AD

解析 规定初速度方向为正方向，从线框进入磁场时开始计时，则 t 时刻线框的位移为 x，

梯形线框的高 $h=\dfrac{ab-cd}{2}\tan\angle a=0.4\,\mathrm{m}$，故进入过程 x 满足 $0\leqslant x\leqslant0.4\,\mathrm{m}$

AB．若速度保持恒定，由右手定则可知，感应电流方向为 $abcda$。安培力 $F_A=BIL=B\dfrac{BLv_0}{R}L=\dfrac{B^2L^2v_0}{R}=\dfrac{L^2}{0.24}\,\mathrm{N}$，其中等效切割长度 $L\in[0.6\,\mathrm{m},1.2\,\mathrm{m}]$，

对线框受力分析得 $F+mg\sin\theta-F_A=0$，故 $F=\dfrac{L^2}{0.24}-2.5\,\mathrm{N}$，

线框 ab 边刚进入磁场时 $L=1.2\,\mathrm{m}$，$F>0$；cd 边刚进入磁场时 $L=0.6\,\mathrm{m}$，$F<0$，

故该过程中外力 F 先做正功然后做负功，故 A 正确，B 错误；

CD．若感应电流恒定，则 $I=\dfrac{B\cdot ab\cdot v_0}{R}=5v_0\,\mathrm{A}$，安培力 $F_A=BIL$ 正比于 L，又 L 与 x 线性相关（具体为 $x=\dfrac{ab-L}{2}\tan\angle a=\dfrac{2.4-L}{3}$），故 F_A 是 x 的线性函数，则安培力做功大小 $W_A=\dfrac{BI(ab+cd)}{2}\times0.4\,\mathrm{J}=0.9v_0\,\mathrm{J}$，

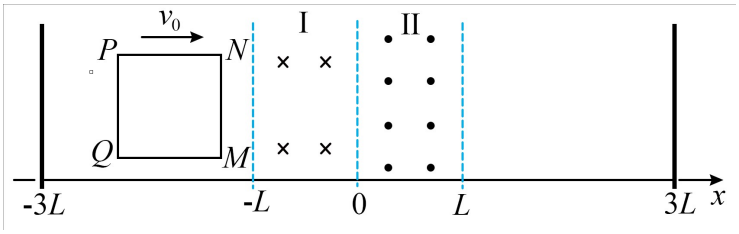
进入过程，由动能定理得 $mgx_m\sin\theta-W_A+W=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，其中 $x_m=0.4\,\mathrm{m}$，

又 $I=\dfrac{B\cdot ab\cdot v_0}{R}=\dfrac{B\cdot cd\cdot v}{R}$，得 $v=2v_0$，

代入得 $(5v_0+7)(5v_0-1)=0$，得 $v_0=0.2\,\mathrm{m/s}$，$I=1\,\mathrm{A}$，$W_A=0.18\,\mathrm{J}$；

由 $W_A=Q=I^2Rt$，得 $t=1.5\,\mathrm{s}$，故 C 错误，D 正确。

26. [2026 · 黑吉辽卷](多选)如图,光滑绝缘水平面上 $x=0$ 两侧区域Ⅰ、Ⅱ分别存在竖直方向的匀强磁场,宽度均为 L,磁感应强度方向相反,大小分别为 B、$2B$,$x=-3L$ 和 $x=3L$ 处有固定挡板。同种材料制成、粗细均匀的正方形导体线框 $MNPQ$,边长为 L,质量为 m,总电阻为 R,以初速度 $v_0=\frac{2026B^2L^3}{mR}$ 从左侧进入磁场,沿 x 轴方向运动。线框平面始终与磁场方向垂直,MN 边始终与磁场边界平行,线框与挡板的碰撞均为弹性碰撞。则



A. MN 首次进入磁场时线框的加速度大小 $a=\frac{2026B^4L^5}{m^2R^2}$

B. MN 每次经过 $x=1.5L$ 时,电势差 $U_{NM}:U_{PQ}=1:1$

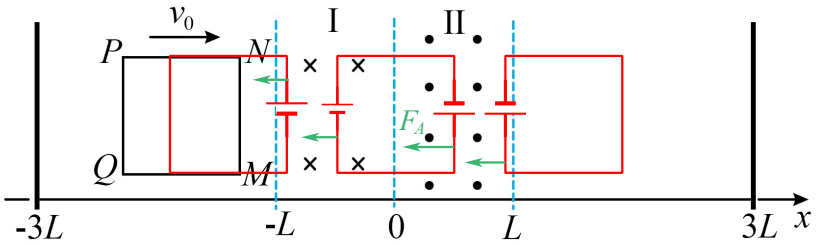
C. MN 与右侧挡板首次碰撞后瞬间线框的速度大小 $v=\frac{2012B^2L^3}{mR}$

D. 线框停止处,穿过线框的磁通量为 0

答案 AC

解析 A. 安培力 $F=BIL=B\frac{BLv_0}{R}L=\frac{B^2L^2v_0}{R}=\frac{2026B^4L^5}{mR^2}$,由 $a=\frac{F}{m}$ 可知 A 正确;

B. MN 每次经过 $x=1.5L$ 时,PQ 切割磁感线充当电源,故 $U_{PQ}=\frac{3}{4}E$,$U_{NM}=\frac{1}{4}E$(当 MN 向右经过 $x=1.5L$ 时两电势差都为负;MN 向左经过时两电势差都为正),故 $U_{NM}:U_{PQ}=1:3$,故 B 错误;



C. MN 从 $x=-L$ 到 0 过程,安培力冲量 $I_{A1}=-\sum BIL\Delta t=-\sum\frac{B^2L^2v}{R}\Delta t=-\frac{B^2L^3}{R}$;

MN 从 0 到 $x=L$ 过程,安培力冲量 $I_{A2}=-\sum(BIL+2BIL)\Delta t$,其中电流 $I=\frac{BLv+2BLv}{R}=\frac{3BLv}{R}$,故 $I_{A2}=-\frac{9B^2L^3}{R}$;

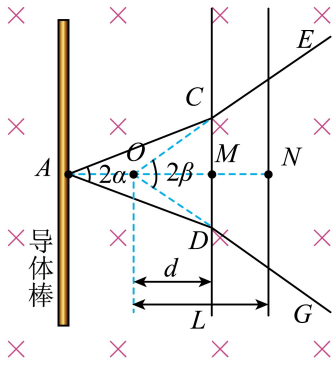
MN 从 $x=L$ 到 $x=2L$ 过程,安培力冲量 $I_{A3}=-\sum\frac{(2B)^2L^2v}{R}\Delta t=-\frac{4B^2L^3}{R}$。

故 MN 从 $x=-L$ 到 $x=2L$ 过程,由动量定理得 $I_{A1}+I_{A2}+I_{A3}=mv-mv_0$

得 MN 到达右侧挡板时的速度 $v=v_0-\frac{14B^2L^3}{mR}=\frac{2012B^2L^3}{mR}$,故 C 正确;

D. 线框每次完整经过两个磁场后的速度变化量都是 $\Delta v=\frac{14B^2L^3}{mR}$,由 $2026=14\times144+10$ 可知完整经过两磁场 144 次后,仍有速度 $v_1=\frac{10B^2L^3}{mR}$,此后线框从 $x=-L$ 处再次向右进入磁场Ⅰ。由于正好有 $I_{A1}+I_{A2}=-mv_1$,即线框停止时 MN 在 $x=L$ 处,此时 $\Phi=2BL^2$,故 D 错误。

27. [2026 · 贵州卷]（多选）如图，水平绝缘桌面上固定有光滑金属导轨 $ECADG$，其中 EC 和 GD 的延长线交于 $\angle CAD$ 的角平分线上 O 点，M、N 点在 AO 的延长线上，M 为 CD 的中点，$\angle CAD=2\alpha$，$\angle EOG=2\beta$，$|OM|=d$，$|ON|=L$。导轨所在区域存在磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场。质量为 m 的导体棒在水平拉力作用下，从 A 点以速度 v_0 向右匀速运动到 M 点，此时撤去拉力，运动到 N 点时速度为 $\frac{v_0}{2}$。已知导体棒单位长度电阻为 r，导体棒在运动过程中始终垂直于 AN 且与导轨接触良好，导轨电阻不计。则导体棒



A. 从 A 到 M 的过程中，电流为 $\frac{Bv_0}{r}$

B. 从 M 到 N 的过程中，通过导体棒的电荷量为 $\frac{B(L^2-d^2)}{2dr}$

C. 速度 v_0 满足关系式 $v_0=\frac{2B^2(L^2-d^2)\tan\beta}{mr}$

D. 从 A 到 M 的过程中，产生的焦耳热为 $\frac{B^2d^2v_0\tan\beta}{r\tan\alpha}$

答案 AC

解析 2013 · 新课标、2025 · 湖南卷

A．设导体棒接入电路部分的长度为 l，则电流 $I=\frac{Blv_0}{lr}=\frac{Bv_0}{r}$，故 A 正确；

B．该过程中 $I=\frac{Blv}{lr}=\frac{Bv}{r}$，则 $Q=\sum I\Delta t=\sum\frac{Bv}{r}\Delta t=\frac{B}{r}\sum v\Delta t=\frac{B(L-d)}{r}$，故 B 错误；

D．安培力 $F=BIl=\frac{B^2v_0}{r}l$，其中 $l=2x\tan\alpha$，即安培力 F 与位移 x 成线性关系。

克服安培力做的功转化为焦耳热，则 $Q=\overline{F}|AM|=\frac{0+\frac{B^2v_0}{r}\times 2d\tan\beta}{2}\times\frac{d\tan\beta}{\tan\alpha}=\frac{B^2d^2v_0\tan^2\beta}{r\tan\alpha}$，故 D 错误；

C．极短时间 Δt 内，由动量定理得 $-BIl\Delta t=m\Delta v$，其中 $I=\frac{E}{rl}$，$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B\Delta S}{\Delta t}$，故速度变化 $\Delta v=-\frac{B^2}{mr}\Delta S$。从 M 到 N 的过程，有 $\frac{v_0}{2}-v_0=-\frac{B^2}{mr}S$，其中棒扫过面积 $S=L^2\tan\beta-d^2\tan\beta$，得 $v_0=\frac{2B^2(L^2-d^2)\tan\beta}{mr}$，故 C 正确。

【方法二】$m\frac{v_0}{2}-mv_0=-\sum BIl\Delta t=-\sum B\frac{Bv}{r}l\Delta t=-\frac{B^2}{r}\sum l\Delta x$，其中 $\sum l\Delta x$ 即为棒扫过面积 S。

28. [202601 · 浙江卷]如图1所示，半径为r_1、横截面半径为$r_2(r_2 \ll r_1)$、匝数为N的圆环形螺线管通有电流I，管内产生磁感应强度$B=\alpha I(\alpha$为常量$)$的均匀磁场。管外磁场近似为0。小明用电阻为R的一段漆包线缠绕螺线管一圈后，并成双股线再缠绕螺线管两圈，最后将两端头短接，形成特殊线圈A。若电流I随时间t变化的关系如图2所示，则

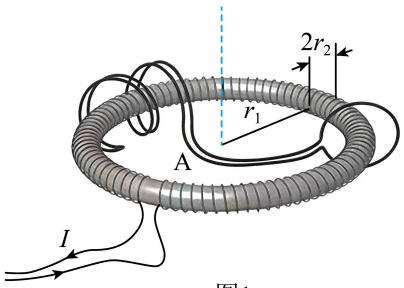


图1

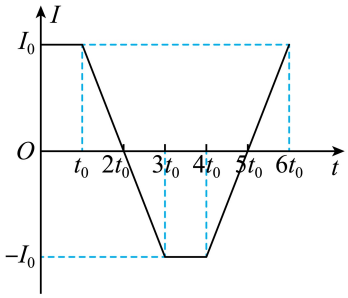


图2

A. $t=2t_0$时，螺线管的自感电动势$E=N\dfrac{\pi r_1^2\alpha I_0}{t_0}$

B. $t=5t_0$时，线圈A的感应电动势$E=3\dfrac{\pi r_2^2\alpha I_0}{t_0}$

C. 在$0\sim2t_0$内，通过线圈A的电荷量$q=N\dfrac{\pi r_2^2\alpha I_0}{R}$

D. 在$0\sim5t_0$内，线圈A产生的焦耳热$Q=3\dfrac{(\pi r_2^2\alpha I_0)^2}{Rt_0}$

答案 D

解析 A．由法拉第电磁感应定律，自感电动势大小$E_{自}=N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=N\dfrac{\pi r_2^2\Delta B}{\Delta t}$，

由于$B=\alpha I$，故$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=\dfrac{\alpha\Delta I}{\Delta t}=\dfrac{\alpha I_0}{t_0}$，得$E_{自}=N\dfrac{\pi r_2^2\alpha I_0}{t_0}$，故$A$错误；

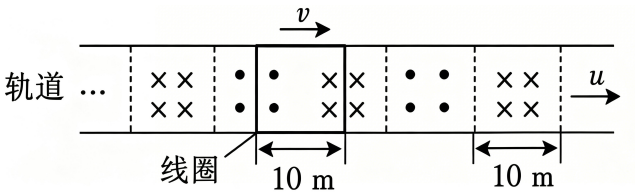
B．线圈A左边双股线部分没有磁通量（两股导线产生的磁通量相互抵消，因此通过该双股线的总磁通量为零），故线圈A的感应电动势大小$E_{感}=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\pi r_2^2\Delta B}{\Delta t}$，

$t=5t_0$时$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=\dfrac{\alpha I_0}{t_0}$，故$E_{感}=\dfrac{\pi r_2^2\alpha I_0}{t_0}$，故$B$错误。（该选项公式中的“3”可能来自绕螺线管3圈而设置了迷惑项。）

C．在$t_0\sim2t_0$内线圈A中的电动势不变，故$q=\dfrac{E_{感}}{R}t_0=\dfrac{\pi r_2^2\alpha I_0}{R}$，故$C$错误；

D．线圈A发热时间为$3t_0$，故$Q=\dfrac{E_{感}^2}{R}\cdot3t_0=\dfrac{3(\pi r_2^2\alpha I_0)^2}{Rt_0}$，故$D$正确。

29. [2026 · 江西卷]（多选）某类电磁装置对物体的作用力源于磁场的空间分布随时间变化，这种变化可等效为磁场区域的空间平移。如图所示，沿水平直线轨道上存在足够多边长为10m的正方形匀强磁场区域，相邻正方形区域磁感应强度大小均为5T，方向相反，整个磁场区域沿轨道水平向右平移的速度可以调控，其瞬时速度记为u。物体正下方固定连接一水平单匝边长为10m的正方形线圈，电阻为1Ω，物体（含线圈）质量为1.0×10^4kg，其水平向右运动的瞬时速度记为v，运动过程中线圈完全处于磁场区域。u与v之间的关系为$u=v+k\sin(\frac{\pi}{3}t)+b$（$t$为时刻，$k$、$b$为非负常数），采用国际单位制。忽略线圈自感、空气阻力和一切摩擦。下列选项正确的是



A. 若$k<b$，则物体始终做加速直线运动

B. 若$k=1$，$b=0$，则线圈在0～3s内产生的焦耳热为3.0×10^4J

C. 若$k=0$，$b=1$，则线圈中电流发生周期性变化，其频率为0.1Hz

D. 若$k=1$，$b=1$，则物体在0～6s内v的增量为6m/s

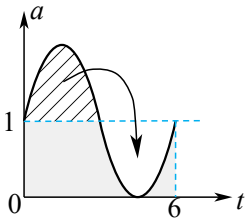
答案 *AD*

解析 *A*．若$k<b$，则$u-v=k\sin(\frac{\pi}{3}t)+b\geqslant-k+b>0$，即始终有$u>v$，由电磁驱动可知物体始终做加速直线运动，故*A*正确；

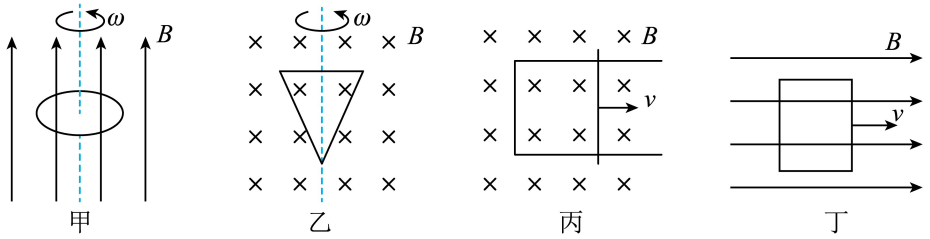
B．若$k=1$，$b=0$，则$u-v=\sin(\frac{\pi}{3}t)$，物体相对磁场的切割速度（$v_{相}=v-u$）满足正弦函数，故产生正弦式电流，峰值电流$I_m=\frac{2BLv_{相m}}{R}=100$ A，在0～3s内焦耳热$Q=(\frac{I_m}{\sqrt{2}})^2Rt=1.5\times10^4$J，故*B*错误；

C．若$k=0$，$b=1$，则$u-v=1$，相对切割速度不变，产生恒定感应电动势，电流不变，故*C*错误；

D．若$k=1$，$b=1$，则$u-v=\sin(\frac{\pi}{3}t)+1\geqslant0$，即物体始终做加速运动。感应电动势大小$E=2BL(u-v)$，故安培力大小$F_A=2B\frac{E}{R}L=\frac{4B^2L^2(u-v)}{R}=10^4[\sin(\frac{\pi}{3}t)+1]$，物体加速度$a=\frac{F_A}{m}=\sin(\frac{\pi}{3}t)+1$，结合$a-t$图像，在0～6s内（即一个周期内）与$t$轴包围面积即为$v$的增量，故$\Delta v=6$ m/s，*D*正确。



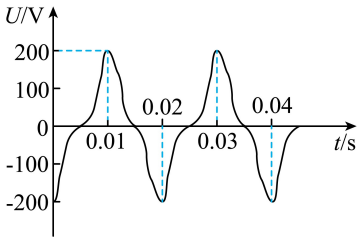
30. [2026 · 陕西卷]下列处于匀强磁场的导体回路中能产生交变电流的是



A. 甲图中绕轴匀速转动的导体环
B. 乙图中绕轴匀速转动的导体框
C. 丙图中在固定导轨上匀速运动的导体棒所在回路
D. 丁图中匀速运动的导体框

答案 *B*

31. [2026 · 广东卷]如图是某种自由式活塞内燃发电机输出电压 U 随时间 t 变化的图像。下列说法正确的是 （　　）



A. 电压的有效值为 $200\sqrt{2}$V
B. 电压的最大值为 400V
C. 电压的频率为 50Hz
D. 电压的周期为 0.01s

答案 *C*

解析 *AB*．由图像可知，电压的最大值为 200V，且并不是一直维持 200V，则有效值小于 200V，故 *AB* 错误；

CD．周期 $T=0.03-0.01=0.02$s，则频率 $f=\frac{1}{T}=50$Hz，故 *C* 正确，*D* 错误。

32. [2026 · 河北卷](多选)图 1 为一种等离子体工作电路,理想变压器原线圈两端接电压为 U 的正弦交流电源,原、副线圈的匝数分别为 n_1、n_2,R 为保护电阻。稳定工作时交流电流表的读数为 I,若等离子体可等效为定值电阻,其两端的正弦交流电压波形如图 2 所示,U_m 为电压峰值,T 为周期,则下列说法正确的是 (　　)

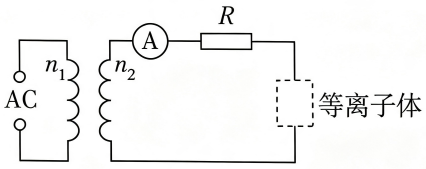


图 1

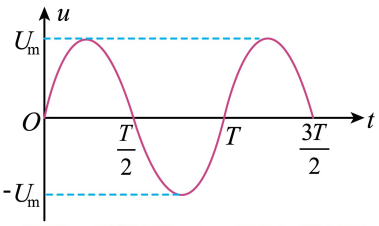


图 2

A. 副线圈电压为 $\frac{n_2}{n_1}U$　　B. 原线圈中电流为 $\frac{n_1}{n_2}I$

C. 电源电压周期为 $\frac{n_2}{n_1}T$　　D. 等离子体的等效电阻为 $\frac{\sqrt{2}U_m}{2I}$

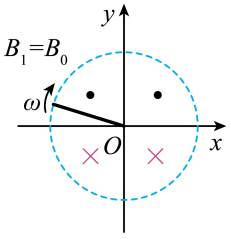
答案 AD

解析 AB. 由理想变压器可知 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,$U_1I_1=U_2I_2$,所以副线圈电压 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U$,原线圈中电流 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I$,故 A 正确,B 错误;

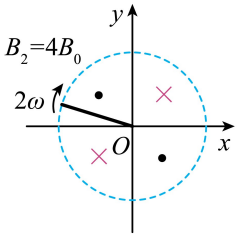
C. 副线圈电压周期为 T,变压器不改变交流电频率,故 C 错误;

D. 等离子体的等效电阻 $R_{等}=\frac{U_m/\sqrt{2}}{I}=\frac{\sqrt{2}U_m}{2I}$,故 D 正确。

33. [2026 · 山东卷]图甲是某交流发电机的原理图,在 Oxy 坐标系中,以 O 为圆心的上、下两个半圆区域内分别充满垂直 Oxy 面向外和向里的匀强磁场,磁感应强度大小均为 $B_1=B_0$,金属棒一端始终位于 O 点,绕 O 点在 Oxy 面内以恒定角速度 ω 转动,产生有效值为 $E_{甲}$、周期为 $T_{甲}$ 的交变电动势。如图乙所示,现将一、四象限磁场方向分别变为垂直 Oxy 面向里和向外,整个圆形区域磁感应强度大小变为 $B_2=4B_0$,且金属棒转动角速度变为 2ω,产生有效值为 $E_{乙}$、周期为 $T_{乙}$ 的交变电动势。则



图甲



图乙

A. $E_{乙}=4E_{甲}$、$T_{乙}=\frac{1}{2}T_{甲}$　　B. $E_{乙}=8E_{甲}$、$T_{乙}=\frac{1}{2}T_{甲}$

C. $E_{乙}=4E_{甲}$、$T_{乙}=\frac{1}{4}T_{甲}$　　D. $E_{乙}=8E_{甲}$、$T_{乙}=\frac{1}{4}T_{甲}$

答案 D

解析 图甲中任意时刻的感应电动势大小 $E_1=\frac{1}{2}B_0l^2\omega$,周期 $T_{甲}=\frac{2\pi}{\omega}$,故有效值 $E_{甲}=E_1$;

图乙中任意时刻的感应电动势大小 $E_2=\frac{1}{2}(4B_0)l^2(2\omega)=8E_1$,周期 $T_{乙}=\frac{\pi}{2\omega}$,故有效值 $E_{乙}=8E_{甲}$,

$T_{乙}=\frac{1}{4}T_{甲}$。

34. [2026 · 重庆卷]重庆夜景闻名遐迩，吊脚楼在霓虹灯映衬下呈现出梦幻般的色彩。为启动霓虹灯，将变压器的原线圈接入有效值为220V的家用交流电，副线圈接霓虹灯。当副线圈两端的电压有效值为15400V时，流过霓虹灯的电流有效值为10mA。若将该变压器视为理想变压器，则

A. 原、副线圈匝数比为70∶1　　B. 原线圈中电流有效值为0.7A

C. 家用交流电的电压最大值为$110\sqrt{2}$V　　D. 副线圈的输出功率为2.2W

答案 *B*

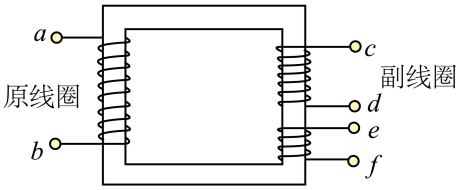
解析 *A*．$\frac{n_1}{n_2}=\frac{220}{15400}=\frac{1}{70}$，故*A*错误；

B．由$U_1I_1=U_2I_2$得$I_1=\frac{15400\times0.01}{220}=0.7\,\mathrm{A}$，故*B*正确；

C．峰值$U_m=\sqrt{2}U_1=220\sqrt{2}\,\mathrm{V}$，故*C*错误；

D．$P_2=U_2I_2=15400\times0.01=154\,\mathrm{W}$，故*D*错误。

35. [2026 · 河南卷]为确定一变压器副线圈*cd*的匝数，某同学在变压器铁芯上缠绕10匝线圈*ef*，如图所示。原线圈*ab*接入一正弦交流电源，*c*、*d*两端电压为10V；若将*d*、*e*两端连接，*ab*接入的电源不变，*c*、*f*两端电压为11V，变压器视为理想变压器，则副线圈*cd*的匝数为（　　）

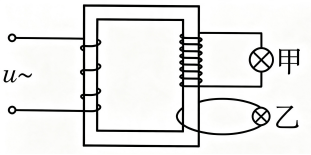


A. 200　　B. 190　　C. 110　　D. 100

答案 *D*

解析 线圈*cd*和线圈*ef*绕法相同。由$\frac{U_{ab}}{n_{ab}}=\frac{U_{cd}}{n_{cd}}=\frac{U_{cf}}{n_{cf}}$可知$\frac{10\mathrm{V}}{n_{cd}}=\frac{11\mathrm{V}}{n_{cd}+10}$，得$n_{cd}=100$。

36. [2026 · 湖北卷]（多选）如图所示，有一理想变压器，其原线圈输入电压为$u=100\sqrt{2}\sin100\pi t\,(\mathrm{V})$，在一个副线圈上接额定电压为220V、额定功率为10W的灯泡甲，在另一个单匝副线圈上接额定电压为2V、额定功率为1W的灯泡乙，两灯泡均能正常发光。下列说法正确的是



A. 原线圈的匝数为50　　B. 输入电压的频率为100Hz

C. 原线圈的输入功率为11W　　D. 流过原线圈的电流最大值为0.11A

答案 *AC*

解析 *A*．原线圈输入电压有效值为$U_1=\frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\mathrm{V}=100\mathrm{V}$，由理想变压器匝数与电压关系有$\frac{U_1}{U_3}=\frac{n_1}{1}$，其中$U_3=2\mathrm{V}$，得$n_1=50$，故*A*正确；

B．由 $\omega=2\pi f$ 得 $f=\dfrac{100\pi}{2\pi}=50\text{Hz}$，故 B 错误；

C．由能量守恒可知 $P_{入}=P_{出}=10\text{W}+1\text{W}=11\text{W}$，故 C 正确；

D．原线圈的电流有效值 $I=\dfrac{P_{入}}{U_1}=\dfrac{11}{100}\text{ A}$，故峰值 $I_m=\sqrt{2}I=\dfrac{11\sqrt{2}}{100}\text{ A}$，故 D 错误。

37. [2026 · 云南卷]（多选）云南至广东高压输电工程在调试阶段采用 800 kV 高压输电，输送功率为 $2.6\times10^9\text{ W}$，关于该输电线路，下列说法正确的是

A. 输电电流为 $3.25\times10^6\text{ A}$

B. 输电电流为 $3.25\times10^3\text{ A}$

C. 若输送功率不变，提高输电电压，则输电损耗会增加

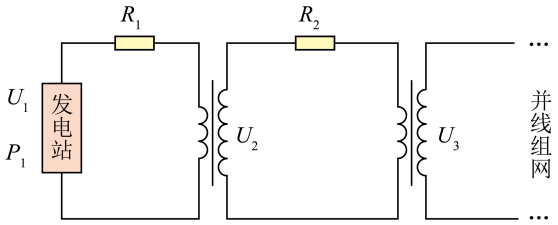
D. 若输送功率不变，提高输电电压，则输电损耗会减小

答案 BD

解析 AB．输电电流 $I=\dfrac{P}{U}=\dfrac{2.6\times10^9}{8\times10^5}=3250\text{ A}$，故 B 正确；

CD．由 $I=\dfrac{P}{U}$ 可知输电电流 I 减小，输电损耗 $P_{损}=I^2R$ 减小，故 D 正确。

38. [2026 · 贵州卷]如图，某发电站输出电压 $U_1=13.8\text{kV}$ 的交流电，经两个变压器先后将电压升至 $U_2=220\text{kV}$ 和 $U_3=500\text{kV}$，再并入电网。输电线电阻 $R_1=12\Omega$，$R_2=8\Omega$。设所用变压器均为理想变压器，若发电站输出功率 $P_1=690\text{kW}$，则 R_1 和 R_2 上损失的总功率为 （　　）

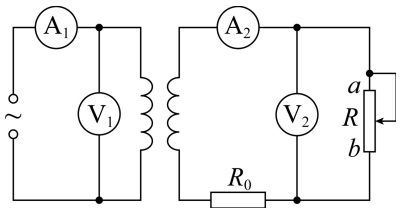


A. 30.118kW　　B. 30.072kW　　C. 30.024kW　　D. 30kW

答案 B

解析 $I_1=\dfrac{P_1}{U_1}=\dfrac{690}{13.8}=50\text{ A}$，则 $P_l=I_1^2R_1=30\text{ kW}$。第一个变压器的输入电压 $U=U_1-I_1R_1=13.2\text{ kV}$，则由 $UI_1=U_2I_2$ 得 $I_2=3\text{ A}$，$P_2=I_2^2R_2=72\text{ W}$，故 $P=P_1+P_2=30.072\text{ kW}$。

39. [2026 · 北京卷]如图所示，理想变压器的原、副线圈匝数比为 2∶1，原线圈接在 $u=U_m\sin(\omega t+\varphi)$ 的交流电源上，副线圈接定值电阻 R_0 和滑动变阻器 R，电流表、电压表均为理想电表。滑动变阻器 R 的滑片由 a 端向 b 端缓慢滑动，



A. 电压表 V_1、V_2 的示数之比为 2∶1　　B. 电流表 A_1 示数不变

C. 电流表 A_2 示数增加　　D. 变压器输出功率减小

答案 C

解析 A．原副线圈的电压之比为 $2:1$，由于 R_0 有分压，故 A 错误；

C．副线圈电压有效值 $U_{副}=\dfrac{U_m}{2\sqrt{2}}$ 不变，当滑动变阻器接入电阻 R 减小时，电流表 A_2 示数 $I_2=\dfrac{U_{副}}{R_0+R}$ 增大，故 C 正确；

BD．由 $U_1I_1=U_{副}I_2=P_{出}$ 可知电流表 A_1 示数 $I_1=\dfrac{1}{2}I_2$ 也增大，变压器输出功率 $P_{出}$ 也增大，故 BD 错误。

40. [202606 · 浙江卷]多彩的灯光为晚会营造快乐的气氛。某彩灯带由121个灯泡并联组成，每个灯泡的额定电压为4 V，额定电流为0.1 A。将其接在理想变压器的副线圈上，变压器原线圈输入电压为220 V，该彩灯带正常发光。则变压器

A. 原、副线圈的匝数之比为1∶55　　B. 原、副线圈的电流之比为55∶1

C. 原线圈的输入功率为0.4 W　　D. 原线圈的电流为0.22 A

答案 *D*

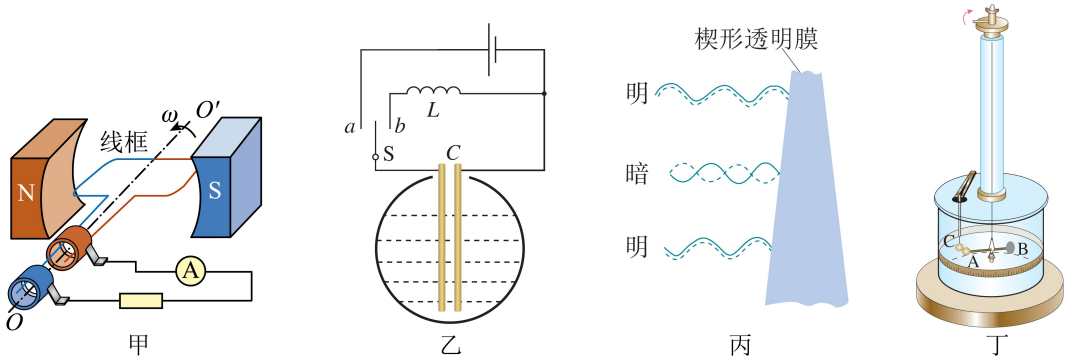
解析 选修二　第三章　*A*组习题

A．副线圈电压 $U_2=4\ \text{V}$，故匝数比 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=\frac{220}{4}=55$，故*A*错误；

B．由理想变压器可知 $U_1I_1=U_2I_2$，得 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{U_2}{U_1}=\frac{1}{55}$，其中副线圈电流 $I_2=121I_{额}=12.1\ \text{A}$，所以 $I_1=\frac{12.1}{55}\ \text{A}=0.22\ \text{A}$，故*B*错误，*D*正确；

C．$P_入=U_1I_1=220\times0.22\ \text{W}=48.4\ \text{W}$，故*C*错误。

41. [202601 · 浙江卷]下列说法正确的是



A. 图甲中线框在图示时刻的电流沿顺时针方向(俯视)

B. 若图乙中储罐内不导电液体液面上升，*LC*电路振荡周期减小

C. 图丙中单色光入射楔形透明膜时，频率越高，明暗条纹间距越大

D. 用图丁中扭秤探究电荷间相互作用力时，应使金属小球*A*与*C*带同种电荷

答案 *D*

解析 选修二图3.1—3、选修二图4.1—5、选修一图4.3—6、必修三图9.2—1

A．由右手定则可知线框中的感应电流方向为逆时针；

B．当液体上升时，电容*C*增大，由*LC*振荡电路周期公式 $T=2\pi\sqrt{LC}$ 可知*T*增大；

D．选择同种电荷，是为了让扭秤的排斥力产生便于测量的稳定平衡状态，同时便于通过接触法改变电量，并避免因吸引力导致的偶然接触，从而能精准验证静电力的平方反比定律，故*D*正确。

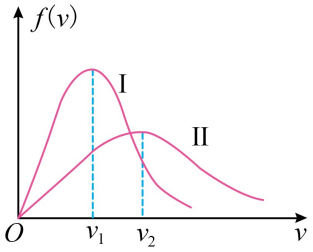
C．光会在薄膜的前后两个表面发生反射，两束反射光发生干涉产生条纹。设薄膜顶角为 θ，折射率为*n*，设相邻两个亮条纹对应薄膜的厚度分别为 d_1 和 d_2。

(高中不考虑半波损失)亮条纹位置光程差应满足 $\Delta s=n\lambda$(其中 λ 为光在介质中的波长，有 $\lambda=\frac{v}{f}=\frac{c}{nf}$)，故有 $2d_1=n\lambda$，$2d_2=(n+1)\lambda$，则相邻两条亮纹间距 $\Delta x=\frac{d_2-d_1}{\tan\theta}=\frac{\lambda}{2\tan\theta}=\frac{c}{2nf\tan\theta}$。当

顶角 θ 很小时，$\tan\theta\approx\theta$，故 $\Delta x=\frac{c}{2n\theta}\cdot\frac{1}{f}$，光的频率 f 越高，条纹间距越小。

六、选修三

1. [2026 · 山东卷]一定质量的理想气体由状态 Ⅰ 变化到状态 Ⅱ，两种状态下气体分子的速率分布如图所示，图中 $f(v)$ 是速率 v 附近单位速率区间内分子数占总分子数的百分比。下列说法正确的是



A. 气体一定从外界吸收热量
B. 气体中每个分子的速率都增加
C. 速率 v_1 附近单位速率区间内的分子数增加
D. 气体中速率在 $v_1\sim v_2$ 区间的分子数占总分子数的比例减小

答案 *D*

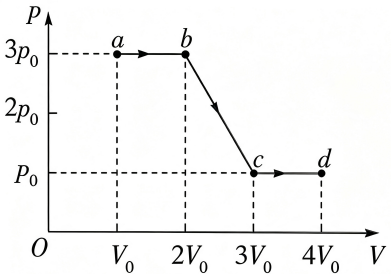
解析 *A*．气体在状态 Ⅱ 时速率较大的分子占比较多，所以此时温度较高，故从状态 Ⅰ 变化到状态 Ⅱ 是升温过程，内能增加。由于做功和吸热都能使内能增加，故无法判断吸放热，*A* 错误；

B．温度升高，气体分子的平均速率增大，但并不是每个分子的速率都增加，*B* 错误；

C．根据题图可知，速率 v_1 附近单位速率区间内的分子数减少，*C* 错误；

D．根据题图可知，图像与坐标轴所围图形的面积表示对应速率区间内的分子数占总分子数的比例，结合题图可知 *D* 正确。

2. [2026 · 黑吉辽卷]（多选）一定质量的理想气体由状态 a 经状态 b、c 变化到状态 d，$p-V$ 图像如图所示，则



A. 状态 a 的温度比状态 b 的高
B. 状态 b 的内能比状态 c 的大
C. $b\to c$、$c\to d$ 过程气体对外做的功相等
D. $c\to d$ 过程气体对外做的功小于从外界吸收的热量

答案 *BD*

解析 A．利用 $\frac{pV}{T}=C$，由于 $p_aV_a<p_bV_b$，故 $T_a<T_b$，A 错误；

B．由于 $p_bV_b>p_cV_c$，故 $T_b>T_c$，温度越高，分子的平均动能越大，总内能越大，B 正确；

C．$p-V$ 图像中，曲线与体积轴（V 轴）之间所围的面积代表气体做功，有 $W_{bc}>W_{cd}$，C 错误；

D．由于 $p_cV_c<p_dV_d$，故 $T_c<T_d$，$c\to d$ 过程内能增加，气体对外做正功 W_{cd}，由 $\Delta U=-W_{cd}+Q>0$ 可知 $W_{cd}<Q$，D 正确。

3. [2026 · 贵州卷]（多选）在贵州凯里，人们常将小西红柿和红辣椒加工后放入如图所示的瓦罐中，罐口处倒扣一个钵并用水密封，发酵制作酸汤。发酵过程中罐内物质缓慢产生气体，压强足够大时气体以气泡形式溢出，间歇性放气。罐内气体可视为理想气体，设罐内气体温度和体积保持不变，则 （　　）



A. 在放气过程中，溢出的气体对外界做正功

B. 在放气过程中，溢出的气体对外界做负功

C. 在刚放气完到下次即将放气的过程中，发酵产生气体，罐内气体内能减小

D. 在刚放气完到下次即将放气的过程中，发酵产生气体，罐内气体内能增大

答案 AD

解析 AB．气泡膨胀并排开罐口的水封液体，对水做了功；

CD．发酵时罐内气体增多，故内能增大。

4. [2026 · 北京卷]一定质量的理想气体在等温膨胀过程中，

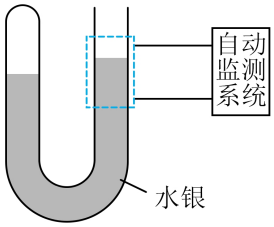
A. 气体压强减小　　B. 外界对气体做正功

C. 气体分子平均动能增大　　D. 气体与外界无热量交换

答案 A

解析 等温过程，内能不变，故气体分子平均动能不变，由 $\frac{pV}{T}=C$ 可知 p 减小；体积增大，外界对气体做负功，由 $\Delta U=W+Q$ 结合 $\Delta U=0$、$W<0$，可知 $Q>0$，即气体从外界吸热。

5. [2026 · 河北卷]一款自动监测环境气压的装置由粗细均匀、导热良好的U形管和自动监测系统组成。如图所示，竖直放置的U形管右端开口，左侧管内用水银封闭了一定质量、可视为理想气体的空气。监测系统通过监测右侧液面的变化，结合温度即可得到环境气压。若外界温度下降的同时环境气压也发生了变化，导致U形管右侧液面上升，忽略水银体积变化，则封闭气体的　　(　　)



A. 内能增加　　B. 压强增大
C. 分子的数密度减少　　D. 分子热运动的平均动能不变

答案 *C*

解析 右侧液面上升，则封闭气体体积增大，分子数密度减小；由于导热良好，环境温度降低时封闭气体温度也降低，内能减小，分子热运动平均动能减小；T减小V增大，由$\frac{pV}{T}=C$可知压强p减小。

6. [2026 · 湖北卷]容器中封闭一定质量的理想气体。缓慢改变气体状态，使其体积变为初态的一半，压强变为初态的3倍。与气体的初态相比，末态

A. 气体的温度是初态的3倍
B. 气体分子的平均动能更大
C. 每个气体分子的速率都更大
D. 单位时间内与容器壁单位面积碰撞的分子数更少

答案 *B*

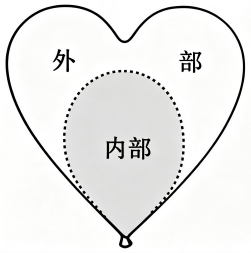
解析 *A*. 根据理想气体状态方程$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$，代入$V_2=\frac{1}{2}V_1$、$p_2=3p_1$，可得末态温度$T_2=\frac{p_2V_2}{p_1V_1}T_1=1.5T_1$，故*A*错误；

B. 温度是分子平均动能的唯一宏观标志，末态温度更高，气体分子平均动能更大，故*B*正确；

C. 分子平均动能增大是统计规律，仅代表分子整体的速率分布向高速区偏移，不代表每个分子的速率都更大，故*C*错误；

D. ①体积减小，分子数密度增加；②温度升高，平均速率增大。两个因素都使得单位时间内与容器壁单位面积碰撞的分子数更大，故*D*错误。

7. [2026 · 湖南卷]如图，一心形玩具气球内密封一定质量的理想气体和一个充有同种气体的弹性小气球，心形气球体积始终不变。在心形气球内，小气球内部气体压强大于外部气体压强，整个系统导热良好。初始时，小气球的体积为心形气球体积的一半。当温度缓慢升高时，忽略温度变化对气球材料性质的影响，下列说法正确的是



A. 小气球外部气体压强不变　　B. 小气球内部气体分子数与外部相等
C. 小气球内部气体体积不变　　D. 小气球内部气体体积变大

答案 D

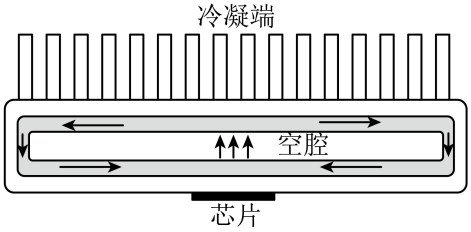
解析 $pV=nRT$

B．利用 $pV=nRT$（n 为气体的物质的量，R 为常数），初始时小气球内外温度相同，体积相同，而 $p_{内}>p_{外}$，故 $n_{内}>n_{外}$，故内部气体分子数大于外部，B 错误；

CD．假设内部气体体积 $V_{内}$ 先不变，由 $\Delta p=\frac{nR}{V}\Delta T$ 结合 $n_{内}>n_{外}$，$V_{内}=V_{外}$ 可知，升高相同温度 ΔT 时有 $\Delta p_{内}>\Delta p$，即内部压强增大得比外部更多，内外压强差更大，故内部气体体积应变大，故 D 正确；

A．由于内部气体体积变大，故外部气体体积 $V_{外}$ 减小，由 $p_{外}V_{外}=n_{外}RT$ 可知，温度 T 升高时 $p_{外}$ 一定变大，故 A 错误。

8. [2026 · 湖南卷]（多选）如图，一块高功率芯片上方紧贴着一个均热板散热器。均热板是一个完全密封的扁平纯铜空腔，空腔内部注有微量的水。在正常工作过程中，水从高温芯片处吸收热量汽化，水蒸气在低温冷凝端放出热量变回液态水，并回流到底部。下列说法正确的是



A. 空腔内高温处所有水分子的运动速率都比低温处水分子的运动速率大
B. 一定量的水吸收热量变成相同温度的水蒸气，内能变大
C. 该均热板可以从高温物体吸热，向低温物体放热，不对外界做功
D. 该均热板可以从低温物体吸热，向高温物体放热，而不产生其他影响

答案 BC

解析 A．温度高意味着分子热运动的平均速率较大，但每个分子的速率是随机分布的。高温区域中仍存在速率较小的分子，低温区域中也可能存在速率较大的分子，故 A 错误；

B．虽然水的温度没有变化（意味着水分子的平均动能不变），但水变成水蒸气时，分子间的距离大

大增加，克服分子间引力做了功，这导致分子势能显著增大，内能变大，故 B 正确；

C．水只在均热板内部的密闭空腔里循环，蒸汽膨胀时受限于刚性腔体，无法推动外界物体，因此不对外界做任何机械功。即均热板只是一个热传导装置，不是热机。热量自发从高温端流向低温端，不违反热力学第二定律。至于内部的水汽化、液化，那只是为了更快地把热量“搬运”过去，整个过程没有对外输出机械能，故 C 正确；

D．该说法违背热力学第二定律，“热量不能自发地从低温物体传到高温物体”，故 D 错误。

9. [2026 · 湖北卷]光伏产业已发展成为我国新能源三大名片之一。太阳能电池发电时，材料原子中的电子被光子激发(这也是一种光电效应)，激发后的电子向电池负极移动，形成一个持续的电动势。关于太阳能电池，下列说法正确的是

A. 任何频率的光均可使太阳能电池发电

B. 太阳光的能量可以全部转化为电池的电能

C. 太阳能电池在多云的白天，仍然可以发电

D. 太阳能电池发电的功率与太阳光的照射方向无关

答案 C

解析 已知光电效应方程为 $E_k = h\nu - W_0$，其中逸出功 $W_0 = h\nu_0$，ν_0 为材料的极限频率。

A.只有入射光频率 $\nu \geqslant \nu_0$ 时，才能激发出光电子实现发电，低于极限频率的光无法产生光电效应，故 A 错误；

B.太阳能电池的光电转化效率远小于 100%，太阳光的能量会有部分转化为内能等其他形式的能量，不可能全部转化为电能，故 B 错误；

C.光电效应的发生只跟光的频率有关，与光的强弱无关。多云的白天仍有频率满足要求的太阳光透过云层照射到电池板，可发生光电效应，因此仍然可以发电，故 C 正确；

D.设垂直于光传播方向的光强为 I_0，太阳光入射方向与电池板法线的夹角为 θ，则电池板单位面积接收的光功率为 $I = I_0\cos\theta$，θ 不同时接收的光功率不同，发电功率也不同，因此发电功率与照射方向有关，故 D 错误。

10. [2026 · 云南卷]云南省锡、铟等有色金属储量丰富。已知锡和铟的逸出功分别为 4.42 eV 和 4.09 eV，若用光子能量为 4.30 eV 的紫外线分别照射这两种金属，则

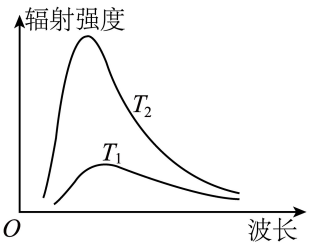
A. 只有锡能发生光电效应　　B. 只有铟能发生光电效应

C. 锡和铟都能发生光电效应　　D. 锡和铟都不能发生光电效应

答案 B

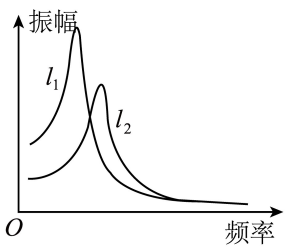
解析 当 $h\nu > W_0$ 时才会发生光电效应，故选 B。

11. [202606 · 浙江卷](多选)关于下列关系曲线,说法正确的是



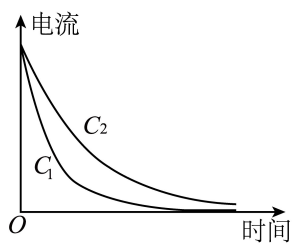
黑体在不同温度(T_1、T_2)下,辐射强度随波长变化的关系曲线

甲



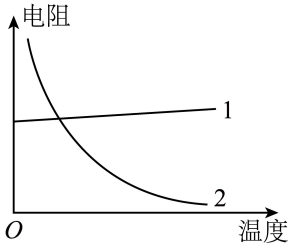
不同摆长(l_1、l_2)单摆受迫振动振幅随驱动力频率变化关系曲线

乙



同一电路对不同电容(C_1、C_2)充电的电流随时间变化关系曲线

丙



两种材料(1、2)的电阻随温度变化关系曲线

丁

A. 图甲中 $T_1>T_2$　　B. 图乙中 $l_1>l_2$

C. 图丙中 $C_1<C_2$　　D. 图丁中 1 为半导体,2 为金属

答案 BC

解析 A. 教材原文"随着温度的升高,一方面,各种波长的辐射强度都有增加,另一方面,辐射强度的极大值向波长较短的方向移动",即 $T_1<T_2$,故 A 错误;

B. 驱动力频率等于固有频率时振幅最大,故摆长为 l_1 的单摆固有频率小,周期大,由 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知 $l_1>l_2$,故 B 正确;

C. 对同一电路,电容充完电后的电压相同,由 $Q=CU$ 可知 C 越大 Q 越大,图中包围的面积越大,故 $C_2>C_1$,故 C 正确;

D. 1 为金属,2 为半导体(热敏电阻),故 D 错误。

12. [2026·重庆卷]5G 通信技术使用了厘米波段和毫米波段的电磁波,我国在此领域位于世界前列。厘米波波长在 10^{-2}m 数量级,毫米波波长在 10^{-3}m 数量级,则

A. 厘米波的频率比毫米波的低　　B. 厘米波的光子能量比毫米波的大

C. 厘米波在真空中的波速比毫米波的大　　D. 厘米波在真空中的波速比在介质中的小

答案 A

解析 真空中的光速恒为 c,由 $c=\lambda\nu$,$\varepsilon=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$ 可知 A 正确。

13. [2026 · 河南卷](多选)不同材料的金属板 M、N 的逸出功分别为 W_1 和 W_2。用波长为 λ_1 的光照射,M、N 均能发生光电效应,出射光电子的最大初动能分别为 E_1 和 E_2;改用波长为 λ_2 的光照射,仅 M 能发生光电效应,出射光电子的最大初动能为 E_3。则 (　　)

A. $W_1<W_2$　　B. $\lambda_1>\lambda_2$　　C. $E_1<E_2$　　D. $E_1>E_3$

答案 AD

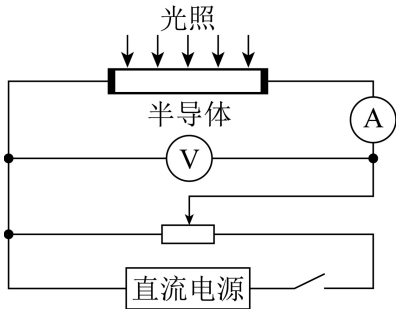
解析 A. 改用波长为 λ_2 的光照射时仅 M 能发生光电效应,故 M 的逸出功较小,即 $W_1<W_2$,故 A 正确;

B. 由于波长为 λ_2 的光无法使 N 发生光电效应,对应光子能量 $\frac{hc}{\lambda}$ 较小,故 $\lambda_2>\lambda_1$,故 B 错误;

C. 由光电效应方程 $E_k=\frac{hc}{\lambda}-W_0$,结合 $W_1<W_2$,$\lambda_2>\lambda_1$ 可知 $E_1>E_2$,故 C 错误;

D．由 $E_k=\dfrac{hc}{\lambda}-W_0$，结合 $\lambda_2>\lambda_1$ 可知 $E_1>E_3$，故 D 正确。

14. [2026 · 北京卷]光照射到某半导体上，光子能量超过特定值 W_1，会激发半导体内部一些受束缚的电子，使其能够在半导体内部自由运动，从而增强导电能力，这属于光电导效应。可用如图所示电路研究光电导效应。用频率为 v 的单色光分别均匀照射该半导体和逸出功为 W_2 的金属，$W_1<hv<W_2$，h 为普朗克常量。下列说法错误的是



A. 金属不发生光电效应，半导体发生光电导效应
B. 增大单色光的强度，电流表示数增大
C. 对调电源的正负极，通过半导体的电流反向
D. 半导体两端电压为 0 时，电流表示数不为 0

答案 D

解析 D．光电导效应只是让半导体内部自由电子更多了，若两端电压为 0，电子不会定向移动，故电流为 0，所以 D 错误。

15. [2026 · 重庆卷]科学研究中，通过“角分辨光电子能谱仪”测量光电效应中光电子的动能和出射角，可了解样品的相关特性。若一束频率为 v 的紫外光照射在样品表面产生光电子，某具有最大初动能 E_k 的光电子，其速度方向与样品表面法线的夹角为 θ，光电子质量为 m_e，普朗克常量为 h，则

A. 样品的逸出功为 $hv-E_k\cos\theta$
B. 该光电子的德布罗意波长为 $\dfrac{h}{\sqrt{2m_eE_k}}$
C. 该光电子的速度沿样品表面法线方向的分量大小为 $\sqrt{\dfrac{2E_k}{m_e}}\sin\theta$
D. 当入射光的频率变为 $2v$ 时，光电子的最大初动能变为 $2E_k$

答案 B

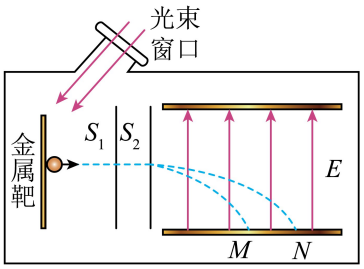
解析 A．由 $E_k=hv-W_0$ 得逸出功 $W_0=hv-E_k$，故 A 错误；

B．由 $\lambda=\dfrac{h}{p}$，$p=\sqrt{2m_eE_k}$ 得 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2m_eE_k}}$，故 B 正确；

C．由 $E_k=\dfrac{1}{2}m_ev^2$ 得 $v=\sqrt{\dfrac{2E_k}{m_e}}$，故分量大小为 $v\cos\theta=\sqrt{\dfrac{2E_k}{m_e}}\cos\theta$，故 C 错误；

D．$E_k'=h(2v)-W_0\neq 2E_k$，故 D 错误。

16. [2026 · 贵州卷]如图，密闭真空中，有一竖直放置的金属靶和水平放置的两平行极板，极板与金属靶受光面垂直，板间存在竖直向上的匀强电场 E。用频率为 ν_1 和 ν_2 的光分别照射靶时，垂直靶面逸出最大初动能分别为 E_{k1} 和 E_{k2} 的光电子，经狭缝 S_1、S_2 后进入电场，分别落到下极板 M、N 处。忽略极板边缘效应及电子间的相互作用，则 （　　）



A. $E_{k1}<E_{k2}$，$\nu_1<\nu_2$　　B. $E_{k1}<E_{k2}$，$\nu_1>\nu_2$　　C. $E_{k1}>E_{k2}$，$\nu_1<\nu_2$　　D. $E_{k1}>E_{k2}$，$\nu_1>\nu_2$

答案 A

解析 由类平抛运动可知，落到 M 处的电子的水平速度小，故 $E_{k1}<E_{k2}$；

由光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$ 可知 $\nu_1<\nu_2$。

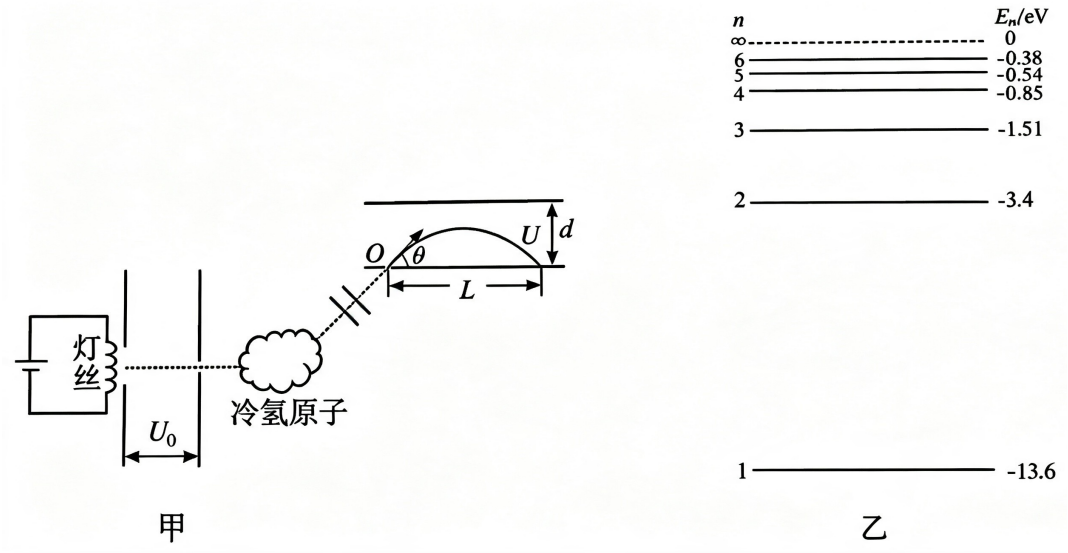
17. [2026 · 陕西卷]正电子 $e+$ 与电子 $e-$ 湮灭产生的光子是探测中微子的重要信号。一个静止的正电子与一个静止的电子湮灭转化为两个 γ 光子，该过程动量和能量都守恒。已知正电子与电子的质量均为 m，光速为 c，普朗克常量为 h，则这两个 γ 光子

A. 总能量为 mc^2　　B. 频率均为 $\frac{mc^2}{h}$　　C. 总动量为 $2mc$　　D. 波长均为 $\frac{mc}{h}$

答案 B

解析 A．总能量为 $2mc^2$；B．由 $2mc^2=2h\nu$ 可知 $\nu=\frac{mc^2}{h}$；C．总动量为 0；D．$\lambda=\frac{c}{\nu}=\frac{h}{mc}$。

18. [202606 · 浙江卷](多选)如图甲所示,初速度近似为0的热电子进入电势差为U_0的加速区,被加速后轰击处于基态的冷氢原子气体,电子和原子发生弹性或非弹性碰撞。发生非弹性碰撞的部分电子使氢原子激发到不同能级(两个电子连续激发同一原子概率极低,可忽略),电子能量减小后向不同方向射出。具有不同能量的电子经准直后,均从O点以入射角$\theta=45°$射入电势差$U=8\,\mathrm{V}$、间距$d=4\,\mathrm{cm}$的两极板间匀强电场区,经电场偏转后打到下极板上,形成一系列分立的荧光斑点,其中最远的斑点离O点距离$L=12.8\,\mathrm{cm}$。已知氢原子能级如图乙所示。则



A. 加速电压$U_0=12.8\,\mathrm{V}$

B. 被激发的氢原子可发出3种不同频率的可见光

C. 下极板上可以观测到5个荧光斑点

D. 相邻荧光斑点间距的最大值为10.2 cm

答案 AD

解析 类比 弗兰克—赫兹实验

$U=8\,\mathrm{V}$、间距$d=4\,\mathrm{cm}$、$L=12.8\,\mathrm{cm}$。

A. 在加速区有$eU_0=\frac{1}{2}mv_0^2$,发生弹性碰撞的电子几乎不损失动能(因为原子质量远大于电子),进入偏转电场后,由斜抛运动得$L=v\cos\theta\times t=v\cos\theta\times\frac{2v\sin\theta}{eU/md}=\frac{dmv^2\sin2\theta}{eU}$,可知最远斑点对应最大速度的电子,即对应发生弹性碰撞的电子,故有$L=\frac{dmv_0^2\sin2\theta}{eU}=\frac{2U_0d\sin2\theta}{U}$,得$U_0=\frac{LU}{2d}=12.8\,\mathrm{V}$,故$A$正确;

B. 经过加速区后电子动能$E_k=eU_0=12.8\,\mathrm{eV}$,分别计算各激发态到基态的能级差:$\Delta E_{21}=E_2-E_1=10.2\,\mathrm{eV}$,$\Delta E_{31}=12.09\,\mathrm{eV}$,$\Delta E_{41}=12.75\,\mathrm{eV}$,$\Delta E_{51}=13.06\,\mathrm{eV}>12.8\,\mathrm{eV}$,故氢原子能被激发到$n=2$、$n=3$或$n=4$能级,由于从高能级跃迁到$n=2$能级所发出的光是可见光(巴尔末系),故可发出2种可见光,故B错误;

C. 电子与氢原子发生非弹性碰撞时,电子损失的动能等于氢原子跃迁的能级差,故通过气体后有4种不同能量的电子,即下极板上可以观测到4个荧光斑点,故C错误;

D. 电子具有的4种动能分别为$E_{k4}=eU_0-\Delta E_{41}=0.05\,\mathrm{eV}$、$E_{k3}=0.71\,\mathrm{eV}$、$E_{k2}=2.6\,\mathrm{eV}$和$E_k=12.8\,\mathrm{eV}$,

由于电子水平位移 $L'=\dfrac{dmv^2\sin 2\theta}{eU}=\dfrac{2dE_k'}{eU}$ 与动能成正比，故相邻荧光斑点间距的最大值为 $\Delta x_m=\dfrac{2d(E_k-E_{k2})}{eU}=10.2\,\text{cm}$，故 D 正确。

19. [2026 · 广东卷]核钟是基于原子核能级跃迁来建立高精度时间标准的装置，原子核可吸收光子发生类似原子的能级跃迁。现有一种激光能够激发某原子核从基态跃迁至激发态，其能级差约为 $1.3\times10^{-18}\text{J}$，普朗克常量 $h=6.6\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$，真空中光速 $c=3.0\times10^{8}\text{m/s}$。关于该激光，下列说法正确的是 （ ）

A. 光强倍增，此能级跃迁不能发生　　B. 光强减半，此能级跃迁不能发生

C. 频率约为 $2.0\times10^{16}\text{Hz}$　　D. 波长约为 $1.5\times10^{-7}\text{m}$

答案 D

解析 AB．原子核能级跃迁的条件是入射光子能量等于能级差，与光强无关，故 AB 错误；

C．频率 $\nu=\dfrac{\Delta E}{h}=\dfrac{1.3\times10^{-18}}{6.6\times10^{-34}}\approx2.0\times10^{15}\text{Hz}$，故 C 错误；

D．$\lambda=\dfrac{c}{\nu}=\dfrac{3.0\times10^{8}}{2.0\times10^{15}}\approx1.5\times10^{-7}\text{m}$，故 D 正确。

20. [2026 · 湖南卷]关于原子核衰变，下列说法正确的是

A. 原子核发生 α 衰变时，电荷数增大

B. 原子核发生 α 衰变时，质量数增大

C. 衰变产生的 α 粒子穿透能力强，可以穿透几厘米厚的铅板

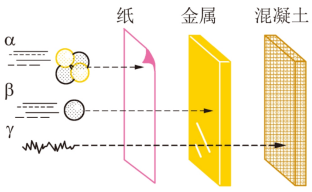
D. 理论研究表明，${}^{216}_{86}\text{Rn}$（氡核）可能在一次衰变过程中放出两个 α 粒子，则其衰变方程为 ${}^{216}_{86}\text{Rn}\rightarrow2\,{}^{4}_{2}\text{He}+{}^{208}_{82}\text{Pb}$

答案 D

解析 AB．原子核发生 α 衰变时，电荷数减小 2，质量数减小 4，故 AB 错误；

C．α 粒子穿透能力弱，在空气中只能前进几厘米，用一张纸就能把它挡住，故 C 错误；

D．衰变过程中电荷数和质量数守恒，故 D 正确。



21. [2026 · 广西卷]我国科学家首次合成的新核素 ${}^{235}_{97}\text{Bk}$ 与核素 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 具有相同的 （ ）

A. 核电荷数　　B. 质量数　　C. 原子质量　　D. 中子数

答案 B

22. [2026 · 山东卷]我国钍资源丰富并成功实现了钍－铀核燃料转换，开辟了核燃料供应的新途径。转换过程的中间核素 ${}^{233}_{91}\text{Pa}$ 可能会经历两种核反应，反应式为 ${}^{233}_{91}\text{Pa}+\text{X}\rightarrow{}^{234}_{91}\text{Pa}$，${}^{233}_{91}\text{Pa}\rightarrow{}^{233}_{92}\text{U}+\text{Y}$，则 X、Y 分别是

A. ${}^{0}_{-1}\text{e}$、${}^{1}_{0}\text{n}$　　B. ${}^{1}_{0}\text{n}$、${}^{1}_{1}\text{H}$　　C. ${}^{1}_{0}\text{n}$、${}^{0}_{-1}\text{e}$　　D. ${}^{0}_{-1}\text{e}$、${}^{1}_{1}\text{H}$

答案 C

解析 核反应过程遵循质量数守恒与电荷数守恒。

23. [2026 · 江西卷]东华加速器中子源科学装置通过 γ 射线与钨核反应产生中子，其方程为 $\gamma+{}^{184}_{74}\mathrm{W}\rightarrow{}^{A}_{Z}\mathrm{X}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}$，其中 γ 光子的静质量为零。关于方程中 Z 与 A 的值，下列选项正确的是

A. $Z=73$，$A=183$　　B. $Z=73$，$A=184$　　C. $Z=74$，$A=183$　　D. $Z=74$，$A=184$

答案 C

24. [202606 · 浙江卷]卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核，其核反应方程为 ${}^{14}_{7}\mathrm{N}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow{}^{17}_{8}\mathrm{O}+\mathrm{X}$，这是人类第一次实现原子核的人工转变。方程中 X 是

A. ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$　　B. ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$　　C. ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$　　D. ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

答案 A

25. [2026 · 北京卷]氟 18 是正电子发射断层成像(PET)中常用的放射性核素，可通过 ${}^{1}_{1}\mathrm{H}+{}^{18}_{8}\mathrm{O}\rightarrow{}^{18}_{9}\mathrm{F}+(\quad)$ 核反应制备，括号内的粒子为

A. ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$　　B. ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$　　C. ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$　　D. ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$

答案 D

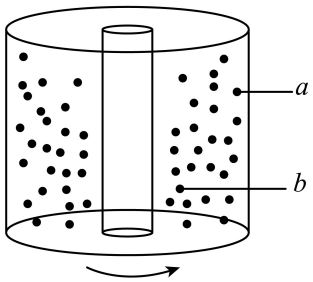
26. [2026·湖北卷]2025 年 6 月，我国成功掌握商用堆生产钇－90$\left({}^{90}_{39}\mathrm{Y}\right)$ 玻璃微球的技术，可实现批量化生产。在核反应堆中，${}^{90}_{39}\mathrm{Y}$ 由核反应 ${}^{a}_{39}\mathrm{Y}+{}^{1}_{b}\mathrm{X}\rightarrow{}^{90}_{39}\mathrm{Y}$ 生成，则

A. X 是质子　　B. X 是电子　　C. $a=90$　　D. $b=0$

答案 D

解析 核反应遵循质量数守恒和电荷数守恒，故得 $b=0$，$a=89$，X 是中子，故 D 正确。

27. [2026 · 四川卷](多选)分离铀 238 和铀 235 常采用离心分离技术，将含有铀 238 和铀 235 两种同位素的气态六氟化铀(${}^{238}\mathrm{UF_6}$ 和 ${}^{235}\mathrm{UF_6}$)在高速转动的气体离心机中进行分离，如图所示。则(　　)



A. 图中 a 为 ${}^{235}\mathrm{UF_6}$ 分子　　B. 图中 b 为 ${}^{235}\mathrm{UF_6}$ 分子

C. 铀 238 和铀 235 的中子数相同　　D. 铀 238 和铀 235 的质子数相同

答案 BD

解析 AB．由 $F_n=m\omega^2 r$ 可知相同半径下，质量越大的粒子所需要的向心力越大，${}^{238}\mathrm{UF_6}$ 质量大，当合力不足以提供向心力时会做离心运动，故 a 为 ${}^{238}\mathrm{UF_6}$ 分子，故 B 正确；

CD．同位素的质子数相同，中子数不相同，故 D 正确。

28. [202601 · 浙江卷]下列说法正确的是

A. 变化的电场会产生磁场

B. 汽车经过凹形路面最低点时处于超重状态

C. 相对论时空观认为运动物体的长度与速度无关

D. 秦山核电站通过提取海水中的氘和氚进行核反应获取能量

答案 *AB*

解析 *A*. 选修二图4.2—2 变化的磁场产生电场，变化的电场产生磁场，故 *A* 正确；

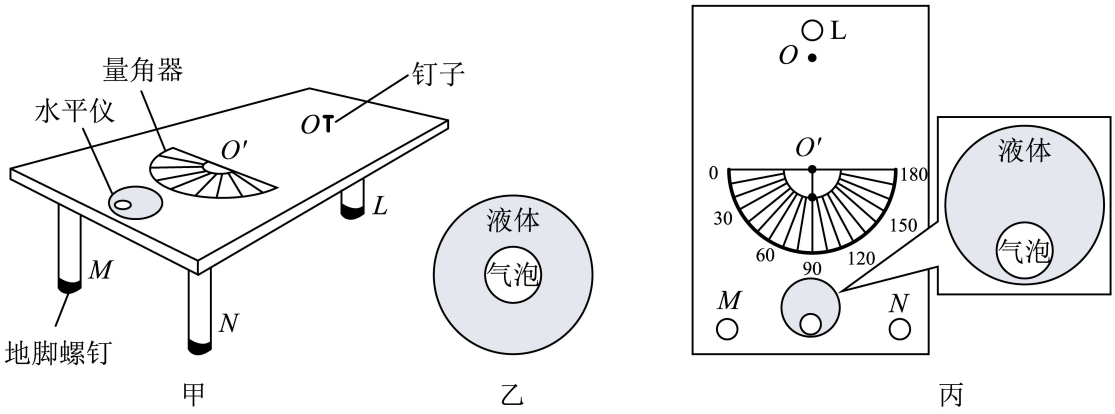
B. 必修二图6.4—5 最低点时向心力向上，$F_N > mg$，处于超重状态，故 *B* 正确；

C. 必修二第七章 相对论中有长度收缩效应，即运动物体长度与速度有关，故 *C* 错误；

D. 选修三第五章第4节课后习题 秦山核电站通过核裂变获取能量，故 *D* 错误。

七、力学实验

1. [2026 · 云南卷]某同学做力的合成实验，实验装置如图 (*a*) 甲所示，该装置中三根支撑脚 *L*、*M*、*N* 的高度可通过地脚螺钉调节。完成下列填空：



甲　　乙　　丙

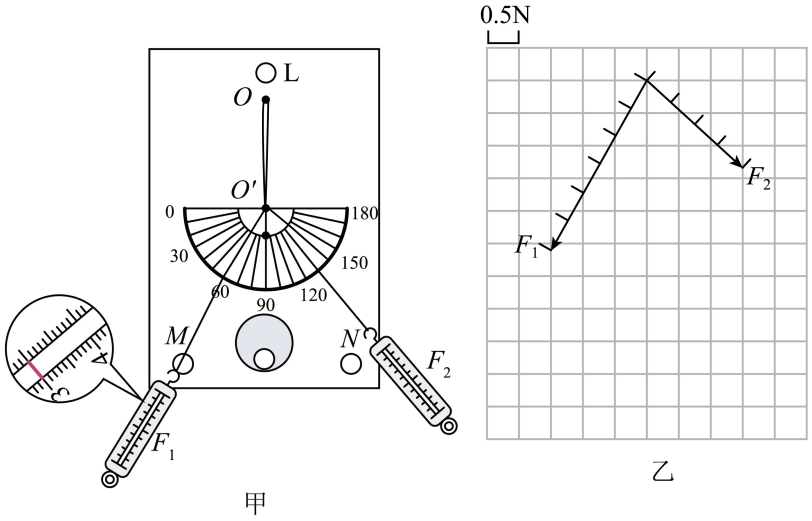
图(a)

(1) 该同学借助水平仪将实验装置台面调至水平。水平仪内封有液体和气泡，当水平仪底面水平时，气泡会静止在水平仪中心处，俯视图如图 (*a*) 乙所示。将水平仪放到台面上，气泡静止在水平仪中的位置俯视图如图 (*a*) 丙所示，下列操作能将台面调成水平的是_____或_____(填正确答案标号)；

A. 保持 *M* 和 *N* 高度不变，调高 *L*　　B. 保持 *M* 和 *N* 高度不变，调低 *L*

C. 保持 *L* 高度不变，同时调高 *M* 和 *N*　　D. 保持 *L* 高度不变，同时调低 *M* 和 *N*

(2) 如图 (*b*) 甲所示，将橡皮筋一端固定在 *O* 点，另一端通过圆环、细线与弹簧测力计相连。某次实验时，拉伸橡皮筋调整圆环圆心至 *O′* 点并保持静止，记录两细线的夹角，由弹簧测力计读出拉力 F_1 和 F_2 的大小，其中 F_1 的读数为_____N；



甲　　乙

图(b)

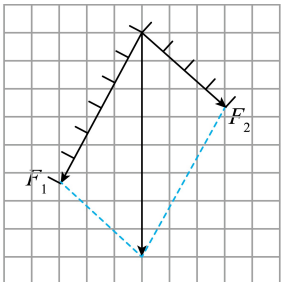
(3) 根据测量结果在方格纸上画出 F_1 和 F_2 的图示，如图 (*b*) 乙所示。已知方格纸上每小格边长代表 0.5 N，用作图法可得 F_1 和 F_2 的合力大小为_____N (结果保留 2 位有效数字)。

答案　(1)*A*、*D*　　(2)3.00　　(3)4.0

解析　(1) 由图 (*a*) 丙可知 *M* 和 *N* 高度偏高，故应选 *A*、*D*；

(2) 估读一位，故 F_1 的读数为 3.00 N；

(3) 根据平行四边形法则作出合力图像如图所示



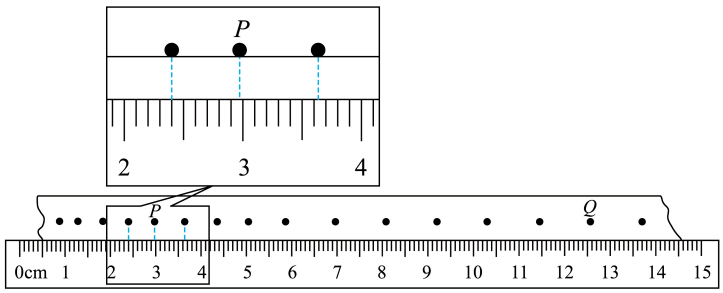
由于每小格边长代表 0.5 N，故可得 F_1 和 F_2 的合力大小为 $F=8\times0.5\,\mathrm{N}=4.0\,\mathrm{N}$

2. [2026 · 陕西卷]某同学使用打点计时器进行“测量速度和加速度”的实验。

(1) 下述操作正确的是_____(填正确答案标号)。

A. 先拉动纸带，再开始打点　　B. 先开始打点，再拉动纸带

(2) 该同学用电源频率为 50 Hz 的打点计时器从左至右打出如图所示的一条纸带。可用某点左右相邻点间的平均速度代表该点的瞬时速度，则 P 点的瞬时速度为_____ m/s (保留三位有效数字)。



(3) 测得 Q 点的瞬时速度 $v_Q=0.560\,\mathrm{m/s}$，则 P、Q 两点间的平均加速度为_____ $\mathrm{m/s^2}$(保留三位有效数字)。

答案　(1)B　(2)0.308　(3)1.26m/s^2

解析　(1)B　(2)$v_p=\dfrac{(3.63-2.40)\,\mathrm{cm}}{0.04\,\mathrm{s}}=0.308$　(3)$a=\dfrac{v_Q-v_P}{0.2\,\mathrm{s}}=1.26\,\mathrm{m/s^2}$

3. [2026·北京卷] (1) 图 1 为“探究加速度与力的关系”的实验装置示意图。平衡阻力后，认为桶和砂所受的重力等于小车所受的合力，则桶和砂的总质量 m 与小车的质量 M 满足的关系是_____。

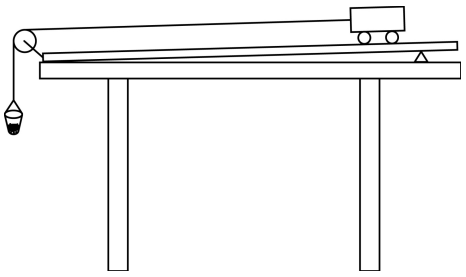


图 1

(2) 下列实验操作，正确的是_____(填选项前的字母)。

A. 在“验证机械能守恒定律”实验中，先接通电源，后释放重锤

B. 在“探究气体等温变化规律”实验中，快速拉动柱塞改变空气柱体积

C. 在“测量玻璃的折射率”实验中，为准确确定入射光线的方向，两枚大头针的距离应适当大些

(3) 在“测量金属丝的电阻率”实验中，某同学将实验器材连接成如图 2 所示的电路。闭合开关后，电流表和电压表均有示数，但移动滑动变阻器的滑片，电流表和电压表的示数几乎不变。拆除导线_____可排除故障(填图中导线字母编号)。

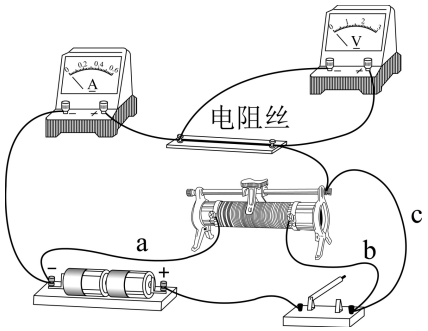


图 2

排除故障后进行实验。仅考虑由电表内阻引起的实验误差，电阻率的测量值_____(选填“偏大”、“偏小”或“没有影响”)。

答案 (1)$m \ll M$　(2)AC　(3)c(或 ac)、偏小

解析 (1) 对小车和桶砂整体有 $mg=(M+m)a$，故拉力 $F=Ma=\dfrac{Mmg}{M+m}=\dfrac{mg}{1+\dfrac{m}{M}}$

只有当 $m \ll M$ 时，才可近似认为拉力 F 等于桶和砂的总重力 mg。

(2)A．使用打点计时器的实验都需遵循“先接通电源，待打点稳定后再释放重物”的操作规范以保证充分利用纸带，A 正确；

B．探究气体等温变化规律时，需要保证气体状态变化过程温度始终和环境温度一致，快速拉动柱塞会使气体温度发生变化，违背等温条件，B 错误；

C．测量玻璃折射率时，两枚大头针间距适当大些，可以减小确定入射光线方向的角度误差，提高实验精度，C 正确。

(3) [1] 故障分析：由于图中导线 c 的连接，导致滑动变阻器与电阻丝并联，故移动滑片不改变电表读

数。故可以拆除导线 c，滑动变阻器是分压式接法；或同时拆除 a 和 c，滑动变阻器是限流式接法。

[2] 误差分析：该电路为电流表外接法，电压表测量的是电阻丝的真实电压，但电流表测量的是电阻丝和电压表的总电流，电流测量值偏大。根据 $R=\frac{U}{I}$，电阻测量值偏小，再由电阻率公式 $\rho=\frac{RS}{L}$，因此电阻率的测量值偏小。

4. [2026 · 河南卷]某实验小组利用图 1 所示装置验证牛顿第二定律。实验器材有：气垫导轨、滑块、光电门、数字计时器、遮光条、游标卡尺、垫块若干等。完成下列问题：

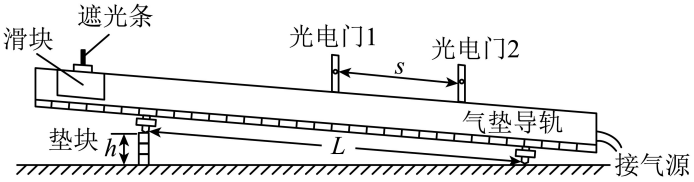


图1

(1) 用游标卡尺测量遮光条的宽度 Δx，示数如图 2 所示，则 $\Delta x=$ _____ mm。

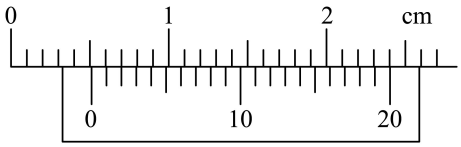


图2

(2) 调整好装置，释放滑块。数字计时器记录滑块通过光电门 1 的遮光时间为 $\Delta t=10.20\text{ms}$，则滑块通过光电门 1 的速度大小 $v_1=$ _____ m/s(保留 2 位有效数字)。

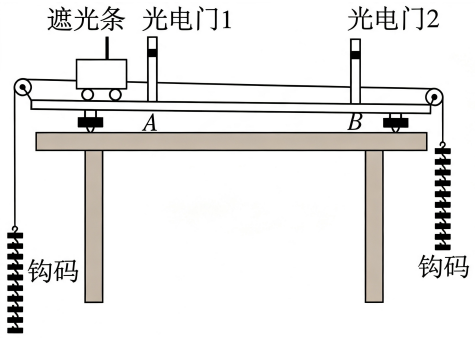
(3) 记录滑块通过光电门 2 的遮光时间，计算滑块通过光电门 2 的速度大小 v_2，测出两光电门间距为 s，则滑块下滑的加速度 $a=$ _____ (用 v_1、v_2、s 表示)。测得气垫导轨两支脚间距为 L，垫高为 h，理论上 $a=$ _____ (用 L、h、重力加速度大小 g 表示)，若两者在误差允许范围内相等，即验证了牛顿第二定律。

答案 (1)5.10　(2)0.50　(3)$\frac{v_2^2-v_1^2}{2s}$　(4)$\frac{hg}{L}$

解析 (1) 读数为 $5\text{ mm}+0.05\times2\text{ mm}=5.10\text{ mm}$　(2)$v_1=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{5.10\times10^{-3}}{10.20\times10^{-3}}=0.50\text{ m/s}$

(3) 由 $v_2^2-v_1^2=2as$ 得 $a=\frac{v_2^2-v_1^2}{2s}$　(4) 若牛顿第二定律 $F=ma$ 成立，阻力忽略情况下应有 $mg\sin\theta=ma$，即沿运动方向的加速度 $a=g\sin\theta=g\frac{h}{L}$。

5. [2026·湖北卷]某同学设计了一个验证牛顿第二定律的实验，使用的器材有：直导轨、小车、光电门、数字毫秒计、遮光条、天平、钩码、刻度尺、游标卡尺、定滑轮、细绳等。实验装置如图所示，光电门1、2分别固定在导轨A、B处，遮光条安装在小车上，连接小车两端的细绳分别跨过左右定滑轮，各悬挂10个质量均为m_0的钩码，定滑轮间的细绳与导轨平行。重力加速度大小为g。实验步骤如下：



i.用天平测量小车和遮光条的总质量m，用刻度尺测量A、B间的距离s，用游标卡尺测量遮光条的宽度d。

ii.调节导轨倾斜程度，使小车沿导轨向右下滑时通过两个光电门的遮光时间近似相等。

iii.从左侧细绳取下n个钩码挂到右侧细绳，再从导轨左端静止释放小车，用数字毫秒计测量遮光条经过光电门1、2的遮光时间t_1、t_2。回答下列问题：

(1)步骤ii操作的主要目的是_____。

(2)由牛顿第二定律，小车的加速度大小$a=$_____(用m_0、m、g和n表示)。

(3)步骤iii中测得的小车加速度大小$a=$_____(用d、s、t_1和t_2表示)。

(4)该同学根据测出的多组a、n值，作出$a-n$图像。若该图像近似是一条通过原点的直线，则可以验证：质量一定时，物体的加速度与所受合外力成_____。

(5)若$a-n$图像明显不过原点，原因可能是_____(单选，填标号)。

A. 步骤iii中小车没有从静止释放

B. 步骤ii中导轨的倾斜程度调节不恰当

C. 钩码质量没有远小于小车和遮光条的总质量

答案 (1)平衡阻力　(2)$\dfrac{2nm_0g}{m+20m_0}$　(3)$\dfrac{d^2}{2s}\left(\dfrac{1}{t_2^2}-\dfrac{1}{t_1^2}\right)$　(4)正比　(5)B

解析 (1)通过两个光电门的遮光时间近似相等，可知速度相等，小车做匀速运动，故步骤ii的主要目的是平衡阻力；

(2)由牛顿第二定律，对整体有$[10+n-(10-n)]m_0g=(m+20m_0)a$，得$a=\dfrac{2nm_0g}{m+20m_0}$；

(3)根据运动学公式有$\left(\dfrac{d}{t_2}\right)^2-\left(\dfrac{d}{t_1}\right)^2=2as$，得$a=\dfrac{d^2}{2s}\left(\dfrac{1}{t_2^2}-\dfrac{1}{t_1^2}\right)$；

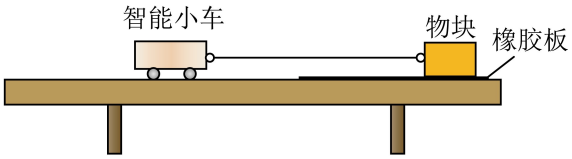
(4)$a-n$图像近似是一条过原点的直线，即由牛顿第二定理推出的公式$a=\dfrac{2nm_0g}{m+20m_0}$成立，验证了$F=ma$的正确性，即质量一定时，物体的加速度与所受合外力成正比；

(5)A．小车没有从静止释放，不影响加速度的测量，故不会使$a-n$图像不过原点，故A错误；

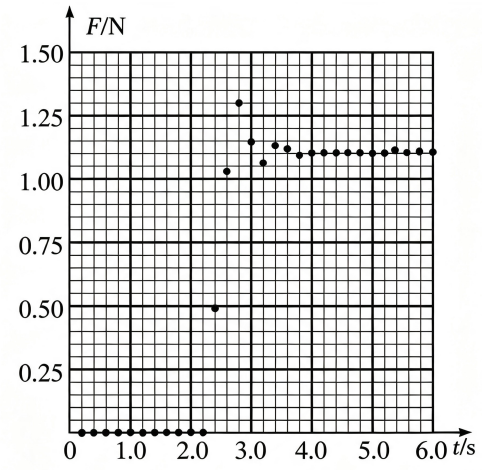
B．导轨的倾斜程度调节不恰当时，可知平衡摩擦力不足或者过大，根据牛顿第二定律，对整体$[10+n-(10-n)]m_0g+f=(m+20m_0)a$得$a=\dfrac{2nm_0g}{m+20m_0}+\dfrac{f}{m+20m_0}$，图像不过原点，故$B$正确；

C．由于研究对象是整体，总质量 $(m+20m_0)$ 不变，故是否远小于对实验没影响，故 C 错误。

6. [2026 · 山东卷]某同学利用智能小车测量物体间动摩擦因数。如图甲所示，将橡胶板平整固定在水平桌面上，把质量为 200g 的物块放置在橡胶板的右端，用细线与小车连接，调整细线与橡胶板平行。



图甲



图乙

智能小车启动，缓慢拉动物块，使物块由静止逐渐变为匀速直线运动，小车每隔 0.2s 采集一组拉力 F 与时间 t 的数据，实验数据如图乙所示。回答以下问题：

(1) 在 $t<2.6$s 范围内，物块处于_____(填“静止”或“匀速直线运动”)状态。

(2) 为得到物块运动过程中的滑动摩擦力，应选用时间段_____s(填“2.8~6.0”或“4.0~6.0”)内的数据。

(3) 当地重力加速度大小为 9.8m/s^2，此物块与橡胶板间动摩擦因数为_____(保留两位有效数字)。

(4) 若桌面不水平，右端略高于左端，则会导致动摩擦因数的测量值比实际值_____(填“偏大”或“偏小”)。

答案 (1) 静止　(2)4.0~6.0　(3)0.56　(4) 偏小

解析 (1) 静止　(2)4.0~6.0　(3)$\mu=\dfrac{f_{动}}{F_N}=\dfrac{F}{mg}=\dfrac{1.10}{0.2\times9.8}\approx0.56$　(4) 若桌面不水平，右端略高于左端，则重力有沿细线的分力，物块做匀速运动时细线的拉力 F 小于物块受到的滑动摩擦力 f，又物块与橡胶板间的正压力 F_N 小于物块的重力 mg，结合(3)问分析可知 $\mu_{测}=\dfrac{F}{mg}<\dfrac{f}{F_N}=\mu_{实}$，即测量出的动摩擦因数与真实值相比偏小。

7. [2026 · 北京卷]用如图 1 所示装置研究平抛运动。将白纸和复写纸固定在背板上。钢球沿斜槽轨道滑下后飞出，落在水平挡板上，钢球侧面会在白纸上挤压出一个印迹。移动挡板，重复实验，白纸上留下一系列印迹。

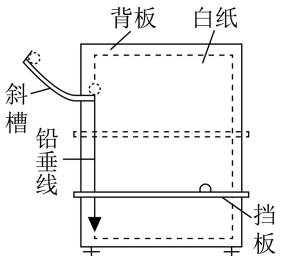


图 1

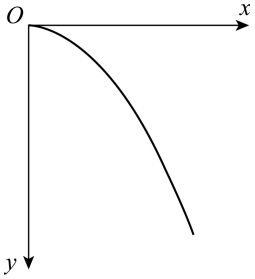


图 2

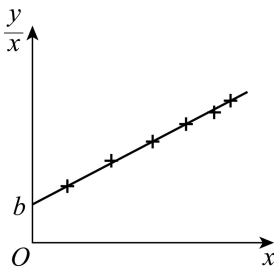


图 3

(1) 下列实验操作必要的是_____(填选项前的字母)。

A. 背板调节到竖直平面内　　B. 斜槽轨道的末端保持水平

C. 等间距移动挡板

(2) 实验操作时，钢球每次从同一个位置由静止释放，目的是_____。

(3) 用平滑曲线将白纸上的印迹连接起来，如图 2 所示。以抛出点为坐标原点 O，以竖直方向和水平方向分别作为 y 轴和 x 轴，建立 Oxy 坐标系。已知平抛运动竖直方向分运动为自由落体运动，为探究水平分运动的规律，需要确定“相等的时间间隔”。简要说明如何在轨迹上选点来确定相等的时间间隔。

(4) 某同学实验时忘了标记抛出点的位置。为解决该问题，他以轨迹上某点为坐标原点 O'，建立 $O'xy$ 坐标系。在轨迹上取几个点，测量各点的坐标 (x, y)。作出的 $\frac{y}{x}-x$ 图像为一条直线，斜率为 k，截距为 b，如图 3 所示。根据平抛运动规律，可得在 $O'xy$ 坐标系中钢球做平抛运动的抛出点坐标为_____。

答案　(1)AB　　(2) 使钢球每次从斜槽轨道的末端飞出的速度相同

(3) 见解析　　(4)$\left(-\frac{b}{2k}, -\frac{b^2}{4k}\right)$

解析　必修二　图 5.3－7

(1)A．钢球的平抛运动轨迹在竖直平面内，为了印迹能准确记录运动位置，应将背板调节到竖直平面内，故 A 正确；

B．为了保证小球抛出时的速度处于水平方向，应调节斜槽轨道的末端保持水平，故 B 正确；

C．挡板不需要等间距移动，只要能在轨迹上得到多个分布合理的点即可，故 C 错误。

(2) 使钢球每次从斜槽轨道的末端飞出的速度相同。

(3) 因为平抛竖直分运动是初速度为 0 的自由落体运动，满足连续相等时间内的竖直位移之比为 1∶3∶5…(或位移差恒定)；从抛出点 O 开始，在 y 轴上取纵坐标分别为 y、$4y$、$9y$… 的点 (即竖直位移满足 $y_1 : y_2 : y_3 \cdots = 1 : 4 : 9 \cdots$)，过这些点作平行于 x 轴的水平线，与轨迹的交点对应的时间间隔就是相等的时间间隔。(或：在轨迹上取点，使相邻两点的竖直方向位移差恒定，对应的时间间隔也相等。)

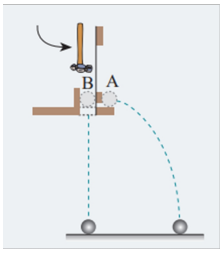
(4) 设钢球在 O' 坐标系中，经过坐标 (x, y) 的时刻为 t，平抛初速度为 v_0，抛出点在 O' 系中的坐标为 (x_0, y_0)。根据平抛运动规律有 $x - x_0 = v_0 t$，$y - y_0 = \frac{1}{2} g t^2$

联立整理可得 $\frac{y}{x} = \frac{g}{2v_0^2} x - \frac{g x_0}{v_0^2} + \left(\frac{g x_0^2}{2v_0^2} + y_0\right)\frac{1}{x}$

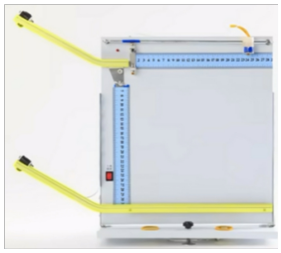
结合图像解析式 $\frac{y}{x}=kx+b$ 得 $\frac{g}{2v_0^2}=k$，$-\frac{gx_0}{v_0^2}=b$，$\frac{gx_0^2}{2v_0^2}+y_0=0$

得 $x_0=-\frac{b}{2k}$，$y_0=-\frac{b^2}{4k}$，即抛出点坐标为 $\left(-\frac{b}{2k},-\frac{b^2}{4k}\right)$。

8. [202601 · 浙江卷] Ⅰ．在“探究平抛运动的特点”实验中，

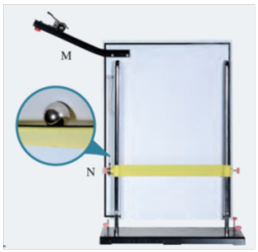


图甲



图乙

第 14-I 题图 1



第 14-I 题图 2

(1) 为探究水平方向分运动特点，应选用图 1 中的_____(选填“甲”或“乙”) 装置；

(2) 采用图 2 所示装置进行实验。将一张白纸和复写纸固定在装置的背板上，钢球落到倾斜的挡板后挤压复写纸，在白纸上留下印迹。下列说法正确的是_____(多选)；

A. 调节装置使背板竖直

B. 调节斜槽使其末端切线水平

C. 以斜槽末端在白纸上的投影点为坐标原点

D. 钢球在斜槽上静止释放的高度应等间距下降

(3) 如图 3 所示，将实验中记录的印迹用平滑曲线连接，其中抛出点为坐标原点，A 点 (11.0 cm，15.8 cm) 是记录的印迹，B 点 (11.8 cm，19.6 cm) 是曲线上的一点，为得到小球的水平速度，应取_____(选填“A”或“B”) 点进行计算，可得水平速度 $v_0=$_____ m/s (g 取 9.8m/s^2，结果保留两位有效数字)。

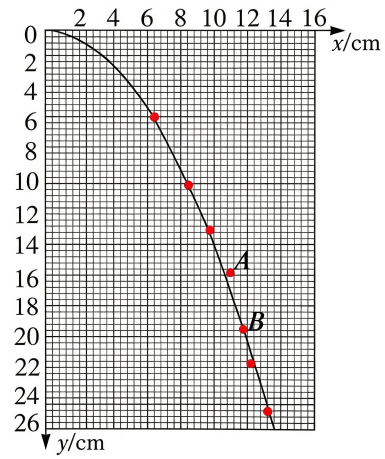


图 3

答案 (1) 乙 (2)AB (3)B、0.59

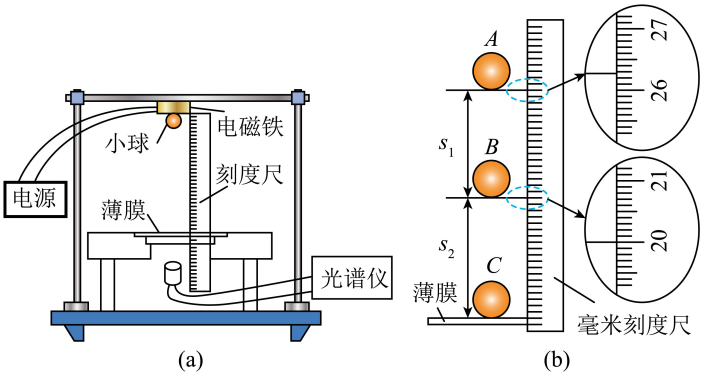
解析 (2)C．应以小球在斜槽末端时球心的位置为坐标原点，因为印迹位置是小球的球心位置，故 C 错误；D．静止释放的高度应不变，保证平抛初速度不变，故 D 错误。

(3)B 点在曲线上，A 点误差较大，故应选 B 点进行计算；从 O 到 B 点，有 $x_B=v_0t$，$y_B=\frac{1}{2}gt^2$，得 $t=\sqrt{\frac{2y_B}{g}}=\sqrt{\frac{2\times0.196}{9.8}}=0.2\,\text{s}$，$v_0=\frac{x_B}{t}=\frac{0.118}{0.2}=0.59\,\text{m/s}$

9. [2026·广东卷]某科技小组设计了测量薄膜压缩时间的实验，图1(a)为装置示意图。

(1) 实验原理。

某种薄膜受到小球冲击时会发光，通过测量发光光谱的相对光强峰值I_p，可得最大冲击力F，结合动量定理可估测薄膜压缩时间t。



(a) (b)

图1

(2) 实验操作及数据处理。

①称量小球质量，记录质量m。

②断开电磁铁电源，使小球从薄膜正上方自由下落。拍摄小球下落过程的视频。

③图1(b)为利用视频处理软件得到的小球接触薄膜瞬间前连续3个时刻的位置图。分别测量图中的距离s_1和s_2，可得s_1为_____cm，s_2为6.66cm。相邻两个位置的时间间隔为T，则小球在B位置处的速度$v_1=$_____(用s_1、s_2和T表示)；与薄膜接触前瞬间，小球在C位置处的速度$v_2=$_____(用s_1、s_2和T表示)。

④用光谱仪测得薄膜受到冲击时发光光谱的I_p为158 a.u.。图2为已知的$F-I_p$关系图像，可读得F为_____N。

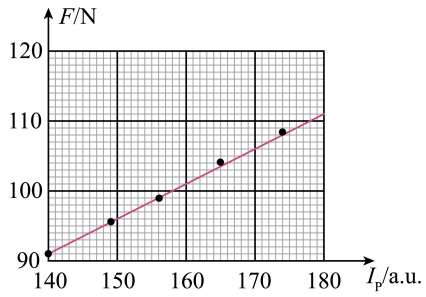


图2

⑤$m=30.0$g，$T=0.02$s，由动量定理可估测薄膜压缩时间$t=\dfrac{2mv_2}{F}$，将数据代入可得$t=$_____s(结果保留3位有效数字)。

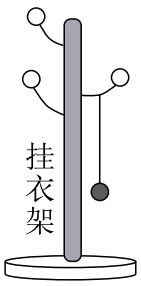
答案 ③$s_1=6.26$ cm、$v_1=\dfrac{s_1+s_2}{2T}$、$v_2=\dfrac{3s_2-s_1}{2T}$ ④100 ⑤$2.06\times10^{-3}$

解析 ③[1]毫米刻度尺的分度值为1mm，需要估读到下一位，根据题图可得$s_1=26.26\text{cm}-20.00\text{cm}=6.26\text{cm}$；[2]根据匀变速直线运动中间时刻瞬时速度等于该过程平均速度可得$v_1=\dfrac{s_1+s_2}{2T}$；[3]$v_2=v_1+aT=\dfrac{s_1+s_2}{2T}+\dfrac{s_2-s_1}{T^2}\cdot T=\dfrac{3s_2-s_1}{2T}$；

④根据题图可得I_p为158 a.u.时，F为100 N；

⑤ $v_2=\frac{3s_2-s_1}{2T}=\frac{3\times6.66-6.26}{2\times0.02}\times0.01=3.43\ \text{m/s}$，则 $t=\frac{2mv_2}{F}=\frac{2\times0.03\times3.43}{100}=0.002058\ \text{s}\approx2.06\times10^{-3}\ \text{s}$

10. [2026 · 贵州卷]如图，某同学居家设计简易单摆测量重力加速度。主要器材有：细线、金属球、卷尺、手机、挂衣架。



请完成下列步骤：

(1) 用卷尺测量金属球直径三次后得平均值 $d=1.82\text{cm}$。

(2) 用卷尺测量摆线长度三次后得平均值 L。将金属球从平衡位置拉至一个偏角小于 5° 的位置并由静止释放，用手机秒表测量金属球 20 次全振动的时间 t。重复测量三次，得周期的平均值 T。

(3) 改变摆线长度，重复步骤 (2)。得 L、$t(t_1、t_2、t_3)$ 和 T 的数据如下表：

L/cm	t_1/s	t_2/s	t_3/s	T/s
110.10	42.43	42.25	42.38	2.12
100.37	40.43	40.50	40.38	
90.23	38.62	38.38	38.50	1.93

计算上表中 $L=100.37\text{cm}$ 时的 $T=$ _____ s。(保留三位有效数字)

(4) 根据重力加速度表达式 $g=$ _____ (用 π、T、L 和 d 表示)，计算实验值。

(5) 查询当地重力加速度，发现 g 的实验值偏小。为减小空气阻力引起的误差，应尽量选择质量 _____ (填“大”或“小”)、体积 _____ (填“大”或“小”) 的摆球。

答案 (3)2.02　(4)$\frac{4\pi^2}{T^2}(\frac{d}{2}+L)$　(5) 大、小

解析 (3)$T=\frac{1}{3}(\frac{40.43}{20}+\frac{40.50}{20}+\frac{40.38}{20})\approx2.021833333\ \text{s}$

(4)$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，其中摆长 $l=\frac{d}{2}+L$，故 $g=\frac{4\pi^2}{T^2}(\frac{d}{2}+L)=\frac{2\pi^2(d+2L)}{T^2}$

(5) 质量越大，摆球的惯性越大，空气阻力对其运动速度的影响相对越小；空气阻力与摆球迎风面积及运动速度相关，体积越小，迎风面积越小，所受空气阻力越小。

11. [2026 · 湖南卷]某同学借助视频分析软件进行“用单摆测量重力加速度”的实验，步骤如下：

(1) 准备好单摆，用支架将手机竖直放置。

(2) 打开手机录像，将单摆拉离平衡位置 4° 摆角由静止释放。

(3) 将录制的视频导入软件进行分析，得到摆球的 $v-t$ 图像，拟合后如图 1 所示，可知此单摆的周期 T 为_____ s。

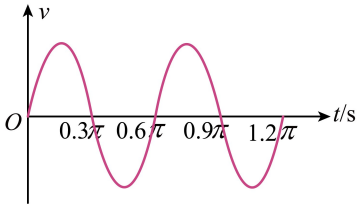


图1

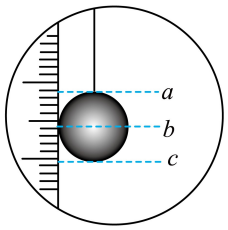


图2

(4) 如图 2，用刻度尺测量单摆摆长，该同学将刻度尺竖直放置，刻度尺 0 刻度线与单摆悬点对齐，读出_____ (填“a”“b”或“c”) 位置的读数，该读数即为摆长 l。

(5) 重力加速度 $g=$ _____ (用题中给出的字母“T”和“l”表示)。

(6) 该同学发现所得实验结果小于当地重力加速度，可能的原因是刻度尺 0 刻度线_____ (填“高于”或“低于”) 悬点。

答案 (3)0.6π　(4)b　(5)$g=\dfrac{4\pi^2 l}{T^2}$　(6) 低于

解析 (3) 速度变化周期即为单摆周期　(4) 摆长等于绳长加小球半径

(5) 由 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ 得 $g=\dfrac{4\pi^2 l}{T^2}$

(6) 可能是刻度尺 0 刻度线低于悬点，导致测量值 l 偏小，从而使得计算值 g 偏小。

八、电学实验

1. [2026 · 河南卷]某实验小组探究电容器充放电特性并测量新能源电池的电动势，图 1 为设计的电路原理图。实验器材有：电池 (电动势 E，内阻不计)，定值电阻 R_1、R_2(阻值均未知)，电容器 C，电流传感器 (内阻可忽略)，电压传感器 (内阻很大)，数据采集分析系统，开关 S，导线若干等。完成下列问题：

(1) 根据图 1 所示原理图，完成图 2 中实物图的连线。

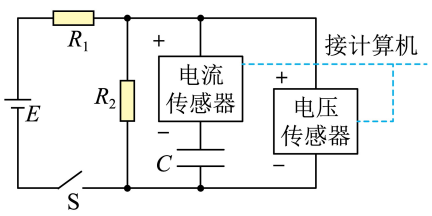


图1

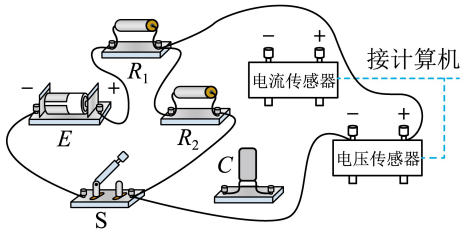
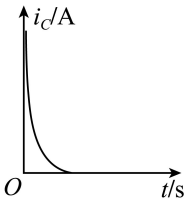
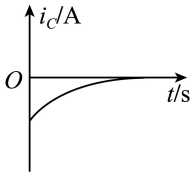


图2

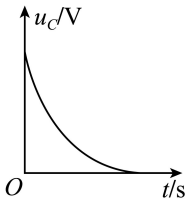
(2) 使电流传感器和电压传感器正常工作，闭合 S，给电容器充电，直至电压传感器示数稳定。然后断开 S，电容器放电。图中 A、B、C、D 为电流传感器和电压传感器采集的电流—时间 (i_C-t) 和电压—时间 (u_C-t) 图像，属于充电过程的是_____(填写图像对应的标号)。



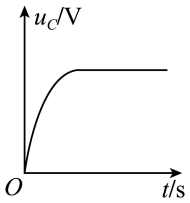
A



B



C



D

(3) 经数据采集分析系统合成，得到电容器在充放电过程中的 u_C-i_C 图像，如图 3 所示。设放电过程 PQ 段的斜率为 k_1，由图作直线可得 $|k_1|=$_____Ω(保留 3 位有效数字)，其对应于_____的阻值 (填“R_1”或“R_2”)。

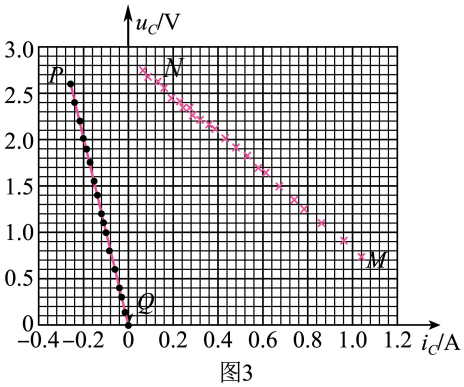


图3

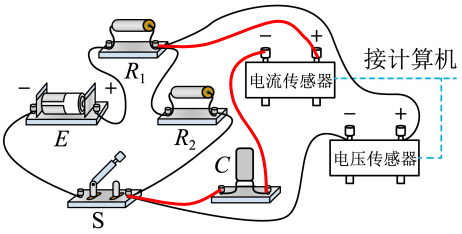
(4) 对充电过程 MN 段，设流经 R_1、R_2 的电流分别为 i_1 和 i_2，则 $i_1=i_2+i_C$。电容器两端电压可表示为 $u_C=k_2i_C+b$，其中斜率 $k_2=$_____(用 R_1、R_2 表示)，截距 $b=$_____(用 R_1、R_2、E 表示)。由图 3 作直线求出 k_2 和 b，得 $E=$_____V(保留 3 位有效数字)。

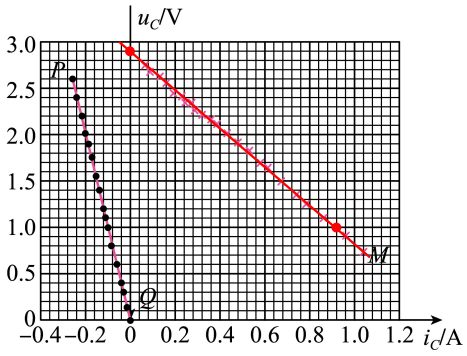
答案 (1) 见解析 (2)AD (3)10.0、R_2 (4)$-\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$、$\dfrac{R_2E}{R_1+R_2}$、3.65

解析 (1) 如图。

(2)AB. 充电电流 i_C 初始最大，然后逐渐衰减到 0(方向为正)，故 A 正确，B 错误；

CD. 电容器电压 u_C 从 0 逐渐升高，最终电压达到稳定，故 C 错误，D 正确。

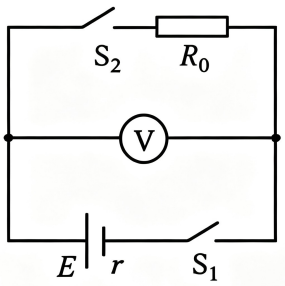




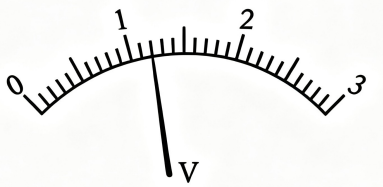
(3)$|k_1|=\left|\dfrac{2.0-0}{-0.2-0}\right|=10.0\Omega$，放电过程中电容通过电阻 R_2 放电。

(4) 充电时有 $E=i_1R_1+u_C=(i_2+i_C)R_1+u_C=(\dfrac{u_C}{R_2}+i_C)R_1+u_C$，整理得 $u_C=-\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}i_C+\dfrac{R_2E}{R_1+R_2}$，故斜率 $k_2=-\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$，截距 $b=\dfrac{R_2E}{R_1+R_2}$；由图像可知 $k_2=\dfrac{2.9-1.0}{0-0.92}=-\dfrac{1.9}{0.92}$，$b=2.9$，结合 $R_2=10.0\Omega$ 可知 $R_1=\dfrac{19}{7.3}\Omega$，则 $E=-\dfrac{R_1b}{k_2}=\dfrac{\frac{19}{7.3}\times2.9}{\frac{1.9}{0.92}}\approx3.65\text{V}$。

2. [2026 · 广西卷]某同学按图甲电路测量干电池的电动势和内阻，所用器材有电压表（量程 0～3V，可视为理想电压表）、定值电阻 $R_0=10.0\Omega$、开关 S_1 和 S_2、干电池、导线若干。



图甲



图乙

(1) 断开 S_2，闭合 S_1，电压表读数 $U_1=1.44\text{V}$，则干电池电动势的测量值 $E=$ _____ V。

(2) 保持 S_1 闭合，再闭合 S_2，电压表示数 U_2 如图乙，则 $U_2=$ _____ V，干电池内阻的测量值 $r=$ _____ Ω。

答案 (1)1.44　　(2)1.20、2.0

解析 (1) 由于视为理想电压表，故测得的路端电压 U_1 即为电池电动势；

(2) 最小刻度为 0.1 V，需估读一位，即 $U_2=1.20\text{ V}$；回路电流 $I=\dfrac{U_2}{R_0}$，则 $r=\dfrac{E}{I}-R_0=\dfrac{ER_0}{U_2}-R_0=\dfrac{1.44\times10.0}{1.20}-10.0=2\Omega$。

3. [2026·河北卷] (1) 某同学用弹簧测力计探究作用力和反作用力的关系。将甲、乙两测力计水平连接在一起，测力计甲左侧固定，用手向右缓慢拉测力计乙，拉至某位置时两测力计示数如图 1 所示。

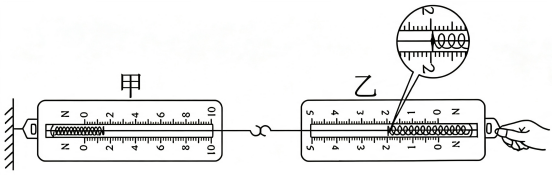


图 1

①测力计乙的读数是_____N。

②实验中发现两测力计示数总是明显不同，原因可能是_____。(单选)

A. 两测力计的量程不同　　B. 两测力计弹簧的材质不同

C. 使用测力计前未正确调零

(2) 图 2 为探究电容器充、放电实验的电路图，实验选用内阻为几千欧姆的电压表和内阻很小且零刻度在中间的电流表。

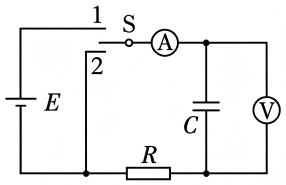


图 2

①实验时将开关 S 接 1 端，可观察到电流表指针_____(填字母，“A. 迅速偏转到某位置后稳定不动”或“B. 迅速偏转到某位置后往回偏转”)，同时电压表指针偏转到某位置后稳定不动。

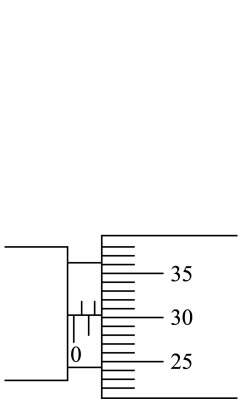
②现将 S 与 1 端断开，但尚未与 2 端连接，此时发现电压表的指针逐渐向零刻度偏转。经检查器材完好，线路连接正确，出现此现象的原因可能是_____。

答案 (1) ① 1.96(1.92~1.98)；② C　　(2) ① B；②电容器与电压表构成回路，进行放电

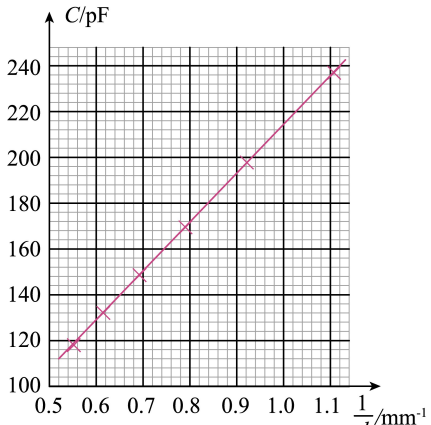
解析 (1) ①最小刻度为 0.1 N，估读一位得 1.96N；② C

(2) ①电容放电瞬间电流最大，之后电流逐渐减小至零；②电容器与电压表构成回路，对电压表放电。

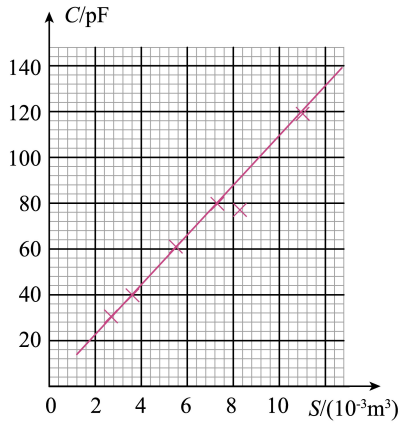
4. [2026 · 黑吉辽卷]某同学从教材的“拓展学习”栏目中学习到平行板电容器的电容 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$。为验证 C 与极板间距 d、正对面积 S 的关系，他与人工智能讨论得知，用数字式多用电表可以测量电容，测量过程中电路存在额外电容，每次应扣除额外电容，以获得电容的测量值。据此，设计并完成如下实验。



图(a)



图(b)



图(c)

实验器材：厚度为 d_0 的绝缘塑料板若干、面积均为 S_0(已知) 的矩形单面覆铜板两块、数字式多用电表、螺旋测微器、绝缘重物等。

(1) 用螺旋测微器测量 20 层塑料板的厚度。测量结果如图 (a) 所示，读数为_____ mm。

(2) 将两极板覆铜面相对，中间夹入 10 层塑料板并用重物压紧，使正对面积为 S_0，用多用电表测量电容并记录数据。断开表笔，将极板短接放电。保持正对面积为 S_0 不变，每次增加 2 层塑料板，重复上述操作直至 20 层。作 $C-\frac{1}{d}$ 图线如图 (b) 所示，由此确定 C 与 $\frac{1}{d}$ 成正比。由图线，极板间夹 15 层塑料板时，电容为_____ pF (保留至整数)。

(3) 保持极板间 20 层塑料板不变，使两极板正对面积依次为 S_0、$\frac{3}{4}S_0$、$\frac{2}{3}S_0$、$\frac{1}{2}S_0$、$\frac{1}{3}S_0$、$\frac{1}{4}S_0$，用重物压紧，测量电容并记录数据。作 $C-S$ 图线如图 (c) 所示，由此确定 C 与 S 成正比。图 (c) 中某次测量值明显偏离拟合直线，排除仪器故障和数据处理错误，从实验操作角度分析，写出一条可能的原因：_____。

(4) 若将图 (b)、图 (c) 改绘为 $C-\frac{d_0}{d}$、$C-\frac{S}{S_0}$ 图线，两图线的斜率分别为 k_1、k_2，则理论上 $\frac{k_1}{k_2}=$_____ (选填“20”“1”或“0.05”)。

答案 (1)1.803　(2)158　(3) 塑料板发生了错位　(4)20

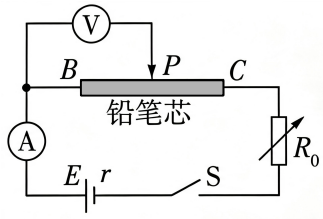
解析 (1)1.803　(2) 由 $\frac{20}{1.803}=\frac{15}{d}$ 可知 15 层时 $\frac{1}{d}=\frac{20}{1.803}/15\approx 0.74$，由图像得 $C=158$ pF

(3) 塑料板发生了错位(导致正对面积 S 区域内，部分空间被空气填充，使得 ε_r 减小，从而导致测量值 C 偏小)。

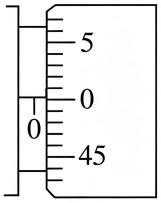
(4) 图 (b) 是保持 S_0 不变，则 $C=\frac{\varepsilon_r S_0}{4\pi kd}$，结合 $C=\frac{k_1 d_0}{d}$ 得 $k_1=\frac{\varepsilon_r S_0}{4\pi kd_0}$；

图 (c) 是保持 $d=20d_0$ 不变，则 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k(20d_0)}$，结合 $C=\frac{k_2 S}{S_0}$ 得 $k_2=\frac{\varepsilon_r S_0}{4\pi k(20d_0)}$；故 $\frac{k_1}{k_2}=20$。

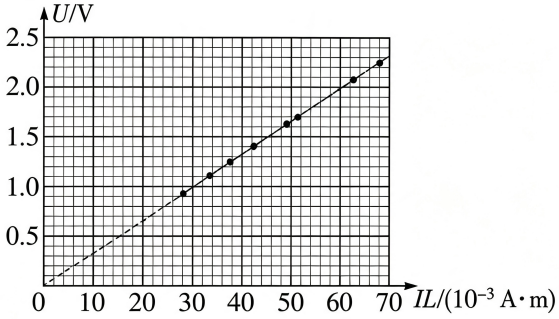
5. [2026 · 湖北卷]在测量铅笔芯电阻率的实验中，实验器材有：待测圆柱形铅笔芯、电压表 V、电流表 A、电阻箱 R_0、干电池、刻度尺、螺旋测微器、开关 S、滑片 P 及导线等。实验电路图如图 (a) 所示，B、C 为铅笔芯的两端，滑片 P 在 B、C 间左右滑动。



图（a）



图（b）



图（c）

(1) 用螺旋测微器测量铅笔芯的直径 d，其示数如图 (b) 所示，可知 $d=$ _____ mm。

(2) 适当选择电阻箱 R_0 的阻值，移动滑片 P 到某位置，测量 B、P 间的长度 L，闭合开关 S，记录电压表的示数 U、电流表的示数 I，则该铅笔芯电阻率的表达式为 $\rho=$ _____ (用 U、I、d 和 L 表示)。

(3) 多次改变滑片 P 的位置，记录对应的 L、U、I，由实验数据绘制出的 $U-IL$ 图如图 (c) 所示。由此可得该铅笔芯的电阻率 $\rho=$ _____ $\Omega\cdot$m(π 取 3.14，保留两位有效数字)。

(4) 干电池使用一段时间后，其内阻增大，对电阻率的测量结果_____ (填“有”或“无”) 影响。

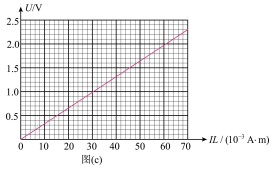
答案 (1)0.501　(2)$\dfrac{\pi Ud^2}{4IL}$　(3)6.5×10^{-6}　(4) 无

解析 (1)读数为 $d=0.5\text{mm}+0.1\times0.01\text{mm}=0.501\text{mm}$；

(2)根据欧姆定律结合电阻定律可知 $\dfrac{U}{I}=\rho\dfrac{L}{S}$，$S=\pi\left(\dfrac{d}{2}\right)^2$，得 $\rho=\dfrac{\pi Ud^2}{4IL}$；

(3)根据 $\rho=\dfrac{\pi Ud^2}{4IL}$ 整理得 $U=\dfrac{4\rho}{\pi d^2}IL$，故 $U-IL$ 图像的斜率 $k=\dfrac{4\rho}{\pi d^2}$，得 $\dfrac{4\rho}{\pi d^2}=\dfrac{2.3}{70\times10^{-3}}$，代入数值解得 $\rho=6.5\times10^{-6}\Omega\cdot$m；

(4)干电池内阻变化不会影响电阻测量值 $R=\dfrac{U}{I}$，即对测量结果无影响。



图(c)

6. [2026 · 贵州卷]在绝缘板上均匀涂敷一种导电材料，制作的电阻样品如图 (*a*) 所示。所制三个电阻的涂层长度相同、宽度较小且相同、厚度不同 (几微米)，阻值均约为几十欧。某实验小组通过测量三个电阻阻值，比较其涂层厚度，所用器材有：

待测电阻 R_{x1}、R_{x2} 和 R_{x3}；

电压表 V_1(量程 0~3V)；

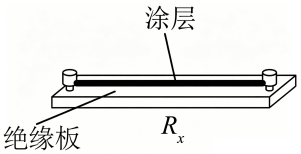
电压表 V_2(量程 0~5V)；

电阻箱 R_0(阻值 0～999.9Ω)；

滑动变阻器 R(阻值 0～10Ω)；

直流电源 E(电动势 4.5V)；

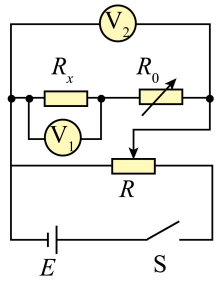
开关；导线若干。



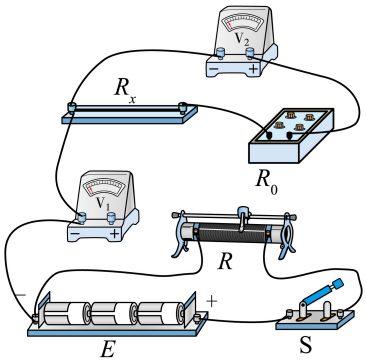
图(a)

请完成下列步骤：

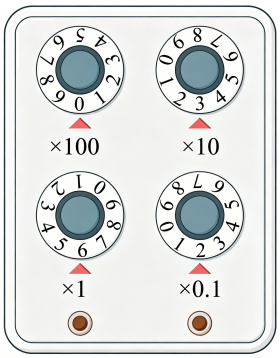
(1) 实验小组设计了如图 (*b*) 所示的电路图。根据图 (*b*) 完成图 (*c*) 中的实物图连线。



图(b)



图(c)



图(d)

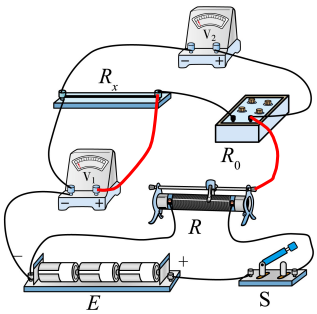
(2) 接入 R_{x1}，闭合 S，调节 R 和 R_0，R_0 的示数如图 (*d*) 所示，此时 R_0 读数为_____Ω，电压表 V_1 和 V_2 读数分别为 1.81V 和 3.62V，由此可知 $R_{x1}=$_____Ω。断开 S，改换待测电阻，重复上述步骤。分别测得 $R_{x2}=20.2\Omega$，$R_{x3}=70.5\Omega$。

(3) 由三个电阻测量值可知_____(填“R_{x1}”“R_{x2}”或“R_{x3}”) 涂层最厚。

(4) 实验完成后，该小组通过原理分析，发现此方法测电阻未考虑电压表 V_1 内阻的影响。若已知电压表 V_1 内阻为 R_{V1}，电压表 V_1 和 V_2 示数分别为 U_1 和 U_2，电阻箱示数为 R_0，则 $R_x=$_____(用 R_{V1}、R_0、U_1 和 U_2 表示)。经分析发现，本实验中考虑电压表 V_1 内阻后，不影响判断三个电阻涂层厚度关系。

答案 (1) 如图　(2)36.2、36.2　(3)R_{x2}　(4)$R_x=\dfrac{R_{V1}R_0U_1}{R_{V1}(U_2-U_1)-R_0U_1}$

解析 (1) 如图



(2)R_0 的读数为 36.2Ω；由串联电路分压规律 $\dfrac{R_x}{R_0}=\dfrac{U_1}{U_2-U_1}$

得 $R_{x1}=36.2\Omega$

(3) 由电阻定律 $R_x=\rho\dfrac{L}{S}$ 可知横截面积越大，即涂层越厚的电阻，阻值越小，由于 R_{x2} 阻值最小，则 R_{x2} 涂层最厚。

(4)$R_x=\dfrac{U_1}{I_x}=\dfrac{U_1}{\dfrac{U_2-U_1}{R_0}-\dfrac{U_1}{R_{V1}}}=\dfrac{R_{V1}R_0U_1}{R_{V1}(U_2-U_1)-R_0U_1}$

7. [202606 · 浙江卷]－Ⅱ．某学习小组测量滑动变阻器的金属丝电阻率，所用实验器材如下：

A. 多用电表 10 mA 电流挡（内阻等于 57.0Ω）　B. 直流电压表 0~3 V（内阻未知）

C. 待测的滑动变阻器 R_1，全电阻阻值 R_1 未知　D. 滑动变阻器 R_2，全电阻阻值 $R_2 \approx 10\Omega$

E. 干电池两节　F. 游标卡尺

G. 开关、导线若干

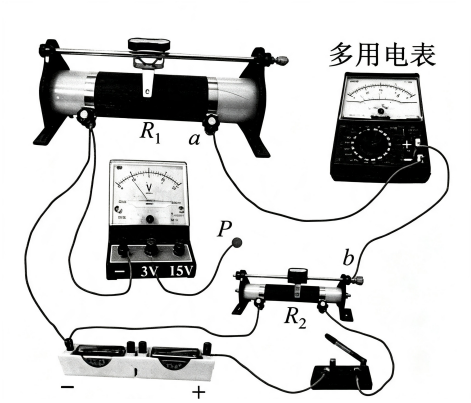


图 1

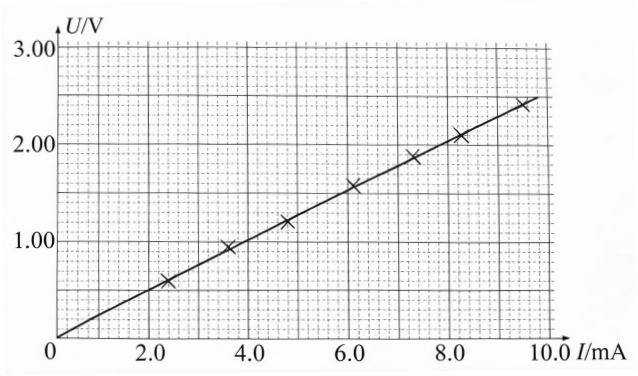


图 2

（1）测量 R_1 的全电阻时，完成的部分电路连接如图 1 所示，还需将 P 连接到接线柱_____（选填“a”或“b”）。在开关闭合前，应将滑动变阻器 R_2 的滑片移至_____（选填“最左侧”或“最右侧”）

（2）测得多组电压、电流值，并绘制了 $U-I$ 图像如图 2，求得 R_1 为_____Ω（保留三位有效数字）

（3）如图 3，用刻度尺测得滑动变阻器绕线部分的长度 $L=14.00$ cm、数出绕线部分总匝数 $n=301$ 匝；用游标卡尺测量滑动变阻器陶瓷管的直径 d，正确操作后，游标卡尺的示数如图 4 所示，则直径 $d=$_____cm。该滑动变阻器金属丝电阻率表达式 $\rho=$_____（用 R_1、L、n、d 表示），代入数据求得电阻率最接近于_____

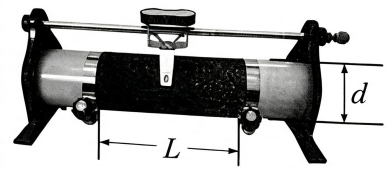


图 3

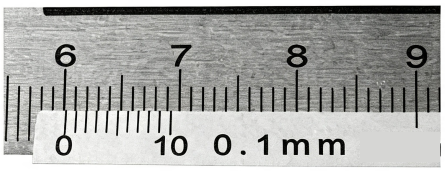


图 4

A. $1\times10^{-7}\Omega\cdot$m　B. $6\times10^{-7}\Omega\cdot$m　C. $1\times10^{-8}\Omega\cdot$m　D. $6\times10^{-8}\Omega\cdot$m

（4）仅将上述电路中的滑动变阻器位置互换，用来测量滑动变阻器 R_2 的全电阻是否合理？_____（选填“合理”或“不合理”），理由是_____（写出一个理由即可）

答案　（1）b、最左侧　（2）198　（3）6.02、$\frac{R_1L^2}{4n^3d}$、B　（4）不合理，理由见解析

解析　（1）由于多用电表电流档内阻是确定值，故选择电流表内接法；最左侧；

（2）图像斜率 $k=\frac{2.5\text{V}}{9.8\text{mA}}\approx255.1\Omega$，故 $R_1=k-R_A=255.1-57.0\approx198\Omega$

（3）读数为 $d=6\text{ cm}+0.1\text{ mm}\times2=6.02\text{ cm}$；$R_1=\rho\frac{n\pi d}{\pi(\frac{L}{2n})^2}=\rho\frac{4n^3d}{L^2}$，故 $\rho=\frac{R_1L^2}{4n^3d}$，代入数据得 ρ

$\approx 5.9\times10^{-7}\Omega\cdot\mathrm{m}$，故选 B；

【代入过程 $\rho=\dfrac{198\times0.14^2}{4\times301^3\times0.0602}\approx\dfrac{200\times14^2\times10^{-4}}{4\times300^3\times0.06}\approx\dfrac{200\times200\times10^{-4}}{4\times27\times6\times10^4}\approx\dfrac{1}{27\times6}\times10^{-4}\approx6\times10^{-7}\Omega\cdot\mathrm{m}$】

(4) 不合理。位置互换后，即使电流读数达到 $I=10\,\mathrm{mA}$，此时电压读数 $U=I(R_2+R_A)\approx0.67\,\mathrm{V}$ 也过小，指针偏转不明显，误差太大。

8. [2026 · 江西卷]某小组利用一个量程为 100μA、内阻为 1.3kΩ 的表头 (Ⓐ) 和两个电阻箱 (⊣⊢) 改装成量程为 0～200mV 和 0～2V 双量程电压表，并进行校准。

(1) 改装电压表的设计。请在图 (*a*) 虚线框内完成电路设计图，并在其中标出所用电阻的阻值。

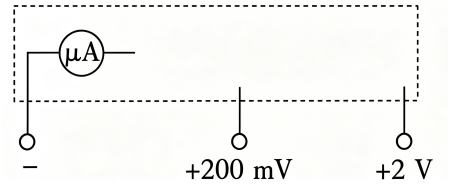


图 (*a*)

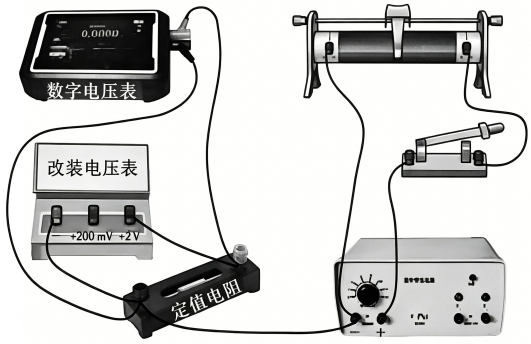


图 (*b*)

(2) 改装电压表 (2V 量程) 的校准。

①用改装电压表和数字电压表同时测量定值电阻两端电压。现有改装电压表、数字电压表、定值电阻、滑动变阻器、直流电源 (3V)、开关和导线，请在图 (*b*) 中画线完成电路实物连接。

②检查电路连接无误后，应先_____，再打开电源，闭合开关，测量数据，进行校准。

答案 (1) 见解析 (2) ①见解析；②使滑动变阻器滑片移到使定值电阻两端电压为零的位置

解析 (1)200mV 量程的分压电阻 $R_1=\dfrac{U_1}{I_g}-R_g=\dfrac{0.2\,\mathrm{V}}{0.1\,\mathrm{mA}}-1.3\,\mathrm{k\Omega}=0.7\,\mathrm{k\Omega}$；2 V 量程的分压电阻 $R_1+R_2=\dfrac{U_2}{I_g}-R_g=\dfrac{2\,\mathrm{V}}{0.1\,\mathrm{mA}}-1.3\,\mathrm{k\Omega}=18.7\,\mathrm{k\Omega}$，故 $R_2=18\,\mathrm{k\Omega}$。

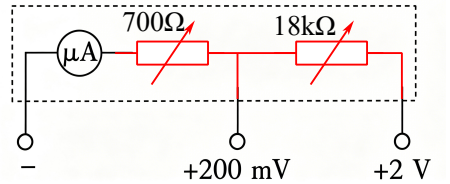


图 (*a*)

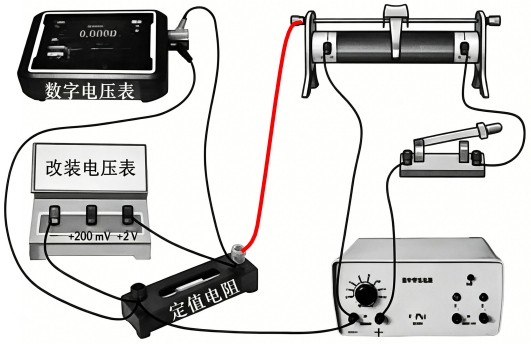


图 (*b*)

9. [2026 · 云南卷]某同学购买的蓝牙耳机电池上标有“80 mA · h”字样，为了测量该电池电动势和实际容量，该同学进行了如下实验：

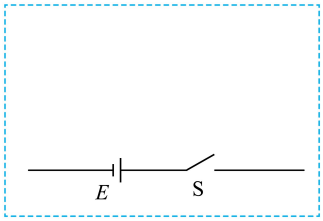
(1) 测量电池的电动势，可供选择的器材如下：

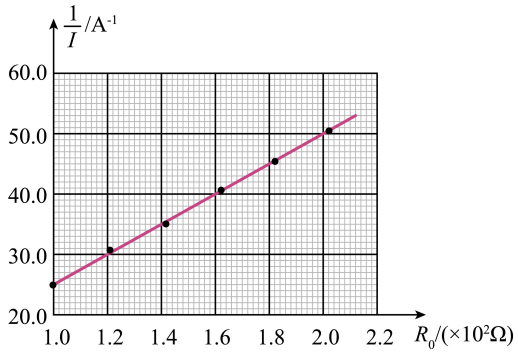
待测电池 E、电流表 A_1(0～0.6A，内阻较小)、电流表 A_2(0～100mA，内阻较小)、电阻箱 R_0(0～99999.9Ω)、开关S和导线若干。

完成下列填空：

①该电池允许的最大放电电流为80 mA，电流表应选_____(填“A_1”或“A_2”)；

②请根据上述器材设计实验电路，并在答题卡上指定位置补全电路图；



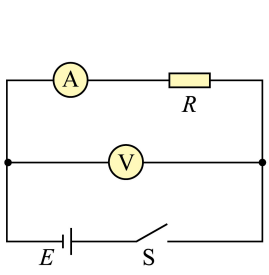


图(a)

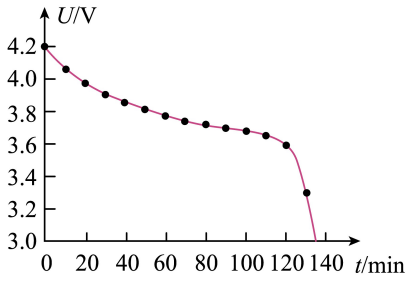
③按照②中正确电路图连接电路，闭合开关S，记录电流表示数 I 及电阻箱阻值 R_0；断开开关S，改变 R_0。重复以上步骤，得到 $\frac{1}{I}$ 和 R_0 的关系如图 (a) 所示，由图可得电池电动势 $E=$_____V(结果保留2位有效数字)。

(2) 该同学设计出测量电池容量的电路，如图 (b) 甲所示。完成下列填空：

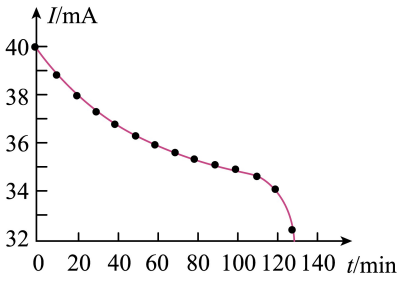
①电路连接完毕，闭合开关S，每隔一段时间记录电压表、电流表的示数 U 和 I，得到 U 和 I 随时间 t 变化的图像分别如图 (b) 乙、丙所示；



甲



乙



丙

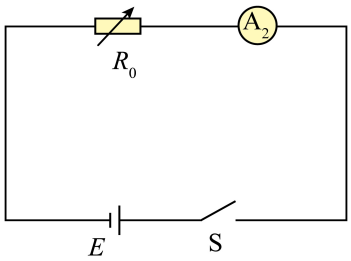
图(b)

②由图 (b) 乙、丙可知，随着电池持续放电，输出电压和电流均持续减小。当 $t=120$ min 时，电池输出电压为_____V，随后电池输出电压和电流开始迅速衰减，电池无法正常工作。电池处于正常工作状态可以放出的总电量称为实际容量，由测量结果可估算出该电池的实际容量为_____mA · h(以上结果均保留2位有效数字)。

答案 (1)①A_2、②电路图见解析、③4.0　(2)3.6、73

解析 (1)①由于电池允许的最大放电电流为80mA，为了使电表指针偏转明显，从而减小测量误差，

电流表应该选 A_2；



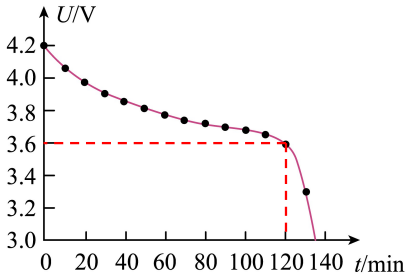
②采用安阻法测量，实验电路如图所示。

③根据闭合电路欧姆定律可知 $E=I(R_0+R_A+r)$，

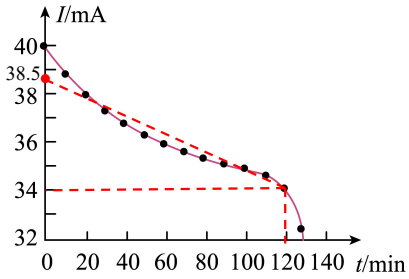
整理得 $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R_0+\frac{R_A+r}{E}$

由图像得斜率 $\frac{1}{E}=\frac{50.0-25.0}{(2.0-1.0)\times10^2}=0.25$，故 $E=\frac{1}{0.25}=4.0\,\mathrm{V}$

(2) 根据图 (b) 乙可知在 120 min 时，电池输出电压约为 3.6 V；



乙



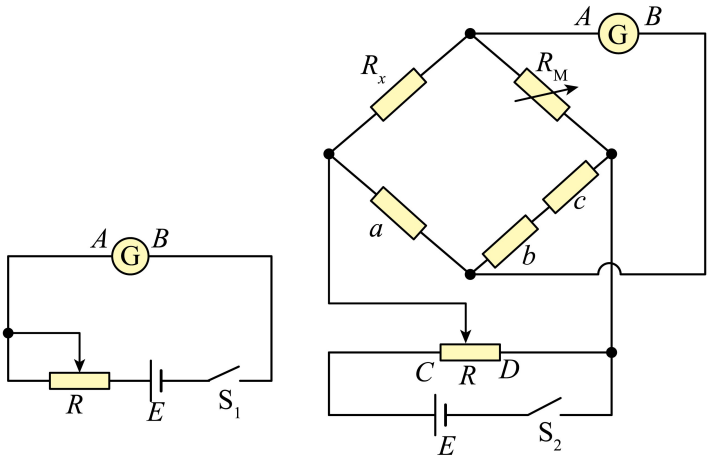
丙

120min 时的输出电流约为 34mA，此后不能正常工作；

根据 $i-t$ 图像围成的面积表示电量，对 $i-t$ 图线做近似处理如图，

则实际容量 $Q=\frac{(38.5+34)}{2}\,\mathrm{mA}\times2\,\mathrm{h}\approx73\,\mathrm{mA\cdot h}$

10. [2026 · 陕西卷]在电阻阻值测量中常常会用到平衡比较法。某实验小组测量待测电阻 R_x 的阻值。



(1) 实验步骤如下：

①图甲中，开关 S_1 断开时灵敏电流表 G(零刻线在表盘正中间) 的指针指向正中间，开关 S_1 闭合时 G 指针向 A 端偏转。用图乙所示的电路进行实验，开关 S_2 闭合前，滑动变阻器 R 的滑片应该置于_____端 (填“C”或“D”)。

②图乙中，a、b、c 是三个完全相同的电阻，R_M 为电阻箱，R_x 为待测电阻。闭合开关 S_2，调节滑动变阻器 R，发现灵敏电流表 G 指针向 B 端偏转，则此时应调节电阻箱使 R_M 阻值_____ (填“增大”或“减小”)，使 G 指零 (指针指向正中间)。

③读得电阻箱 R_M 的阻值为 846Ω，则待测电阻 R_x 的阻值为_____Ω。

(2) 当 a、b、c 三个电阻不完全相同时：

①用图乙所示电路按上述步骤使灵敏电流表 G 指零，读得 R_M 的阻值记为 R_1，在不增加实验器材的前提下需增加实验步骤完成实验，该步骤为_____(单选，填正确答案标号)。

A. 交换“a”和“b、c”的位置，调节电阻箱使 G 重新指零，读 R_M 阻值

B. 将滑动变阻器的滑片向 C 滑动，使 G 重新指零，读 R_M 阻值

C. 交换“R_M”和“b、c”的位置，调节电阻箱使 G 重新指零，读 R_M 阻值

②按所选步骤读得 R_M 的阻值记为 R_2，则待测电阻 R_x 的阻值为_____(用 R_1、R_2 表示)。

答案 (1)①D　②增大　③423　(2)①A　②$\sqrt{R_1R_2}$

解析 (1)①为了保护灵敏电流表 G，闭合开关 S_2 前，应使测量电路两端的电压最小，故滑片应置于 D 端；②由操作①可知电流表 G 指针向 B 端偏转时，电流表内部电流从 B 流向 A，说明 B 电势高于 A 电势，即 $U_{bc}>U_M$，要使 G 指零，应增大 R_M，使 R_M 上的分压 U_M 增大到 U_{bc}；

③G 指零后有 $U_{bc}=U_M$，根据分压原理可知 $\frac{R_x}{R_M}=\frac{R_a}{R_b+R_c}=\frac{1}{2}$，得 $R_x=\frac{R_M}{2}=423\Omega$；

(2)①A　②第一次调零后有 $\frac{R_x}{R_1}=\frac{R_a}{R_b+R_c}$；交换“$a$”和“$b$、$c$”的位置调零后有 $\frac{R_x}{R_2}=\frac{R_b+R_c}{R_a}$，联立得 $\frac{R_x}{R_1}=\frac{R_2}{R_x}$，得 $R_x=\sqrt{R_1R_2}$

11. [2026 · 广东卷]棉花的回潮率可通过测量一定压力下棉花的电阻得到。某科技小组制作了利用该方法测量棉花回潮率的简易装置，如图 1(a)。旋转螺杆压缩弹簧对棉花施加压力。由图 1(b) 所示电路测量棉花的电阻 R_c，所用器材有：电源 E；微安表 μA；定值电阻 R_0；电阻箱 R；开关 S_1 和 S_2；导线若干。

(1) 弹簧劲度系数测量。

①将装有弹簧的绝缘压板放到水平桌面上，如图 1(c)。用刻度尺测量并记录弹簧原长。

②在弹簧上端加一个砝码，待砝码_____后读数，记录弹簧长度。

③依次增加砝码，重复步骤②。

④根据实验数据，描绘压力 F 与弹簧压缩量 x 的 $F-x$ 图线，图线为直线，则图线的_____表示弹簧劲度系数。

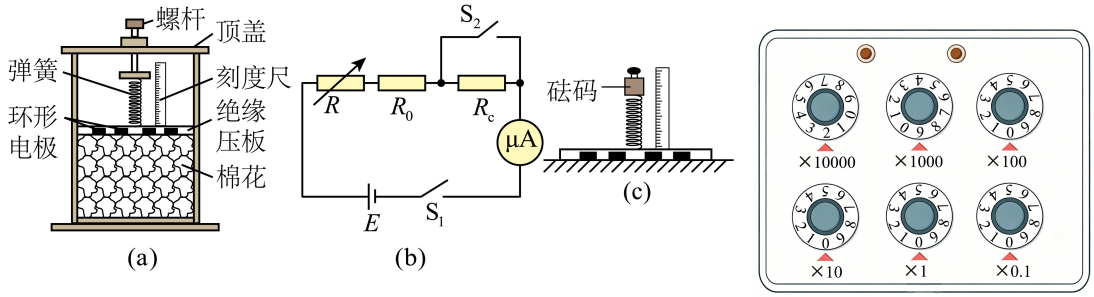


图1

图2

(2) 棉花的电阻 R_c 测量。

①称量装有弹簧和刻度尺的绝缘压板质量，记录质量。

②将某棉花样品装进装置中，装上绝缘压板，确保环形电极与棉花接触良好，固定顶盖，正确连接电路。

③闭合 S_1 和 S_2，调节 R，使 μA 指针偏转到某一合适位置。此时 R 的示数如图 2，读数为_____，记为 R_1。断开 S_1 和 S_2。

④缓慢旋进螺杆压紧棉花，确保压力达到回潮率测量的要求。S_2 保持断开，闭合 S_1，发现 μA 示数变_____，将 R 的阻值_____，使 μA 指针偏转到与步骤③相同的位置。记录 R 的示数 R_2。断开 S_1，利用所测量的物理量，可得棉花的电阻表达式 $R_c=$_____。

(3) 利用定标曲线确定棉花的回潮率。

答案 (1) 静止(或平衡、稳定)、斜率 (2)29000.0Ω、小、调小、R_1-R_2

解析 (1) [1] 添加砝码后，需要等待砝码平衡稳定后再读数，才能保证弹簧弹力等于砝码重力，得到准确的弹簧长度。[2] 根据胡克定律 $F=kx$，因此 $F-x$ 图线的斜率等于劲度系数 k。

(2) [1] 读数为 $R=2\times10000\Omega+9\times1000\Omega=29000.0\Omega$；

[2] S_2 断开，R_c 串联接入电路，总电阻增大，因此电流减小，微安表示数变小；

[3] 要让电流回到原来的数值，需要总电阻和原来相等，因此需要调小电阻箱 R 的阻值，使总电阻回到原来大小；[4] 由电流相等可知 $R_1+R_0=R_2+R_0+R_c$，得 $R_c=R_1-R_2$。

12. [2026 · 四川卷]现有一由柔性力敏薄膜和均压板构成的压力传感器，为探究该传感器的电阻变化规律，并用其测量压力，实验小组进行了如下实验。可用器材有：

待测压力传感器（以下简称“传感器”，空载阻值约 600Ω）

直流稳压电源 E（输出电压 6.00V）

定值电阻 R_0（阻值 80.0Ω）

滑动变阻器 R_1（最大阻值约 15Ω），滑动变阻器 R_2（最大阻值约 1000Ω）

电流表（量程 0~30mA，内阻 10.0Ω）

砝码（质量为 10g、20g、50g、100g、200g 各 2 个）

开关 S_1、S_2，导线若干

计算机

(1) 为探究传感器电阻随压力的变化规律，实验小组将传感器水平放置并连接实验器材，如图 1 所示。

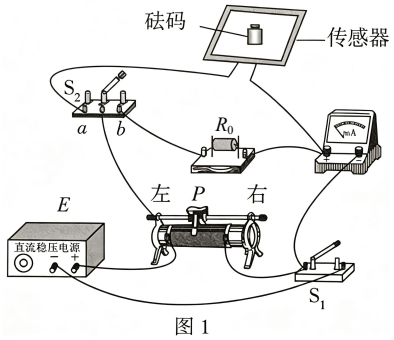


图 1

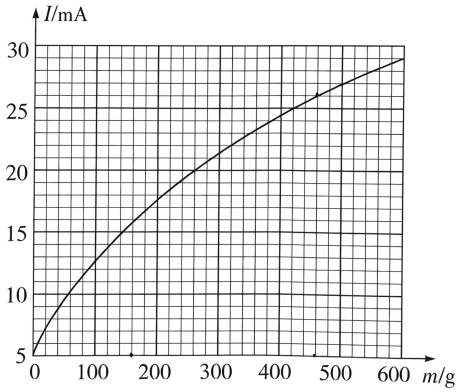


图 2

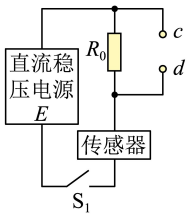


图3

①滑动变阻器应选用_____（选填“R_1”或“R_2”）。将滑动变阻器滑片 P 置于右端，闭合开关 S_1，将开关 S_2 拨至 b 端，调节滑片 P 使电流表满偏，此时 R_0 两端的电压为_____V（结果保留 3 位有效数字）。

②保持滑片 P 位置不变，将开关 S_2 拨至 a 端，传感器上砝码质量从零开始每次增加 20g，记录多组电流表读数 I 和对应的砝码质量 m，并绘制 $I-m$ 图像如图 2 所示。

③根据 $I-m$ 图像，结合图 1 电路分析可得，当 $m=460$g 时，传感器的阻值为_____Ω（结果保留 3 位有效数字）。用相同的方法处理数据，得到传感器电阻和压力的关系。

(2) 实验小组利用该传感器设计了如图 3 所示的压力测量电路。测量压力时，计算机采集 c、d 间电压值，处理数据得到此时传感器的电阻值，再根据实验 (1) 得到的传感器电阻和压力的关系显示出压力值。若在某次测量中，c、d 间电压为 2.00V，此时传感器的电阻为_____Ω，计算机显示的压力值为_____N。（结果均保留 3 位有效数字，当地重力加速度大小为 9.80m/s^2）

答案 (1) ① R_1、2.40；② 93.8；(2) 160、1.62

解析 (1) ① R_1、$U_0=I_mR_0=0.030\times80.0=2.40$V；② R_1 两端电压 $U_1=U_0+I_mR_A=2.4+0.03\times10=2.7$V，由题图 2 可知 $m=460$g 时 $I=26$mA，则传感器的阻值 $R_{传}=\dfrac{U_1}{I}-R_A=\dfrac{2.7}{0.026}-10\approx93.8\Omega$；(2) 由串联电路分压原理可知 $R_{传}=\dfrac{E-U_0}{U_0}R_0=160\Omega$；再根据实验 (1) 电路可知电流表读数 $I=\dfrac{U_1}{R_{传}+R_A}=\dfrac{2.7}{160+10}\approx0.016\,\text{A}=16\,\text{mA}$，根据题图 2 得 $m=165$g，故 $F=mg=0.165\times9.8=$

1.62 N

13. [202601·浙江卷] Ⅱ．在“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”实验中，

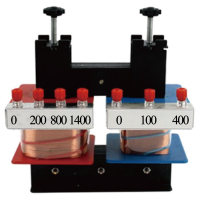


图1



图2

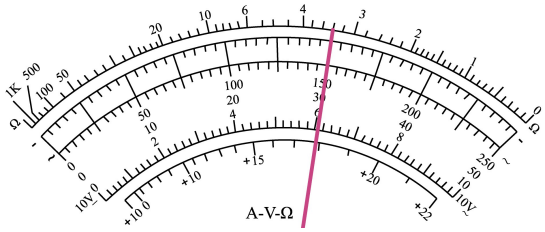


图3

(1) 小明先用多用电表测量图1变压器的“0”、“1400”接线柱间的电阻。选择开关位置如图2，经规范操作，指针位置如图3，测得阻值_____Ω；

(2) 用匝数 $n_1=200$ 和 $n_2=400$ 的两线圈进行实验，分别测得其两端电压为 U_1 和 U_2，记录于下表。以下说法正确的_____(多选)；

U_1/V	1.02	2.20	3.24	4.28	5.36
U_2/V	2.12	4.52	6.64	8.78	11.02

A. 与 n_1 对应的是副线圈　　B. 与 n_2 对应的是副线圈

C. 实验中采用低压直流电源　　D. 多用电表选择开关应调至交流电压挡

(3) 小明将两个线圈按图4方式上下叠放。下层线圈输入电压信号如图5所示，上层线圈与示波器相连，则示波器上显示的波形为_____。

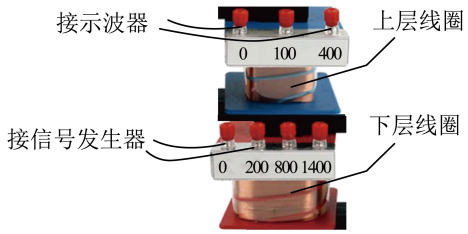


图4

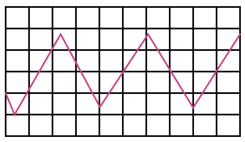
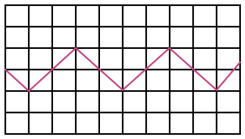
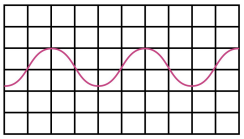


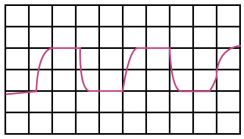
图5



A



B



C

答案 (1)34　(2)*AD*　(3)*C*

解析 (1) 欧姆档选择了“×10”，故读数为 $3.4\times10=34\Omega$；

(2)*AB*．实际实验时，副线圈电压会比理想电压值要小。根据表格可知每次实验总有 $2U_1<U_2$，故 U_1 为副线圈电压，则 n_1 对应的是副线圈。【方法二】假设与 n_2 对应的是副线圈，则由理想变压器 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{1}{2}$ 可知副线圈电压 $U_2=2U_1$，由于变压器有能量损耗，故应有 $U_2<2U_1$，与表格数据矛盾，故 *B* 错误；

CD．变压器原理是电磁感应，故应选择交流电源，测电压时应用交流电压档测有效值。

(3) 当下层线圈电压均匀增大时，产生的磁场均匀增大，故通过上层线圈的磁通量均匀增大，产生的感应电动势不变，波形为一段横线；当下层线圈电压均匀减小时，同样产生恒定的感应电动势，

方向反向；同时由于上层线圈的自感现象，波形中相邻两段横线之间不能发生突变，故C正确。

14. [2026 · 湖南卷]某探究小组用霍尔元件设计了一个测量微小位移的实验装置。

(1) 将螺旋测微器通过铜杆连接霍尔元件。霍尔元件伸入两块磁感应强度相同、同极相对放置的磁体间隙中，并处于两磁体中心竖直线上。以中心竖直线为z轴，其示意图如图1所示；霍尔元件上的导线与外部工作电路连接，其示意图如图2所示。

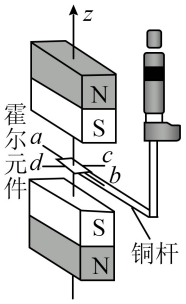


图1

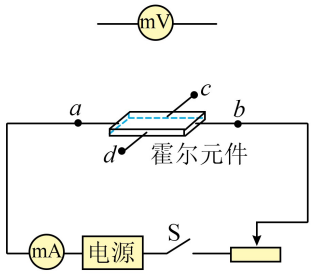


图2

(2) 将电压表接在霍尔元件的_____(填“a、b”或“c、d”)两端，闭合开关S；测量其霍尔电压，电压表指针如图3所示，此时电压为_____mV。

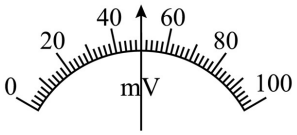


图3

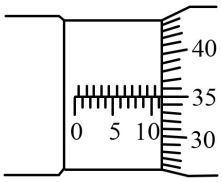


图4

(3) 旋转螺旋测微器的旋钮，使霍尔元件沿z轴移动至霍尔电压为0处，该处磁感应强度为0，此时的螺旋测微器读数如图4所示，该读数为_____mm。

(4) 保持电流不变，旋转螺旋测微器的旋钮，读出霍尔元件在不同位置的霍尔电压，得到10组数据如下表所示。

	z/mm	U/mV
1	11.670	9
2	11.960	16
3	12.302	25
4	12.633	35
5	12.952	42
6	13.270	48
7	13.594	57
8	13.930	67
9	14.246	74
10	14.585	81

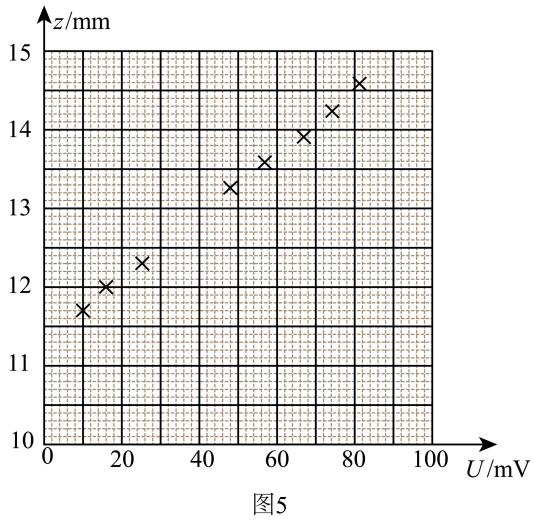


图5

(5) 在图5中描出第4、5组测量数据的坐标点，并作出$z-U$图像。

(6) 用此装置测量微小位移。取下螺旋测微器，将待测物体与铜杆连接，待测物体在 z 轴方向移动，其位移与霍尔元件的位移相等。某次测量中待测物体移动前电压表示数为 20 mV，移动后电压表示数为 60 mV，根据图像，此过程中物体位移的大小为_____ mm (保留 2 位小数)。

答案 (2)c、d；50　　(3)11.350　　(5) 见解析　　(6)1.65

解析 (2) 霍尔电压方向垂直于电流方向，也垂直于磁场方向，故在 c、d 端产生霍尔电压；

最小刻度为 2 mV，不用估读，故读数为 50 mV

(3) 千分尺估读一位，故读数为 $11+0.01\times35.0=11.350$ mm

(5) 见解析

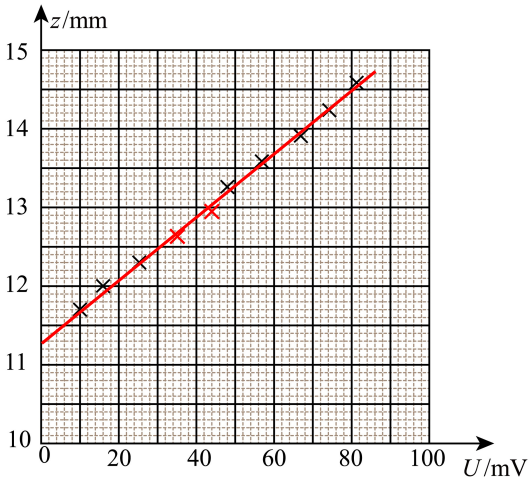
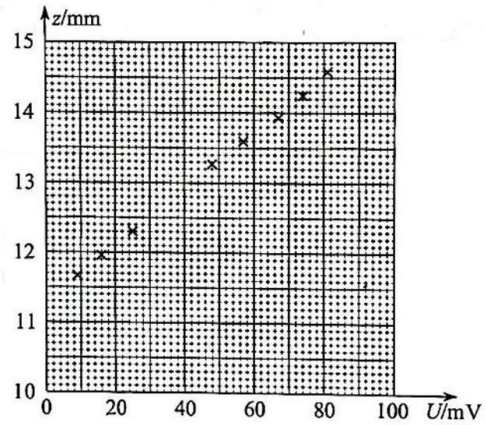


图5

原图：

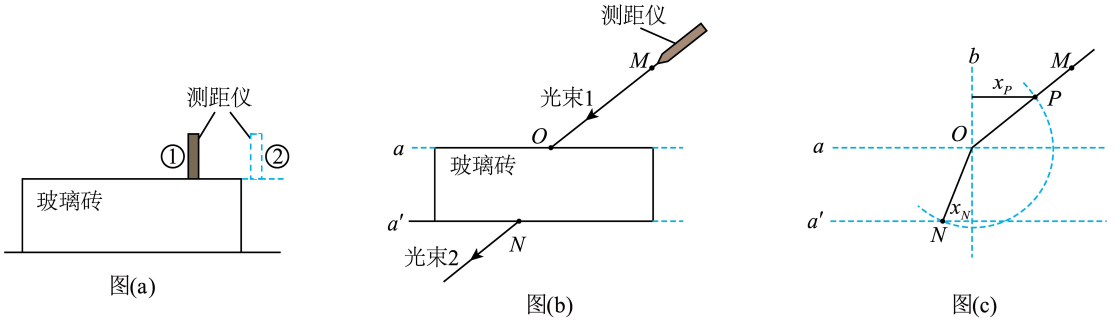


(6) 由 $z-U$ 图像可知，$\Delta z=13.75-12.1=1.65$ mm

九、其他实验

1. [2026 · 黑吉辽卷]如图 (a)，某同学利用激光测距仪分别在①、②位置测量玻璃砖厚度时，发现两次示数差异较大。他猜想这可能与玻璃砖的折射率有关，于是设计了如下验证实验。

如图 (b)，在白纸上描出玻璃砖的两个边 a 和 a'，使激光沿纸面以某一角度入射到玻璃砖侧面，在光束 1 上靠近光源处标记点 M，在光束 1 与 a 的交点处标记点 O，在光束 2 与 a' 的交点处标记点 N。



移走测距仪和玻璃砖。如图 (c)，过 O 点作 a 的垂线 b，连接 MO 和 ON，以 O 为圆心、ON 为半径作圆弧，与 MO 交于 P 点。分别测量 N、P 到 b 的距离，记为 x_N 和 x_P。

改变入射角多次测量，记录多组数据，计算玻璃砖折射率 n 及其平均值。结果表明，测距仪在①、②位置测量时的示数比值与此平均值近似相等。

回答下列问题：

(1) 上述实验过程中，下列说法正确的是_____(单选)。

A. 点 M 只能标记在光束 1 上靠近光源处　　B. 点 N 只能标记在光束 2 与 a' 的交点处

C. 只能以 ON 为半径作圆弧

(2) 处理数据时，$n=$_____(用 x_N、x_P 表示)。

(3) 该同学推测，测距仪是通过测量激光的传播时间 Δt 来计算距离的，则该测距仪示数是通过_____(选填“$c\frac{\Delta t}{2}$”或“$v\frac{\Delta t}{2}$”，c 和 v 分别是激光在真空和介质中的速度)计算的。

(4) 该同学将深度为 16.0 cm 的不锈钢杯装满水(折射率为 1.33)后，测量此杯深度，若测距仪的示数接近_____cm(保留至小数点后 1 位)，则符合他的推测。

答案　(1)B　(2)$\frac{x_P}{x_N}$　(3)$c\frac{\Delta t}{2}$　(4)21.3

解析　(1)B　(2)$n=\frac{x_P/r}{x_N/r}=\frac{x_P}{x_N}$　(3)$c\frac{\Delta t}{2}$　(4) 激光传播时间 $\Delta t=\frac{2h}{v}=\frac{2h}{c/n}$，

则距离测量值 $h'=c\frac{\Delta t}{2}=nh=1.33\times16=21.28\,\text{cm}\approx21.3\,\text{cm}$

2. [2026 · 江西卷]某小组探究盐水浓度对折射率的影响。

(1) 首先在纸带上画一条直线，并在直线上作两个明显的标记点 P_1、P_2，用游标卡尺测出两标记点的距离 s，如图 (*a*) 所示，读出 s = _____ cm。然后将纸带固定在空水槽底部。

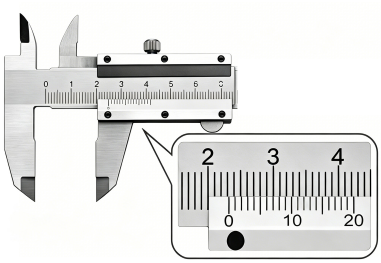


图 (*a*)

(2) 铁架台和水槽放置在同一水平桌面，激光笔安装于铁架台上。调整实验装置，使激光笔射出的光线与 P_1P_2 连线在同一竖直面内，光线与竖直方向成 45° 角，且光线照射的光斑恰好落在标记点 P_1，此后装置固定不动，如图 (*b*) 所示。向水槽里缓慢加入被测液体，直至光斑沿 P_1P_2 连线移动到标记点 P_2，测量并记录液面高度 h。

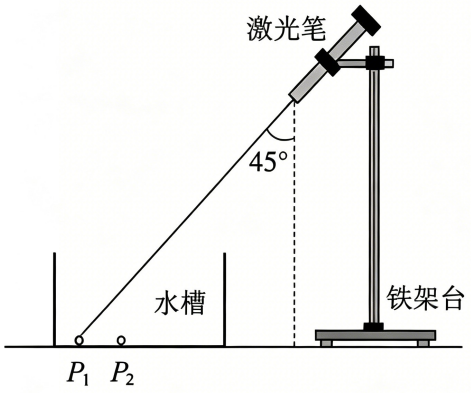


图 (*b*)

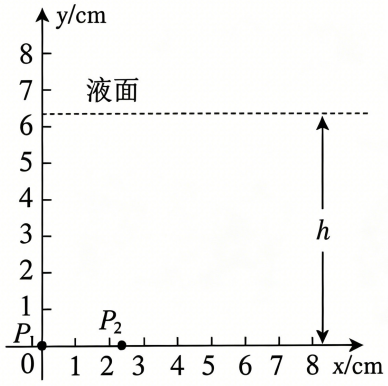


图 (*c*)

如图 (*c*) 所示，以 P_1 为坐标原点、沿 P_1P_2 方向为 x 轴建立直角坐标系，虚线为液面所在位置。请在图 (*c*) 中画出液面高度为 h 时，激光由空气入射到液体的光路图 (入射光线、法线和折射光线)。

(3) 由折射定律可得，液体的折射率 n = _____ (用 h、s 表示)。

(4) 该小组配置了 5 种不同浓度 c 的盐水，依据上述方案重复实验，所得数据点如图 (*d*) 所示。为了得到折射率 n 随浓度 c 的变化规律，请在图 (*d*) 中作出 $n-c$ 图线。

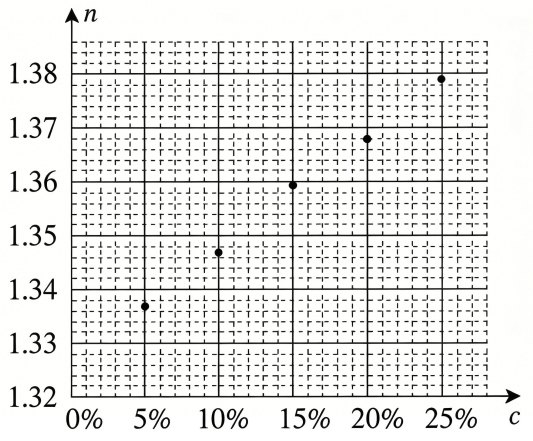


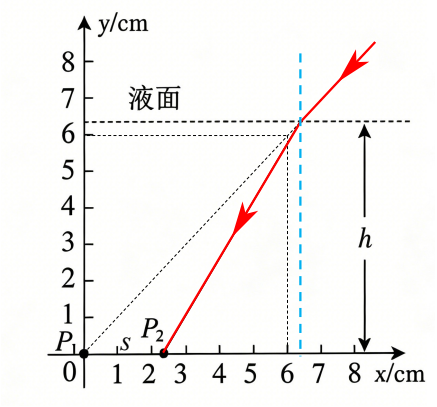
图 (*d*)

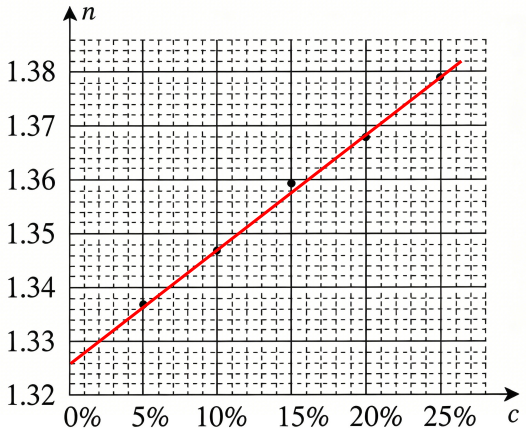
(5) 从图 (*d*) 中可得盐水折射率 n 与其浓度 c 的函数关系式为 n = _____。(式中数字保留三位小数)

答案 (1)2.325　(2) 见解析　(3)$\frac{\sqrt{2(h-s)^2+2h^2}}{2(h-s)}$　(4) 见解析　(5)$0.213c+1.326$

解析 (1)20 分度游标尺最小刻度为 0.05 mm，故读数 $s=23\ \text{mm}+0.05\times5\ \text{mm}=2.325\ \text{cm}$。

(2) 如图





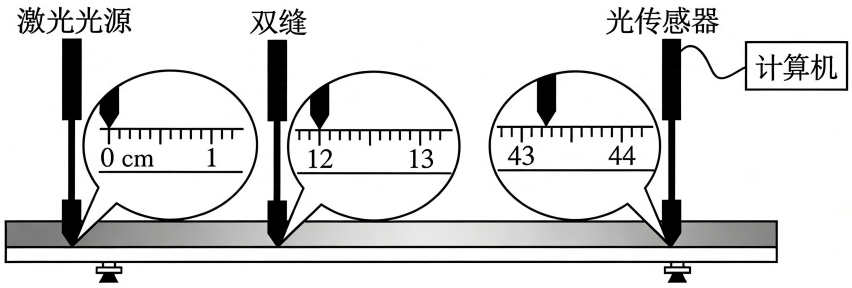
(3) 折射角 θ 满足 $\sin\theta=\frac{h-s}{\sqrt{(h-s)^2+h^2}}$，故折射率 $n=\frac{\sin45^\circ}{\sin\theta}=\frac{\sqrt{2(h-s)^2+2h^2}}{2(h-s)}$

(4) 如图

(5) 斜率 $k=\frac{1.38-1.33}{0.255-0.02}\approx0.213$，截距 $b=1.326$，故 $n=0.213c+1.326$

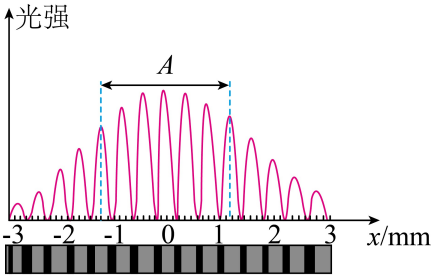
3. [2026 · 山东卷]某实验小组用光传感器做双缝干涉实验并测量光的波长 λ。

(1) 如图甲所示，将激光光源、间距 $d=0.50\text{mm}$ 的双缝和光传感器依次安装在光具座上，打开光源，调整光路，此过程中应避免激光直接射入眼睛，因为激光具有 _____ (填“亮度高”或“相干性好”) 的特点。



(2) 调整光路后，各器件位置如图甲所示，双缝到光传感器的距离 $l=$ _____ cm。

(3) 连接光传感器至计算机，得到干涉条纹的光强分布如图乙所示。测得 A 区域的宽度为 2.40mm，则条纹间距 $\Delta x=$ _____ mm(保留两位有效数字)。

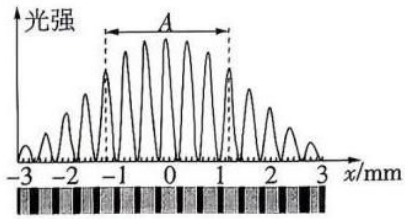


图乙

(4) 利用公式 $\lambda=$ _____ (用 l、d 和 Δx 表示)，某同学计算得该激光的波长 λ 为 640nm，此波长的光为电磁波中的 _____ (填“红外线”“可见光”或“紫外线”)。

答案 (1) 亮度高 (2)31.25 (3)0.40 (4)$\lambda=\dfrac{d\Delta x}{l}$，可见光

解析 (1) 亮度高 (2)$l=43.25-12.00=31.25$ (3)$\Delta x=\dfrac{2.40}{6}=0.40$ (4) 由 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$ 得 $\lambda=\dfrac{d\Delta x}{l}$，可见光范围为 400~760 nm



4. [202606 · 浙江卷]－Ⅰ．“用双缝干涉测量光的波长”的实验装置如图 1 所示，

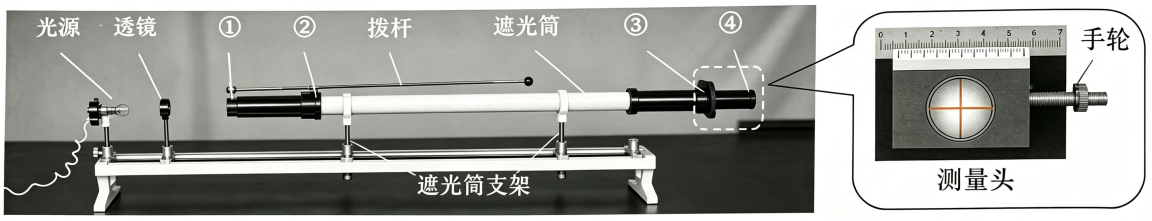


图 1

(1) 在图 1 的装置中，1 位置为_____(选填“单缝”或“双缝”)

(2) 若在目镜视场中发现整体很暗且条纹不清晰，需要_____(选填“上下”或“左右”) 拨动拨杆，并且前后移动光源或透镜，使光源发出的光能更集中地会聚在_____(选填“①”或“②”) 位置。若图样右侧条纹清晰，但左侧较暗，如图 2 所示，可调节_____(选填“拨杆”、“手轮”或“光源”)，使整个目镜视场条纹清晰明亮。

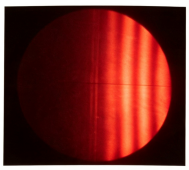


图 2

(3) 实验发现测量头中的分划板中心刻线与干涉条纹不平行，如图 3，则需要_____

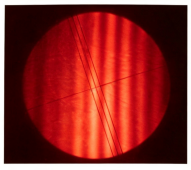


图 3

A. 拨动拨杆　　B. 旋转整个测量头

C. 旋转单缝　　D. 转动测量头上的手轮

(4) 干涉图样中相邻两条亮条纹间的距离 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，式中 L 指的是图 1 装置中_____

A. ①③之间的距离　　B. ①④之间的距离　　C. ②③之间的距离　　D. ②④之间的距离

答案 (1) 单缝　(2) 左右、①、手轮　(3)B　(4)C

解析 (2)【个人观点】“右侧清晰、左侧暗”这种视场没对准亮区的现象，正确的调节是转动手轮，带动目镜视场朝亮区方向移动，直到整个视场都变得明亮、条纹均匀清晰为止。

5. [202601·浙江卷] Ⅲ．在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，



(1) 以下说法正确的是_____；

A. 图示油膜形状是撒粉太少引起的

B. 按图示油膜面积进行计算，测得油酸分子直径偏大

C. 油酸酒精溶液放置长时间后使用，测得油酸分子直径偏大

(2) 测得一滴油酸酒精溶液所含纯油酸的体积为 V，根据画有油膜轮廓玻璃板上的坐标方格，数出轮廓范围内正方形的个数，整格的为 N_1 个，多于半格不足整格的为 N_2 个。已知每格的面积为 S，则油酸分子的直径为_____。

答案 (1)B　(2)$\frac{V}{(N_1+N_2)S}$

解析 (1)A．图示形状是由于撒粉太多或不均匀导致油膜无法均匀散开；

B．测量面积 S 偏小，则测得直径 $d=\frac{V}{S}$ 偏大；

C．长时间放置后，酒精挥发导致油酸浓度偏大，即一滴溶液中油酸含量偏多，会导致油膜面积 S 偏大，则测得直径 $d=\frac{V}{S}$ 偏小。

(2)$d=\frac{V}{(N_1+N_2)S}$

6. [2026·重庆卷]气弹簧常用于生产生活中许多减震系统，通常由密闭有气体的气缸、活塞和活塞杆组成。气弹簧中活塞杆的一端位于气缸内、并固定有活塞，另一端位于气缸外。某兴趣小组通过实验，测试了气弹簧的特性。根据下列信息完成以下小题。

他们首先研究活塞杆伸出的长度与缸内气体对活塞压力之间的关系。实验装置如图1所示，气弹簧竖直放置，上端固定于水平横梁，下端连接测力装置。

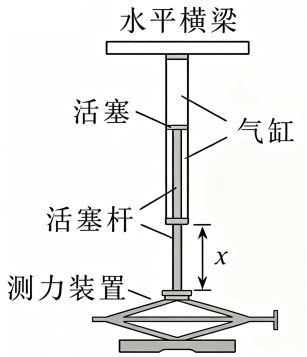


图1

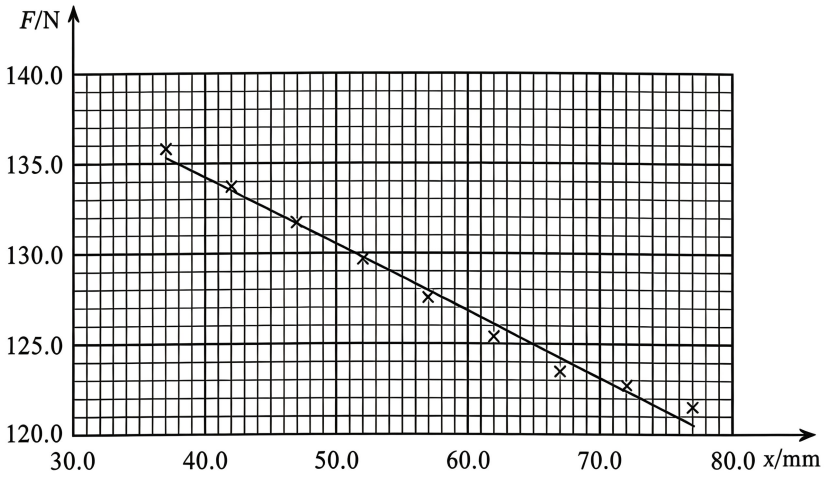


图2

(1) 根据实验设计，要求测量活塞杆伸出长度x的仪器最小分度值为1mm，则最合适的测量仪器为_____(填“毫米刻度尺”或“螺旋测微器”)。

(2) 根据实验数据得到缸内气体对活塞的压力F随x的变化关系如图2所示(已消除大气压力、摩擦力、活塞和活塞杆质量的影响)。若将气弹簧等效为弹簧，则由图可知，其劲度系数约为_____N/m(保留3位有效数字)。

(3) 由图2可知，x从40.0mm变化到70.0mm过程中，缸内气体对外做功约为_____J(保留3位有效数字)。

答案 (1) 毫米刻度尺 (2)370(361~381均可) (3)3.86(3.82~3.90均可)

解析 (1) 毫米刻度尺 (2)$k=\left|\dfrac{135.0-125.0}{(38.0-65.0)\times10^{-3}}\right|\approx370\text{N/m}$ (3) 图像面积反映了气体对外做功，故$W=\dfrac{134.3+123.0}{2}\times(70-40)\times10^{-3}=3.86\text{ J}$

7. [2026·重庆卷]气弹簧常用于生产生活中许多减震系统，通常由密闭有气体的气缸、活塞和活塞杆组成。气弹簧中活塞杆的一端位于气缸内、并固定有活塞，另一端位于气缸外。某兴趣小组通过实验，测试了气弹簧的特性。根据下列信息完成以下小题。

他们接着研究了气弹簧伸缩过程中气缸内密闭气体的状态变化。

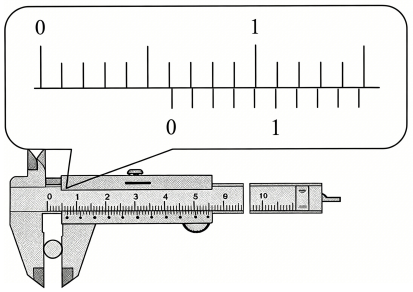


图1

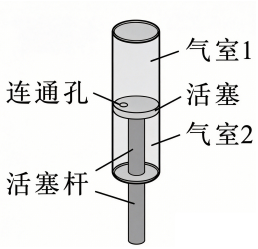


图2

(1) 用50分度游标卡尺测量活塞杆的直径示数如图1所示，则活塞杆直径 d 的读数为_____mm。

(2) 气缸的结构示意图如图2所示。气缸被活塞分成1和2两个互相连通的气室，达到平衡时，两个气室内气体在活塞上、下表面的压力差就是缸内气体对活塞的压力 F，缸内气体的压强 $P=$_____(用 F 和 d 表示)。

(3) 缸内气体的最小体积为 V_0，忽略活塞厚度，活塞杆的总长度与气缸的长度视为相同，活塞杆伸出长度为 x 时缸内气体的体积 $V=$_____(用 V_0、d 和 x 表示)。

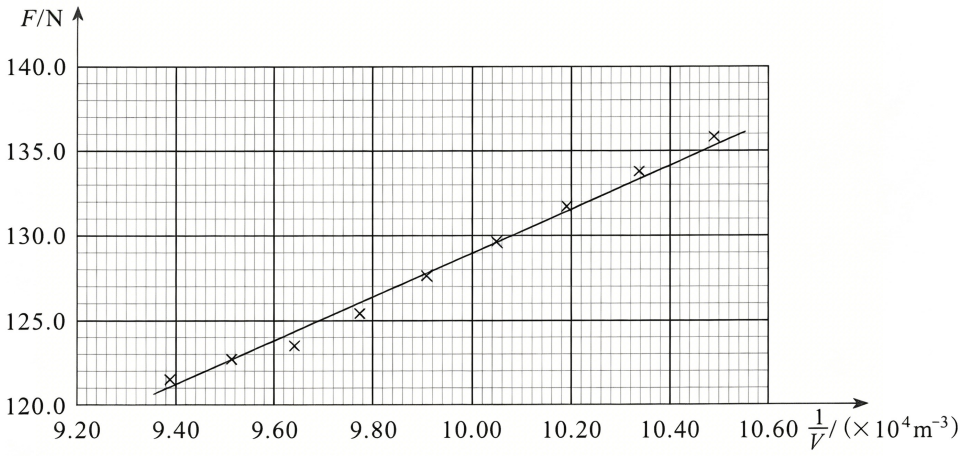


图3

(4) 由实验数据得到 F 随 $\frac{1}{V}$ 变化的拟合直线如图3所示。该小组在拟合直线上读取两点坐标 $(10.40\times10^4\text{m}^{-3},\ 134.3\text{N})$，和 $(9.40\times10^4\text{m}^{-3},\ 121.3\text{N})$，请写出拟合直线方程，由此判断缸内气体的状态变化是否符合理想气体的等温变化规律并给出理由。_____

答案 (1)6.04　(2)$\frac{4F}{\pi d^2}$　(3)$V_0+\frac{1}{4}\pi d^2x$　(4)$F=\frac{1.30\times10^{-3}}{V}-0.9$；不符合，理由：因直线与纵轴的截距不为零，不满足 $FV=C$(C 为常数)，而 F 与缸内气体压强 P 成正比，故不满足 $PV=C'$(C' 为常数)，不符合理想气体的等温变化规律。

解析 (1)50分度游标卡尺最小刻度为0.02mm，故读数为6mm＋0.02mm×2＝6.04mm；

(2) 平衡时两气室压强相等，活塞上、下表面受气体作用的有效面积之差 $\Delta S=\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2$，

故压力差 $F=P\Delta S=\frac{\pi d^2P}{4}$，故 $P=\frac{4F}{\pi d^2}$；

(3) 当活塞杆全部在气缸里时 (即 $x=0$) 缸内气体有最小体积 V_0，当杆伸出 x 时，气体体积增大 $\Delta V=\pi(\frac{d}{2})^2x$，此时缸内气体体积 $V=V_0+\Delta V=V_0+\frac{\pi d^2x}{4}$；

(4) 因直线与纵轴的截距不为零，不满足 $FV=C(C$ 为常数)，而 F 与缸内气体压强 P 成正比，故不满足 $PV=C'$ (C' 为常数)，不符合理想气体的等温变化规律。

或：因直线与纵轴的截距相对较小，在实验误差允许范围内 $FV=C$ (C 为常数)，而 F 与缸内气体压强 P 成正比，故 $PV=C'$ (C' 为常数)，符合理想气体的等温变化规律。

8. [2026 · 广西卷]某同学利用注射器、压强传感器、塑料管等器材，在 25℃ 的恒温环境下做“探究气体等温变化的规律”实验。

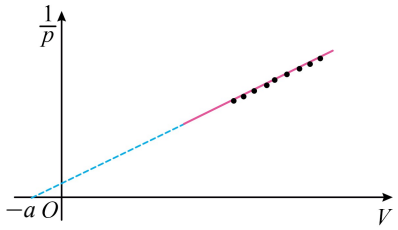
(1) 实验过程中，缓慢推动注射器活塞改变体积是为了保证封闭气体的_____不变；

(2) 由注射器壁上的刻度读出的是注射器内气体的_____，由压强传感器测得气体的压强；

(3) 在测量某次数据时，该同学出现如图甲所示的误操作，若体积读数准确且传感器工作正常，此时记录的压强值与 25℃ 时同体积下压强的理论值相比，会_____；



图甲



图乙

(4) 完成实验后，根据实验数据作 $\frac{1}{p}-V$ 图像如图乙，得到一条直线，但不经过原点。请分析图乙中直线不经过原点的原因并提出改进实验的措施 (写出一种即可)。

①原因：_____；

②措施：_____。

答案 (1) 温度　(2) 体积　(3) 偏大　(4) ①忽略了注射器与传感器连接的塑料管中残留气体的体积；②减小塑料管的长度、提前测定残留体积并修正测量数据、改用内径更小的塑料管等

9. [2026 · 四川卷]某兴趣小组用注射器、挂钩式电子秤、橡胶管塞、细线等探究气体等温变化的规律，实验过程如下：

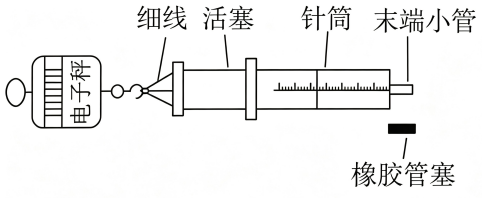


图 1

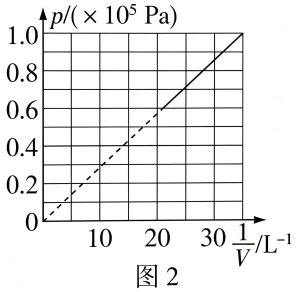


图 2

(1) 如图 1 所示，将细线系在活塞一端，水平固定针筒，用电子秤挂钩钩住细线，沿水平方向匀速拉动活塞，记录电子秤示数，计算出活塞与针筒内壁间摩擦力大小 f。

(2) 用橡胶管塞塞满注射器末端小管，确认装置密封。

(3) 用电子秤沿水平方向_____(选填“缓慢”或“快速”) 拉动活塞，活塞位于刻度 30.0mL 处时记录第一次电子秤示数，此后针筒内空气柱的体积 V 每增加 2mL 记录一次示数，得到多组数据。

(4) 计算针筒内空气柱压强 p。已知大气压强为 p_0，活塞横截面积为 S，由电子秤示数计算出活塞所受拉力大小 F，则 $p=$_____(用 p_0、f、F、S 表示)。

(5) 绘制 $p-\frac{1}{V}$ 图像如图 2 所示。实验表明：质量一定的空气，在温度保持不变的情况下，压强 p 与体积 V 成_____(选填“正比”或“反比”)。

答案 (3) 缓慢　(4)$p_0-\frac{F-f}{S}$　(5) 反比

解析 (3) 为了保持气体的温度不变，应该用电子秤沿水平方向缓慢拉动活塞；(4) 对活塞受力分析得 $F=(p_0-p)S+f$，得 $p=p_0-\frac{F-f}{S}$；(5) 反比

10. [2026 · 河北卷]某学习兴趣小组通过查阅资料了解到，利用电磁阀控制压缩空气驱动活塞运动可实现公交车门开合，遂以“电控气动技术的原理探索与应用”为主题开展探究式学习。

(1) 分析电控气动门工作原理

图 1 是电控气动系统开门过程的简化图。电磁阀中的固定铁芯与线圈组成电磁铁，当开关 S_1 闭合时，衔铁在电磁铁的吸引下带动三个阀芯一起向左运动，复位弹簧被压缩，储气罐内压缩空气经气孔 B 进入汽缸右侧气室，推动汽缸内活塞向_____(填“左”或“右”)运动，车门打开。同时，汽缸左侧气室中的气体从气孔_____(填“S”或“R”)排出。当 S_1 断开时，复位弹簧推动衔铁和阀芯向右运动，压缩空气推动活塞，车门关闭。

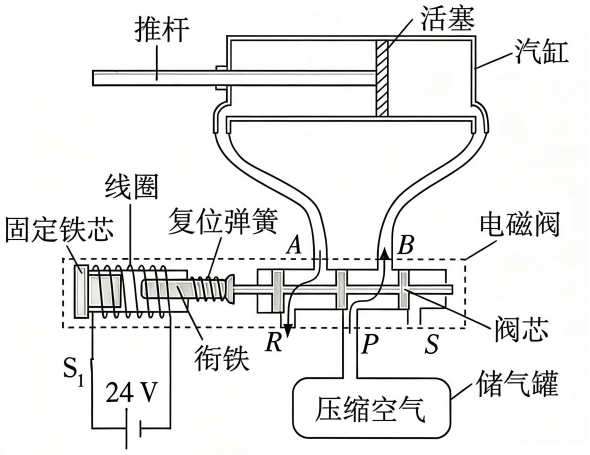


图 1

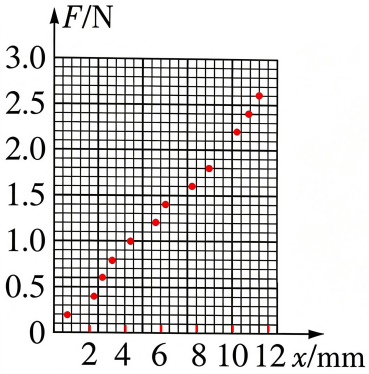


图 2

(2) 探究复位弹簧的受力情况

①同学们测量了复位弹簧在弹性限度内受到的作用力 F 与形变量 x 的数据，并标在了坐标纸上，如图 2 所示。请在图 2 上绘制出该弹簧的 $F-x$ 图像。

②根据绘制的 $F-x$ 图像，得到该弹簧的劲度系数 $k=$_____N/mm(保留两位有效数字)。同学们据此估算出电磁阀中电磁铁对阀芯的作用力仅有几牛顿，而资料显示，公交车实现车门开合所需的作用力高达上千牛顿。系统利用电控气动技术实现了“四两拨千斤”的效果。

(3) 电控气动技术的应用设计

受此启发，同学们设计了一款温室自动开窗器，电路如图 3 所示。控制电路板的程序能够实现温度高于 35℃ 时自动闭合开关 S_2，温度低于 25℃ 时自动断开 S_2。电磁阀线圈工作电压为 24V，而控制电路板的工作电压 (5V) 和电流较小，需配置电磁继电器作为控制开关。请在图 3 上连线，完成电路，实现如下效果：S_2 闭合时，电磁阀中的电磁铁吸引衔铁左移，窗户打开；S_2 断开时，电磁阀中的衔铁右移，窗户关闭。

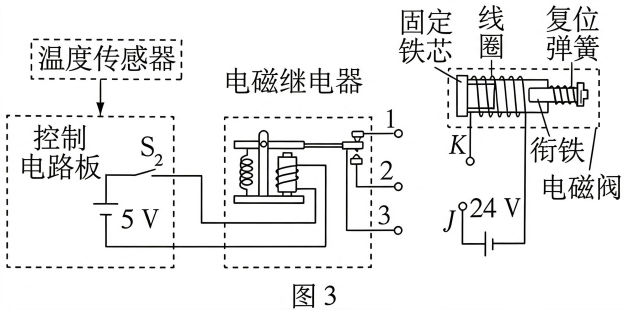


图 3

答案 (1) 左、R　(2) ①见解析；②0.22　(3) 见解析

解析 (1) 左、R　(2) ① $F-x$ 图像如图；② 由图可得 $k=\frac{2.2\text{N}}{10\text{mm}}=0.22\text{ N/mm}$　(3) 如图

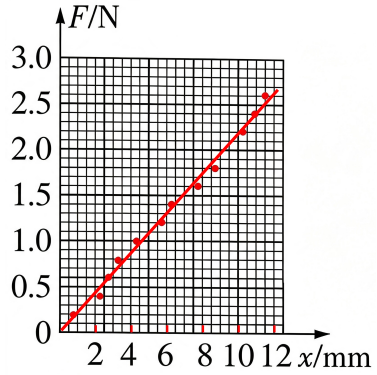


图 2

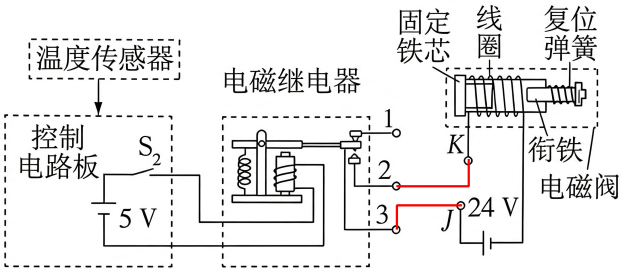
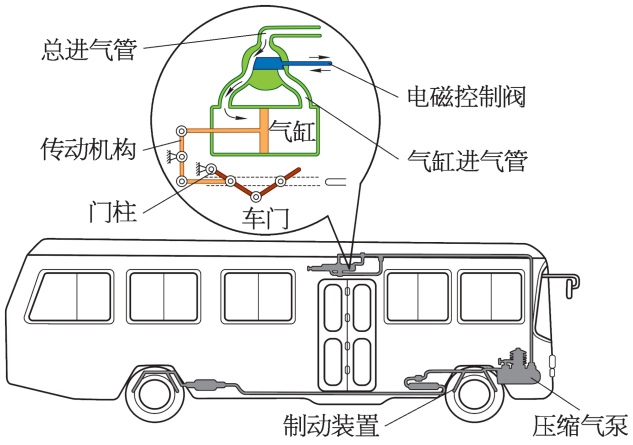


图 3

教材　沪科技版



十、大题

1. [2026 · 江西卷]西汉青铜雁鱼灯构思巧妙，体现了我国古代工匠的智慧，如图 (a) 所示。假设灯内一定质量的理想气体吸收了热量 Q，从初态 A 经历压强为 p_0 的等压过程变化到末态 B，如图 (b) 所示。已知气体初态温度为 T_0、体积为 V_0，末态体积为 V_1。求：



图 (a)

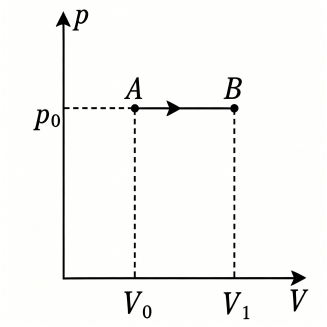


图 (b)

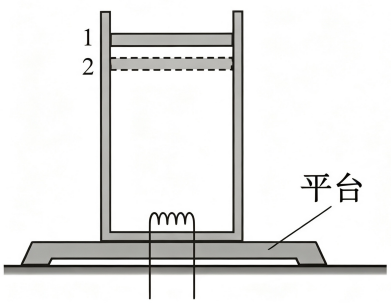
(1) 气体在末态 B 时的温度 T_1；

(2) 该过程中气体内能的变化量 ΔU。

答案 (1) 等压过程，有 $\frac{V_0}{T_0}=\frac{V_1}{T_1}$　　得 $T_1=\frac{V_1T_0}{V_0}$

(2) $\Delta U=W+Q$　　其中 $W=-p_0(V_1-V_0)$　　得 $\Delta U=Q-p_0(V_1-V_0)$

2. [202606·浙江卷] 如图所示，在平台上固定安装一个内壁光滑的绝热汽缸，缸内被绝热活塞封闭有一定质量的理想气体，活塞处于位置1被锁定，抽气后气体处于状态A。解除锁定，活塞移至位置2处时再次被锁定。接着用电阻丝为气体加热，直至气体达到状态B。已知气体在状态A时，压强$p_A=9\times10^4\,\mathrm{Pa}$，体积$V_A=20\,\mathrm{L}$，温度$T_A=300\,\mathrm{K}$，在状态$B$时，压强$p_B=1.5\times10^5\,\mathrm{Pa}$，体积$V_B=18\,\mathrm{L}$。



(1) 求气体在状态B时的温度T_B；

(2) 从状态A到状态B，气体内能增加$\Delta U=2.2\times10^3\,\mathrm{J}$；电阻丝发热为气体提供的热量$Q=1.8\times10^3\,\mathrm{J}$。求状态$A$到状态$B$过程中外界对气体做的功$W$；

(3) 气体处于状态B时，让平台匀速上升，则气体的内能_____(选填“增大”、“减小”或“不变”)；相对于汽缸，向上运动的分子数目_____(选填“明显大于”、“明显小于”或“近似等于”)向下运动的分子数目。

答案 (1) 由$\frac{p_AV_A}{T_A}=\frac{p_BV_B}{T_B}$　　得$T_B=450\,\mathrm{K}$

(2) 由$\Delta U=W+Q$　　得$W=400\,\mathrm{J}$

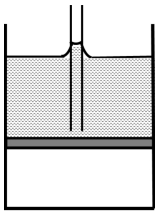
(3) 不变、近似等于

3. [202601·浙江卷] 如图所示，导热良好的瓶内，用一质量为m_1、横截面积为S的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞能无摩擦移动，在活塞上方有质量为m_2的液体。初始时，瓶内气体处于状态A，其体积为V_A。将一根质量不计的细管插入液体，液体在细管中上升到一定高度后保持静止。随后通过细管缓慢吸走全部液体，此时瓶内气体处于状态B。环境温度保持不变，从状态A到状态B过程中，气体吸收热量$Q=2.05\,\mathrm{J}$。已知$S=40\mathrm{cm}^2$，$V_A=400\mathrm{cm}^3$，$m_1=0.4\mathrm{kg}$，$m_2=2\mathrm{kg}$，大气压强$p_0=0.99\times10^5\mathrm{Pa}$。

(1) 图中液体_____(选填“浸润”或“不浸润”)管壁；若细管仅内径变小，与原细管相比，管内液面将_____(选填“升高”、“不变”或“降低”)；

(2) 求气体在状态B时的体积V_B；

(3) 求气体从状态A到状态B过程中对外做的功W_{AB}。



答案 (1) 浸润、升高　(2)$V_B=420\mathrm{cm}^3$　(3)$W_{AB}=2.05\,\mathrm{J}$

解析 (1) 如图细管中液面上升且液面呈现凹状，则液体浸润管壁，若细管仅内径变小，与原细管相比，毛细现象更加明显，管内液面升高。

(2) 状态A时内部气体压强$p_A=\frac{(m_1+m_2)g}{S}+p_0=1.05\times10^5\mathrm{Pa}$

状态B时压强$p_B=\frac{m_1g}{S}+p_0=1.00\times10^5\mathrm{Pa}$

等温过程，有$p_AV_A=p_BV_B$　　得$V_B=1.05V_A=420\mathrm{cm}^3$

(3) 根据热力学第一定律，得 $\Delta U=W+Q$　　其中 $Q=2.05\ \mathrm{J}$

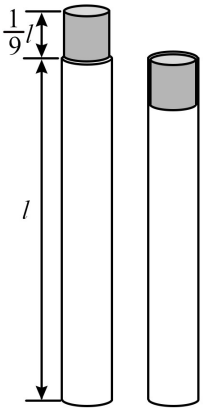
由于温度不变，故 $\Delta U=0$，所以外界对气体做功 $W=-Q$

故气体对外做的功 $W_{AB}=-W=Q=2.05\ \mathrm{J}$

4. [2026 · 山东卷]如图甲所示，竖直固定的圆柱形透明管深度为 l，管内横截面积为 S；圆柱形物块长为 $\frac{1}{9}l$，横截面积为 S，密度为 ρ。室温 $T_1=300\mathrm{K}$ 时，某同学将表面涂抹润滑油的物块竖直置于管口封住管内气体，并使物块缓慢进入透明管，过程中气体无泄漏。当物块处于静止状态时，其上表面恰好与管口齐平，如图乙所示。已知透明管与物块均具有良好的导热性能，不计物块与透明管间的摩擦，重力加速度大小为 g，大气压强恒定，空气可视为理想气体。

(1) 求当地的大气压强 p_0；

(2) 装置放置较长时间后，物块下方气柱高度为 $\frac{7}{10}l$，该同学认为此装置漏气，测得此时室温 $T_2=270\mathrm{K}$，求管内剩余气体与密封刚完成时气体的质量比。



图甲　图乙

答案 (1) (2)

解析 (1) 由于导热良好，故视为等温过程，有 $p_0Sl=pS(l-\frac{1}{9}l)$　得 $p=\frac{9}{8}p_0$

物块处于静止时有 $(p-p_0)S=mg=\frac{1}{9}lS\rho g$　得 $p_0=\frac{8}{9}\rho gl$

(2) 假设装置不漏气，则气体从 T_1 降温到 T_2 时有 $\frac{p_0Sl}{T_1}=\frac{pSL}{T_2}$　得 $L=\frac{8l}{10}$

根据同温同压下，同种气体的质量比等于体积比，故 $\frac{m_{余}}{m_0}=\frac{\frac{7}{10}l}{L}=\frac{7}{8}$

5. [2026 · 广东卷]图 (a) 所示的空气垫是由多个相连的独立气室构成的包装材料，其简化模型如图 (b)。充气前气室内均没有气体，在室温 T_0 下，将压强 p_0、体积 V_0 的气体通过单向阀充入 10 个气室(忽略气道内气体)，此时每个气室均为圆柱体，横截面半径为 r，长度为 h。当充气后的气室受到挤压变形时，其横截面变成图 (c) 所示的“跑道”形 (两端是直径为 d 的半圆)，且气室长度、横截面周长均保持不变，气室内气体可视为理想气体，充气及挤压变形过程中气体温度始终与室温相同。

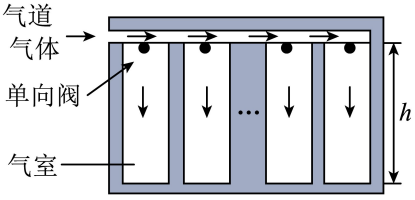
(1) 求充气后未挤压变形时气室中的压强 p_1；

(2) 求挤压变形后气室中的压强 p_2；

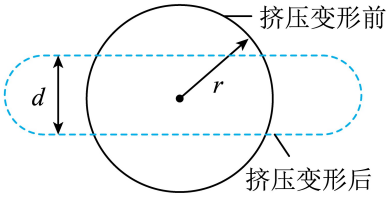
(3) 已知气室中的压强超过 p_c 时气室会爆破，若气室经如图 (c) 所示的挤压变形后，体积不变、室温升高，求气室不爆破的最高室温 T_c。



图(a)



图(b)



图(c)

答案 (1)$p_1=\dfrac{p_0V_0}{10\pi hr^2}$ (2)$p_2=\dfrac{2p_0V_0}{5\pi hd(4r-d)}$ (3)$T_c=\dfrac{5\pi hd(4r-d)p_cT_0}{2p_0V_0}$

解析 (1) 等温过程，由 $p_0V_0=p_1(10\pi r^2h)$ 得 $p_1=\dfrac{p_0V_0}{10\pi hr^2}$

(2) 形变后，“跑道”形的直线段的长为 $x=\dfrac{2\pi r-\pi d}{2}$，

故横截面面积 $S=\pi(\dfrac{d}{2})^2+xd=\dfrac{4\pi rd-\pi d^2}{4}$

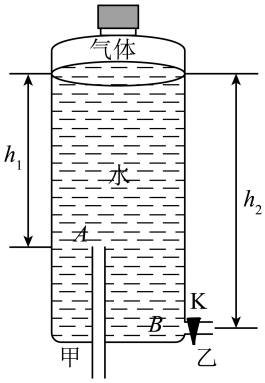
由 $p_1(\pi r^2)h=p_2Sh$ 得 $p_2=\dfrac{2p_0V_0}{5\pi hd(4r-d)}$

(3) 等容过程，由 $\dfrac{p_2}{T_0}=\dfrac{p_c}{T_c}$ 得 $T_c=\dfrac{p_cT_0}{p_2}=\dfrac{5\pi hd(4r-d)p_cT_0}{2p_0V_0}$

6. [2026 · 陕西卷]某小组设计并完成了“稳定平抛水柱”实验。如图，竖直放置的储水瓶液面上方封闭少量气体，底部竖直细管甲与大气连通、水平细管乙有一阀门K。初始时K关闭，瓶内上方气体体积$V_1=200\text{mL}$，甲管内恰无水且A端口距水面高$h_1=20\text{cm}$，乙管B端口距水面高$h_2=30\text{cm}$；打开K，水持续从乙管流出，大气通过甲管进入瓶内，当水面与甲管A端口齐平时关闭K，此时瓶内上方气体的总体积$V_2=1510\text{mL}$。已知大气压强$p_0=1.00\times10^5\text{Pa}$、水的密度$\rho=1.00\times10^3\text{kg/m}^3$，重力加速度$g$取$10\text{m/s}^2$，忽略温度变化与瓶体形变，气体均可视为理想气体。求：

(1) 初始K关闭时，瓶内上方气体压强p_1和乙管B端口处压强p_2；

(2) 在打开K到关闭K的过程中，进入瓶内的空气在大气压强下的体积ΔV。



答案 (1)$p_1=9.8\times10^4\text{Pa}$、$p_2=1.01\times10^5\text{Pa}$　(2)$\Delta V=1314\text{mL}$

解析 (1)$p_1+\rho gh_1=p_0$　得$p_1=0.98\times10^5\text{Pa}=9.8\times10^4\text{Pa}$

$p_2=p_0+\rho g(h_2-h_1)$　得$p_2=1.01\times10^5\text{Pa}$

(2) 设压强为p_1、体积为V_1的气体在等温过程中恢复到p_0时的体积为V_1'，则有

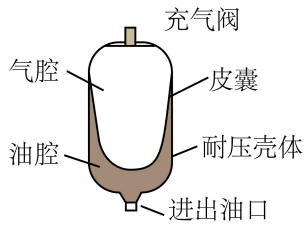
$p_1V_1=p_0V_1'$　得$V_1'=196\text{mL}$

则进入瓶内的空气的体积$\Delta V=V_2-V_1'=1314\text{mL}$

7. [2026 · 河南卷]机械装置的润滑油系统常用图示设备稳定油压。气腔内充有氮气，当润滑油系统油压过高时，油会泵入油腔，压缩皮囊；油压降低时，皮囊膨胀，油从油腔泵出。设备的工作温度为$T_1=300\text{K}$、气腔内氮气压强为$p_1=0.25\text{MPa}$时，气腔体积为$V_1=6\text{L}$。氮气视为理想气体。

(1) 某次泵油，氮气压强从p_1变为$p_2=0.2\text{MPa}$，求泵出油的体积；(泵油过程为等温过程)

(2) 若使设备在$T_2=270\text{K}$时也能正常工作，需要对气腔补气，以满足在压强为p_1时气腔体积仍为V_1，求补充氮气的质量与气腔内原有氮气质量之比。(补气过程为等温过程)



答案 (1)1.5 L　(2)$\frac{1}{9}$

解析 (1) 等温过程，有$p_1V_1=p_2V_2$　得$V_2=7.5\text{L}$

则气腔体积变化$\Delta V=V_2-V_1=1.5\text{L}$，即泵出油的体积为1.5 L。

(2) 先经历补气过程（等温），设补充氮气的体积为ΔV，有$p_1(\Delta V+V_1)=p_3V_1$

压缩到 V_1 后，在经历等容过程，降温到 T_2，有 $\frac{p_3}{T_1}=\frac{p_1}{T_2}$

则补充氮气的质量与气腔内原有氮气质量之比 $\frac{\Delta m}{m}=\frac{\Delta V}{V_1}=\frac{T_1}{T_2}-1=\frac{1}{9}$

【方法二】对原有氮气，由理想气体状态方程 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_1V_3}{T_2}$　得 $V_3=5.4\,\mathrm{L}$

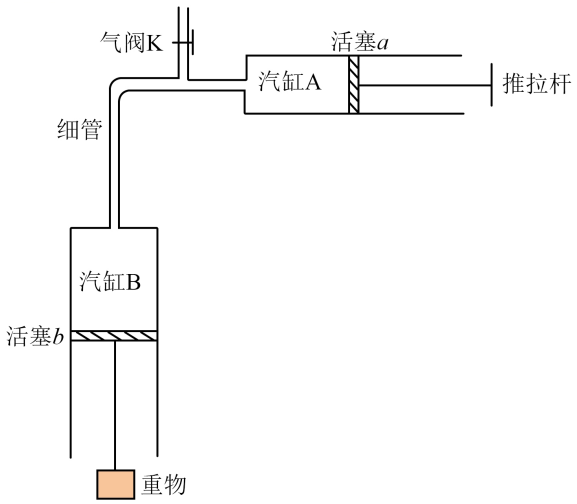
同温同压下，气体质量之比等于体积之比，即 $\frac{\Delta m}{m_0}=\frac{V_1-V_3}{V_3}=\frac{1}{9}$

8. [2026 · 云南卷]某同学制作了一个简易气动装置，可简化为如图所示的模型。水平汽缸 A 和竖直汽缸 B 固定在气压为 p_0 的恒温环境中，其活塞 a、b 的横截面积分别为 S_1、S_2（$S_1<S_2$）。两汽缸通过细管连通，汽缸 A 内壁光滑，汽缸 B 内壁与活塞 b 间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力，整个装置气密性和导热性良好。不计活塞的质量和厚度，重力加速度为 g。

(1) 打开气阀 K，在活塞 b 上用轻质细线悬挂重物，逐渐增加重物的质量，当重物质量为 m 时活塞 b 刚要开始向下运动，求汽缸 B 内壁与活塞 b 间的最大静摩擦力大小；

(2) 在 (1) 问操作后关闭气阀 K，封闭体积为 V_0 的气体（视为理想气体），然后用水平拉力向右缓慢拉动活塞 a，直到重物刚要开始向上运动，已知此过程中气体吸收的热量为 Q，求该过程活塞 a 的位移大小及拉力对活塞 a 做的功；

(3) 在 (2) 问操作后继续缓慢拉动活塞 a，使重物上升高度 H，此时活塞 b 未到达汽缸 B 的顶部，求该过程中水平拉力对活塞 a 做的功。



答案　(1)mg　(2)$\frac{2V_0mg}{S_1(p_0S_2-2mg)}$，$\frac{2p_0V_0mg}{p_0S_2-2mg}-Q$　(3)$2mgH$

解析　(1) 由于气阀 K 打开，故活塞 b 上下压强差为 0，故 $f_m=mg$

(2) 初状态压强为 p_0，末状态压强 p 满足 $f_m+mg+pS_2=p_0S_2$，得 $p=p_0-\frac{2mg}{S_2}$

由等温过程得 $p_0V_0=p(V_0+S_1x)$　得 $x=\frac{2V_0mg}{S_1(p_0S_2-2mg)}$

由热力学第一定律得 $\Delta U=Q+W$，其中 $\Delta U=0$　得外界对内部气体做功 $W=-Q$

W 包括拉力做功和外界大气压做功，即 $W=W_F-p_0S_1x$

得 $W_F=W+p_0S_1x=p_0S_1x-Q=\frac{2p_0V_0mg}{p_0S_2-2mg}-Q$

【方法二】气体对活塞 a 做功 $W_{气}=-W=Q$

对活塞 a 由动能定理得 $W_{气}-p_0S_1x+W_{拉}=0-0$ 得 $W_{拉}=\dfrac{2p_0V_0mg}{p_0S_2-2mg}-Q$

(3) 该过程封闭气体压强不变，温度不变，故体积不变，

活塞 a 位移 $x'=\dfrac{S_2H}{S_1}$，水平拉力 $F=(p_0-p)S_1$　　故 $W_F=Fx'=2mgH$

9. **[202601·浙江卷]** 为测量局域磁场，科学家基于电阻应变片开发出一种磁场检测芯片，其简化结构如图 1 所示。长度均为 l、通有恒定电流 I_0(方向相反) 的两刚性金属杆 ab、cd，与具有良好弹性的绝缘悬梁 OA、OD 构成“H”形支架，对称固定于底座 O 处。在悬梁上、下表面对称安装四个相同的电阻应变片 (各自引出两导线)，其阻值分别为 R_1、R_2、R_3 和 R_4，将它们按图 2 方式与电动势为 E 的电源 (不计内阻) 相连。未加磁场时，支架处于水平平衡状态，此时 $R_1=R_2=R_3=R_4=R_0$，测得 e、f 两端的电势差为 0。现施加待测磁场，其方向水平向右、且垂直于金属杆，则金属杆 ab、cd 受安培力作用，使悬梁 OA、OD 产生形变，四个应变片的阻值发生相应变化，其变化量的绝对值均为 ΔR，此时测得 e、f 两端的电势差为 U_{ef}，从而得到待测磁场磁感应强度 B 的大小。

(1) 判断金属杆 ab 和 cd 所受安培力的方向；

(2) 写出上述四个电阻的阻值 (用 R_0 和 ΔR 表示)；

(3) 若 ΔR 正比于金属杆 ab 或 cd 所受安培力大小，比例系数为 α，求 B 与 U_{ef} 的关系式。

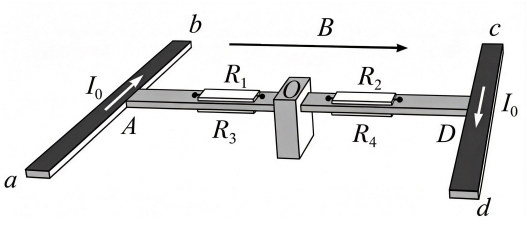


图1

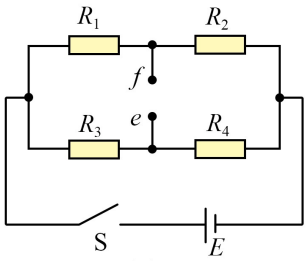


图2

答案 (1)ab：竖直向下，cd：竖直向上

(2)$R_1=R_0+\Delta R$，$R_2=R_0-\Delta R$，$R_3=R_0-\Delta R$，$R_4=R_0+\Delta R$　　(3)$B=\dfrac{R_0}{\alpha I_0 l E}U_{ef}$

解析 教材选修二　第五章　第二节

(1) 由左手定则可知，ab 受到竖直向下的安培力，cd 受到竖直向上的安培力

(2) 悬梁 OA 向下弯曲，上表面拉伸，下表面压缩，由 $R=\rho\dfrac{l}{S}$ 定性可知上表面应变片的电阻 R_1 变大，即 $R_1=R_0+\Delta R$。

同理有 $R_2=R_0-\Delta R$，$R_3=R_0-\Delta R$，$R_4=R_0+\Delta R$

(3) 形变后，R_2 两端电压 $U_2=\dfrac{R_0-\Delta R}{2R_0}E$，$R_4$ 两端电压 $U_4=\dfrac{R_0+\Delta R}{2R_0}E$

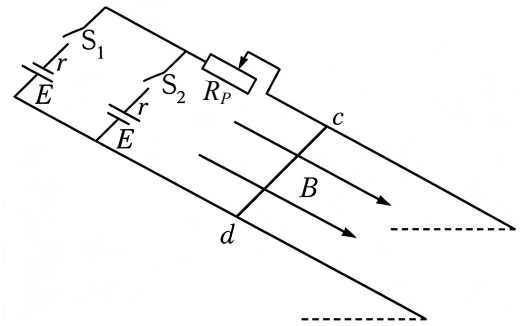
故 $U_{ef}=U_4-U_2=\dfrac{\Delta R}{R_0}E$

由题意得 $\Delta R=\alpha B I_0 l$，故 $B=\dfrac{R_0}{\alpha I_0 l E}U_{ef}$

10. [2026 · 山东卷]如图所示，平行金属导轨间距为 L，导轨平面与水平面夹角为定值，二者交线与导轨垂直。电动势均为 E、内阻均为 r 的两电源，开关 S_1、S_2 及滑动变阻器 R_P 与导轨相连。导轨处于磁感应强度大小为 B、方向平行于导轨向下的匀强磁场中。S_1 闭合，S_2 断开，质量为 m、长为 L、电阻为 r 的金属杆 cd 静止于导轨上，调节滑片，当 R_P 阻值为 r 时，cd 刚好要下滑。保持滑片位置不变，断开 S_1，闭合 S_2，cd 开始下滑并始终与导轨接触良好。已知 cd 与导轨间动摩擦因数为 μ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，不计导轨电阻。cd 下滑过程中，求：

(1)cd 的电功率 P；

(2)cd 的加速度大小 a。



答案 (1)$P=\dfrac{E^2}{9r}$　　(2)$a=\dfrac{2\mu BLE}{3mr}$

解析 (1)cd 下滑过程中不切割磁感线，故不产生感应电动势，

回路电流 $I=\dfrac{E}{r+r+r}=\dfrac{E}{3r}$，电功率 $P=I^2r=\dfrac{E^2}{9r}$

(2) 设导轨平面与水平面夹角为 θ，

S_1 闭合，S_2 断开时，cd 受到的安培力垂直导轨向下，有

$mg\sin\theta-\mu(mg\cos\theta+BIL)=0$　　其中 $I=\dfrac{E}{3r}$

S_1 闭合，S_2 断开时，cd 受到的安培力反向，大小不变，有

$mg\sin\theta-\mu(mg\cos\theta-BIL)=ma$

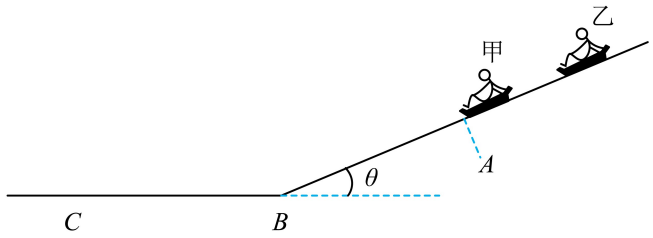
两式相减得 $a=\dfrac{2\mu BIL}{m}=\dfrac{2\mu BLE}{3mr}$

11. [2026 · 陕西卷]如图，某游乐场有一条滑道，由两段粗糙程度不同的直道组成，其中 AB 段的长度 $l=36\text{m}$、倾角为 θ，BC 段水平且足够长。初始时游客甲乘滑板从 A 点由静止下滑，经过 $t=6\text{s}$ 到达 B 点，此后进入 BC 段继续滑行。游客甲和滑板的总质量 $m=60\text{kg}$，AB 段、BC 段滑道与滑板间的动摩擦因数分别为 μ_1、μ_2，其中 $\mu_2=\frac{1}{10}$。重力加速度 g 取 10m/s^2，$\sin\theta=\frac{1}{3}$。游客和滑板整体视为质点，不计空气阻力及在 B 点处的机械能损失。

(1) 求 AB 段滑道与滑板间的动摩擦因数 μ_1；

(2) 求 AB 段甲和滑板的机械能损失及动量变化量的大小；

(3) 当甲到达 B 点时，游客乙乘同样滑板恰以 5m/s 的速度经过 A 点下滑。求乙到达 B 点时与甲的距离。



答案 (1)$\mu_1=\frac{\sqrt{2}}{10}$　(2)$\Delta E=2880\text{J}$，$\Delta p=720\text{kg}\cdot\text{m/s}$　(3)40m

解析 (1)$l=\frac{1}{2}at^2$，$mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma$　得 $a=2\text{m/s}^2$，$\mu_1=\frac{\sqrt{2}}{10}$

(2)$v_B=at$，$\Delta E=\mu_1 mgl\cos\theta$，$\Delta p=mv_B-0$　得 $v_B=12\text{m/s}$，$\Delta E=2880\text{J}$，$\Delta p=720\text{kg}\cdot\text{m/s}$

(3)$l=v_0t+\frac{1}{2}at'^2$　得 $t'=4\text{s}$

$v=v_B-\mu_2 gt'$　得 $v=8\text{m/s}$，即此时甲还没停下来。

$s=\frac{v+v_B}{2}t'$　得 $s=40\text{m}$

12. [2026 · 江西卷]如图 (a) 所示，质量为 $M=2.0\text{kg}$ 的长方体箱子在水平拉力 F 作用下沿水平面向右加速运动，箱子与水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.60$。箱内后壁上有两物块 A、B，其质量均为 $m=0.5\text{kg}$，与后壁间的动摩擦因数分别为 $\mu_1=0.25$ 和 $\mu_2=0.50$。F 随时间 t 的变化关系如图 (b) 所示，当 $F=F_1$ 时，A 恰好静止在后壁上，B 静止在后壁上；当 $F=F_2$ 时，B 恰好静止在后壁上。在运动过程中，A、B 始终没有相碰。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，忽略空气阻力，且 g 取 10m/s^2。求：

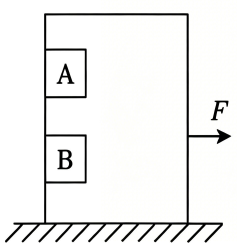


图 (a)

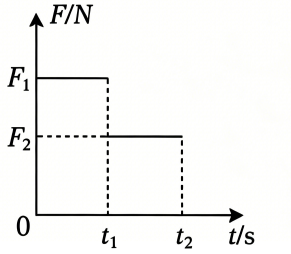


图 (b)

(1)F_1 的大小；

(2)F_2 的大小及在 $t_1\sim t_2$ 的时间内摩擦力对物块 A 所做的功，已知 $t_2-t_1=1.0\text{s}$。

答案 (1)$F_1=138\text{N}$　(2)$F_2=76.5\text{N}$，$W=-6.25\text{J}$

解析 (1) 当 $F=F_1$ 时，对 A 有 $\mu_1N_1=mg$，$N_1=ma_1$　得 $a_1=40\text{m/s}^2$

对整体有 $F_1-\mu(M+2m)g=(M+2m)a_1$　得 $F_1=138\text{N}$

(2) ①当 $F=F_2$ 时，A 开始向下滑动，

对 B 有 $\mu_2N_2=mg$，$N_2=ma_2$　得 $a_2=20\text{m/s}^2$

对 A 有 $f_1=\mu_1ma_2$　得 $f_1=2.5\text{N}$

对箱子有 $N_3=Mg+f_1'+mg$　其中 $f_1'=f_1$　得 $N_3=27.5\text{N}$

对整体有 $F_2-\mu N_3=(M+2m)a_2$　得 $F_2=76.5\text{N}$

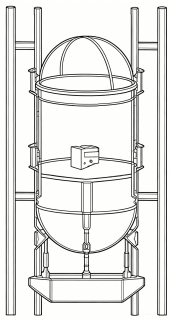
②对 A 有 $mg-\mu_1ma_2=ma_y$　得 $a_y=5\text{m/s}^2$

有 $y=\frac{1}{2}a_y(t_2-t_1)^2$，$W=-f_1y$　得 $W=-6.25\text{J}$

13. [2026 · 黑吉辽卷]某科研机构设计了模拟月球重力环境的实验塔，简化模型如图所示。在竖直向上的电磁力 $F=3\times10^4\,\mathrm{N}$ 的驱动下，质量 $m=500\,\mathrm{kg}$ 的实验舱由静止开始沿塔身竖直向上做匀加速直线运动，上升 $h=6.25\,\mathrm{m}$ 时，立即减小电磁力，使实验舱向上做匀减速直线运动。减速过程中，舱内水平台面上的设备所受支持力为其重力的 $\frac{1}{6}$，从而模拟月球重力环境。不计摩擦力与空气阻力，取重力加速度 $g=10\mathrm{m/s^2}$。求上升过程中

(1) 实验舱的最大速度 v_{m}；

(2) 舱内处于模拟的月球重力环境的时间 t。



答案 (1) 由 $F-mg=ma$　　得 $a=50\,\mathrm{m/s^2}$

由 $v_m^2=2ah$　　得 $v_m=25\,\mathrm{m/s}$

【方法二】由动能定理得 $(F-mg)h=\frac{1}{2}mv_m^2$　　得 $v_m=25\,\mathrm{m/s}$

(2) 减速过程中，对设备受力分析，有 $m_0g-\frac{1}{6}m_0g=m_0a'$　　得 $a'=\frac{5}{6}g=\frac{25}{3}\,\mathrm{m/s^2}$

即试验舱应以 $\frac{25}{3}\,\mathrm{m/s^2}$ 匀减速，则从 v_m 减速到 0 的时间 $t=\frac{v_m}{a'}=3\,\mathrm{s}$

【方法二】减速过程，对设备由动量定理得 $-(m_0g-\frac{1}{6}m_0g)t=0-m_0v_m$　　得 $t=3\,\mathrm{s}$

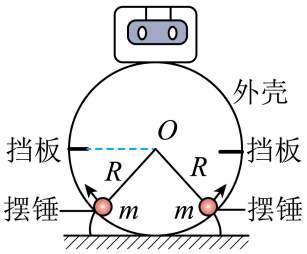
解析 注意搞清楚研究对象。

14. [2026 · 广东卷]如图是一种球形机器人跳跃原理的示意图，水平横轴过球心 O 点与外壳固定，外壳上的两挡板位于过 O 点的水平线上，两质量均为 m 的摆锤，由长均为 R 的不可伸长轻绳悬挂于轴上的 O 点，初始时刻，两摆锤同时以水平初速度 v_0 从最低点向相反方向摆动，直至与两挡板发生碰撞，碰撞时间极短，随后带动外壳以共同速度竖直向上运动，机器人到达最高点后落回地面瞬间，外壳立即静止，两摆锤速度不变，与挡板分离，继续向下运动，已知机器人（含摆锤）总质量为 $M=4\text{kg}$，$m=1\text{kg}$，$R=0.4\text{m}$，$v_0=4\text{m/s}$。重力加速度取 $g=10\text{m/s}^2$，忽略空气阻力，摆锤可视为质点，求：

(1) 摆锤与挡板碰撞后瞬间，机器人的动能 E_k；

(2) 机器人外壳上升的最大高度 h；

(3) 从摆锤开始运动到第一次外壳落地静止过程中的机械能损失 ΔE。



答案 (1)$E_k=4\text{J}$ (2)$h=0.1\text{m}$ (3)$\Delta E=6\text{J}$

解析 (1) 摆锤从最低点到挡板处，有 $-mgR=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ 得 $v=2\sqrt{2}\,\text{m/s}$

碰撞瞬间竖直方向动量守恒，有 $2mv=Mv_{共}$ 得 $v_{共}=\sqrt{2}\,\text{m/s}$

故机器人的动能 $E_k=\frac{1}{2}Mv_{共}^2=4\,\text{J}$

(2)$h=\frac{v_{共}^2}{2g}=0.1\,\text{m}$

(3) 机器人在两次碰撞过程中有机械能损失，落地前瞬间机器人速度为 $v_{共}$，有

$\Delta E=\frac{1}{2}(2m)v^2-\frac{1}{2}Mv_{共}^2+\frac{1}{2}(M-2m)v_{共}^2$ 得 $\Delta E=6\,\text{J}$

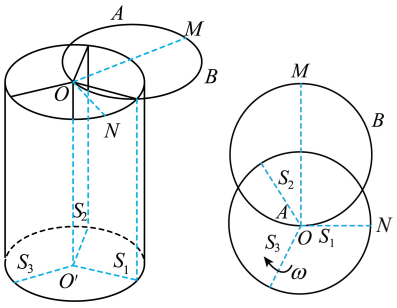
15. [2026 · 山东卷]如图甲所示，半径 $r=1\text{m}$ 的圆筒竖直放置，上下底面圆心分别为 O 和 O'，筒内有三个互成 $120°$ 角且可以绕 OO' 转动的竖直矩形叶片 S_1、S_2 和 S_3，叶片与圆筒上下齐平、宽度等于圆筒半径，N 为圆筒的上底面边沿一点。圆筒上底面固定一半径 $R=\dfrac{3}{\pi}\text{m}$ 的水平圆形轨道、轨道上有一长度可忽略的缺口位于 O 点，OM 为轨道直径，且 $OM\perp ON$；在轨道的 M 点放置一小物体，某时刻该物体在内力作用下突然分成 A、B 两部分并弹开，其质量分别为 m_A、m_B。A 以 $v_A=1\text{m/s}$ 的速率沿轨道运动至缺口进入圆筒，在筒内做平抛运动后恰好紧贴圆筒下底面边沿穿出。已知重力加速度大小 $g=10\text{m/s}^2$，忽略空气阻力及一切摩擦，轨道、圆筒和叶片的厚度均忽略不计。

(1) 求 A 在轨道内运动的时间 t 及圆筒高度 H；

(2) 若叶片以恒定角速度 ω 顺时针转动，且 A 运动至缺口时，S_1 恰好转过 ON 位置，如图乙所示，随后 A 未与叶片碰撞，从圆筒下底面边沿穿出时，S_2 恰好转至 ON 位置。

(i) 求角速度 ω；

(ii) 若 B 运动至缺口后能从任意两个叶片间的区域穿过圆筒，且未与叶片及筒壁碰撞，求 $\dfrac{m_A}{m_B}$。



甲

乙

答案 (1)$t=3\text{s}$，$H=5\text{m}$　(2) (i)$\omega=\dfrac{2\pi}{3}\text{rad/s}$；(ii)$\dfrac{m_A}{m_B}=\dfrac{6}{1+2n}$ $(n=3,4,5\cdots)$

解析 (1) 由 $t=\dfrac{\pi R}{v_A}$　　得 $t=3\text{s}$；

由 $r=v_At'$，$H=\dfrac{1}{2}gt'^2$　　得 $t'=1\text{s}$，$H=5\text{m}$

(2) (i) 由 $\omega=\dfrac{2\pi/3}{t'}$　　得 $\omega=\dfrac{2\pi}{3}\text{rad/s}$

(ii) 由 $\theta=\omega t=2\pi$ 可知，B 刚从 M 弹开时 S_1 恰好转过 ON 位置。

由于通过圆筒的时间恰好等于叶片转过 $\dfrac{1}{3}$ 圈的时间，要使 B 能穿过圆筒且未与叶片及筒壁碰撞，应要求 B 到缺口时刚好有一个叶片恰好转过 ON 的反向延长线位置，且 B 速率满足 $v_B\leqslant 1\text{m/s}$，有

$\dfrac{\pi R}{v_B}\omega=\dfrac{\pi}{3}+\dfrac{2\pi}{3}n$　$(n=0,1,2,3,\cdots)$　　得 $v_B=\dfrac{6}{1+2n}\leqslant 1$，故 $n\geqslant\dfrac{5}{2}$

由动量守恒 $m_Av_A=m_Bv_B$　　得 $\dfrac{m_A}{m_B}=\dfrac{v_B}{v_A}=\dfrac{6}{1+2n}$　$(n=3,4,5\cdots)$

【或写成 $\dfrac{m_A}{m_B}=\dfrac{6}{5+2n}$　$(n=1,2,3,\cdots)$】

16. [2026 · 贵州卷]在竖直平面内，一带电荷量为 $q(q>0)$ 的小球在重力作用下从 P 点由静止开始下落，运动过程中始终受到与运动方向相反的空气阻力作用，其大小 f 与速率 v 满足 $f=kv$（k 为常量）。小球第一次经过 P 点正下方的 M 点时达到最大速率 v_0，此时，施加竖直向上的恒定匀强电场，小球做变速运动。经过一段时间后，小球在 M 点正上方的 N 点再次达到最大速率 v_0，此后匀速上升。已知小球速率从第一次 v_0 到再次达到 v_0 的过程中，克服空气阻力做功为 W_f，重力加速度大小为 g。求：

(1) 小球的质量和电场强度大小；

(2) 小球的最大加速度大小；

(3) 施加电场后，M、N 两点间的电势差。

答案 (1)$m=\dfrac{kv_0}{g}$、$E=\dfrac{2kv_0}{q}$　(2)$a_{\max}=2g$　(3)$U=\dfrac{2W_f}{q}$

解析 (1)M 点：$mg=kv_0$　得 $m=\dfrac{kv_0}{g}$

N 点：$qE=mg+kv_0$　得 $E=\dfrac{2kv_0}{q}$

(2)$P\to M$ 过程小球做加速度减小的加速运动；

在 M 点施加电场瞬间，对小球有 $qE+kv_0-mg=ma$，得 $a=2g$

此后小球先向下做加速度减小的减速运动，然后向上做加速度减小的加速运动。

故小球在 M 点有最大加速度 $2g$。

(3)$M\to N$ 过程，由动能定理得 $-mgh-W_f+qEh=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$　得 $h=\dfrac{W_f}{kv_0}$

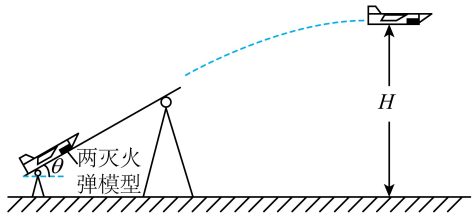
故 M、N 两点间的电势差 $U_{MN}=Eh=\dfrac{2W_f}{q}$

17. [2026 · 贵州卷]如图，机舱内装有质量均为 $m_1=5\text{kg}$ 的甲、乙两个灭火弹模型的弹射型无人机，静止在 $\theta=30^\circ$ 的斜直轨道上，无人机空载时质量 $m_0=30\text{kg}$。无人机在弹射系统作用下以 $v_0=15\text{m/s}$ 的速度沿轨道离开，随后无人机依靠自身动力飞行，达到高度 $H=125\text{m}$ 时，开始以 $v_1=20\text{m/s}$ 的速度沿水平方向做匀速直线运动，并进行投弹训练。设两弹所受空气阻力不计，落地点均在同一水平面上，取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$。

(1) 求载弹无人机在斜直轨道上运动过程中所受合力的冲量大小和方向；

(2) 设水平飞行过程中，载弹无人机水平方向动力与质量满足 $F=\dfrac{1960}{m}$(国际单位制)，所受空气阻力大小恒为 $f=49\text{N}$，方向与飞行方向相反，若两弹相对无人机无初速度先后被释放，时间间隔 $\Delta t=2\text{s}$，求两弹落地点之间的距离；

(3) 设无人机水平飞行过程中，先相对无人机无初速度释放甲，当甲落地时沿水平方向发射乙，此时乙相对地面的速度大小为 v，若无人机的速度始终不变，求乙从发射到落地的过程中，两弹之间距离的最小值与 v 取值的关系。



答案 (1)600 N·s，方向沿斜轨道向上　　(2)42.4m

(3)$s_{\min}=\begin{cases}25\sqrt{2}\,\text{m}, & v\geqslant 25\sqrt{2}\,\text{m/s}\\ \sqrt{125^2-\dfrac{(1250-v^2)^2}{100}}\,\text{m}, & v<25\sqrt{2}\,\text{m/s}\end{cases}$

解析 (1) 由动量定理得 $I=(m_0+2m_1)v_0$　　得 $I=600\text{kg}\cdot\text{m/s}$，方向沿斜轨道向上。

(2) 先释放一个灭火弹后载弹无人机水平方向的动力大小为 $F_1=\dfrac{1960}{m_1+m_0}\,\text{N}=56\,\text{N}$，

水平方向有 $F_1-f=(m_1+m_0)a$　　得 $a=0.2\text{m/s}^2$

即释放第一个灭火弹后，第二个灭火弹与无人机一起做匀加速直线运动。

第二个灭火弹释放时的速度 $v_2=v_1+a\Delta t$　　得 $v_2=20.4\text{m/s}$

两弹释放后均做平抛运动，有 $H=\dfrac{1}{2}gt_0^2$　　得 $t_0=5\,\text{s}$

故两弹落地点间距 $d=\dfrac{v_1+v_2}{2}\Delta t+v_2t_0-v_1t_0$　　得 $d=42.4\,\text{m}$

(3) 相对无人机无初速度释放甲，且无人机的速度始终不变，则根据平抛运动规律可知，甲落地时，乙在甲的正上方 H 处。设发射乙后乙的运动时间为 t，则此时两弹之间的距离为

$s=\sqrt{(vt)^2+\left(H-\dfrac{1}{2}gt^2\right)^2}=\sqrt{\dfrac{1}{4}g^2t^4+(v^2-gH)t^2+H^2}$

由二次函数知识可知，对称轴为 $t^2=-\dfrac{v^2-gH}{0.5g^2}$，

①当 $v^2-gH\geqslant 0$，即当 $v\geqslant\sqrt{gH}=25\sqrt{2}\,\text{m/s}$ 时，$t=0$ 时有最小值 $s_{min}=H=125\,\text{m}$

②当 $v^2-gH<0$，即当 $v<25\sqrt{2}\,\text{m/s}$ 时，$t^2=\dfrac{2(gH-v^2)}{g^2}$ 时有最小值 $s_{\min}=\sqrt{H^2-\dfrac{(gH-v^2)^2}{g^2}}$

即 $s_{\min}=\sqrt{125^2-\dfrac{(1250-v^2)^2}{100}}$(国际单位制)

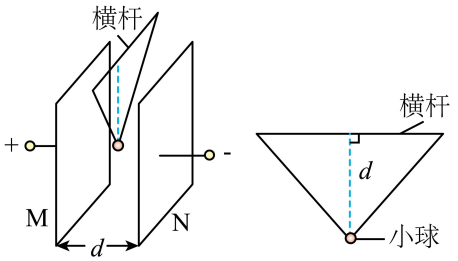
综上 $s_{\min}=\begin{cases}25\sqrt{2}\,\mathrm{m}, & v\geqslant 25\sqrt{2}\,\mathrm{m/s}\\ \sqrt{125^2-\dfrac{(1250-v^2)^2}{100}}\,\mathrm{m}, & v<25\sqrt{2}\,\mathrm{m/s}\end{cases}$

18. [2026 · 广东卷]如图 (a) 所示，两竖直放置且足够大的平行金属板 M、N，两板间距为 d。在两板正中间竖直平面内固定有一水平绝缘横杆，一质量为 m、电荷量为 q 的小球通过两根等长且不可伸长的绝缘轻绳悬挂于横杆下方，小球与横杆的距离为 d，两绳的夹角为直角，如图 (b)。接通电源，使板间电压由 0 开始缓慢增大，小球缓慢向 N 靠近，在此过程中每个时刻小球都受力平衡。当小球接触 N 的瞬间，电荷量变为 $-q$，板间电压停止增大并在此后保持恒定，在此恒定电压下，小球每次与 M 或 N 接触后瞬间，速度均减为 0，带电荷量变化满足“电性反转、大小不变”，从而在两板间沿着圆弧往复运动。重力加速度为 g，小球可视为质点，每次与板碰撞均不影响两板间电压，忽略空气阻力和电场的边缘效应，忽略小球所带电荷对板间电场的影响。

(1) 求 M、N 间的恒定电压 U；

(2) 求小球第一次碰撞 M 前瞬间，单根轻绳的拉力大小 T；

(3) 若某次小球碰撞 M 时，M、N 间的电压突变为原恒定电压的 k 倍 $(k>0)$，其他条件不变，此后小球仍能沿着圆弧往复运动，求 k 的取值范围，并求出该范围内不同 k 值对应的小球最大动能 E_k。



图(a)

图(b)

答案 (1)$U=\dfrac{\sqrt{3}mgd}{3q}$　(2)$T=\dfrac{2\sqrt{6}}{3}mg$　(3)$0<k\leqslant 3$；

$$E_k=\begin{cases}\dfrac{1}{6}(2\sqrt{9+3k^2}+\sqrt{3}k-3\sqrt{3})mgd, & 0<k<1\\ \dfrac{\sqrt{3}k}{3}mgd, & 1\leqslant k\leqslant 3\end{cases}$$

解析 (1) 小球接触 N 前瞬间，两绳平面与竖直方向夹角 θ 满足 $\sin\theta=\dfrac{d/2}{d}=\dfrac{1}{2}$，故 $\theta=30°$。

由受力平衡得 $mg\tan\theta=q\dfrac{U}{d}$　得 $U=\dfrac{\sqrt{3}mgd}{3q}$

(2) 小球从 N 到 M，有 $qU=\dfrac{1}{2}mv^2$

小球第一次碰撞 M 前瞬间，由向心力公式得 $2T\cos45°-mg\cos\theta-\dfrac{qU}{d}\sin\theta=\dfrac{mv^2}{d}$

得 $T=\dfrac{2\sqrt{6}}{3}mg$

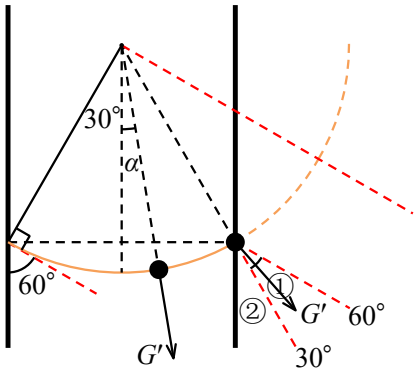
(3) 要使小球能沿着圆弧运动，则轻绳不能松弛，初始时加速度方向应沿圆弧切线方向，则

$2T\cos45°+\dfrac{kqU}{d}\sin\theta-mg\cos\theta=0$　其中 $T\geqslant 0$，$U=\dfrac{\sqrt{3}mgd}{3q}$

即 $mg\cos\theta\geqslant\dfrac{kqU}{d}\sin\theta$　得 $0<k\leqslant 3$

将重力 mg 和电场力 $\dfrac{kqU}{d}\left(=\dfrac{\sqrt{3}kmg}{3}\right)$ 的合力视为“等效重力” $G'=mg\sqrt{1+\dfrac{k^2}{3}}$，

设 G' 方向与竖直方向夹角为 α，有 $\tan\alpha=\dfrac{\sqrt{3}k}{3}$。要使小球能沿着圆弧运动，有 $0<\alpha\leqslant 60°$



①当 $30°\leqslant\alpha\leqslant60°$，即 $1\leqslant k\leqslant3$ 时，小球到达等效重力场中的最低点位置即为接触 N 位置，

由动能定理得 $kqU=E_k$　　得 $E_k=kqU=\dfrac{\sqrt{3}kmgd}{3}$

②当 $0<\alpha<30°$，即 $0<k<1$ 时，小球到达等效重力场中的最低点时速度方向与等效重力方向垂直，有 $G'd[1-\cos(\alpha+30°)]=E_k$　其中 $\cos(\alpha+30°)=\dfrac{\sqrt{3}}{2}\cos\alpha-\dfrac{1}{2}\sin\alpha=\dfrac{3-k}{2\sqrt{3+k^2}}$

得 $E_k=\dfrac{\sqrt{3}mgd}{3}(\sqrt{3+k^2}-\dfrac{3-k}{2})=\dfrac{1}{6}(2\sqrt{9+3k^2}+\sqrt{3}k-3\sqrt{3})mgd$

综上，$E_k=\begin{cases}\dfrac{1}{6}(2\sqrt{9+3k^2}+\sqrt{3}k-3\sqrt{3})mgd, & 0<k<1\\ \dfrac{\sqrt{3}k}{3}mgd, & 1\leqslant k\leqslant3\end{cases}$

【方法二】小球从 M 运动到最低点过程中，重力、电场力都做正功，故动能一直增大；

设当小球运动到两绳平面与竖直方向夹角为 α（$0\leqslant\alpha\leqslant30°$）时动能最大，由动能定理得

$E_k=mgd(\cos\alpha-\cos30°)+\dfrac{kqU}{d}d(\sin30°+\sin\alpha)$　　其中 $U=\dfrac{\sqrt{3}mgd}{3q}$

整理得 $E_k=mgd(\cos\alpha+\dfrac{\sqrt{3}k}{3}\sin\alpha-\dfrac{\sqrt{3}}{2}+\dfrac{\sqrt{3}k}{6})=mgd(\sqrt{1+\dfrac{k^2}{3}}\sin(\beta+\alpha)-\dfrac{\sqrt{3}}{2}+\dfrac{\sqrt{3}k}{6})$ 其中 $\tan\beta=\dfrac{\sqrt{3}}{k}$，由 $0<k\leqslant3$ 得 $30°\leqslant\beta<90°$

①当 $30°\leqslant\beta\leqslant60°$，即 $1\leqslant k\leqslant3$ 时，α 应取 $30°$，使得 $\sin(\beta+\alpha)$ 最大，即当小球碰到 N 时动能最大，为 $E_k=\dfrac{\sqrt{3}k}{3}mgd$；

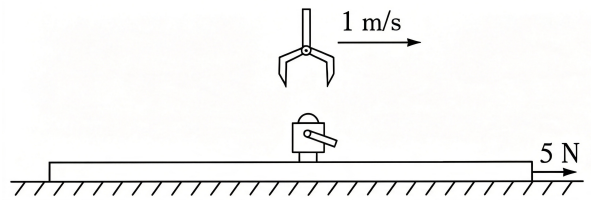
②当 $60°<\beta<90°$，即 $0<k<1$ 时，应取 $\alpha=90°-\beta$，使得 $\sin(\beta+\alpha)=1$，有

$E_k=mgd(\sqrt{1+\dfrac{k^2}{3}}-\dfrac{\sqrt{3}}{2}+\dfrac{\sqrt{3}k}{6})$

19. [2026 · 河北卷]如图所示，质量为4 kg的木板上放有一个质量为1 kg的机器人，木板始终受到水平向右、大小为5 N的恒力作用。初始时木板与机器人一起以1 m/s的速度沿水平地面向右匀速运动。机器人正上方有一个沿竖直方向可以伸缩、水平向右速度恒为1 m/s的机械夹爪。某时刻夹爪将机器人向上提起，2 s后放回木板，同时夹爪缩回，机器人在摩擦力的作用下最终与木板相对静止。g取10m/s^2，机器人可视为质点，机器人被提起和放下瞬间竖直方向速度均为零。求

(1) 机器人被提起的2 s内，木板位移的大小。

(2) 从机器人被放回木板到与木板相对静止的过程中，摩擦力对机器人所做的功。



答案 (1)2.5 m　(2)0.48 J

解析 (1) 初始时，对木板M和机器人m，有$\mu(M+m)g=F$　得$\mu=0.1$

提起后，对木板有$F-\mu Mg=Ma$　得$a=0.25\text{m/s}^2$

故该过程木板位移$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$　得$x=2.5\text{ m}$

(2) 机器人被放回木板时，木板速度$v_1=v_0+at=1.5\text{ m/s}$，机器人速度$v_0=1\text{ m/s}$

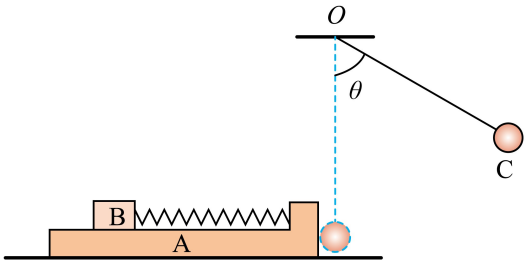
机器人被放回木板后，对“木板和机器人”系统，水平方向恒有$F-\mu(M+m)g=0$，即该过程动量守恒，有$Mv_1+mv_0=(M+m)v'$　得$v'=1.4\text{ m/s}$

对机器人，由动能定理$W_f=\frac{1}{2}mv'^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　得$W_f=0.48\text{ J}$

20. [2026 · 黑吉辽卷]如图，光滑水平面上一质量 $m_A=0.4\ \text{kg}$ 的木板，其右端通过轻弹簧连接质量 $m_B=0.1\ \text{kg}$ 的物块，此时弹簧伸长量 $x_0=0.1\ \text{m}$，物块和木板均静止。质量 $m_C=0.1\ \text{kg}$ 的小球（可视为质点）通过长 $L=0.9\ \text{m}$ 的轻绳悬于 O 点。小球从绳与竖直方向成 $\theta=60°$ 处由静止释放，摆至最低点时与木板右端发生弹性碰撞，时间极短。取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$。

(1) 求碰撞后瞬间木板的速度大小 v_A。

(2) 弹簧的压缩量第一次为 x_0 时，物块速度大小为 $v_B=0.8\ \text{m/s}$，方向向左。求木板与物块间的动摩擦因数 μ。



答案 (1)$v_A=1.2\ \text{m/s}$　(2)$\mu=0.28$

解析 (1)$m_CgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}m_Cv_C^2$　　得 $v_C=\sqrt{gL}=3\ \text{m/s}$

弹性碰撞过程，A、C 系统水平方向动量守恒，能量守恒，有

$$\begin{cases} m_Av_A+m_Cv_C'=m_Cv_C \\ \frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Cv_C'^2=\frac{1}{2}m_Cv_C^2 \end{cases}$$　　得 $v_A=\frac{2m_C}{m_C+m_A}v_C=1.2\ \text{m/s}$

(2)“A、B 和弹簧”系统，从弹簧伸长量 x_0 到弹簧压缩量第一次为 x_0 过程，

由动量守恒得 $m_Av_A=m_Bv_B+m_Av_A'$　　得 $v_A'=1\ \text{m/s}$，方向向左

由于初、末状态弹簧形变量相同，故弹性势能相同，且 A、B 相对位移为 $2x_0$。

由能量守恒得 $\frac{1}{2}m_Av_A^2=\frac{1}{2}m_Av_A'^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2+\mu m_Bg(2x_0)$　　得 $\mu=0.28$

21. [2026 · 北京卷]中子或暗物质粒子等中性粒子因为不带电，无法直接通过电磁效应探测。

(1) 实验上，通常让中性粒子与原子核碰撞，通过原子核获得的动能来探测中性粒子的性质。质量为 m、速度为 v 的中性粒子与质量为 M 的静止原子核发生对心碰撞。若碰撞后中性粒子与原子核的速度相同，求原子核动能 E_k。

(2) 理论上，通过米格达尔效应也可以探测中性粒子。米格达尔效应可近似为：中性粒子与原子核碰撞，系统损失的动能都传递给原子核外电子，成为可探测的电子信号。

a．质量为 m、速度为 v 的中性粒子与质量为 M 的静止原子核对心碰撞时发生了米格达尔效应，求电子可获得的最大能量 $E_{电}$；

b．2026 年 1 月，我国科学家团队首次在实验中直接观测到中子与原子核碰撞过程中的米格达尔效应，这一发现为轻暗物质探测突破阈值瓶颈提供了关键支撑。若暗物质粒子的质量 $m=0.5\text{GeV/c}^2(1\text{GeV/c}^2\approx1.78\times10^{-27}\text{kg})$，原子核的质量 $M=120\text{GeV/c}^2$，暗物质粒子与原子核的各类碰撞中，原子核可获得的最大动能为 0.03keV，探测器能分辨的最小能量值为 1keV，请结合数据分析说明：与通过原子核获得的动能来探测中性粒子相比，米格达尔效应有助于探测质量更小的暗物质粒子。

答案 (1)$E_k=\dfrac{Mm^2v^2}{2(M+m)^2}$　(2)a．$E_{电}=\dfrac{1}{2}\dfrac{M}{M+m}mv^2$　b．见解析

解析 (1) 碰撞后两者速度相同，由系统动量守恒 $mv=(M+m)v_{共}$　得 $v_{共}=\dfrac{mv}{M+m}$

故原子核动能 $E_k=\dfrac{1}{2}Mv_{共}^2=\dfrac{Mm^2v^2}{2(M+m)^2}$

(2)a．发生完全非弹性碰撞时系统损失的动能最大，对应电子获得最大能量 $E_{电}$。

故 $E_{电}=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}(M+m)v_{共}^2=\dfrac{1}{2}\dfrac{M}{M+m}mv^2$

b．原子核可获得的最大动能为 0.03keV，远小于探测器最小分辨能量 1keV，无法通过原子核动能直接探测。

暗物质粒子与原子核的各类碰撞中，弹性碰撞时原子核获得的动能最大，根据动量守恒和能量守恒有

$$\begin{cases}mv=mv_1+Mv_2\\ \dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2+\dfrac{1}{2}Mv_2^2\end{cases}$$　得 $v_2=\dfrac{2m}{M+m}v$

有 $E_{k\max}=\dfrac{1}{2}Mv_2^2=\dfrac{1}{2}M\left(\dfrac{2m}{M+m}v\right)^2=0.03\text{keV}$　其中 v 为暗物质粒子的最大速度

由 a 分析可知米格达尔效应中电子可获得的最大能量 $E_{电}=\dfrac{1}{2}\dfrac{M}{M+m}mv^2$

故有 $E_{电}=\dfrac{m+M}{4m}E_{k\max}=60.25E_{k\max}\approx1.8\text{keV}>1\text{keV}$，即可以被探测器捕捉。

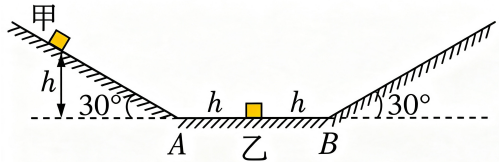
说明对于质量更小的暗物质粒子，直接碰撞转移给原子核的动能远低于探测阈值无法被识别，而米格达尔效应能将碰撞损失的动能集中转移给电子，使可探测的信号能量超过阈值，因此可以探测到质量更小的暗物质粒子。

22. [2026 · 湖北卷]在如图所示的竖直平面内，固定在水平地面上的光滑轨道由两倾角均为30°的足够长轨道与一水平轨道平滑连接而成，连接点分别为A、B。质量为m的小物块甲放置在左侧倾斜轨道上高h处，质量为km的小物块乙静止在水平轨道上，乙到A、B两点的距离均为h。现静止释放甲，所有碰撞均为弹性正碰，重力加速度大小为g，不计空气阻力。

(1) 求甲第一次到达A点时的速度大小。

(2) 求两物块第一次碰撞过程中，乙所受合外力的冲量大小。

(3) 若两物块在水平轨道上发生第二次碰撞，且第二次碰撞前只有一个物块滑上倾斜轨道，求k满足的关系式(不求具体数值)。



答案 (1)$v_0=\sqrt{2gh}$；(2)$I=\dfrac{2km\sqrt{2gh}}{1+k}$；(3) 见解析(约$0.81<k\leqslant 1.2$或$k\geqslant 20.1$)

解析 (1) 由动能定理$mgh=\dfrac{1}{2}mv_0^2$　　得$v_0=\sqrt{2gh}$

(2) 甲乙第一次弹性碰撞，由动量守恒和能量守恒得

$$\begin{cases} mv_0=mv_1+kmv_2 \\ \dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2+\dfrac{1}{2}kmv_2^2 \end{cases}$$　　得$v_1=\dfrac{m-km}{m+km}v_0=\dfrac{1-k}{1+k}\sqrt{2gh}$，$v_2=\dfrac{2m}{m+km}v_0=\dfrac{2}{1+k}\sqrt{2gh}$

故乙所受合外力的冲量大小$I=kmv_2-0=\dfrac{2km\sqrt{2gh}}{1+k}$

(3) ①$k=1$时，甲乙第一次碰撞后速度发生交换，显然满足题意

②$0<k<1$时，$v_2>v_1>0$，第一次碰撞后甲乙都向右运动，

需满足乙碰后第二次到达B点所用的时间不大于甲碰后第一次到达B点的时间，即

$\dfrac{h}{v_2}+\dfrac{2v_2}{g\sin 30^\circ}\leqslant\dfrac{h}{v_1}$　　得$(1+k)^3\geqslant 32(1-k)$　　$\boxed{\text{约}0.81<k<1}$

(化简过程$\dfrac{h}{v_2}+\dfrac{4v_2}{g}\leqslant\dfrac{h}{v_1}$，$h+\dfrac{4v_2^2}{g}\leqslant\dfrac{v_2h}{v_1}$，$h+\dfrac{32h}{(1+k)^2}\leqslant\dfrac{2h}{1-k}$，$1+\dfrac{32}{(1+k)^2}\leqslant\dfrac{2}{1-k}$)

③$k>1$时，$v_1<0$，第一次碰撞后甲向左运动，乙向右运动，

i. $-v_1<v_2$，即$1<k<3$时，乙先到达右斜面，从斜面返回时应追上甲，即需满足乙到达A点所用的时间不大于甲到达A点的时间，即

$\dfrac{3h}{v_2}+\dfrac{2v_2}{g\sin 30^\circ}\leqslant\dfrac{h}{-v_1}$　　得$(5-3k)(1+k)^2\geqslant 32(k-1)$　　$\boxed{\text{约}1<k\leqslant 1.2}$

(化简过程$3h+\dfrac{4v_2^2}{g}\leqslant\dfrac{v_2h}{-v_1}$，$3+\dfrac{32}{(1+k)^2}\leqslant\dfrac{2}{k-1}$)

ii. $-v_1=v_2$，即$k=3$时，甲乙速度等大反向，故不满足题意。

iii. $-v_1>v_2$，即$k>3$时，甲先到达左斜面，从斜面返回时应追上乙，即需满足甲到达B点所用的时间不大于乙到达B点的时间，即

$\dfrac{3h}{-v_1}+\dfrac{-2v_1}{g\sin 30^\circ}\leqslant\dfrac{h}{v_2}$　　得$(k-7)(1+k)^2\geqslant 16(k-1)^2$　　$\boxed{\text{约}k\geqslant 20.1}$

(化简过程$3h+\dfrac{4v_1^2}{g}\leqslant\dfrac{-v_1h}{v_2}$，$3+8\left(\dfrac{1-k}{1+k}\right)^2\leqslant\dfrac{k-1}{2}$)

综上，①$k=1$；

②$0<k<1$时，$(1+k)^3 \geqslant 32(1-k)$；

③$1<k<3$时，$(5-3k)(1+k)^2 \geqslant 32(k-1)$；

④$k>3$时，$(k-7)(1+k)^2 \geqslant 16(k-1)^2$

23. [2026·云南卷]某同学设计的弹球游戏装置示意图如图所示，装置由一段倾斜直管道和N个相同的不对称“倒V”形管道平滑连接而成，管道透明且光滑，固定在竖直平面内。入口端与第一个“倒V”形管道左端高度差为h_0，每个“倒V”形管道最高点与其左、右两端的高度差分别为h_1和h_2（$h_1<h_2$）。每个“倒V”形管道的左端均静置1个质量为m的弹球，自上而下依次编号为1，2，3，…，N。开始游戏时，在入口端由静止释放一质量为$M=4m$的弹球P。所有弹球的直径均略小于管道内径，不计管道内径、弹球大小及滚动、弹球与管道相互作用的能量损失和空气阻力，所有弹球之间的碰撞均视为对心弹性碰撞，重力加速度为g。

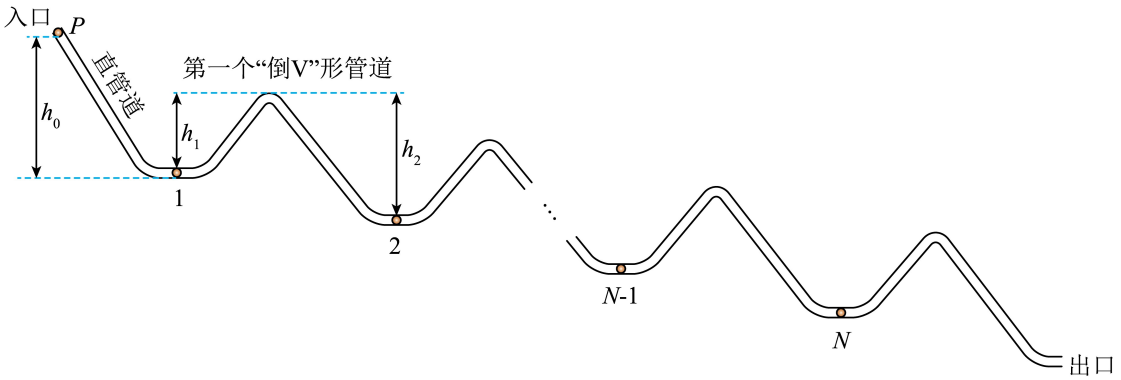
(1)求弹球P与1号弹球第一次碰撞后瞬间，弹球P和1号弹球各自的速度大小；

(2)已知：每个弹球在被上方弹球碰撞后，与下方弹球碰撞前不会被上方弹球再次碰撞，且所有弹球(包括P)都能到达出口。

(ⅰ)求1号弹球与2号弹球第一次碰撞后瞬间，1、2号弹球各自的速度大小；

(ⅱ)求弹球P与1号弹球第k($k<N$)次碰撞后瞬间的速度大小；

(ⅲ)若N足够大，且$h_0>\frac{25}{16}(h_2-h_1)$，求$h_1$与$h_2$之间应满足的关系。



答案 (1)$\frac{3\sqrt{2gh_0}}{5}$、$\frac{8\sqrt{2gh_0}}{5}$　　(2)(ⅰ)0、$\sqrt{\frac{128}{25}gh_0+2g(h_2-h_1)}$

(ⅱ)$\sqrt{\frac{9}{8}[1-(\frac{3}{5})^{2(k-1)}]g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^{2k}\cdot 2gh_0}$　(ⅲ)$h_2>\frac{25}{9}h_1$

解析 (1)$Mgh_0=\frac{1}{2}Mv_0^2$　　得$v_0=\sqrt{2gh_0}$

由弹性碰撞过程动量、能量守恒得$\begin{cases}Mv_0=Mv_0'+mv_1\\ \frac{1}{2}Mv_0^2=\frac{1}{2}Mv_0'^2+\frac{1}{2}mv_1^2\end{cases}$

得$v_0'=\frac{M-m}{M+m}v_0=\frac{3}{5}v_0=\frac{3\sqrt{2gh_0}}{5}$，$v_1=\frac{2M}{M+m}v_0=\frac{8\sqrt{2gh_0}}{5}$

(2)(ⅰ)碰到2号前瞬间，1号球速度v_1'满足$mg(h_2-h_1)=\frac{1}{2}mv_1'^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

由于两球质量相同，故碰撞后速度发生交换，则

1号球速度$v_1''=0$，2号球速度$v_2=v_1'=\sqrt{\frac{128}{25}gh_0+2g(h_2-h_1)}$

(ⅱ)设弹球P与1号弹球第k次碰撞前瞬间的速度为v_{Pk}，碰撞后瞬间的速度为v_{Pk}'，

弹球P与1号弹球第1次碰撞后瞬间的速度大小$v_{P1}'=v_0'=\frac{3}{5}v_0$　　得$v_{P1}'^2=(\frac{3}{5})^2\cdot 2gh_0$

弹球P与1号弹球第2次碰撞前瞬间的速度v_{P2}满足$Mg(h_2-h_1)=\frac{1}{2}Mv_{P2}^2-\frac{1}{2}Mv_{P1}'^2$

即 $v_{P2}^2=2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^2\cdot 2gh_0$

弹球 P 与 1 号弹球第 2 次碰撞后瞬间的速度 $v_{P2}'=\frac{3}{5}v_{P2}$

得 $\boldsymbol{v_{P2}'^2=(\frac{3}{5})^2v_{P2}^2=(\frac{3}{5})^2\cdot 2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^4\cdot 2gh_0}$

同理弹球 P 与 1 号弹球第 3 次碰撞前瞬间的速度 v_{P3} 满足

$v_{P3}^2=2g(h_2-h_1)+v_{P2}'^2=[(\frac{3}{5})^2+1]\cdot 2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^4\cdot 2gh_0$

弹球 P 与 1 号弹球第 3 次碰撞后瞬间的速度 $v_{P3}'=\frac{3}{5}v_{P3}$

得 $\boldsymbol{v_{P3}'^2=(\frac{3}{5})^2v_{P3}^2=[(\frac{3}{5})^4+(\frac{3}{5})^2]\cdot 2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^6\cdot 2gh_0}$

同理弹球 P 与 1 号弹球第 4 次碰撞前瞬间的速度 v_{P4} 满足

$v_{P4}^2=2g(h_2-h_1)+v_{P3}'^2=[(\frac{3}{5})^4+(\frac{3}{5})^2+1]\cdot 2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^6\cdot 2gh_0$

弹球 P 与 1 号弹球第 4 次碰撞后瞬间的速度 $v_{P4}'=\frac{3}{5}v_{P4}$

得 $\boldsymbol{v_{P4}'^2=(\frac{3}{5})^2v_{P4}^2=[(\frac{3}{5})^6+(\frac{3}{5})^4+(\frac{3}{5})^2]\cdot 2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^8\cdot 2gh_0}$

……

弹球 P 与 1 号弹球第 k 次碰撞前瞬间的速度 v_{Pk} 满足 $v_{Pk}^2=2g(h_2-h_1)+v_{P(k-1)}'^2$

弹球 P 与 1 号弹球第 k 次碰撞后瞬间的速度 $v_{Pk}'=\frac{3}{5}v_{Pk}$

得 $\boldsymbol{v_{Pk}'^2=(\frac{3}{5})^2v_{Pk}^2=[(\frac{3}{5})^{2(k-1)}+(\frac{3}{5})^{2(k-2)}\cdots+(\frac{3}{5})^2]\cdot 2g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^{2k}\cdot 2gh_0}$

故 $\boldsymbol{v_{Pk}'=\sqrt{\frac{9}{8}[1-(\frac{3}{5})^{2(k-1)}]g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^{2k}\cdot 2gh_0}}$

【方法二】由 $\begin{cases}v_{Pk}^2=2g(h_2-h_1)+v_{P(k-1)}'^2\\ v_{Pk}'=\frac{3}{5}v_{Pk}\end{cases}$ 得递推关系 $v_{Pk}'^2=\frac{18}{25}g(h_2-h_1)+\frac{9}{25}v_{P(k-1)}'^2$

构造成等比数列形式：$v_{Pk}'^2-\frac{9}{8}g(h_2-h_1)=\frac{9}{25}[v_{P(k-1)}'^2-\frac{9}{8}g(h_2-h_1)]$

其中首项 $v_{P1}'^2-\frac{9}{8}g(h_2-h_1)=\frac{9}{25}\cdot 2gh_0-\frac{9}{8}g(h_2-h_1)$，

故 $v_{Pk}'^2-\frac{9}{8}g(h_2-h_1)=(\frac{9}{25})^{k-1}[\frac{9}{25}\cdot 2gh_0-\frac{9}{8}g(h_2-h_1)]$

整理得 $v_{Pk}'=\sqrt{\frac{9}{8}[1-(\frac{3}{5})^{2(k-1)}]g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^{2k}\cdot 2gh_0}$

（iii）所有弹球（包括 P）都能到达出口，则要求每次碰撞后 P 都能越过 h_1 高度，最终能达到出口，即 $\frac{1}{2}Mv_{Pk}'^2-Mgh_1>0$，即 $v_{Pk}'>\sqrt{2gh_1}$ 对任意 $k\leqslant N$ 都成立。

由（ii）整理得 $v_{Pk}'=\sqrt{\frac{9}{8}g(h_2-h_1)+(\frac{3}{5})^{2k}\cdot 2g[h_0-\frac{25}{16}(h_2-h_1)]}$，其中 $h_0>\frac{25}{16}(h_2-h_1)$

v_{Pk}' 随 k 的增大而减小，当取 $k=N$，且 N 足够大时，有最小值 $v_{Pk}'=\sqrt{\frac{9}{8}g(h_2-h_1)}$

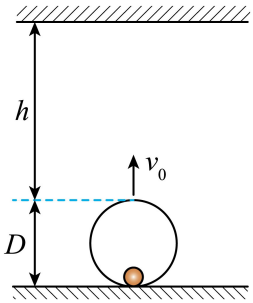
按要求应有 $\sqrt{\frac{9}{8}g(h_2-h_1)}>\sqrt{2gh_1}$　　得 $h_2>\frac{25}{9}h_1$

24. [2026 · 河南卷]如图，水平地面上的球壳内下端有一小球，球壳的直径 $D=0.25\text{m}$，上端距天花板的距离为 $h=6\text{m}$。现以 $v_0=11\text{m/s}$ 的初速度把球壳连同小球一起竖直向上抛出，球壳与天花板碰撞后经过 $\Delta t=0.1\text{s}$，小球与球壳发生第 1 次碰撞。所有的碰撞均为弹性碰撞、时间极短，不计球壳厚度和空气阻力，重力加速度大小取 $g=10\text{m/s}^2$。

(1) 求小球的直径；

(2) 求小球与球壳第 1 次碰撞后瞬间两者速度差的大小，及它们前两次碰撞的时间间隔；

(3) 若小球与球壳第 8 次碰撞前瞬间球壳的速度大小为 $v_1=6\text{m/s}$，求球壳首次碰地时的速度大小。



答案 (1)0.05m　(2)2m/s，0.1s　(3)$2\sqrt{22}\,\text{m/s}$

解析 (1) 由 $v^2-v_0^2=-2gh$　得球壳第一次碰到天花板前瞬间速度大小 $v=1\,\text{m/s}$

球壳与天花板碰撞后瞬间速度等大反向，此时小球速度仍为 v。

【方法一】两者加速度都是 g，故由相对运动可知 $D-d=2v\Delta t$　得 $d=0.05\,\text{m}$

【方法二】球壳向下匀加速，小球向上匀减速，有

$v\Delta t+\frac{1}{2}g\Delta t^2+v\Delta t-\frac{1}{2}g\Delta t^2=D-d$　得 $d=0.05\,\text{m}$

(2) 以竖直向下为正方向，设球壳与小球第 1 次碰撞前瞬间速度分别为 v_{10} 和 u_{10}，有

$v_{10}=v+g\Delta t$，$u_{10}=-v+g\Delta t$　得 $v_{10}=2\,\text{m/s}$，$u_{10}=0$

由弹性碰撞可知，碰撞后相对远离速度等于相对靠近速度，故碰撞后瞬间两者速度差的大小即为 $\Delta v=v_{10}-u_{10}=2v=2\,\text{m/s}$；

【补充证明】设球壳和小球质量分别为 m_1、m_2，由弹性碰撞动量守恒、动能守恒得

$$\begin{cases}m_1v_{10}+m_2u_{10}=m_1v_{11}+m_2u_{11}\\ \frac{1}{2}m_1v_{10}^2+\frac{1}{2}m_2u_{10}^2=\frac{1}{2}m_1v_{11}^2+\frac{1}{2}m_2u_{11}^2\end{cases}\text{整理得}\begin{cases}m_1(v_{10}-v_{11})=m_2(u_{11}-u_{10})\\ m_1(v_{10}^2-v_{11}^2)=m_2(u_{11}^2-u_{10}^2)\end{cases}$$

两式相除，得 $v_{10}+v_{11}=u_{11}+u_{10}$　即 $u_{11}-v_{11}=v_{10}-u_{10}$

它们碰撞脱离后，由于加速度都是 g，故两者速度差仍然保持不变，则

前两次碰撞的时间间隔 $\Delta t'=\frac{D-d}{\Delta v}=0.1\,\text{s}$

(3) 由于碰撞前后相对速度不变，两者脱离后相对速度仍然不变，可知任意相邻两次碰撞的时间间隔都为 $\Delta t'=0.1\,\text{s}$。第 8 次碰撞前球壳的速度 $v_{80}=v_1=6\,\text{m/s}$，由于此时小球速度大于球壳，故 $u_{80}=v_{80}+\Delta v=8\,\text{m/s}$。

从“第 1 次碰撞前”到“第 8 次碰撞前”过程，对系统由动量定理得

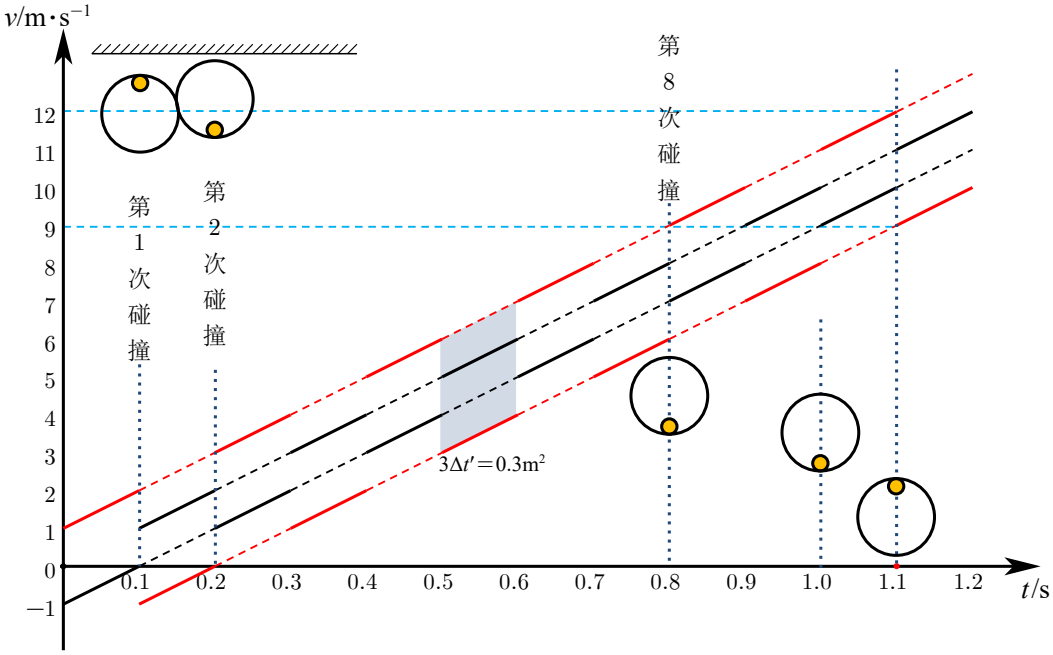
$(m_1+m_2)g\cdot 7\Delta t'=(m_1v_{80}+m_2u_{80})-(m_1v_{10}+m_2u_{10})$　得 $m_2=3m_1$

故由弹性碰撞可求得，球壳和小球第 1 次碰撞后速度分别为 $v_{11}=-1\,\text{m/s}$，$u_{11}=1\,\text{m/s}$

第 2 次碰撞前速度分别为 $v_{20}=v_{11}+g\Delta t'=0$，$u_{20}=u_{11}+g\Delta t'=2\,\text{m/s}$

第 2 次碰撞后速度分别为 $v_{21}=3\,\text{m/s}$，$u_{21}=1\,\text{m/s}$

以此类推，从球壳与天花板碰撞开始计时，球壳（红色）和小球（黑色）的 $v-t$ 图像如图。



第 $2n$ 次碰撞后瞬间，$t=2n\Delta t'=0.2n$（s），$v_{2n1}=2n+1$（m/s）

由 $v-t$ 图像面积代表位移可知，球壳下落位移 $x_{2n}=\dfrac{v+v_{2n1}}{2}t-3\Delta t'\cdot n=\dfrac{2n^2-n}{10}$（m）

当 $\dfrac{2n^2-n}{10}\leqslant 6$ 时说明球壳还未碰地，求得 $n_{max}=5$，即第 12 次碰撞前球壳已经碰地。

第 10 次碰撞后，球壳下落了 $x_{10}=4.5\,\text{m}$，此时 $v_{101}=11\,\text{m/s}$，

第 11 次碰撞前 $v_{110}=12\,\text{m/s}$，球壳继续下落了 $\Delta x=\dfrac{v_{101}+v_{110}}{2}\Delta t'=11.5\times 0.1=1.15\,\text{m}$

第 11 次碰撞后 $v_{111}=9\,\text{m/s}$，此时球壳底部离地面距离 $\Delta h=6-4.5-1.15=0.35\,\text{m}$

由 $v^2-v_{111}^2=2g\Delta h$　　得 $v=2\sqrt{22}\,\text{m/s}$

【方法二（质心法）】初始时刻（球壳碰天花板时），小球在球壳底部，系统质心初速度 $v_{C0}=\dfrac{m_1v+m_2(-v)}{m_1+m_2}=-0.5\,\text{m/s}$（负号代表方向竖直向上）；

由于第偶数次碰撞时小球都在球壳底部，故质心和球壳球心相对位置相同。

第 $2n$ 次碰撞时质心位移 $y=v_{C0}(2n\Delta t)+\dfrac{1}{2}g(2n\Delta t)^2=0.2n^2-0.1n$（m），对应球壳位移即为 y。

由 $y\leqslant 6\,\text{m}$ 得 $n_{max}=5$，即第 12 次碰撞前球壳已经碰地。

第 10 次碰撞后，球壳下落了 $y(10)=4.5\,\text{m}$，由 $v_{C10}=v_{C0}+g(10\Delta t)=9.5\,\text{m/s}$，结合 $v_{C10}=\dfrac{m_1v_{101}+m_2u_{101}}{m_1+m_2}$，$v_{101}=u_{101}+\Delta v$ 得 $v_{101}=11\,\text{m/s}$，

第 11 次碰撞前 $v_{110}=v_{101}+g\Delta t=12\,\text{m/s}$，球壳继续下落了 $\Delta x=\dfrac{v_{101}+v_{110}}{2}\Delta t=11.5\times 0.1=1.15\,\text{m}$

第 11 次碰撞后 $v_{111}=9\,\text{m/s}$，此时球壳底部离地面距离 $\Delta h=6-4.5-1.15=0.35\,\text{m}$

由 $v^2-v_{111}^2=2g\Delta h$　　得 $v=2\sqrt{22}\,\text{m/s}$

25. [202606·浙江卷] 如图所示，由传送带 AB、直轨道 BC、半圆弧轨道 CDE、及直轨道 EF、FG 平滑连接而成的 U 型水平装置，除传送带 AB 外，其余轨道均光滑。G 点为轻弹簧的固定端，与自由端连接的质量为 $5m$ 的物块 b，静止处于平衡位置 F 点。现有质量为 m 的物块 a，在 A 点以水平向右的初速度 v_0 滑上传送带。已知 $L_{AB}=L_{FG}=0.5\ \mathrm{m}$，轨道 $BCDEF$ 的总长度 $L_{BF}=\frac{7}{4}\ \mathrm{m}$，其中半圆弧轨道半径 $R=0.3\ \mathrm{m}$，物块 a 与传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.8$，振子周期 $T=1\ \mathrm{s}$，$m=0.1\ \mathrm{kg}$，$v_0=\sqrt{17}\ \mathrm{m/s}$，物块 a 和 b 可视为质点，它们之间的碰撞为弹性碰撞。

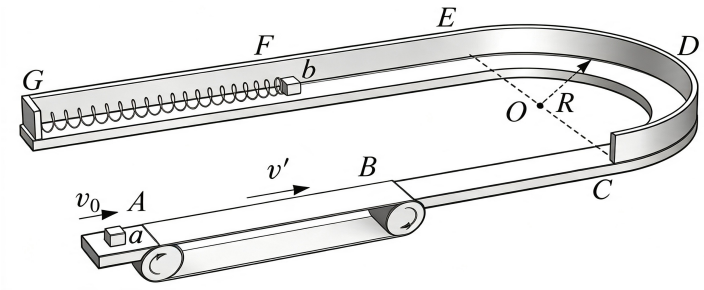
(1) 若传送带保持静止，求

①物块 a 第一次经过 B 点时的速度大小；

②物块 a 第一次经过 D 点时轨道侧壁对其弹力的大小；

③第一次碰撞后弹簧的最大势能；

(2) 若传送带以速度 $v'=3\ \mathrm{m/s}$ 从 A 向 B 传动，物块 a 重新从 A 点以速度 v_0 出发，物块 b 仍静止在 F 点，通过计算判断 a 与 b 发生第二次碰撞时弹簧处于伸长还是压缩状态，以及 b 的运动方向。



答案 (1) ① $v_B=3\ \mathrm{m/s}$；② $F_N=3\ \mathrm{N}$；$E_{pm}=0.25\ \mathrm{J}$　(2) 弹簧处于压缩状态，b 运动方向朝 F 点。

解析 (1) ① $A\to B$ 过程，有 $-\mu mgL_{AB}=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　得 $v_B=3\ \mathrm{m/s}$

② $B\to D$ 过程物块机械能守恒，故 $v_D=v_B$，D 点有 $F_N=\frac{mv_D^2}{R}$　得 $F_N=3\ \mathrm{N}$

③弹性碰撞过程，由动量守恒和能量守恒得

$$\begin{cases} mv_B=mv_1+5mv_2 \\ \frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}(5m)v_2^2 \end{cases}$$

得 $v_1=\frac{m-5m}{m+5m}v_B=-2\ \mathrm{m/s}$，$v_2=\frac{2m}{m+5m}v_B=1\ \mathrm{m/s}$

物块 b 从碰撞后到速度减为零，由动能定理得 $-W_{弹}=0-\frac{1}{2}(5m)v_2^2$　得 $W_{弹}=0.25\ \mathrm{J}$

故弹簧最大势能 $E_{pm}=W_{弹}=0.25\ \mathrm{J}$

(2) 由 (1) 可知 $v'=v_B$，故物块 a 到达 B 点的速度仍是 v_B，故第一次碰撞后 a、b 速度分别为 $v_1=-2\ \mathrm{m/s}$，$v_2=1\ \mathrm{m/s}$。

a 从 F 点反弹后经传送带再次回到 F 点，所需时间 $t=\frac{2L_{BF}}{-v_1}+\frac{-2v_1}{\mu g}=2.25\ \mathrm{s}$

经过 $t=2T+\frac{1}{4}T$ 时间，弹簧刚好处在最大压缩状态，故第二次碰撞时弹簧处于压缩状态，b 运动方向朝 F 点。

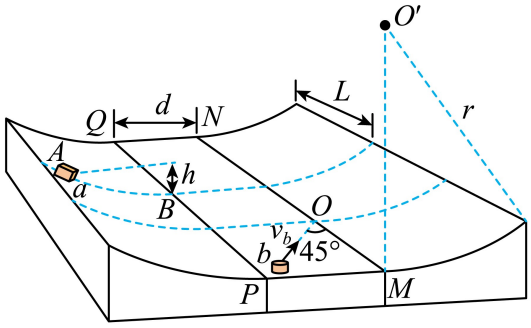
26. [202601·浙江卷] 如图所示，一宽度为 d 的光滑长方形平板 $MNQP$，长边 MN、PQ 分别平滑连接半径均为 r 的光滑圆弧面，形成“U”形槽，将其整体固定在水平地面上。现有质量为 m 的物块 a，从圆弧面上相对平板竖直高度为 h 的 A 点静止下滑 $(h \ll r)$，途径圆弧面上最低点 B。平板上有一质量为 $\frac{1}{3}m$ 的物块 b 与 MN 成 45° 角从 O 点滑入圆弧面，第一次到达最高点时恰好与同时到达最高点的物块 a 发生弹性碰撞。两物块均视为质点。

(1) 求物块 a 第一次经过 B 点时速度大小 v_0 和所受支持力大小 F_N；

(2) 从 A 到 B 的过程中，物块 a 相对于 B 点位移为 x，求其所受回复力 F 与 x 的关系式；

(3) 求物块 b 的初速度大小 v_b，以及碰撞后瞬间物块 a 的速度大小 v_a；

(4) 若 $h=0.032\,\mathrm{m}$，$r=10\,\mathrm{m}$，$d=0.4\,\mathrm{m}$，要使物块 a 从 NQ 之间滑离，求 BQ 间距 L 的范围。

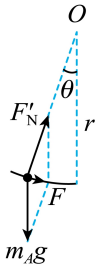


答案 (1)$v_0=\sqrt{2gh}$，$F_N=\frac{2h+r}{r}mg$　(2)$F=-\frac{mg}{r}x$　(3)$2\sqrt{gh}$，$\frac{\sqrt{2gh}}{2}$

(4) 见解析

解析 (1)$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$　得 $v_0=\sqrt{2gh}$

在 B 点，有 $F_N-mg=\frac{mv_0^2}{r}$　得 $F_N=\frac{2h+r}{r}mg$



(2) 如图，设位移为 x 时所对的圆心角为 θ，回复力由重力沿圆弧切线方向的分力提供，即 $F=mg\sin\theta$

由于 $h \ll r$，故 $\theta \to 0$，则 $\sin\theta \approx \theta \approx \frac{x}{r}$

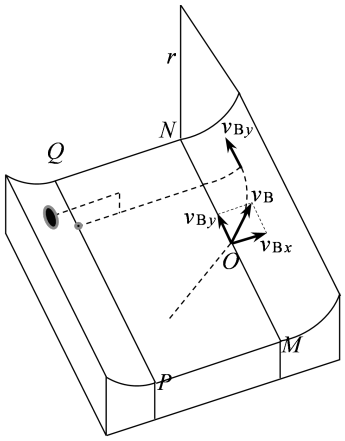
因此单摆振动的回复力 F 可表示为 $F=-\frac{mg}{r}x$（负号表示回复力与位移的方向相反）

(3) 设滑块 b 的速度沿槽轴线和垂直槽轴线分速度为 v_{bx}、v_{by}，如图。

物块 b 到达最高点时速度即为 $v_{by}=v_b\cos45°=\frac{\sqrt{2}}{2}v_b$，

对 b 由动能定理得 $-m_bgh=\frac{1}{2}m_bv_{by}^2-\frac{1}{2}m_bv_b^2$　其中 $m_b=\frac{1}{3}m$

得 $v_b=2\sqrt{gh}$



a 和 b 在最高点发生水平弹性碰撞，由系统能量守恒和沿槽轴线动量守恒得

$$\begin{cases} m_bv_{by}=m_bv'_{by}+mv_a \\ \frac{1}{2}m_bv_{by}^2=\frac{1}{2}m_bv'^2_{by}+\frac{1}{2}mv_a^2 \end{cases}$$

得 $v_a=\frac{1}{2}v_{by}=\frac{\sqrt{2gh}}{2}$

(4) 由第 (2) 问可知物块 a 在圆弧面垂直槽轴线方向做简谐运动，周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{r}{g}}$

碰撞后物块 a 沿槽轴线做匀速直线运动，到达 MN 边缘的时间 $t=\dfrac{L}{v_a}$

①在 t 内，在到达 PQ 边前滑离，有 $\dfrac{T}{4}<t<\dfrac{T}{4}+\dfrac{d}{v_0}$

②在 t 内，穿过 PQ 两次后在到达 MN 之前滑离，有 $\dfrac{T}{4}+\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}<t<\dfrac{T}{4}+\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}+\dfrac{d}{v_0}$

③在 t 内，穿过 MN 三次后在到达 QP 之前滑离，有

$\dfrac{T}{4}+\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}+\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}<t<\dfrac{T}{4}+\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}+\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}+\dfrac{d}{v_0}$

以此类推，有 $\dfrac{T}{4}+n\left(\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}\right)<t<\dfrac{T}{4}+n\left(\dfrac{d}{v_0}+\dfrac{T}{2}\right)+\dfrac{d}{v_0}$　　$(n=0,1,2,\cdots)$

由题给数据可得 $T=2\pi\,\mathrm{s}$，$v_0=0.8\,\mathrm{m/s}$，$v_a=0.4\,\mathrm{m/s}$，$\dfrac{d}{v_0}=0.5\,\mathrm{s}$，

故 $\dfrac{\pi}{2}+n(0.5+\pi)<\dfrac{L}{0.4}<\dfrac{\pi}{2}+n(0.5+\pi)+0.5$

得 $\boldsymbol{[0.2\pi+n(0.2+0.4\pi)]\,\mathrm{m}<L<[0.2\pi+n(0.2+0.4\pi)+0.2]\,\mathrm{m}}$

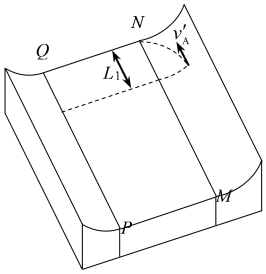


图 3

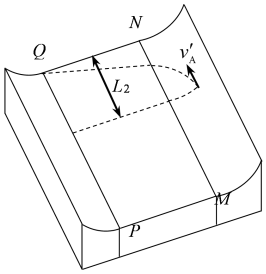


图 4

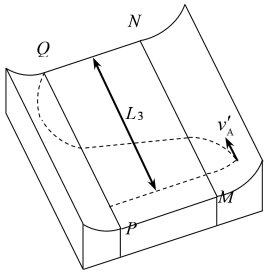


图 5

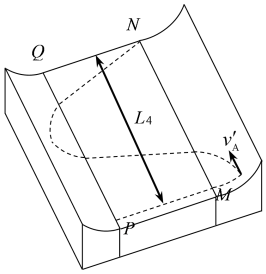


图 6

27. [2026 · 湖南卷]如图，长为 L 的轻杆竖直放置，上端固定一质量为 m 的小球，下端连接于水平地面上某固定点，杆可绕该点无摩擦转动。小球内部安装了质量不计的智能弹射装置。受轻微扰动后，小球和杆从静止开始一起运动，当两者间弹力为 0 时，小球脱离轻杆，重力加速度为 g，不计空气阻力。

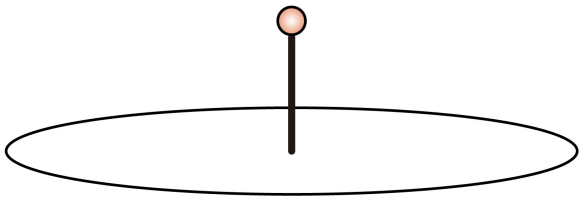
(1) 求小球接触地面瞬间的速度 v 的大小；

(2) 求小球接触地面瞬间的速度与水平面夹角 α 的正切值；

(3) 小球与地面碰撞前后，竖直方向分速度大小相等、方向相反，水平方向分速度相等。碰撞后瞬间，智能弹射装置工作，小球在极短时间内分裂成两部分，两部分速度方向均与小球分裂前瞬间的速度方向成 θ 角 (θ 已知，且 $0<\theta<\alpha$)。设两部分质量之比为 k，弹射装置释放的能量为 E。

(ⅰ)求 E 与 k 的关系；

(ⅱ)当 E 最小时，若分裂后两部分第一次落地时刻相同，求两部分第一次落地点的间距 d。



答案 (1)$v=\sqrt{2gL}$　(2)$\tan\alpha=\dfrac{\sqrt{23}}{2}$

(3)(ⅰ)$E=\left[\dfrac{(k+1)^2}{4k\cos^2\theta}-1\right]mgL$　(ⅱ)$d=\dfrac{8\sqrt{69}L\tan\theta}{9}$

解析 (1)$mgL=\dfrac{1}{2}mv^2$　得 $v=\sqrt{2gL}$

(2) 设小球脱离轻杆的时候速度为 v_0，方向与水平面夹角为 β，

由动能定理得 $mgL(1-\cos\beta)=\dfrac{1}{2}mv_0^2$

脱离前瞬间，重力的分力提供向心加速度，有 $mg\cos\beta=\dfrac{mv_0^2}{L}$

得 $\cos\beta=\dfrac{2}{3}$，$v_0=\sqrt{\dfrac{2gL}{3}}$

之后做斜抛运动，该过程水平分速度不变，有 $v_0\cos\beta=v\cos\alpha$

得 $\cos\alpha=\dfrac{2}{3\sqrt{3}}$，故 $\tan\alpha=\dfrac{\sqrt{23}}{2}$

(3)(ⅰ)设分裂后两部分质量分别为 $m_1=\dfrac{1}{k+1}m$、$m_2=\dfrac{k}{k+1}m$，速度分别为 v_1、v_2，

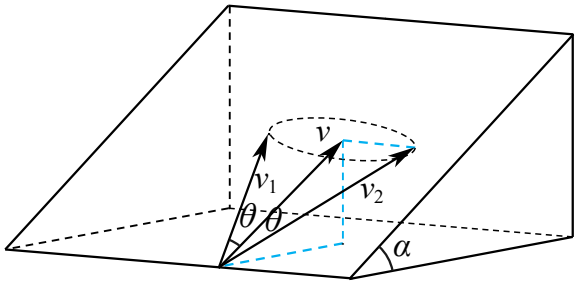
分裂过程动量守恒，$\begin{cases}\text{沿着}v\text{方向} & m_1v_1\cos\theta+m_2v_2\cos\theta=mv\\ \text{垂直}v\text{方向} & m_1v_1\sin\theta=m_2v_2\sin\theta\end{cases}$　得 $v_2=\dfrac{k+1}{2k\cos\theta}v$，$v_1=kv_2$，

则 $E=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2^2-\dfrac{1}{2}mv^2=\left[\dfrac{(k+1)^2}{4k\cos^2\theta}-1\right]mgL$

(ⅱ)$E=\left[\dfrac{k+2+\dfrac{1}{k}}{4\cos^2\theta}-1\right]mgL$，当且仅当 $k=\dfrac{1}{k}$，即 $k=1$ 时，取最小值 $E_{min}=mgL\tan^2\theta$，

此时 $v_1=v_2=\dfrac{v}{\cos\theta}$，$m_1=m_2=\dfrac{1}{2}m$，

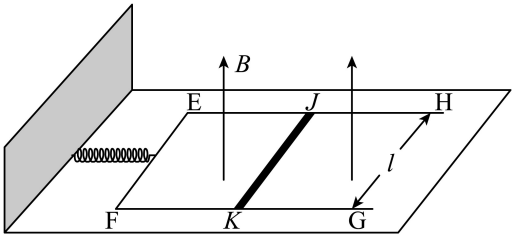
$\vec{v}_1$、$\vec{v}_2$ 处在顶角为 2θ 的圆锥表面上，由于落地时刻相同，故 $\vec{v}_1$、$\vec{v}_2$ 的竖直分速度相同，则 $\vec{v}_1$、$\vec{v}_2$ 处在倾角为 α 的斜面上。



$\vec{v_1}$、$\vec{v_2}$ 的竖直分速度 $v_y=v_1\cos\theta\sin\alpha$，故两部分的落地时间 $t=\dfrac{2v_y}{g}=\dfrac{2v\sin\alpha}{g}$

两者落地间距 $d=v_1\sin\theta\times t+v_2\sin\theta\times t=\dfrac{4v^2\tan\theta\sin\alpha}{g}=\dfrac{8\sqrt{69}L\tan\theta}{9}$

28. [2026 · 四川卷]如图所示，两根相距 l 的平行金属长导轨 EH、FG 与金属杆 EF 固定连接成 U 形框。U 形框质量为 m，电阻不计，静止在水平绝缘桌面上，与桌面间动摩擦因数为 μ。劲度系数为 k 的绝缘轻弹簧一端连接杆 EF 的中点，另一端与墙壁相连，弹簧水平且处于原长。导轨上静置一质量为 m，电阻为 R 的光滑金属杆 JK。空间存在方向竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为大小为 B。现使杆 JK 在水平向右的外力作用下做匀速直线运动。杆 JK 始终与导轨垂直且接触良好，弹簧始终与杆 EF 垂直且在弹性限度内，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等，重力加速度大小为 g。



(1) 求 U 形框所受最大静摩擦力的大小；

(2) 若弹簧保持原长，求杆 JK 做匀速直线运动速度的最大值；

(3) 若杆 JK 运动速度大小为 v，当弹簧伸长量为 x_0 时外力功率最小，求此时 U 形框的速度大小和外力功率的最小值。

答案 (1)$f=2\mu mg$　(2)$v_m=\dfrac{2\mu mgR}{B^2l^2}$　(3)$v-\dfrac{(2\mu mg+kx_0)R}{B^2l^2}$、$(2\mu mg+kx_0)v$

解析 (1)$f=2\mu mg$

(2)EF 受到的安培力恰好等于最大静摩擦力，即 $f=BIl$，其中 $I=\dfrac{Blv_m}{R}$　得 $v_m=\dfrac{2\mu mgR}{B^2l^2}$

(3) 设某时刻 U 形框的速度为 u，则电动势 $E=Bl(v-u)$，电流 $I=\dfrac{E}{R}$

对杆 JK，有 $F_{外}=BIl=\dfrac{B^2l^2(v-u)}{R}$，外力功率 $P=F_{外}v=\dfrac{B^2l^2v(v-u)}{R}$ 随 u 增大而减小。

对 U 形框，有 $BIl-f-kx=ma$，即 $\dfrac{B^2l^2(v-u)}{R}-2\mu mg-kx=ma$

由表达式可知，随着 u 增大，则 x 增大，a 减小。即 U 形框先做加速运动，当 $a=0$ 时 u 最大，此时 P 最小，由题意得 $x=x_0$，

故 $\frac{B^2l^2(v-u_m)}{R}-2\mu mg-kx_0=0$　得 $u_m=v-\frac{(2\mu mg+kx_0)R}{B^2l^2}$

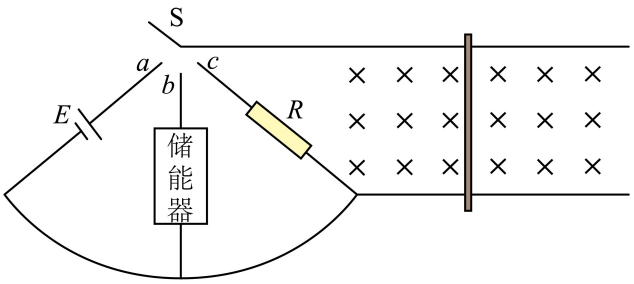
$P_{min}=\frac{B^2l^2v(v-u_m)}{R}=(2\mu mg+kx_0)v$

29. [2026 · 湖南卷]某小组制作了一储能器，其两端电压 U 与其储存的电荷量 q 间的函数关系近似为 $U=kq$（k 为常量）。将该储能器接入如图所示电路，a、b、c 为固定的三个触点。两足够长的平行金属导轨固定于水平面上，电阻不计，间距为 L。导轨间有竖直向下的匀强磁场，磁感应强度为 B。质量为 m 的导体棒垂直导轨放置，接入电路的阻值为 r。电源电动势为 E，内阻不计。定值电阻阻值为 R。t_0 时刻开关 S 与 a 连接，直到导体棒做匀速运动，再于 t_1 时刻切换开关与 b 或 c 连接。运动过程中导体棒与导轨始终垂直且接触良好，忽略摩擦。

(1) 求 t_0 时刻导体棒加速度 a_0 的大小；

(2) 若 t_1 时刻开关与 b 连接，储能器接入电路前电压为 0，当储能器电压为 U_0 时（此时电路中电流不为 0），求导体棒速度 v 的大小；

(3) 若 t_1 时刻开关与 c 连接，求从 t_0 时刻起到导体棒静止的过程中，导体棒上产生的焦耳热 Q。



答案 (1)$a_0=\frac{BLE}{mr}$　(2)$v=\frac{E}{BL}-\frac{BLU_0}{km}$　(3)$Q=\frac{(2r+R)mE^2}{2(r+R)B^2L^2}$

解析 (1)$E=Ir$，$BIL=ma_0$　得 $a_0=\frac{BLE}{mr}$

(2) 棒做匀速运动时的速度 v_1 满足 $BLv_1=E$　得 $v_1=\frac{E}{BL}$

对棒，由动量定理得 $mv-mv_1=-\sum BIL\Delta t=-BLq$　其中 $q=\frac{U_0}{k}$

得 $v=\frac{E}{BL}-\frac{BLU_0}{km}$

(3)t_1 时刻前，对棒由动量定理得 $BLq_1=mv_1$　得 $q_1=\frac{mv_1}{BL}=\frac{mE}{B^2L^2}$

由能量守恒得 $Eq_1=Q_1+\frac{1}{2}mv_1^2$　得 $Q_1=\frac{mE^2}{2B^2L^2}$

t_1 时刻后，由能量守恒得 $\frac{1}{2}mv_1^2=Q_2+\frac{R}{r}Q_2$　得 $Q_2=\frac{r}{r+R}\cdot\frac{mE^2}{2B^2L^2}$

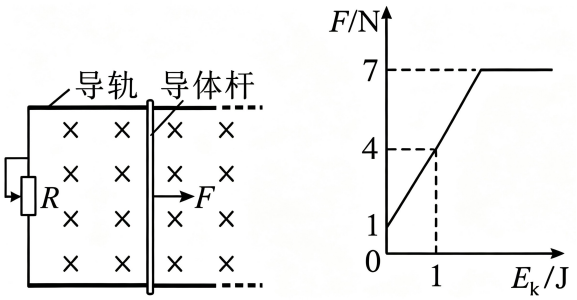
得 $Q=Q_1+Q_2=\frac{(2r+R)mE^2}{2(r+R)B^2L^2}$

30. [2026 · 重庆卷]小明提出一个通过改变牵引力大小来控制小车速率的设想，其原理示意图如图1所示。足够长的平行光滑导轨水平固定在绝缘面上，与滑动变阻器 R 和导体杆构成回路，空间充满垂直于导轨平面向下的匀强磁场。杆以初速度 v_0 向右运动，始终与导轨垂直并接触良好，所受牵引力 F 的方向垂直于杆水平向右，F 的大小随杆的动能 E_k 的变化关系如图2所示。磁感应强度 $B=2\text{T}$，导轨间距 $l=1\text{m}$，$0<R\leqslant 3\Omega$，杆的质量 $m=2\text{kg}$，导轨和杆的电阻不计。

(1) 若 $R=1\Omega$，求杆的速度大小为 0.5m/s 时其所受安培力大小。

(2) 保持 $R=1\Omega$，若 $v_0=\frac{5}{6}\text{m/s}$，求杆达到匀速时的速度大小，并讨论杆以不同 v_0 开始运动到匀速运动过程中合力做的功。

(3) 调节 R 后，杆以不同 v_0 开始运动，若杆达到匀速时的速度大小只有两个值，求 R 的可能值及杆匀速时的速度大小。



答案 (1)2 N　　(2)$\frac{1}{3}\text{m/s}$，$W=\begin{cases}\frac{1}{9}-v_0^2(\text{J}), & 0\leqslant v_0<1\text{m/s}\\ 0, & v_0=1\text{m/s}\\ \frac{49}{16}-v_0^2(\text{J}), & v_0>1\text{m/s}\end{cases}$

(3)　情况一：$R=\frac{2\sqrt{3}}{3}\Omega$，$v_1'=\frac{\sqrt{3}}{3}\text{m/s}$，$v_2'=\frac{7\sqrt{3}}{6}\text{m/s}$

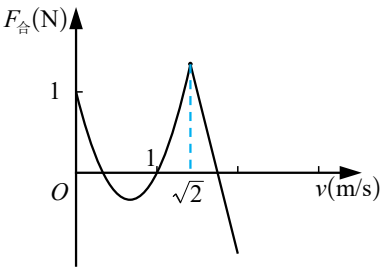
情况二：$R=\frac{4\sqrt{2}}{7}\Omega$，$v_1'=\frac{\sqrt{2}}{6}\text{m/s}$，$v_2'=\sqrt{2}\text{m/s}$

解析 (1)$E=Blv$，$I=\frac{E}{R}$，$F_A=BIl$　得 $F_A=\frac{B^2l^2v}{R}=4v=2\text{N}$

(2) 由图2可知牵引力 $F=\begin{cases}3E_k+1=3v^2+1(\text{N}), & 0\leqslant v\leqslant\sqrt{2}\text{m/s}\\ 7(\text{N}), & v>\sqrt{2}\text{m/s}\end{cases}$

又 $F_A=4v(\text{N})$，故合力 $F_{合}=F-F_A=$

$\begin{cases}3v^2+1-4v(\text{N}), & 0\leqslant v\leqslant\sqrt{2}\text{m/s}\\ 7-4v(\text{N}), & v>\sqrt{2}\text{m/s}\end{cases}$



匀速时有 $F_{合}=0$，得 $v_1=\frac{1}{3}\text{m/s}$，$v_2=1\text{m/s}$，$v_3=\frac{7}{4}\text{m/s}$

若 $v_0=\frac{5}{6}\text{m/s}$，初始合力 $F_{合0}<0$，负号代表合力方向水平向左，即杆做减速运动，故匀速时速度 $v_1=\frac{1}{3}\text{m/s}$

①若 $0\leqslant v_0<\frac{1}{3}\text{m/s}$，则 $F_{合0}>0$，杆做加速运动直至 $v_1=\frac{1}{3}\text{m/s}$，由动能定理 $W=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{9}-v_0^2$

②若 $\frac{1}{3}$ m/s$<v_0<1$ m/s，则 $F_{合0}<0$，杆做减速运动直至 $\frac{1}{3}$ m/s，同理得 $W=\frac{1}{9}-v_0^2$

③若 1 m/s$<v_0<\frac{7}{4}$ m/s，则 $F_{合0}>0$，杆做加速运动直至 $v_3=\frac{7}{4}$ m/s，得 $W=\frac{1}{2}mv_3^2-\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{49}{16}-v_0^2$

④若 $v_0>\frac{7}{4}$ m/s，则 $F_{合0}<0$，杆做减速运动直至 $\frac{7}{4}$ m/s，得 $W=\frac{49}{16}-v_0^2$

⑤若 $v_0=1$ m/s 或 $\frac{1}{3}$ m/s 或 $\frac{7}{4}$ m/s，则杆做匀速运动，得 $W=0$

综上，$W=\begin{cases}\frac{1}{9}-v_0^2\text{（J）}, & 0\leqslant v_0<1\text{ m/s}\\ 0, & v_0=1\text{ m/s}\\ \frac{49}{16}-v_0^2\text{（J）}, & v_0>1\text{ m/s}\end{cases}$

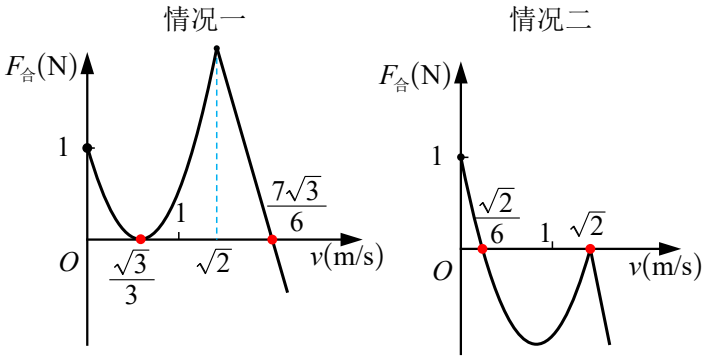
(3)$F_A=\frac{B^2l^2v}{R}=\frac{4v}{R}$，$F_{合}=F-F_A=\begin{cases}3v^2-\frac{4}{R}v+1\text{（N）}, & 0\leqslant v\leqslant\sqrt{2}\text{ m/s}\\ 7-\frac{4}{R}v\text{（N）}, & v>\sqrt{2}\text{ m/s}\end{cases}$

要使匀速速度 v 只有两个值，有如下两种情况。

情况一：$v>\sqrt{2}$ m/s 时有一个解（则有 $F_{合}(\sqrt{2})>0$）；

要使 $0\leqslant v\leqslant\sqrt{2}$ m/s 时函数 $F_{合}(v)$ 只有一个解，必有 $\Delta=0$，得 $(\frac{4}{R})^2-4\times3\times1=0$，

故 $R=\frac{2\sqrt{3}}{3}\Omega$，$v_1'=\frac{\sqrt{3}}{3}$ m/s，$v_2'=\frac{7\sqrt{3}}{6}$ m/s



情况二：$v>\sqrt{2}$ m/s 时无解；

要使 $0\leqslant v\leqslant\sqrt{2}$ m/s 时函数 $F_{合}(v)$ 有两个不同的解，必有 $F_{合}(\sqrt{2})=0$，即有一解为 $v=\sqrt{2}$ m/s，

得 $R=\frac{4\sqrt{2}}{7}\Omega$，故 $v_1'=\frac{\sqrt{2}}{6}$ m/s，$v_2'=\sqrt{2}$ m/s

31. [202606·浙江卷] 为了对高压直流输电线路进行自动安全检测，某技术团队研发出一种由安培力驱动的沿输电线行走的检测机器人。其动力装置简化结构如图甲所示，在行走轮（图中未画出）上安装有由 n 匝正方形线圈组成的螺绕环，其内、外半径分别为 r_1 和 r_2，环内的一半空间（图中深色区域）填充有均匀磁性材料（线圈绝缘嵌入其中）；线圈以输电线中心轴（z 轴）对称绕制，每匝线圈电阻为 R_0，n 匝线圈串联后与恒流源相连接，其输出电流为 I、且大小可调。已知：$r_1=0.03\,\mathrm{m}$，$r_2=0.06\,\mathrm{m}$，$R_0=0.01\Omega$，$n=30$，沿 z 轴正方向载有 $I_0=10^3\,\mathrm{A}$ 电流的长直输电导线，在线圈所在区域产生的磁场，等效于磁感应强度大小 $B=4.6\times10^{-3}\,\mathrm{T}$ 的均匀磁场；若空间存在磁性材料，则该处的磁感应强度增强至 $B'=2.5\,\mathrm{T}$。

(1) 在答题纸虚线框内，画出输电线电流 I_0 产生磁场的磁感线分布（沿 z 轴方向看），并标明方向；

(2) 当恒流源输出电流 $I=10\,\mathrm{A}$ 时

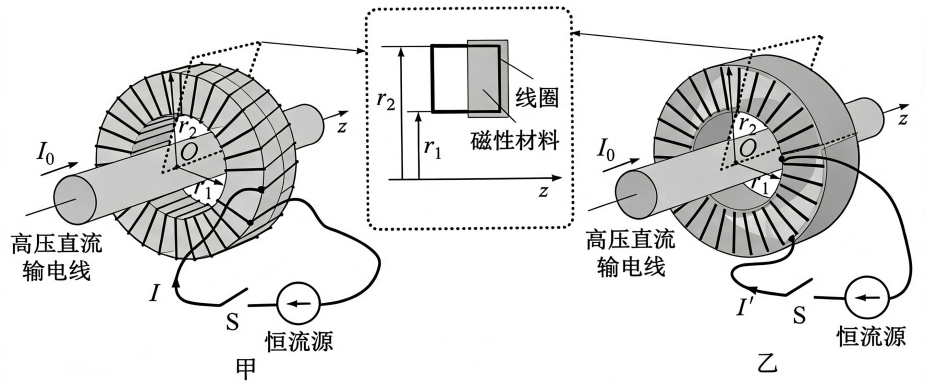
①判断线圈所受安培力 F_A 的方向（z 轴正方向或负方向），写出其表达式，并求出其值；

②求线圈电路消耗的热功率 P；

(3) 另一技术团队对甲方案进行改进，如图乙所示，同轴安装半径分别为 r_1 和 r_2、不计电阻的两金属圆筒，让螺绕环每匝线圈的四个顶点分别与内外圆筒短接，再将两圆筒接入恒流源。若该装置产生的安培力与甲方案相同，求

①恒流源输出的电流 I'；

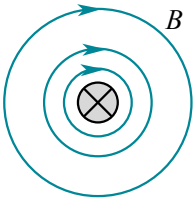
②甲、乙方案中线圈电路消耗的热功率之比 η。

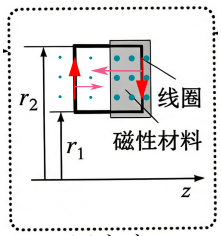


答案 (1) 见解析 (2) ①沿 z 轴负方向；$F_A=nI(B'-B)(r_2-r_1)\approx22.5\,\mathrm{N}$ ② $P=30\,\mathrm{W}$

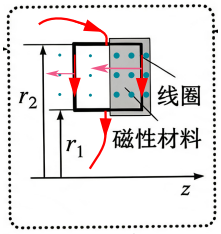
(3) ① $I'=60I$ ② $\eta=2$

解析 (1) 如图所示





甲方案



乙方案

(2) ①由左手定则可知线圈受到的安培力 F_A 沿 z 轴负方向，大小

$F_A=nB'I(r_2-r_1)-nBI(r_2-r_1)=nI(B'-B)(r_2-r_1)$

由于 $B'\gg B$，故可只考虑线圈在磁性材料中受到的安培力，

代入数据得 $F_A\approx nB'I(r_2-r_1)=30\times2.5\times10\times(0.06-0.03)\,\mathrm{N}=22.5\,\mathrm{N}$

②由 $P=I^2(nR_0)$　　得 $P=30\,\mathrm{W}$

(3)①由于圆筒电阻不计，故线圈紧贴圆筒的那部分被短路，(将内外圆筒当成电源两级)相当于沿半径方向的 $2n$ 根辐条并联，故单匝线圈中的电流为 $\frac{I'}{2n}$，

由 $F_A=nB'\frac{I'}{2n}(r_2-r_1)+nB\frac{I'}{2n}(r_2-r_1)\approx nB'\frac{I'}{2n}(r_2-r_1)$　　得 $I'=2nI=60I$

②乙方案中的总电阻 $R'=\frac{R_0/4}{2n}=\frac{R_0}{8n}$，功率 $P'=I'^2R'=\frac{nI^2R_0}{2}$

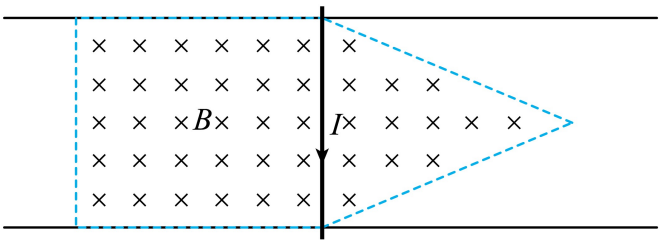
故 $\eta=\frac{P}{P'}=2$

32. [2026 · 广西卷]如图，水平桌面上固定着一对间距为 l 的平行金属导轨。导轨间虚线包围区域由左侧的矩形和右侧的等腰三角形组成，等腰三角形底边为 l，底边上的高为 h。虚线包围的区域内存在磁感应强度大小为 B、方向垂直桌面向下的匀强磁场。一质量为 m 的金属导体棒垂直放置在导轨上，初始位置位于矩形和等腰三角形连接处。设导体棒通有如图所示的电流 I，电流 I 大小可调节，但每次运动过程中 I 保持不变。导体棒与导轨间的动摩擦因数为 μ(设最大静摩擦力等于滑动摩擦力)，重力加速度为 g。

(1) 当 $I=I_0$ 时，求导体棒在初始位置受到的安培力大小和方向；

(2) 对于 $I=I_0$ 情形，导体棒由初始位置从静止开始运动，求其能达到的最大速度的大小及其达到最大速度时位移的大小；

(3) 若导体棒由初始位置从静止开始运动，停止时没有离开磁场区域，求 I 的取值范围，并推导整个运动过程中安培力做的功与电流 I 的函数关系。



答案 (1)$F=BI_0l$，方向水平向右　　(2)$v_m=(BI_0l-\mu mg)\sqrt{\dfrac{h}{mBI_0l}}$，$x_m=(1-\dfrac{\mu mg}{BI_0l})h$

(3)$\dfrac{\mu mg}{Bl}<I\leqslant\dfrac{2\mu mg}{Bl}$，$W_F=\bar{F}h=\dfrac{BIl+0}{2}h=\dfrac{1}{2}BlhI$

解析 (1)$F=BI_0l$，方向水平向右

(2) 当棒位移为 x 时，棒在磁场中的长度 L 满足 $\dfrac{h-x}{h}=\dfrac{L}{l}$，即 $L=(1-\dfrac{x}{h})l$

对棒，有 $BI_0L-\mu mg=ma$，当棒向右运动时，L 逐渐减小，则 a 逐渐减小，棒做变加速直线运动；当 $a=0$ 时棒速度达到最大，此时有 $BI_0L=\mu mg$，

即 $(1-\dfrac{x_m}{h})BI_0l=\mu mg$　　得 $x_m=(1-\dfrac{\mu mg}{BI_0l})h$

由动能定理得 $W_F-\mu mgx_m=\dfrac{1}{2}mv_m^2$

由于 $F=BI_0L=(1-\dfrac{x}{h})BI_0l$ 是 x 的线性函数，故 $W_F=\bar{F}x_m=\dfrac{BI_0l+\mu mg}{2}x_m$

得 $v_m=(BI_0l-\mu mg)\sqrt{\dfrac{h}{mBI_0l}}$

(3) 当电流为 I 时，$F=BIL=(1-\dfrac{x}{h})BIl$ 是 x 的线性函数，则 $W_F=\bar{F}h=\dfrac{BIl+0}{2}h=\dfrac{1}{2}BlhI$

①要使棒能动起来，应有 $BIl>\mu mg$　　得 $I>\dfrac{\mu mg}{Bl}$

②若棒恰好到达顶点 O，由动能定理得 $W_F-\mu mgh=0$，其中 $W_F=\dfrac{1}{2}BlhI$　　得 $I=\dfrac{2\mu mg}{Bl}$

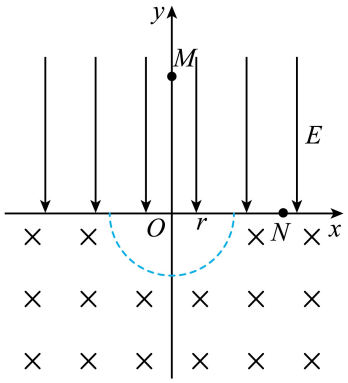
故电流 I 的取值范围为 $\dfrac{\mu mg}{Bl}<I\leqslant\dfrac{2\mu mg}{Bl}$

33. [2026 · 湖北卷]如图所示，在 xOy 平面内，$y>0$ 区域存在匀强电场，电场强度大小为 E、方向沿 y 轴负方向；在 $y<0$ 区域，有一个以 O 为圆心、r 为半径的半圆形区域，半圆形区域内既无电场也无磁场，半圆形区域外存在匀强磁场，磁场方向垂直于 xOy 平面向里。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从坐标为 $\left(0,\frac{25}{12}r\right)$ 的 M 点静止释放，之后从坐标为 $(2r,0)$ 的 N 点第一次射出磁场。不计重力，求：

(1) 粒子第一次进入磁场时的速度大小。

(2) 磁场的磁感应强度大小。

(3) 粒子第二次射出磁场时的位置坐标。



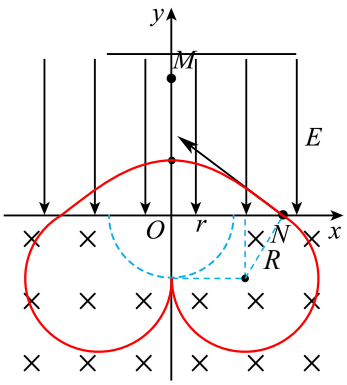
答案 (1)$\sqrt{\frac{25Eqr}{6m}}$；(2)$\sqrt{\frac{8mE}{3qr}}$；(3)$(0,-r)$

解析 (1)$qE\cdot\frac{25}{12}r=\frac{1}{2}mv^2$ 得 $v=\sqrt{\frac{25qEr}{6m}}$

(2) 在磁场中的运动轨迹如图，由几何关系得

轨迹半径 R 满足 $(2r-R)^2+r^2=R^2$ 得 $R=\frac{5r}{4}$

由 $qvB=\frac{mv^2}{R}$ 得 $B=\frac{mv}{qR}=\sqrt{\frac{8mE}{3qr}}$



(3) 从 N 点射出时速度与 x 轴负方向的夹角 θ 满足 $\cos\theta=\frac{r}{R}=\frac{4}{5}$

之后在电场中做斜抛运动，有 $x=v\cos\theta\times t$，$t=\frac{2v\sin\theta}{a}=\frac{2v\sin\theta}{qE/m}$

得 $x=4r$

然后从 $(-2r,0)$ 处射入磁场，运动轨迹如图所示，

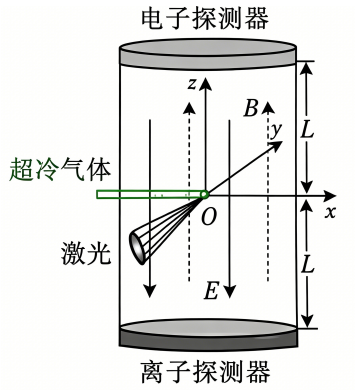
由对称性可知粒子第二次射出磁场时的位置坐标为 $(0,-r)$

34. [2026 · 江西卷]冷靶反冲离子动量谱仪可通过测量粒子的动量反推出碰撞动力学过程。其简化装置如图所示，在一个接近真空的圆柱形腔体内以其中心 O 点为原点建立 $Oxyz$ 坐标系，其中 z 轴沿腔体轴线方向。腔内存在沿 z 轴正方向的匀强磁场和沿 z 轴负方向的匀强电场，磁感应强度和电场强度大小分别为 B 和 E。腔体顶部 $(z=+L)$ 和底部 $(z=-L)$ 分别装有电子和离子探测器，探测器面积足够大。一束激光与某个超冷中性气体分子在 O 点处发生作用，以类似爆炸的方式产生一个电子和一个反冲离子，电子和反冲离子的质量分别为 m、M，电荷量分别为 $-e$、e。该反冲离子从 O 点运动到离子探测器上的时间为 $\sqrt{\dfrac{2ML}{eE}}$，打到离子探测器上的位置坐标为 $(x_0, y_0, -L)$。因为 $\dfrac{M}{m}$ 较大，所以忽略磁场对反冲离子的作用。忽略激光与超冷中性气体分子的动量，不考虑电子和反冲离子所受重力的影响、电子和反冲离子之间的库仑相互作用。(e 为元电荷)

(1) 求电子在 O 点处沿 x 轴方向的动量大小；

(2) 求反冲离子刚打到离子探测器上时的动量大小；

(3) 若 $y_0=\sqrt{3}x_0$，且 E 与 B 的关系满足 $E=\dfrac{2eL}{121\pi^2 m}B^2$，求电子打到电子探测器上的位置坐标 (用 x_0、M、m 和 L 表示)。



答案 (1)$x_0\sqrt{\dfrac{eEM}{2L}}$　(2)$p=\sqrt{\dfrac{eEM(x_0^2+y_0^2+4L^2)}{2L}}$　(3)$\left(\dfrac{2\sqrt{3}x_0}{11\pi}\sqrt{\dfrac{M}{m}}, -\dfrac{2x_0}{11\pi}\sqrt{\dfrac{M}{m}}, L\right)$

解析 (1) 反冲离子只在电场力下做抛体运动，沿 x 轴方向上做匀速直线运动，

有 $x_0=v_x t$　其中 $t=\sqrt{\dfrac{2ML}{eE}}$

爆炸过程系统动量守恒，故在 x 轴方向上有 $p_{ex}+Mv_x=0$　得 $|p_{ex}|=x_0\sqrt{\dfrac{eEM}{2L}}$

(2) 反冲离子 z 轴方向有 $-L=v_{z0}t-\dfrac{1}{2}at^2$　其中 $a=\dfrac{eE}{M}$

得 $v_{z0}=0$，即反冲离子做类平抛运动。

x 轴方向上有 $x_0=v_x t$　得 $v_x=x_0\sqrt{\dfrac{eE}{2ML}}$

y 轴方向上有 $y_0=v_y t$　得 $v_y=y_0\sqrt{\dfrac{eE}{2ML}}$

z 轴方向上有 $L=\dfrac{v_z}{2}t$　得 $v_z=2L\sqrt{\dfrac{eE}{2ML}}$

故末动量大小 $p=M\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$　得 $p=\sqrt{\dfrac{eEM(x_0^2+y_0^2+4L^2)}{2L}}$

(3) 爆炸过程由动量守恒得

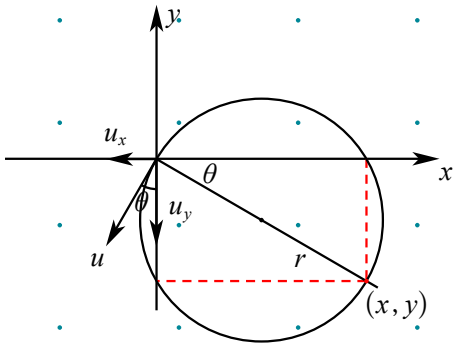
$u_z=-\frac{M}{m}v_{z0}=0$，$u_x=-\frac{M}{m}v_x=-\frac{x_0eB}{11\pi m}\sqrt{\frac{M}{m}}$，$u_y=-\frac{M}{m}v_y=\sqrt{3}u_x$（结合 $y_0=\sqrt{3}x_0$），

电子沿 z 轴方向做匀加速直线运动，有 $L=\frac{1}{2}\frac{eE}{m}t'^2$　得 $t'=\frac{11\pi m}{eB}$

电子初速度 $u=\sqrt{u_x^2+u_y^2}=\frac{2x_0eB}{11\pi m}\sqrt{\frac{M}{m}}$，

初速度方向与 y 轴负方向夹角 θ 满足 $\tan\theta=\frac{u_x}{u_y}=\frac{\sqrt{3}}{3}$　得 $\theta=30°$

在 Oxy 平面内做匀速圆周运动，



由 $euB=\frac{mu^2}{r}$，$T=\frac{2\pi r}{u}$

得 $r=\frac{mu}{eB}=\frac{2x_0}{11\pi}\sqrt{\frac{M}{m}}$，$T=\frac{2\pi m}{eB}$

由于 $t'=\frac{11}{2}T$，故 $x=2r\cos\theta=\frac{2\sqrt{3}x_0}{11\pi}\sqrt{\frac{M}{m}}$，

$y=-2r\sin\theta=-\frac{2x_0}{11\pi}\sqrt{\frac{M}{m}}$

故电子打到电子探测器上的位置坐标为

$(\frac{2\sqrt{3}x_0}{11\pi}\sqrt{\frac{M}{m}}，-\frac{2x_0}{11\pi}\sqrt{\frac{M}{m}}，L)$

35. [2026 · 河北卷]图 1 为某质谱仪工作原理示意图。电离室中的气体分子被激光照射后发生电离，其中带正电的粒子由静止经平行于纸面的加速电场加速后，垂直于 CD 边进入梯形匀强磁场区域(磁场方向垂直纸面向外)，并从 CG 边中点 O 平行于 CD 边射出，经无场区从边界 PQ 进入平行于纸面的匀强偏转电场，最终打到接收器与纸面交线 MN 上并被吸收，接收器可视为接地良好的金属板。MN 延长线经过 O 点，与 CD 所在直线夹角为 α，α 可通过 MN 绕 O 点在纸面内的转动进行调整，调整前后 PQ 与 MN 始终平行且间距为 0.3m 不变。CG 边长为 0.2m，与底边 HG 夹角为 60°，磁感应强度大小为 0.4T，偏转电场的电场强度大小为 1.8×10^4V/m，方向始终垂直于 PQ。整个过程只考虑一种粒子，加速电场的电压恒定，MN 与 PQ 足够长，装置处于真空环境，忽略粒子间的相互作用，不计重力。

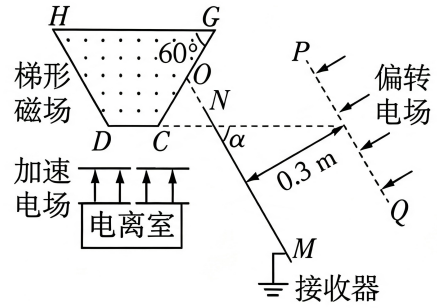


图 1

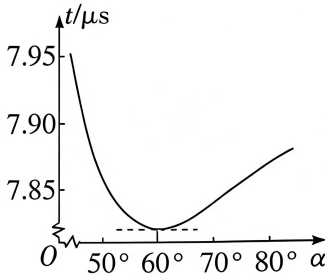


图 2

(1) 已知激光波长为 442nm，求该激光一个光子的能量 ε。(普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$J·s，真空中光速 $c=3\times10^8$m/s)

(2) 调整 α，得到从粒子离开加速电场到粒子到达接收器所经历的时间 t 与 α 的关系如图 2 所示，求加速电场的电压 U 以及粒子比荷 k。

(3) 质谱仪稳定工作时，测得接收器每秒接收的粒子数为 n，若再测一个除电荷量和质量以外的物理量，便可在 (2) 问的基础上得到粒子的质量。请写出该物理量，并推导粒子质量表达式 (所有物理量均用字母表示)。

答案 (1)$\varepsilon=4.5\times10^{-19}$J　(2)$k=6\times10^6$C/kg，$U=3600$V

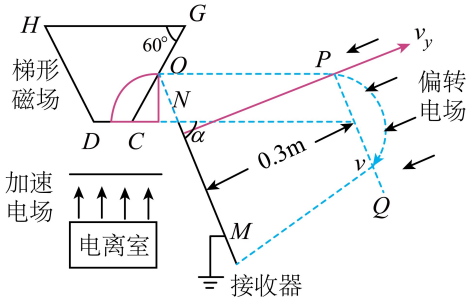
(3) 测流过接收器的电流 I，则 $m=\dfrac{I}{kn}$；

【方法二】测接收器接受粒子时受到的平均作用力 F，则 $m=\dfrac{F}{\sqrt{2kU}n\sin\alpha}$

解析 (1)$\varepsilon=h\nu=\dfrac{hc}{\lambda}$　得 $\varepsilon=4.5\times10^{-19}$J

(2) 设粒子离开加速电场后的速度为 v，有 $qU=\dfrac{1}{2}mv^2$，

PQ 与 MN 间距 $d=0.3$m，根据题意画出粒子运动轨迹图如下



设粒子从离开加速电场到 O 点的时间为 t_0，则 $t=t_0+\dfrac{2d}{v\sin\alpha}+\dfrac{2v\sin\alpha}{qE/m}$

由于调整 α 时不影响 t_0，故当且仅当 $\dfrac{2d}{v\sin\alpha}=\dfrac{2v\sin\alpha}{qE/m}$，即 $\sin^2\alpha=\dfrac{qEd}{mv^2}=\dfrac{Ed}{2U}$ 时 t 最小，

由图 2 可知当 $\alpha=60°$ 时 t 最小，故 $\sin^2 60°=\dfrac{Ed}{2U}$　　得 $U=\dfrac{2}{3}Ed=3600\ \mathrm{V}$

由 $qvB=\dfrac{mv^2}{r}$，$r=\dfrac{CG}{2}\sin 60°=\dfrac{\sqrt{3}}{20}\ \mathrm{m}$　　得比荷 $k=\dfrac{q}{m}=\dfrac{2U}{B^2r^2}=6\times10^6\mathrm{C/kg}$

(3) 测流过接收器的电流 I，则有 $I=qn$，得 $m=\dfrac{q}{k}=\dfrac{I}{kn}$

【方法二】测接收器接受粒子时受到的平均作用力 F，则

对 Δt 内到达接收器的粒子，由动量定理得 $-F'\Delta t=0-mv\sin\alpha\cdot n\Delta t$，得 $F=F'=mvn\sin\alpha$

其中 $v=\sqrt{\dfrac{2qU}{m}}=\sqrt{2kU}$，得 $m=\dfrac{F}{\sqrt{2kU}n\sin\alpha}$

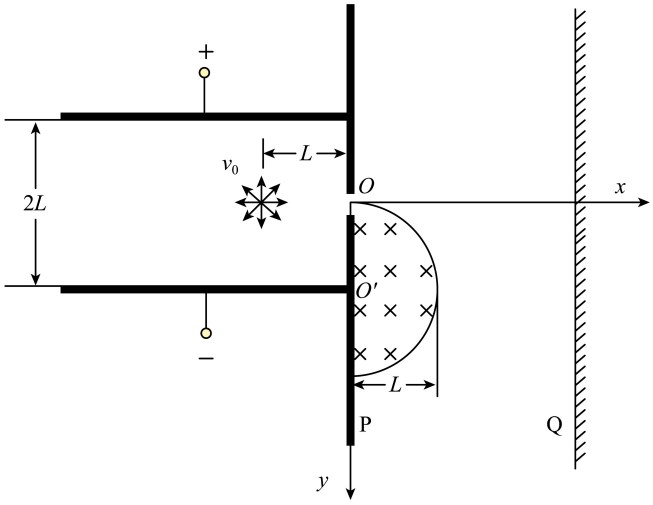
【补充】粒子在偏转电场中沿 PQ 方向的位移 $x=v\cos\alpha\times\dfrac{2v\sin\alpha}{qE/m}=\dfrac{2U\sin 2\alpha}{E}$ 与比荷无关。

36. [2026 · 陕西卷]如图，垂直于 x 轴的足够大绝缘薄挡板 P 紧贴平行金属板放置，挡板 P 有一小孔在原点 O 处，O 点到垂直于 y 轴的两金属板距离相等。在 xOy 平面位于 $(-L,0)$ 处的粒子源以速率 v_0 向面内各方向发射质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子。两金属板 (上板为正极) 间距为 $2L$，板间电压 U 初始为 $\dfrac{48mv_0^2}{25q}$。在 xOy 平面 y 轴右侧，圆心 O' 位于 $(0,L)$、直径在 y 轴、半径为 L 的半圆区域存在方向垂直于平面向里的匀强磁场，其磁感应强度大小为 $\dfrac{mv_0}{qL}$。在 $x>L$ 处有一垂直于 x 轴的固定弹性绝缘挡板 Q，粒子若碰到 Q 将发生弹性碰撞且电荷量 q 不变。粒子打到金属板或挡板 P 均会被吸收，不计粒子重力及粒子间的相互作用，忽略边缘效应。(v_0、m、q、L 均为已知量)

(1) 可从小孔进入磁场的粒子，求其从 O 点处射入磁场速度方向与 x 轴正向夹角的正弦值；

(2) 粒子从磁场射出后与挡板 Q 发生碰撞，求其再次射入磁场到达挡板 P 上位置的 y 坐标；

(3) 若仅改变电压 U 的大小 $(U>0)$，在不同电压下，粒子源发射的所有粒子均无法打到挡板 P 右侧面；进入磁场的所有粒子打到挡板 P 右侧面有 1 个撞击点或 2 个撞击点，求以上三种情况分别对应的电压取值范围 (用已知量 v_0、m、q 表示)。



答案 (1)0.6 或 0.8　　(2)$\frac{2}{5}L$ 或 $\frac{4}{5}L$

(3) ① $U>\frac{2mv_0^2}{q}$　　②当 $0<U\leqslant\frac{16mv_0^2}{17q}$，或 $U=\frac{2mv_0^2}{q}$　　③ $\frac{16mv_0^2}{17q}<U\leqslant\frac{2mv_0^2}{q}$

解析 (1) 粒子在电场中做类斜抛运动，设粒子初速度方向与 x 轴夹角为 θ（$\theta<\frac{\pi}{2}$），有

$L=v_0t\cos\theta$，$t=\frac{2v_0\sin\theta}{a}$，$a=\frac{qU}{m(2L)}$　　得 $\sin2\theta=\frac{qU}{2mv_0^2}$

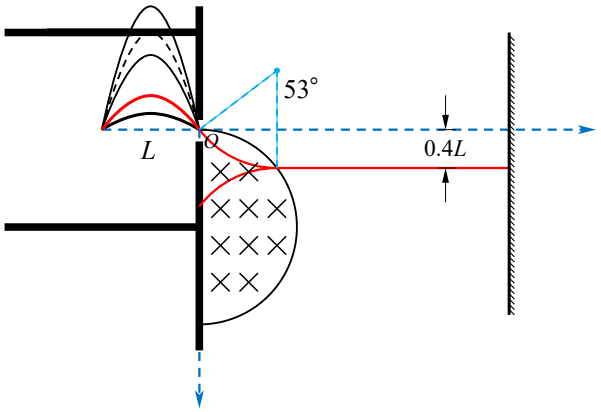
当 $U=\frac{48mv_0^2}{25q}$ 时，$\sin2\theta=\frac{24}{25}$　　得 $\sin\theta=0.6$ 或 0.8

（计算过程：$\cos2\theta=\pm\sqrt{1-\sin^2 2\theta}=\pm\frac{7}{25}$，则 $\sin^2\theta=\frac{1-\cos2\theta}{2}=0.36$ 或 0.64）

(2) 从 O 点处射入磁场的速度仍为 v_0，夹角 $\theta=37°$ 或 $53°$。由 $qv_0B=\frac{mv_0^2}{r}$ 得 $r=L$

如图，由几何关系可知从磁场射出时纵坐标 $y_1=L(1-\cos\theta)$，速度方向沿 x 轴正方向。粒子经弹性碰撞后，原路返回进入磁场，由对称性可知到达挡板 P 上位置的坐标 $y=2y_1=2L(1-\cos\theta)$。

当 $\theta=37°$ 时 $y=0.4L$；当 $\theta=53°$ 时 $y=0.8L$。



(3) 由 (1) 可知 $U=\frac{2mv_0^2\sin2\theta}{q}$，若粒子能进入 O 点，应有 $0<U\leqslant\frac{2mv_0^2}{q}$，

①当 $U>\frac{2mv_0^2}{q}$ 时，粒子源发射的所有粒子均无法通过小孔 O，故均无法打到挡板 P 右侧面。

当 $U\leqslant\frac{2mv_0^2}{q}$ 时，存在两个发射角 θ_1，θ_2（假设 θ_2 大于 θ_1）可能到达 O 点。

【临界情况】若以 θ_2 发射时恰好打在上极板（如图虚线），根据类平抛运动速度偏转角是位移偏转角正切值的 2 倍，得 $\tan\theta_2=4$（则 $\sin\theta_2=\frac{4}{\sqrt{17}}$，$\cos\theta_2=\frac{1}{\sqrt{17}}$），此时 $U=\frac{2mv_0^2\sin2\theta_2}{q}=\frac{16mv_0^2}{17q}$

②当 $0<U\leqslant\frac{16mv_0^2}{17q}$ 时，仅以 θ_1 发射的粒子能进入磁场，故只有 1 个撞击点。

③当 $\frac{16mv_0^2}{17q}<U\leqslant\frac{2mv_0^2}{q}$ 时，以 θ_1、θ_2 发射的粒子都能进入磁场，磁场中的轨迹不同，由 $y=2L(1-\cos\theta)$ 可知有 2 个撞击点；

特别的，当 $\theta_1=\theta_2$ 时两种轨迹重合，只有 1 个撞击点。此时对于特定值 U，关于 θ 的方程 $U=\frac{2mv_0^2\sin2\theta}{q}$ 只有一个解，得 $\theta=45°$，$U=\frac{2mv_0^2}{q}$。

综上，三种情况分别对应的电压取值范围为：

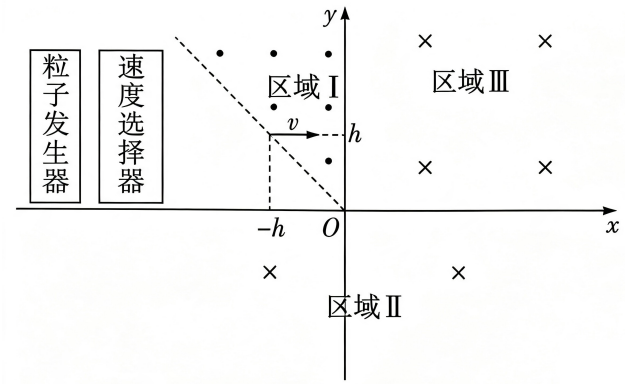
① $U>\frac{2mv_0^2}{q}$　②当 $0<U\leqslant\frac{16mv_0^2}{17q}$，或 $U=\frac{2mv_0^2}{q}$　③ $\frac{16mv_0^2}{17q}<U\leqslant\frac{2mv_0^2}{q}$

37. [2026 · 山东卷]如图所示，在 Oxy 坐标系中，第二象限有一粒子发生器，其右侧放置速度选择器，速度选择器中电场的电场强度大小为 E，方向沿 y 轴负方向，匀强磁场方向垂直 Oxy 面向里；$y=-x$（$x\leqslant 0$）与 y 轴正半轴所围区域Ⅰ（包含边界）中充满垂直 Oxy 面向外的匀强磁场；x 轴下方为区域Ⅱ、第一象限为区域Ⅲ、两区域均充满方向垂直 Oxy 面向里的匀强磁场，磁感应强度大小分别为 $5B$ 和 $12B$。粒子发生器可发出质量不同、带电荷量均为 $+q$ 的粒子。其中质量为 m 的粒子 a 经速度选择器后以速率 v 从点 $(-h,h)$ 沿 x 轴正方向进入区域Ⅰ，一段时间后恰好从原点 O 沿 y 轴负方向进入区域Ⅱ。不计粒子重力及粒子间相互作用。

(1) 求速度选择器中磁感应强度的大小 B_0 和区域Ⅰ中磁感应强度的大小 B_1；

(2) 求粒子 a 从 O 点运动到 P 点 $\left(\frac{19mv}{30qB},0\right)$ 的时间 t；

(3) 当粒子 a 从点 $\left(\frac{2mv}{5qB},0\right)$ 离开区域Ⅱ进入区域Ⅲ时，带电荷量为 $+q$ 的粒子 b 恰好从 O 点以速率 v 沿 y 轴负方向进入区域Ⅱ，若要使粒子 a、b 在 x 轴相遇，且相遇时速度恰好都沿 y 轴正方向，求粒子 b 的质量 M（用 m 表示）及两粒子第一次相遇时的 x 轴坐标 x_1。



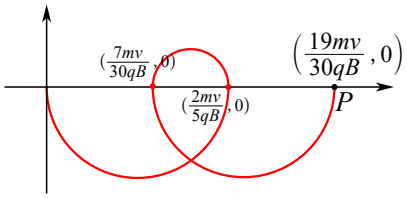
答案 (1)$B_0=\frac{E}{v}$，$B_1=\frac{mv}{qh}$　(2)$t=\frac{29\pi m}{60qB}$　(3)$M=\frac{17}{10}m$，$x_1=\frac{34mv}{15qB}$

解析 (1)$qvB_0=qE$　得 $B_0=\frac{E}{v}$

$qvB_1=\frac{mv^2}{r_1}$　其中 $r_1=h$　得 $B_1=\frac{mv}{qh}$

(2) 由 $qv(5B)=\frac{mv^2}{r_2}$，$qv(12B)=\frac{mv^2}{r_3}$　得 $r_2=\frac{mv}{5qB}$，$r_3=\frac{mv}{12qB}$

从 O 点经过区域Ⅱ后到达 x 轴上的点 $(\frac{2mv}{5qB},0)$，然后经过区域Ⅲ后到达 $(\frac{7mv}{30qB},0)$，在经过区域Ⅱ后到达点 $P\left(\frac{19mv}{30qB},0\right)$，轨迹如图所示。



总时间 $t=\frac{2\pi r_2+\pi r_3}{v}=\frac{29\pi m}{60qB}$

(3) 同理可得粒子 b 在区域Ⅱ、区域Ⅲ的轨迹半径分别为 $R_2=\frac{Mv}{5qB}$、$R_3=\frac{Mv}{12qB}$，

粒子 b 从 O 点出发经偏转后到达 x 轴且速度沿 y 轴正方向时，坐标 x_b 和时间 t_b 满足

$$\begin{cases} x_b = 2R_2 + k(2R_2 - 2R_3) = \dfrac{(12+7k)Mv}{30qB} \\ t_b = \dfrac{\pi R_2}{v} + k\dfrac{\pi(R_2+R_3)}{v} = \dfrac{(12+17k)\pi M}{60qB} \end{cases}$$ 其中 $k = 0, 1, 2, \cdots$

粒子 a 从点 $\left(\dfrac{2mv}{5qB}, 0\right)$ 出发经偏转后到达 x 轴且速度沿 y 轴正方向时，坐标 x_a 和时间 t_a 满足

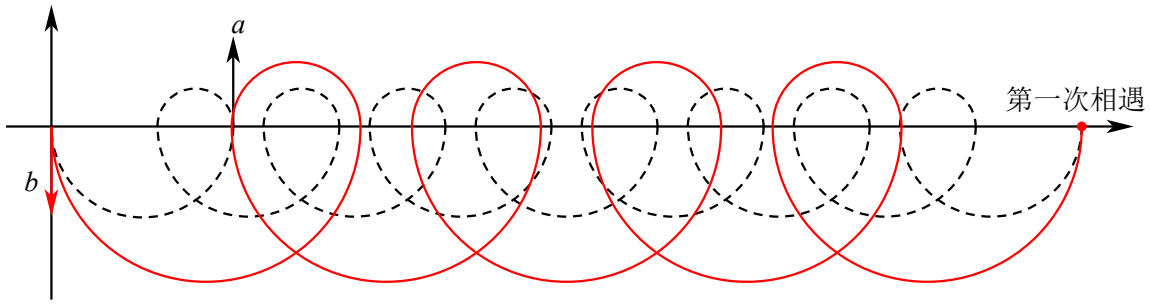
$$\begin{cases} x_a = 2r_2 + n(2r_2 - 2r_3) = \dfrac{(12+7n)mv}{30qB} \\ t_a = n\dfrac{\pi(r_2+r_3)}{v} = \dfrac{17n\pi m}{60qB} \end{cases}$$ 其中 $n = 1, 2, 3, \cdots$

要满足题意，应有 $x_a = x_b$，$t_a = t_b$，得 $\begin{cases} (12+7k)M = (12+7n)m \\ (12+17k)M = 17nm \end{cases}$

得 $\dfrac{12+7k}{12+17k} = \dfrac{12+7n}{17n}$，故 $n = \dfrac{12+17k}{10}$

所以 $M = \dfrac{17nm}{12+17k} = \dfrac{17}{10}m$

当 $k = 4$，$n = 8$ 时两粒子第一次相遇，故 $x_1 = \dfrac{(12+7n)mv}{30qB} = \dfrac{34mv}{15qB}$

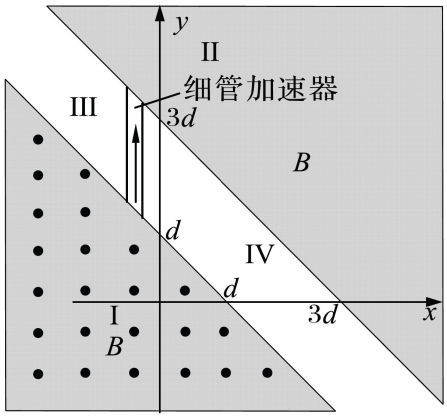


38. [2026 · 四川卷]如图所示，纸面内建有直角坐标系 xOy，直线 $y=-x+d(d>0)$ 左下为Ⅰ区、直线 $y=-x+3d$ 右上为Ⅱ区，两条直线之间在 y 轴左、右两侧分别为Ⅲ区和Ⅳ区。Ⅰ区和Ⅱ区有垂直纸面的匀强磁场，磁感应强度大小均为 B，Ⅰ区磁场方向垂直纸面向外，Ⅱ区磁场方向未知；Ⅲ、Ⅳ区无磁场。Ⅲ区有长度为 $2d$ 且平行于 y 轴的细管加速器，可使进入管内的带正电微粒具有沿 y 轴正方向的恒定加速度。质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的微粒甲在纸面内运动，不计微粒重力，微粒不与细管加速器发生碰撞。

(1) 若甲在Ⅰ区做半径为 $2d$ 的圆周运动，求该运动的速度大小；

(2) 若甲做周期性运动，每次过 $(d,0)$ 时速度均沿 x 轴正方向，求此周期性运动的周期；

(3) 若甲在Ⅰ区的圆周运动轨迹半径为 $2d$ 且Ⅱ区磁场方向垂直纸面向外。某时刻甲与静止在 $(d,0)$ 处的不带电微粒乙发生弹性正碰，碰撞过程中无电荷交换，碰撞后乙沿 x 轴正方向运动。乙与甲的质量之比为 k。要使甲与乙再次正碰，且碰撞前甲仅进入Ⅱ区一次，求细管加速器位置的横坐标及 k 需满足的条件。



答案 (1)$v=\dfrac{2qBd}{m}$　(2)$T=\dfrac{(4+3\pi)m}{qB}$　(3)$x=\dfrac{3-k}{1+k}d$，其中 $k\geqslant\dfrac{1+6\pi+2\sqrt{9\pi^2+4}}{3}$

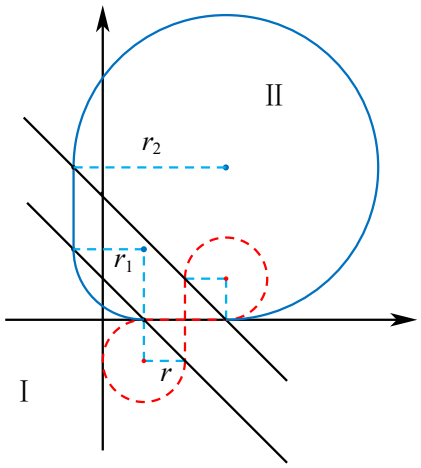
解析 (1)$qvB=\dfrac{mv^2}{2d}$　得 $v=\dfrac{2qBd}{m}$

(2) 若Ⅱ区域的磁场方向垂直于纸面向外，则粒子甲不再经过 $(d,0)$；

若Ⅱ区域的磁场方向垂直于纸面向内，则满足条件的周期性运动轨迹如图所示（虚线）。

甲在磁场中的轨迹半径 $r=d$，由 $qvB=\dfrac{mv^2}{r}$ 得 $v=\dfrac{qBd}{m}$，

故周期性运动的周期 $T=\dfrac{3\pi r+4d}{v}=\dfrac{(3\pi+4)m}{qB}$



(3) 若 $k=1$，则甲碰撞后静止，乙沿 x 轴正方向做匀速直线运动，不再与甲发生碰撞，不合题意；若 $k<1$，则甲碰撞后沿 x 轴正方向运动，经过 II 区、I 区后不再与乙碰撞，不合题意；故 $k>1$，甲碰撞后速度沿 x 轴负方向。

由题意得甲在第一次碰撞前的轨迹半径 $r_0=2d$，速度 $v_0=\dfrac{2qBd}{m}$，

由甲乙弹性碰撞可知 $\begin{cases} mv_0=-mv_1+kmv_{乙} \\ \dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2+\dfrac{1}{2}kmv_{乙}^2 \end{cases}$ 得 $v_1=\dfrac{k-1}{k+1}v_0$，$v_{乙}=\dfrac{2}{k+1}v_0$

由 $r=\dfrac{mv}{qB}\propto v$ 可知甲碰撞后在 I 区的轨迹半径 $r_1=\dfrac{k-1}{k+1}(2d)$

由几何关系得加速器位置的横坐标 x 满足 $d-x=r_1$，故 $x=d(1-\dfrac{2k-2}{k+1})=\dfrac{3-k}{1+k}d$

由 $x<0$ 得 $k>3$

甲从 I 区射出后进入细管加速器，经加速后进入 II 区的速度设为 v_2，在 II 区向下偏转后应在 $(3d,0)$ 位置水平射出，然后与乙再次正碰。由几何关系得 $r_2-r_1=2d$，

故甲在 II 区的轨迹半径 $r_2=\dfrac{2k}{k+1}(2d)$，速度 $v_2=\dfrac{r_2}{r_1}v_1=\dfrac{2k}{k-1}\cdot\dfrac{k-1}{k+1}v_0=\dfrac{2k}{k+1}v_0$

甲到达 $(3d,0)$ 所经历的时间 $t=\dfrac{2\pi m}{qB}+\dfrac{2d}{(v_1+v_2)/2}=(2\pi+\dfrac{2k+2}{3k-1})\dfrac{m}{qB}$

发生第二次碰撞的位置应在 x 轴上 $x=d$ 到 $x=3d$ 范围内，故 $v_{乙}t\leqslant 2d$，即

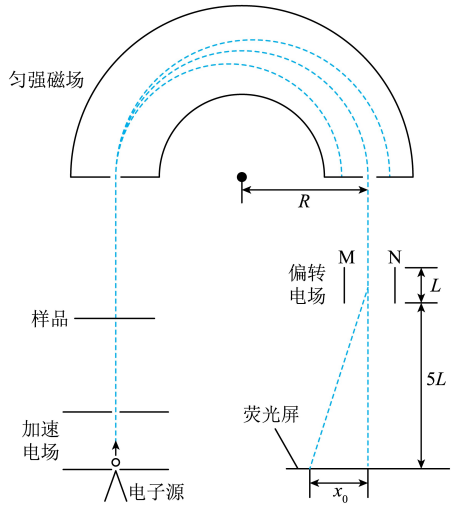
$\dfrac{2}{k+1}v_0\cdot(2\pi+\dfrac{2k+2}{3k-1})\dfrac{m}{qB}\leqslant 2d$　　整理得 $3k^2-(2+12\pi)k+4\pi-5\geqslant 0$

故 $k\leqslant\dfrac{1+6\pi-2\sqrt{9\pi^2+4}}{3}$（与 $k>3$ 矛盾，舍去）或 $k\geqslant\dfrac{1+6\pi+2\sqrt{9\pi^2+4}}{3}$

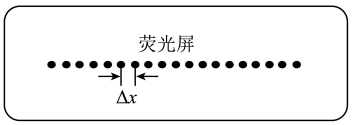
$(k\approx 13.0,x\approx -0.7d)$

39. [2026 · 黑吉辽卷]某些材料的激发态可视为准粒子的集合，激发态寿命可由“时间分辨—能量分析仪”测量，简化原理如图 (a) 所示，电子源释放初速度可忽略的电子，经电压为 U_1 的加速电场加速，穿过处于激发态的样品时，部分电子与准粒子作用后动能发生变化，相互作用时间不计。为筛选出动能变化为特定值的电子，调节匀强磁场的磁感应强度为 B_0，使筛选出的电子沿半径为 R 的圆弧形中心线运动，从狭缝出射后，沿电场中心线且平行于极板方向进入偏转电场，偏转后打在荧光屏上形成光斑。

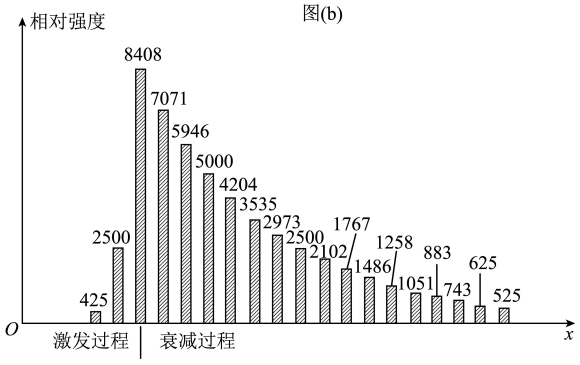
已知电子电荷量大小为 e，质量为 m；偏转电场可视为匀强电场，M、N 极板长度为 L、间距为 d；荧光屏到极板边缘的距离为 $5L$。忽略电子间相互作用及电、磁场边缘效应。



图(a)



图(b)



图(c)

(1) 求筛选出的电子通过样品前后的动能变化量 ΔE_k。

(2) 求 M、N 间电压为 U_2 时，电子到达荧光屏上的偏移距离 x_0。

(3) 样品被激发时，电子源开始每隔相同时间发射持续时间极短、电子数目相近的脉冲，同时 M、N 间电压随时间线性变化，变化率为 $\beta(\beta<0)$，使先后到达荧光屏上的电子脉冲形成间距为 Δx 的光斑，如图 (b) 所示。每个脉冲经过偏转电场时间极短，在此时间内电子所受电场力可视为恒定。样品被激发后，筛选出的电子数随激发态准粒子数的衰减成比例减少，导致光斑相对强度也相应成比例减弱，相对强度与各个光斑中心位置 x 的关系如图 (c) 所示。若样品的激发态寿命 τ 定义为准粒子数衰减一半所需的时间，求 τ。

答案 $(1)\Delta E_k=\dfrac{e^2B_0^2R^2}{2m}-eU_1$　$(2)x_0=\dfrac{11mU_2L^2}{2edB_0^2R^2}$　$(3)\tau=\dfrac{8edB_0^2R^2\Delta x}{11\beta mL^2}$

解析 $(1)eU_1=\dfrac{1}{2}mv_1^2$，$ev_2B_0=\dfrac{mv_2^2}{R}$　得 $v_2=\dfrac{eB_0R}{m}$

故 $\Delta E_k=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2=\dfrac{e^2B_0^2R^2}{2m}-eU_1$　（为负值）

(2) 偏转电场中，有 $L=v_2t$，$x=\dfrac{1}{2}\dfrac{eU_2}{md}t^2$　得 $x=\dfrac{mU_2L^2}{2edB_0^2R^2}$

从电场出来后做匀速直线运动，由几何关系得 $\dfrac{x}{x_0}=\dfrac{L/2}{L/2+5L}$　得 $x_0=11x=\dfrac{11mU_2L^2}{2edB_0^2R^2}$

(3) 设电子源每隔相同时间 Δt 发射，即每隔 Δt 时间形成一个光斑，由图 (c) 可知每经过 $4\Delta t$ 光斑相对强度减弱一半，即准粒子数衰减一半所需的时间 $\tau=4\Delta t$。

由于 $\beta<0$，故电压 U_2 随时间减小，电子到达荧光屏上的偏移距离 x_0 减小。

经过 Δt，电压变化大小为 $\Delta U_2=-\beta\Delta t$，由 (2) 可知间距 $\Delta x=\dfrac{11mL^2}{2edB_0^2R^2}\Delta U_2$

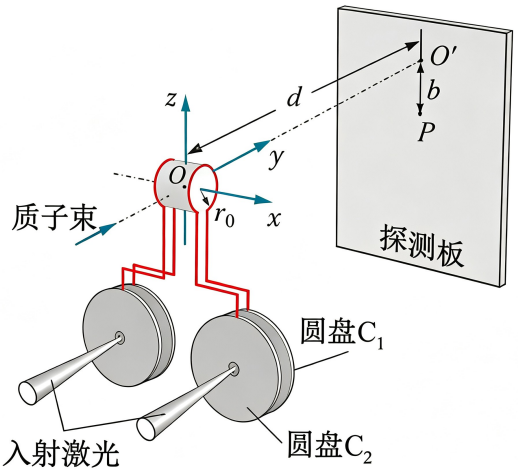
故 $\Delta t=-\dfrac{2edB_0^2R^2\Delta x}{11\beta mL^2}$　　得 $\tau=-\dfrac{8edB_0^2R^2\Delta x}{11\beta mL^2}$

40. [202606·浙江卷] 科学家发现强激光轰击电容—线圈靶可产生脉冲强磁场，并用于模拟与磁场相关的天体演变过程。如图所示，电容—线圈靶由 Ni 金属圆盘 C_1、C_2 组成的电容器和环形线圈构成，其中 C_2 盘中心开有一小孔，与电容两极板相连的线圈半径 $r_0=0.5\,\text{mm}$。一束波长为 1053 nm 的脉冲激光（持续时间 1.6 ns/脉冲、能量 198 J/脉冲），经小孔轰击圆盘 C_1 使 Ni 原子电离，产生大量电子（热效应、多光子效应等），喷射到金属圆盘 C_2 上，对电容器充电。随后电容器（视做电源）放电，形成脉冲电流、产生强大脉冲磁场（持续时间 1.6 ns）。现将两个相同的电容—线圈靶环形线圈同轴平行放置，用两束相同激光同时照射，在两环形线圈间产生圆柱形（半径同为 r_0）匀强磁场（圆柱侧面外磁场不计）。现以圆柱中心 O 建立坐标系 $O-xyz$，动能为 48 MeV 的质子形成的平行细质子束，沿 y 轴射入磁场区域，发生偏转后打在垂直于 y 轴的探测板上 P 点。已知质子质量 $m=1.67\times10^{-27}\,\text{kg}$，电荷量 $q=1.6\times10^{-19}\,\text{C}$，普朗克常量 $h=6.6\times10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s}$，光速 $c=3\times10^{8}\,\text{m/s}$，$1\,\text{ns}=10^{-9}\,\text{s}$。

(1) 判断图中圆柱形匀强磁场方向（x 轴正方向或负方向）；

(2) 测得磁场中心与探测板的垂直距离（OO'）$d=4.0\,\text{cm}$，P 点离 O' 点距离 $b=6\,\text{mm}$，求圆柱形区域磁感应强度 B 的大小（角度很小时可做相关近似处理）；

(3) 已知磁感应强度大小 B 与环形线圈中电流 I 关系为 $B\approx2.0\times10^{-3}I$，利用题 (2) 中测得的 B 值，估算该过程的量子效率（即一个脉冲时间内，通过环形线圈的电子数与一束激光的光子数之比）。

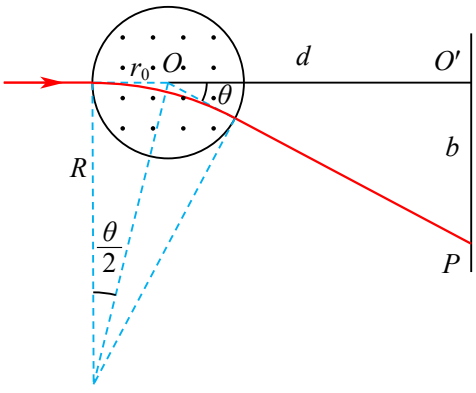


答案 (1) 沿 x 轴正方向　(2) $B\approx150\,\text{T}$　(3) 7.1×10^{-7}

解析 (1)【方法一】根据质子受力方向，由左手定则可知，圆柱形匀强磁场方向沿 x 轴正方向；

【方法二】充电时大量电子喷射到圆盘 C_2，故 C_2 带负电；电容放电时电流从 C_1 流向 C_2。

由右手定则可知，圆柱形匀强磁场方向沿 x 轴正方向



(2) $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，$qvB=\frac{mv^2}{R}$　得 $B=\frac{\sqrt{2mE_k}}{qR}$

如图，由几何关系得 $R\tan\frac{\theta}{2}=r_0$，$\tan\theta=\frac{b}{d}=0.15$，由于 θ 很小，故 $\tan\frac{\theta}{2}\approx\frac{\theta}{2}\approx\frac{1}{2}\tan\theta$　故 $R=\frac{20}{3}$ mm，

代入数据得 $B=\dfrac{\sqrt{2\times1.67\times10^{-27}\times48\times10^{6}\times1.6\times10^{-19}}}{1.6\times10^{-19}\times\dfrac{20}{3}\times10^{-3}}\approx\dfrac{\sqrt{100\times1.6^{2}\times10^{-27}\times10^{6}\times10^{-19}}}{1.6\times10^{-19}\times\dfrac{20}{3}\times10^{-3}}=150\ \mathrm{T}$

(3)【题目的意思可能是(2)中测得的 B 与1个环形线圈中电流的关系】

由(2)得 $I\approx\dfrac{B}{2.0\times10^{-3}}=7.5\times10^{4}\ \mathrm{A}$，故一个脉冲时间 $\Delta t=1.6\ \mathrm{ns}$ 内：

通过一个环形线圈的电子数 $n=\dfrac{I\Delta t}{q}$，一束激光的光子数 $N=\dfrac{E}{h\nu}=\dfrac{E\lambda}{hc}$

则量子效率 $\eta=\dfrac{n}{N}=\dfrac{I\Delta thc}{qE\lambda}$

代入数据得 $\eta=\dfrac{7.5\times10^{4}\times1.6\times10^{-9}\times6.6\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{1.6\times10^{-19}\times198\times1053\times10^{-9}}\approx\dfrac{7\times10^{4}\times7\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{10^{-19}\times200\times1000}\approx7\times10^{-7}$

41. **[202601·浙江卷]** 俄歇电子能谱(AES)广泛应用于材料表面成分分析。如图1所示，一束高能电子入射到样品表面，将某原子内层(如K层)的一个电子击出，形成一个空穴。随后，较外层(如L层)的一个电子跃迁至该空穴，并释放出能量，该能量可能以X光子的形式射出，也可能立即将另一核外电子(如L层或M层的电子)电离而逸出样品表面，该电子成为俄歇电子。现用电子动能$E_e=15.0\,\text{keV}$的电子束轰击某样品表面，成功激发KLM俄歇过程(即初始空穴在K层、跃迁电子来自L层、逸出电子来自M层)和KLL俄歇过程(逸出电子来自L层)。已知该原子K层的电离能$E_K\approx10.0\,\text{keV}$，$L$层的电离能$E_L\approx1.0\,\text{keV}$。电子质量$m_e=9.1\times10^{-31}\,\text{kg}$，元电荷量$e=1.6\times10^{-19}\,\text{C}$，光速$c=3\times10^8\,\text{m/s}$，普朗克常量$h=6.6\times10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s}$(计算结果保留一位有效数字)。

(1) 求入射电子的德布罗意波长λ_e；

(2) 求射出的X光子波长λ_X；

(3) 甲同学利用带电粒子在磁场中的运动规律，设计了如图2所示的测量俄歇电子动能的方案。俄歇电子从原点O垂直y轴和磁场方向进入匀强磁场，在$y_1=10.0\,\text{cm}$和$y_2=10.5\,\text{cm}$处被探测到。通过测得的俄歇电子动能，求原子M层的电离能E_M；

(4) 乙同学认为也可以根据带电粒子在电场中的运动规律，测出俄歇电子的动能。请你帮乙同学设计一个方案，列出所需要测量的物理量，并给出计算俄歇电子动能的表达式。

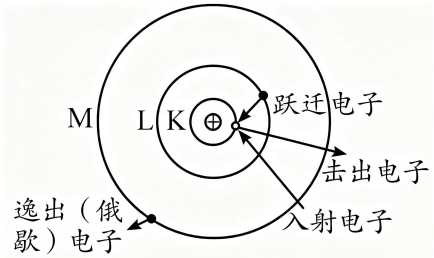


图 1

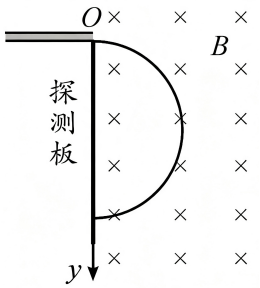


图 2

答案 (1)$\lambda_e=1\times10^{-11}\,\text{m}$　(2)$\lambda_X=1\times10^{-10}\,\text{m}$　(3)$E_M\approx0.2\,\text{keV}$　(4) 见解析

解析 (1) 由德布罗意公式得$\lambda_e=\dfrac{h}{p}$，又$p=\sqrt{2m_eE_e}$

得$\lambda_e=\dfrac{h}{\sqrt{2m_eE_e}}=\dfrac{6.6\times10^{-34}}{\sqrt{2\times9.1\times10^{-31}\times15.0\times10^3\times1.6\times10^{-19}}}=1\times10^{-11}\,\text{m}$

(2) 因X光子是由电子从L层跃迁到K层时释放的，故射出的X光子能量等于L层与K层的能级差，而能级差即等于电离能之差，故

$h\dfrac{c}{\lambda_X}=E_K-E_L$　　得$\lambda_X=\dfrac{hc}{E_K-E_L}$

代入数据得$\lambda_X=\dfrac{6.6\times10^{-34}\times3\times10^8}{(10.0-1.0)\times10^3\times1.6\times10^{-19}}=1\times10^{-10}\,\text{m}$

(3) 磁场中有$evB=m_e\dfrac{v^2}{R}$　　其中$R=\dfrac{y}{2}$

故可得电子动能$E_e=\dfrac{1}{2}m_ev^2=\dfrac{e^2B^2y^2}{8m_e}$　　(正比于y^2)

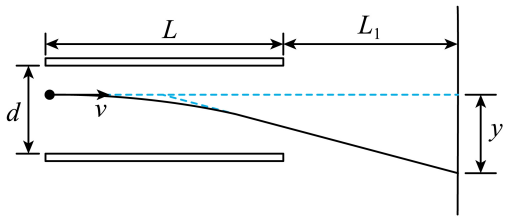
来自M层的俄歇电子动能$E_{KLM}=(E_K-E_L)-E_M$，

来自L层的俄歇电子动能$E_{KLL}=(E_K-E_L)-E_L$，

由于外层更容易电离，即$E_M<E_L$，所以$E_{KLM}>E_{KLL}$，故$\dfrac{E_{KLL}}{E_{KLM}}=\dfrac{y_1^2}{y_2^2}$

代入数据得 $\frac{9.0-1.0}{9.0-E_M}=\frac{10.0^2}{10.5^2}$　　得 $E_M=0.18\,\text{keV}\approx 0.2\,\text{keV}$

(4) 如图，让待测电子束以水平初速度射入两块平行金属板之间，金属板长为 L，板间距为 d，两板之间加恒定的电压 U，形成匀强电场，在离开金属板右侧距离 L_1 处垂直电子入射方向放置一荧光屏。



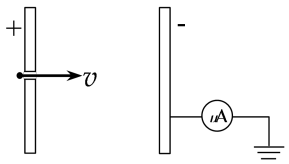
需要测量的物理量：金属板长度 L，板间电压 U，板间距 d 以及 L_1，电子飞出电场后打到荧光屏时垂直电子入射方向的侧移量 y；

计算方法：

电子在电场中有 $L=vt$，$y_1=\frac{1}{2}at^2$，$a=\frac{eU}{m_e d}$，　由几何关系得 $\frac{y_1}{y}=\frac{L/2}{L/2+L_1}$

得俄歇电子动能 $E_e=\frac{eUL^2(L+2L_1)}{4dyL}$

方案二：如图，让两种速度的俄歇电子一起进入减速电场，电场另一极板接微安表，电压不断调大，当出现电流第一次减小，此为一种速度的电子，再继续调大，出现电流为 0，此时对应的是另一种速度的电子。



需要测量的物理量：测出电流出现第一次减小时的电压 U_1，第二次电流为 0 时的电压 U_2。

计算方法：两种俄歇电子的动能分别为 $E_{e1}=eU_1$，$E_{e2}=eU_2$