2025年高考物理题汇编（编者：周良）

已收录：

1．浙江卷1月　　2．浙江6月卷

3．河北卷　　4．河南卷

5．北京卷　　6．湖北卷

7．湖南卷

8．甘肃卷

9．山东卷

10．广东卷

11．广西卷

12．黑吉辽内卷

13．江苏卷

14．四川卷

15．云南卷

16．陕西山西青海宁夏

17．理综卷（新疆西藏）

18．安徽卷

19．上海卷

20．福建卷

21．江西卷

22．重庆卷

23．海南卷

24．天津卷

25．贵州卷

暂缺：…

一、必修一

1. [2025 · 四川卷]（多选）若长度、质量、时间和动量分别用 a、b、c 和 d 表示，则下列各式可能表示能量的是（　　）

A. $\frac{a^2b}{c^2}$　　B. $\frac{ab^2}{c^2}$　　C. $\frac{d^2}{b}$　　D. $\frac{b^2}{d}$

答案 AC

解析 A．$\frac{a^2b}{c^2}$ 的单位为 $\frac{\mathrm{m^2\cdot kg}}{\mathrm{s^2}}=\mathrm{kg\cdot(m/s)^2}$，结合动能公式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知 $\mathrm{kg\cdot(m/s)^2}$ 为能量单位，故 A 正确；

B．同理 $\frac{ab^2}{c^2}$ 的单位为 $\frac{\mathrm{m\cdot kg^2}}{\mathrm{s^2}}=\mathrm{kg^2\cdot m/s^2}$，根据 $F=ma$ 可知 $\mathrm{kg\cdot m/s^2}$ 为力的单位，故可知 $\mathrm{kg^2\cdot m/s^2}$ 为力与质量的乘积，故不是能量的单位，故 B 错误；

C．$\frac{d^2}{b}$ 的单位为 $\frac{(\mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}})^2}{\mathrm{kg}}=\mathrm{kg\cdot(m/s)^2}$，根据前面 A 选项分析可知该单位为能量单位，故 C 正确；

D．$\frac{b^2}{d}$ 的单位为 $\frac{\mathrm{kg^2}}{\mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}}=\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m\cdot s^{-1}}}$，不是能量单位，故 D 错误。

2. [202501 浙江卷]我国水下敷缆机器人如图所示，具有“搜寻—挖沟—敷埋”一体化作业能力。可将机器人看成质点的是（　　）



A. 操控机器人进行挖沟作业　　B. 监测机器人搜寻时的转弯姿态
C. 定位机器人在敷埋线路上的位置　　D. 测试机器人数埋作业时的机械臂动作

答案 C

3. [202506 浙江卷]2025 年 4 月 30 日，“神舟十九号载人飞船”返回舱安全着陆，宇航员顺利出舱。在其返回过程中，下列说法正确的是

A. 研究返回舱运行轨迹时，可将其视为质点
B. 随着返回舱不断靠近地面，地球对其引力逐渐减小
C. 返回舱落地前，反推发动机点火减速，宇航员处于失重状态
D. 用返回舱的轨迹长度和返回时间，可计算其平均速度的大小

答案 A

解析 B．越靠近地面，地球对其引力越大；

C．点火减速时，返回舱加速度向上，故处于超重状态；

D．平均速度概念是位移除以时间。

4. [202501 浙江卷]我国新一代车用电池能够提供更长的续航里程，其参数之一为 210 W · h/kg。其中单位“W · h”（瓦时）对应的物理量是（　　）

A. 能量　　B. 位移　　C. 电流　　D. 电荷量

答案 A

5. [202506 浙江卷]光子能量 $E=h\nu$，式中 ν 是光子的频率，h 是普朗克常量。h 的单位是

A. J·s　　B. N·s　　C. kg　　D. m

答案 *A*

解析 频率单位是 s^{-1}，能量单位是 J，故 h 单位是 J·s

6. [2025·黑吉辽内卷]书法课上，某同学临摹“力”字时，笔尖的轨迹如图中带箭头的实线所示。笔尖由 a 点经 b 点回到 a 点，则



A. 该过程位移为 0

B. 该过程路程为 0

C. 两次过 a 点时速度方向相同

D. 两次过 a 点时摩擦力方向相同

答案 *A*

解析 速度方向为轨迹切线方向，摩擦力方向与速度方向相反

7. [2025·江苏卷]新能源汽车在辅助驾驶系统测试时，感应到前方有障碍物立刻制动，做匀减速直线运动。2 s 内速度由 12 m/s 减至 0。该过程中加速度大小为　　(　　)

A. $2m/s^2$　　B. $4m/s^2$　　C. $6m/s^2$　　D. $8m/s^2$

答案 *C*

解析 由加速度定义得 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{0-12}{2}=-6m/s^2$，故大小为 $6m/s^2$。

8. [2025·四川卷]2025 年 4 月 30 日，神舟十九号载人飞船成功返回。某同学在观看直播时注意到，返回舱从高度 3090 m 下降到高度 2010 m，用时约 130 s。这段时间内，返回舱在竖直方向上的平均速度大小约为　　(　　)

A. 8.3 m/s　　B. 15.5 m/s　　C. 23.8 m/s　　D. 39.2 m/s

答案 *A*

解析 由平均速度定义得 $\bar{v}=\dfrac{x}{t}=\dfrac{3090-2010}{130}\approx 8.3\ m/s$

9. [2025·广西卷]某乘客乘坐的动车进站时，动车速度从 36 km/h 减小为 0，此过程可视为匀减速直线运动，期间该乘客的脉搏跳动了 70 次。已知他的脉搏跳动每分钟约为 60 次，则此过程动车行驶距离约为　　(　　)

A. 216 m　　B. 350 m　　C. 600 m　　D. 700 m

答案 *B*

解析 动车运动的时间为 $t=\dfrac{60}{60}\times 70\ s=70\ s$，故动车行驶的距离 $x=\dfrac{v_0}{2}t=\dfrac{10}{2}\times 70\ m=350\ m$，故选 *B*。

10. [2025 · 理综卷(新疆西藏)]我国自主研发的CR450动车组试验时的速度可达450 km/h。若以120 m/s的初速度在平直轨道上行驶的CR450动车组,匀减速运行14.4 km后停止,则减速运动中其加速度的大小为 (　　)

A. 0.1m/s^2　　B. 0.5m/s^2　　C. 1.0m/s^2　　D. 1.5m/s^2

答案 *B*

解析 根据速度位移关系$0-v_0^2=-2ax$,其中$v_0=120\ \text{m/s}$,$x=14400\ \text{m}$　　得加速度大小$a=0.5\text{m/s}^2$

11. [2025 · 安徽卷]汽车由静止开始沿直线从甲站开往乙站,先做加速度大小为a的匀加速运动,位移大小为x;接着在t时间内做匀速运动;最后做加速度大小也为a的匀减速运动,到达乙站时速度恰好为0。已知甲、乙两站之间的距离为$8x$,则 (　　)

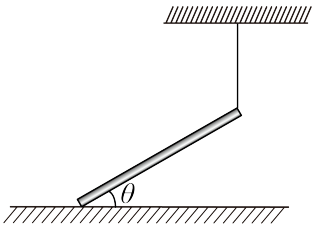
A. $x=\frac{1}{18}at^2$　　B. $x=\frac{1}{16}at^2$　　C. $x=\frac{1}{8}at^2$　　D. $x=\frac{1}{2}at^2$

答案 *A*

解析 匀速运动的位移$x'=8x-2x=6x$,故匀速时的速度$v=\frac{x'}{t}=\frac{6x}{t}$,

由匀加速运动过程$v^2=2ax$　得$\frac{1}{18}at^2$

12. [2025 · 陕西卷]如图,质量为m的均匀钢管,一端支在粗糙水平地面上,另一端被竖直绳悬挂,处于静止状态。钢管与水平地面之间的动摩擦因数为μ、夹角为θ,重力加速度大小为g。则地面对钢管左端的摩擦力大小为 (　　)

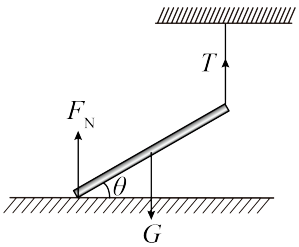


A. $\mu mg\cos\theta$　　B. $\frac{1}{2}\mu mg$　　C. μmg　　D. 0

答案 *D*

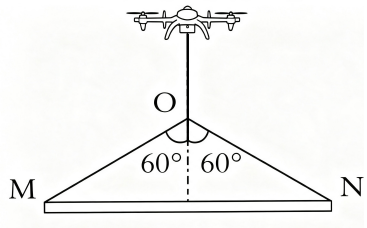
解析 教材必修一　第三章　第1节习题

对钢管受力分析,如图所示



若钢管受到地面的摩擦力,则钢管水平方向受力不平衡,钢管不可能处于静止状态,故地面对钢管左端的摩擦力大小为零。故选D。

13. [2025 · 重庆卷]现代生产生活中常用无人机运送物品，如图所示，无人机携带质量为 m 的匀质钢管在无风的空中悬停，轻绳 M 端和 N 端系住钢管，轻绳中点 O 通过缆绳与无人机连接。MO、NO 与竖直方向的夹角均为 $60°$，钢管水平。则 MO 的弹力大小为（重力加速度为 g）

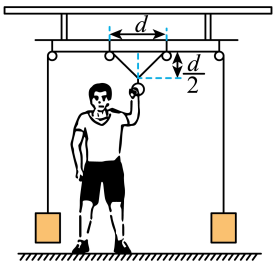


A. $2mg$　　B. mg　　C. $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$　　D. $\frac{1}{2}mg$

答案 B

解析 以钢管为研究对象，设轻绳的拉力为 T，根据对称性可知两边绳子拉力相等，根据平衡条件 $2T\cos60°=mg$ 可得 $T=mg$

14. [2025 · 贵州卷]一不可伸长的轻绳跨过同一水平线上的定滑轮，中间两定滑轮的间距为 d，在绳中央固定有一轻质吊环，绳两端分别挂有质量均为 m 的配重物，配重物静止在地面上且绳恰好伸直。如图，某同学在健身时把吊环竖直向下缓慢拉 $\frac{d}{2}$ 的距离后保持静止，已知重力加速度大小为 g，不计摩擦及滑轮大小，则静止时该同学对吊环的拉力大小为（　　）



A. $\sqrt{2}mg$　　B. mg　　C. $\frac{\sqrt{2}}{2}mg$　　D. $\frac{1}{2}mg$

答案 A

解析 根据几何关系可知，吊环两边的细绳与竖直方向的夹角为 $45°$，则由平衡可知 $F=2T\cos45°$，其中 $T=\mathrm{mg}$，可得 $F=\sqrt{2}\mathrm{mg}$。

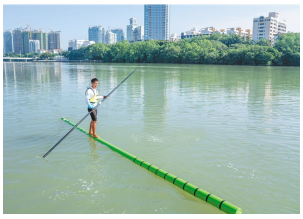
15. [202501 浙江卷]中国运动员以121公斤的成绩获得2024年世界举重锦标赛抓举金牌，举起杠铃稳定时的状态如图所示。下列说法正确的是（　　）



A. 双臂夹角越大受力越小
B. 杠铃对每只手臂作用力大小为605 N
C. 杠铃对手臂的压力和手臂对杠铃的支持力是一对平衡力
D. 在加速举起杠铃过程中，地面对人的支持力大于人与杠铃总重力

答案 D

16. [2025 · 广西卷]（多选）独竹漂是我国一项民间技艺。如图，在平静的湖面上，独竹漂选手手持划杆踩着楠竹，沿直线减速滑行，选手和楠竹相对静止，则（　　）

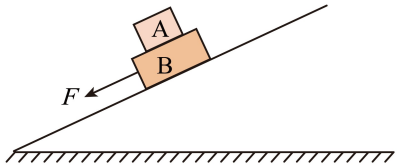


A. 选手所受合力为零
B. 楠竹受到选手作用力的方向一定竖直向下
C. 手持划杆可使选手（含划杆）的重心下移，更易保持平衡
D. 选手受到楠竹作用力的方向与选手（含划杆）的重心在同一竖直平面

答案 *CD*

解析 *A*．选手沿直线减速滑行，其所受合力与运动方向相反，不为零，*A* 错误；
B．对选手（含划杆）受力分析，其受到楠竹的静摩擦力和支持力，则由力的合成和牛顿第三定律可知楠竹受到选手的作用力方向不竖直向下，*B* 错误；
C．手持划杆可使选手（含划杆）的重心下移，更易保持平衡，*C* 正确；
D．对选手（含划杆）受力分析，受到的支持力和重力平衡，故选手受到楠竹作用力的方向与选手（含划杆）的重心在同一竖直平面，*D* 正确。

17. [2025 · 北京卷]如图所示，长方体物块 A、B 叠放在斜面上，B 受到一个沿斜面方向的拉力 F，两物块保持静止。B 受力的个数为 （　　）

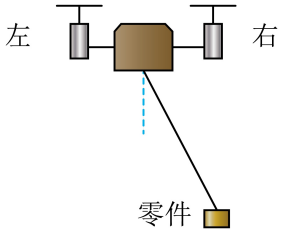


A. 4　　B. 5　　C. 6　　D. 7

答案 C

解析 物块 A 受到自身的重力、B 的支持力，由于 A 静止，则 A 还受 B 沿斜面向上的静摩擦力；对 B 受力分析可知，其受重力、斜面的支持力、A 的压力、拉力 F、B 还受 A 沿斜面向下的摩擦力，由于 B 静止，则受沿斜面向上的摩擦力，即 B 受 6 个力作用。

18. [2025·河南卷] 野外高空作业时，使用无人机给工人运送零件。如图，某次运送过程中的一段时间内，无人机向左水平飞行，零件用轻绳悬挂于无人机下方，并相对于无人机静止，轻绳与竖直方向成一定角度。忽略零件所受空气阻力，则在该段时间内 （　　）



A. 无人机做匀速运动
B. 零件所受合外力为零
C. 零件的惯性逐渐变大
D. 零件的重力势能保持不变

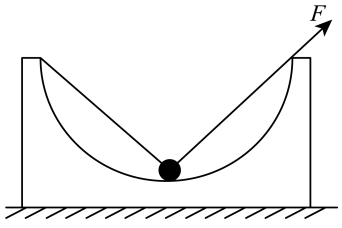
答案 D

解析 BD．零件受到向左的合力，故做匀加速直线运动，且高度不变，故重力势能不变。

A．无人机相对零件静止，故也做匀加速直线运动

C．惯性的大小只与质量有关，故惯性不变

19. [2025 · 河北卷]如图，内壁截面为半圆形的光滑凹槽固定在水平面上，左右边沿等高。该截面内，一根不可伸长的细绳穿过带有光滑孔的小球，一端固定于凹槽左边沿，另一端过右边沿并沿绳方向对其施加拉力 F。小球半径远小于凹槽半径，所受重力大小为 G。若小球始终位于内壁最低点，则 F 的最大值为 （　　）



A. $\frac{1}{2}G$　　B. $\frac{\sqrt{2}}{2}G$　　C. G　　D. $\sqrt{2}G$

答案 B

解析 分析可知当凹槽底部对小球支持力为零时，此时拉力 F 最大，

根据平衡条件有 $2F_m\cos45°=G$　得 $F_m=\frac{\sqrt{2}}{2}G$

20. [2025·福建卷]如图所示，山崖上有一个风动石，无风时地面对风动石的作用力是F_1，当受到一个水平风力时，风动石依然静止，地面对风动石的作用力是F_2，关于F_1和F_2的大小关系，下列说法正确的是（　　）



A. F_2大于F_1　　B. F_1大于F_2

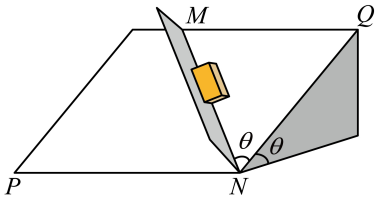
C. F_1等于F_2　　D. F_1和F_2的大小关系与风力大小有关

答案 A

解析 无风时，地面对风动石的作用力方向竖直向上，与重力平衡，大小为$F_1=mg$

当受到一个水平风力时，地面对风动石的作用力与竖直向下的重力及水平方向的风力F，三力平衡。根据平衡条件可知，地面对风动石的作用力大小为$F_2=\sqrt{F^2+(mg)^2}$，故F_2大于F_1。

21. [2025·山东卷]工人在河堤的硬质坡面上固定一垂直坡面的挡板，向坡底运送长方体建筑材料。如图所示，坡面与水平面夹角为θ，交线为PN，坡面内QN与PN垂直，挡板平面与坡面的交线为MN，$\angle MNQ=\theta$。若建筑材料与坡面、挡板间的动摩擦因数均为μ，重力加速度大小为g，则建筑材料沿MN向下匀加速滑行的加速度大小为（　　）



A. $g\sin^2\theta-\mu g\cos\theta-\mu g\sin\theta\cos\theta$　　B. $g\sin\theta\cos\theta-\mu g\cos\theta-\mu g\sin^2\theta$

C. $g\sin\theta\cos\theta-\mu g\cos\theta-\mu g\sin\theta\cos\theta$　　D. $g\cos^2\theta-\mu g\cos\theta-\mu g\sin^2\theta$

答案 B

解析 坡面的支持力$N_1=mg\cos\theta$，故坡面摩擦力$f_1=\mu N_1=\mu mg\cos\theta$；

在坡平面内，物体受到沿斜面向下的重力分力$mg\sin\theta$，挡板支持力$N_2=mg\sin\theta\sin\theta$，挡板摩擦力$f_2=\mu N_2=\mu mg\sin^2\theta$，故沿$MN$方向有$mg\sin\theta\cos\theta-f_1-f_2=ma$，故选$B$

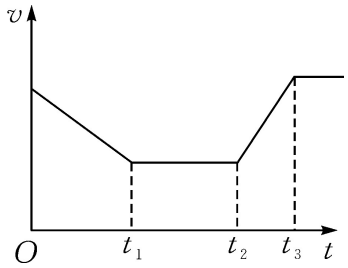
22. [2025·甘肃卷]2025年4月24日，在甘肃酒泉卫星发射中心成功发射了搭载神舟二十号载人飞船的长征二号F遥二十运载火箭。若在初始的1 s内燃料对火箭的平均推力约为6×10^6 N，火箭质量约为500吨且认为在1 s内基本不变，则火箭在初始1 s内的加速度大小约为(重力加速度g取10 m/s^2)

A. 2 m/s^2　　B. 4 m/s^2　　C. 6 m/s^2　　D. 12 m/s^2

答案 A

解析 由$F-mg=ma$，得$a=\dfrac{6\times10^6-5\times10^6}{5\times10^5}m/s^2=2m/s^2$ 故选A。

23. [2025 · 海南卷]ETC 是电子不停车收费系统的简称，常见于高速公路出入口，只要在车挡风玻璃上安装一个打卡装置，就能实现快速收费，提高通行效率。如图所示是一辆汽车通过 ETC 通道运动过程的速度—时间图像，其中 $t_1 \sim t_2$ 时间内的图线是一条平行于 t 轴的直线，则 （　　）



A. 汽车在 $0 \sim t_1$ 时间内做匀减速直线运动

B. 汽车在 $t_1 \sim t_2$ 时间内处于静止状态

C. 汽车在 $0 \sim t_1$ 和 $t_2 \sim t_3$ 时间内的加速度方向相同

D. 汽车在 $0 \sim t_1$ 和 $t_2 \sim t_3$ 时间内的速度方向相反

答案 *A*

解析 *A*．$v-t$ 图像的斜率表示加速度，$0 \sim t_1$ 时间内加速度为负且恒定，速度为正，加速度方向与速度方向相反，故 $0 \sim t_1$ 时，汽车做匀减速直线运动，故 *A* 正确；

B．$t_1 \sim t_2$ 内，汽车做匀速直线运动，故 *B* 错误；

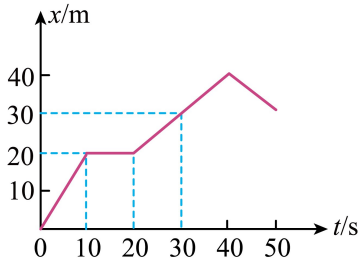
C．$0 \sim t_1$ 内加速度为负，$t_2 \sim t_3$ 内加速度为正，故 $0 \sim t_1$ 和 $t_2 \sim t_3$ 内，汽车加速度方向相反，故 *C* 错误；

D．$0 \sim t_1$ 和 $t_2 \sim t_3$ 内，汽车速度方向相同，均为正，故 *D* 错误。

24. [2025 · 贵州卷]为测试人形机器人的稳定性和灵活性，让人形机器人按指令在一条直线上“跑步”，如图 (*a*) 所示。人形机器人在一段时间内的位置—时间图像如图 (*b*) 所示，设该机器人在 $0 \sim 10\,\mathrm{s}$ 内的位移为 Δx_1、速度为 v_1，$20 \sim 30\,\mathrm{s}$ 内的位移为 Δx_2、速度为 v_2，则 （　　）



图(a)



图(b)

A. $\Delta x_1 < \Delta x_2$，$v_1 < v_2$　B. $\Delta x_1 < \Delta x_2$，$v_1 > v_2$　C. $\Delta x_1 > \Delta x_2$，$v_1 < v_2$　D. $\Delta x_1 > \Delta x_2$，$v_1 > v_2$

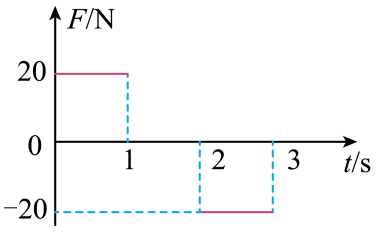
答案 *D*

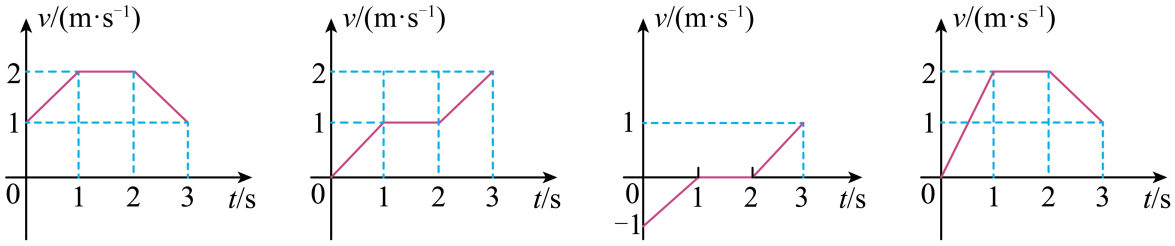
解析 根据图像可知，$0 \sim 10\,\mathrm{s}$ 内的位移为 $\Delta x_1 = 20\,\mathrm{m}$，速度为 $v_1 = \dfrac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = 2\,\mathrm{m/s}$

$20 \sim 30\,\mathrm{s}$ 内的位移为 $\Delta x_2 = 30\,\mathrm{m} - 20\,\mathrm{m} = 10\,\mathrm{m}$，速度为 $v_2 = \dfrac{\Delta x_2}{\Delta t_2} = 1\,\mathrm{m/s}$

所以 $\Delta x_1 > \Delta x_2$，$v_1 > v_2$。

25. [2025 · 陕西卷]某智能物流系统中，质量为 20 kg 的分拣机器人沿水平直线轨道运动，受到的合力沿轨道方向，合力 F 随时间 t 的变化如图所示，则下列图像可能正确的是（　　）

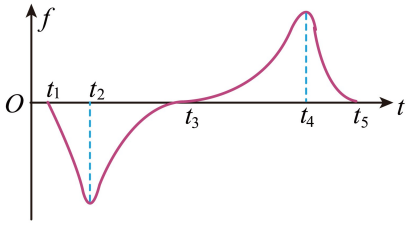




答案 A

解析 由 $F-t$ 图形可知机器人在 0~1 s 和 2~3 s 内加速度大小均为 1m/s²，方向相反，由 $v-t$ 图线的斜率表示加速度可知 A 正确。

26. [2025 · 北京卷]模拟失重环境的实验舱，通过电磁弹射从地面由静止开始加速后竖直向上射出，上升到最高点后回落，再通过电磁制动使其停在地面。实验舱运动过程中，受到的空气阻力 f 的大小随速率增大而增大，f 随时间 t 的变化如图所示（向上为正）。下列说法正确的是



A. 从 t_1 到 t_3，实验舱处于电磁弹射过程　　B. 从 t_2 到 t_3，实验舱加速度大小减小

C. 从 t_3 到 t_5，实验舱内物体处于失重状态　　D. t_4 时刻，实验舱达到最高点

答案 B

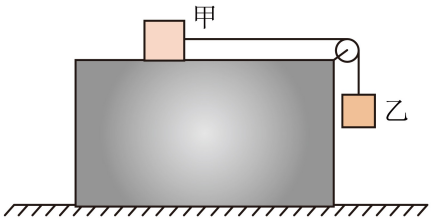
解析 A．$t_1\sim t_3$ 间，f 向下，先增大后减小，可知此时速度方向向上，先增大后减小，故实验舱先处于弹射过程后做竖直上抛运动，故 A 错误；

B．从 $t_2\sim t_3$，f 向下在减小，由 $mg+f=ma$ 得 $a=\dfrac{f}{m}+g$，故加速度大小在减小，故 B 正确；

C．$t_3\sim t_5$ 间，f 向上，先增大后减小，可知此时速度方向向下，先增大后减小，先向下加速后向下减速，加速度先向下后向上，先失重后超重，故 C 错误；

D．t_3 时刻速度方向改变，从向上变成向下运动，故 t_3 时刻到达最高点，故 D 错误。

27. [2025·安徽卷]如图，装有轻质光滑定滑轮的长方体木箱静置在水平地面上，木箱上的物块甲通过不可伸长的水平轻绳绕过定滑轮与物块乙相连。乙拉着甲从静止开始运动，木箱始终保持静止。已知甲、乙质量均为1.0 kg，甲与木箱之间的动摩擦因数为0.5，不计空气阻力，重力加速度g取10 m/s^2，则在乙下落的过程中（　　）



A. 甲对木箱的摩擦力方向向左　　B. 地面对木箱的支持力逐渐增大

C. 甲运动的加速度大小为2.5 m/s^2　　D. 乙受到绳子的拉力大小为5.0 N

答案 C

解析 A．甲相对木箱向右运动时受到水平向左的滑动摩擦力，故甲对木箱的摩擦力方向向右，A错误；

CD．设绳子的弹力大小为T，对甲有$T-\mu mg=ma$，对乙有$mg-T=ma$

联立解得$a=2.5\ \text{m/s}^2$，$T=7.5\ \text{N}$，C正确，D错误。

B．对“甲、乙和木箱”整体，竖直方向有$M_{总}g-F_N=ma$，则地面对木箱的支持力大小不变，B错误；

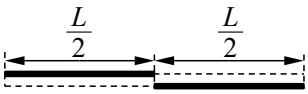
28. [202501 浙江卷]有一离地面高度20 m、质量为2×10^{-13} kg稳定竖直降落的沙尘颗粒，在其降落过程中受到的阻力与速率v成正比，比例系数$k=1\times10^{-9}$ kg/s，则它降落到地面的时间约为（　　）

A. 0.5 h　　B. 3 h　　C. 28 h　　D. 166 h

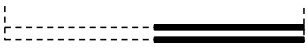
答案 B

解析 稳定竖直下落，即认为匀速下落，有$mg=kv$，得$v=\dfrac{mg}{k}=2\times10^{-3}\ \text{m/s}$，$t=\dfrac{h}{v}=10^4\ \text{s}\approx2.8\ \text{h}$

29. [2025·湖北卷]一个宽为L的双轨推拉门由两扇宽为$\dfrac{L}{2}$的门板组成，门处于关闭状态，其俯视图如图(a)所示。某同学用与门板平行的水平恒定拉力作用在一门板上，一段时间后撤去拉力，该门板完全运动到另一边，且恰好不与门框发生碰撞，其俯视图如图(b)所示。门板在运动过程中受到的阻力与其重力大小之比为μ，重力加速度大小为g。若要门板的整个运动过程用时尽量短，则所用时间趋近于（　　）



图(a)



图(b)

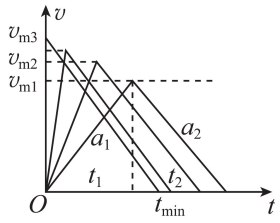
A. $\sqrt{\dfrac{L}{2\mu g}}$　　B. $\sqrt{\dfrac{L}{\mu g}}$　　C. $\sqrt{\dfrac{2L}{\mu g}}$　　D. $2\sqrt{\dfrac{L}{\mu g}}$

答案 B

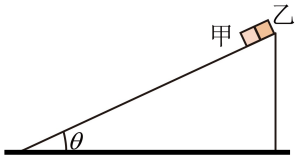
解析 门板先做匀加速运动后做匀减速运动，设最大速度为v_m，则整个过程平均速度即为$\frac{v_m}{2}$，所用时间$t=\frac{L/2}{v_m/2}=\frac{L}{v_m}$，撤去拉力后有$v_m^2=2\mu g x_2$，联立得$t=\frac{L}{\sqrt{2\mu g x_2}}$，要使时间尽量短，匀减速运动的位移应尽量大，

当x_2趋近于$\frac{L}{2}$时，有$t_{min}=\sqrt{\frac{L}{\mu g}}$。根据生活经验，如果慢慢拉门，运动时间自然就比较长；如果猛地一拉，使门板突然有个很大的初速度，那么时间就比较短。

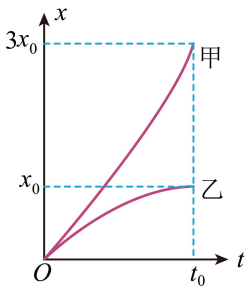
（方法二：也可以作$v-t$图像判断，匀减速是一条斜率不变的线段）



30. [2025·黑吉辽内卷]（多选）如图(a)，倾角为θ的足够长斜面放置在粗糙水平面上。质量相等的小物块甲、乙同时以初速度v_0沿斜面下滑，甲、乙与斜面的动摩擦因数分别为μ_1、μ_2，整个过程中斜面相对地面静止。甲和乙的位置x与时间t的关系曲线如图(b)所示，两条曲线均为抛物线，乙的$x-t$曲线在$t=t_0$时切线斜率为0，则 （　　）



图(a)



图(b)

A. $\mu_1+\mu_2=2\tan\theta$　　B. $t=t_0$时，甲的速度大小为$3v_0$

C. $t=t_0$之前，地面对斜面的摩擦力方向向左　　D. $t=t_0$之后，地面对斜面的摩擦力方向向左

答案 AD

解析 $x-t$图像斜率反映了速度大小，由图可知甲做加速运动，乙做减速运动直到停下，故整个过程甲、乙处于分离状态。由于曲线均为抛物线，故均满足匀变速直线运动规律。

B. 由$x=\bar{v}t$可知$3x_0=\frac{v_0+v_{甲}}{2}t_0$，$x_0=\frac{v_0}{2}t_0$　　得$v_{甲}=2v_0$

A. 由$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$可知甲、乙加速度大小分别为$a_1=\frac{2v_0-v_0}{t_0}$，$a_2=\frac{v_0}{t_0}$　　得$a_1=a_2$

又由受力分析可知$a_1=g\sin\theta-\mu_1 g\cos\theta$，$a_2=\mu_2 g\cos\theta-g\sin\theta$　　得$\mu_1+\mu_2=2\tan\theta$

C. $t=t_0$之前，对“甲、乙”系统，水平方向加速度$a=a_1\cos\theta-a_2\cos\theta=0$，故斜面受到甲、乙的水平合力为0，故地面对斜面没有摩擦力

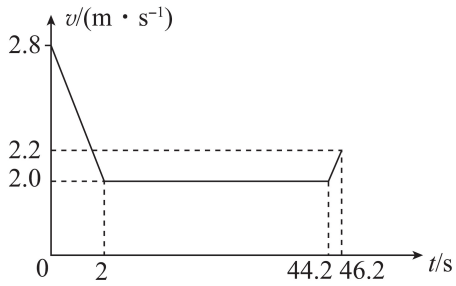
D. $t=t_0$之后，甲加速下滑，乙静止，故斜面对甲有水平向左的分力，由相互作用力可知甲对斜面有水平向右的分力，故地面对斜面的摩擦力方向向左

31. [2025 · 福建卷]某运动员进行游泳训练，他的运动为直线运动，运动的 $v-t$ 图像如图所示，各阶段图像均为直线。求：

(1) 运动员 0~2 s 内的平均速度大小；

(2) 运动员 44.2~46.2 s 内的加速度大小；

(3) 运动员 44.2~46.2 s 内的位移大小。



答案 (1)2.4 m/s (2)0.1m/s² (3)4.2 m

解析 (1)$\bar{v}=\dfrac{2.8+2.0}{2}\text{m/s}=2.4\text{m/s}$； (2)$a=\dfrac{2.2-2.0}{46.2-44.2}\text{m/s}^2=0.1\text{m/s}^2$；

(3)$x=\dfrac{2.2+2.0}{2}\times 2\text{ m}=4.2\text{ m}$

32. [2025 · 上海卷]一质量 $m=1500\text{ kg}$ 的电动汽车沿坡度 $\theta=4.8°$ 的斜坡匀减速下坡。从 $v_0=72\text{ km/h}$ 减速至 $v_t=18\text{ km/h}$ 用时 $t=5\text{ s}$。若这 5 s 内系统完全使用再生制动，且该车在行驶过程中受到的除制动力以外的其余阻力的大小 $f=500\text{ N}$，求这 5 s 内该车的位移大小 x 和再生制动提供的制动力大小 F。（计算）

答案 (1)$x=62.5\text{ m}$；(2)$F=5200\text{ N}$

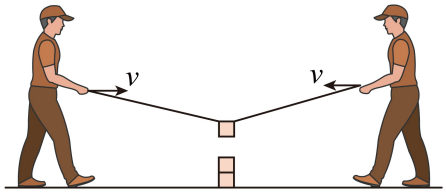
解析 (1) 小车的位移 $x=\dfrac{v_0+v_t}{2}t=\dfrac{20+5}{2}\times 5\text{ m}=62.5\text{ m}$

(2) 小车的加速度 $a=\dfrac{v_t-v_0}{t}=\dfrac{5-20}{5}\text{m/s}^2=-3\text{m/s}^2$，方向沿斜面向上

根据牛顿第二定律 $mg\sin 4.8°-F-f=ma$ 得 $F=5200\text{ N}$

二、必修二

1. [2025 · 黑吉辽内卷]如图，趣味运动会的“聚力建高塔”活动中，两长度相等的细绳一端系在同一塔块上，两名同学分别握住绳的另一端，保持手在同一水平面以相同速率 v 相向运动。为使塔块沿竖直方向匀速下落，则 v （　　）

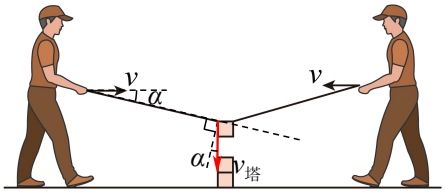


A. 一直减小　　B. 一直增大　　C. 先减小后增大　　D. 先增大后减小

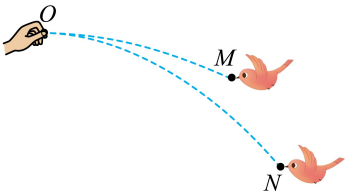
答案 B

解析 将速度沿绳子方向分解，有 $v\cos\alpha = v_{塔}\sin\alpha$，得 $v = v_{塔}\tan\alpha$　其中 $v_{塔}$ 不变

所以相向运动时 α 一直增大，故 v 一直增大



2. [2025 · 云南卷]如图所示，某同学将两颗鸟食从 O 点水平抛出，两只小鸟分别在空中的 M 点和 N 点同时接到鸟食。鸟食的运动视为平抛运动，两运动轨迹在同一竖直平面内，则 （　　）



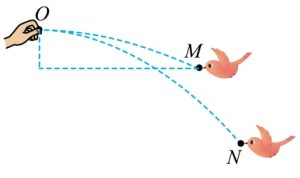
A. 两颗鸟食同时抛出　　B. 在 N 点接到的鸟食后抛出

C. 两颗鸟食平抛的初速度相同　　D. 在 M 点接到的鸟食平抛的初速度较大

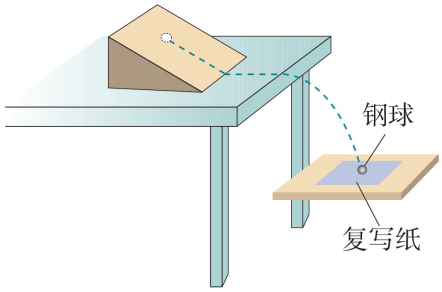
答案 D

解析 AB．平抛运动在竖直方向有 $h = \frac{1}{2}gt^2$，由于 $h_M < h_N$，则 $t_M < t_N$，要同时接到鸟食，则在 N 点接到的鸟食先抛出，故 AB 错误；

CD．在水平方向有 $x = v_0 t$，如图，过 M 点作一水平面，可看出在相同高度处 M 点的水平位移大，则 M 点接到的鸟食平抛的初速度较大，故 C 错误，D 正确。



3. [202506 浙江卷]如图所示，在水平桌面上放置一斜面，在桌边水平放置一块高度可调的木板。让钢球从斜面上同一位置静止滚下，越过桌边后做平抛运动。当木板离桌面的竖直距离为 h 时，钢球在木板上的落点离桌边的水平距离为 x，则



A. 钢球平抛初速度为 $x\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$　　B. 钢球在空中飞行时间为 $\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

C. 增大 h，钢球撞击木板的速度方向不变　　D. 减小 h，钢球落点离桌边的水平距离不变

答案 B

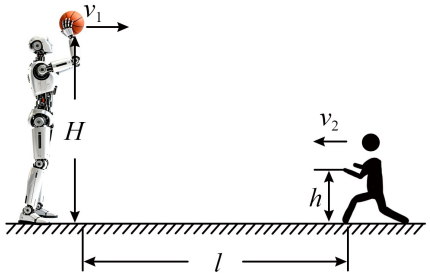
解析 教材必修二第五章第3节习题

AB．由 $x=v_0t$，$h=\dfrac{1}{2}gt^2$　　得 $t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$，$v_0=x\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$；

C．增大 h，v_y 增大，故末速度方向改变；

D．减小 h，则 t 减小，水平位移减小。

4. [2025 · 江西卷]如图所示，人形机器人陪伴小孩玩接球游戏。机器人在高度为 H 的固定点以速率 v_1 水平向右抛球，小孩以速率 v_2 水平向左匀速运动，接球时手掌离地面高度为 h。当小孩与机器人水平距离为 l 时，机器人将小球抛出。忽略空气阻力，重力加速度为 g。若小孩能接到球，则 v_1 为



A. $l\sqrt{\dfrac{2g}{H-h}}-v_2$　　B. $l\sqrt{\dfrac{g}{2(H-h)}}-v_2$　　C. $l\sqrt{\dfrac{H-h}{2g}}-v_2$　　D. $l\sqrt{\dfrac{2(H-h)}{g}}-v_2$

答案 B

解析 设运动时间为 t，水平方向有 $l-v_2t=v_1t$，竖直方向有 $H-h=\dfrac{1}{2}gt^2$，

联立解得 $v_1=l\sqrt{\dfrac{g}{2(H-h)}}-v_2$。

5. [2025 · 湖北卷]某网球运动员两次击球时，击球点离网的水平距离均为L，离地高度分别为$\frac{L}{2}$、L，网球离开球拍瞬间的速度大小相等，方向分别斜向上、斜向下，且与水平方向夹角均为θ。击球后网球均刚好直接掠过球网，运动轨迹平面与球网垂直，忽略空气阻力，$\tan\theta$的值为（　　）

A. $\frac{1}{2}$　　B. $\frac{1}{3}$　　C. $\frac{1}{4}$　　D. $\frac{1}{6}$

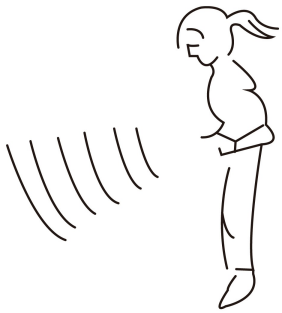
答案 C

解析 网球水平方向上做匀速直线运动，有$t=\frac{L}{v_0\cos\theta}$

规定竖直向下为正方向，设球网高度为h，则对两次击球分别有$L-h=v_0\sin\theta\cdot t+\frac{1}{2}gt^2$，

$\frac{L}{2}-h=-v_0\sin\theta\cdot t+\frac{1}{2}gt^2$　联立解得$\tan\theta=\frac{1}{4}$

6. [2025 · 河北卷]某同学在傍晚用内嵌多个彩灯的塑料绳跳绳，照片录了彩灯在曝光时间内的运动轨迹，简图如图。彩灯的运动可视为匀速圆周运动，相机本次曝光时间是$\frac{1}{30}$ s，圆弧对应的圆心角约为30°，则该同学每分钟跳绳的圈数约为（　　）

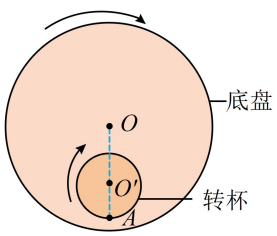


A. 90　　B. 120　　C. 150　　D. 180

答案 C

解析 跳绳的转动角速度为$\omega=\frac{\theta}{\Delta t}=\frac{\frac{\pi}{6}}{\frac{1}{30}}$ rad/s$=5\pi$ rad/s，故每分钟跳绳的圈数为$n=\frac{5\pi}{2\pi}\times60=150$

7. [2025 · 江苏卷]游乐设施“旋转杯”的底盘和转杯分别以O、O'为转轴，在水平面内沿顺时针方向匀速转动，O'固定在底盘上。某时刻转杯转到如图所示位置，杯上A点与O、O'恰好在同一条直线上。则（　　）



A. A点做匀速圆周运动　　B. O'点做匀速圆周运动

C. 此时A点的速度小于O'点　　D. 此时A点的速度等于O'点

答案 B

解析 A．A 点运动为 A 点绕 O' 的圆周运动和 O' 相对于 O 的圆周运动的合运动，故轨迹不是圆周，故不做匀速圆周运动，故 A 错误；

B．根据题意 O' 固定在底盘上，故可知 O' 围绕 O 点做匀速圆周运动，故 B 正确；

CD．杯上 A 点与 O、O' 恰好在同一条直线上时且 A 在 OO' 延长线上，A 点和 O' 点运动运动方向相同，又 A 点相对 O' 点做圆周运动，故此时 A 的速度大于 O' 的速度，故 CD 错误。

8. [2025 · 福建卷]（多选）如图为春晚上转手绢的机器人，手绢上有 P、Q 两点，圆心为 O，$OQ=\sqrt{3}OP$，手绢绕 O 点做匀速圆周运动，则



A. P、Q 线速度之比为 $1:\sqrt{3}$　　B. P、Q 角速度之比为 $\sqrt{3}:1$

C. P、Q 向心加速度之比为 $\sqrt{3}:1$　　D. P 点所受合外力总是指向 O

答案 AD

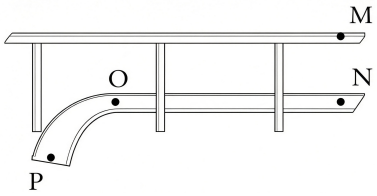
解析 B．P、Q 的角速度相等，即角速度之比为 $1:1$，B 错误；

A．由 $v=\omega r$ 可知，P、Q 线速度之比 $v_P:v_Q=r_{OP}:r_{OQ}=1:\sqrt{3}$，$A$ 正确；

C．由 $a=\omega^2 r$ 可知，P、Q 向心加速度之比 $a_P:a_Q=r_{OP}:r_{OQ}=1:\sqrt{3}$，$C$ 错误；

D．做匀速圆周运动的物体，其合外力等于向心力，故合力总是指向圆心 O，D 正确。

9. [2025 · 重庆卷]“魔幻”重庆的立体交通屋叠交错，小明选取其中两条线探究车辆的运动。如图所示，轻轨列车与汽车以速度 $2v_0$ 分别从 M 和 N 向左同时出发，列车做匀速直线运动，汽车在长为 s 的 NO 段做匀减速直线运动并以速度 v_0 进入半经为 R 的 OP 圆弧段做匀速圆周运动。两车均视为质点，则



A. 汽车到 O 点时，列车行驶距离为 s　　B. 汽车到 O 点时，列车行驶距离为 $\frac{4s}{3}$

C. 汽车在 OP 段向心加速度大小为 $\frac{2v_0^2}{R}$　　D. 汽车在 OP 段向心加速度大小为 $\frac{4v_0^2}{R}$

答案 B

解析 AB．汽车到 O 点所需的时间 t 满足 $s=\frac{2v_0+v_0}{2}t$，得 $t=\frac{2s}{3v_0}$，这段时间内列车行驶距离 $s'=2v_0\cdot t=\frac{4s}{3}$，$B$ 正确，A 错误；

CD．根据 $a_n=\frac{v^2}{r}$，得 $a_n=\frac{v_0^2}{R}$，CD 错误。

10. [2025·山东卷]某同学用不可伸长的细线系一个质量为 0.1 kg 的发光小球，让小球在竖直面内绕一固定点做半径为 0.6 m 的圆周运动。在小球经过最低点附近时拍摄了一张照片，曝光时间为 $\frac{1}{50}$ s。由于小球运动，在照片上留下了一条长度约为半径 $\frac{1}{5}$ 的圆弧形径迹。根据以上数据估算小球在最低点时细线的拉力大小为（　　）

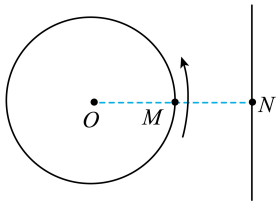
A. 11 N　　B. 9 N　　C. 7 N　　D. 5 N

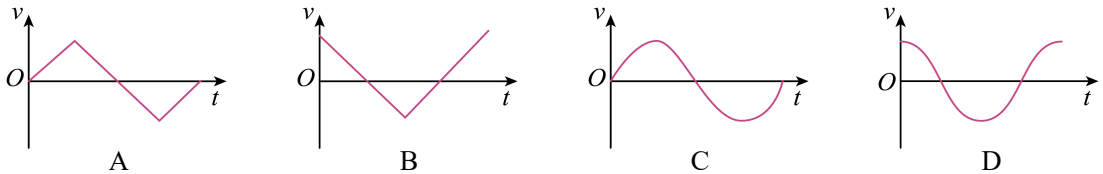
答案 C

解析 由于曝光时间很短，可用平均速度代替瞬时速度，故最低点速度 $v=\frac{\frac{1}{5}r}{\Delta t}=6\ \text{m/s}$

由 $F-mg=\frac{mv^2}{r}$　得 $F=7\ \text{N}$

11. [2025·安徽卷]在竖直平面内，质点 M 绕定点 O 沿逆时针方向做匀速圆周运动，质点 N 沿竖直方向做直线运动，M、N 在运动过程中始终处于同一高度。$t=0$ 时，M、N 与 O 点位于同一直线上，如图所示。此后在 M 运动一周的过程中，N 运动的速度 v 随时间 t 变化的图像可能是



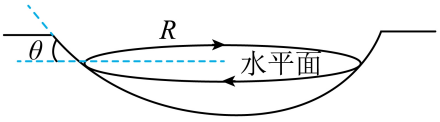


A　　B　　C　　D

答案 D

解析 因为 M、N 在运动过程中始终处于同一高度，所以 N 的速度 v_N 与 M 在竖直方向的分速度 v_{My} 大小相等。设 M 做匀速圆周运动的角速度为 ω，半径为 r，其竖直方向分速度 $v_{My}=\omega r\cos\omega t$，即 $v_N=\omega r\cos\omega t$，则 D 正确

12. [2025 · 广东卷]（多选）将可视为质点的小球沿光滑冰坑内壁推出，使小球在水平面内做匀速圆周运动，如图所示。已知圆周运动半径 R 为 0.4 m，小球所在位置处的切面与水平面夹角 θ 为 45°，小球质量为 0.1 kg，重力加速度 g 取 10 m/s²。关于该小球，下列说法正确的有（　　）



A. 角速度为 5 rad/s　　B. 线速度大小为 4 m/s

C. 向心加速度大小为 10 m/s²　　D. 所受支持力大小为 1 N

答案　*AC*

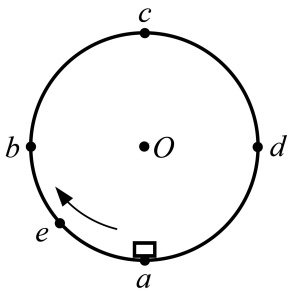
解析　*A*．对小球受力分析可知 $F_{向}=mg\tan45°=m\omega^2R$　得 $\omega=5$ rad/s，故 *A* 正确；

B．线速度大小为 $v=\omega R=2$ m/s，故 *B* 错误；

C．向心加速度大小为 $a_n=\dfrac{F_{向}}{m}=g\tan45°=10$ m/s²，故 *C* 正确；

D．所受支持力大小为 $F_N=\dfrac{mg}{\cos45°}=\sqrt{2}$ N，故 *D* 错误。

13. [2025 · 上海卷]如图，一光滑圆轨道竖直固定放置，a 为轨道最低点，b、d 是与轨道圆心 O 等高的点，c 为轨道最高点，e 为圆弧 ab 的中点。一小滑块以一定的水平初速度从 a 点出发，仅在重力和轨道对其弹力作用下沿圆轨道顺时针运动。



(Ⅰ)若物块从 a 点运动到 c 点所用时间为 t_0，则在 $t_0/2$ 时刻，物块位于 (　　)

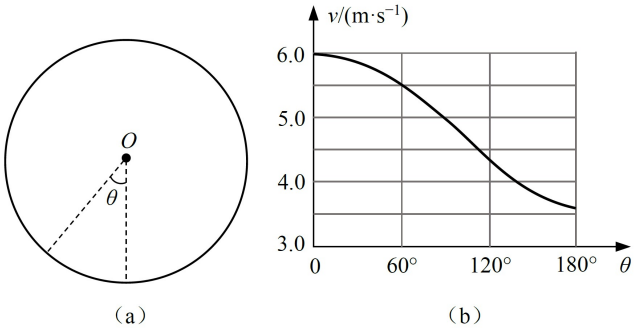
A. ae 之间　　B. e 点　　C. eb 之间　　D. b 点

E. bc 之间

(Ⅱ)若质量为 m 的滑块从 a 点以水平速度 v_0 出发，恰能运动到 b 点，且用时为 t，则此过程中轨道对滑块弹力的冲量大小为_____。（重力加速度大小为 g） (　　)

A. mv_0　　B. mgt　　C. mv_0+mgt　　D. $m\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$

(Ⅲ)已知物块质量 $m=0.5\ \mathrm{kg}$，以初速度 v_0 可以完整运动一周。下图是物块的速度 v 与物块与圆心连线转过的夹角 θ 关系的图像。



（a）　　（b）

(1)（计算）求轨道半径 R；

(2)（计算）当 $\theta=60°$ 时，求物块克服重力做功的瞬时功率 P。

答案　(Ⅰ) E　　(Ⅱ) D　　(Ⅲ) (1)0.6 m；(2)23.8 W

解析　(Ⅰ)物块从 a 点运动到 c 点过程中一直做减速运动，可知沿圆弧物块 a 点运动到 b 点的平均速率大于 b 点运动到 c 点的平均速率。若物块从 a 点运动到 c 点所用时间为 t_0，则在 $0.5t_0$ 时，物块在 bc 之间。

(Ⅱ)根据动量定理，支持力在水平方向的冲量为 $I_x=0-mv_0$；竖直方向上根据动量定理有 $I_y-mgt=0$，

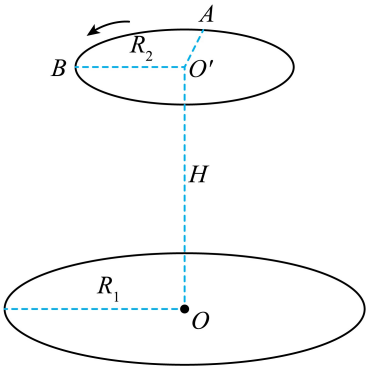
故该过程中轨道对物块的支持力的冲量为 $I=\sqrt{I_x^2+I_x^2}=m\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$

(Ⅲ) (1) 由图像可知，物块最低点位置的速度为 $v_0=6\ \mathrm{m/s}$，最高点位置的速度为 $v=3.5\ \mathrm{m/s}$。

由动能定理得 $-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　　得 $R\approx 0.6\ \mathrm{m}$

(2) 由图像可知 $\theta=60°$ 时，物块速度为 $v=5.5\ \text{m/s}$，则物块克服重力做功的瞬时功率 $P=mgv\sin\theta\approx23.8\ \text{W}$

14. [2025 · 山东卷]（多选）如图所示，在无人机的某次定点投放性能测试中，目标区域是水平地面上以 O 点为圆心，半径 $R_1=5\ \text{m}$ 的圆形区域，OO' 垂直地面，无人机在离地面高度 $H=20\ \text{m}$ 的空中绕 O' 点、平行地面做半径 $R_2=3\ \text{m}$ 的匀速圆周运动，A、B 为圆周上的两点，$\angle AO'B=90°$。若物品相对无人机无初速度地释放，为保证落点在目标区域内，无人机做圆周运动的最大角速度应为 $\omega_{\max}$。当无人机以 $\omega_{\max}$ 沿圆周运动经过 A 点时，相对无人机无初速度地释放物品。不计空气对物品运动的影响，物品可视为质点且落地后即静止，重力加速度大小 $g=10\ \text{m/s}^2$。下列说法正确的是（　　）



A. $\omega_{\max}=\frac{\pi}{3}\ \text{rad/s}$

B. $\omega_{\max}=\frac{2}{3}\ \text{rad/s}$

C. 无人机运动到 B 点时，在 A 点释放的物品已经落地

D. 无人机运动到 B 点时，在 A 点释放的物品尚未落地

答案 BC

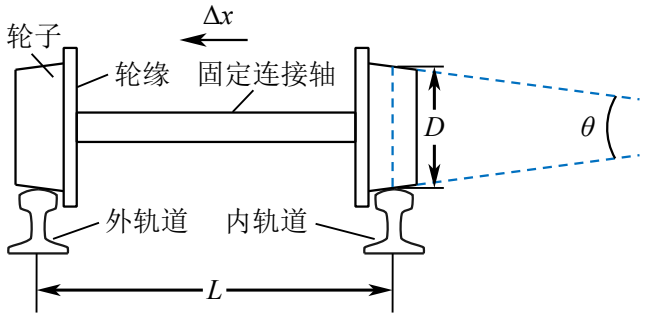
解析 AB．物品从无人机上释放后，做平抛运动，竖直方向 $H=\frac{1}{2}gt^2$，得 $t=2\ \text{s}$

要使得物品落点恰在目标区域内，水平方向满足 $x_m=\sqrt{R_1^2-R_2^2}=4\ \text{m}$，得 $v_m=\frac{x_m}{t}=2\ \text{m/s}$

故最大角速度等于 $\omega_{\max}=\frac{v_m}{R_2}=\frac{2}{3}\ \text{rad/s}$，故 B 正确；

CD．无人机从 A 到 B 的时间 $t'=\frac{\frac{\pi}{2}}{\omega_{\max}}=\frac{3\pi}{4}\ \text{s}>t$，可知无人机运动到 B 点时，在 A 点释放的物品已经落地，故 C 正确

15. [2025 · 江西卷]为避免火车在水平面上过弯时因内外轨道半径不同致使轮子打滑造成危险(不考虑离心问题),把固定连接为一体的两轮设计成锥顶角 θ 很小的圆台形,如图所示。设铁轨间距为 L,正常直线行驶时两轮与铁轨接触处的直径均为 D,过弯时内外轨间中点位置到轨道圆心的距离为过弯半径 R。在 θ 很小时,$\tan\theta \approx \sin\theta \approx \theta$。若在水平轨道过弯时要求轮子不打滑且横向偏移量不超过 Δx,则最小过弯半径 R 为



A. $\dfrac{2LD}{\theta\Delta x}$　　B. $\dfrac{LD}{\theta\Delta x}$　　C. $\dfrac{LD}{2\theta\Delta x}$　　D. $\dfrac{LD}{4\theta\Delta x}$

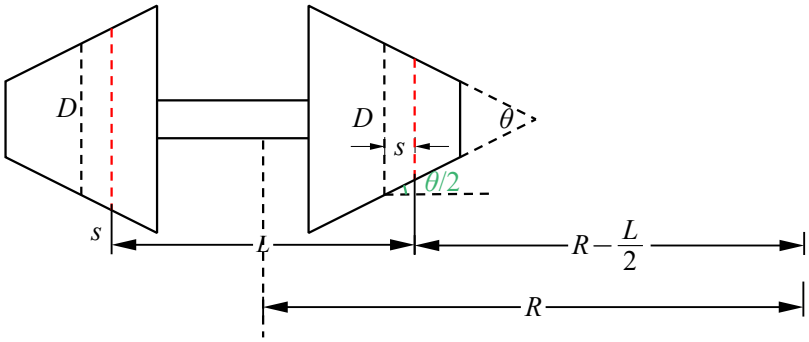
答案 C

解析 由于两轮是固定连接为一体的,这意味着它们不能独立旋转。当车轴转动时,两个轮子的旋转角速度(ω)必然相同,即内轮绕车轴转一圈时外轮也转一圈。

当横向偏移量为 s 时,

内轮与铁轨接触处的直径为 $D-2s\tan\dfrac{\theta}{2}$,内轮过弯半径为 $R-\dfrac{L}{2}$

外轮与铁轨接触处的直径为 $D+2s\tan\dfrac{\theta}{2}$,外轮过弯半径为 $R+\dfrac{L}{2}$



轮子和铁轨间不打滑,要求内外两轮的过弯角速度相等,即满足

$$\frac{\pi(D-2s\tan\frac{\theta}{2})}{R-\frac{L}{2}}=\frac{\pi(D+2s\tan\frac{\theta}{2})}{R+\frac{L}{2}}$$

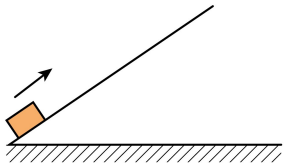
去分母得 $(D-2s\tan\dfrac{\theta}{2})(R+\dfrac{L}{2})=(D+2s\tan\dfrac{\theta}{2})(R-\dfrac{L}{2})$

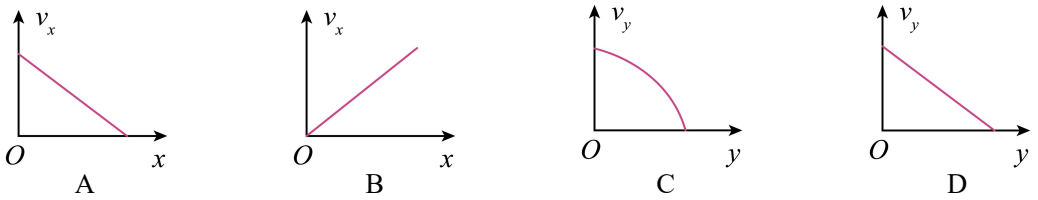
去括号化简得 $DL=4sR\tan\dfrac{\theta}{2}\approx 4sR\cdot\dfrac{\theta}{2}=2sR\theta$

即 $R=\dfrac{DL}{2\theta s}$　　偏移量 s 越大,过弯半径 R 越小。

当偏移量最大为 Δx 时,最小半径 $R=\dfrac{DL}{2\theta\Delta x}$

16. [2025 · 湖南卷]如图，物块以某一初速度滑上足够长的固定光滑斜面，物块的水平位移、竖直位移、水平速度、竖直速度分别用 x、y、v_x、v_y 表示。物块向上运动过程中，下列图像可能正确的是





答案 C

解析 对物块受力分析，合力不变且沿斜面向下，物块在斜面上做匀变速直线运动。根据运动的合成与分解，物体在竖直方向和水平方向均为匀变速直线运动，根据速度与位移关系，得到 v_x-x、v_y-y 的图像均为抛物线的一部分，选项 C 正确。

17. [2025 · 理综卷(新疆西藏)]“天都一号”通导技术试验卫星测距试验的成功，标志着我国在深空轨道精密测量领域取得了技术新突破。“天都一号”在环月椭圆轨道上运行时，（　　）

A. 受月球的引力大小保持不变　　B. 相对月球的速度大小保持不变

C. 离月球越近，其相对月球的速度越大　　D. 离月球越近，其所受月球的引力越小

答案 C

解析 AD．“天都一号”在环月椭圆轨道上运行时与月球的距离不断发生变化，根据 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ 可知受月球的引力大小发生变化，离月球越近，其所受月球的引力越大，故 AD 错误；

B．根据开普勒第二定律可知“天都一号”在环月椭圆轨道上运行时相对月球的速度大小改变，近月点速度最大，远月点速度最小，即离月球越近，相对月球的速度越大，故 B 错误，C 正确。

18. [2025 · 湖北卷]甲、乙两行星绕某恒星做圆周运动，甲的轨道半径比乙的小。忽略两行星之间的万有引力作用，下列说法正确的是（　　）

A. 甲运动的周期比乙的小　　B. 甲运动的线速度比乙的小

C. 甲运动的角速度比乙的小　　D. 甲运动的向心加速度比乙的小

答案 A

解析 由“高轨低速大周期”可知甲的周期更小，甲的线速度、角速度更小；由 $\frac{GMm}{R^2}=ma$ 可知甲的向心加速度更大。（或由 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=ma$ 可知 $T_{甲}<T_{乙}$，$v_{甲}>v_{乙}$，$\omega_{甲}>\omega_{乙}$，向心加速度 $a_{甲}>a_{乙}$，故选 A。

19. [2025·天津卷]2025 年 5 月我国成功发射通信技术试验卫星十九号，若该系列试验卫星中 A、B 两颗卫星均可视为绕地球做匀速圆周运动，轨道半径 $r_A>r_B$，则卫星 A 比 B（　　）

A. 线速度小、角速度小　　B. 线速度小、运行周期小

C. 加速度大、角速度大　　D. 加速度大、运行周期大

答案 A

解析 高轨低速大周期 根据题意，由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=ma$

解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，$T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$，$a=\frac{GM}{r^2}$，由于轨道半径 $r_A>r_B$，可得 $v_A<v_B$，$\omega_A<\omega_B$，$T_A>T_B$，$a_A<a_B$，故选 A。

20. [2025·海南卷]2025 年 4 月 24 日，载人飞船神舟二十号在酒泉卫星发射中心点火发射，在进入预定轨道后成功与空间站完成自主快速交会对接，然后绕地球做匀速圆周运动。已知空间站轨道高度低于地球同步卫星轨道，则下面说法正确的是 （　　）

A. 火箭在加速升空的过程中处于失重状态

B. 航天员在空间站所受地球的引力小于其在地面上受到的地球引力

C. 空间站绕地球做匀速圆周运动的角速度小于地球自转角速度

D. 空间站绕地球做匀速圆周运动的加速度小于地球同步卫星的加速度

答案 B

解析 A．火箭加速升空过程，加速度方向竖直向上，则处于超重状态，故 A 错误；

B．根据 $F=\frac{GMm}{R^2}$，宇航员与地球的质量不变，宇航员在空间站离地心更远，则受到的万有引力小于在地表受到万有引力，故 B 正确；

C．根据 $\frac{GMm}{R^2}=m\omega^2R$ 可得 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$，可知空间站绕地球做匀速圆周运动的角速度大于同步卫星的角速度，即大于地球自转角速度，故 C 错误；

D．根据 $\frac{GMm}{R^2}=ma$ 可得 $a=\frac{GM}{R^2}$，可知空间站绕地球做匀速圆周运动的加速度大于地球同步卫星的加速度，故 D 错误。

21. [2025 · 陕西卷]我国计划于 2028 年前后发射“天问三号”火星探测系统，实现火星取样返回。其轨道器将环绕火星做匀速圆周运动，轨道半径约 3750 km，轨道周期约 2 h，引力常量 G 取 $6.67\times10^{-11}\,\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$，根据以上数据可推算出火星的 （　　）

A. 质量　　B. 体积　　C. 逃逸速度　　D. 自转周期

答案 A

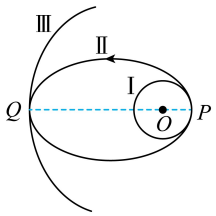
解析 轨道器绕火星做匀速圆周运动，有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=ma$

A．题中已知的物理量有轨道半径 r，轨道周期 T，引力常量 G，可推算出火星的质量，故 A 正确；

BC．若想推算火星的体积和逃逸速度，则还需要知道火星的半径 r，故 BC 错误；

D．根据上述分析可知，不能通过所提供物理量推算出火星的自转周期，故 D 错误。

22. [2025 · 江西卷]如图所示，Ⅰ和Ⅱ分别为神舟二十号飞船的近地圆轨道、椭圆变轨轨道，Ⅲ为天和核心舱运行圆轨道，P、Q为变轨点。不计阻力，飞船在轨道Ⅱ上从P点到Q点运动过程中，下列选项正确的是

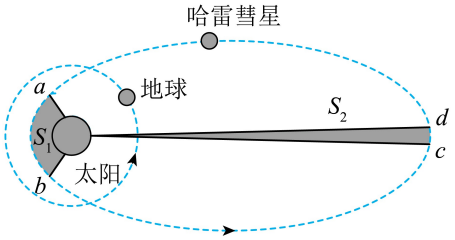


A. 速率增大，机械能增大　　B. 速率减小，机械能减小
C. 速率增大，机械能不变　　D. 速率减小，机械能不变

答案 D

解析 该过程中飞船一直远离地球，万有引力做负功，故动能减小，速率减小；又由于只受万有引力作用，故机械能不变。

23. [202501 浙江卷]地球和哈雷彗星绕太阳运行的轨迹如图所示，彗星从a运行到b、从c运行到d的过程中，与太阳连线扫过的面积分别为S_1和S_2，且$S_1>S_2$。彗星在近日点与太阳中心的距离约为地球公转轨道半径的0.6倍，则彗星



A. 在近日点的速度小于地球的速度
B. 从b运行到c的过程中动能先增大后减小
C. 从a运行到b的时间大于从c运行到d的时间
D. 在近日点加速度约为地球的加速度的0.36倍

答案 C

解析 必修二 第七章 第3节习题

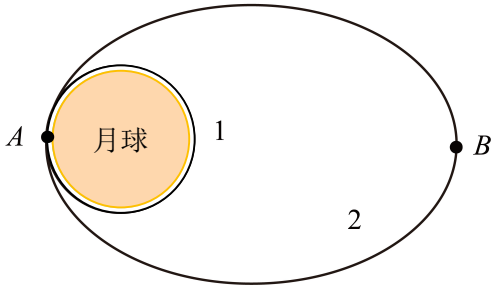
A．彗星通过近日点时做离心运动，故该点速度大于该点处圆周轨道速度，从而大于地球速度

B．从b运行到c的过程彗星一直远离太阳，万有引力一直做负功，故动能一直减小，B错误；

C．根据开普勒第二定律可知，哈雷彗星绕太阳经过相同的时间扫过的面积相同。根据$S_1>S_2$可知从a运行到b的时间大于从c运行到d的时间，C正确；

D．万有引力提供加速度，由$G\frac{Mm}{r^2}=ma$得$a=\frac{GM}{r^2}\propto\frac{1}{r^2}$，则$\frac{a_1}{a_2}=\frac{r_2^2}{r_1^2}=\frac{1}{0.36}$，D错误

24. [2025·北京卷]2024年6月，嫦娥六号探测器首次实现月球背面采样返回。如图所示，探测器在圆形轨道1上绕月球飞行，在A点变轨后进入椭圆轨道2、B为远月点。关于嫦娥六号探测器，下列说法正确的是（　　）



A. 在轨道2上从A向B运动过程中动能逐渐减小

B. 在轨道2上从A向B运动过程中加速度逐渐变大

C. 在轨道2上机械能与在轨道1上相等

D. 利用引力常量和轨道1的周期，可求出月球的质量

答案 A

解析 A．在轨道2上从A向B运动过程中，探测器远离月球，月球对探测器的引力做负功，根据动能定理，动能逐渐减小，A正确；

B．探测器受到万有引力，由$G\frac{Mm}{r^2}=ma$，得$a=G\frac{M}{r^2}$，在轨道2上从A向B运动过程中，r增大，加速度逐渐变小，B错误；

C．探测器在A点从轨道1变轨到轨道2，需要加速，机械能增加，所以探测器在轨道2上机械能大于在轨道1上的机械能，C错误；

D．探测器在轨道1上做圆周运动，由$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$得$M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$，利用引力常量$G$和轨道1的周期$T$，还需要知道轨道1的半径$r$，才能求出月球的质量，$D$错误。

25. [2025·贵州卷]一质量为m的人造卫星绕地球做轨道半径为R的匀速圆周运动。由于存在稀薄空气，经过一段时间后，卫星做圆周运动的轨道半径变为kR。已知地球的质量为M，引力常量为G，则在该段时间内人造卫星所受力的合力做的功为（　　）

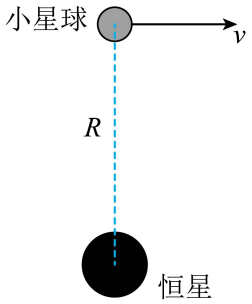
A. $\frac{GMm(k-1)}{2R}$　　B. $\frac{GMm(1-k)}{2kR}$　　C. $\frac{GMm(k-1)}{R}$　　D. $\frac{GMm(1-k)}{kR}$

答案 B

解析 由$G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}=\frac{2E_k}{r}$可知，轨道半径为$r$的卫星动能$E_k=\frac{GMm}{2r}$，

由动能定理得$W=\frac{GMm}{2kR}-\frac{GMm}{2R}=\frac{GMm}{2R}(\frac{1}{k}-1)$。

26. [2025·甘肃卷]如图，一小星球与某恒星中心距离为R时，小星球的速度大小为v、方向与两者中心连线垂直。恒星的质量为M，引力常量为G。下列说法正确的是　　(　　)



A. 若$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，小星球做匀速圆周运动

B. 若$\sqrt{\frac{GM}{R}}<v<\sqrt{\frac{2GM}{R}}$，小星球做抛物线运动

C. 若$v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$，小星球做椭圆运动

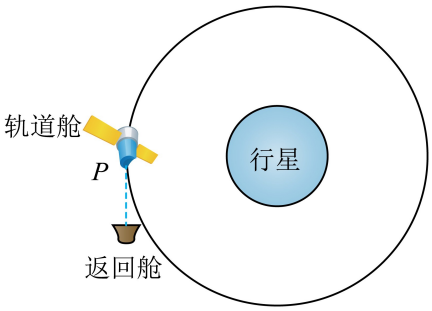
D. 若$v>\sqrt{\frac{2GM}{R}}$，小星球可能与恒星相撞

答案　A

解析　A．由$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$得$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，所以如果$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，那么小星球做匀速圆周运动，故$A$正确；

BCD．若将恒星等效为“半径为R的恒星”，则$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$即为第一宇宙速度，而$\sqrt{\frac{2GM}{R}}$即为第二宇宙速度。故当$\sqrt{\frac{GM}{R}}<v<\sqrt{\frac{2GM}{R}}$时小星球做椭圆运动；当$v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$时做抛物线运动；当$v>\sqrt{\frac{2GM}{R}}$时，小星球将脱离恒星引力束缚，做双曲线运动，不可能与恒星相撞，故BCD错误。

27. [2025·山东卷]轨道舱与返回舱的组合体，绕质量为M的行星做半径为r的圆周运动，轨道舱与返回舱的质量比为$5:1$。如图所示，轨道舱在P点沿运动方向向前弹射返回舱，分开瞬间返回舱相对行星的速度大小为$2\sqrt{\frac{GM}{r}}$，G为引力常量，此时轨道舱相对行星的速度大小为　　(　　)



A. $\frac{2}{5}\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　B. $\frac{3}{5}\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　C. $\frac{4}{5}\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　D. $\sqrt{\frac{GM}{r}}$

答案　C

解析　设返回舱的质量为m，则轨道舱的质量为$5m$，总质量为$6m$；

对组合体有$G\frac{M\cdot 6m}{r^2}=6m\frac{v^2}{r}$　　得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$

分离过程由动量守恒得$6mv=5mv_1+mv_2$　其中$v_2=2\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　得$v_1=\frac{4}{5}\sqrt{\frac{GM}{r}}$

28. [2025·安徽卷]（多选）2025 年 4 月，我国已成功构建国际首个基于 DRO（远距离逆行轨道）的地月空间三星星座，DRO 具有“低能进入、稳定停泊、机动转移”的特点。若卫星甲从 DRO 变轨进入环月椭圆轨道，该轨道的近月点和远月点距月球表面的高度分别为 a 和 b，卫星的运行周期为 T；卫星乙从 DRO 变轨进入半径为 r 的环月圆形轨道，周期也为 T。月球的质量为 M，半径为 R，引力常量为 G。假设只考虑月球对甲、乙的引力，则 （　　）

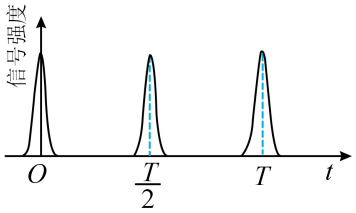
A. $r=\dfrac{a+b+R}{2}$　　B. $r=\dfrac{a+b}{2}+R$　　C. $M=\dfrac{4\pi^2r^3}{GT^2}$　　D. $M=\dfrac{4\pi^2R^3}{GT^2}$

答案 BC

解析 AB．由开普勒第三定律有 $\dfrac{\left(\dfrac{a+b+2R}{2}\right)^3}{T^2}=\dfrac{r^3}{T^2}$　得 $r=\dfrac{a+b}{2}+R$，故 B 正确；

CD．对于环月圆轨道，有 $\dfrac{GMm}{r^2}=m\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2r$　得 $M=\dfrac{4\pi^2r^3}{GT^2}$，故 C 正确

29. [2025 · 四川卷]某人造地球卫星运行轨道与赤道共面，绕行方向与地球自转方向相同。该卫星持续发射信号，位于赤道的某观测站接收到的信号强度随时间变化的规律如图所示，T 为地球自转周期。已知该卫星的运动可视为匀速圆周运动，地球质量为 M，万有引力常量为 G。则该卫星轨道半径为 （　　）



A. $\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{36\pi^2}}$　　B. $\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{16\pi^2}}$　　C. $\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{4\pi^2}}$　　D. $\sqrt[3]{\dfrac{9GMT^2}{4\pi^2}}$

答案 A

解析 行星冲日模型

设卫星转动的周期为 T'，由题意得 $\dfrac{2\pi}{T'}\cdot\dfrac{T}{2}-\dfrac{2\pi}{T}\cdot\dfrac{T}{2}=2\pi$ 得 $T'=\dfrac{T}{3}$

由 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T'^2}r$ 得 $r=\sqrt[3]{\dfrac{GMT'^2}{4\pi^2}}=\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{36\pi^2}}$

30. [2025 · 云南卷]国际编号为 192391 的小行星绕太阳公转的周期约为 5.8 年，该小行星与太阳系内八大行星几乎在同一平面内做圆周运动。规定地球绕太阳公转的轨道半径为 1 AU，八大行星绕太阳的公转轨道半径如下表所示。忽略其它行星对该小行星的引力作用，则该小行星的公转轨道应介于 （　　）

行星	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径 R/AU	0.39	0.72	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

A. 金星与地球的公转轨道之间　　B. 地球与火星的公转轨道之间

C. 火星与木星的公转轨道之间　　D. 天王星与海王星的公转轨道之间

答案 C

解析 根据开普勒第三定律可知 $\frac{r_{行}^3}{T_{行}^2}=\frac{r_{地}^3}{T_{地}^2}$，其中 $r_{地}=1\ \text{AU}$，$T_{地}=1$ 年，$T_{行}=5.8$ 年

代入得 $r_{行}=\sqrt[3]{5.8^2}\approx 3\ \text{AU}$，故该小行星的公转轨道应介于火星与木星的公转轨道之间。

31. [2025 · 广东卷]一颗绕太阳运行的小行星，其轨道近日点和远日点到太阳的距离分别约为地球到太阳距离的 5 倍和 7 倍。关于该小行星，下列说法正确的是 （　　）

A. 公转周期约为 6 年

B. 从远日点到近日点所受太阳引力大小逐渐减小

C. 从远日点到近日点线速度大小逐渐减小

D. 在近日点加速度大小约为地球公转加速度的 $\frac{1}{25}$

答案 D

解析 A．设地球与太阳间距离为 R，则小行星公转轨道的半长轴为 $a=\frac{5R+7R}{2}=6R$

由开普勒第三定律 $\frac{(6R)^3}{T^2}=\frac{R^3}{T_{地}^2}$ 得 $T=\sqrt{6^3}\,T_{地}\approx 14.7$ 年，故 A 错误；

B．从远日点到近日点，小行星与太阳间距离减小，由万有引力定律 $F=\frac{Gm_1m_2}{r^2}$ 可知，小行星受太阳引力增大，故 B 错误；

C．从远日点到近日点，引力做正功，故小行星线速度逐渐增大，故 C 错误。

D．由 $\frac{GMm}{r^2}=ma$ 得 $a=\frac{GM}{r^2}$，可知 $\frac{a_{行}}{a_{地}}=\frac{R^2}{(5R)^2}=\frac{1}{25}$，故 D 正确。

32. [2025·河南卷]2024 年天文学家报道了他们新发现的一颗类地行星 Gliese12b，它绕其母恒星的运动可视为匀速圆周运动。已知 Gliese12b 轨道半径约为日地距离的 $\frac{1}{14}$，其母恒星质量约为太阳质量的 $\frac{2}{7}$，则 Gliese12b 绕其母恒星的运动周期约为 （　　）

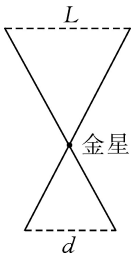
A. 13 天　　B. 27 天　　C. 64 天　　D. 128 天

答案 A

解析 由 $\frac{GMm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$ 得 $T^2=\frac{4\pi^2R^3}{GM}\propto\frac{R^3}{M}$

故 $\frac{T^2}{T_{地}^2}=\frac{(\frac{1}{14})^3}{\frac{2}{7}}=\frac{1}{28^2}$ 得 $T=\frac{1}{28}T_{地}=\frac{365}{28}\approx 13$ 天

33. [2025 · 重庆卷]“金星凌日”时，从地球上看，金星就像镶嵌在太阳表面的小黑点。在地球上间距为 d 的两点同时观测，测得金星在太阳表面的小黑点相距为 L，如图所示。地球和金星绕太阳的运动均视为匀速圆周运动，太阳直径远小于金星的轨道半径，则地球和金星绕太阳运动的　（　）



A. 轨道半径之比为 $\frac{L}{d}$　　B. 周期之比为 $\sqrt[3]{\left(\frac{L+d}{L}\right)^2}$

C. 线速度大小之比为 $\sqrt{\frac{L+d}{L}}$　　D. 向心加速度大小之比为 $\left(\frac{L}{L+d}\right)^2$

答案 D

解析 A．由于太阳直径远小于金星的轨道半径，则金星到 L 的距离即为金星轨道半径 $r_{金}$，L 和 d 平行线之间的距离即为地球轨道半径 $r_{地}$，由三角形相似可知 $\frac{r_{地}}{r_{金}}=\frac{d+L}{L}$，故 A 错误；

BCD．根据 $\frac{GMm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r=m\frac{v^2}{r}=ma$，得 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$，$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$a=\frac{GM}{r^2}$，故周期之比为 $\frac{T_{地}}{T_{金}}=\sqrt{\left(\frac{d+L}{L}\right)^3}$，线速度大小之比为 $\frac{v_{地}}{v_{金}}=\sqrt{\frac{L}{d+L}}$，向心加速度大小之比为 $\frac{a_{地}}{a_{金}}=\left(\frac{L}{d+L}\right)^2$，故 BC 错误，D 正确。

34. [2025 · 湖南卷]我国研制的“天问二号”探测器，任务是对伴地小行星及彗星交会等进行多目标探测。某同学提出探究方案，通过释放卫星绕小行星进行圆周运动，可测得小行星半径 R 和质量 M。为探测某自转周期为 T_0 的小行星，卫星先在其同步轨道上运行，测得距离小行星表面高度为 h，接下来变轨到小行星表面附近绕其做匀速圆周运动，测得周期为 T_1。已知引力常量为 G，不考虑其他天体对卫星的引力，可根据以上物理得到 $R=\frac{a^{2/3}}{b^{2/3}-a^{2/3}}h$，$M=\frac{4\pi^2R^3}{Gc^2}$。下列选项正确的是　（　）

A. a 为 T_1，b 为 T_0，c 为 T_1　　B. a 为 T_1，b 为 T_0，c 为 T_0

C. a 为 T_0，b 为 T_1，c 为 T_1　　D. a 为 T_0，b 为 T_1，c 为 T_0

答案 A

解析 由开普勒第三定律有 $\frac{(R+h)^3}{T_0^2}=\frac{R^3}{T_1^2}$　得 $R=\frac{T_1^{\frac{2}{3}}}{T_0^{\frac{2}{3}}-T_1^{\frac{2}{3}}}h$

卫星绕小行星表面时有 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T_1^2}R$　得 $M=\frac{4\pi^2R^3}{GT_1^2}$

对应结果可得 a 为 T_1，b 为 T_0，c 为 T_1。

35. [2025 · 河北卷]随着我国航天事业飞速发展，人们畅想研制一种核聚变能源星际飞行器。从某星球表面发射的星际飞行器在飞行过程中只考虑该星球引力，不考虑自转，该星球可视为质量分布均匀的球体，半径为 R_0，表面重力加速度为 g_0。质量为 m 的飞行器与星球中心距离为 r 时，引力势能为 $mg_0R_0^2\left(\frac{1}{R_0}-\frac{1}{r}\right)(r\geqslant R_0)$。要使飞行器在距星球表面高度为 R_0 的轨道上做匀速圆周运动，则发射初速度为 （　　）

A. $\sqrt{g_0R_0}$　　B. $\sqrt{\frac{3g_0R_0}{2}}$　　C. $\sqrt{2g_0R_0}$　　D. $\sqrt{3g_0R_0}$

答案 B

解析 飞行器在轨道半径 $r=2R_0$ 处有 $\frac{GMm}{(2R_0)^2}=m\frac{v^2}{(2R_0)}$　　得 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{4R_0}$

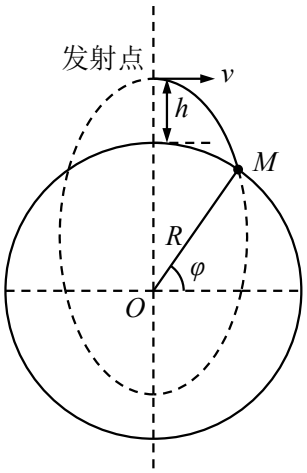
该处引力势能 $E_p=mg_0R_0^2\left(\frac{1}{R_0}-\frac{1}{2R_0}\right)=\frac{mg_0R_0}{2}$；

在星球表面有 $\frac{GMm}{R_0^2}=mg_0$，该处引力势能为0；

由能量守恒得 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{GMm}{4R_0}+\frac{mg_0R_0}{2}$　　代入得 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{mg_0R_0}{4}+\frac{mg_0R_0}{2}=\frac{3}{4}mg_0R_0$

得 $v_0=\sqrt{\frac{3g_0R_0}{2}}$

36. [202506 浙江卷]（多选）月球有类似于地球的南北两极和纬度。如图所示，月球半径为 R，表面重力加速度为 $g_{月}$，不考虑月球自转。从月球北极正上方水平发射一物体，要求落在纬度 $\varphi=60°$ 的 M 处，其运动轨迹为椭圆的一部分。假设月球质量集中在球心 O 点，如果物体沿椭圆运动的周期最短，则



A. 发射点离月面的高度 $h=\frac{\sqrt{3}}{4}R$

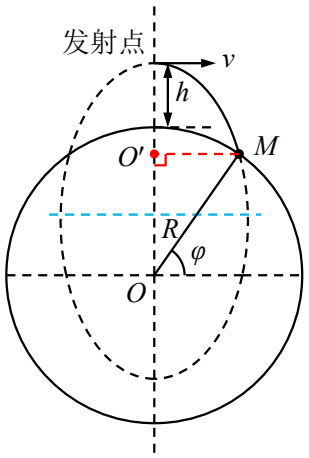
B. 物体沿椭圆运动的周期为 $\frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{3R}{g_{月}}}$

C. 此椭圆两焦点之间的距离为 $\frac{\sqrt{3}}{2}R$

D. 若水平发射的速度为 v，发射高度为 h，则物体落到 M 处的速度 $v_M=\sqrt{v^2+2g_{月}h}$

答案 BC

解析 由开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2}=k$ 可知，若物体沿椭圆运动的周期最短，则 a 最小。此椭圆的一个焦点即为球心 O 点，设另一个焦点为 O'，则有 $2a=O'M+OM=O'M+R$，当 $O'M$ 与轴线垂直时 a 最小，由几何关系得 $2a=R\cos\varphi+R$，故 $a=\frac{3}{4}R$；



C．此椭圆焦距 $2c=OO'=R\sin\varphi=\frac{\sqrt{3}}{2}R$，$C$ 正确；

A．由几何关系得 $h=a+c-R=\frac{\sqrt{3}-1}{4}R$，$A$ 错误；

B．设物体绕月球表面做匀速圆周运动时的周期为 T_0，则由重力提供向心力得

$mg_{月}=m(\frac{2\pi}{T_0})^2R$　　又 $\frac{a^3}{T^2}=\frac{R^3}{T_0^2}$　　得 $T=\sqrt{(\frac{3}{4})^3T_0^2}=\frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{3R}{g_{月}}}$，$B$ 正确；

D．速度表达式 $v_M=\sqrt{v^2+2g_{月}h}$ 来自于 $mg_{月}h=\frac{1}{2}mv_M^2-\frac{1}{2}mv^2$，由于重力加速度随高度变化，故该推导不合理，$D$ 错误。

由引力势能 $E_p=-\frac{GMm}{r}$ 及机械能守恒得

$\frac{1}{2}mv^2-\frac{GMm}{R+h}=\frac{1}{2}mv_M^2-\frac{GMm}{R}$　其中 $GM=R^2g_{月}$　　得 $v_M=\sqrt{v^2+\frac{2g_{月}hR}{R+h}}$

37. [2025 · 云南卷]如图所示，中老铁路国际旅客列车从云南某车站由静止出发，沿水平直轨道逐渐加速到 144 km/h，在此过程中列车对座椅上的一高中生所做的功最接近 （　　）

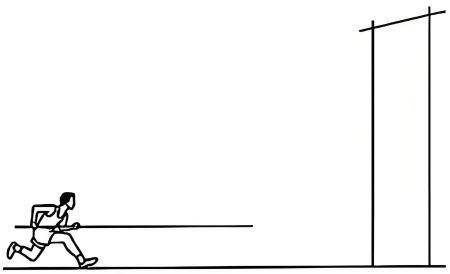


A. 4×10^5 J　　B. 4×10^4 J　　C. 4×10^3 J　　D. 4×10^2 J

答案 *B*

解析 高中生的质量约为 50kg，$v=\frac{144}{3.6}=40$ m/s，根据动能定理得 $W=\frac{1}{2}mv^2=4.0\times10^4$ J

38. [2025 · 理综卷(新疆西藏)]如图，撑杆跳高运动中，运动员经过助跑、撑杆起跳，最终越过横杆。若运动员起跳前助跑速度为 10 m/s，则理论上运动员助跑获得的动能可使其重心提升的最大高度为(重力加速度取 10m/s²)　（　　）



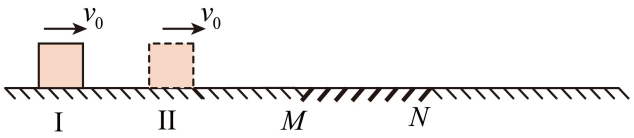
A. 4 m　　B. 5 m

C. 6 m　　D. 7 m

答案 *B*

解析 在理论上：当运动员在最高点速度为零时，重心提升高度最大，由 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$　　得 $h=5$ m

39. [2025 · 云南卷]如图所示，质量为 m 的滑块(视为质点)与水平面上 MN 段的动摩擦因数为 μ_1，与其余部分的动摩擦因数为 μ_2，且 $\mu_1>\mu_2$。第一次，滑块从 I 位置以速度 v_0 向右滑动，通过 MN 段后停在水平面上的某一位置，整个运动过程中，滑块的位移大小为 x_1，所用时间为 t_1；第二次，滑块从 II 位置以相同速度 v_0 向右滑动，通过 MN 段后停在水平面上的另一位置，整个运动过程中，滑块的位移大小为 x_2，所用时间为 t_2。忽略空气阻力，则　（　　）



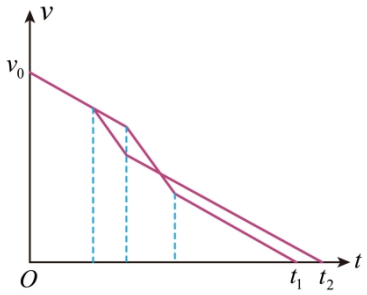
A. $t_1<t_2$　　B. $t_1>t_2$　　C. $x_1>x_2$　　D. $x_1<x_2$

答案 *A*

解析 *CD*．对两种运动的整个过程根据能量守恒有

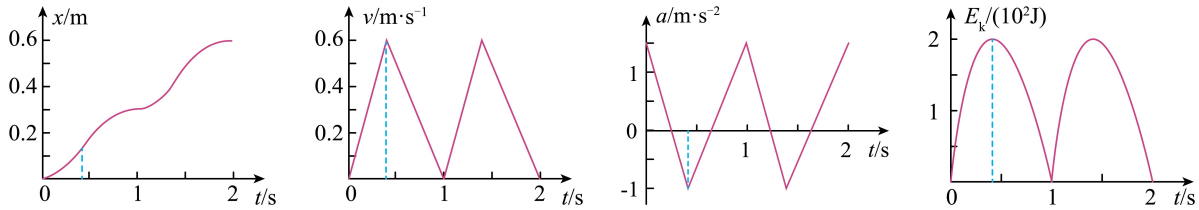
$\frac{1}{2}mv_0^2=\mu_1mgx_{MN}+\mu_2mg(x_1-x_{MN})$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\mu_1mgx_{MN}+\mu_2mg(x_2-x_{MN})$　　得 $x_1=x_2$，故 *CD* 错误；

AB．由于 $\mu_1>\mu_2$，故滑块在 MN 上时的加速度大，根据前面分析可知两次运动的总位移相等，即两次运动过程中 $v-t$ 图像与横轴围成的面积相等，由于第二次时滑块距离 M 点的距离较近，根据公式 $v_0^2-v^2=2\mu_2gx$ 可知第二次到达 M 点时速度较大，作出整个过程中两种运动状态的 $v-t$ 图像



可得 $t_2>t_1$，故 A 正确，B 错误；

40. [2025·江西卷]（多选）每逢端午节，江西各地常会举办热闹非凡的赛龙舟活动。利用与某龙舟同方向匀速直线飞行的无人机跟踪拍摄，发现在某段时间内该龙舟做匀加速和匀减速交替的周期性直线运动。若以无人机为参考系，该龙舟在 0.4 s 时间内速度由 0 增加到 0.6 m/s（划桨阶段），再经历 0.6 s 时间速度减为 0（未划桨阶段），则关于这段时间内该龙舟的位置 x、速度 v、加速度 a、动能 E_k 与时间 t 的关系，下列图像可能正确的是 （　　）



答案 AB

解析 BC．龙舟在 0~0.4 s 内加速度不变，速度由 0 增加到 0.6m/s，0.4~1 s 内加速度不变，速度减为 0，即龙舟相对无人机做匀加速和匀减速交替的直线运动，故 B 正确，C 错误；

A．位移时间图像斜率代表速度，所以斜率先增大后减小，再增大再减小，故 A 正确；

D．龙舟相对无人机的动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(at)^2$，0~0.4 s 内应为开口向上的抛物线，故 D 错误。故选 AB。

41. [2025·海南卷]（多选）一起重机将质量为 m 的集装箱由静止匀加速竖直向上提升，加速度为 a，重力加速度为 g，不计空气阻力，匀加速时间为 t，则 （　　）

A．匀加速的最大速度为 at　　B．集装箱的机械能增加 $\frac{1}{2}mgat^2$

C．起重机的最大输出功率为 $m(g+a)at$　　D．起重机对集装箱的作用力为 ma

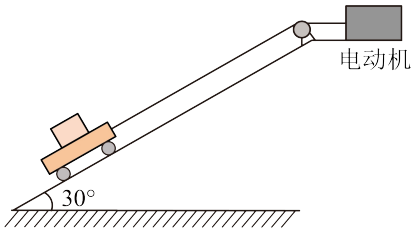
答案 AC

解析 A．匀加速的最大速度 $v_m=at$，A 正确；

B．集装箱的动能增加量为 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_m^2=\frac{1}{2}ma^2t^2$，集装箱重力势能的增加量为 $\Delta E_p=mgh=\frac{1}{2}mgat^2$，故集装箱的机械能增加 $\Delta E=\Delta E_k+\Delta E_p=\frac{1}{2}m(g+a)at^2$，$B$ 错误；

CD．对集装箱，有 $F-mg=ma$，得起重机对集装箱的作用力 $F=m(g+a)$，起重机的最大输出功率为 $P=Fv_m=m(g+a)at$，C 正确，D 错误。

42. [2025 · 四川卷]如图所示，倾角为30°的光滑斜面固定在水平地面上，安装在其顶端的电动机通过不可伸长轻绳与小车相连，小车上静置一物块。小车与物块质量均为m，两者之间动摩擦因数为$\frac{\sqrt{3}}{2}$。电动机以恒定功率P拉动小车由静止开始沿斜面向上运动。经过一段时间，小车与物块的速度刚好相同，大小为v_0。运动过程中轻绳与斜面始终平行，小车和斜面均足够长，重力加速度大小为g，忽略其他摩擦。则这段时间内 （　　）



A. 物块的位移大小为$\frac{2v_0^2}{3g}$　　B. 物块机械能增量为$\frac{5mv_0^2}{2}$

C. 小车的位移大小为$\frac{16Pv_0}{5mg^2}-\frac{2v_0^2}{5g}$　　D. 小车机械能增量为$\frac{8Pv_0}{5g}+\frac{mv_0^2}{2}$

答案 C

解析 由$P=Fv$可知初始时拉力很大，小车加速度很大，小车相对物块向上运动。共速前，小车做加速度减小的加速运动，物块做匀加速直线运动。

A．对物块，有$\mu mg\cos 30^\circ-mg\sin 30^\circ=ma$　得$a=\frac{1}{4}g$，　由$v_0^2=2ax_1$得物块的位移$x_1=\frac{2v_0^2}{g}$，故A错误；

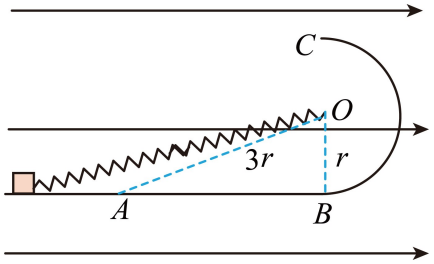
B．物块机械能增量为$\Delta E_1=\frac{1}{2}mv_0^2+mgx_1\sin 30^\circ=\frac{3}{2}mv_0^2$，故$B$错误；

C．对小车，由动能定理得$Pt-(\mu mg\cos 30^\circ+mg\sin 30^\circ)x_2=\frac{1}{2}mv_0^2$　其中$t=\frac{v_0}{a}=\frac{4v_0}{g}$

得$x_2=\frac{16Pv_0}{5mg^2}-\frac{2v_0^2}{5g}$，故$C$正确；

D．小车机械能增量为$\Delta E_2=\frac{1}{2}mv_0^2+mgx_2\sin 30^\circ=\frac{8Pv_0}{5g}+\frac{3mv_0^2}{10}$，故$D$错误。

43. [2025 · 黑吉辽内卷]如图，光滑绝缘水平面AB与竖直面内光滑绝缘半圆形轨道BC在B点相切，轨道半径为r，圆心为O，O、A间距离为$3r$。原长为$2r$的轻质绝缘弹簧一端固定于O点，另一端连接一带正电的物块。空间存在水平向右的匀强电场，物块所受的电场力与重力大小相等。物块在A点左侧释放后，依次经过A、B、C三点时的动能分别为E_{kA}、E_{kB}、E_{kC}，则



A. $E_{kA}<E_{kB}<E_{kC}$　　B. $E_{kB}<E_{kA}<E_{kC}$　　C. $E_{kA}<E_{kC}<E_{kB}$　　D. $E_{kC}<E_{kA}<E_{kB}$

答案 C

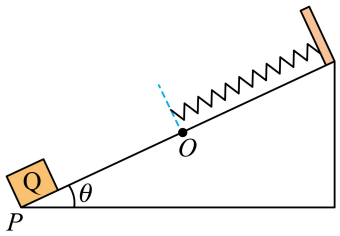
解析 物块在 A、B、C 三点时弹簧形变量都为 r，故弹性势能相同。

$A\to B$ 过程弹簧不做功，由动能定理得 $qE\cdot 2\sqrt{2}r=E_{kB}-E_{kA}$　　其中 $qE=mg$

$B\to C$ 过程弹簧不做功，由动能定理得 $-mg\cdot 2r=E_{kC}-E_{kB}$

两式相加得 $E_{kC}-E_{kA}=(2\sqrt{2}-2)mgr>0$，故 $E_{kA}<E_{kC}<E_{kB}$

44. [2025·云南卷]（多选）如图所示，倾角为 θ 的固定斜面，其顶端固定一劲度系数为 k 的轻质弹簧，弹簧处于原长时下端位于 O 点。质量为 m 的滑块 Q（视为质点）与斜面间的动摩擦因数 $\mu=\tan\theta$。过程Ⅰ：Q 以速度 v_0 从斜面底端 P 点沿斜面向上运动恰好能滑至 O 点；过程Ⅱ：将 Q 连接在弹簧的下端并拉至 P 点由静止释放，Q 通过 M 点（图中未画出）时速度最大，过 O 点后能继续上滑。弹簧始终在弹性限度内，假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，忽略空气阻力，重力加速度为 g。则　　（　　）



A. P、M 两点之间的距离为 $\dfrac{kv_0^2-4mg^2\sin^2\theta}{4kg\sin\theta}$

B. 过程Ⅱ中，Q 在从 P 点单向运动到 O 点的过程中损失的机械能为 $\dfrac{1}{4}mv_0^2$

C. 过程Ⅱ中，Q 从 P 点沿斜面向上运动的最大位移为 $\dfrac{kv_0^2-8mg^2\sin^2\theta}{2kg\sin\theta}$

D. 连接在弹簧下端的 Q 无论从斜面上何处释放，最终一定静止在 OM（含 O、M 点）之间

答案 CD

解析 A．设 PO 距离为 L，对过程Ⅰ由动能定理 $-mg\sin\theta\cdot L-\mu mg\cos\theta\cdot L=0-\dfrac{1}{2}mv_0^2$　得 $L=\dfrac{v_0^2}{4g\sin\theta}$

设 MO 的距离为 L_1，M 点时速度最大，合力为 0，故 $kL_1=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$　得 $L_1=\dfrac{2mg\sin\theta}{k}$

故 P、M 两点之间的距离 $L_2=L-L_1=\dfrac{v_0^2}{4g\sin\theta}-\dfrac{2mg\sin\theta}{k}=\dfrac{kv_0^2-8mg^2\sin^2\theta}{4kg\sin\theta}$，故 A 错误；

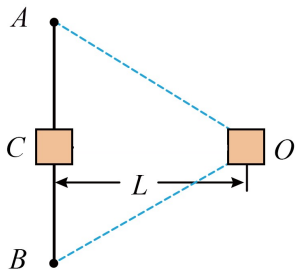
B．Q 在 $P\to O$ 过程中，摩擦力做负功，弹簧弹力做正功，故 Q 损失的机械能 $\Delta E=\mu mg\cos\theta\cdot L-\dfrac{1}{2}kL^2=\dfrac{1}{4}mv_0^2-\dfrac{1}{2}kL^2$，故 B 错误；

C．设最大位移 x，由能量守恒得 $\dfrac{1}{2}kL^2=mgx\sin\theta+\mu mg\cos\theta\cdot x+\dfrac{1}{2}k(x-L)^2$ 得 $x=\dfrac{kv_0^2-8mg^2\sin^2\theta}{2kg\sin\theta}$，故 C 正确；

D．Q 在 M 点和 O 点时合力为 0；当 Q 在 M 点下方时加速度沿斜面向上，无法静止；当 Q 在 O 点上方时加速度沿斜面向下，也无法静止。故 Q 最终一定静止在 OM（含 O、M 点）之间，故 D 正确。

故选 CD。

45. [202506 浙江卷]如图所示，两根相同的橡皮绳，一端连接质量为 m 的物块，另一端固定在水平桌面上的 A、B 两点。物块处于 AB 连线的中点 C 时，橡皮绳为原长。现将物块沿 AB 中垂线水平拉至桌面上的 O 点静止释放，已知 CO 距离为 L，物块与桌面间的动摩擦因数为 μ，橡皮绳始终处于弹性限度内，不计空气阻力，则释放后



A. 物块做简谐运动

B. 物块只受到重力、橡皮绳弹力和摩擦力的作用

C. 若 $\angle AOB=90°$ 时每根橡皮绳的弹力为 F，则物块所受合力大小为 $\sqrt{2}F$

D. 若物块第一次到达 C 点的速度为 v_0，此过程中橡皮绳对物块做的功 $W=\frac{1}{2}mv_0^2+\mu mgL$

答案 D

解析 A．由于有摩擦力，物块将做阻尼运动，故不做简谐运动。【补充】①设橡皮绳原长为 l，设当 $CO=x$ 时 $\angle AOC=\alpha$，此时橡皮绳形变量 $\Delta l=\frac{x}{\cos\alpha}-l$，物块所受合力 $F_{合}=2k\Delta l\cos\alpha-\mu mg=2k(\frac{x}{\cos\alpha}-l)\cos\alpha-\mu mg=2k(x-l\cos\alpha)-\mu mg$，可知 $F_{合}$ 与 x 成非线性关系，即物块不做简谐运动。②若没有摩擦力，物块也不做简谐运动。

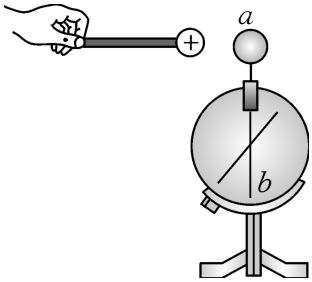
B．物块还受到桌面对其的支持力；

C．此时物块所受合力 $F_{合}=2F\cos45°-\mu mg=\sqrt{2}F-\mu mg$；

D．由动能定理 $W-\mu mgL=\frac{1}{2}mv_0^2-0$　　得 $W=\frac{1}{2}mv_0^2+\mu mgL$。

三、必修三

1. [2025 · 海南卷]如图所示，带正电的金属球靠近不带电的验电器金属小球 a，则关于验电器金属小球 a 和金属箔 b，下列说法正确的是 （　　）



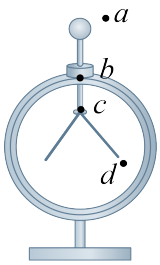
A. a 和 b 都带正电　　B. a 和 b 都带负电

C. a 带负电，b 带正电　　D. a 带正电，b 带负电

答案 C

解析 由图可知，验电器本来不带电，由于同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引，正金属球靠近不带电验电器金属小球 a，使得金属球 a 带负电荷，从而导致金属箔 b 带上正电荷。

2. [2025 · 广西卷]用带电玻璃棒接触验电器的金属球，移走玻璃棒，验电器内的两片金属箔张开，稳定后如图。图中 a、b、c、d 四点电场强度最强的是 （　　）

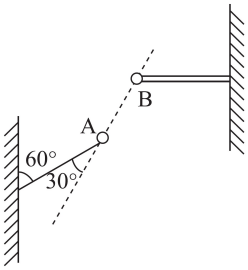


A. a 点　　B. b 点　　C. c 点　　D. d 点

答案 D

解析 b、c 两点分别在金属外壳内部和金属杆的内部，则两点的场强均为零；在金属箔上的最下端（尖端）电荷分布比金属球上更密集，且 d 点距离金箔的下端较近，可知 d 点的场强比 a 点大，则电场强度最大的点在 d 点。

3. [2025 · 湖南卷]如图，两带电小球的质量均为 m，小球 A 用一端固定在墙上的绝缘轻绳连接，小球 B 用固定的绝缘轻杆连接。A 球静止时，轻绳与竖直方向的夹角为 60°，两球连线与轻绳的夹角为 30°，整个系统在同一竖直平面内，重力加速度大小为 g。下列说法正确的是 （　　）



A. A 球静止时，轻绳上拉力为 $2mg$

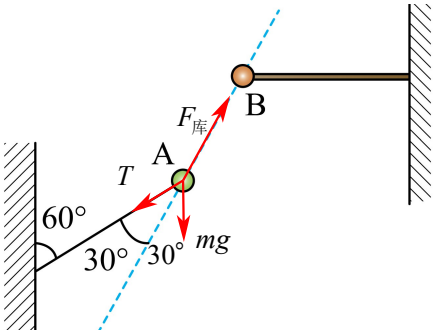
B. A 球静止时，A 球与 B 球间的库仑力为 $2mg$

C. 若将轻绳剪断，则剪断瞬间 A 球加速度大小为 g

D. 若将轻绳剪断，则剪断瞬间轻杆对 B 球的作用力变小

答案 C

解析 AB．根据题意 A 球静止时，对 A 球受力分析，如图所示

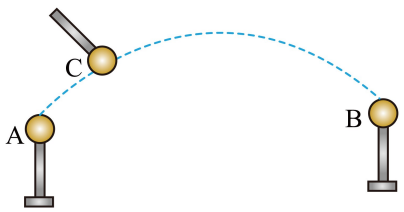


由几何关系得 $F_{库}$ 方向在 T 和 mg 的角平分线上，故 $T=mg$，$F_{库}=2mg\cos30°=\sqrt{3}mg$，故 AB 错误；

C．若将轻绳剪断，则剪断瞬间 A 球受到轻绳的拉力消失，其它两力保持不变，根据三力平衡知识，此时 A 球的合外力大小为 mg，则加速度大小为 g，故 C 正确；

D．若将轻绳剪断，则剪断瞬间 B 球受到的库仑力、重力不变，小球仍然处在静止状态，则轻杆对 B 球的作用力不变，故 D 错误。

4. [2025 · 河北卷]（多选）如图，真空中固定在绝缘台上的两个相同的金属小球 A 和 B，带有等量同种电荷，电荷量为 q，两者间距远大于小球直径，两者之间的静电力大小为 F。用一个电荷量为 Q 的同样的金属小球 C 先跟 A 接触，再跟 B 接触，移走 C 后，A 和 B 之间的静电力大小仍为 F，则 $Q:q$ 的绝对值可能是 （　　）



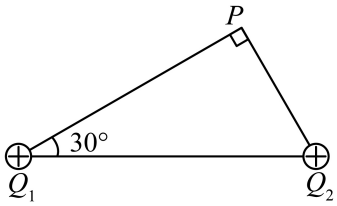
A. 1　　B. 2　　C. 3　　D. 5

答案 AD

解析 C 先跟 A 接触后，两者电荷量均变为 $q_1=\frac{Q+q}{2}$，C 再跟 B 接触后，两则电荷量均变为 $q_2=\frac{q+q_1}{2}=\frac{Q+3q}{4}$，此时 AB 之间静电力大小仍为 $F=\frac{kq^2}{L^2}$，则有 $F=\frac{kq^2}{L^2}=\frac{kq_1q_2}{L^2}$

得 $\frac{Q}{q}=1$ 或 $\frac{Q}{q}=-5$，则 $Q:q$ 的绝对值可能是 1 或者 5。故选 AD。

5. [2025 · 福建卷]两个正点电荷 Q_1 与 Q_2 静立于竖直平面内，于 P 点放置一检验电荷，其恰好处于静止状态，PQ_1 与 Q_1Q_2 之间的夹角为 30°，$PQ_1\perp PQ_2$，则 Q_1 与 Q_2 电荷量之比为_____。在 PQ_1 连线上_____(选填“存在”或“不存在”)其他点能让同一检验电荷维持平衡状态。

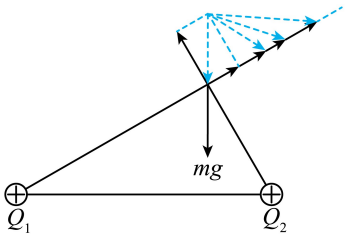


答案 $\sqrt{3}:1$、不存在

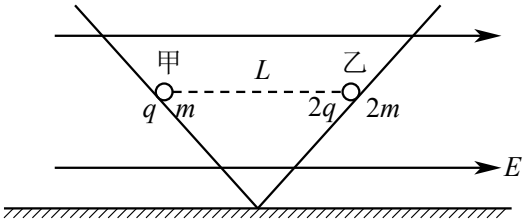
解析 [1] 根据几何关系设 $PQ_2=r$，$PQ_1=\sqrt{3}r$，

对检验电荷受力分析得 $\frac{F_{PQ_1}}{F_{PQ_2}}=\tan30°$，其中 $F_{PQ_1}=\frac{kqQ_1}{(\sqrt{3}r)^2}$，$F_{PQ_2}=\frac{kqQ_2}{r^2}$　　得 $Q_1:Q_2=\sqrt{3}:1$

[2] 如图，根据平衡条件可知检验电荷受到的重力和两点电荷对其的库仑力组成一个闭合的矢量三角形，若在 PQ_1 连线上存在其它点能让同一检验电荷维持平衡状态，此时点电荷 Q_1 对检验电荷的库仑力 F_{PQ_1} 变大，根据三角形法则可知此时点电荷 Q_2 对检验电荷的库仑力必然增大；由于此时检验电荷与点电荷 Q_2 间的距离在增大，库仑力在减小，故矛盾，假设不成立，故在 PQ_1 连线上不存在其它点能让同一检验电荷维持平衡状态。



6. [2025 · 安徽卷](多选)如图,两个倾角相等、底端相连的光滑绝缘轨道被固定在竖直平面内,空间存在平行于该竖直平面水平向右的匀强电场。带正电的甲、乙小球(均可视为质点)在轨道上同一高度保持静止,间距为L,甲、乙所带电荷量分别为q、$2q$,质量分别为m、$2m$,静电力常量为k,重力加速度大小为g。甲、乙所受静电力的合力大小分别为F_1、F_2,匀强电场的电场强度大小为E,不计空气阻力,则 (　　)



A. $F_1=\frac{1}{2}F_2$

B. $E=\frac{kq}{2L^2}$

C. 若将甲、乙互换位置,二者仍能保持静止

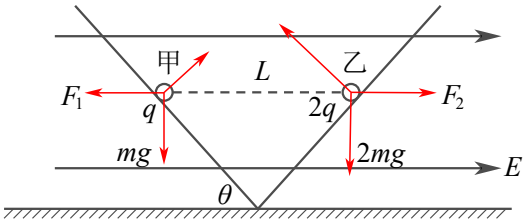
D. 若撤去甲,乙下滑至底端时的速度大小$v=\sqrt{\frac{kq^2}{mL}}$

答案 ABD

解析 AB. 设轨道倾角为θ,两球的受力分析如图。

对甲有$F_1=mg\tan\theta=\frac{2kq^2}{L^2}-qE$;对乙有$F_2=2mg\tan\theta=\frac{2kq^2}{L^2}+2qE$

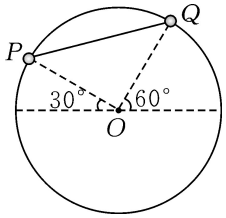
故$F_1=\frac{1}{2}F_2$,$E=\frac{kq}{2L^2}$



D. 若撤去甲,对乙球由动能定理$2mg\cdot\frac{L}{2}\tan\theta-2qE\cdot\frac{L}{2}=\frac{1}{2}(2m)v^2$　得$v=\sqrt{\frac{kq^2}{mL}}$

C. 若互换位置,甲所受静电力合力$F_1'=\frac{2kq^2}{L^2}+qE\neq mg\tan\theta$,即甲合力不为零,无法静止;

7. [2025·海南卷]如图所示，光滑圆弧竖直固定，用轻绳连接两个小球 P、Q，两小球套在圆环上且均处于平衡状态，两小球与圆弧的圆心连线夹角分别为 $30°$ 和 $60°$，则两球质量之比 $m_P:m_Q$ 为



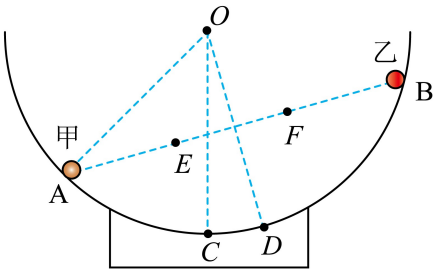
A. $1:2$　　B. $1:\sqrt{3}$　　C. $\sqrt{3}:1$　　D. $2:1$

答案 B

解析 对 P 受力分析，受重力 m_Pg、圆弧轨道的支持力 N 和轻绳的拉力 T，将重力和绳子拉力沿着垂直半径方向分解，有 $m_Pg\cos30°=T\sin45°$，同理可得 $m_Qg\cos60°=T\sin45°$，故 $\frac{m_P}{m_Q}=\frac{\cos60°}{\cos30°}=\frac{1}{\sqrt{3}}$；

【方法二：以小球 P 和 Q 为系统，以 O 为轴，根据力矩平衡有 $m_PgR\cos30°=m_QgR\cos60°$ 可得 $\frac{m_P}{m_Q}=\frac{1}{\sqrt{3}}$】

8. [2025·山东卷](多选)球心为 O、半径为 R 的半球形光滑绝缘碗固定于水平地面上，带电量分别为 $+2q$ 和 $+q$ 的小球甲、乙刚好静止于碗内壁 A、B 两点，过 O、A、B 的截面如图所示，C、D 均为圆弧上的点，OC 沿竖直方向，$\angle AOC=45°$，$OD\perp AB$，A、B 两点间距离为 $\sqrt{3}R$，E、F 为 AB 连线的三等分点。下列说法正确的是　　(　　)

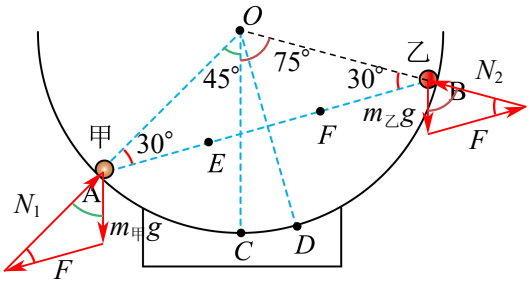


A. 甲的质量小于乙的质量　　B. C 点电势高于 D 点电势

C. E、F 两点电场强度大小相等，方向相同　　D. 沿直线从 O 点到 D 点，电势先升高后降低

答案 BD

解析 A. 对甲、乙两小球受力分析如图所示，由几何关系可得各个角度。



根据正弦定理，对甲有 $\frac{m_{甲}g}{\sin30^\circ}=\frac{F}{\sin45^\circ}$，对乙有 $\frac{m_{乙}g}{\sin30^\circ}=\frac{F}{\sin75^\circ}$，

由于 $\sin45^\circ<\sin75^\circ$，故 $m_{甲}>m_{乙}$，A 错误；

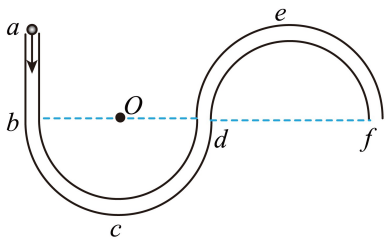
C．两带电小球连线上的电场分布可以等效成一对等量异种点电荷的电场和在 A 点带电量为 $3q$ 的正点电荷的电场相互叠加的电场。在等量异种点电荷的电场中 E、F 两点电场强度大小相等，方向相同。但是 A 点带电量为 $3q$ 的正点电荷在 E、F 两点的电场强度不同。E、F 两点电场强度大小不同（或按点电荷场强公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 计算），C 错误；

D．电场分布仍等效成一对等量异种点电荷的电场和在 A 点带电量为 $3q$ 的正点电荷的电场相互叠加的电场。直线 OD 为一对等量异种点电荷电场的等势线；沿直线从 O 点到 D 点过程，先靠近后远离 A 点正电荷。由电势标量叠加可知，电势先升高后降低，D 正确；

B．若有一正试探电荷从 D 运动到 C，由于在 D 点时电场力方向与速度方向成钝角，且越来越靠近大电荷，故电场力始终做负功，电势能升高，故 C 点电势高，B 正确；

故选 BD。

9. [2025 · 四川卷]如图所示，由长为 R 的直管 ab 和半径为 R 的半圆形弯管 bcd、def 组成的绝缘光滑管道固定于水平面内，管道间平滑连接。bcd 圆心 O 点处固定一电荷量为 $Q(Q>0)$ 的带电小球。另一个电荷量为 $q(q>0$ 且 $q\ll Q)$ 的带电小球以一定初速度从 a 点进入管道，沿管道运动后从 f 点离开。忽略空气阻力。则



A. 小球在 e 点所受库仑力大于在 b 点所受库仑力

B. 小球从 c 点到 e 点电势能先不变后减小

C. 小球过 f 点的动能等于过 d 点的动能

D. 小球过 b 点的速度大于过 a 点的速度

答案 B

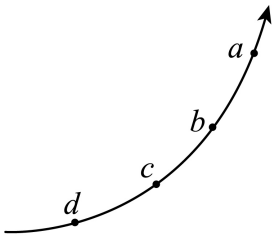
解析 A．小球所受库仑力 $F=k\frac{Qq}{r^2}$ 由于 $r_e>r_b$，则小球在 e 点所受库仑力小于在 b 点所受库仑力，故 A 错误；

B．$c\to d$ 过程到 O 点距离不变，故电势能不变，$d\to e$ 过程正电荷相互远离，电场力做正功，电势能减小，故 B 正确；（或用点电荷电势公式 $\varphi=k\frac{Q}{r}$ 判断）

C．由于 $r_f>r_d$，可知小球的电势能 $E_{pd}>E_{pf}$，，故过 f 点的动能更大，C 错误；

D．$a\to b$ 过程电场力做负功，故过 b 点的速度小于过 a 点的速度，故 D 错误

10. [2025 · 河北卷]《汉书》记载“姑句家矛端生火”，表明古人很早就发现了尖端放电现象。若带电长矛尖端附近某条电场线如图，则 a、b、c、d 四点中电势最高的是 （　　）

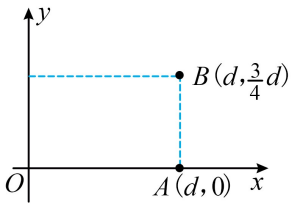


A. a 点　　B. b 点　　C. c 点　　D. d 点

答案 D

解析 根据电场线的性质：沿电场线方向，电势逐渐降低。

11. [2025·湖南卷]（多选）一匀强电场的方向平行于 xOy 平面，平面内 A 点和 B 点的位置如图所示。电荷量为 $+q$、$-q$ 和 $+2q$ 的三个试探电荷先后分别置于 O 点、A 点和 B 点时，电势能均为 $E_p(E_p>0)$。下列说法正确的是 （　　）



A. OA 中点的电势为零

B. 电场的方向与 x 轴正方向成 $60°$ 角

C. 电场强度的大小为 $\frac{\sqrt{2}E_P}{qd}$

D. 电场强度的大小为 $\frac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$

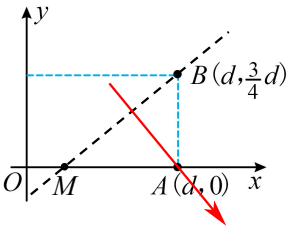
答案 AD

解析 A．由电势能公式 $E_p=q\varphi$ 得 O 点、A 点和 B 点的电势分别为 $\varphi_O=\frac{E_p}{q}$，$\varphi_A=-\frac{E_p}{q}$，$\varphi_B=\frac{E_p}{2q}$，故 OA 中点的电势为 $\varphi_M=\frac{\varphi_O+\varphi_A}{2}=0$，故 A 正确；

BCD．设匀强电场的电场强度水平和竖直分量分别为 E_x 和 E_y，则 $E_x=\frac{2E_p}{qd}$，沿 x 轴正方向，$E_y=\frac{2E_p}{qd}$，沿 y 轴负方向，根据矢量合成得到电场强度的大小为 $E=\frac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$，方向为与 x 轴正方向成 $45°$ 角，选项 B、C 错误，选项 D 正确。

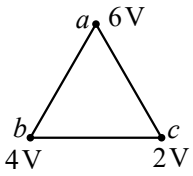
方法二：等分法

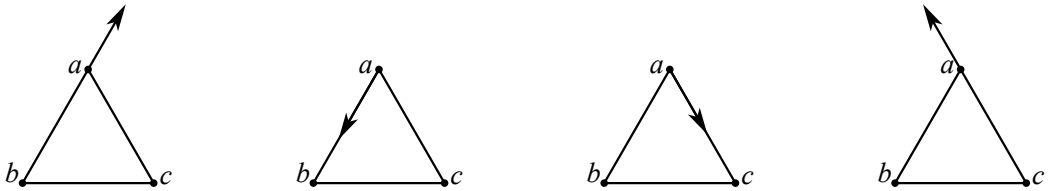
在 OA 线段上找出一与 B 点等势的点 M，可知 $x_{OM}=\frac{1}{4}d$，BM 连线即为等势线，与 BM 连线垂直的线为电场线，如图所示。由 $MA=AB$ 可知 $\angle BMA=45°$，由几何关系得电场方向与 x 轴正方向成 $45°$ 角，



电场强度的大小为 $E=\frac{\varphi_B-\varphi_A}{\frac{3}{4}d\sin 45°}=\frac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$

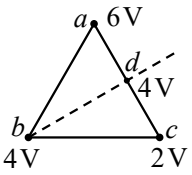
12. [2025 · 河南卷]如图，在与纸面平行的匀强电场中有 a、b、c 三点，其电势分别为 6 V、4 V、2 V；a、b、c 分别位于纸面内一等边三角形的顶点上。下列图中箭头表示 a 点电场的方向，则正确的是



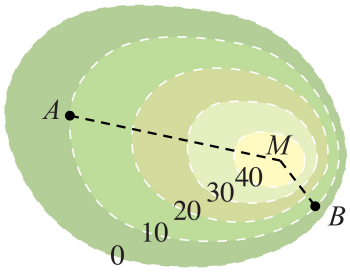


答案 C

解析 等分法 取 ac 中点 d，则 b、d 电势都为 4 V。对于匀强电场，其等势面形状是平面，故虚线 bd 即为等势线。电场线与等势面垂直，且从高电势指向低电势。



13. [2025 · 北京卷]某小山坡的等高线如图，M 表示山顶，A、B 是同一等高线上两点，MA、MB 分别是沿左、右坡面的直滑道。山顶的小球沿滑道从静止滑下，不考虑阻力，则 （　　）



A. 小球沿 MA 运动的加速度比沿 MB 的大

B. 小球分别运动到 A、B 点时速度大小不同

C. 若把等高线看成某静电场的等势线，则 A 点电场强度比 B 点大

D. 若把等高线看成某静电场的等势线，则右侧电势比左侧降落得快

答案 D

解析 必修三第十章 第3节习题

A．等高线越密集，坡面越陡，由 $a=g\sin\theta$(θ 为坡面与水平面夹角) 可知沿 MB 运动的加速度更大，A 错误；

B．A、B 在同一等高线，小球下落高度相同，根据机械能守恒，运动到 A、B 点时速度大小相同，B 错误；

C．等势线越密集，电场强度越大，B 处等势线更密集，A 点电场强度比 B 点小，C 错误；

D．等势线越密集，电势降落越快，右侧等势线更密集，右侧电势比左侧降落得快，D 正确。

14. [2025 · 理综卷(新疆西藏)]匀强电场中，一带正电的点电荷仅在电场力的作用下以某一初速度开始运动，则运动过程中，其 （　　）

A. 所处位置的电势一定不断降低　　B. 所处位置的电势一定不断升高

C. 轨迹可能是与电场线平行的直线　　D. 轨迹可能是与电场线垂直的直线

答案 C

解析 在匀强电场中，带正电的点电荷所受电场力恒定，方向与电场线方向一致，加速度恒定。

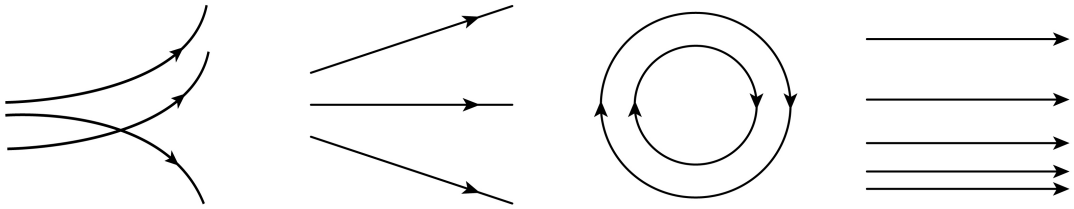
A．若初速度方向与电场力方向相反(如初速度向左，电场力向右)，电荷会先减速至零再反向加速。在减速阶段，电荷沿电场线反方向运动，电势升高。因此电势不一定一直降低，故 A 错误；

B．若初速度方向与电场力方向相同(如初速度向右，电场力向右)，电荷将一直加速，电势不断降低，因此电势不一定升高，故 B 错误；

C．若初速度方向与电场力方向共线(同向或反向)，电荷将做匀变速直线运动，轨迹与电场线平行，故 C 正确；

D．若轨迹与电场线垂直，则电荷初速度方向与电场力方向垂直。但电场力大小方向恒定，此时电荷将做类平抛运动，轨迹是曲线，故 D 错误。

15. [2025 · 陕西卷]某同学绘制了四幅静电场的电场线分布图，其中可能正确的是 （　　）



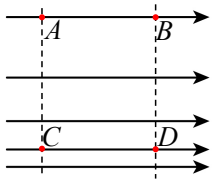
A　　B　　C　　D

答案 B

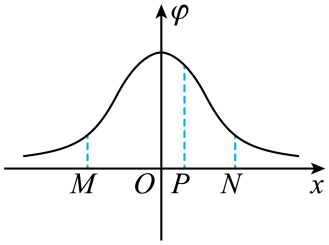
解析 必修二第十章　A组习题

ABC．静电场中电场线不相交、不闭合，故 B 正确，AC 错误；

D．如图作两条与电场线垂直的等势线，由于 $\varphi_A=\varphi_C$，$\varphi_B=\varphi_D$，故 $U_{AB}=U_{CD}$，由 $U=Ed$ 可知 $E_{AB}=E_{CD}$，然而图像电场线疏密程度不同，故 $E_{AB}\neq E_{CD}$，产生矛盾，故 D 错误；



16. [2025 · 海南卷]某静电场电势 φ 在 x 轴上分布如图所示，图线关于 φ 轴对称，M、P、N 是 x 轴上的三点，$OM=ON$。将一电子从 M 点静止释放，仅受 x 方向的电场力作用，则下列说法正确的是（　　）



A. P 点电场强度方向沿 x 轴负方向　　B. M 点的电场强度小于 N 点的电场强度

C. 电子在 P 点的动能小于在 N 点的动能　　D. 电子在 M 点的电势能大于在 P 点的电势能

答案 D

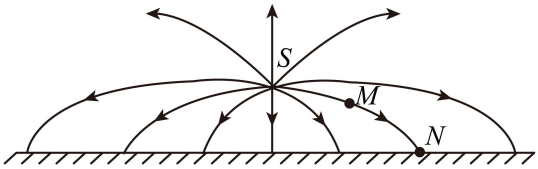
解析 A．由图可知在 x 正半轴沿 $+x$ 方向电势降低，则电场强度方向沿 x 正方向，故 A 错误；

B．$\varphi-x$ 图像斜率表示电场强度，由图可知 M 点的电场强度大小等于 N 点的电场强度，方向相反，故 B 错误；

C．电子在电势低处电势能大，故电子在 P 点的电势能小于在 N 点的电势能，根据能量守恒可知，电子在 P 点的动能大于在 N 点的动能，故 C 错误；

D．电子在电势低处电势能大，故电子在 M 点的电势能大于在 P 点的电势能，故 D 正确。

17. [2025 · 北京卷]“姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船。”除了夜深人静的原因，从波传播的角度分析，特定的空气温度分布也可能使声波传播清明致远。声波传播规律与光波在介质中传播规律类似。类比光线，用“声线”来描述声波的传播路径。地面上方一定高度 S 处有一个声源，发出的声波在空气中向周围传播，声线示意如图（不考虑地面的反射）。已知气温越高的地方，声波传播速度越大。下列说法正确的是（　　）



A. 从 M 点到 N 点声波波长变长

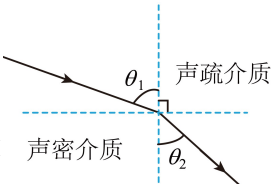
B. S 点气温低于地面

C. 忽略传播过程中空气对声波的吸收，则从 M 点到 N 点声音不减弱

D. 若将同一声源移至 N 点，发出的声波传播到 S 点一定沿图中声线 NMS

答案 D

解析 声音的传播类比光线传播，即类比光线的折射率；若空气中的温度均匀，从 S 发出的光线应该向四周沿直线传播，题目中“声线”向地面传播的过程中，越来越靠近法线，即 $\theta_1>\theta_2$，因此越靠近地面空气对声音的折射率 n 越大，类比光在介质中传播的速度 $v=\frac{c}{n}$ 可知折射率越大，光速越小，因此声音越靠近地面，声速越小，温度越低。



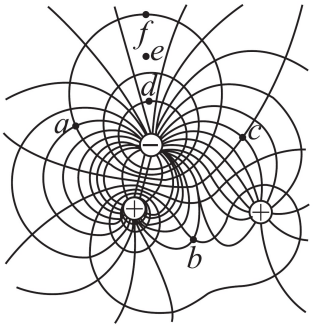
A．从 M 点到 N 点靠近地面，声音频率 f 不变，声速减小，根据 $v=\lambda f$ 可知波长变短，A 错误；

B．声源*S*处在地面上方，温度高于地面，*B*错误；

C．声音在传播过程中能量向四周分散，故到*N*点时声音强度会减弱，*C*错误；

D．将声源移至*N*点，类比光路的可逆性可知发出的声波传播到*S*点一定沿图中声线*NMS*，*D*正确。

18. [202501 浙江卷]三个点电荷的电场线和等势线如图所示，其中的 d、e 与 e、f 两点间的距离相等，则



A. a 点电势高于 b 点电势　　B. a、c 两点的电场强度相同

C. d、f 间电势差为 d、e 间电势差的两倍　　D. 从 a 到 b 与从 f 到 b，电场力对电子做功相等

答案 D

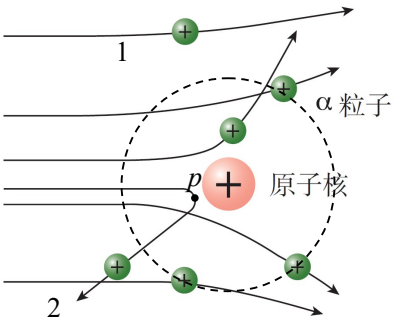
解析 A．电场线从高等势面指向低等势面，即电场线从图中的正电荷指向负电荷，因此 b 点所在的等势面高于 a 点所在的等势面，A 错误；

B．电场方向垂直等势面，故 a、c 两点电场强度方向不同，电场强度不同，B 错误；

C．从 $d\to e\to f$ 电场强度逐渐减小，间距相等，结合 $U=Ed$ 可知 $0<U_{fe}<U_{ed}$，则 $U_{fd}<2U_{ed}$，C 错误；

D．a 点与 f 点在同一等势面上，a、b 两点和 f、b 两点的电势差相等，根据电场力做功 $W=qU$ 可知电场力对电子做功相等，D 正确。

19. [202506 浙江卷]一束 α 粒子撞击一静止的金原子核，它们的运动轨迹如图所示。图中虚线是以金原子核为圆心的圆。已知静电力常量 $k=9.0\times10^{9}\,\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$，元电荷 $e=1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$，金原子序数为 79，不考虑 α 粒子间的相互作用，则



A. 沿轨迹 1 运动的 α 粒子受到的库仑力先做正功，后做负功

B. 沿轨迹 2 运动的 α 粒子到达 P 时动能为零、电势能最大

C. 位于图中虚线圆周上的 3 个 α 粒子的电势能不相等

D. 若 α 粒子与金原子核距离为 $10^{-14}\,\mathrm{m}$，则库仑力数量级为 $10^{2}\,\mathrm{N}$

答案 D

解析 选修三　图4.3－4

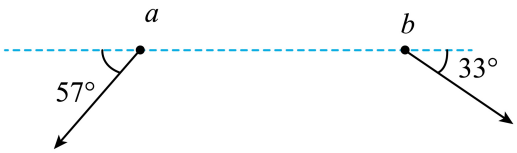
A．先做负功，后做正功；

B．到达 P 时仍有垂直力方向的速度，即动能不为零，电势能最大；

C．虚线为等势线，故电势能 $E_p=q\varphi$ 相等；

D．库仑力 $F=\dfrac{k(79e)(2e)}{r^2}=\dfrac{9.0\times10^9\times79\times2\times(1.6\times10^{-19})^2}{(10^{-14})^2}\approx364\,\mathrm{N}$，即数量级为 $10^2\,\mathrm{N}$。

20. [2025·天津卷]（多选）如图所示，在一固定点电荷形成的电场中，一试探电荷仅在静电力作用下先后经过 a、b 两点，图中箭头方向表示试探电荷在 a、b 两点处的受力方向，则 （　　）

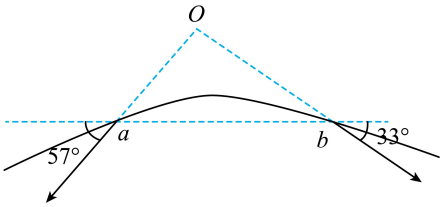


A. a 点电势一定高于 b 点电势　　B. 试探电荷与场源电荷电性一定相同

C. a 点电场强度一定大于 b 点电场强度　　D. 试探电荷的电势能一定先减小后增大

答案 BC

解析 AB．根据点电荷电场分布特点和试探电荷受力情况，试探电荷轨迹如图所示，



可知，点电荷位于 O 点，两电荷带同种电荷，由于电性无法判断，所以点电荷周围电场方向无法判断，a 点电势和 b 点电势高低无法判断，故 A 错误，B 正确；

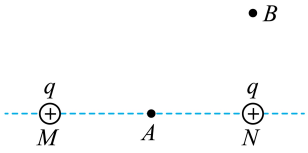
C．由于 a 点离点电荷较近，由 $E=\dfrac{kQ}{r^2}$ 可知，a 点电场强度一定大于 b 点电场强度，故 C 正确；

D．由轨迹图可知，试探电荷先靠近固定点电荷再远离（或根据电场力方向与运动方向的夹角先为钝角，后为锐角），即电场力先做负功，后做正功，试探电荷的电势能一定先增大后减小，故 D 错误；

所以电场力先做负功，后做正功，试探电荷的电势能一定先增大后减小，故 D 错误；

故选 BC。

21. [2025·贵州卷]如图，M 和 N 是在一直线上相距 L 的两点，A 是 MN 的中点，直线外的 B 点与 N 点相距 $\dfrac{L}{2}$。在 M、N 两点分别固定等量的正点电荷 q，选取无穷远处为零电势点，设 A、B 两点的电场强度大小分别为 E_A、E_B，电势分别为 φ_A、φ_B，则 （　　）



A. $E_A<E_B$，$\varphi_A>\varphi_B$　　B. $E_A<E_B$，$\varphi_A<\varphi_B$　　C. $E_A>E_B$，$\varphi_A>\varphi_B$　　D. $E_A>E_B$，$\varphi_A<\varphi_B$

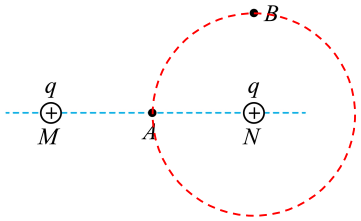
答案 A

解析 根据 $E=k\dfrac{q}{R^2}$，结合矢量合成可知，两电荷在 A 点产生场强等大反向，所以 $E_A=0$

而两电荷在 B 点合场强不为零，所以 $E_A<E_B$；

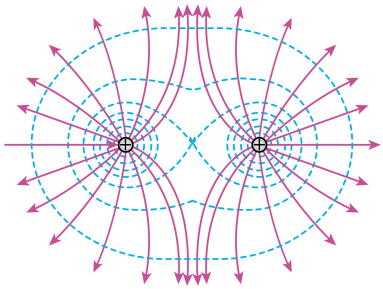
如图，以 N 点为圆心，作半径为 $\dfrac{L}{2}$ 的圆。当某一正试探电荷从 B 点沿着该圆弧到达 A 点时，N 点处的

电荷不对试探电荷做功，M 处的电荷对试探电荷做负功，故该正试探电荷电势能增加，由 $E_p=q\varphi$ 可知 $\varphi_A>\varphi_B$。

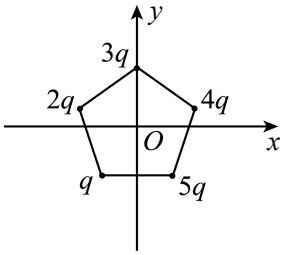


【方法二】根据点电荷电势公式 $\varphi=\dfrac{kq}{r}$ 结合标量叠加求解。

【补充】等量同种点电荷的电场分布，如图所示



22. [2025 · 湖北卷]（多选）如图所示，在 xOy 平面内有一以 O 点为中心的正五边形，顶点到 O 点的距离为 R。在正五边形的顶点上顺时针方向依次固定电荷量为 q、$2q$、$3q$、$4q$、$5q$ 的正点电荷，且电荷量为 $3q$ 的电荷在 y 轴正半轴上。静电力常量为 k，则 O 点处的电场强度



A. 方向沿 x 轴负方向

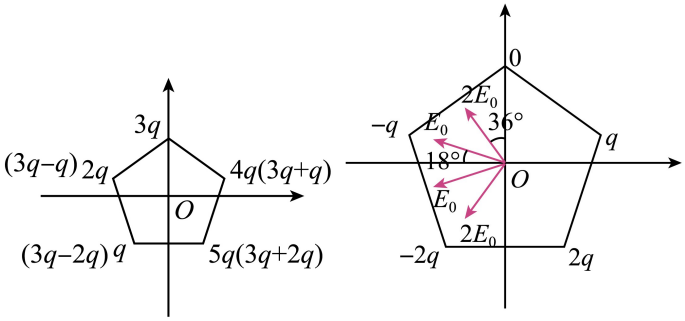
B. 方向与 x 轴负方向成 $18°$ 夹角斜向下

C. 大小为 $\dfrac{2kq}{R^2}(\cos54°+\cos18°)$

D. 大小为 $\dfrac{2kq}{R^2}(2\cos54°+\cos18°)$

答案 AD

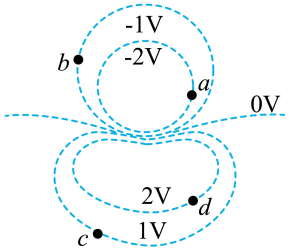
解析 如图将五个点电荷等效成两对等量异种电荷：0、$-q$、q、$-2q$、$2q$。



由几何关系得 O 点场强大小为 $E=2\times\dfrac{kq}{R^2}\cos18°+2\times\dfrac{2kq}{R^2}\cos54°=2\dfrac{kq}{R^2}(2\cos54°+\cos18°)$，方向沿 x

轴负方向。

23. [2025·云南卷]某介电电泳实验使用非匀强电场，该电场的等势线分布如图所示。a、b、c、d四点分别位于电势为$-2\,\mathrm{V}$、$-1\,\mathrm{V}$、$1\,\mathrm{V}$、$2\,\mathrm{V}$的等势线上，则



A. a、b、c、d中a点电场强度最小

B. a、b、c、d中d点电场强度最大

C. 一个电子从b点移动到c点电场力做功为$2\,\mathrm{eV}$

D. 一个电子从a点移动到d点电势能增加了$4\,\mathrm{eV}$

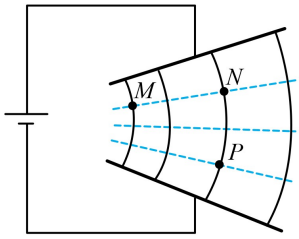
答案 C

解析 AB．根据等势面越密集电场强度越大，可知a、b、c、d中a点电场强度最大，故AB错误；

C．一个电子从b点移动到c点电场力做正功$W_{bc}=-eU_{bc}=2\,\mathrm{eV}$，故$C$正确；

D．一个电子从a点移动到d点电势能减小，$\Delta E_p=-e\varphi_d-(-e\varphi_a)=-4\,\mathrm{eV}$，故$D$错误。

24. [2025·甘肃卷]如图，两极板不平行的电容器与直流电源相连，极板间形成非匀强电场，实线为电场线，虚线表示等势面。M、N点在同一等势面上，N、P点在同一电场线上。下列说法正确的是（　　）



A. M点的电势比P点的低　　B. M点的电场强度比N点的小

C. 负电荷从M点运动到P点，速度增大　　D. 负电荷从M点运动到P点，电场力做负功

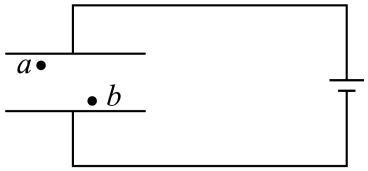
答案 D

解析 A．MN两点电势相等，电场线由上到下，NP在同一电场线上，沿电场线电势逐渐降低，可知N点电势高于P点，可知M点电势高于P点，A错误；

B．M点电场线分布比N点密集，可知M点电场强度比N点大，B错误；

CD．负电荷从M点运动到P点，电势能增加，则电场力做负功，动能减小，速度减小，C错误，D正确。

25. [2025 · 江苏卷]如图所示，平行金属板与电源连接。一点电荷由 a 点移动到 b 点的过程中，电场力做功为 W。现将上、下两板分别向上、向下移动，使两板间距离增大为原来的 2 倍，再将该电荷由 a 移动到 b 的过程中，电场力做功为 （　　）



A. $\frac{W}{2}$　　B. W　　C. $2W$　　D. $4W$

答案 A

解析 根据题意可知，电容器与电源保持连接，电容器两端电压不变，现将电容器两极板间距增大至原来的两倍，由公式 $E=\frac{U}{d}$ 可知，极板间电场强度变为原来的 $\frac{1}{2}$，则有 $W=Eqd$ 可知，再把电荷由 a 移至 b，则电场力做功变为原来的 $\frac{1}{2}$，即电场力做功为 $\frac{W}{2}$。

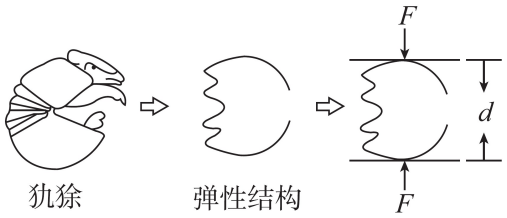
26. [2025 · 江西卷]超级电容器可集成到太阳能发电系统中，通过超级电容器储存和释放能量，优化功率输出，提升电网稳定性。关于超级电容器储存能量过程中所带电荷量 Q 和两极板间电压 U 的变化，下列说法正确的是

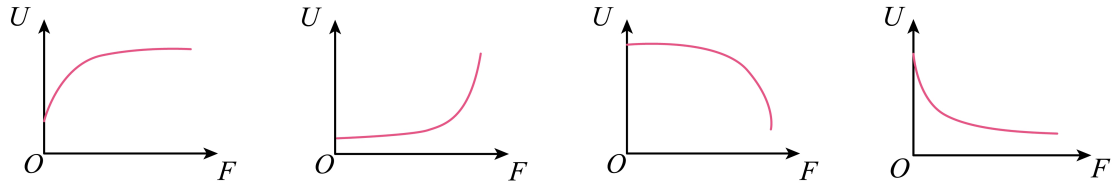
A. Q 增大，U 增大　　B. Q 减小，U 减小　　C. Q 减小，U 增大　　D. Q 增大，U 减小

答案 A

解析 电容器储存能量过程中，电荷量 Q 增大；由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知 U 也增大。

27. [2025 · 黑吉辽内卷]如图，某压力传感器中平行板电容器内的绝缘弹性结构是模仿犰狳设计的，逐渐增大施加于两极板压力 F 的过程中，F 较小时弹性结构易被压缩，极板间距 d 容易减小；F 较大时弹性结构闭合，d 难以减小。将该电容器充电后断开电源，极板间电势差 U 与 F 的关系曲线可能正确的是



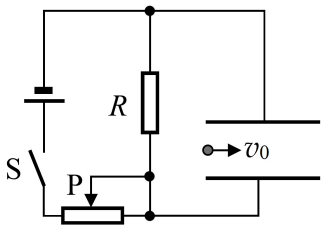


答案 D

解析 电容器电荷量 Q 不变，当力 F 较小时，d 容易减小，由 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}=\frac{Q}{U}$ 可知 U 容易减小；

当力 F 较大时，d 难以减小，故 U 难以较小，选项 D 符合。

28. 水平放置的平行板电容器连接在图示电路中，电容器极板间距为 d，电容为 C。移动滑动变阻器的滑片 P，当两极板间电压为 U 时，该电容器所带电荷量为_____。此时，一质量为 m，电荷量为 q 的带正电粒子以速度 v_0 从该电容器左侧两极板间中点位置水平向右射入，恰好从上极板右侧边缘飞出，则两极板长度 $L=$_____。(不计带电粒子所受重力和边缘效应)



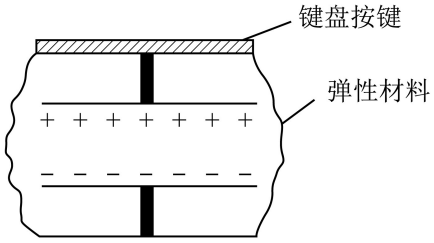
答案 CU、$v_0d\sqrt{\dfrac{m}{qU}}$

解析 $Q=CU$；由 $L=v_0t$，$\dfrac{d}{2}=\dfrac{1}{2}\dfrac{qU}{md}t^2$ 得 $L=v_0d\sqrt{\dfrac{m}{qU}}$

29. [2025 · 理综卷(新疆西藏)]电容器的形状变化会导致其电容变化，这一性质可用于设计键盘，简化原理图如图所示。键盘按键下的装置可视为平行板电容器，电容器的极板面积为 S、间距为 d，电容 $C=\alpha\dfrac{S}{d}$(α 为常量)。按下键盘按键时，极板间的距离变为按压前的 η 倍；撤去按压，按键在弹力作用下复位。电容器充电后，

(1) 若按压按键不改变电容器所带的电荷量，则按压后极板间的电压变为按压前的多少倍？

(2) 若按压按键不改变电容器极板间的电压，则按压后极板间的电场强度大小变为按压前的多少倍？



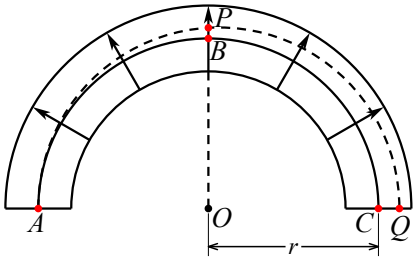
答案 (1)η 倍　　(2)$\dfrac{1}{\eta}$ 倍

解析 (1) 由 $C=\alpha\dfrac{S}{d}$ 以及 $C=\dfrac{Q}{U}$ 得 $U=\dfrac{Qd}{\alpha S}$，

电荷量不变时 U 与 d 成正比，故 $\dfrac{U'}{U}=\dfrac{d'}{d}=\eta$

(2) 由 $E=\dfrac{U}{d}$ 可知电压不变时 E 与 d 成反比，即 $\dfrac{E'}{E}=\dfrac{d}{d'}=\dfrac{1}{\eta}$

30. [2025 · 福建卷]某种静电分析器简化图如图所示，在两条半圆形圆弧板组成的管道中加上径向电场。现将一电子 a 自 A 点垂直电场射出，恰好做圆周运动，运动轨迹为 ABC，半径为 r。另一电子 b 自 A 点垂直电场射出，轨迹为弧 APQ，其中 PBO 共线，已知 B、P 两点间的电势差为 U，$|CQ|=2|BP|$，电子 a 入射动能为 E_k，电子所带的电荷量为 $-e$，则 （　　）



A. B 点的电场强度 $E=\dfrac{E_k}{er}$

B. P 点场强大于 C 点场强

C. 电子 b 在 P 点的动能小于在 Q 点的动能

D. 电子 b 全程克服电场力做的功小于 $2eU$

答案 D

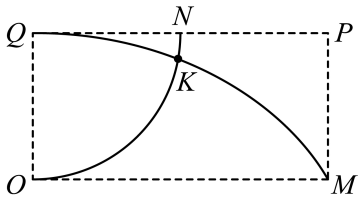
解析 A．电子 a 恰好做圆周运动，则 $eE=\dfrac{mv_a^2}{r}=\dfrac{2E_k}{r}$，得 $E=\dfrac{2E_k}{er}$，故 A 错误；

B．由图可知，P 点电场线密度较稀疏，则场强小于 C 点场强，故 B 错误；

C．已知 $|CQ|=2|BP|$，因为 BC 在同一等势线上，且沿电场方向电势降低，则 Q 点电势小于 P 点，电子在电势低处电势能大，则电子 b 在 Q 点电势能大，根据能量守恒可知，电子 b 在 Q 点动能较小，故 C 错误；

D．由电场线密度分布情况可知，沿径向向外电场强度减小，根据 $U=\bar{E}d$ 得 $U_{CQ}<2U_{BP}$，则电子 b 全程克服电场力做的功 $W=eU_{CQ}<2eU_{BP}=2eU$，故 D 正确。

31. [2025 · 重庆卷]某兴趣小组用人工智能模拟带电粒子在电场中的运动，如图所示的矩形区域 $OMPQ$ 内分布有平行于 OQ 的匀强电场，N 为 QP 的中点。模拟动画显示，带电粒子 a、b 分别从 Q 点和 O 点垂直于 OQ 同时进入电场，沿图中所示轨迹同时到达 M、N 点，K 为轨迹交点。忽略粒子所受重力和粒子间的相互作用，则可推断 a、b 粒子 （　　）



A. 具有不同比荷

B. 电势能均随时间逐渐增大

C. 到达 M、N 点的速度大小相等

D. 到达 K 点所用时间之比为 $1:2$

答案 D

解析 A．由题意可知，带电粒子 a、b 在电场中做类平抛运动，并且运动时间相等。沿电场方向，由 $y=\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t^2$ 可知 a、b 比荷相等，故 A 错误；

B．带电粒子运动过程中，电场力均做正功，电势能均随时间逐渐减小，故 B 错误；

D．两粒子沿初速度方向位移之比为 $2:1$，则初速度之比为 $2:1$，到达 K 点所用时间为 $1:2$，故 D 正确；

C．两粒子沿电场方向的分速度相等，初速度不相等，故到达 M、N 点的速度不相等，故 C 错误。

32. [2025 · 甘肃卷]离子注入机是研究材料辐照效应的重要设备，其工作原理如图 1 所示。从离子源 S 释放的正离子（初速度视为零）经电压为 U_1 的电场加速后，沿 OO' 方向射入电压为 U_2 的电场（OO' 为平行于两极板的中轴线），极板长度为 l、间距为 d，U_2-t 关系如图 2 所示。长度为 a 的样品垂直放置在距 U_2 极板 L 处，样品中心位于 O' 点。假设单个离子在通过 U_2 区域的极短时间内，电压 U_2 可视为不变，当 $U_2=\pm U_m$ 时，离子恰好从两极板的边缘射出。不计重力及离子之间的相互作用。下列说法正确的是 （　　）

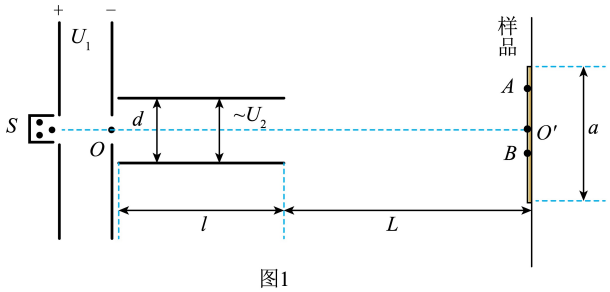


图1

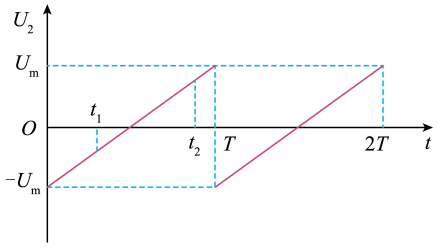


图2

A．U_2 的最大值 $U_m=\dfrac{d^2}{l^2}U_1$

B．当 $U_2=\pm U_m$ 且 $L=\dfrac{(a-d)l}{2d}$ 时，离子恰好能打到样品边缘

C．若其他条件不变，要增大样品的辐照范围，需增大 U_1

D．在 t_1 和 t_2 时刻射入 U_2 的离子，有可能分别打在 A 和 B 点

答案　B

解析　A．粒子在加速电场中有 $U_1q=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，在偏转电场中做类平抛运动，有 $l=v_0t$，$\dfrac{d}{2}=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{U_mq}{dm}\right)t^2$，得 $U_m=\dfrac{2d^2}{l^2}U_1$，A 错误；

B．当 $U_2=\pm U_m$ 时粒子从板的边缘射出，恰能打到样品边缘时，由相似三角形得 $\dfrac{\frac{d}{2}}{\frac{a}{2}}=\dfrac{\frac{l}{2}}{\frac{l}{2}+L}$，得 $L=\dfrac{(a-d)l}{2d}$，B 正确；

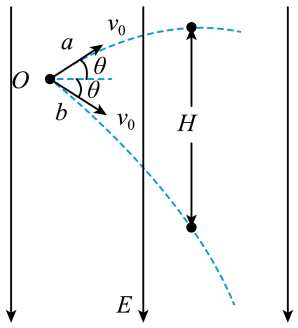
C．根据 $y=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{U_2q}{dm}\right)t^2=\dfrac{U_2l^2}{4dU_1}$，若其它条件不变，要增加样品的辐照范围，则需减小 U_1，C 错误；

D．由图可知 t_1 时刻的电压小，则竖直偏移量小，对应打在 B 点，D 错误。

33. [2025 · 江苏卷]如图所示，在电场强度为 E，方向竖直向下的匀强电场中，两个相同的带正电粒子 a、b 同时从 O 点以初速度 v_0 射出，速度方向与水平方向夹角均为 θ。已知粒子的质量为 m，电荷量为 q，不计重力及粒子间相互作用。求：

(1)a 运动到最高点的时间 t；

(2)a 到达最高点时，a、b 间的距离 H。



答案 (1)$\frac{mv_0\sin\theta}{qE}$　(2)$\frac{2mv_0^2\sin^2\theta}{qE}$

解析 (1)$v_0\sin\theta=at$　其中$a=\frac{qE}{m}$　得$t=\frac{mv_0\sin\theta}{qE}$

(2) 粒子a的竖直位移大小$h_1=\frac{(v_0\sin\theta)^2}{2a}=\frac{mv_0^2\sin^2\theta}{2qE}$，

粒子b的竖直位移大小$h_2=v_0t\sin\theta+\frac{1}{2}at^2=\frac{mv_0^2\sin^2\theta}{qE}+\frac{mv_0^2\sin^2\theta}{2qE}$

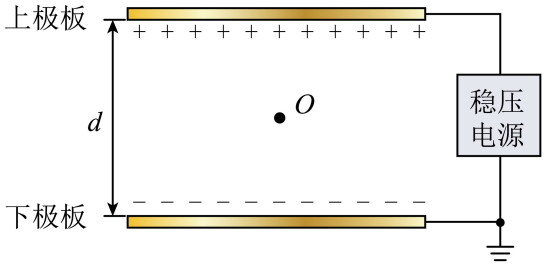
故$H=h_1+h_2=\frac{2mv_0^2\sin^2\theta}{qE}$

【方法二】两个小球均受到相同电场力，以a为参考系，b以$2v_0\sin\theta$的速度向下做匀速直线运动，则a到达最高点时，a、b间的距离$H=2v_0\sin\theta\cdot t=\frac{2mv_0^2\sin^2\theta}{qE}$

34. [2025·四川卷]如图所示，真空中固定放置两块较大的平行金属板，板间距为d，下极板接地，板间匀强电场大小恒为E。现有一质量为m、电荷量为$q(q>0)$的金属微粒，从两极板中央O点由静止释放。若微粒与极板碰撞前后瞬间机械能不变，碰撞后电性与极板相同，所带电荷量的绝对值不变。不计微粒重力。求：

(1) 微粒第一次到达下极板所需时间；

(2) 微粒第一次从上极板回到O点时的动量大小。



答案 (1)$\sqrt{\frac{md}{qE}}$　(2)$2\sqrt{qEmd}$

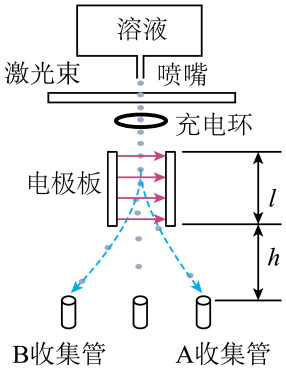
解析 (1)$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$　其中$a=\frac{qE}{m}$　得$t=\sqrt{\frac{md}{qE}}$

(2) 全过程由动能定理得$qE\cdot 2d=\frac{1}{2}mv^2$　故$p=mv=2\sqrt{qEmd}$

35. [2025·河南卷]流式细胞仪可对不同类型的细胞进行分类收集，其原理如图所示。仅含有一个A细胞或B细胞的小液滴从喷嘴喷出（另有一些液滴不含细胞），液滴质量均为$m=2.0\times10^{-10}\,\mathrm{kg}$。当液滴穿过激光束、充电环时被分类充电，使含A、B细胞的液滴分别带上正、负电荷，电荷量均为$q=1.0\times10^{-13}\,\mathrm{C}$。随后，液滴以$v=2.0\,\mathrm{m/s}$的速度竖直进入长度为$l=2.0\times10^{-2}\,\mathrm{m}$的电极板间，板间电场均匀、方向水平向右，电场强度大小为$E=2.0\times10^{5}\,\mathrm{N/C}$。含细胞的液滴最终被分别收集在极板下方$h=0.1\,\mathrm{m}$处的A、B收集管中。不计重力、空气阻力以及带电液滴间的作用。求：

(1) 含A细胞的液滴离开电场时偏转的距离；

(2) A、B细胞收集管的间距。



答案 (1)$5\times10^{-3}\,\mathrm{m}$　(2)$0.11\,\mathrm{m}$

解析 (1) 液滴在电场中做类平抛运动，运动时间$t=\dfrac{l}{v}=0.01\,\mathrm{s}$

沿电场方向有$x=\dfrac{1}{2}at^2$　　其中$a=\dfrac{qE}{m}=100\,\mathrm{m/s^2}$

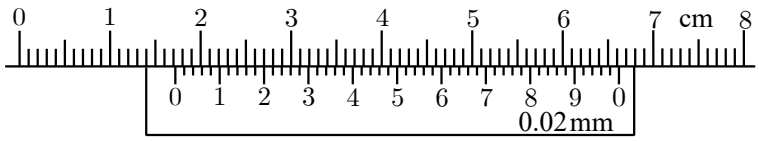
得$x=\dfrac{qEl^2}{2mv^2}=0.005\,\mathrm{m}$

(2) 含A细胞的液滴离开电场后做匀速直线运动，运动时间$t'=\dfrac{h}{v}=0.05\,\mathrm{s}$

则水平方向位移$x'=at\cdot t'=0.05\,\mathrm{m}$

由对称性可知，A、B细胞收集管的间距$\Delta x=2(x+x')=0.11\,\mathrm{m}$

36. [2025·河北卷]1992年，江苏扬州出土的古代铜卡尺，由固定尺和活动尺组成，现代游标卡尺的构件与其非常相似，已成为常用的测量工具。用游标卡尺测量某物体的长度，示数如图所示，其读数为（　　）



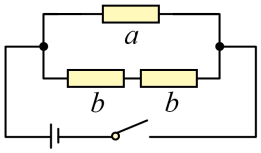
A. 14.20 mm　　B. 14.2 mm　　C. 17.20 mm　　D. 17.2 mm

答案 C

解析 根据游标卡尺的读数规则可知主尺读数为17mm，游标尺为50分度，每分度值为0.02mm，第10条刻度线对齐，则游标尺的读数为$10\times0.02\mathrm{mm}=0.20\mathrm{mm}$

所以读数为$17\mathrm{mm}+0.20\mathrm{mm}=17.20\mathrm{mm}$

37. [2025 · 广西卷]如图电路中，材质相同的金属导体 a 和 b，横截面积分别为 S_1、S_2，长度分别为 l_1、l_2。闭合开关后，a 和 b 中自由电子定向移动的平均速率之比为 （　　）



A. $l_1:2l_2$　　B. $2l_2:l_1$　　C. $l_2S_1:2l_1S_2$　　D. $2l_2S_2:l_1S_1$

答案 B

解析 电流微观表达式 $I=neSv$

由 $I=neSv=\dfrac{U}{R}=\dfrac{U}{\rho\dfrac{S}{L}}=\dfrac{US}{\rho L}$　得 $v\propto\dfrac{1}{L}$，故 $\dfrac{v_1}{v_2}=\dfrac{2l_2}{l_1}$

38. [2025 · 山东卷]一辆电动小车上的光伏电池，将太阳能转换成的电能全部给电动机供电，刚好维持小车以速度 v 匀速运动，此时电动机的效率为 50%。已知小车的质量为 m，运动过程中受到的阻力 $f=kv$（k 为常量），该光伏电池的光电转换效率为 η，则光伏电池单位时间内获得的太阳能为 （　　）

A. $\dfrac{2kv^2}{\eta}$　　B. $\dfrac{kv^2}{2\eta}$　　C. $\dfrac{kv^2+mv^2}{2\eta}$　　D. $\dfrac{2kv^2+mv^2}{\eta}$

答案 A

解析 设太阳能功率为 $P_{阳}$，则电功率 $P_{电}=\eta P_{阳}$，机械功率 $P_{机}=50\%P_{电}=\dfrac{1}{2}\eta P_{阳}$

又小车匀速时牵引力 $F=f=kv$，$P_{机}=Fv$，则 $\dfrac{1}{2}\eta P_{阳}=kv^2$ 得 $P_{阳}=\dfrac{2kv^2}{\eta}$

39. [202506 浙江卷]如图所示，风光互补环保路灯的主要构件有：风力发电机，单晶硅太阳能板，额定电压 48 V 容量 200 Ah 的储能电池，功率 60 W 的 LED 灯。已知该路灯平均每天照明 10 h；1 kg 标准煤完全燃烧可发电 2.8 度，排放二氧化碳 2.6 kg。则



A. 风力发电机的输出功率与风速的平方成正比

B. 太阳能板上接收到的辐射能全部转换成电能

C. 该路灯正常运行 6 年，可减少二氧化碳排放量约 1.2×10^6 kg

D. 储能电池充满电后，即使连续一周无风且阴雨，路灯也能正常工作

答案 D

解析 A．风力发电机的输出功率与风速的三次方成正比

参考 必修二第八章 B 组习题、必修三第十二章第 4 节习题 由于输出功率 P 与单位时间通过的风的

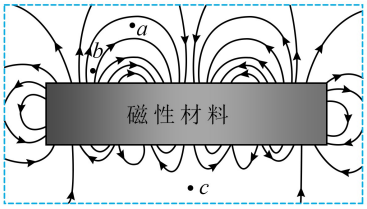
动能 $\frac{1}{2}mv^2$ 成正比，又 m 与 v 成正比，故 $P\propto v^3$；

B．有转换效率；

C．该路灯平均每天耗电 $W_0=60\,\mathrm{W}\times10\,\mathrm{h}=0.6\,\mathrm{kW\cdot h}=0.6$ 度，工作 6 年耗电 $W_{总}=W_0\times365\times6=1314$ 度，可减少 CO_2 排放量 $m=\frac{1314}{2.8}\times2.6\approx1.2\times10^3\,\mathrm{kg}$；

D．充满电后电池储存的电能 $W=48\,\mathrm{V}\times200\,\mathrm{Ah}=9600\,\mathrm{W\cdot h}$，故路灯可以工作 $t=\frac{W}{P}=\frac{9600\,\mathrm{W\cdot h}}{60\,\mathrm{W}}=160\,\mathrm{h}$，由于灯每天工作 10 h，即可大约工作 16 天，D 正确。（即使由于阴雨，路灯白天也开启，差不多也能工作一周。）

40. [2025 · 江苏卷]某“冰箱贴”背面的磁性材料磁感线如图所示，下列判断正确的是 （　　）



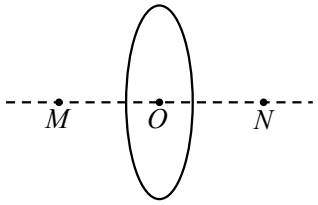
A. a 点的磁感应强度大于 b 点　　B. b 点的磁感应强度大于 c 点

C. c 点的磁感应强度大于 a 点　　D. a、b、c 点的磁感应强度一样大

答案 B

解析 磁感线越密集的地方磁感线强度越大，故可知 $B_b>B_a>B_c$。

41. [2025 · 湖北卷]如图所示，在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，放置一通电圆线圈，圆心为 O 点，线圈平面与磁场垂直。在圆线圈的轴线上有 M 和 N 两点，它们到 O 点的距离相等。已知 M 点的总磁感应强度大小为零，则 N 点的总磁感应强度大小为 （　　）

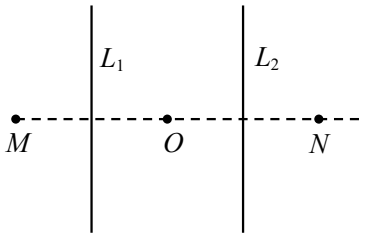


A. 0　　B. B　　C. $2B$　　D. $3B$

答案 A

解析 由右手螺旋定则及对称性可知，环形电流在 N 点的磁感应强度与 M 点等大同向。由于 M 点磁感应强度为零，由矢量合成法则可知环境中匀强磁场与 M 点磁场等大反向，即匀强磁场与 N 点的磁场等大反向，N 点的磁感应强度为 0。

42. [2025 · 福建卷]如图所示，空间中存在两根无限长直导线 L_1 与 L_2，通有大小相等，方向相反的电流。导线周围存在 M、O、N 三点，M 与 O 关于 L_1 对称，O 与 N 关于 L_2 对称且 $OM=ON$，初始时，M 处的磁感应强度大小为 B_1，O 点磁感应强度大小为 B_2，现保持 L_1 中电流不变，仅将 L_2 撤去，N 点的磁感应强度大小为



A. $\frac{1}{2}B_2-B_1$　　B. $\frac{1}{2}B_1-B_2$　　C. B_2-B_1　　D. B_1-B_2

答案 A

解析 根据安培定则，两导线在 O 点处产生的磁感应强度方向相同大小相等，则单个导线在 O 点处产生的磁感应强度大小为 $B_0=\frac{B_2}{2}$

根据对称性，两导线在 N 处的磁感应强度大小应该与 M 点一样，即为 B_1；L_2 在 N 点处产生的磁感应强度为 $B_0=\frac{B_2}{2}$

由于 L_2 在 N 点处产生的磁感应强度大于 L_1 在 N 点处产生的磁感应强度，且方向相反，将 L_2 撤去，N 点的磁感应强度为 $\frac{B_2}{2}-B_1$。

四、选修一

1. [2025 · 天津卷]一种名为“飞椅”的游乐设施如图所示，该设施中钢绳一端系着座椅，另一端系在悬臂边缘。绕竖直轴转动的悬臂带动座椅在水平面内做匀速圆周运动，座椅可视为质点，则某座椅运动一周的过程中 （　　）



A. 动量保持不变　　B. 所受合外力做功为零

C. 所受重力的冲量为零　　D. 始终处于受力平衡状态

答案 B

解析 座椅在水平面内做匀速圆周运动，速度大小不变，方向改变

A．根据 $p=mv$ 可知动量大小不变，方向改变，故 A 错误；

B．速度大小不变，则座椅的动能不变，根据动能定理可知所受合外力做功为零，故 B 正确；

C．根据 $I_G=mgt$ 可知所受重力的冲量不为零，故 C 错误；

D．座椅在水平面内做匀速圆周运动，一定有向心加速度，所以不是处于受力平衡状态，故 D 错误。



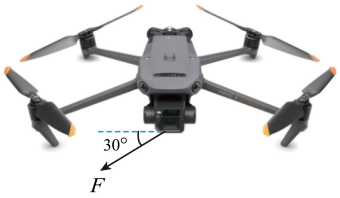
2. [2025 · 上海卷]氢原子的核外电子以半径 r 绕核做匀速圆周运动，若电子质量为 m，则该电子动量的大小是_____。（元电荷为 e，静电力常量为 k）

答案 $\sqrt{\dfrac{kme^2}{r}}$

解析 电子绕氢原子核做匀速圆周运动，库仑力提供向心力 $k\dfrac{e^2}{r^2}=m\dfrac{v^2}{r}$　　得 $v=\sqrt{\dfrac{ke^2}{mr}}$

故电子动量大小是 $p=mv=\sqrt{\dfrac{kme^2}{r}}$

3. [2025·广东卷](多选)如图所示,无人机在空中作业时,受到一个方向不变、大小随时间变化的拉力。无人机经飞控系统实时调控,在拉力、空气作用力和重力作用下沿水平方向做匀速直线运动。已知拉力与水平面成30°角,其大小F随时间t的变化关系为$F=F_0-kt(F\neq 0,F_0、k$均为大于0的常量),无人机的质量为m,重力加速度为g。关于该无人机在0到T时间段内(T是满足$F>0$的任一时刻),下列说法正确的有 (　　)



A. 受到空气作用力的方向会变化

B. 受到拉力的冲量大小为$\left(F_0-\frac{1}{2}kT\right)T$

C. 受到重力和拉力的合力的冲量大小为$mgT+\left(F_0-\frac{1}{2}kT\right)T$

D. T时刻受到空气作用力的大小为$\sqrt{\frac{3}{4}(F_0-kT)^2+\left(mg+\frac{F_0-kT}{2}\right)^2}$

答案 ABD

解析 A. 由三力平衡可知,三个力构成闭合矢量三角形,故F变化时空气作用力方向也变化,A正确;

B. 由于方向不变的拉力F是t的线性函数,故其冲量可以用平均值法求,即$I_F=\overline{F}T=\frac{F_0+F_0-kT}{2}T=\left(F_0-\frac{1}{2}kT\right)T$,$B$正确;

C. “重力和拉力的合力的冲量”等于“重力冲量与拉力冲量的矢量和”。而C选项是两力冲量的代数和,故C错误;(拉力冲量方向与水平面成30°角,可以将拉力冲量正交分解,故有$I'=\sqrt{I_{Fx}^2+(I_{Fy}+mgT)^2}=\sqrt{(I_F\cos 30°)^2+(I_F\sin 30°+mgT)^2}=\cdots$)

D. T时刻$F=F_0-kT$,空气作用力大小$F_{空}=\sqrt{F_x^2+(F_y+mg)^2}=\sqrt{(F\cos 30°)^2+(F\sin 30°+mg)^2}=\sqrt{\frac{3}{4}F^2+(\frac{1}{2}F+mg)^2}=\sqrt{\frac{3}{4}(F_0-kT)^2+\left(mg+\frac{F_0-kT}{2}\right)^2}$,$D$正确。

4. [2025·贵州卷]甲、乙两运动员在光滑水平冰面上进行滑冰训练。以速度v_0运动的甲推一下静止在其正前方的乙,刚分开时,甲、乙的运动方向与v_0的方向相同,且甲的速度为$\frac{v_0}{3}$,则刚分开时,甲、乙的动量大小之比为 (　　)

A. 3∶1　　B. 2∶1　　C. 1∶2　　D. 1∶3

答案 C

解析 根据$p=mv$,设甲的初始动量为p_0,则刚分开时,甲的末动量为$\frac{1}{3}p_0$,由系统动量守恒得$p_0=\frac{1}{3}p_0+p_乙$,得$p_乙=\frac{2}{3}p_0$,故甲、乙的动量大小之比为1∶2。

5. [2025 · 河南卷]两小车 P、Q 的质量分别为 m_P 和 m_Q，将它们分别与小车 N 沿直线做碰撞实验，碰撞前后的速度 v 随时间 t 的变化分别如图 1 和图 2 所示。小车 N 的质量为 m_N，碰撞时间极短，则

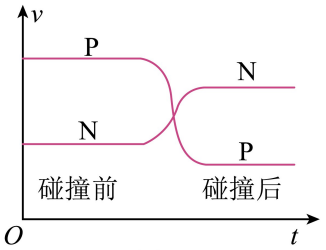


图1

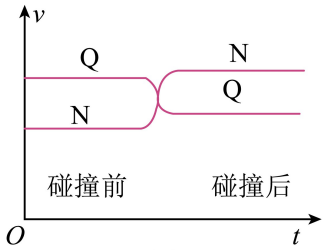


图2

A. $m_P > m_N > m_Q$　　B. $m_N > m_P > m_Q$　　C. $m_Q > m_P > m_N$　　D. $m_Q > m_N > m_P$

答案 D

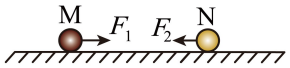
解析 由于碰撞时间极短，故动量守恒 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$

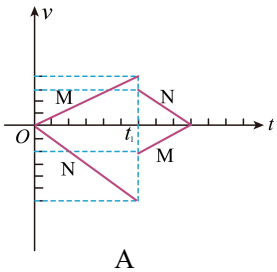
整理得 $m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2)$ 即 $m_1|\Delta v_1| = m_2|\Delta v_2|$

两物体碰撞后，动量变化量大小相等，故质量越大，速度改变量越小

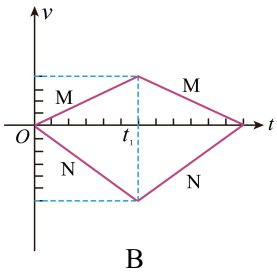
由图 1 得 N 速度改变量更小，故 $m_N > m_P$，同理得 $m_Q > m_N$，故选 D

6. [2025 · 广东卷]如图所示，光滑水平面上，小球 M、N 分别在水平恒力 F_1 和 F_2 作用下，由静止开始沿同一直线相向运动在 t_1 时刻发生正碰后各自反向运动。已知 F_1 和 F_2 始终大小相等，方向相反。从开始运动到碰撞后第 1 次速度减为 0 的过程中，两小球速度 v 随时间 t 变化的图像，可能正确的是　　(　　)

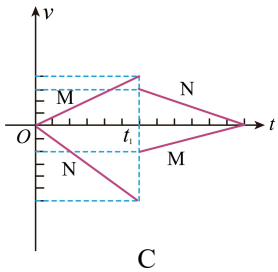




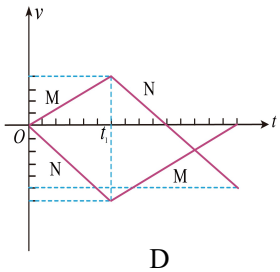
A



B



C



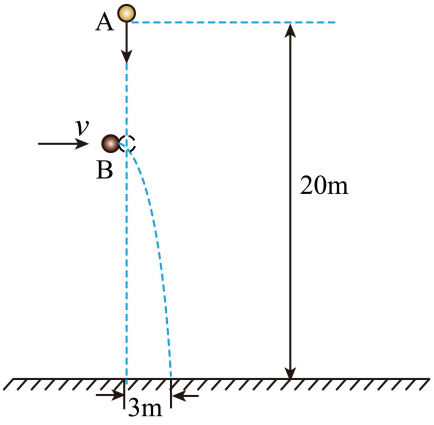
D

答案 A

解析 由于是恒力，故碰撞前后加速度不变，小球的图像斜率不变，排除 BC 选项；

由于系统合外力为零（$F_1 = F_2$），所以系统动量守恒。又初始总动量为零，故当 M 静止时 N 必同时静止，排除 D 选项，故选 A。

7. [2025 · 甘肃卷]如图，小球 A 从距离地面 20 m 处自由下落，1 s 末恰好被小球 B 从左侧水平击中，小球 A 落地时的水平位移为 3 m。两球质量相同，碰撞为完全弹性碰撞，重力加速度 g 取 10 m/s²，则碰撞前小球 B 的速度大小 v 为 （　　）



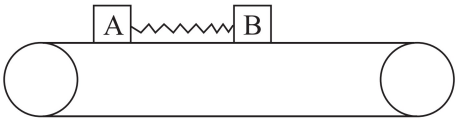
A. 1.5 m/s　　B. 3.0 m/s　　C. 4.5 m/s　　D. 6.0 m/s

答案 B

解析 小球 A 和 B 碰撞过程中，水平方向上动量守恒，竖直方向上 A 球的竖直速度不变，由于是弹性碰撞，故两球的水平速度发生交换。

由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 得 $t=2$ s，故碰撞后再经过 $\Delta t=1$ s 才落地；由平抛运动水平方向得 $v=\frac{x}{\Delta t}=3$ m/s，故选 B。

8. [2025·福建卷]（多选）如图，水平传送带顺时针转动，速度大小恒为1 m/s，物块A、B由一根轻弹簧相连，A的质量为1 kg，B的质量为2 kg，A与传送带间的动摩擦因数为0.5，B与传送带间的动摩擦因数为0.25。$t=0$时，A速度大小为$v_0=2$ m/s，方向水平向右，B的速度为零，弹簧处于原长状态。$t=t_0$时，A与传送带第一次共速，此时弹簧弹性势能$E_p=0.75$ J，传送带足够长，A可留下痕迹，重力加速度g取10 m/s^2，弹簧始终处于弹性限度内。则（　　）



A. 在$t=\frac{t_0}{2}$时，B的加速度大小大于A的加速度大小

B. $t=t_0$时，B的速度为0.5 m/s

C. $t=t_0$时，弹簧的压缩量为0.2 m

D. 0~t_0过程，传送带上的痕迹小于0.05 m

答案 BD

解析 以传送带为惯性参考系，规定向右为正方向，则A、B初速度分别为$v_1=1$ m/s，$v_2=-1$ m/s，物块A受到向左的滑动摩擦力$f_1=\mu_1 m_1 g=5$ N，B受到向右的滑动摩擦力$f_2=\mu_2 m_2 g=5$ N，

A．两者相互靠近过程中，受到的滑动摩擦力和弹力大小均相等，且A质量小，由$a=\frac{f+F}{m}$可知A的加速度大小更大，所以在初速度大小相同情况下A先“停”下来（与传动带共速）。t_0时刻前，A、B都在滑动，B的加速度大小更小，故A错误；

B．0~t_0过程A、B都在滑动，且$f_1=f_2$，故A、B系统水平方向动量守恒，有$m_1v_A+m_2v_B=m_1v_1+m_2v_2$，故有$v_A+2v_B=-1$ m/s，$t=t_0$时$v_A=0$，故$v_B=-0.5$ m/s，则B相对地面的速度为0.5 m/s，故B正确；

C．0~t_0过程，对方程$v_A+2v_B=-1$ m/s进行时间求和，有$x_A+2x_B=-t_0$（$x_B<0$），

又由能量守恒得$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_2v_B^2+E_p+f_1x_A+f_2(-x_B)$，得$x_A-x_B=0.1$ m，即$t=t_0$时弹簧压缩量$\Delta x=x_A-x_B=0.1$ m，故C错误；

D．0~t_0过程，A的加速度更大，在初速度大小相同情况下A先“停”下来，故A的位移大小小于B位移大小，即$x_A<-x_B$，即$x_A+x_B<0$，结合$x_A-x_B=0.1$ m，得$2x_A<0.1$ m，故传送带上的痕迹$x_A<0.05$ m，故D正确。

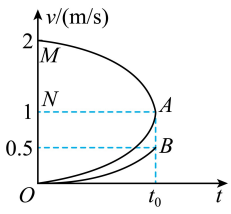
【常规方法】

AB．传送带对AB的滑动摩擦力大小相等都为$f=0.5\times1\times10N=0.25\times2\times10N=5N$，初始时$A$向右减速，$B$向右加速，故可知在$A$与传送带第一次共速前，$AB$整体所受合外力为零，系统动量守恒有$m_Av_0=m_Av+m_Bv_B$，$v=1$m/s，代入数值解得$t=t_0$时，$B$的速度为$v_B=0.5$m/s

在A与传送带第一次共速前，对任意时刻对AB根据牛顿第二定律有$f+F_{弹}=m_Aa_A$，$f+F_{弹}=m_Ba_B$

由于$m_A<m_B$，故可知$a_A>a_B$，故A错误，B正确；

C．在t_0时间内，设AB向右的位移分别为x_A，x_B；，由功能关系有$-fx_A+fx_B+\frac{1}{2}m_Av_0^2=\frac{1}{2}m_Av^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2+E_p$，得$x_A-x_B=0.1m$，故弹簧的压缩量为$\Delta x=x_A-x_B=0.1m$，故$C$错误；



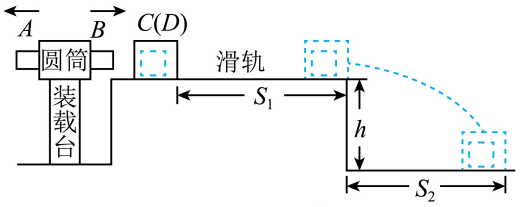
D．A与传送带的相对位移为$x_{相A}=x_A-vt_0$，B与传送带的相对为$x_{相B}=vt_0-x_B$，故可得$x_{相A}+x_{相B}=x_A-x_B=0.1m$，由于0－$t_0$时间内$A$向右做加速度逐渐增大的

减速运动，B 向右做加速度逐渐增大的加速运动，且满足 $a_A=2a_B$，作出 AB 的 $v-t$ 图像

可知 $x_{相A}$ 等于图形 MNA 的面积，$x_{相B}$ 等于图形 $NOBA$ 的面积，故可得 $x_{相A}<x_{相B}$，结合 $x_{相A}+x_{相B}=0.1m$，可知 $x_{相A}<0.05m$，故 D 正确。

故选 BD。

9. [2025 · 湖南卷]（多选）如图，某爆炸能量测量装置由装载台和滑轨等构成，C 是可以在滑轨上运动的标准测量件，其规格可以根据测量需求进行调整。滑轨安装在高度为 h 的水平面上。测量时，将弹药放入装载台圆筒内，两端用物块 A 和 B 封装，装载台与滑轨等高。引爆后，假设弹药释放的能量完全转化为 A 和 B 的动能。极短时间内 B 嵌入 C 中形成组合体 D，D 与滑轨间的动摩擦因数为 μ。D 在滑轨上运动 S_1 距离后抛出，落地点距抛出点水平距离为 S_2，根据 S_2 可计算出弹药释放的能量。某次测量中，A、B、C 质量分别为 $3m$、m、$5m$，$S_1=\dfrac{h}{\mu}$，整个过程发生在同一竖直平面内，不计空气阻力，重力加速度大小为 g。则 （　　）



A. D 的初动能与爆炸后瞬间 A 的动能相等　　B. D 的初动能与其落地时的动能相等

C. 弹药释放的能量为 $36mgh\left(1+\dfrac{S_2^2}{4h^2}\right)$　　D. 弹药释放的能量为 $48mgh\left(1+\dfrac{S_2^2}{4h^2}\right)$

答案　BD

解析　A．爆炸过程由动量守恒、能量守恒得 $\begin{cases}3mv_A=mv_B\\ \Delta E=\dfrac{1}{2}(3m)v_A^2+\dfrac{1}{2}mv_B^2\end{cases}$ 得 $v_B=3v_A$，$\Delta E=6mv_A^2$

B 嵌入 C 过程由动量守恒 $mv_B=(m+5m)v_D$　　得 $v_D=\dfrac{1}{6}v_B=\dfrac{1}{2}v_A$

故 D 的初动能 $E_{kD}=\dfrac{1}{2}(6m)v_D^2=\dfrac{3}{4}mv_A^2$，$A$ 的动能 $E_{kA}=\dfrac{1}{2}(3m)v_A^2$，两者不相等，故 A 错误；

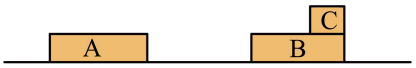
B．从 D 开始运动到落地，由动能定理 $-\mu(6m)gS_1+(6m)gh=E_{kD落}-E_{kD初}$　　得 $E_{kD初}=E_{kD落}$，B 正确；

CD．D 在滑轨上运功过程由动能定理 $-\mu(6m)gS_1=\dfrac{1}{2}(6m)v^2-\dfrac{1}{2}(6m)v_D^2$　　得 $v^2=v_D^2-2gh$

由平抛运动过程得 $h=\dfrac{1}{2}gt^2$，$S_2=vt$　　得 $v=S_2\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$

故 $S_2^2\dfrac{g}{2h}=v_D^2-2gh=(\dfrac{1}{2}v_A)^2-2gh$　　得 $\Delta E=6mv_A^2=48mgh\left(1+\dfrac{S_2^2}{4h^2}\right)$，故 C 错误，D 正确。

10. [202501 浙江卷]如图所示，光滑水平地面上放置完全相同的两长板 A 和 B，滑块 C(可视为质点) 置于 B 的右端，三者质量均为 1 kg。A 以 4 m/s 的速度向右运动，B 和 C 一起以 2 m/s 的速度向左运动，A 和 B 发生碰撞后粘在一起不再分开。已知 A 和 B 的长度均为 0.75 m，C 与 A、B 间动摩擦因数均为 0.5，则



A. 碰撞瞬间 C 相对地面静止

B. 碰撞后到三者相对静止，经历的时间为 0.2 s

C. 碰撞后到三者相对静止，摩擦产生的热量为 12 J

D. 碰撞后到三者相对静止，C 相对长板滑动的距离为 0.6 m

答案 D

解析 教材习题对比：选修一 第一章 B组

A．碰撞瞬间 C 速度不变

BCD．规定向右为正方向，“AB”系统碰撞瞬间由动量守恒 $mv_A-mv_B=2mv_{AB}$，得 $v_{AB}=1\ \text{m/s}$

假设最终 C 没有滑出长板，则根据“ABC”系统动量守恒，有 $mv_A-2mv_C=3mv_{共}$，得 $v_{共}=0$，

摩擦产生的热量 $Q=\frac{1}{2}(2m)v_{AB}^2+\frac{1}{2}mv_C^2=3\ \text{J}$，由 $Q=\mu mgs_{相对}$ 得 $s_{相对}=0.6\ \text{m}<0.75\ \text{m}$，

故假设成立，最终 C 停在 B 板上。碰撞后到三者相对静止所经历时间 $t=\frac{v_C}{\mu g}=0.4\ \text{s}$

11. [202506 浙江卷]高空抛物伤人事件时有发生，成年人头部受到 500 N 的冲击力，就会有生命危险。设有一质量为 50 g 的鸡蛋从高楼坠落，以鸡蛋上、下沿接触地面的时间差作为其撞击地面的时间，上、下沿距离为 5 cm，要产生 500 N 的冲击力，估算鸡蛋坠落的楼层为

A. 5 层　　B. 8 层　　C. 17 层　　D. 27 层

答案 C

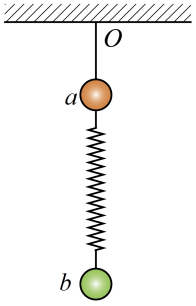
解析 选修一第一章B组习题

鸡蛋落地速度 v 满足 $v^2=2gh$，认为鸡蛋下沿落地后，鸡蛋上沿的运动是匀减速运动，并且上沿运动到地面时恰好静止，则撞击时间 $\Delta t=\frac{d}{v/2}$

对鸡蛋，由动量定理（由于自身重力远小于冲击力，故可忽略重力的冲量）得 $-F\Delta t=-mv$

故 $F\frac{2d}{v}=mv$，即 $2Fd=mv^2=2mgh$，故 $h=\frac{Fd}{mg}=\frac{500\times0.05}{0.05\times10}=50\ \text{m}$

12. [2025 · 湖北卷](多选)质量均为 m 的小球 a 和 b 由劲度系数为 k 的轻质弹簧连接,小球 a 由不可伸长的细线悬挂在 O 点,系统处于静止状态,如图所示。将小球 b 竖直下拉长度 l 后由静止释放。重力加速度大小为 g,忽略空气阻力,弹簧始终在弹性限度内。释放小球 b 后 (　　)



A. 小球 a 可能会运动

B. 若小球 b 做简谐运动,则其振幅为 $\frac{l}{2}$

C. 当且仅当 $l\leqslant\frac{mg}{k}$ 时,小球 b 才能始终做简谐运动

D. 当且仅当 $l\leqslant\frac{2mg}{k}$ 时,小球 b 才能始终做简谐运动

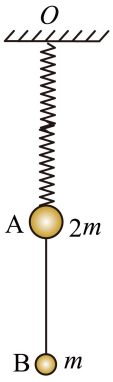
答案 AD

解析 B. 如果 A 球不动而 B 球单独振动则 B 球做简谐振动,简谐振动的平衡位置合力为零,即 B 球初始时刻位置,则可知 B 的振幅为 l,B 错误;

CD. A 球静止不动的条件为“B 球到最高点时弹簧对 A 球向上的弹力不大于 A 球的重力”,即 $k\Delta x\leqslant mg$,此时压缩的弹簧对 B 球有一个向下的弹力,有 $mg+k\Delta x=ma$,由简谐振动的对称性可得向下拉到最低点松手释放的加速度也为 a,则有 $kl=ma$,联立得 $k\Delta x=kl-mg\leqslant mg$,得 $l\leqslant\frac{2mg}{k}$,故 D 正确;

A. 若 $l>\frac{2mg}{k}$,则 A 球会发生运动,A 正确。

13. [2025 · 甘肃卷](多选)如图,轻质弹簧上端固定,下端悬挂质量为 $2m$ 的小球 A,质量为 m 的小球 B 与 A 用细线相连,整个系统处于静止状态。弹簧劲度系数为 k,重力加速度为 g。现剪断细线,下列说法正确的是 (　　)



A. 小球 A 运动到弹簧原长处的速度最大

B. 剪断细线的瞬间,小球 A 的加速度大小为 $\frac{g}{2}$

C. 小球 A 运动到最高点时,弹簧的伸长量为 $\frac{mg}{k}$

D. 小球 A 运动到最低点时,弹簧的伸长量为 $\frac{2mg}{k}$

答案 BC

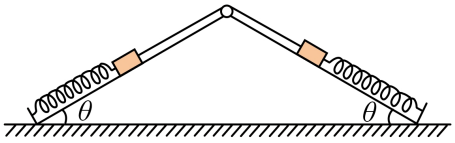
解析 B. 剪断细线之前 $F_{弹}=3mg$,剪断细线瞬间弹簧弹力不变,则对 A 有 $F_{弹}-2mg=2ma$,得 A 的加速度 $a=\frac{g}{2}$,B 正确;

A. 剪断细线后,弹力 $3mg$ 大于 A 的重力 $2mg$,则 A 先向上做加速运动,随弹力的减小,则向上的加速度减小,当加速度为零时速度最大,此时弹力等于重力,弹簧处于拉伸状态,A 错误;

C．剪断细线之前弹簧伸长量 $x_1=\frac{3mg}{k}$，剪断细线后 A 做简谐振动，在平衡位置时弹簧伸长量 $x_2=\frac{2mg}{k}$，即振幅为 $A=x_1-x_2=\frac{mg}{k}$，由对称性可知小球 A 运动到最高点时，弹簧伸长量为 $x_1-2A=\frac{mg}{k}$，C 正确；（方法二：由简谐运动对称性，最低点和最高点的加速度大小相等，方向相反，故在最高点有 $2mg-k\Delta x=2m\cdot\frac{g}{2}$ 得 $\Delta x=\frac{mg}{k}$）

D．剪断瞬间小球 A 的位置即为简谐运动的最低点，故弹簧伸长量为 $\frac{3mg}{k}$，D 错误。

14. [2025 · 河北卷]（多选）如图，截面为等腰三角形的光滑斜面体固定在水平地面上，两个相同的小物块通过不可伸长的细绳跨过顶端的轻质定滑轮，静止在斜面体两侧，细绳与斜面平行。此外，两物块分别用相同的轻质弹簧与斜面体底端相连，且弹簧均处于原长。将左侧小物块沿斜面缓慢拉下一小段距离，然后松开。弹簧始终在弹性限度内，斜面倾角为 θ，不计摩擦和空气阻力。在两物块运动过程中，下列说法正确的是（　　）



A. 左侧小物块沿斜面做简谐运动

B. 细绳的拉力随左侧小物块加速度的增大而增大

C. 右侧小物块在最高位置的加速度与其在最低位置的加速度大小相等

D. 若 θ 增大，则右侧小物块从最低位置运动到最高位置所用的时间变长

答案 AC

解析 A．对左侧小物块，设沿斜面向下的位移为 x，则有 $T+kx-mg\sin\theta=ma$

此时，对右侧小物块，有 $mg\sin\theta+kx-T=ma$，联立可得 $kx=ma$，则左侧小物块受到的合外力 $F=ma=kx$，方向与位移方向相反，故其做简谐运动，故 A 正确；

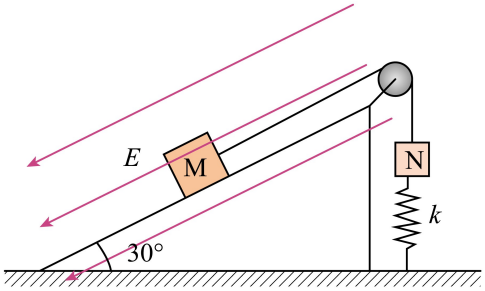
B．根据以上分析，可得 $T=mg\sin\theta$，绳拉力保持不变，故 B 错误；

C．同理可知，右侧小物块也做简谐运动，根据对称性，其在最高和最低位置的加速度大小相等，故 C 正确；

D．弹簧振子振动周期 $T_{周}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$，与斜面夹角无关，故 D 错误。

故选 AC。

15. [2025 · 海南卷]（多选）一绝缘的固定倾斜斜面，斜面倾角为30°，空间中存在沿斜面向下的匀强电场，电场强度为$E=\frac{3mg}{2q}$。质量为m的物块M、N用一根不可伸长的轻绳绕过滑轮连接，M带正电，电荷量为q，N不带电，N一端与弹簧连接，弹簧另一端固定在地面上，劲度系数为k。初始时有外力作用使M静止在斜面上，轻绳恰好伸直，使M从静止释放，第一次到达最低点的时间为t，不计一切摩擦。则（　　）



A. 释放时M的加速度为$2g$

B. M下滑的最大速度为$\sqrt{\frac{2mg^2}{k}}$

C. M下滑最大距离为$\frac{3mg}{k}$

D. M下滑的距离为$\frac{mg}{k}$时，所用时间为$\frac{t}{3}$

答案 BD

解析 简谐运动

A．初始时轻绳无拉力，弹簧弹力等于N的重力，弹簧处于压缩状态，即$kx_1=mg$。释放M时轻绳拉力突变，弹簧弹力不突变，对M有$qE+mg\sin30°-T=ma$，对N有$T+kx_1-mg=ma$，联立得$a=g$，A错误；

B．当M、N的加速度为零时M的速度最大，对M有$qE+mg\sin30°-T=0$，对N有$T+kx_2-mg=0$，联立得此时弹簧形变量$x_2=-\frac{mg}{k}=-x_1$，即弹簧处于伸长状态。从M静止释放到下滑至最大速度过程中，初末状态弹性势能相等，M位移为$s=x_1-x_2=\frac{2mg}{k}$，对系统M、N由能量守恒得$qEs+mgs\sin30°=mgs+2\times\frac{1}{2}mv_m^2$，得$v_m=\sqrt{gs}=\sqrt{\frac{2mg^2}{k}}$，$B$正确；

C．以M速度最大位置为原点，沿斜面向下为正方向建立x轴，当M运动到x位置时，对M、N系统，沿轻绳方向的合外力$F=qE+mg\sin30°-mg-k(x+\frac{mg}{k})=-kx$，即$M$、$N$做简谐运动，振幅$A=s=\frac{2mg}{k}$。

故M下滑最大距离为$2A=\frac{4mg}{k}$，C错误；

D．M简谐运动周期$T=2t$，M下滑的距离为$\frac{mg}{k}=\frac{1}{2}A$时，所用时间$\Delta t=\frac{60°}{360°}T=\frac{1}{3}t$，$D$正确。

16. [2025 · 江苏卷]如图所示，弹簧一端固定，另一端与光滑水平面上的木箱相连，箱内放置一小物块，物块与木箱之间有摩擦。压缩弹簧并由静止释放，释放后物块在木箱上有滑动，滑动过程中不与木箱前后壁发生碰撞，不计空气阻力，则 （　　）



A. 释放瞬间，物块加速度为零

B. 物块和木箱最终仍有相对运动

C. 木箱第一次到达最右端时，物块速度为零

D. 物块和木箱的速度第一次相同前，物块受到的摩擦力不变

答案 D

解析 A．释放时物块与木箱发生相对滑动，即物块受到滑动摩擦力，加速度不为0，故A错误；

B．假设全过程始终有相对运动，则滑动摩擦力持续生热，系统的机械能将一直减小下去，与客观规律不符，故B错误；

D．初始时木箱相对物块向右运动，在两者第一次共速前，物块相对木箱一直向左运动，一直受到向右的恒定滑动摩擦力，故D正确；

C．极限法 若滑动摩擦力足够小$(f\to 0)$，则木箱第一次到达最右端前近似做简谐运动，时间约为$\frac{T}{2}$，

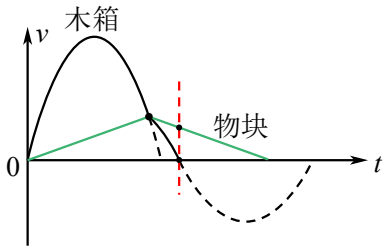
物块在该时间内几乎全程加速，故木箱到达最右端时物块速度不为零，故C错误。

【补充】①物块m与木箱M共速后能保持相对静止的条件是“两物体之间的静摩擦力足以提供物块随木箱共同加速的加速度”，即$\frac{f_{静}}{m}\geqslant\frac{F_{外}}{m+M}$。

②在两者相对静止前，“木箱和弹簧”系统机械能一直损失，弹簧最大弹力也在减小，当最大弹力减小到$F_m=\frac{m+M}{m}f_{静}$后，只要后续两者达到共速，就能相对静止，一起做简谐运动。

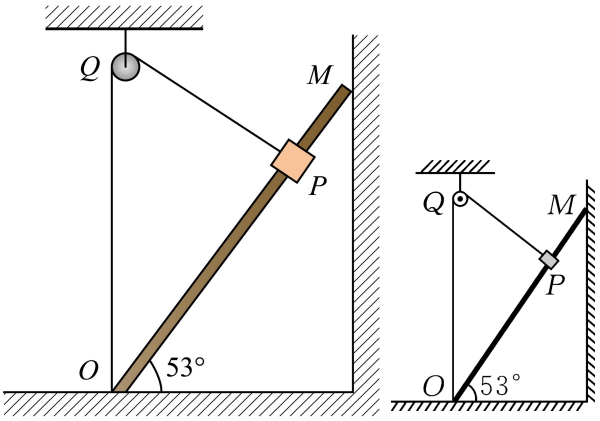
③在物块m和木箱M的速度第一次相同前，木箱受到水平向左的恒定摩擦力μmg，故共速前木箱做简谐运动（平衡位置在弹簧原长的左侧）。共速后若仍然相对运动，只要木箱受到的摩擦力恒定，则仍做简谐运动，周期$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$不变，只改变平衡位置。

④若滑动摩擦力足够小$(f\to 0)$，可以结合$v-t$图像分析。



在木箱第一次减速阶段达到共速，则后续仍有可能相对滑动，此时物块相对木板向右运动，摩擦力方向改变，物块将做加速度为μg的匀减速运动，而木箱的加速度比物块更大，先减速到零，故木箱到达最右端时物块仍有速度。

17. [2025 · 陕西卷]（多选）如图，与水平面成 53° 夹角且固定于 O、M 两点的硬直杆上套着一质量为 1 kg 的滑块，弹性轻绳一端固定于 O 点，另一端跨过固定在 Q 处的光滑定滑轮与位于直杆上 P 点的滑块拴接，弹性轻绳原长为 OQ，PQ 为 1.6 m 且垂直于 OM。现将滑块无初速度释放，假设最大静摩擦力与滑动摩擦力相等。滑块与杆之间的动摩擦因数为 0.16，弹性轻绳上弹力 F 的大小与其伸长量 x 满足 $F=kx$，$k=10\ \mathrm{N/m}$，g 取 $10\ \mathrm{m/s^2}$，$\sin 53°=0.8$。则滑块 （　　）



A. 与杆之间的滑动摩擦力大小始终为 1.6 N

B. 下滑与上滑过程中所受滑动摩擦力的冲量相同

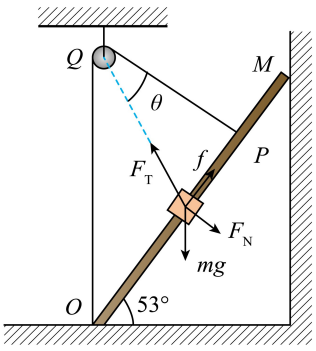
C. 从释放到静止的位移大小为 0.64 m

D. 从释放到静止克服滑动摩擦力做功为 2.56 J

答案 AC

解析 简谐运动

A．当滑块下滑后弹性轻绳与 PQ 间夹角为 θ 时，对滑块进行受力分析，如图所示。其中重力垂直杆的分量 $mg\cos 53°=6\ \mathrm{N}$，拉力垂直杆的分量 $F_T\cos\theta=k\dfrac{QP}{\cos\theta}\cdot\cos\theta=k\cdot QP=16\ \mathrm{N}$，故杆的支持力 $F_N=F_T\cos\theta-mg\cos 53°=10\ \mathrm{N}$ 不变，滑动摩擦力大小 $f=\mu F_N=1.6\ \mathrm{N}$ 不变，A 正确；



B．下滑与上滑过程中所受滑动摩擦力的方向不同，则下滑与上滑过程中所受滑动摩擦力的冲量(矢量)不相同，B 错误；

C．滑块位移为 x 时，拉力沿杆的分量 $F_T\sin\theta=k\dfrac{QP}{\cos\theta}\cdot\sin\theta=k\cdot QP\tan\theta=kx$，下滑过程中滑块所受合外力 $F_{下}=mg\sin 53°-f-kx=6.4-10x$ 是 x 的线性函数，故下滑过程为简谐运动，平衡位置为 $x_1=0.64\ \mathrm{m}$；

同理，上滑过程滑块所受合外力 $F_{上}=-mg\sin 53°-f+kx=-9.6+10x$，仍为简谐运动，平衡位置为 $x_2=0.96\ \mathrm{m}$。

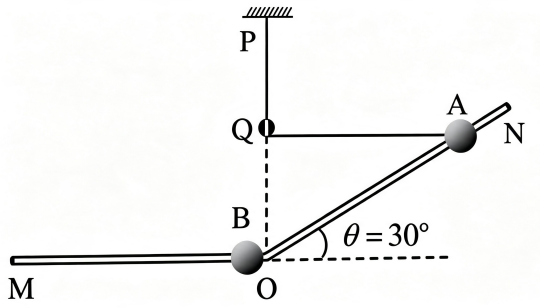
当滑块第一次下滑到 $x=1.28\ \mathrm{m}$ 时速度为零，然后以 $x_2=0.96\ \mathrm{m}$ 为平衡位置做简谐运动上滑，运动至 $x=0.64\ \mathrm{m}$ 时达到最大位移处速度为零，此时摩擦力发生突变，刚好受力平衡，故在 $x=0.64\ \mathrm{m}$ 处静止，故 C 正确；

D．从释放到静止，滑块路程 $s=1.28+0.64=1.92\ \mathrm{m}$，故克服滑动摩擦力做功 $W_f=fs=1.92\times 1.6=3.072\ \mathrm{J}$，故 D 错误。

18. [2025 · 江西卷]如图所示，在竖直平面内一轻质弹力绳的一端固定于 P 点，另一端经光滑孔钉 Q 连接质量为 m 的小球 A，该球穿过与水平直杆 OM（足够长）成 $30°$ 角的直杆 ON，两杆平滑连接。点 P、Q 和 O 在同一竖直线上，PQ 间距为弹力绳原长。将小球 A 拉至与 Q 等高的位置由静止释放。当小球 A 首次运动到斜杆底端 O 点后，在水平方向与穿在直杆 OM 且静止于 O 点、质量为 $3m$ 的小球 B 发生弹性碰撞。小球 A、B 与杆间的动摩擦因数均为 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$，且最大静摩擦力等于滑动摩擦力。弹力绳始终在弹性限度内且满足胡克定律，劲度系数为 k，其弹性势能 E_p 与伸长量 x 的关系为 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$。已知重力加速度为 g，OQ 间距为 $\frac{2mg}{k}$。

(1) 求小球 A 下滑过程中滑动摩擦力的大小；

(2) 若从碰撞后开始计时，小球 A 第一次上滑过程中离 O 点的距离 x 与时间 t 关系为 $x=A_0\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$（$A_0$ 为常数），求小球 A 第一次速度为零时，小球 B 与 O 点的距离。



答案 (1)$f=\frac{1}{2}mg$　　(2)$s=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\pi-\frac{\sqrt{3}}{24}\pi^2\right)\frac{mg}{k}$

解析 简谐运动

(1) 设小球 A 下滑到某位置时，绳子与直杆 ON 的夹角为 α，OQ 间距 $h=\frac{2mg}{k}$，

此时绳子拉力 $F=k\Delta x=k\cdot\frac{h\cos\theta}{\sin\alpha}=\frac{2mg\cos\theta}{\sin\alpha}$，小球 A 受到的支持力 $F_N=F\sin\alpha-mg\cos\theta=mg\cos\theta$，故滑动摩擦力 $f=\mu F_N=\frac{1}{2}mg$，大小不变。

(2) 小球从静止滑到 O 点过程中，由能量守恒得

$\frac{1}{2}k(\frac{h}{\tan\theta})^2+mgh=\frac{1}{2}kh^2+\frac{1}{2}mv_1^2+f\cdot\frac{h}{\sin\theta}$　　得 $v_1=h\sqrt{\frac{2k}{m}}=2g\sqrt{\frac{2m}{k}}$

A、B 弹性碰撞过程，由水平方向动量守恒、动能守恒得

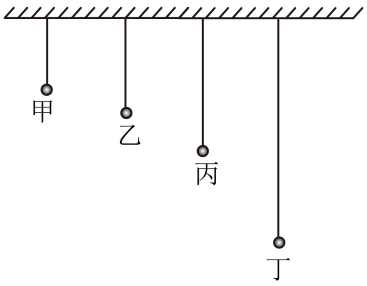
$\begin{cases}mv_1=mv_A+3mv_B\\ \frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}(3m)v_B^2\end{cases}$　得 $v_A=-\frac{1}{2}v_1$，$v_B=\frac{1}{2}v_1=g\sqrt{\frac{2m}{k}}$

由 $x=A_0\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$ 可知 A 第一次上滑过程做简谐运动，小球 A 第一次速度为零时，距离达到最大值 $x_{max}=A_0$，则 $\sqrt{\frac{k}{m}}t_A=\frac{\pi}{2}$，得 $t_A=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}$

小球 B 碰撞后做匀减速运动，小球 B 速度减为 0 所经历的时间 $t_B=\frac{v_B}{\mu g}=\frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{2m}{k}}$

由于 $t_B>t_A$，故 $s=v_Bt_A-\frac{1}{2}\mu gt_A^2$　　得 $s=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\pi-\frac{\sqrt{3}}{24}\pi^2\right)\frac{mg}{k}$

19. [2025 · 四川卷]如图所示，甲、乙、丙、丁四个小球用不可伸长的轻绳悬挂在天花板上，从左至右摆长依次增加，小球静止在纸面所示竖直平面内。将四个小球垂直纸面向外拉起一小角度，由静止同时释放。释放后小球都做简谐运动。当小球甲完成 2 个周期的振动时，小球丙恰好到达与小球甲同侧最高点，同时小球乙、丁恰好到达另一侧最高点。则 （　　）



A. 小球甲第一次回到释放位置时，小球丙加速度为零

B. 小球丁第一次回到平衡位置时，小球乙动能为零

C. 小球甲、乙的振动周期之比为 3 : 4

D. 小球丙、丁的摆长之比为 1 : 2

答案 C

解析 由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ 可知 $T_{丁}>T_{丙}>T_{乙}>T_{甲}$，根据题意

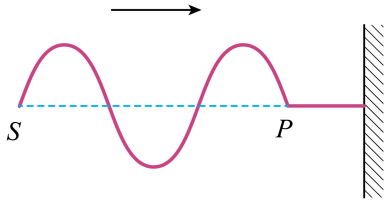
得 $2T_{甲}=\dfrac{3T_{乙}}{2}=T_{丙}=\dfrac{T_{丁}}{2}$，得 $T_{乙}=\dfrac{4}{3}T_{甲}$，$T_{丙}=2T_{甲}$，$T_{丁}=4T_{甲}$。

CD．$T_{甲}:T_{乙}=3:4$；$T_{丙}:T_{丁}=1:2$，由 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ 得 $L_{丙}:L_{丁}=1:4$，故 C 正确，D 错误；

A．小球甲第一次回到释放位置时，经过 $T_{甲}$（即 $\dfrac{T_{丙}}{2}$）时间，故小球丙到达另一侧最高点，此时加速度最大，故 A 错误；

B．$T_{丁}=3T_{乙}$，小球丁第一次回到平衡位置时，经过 $\dfrac{T_{丁}}{4}$（即 $\dfrac{3T_{乙}}{4}$）时间，此时小球乙经过平衡位置，此时速度最大，动能最大，故 B 错误。

20. [2025 · 北京卷]质点 S 沿竖直方向做简谐运动，在绳上形成的波传到质点 P 时的波形如图所示，则



A. 该波为纵波

B. 质点 S 开始振动时向上运动

C. S、P 两质点振动步调完全一致

D. 经过一个周期，质点 S 向右运动一个波长距离

答案 B

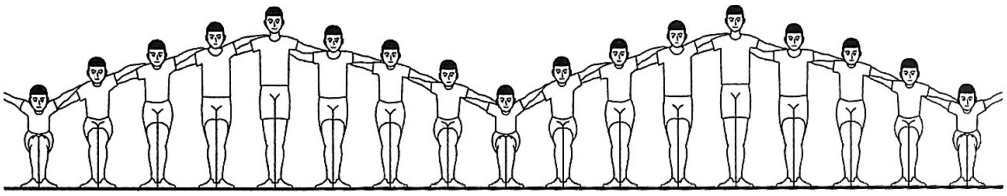
解析 A．由图可知，该波上质点的振动方向与波动传播方向垂直，是横波，故 A 错误；

B．由图，根据同侧法可知，质点 P 开始振动的方向向上，则质点 S 开始振动时向上运动，故 B 正确；

C．由图可知，S、P 两质点平衡位置的距离为 $\dfrac{3}{2}\lambda$，则两质点振动步调相反，故 C 错误；

D．质点不能随波传播，只能在平衡位置附近上下振动，故 D 错误。

21. [2025 · 理综卷(新疆西藏)](多选)一组身高相近的学生沿一直线等间隔排成一排,从左边第一位同学开始,依次周期性地“下蹲、起立”,整个队列呈现类似简谐波的波浪效果,如图所示。假定某次游戏中,形成的波形的波长为4 m,左边第一位同学蹲至最低点时,队列中另一同学恰好站直,则这两位同学间的距离可能是 (　　)

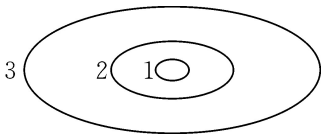


A. 1 m　　B. 2 m　　C. 5 m　　D. 6 m

答案 *BD*

解析 左边第一位同学蹲至最低点时(此时为波谷),队列中另一同学恰好站直(此时为波峰),则这两位同学间的距离为半波长的奇数倍,即2 m的奇数倍,故选*BD*。

22. [2025 · 重庆卷](多选)一浮筒(视为质点)在池塘水面以频率f上下振动,水面泛起圆形的涟漪(视为简谐波)。用实线表示波峰位置,某时刻第1圈实线的半径为r,第3圈实线的半径为$9r$,如图所示,则 (　　)



A. 该波的波长为$4r$　　B. 该波的波速为$2fr$

C. 此时浮筒在最低点　　D. 再经过$\frac{1}{4f}$,浮筒将在最低点

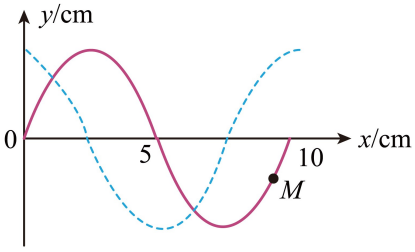
答案 *AD*

解析 *A*. 由题意得$2\lambda=9r-r$,得$\lambda=4r$,故*A*正确;

B. 波速$v=\lambda f=4rf$,故*B*错误;

CD. 某时刻第1圈实线的半径$r=\frac{1}{4}\lambda$,可得此时浮筒处于平衡位置。由于波向外传播,可知此时浮筒处于平衡位置向下振动,故再经过$\frac{1}{4f}=\frac{1}{4}T$,浮筒将在最低点,故*C*错误,*D*正确。故选*AD*。

23. [2025·海南卷]如图所示，实线与虚线分别是沿着 x 轴正方向传播的一列简谐横波在 $t=0$ 和 $t=0.5\,\mathrm{s}$ 时的波形图，已知波的周期 $T>0.5\,\mathrm{s}$。M 是波中一个质点。则下列关于该列波说法正确的是（　　）



A. 波长为 5 cm　　B. 波速为 10 cm/s

C. 周期为 1 s　　D. $t=0$ 时刻质点 M 向下振动

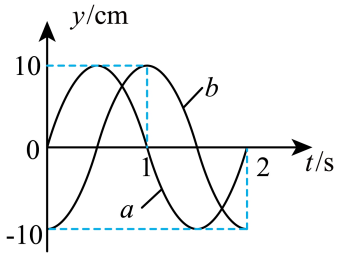
答案 D

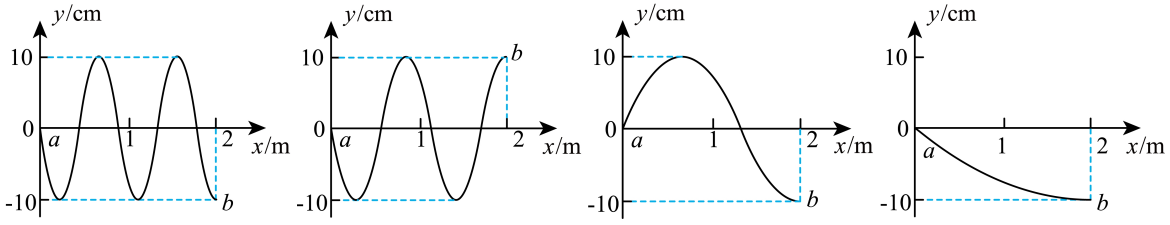
解析 A．由图可知波长为 10cm，故 A 错误；

BC．$t=0$ 时刻到 $t=0.5\,\mathrm{s}$ 的过程中，$\Delta t=nT+\frac{3}{4}T(n=0,1,2\cdots)$，已知波的周期 $T>0.5\,\mathrm{s}$，则 n 只能取 0，则 $T=\frac{2}{3}\,\mathrm{s}$，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=15\mathrm{cm/s}$，故 BC 错误；

D．简谐横波沿着 x 轴正方向传播，根据同侧法可知 $t=0$ 时刻，质点 M 向下振动，故 D 正确。

24. [2025·陕西卷]（多选）一列简谐横波在介质中沿直线传播，其波长大于 1 m，a、b 为介质中平衡位置相距 2 m 的两质点，其振动图像如图所示。则 $t=0$ 时的波形图可能为（　　）





答案 CD

解析 A 选项中波长小于 1，故 A 错误；$t=0$ 时 b 的位移为 $-10\,\mathrm{cm}$，故 B 错误；故 CD 可能正确。

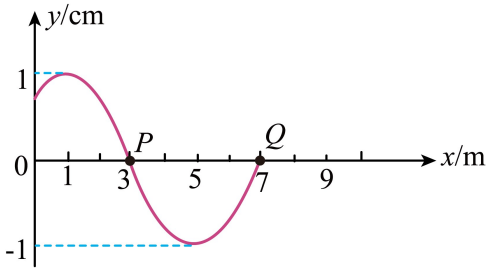
①若波从 a 传到 b，则有 $x_{ab}=\frac{1}{4}\lambda+n\lambda,(n=0,1,2\ldots)$，得 $\lambda=\frac{8}{1+4n}>1$，得 $n=0$ 或 1，即 $x_{ab}=\frac{1}{4}\lambda$ 或 $\frac{5}{4}\lambda$

②若波从 b 传到 a，则有 $x_{ab}=\frac{3}{4}\lambda+n\lambda,(n=0,1,2\ldots)$，得 $\lambda=\frac{8}{3+4n}>1$，得 $n=0$ 或 1，即 $x_{ab}=\frac{3}{4}\lambda$ 或

$\frac{7}{4}\lambda$

同时 $t=0$ 时，a 处于平衡位置，b 处于波谷位置，结合图像可知 AD 符合；

25. [2025 · 天津卷]（多选）位于坐标原点的波源从平衡位置开始沿 y 轴运动，在均匀介质中形成了一列沿 x 轴正方向传播的简谐波，P 和 Q 是平衡位置分别位于 $x=3\,\mathrm{m}$ 和 $x=7\,\mathrm{m}$ 处的两质点，$t=0$ 时波形如图所示，此时 Q 刚开始振动，$t=1\,\mathrm{s}$ 时 Q 第一次到达波谷。则 （　　）



A. 该波在此介质中的波速为 $2\,\mathrm{m/s}$

B. 波源开始振动时的运动方向沿 y 轴负方向

C. P 的位移随时间变化的关系式为 $y=\sin\pi t\,\mathrm{cm}$

D. 平衡位置位于 $x=9\,\mathrm{m}$ 处的质点在 $t=6\,\mathrm{s}$ 时第一次到达波峰

答案 AB

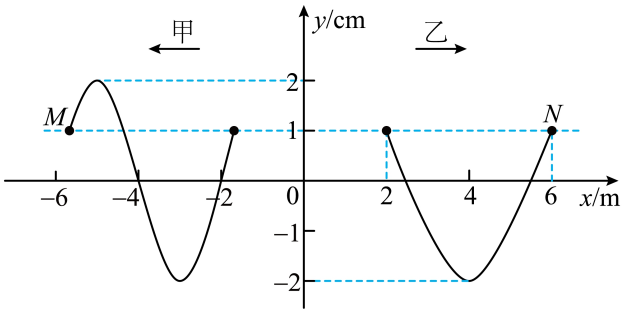
解析 AB．由图根据同侧法可知，Q 点开始振动时的运动方向沿 y 轴负方向，则波源开始振动时的运动方向沿 y 轴负方向，由图可知，该波的波长为 $\lambda=2\times(7-3)\,\mathrm{m}=8\,\mathrm{m}$，根据题意可知，周期为 $T=4t=4\,\mathrm{s}$，则该波在此介质中的波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=2\,\mathrm{m/s}$（或 $v=\frac{s}{t}=\frac{2\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}}=2\,\mathrm{m/s}$），故 AB 正确；

C．根据公式可得 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{1}{2}\pi\mathrm{rad/s}$，由同侧法可知，此时 P 点沿 y 轴正方向振动，振幅为 $1\mathrm{cm}$，则 P 的位移随时间变化的关系式为 $y=\sin\frac{\pi}{2}t\mathrm{cm}$，故 C 错误；

D．该波传播到 $x=9\,\mathrm{m}$ 处的时间为 $t'=\frac{9-7}{2}\mathrm{s}=1\,\mathrm{s}$，质点起振方向沿 y 轴负方向，则第一次到达波峰的时间为 $t''=\frac{3}{4}T=3\,\mathrm{s}$，则平衡位置位于 $x=9\,\mathrm{m}$ 处的质点第一次到达波峰的时间为 $t=t'+t''=4\,\mathrm{s}$，故 D 错误。

故选 AB.

26. [2025·山东卷](多选)均匀介质中分别沿x轴负向和正向传播的甲、乙两列简谐横波,振幅均为2 cm,波速均为1 m/s,M、N为介质中的质点。$t=0$时刻的波形图如图所示,M、N的位移均为1 cm。下列说法正确的是 (　　)



A. 甲波的周期为6 s　　B. 乙波的波长为6 m

C. $t=6$ s时,M向y轴正方向运动　　D. $t=6$ s时,N向y轴负方向运动

答案 *BD*

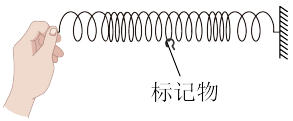
解析 *A*. 由图可知甲波的波长$\lambda_{甲}=4$ m,故甲波周期$T_{甲}=\frac{\lambda_{甲}}{v}=4$ s,*A*错误;

B. 由于$t=0$时N点位移为半个振幅(即$x=\frac{A}{2}$),故N点向下运动到最大负位移处所需的时间$t=\frac{1}{12}T+\frac{1}{4}T=\frac{1}{3}T$,该过程乙波向右传播了$vt=\frac{1}{3}vT=2$ m,故乙波周期$T_{乙}=6$ s,乙波的波长$\lambda_{乙}=vT_{乙}=6$ m,*B*正确;

C. $t=6\text{ s}=1.5T_{甲}$,由图像可知M向y轴负方向运动,*C*错误;

D. $t=6\text{ s}=T_{乙}$,由图像可知N向y轴负方向运动,*D*正确。

27. [2025·安徽卷]如图,某同学演示波动实验,将一根长而软的弹簧静置在光滑水平面上,弹簧上系有一个标记物,在左端沿弹簧轴线方向周期性地推、拉弹簧,形成疏密相间的机械波。下列表述正确的是 (　　)



A. 弹簧上形成的波是横波

B. 推、拉弹簧的周期越小,波长越长

C. 标记物振动的速度就是机械波传播的速度

D. 标记物由静止开始振动的现象表明机械波能传递能量

答案 *D*

解析 *A*. 弹簧上形成的波的振动方向与传播方向平行是纵波,故*A*错误;

B. 同一介质中,波的传播速度相同,则波的传播速度不变,推、拉弹簧的周期越小,波的周期越小,由公式$\lambda=vT$可知,波长越短,故*B*错误;

C. 标记物振动的速度反应的是标志物在平衡位置附近往复运动的快慢,机械波的传播速度是波在介质中的传播速度,二者不是同一个速度,故*C*错误;

D. 标记物由静止开始振动,说明它获得了能量,这是因为机械波使得能量传递给标记物,则标记物由静止开始振动的现象表明机械波能传递能量,故*D*正确。

故选 D。

28. [2025 · 福建卷]沙漠中的蝎子能感受来自地面震动的纵波和横波，某波源同时产生纵波与横波，已知纵波速度大于横波速度，则纵波波长_____(选填“大于”“小于”或“等于”)横波波长；若波源振动后，蝎子感知到来自纵波与横波的振动间隔为 Δt，纵波速度为 v_1，横波速度为 v_2，则波源与蜗子的距离为_____。

答案 大于、$\dfrac{v_1v_2\Delta t}{v_1-v_2}$

解析 由 $v=\lambda f$ 可知频率相同情况下，纵波速度大，则纵波波长大；

由 $\dfrac{x}{v_2}-\dfrac{x}{v_1}=\Delta t$ 可得 $x=\dfrac{v_1v_2\Delta t}{v_1-v_2}$

29. [2025 · 河南卷](多选)贾湖骨笛是河南博物院镇馆之宝之一，被誉为“中华第一笛”。其中一支骨笛可以发出 A_5、B_5、C_6、D_6、E_6 等音。已知 A_5 音和 D_6 音所对应的频率分别为 880 Hz 和 1175 Hz，则

A. 在空气中传播时，A_5 音的波长大于 D_6 音的

B. 在空气中传播时，A_5 音的波速小于 D_6 音的

C. 由空气进入水中，A_5 音和 D_6 音的频率都变大

D. 由空气进入水中，A_5 音的波长改变量大于 D_6 音的

答案 AD

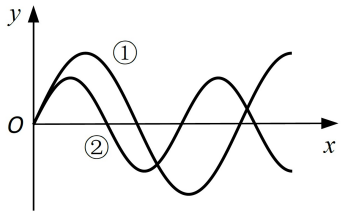
解析 B．声音在相同介质中的传播速度相同，因此 A_5 和 D_6 的传播速度相同，B 错误；

A．由 $\lambda=vT=\dfrac{v}{f}$ 可知，A_5 的波长大于 D_6 的波长，A 正确；

C．机械波频率等于波源的频率，与介质无关，故空气进入水中，频率不发生变化，C 错误；

D．空气中 $\lambda_0=\dfrac{v}{f}$，在水中 $\lambda=\dfrac{v'}{f}$，故 $\Delta\lambda=\dfrac{v'-v}{f}=\dfrac{\Delta v}{f}$，两种音的速度改变量 Δv 相同，可知频率越小其对应的波长改变量越大，D 正确。

30. [2025 · 上海卷]演奏特雷门琴时，一手控制音调，手与竖直天线间距越小，琴发出的音调越高，另一手控制音量，手与水平天线间距越小，琴发出的音量越小。某特雷门琴输出的一列简谐声波的波形如图中①所示，为使其输出一列波形如②所示的简谐声波，应_____。 (　　)



A. 一手靠近竖直天线；另一手远离水平天线　　B. 一手远离竖直天线；另一手远离水平天线

C. 一手靠近竖直天线；另一手靠近水平天线　　D. 一手远离竖直天线；另一手靠近水平天线

答案 C

解析 人手靠近竖直天线时，音调变高即波的频率变大，靠近水平天线时，声音变小，即波的振幅变小。声波由图像①变成图像②即频率变大了，振幅变小了，可得人手靠近竖直天线、靠近水平天线。故选 C。

31. [2025 · 广东卷]关于受迫振动和多普勒效应，下列说法正确的是 （　　）

A. 系统的固有频率与驱动力频率有关

B. 只要驱动力足够大，共振就能发生

C. 应用多普勒效应可以测量车辆的速度

D. 观察者与波源相互远离时，接收到的波的频率比波源的频率大

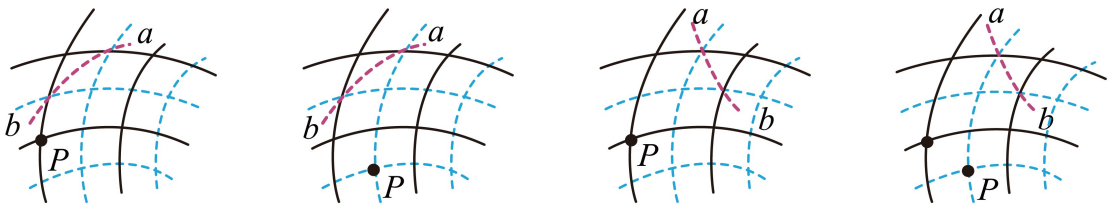
答案 *C*

解析 *A*．系统的固有频率只与系统本身有关，与驱动力频率无关，*A* 错误；

B．只有驱动力频率与系统固有频率相同时，共振才能发生，*B* 错误；

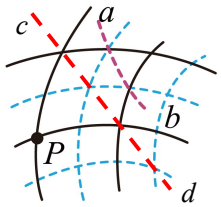
CD．根据多普勒效应可知观察者与波源相互远离时，接收到的波的频率比波源的频率小，观察者与波源相互靠近时，接收到的波的频率比波源的频率大，所以应用多普勒效应可以测量车辆的速度，*C* 正确，*D* 错误。

32. [2025 · 黑吉辽内卷]平衡位置在同一水平面上的两个振动完全相同的点波源，在均匀介质中产生两列波。若波峰用实线表示，波谷用虚线表示，*P* 点位于其最大正位移处，曲线 *ab* 上的所有点均为振动减弱点，则下列图中可能满足以上描述的是

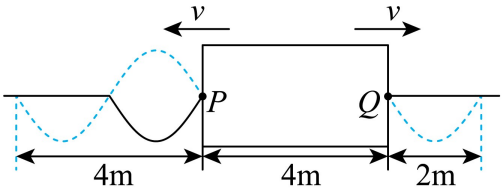


答案 *C*

解析 如图虚线 *cd* 上各点均为振动加强点，排除 *A* 选项



33. [2025 · 云南卷]如图所示，均匀介质中矩形区域内有一位置未知的波源。*t* = 0 时刻，波源开始振动产生简谐横波，并以相同波速分别向左、右两侧传播，*P*、*Q* 分别为矩形区域左右两边界上振动质点的平衡位置。*t* = 1.5 s 和 *t* = 2.5 s 时矩形区域外波形分别如图中实线和虚线所示，则 （　　）



A. 波速为 2.5 m/s

B. 波源的平衡位置距离 *P* 点 1.5 m

C. *t* = 1.0 s 时，波源处于平衡位置且向下运动

D. *t* = 5.5 s 时，平衡位置在 *P*、*Q* 处的两质点位移相同

答案 D

解析 A．根据波形可知 $\lambda=4\,\mathrm{m}$，若图中两个时刻波形是画完整的，则波速 $v=\dfrac{2\,\mathrm{m}}{2.5\,\mathrm{s}-1.5\,\mathrm{s}}=2\,\mathrm{m/s}$（【一般讨论】1 s 内波传播 $\dfrac{\lambda}{2}+n\lambda$ 距离，即 $v=(2+4n)\,\mathrm{m/s}$。由于 $t=1.5\,\mathrm{s}$ 时未传播到右边界，应有 $vt\leqslant 4\,\mathrm{m}$，即 $1.5(2+4n)\leqslant 4$，得 $n=0$，故 $v=2\,\mathrm{m/s}$），故 A 错误；

B．设波源的平衡位置距离 P 点距离为 x_0，由左侧 $t=1.5\,\mathrm{s}$ 时的波形可知 $\dfrac{2+x_0}{v}=1.5\,\mathrm{s}$，得 $x_0=1\,\mathrm{m}$，故 B 错误；

C．周期 $T=\dfrac{\lambda}{v}=2\,\mathrm{s}$，由左侧实线波形可知波源起振方向向下，由于 $t=1.0\,\mathrm{s}=\dfrac{1}{2}T$，故此时波源处于平衡位置且向上运动，故 C 错误；

D．从 $t=1.5\,\mathrm{s}$ 到 $t=5.5\,\mathrm{s}$ 过程，结合左侧实线可知 P 又振动 $4\,\mathrm{s}=2T$ 后位移为 0；从 $t=2.5\,\mathrm{s}$ 到 $t=5.5\,\mathrm{s}$ 过程，结合右侧虚线可知 Q 又振动 $3\,\mathrm{s}=1.5T$ 后位移为 0，故 D 正确

34. [202501 浙江卷]（多选）如图 1 所示，两波源 S_1 和 S_2 分别位于 $x=0$ 与 $x=12\,\mathrm{m}$ 处，以 $x=6\,\mathrm{m}$ 为边界，两侧为不同的均匀介质。$t=0$ 时两波源同时开始振动，其振动图像相同，如图 2 所示。$t=0.1\,\mathrm{s}$ 时 $x=4\,\mathrm{m}$ 与 $x=6\,\mathrm{m}$ 两处的质点开始振动。不考虑反射波的影响，则

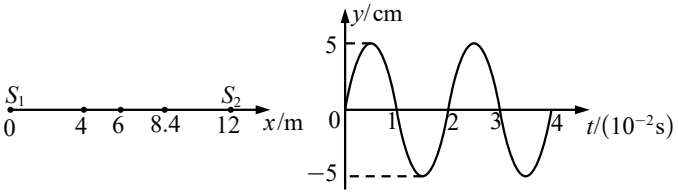


图 1

图 2

A. $t=0.15\,\mathrm{s}$ 时两列波开始相遇

B. 在 $6\,\mathrm{m}<x\leqslant 12\,\mathrm{m}$ 间 S_2 波的波长为 1.2 m

C. 两列波叠加稳定后，$x=8.4\,\mathrm{m}$ 处的质点振动减弱

D. 两列波叠加稳定后，在 $0<x<6\,\mathrm{m}$ 间共有 7 个加强点

答案 BC

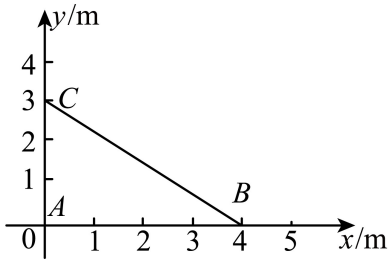
解析 A．$t=0.1\,\mathrm{s}$ 时 S_2 正好传播到 $x=6\,\mathrm{m}$ 处，故两波在 $x=5\,\mathrm{m}$ 处相遇，左侧介质中波速 $v_1=\dfrac{4}{0.1}=40\,\mathrm{m/s}$，故相遇时刻 $t_1=\dfrac{5}{40}=0.125\,\mathrm{s}$；

B．右侧介质中波速 $v_2=\dfrac{6}{0.1}=60\,\mathrm{m/s}$，波源周期 $T=0.02\,\mathrm{s}$，故对应波长 $\lambda_2=v_2T=1.2\,\mathrm{m}$；

C．S_1 传播到 $x=6\,\mathrm{m}$ 所需时间 $t=\dfrac{6}{40}=0.15\,\mathrm{s}$，此时 S_2 正从平衡位置向下运动，此后可等效为在 $x=6\,\mathrm{m}$ 和 $x=12\,\mathrm{m}$ 处的两个波源（相位相反）在右介质中传播，干涉稳定后，在两波源中点 $x=9\,\mathrm{m}$ 处为振动减弱点。在两波源连线上，相邻两减弱点距离为 $\dfrac{\lambda_2}{2}=0.6\,\mathrm{m}$，故 $x=8.4\,\mathrm{m}$ 也为减弱点；

D．$t=0.1\,\mathrm{s}$ 时 S_1 正从平衡位置向上运动，此后可等效为在 $x=0\,\mathrm{m}$ 和 $x=6\,\mathrm{m}$ 处的两个波源（相位相同）在左介质中传播，干涉稳定后，加强点满足 $\Delta s=n\lambda_1$，其中 $\lambda_1=v_1T=0.8\,\mathrm{m}$，$-6\,\mathrm{m}<\Delta s<6\,\mathrm{m}$，解得 $-7.5<n<7.5$，故有 15 个加强点。

35. [2025 · 湖南卷]（多选）如图，$A(0,0)$、$B(4,0)$、$C(0,3)$ 在 xy 平面内，两波源分别置于 A、B 两点。$t=0$ 时，两波源从平衡位置起振，起振方向相同且垂直于 xy 平面，频率均为 2.5 Hz。两波源持续产生振幅相同的简谐横波，波分别沿 AC、BC 方向传播，波速均为 10 m/s。下列说法正确的是（　　）



A. 两横波的波长均为 4 m　　B. $t=0.4$ s 时，C 处质点加速度为 0

C. $t=0.4$ s 时，C 处质点速度不为 0　　D. $t=0.6$ s 时，C 处质点速度为 0

答案　AD

解析　A．两横波的波长均为 $\lambda=\frac{v}{f}=4\,\text{m}$，故 A 正确；

BC．两列波传到 C 处所需时间分别为 $t_1=\frac{3}{10}\,\text{s}=0.3\,\text{s}$，$t_2=\frac{\sqrt{3^2+4^2}}{10}\,\text{s}=0.5\,\text{s}$，又 $T=\frac{1}{f}=0.4\,\text{s}$，故 $t=0.4$ s 时，A 处波已传到 C 处且振动了 $\frac{1}{4}T$，故 C 处质点处于正向或负向最大位移处，加速度最大，速度为零，故 BC 错误；

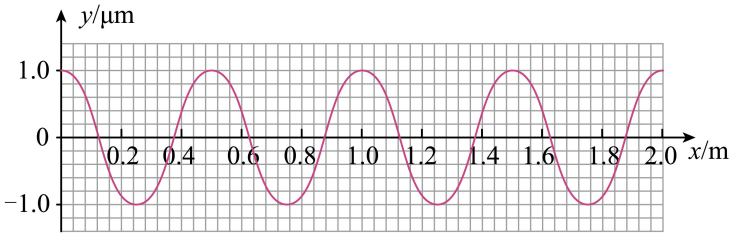
D．分析可知 $t=0.6$ s 时两列波都已传播到 C 处，C 处质点到两波源的距离差为 $\Delta x=5\,\text{m}-3\,\text{m}=2\,\text{m}=\frac{1}{2}\lambda$，故 C 处为振动减弱点，由于两列波振幅相同，故 C 处位移始终为零，速度为零，故 D 正确。

36. [2025 · 广西卷]某乐器发出频率为两倍关系的两个纯音(简谐声波),其波形叠加后呈现一种周期性变化。图甲和图乙分别为同一时刻两列简谐声波单独沿 x 正方向传播的波形图,图中的坐标原点位于同一质点处,声速为 340 m/s。

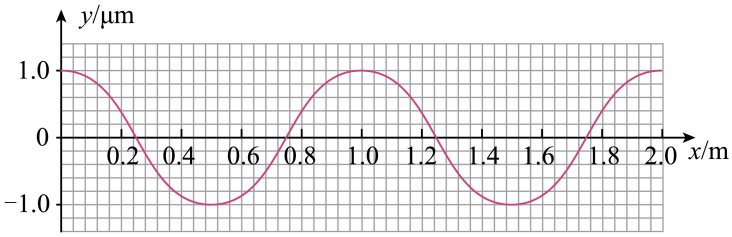
(1) 从图中读出这两列波的波长。

(2) 该时刻这两列波叠加,分别求 $x=0$ 和 $x=0.375\ \text{m}$ 处的质点在该时刻偏离平衡位置的位移。

(3) 求这两列波叠加后的周期。



图甲



图乙

答案 (1)$\lambda_{甲}=0.5\ \text{m}$,$\lambda_{乙}=1\ \text{m}$ (2)$2\ \text{cm}$,$-\frac{\sqrt{2}}{2}\ \text{cm}$ (3)$\frac{1}{340}\ \text{s}$

解析 (1)$4\lambda_{甲}=2\ \text{m}$,$2\lambda_{乙}=2\ \text{m}$,故 $\lambda_{甲}=0.5\ \text{m}$,$\lambda_{乙}=1\ \text{m}$

(2) 该时刻,在 $x=0$ 处两列波均处于波峰处,故 $x=0$ 处的质点位移 $x_1=A+A=2\ \text{cm}$;

该时刻,甲波在 $x=0.375\ \text{m}=\frac{3}{4}\lambda_{甲}$ 处偏移平衡位置的位移为 0,乙波在 $x=0.375\ \text{m}=\frac{3}{8}\lambda_{乙}$ 处偏移平衡位置的位移为 $-\frac{\sqrt{2}}{2}\ \mu\text{m}$,故叠加后该点位移为 $x_{0.375}=-\frac{\sqrt{2}}{2}\ \mu\text{m}$

(3) 这两列波叠加后的波长 $\lambda=1\ \text{m}$,故 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{1}{340}\ \text{s}$

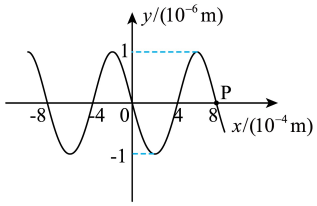
37. [2025 · 贵州卷]贵州黎平的肇兴侗寨有“鼓楼之乡”的美誉,图 (a) 的建筑群展示了精湛的传统鼓楼木构技艺。为保护鼓楼等传统木质建筑,可采用超声横波法进行无损检测,获得其弹性模量等力学参数,从而采取相应的保护措施。在某次检测中,有一列简谐横波在木材中沿 x 轴传播,$t=0$ 时刻的波形图如图 (b) 所示,位于 x 轴上的质点 P 的振动图像如图 (c) 所示。求:

(1) 波在木材中的传播方向及速度;

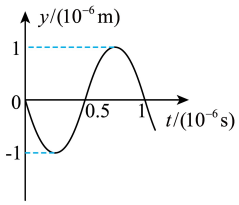
(2) 在 $0\sim3\times10^{-6}\ \text{s}$ 时间内,质点 P 运动的路程。



图(a)



图(b)



图(c)

答案 (1) 传播方向沿 x 轴负方向，800 m/s　　(2)1.2×10^{-5} m

解析 (1) 由 P 点的振动图像可知，$t=0$ 时刻质点 P 在平衡位置沿 y 轴负向振动，结合波形图可知，波传播方向沿 x 轴负方向；

根据波形图可知波长 $\lambda=8\times10^{-4}$ m，根据振动图像可知周期 $T=1\times10^{-6}$ s，

故波在木材中的传播速度 $v=\dfrac{\lambda}{T}=800$ m/s

(2) 由于 3×10^{-6} s $=3T$，可知该时间内质点 P 完成了 3 个全振动，

故其运动的路程 $s=3\times4A=12\times1\times10^{-6}$ m $=1.2\times10^{-5}$ m

38. [2025 · 北京卷]下列现象属于光的衍射的是　　(　　)

A. 雨后天空出现彩虹　　B. 通过一条狭缝看日光灯观察到彩色条纹

C. 肥皂膜在日光照射下呈现彩色　　D. 水中的气泡看上去特别明亮

答案 B

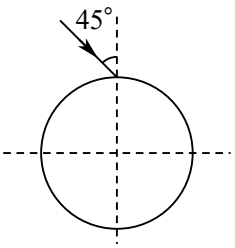
解析 A．雨后彩虹是阳光在雨滴中发生折射、反射和色散形成的，属于光的色散现象，故 A 不符合题意；

B．通过狭缝观察日光灯出现彩色条纹，是光绕过狭缝边缘产生的衍射现象，故 B 符合题意；

C．肥皂膜彩色条纹是光在薄膜前后表面反射后发生干涉形成的，属于薄膜干涉，故 C 不符合题意；

D．水中气泡明亮是由于光从水进入气泡时发生全反射，使得更多光线进入人眼，故 D 不符合题意。

39. [2025 · 河南卷]折射率为 $\sqrt{2}$ 的玻璃圆柱水平放置，平行于其横截面的一束光线从顶点入射，光线与竖直方向的夹角为 45°，如图所示。该光线从圆柱内射出时，与竖直方向的夹角为(不考虑光线在圆柱内的反射)(　　)

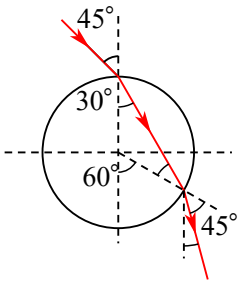


A. 0°　　B. 15°

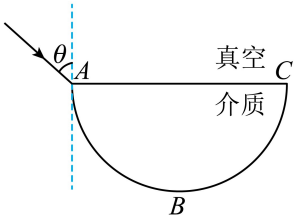
C. 30°　　D. 45°

答案 B

解析 由 $n=\dfrac{\sin45^\circ}{\sin\alpha}$ 得折射角 $\alpha=30^\circ$；光路图如下，由几何关系得光线从圆柱体内射出时，与竖直方向的夹角为 15°



40. [2025·湖南卷]如图，ABC为半圆柱体透明介质的横截面，AC为直径，B为$\overset{\frown}{ABC}$的中点。真空中一束单色光从AC边射入介质，入射点为A点，折射光直接由B点出射。不考虑光的多次反射，下列说法正确的是（　　）



A. 入射角θ小于45°

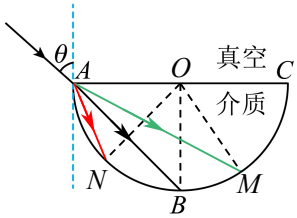
B. 该介质折射率大于$\sqrt{2}$

C. 增大入射角，该单色光在$\overset{\frown}{BC}$上可能发生全反射

D. 减小入射角，该单色光在$\overset{\frown}{AB}$上可能发生全反射

答案 D

解析 AB．根据题意，画出光路图，如图所示

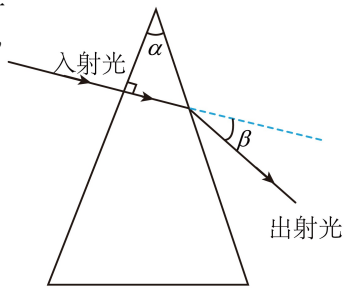


由几何关系可知，折射角为45°，则由折射定律有$n=\dfrac{\sin\theta}{\sin45°}=\sqrt{2}\sin\theta>1$，则$\sin\theta>\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，$n<\sqrt{2}$，得$\theta>45°$，故$AB$错误；

C．由$\sin C=\dfrac{1}{n}$，得$\sin C>\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，即$C>45°$。增大入射角，设该单色光在弧$BC$上的入射点为$M$，如图所示。则在等腰$\Delta AOM$中，$\angle OMA=\angle OAM<45°$，所以一定不能发生全反射，$C$错误；

D．同理减小入射角，设该单色光在弧AB上的入射点为N，如图所示。则在等腰ΔAON中，$\angle ONA=\angle OAN>45°$，所以可能发生全反射，$D$正确。

41. [2025·广东卷]如图为测量某种玻璃折射率的光路图。某单色光从空气垂直射入顶角为α的玻璃棱镜，出射光相对于入射光的偏转角为β，该折射率为（　　）

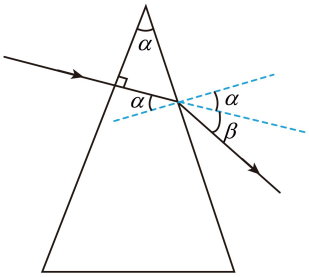


A. $\dfrac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha}$　　B. $\dfrac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta}$

C. $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}$　　D. $\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha}$

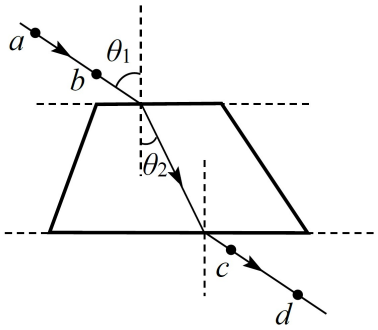
答案 A

解析 光路图如图所示



则有折射定律可得$n=\dfrac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha}$

42. [2025 · 上海卷]如图，进行“测量玻璃的折射率”实验。在玻璃砖的一侧垂直于纸面插两枚大头针 a、b，在另一侧透过玻璃砖观察，插入大头针 c，使其遮住大头针 a、b；插入大头针 d，使其同时遮住大头针 _____。根据图中数据，可知玻璃的折射率为 _____。



答案 ①a、b 的像和 c　　②$n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

解析 [1]若从 c 侧观察，插入 c 时，应遮住 a、b；插入 d 时，应遮住 c 以及 ab 的像；

[2]该玻璃的折射率为 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

43. [202501 浙江卷]测量透明溶液折射率的装置如图 1 所示。在转盘上共轴放置一圆柱形容器，容器被透明隔板平分为两部分，一半充满待测溶液，另一半是空气。一束激光从左侧沿直径方向入射，右侧放置足够大的观测屏。在某次实验中，容器从图 2(俯视图) 所示位置开始逆时针匀速旋转，此时观测屏上无亮点；随着继续转动，亮点突然出现，并开始计时，经 Δt 后亮点消失。已知转盘转动角速度为 ω，空气折射率为 1，隔板折射率为 n，则待测溶液折射率 n_x 为 (光从折射率 n_1 的介质射入折射率 n_2 的介质，入射角与折射角分别为 θ_1 与 θ_2，有 $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{n_2}{n_1}$)

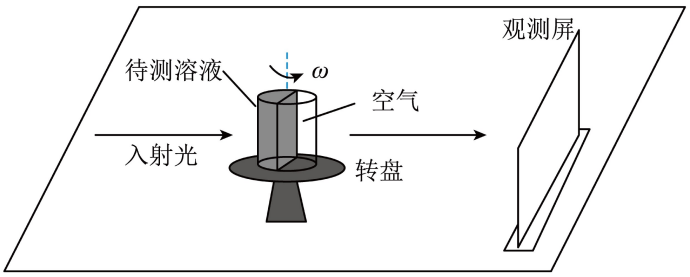


图 1

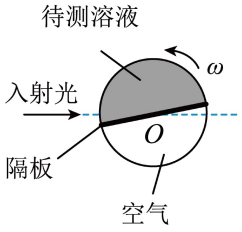
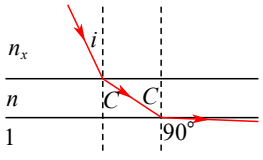


图 2

A. $\dfrac{1}{\sin\left(\dfrac{\omega\Delta t}{2}\right)}$　　B. $\dfrac{1}{\sin\left(\dfrac{\pi-\omega\Delta t}{2}\right)}$　　C. $\dfrac{n}{\sin\left(\dfrac{\omega\Delta t}{2}\right)}$　　D. $\dfrac{n}{\sin\left(\dfrac{\pi-\omega\Delta t}{2}\right)}$

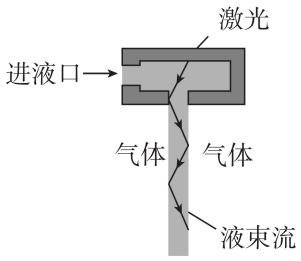
答案 A

解析 当屏上无亮点时，光线从隔板射到空气上时发生了全反射，亮点出现瞬间，光线射出隔板时刚好达到临界角，有 $\sin C=\dfrac{1}{n}$，此时射入隔板时的入射角 i 满足 $\dfrac{\sin i}{\sin C}=\dfrac{n}{n_x}$，故有 $n=\dfrac{1}{\sin i}$，由题意得 $\omega\Delta t=2i$，故 $n=\dfrac{1}{\sin\left(\dfrac{\omega\Delta t}{2}\right)}$



补充：当光依次通过界面相互平行的不同介质时，有 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_2}{n_1}$，$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_3}=\frac{n_3}{n_2}$，故有 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3}=\frac{n_3}{n_1}$，即只要光线能射出，可以不必考虑中间介质的折射率和厚度，本题可以直接当做光从液体射向空气情景处理。

44. [2025·黑吉辽内卷]如图，利用液导激光技术加工器件时，激光在液束流与气体界面发生全反射。若分别用甲、乙两种液体形成液束流，甲的折射率比乙的大，则



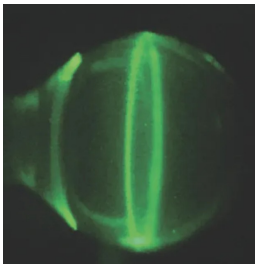
A. 激光在甲中的频率大　　B. 激光在乙中的频率大
C. 用甲时全反射临界角大　　D. 用乙时全反射临界角大

答案 *D*

解析 *AB*．激光频率与介质无关

CD．甲的折射率大，由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知，用甲时全反射临界角小

45. [2025·江苏卷]如图所示，一束激光射入肥皂泡后（入射激光束未在图中标出），肥皂膜内出现一亮环。肥皂膜内的激光



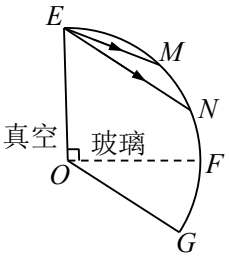
A. 波长等于亮环的周长
B. 频率比在真空中的大
C. 在肥皂膜与空气的界面上发生衍射
D. 在肥皂膜与空气的界面上发生全反射

答案 *D*

解析 *AB*．激光在不同的介质中传播时，频率相同，波长不同，激光波长与亮环周长无关，故 *AB* 错误；

CD．一束激光打进一个肥皂泡（图中未画出入射光线），发现在肥皂泡内测出现一个亮环，是因为激光在空气与肥皂膜分界面处发生了全反射，故 *C* 错误，*D* 正确。

46. [2025·广西卷]如图，在扇形玻璃 *EOG* 中，*OE* ⊥ *OF*，可见光分别从 *E* 点沿 *EM*、*EN* 射向真空。该玻璃对可见光的折射率为 $\sqrt{2}$，则（　　）



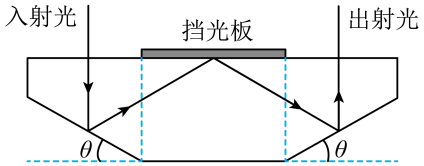
A. 沿 *EM* 的光发生全反射，沿 *EN* 的光不发生全反射
B. 沿 *EM* 的光不发生全反射，沿 *EN* 的光发生全反射
C. 沿 *EM*、*EN* 的两束光都发生全反射
D. 沿 *EM*、*EN* 的两束光都不发生全反射

答案 *C*

解析 因 $n>\sqrt{2}$ 可得临界角 $\sin C=\frac{1}{n}<\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，即 $C<45^{\circ}$

射到 N 点的光线的入射角 $\alpha=\angle OEN>45^{\circ}$，故发生全反射，同理得沿 EM 的光也发生全反射。

47. [2025 · 四川卷]（多选）某款国产手机采用了一种新型潜望式摄像头模组。如图所示，模组内置一块上下表面平行 $(\theta<45^{\circ})$ 的光学玻璃。光垂直于玻璃上表面入射，经过三次全反射后平行于入射光射出。则 （　　）



A. 可以选用折射率为 1.4 的光学玻璃

B. 若选用折射率为 1.6 的光学玻璃，θ 可以设定为 30°

C. 若选用折射率为 2 的光学玻璃，第二次全反射入射角可能为 70°

D. 若入射光线向左移动，则出射光线也向左移动

答案 CD

解析 由几何关系可知光线第一次发生全反射时的入射角即为 θ，故有 $C\leqslant\theta<45^{\circ}$。

A．要发生全发射，由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知 $n=\frac{1}{\sin C}>\frac{1}{\sin 45^{\circ}}=\sqrt{2}$，故不能选用折射率为 1.4 的玻璃，$A$ 错误；

B．当 $\theta=30^{\circ}$ 时，$C\leqslant 30^{\circ}$，要发生全反射需满足 $n>\frac{1}{\sin 30^{\circ}}=2$，故 B 错误；

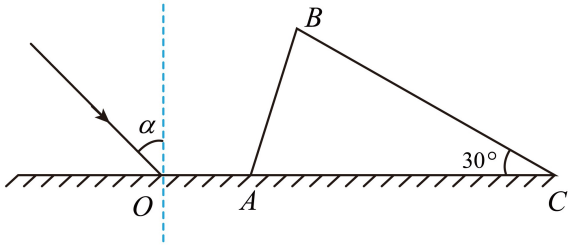
C．当 $n=2$ 时 $C=30^{\circ}$，第一次要能发生全反射，需满足 $\theta>30^{\circ}$。由几何关系可知第二次全反射时的入射角为 2θ，所以 $2\theta>60^{\circ}$，故第二次全反射入射角可能为 70°，故 C 正确；

D．若入射光线向左移动，可知第一次全反射时的反射光线向左移动，第二次全反射时的反射光线向左移动，同理，第三次全反射时的反射光线向左移动，即出射光线向左移动，故 D 正确。

48. [2025 · 湖北卷]如图所示，三角形 ABC 是三棱镜的横截面，$AC=BC$，$\angle C=30^\circ$，三棱镜放在平面镜上，AC 边紧贴镜面。在纸面内，一光线入射到镜面 O 点，入射角为 α，O 点离 A 点足够近。已知三棱镜的折射率为 $\sqrt{2}$。

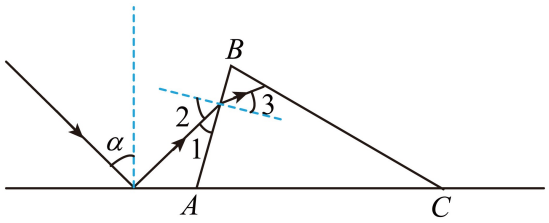
(1) 若 $\alpha=45^\circ$，求光线从 AB 边射入棱镜时折射角的正弦值。

(2) 若光线从 AB 边折射后直接到达 BC 边，并在 BC 边刚好发生全反射，求此时的 α 值。



答案 (1)$\frac{\sqrt{6}}{4}$　　(2)60°

解析 (1) 作出光路图，如图所示



由几何关系可知 $\angle BAC=\frac{180^\circ-\angle C}{2}=75^\circ$，$\angle 1=\angle BAC-(90^\circ-\alpha)=30^\circ$，所以在 AB 边的入射角为 $\angle 2=90^\circ-\angle 1=60^\circ$，由光的折射定律 $n=\frac{\sin\angle 2}{\sin\angle 3}$　得光线从 AB 边射入棱镜时折射角的正弦值 $\sin\angle 3=\frac{\sqrt{6}}{4}$

(2) 根据 $\sin C=\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}$ 得 $C=45^\circ$

则 AB 边的折射角为 $\angle 3'=90^\circ-[180^\circ-75^\circ-(90^\circ-45^\circ)]=30^\circ$，

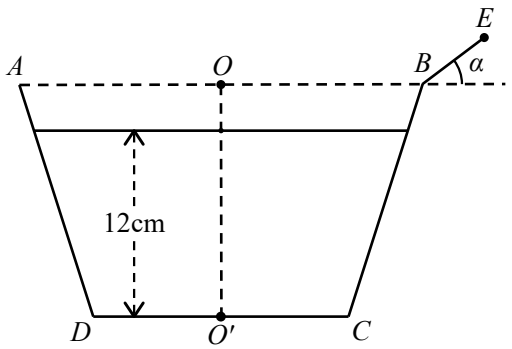
根据折射定律可知 AB 边的入射角满足 $n=\frac{\sin\angle 2'}{\sin\angle 3'}$　得 $\angle 2'=45^\circ$

根据几何关系可知此时 $\alpha=90^\circ-[\angle BAC-(90^\circ-\angle 2')]=60^\circ$

49. [2025 · 甘肃卷]如图，$ABCD$ 为某容器横截面，O、O' 为上下底面中心，O' 处有一发光点。人眼在 E 点沿 EB 方向观察，容器空置时看不到发光点。现向容器中缓慢注入某种透明液体，当液面升高到 12 cm 时，人眼恰好能看到发光点。已知 $OO'=15\,\text{cm}$，$OB=13\,\text{cm}$，$EB=5\,\text{cm}$，EB 与 AB 延长线的夹角为 α（$\sin\alpha=\frac{3}{5}$）。不考虑器壁对光的反射，真空中光速 $c=3.0\times10^8\,\text{m/s}$。求：

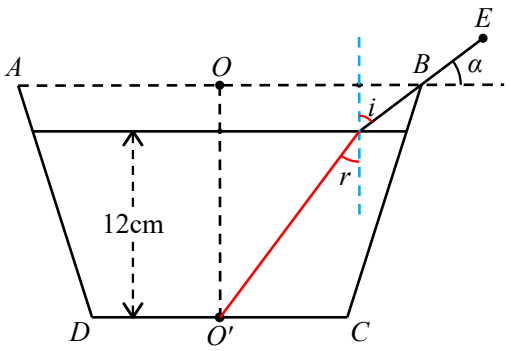
(1) 该液体的折射率。

(2) 光从 O' 点到达人眼的时间。



答案 (1)$\frac{4}{3}$ (2)$1\times10^{-9}\,\text{s}$

解析 (1) 画出光路图，如图所示



由几何关系可得 $\sin i=\cos\alpha=\frac{4}{5}$，

$$\tan r=\frac{13-\frac{15-12}{\tan\alpha}}{12}=\frac{3}{4}$$

故 $\sin r=\frac{3}{5}$，$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{4}{3}$

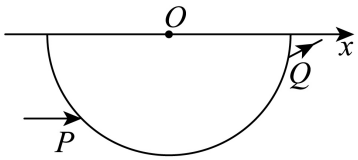
(2) 光在液体中的传播速度 $v=\frac{c}{n}=\frac{3c}{4}$，

液体中传播路程 $s_1=\frac{12}{\cos r}=15\,\text{cm}$，

在空气中传播的传播路程 $s_2=\frac{15-12}{\sin\alpha}+5=10\,\text{cm}$，

则 $t=\frac{s_1}{v}+\frac{s_2}{c}=\frac{0.3}{c}=1\times10^{-9}\,\text{s}$

50. [2025 · 安徽卷]如图，玻璃砖的横截面是半径为 R 的半圆，圆心为 O 点，直径与 x 轴重合。一束平行于 x 轴的激光，从横截面上的 P 点由空气射入玻璃砖，从 Q 点射出。已知 P 点到 x 轴的距离为 $\frac{\sqrt{2}}{2}R$，P、Q 间的距离为 $\sqrt{3}R$。



(1) 求玻璃砖的折射率；

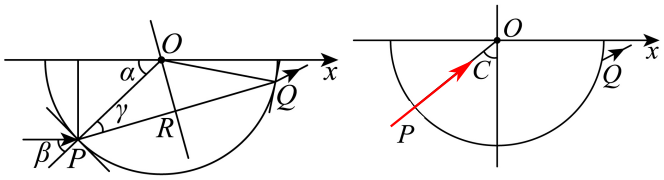
(2) 在该横截面沿圆弧任意改变入射点的位置和入射方向，使激光能在圆心 O 点发生全反射，求入射光线与 x 轴之间夹角的范围。

答案 (1)$\sqrt{2}$　　(2) $(0,45°]$ 或 $[135°,180°)$

解析 (1) 根据题意得出光路图如图所示

根据几何关系可得 $\sin\alpha=\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}R}{R}$，$\cos\gamma=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}R}{R}$，$\alpha=\beta$，可得 $\beta=45°$，$\gamma=30°$

根据折射定律 $n=\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}=\sqrt{2}$



(2) 发生全反射的临界角满足 $\sin C=\frac{1}{n}$，得 $C=45°$

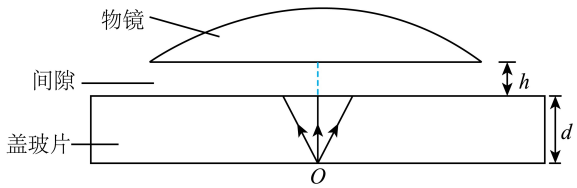
要使激光能在圆心 O 点发生全反射，激光必须指向 O 点射入，如图所示。

只要入射角大于 45°，即可发生全反射，则使激光能在圆心 O 点发生全反射，入射光线与 x 轴之间夹角的范围 $(0,45°]$，由对称性可知，入射光线与 x 轴之间夹角的范围还可以为 $[135°,180°)$。

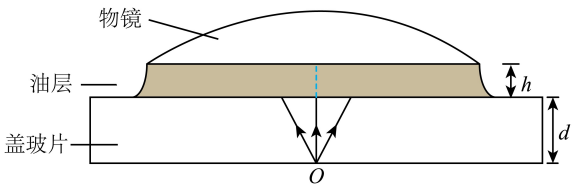
51. [2025 · 云南卷]用光学显微镜观察样品时，显微镜部分结构示意图如图甲所示。盖玻片底部中心位置 O 点的样品等效为点光源，为避免 O 点发出的光在盖玻片上方界面发生全反射，可将盖玻片与物镜的间隙用一滴油填充，如图乙所示。已知盖玻片材料和油的折射率均为 1.5，盖玻片厚度 $d=2.0\,\text{mm}$，盖玻片与物镜的间距 $h=0.20\,\text{mm}$，不考虑光在盖玻片中的多次反射，取真空中光速 $c=3.0\times10^8\,\text{m/s}$，$\pi=3.14$。

(1) 求未滴油时，O 点发出的光在盖玻片的上表面的透光面积（结果保留 2 位有效数字）；

(2) 滴油前后，光从 O 点传播到物镜的最短时间分别为 t_1、t_2，求 t_2-t_1（结果保留 2 位有效数字）。



图甲　填充前



图乙　填充后

答案 (1)$1.0\times10^{-5}\,\mathrm{m}^2$　　(2)$3.3\times10^{-13}\,\mathrm{s}$

解析 (1) 设未滴油时透光圆的半径为r，全反射的临界角满足$\sin C=\frac{1}{n}=\frac{2}{3}$

由几何关系得$\tan C=\frac{r}{d}=\frac{2}{\sqrt{5}}$　　得$r=\frac{2}{\sqrt{5}}d$

故透光面积$S=\pi r^2=\frac{4}{5}\pi d^2=\frac{4}{5}\times3.14\times2^2=10\,\mathrm{mm}$

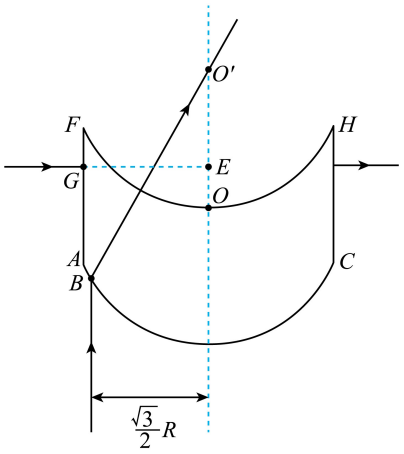
(2) 当光从O点垂直于盖玻片的上表面入射时，传播的时间最短，则$t_1=\frac{d}{v}+\frac{h}{c}$，$t_2=\frac{d}{v}+\frac{h}{v}$

故$t_2-t_1=\frac{h}{v}-\frac{h}{c}=\frac{h}{c/n}-\frac{h}{c}=\frac{(n-1)h}{c}=\frac{0.5\times0.2\times10^{-3}}{3.0\times10^8}\approx3.3\times10^{-13}\,\mathrm{s}$

52. [2025 · 山东卷]由透明介质制作的光学功能器件截面如图所示，器件下表面圆弧以O点为圆心，上表面圆弧以O'点为圆心，两圆弧的半径及O、O'两点间距离均为R，点A、B、C在下表面圆弧上。左界面AF和右界面CH与OO'平行，到OO'的距离均为$\frac{9}{10}R$。

(1)B点与OO'的距离为$\frac{\sqrt{3}}{2}R$，单色光线从B点平行于OO'射入介质，射出后恰好经过O'点，求介质对该单色光的折射率n；

(2) 若该单色光线从G点沿GE方向垂直AF射入介质，并垂直CH射出，出射点在GE的延长线上，E点在OO'上，O'、E两点间的距离为$\frac{\sqrt{2}}{2}R$，空气中的光速为c，求该光在介质中的传播时间t。

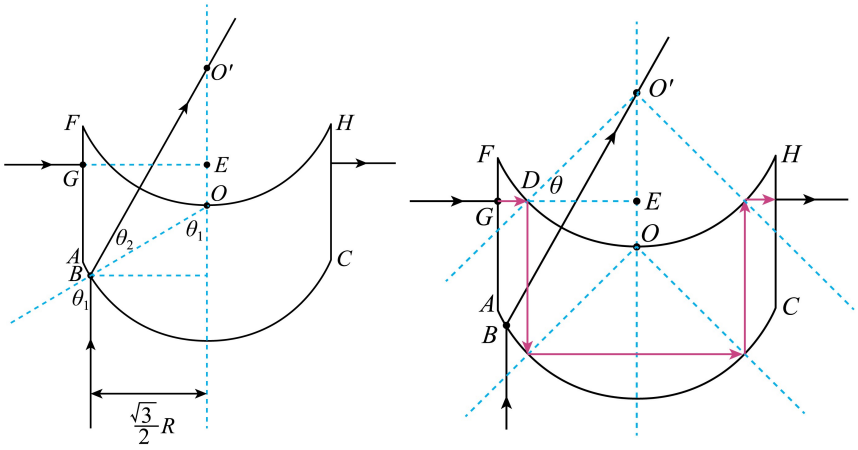


答案 (1)$\sqrt{3}$　　(2)$\frac{19\sqrt{3}R}{5c}$

解析 (1) 如图，B点与OO'的距离为$\frac{\sqrt{3}}{2}R$，$OB=R$，所以$\sin\theta_1=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}R}{R}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，得$\theta_1=60°$

又因为出后恰好经过O'点，O'点为该光学器件上表面圆弧的圆心，则该单色光在上表面垂直入射，光路不变；因为$OB=OO'=R$，所以根据几何关系可知$\theta_2=30°$

介质对该单色光的折射率$n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{\sin60°}{\sin30°}=\sqrt{3}$



(2) 如图，单色光线到达上表面 D 点时，入射角满足 $\sin\theta=\dfrac{\frac{\sqrt{2}}{2}R}{R}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$

由于 $\sin\theta=\dfrac{\sqrt{2}}{2}>\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，所以光线在上表面 D 点发生全反射。

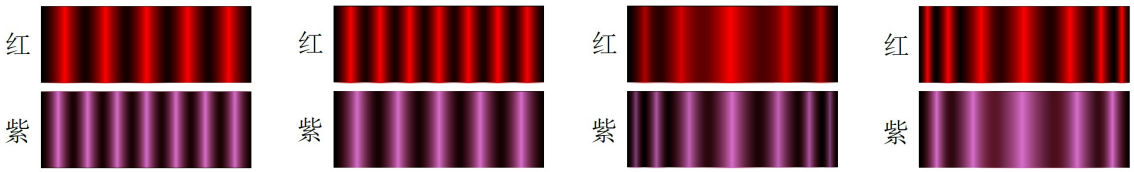
同理可知发生几次全反射后从 CH 边射出。

根据几何关系，光在介质中传播的距离为 $L=2(GE+AF)=\dfrac{19}{5}R$

光在介质中传播的速度为 $v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{c}{\sqrt{3}}$

所以光在介质中的传播时间 $t=\dfrac{L}{v}=\dfrac{19\sqrt{3}R}{5c}$

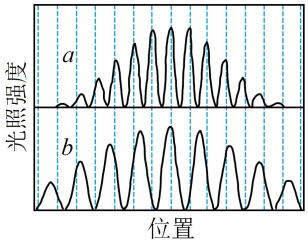
53. [2025 · 上海卷]进行杨氏双缝干涉实验时，可以正确反映出红光和紫光的双缝干涉图样的是（　　）



答案 A

解析 根据 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$，红光的波长大于紫光，可知红光的条纹间距大于紫光的条纹间距

54. [2025 · 天津卷]在进行双缝干涉实验时，用光传感器测量干涉区域不同位置的光照强度，可以方便地展示干涉条纹分布。a、b两束单色光分别经过同一双缝干涉装置后，其光照强度与位置的关系如图所示，图中光照强度极大值位置对应亮条纹中心，极小值位置对应暗条纹中心，上下两图中相同横坐标代表相同位置，则 （　　）



A. a、b的光子动量大小相同　　B. a的光子能量小于b的光子能量

C. 在真空中，a的波长大于b的波长　　D. 通过同一单缝衍射装置，a的中央亮条纹窄

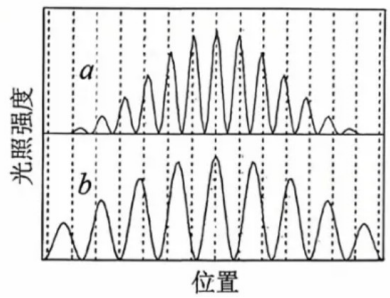
答案 D

解析 C．由图可知，a光干涉条纹间距小于b光干涉条纹间距，根据条纹间距公式$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$可知$a$光的波长小于$b$光的波长，故$C$错误；

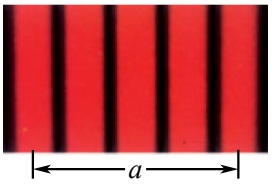
A．根据光子动量公式$p=\frac{h}{\lambda}$可知a光光子动量大于b光光子动量，故A错误；

B．根据$\varepsilon=\frac{hc}{\lambda}$可知$a$光光子能量大于$b$光光子能量，故$B$错误；

D．波长越长，通过单缝衍射装置，中央亮条纹越宽，则通过同一单缝衍射装置，a的中央亮条纹窄，故D正确。



55. [2025 · 重庆卷]杨氏双缝干涉实验中，双缝与光屏距离为l，波长为λ的激光垂直入射到双缝上，在屏上出现如图所示的干涉图样。某同学在光屏上标记两条亮纹中心位置并测其间距为a，则 （　　）



A. 相邻两亮条纹间距为$\frac{a}{5}$　　B. 相邻两暗条纹间距为$\frac{a}{5}$

C. 双缝之间的距离为$\frac{4l}{a}\lambda$　　D. 双缝之间的距离为$\frac{a}{4l}\lambda$

答案 C

解析 AB．由图可知，相邻两亮条纹（暗条纹）间距为 $\Delta x=\frac{a}{4}$，故 AB 错误；

CD．由公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，得双缝间距 $d=\frac{l\lambda}{\Delta x}=\frac{4l\lambda}{a}$，故 C 正确，D 错误。

56. [2025·海南卷]（多选）下列关于光现象描述正确的是 （　　）

A. 海市蜃楼是光的衍射现象

B. 光电效应表明光具有粒子性

C. 水面上的油膜在阳光下呈现彩色条纹是光的干涉现象

D. 斜插在水杯中的筷子看起来像被折断是光的反射现象

答案 BC

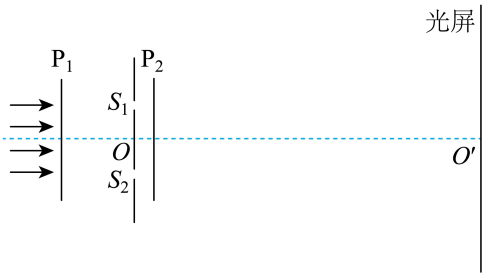
解析 A．海市蜃楼是光线在穿过不同温度的空气层时发生折射和全反射，导致远处物体的影像被“扭曲”或“搬运”到空中的现象，A 错误；

B．光电效应表明光具有粒子性，B 正确；

C．油膜的上下表面反射的光相互叠加，形成了干涉现象。不同颜色的光波长不同，干涉条纹的间距也不同，所以会呈现出彩色条纹，C 正确；

D．斜插在水杯中的筷子看起来像被折断是光的折射现象，D 错误。

57. [2025·山东卷]用如图所示的装置观察光的干涉和偏振现象。狭缝 S_1、S_2 关于 OO' 轴对称，光屏垂直于 OO' 轴放置。将偏振片 P_1 垂直于 OO' 轴置于双缝左侧，单色平行光沿 OO' 轴方向入射，在屏上观察到干涉条纹，再将偏振片 P_2 置于双缝右侧，P_1、P_2 透振方向平行。保持 P_1 不动，将 P_2 绕 OO' 轴转动 90° 的过程中，关于光屏上的干涉条纹，下列说法正确的是 （　　）



A. 条纹间距不变，亮度减小　　B. 条纹间距增大，亮度不变

C. 条纹间距减小，亮度减小　　D. 条纹间距不变，亮度增大

答案 A

解析 根据干涉条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知当 P_2 旋转时，L，d，λ 均不变，故条纹间距不变；随着 P_2 的旋转，透过 P_2 的光强在减小，干涉条纹的亮度在减小。故选 A。

58. [2025 · 陕西卷](多选)在双缝干涉实验中,某实验小组用波长为440 nm的蓝色激光和波长为660 nm的红色激光组成的复合光垂直照射双缝,双缝间距为0.5 mm,双缝到屏的距离为500 mm,则屏上 (　　)

A. 蓝光与红光之间能发生干涉形成条纹

B. 蓝光相邻条纹间距比红光相邻条纹间距小

C. 距中央亮条纹中心1.32 mm处蓝光和红光亮条纹中心重叠

D. 距中央亮条纹中心1.98 mm处蓝光和红光亮条纹中心重叠

答案 *BC*

解析 *A*. 蓝光与红光频率不等,不能发生稳定干涉形成条纹,故*A*错误;

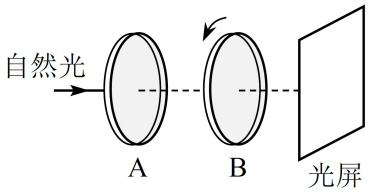
B. 根据相邻干涉条纹间距公式$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$,由于蓝光的波长较短,故蓝光相邻条纹间距比红光相邻条纹间距小,故*B*正确;

CD. 蓝光的相邻干涉条纹间距为$\Delta x_1=0.44\ \text{mm}$,红光的相邻干涉条纹间距为$\Delta x_2=0.66\ \text{mm}$,要使蓝光和红光亮条纹中心重叠,可知$m\Delta x_1=n\Delta x_2$,$(m=0,1,2,\cdots,n=0,1,2,\cdots)$

由于$\frac{1.32\text{mm}}{\Delta x_1}=3$,$\frac{1.32\text{mm}}{\Delta x_2}=2$,故距中央亮条纹中心1.32 mm处蓝光和红光亮条纹中心重叠;

由于$\frac{1.98\text{mm}}{\Delta x_1}=4.5$,$\frac{1.98\text{mm}}{\Delta x_2}=3$,故距中央亮条纹中心1.98 mm处蓝光暗条纹和红光亮条纹中心重叠,故*C*正确,*D*错误。

59. [2025 · 上海卷]如图,自然光经过两个环形偏振片,其中偏振片B绕圆心转动周期为T,则光屏上两次光强最小的时间间隔为 (　　)

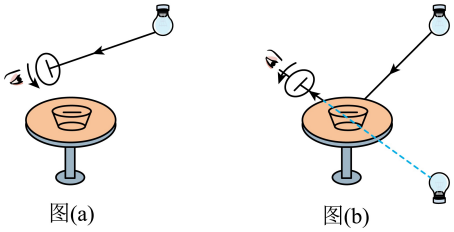


A. $2T$　　B. T　　C. $0.5T$　　D. $0.25T$

答案 *C*

解析 根据光的偏振原理,当两偏振片的偏振方向相互垂直时,光屏上的光强最小,偏振片*B*转动一周的过程,两偏振片的偏振方向两次垂直,即光屏上两个光强最小的时间间隔为$0.5T$,*C*正确。

60. [2025 · 贵州卷]天花板上有一发光的白炽灯，桌上有一盆水。某同学第一次透过偏振片观察白炽灯，如图 (a) 所示；第二次透过偏振片观察白炽灯在水中的倒影，如图 (b) 所示。在两次观察中，以所观察光的传播方向为轴旋转偏振片时，透过偏振片观察到 （　　）


图(a)　　图(b)

A. 白炽灯和倒影的亮度均变化　　B. 白炽灯和倒影的亮度均不变

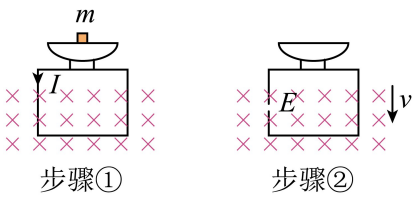
C. 白炽灯亮度不变，倒影亮度变化　　D. 白炽灯亮度变化，倒影亮度不变

答案 C

解析 白炽灯发出的光为自然光，其振动方向均匀分布，所以第一次透过偏振片直接观察白炽灯，白炽灯亮度不变；而自然光通过水面反射后为偏振光，则第二次透过偏振片观察倒影时，当旋转偏振片时，偏振片的透振方向与反射光的主要振动方向的夹角不断变化，所以倒影的亮度会发生变化。

五、选修二

1. [2025 · 广东卷]（多选）如图是一种精确测量质量的装置原理示意图，竖直平面内，质量恒为 M 的称重框架由托盘和矩形线圈组成。线圈的一边始终处于垂直线圈平面的匀强磁场中，磁感应强度不变。测量分两个步骤，步骤①：托盘内放置待测物块，其质量用 m 表示，线圈中通大小为 I 的电流，使称重框架受力平衡；步骤②：线圈处于断开状态，取下物块，保持线圈不动，磁场以速率 v 匀速向下运动，测得线圈中感应电动势为 E。利用上述测量结果可得出 m 的值，重力加速度为 g。下列说法正确的有



步骤①　　步骤②

A. 线圈电阻为 $\dfrac{E}{I}$　　B. I 越大，表明 m 越大

C. v 越大，则 E 越小　　D. $m=\dfrac{EI}{vg}-M$

答案 BD

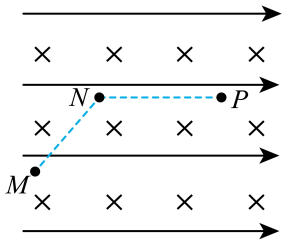
解析 B．由步骤①得 $BIL=(m+M)g$，故 I 越大，m 就越大，B 正确；

C．由步骤②得 $E=BLv_{相}=BLv$，故 v 越大，E 就越大，C 错误；

D．联立可得 $m=\dfrac{EI}{vg}-M$，D 正确；

A．步骤①中的电动势由外电源提供，不同于步骤②中的感应电动势，A 错误。

2. [2025 · 福建卷]（多选）如图，竖直面内存在垂直纸面向里的匀强磁场 B 与水平向右的匀强电场 E，一带电粒子在复合场中恰能沿着 MN 做匀速直线运动，当粒子运动到 N 点时，撤去磁场，一段时间后粒子经过 P 点，已知 MN 与水平面的夹角为 45°，NP 水平向右。粒子带电荷量为 q，速度为 v，质量为 m，重力加速度为 g。则 （　　）



A. 电场强度大小为 $E=\dfrac{\sqrt{2}mg}{q}$

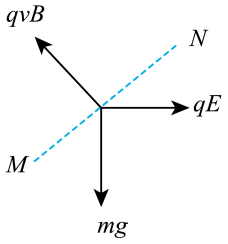
B. 磁感应强度大小为 $B=\dfrac{\sqrt{2}mg}{qv}$

C. N、P 两点的电势差为 $U=\dfrac{2mv^2}{q}$

D. 粒子从 N 运动到 P 的过程中，与 NP 的距离最大值为 $\dfrac{v^2}{8g}$

答案 BC

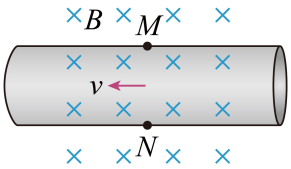
解析 AB．粒子在 MN 段合力为零，必带正电，受力分析如图。



由受力平衡得 $qE=mg$，$qvB=\sqrt{2}mg$，故 $E=\dfrac{mg}{q}$，$B=\dfrac{\sqrt{2}mg}{qv}$，故 A 错误，B 正确；

CD．在 N 点撤去磁场后，将运动沿水平和竖直方向正交分解，有 $t=\dfrac{2v_y}{g}$，$x_{NP}=v_xt+\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t^2$，其中 $v_x=v_y=\dfrac{v}{\sqrt{2}}$，得 $t=\dfrac{\sqrt{2}v}{g}$，$x_{NP}=\dfrac{2v^2}{g}$，故 N、P 两点的电势差 $U=Ex_{NP}=\dfrac{2mv^2}{q}$，与 NP 的距离最大值 $h_m=\dfrac{v_y^2}{2g}=\dfrac{v^2}{4g}$，故 C 正确，D 错误。（或由类平抛运动规律，速度偏向角 θ 与位移偏向角 α 满足 $\tan\theta=2\tan\alpha$，求出 P 点速度 $v_p=\dfrac{v}{\cos\theta}=\sqrt{5}v$，再由动能定理 $qU=\dfrac{1}{2}mv_P^2-\dfrac{1}{2}mv^2$ 求出 U）

3. [2025 · 北京卷]电磁流量计可以测量导电液体的流量 Q——单位时间内流过管道横截面的液体体积。如图所示，内壁光滑的薄圆管由非磁性导电材料制成，空间有垂直管道轴线的匀强磁场，磁感应强度为 B。液体充满管道并以速度 v 沿轴线方向流动，圆管壁上的 M、N 两点连线为直径，且垂直于磁场方向，M、N 两点的电势差为 U_0。下列说法错误的是



A. N 点电势比 M 点高

B. U_0 正比于流量 Q

C. 在流量 Q 一定时，管道半径越小，U_0 越小

D. 若直径 MN 与磁场方向不垂直，测得的流量 Q 偏小

答案 C

解析 选修二第二章　第2节习题

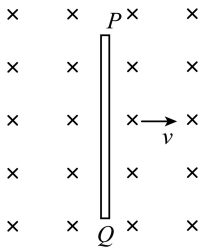
A．根据左手定则可知正离子向下偏，负离子向上偏，故 N 点电势比 M 点高，故 A 正确；

BC．设管道半径为 r，离子稳定通过时有 $\frac{U_0}{2r}q=qvB$，又 $Q=Sv=\pi r^2 v$　得 $U_0=\frac{2BQ}{\pi r}$，故 U_0 正比于流量 Q；流量 Q 一定时，管道半径越小，U_0 越大；故 B 正确，C 错误；

D．若直径 MN 与磁场方向不垂直，根据 $U_0=\frac{2BQ}{\pi r}$ 可知此时式中磁场强度为磁感应强度的一个分量，即此时测量时代入的磁场强度偏大，故测得的流量 Q 偏小；故 D 正确。

本题选错误的，故选 C。

4. [2025 · 江西卷]（多选）如图所示，一细金属导体棒 PQ 在匀强磁场中沿纸面由静止开始向右运动，磁场方向垂直纸面向里。不考虑棒中自由电子的热运动。下列选项正确的是



A. 电子沿棒运动时不受洛伦兹力作用　　B. 棒运动时，P 端比 Q 端电势低

C. 棒加速运动时，棒中电场强度变大　　D. 棒保持匀速运动时，电子最终相对棒静止

答案 CD

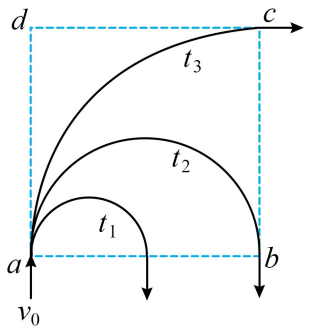
解析 A．电子跟随棒向右运动时，相对纸面的速度不为零，根据洛伦兹力公式可知，电子受洛伦兹力作用，A 错误；

B．导体棒向右运动时，相当于一个电源，根据右手定则可以判断 P 端电势比 Q 端高，B 错误。

CD．棒由静止开始向右加速运动时，电子因跟随棒向右运动，在沿棒方向受到由 P 指向 Q 方向的洛伦兹力，Q 端开始积累电子，P 端积累正电荷，从而形成由 P 指向 Q 方向的电场。当棒保持匀速运动时，最终沿棒方向的洛伦兹力与电场力平衡，电子相对棒静止。棒加速运动时，沿棒方向洛伦

兹力变大，电荷进一步累积，电场强度进一步变大。C、D项正确。

5. [2025·理综卷(新疆西藏)]如图，正方形$abcd$内有方向垂直于纸面的匀强磁场，电子在纸面内从顶点a以速度v_0射入磁场，速度方向垂直于ab。磁感应强度的大小不同时，电子可分别从ab边的中点、b点和c点射出，在磁场中运动的时间分别为t_1、t_2和t_3，则 （　　）



A. $t_1<t_2=t_3$　　B. $t_1<t_2<t_3$　　C. $t_1=t_2>t_3$　　D. $t_1>t_2>t_3$

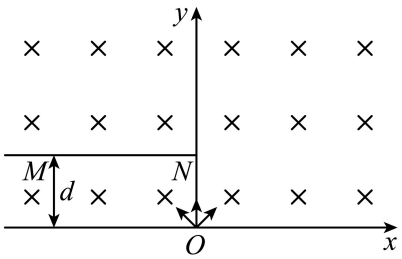
答案 A

解析 由于带电粒子在磁场中做匀速圆周运动，则电子在磁场中运动的时间为$t=\frac{s}{v_0}$

设正方形$abcd$的边长为l，则$s_1=\pi\cdot\frac{l}{4}$，$s_2=\pi\cdot\frac{l}{2}$，$s_3=\frac{\pi}{2}\cdot l$，则有$t_1<t_2=t_3$。

（注意周期$T=\frac{2\pi m}{qB}$与B有关）

6. [2025·安徽卷]如图，在竖直平面内的Oxy直角坐标系中，x轴上方存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为B。在第二象限内，垂直纸面且平行于x轴放置足够长的探测薄板MN，MN到x轴的距离为d，上、下表面均能接收粒子。位于原点O的粒子源，沿Oxy平面向x轴上方各个方向均匀发射相同的带正电粒子。已知粒子所带电荷量为q、质量为m、速度大小均为$\frac{qBd}{m}$。不计粒子的重力、空气阻力及粒子间的相互作用，则 （　　）



A. 粒子在磁场中做圆周运动的半径为$2d$

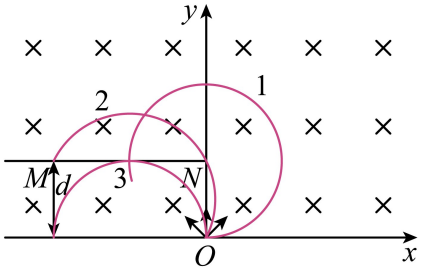
B. 薄板的上表面接收到粒子的区域长度为$\sqrt{3}d$

C. 薄板的下表面接收到粒子的区域长度为d

D. 薄板接收到的粒子在磁场中运动的最短时间为$\frac{\pi m}{6qB}$

答案 C

解析 A．由$qvB=\frac{mv^2}{R}$，得$R=\frac{mv}{qB}=d$，故A错误；

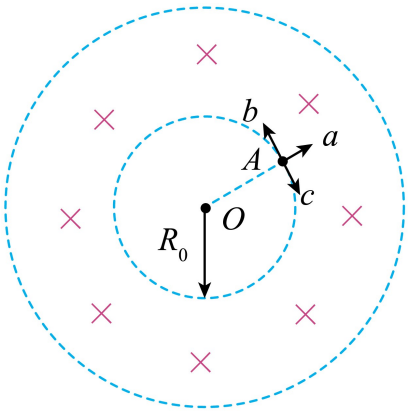


B．当粒子沿 x 轴正方向射出时，上表面接收到的粒子离 y 轴最近，如图轨迹 1，根据几何关系可知 $s_{上\min}=d$；当粒子恰能通过 N 点到达薄板上方时，薄板上表面接收点距离 y 轴最远，如图轨迹 2，根据几何关系可知，$s_{上\max}=\sqrt{3}d$，故上表面接收到粒子的区域长度为 $s_{上}=\sqrt{3}d-d$，故 *B* 错误；

C．根据图像可知，粒子可以恰好打到下表面 N 点；当粒子沿 y 轴正方向射出时，粒子下表面接收到的粒子离 y 轴最远，如图轨迹 3，根据几何关系此时离 y 轴距离为 d，故下表面接收到粒子的区域长度为 d，故 *C* 正确；

D．根据图像可知，粒子恰好打到下表面 N 点时转过的圆心角最小，用时最短，有 $t_{\min}=\frac{60°}{360°}\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi m}{3qB}$，故 *D* 错误。

7. **[2025·甘肃卷]**（多选）2025 年 5 月 1 日，全球首个实现“聚变能发电演示”的紧凑型全超导托卡马克核聚变实验装置(BEST)在我国正式启动总装。如图是托卡马克环形容器中磁场截面的简化示意图，两个同心圆围成的环形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，内圆半径为 R_0。在内圆上 A 点有 a、b、c 三个粒子均在纸面内运动，并都恰好到达磁场外边界后返回。已知 a、b、c 带正电且比荷均为 $\frac{q}{m}$，a 粒子的速度大小为 $v_a=\frac{qBR_0}{m}$，方向沿同心圆的径向；b 和 c 粒子速度方向相反且与 a 粒子的速度方向垂直。不考虑带电粒子所受的重力和相互作用。下列说法正确的是 （　　）



A. 外圆半径等于 $2R_0$

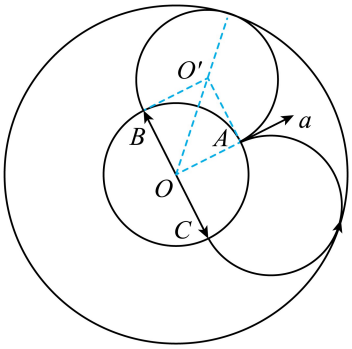
B. a 粒子返回 A 点所用的最短时间为 $\frac{(3\pi+2)m}{qB}$

C. b、c 粒子返回 A 点所用的最短时间之比为 $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}+2}$

D. c 粒子的速度大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_a$

答案 *BD*

解析 A．作出 a 粒子运动轨迹图，如图所示。由 $qv_aB=\frac{mv_a^2}{R_a}$，$v_a=\frac{qBR_0}{m}$ 得 $R_a=R_0$，

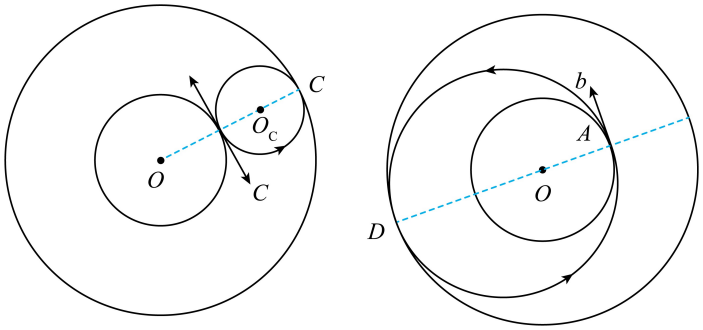


由几何关系得外圆半径 $R_{外}=R_a+\sqrt{2}R_a=(1+\sqrt{2})R_0$，$A$ 错误；

B．a 粒子恰好到达磁场外边界后返回，然后沿径向做匀速直线运动，再做匀速圆周运动恰好回到 A 点。圆周运动周期 $T=\frac{2\pi R_0}{v_a}=\frac{2\pi m}{qB}$，

故该过程经历的时间 $t=\frac{3}{4}T+\frac{2R_0}{v_a}+\frac{3}{4}T=\frac{(3\pi+2)m}{qB}$，$B$ 正确；

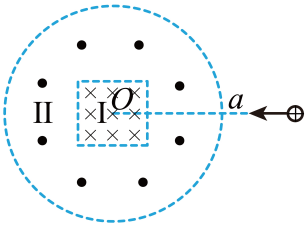
C．作出 b、c 粒子运动轨迹图，如图所示



因为 b、c 粒子返回 A 点都是运动一个圆周，根据 b、c 带正电且比荷均为 $\frac{q}{m}$，所以两粒子做圆周运动周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 相同，故所用的最短时间之比为 $1:1$，C 错误；

D．由几何关系得 $R_c=\frac{R_{外}-R_0}{2}=\frac{\sqrt{2}}{2}R_0$，由 $v=\frac{qBR}{m}\propto R$ 可知 $v_c=\frac{\sqrt{2}}{2}v_a$，$D$ 正确。

8. [2025 · 四川卷]（多选）如图所示，Ⅰ区有垂直于纸面向里的匀强磁场，其边界为正方形；Ⅱ区有垂直于纸面向外的匀强磁场，其外边界为圆形，内边界与Ⅰ区边界重合；正方形与圆形中心同为 O 点。Ⅰ区和Ⅱ区的磁感应强度大小比值为 $4:1$。一带正电的粒子从Ⅱ区外边界上 a 点沿正方形某一条边的中垂线方向进入磁场，一段时间后从 a 点离开。取 $\sin37^\circ=0.6$。则带电粒子（　　）

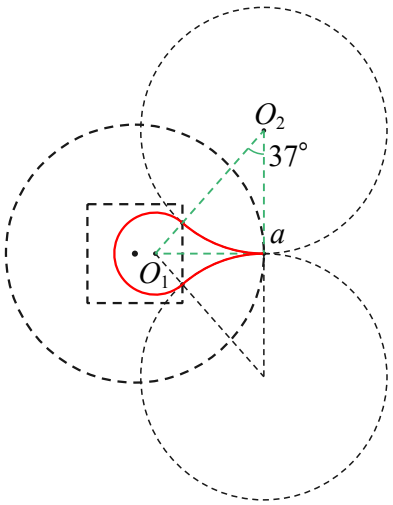


A. 在Ⅰ区的轨迹圆心不在 O 点　　B. 在Ⅰ区和Ⅱ区的轨迹半径之比为 $1:2$

C. 在Ⅰ区和Ⅱ区的轨迹长度之比为 $127:37$　　D. 在Ⅰ区和Ⅱ区的运动时间之比为 $127:148$

答案　AD

解析　A．粒子轨迹如图，则在Ⅰ区的轨迹圆心不在 O 点，故 A 正确；



B．由 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 得 $r=\frac{mv}{qB}$，故 $\frac{r_1}{r_2}=\frac{B_2}{B_1}=\frac{1}{4}$，故 B 错误；

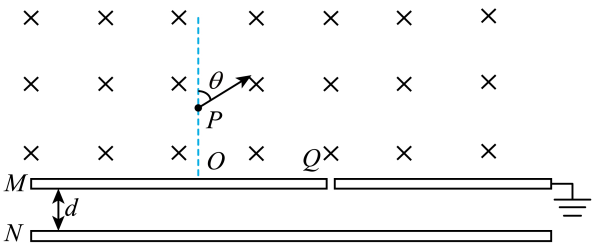
C．由 $T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$ 得 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{B_2}{B_1}=\frac{1}{4}$，

由几何关系得 $\cos\angle O_1O_2a=\frac{4}{5}$，故 $\angle O_1O_2a=37^\circ$，

在Ⅰ区的轨迹长度 $S_1=\frac{360^\circ-2\times53^\circ}{360^\circ}\times2\pi r_1=\frac{254}{180}\pi r_1$，同理在Ⅱ区的轨迹长度 $S_2=\frac{2\times37^\circ}{360^\circ}\times2\pi r_2=\frac{74}{180}\pi r_2$，故 $\frac{S_1}{S_2}=\frac{254r_1}{74r_2}=\frac{127}{148}$，故 C 错误；

D．由 $t=\frac{S}{v}$ 可知，$\frac{t_1}{t_2}=\frac{S_1}{S_2}=\frac{127}{148}$，故 D 正确。

9. [2025 · 河北卷]（多选）如图，真空中两个足够大的平行金属板 M、N 水平固定，间距为 d，M 板接地。M 板上方整个区域存在垂直纸面向里的匀强磁场。M 板 O 点处正上方 P 点有一粒子源，可沿纸面内任意方向发射比荷、速度大小均相同的同种带电粒子。当发射方向与 OP 的夹角 $\theta=60^\circ$ 时，粒子恰好垂直穿过 M 板 Q 点处的小孔。已知 $OQ=3L$，初始时两板均不带电，粒子碰到金属板后立即被吸收，电荷在金属板上均匀分布，金属板电量可视为连续变化，不计金属板厚度、粒子重力及粒子间的相互作用，忽略边缘效应。下列说法正确的是 （　　）



A. 粒子一定带正电

B. 若间距 d 增大，则板间所形成的最大电场强度减小

C. 粒子打到 M 板上表面的位置与 O 点的最大距离为 $7L$

D. 粒子打到 M 板下表面的位置与 Q 点的最小距离为 $\sqrt{3}d$

答案 BCD

解析 A．根据粒子在磁场中的偏转方向，根据左手定则可知粒子带负电，A 错误；

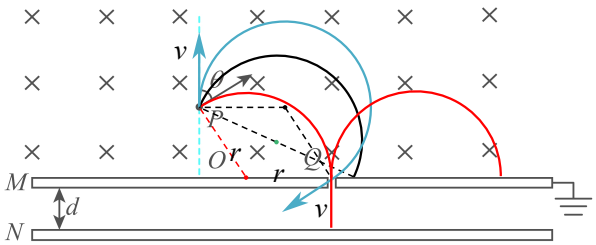
B．由于 M 板接地，当负粒子打到 M 板上时会立即导到大地上，即 M 板无法聚集负电荷；当负粒子通过 Q 点打到 N 板上时，N 板将聚集负电荷，M 板同时感应出等量正电荷。

随着粒子不断打到 N 极板上，N 极板带电量不断增加，向下的电场强度增加，从而阻碍粒子到 N 极板。当粒子恰好到不了 N 极板时有 $qE_md=\frac{1}{2}mv^2$，即最大场强 $E_m=\frac{mv^2}{2qd}$ 与 d 成反比，B 正确；

C．以 $\theta=60^\circ$ 发射时，由几何关系 $r\cos60^\circ+r=3L$，得 $r=2L$，$OP=r\sin60^\circ=\sqrt{3}L$。

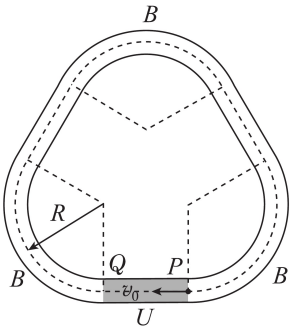
①当粒子不经过电场直接打到 M 板上表面时，可得粒子打到 M 板上表面的位置与 O 点的最大距离为 $x_m=\sqrt{(2r)^2-(OP)^2}=\sqrt{13}L$；

②当粒子垂直射入 Q 点，经电场返回时，可打到 M 板上表面距 O 点最远距离 $x_m'=\frac{r}{2}+r+2r=7L$，综上可知 C 正确；



D．因金属板厚度不计，当粒子在磁场中运动轨迹的弦长仍为 PQ 长度时，粒子仍可从 Q 点进入两板之间，由几何关系可知此时粒子从 P 点沿正上方运动，进入两板间时的速度方向与 M 板夹角为 $\alpha=30^\circ$，则在两板间运动时间 $t=\frac{2v\sin\alpha}{a}$ 其中 $a=\frac{qE}{m}$，故打到 M 板下表面距离 Q 点的距离 $s=v\cos\alpha\cdot t=\frac{\sqrt{3}mv^2}{2qE}$，当场强 E 达到最大值 $E_m=\frac{mv^2}{2qd}$ 时有最小值 $s_{min}=\sqrt{3}d$，D 正确。

10. [2025 · 广东卷]某同步加速器简化模型如图所示，其中仅直通道 PQ 内有加速电场，三段圆弧内均有可调的匀强偏转磁场 B。带电荷量为 $+q$、质量为 m 的离子以初速度 v_0 从 P 处进入加速电场后，沿顺时针方向在加速器内循环加速。已知加速电压为 U，磁场区域中离子的偏转半径均为 R。忽略离子重力和相对论效应，下列说法正确的是 （　　）



A. 偏转磁场的方向垂直纸面向里

B. 第 1 次加速后，离子的动能增加了 $2qU$

C. 第 k 次加速后，离子的速度大小变为 $\dfrac{\sqrt{m^2v_0^2+kqUm}}{m}$

D. 第 k 次加速后，偏转磁场的磁感应强度大小应为 $\dfrac{\sqrt{m^2v_0^2+2kqUm}}{qR}$

答案 D

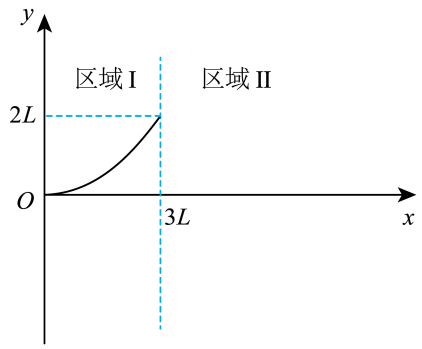
解析 A．粒子沿顺时针方向运动，由左手定则可知，偏转磁场的磁感应强度方向垂直纸面向外，故 A 错误；

B．第 1 次加速后，由动能定理得 $qU=\Delta E_k$，即离子动能增加了 qU，B 错误；

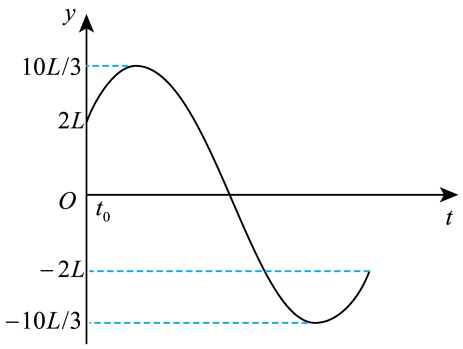
C．第 k 次加速后，由 $kqU=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$ 得 $v=\sqrt{v_0^2+\dfrac{2kqU}{m}}=\dfrac{\sqrt{m^2v_0^2+2kqUm}}{m}$，故 C 错误；

D．由 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$ 得 $B=\dfrac{mv}{qR}=\dfrac{\sqrt{m^2v_0^2+2kqUm}}{qR}$，故 D 正确。

11. [2025 · 山东卷](多选)如图甲所示的 Oxy 平面内，y 轴右侧被直线 $x=3L$ 分为两个相邻的区域Ⅰ、Ⅱ。区域Ⅰ内充满匀强电场，区域Ⅱ内充满垂直 Oxy 平面的匀强磁场，电场和磁场的大小、方向均未知。$t=0$ 时刻，质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子从 O 点沿 x 轴正向出发，在 Oxy 平面内运动，在区域Ⅰ中的运动轨迹是以 y 轴为对称轴的抛物线的一部分，如图甲所示。t_0 时刻粒子第一次到达两区域分界面，在区域Ⅱ中运动的 $y-t$ 图像为正弦曲线的一部分，如图乙所示。不计粒子重力。下列说法正确的是 (　　)



图甲



图乙

A. 区域Ⅰ内电场强度大小 $E=\dfrac{4mL}{qt_0^2}$，方向沿 y 轴正方向

B. 粒子在区域Ⅱ内圆周运动的半径 $R=\dfrac{20L}{3}$

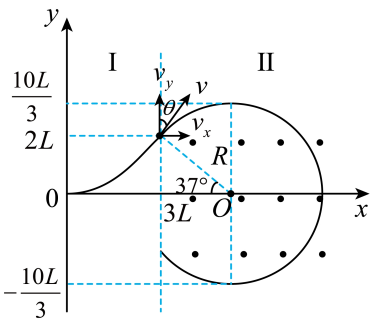
C. 区域Ⅱ内磁感应强度大小 $B=\dfrac{3m}{5qt_0}$，方向垂直 Oxy 平面向外

D. 粒子在区域Ⅱ内圆周运动的圆心坐标 $\left(\dfrac{17L}{3},0\right)$

答案 AD

解析 A．粒子在区域Ⅰ中做类平抛运动，y 方向有 $2L=\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t_0^2$ 得 $E=\dfrac{4mL}{qt_0^2}$，方向沿 y 轴正方向，A 正确；

B．粒子在区域Ⅱ中做匀速圆周运动，运动轨迹如图所示，由图乙峰值纵坐标可知圆周运动半径 $R=\dfrac{10L}{3}$，B 错误；



C．粒子做类平抛运动进入匀强磁场时 $v_x=\dfrac{3L}{t_0}$，$v_y=\dfrac{qE}{m}t_0=\dfrac{4L}{t_0}$，故速度 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\dfrac{5L}{t_0}$

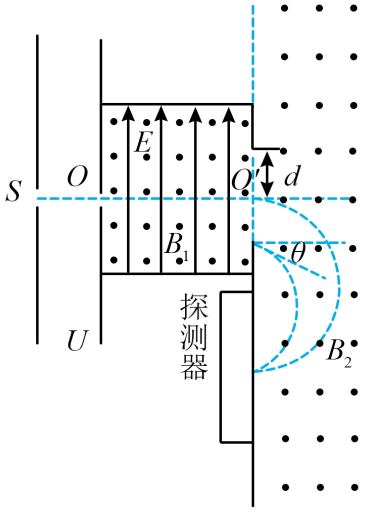
由 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$　　得 $B=\dfrac{mv}{qR}=\dfrac{3m}{2qt_0}$，$C$ 错误；

D．粒子进入匀强磁场时的速度方向与竖直方向夹角 θ 满足 $\tan\theta=\dfrac{v_x}{v_y}=\dfrac{3}{4}$，

故圆周运动圆心的横坐标 $x=3L+R\cos\theta=\frac{17L}{3}$，纵坐标 $y=2L-R\sin\theta=0$，故 D 正确。

故选 AD。

12. [2025·广西卷]（多选）如图，带等量正电荷 q 的 M、N 两种粒子，以几乎为 0 的初速度从 S 飘入电势差为 U 的加速电场，经加速后从 O 点沿水平方向进入速度选择器（简称选择器）。选择器中有竖直向上的匀强电场和垂直纸面向外的匀强磁场。当选择器的电场强度大小为 E，磁感应强度大小为 B_1，右端开口宽度为 $2d$ 时，M 粒子沿轴线 OO' 穿过选择器后，沿水平方向进入磁感应强度大小为 B_2、方向垂直纸面向外的匀强磁场（偏转磁场），并最终打在探测器上；N 粒子以与水平方向夹角为 θ 的速度从开口的下边缘进入偏转磁场，并与 M 粒子打在同一位置，忽略粒子重力和粒子间的相互作用及边界效应，则（　　）



A. M 粒子质量为 $\frac{2qUB_1^2}{E^2}$

B. 刚进入选择器时，N 粒子的速度小于 M 粒子的速度

C. 调节选择器，使 N 粒子沿轴线 OO' 穿过选择器，此时选择器的电场强度与磁感应强度大小之比为 $\frac{4EU\cos\theta}{4UB_1-EdB_2}$

D. 调节选择器，使 N 粒子沿轴线 OO' 进入偏转磁场，打在探测器上的位置与调节前 M 粒子打在探测器上的位置间距为 $\frac{4UB_1}{EB_2}+\frac{(EdB_2-4UB_1)\sqrt{U}}{EB_2\sqrt{U-Ed}\cos\theta}$

答案 AD

解析 A．对 M 粒子，在加速电场中有 $qU=\frac{1}{2}m_Mv_M^2$，在速度选择器中有 $qv_MB_1=qE$ 得 $m_M=\frac{2qUB_1^2}{E^2}$，故 A 正确；

B．进入粒子速度选择器后因 N 粒子向下偏转，可知 $qv_NB_1>qE$，即 $v_N>\frac{E}{B_1}=v_M$，故 B 错误；

C．未调节时，对 M 粒子，$qv_MB_1=qE$，$qv_MB_2=\frac{m_Mv_M^2}{r_M}$，得 $r_M=\frac{2UB_1}{EB_2}$；

在 B_2 磁场中由几何关系得 $2r_N\cos\theta+d=2r_M$，得 $r_N=\frac{4UB_1-EB_2d}{2EB_2\cos\theta}$

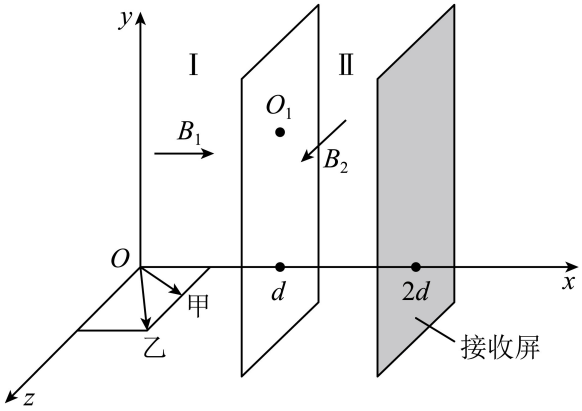
对 N 粒子，$qU-qEd=\frac{1}{2}m_Nv_{N1}^2$，$qv_{N1}B_2=\frac{m_Nv_{N1}^2}{r_N}$，得 $m_N=\frac{qB_2^2r_N^2}{2(U-Ed)}=\frac{q(4UB_1-EB_2d)^2}{8E^2\cos^2\theta(U-Ed)}$；

调节后有 $qU=\frac{1}{2}m_Nv_N^2$，$qv_NB'=qE'$，得 $\frac{E'}{B'}=v_N=\sqrt{\frac{2qU}{m_N}}=\frac{4E\cos\theta\sqrt{U(U-Ed)}}{4UB_1-EB_2d}$，故 C 错误；

D．若 N 粒子沿直线通过选择器，则在磁场中运动的半径为 $r_N'=\frac{m_Nv_N}{qB_2}=\frac{(4UB_1-EB_2d)\sqrt{U}}{2B_2E\cos\theta\sqrt{U-Ed}}$，

当粒子能沿直线通过选择器时，由 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，$qvB_2=\frac{mv^2}{r}$ 联立得 $r=\frac{1}{B_2}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$，结合 B 项分析可知 $v_N>v_M$，故 $m_N<m_M$，故 $r_N'<r_M$，所以位置间距 $\Delta x=2r_M-2r_N'=\frac{4UB_1}{EB_2}-\frac{(4UB_1-EB_2d)\sqrt{U}}{B_2E\cos\theta\sqrt{U-Ed}}$，故 D 正确。

13. [2025·海南卷]（多选）某粒子分析器的部分电磁场简化模型如图，三维直角坐标系 $O-xyz$ 所在空间中Ⅰ区域（$0\leqslant x\leqslant d$）存在沿 x 轴正方向的匀强电场（图中未画出）和匀强磁场，磁感应强度大小为 B_1，Ⅱ区域（$d<x<2d$）存在沿 z 轴正方向的匀强磁场，磁感应强度大小为 B_2，在 $x=2d$ 有一足够大的接收屏 P，原点 O 处的粒子源在 xOz 平面内同时发射带正电的同种粒子甲和乙，甲粒子的速度大小为 v_0，甲和乙的速度方向与 x 轴正方向夹角分别为 30° 和 60°，两粒子沿 x 轴方向速度分量相等。乙粒子以最短时间到达 $O_1(d,d,0)$ 点进入Ⅱ区域后恰好到达接收屏并被吸收，不计重力及粒子间的相互作用，则 （　　）



A. 两粒子不能同时到达接收屏 P

B. 两个区域磁感应强度大小之比 $\dfrac{B_2}{B_1}=\dfrac{2}{\pi}-\dfrac{\sqrt{3}}{6}$

C. 乙粒子通过 O_1 点时沿 x 轴方向速度分量 $v_x=\left(\dfrac{6}{\pi}+\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)v_0$

D. 甲、乙粒子在接收屏 P 上位置的 z 坐标之差 $\Delta z=\dfrac{\pi^2}{12-\sqrt{3}\pi}d$

答案 BD

解析 螺旋运动

在Ⅰ区域中，两粒子的运动可分解为两个分运动：

①在 x 轴方向做匀加速直线运动，两粒子沿 x 轴方向的分速度 $v_x=v_0\cos30°=\dfrac{\sqrt{3}}{2}v_0$；

②在 yOz 平面做匀速圆周运动，甲粒子对应分速度 $v_{\perp1}=v_0\sin30°=\dfrac{1}{2}v_0$，乙粒子对应分速度 $v_{\perp2}=v_x\tan60°=\dfrac{3}{2}v_0$。

C．“乙粒子以最短时间到达 O_1 点”，故乙在Ⅰ区域运动的时间为做圆周运动的周期的一半，即 $t_1=\dfrac{1}{2}T_1=\dfrac{\pi m}{qB_1}$，圆周运动半径 $r_1=\dfrac{d}{2}$，由 $qv_{\perp2}B_1=\dfrac{mv_{\perp2}^2}{r_1}$ 得 $B_1=\dfrac{3mv_0}{qd}$，$t_1=\dfrac{\pi d}{3v_0}$。

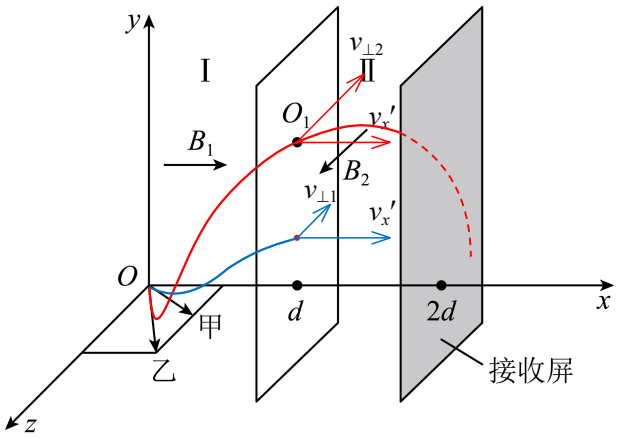
由 $d=\dfrac{v_x'+v_x}{2}t_1$ 得乙粒子到达 O_1 时的分速度 $v_x'=\left(\dfrac{6}{\pi}-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)v_0$，$C$ 错误；

B．乙粒子到达 O_1 时的分速度 $v_{\perp2}$ 方向正好沿 z 轴负方向，乙粒子在Ⅱ区域中的运动也可分解为两个分运动：①沿 z 轴负方向做匀速直线运动；②在 xOy 平面做匀速圆周运动。

乙粒子“恰好到达接收屏并被吸收”，故乙在Ⅱ区域运动的时间为做圆周运动的周期的 $\dfrac{1}{4}$，圆周运动半径 $r_2=d$，由 $qv_x'B_2=\dfrac{mv_x'^2}{r_2}$ 得 $B_2=\left(\dfrac{6}{\pi}-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)\dfrac{mv_0}{qd}$，故 $\dfrac{B_2}{B_1}=\dfrac{2}{\pi}-\dfrac{\sqrt{3}}{6}$，$B$ 正确；

A．由于甲乙是同种粒子，根据 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$ 可知甲乙在Ⅰ区域中的运动时间相同。甲粒子在Ⅰ区域也是运动半个周期，即两粒子刚进入Ⅱ区域时 z 坐标均为零，沿 z 轴负方向做匀速直线运动，在 xOy 平面做匀速圆周运动的情况也相同（v_x' 相等），所以运动时间相等，即两粒子能同时到达接收屏 P，A 错误；

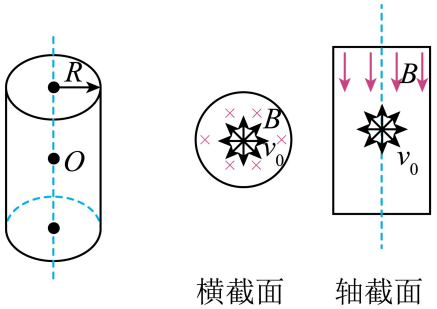
D．两粒子在Ⅱ区域中运动时间 $t_2=\dfrac{1}{4}T_2=\dfrac{\pi m}{2qB_2}=\dfrac{\pi d}{(\frac{12}{\pi}-\sqrt{3})v_0}$，故在接收屏 P 上位置的 z 坐标之差 $\Delta z=(v_{\perp 2}-v_{\perp 1})t_2=\dfrac{\pi^2 d}{12-\sqrt{3}\pi}$，$D$ 正确。



14. [2025 · 陕西卷]电子比荷是描述电子性质的重要物理量。在标准理想二极管中利用磁控法可测得比荷，一般其电极结构为圆筒面与中心轴线构成的圆柱体系统，结构简化如图 (a) 所示，足够长圆柱形筒半径为 R，正中央有一电子发射源 O 持续向空间各方向发射大量速度大小均为 v_0 的电子。某时刻起筒内加大小可调节且方向沿轴向下的匀强磁场，筒的横截面及轴截面示意图如图 (b) 所示，当磁感应强度大小从 0 缓慢调至 B_0 时，恰好没有电子落到筒壁上，不计电子间相互作用及其重力的影响。求：(R、v_0、B_0 均为已知量)

(1) 电子的比荷 $\dfrac{e}{m}$；

(2) 当磁感应强度大小调至 $\dfrac{1}{2}B_0$ 时，筒壁上落有电子的区域面积 S。



图(a)　　图(b)

答案　(1)$\dfrac{e}{m}=\dfrac{2v_0}{B_0R}$　　(2)$S=2\sqrt{3}\pi^2R^2$

解析　螺旋线

(1) 水平射出的电子圆周轨迹恰好与圆筒壁相切，故轨迹半径为 $R_0=\dfrac{R}{2}$

由 $eB_0v_0=\dfrac{mv_0^2}{R_0}$　　得 $\dfrac{e}{m}=\dfrac{2v_0}{B_0R}$

(2) 磁感应强度调整为 $\dfrac{B_0}{2}$ 后，将电子速度沿垂直轴线和平行轴线方向进行分解，分别设 v_x，v_y，电子将在垂直轴线方向上做匀速圆周运动，平行轴线方向上做匀速直线运动，电子击中筒壁距离粒子源的最远点时，其垂直轴线方向的圆周运动轨迹与筒壁相切，则轨迹半径仍为 $R_0=\dfrac{R}{2}$，由 $e\dfrac{B_0}{2}v_x=\dfrac{mv_x^2}{R_0}$

得 $v_x=\dfrac{v_0}{2}$

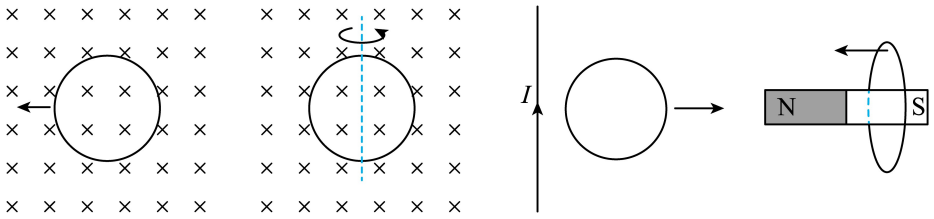
由射出到相切，经过半个周期，用时 $t=\dfrac{\pi R_0}{v_x}=\dfrac{\pi R}{v_0}$，

根据速度的合成与分解可知 $v_y=\sqrt{v_0^2-v_x^2}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}v_0$

平行轴线方向运动距离 $y=v_yt=\dfrac{\sqrt{3}\pi}{2}R$

结合对称性，被电子击中的面积 $S=2\pi R\times 2y=2\sqrt{3}\pi^2R^2$

15. [2025 · 北京卷]下列图示情况，金属圆环中不能产生感应电流的是　　(　　)



(a)　(b)　(c)　(d)

A. 图 (*a*) 中，圆环在匀强磁场中向左平移

B. 图 (*b*) 中，圆环在匀强磁场中绕轴转动

C. 图 (*c*) 中，圆环在通有恒定电流的长直导线旁向右平移

D. 图 (*d*) 中，圆环向条形磁铁 N 极平移

答案　*A*

解析　*A*．圆环在匀强磁场中向左平移，穿过圆环的磁通量不发生变化，金属圆环中不能产生感应电流，故 *A* 正确；

B．圆环在匀强磁场中绕轴转动，穿过圆环的磁通量发生变化，金属圆环中能产生感应电流，故 *B* 错误；

C．离通有恒定电流的长直导线越远，导线产生的磁感应强度越弱，圆环在通有恒定电流的长直导线旁向右平移，穿过圆环的磁通量发生变化，金属圆环中能产生感应电流，故 *C* 错误；

D．根据条形磁铁的磁感应特征可知，圆环向条形磁铁 *N* 极平移，穿过圆环的磁通量发生变化，金属圆环中能产生感应电流，故 *D* 错误。

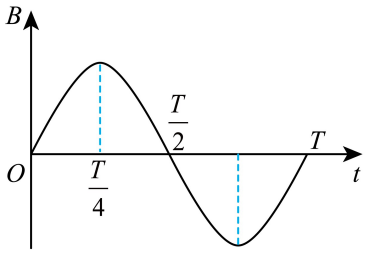
16. [2025 · 甘肃卷]闭合金属框放置在磁场中，金属框平面始终与磁感线垂直。如图，磁感应强度 B 随时间 t 按正弦规律变化。Φ 为穿过金属框的磁通量，E 为金属框中的感应电动势，下列说法正确的是 （　　）

A. t 在 $0\sim\frac{T}{4}$ 内，Φ 和 E 均随时间增大

B. 当 $t=\frac{T}{8}$ 与 $\frac{3T}{8}$ 时，E 大小相等，方向相同

C. 当 $t=\frac{T}{4}$ 时，Φ 最大，E 为零

D. 当 $t=\frac{T}{2}$ 时，Φ 和 E 均为零



答案 C

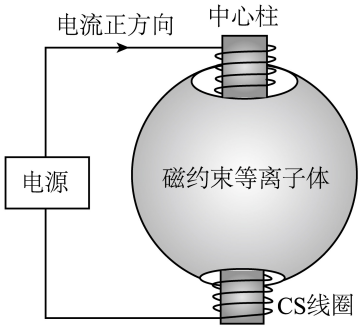
解析 A．在 $0\sim\frac{T}{4}$ 时间内，磁感应强度 B 增加，根据 $\Phi=BS$ 则磁通量 Φ 增加，但是图像的斜率减小，即磁感应强度 B 的变化率逐渐减小，根据法拉第电磁感应定律 $E=\frac{\Delta B}{\Delta t}S$，可知感应电动势 E 逐渐减小，A 错误；

B．当 $t=\frac{T}{8}$ 和 $t=\frac{3T}{8}$ 时，因 $B-t$ 图像的斜率大小相等，符号相反，可知感应电动势 E 大小相等，方向相反，B 错误；

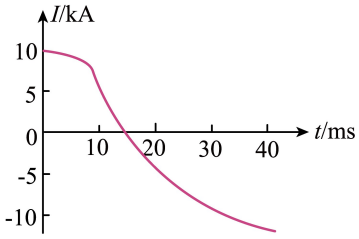
C．$t=\frac{T}{4}$ 时，B 最大，则磁通量 Φ 最大，但是 B 的变化率为零，则感应电动势 E 为零，C 正确；

D．$t=\frac{T}{2}$ 时，B 为零，则磁通量 Φ 为零，但是 B 的变化率最大，则感应电动势 E 最大，D 错误。

17. [2025 · 江西卷]托卡马克是一种磁约束核聚变装置，其中心柱上的密绕螺线管 (CS 线圈) 可以驱动附近由电子和离子组成的磁约束等离子体旋转形成等离子体电流，如图(a)所示。当 CS 线圈通以如图(b)所示的电流时，产生的等离子体电流方向 (俯视) 为 （　　）



图(a)



图(b)

A. 顺时针　　B. 逆时针

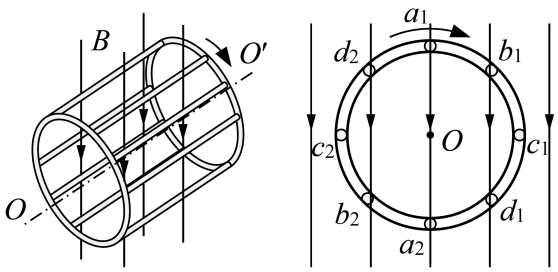
C. 先顺时针后逆时针　　D. 先逆时针后顺时针

答案 A

解析 给密绕螺线管通以图(b)中所示电流，当电流方向为正时，由右手螺旋定则可判定密绕螺线管内部磁场方向从上端指向下端、外部磁场分布从下端绕回上端。假想在磁约束等离子体中存在一绕中心柱的导体回路，穿过该回路的总磁通量以中心柱内部磁场贡献为主，因为正向电流在减小，总磁通量在减小，根据楞次定律可判断，磁约束等离子体中将产生顺时针方向感应电流；当电流方向为负时，由右手螺旋定则可判定密绕螺线管内部磁场方向从下端指向上端、外部磁场分布从上端绕回下端，穿过该回路的总磁通量依然以中心柱内部磁场贡献为主，因为负向电流在增大，总磁通量在增大，

根据楞次定律可判断，磁约束等离子体中仍将产生顺时针方向感应电流。A 项正确。

18. [2025 · 上海卷]一电动汽车采用笼式感应电机，再生制动时电机转为发电机模式。如图(a)所示的笼式电机在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕固定轴 OO' 转动，磁场方向与各导体条垂直。当电机转到如图(b)所示位置时，感应电动势最大的导体条为_____。 (　　)



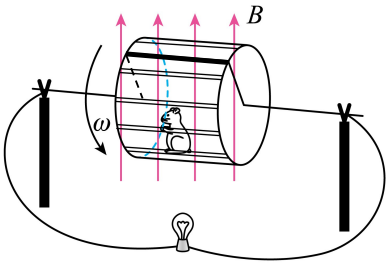
图（a）　　图（b）

A. a_1 和 a_2　　B. b_1 和 b_2　　C. c_1 和 c_2　　D. d_1 和 d_2

答案 A

解析 由图可知，磁场方向竖直向下，图中各点的线速度都沿切线方向，而此时 a_1 和 a_2 点速度方向与磁场方向垂直，产生的感应电动势最大。故选 A。

19. [2025 · 贵州卷]某同学将一底面半径为 r、高为 L 的圆柱形绝缘竹笼改造成仓鼠玩具。如图，在竹笼柱面上平行于轴线固定有一长为 L 的轻质金属棒，其两端通过导线连接一电阻为 R 的小灯泡，竹笼所在区域存在竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。若仓鼠在竹笼中奔跑时，竹笼绕水平中轴线以角速度 ω 匀速转动，小灯泡电阻视为不变，不计其他电阻，则竹笼转动一圈小灯泡消耗的电能为 (　　)

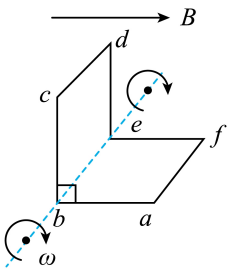


A. $\dfrac{2\pi\omega B^2L^2r^2}{R}$　　B. $\dfrac{\pi\omega B^2L^2r^2}{R}$　　C. $\dfrac{\pi\omega B^2L^4}{2R}$　　D. $\dfrac{\pi\omega B^2r^4}{2R}$

答案 B

解析 根据正弦式交流电产生原理可知，交流电最大值为 $E_m=BLr\omega$，电压有效值为 $U=\dfrac{E_m}{\sqrt{2}}$，竹笼转动一圈小灯泡消耗的电能为 $E=\dfrac{U^2}{R}\times\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{\pi\omega B^2L^2r^2}{R}$。

20. [2025·黑吉辽内卷](多选)如图,“⌊”形导线框置于磁感应强度大小为B、水平向右的匀强磁场中。线框相邻两边均互相垂直,各边长均为l。线框绕b、e所在直线以角速度ω顺时针匀速转动,be与磁场方向垂直。$t=0$时,$abef$与水平面平行,则 (　　)



A. $t=0$时,电流方向为$abcdefa$

B. $t=0$时,感应电动势为$Bl^2\omega$

C. $t=\dfrac{\pi}{\omega}$时,感应电动势为0

D. $t=0$到$t=\dfrac{\pi}{\omega}$过程中,感应电动势平均值为0

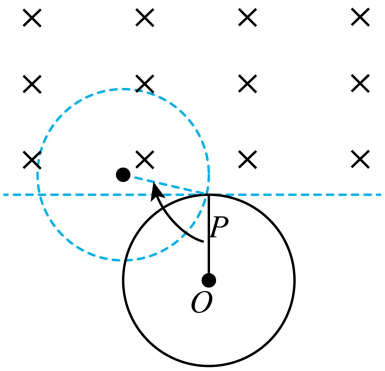
答案 AB

解析 A. $t=0$时,af边向下切割磁感线,由右手定则可知电流方向为$abcdefa$,电动势$E=Bl\cdot l\omega$

C. $t=\dfrac{\pi}{\omega}$时线框转过半圈,此时af边向上切割磁感线,电动势不为0

D. 磁通量变化$\Delta\Phi=2l^2B$,平均电动势$\bar{E}=\dfrac{\Delta\Phi}{t}\neq 0$

21. [2025·理综卷(新疆西藏)](多选)如图,过P点的虚线上方存在方向垂直于纸面的匀强磁场。一金属圆环在纸面内以P点为轴沿顺时针方向匀速转动,O为圆环的圆心,OP为圆环的半径。则 (　　)



A. 圆环中感应电流始终绕O逆时针流动

B. OP与虚线平行时圆环中感应电流最大

C. 圆环中感应电流变化的周期与环转动周期相同

D. 圆环在磁场内且OP与虚线垂直时环中感应电流最大

答案 BC

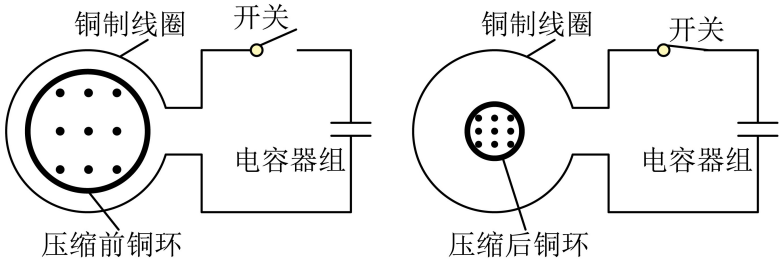
解析 A. 由楞次定律可知,在圆环进入磁场的过程中圆环中感应电流绕O逆时针流动,圆环出磁场的过程中圆环中感应电流绕O顺时针流动,故A错误;

B. OP与虚线平行时,圆环切割磁感线的等效长度(即直径)最大,故感应电流最大,故B正确;

D. 圆环在磁场内且OP与虚线垂直时等效切割长度为零,故感应电流为零,故D错误;

C. OP转动半圈过程中,等效切割长度先变大后变小,感应电流先增大后减小为零,方向为逆时针;OP再转动半圈过程中,等效切割长度先变大后变小,感应电流先增大后减小为零,但方向为顺时针。故感应电流变化周期与环转动周期相同,故C正确。

22. [2025 · 陕西卷]电磁压缩法是当前产生超强磁场的主要方法之一，其原理如图所示，在钢制线圈内同轴放置可压缩的铜环，其内已“注入”一个初级磁场，当钢制线圈与电容器组接通时，在极短时间内钢制线圈中的电流从零增加到几兆安培，铜环迅速向内压缩，使初级磁场的磁感线被“浓缩”，在直径为几毫米的铜环区域内磁感应强度可达几百特斯拉。此过程，铜环中的感应电流 （　　）



A. 与钢制线圈中的电流大小几乎相等且方向相同
B. 与钢制线圈中的电流大小几乎相等且方向相反
C. 远小于钢制线圈中的电流大小且方向相同
D. 远小于钢制线圈中的电流大小且方向相反

答案 B

解析 当钢制线圈与电容器组连通时，钢制线圈中产生迅速增大的电流，线圈中产生迅速增强的磁场。根据楞次定律，可知铜环中产生的感应电流的磁场会阻碍引起感应电流的磁通量的变化，故铜环中的感应电流与钢制线圈中的电流方向相反。为阻碍铜环中磁通量变化，铜环上感应的电流与钢制线圈的电流大小几乎相等。因此两个方向相反的大电流之间的作用力使圆环被急速的向内侧压缩。ACD 错误，B 正确。

23. [2025 · 湖北卷]如图 (a) 所示，相距 L 的两足够长平行金属导轨放在同一水平面内，两长度均为 L、电阻均为 R 的金属棒 ab、cd 垂直跨放在两导轨上，金属棒与导轨接触良好，导轨电阻忽略不计。导轨间存在与导轨平面垂直的匀强磁场，其磁感应强度大小 B 随时间变化的图像如图 (b) 所示，$t=T$ 时刻，$B=0$。$t=0$ 时刻，两棒相距 x_0，ab 棒速度为零，cd 棒速度方向水平向右，并与棒垂直，则 $0\sim T$ 时间内流过回路的电荷量为 （　　）

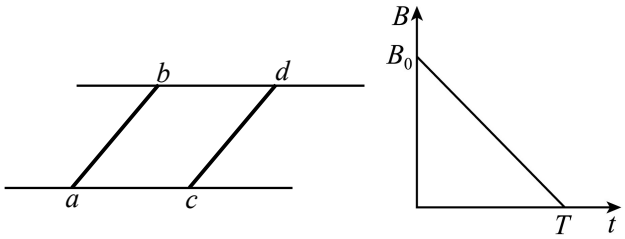


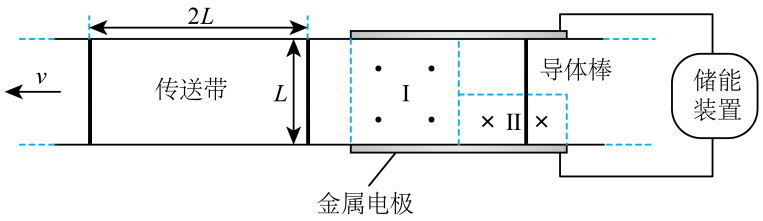
图 (a)　　图 (b)

A. $\dfrac{B_0Lx_0}{4R}$　　B. $\dfrac{B_0Lx_0}{2R}$　　C. $\dfrac{B_0Lx_0}{R}$　　D. $\dfrac{2B_0Lx_0}{R}$

答案 B

解析 Δt 内通过某个横截面的电荷 $\Delta q=I\Delta t=\dfrac{E}{2R}\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{2R\Delta t}\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{2R}$，整个过程求和得 $q=\dfrac{\Delta\Phi}{2R}=\dfrac{B_0Lx_0}{2R}$

24. [2025 · 山东卷]如图为一种交流发电装置的示意图，长度为$2L$、间距为L的两平行金属电极固定在同一水平面内，两电极之间的区域Ⅰ和区域Ⅱ有竖直方向的磁场，磁感应强度大小均为B、方向相反，区域Ⅰ边界是边长为L的正方形，区域Ⅱ边界是长为L、宽为$0.5L$的矩形。传送带从两电极之间以速度v匀速通过，传送带上每隔$2L$固定一根垂直运动方向、长度为L的导体棒，导体棒通过磁场区域过程中与电极接触良好。该装置产生电动势的有效值为



A. BLv　　B. $\frac{\sqrt{2}BLv}{2}$　　C. $\frac{3BLv}{2}$　　D. $\frac{\sqrt{10}BLv}{4}$

答案　D

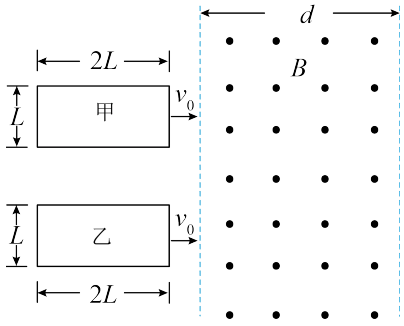
解析　导体棒通过磁场区域过程需要的时间，即周期为$T=\frac{2L}{v}$

导体棒通过区域Ⅰ时，产生的电动势大小为$E_1=BLv$，经过的时间为$t_1=\frac{L}{v}=\frac{T}{2}$

导体棒通过区域Ⅱ时，产生的电动势大小为$E_2=B(0.5L)v$，经过的时间为$t_2=\frac{L}{v}=\frac{T}{2}$

根据有效值的定义有$\frac{E_1^2}{R}t_1+\frac{E_2^2}{R}t_2=\frac{E_{有}^2}{R}T$　　得$E_{有}=\frac{\sqrt{10}BLv}{4}$

25. [2025 · 陕西卷]如图，光滑水平面上存在竖直向上、宽度d大于$2L$的匀强磁场，其磁感应强度大小为B。甲、乙两个合金导线框的质量均为m，长均为$2L$，宽均为L，电阻分别为R和$2R$。两线框在光滑水平面上以相同初速度$v_0=\frac{4B^2L^3}{mR}$并排进入磁场，忽略两线框之间的相互作用，则　　（　　）



A. 甲线框进磁场和出磁场的过程中电流方向相同

B. 甲、乙线框刚进磁场区域时，所受合力大小之比为1∶1

C. 乙线框恰好完全出磁场区域时，速度大小为0

D. 甲、乙线框从刚进磁场区域到完全出磁场区域产生的焦耳热之比为4∶3

答案　D

解析　A．根据楞次定律，甲线框进磁场的过程电流方向为顺时针，出磁场的过程中电流方向为逆时针，故A错误；

B．甲线框刚进磁场区域时，所受安培力为$F_1=BI_1L=B\cdot\frac{BLv_0}{R}L=\frac{B^2L^2v_0}{R}$；同理乙线框刚进入磁场时的安培力$F_2=\frac{B^2L^2v_0}{2R}$，故合力之比$\frac{F_1}{F_2}=2$，故$B$错误；

CD．假设甲、乙都能完全出磁场，对甲根据动量定理有$\sum-\frac{B^2L^2v}{R}\Delta t=mv_1-mv_0$，其中$\sum v\Delta t=4L$，故甲的末速度$v_1=0$，即甲刚好出磁场，故由能量守恒得$Q_1=\frac{1}{2}mv_0^2$；

同理对乙有$\sum-\frac{B^2L^2v}{2R}\Delta t=mv_2-mv_0$，故$v_2=\frac{2B^2L^3}{mR}=\frac{1}{2}v_0$，故$Q_2=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{3}{8}mv_0^2$，

故 $\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{4}{3}$，故 C 错误，D 正确。

26. [2025 · 重庆卷]（多选）如图 1 所示，小明设计的一种玩具小车由边长为 d 的正方形金属框 $efgh$ 做成，小车沿平直绝缘轨道向右运动，轨道内交替分布有边长均为 d 的正方形匀强磁场和无磁场区域，磁场区域的磁感应强度大小为 B，方向竖直向上。gh 段在磁场区域运动时，受到水平向右的拉力 $F=kv+b$（$k>0$，$b>0$），且 gh 两端的电压随时间均匀增加；当 gh 在无磁场区域运动时，$F=0$。gh 段速度大小 v 与运动路程 s 的关系如图 2 所示，图中 v_0（$v_0<\frac{b}{k}$）为 gh 每次经过磁场区域左边界时速度大小，忽略摩擦力。则 （　　）

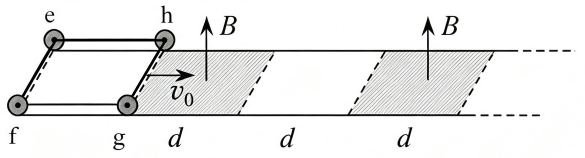


图 1

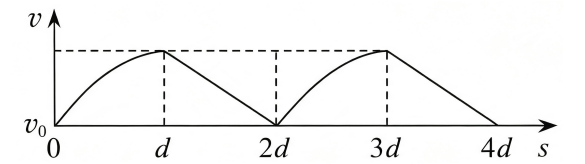


图 2

A. gh 在任一磁场区域的运动时间为 $\frac{kd}{b-kv_0}$　　B. 金属框的总电阻为 $\frac{B^2d^2}{k}$

C. 小车质量为 $\frac{k^2d}{2(b-kv_0)}$　　D. 小车的最大速率为 $\frac{2b}{k}+v_0$

答案 BC

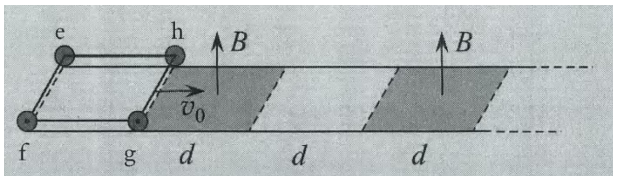
解析 当 gh 段在磁场区域运动时，gh 两端的电压（即电源的路端电压 $U=\frac{3}{4}E=\frac{3}{4}Bdv$）随时间均匀增加，可知 v 随时间均匀增加，即小车做匀加速直线运动。

B．设该过程的某时刻小车运动速度为 v，则安培力 $F_A=BId=B\frac{Bdv}{R}d=\frac{B^2d^2v}{R}$，由牛顿第二定律得 $kv+b-\frac{B^2d^2v}{R}=ma$，由于匀加速时加速度 a 不变，故有 $kv=\frac{B^2d^2v}{R}$，$a=\frac{b}{m}$，得 $R=\frac{B^2d^2}{k}$，故 B 正确；

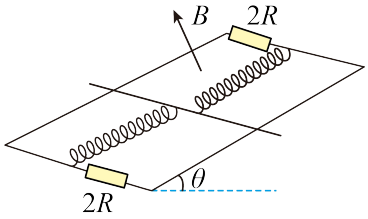
CD．当 gh 段在无磁场区域运动时，ef 段受到安培力 $F_A=\frac{B^2d^2v}{R}=kv$，由动量定理得 $\sum -F_A\Delta t=mv_0-mv_m$，得 $v_m=v_0+\frac{kd}{m}$，又 $v_m^2-v_0^2=2ad=\frac{2bd}{m}$，解得 $m=\frac{k^2d}{2(b-kv_0)}$，$v_m=\frac{2b}{k}-v_0$，故 C 正确，D 错误；

A．gh 在任一磁场区域的运动时间 $t=\frac{v_m-v_0}{a}=\frac{kd}{b}$，故 A 错误。

故选 BC。



27. [2025 · 广西卷]如图，两条固定的光滑平行金属导轨，所在平面与水平面夹角为 θ，间距为 l，导轨电阻忽略不计，两端各接一个阻值为 $2R$ 的定值电阻，形成闭合回路；质量为 m 的金属棒垂直导轨放置，并与导轨接触良好，接入导轨之间的电阻为 R；劲度系数为 k 的两个完全相同的绝缘轻质弹簧与导轨平行，一端固定，另一端均与金属棒中间位置相连，弹簧的弹性势能 E_p 与形变量 x 的关系为 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$；将金属棒移至导轨中间位置时，两弹簧刚好处于原长状态；整个装置处于垂直导轨所在平面向上的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B。将金属棒从导轨中间位置向上移动距离 a 后静止释放，金属棒沿导轨向下运动到最远处，用时为 t，最远处与导轨中间位置距离为 b，弹簧形变始终在弹性限度内。此过程中 （　　）



A. 金属棒所受安培力冲量大小为 $\frac{B^2l^2(a+b)}{R}$

B. 每个弹簧对金属棒施加的冲量大小为 $\frac{B^2l^2(a+b)}{4R}+\frac{mgt\sin\theta}{2}$

C. 每个定值电阻产生的热量为 $\frac{k(a^2-b^2)}{8}+\frac{mg(a+b)\sin\theta}{4}$

D. 金属棒的平均输出功率为 $\frac{k(a^2-b^2)+mg(a+b)\sin\theta}{2t}$

答案 D

解析 A．$I_{安}=\sum BIl\Delta t=\sum B\cdot\frac{Blv}{R_{总}}\cdot l\Delta t=\sum\frac{B^2l^2v}{R_{总}}\Delta t$，其中回路总电阻 $R_{总}=R+\frac{2R\cdot2R}{2R+2R}=2R$，$\sum v\Delta t=a+b$，故 $I_{安}=\frac{B^2l^2(a+b)}{2R}$，$A$ 错误；

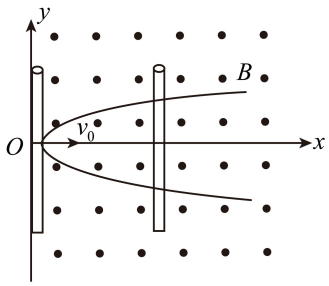
B．分析可知金属棒运动到任一位置，两根弹簧对金属棒的弹力均相同，规定沿斜面向下为正方向，由动量定理得 $2I_{弹}-I_{安}+mg\sin\theta\cdot t=0$　　得 $I_{弹}=\frac{B^2l^2(a+b)}{4R}-\frac{mgt\sin\theta}{2}$，$B$ 错误；

C．由能量守恒得 $mg(a+b)\sin\theta+2\times\frac{1}{2}ka^2=2\times\frac{1}{2}kb^2+Q_{总}$，故每个定值电阻产生的热量 $Q=\frac{1}{4}Q_{总}$，

即 $Q=\frac{mg(a+b)\sin\theta}{4}+\frac{k(a^2-b^2)}{4}$，$C$ 错误；

D．金属棒的输出电能转化为外电路焦耳热，故平均输出功率 $\overline{P}=\frac{2Q}{t}=\frac{mg(a+b)\sin\theta+k(a^2-b^2)}{2t}$，$D$ 正确。

28. [2025 · 湖南卷](多选)如图,关于x轴对称的光滑导轨固定在水平面内,导轨形状为抛物线,顶点位于O点。一足够长的金属杆初始位置与y轴重合,金属杆的质量为m,单位长度的电阻为r_0。整个空间存在竖直向上的匀强磁场,磁感应强度为B。现给金属杆一沿x轴正方向的初速度v_0,金属杆运动过程中始终与y轴平行,且与电阻不计的导轨接触良好。下列说法正确的是 (　　)



A. 金属杆沿x轴正方向运动过程中,金属杆中电流沿y轴负方向

B. 金属杆可以在沿x轴正方向的恒力作用下做匀速直线运动

C. 金属杆停止运动时,与导轨围成的面积为$\dfrac{mv_0r_0}{B^2}$

D. 若金属杆的初速度减半,则金属杆停止运动时经过的距离小于原来的一半

答案 AC

解析 A. 根据右手定则可知金属杆沿x轴正方向运动过程中,金属杆中电流沿y轴负方向,A正确;

B. 若金属杆做匀速直线运动,则$F=F_{安}=BIL=B\dfrac{BLv}{r_0L}L=\dfrac{B^2vL}{r_0}$,由于有效长度$L$在增大,故$F$一定不是恒力,$B$错误;

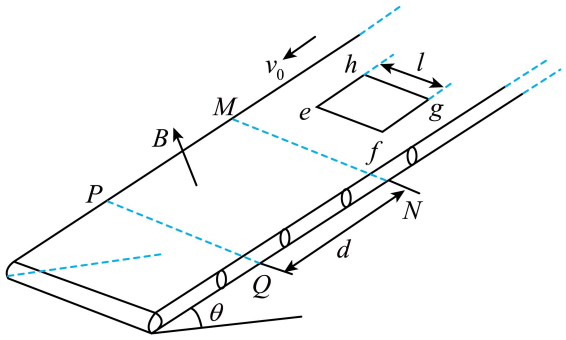
C. 在极短时间Δt内,由动量定理得$-BIL\Delta t=m\Delta v$,其中$I=\dfrac{E}{r_0L}=\dfrac{B\Delta S}{r_0L\Delta t}$,故有$-B\dfrac{B\Delta S}{r_0}=m\Delta v$

两边求和得$-\dfrac{B^2S}{r_0}=0-mv_0$,故$S=\dfrac{mv_0r_0}{B^2}$,故$C$正确;

(或$mv_0=\sum BIL\Delta t=\sum B\dfrac{BLv}{r_0L}L\Delta t=\dfrac{B^2}{r_0}\sum L\Delta x=\dfrac{B^2}{r_0}S$)

D. 由C选项分析可知,金属杆的初速度减半时S变为原来的$\dfrac{1}{2}$,根据抛物线性质可知此时金属杆停止运动时经过的距离大于原来的一半,故D错误。

29. [2025 · 江西卷]（多选）如图所示，足够长的传送带与水平面的夹角为 θ，速率恒为 v_0，宽为 d 的 $MNQP$ 区域存在与传送带平面垂直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。边长为 $l\left(l<\frac{d}{2}\right)$、质量为 m、电阻为 R 的正方形线框 $efgh$ 置于传送带上，进入磁场前与传送带保持相对静止，线框 ef 边刚离开磁场区域时的速率恰为 v_0。若线框 ef 或 gh 边受到安培力，则其安培力大于 $2mg\sin\theta$。线框受到的最大静摩擦力等于滑动摩擦力，动摩擦因数 $\mu=\tan\theta$，ef 边始终平行于 MN，重力加速度为 g。下列选项正确的是 （　　）



A. 线框速率的最小值为 $\sqrt{v_0^2-4g(d-l)\sin\theta}$

B. 线框穿过磁场区域产生的焦耳热为 $2mgd\sin\theta$

C. 线框穿过磁场区域的时间为 $\dfrac{B^2l^3+mR\left(\sqrt{v_0^2-4g(d-l)\sin\theta}-v_0\right)}{2mgR\sin\theta}$

D. ef 边从进入到离开磁场区域的时间内，传送带移动距离为 $\dfrac{B^2l^3v_0}{2mgR\sin\theta}$

答案 AD

解析 A．在 ef 边进入磁场而 gh 边未进入磁场的过程中，线框受到沿传送带平面向上的安培力 BIL 和沿传送带平面向下的重力分力 $mg\sin\theta$。若线框相对传送带滑动，则滑动摩擦力为 $\mu mg\cos\theta$，而 $\mu=\tan\theta$，故 $\mu mg\cos\theta=mg\sin\theta$。

已知线框受到的安培力 $BLI>2mg\sin\theta$，即 $BIL>mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$，因此线框将相对传送带向上滑动，滑动摩擦力方向沿传送带平面向下。线框在沿传送带平面的安培力、重力分力、摩擦力作用下做减速运动。

在 gh 边进入磁场到 ef 边离开磁场的过程中，因线框速度小于传送带速度，故其所受滑动摩擦力方向沿传送带平面向下。又因线框不受安培力，所以其在沿传送带平面的滑动摩擦力和重力分力作用下做匀加速直线运动。综上分析可知，当 gh 边刚进入磁场时，线框有最小速度 $v_{\min}$。设线框加速度为 a，根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma$，$ef$ 边离开磁场时速度恰好为 v_0，则有 $v_0^2-v_{\min}^2=2a(d-l)$，联立解得 $v_{\min}=\sqrt{v_0^2-4g(d-l)\sin\theta}$，故 A 正确；

B．在 ef 边进入磁场到 gh 边进入磁场的过程中，由动能定理有 $mgl\sin\theta+\mu mgl\cos\theta+W_{安}=\frac{1}{2}mv_{\min}^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，该过程产生的焦耳热 $Q=-W_{安}=2mgd\sin\theta$。在 ef 边离开磁场到 gh 边离开磁场的过程中，线框产生的焦耳热也为 Q。因此，线框穿过磁场区域产生的焦耳热为 $4mgd\sin\theta$，故 B 错误；

C．设 ef 边进入磁场到 gh 边进入磁场的时间为 t_1，根据闭合电路欧姆定律得 $i=\dfrac{BLv}{R}$，根据动量定理有 $mg\sin\theta\cdot t_1+\mu mg\cos\theta\cdot t_1-\sum BiL\Delta t=mv_{\min}-mv_0$

设 gh 边进入磁场到 ef 边离开磁场的时间为 t_2，有 $v_0-v_{\min}=at_2$。

因为 ef 边离开磁场到 gh 边离开磁场所用时间也为 t_1，所以线框穿过磁场区域的总时间 $t=2t_1+t_2$，联立解得 $t=\dfrac{2B^2l^3+mR\left(\sqrt{v_0^2-4g(d-l)\sin\theta}-v_0\right)}{2mgR\sin\theta}$，故 C 错误；

D．ef 边从进入到离开磁场区域的时间 $t'=t_1+t_2$，该段时间内传送带移动的距离 $s=v_0t'=\dfrac{B^2l^3v_0}{2mgR\sin\theta}$，故 D 正确。故选 AD。

30. [202501 浙江卷]（多选）如图 1 所示，在平面内存在一以 O 为圆心、半径为 r 的圆形区域，其中存在一方向垂直平面的匀强磁场，磁感应强度 B 随时间变化如图 2 所示，周期为 $3t_0$。变化的磁场在空间产生感生电场，电场线为一系列以 O 为圆心的同心圆，在同一电场线上，电场强度大小相同。在同一平面内，有以 O 为圆心的半径为 $2r$ 的导电圆环 I，与磁场边界相切的半径为 $0.5r$ 的导电圆环 II，电阻均为 R，圆心 O 对圆环 II 上 P、Q 两点的张角 $\varphi=30°$；另有一可视为无限长的直导线 CD。导电圆环间绝缘，且不计相互影响，则

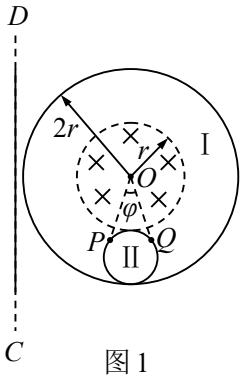


图 1

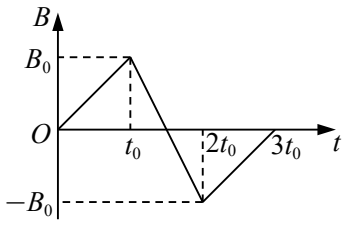


图 2

A. 圆环 I 中电流的有效值为 $\dfrac{\sqrt{3}\pi r^2B_0}{Rt_0}$

B. $t=1.5t_0$ 时刻直导线 CD 电动势为 $\pi r^2\dfrac{B_0}{t_0}$

C. $t=0.5t_0$ 时刻圆环 II 中电流为 $\dfrac{\pi r^2B_0}{12Rt_0}$

D. $t=0.5t_0$ 时刻圆环 II 上 PQ 间电动势为 $\dfrac{1}{12}\pi r^2\dfrac{B_0}{t_0}$

答案 BD

解析 A．圆环 I 中，在一个周期内的感应电动势大小分别为 $E_1=E_3=\dfrac{\pi r^2B_0}{t_0}=\dfrac{1}{2}E_2$

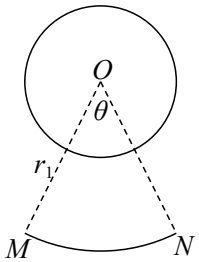
故有 $I_{有}^2R\cdot 3t_0=\dfrac{E_1^2}{R}t_0+\dfrac{E_2^2}{R}t_0+\dfrac{E_3^2}{R}t_0$，得 $I_{有}=\dfrac{\sqrt{2}E_1}{R}=\dfrac{\sqrt{2}\pi r^2B_0}{Rt_0}$

C．圆环 II 回路中没有磁通量变化，故电流为 0；

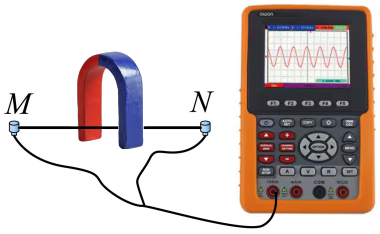
D．半径为 r_1（$r_1>r$）的圆上产生的感应电动势 $E=\dfrac{\pi r^2\Delta B}{\Delta t}$，设圆心 O 对该圆上 M、N 两点的张角为 θ，故 MN 路径间的电动势 $E_{MN}=\dfrac{\theta}{2\pi}E=\dfrac{\theta r^2\Delta B}{2\Delta t}$，

故 $t=0.5t_0$ 时刻圆环 II 上 PQ 间电动势 $E_{PQ}=\dfrac{\varphi r^2B_0}{2t_0}=\dfrac{1}{12}\pi r^2\dfrac{B_0}{t_0}$

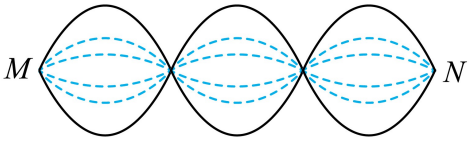
B．无限长直导线 CD 相对圆心的张角 $\theta=\pi$，故 $E_{CD}=\dfrac{\pi r^2\Delta B}{2\Delta t}=\dfrac{\pi r^2B_0}{t_0}$



31. [202506 浙江卷]如图甲所示，有一根长 1 m、两端固定紧绷的金属丝，通过导线连接示波器。在金属丝中点处放置一蹄形磁铁，在中点附近 1.00 cm 范围内产生 $B=10^{-3}$ T、方向垂直金属丝的匀强磁场（其他区域磁场忽略不计）。现用一激振器使金属丝发生垂直于磁场方向的上下振动，稳定后形成如图乙所示的不同时刻的波形，其中最大振幅 $A=0.5$ cm。若振动频率为 f，则振动最大速度 $v=2\pi fA$。已知金属丝接入电路的电阻 $r=0.5\ \Omega$，示波器显示输入信号的频率为 150 Hz。下列说法正确的是



甲



乙

A. 金属丝上波的传播速度为 $\frac{3}{2}\pi$ m/s

B. 金属丝产生的感应电动势最大值约为 $\frac{3}{2}\pi\times10^{-3}$ V

C. 若将示波器换成可变电阻，则金属丝的最大输出功率约为 $\frac{9}{16}\pi^2\times10^{-10}$ W

D. 若让激振器产生沿金属丝方向的振动，其他条件不变，则金属丝中点的振幅为零

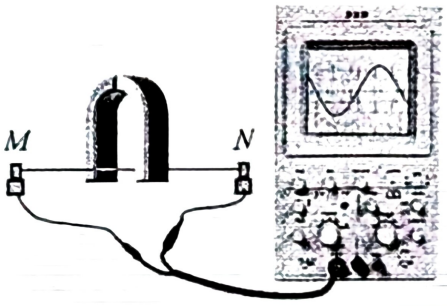
答案 C

解析 A. 由波形图可知波长 $\lambda=\frac{1\text{ m}}{1.5}=\frac{2}{3}$ m，故传播速度 $v=\lambda f=100$ m/s

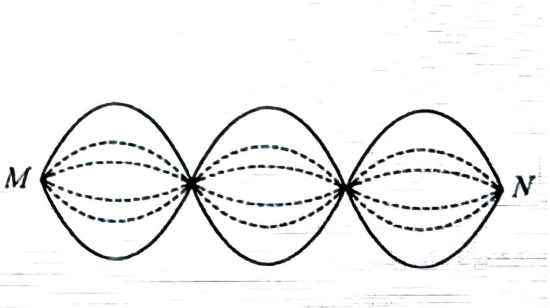
B. 处于磁场中的那部分金属丝，处于平衡位置时速度最大，为 $v_m=2\pi fA=2\pi\times150\times0.005=\frac{3}{2}\pi$ m/s，有效切割长度 $l=0.01$ m，则感应电动势最大值 $E_m=Blv_m=\frac{3}{2}\pi\times10^{-5}$ V；

C. 金属丝等效为交流电源，其电动势有效值 $U=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$，当可变电阻阻值等于电源内电阻 r 时，电源输出功率最大，即 $P_m=\frac{U^2}{4r}=\frac{E_m^2}{8r}=\frac{9}{16}\pi^2\times10^{-10}$ W

D. 纵向振动时，金属丝中点可能为波腹或波节，振幅不一定为零。

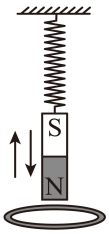


甲



乙

32. [2025 · 北京卷]绝缘的轻质弹簧上端固定，下端悬挂一个磁铁。将磁铁从弹簧原长位置由静止释放，磁铁开始振动，由于空气阻力的影响，振动最终停止。现将一个闭合铜线圈固定在磁铁正下方的桌面上(如图所示)，仍将磁铁从弹簧原长位置由静止释放，振动最终也停止。则



A. 有无线圈，磁铁经过相同的时间停止运动
B. 磁铁靠近线圈时，线圈有扩张趋势
C. 磁铁离线圈最近时，线圈受到的安培力最大
D. 有无线圈，磁铁和弹簧组成的系统损失的机械能相同

答案 *D*

解析 选修二第二章　第3节习题

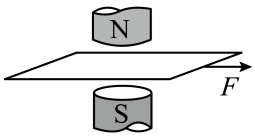
A．有线圈时，磁铁受到电磁阻尼的作用，振动更快停止，故 *A* 错误；

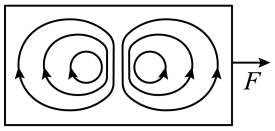
B．根据楞次定律，磁铁靠近线圈时，线圈的磁通量增大，此时线圈有缩小的趋势，故 *B* 错误；

C．磁铁离线圈最近时，此时磁铁与线圈的相对速度为零，感应电动势为零，感应电流为零，线圈受到的安培力为零，故 *C* 错误；

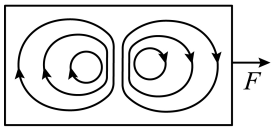
D．分析可知有无线圈时，根据平衡条件最后磁铁静止后弹簧的伸长量相同，由于磁铁和弹簧组成的系统损失的机械能为磁铁减小的重力势能减去此时弹簧的弹性势能，故系统损失的机械能相同，故 *D* 正确。

33. [2025 · 河南卷]如图，一金属薄片在力 *F* 作用下自左向右从两磁极之间通过。当金属薄片中心运动到N极的正下方时，沿N极到S极的方向看，下列图中能够正确描述金属薄片内涡电流绕行方向的是

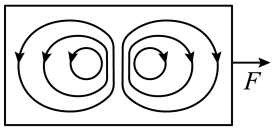




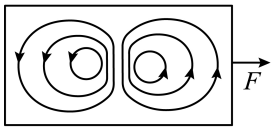
A



B



C

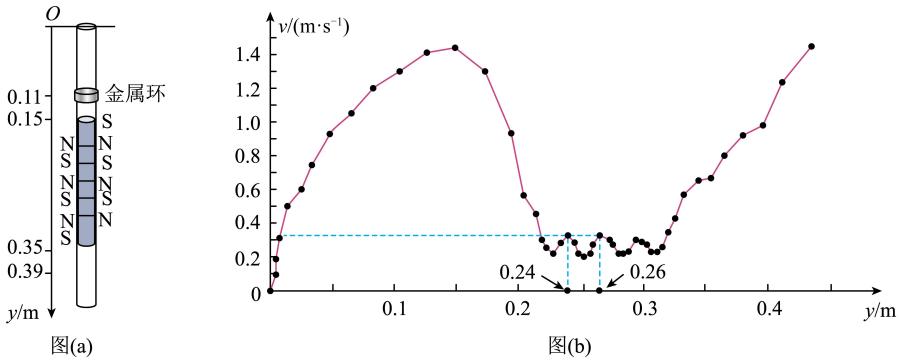


D

答案 *C*

解析 当金属薄片中心运动到 *N* 极正下方时，薄片右半部分的磁通量在减小，左半部分的磁通量在增加，由于两极间的磁场竖直向下，根据楞次定律可知此时薄片右侧的涡电流方向为顺时针，薄片左侧的涡电流方向为逆时针。

34. [2025 · 贵州卷]（多选）如图 (a)，一竖直固定的透明塑料管内固定有 6 个小磁铁，相邻磁铁同极靠近、间距很小，取距离最上端的小磁铁 S 极 0.15 m 处为坐标原点 O，y 轴正方向竖直向下。将一内径略大于塑料管外径的金属环套在塑料管上，在 O 点处由静止释放，金属环的速度一位置图像如图 (b) 所示。已知金属环的质量为 35.9 g，取重力加速度大小为 10m/s^2，不计摩擦和空气阻力，则下落过程中，金属环 （　　）



A. 在 $0.11 \leqslant y \leqslant 0.15$ m 内所受安培力方向竖直向上

B. 在 $0.35 \leqslant y \leqslant 0.39$ m 内所受安培力方向竖直向下

C. 在 $0.24 \leqslant y \leqslant 0.26$ m 内克服安培力做的功为 7.18×10^{-3} J

D. 在 $0.11 \leqslant y \leqslant 0.15$ m 内感应电流方向为顺时针方向（从上向下看）

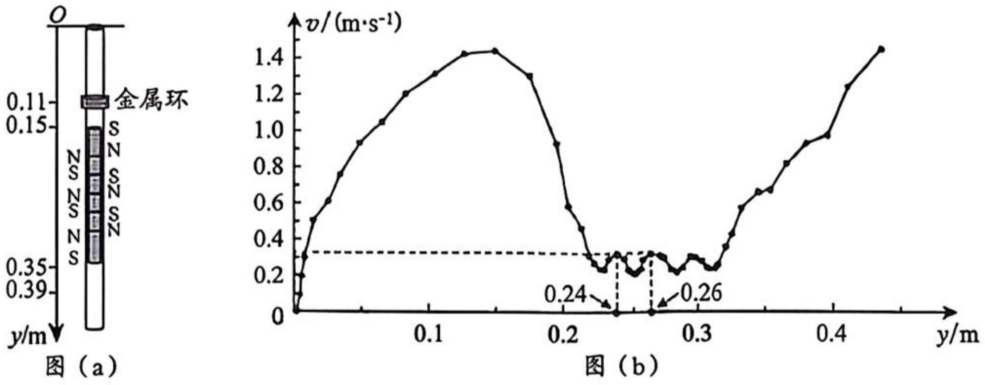
答案 AC

解析 A．由图像可知在 $0.11 \leqslant y \leqslant 0.15$ m 内加速度（斜率）明显比在原点处小，即金属环受到的安培力方向竖直向上，故 A 正确；

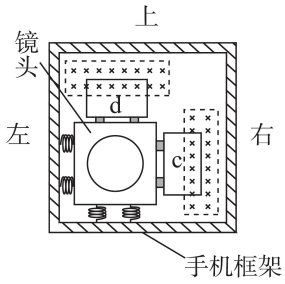
B．同理在 $0.35 \leqslant y \leqslant 0.39$ m 内加速度（斜率）较小，亦可由楞次定律或电磁阻尼可知，安培力阻碍金属环向下运动，即安培力方向竖直向上，故 B 错误；

C．由动能定理得 $mg\Delta y - W_{安} = 0 - 0$，得 $W_{安} = 0.359 \times 0.02 = 0.00718$ J，故 C 正确；

D．在 $0.11 \leqslant y \leqslant 0.15m$ 内，由图 (a) 可知，穿过金属环的磁通量向下增大，根据楞次定律可知，感应电流产生的磁场方向向上，由安培定则可知，感应电流方向为逆时针方向（从上向下看），故 D 错误。



35. [2025 · 河南卷]（多选）手机拍照时手的抖动产生的微小加速度会影响拍照质量，光学防抖技术可以消除这种影响。如图，镜头仅通过左、下两侧的弹簧与手机框架相连，两个相同线圈 c、d 分别固定在镜头右、上两侧，c、d 中的一部分处在相同的匀强磁场中，磁场方向垂直纸面向里。拍照时，手机可实时检测手机框架的微小加速度 a 的大小和方向，依此自动调节 c、d 中通入的电流 I_c 和 I_d 的大小和方向（无抖动时 I_c 和 I_d 均为零），使镜头处于零加速度状态。下列说法正确的是 （　　）



A. 若 I_c 沿顺时针方向，$I_d=0$，则表明 a 的方向向右

B. 若 I_d 沿顺时针方向，$I_c=0$，则表明 a 的方向向下

C. 若 a 的方向沿左偏上 30°，则 I_c 沿顺时针方向，I_d 沿逆时针方向且 $I_c>I_d$

D. 若 a 的方向沿右偏上 30°，则 I_c 沿顺时针方向，I_d 沿顺时针方向且 $I_c<I_d$

答案 BC

解析 举例：当手机框架有一个向左的微小加速度 a 时，左侧弹簧伸长使镜头也有一个向左的加速度，此时应使 c 线圈通入顺时针方向的电流 I_c，从而产生向右的安培力使镜头处于零加速度状态。

A．I_c 顺时针而 $I_d=0$，则左侧弹簧伸长，表明手机框架加速度方向向左，A 错误；

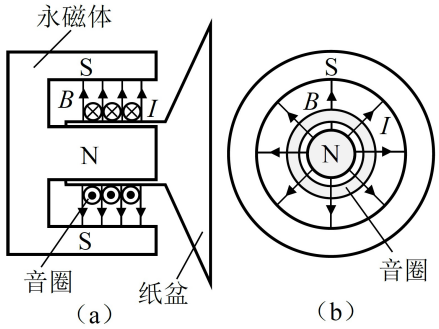
B．I_d 顺时针而 $I_c=0$，则下侧弹簧伸长，表明加速度方向向下，B 正确；

C．若 a 的方向左偏上 30°，表明水平加速度向左，竖直加速度向上，故 I_c 应顺时针，I_d 应逆时针，又由于水平加速度更大，故应有 $I_c>I_d$，C 正确；

D．若 a 的方向右偏上 30°，表明水平加速度向右，竖直加速度向上，故 I_c 应逆时针，I_d 应逆时针，又由于水平加速度更大，故应有 $I_c>I_d$，D 错误。

故选 BC。

36. [2025 · 上海卷]特雷门琴的电磁振荡通过扬声器转换为声波。扬声器的音圈绕在永磁体N上，其结构的剖面图和正视图分别如图(a)和(b)所示。



(1) A4音的频率为440 Hz，25℃时空气中的声速为347.6 m/s，则25℃时A4音的声波在空气中的波长为_____m。

(2) 当音圈中电流I的方向如图(a)所示时，图(a)中音圈所受安培力的方向_____。

A. 向左　　B. 向右　　C. 径向向内　　D. 径向向外

(3) 音圈中一匝线圈的周长为2.0 cm，若音圈所在处的径向磁场磁感应强度大小均为0.50 T，音圈中的电流$i=I_0\sin(2\pi ft)$，其中$I_0=0.71$ A，$f=200$ Hz，则该电流的有效值为_____A；音圈中一匝线圈受到的安培力的最大值为_____N。

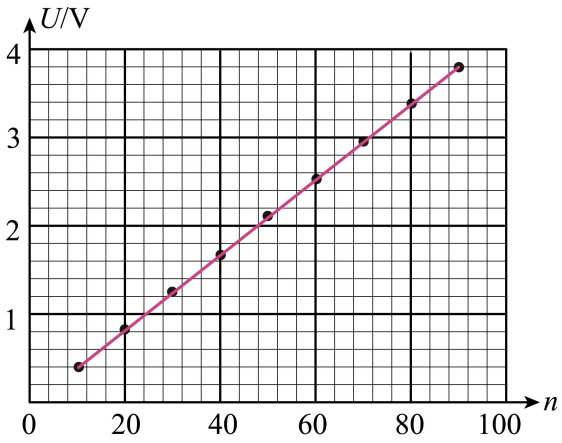
答案 (1)0.79 m　(2)B　　(3)0.5、7.1×10^{-3} N

解析 (1) 根据波速、频率和波长的关系$v=\lambda f$，则有$\lambda=\dfrac{v}{f}=\dfrac{347.6}{440}\text{ m}=0.79\text{ m}$

(2) 观察图a，根据左手定则可知线圈所受安培力方向为向右，故选B。

(3) [1] 对于正弦式交变电流，电流的有效值与峰值的关系为$I_{有}=\dfrac{I_0}{\sqrt{2}}$，则$I$的有效值为$I_{有}=\dfrac{0.71}{\sqrt{2}}$ A≈0.5 A；[2] 单匝线圈收到的安培力的最大值为$F=BI_0L=7.1\times10^{-3}$ N

37. [2025 · 江西卷]某变压器的原线圈匝数未知，将9 V的正弦交流电输入原线圈。改变副线圈的匝数n，测得副线圈两端的电压U与匝数n之间的关系如图所示。若该变压器为理想变压器，则原线圈的匝数最接近

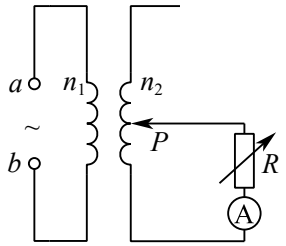


A. 110　　B. 160　　C. 210　　D. 310

答案 C

解析 由 $\frac{U_1}{U}=\frac{n_1}{n}$ 得 $U=\frac{U_1}{n_1}n$，由图中 $U-n$ 的斜率 $k=\frac{3.4}{80}=\frac{U_1}{n_1}$ 得 $n_1\approx212$

38. [2025·安徽卷]某理想变压器的实验电路如图所示，原、副线圈总匝数之比 $n_1:n_2=1:3$，Ⓐ为理想交流电流表。初始时，输入端 a、b 间接入电压 $u=12\sqrt{2}\sin(100\pi t)\,\mathrm{V}$ 的正弦式交流电，变压器的滑动触头 P 位于副线圈的正中间，电阻箱 R 的阻值调为 $6\,\Omega$。要使电流表的示数变为 $2.0\,\mathrm{A}$，下列操作正确的是 （　　）



A. 电阻箱 R 的阻值调为 $18\,\Omega$　　B. 副线圈接入电路的匝数调为其总匝数的 $\frac{1}{3}$

C. 输入端电压调为 $u=12\sqrt{2}\sin(50\pi t)\,\mathrm{V}$　　D. 输入端电压调为 $u=6\sqrt{2}\sin(100\pi t)\,\mathrm{V}$

答案 B

解析 A．输入电压峰值为 $U_m=12\sqrt{2}\,\mathrm{V}$，则输入电压有效值为 $U_1=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=12\,\mathrm{V}$，滑动触头在正中间，则输出电压 $U_2=\frac{0.5n_2}{n_1}U_1=18\,\mathrm{V}$，若将电阻箱阻值调为 18 欧姆，则电流为 $1\,\mathrm{A}$，故 A 错误；

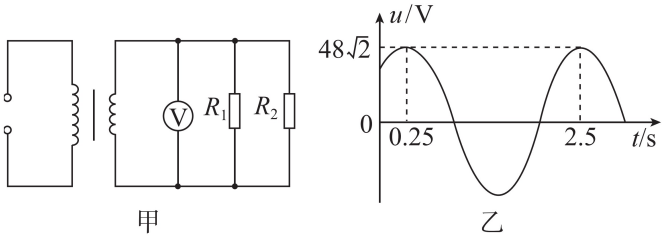
B．若将副线圈匝数调为总匝数的 $\frac{1}{3}$，则输出电压 $U_2'=\frac{\frac{1}{3}n_2}{n_1}U_1=12\,\mathrm{V}$，则副线圈电流变为 $I_2'=\frac{U_2'}{R}=2\,\mathrm{A}$，故 B 正确；

C．输入端电压调为 $u=12\sqrt{2}\sin(50\pi t)\,\mathrm{V}$ 时，其有效值不变，不会导致电流的变化，仍然为 $I=\frac{U_2}{R}=3.0\,\mathrm{A}$，故 C 错误；

D．输入电压有效值变为 $U_1''=6\,\mathrm{V}$，输出电压 $U_2''=\frac{0.5n_2}{n_1}U_1''=9\,\mathrm{V}$，副线圈电流变为 $I_2''=\frac{U_2''}{R}=1.5\,\mathrm{A}$，故 D 错误。

故选 B。

39. [2025 · 福建卷]如图甲所示，理想变压器原、副线圈匝数比为 4∶1，在副线圈的回路中接有理想交流电压表和阻值分别为 R_1、R_2 的电阻，其中 $R_1=2R_2$，原线圈接到如图乙所示的正弦式交流电路中，则



甲　　乙

A. 交流电的周期为 2.5 s　　B. 电压表示数为 12 V

C. 副线圈干路的电流为 R_1 电流的 2 倍　　D. 原副线圈功率之比为 4∶1

答案 *B*

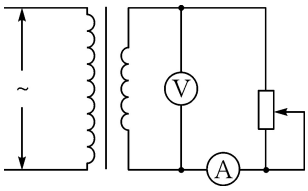
解析 *A*．由图可知，交流电的周期为 2.25 s，故 *A* 错误；

B．根据图乙可知，输入电压最大值 $U_m=48\sqrt{2}$ V，则输入电压有效值为 $U_1=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=48$ V，故副线圈电压即电压表示数为 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=12$ V，故 *B* 正确；

C．R_1 的阻值为 R_2 的 2 倍，故流经 R_1 和 R_2 的电流之比为 1∶2，副线圈干路电流等于流经两电阻的电流之和，则副线圈干路的电流为 R_1 电流的 3 倍，故 *C* 错误；

D．理想变压器输出功率等于输入功率，即原副线圈功率相同，故 *D* 错误。

40. [2025 · 海南卷]（多选）如图所示，理想变压器接在 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$ (V) 交流电上，此时电压表读数为 10 V，电流表读数为 4 A，电表皆为理想电表，则　　（　　）



A. 输入电压有效值为 220 V　　B. 原线圈输入电流为 5.5 A

C. 滑动变阻器向下滑动，电压表读数减小　　D. 滑动变阻器向上滑动，电流表读数增大

答案 *AD*

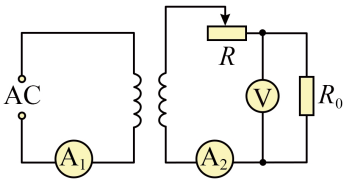
解析 *A*．输入电压有效值 $U_1=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=220$ V，故 A 正确；

B．理想变压器输出功率等于输入功率，故 $I_1=\frac{U_2I_2}{U_1}=\frac{10\times4}{220}=\frac{2}{11}$ A，故 B 错误；

C．原线圈输入电压不变，匝数比不变，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，副线圈两端的电压不变，即电压表读数不变，*C* 错误；

D．滑动变阻器向上滑动，滑动变阻器接入的阻值减小，副线圈电压不变，根据 $I_2=\frac{U_2}{R}$ 可知电流增大，即电流表读数增大，*D* 正确。

41. [2025 · 天津卷](多选)如图所示,理想变压器的原线圈接在电压有效值不变的正弦交流电源上,副线圈接有滑动变阻器和定值电阻,各电表均为理想交流电表。当滑动变阻器的滑动片向右滑动时,则 (　　)



A. 电流表 A_1 的示数变小　　B. 电流表 A_2 的示数变小

C. 电压表 V 的示数变大　　D. 变压器的输入功率变大

答案 *CD*

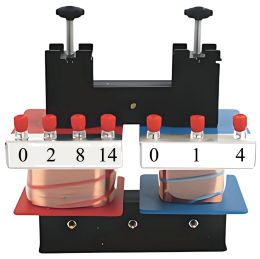
解析 理想变压器的输出电压由输入电压和匝数比决定,输入电压不变,所以输出电压也不会变;

AB. 当滑动变阻器的滑动片向右滑动时,滑动变阻器接入电路的电阻变小,根据欧姆定律 $I=\frac{U}{R_{总}}$ 可知副线圈回路中电流变大,即电流表 A_2 的示数变大,根据 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 可知原线圈回路中电流变大,即电流表 A_1 的示数变大,故 *AB* 错误;

C. 电压表 *V* 测电阻 R_0 两端的电压,滑动变阻器接入电路的电阻变小,根据 $U=I_2R_0$ 可知电压表 *V* 的示数变大,故 *C* 正确;

D. 根据 $P=U_1I_1$ 可知变压器的输入功率变大,故 *D* 正确。选 *CD*。

42. [2025 · 江苏卷]用图示可拆变压器进行探究实验,当变压器左侧的输入电压为 2 V 时,若右侧接线柱选取“0”和“4”,右侧获得 4 V 输出电压. 则左侧接线柱选取的是 (　　)



A. “0”和“2”　　B. “2”和“8”

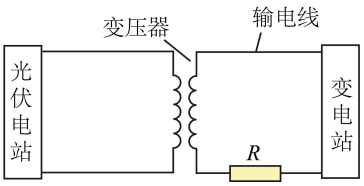
C. “2”和“14”　　D. “8”和“14”

答案 *A*

解析 根据理想变压器电压比与匝数比关系有 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,即 $\frac{2\text{V}}{4\text{V}}=\frac{n_1}{4}$,得 $n_1=2$,

故原线圈接入的匝数是 2 匝,即左侧接线柱线圈选取的是“0”和“2”。

43. [2025 · 广东卷]如图所示。某光伏电站输出功率 1000 kW、电压 400 V 的交流电,经理想变压器升压至 10 kV 后,通过输电线输送到变电站,输电线的等效电阻 *R* 为 5 Ω。下列说法正确的是 (　　)



A. 变压器原、副线圈匝数比为 1 : 100　　B. 输电线上由 *R* 造成的电压损失为 500 V

C. 变压器原线圈中的电流为 100 A　　D. 变压器原、副线圈中电流的频率不同

答案 B

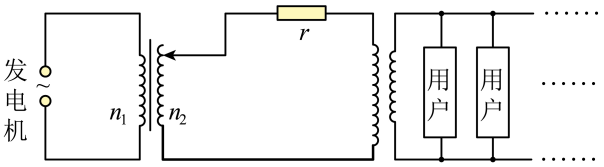
解析 A．根据理想变压器原副线圈电压比等于匝数比可得 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=\frac{400}{10000}=\frac{1}{25}$，$A$ 错误；

B．原副线圈两端的功率相等，流过副线圈的电流 $I_2=\frac{P}{U_2}=\frac{1000000}{10000}A=100\,\mathrm{A}$，输电线上由 R 造成的电压损失为 $\Delta U=I_2R=100\times5\,\mathrm{V}=500\,\mathrm{V}$，$B$ 正确；

C．变压器原线圈中的电流为 $I_1=\frac{P}{U_1}=\frac{1000000}{400}\,\mathrm{A}=2500\,\mathrm{A}$，$C$ 错误；

D．变压器不改变交变电流的频率，变压器原、副线圈中电流的频率相同，D 错误。

44. [2025 · 湖北卷]（多选）在如图所示的输电线路中，交流发电机的输出电压一定，两变压器均为理想变压器，左侧升压变压器的原、副线圈匝数分别为 n_1、n_2，两变压器间输电线路电阻为 r。下列说法正确的是（　　）

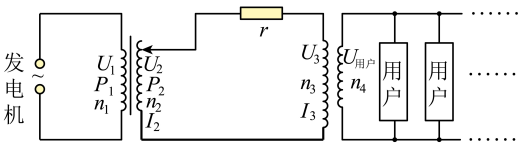


A. 仅增加用户数，r 消耗的功率增大　　B. 仅增加用户数，用户端的电压增大

C. 仅适当增加 n_2，用户端的电压增大　　D. 仅适当增加 n_2，整个电路消耗的电功率减小

答案 AC

解析 A．整个电路物理量标注如图



设用户端总电阻为 $R_{用户}$，降压器输入端等效为电阻 $R_{等}$，则有 $\frac{U_3^2}{R_{等}}=\frac{U_4^2}{R_{用户}}$，结合 $\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$ 得 $R_{等}=\frac{n_3^2}{n_4^2}R_{用户}$。

在两变压器之间有 $U_2=I_2(r+R_{等})$，得 $I_2=\frac{U_2}{r+\frac{n_3^2}{n_4^2}R_{用户}}$，当仅增加用户数时 $R_{用户}$ 减小，故 I_2 增大，r 消耗的功率 $P=I_2^2r$ 增大，故 A 正确；

B．仅增加用户数时，I_2 增大，根据 $U_3=U_2-I_2r$ 可知 U_3 减小，所以用户端的电压 $U_4=\frac{n_4}{n_3}U_3$ 减小，故 B 错误；

C．仅适当增加 n_2，则 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$ 增大，$I_2=\frac{U_2}{r+\frac{n_3^2}{n_4^2}R_{用户}}$ 增大，$U_3=I_2R_{用户}$ 增大，故用户端电压 $U_4=\frac{n_4}{n_3}U_3$ 增大，故 C 正确；

D．仅适当增加 n_2，则 U_2 和 I_2 都增大，故整个电路消耗的电功率 $P_1=P_2=U_2I_2$ 变大，故 D 错误。

45. [2025·广西卷]某变压器输入正弦交流电的电压有效值为220 V。输出电压最大值为$11\sqrt{2}$ V，该变压器视为理想变压器，其原、副线圈匝数之比为（　　）

A. $20:\sqrt{2}$　　B. $20\sqrt{2}:1$　　C. $20:1$　　D. $1:20$

答案 *C*

解析 变压器次级电压有效值为$U_2=\frac{11\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\text{ V}=11\text{ V}$，则匝数比$\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=\frac{220}{11}=\frac{20}{1}$，故选*C*。

46. [2025·重庆卷]（多选）2025年1月“疆电入渝”工程重庆段全线贯通，助力重庆形成特高压输电新格局，该工程计划将输电站提供的1.6×10^6 V直流电由新疆输送至重庆，多次转换后变为1.0×10^4 V的交流电，再经配电房中的变压器（视为理想变压器）降为$220\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V的家用交流电，若输电线路输送功率为8.0×10^9 W，且直流输电过程中导线电阻产生的电功率损耗不超过输送功率的5%，则（　　）

A. 直流输电导线中的电流为250 A

B. 直流输电导线总阻值不超过16Ω

C. 家用交流电的电压最大值为220 V，频率为50 Hz

D. 配电房中变压器原、副线圈中电流比为11∶500

答案 *BD*

解析 *A*. 直流输电电流$I=\frac{P}{U}=\frac{8.0\times10^9\text{W}}{1.6\times10^6\text{V}}=5000\text{ A}$，故*A*错误；

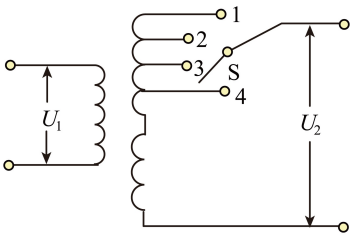
B. 导线电阻产生的最大电功率$P_{损}=5\%P=4\times10^8\text{ W}$，则导线总阻值上限$R=\frac{P_{损}}{I^2}=\frac{4\times10^8}{(5000)^2}\Omega=16\Omega$，故*B*正确；

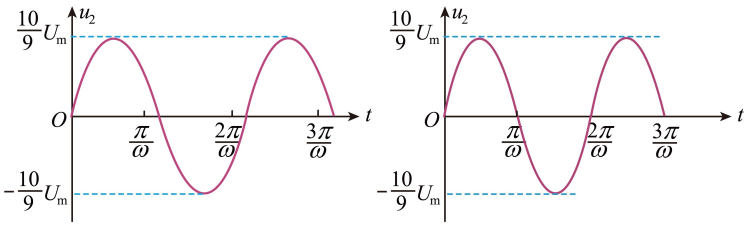
C. 家用交流电的峰值电压为$220\sqrt{2}$ Vm，频率为$f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{100\pi}{2\pi}=50\text{ Hz}$，故*C*错误；

D. 变压器原线圈电压$U_1=1.0\times10^4$ V，副线圈电压$U_2=220$ V，理想变压器输出功率等于输入功率，故$\frac{I_1}{I_2}=\frac{U_2}{U_1}=\frac{220}{10000}=\frac{11}{500}$，故*D*正确。

故选*BD*。

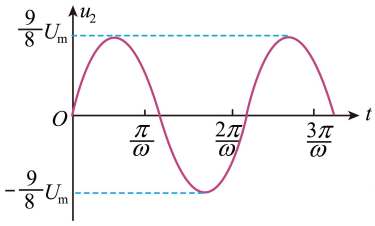
47. [2025·河北卷]2024年底，世界装机容量最大的抽水蓄能电站——河北丰宁抽水蓄能电站全面投产发电。如图，若该电站通过理想变压器调节输出电压 U_2 时，输入电压 U_1 保持不变。已知副线圈总匝数为 n，分接头1、2间和2、3间的线圈匝数 $n_{12}=n_{23}=\frac{n}{10}$，开关 S 接3时输出电压的瞬时值 $u_2=U_m\sin\omega t$，则 S 接2时 u_2-t 的图像为 （　　）



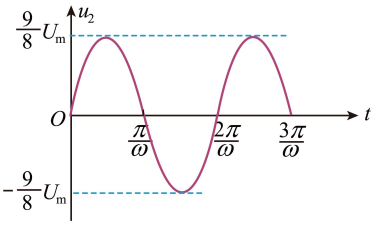


A

B



C



D

答案 D

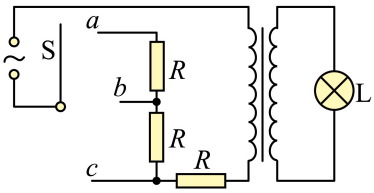
解析 开关 S 接3时副线圈匝数为 $n_3=n-\frac{2}{10}n=\frac{8}{10}n$，接2时副线圈匝数为 $n_2=n-\frac{1}{10}n=\frac{9}{10}n$，

根据理想变压器电压比与匝数比关系可知 $\frac{U_1}{U_3}=\frac{n_1}{n_3}$，$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，

由于输入电压 U_1 不变，可知 $\frac{U_2}{U_3}=\frac{n_2}{n_3}$，即 $\frac{u_2}{U_m\sin\omega t}=\frac{9}{8}$　得 $u_2=\frac{9}{8}U_m\sin\omega t$

可知此时输出的交流电的周期为 $T=\frac{2\pi}{\omega}$，故选 D。

48. [2025·湖南卷]如图，某小组设计了灯泡亮度可调的电路，a、b、c 为固定的三个触点，理想变压器原、副线圈匝数比为 k，灯泡L和三个电阻的阻值均恒为 R，交变电源输出电压的有效值恒为 U。开关 S 与不同触点相连，下列说法正确的是 （　　）



A. S 与 a 相连，灯泡的电功率最大

B. S 与 a 相连，灯泡两端的电压为 $\frac{kU}{k^2+3}$

C. S 与 b 相连，流过灯泡的电流为 $\frac{U}{(k^2+2)R}$

D. S 与 c 相连，灯泡的电功率为 $\frac{U^2}{(k^2+1)R}$

答案 B

解析 变压器的等效电阻法 将理想变压器与副线圈电路等效为一个电阻 R'，由理想变压器 $P_{出}=P_{入}$ 得 $\frac{U_1^2}{R'}=\frac{U_2^2}{R}$，故 $R'=\frac{U_1^2}{U_2^2}R=k^2R$。

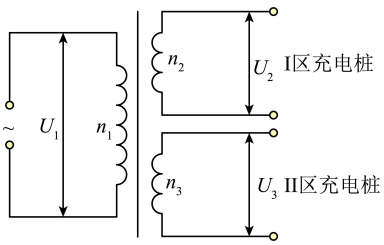
A．S 与 a 相连时，回路中总电阻最大，故电流最小，R' 电功率最小，故灯泡电功率最小，故 A 错误；

B．S 与 a 相连时，由串联分压规律得 R' 两端电压 $U_1=\dfrac{k^2R}{3R+k^2R}U=\dfrac{k^2}{3+k^2}U$，故灯泡两端的电压为 $U_2=\dfrac{U_1}{k}=\dfrac{kU}{3+k^2}$，$B$ 正确；

C．S 与 b 相连时，通过 R' 的电流 $I_1=\dfrac{U}{2R+k^2R}$，故流过灯泡的电流 $I_2=kI_1=\dfrac{kU}{(k^2+2)R}$，$C$ 错误；

D．S 与 c 相连时，R' 的电功率 $P_1=(\dfrac{U}{R+k^2R})^2R'=\dfrac{k^2U^2}{(1+k^2)^2R}$，故灯泡电功率 $P_2=P_1=\dfrac{k^2U^2}{(1+k^2)^2R}$，$D$ 错误。

49. [2025 · 云南卷]（多选）电动汽车充电桩的供电变压器（视为理想变压器）示意图如图所示。变压器原线圈的匝数为 n_1，输入电压 $U_1=1.1\ \text{kV}$；两副线圈的匝数分别为 n_2 和 n_3，输出电压 $U_2=U_3=220\ \text{V}$。当Ⅰ、Ⅱ区充电桩同时工作时，两副线圈的输出功率分别为 7.0 kW 和 3.5 kW，下列说法正确的是（　　）



A. $n_1:n_2=5:1$

B. $n_1:n_3=1:5$

C. 变压器的输入功率为 10.5 kW

D. 两副线圈输出电压最大值均为 220 V

答案 AC

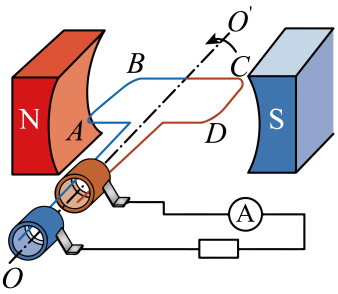
解析 A．由理想变压器得 $n_1:n_2=U_1:U_2=5:1$，$n_1:n_3=U_1:U_3=5:1$，故 A 正确，B 错误；

C．理想变压器的输入功率等于总的输出功率，故 $P_{\text{输入}}=P_{\text{输出}}=7.0\text{kW}+3.5\text{kW}=10.5\text{kW}$，故 C 正确；

D．输出电压为交流电的有效值，故两副线圈输出电压最大值均为 $U_m=220\sqrt{2}\ \text{V}$，故 D 错误。

故选 AC。

50. [2025 · 北京卷]如图所示，交流发电机中的线圈 $ABCD$ 沿逆时针方向匀速转动，产生的电动势随时间变化的规律为 $e=10\sin(100\pi t)\ \text{V}$。下列说法正确的是（　　）



A. 该交流电的频率为 100 Hz

B. 线圈转到图示位置时，产生的电动势为 0

C. 线圈转到图示位置时，AB 边受到的安培力方向向上

D. 仅线圈转速加倍，电动势的最大值变为 $10\sqrt{2}\ \text{V}$

答案 C

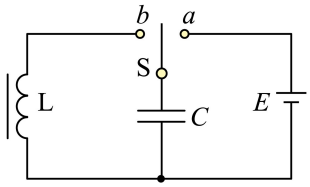
解析 A．该交流电的频率为 $f=\dfrac{\omega}{2\pi}=50\text{Hz}$，故 A 错误；

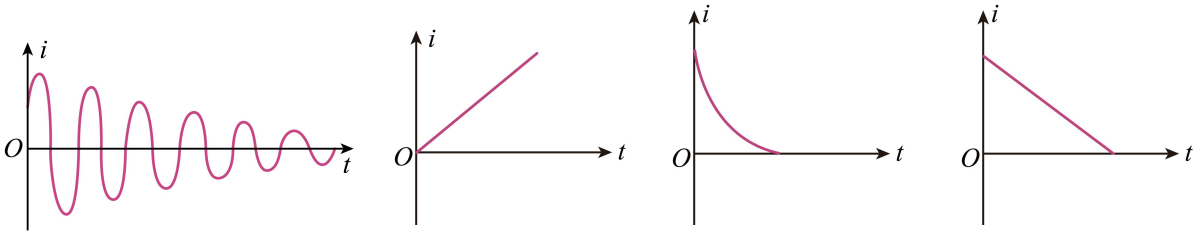
B．线圈转到图示位置时，磁场与线圈平面平行，磁通量最小，磁通量变化率最大，感应电动势最大，故 B 错误；

C．由右手定则可知，线圈转到图示位置时，电流由 $B\to A$，由左手定则可知，AB 边受到的安培力方向向上，故 C 正确；（或由电磁阻尼可知安培力阻碍线圈转动，AB 边受到向上的安培力）

D．由公式 $E_m=NBS\omega$ 可知，仅线圈转速加倍，电动势的最大值变为原来的 2 倍，为 20 V，故 D 错误。

51. [2025 · 江苏卷]如图所示．将开关S由a拨到b，使电容器C与线圈L构成回路。以电容器C开始放电取作0时刻，能正确反映电路中电流i随时间t变化关系的图象是（　　）





答案 A

解析 LC振荡回路中电流周期性变化，且初始电容放电时电流为零。

52. [2025 · 上海卷]特雷门琴电路的一部分可看成图示的LC回路。将其电磁振荡视为自由振荡。



(1) 若将手与水平天线构成的电容器近似看成平行板电容器，则当手与水平天线之间的距离减小时，它们构成的电容器的电容_____。

A. 变大　　B. 变小　　C. 不变

(2) 电容器放电完毕瞬间，以下各物理量中达到最大值的有_____。（多选）

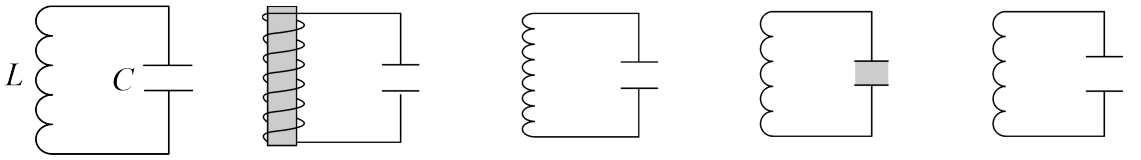
A. 电场能　　B. 电流　　C. 磁场能　　D. 电压

答案 A、BC

解析 (1) 根据平行板电容器电容的决定式$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，当人手靠近天线时，等效电容器的板间距减小，则电容变大。

(2) 在LC振荡电路中，根据$i-t$图像(LC振荡电路中电流随时间变化的图像)，当电荷量为零时，电流达到最大值。磁场能与电流成正相关，故磁场能也达到最大。而电荷量为零时，电压$U=CQ$，电压也为零，电场能也为零。故选BC。

53. [202506 浙江卷]如图所示的LC振荡电路，能减小其电磁振荡周期的措施是



A. 线圈中插入铁芯　B. 线圈匝数增加　C. 电容器极板间插入电介质　D. 电容器极板间距增大

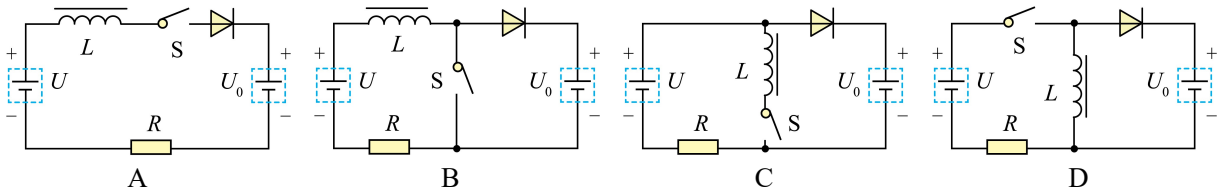
答案 D

解析 LC振荡电路周期公式$T=2\pi\sqrt{LC}$；电容决定式$C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$

AB．线圈插入铁芯、匝数增加，都会使电感L增大；

CD．插入电介质，会使电容C增大；板间距增大使电容C减小，故周期减小。

54. [202501 浙江卷]新能源汽车日趋普及，其能量回收系统可将制动时的动能回收再利用，当制动过程中回收系统的输出电压(U)比动力电池所需充电电压(U_0)低时，不能直接充入其中。在下列电路中，通过不断打开和闭合开关S，实现由低压向高压充电，其中正确的是（　　）



答案 B

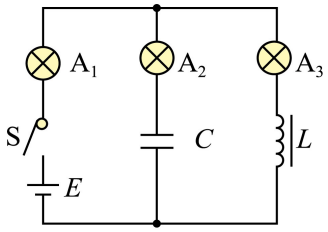
解析 A．由于$U<U_0$，则开关S闭合后无法充电，断开后U_0断路，更无法充电；

B．开关闭合时，左侧回路有电流，右侧回路截止，开关断开时，只要电感系数足够大，由于“电惯性”产生同向、比充电电压更高的自感电动势（或与U叠加后的总电压大于U_0），从而实现对动力电池的充电；

C．开关闭合时，左侧回路有电流，右侧回路截止，断开时产生的自感电动势不能加载在充电电池的两端而无法充电；

D．由于$U<U_0$，则开关闭合时，左侧回路有电流（电流从上到下通过线圈），右侧回路截止；当S断开时，线圈的电流无法通过二极管，若二极管被击穿，则电池也处于能量输出状态，故不会对电池充电

55. [2025·北京卷]如图所示，线圈自感系数为L，电容器电容为C，电源电动势为E，A_1、A_2和A_3是三个相同的小灯泡。开始时，开关S处于断开状态。忽略线圈电阻和电源内阻，将开关S闭合，下列说法正确的是（　　）



A. 闭合瞬间，A_1与A_3同时亮起　　B. 闭合后，A_2亮起后亮度不变

C. 稳定后，A_1与A_3亮度一样　　D. 稳定后，电容器的电荷量是CE

答案 C

解析 A．闭合开关瞬间，电容器 C 相当于通路，线圈 L 相当于断路，所以 A_1、A_2 瞬间亮起，A_3 逐渐变亮，A 错误；

B．闭合开关后，电容器充电，充电完成后相当于断路，所以 A_2 亮一下后熄灭，B 错误；

C．稳定后，电容器相当于断路，线圈相当于短路，所以 A_1、A_3 串联，所以一样亮，C 正确；

D．稳定后，电容器与 A_3 并联，两端电压等于 A_3 两端电压，由于线圈电阻和电源内阻忽略不计，且 A_1、A_3 串联，A_3 两端电压为 $\frac{1}{2}E$，根据 $Q=CU$，可得电容器的电荷量等于 $\frac{1}{2}CE$，D 错误。

56. [202501 浙江卷]有关下列四幅图的描述，正确的是

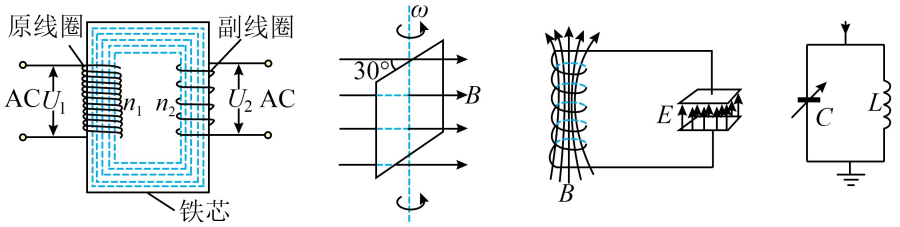


图 1　　图 2　　图 3　　图 4

A．图 1 中，$U_1:U_2=n_2:n_1$　　B．图 2 中，匀速转动的线圈电动势正在增大

C．图 3 中，电容器中电场的能量正在增大　　D．图 4 中，增大电容 C，调谐频率增大

答案 C

解析 A．理想变压器原副线圈与匝数的关系为 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$A$ 错误；

B．从图 2 所示位置转动至线框与磁感线垂直的过程中，逐渐转向中性面，因此线框中的电动势逐渐减小，B 错误；

C．电容器中电场强度方向竖直向上，因此下极板带正电，上极板带负电，根据线圈的磁场方向结合安培定则可知电流流向正极板，因此电容器正在充电，电场的能量正在增大，C 正确；

D．电容 C 增大，根据电磁振荡的频率 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 可知调谐频率减小，D 错误。

故选 C。

57. [2025 · 海南卷]某同学设计的光控照明电路如图所示，直流电源电动势 $E=3\ \mathrm{V}$（内阻不计），R_1 和 R_2 其中一个是定值电阻，一个是光敏电阻。光敏电阻的阻值随照度变化如下表，物理学中用照度描述光的强弱，光越强照度越大。当照度降低至 1.0 勒克斯（lx）时，1、2 两端电压升至 2 V，控制开关自动启动照明设备。不考虑控制开关对设计电路的影响，下列判断正确的是　　（　　）

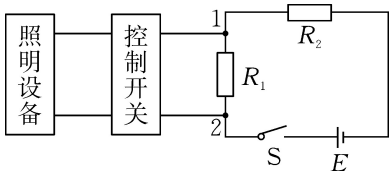
照度/lx	0.6	0.8	1.0	1.2	…
阻值/kΩ	28	23	20	18	…

A．R_1 是光敏电阻，R_2 是 10 kΩ 的定值电阻

B．R_1 是光敏电阻，R_2 是 40 kΩ 的定值电阻

C．R_2 是光敏电阻，R_1 是 10 kΩ 的定值电阻

D．R_2 是光敏电阻，R_1 是 40 kΩ 的定值电阻



答案 A

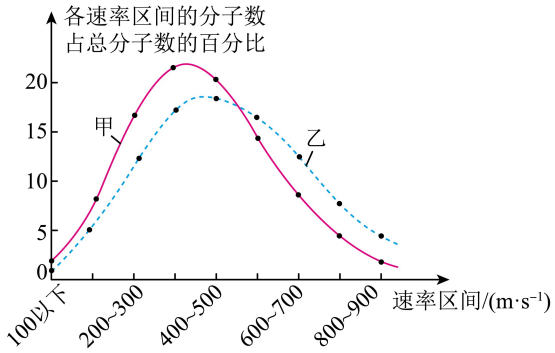
解析 选修二　第五章传感器　*B*组习题

由表可知，光敏电阻的阻值随照度变大而变小，当照度很大时光敏电阻分压较小，故 R_1 应为光敏电阻。

当照度为 1.0 lx 时光敏电阻阻值为 20 kΩ，此时 R_1(光敏电阻) 两端电压为 2 V，由串联电路分压原理可知 $R_2=\frac{1}{2}R_1=10\,\text{k}\Omega$。

六、选修三

1. [2025·江苏卷]一定质量的理想气体，体积保持不变。在甲、乙两个状态下，该气体分子速率分布图像如图所示。与状态甲相比，该气体在状态乙时 （　　）



A. 分子的数密度较大
B. 分子间平均距离较小
C. 分子的平均动能较大
D. 单位时间内分子碰撞单位面积器壁的次数较少

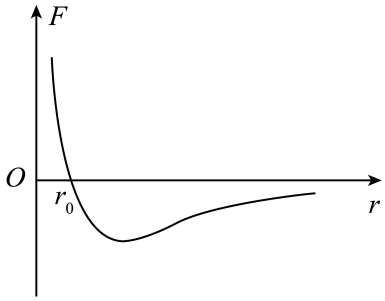
答案 *C*

解析 *AB*．根据题意，一定质量的理想气体，甲乙两个状态下气体的体积相同，所以分子密度相同、分子的平均距离相同，故 *AB* 错误；

C．根据题图可知，乙状态下气体速率大的分子占比较多，则乙状态下气体温度较高，则平均动能大，故 *C* 正确；

D．乙状态下气体平均速度大，分子数密度相等，则单位时间内撞击容器壁次数较多，故 *D* 错误。

2. [2025·山东卷]分子间作用力 F 与分子间距离 r 的关系如图所示，若规定两个分子间距离 r 等于 r_0 时分子势能 E_p 为零，则 （　　）



A. 只有 r 大于 r_0 时，E_p 为正
B. 只有 r 小于 r_0 时，E_p 为正
C. 当 r 不等于 r_0 时，E_p 为正
D. 当 r 不等于 r_0 时，E_p 为负

答案 *C*

解析 两个分子间距离 r 等于 r_0 时分子势能为零，从 r_0 处随着距离的增大，此时分子间作用力表现为引力，分子间作用力做负功，故分子势能增大；从 r_0 处随着距离的减小，此时分子间作用力表现为斥力，分子间作用力也做负功，分子势能也增大；故可知当 r 不等于 r_0 时，E_p 为正。故选 *C*。

3. [2025·广西卷]（多选）在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中 （　　）

A. 估测油酸分子大小时，油酸分子可以视为球形
B. 油膜的形状稳定后，油酸分子仍然在做热运动
C. 计算油膜面积时，忽略所有不完整的小正方形
D. 与油酸酒精溶液相比，纯油酸更容易在水面形成单分子油膜

答案 *AB*

解析 A．在油膜法测分子直径的实验中，把油膜看成单分子油膜，且分子紧密排列。由于分子形状复杂，为简化计算，通常将其视为球形模型，油膜的厚度可以近似看成是球形分子的直径，故 A 正确；

B．分子在永不停息地做无规则热运动，与宏观物体是否处于稳定状态无关。油膜稳定时，油酸分子仍然在做热运动，故 B 正确；

C．在计算油膜面积时，为了更准确地估算油膜的面积，对于周边不完整的格子，大于半格记为一个单位面积，小于半格的不计面积，而不是不完整的格子不计面积，故 C 错误；

D．为了使油酸充分展开，获得一块单分子油膜，需要将油酸在酒精力稀释后再滴入水中，故油酸酒精溶液更容易在水面形成单分子油膜，D 错误。

4. [2025 · 安徽卷]在恒温容器内的水中，让一个导热良好的气球缓慢上升。若气球无漏气，球内气体(可视为理想气体)温度不变，则气球上升过程中，球内气体 （　　）

A. 对外做功，内能不变　　B. 向外放热，内能减少

C. 分子的平均动能变小　　D. 吸收的热量等于内能的增加量

答案 A

解析 该过程中，气体温度不变，则气体的内能不变，分子的平均动能不变；气体的体积变大，气体对外做功，由热力学第一定律可知，由于气体的内能不变，则吸收的热量与气体对外做的功相等。故选 A。

5. [2025 · 重庆卷]易碎物品运输中常采用缓冲气袋减小运输中冲击。若某次撞击过程中，气袋被压缩(无破损)，不计袋内气体与外界的热交换，则该过程中袋内气体(视为理想气体) （　　）

A. 分子热运动的平均动能增加　　B. 内能减小

C. 压强减小　　D. 对外界做正功

答案 A

解析 气袋被压缩且绝热(无热交换)，视为理想气体。

AB．绝热压缩时外界对气体做功，内能增加，温度升高，分子平均动能由温度决定，分子热运动的平均动能增加，故 A 正确，B 错误；

C．根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$，体积减小，温度升高，可知压强增大，故 C 错误；

D．气体体积减小，外界对气体做功，气体对外界做负功，故 D 错误。

6. [202506 浙江卷]（多选）下列说法正确的是

A. 热量能自发地从低温物体传到高温物体

B. 按照相对论的时间延缓效应，低速运动的微观粒子寿命比高速运动时更长

C. 变压器原线圈中电流产生的变化磁场，在副线圈中激发感生电场，从而产生电动势

D. 热敏电阻和电阻应变片两种传感器，都是通过测量电阻，确定与之相关的非电学量

答案 CD

解析 A．热力学第二定律的克劳修斯表述：热量不能自发地从低温物体传到高温物体。

热力学第二定律的开尔文表述：不可能从单一热库吸收热量，使之完全变成功，而不产生其他影响。

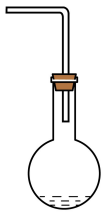
B．时间延缓效应 $\Delta t=\frac{\Delta\tau}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$

C．麦克斯韦电磁场理论，变化的磁场产生感生电场，导线中的电子在电场作用下移动，产生电动

势

D. 通过测量电阻，分别确定了电阻与温度、压力的关系，将非电学量变化转化为电阻变化。

7. [2025 · 江苏卷]如图所示，取装有少量水的烧瓶，用装有导管的橡胶塞塞紧瓶口，并向瓶内打气。当橡胶塞跳出时，瓶内出现白雾。橡胶塞跳出后，瓶内气体 （　　）



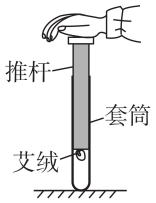
A. 内能迅速增大　　B. 温度迅速升高

C. 压强迅速增大　　D. 体积迅速膨胀

答案 *D*

解析 瓶塞跳出的过程中瓶内的气体对外做功，气体体积迅速膨胀，由于该过程的时间比较短，可知气体来不及吸收热量，根据热力学第一定律可知，气体的内能减小，则温度降低，由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$ 可知，气体压强减小。

8. [2025 · 北京卷]我国古代发明的一种点火器如图所示，推杆插入套筒封闭空气，推杆前端粘着易燃艾绒。猛推推杆压缩筒内气体，艾绒即可点燃。在压缩过程中，筒内气体 （　　）



A. 压强变小　　B. 对外界不做功　　C. 内能保持不变　　D. 分子平均动能增大

答案 *D*

解析 *C*. 猛推推杆压缩筒内气体，气体未来得及与外界发生热交换 $Q=0$，气体被压缩，体积减小，则外界对气体做正功 $W>0$，根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 可知，气体内能增大，故 *C* 错误；

A. 气体内能增大，故其温度增大，又体积减小，根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$，则气体压强增大，故 *A* 错误；

B. 气体被压缩，体积减小，则气体对外界做负功，故 *B* 错误；

D. 气体温度增大，则分子平均动能增大，故 *D* 正确。

9. [2025 · 河北卷]某同学将一充气皮球遗忘在操场上，找到时发现因太阳曝晒皮球温度升高，体积变大。在此过程中若皮球未漏气，则皮球内封闭气体 （　　）

A. 对外做功　　B. 向外界传递热量

C. 分子的数密度增大　　D. 每个分子的速率都增大

答案 *A*

解析 *A*. 皮球体积变大，气体膨胀，对外界做功，故 *A* 正确。

B. 太阳暴晒使气体温度升高，是外界对气体传热（气体吸热），故 *B* 错误。

C. 皮球未漏气，分子总数不变，体积变大，分子的数密度减小，故 *C* 错误。

D. 温度升高，分子平均动能增大，但并非每个分子速率都增大，只是“平均”情况，故 *D* 错误。

10. [2025·黑吉辽内卷]某同学冬季乘火车旅行，在寒冷的站台上从气密性良好的糖果瓶中取出糖果后拧紧瓶盖，将糖果瓶带入温暖的车厢内一段时间后，与刚进入车厢时相比，瓶内气体

A. 内能变小　　B. 压强变大

C. 分子的数密度变大　　D. 每个分子动能都变大

答案 *B*

解析 *A*．一段时间后瓶内温度升高，内能变大

BC．若忽略瓶的体积变化，则由 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$ 可知压强变大，分子数密度不变

D．分子的平均动能增大，而不是“每个分子”动能都变大

11. [2025·四川卷]如图1所示，用活塞将一定质量的理想气体密封在导热气缸内，活塞稳定在 a 处。将气缸置于恒温冷水中，如图2所示，活塞自发从 a 处缓慢下降并停在 b 处，然后保持气缸不动，用外力将活塞缓慢提升回 a 处。不计活塞与气缸壁之间的摩擦。则　　（　　）

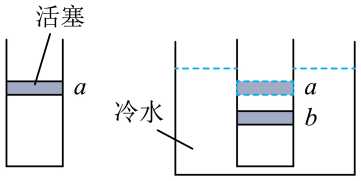


图1　　图2

A. 活塞从 a 到 b 的过程中，气缸内气体压强升高

B. 活塞从 a 到 b 的过程中，气缸内气体内能不变

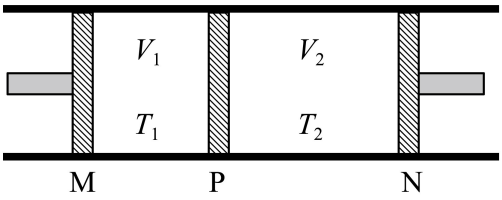
C. 活塞从 b 到 a 的过程中，气缸内气体压强升高

D. 活塞从 b 到 a 的过程中，气缸内气体内能不变

答案 *D*

解析 *AB*．活塞从 a 到 b 的过程中，气缸内气体，温度降低，则内能减小，体积减小，压强不变，故 *AB* 错误；*CD*．活塞从 b 到 a 的过程中气缸内气体温度不变，则内能不变，体积增大，根据玻意耳定律 $pV=C$ 可知压强减小，故C错误，D正确。

12. [2025·河南卷]（多选）如图，一圆柱形汽缸水平固置，其内部被活塞M、P、N密封成两部分，活塞P与汽缸壁均绝热且两者间无摩擦。平衡时，P左、右两侧理想气体的温度分别为 T_1 和 T_2，体积分别为 V_1 和 V_2，$T_1<T_2$，$V_1<V_2$。则　　（　　）



A. 固定M、N，若两侧气体同时缓慢升高相同温度，P将右移

B. 固定M、N，若两侧气体同时缓慢升高相同温度，P将左移

C. 保持 T_1、T_2 不变，若M、N同时缓慢向中间移动相同距离，P将右移

D. 保持 T_1、T_2 不变，若M、N同时缓慢向中间移动相同距离，P将左移

答案 *AC*

解析 AB．初始左右气体的压强 p_0 相同，假设在升温的过程中 P 板不发生移动，则由定容过程 $\frac{p_0}{T}=\frac{\Delta p}{\Delta T}\Rightarrow\Delta p=\frac{p_0}{T}\Delta T$，由于 $T_1<T_2$，故 $\Delta p_1>\Delta p_2$，P 板将向右移动，A 正确 B 错误；

CD．假设 P 板不发生移动，则由等温过程 $p_0V=p'(V-\Delta V)$ 得变化后的压强 $p'=\frac{p_0V}{V-\Delta V}=\frac{p_0}{1-\frac{\Delta V}{V}}$，$p'$ 随着 V 的增大而减小，由于 $V_1<V_2$，故 $p_1'>p_2'$，P 板将向右移动，C 正确 D 错误。

（方法二：

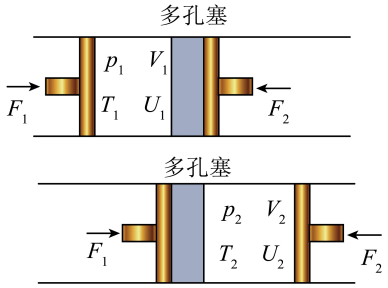
由 $\frac{pV}{T}=C$ 得 $p=CT\frac{1}{V}$，由等温过程得 $\Delta p=-\frac{CT}{V^2}\Delta V=-\frac{pV}{V^2}\Delta V=-\frac{p}{V}\Delta V$，即 $\Delta p=\frac{p}{V}|\Delta V|$

假设 P 板不发生移动，则两侧体积变化 ΔV 相等，又 $V_1<V_2$，故 $\Delta p_1>\Delta p_2$，P 板将向右移动）

（方法三：或由等温过程得 $|\Delta V|=\frac{V}{p}|\Delta p|$，两侧气体稳定后压强相等，故 Δp 相等，由于 $V_1<V_2$，故 $\Delta V_1<\Delta V_2$，P 板将向右移动）

故选 AC

13. [2025 · 贵州卷]（多选）如图，在固定的绝热气缸中固定一多孔塞，其两侧各有一绝热活塞。开始时，多孔塞左侧有一定质量的理想气体，其状态参量为 p_1、V_1、T_1，内能为 U_1，右侧活塞紧靠多孔塞。在外力 F_1 作用下，左侧气体在压强 p_1 不变的条件下缓慢通过多孔塞流向右侧，右侧气体压强因外力 F_2 作用始终为 p_2。当气体全部流入右侧后，其状态参量为 p_2、V_2、T_2，内能为 U_2。已知 $p_1>p_2$，$\frac{U_1}{T_1}=\frac{U_2}{T_2}$，不计活塞与气缸间的摩擦，装置密闭性良好，则 （　　）



A. 整个过程中左侧活塞对气缸中气体做功为 p_1V_1

B. 整个过程中气缸中气体对右侧活塞做功为 p_1V_2

C. $U_1+p_1V_1=U_2+p_2V_2$

D. $T_1<T_2$

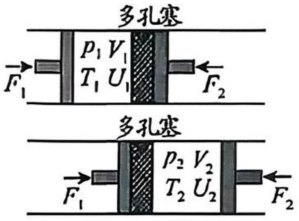
答案 AC

解析 A．因为压强 p_1 不变，且气体缓慢通过多孔塞，所以做功 $W=p_1Sx=p_1V_1$，故 A 正确；

B．同理 $W'=p_2\Delta V=p_2V_2$，故 B 错误；

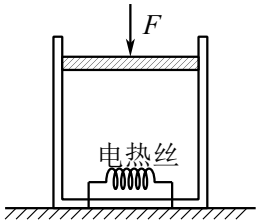
C．对气体由热力学第一定律得 $\Delta U=W+Q$，其中 $\Delta U=U_2-U_1$，$W=p_1V_1-p_2V_2$，$Q=0$（气缸绝热），即 $U_2-U_1=p_1V_1-p_2V_2$，故 C 正确；

D．由 $\frac{U_1}{T_1}=\frac{U_2}{T_2}$，$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$ 两式相加得 $\frac{U_1+p_1V_1}{T_1}=\frac{U_2+p_2V_2}{T_2}$，结合 C 选项可知 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{U_1+p_1V_1}{U_2+p_2V_2}=1$，即 $T_1=T_2$，故 D 错误。



14. [2025 · 湖北卷]如图所示，内壁光滑的汽缸内用活塞密封一定量理想气体，汽缸和活塞均绝热。用电热丝对密封气体加热，并在活塞上施加一外力 F，使气体的热力学温度缓慢增大到初态的 2 倍，同时其体积缓慢减小。关于此过程，下列说法正确的是（　　）

A. 外力 F 保持不变
B. 密封气体内能增加
C. 密封气体对外做正功
D. 密封气体的末态压强是初态的 2 倍



答案 B

解析 A．气体温度升高，体积减小，根据 $\frac{pV}{T}=C$ 可知气体压强变大，则外力 F 增加，A 错误；

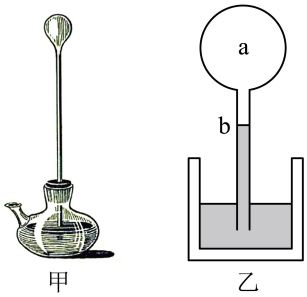
B．气体温度升高，则气体内能变大，即 ΔU 增加，B 正确；

C．气体体积减小，则外界对气体做功，C 错误；

D．根据 $\frac{pV}{T}=C$，热力学温度变为原来的 2 倍，体积减小，则气体压强大于原来的 2 倍，D 错误。

15. [2025 · 云南卷]（多选）图甲为 1593 年伽利略发明的人类历史上第一支温度计，其原理如图乙所示。硬质玻璃泡 a 内封有一定质量的气体（视为理想气体），与 a 相连的 b 管插在水槽中固定，b 管中液面高度会随环境温度变化而变化。设 b 管的体积与 a 泡的体积相比可忽略不计，在标准大气压 p_0 下，b 管上的刻度可以直接读出环境温度。则在 p_0 下（　　）

A. 环境温度升高时，b 管中液面升高
B. 环境温度降低时，b 管中液面升高
C. 水槽中的水少量蒸发后，温度测量值偏小
D. 水槽中的水少量蒸发后，温度测量值偏大



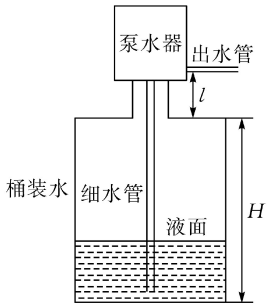
答案 BD

解析 AB．由于 b 管的体积与 a 泡的体积相比可忽略不计，故 a 中气体做等容变化，根据 $\frac{p}{T}=C$ 可知环境温度升高时 a 中气体压强增大，又 $p_a+\rho_{液}gh=p_0$，可知 b 管中液面降低，同理可知环境温度降低时，b 管中液面升高，故 B 正确，A 错误；

CD．b 管中刻度从上到下温度逐渐升高；同一温度下，a 中压强不变，b 管中液面液槽内液面高度差不变，水槽中的水少量蒸发后，槽中液面降低，则 b 管内液面降低，则温度测量值偏大，故 D 正确，C 错误。

故选 BD。

16. [2025·江西卷]如图所示，一泵水器通过细水管与桶装水相连。按压一次泵水器可将压强等于大气压强 p_0、体积为 V_0 的空气压入水桶中。在设计泵水器时应计算出 V_0 的临界值 V_{0c}，当 $V_0=V_{0c}$ 时，在液面最低的情况下仅按压一次泵水器恰能出水。设桶身的高度和横截面积分别为 H、S，颈部高度为 l，按压前桶中气体压强为 p_0。不考虑温度变化和漏气，忽略桶壁厚度及桶颈部、细水管和出水管的体积。已知水的密度为 ρ，重力加速度为 g。该临界值 V_{0c} 等于



A. $\dfrac{\rho gS}{p_0}H^2$　　B. $\dfrac{\rho gS}{p_0}H(H+l)$　　C. $\dfrac{p_0-\rho g(H+l)}{p_0}SH$　　D. $\dfrac{p_0+\rho g(H+l)}{p_0}SH$

答案 B

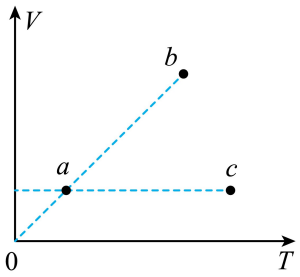
解析 往桶内压入压强为 p_0、体积为 V_{0c} 的空气后，设桶内气体压强增大到 p，

由等温过程，根据玻意耳定律得 $p_0SH+p_0V_{0c}=pSH$；

泵水恰能出水满足 $p=p_0+\rho g(H+l)$，

联立可得 $V_{0c}=\dfrac{\rho gS}{p_0}H(H+l)$。

17. [2025·理综卷(新疆西藏)](多选)如图，一定量的理想气体先后处于 $V-T$ 图上 a、b、c 三个状态，三个状态下气体的压强分别为 p_a、p_b、p_c，则　　(　　)



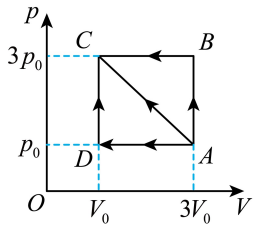
A. $p_a=p_b$　　B. $p_a=p_c$　　C. $p_a>p_b$　　D. $p_a<p_c$

答案 AD

解析 根据理想气体状态方程 $\dfrac{pV}{T}=C$，可知 $V=\dfrac{C}{p}T$，则 $V-T$ 图线上的点与坐标原点连线的斜率代表 $\dfrac{C}{p}$

由题图可知 $p_c>p_b=p_a$

18. [2025 · 天津卷]如图所示，一定质量的理想气体可经三个不同的过程从状态 A 变化到状态 C，则（　　）



A. AC 和 ADC 过程，外界对气体做功相同

B. ABC 和 ADC 过程，气体放出的热量相同

C. 在状态 A 时和在状态 C 时，气体的内能相同

D. 在状态 B 时和在状态 D 时，气体分子热运动的平均动能相同

答案 C

解析 $p-V$ 图像包围面积代表气体做功大小，即（微元法）$W=\sum p\Delta V=S$

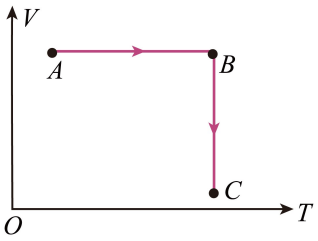
A．根据 $W=pV$，同体积下 AC 过程的压强总比 ADC 过程的压强大，则 AC 过程外界对气体做功多，故 A 错误；

B．同理可知 ABC 过程外界对气体做功比 ADC 过程大，根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 可知 ABC 过程气体放出的热量多，故 B 错误；

C．根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$ 结合题图可知状态 A 时和在状态 C 温度相等，则气体内能相同，故 C 正确；

D．根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$ 可知状态 B 的温度高于状态 D 的温度，则状态 B 气体分子热运动的平均动能大，故 D 错误。

19. [2025 · 甘肃卷]（多选）如图，一定量的理想气体从状态 A 经等容过程到达状态 B，然后经等温过程到达状态 C。已知质量一定的某种理想气体的内能只与温度有关，且随温度升高而增大。下列说法正确的是（　　）



A. $A\to B$ 过程为吸热过程

B. $B\to C$ 过程为吸热过程

C. 状态 A 压强比状态 B 的小

D. 状态 A 内能比状态 C 的小

答案 ACD

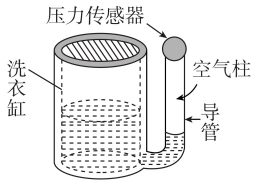
解析 A．$A\to B$ 过程，体积不变，则 $W=0$，温度升高，则 $\Delta U>0$，根据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 可知 $Q>0$，即该过程吸热，A 正确；

B．$B\to C$ 过程，温度不变，则 $\Delta U=0$，体积减小，则 $W>0$，由 $\Delta U=W+Q$ 可知 $Q<0$，即该过程为放热过程，B 错误；

C．$A\to B$过程，由$\frac{pV}{T}=C$，可知温度升高压强变大，即状态A压强比状态B压强小，C正确；

D．状态A的温度低于状态C的温度，可知状态A的内能比状态C的小，D正确。

20. [2025·福建卷]如图，洗衣机水箱的导管内存在一竖直空气柱，根据此空气柱的长度可知洗衣机内的水量多少。当空气柱压强为p_1时，空气柱长度为L_1，水位下降后，空气柱温度不变，空气柱内压强为p_2，则空气柱长度$L_2=$_____，该过程中空气柱内部气体对外界_____。（填“做正功”“做负功”或“不做功”）



答案 $\frac{p_1L_1}{p_2}$、做正功

解析 选修三第2章　A组习题

[1] 设细管的截面积为S，根据玻意耳定律有$p_1L_1S=p_2L_2S$　　得$L_2=\frac{p_1L_1}{p_2}$

[2] 根据题意当洗衣机内的水位下降时，空气柱长度变长，故内部气体对外界做正功。

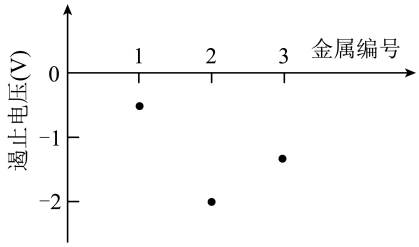
21. [2025·广西卷]已知金属铷、钾、钠、钙的逸出功分别为2.13 eV、2.25 eV、2.29 eV、3.20 eV。用光子能量为2.20 eV的单色光照射这些金属的表面，能逸出光电子的金属是（　　）

A. 铷　　B. 钾　　C. 钠　　D. 钙

答案 A

解析 当光子的能量大于金属的逸出功时就能发生光电效应，故选A。

22. [2025·山东卷]在光电效应实验中，用频率和强度都相同的单色光分别照射编号为1、2、3的金属，所得遏止电压如图所示，关于光电子最大初动能E_k的大小关系正确的是（　　）



A. $E_{k1}>E_{k2}>E_{k3}$　　B. $E_{k2}>E_{k3}>E_{k1}$　　C. $E_{k3}>E_{k2}>E_{k1}$　　D. $E_{k3}>E_{k1}>E_{k2}$

答案 B

解析 根据光电子最大初动能与遏制电压的关系$E_k=eU_c$，根据图像有$U_{c2}>U_{c3}>U_{c1}$

故$E_{k2}>E_{k3}>E_{k1}$

23. [2025·上海卷](多选))部分金属的截止频率如下表所示。复色光频率为 $5.50\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$~$6.50\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$,用此光照射下列金属可发生光电效应的是 (　　)

几种金属的截止频率					
金属	锌	钙	钠	钾	铷
$\nu_c/(10^{14}\,\mathrm{Hz})$	8.07	7.73	5.53	5.44	5.15
选项	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*

答案 *CDE*

解析 当光的频率大于金属板的极限频率时,可发生光电效应,对比可知可发生光电效应的是钠、钾、铷。

24. [2025·广东卷]有甲、乙两种金属,甲的逸出功小于乙的逸出功。使用某频率的光分别照射这两种金属,只有甲发射光电子,其最大初动能为 E_k,下列说法正确的是 (　　)

A. 使用频率更小的光,可能使乙也发射光电子

B. 使用频率更小的光,若仍能使甲发射光电子,则其最大初动能小于 E_k

C. 频率不变,减弱光强,可能使乙也发射光电子

D. 频率不变,减弱光强,若仍能使甲发射光电子,则其最大初动能小于 E_k

答案 *B*

解析 *A*. 某频率的光不能使乙金属发生光电效应,说明此光的频率小于乙金属的截止频率,则换用频率更小的光不能发生光电效应,*A* 错误;

B. 由光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$ 可知频率越大最大初动能越大,换用频率更小的光最大初动能小于 E_k,*B* 正确;

C. 频率不变则小于乙金属的截止频率,不会发生光电效应,*C* 错误;

D. 由 $E_k=h\nu-W_0$ 可知频率不变最大初动能不变,*D* 错误。

25. [2025·江苏卷]江门中微子实验室使用我国自主研发的光电倍增管,利用光电效应捕捉中微子信息。光电倍增管阴极金属材料的逸出功为 W_0,普朗克常量为 h。

(1) 求该金属的截止频率 ν_0;

(2) 若频率为 ν 的入射光能使该金属发生光电效应,求光电子的最大初动能 E_k。

答案 (1)$\dfrac{W_0}{h}$　　(2)$h\nu-W_0$

解析 (1) 由光电效应方程得 $E_k=h\nu_0-W_0$,　　当 $E_k=0$ 时,得 $\nu_0=\dfrac{W_0}{h}$

(2)$E_k=h\nu-W_0$

26. [2025 · 河北卷]光纤光谱仪的部分工作原理如图所示。待测光在光纤内经多次全反射从另一端射出，再经棱镜偏转，然后通过狭缝进入光电探测器。

(1) 若将光纤简化为真空中的长玻璃丝，设玻璃丝的折射率为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}$，求光在玻璃丝内发生全反射时的最小入射角。

(2) 若探测器光阴极材料的逸出功为 $9.939\times10^{-20}\,\mathrm{J}$，求该材料的截止频率。(普朗克常量 $h=6.626\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$)



答案 (1)60° (2)$1.5\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$

解析 (1) 光在玻璃丝内发生全反射的最小入射角满足 $\sin C=\frac{1}{n}$ 得 $C=60°$

(2) 根据光电效应方程 $E_k=hv_0-W_0=0$ 得 $v_0=1.5\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$

27. [2025 · 黑吉辽内卷](多选)某理论研究认为，${}^{100}_{42}\mathrm{Mo}$ 原子核可能发生双 β 衰变，衰变方程为 ${}^{100}_{42}\mathrm{Mo}\rightarrow{}^{A}_{44}\mathrm{Ru}+y{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$。处于第二激发态的 ${}^{A}_{44}\mathrm{Ru}$ 原子核先后辐射能量分别为 0.5908 MeV 和 0.5395 MeV 的 γ_1、γ_2 两光子后回到基态。下列说法正确的是 (　　)

A. $A=100$　　B. $y=2$

C. γ_1 的频率比 γ_2 的大　　D. γ_1 的波长比 γ_2 的大

答案 ABC

解析 AB. 原子核衰变时电荷数和质量数都守恒，故 $A=100$，$y=2$

CD. 由光子能量 $\varepsilon=hv=h\frac{c}{\lambda}$ 可知，γ_1 的频率大，γ_1 的波长小

28. [2025 · 重庆卷]在科学实验中可利用激光使原子减速，若一个处于基态的原子朝某方向运动，吸收一个沿相反方向运动的能量为 E 的光子后跃迁到相邻激发态，原子速度减小，动量变为 p。普朗克常量为 h，光速为 c，则 (　　)

A. 光子的波长为 $\frac{E}{hc}$

B. 该原子吸收光子后质量减少了 $\frac{E}{c^2}$

C. 该原子吸收光子后德布罗意波长为 $\frac{h}{p}$

D. 一个波长更长的光子也能使该基态原子跃迁到激发态

答案 C

解析 A. 光子能量公式为 $E=\frac{hc}{\lambda}$，得波长 $\lambda=\frac{hc}{E}$，故 A 错误；

B. 原子吸收光子后，能量增加 E，根据质能方程 $\Delta m=\frac{E}{c^2}$，质量应增加而非减少，故 B 错误；

C. 由德布罗意波长公式得 $\lambda=\frac{h}{p}$，故 C 正确；

D．吸收光子跃迁需光子能量严格等于能级差。波长更长的光子能量更低$\left(E'=\frac{hc}{\lambda'}<E\right)$，无法满足跃迁条件，故$D$错误。

29. [2025·北京卷]自然界中物质是常见的，反物质并不常见。反物质由反粒子构成，它是科学研究的前沿领域之一。目前发现的反粒子有正电子、反质子等；反氢原子由正电子和反质子组成。粒子与其对应的反粒子质量相等，电荷等量异种。粒子和其反粒子碰撞会湮灭。反粒子参与的物理过程也遵守电荷守恒、能量守恒和动量守恒。下列说法正确的是（　　）

A. 已知氢原子的基态能量为$-13.6\,\text{eV}$，则反氢原子的基态能量也为$-13.6\,\text{eV}$

B. 一个中子可以转化为一个质子和一个正电子

C. 一对正负电子等速率对撞，湮灭为一个光子

D. 反氘核和反氚核的核聚变反应吸收能量

答案 A

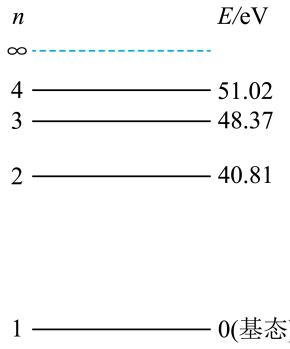
解析 A．氢原子基态能量由电子与质子决定。反氢原子由正电子和反质子构成，电荷结构相同，能级结构不变，基态能量仍为-13.6eV，故A正确；

B．该转变不符合电荷守恒，故B错误；

C．正负电子对撞湮灭时，总动量为零，需产生至少两个光子以保证动量守恒。单个光子无法满足动量守恒，故C错误；

D．核聚变通常释放能量(如普通氘核聚变)。反氘核聚变遵循相同规律，即也是释放能量，故D错误。

30. [2025·甘肃卷]利用电子与离子的碰撞可以研究离子的能级结构和辐射特性。He^+离子相对基态的能级图(设基态能量为0)如图所示。用电子碰撞He^+离子使其从基态激发到可能的激发态，若所用电子的能量为$50\,\text{eV}$，则He^+离子辐射的光谱中，波长最长的谱线对应的跃迁为



A. $n=4\to n=3$能级　B. $n=4\to n=2$能级　C. $n=3\to n=2$能级　D. $n=3\to n=1$能级

答案 C

解析 用能量为50eV的电子碰撞He^+离子，可使He^+离子跃迁到$n=3$能级和$n=2$能级，由$\Delta E=E_m-E_n=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$可知，波长最长的谱线对应的跃迁为$n=3\to n=2$能级。

31. [2025 · 上海卷]一氢原子在从量子数为4的激发态跃迁到量子数为2的激发态的过程中_____。（里德伯常量为R，真空中光速为c）（　　）

A. 吸收一频率为$Rc\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\right)$的光子　　B. 发射一频率为$Rc\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\right)$的光子

C. 吸收一频率为$Rc\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right)$的光子　　D. 发射一频率为$Rc\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right)$的光子

答案 D

解析 氢原子从高能级向低能级跃迁时会放出光子，光子的能量等于两个能级的能量差。氢原子能级公式为$E_n=-\frac{13.6\text{eV}}{n^2}$，光子的能量$E=h\nu$

根据巴耳末公式$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{k^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，以及$\nu=\frac{c}{\lambda}$，可得$\nu=cR\left(\frac{1}{k^2}-\frac{1}{n^2}\right)$

其中n是跃迁前的能级，k是跃迁后的能级。

氢原子从$n=4$跃迁到$n=2$，则$n=4$，$k=2$，故$\nu=Rc\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right)$，放出光子，$D$正确。

32. [2025 · 陕西卷]我国首台拥有自主知识产权的场发射透射电镜TH—F120实现了超高分辨率成像，其分辨率提高利用了高速电子束波长远小于可见光波长的物理性质。一个静止的电子经100 V电压加速后，其德布罗意波长为λ，若加速电压为10 kV，不考虑相对论效应，则其德布罗意波长为（　　）

A. 100λ　　B. 10λ　　C. $\frac{1}{10}\lambda$　　D. $\frac{1}{100}\lambda$

答案 C

解析 设电子经过电压加速，有$eU=\frac{1}{2}mv^2$，电子动量$p=mv$，电子德布罗意波长$\lambda=\frac{h}{p}$，联立解得$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2meU}}$，因为$U'\colon U=100\colon 1$，故$\lambda'=\frac{1}{10}\lambda$

33. [202501 浙江卷]（多选）如图1所示，三束由氢原子发出的可见光P、Q、R分别由真空玻璃管的窗口射向阴极K。调节滑动变阻器，记录电流表与电压表示数，两者关系如图2所示。下列说法正确的是

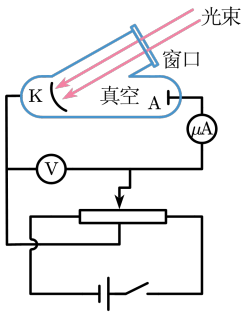


图1

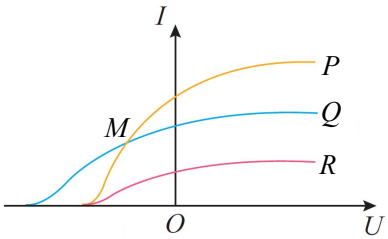


图2

A. 分别射入同一单缝衍射装置时，Q的中央亮纹比R宽

B. P、Q产生的光电子在K处最小德布罗意波长，P大于Q

C. 氢原子向第一激发态跃迁发光时，三束光中Q对应的能级最高

D. 对应于图2中的M点，单位时间到达阳极A的光电子数目，P多于Q

答案 BC

解析 选修三 第四章 A组

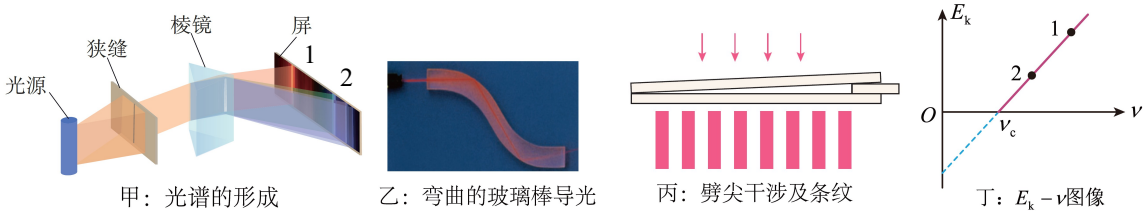
A．Q的遏止电压大于R，故Q频率大于R，故Q的中央亮纹比R窄；

B．Q的遏止电压大于P，故Q频率大于P，所以Q产生的光电子最大初动能大于P，由$p=\sqrt{2mE_k}$，$\lambda=\dfrac{h}{p}$可知在K处，动能越大德布罗意波长越小，故Q的最小德布罗意波长小于P；

C．Q频率最大，故跃迁发光时三束光中Q对应的能级最高

D．M点代表电流大小相同，故由$I=\dfrac{Q}{t}$得单位时间到达阳极A的光电子数目相同。

34. [202506 浙江卷]（多选）氢原子从$n=4$、6的能级向$n=2$的能级跃迁时分别发出光P、Q。则



甲：光谱的形成　乙：弯曲的玻璃棒导光　丙：劈尖干涉及条纹　丁：$E_k-\nu$图像

A. P、Q经过甲图装置时屏上谱线分别为2、1

B. 若乙图玻璃棒能导出P光，则一定也能导出Q光

C. 若丙图是P入射时的干涉条纹，则Q入射时条纹间距减小

D. P、Q照射某金属发生光电效应，丁图中的点1、2分别对应P、Q

答案 BC

解析 甲：选修三图4.4－1　乙：选修一图4.2－6　丙：选修一图4.3－7　丁：选修三4.2－4

A．由题意可知Q光的光子能量高，频率高，经过同一介质时折射率更大，所以经过甲图装置偏折更明显，对应谱线2；

B．由$n=\dfrac{1}{\sin C}$可知Q光的临界角更小，故一定能发生全反射，一定也能导出；

C．条纹间距$\Delta x=\dfrac{\lambda}{2\tan\theta}$，$Q$光波长小，故条纹间距小；

D．Q光频率大，对应点1。

35. [2025 · 四川卷]某多晶薄膜晶格结构可以等效成缝宽约为$3.5\times10^{-10}\,\mathrm{m}$的狭缝。下列粒子束穿过该多晶薄膜时，衍射现象最明显的是（　　）

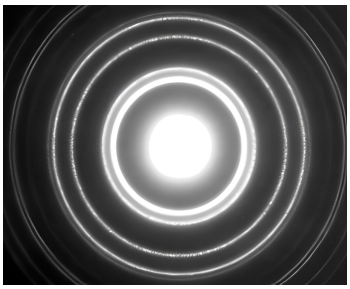
A. 德布罗意波长约为$7.9\times10^{-13}\,\mathrm{m}$的中子　　B. 德布罗意波长约为$8.7\times10^{-12}\,\mathrm{m}$的质子

C. 德布罗意波长约为$2.6\times10^{-11}\,\mathrm{m}$的氮分子　　D. 德布罗意波长约为$1.5\times10^{-10}\,\mathrm{m}$的电子

答案 D

解析 当波通过尺寸与其波长相近的障碍物或狭缝时，会发生明显的衍射现象。对于粒子而言，德布罗意波长λ决定了其波动性，则可知电子的衍射现象最明显。

36. [202506 浙江卷]一束高能电子穿过铝箔，在钢箔后方的屏幕上观测到如图所示的电子衍射图样。则



A. 该实验表明电子具有粒子性　　B. 图中亮纹为电子运动的轨迹
C. 图中亮纹处电子出现的概率大　　D. 电子速度越大，中心亮斑半径越大

答案 *C*

解析 选修三　图4.5－1

A．该实验表明电子具有波动性；

BC．亮纹处代表电子出现的概率大；

D．电子速度越大，动量越大，根据 $\lambda=\frac{h}{p}$ 可知，对应的德布罗意波的波长就越短，衍射现象越不明显，中心亮斑半径越小。

37. [2025·湖南卷]关于原子核衰变，下列说法正确的是　　（　　）

A. 原子核衰变后生成新核并释放能量，新核总质量等于原核质量
B. 大量某放射性元素的原子核有半数发生衰变所需时间，为该元素的半衰期
C. 放射性元素的半衰期随环境温度升高而变长
D. 采用化学方法可以有效改变放射性元素的半衰期

答案 *B*

解析 *A*．原子核衰变时释放能量，根据质能方程，总质量会减少，新核总质量小于原核质量，故 *A* 错误；

B．半衰期定义为大量放射性原子核半数发生衰变所需的时间，题干中强调“大量”，符合定义，故 *B* 正确；

CD．放射性元素衰变的快慢是由核内部自身的因素决定，跟原子所处的化学状态和外部条件没有关系，故 *CD* 错误。

38. [2025·天津卷]许多放射性元素要经过多次衰变才能达到稳定，衰变过程中既有 α 衰变也有 β 衰变。下列说法正确的是　　（　　）

A. 元素发生 α 衰变后质量数增加　　B. 衰变过程中存在质量亏损
C. 低温会增大放射性元素的半衰期　　D. β 衰变说明原子核内存在电子

答案 *B*

解析 *A*．α 衰变会释放出氦核（质量数 4），母核质量数减少 4，故 *A* 错误；

B．衰变释放能量，根据质能方程，总质量减少（质量亏损），故 *B* 正确；

C．半衰期由核内部结构决定，与温度无关，故C错误；

D．β衰变的电子是中子转化为质子时产生的，并非核内原有电子，故D错误。

39. [2025·安徽卷]2025年4月，位于我国甘肃省武威市的钍基熔盐实验堆实现连续稳定运行，标志着人类在第四代核电技术上迈出关键一步。该技术利用钍核（$^{232}_{90}\mathrm{Th}$）俘获x个中子（$^{1}_{0}\mathrm{n}$），共发生y次β衰变，转化为易裂变的铀核（$^{233}_{92}\mathrm{U}$），则 （　　）

A. $x=1$，$y=1$　　B. $x=1$，$y=2$　　C. $x=2$，$y=1$　　D. $x=2$，$y=2$

答案 B

解析 钍核每俘获1个中子质量数加1，电荷数不变，每发生一次β衰败，质量数不变，电荷数加1。钍核变成铀核，质量数加1，电荷数加2，则俘获1个中子，发生2次β衰败，即$x=1$，$y=2$

40. [2025·上海卷]太阳内部发生的核聚变反应称为$p-p$循环，其核反应方程为$4\,^{1}_{1}\mathrm{H}\rightarrow\mathrm{X}+2\,^{0}_{1}\mathrm{e}$，则X是 （　　）

A. $^{2}_{1}\mathrm{H}$　　B. $^{4}_{2}\mathrm{He}$　　C. $^{1}_{0}\mathrm{n}$　　D. $^{0}_{-1}\mathrm{e}$

答案 B

解析 根据核反应过程质量数守恒、电荷数守恒可知X为$^{4}_{2}He$核

41. [2025·海南卷]海南昌江核电示范项目“玲珑一号”是中国自主研发的全球首个陆上商用模块化小型核反应堆，其中发生的一个核反应方程为$^{235}_{92}\mathrm{U}+\mathrm{X}\rightarrow^{144}_{56}\mathrm{Ba}+^{89}_{36}\mathrm{Kr}+3\,^{1}_{0}\mathrm{n}$，则X是 （　　）

A. $^{4}_{2}\mathrm{He}$　　B. $^{1}_{1}\mathrm{H}$　　C. $^{1}_{0}\mathrm{n}$　　D. $^{0}_{-1}\mathrm{e}$

答案 C

解析 根据质量数守恒和核电荷数守恒可知X是$^{1}_{0}\mathrm{n}$。

42. [2025·云南卷]2025年3月，我国科学家研制的碳14核电池原型机“烛龙一号”发布，标志着我国在核能技术领域与微型核电池领域取得突破。碳14的衰变方程为$^{14}_{6}\mathrm{C}\rightarrow^{14}_{7}\mathrm{N}+\mathrm{X}$，则 （　　）

A. X为电子，是在核内中子转化为质子的过程中产生的

B. X为电子，是在核内质子转化为中子的过程中产生的

C. X为质子，是由核内中子转化而来的

D. X为中子，是由核内质子转化而来的

答案 A

解析 根据质量数和电荷数守恒可知X为电子$^{0}_{-1}\mathrm{e}$，是在核内中子转化为质子的过程中产生的。

43. [2025·湖北卷]PET（正电子发射断层成像）是核医学科重要的影像学诊断工具，其检查原理是将含放射性同位素（如：$^{18}_{9}\mathrm{F}$）的物质注入人体参与人体代谢，从而达到诊断的目的。$^{18}_{9}\mathrm{F}$的衰变方程为$^{18}_{9}\mathrm{F}\rightarrow\mathrm{X}+^{0}_{1}\mathrm{e}+^{0}_{0}\nu$，其中$^{0}_{0}\nu$是中微子。已知$^{18}_{9}\mathrm{F}$的半衰期是110分钟。下列说法正确的是

A. X为$^{17}_{8}\mathrm{O}$　　B. 该反应为核聚变反应

C. 1克$^{18}_{9}\mathrm{F}$经110分钟剩下0.5克$^{18}_{9}\mathrm{F}$　　D. 该反应产生的$^{0}_{0}\nu$在磁场中会发生偏转

答案 C

解析 A．根据质量数与电荷数守恒可知，该物质为$^{18}_{8}\mathrm{O}$，故A错误；

B．本题中的衰变是单个原子核自发转变为另一种原子核，属于放射性衰变（具体为β^{+}衰变），而非核聚变，故B错误；

C．1g 该物质经过 110min 即一个衰变周期，则有一半发生衰变，该物质质量变为 0.5g，故 C 正确；

D．${}_0^0\nu$ 不带电，在磁场中不偏转，故 D 错误。

44. [2025 · 福建卷]（多选）某核反应方程为 ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}+17.6\mathrm{MeV}$，现真空中有两个动量大小相等，方向相反的氘核与氚核相撞，发生该核反应，设反应释放的能量（远大于碰前氘核与氚核的动能）全部转化为 ${}_2^4\mathrm{He}$ 与 ${}_0^1\mathrm{n}$ 的动能，则 （ ）

A．该反应有质量亏损　　B．该反应为核裂变

C．${}_0^1\mathrm{n}$ 获得的动能约为 14 MeV　　D．${}_2^4\mathrm{He}$ 获得的动能约为 14 MeV

答案 AC

解析 A．核反应过程中质量数守恒，有质量亏损，A 正确；

B．该反应是核聚变反应，B 错误；

CD．在真空中，该反应动量守恒，由于相撞前氘核与氚核动量大小相等，方向相反，系统总动量为零。故反应后氦核与中子的动量也大小相等，方向相反。

由动能和动量的关系 $E_k=\dfrac{p^2}{2m}$ 得 ${}_2^4\mathrm{He}$ 与 ${}_0^1\mathrm{n}$ 的动能之比为 $E_{kHe}:E_{kn}=m_n:m_{He}=1:4$

而两个粒子获得的总动能为 17.6MeV，故 ${}_0^1n$ 获得的动能 $E_{k_n}=\dfrac{4}{5}\times17.6\mathrm{MeV}=14.08\mathrm{MeV}$，

${}_2^4He$ 获得的动能 $E_{k_{He}}=\dfrac{1}{5}\times17.6\mathrm{MeV}=3.52\mathrm{MeV}$。故 C 正确，D 错误。

45. [2025 · 河南卷]由于宇宙射线的作用，在地球大气层产生有铍的两种放射性同位素 ${}_4^7\mathrm{Be}$ 和 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$。测定不同高度大气中单位体积内二者的原子个数比，可以研究大气环境的变化。已知 ${}_4^7\mathrm{Be}$ 和 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$ 的半衰期分别约为 53 天和 139 万年。在大气层某高度采集的样品中，研究人员发现 ${}_4^7\mathrm{Be}$ 和 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$ 的总原子个数经过 106 天后变为原来的 $\dfrac{3}{4}$，则采集时该高度的大气中 ${}_4^7\mathrm{Be}$ 和 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$ 的原子个数比约为 （ ）

A．1 : 4　　B．1 : 2　　C．3 : 4　　D．1 : 1

答案 B

解析 设采集时该高度的大气中 ${}_4^7\mathrm{Be}$ 和 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$ 的原子个数分别为 n_1、n_2，

由于 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$ 的半衰期为 139 万年，故经过 106 天后 ${}_4^{10}\mathrm{Be}$ 原子的衰变个数可以忽略不计，

${}_4^7\mathrm{Be}$ 的半衰期为 53 天，故经过 106 天后原子数变为 $\dfrac{1}{4}n_1$，

由题意得 $\dfrac{\frac{1}{4}n_1+n_2}{n_1+n_2}=\dfrac{3}{4}$　　得 $\dfrac{n_1}{n_2}=\dfrac{1}{2}$

46. [2025 · 贵州卷]（多选）观测分子云中的CO射电谱线对我们理解恒星的诞生、星际物质循环等具有重要意义。我国正在开展的第二期“银河画卷”巡天项目中，观测$^{12}C^{16}O$、$^{13}C^{16}O$、$^{12}C^{18}O$同位素分子辐射出的电磁波的频率如表所示。下列说法正确的是（　　）

CO同位素分子	频率/$(10^{11}Hz)$
$^{12}C^{16}O$	1.153
$^{13}C^{16}O$	1.102
$^{12}C^{18}O$	1.098

A. $^{12}C^{18}O$比$^{12}C^{16}O$多两个质子　　B. $^{13}C^{16}O$比$^{12}C^{16}O$多一个中子

C. $^{12}C^{16}O$辐射出的光子的能量最小　　D. $^{12}C^{16}O$辐射出的电磁波的波长最短

答案 *BD*

解析 *A*．同位素具有相同数目的质子，故*A*错误；

B．^{13}C比^{12}C多1个中子，故*B*正确；

C．由表格可知$^{12}C^{16}O$辐射出的光子频率最大，由$\varepsilon=h\nu$可知对应光子能量最大，故*C*错误；

D．由$\lambda=\frac{c}{\nu}$，可知$^{12}C^{16}O$波长最短，故*D*正确。

七、力学实验

1. [2025·重庆卷]弹簧是熄火保护装置中的一个元件，其劲度系数会影响装置的性能。小组设计了如图1所示的实验装置测量弹簧的劲度系数，其中压力传感器水平放置，弹簧竖直放在传感器上，螺旋测微器竖直安装，测微螺杆正对弹簧。

(1) 某次测量时，螺旋测微器的示数如图2所示，此时读数为_____mm。

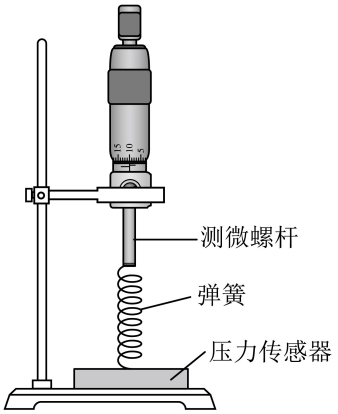


图1

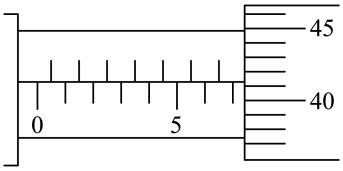


图2

(2) 对测得的数据进行处理后得到弹簧弹力F与弹簧长度l的关系如图3所示，由图可得弹簧的劲度系数为_____N/m，弹簧原长为_____mm(均保留3位有效数字)。

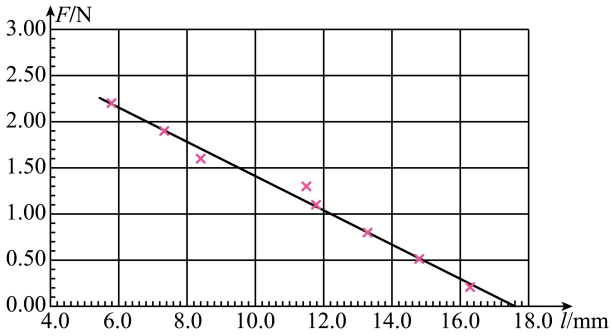


图3

答案 (1)7.412　(2)190、17.6

解析 (1) 读数$7\text{mm}+41.2\times0.01\text{mm}=7.412\text{mm}$

(2) 当弹力为零时弹簧处于原长为17.6mm；$F-l$图像斜率代表劲度系数，故$k=\dfrac{2.20-0}{(17.6-6.0)\times10^{-3}}\approx190\,\text{N/m}$

2. [2025 · 四川卷]某学习小组利用生活中常见物品开展“探究弹簧弹力与形变量的关系”实验。已知水的密度为 $1.0\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}$，当地重力加速度为 $9.8\,\mathrm{m/s^2}$。实验过程如下：

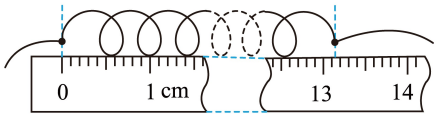


图1

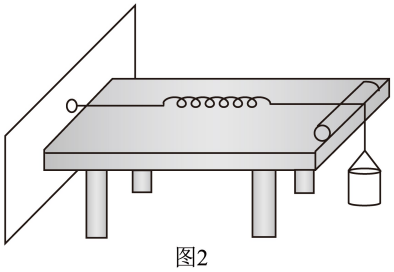


图2

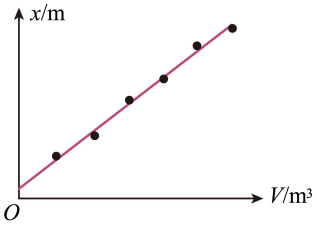


图3

(1) 将两根细绳分别系在弹簧两端，将其平放在较光滑的水平桌面上，让其中一个系绳点与刻度尺零刻度线对齐，另一个系绳点对应的刻度如图 1 所示，可得弹簧原长为_____ cm。

(2) 将弹簧一端细绳系到墙上挂钩，另一端细绳跨过固定在桌面边缘的光滑金属杆后，系一个空的小桶。使弹簧和桌面上方的细绳均与桌面平行，如图 2 所示。

(3) 用带有刻度的杯子量取 50 mL 水，缓慢加到小桶里，待弹簧稳定后，测量两系绳点之间的弹簧长度并记录数据。按此步骤操作 6 次。

(4) 以小桶中水的体积 V 为横坐标，弹簧伸长量 x 为纵坐标，根据实验数据拟合成如图 3 所示直线，其斜率为 $200\,\mathrm{m^{-2}}$。由此可得该弹簧的劲度系数为_____ N/m (结果保留 2 位有效数字)。

(5) 图 3 中直线的截距为 0.0056 m，可得所用小桶质量为_____ kg (结果保留 2 位有效数字)。

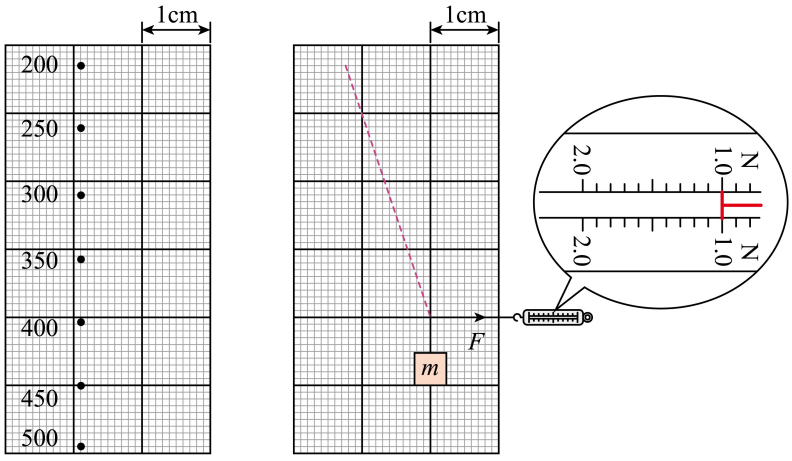
答案 (1)13.14　(4)49　(5)0.028

解析 (1) 该刻度尺的分度值为 0.1 cm，应估读到分度值的后一位，故弹簧原长为 13.14 cm

(4) 由受力分析得 $mg+\rho Vg=kx$ 得 $x=\dfrac{\rho g}{k}V+\dfrac{mg}{k}$，由图像可知斜率 $\dfrac{\rho g}{k}=200\,\mathrm{m^{-2}}$，故 $k=\dfrac{1000\times9.8}{200}=49\,\mathrm{N/m}$

(5) 由图可知截距 $\dfrac{mg}{k}=0.0056\,\mathrm{m}$，故 $m=\dfrac{0.0056\times49}{9.8}=0.028\,\mathrm{kg}$

3. [2025·理综卷(新疆西藏)]某探究小组利用橡皮筋完成下面实验。



图(a)　　图(b)

(1) 将粘贴有坐标纸的木板竖直放置。橡皮筋的一端用图钉固定在木板上，另一端悬挂钩码。钩码质量分别为200 g、250 g、…、500 g，平衡时橡皮筋底端在坐标纸上对应的位置如图(*a*)中圆点所示(钩码的质量在图中用数字标出)。悬挂的钩码质量分别为200 g和300 g时，橡皮筋底端位置间的距离为_____cm。

(2) 根据图(*a*)中各点的位置可知，在所测范围内橡皮筋长度的增加量与所挂钩码的_____(选填“质量”或“质量的增加量”)成正比，由此可求出橡皮筋的劲度系数为_____N/m(保留2位有效数字，重力加速度取9.8 m/s²)。

(3) 悬挂的钩码质量为*m*时，在橡皮筋底端施以水平向右的力*F*，平衡时橡皮筋方向如图(*b*)中虚线所示，图(*b*)中测力计的示数给出了力*F*的大小，则*F*＝_____N，*m*＝_____g(选填“200”“300”或“400”)。

答案　(1)1.87　　(2) 质量的增加量　52　(3)0.98　300

解析　(1) 根据图(*a*)可知悬挂的钩码质量分别为200*g*和300*g*时，橡皮筋底端位置间的距离为1.90cm；

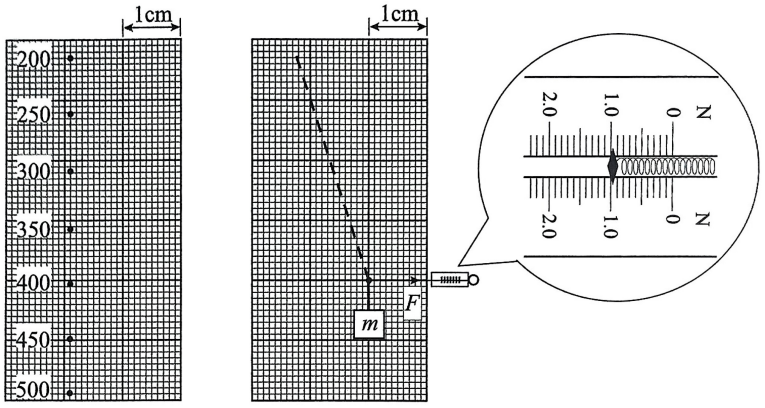
(2) [1]（图(a)中每个点的坐标与橡皮筋原长坐标间的差值为橡皮筋的伸长量，因为题目并没有给出橡皮筋原长时底端所在位置，所以橡皮筋总的伸长量不可知。）但是图中两点间坐标的差值对应橡皮筋长度的增加量，两点旁数字的差值对应所挂钩码质量的增加量，计算可知所测范围内橡皮筋长度的增加量与所挂钩码的质量的增加量成正比。

[2] 由胡克定律$mg=kx$可知$\Delta mg=k\Delta x$，由第(1)问数据得$k=\dfrac{(0.3-0.2)\times9.8}{1.87\times0.01}\approx52\ \text{N/m}$，或者$k=\dfrac{(0.5-0.2)\times9.8}{5.6\times0.01}=52.5\ \text{N/m}$（关于橡皮筋劲度系数的计算，因为每次增加50 g钩码时，测得的橡皮筋的伸长量可能不同，所以需要利用尽可能多的数据点进行计算，只选择其中某两点的数据进行计算的话，误差可能会比较大。）

(3) 根据三力平衡，以及图(b)中拉力构成的直角三角形的边长比，可以得出所挂钩码的重力和水平拉力的大小比为3∶1。可读出测力计的示数约为0.98 N，则钩码重力约为$3F=2.94$ N，所以所挂钩码质量为300 g。

【补充】本题中没有选择从0开始的小质量钩码，而是从200g到500g，为橡皮筋的伸长量与所加外力有明显线性关系的区间。其二，弹簧下面悬挂重物后弹簧会上下振动，因此实际操作时需要将

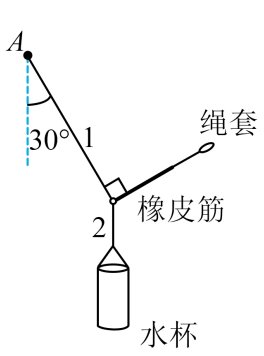
钩码轻轻地加到弹簧上，并且待弹簧稳定后“平衡时”再进行读数。



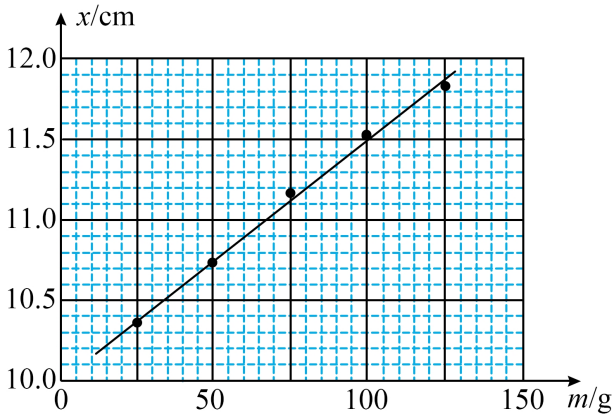
图（a）　　图（b）

4. [2025 · 黑吉辽内卷]某兴趣小组设计了一个可以测量质量的装置。如图(a)，细绳 1、2 和橡皮筋相连于一点，绳 1 上端固定在 A 点，绳 2 下端与水杯相连，橡皮筋的另一端与绳套相连。

为确定杯中物体质量 m 与橡皮筋长度 x 的关系，该小组逐次加入等质量的水，拉动绳套，使绳 1 每次与竖直方向夹角均为 30° 且橡皮筋与绳 1 垂直，待装置稳定后测量对应的橡皮筋长度。根据测得数据作出 $x-m$ 关系图线，如图(b)所示。



图（a）



图（b）

回答下列问题：

(1) 将一芒果放入此空杯，按上述操作测得 $x=11.60\,\text{cm}$，由图(b)可知，该芒果的质量 $m_0=$ _____ g（结果保留到个位）。若杯中放入芒果后，绳 1 与竖直方向夹角为 30° 但与橡皮筋不垂直，由图像读出的芒果质量与 m_0 相比_____（填“偏大”或“偏小”）。

(2) 另一组同学利用同样方法得到的 $x-m$ 图像在后半部分弯曲，下列原因可能的是_____。

A. 水杯质量过小　　B. 绳套长度过大

C. 橡皮筋伸长量过大，弹力与其伸长量不成正比

(3) 写出一条可以使上述装置测量质量范围增大的措施

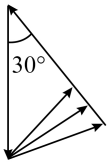
_____。

答案　(1)106、偏大 (2)C　　(3) 使绳 1 每次与竖直方向夹角均为小于 30° 的固定角，且橡皮筋与绳 1 垂直

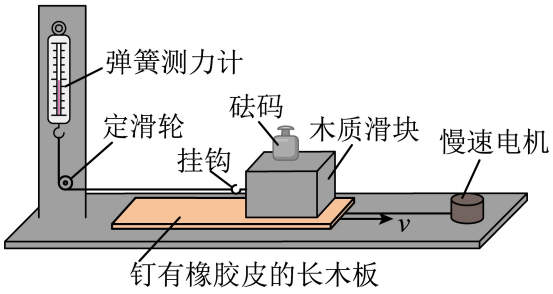
解析　(1) [1] 由图 (b) 直线可知 $x=11.60\,\text{cm}$ 时 $m\approx106\,\text{g}$

[2] 由受力分析可知水杯总重力 Mg 与橡皮筋弹力满足 $Mg\sin30^\circ = k\Delta x$，当绳 1 与橡皮筋不垂直时，橡皮筋弹力偏大，其长度偏大，故由图像读出的芒果质量与 m_0 相比偏大

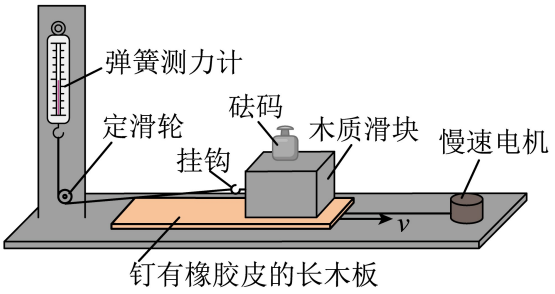
(3) 使绳 1 每次与竖直方向夹角均为小于 30° 的固定角，且橡皮筋与绳 1 垂直



5. [2025 · 云南卷]某实验小组做了测量木质滑块与橡胶皮之间动摩擦因数 μ 的实验，所用器材如下：钉有橡胶皮的长木板、质量为 250 g 的木质滑块（含挂钩）、细线、定滑轮、弹簧测力计、慢速电机以及砝码若干。实验装置如图甲所示。



甲



乙

实验步骤如下：

①将长木板放置在水平台面上，滑块平放在橡胶面上；

②调节定滑轮高度，使细线与长木板平行（此时定滑轮高度与挂钩高度一致）；

③用电机缓慢拉动长木板，当长木板相对滑块匀速运动时，记录弹簧测力计的示数 F；

④在滑块上分别放置 50 g、100 g 和 150 g 的砝码，重复步骤③；

⑤处理实验数据（重力加速度 g 取 9.80 m/s²）。

实验数据如下表所示：

滑块和砝码的总质量 M/g	弹簧测力计示数 F/N	动摩擦因数 μ
250	1.12	0.457
300	1.35	a
350	1.57	0.458
400	1.79	0.457

完成下列填空：

(1) 表格中 a 处的数据为_____（保留 3 位有效数字）；

(2) 其它条件不变时，在实验误差允许的范围内，滑动摩擦力的大小与接触面上压力的大小_____，μ 与接触面上压力的大小_____（以上两空填“成正比”“成反比”或“无关”）；

(3) 若在实验过程中未进行步骤②，实验装置如图乙所示，挂钩高于定滑轮，则 μ 的测量结果将_____（填“偏大”“偏小”或“不变”）。

答案 (1)0.459　(2) ①成正比　②无关　(3) 偏大

解析 (1) 表格中 a 处的数据 $\mu = \dfrac{1.35}{0.3\times9.8} \approx 0.459$

(2) 在实验误差允许的范围内，μ 可认为不变，故滑动摩擦力的大小与接触面上压力的大小成正比；μ 与接触面上压力的大小无关。

(3) 挂钩高于定滑轮时绳子拉力大于滑动摩擦力，即 F 偏大，由 $\mu = \dfrac{F}{Mg}$ 可知 μ 测量值偏大

6. [2025 · 北京卷]利用打点计时器研究匀变速直线运动的规律，实验装置如图 1 所示。

(1) 按照图 1 安装好器材，下列实验步骤正确的操作顺序为_____(填各实验步骤前的字母)。

A. 释放小车　　B. 接通打点计时器的电源

C. 调整滑轮位置，使细线与木板平行

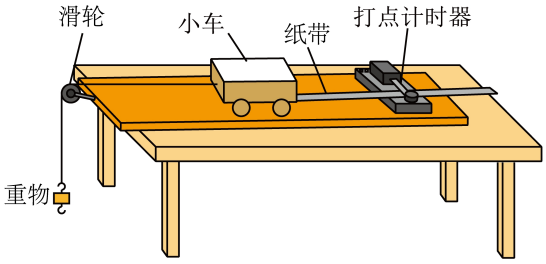


图1

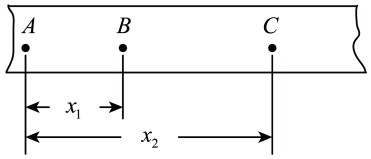


图2

(2) 实验中打出的一条纸带如图 2 所示，A、B、C 为依次选取的三个计数点 (相邻计数点间有 4 个点未画出)，可以判断纸带的_____(填“左端”或“右端”) 与小车相连。

(3) 图 2 中相邻计数点间的时间间隔为 T，则打 B 点时小车的速度 $v=$_____。

(4) 某同学用打点计时器来研究圆周运动。如图 3 所示，将纸带的一端固定在圆盘边缘处的 M 点，另一端穿过打点计时器。实验时圆盘从静止开始转动，选取部分纸带如图 4 所示。相邻计数点间的时间间隔为 0.10 s，圆盘半径 $R=0.10$ m。则这部分纸带通过打点计时器的加速度大小为_____ m/s²；打点计时器打 B 点时圆盘上 M 点的向心加速度大小为_____ m/s²。(结果均保留两位有效数字)

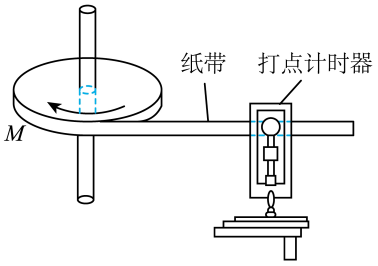


图3

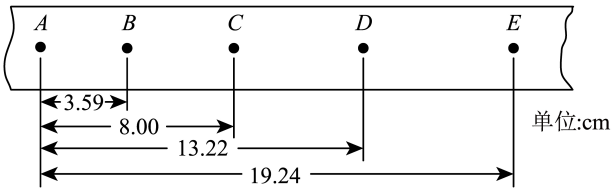


图4

答案 (1)CBA　　(2) 左端　(3)$\dfrac{x_2}{2T}$　　(4)0.81、1.6

解析 (1) 实验步骤中，首先调整滑轮位置使细线与木板平行，确保力的方向正确；接着接通打点计时器电源，让计时器先工作；最后释放小车。故顺序为 CBA；

(2) 小车做匀加速直线运动时，速度越来越大，纸带上点间距逐渐增大。图 2 中纸带左端间距小，右端间距大，说明纸带左端与小车相连。

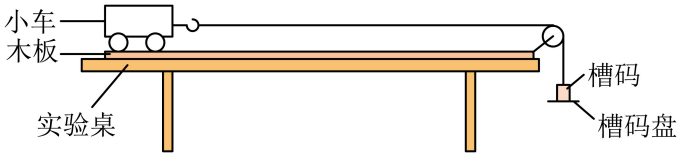
(3)B 点速度可以用 A、C 间的平均速度代替，故 $v=\dfrac{x_2}{2T}$

(4) [1] 根据逐差法可知 $a=\dfrac{x_{CE}-x_{AC}}{4T^2}=\dfrac{0.1924-2\times0.0800}{4\times0.1^2}=0.81\text{m/s}^2$

[2]B 点是 AC 的中间时刻点，则有 $v_B=\dfrac{x_{AC}}{2T}=\dfrac{0.0800}{2\times0.1}\text{m/s}=0.4\text{m/s}$，

此时向心加速度 $a=\dfrac{v^2}{R}=\dfrac{0.4^2}{0.1}=1.6\text{m/s}^2$

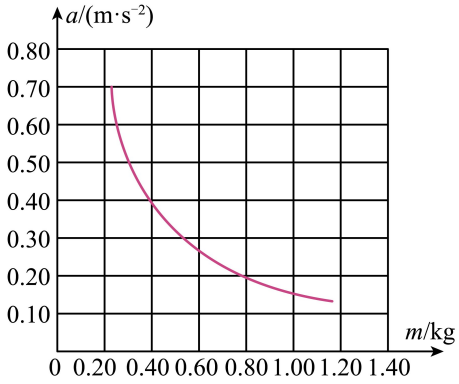
7. [2025 · 陕西卷]下图为探究加速度与力、质量关系的部分实验装置。



(1) 实验中应将木板_____(填“保持水平”或“一端垫高”)。

(2) 为探究加速度 a 与质量 m 的关系,某小组依据实验数据绘制的 $a-m$ 图像如图所示,很难直观看出图线是否为双曲线。如果采用作图法判断 a 与 m 是否成反比关系,以下选项可以直观判断的有_____。(多选,填正确答案标号)

m/kg	a/(m·s^{-2})
0.25	0.618
0.33	0.482
0.40	0.403
0.50	0.317
1.00	0.152



A. $a-\frac{1}{m}$ 图像　　B. $a-m^2$ 图像　　C. $am-m$ 图像　　D. a^2-m 图像

(3) 为探究加速度与力的关系,在改变作用力时,甲同学将放置在实验桌上的槽码依次放在槽码盘上;乙同学将事先放置在小车上的槽码依次移到槽码盘上,在其他实验操作相同的情况下,_____(填“甲”或“乙”)同学的方法可以更好地减小误差。

答案　(1) 一端垫高　　(2)AC　　(3) 乙

解析　(1) 实验需补偿阻力,消除木板对小车的阻力的影响,应将木板一端垫高,使小车在无拉力时能匀速运动。

(2)A. 作出 $a-\frac{1}{m}$ 图像,可以将 $a-m$ 图像“化曲为直”,便于判断,a 与 m 是否成反比关系,故 A 正确;

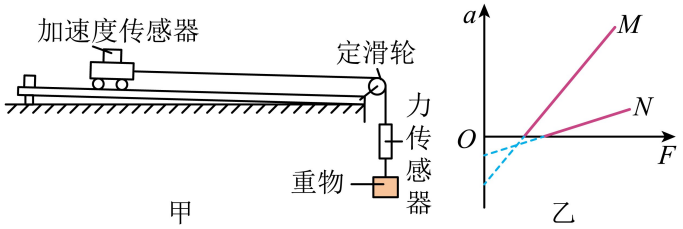
B. 作出 $a-m^2$ 图像,无法体现 a 与 m 是否成反比关系,故 B 错误;

C. 作出 $am-m$ 图像,若 a 与 m 是成反比关系,有 am 为定值,则 $am-m$ 图像是一条平行与横轴的直线,可见解判断 a 与 m 是否成反比关系,故 C 正确;

D. 作出 a^2-m 图像,无法体现 a 与 m 是否成反比关系,故 D 错误。故选 AC。

(3) 甲同学的方法中,槽码依次放在槽码盘上,小车总质量 M 不变,设槽码与槽码盘总质量为 m,则绳子拉力 $F=M\cdot\frac{mg}{M+m}=\frac{1}{1+\frac{m}{M}}mg$,当 $m\ll M$ 时有 $F\approx mg$,但随着甲同学的操作使 m 增大,可能不再满足 $m\ll M$ 条件,拉力与 mg 偏差增大,误差变大;乙同学的方法中,将小车上的槽码移到槽码盘上,使得小车总质量 M 减小,槽码与槽码盘总质量 m 增大,但优势在于系统总质量保持恒定,确保了加速度 $a=\frac{mg}{M+m}$ 与绳子拉力(用 mg 近似代替)成正比,$a-F$ 图线为直线,减小了系统误差,甲同学的方法因质量变化导致图线弯曲。因此,乙同学的方法更好。

8. [2025 · 广西卷]在用如图甲的装置做“探究加速度与力、质量的关系”实验中：



(1) 探究小车加速度与小车所受拉力的关系时，需保持小车(含加速度传感器，下同)质量不变，这种实验方法是_____。

(2) 实验时，调节定滑轮高度，使连接小车的细绳与轨道平面保持_____。

(3) 由该装置分别探究M、N两车加速度a和所受拉力F的关系，获得$a-F$图像如图乙，通过图乙分析实验是否需要补偿阻力(即平衡阻力)。如果需要，说明如何操作；如果不需要，说明理由。

(4) 悬挂重物让M、N两车从静止释放经过相同位移的时间比为n，两车均未到达轨道末端，则两车加速度之比$a_M:a_N=$_____。

答案 (1) 控制变量法 (2) 平行 (3) 需要；撤出细绳连接的力传感器和重物，将木板左端用垫块垫起适当高度，使小车能沿木板匀速下滑。 (4)$1:n^2$

解析 (1) 这种实验方法是控制变量法。

(2) 实验时，为使小车受到的合外力等于细绳的拉力，要调节定滑轮高度，使连接小车的细绳与轨道平面保持平行，保证细绳对小车的拉力方向与小车运动方向一致，减小实验误差。

(3) 由图乙可知，当拉力F为某一值时才产生加速度，说明小车受到摩擦力，需要补偿阻力。补偿方法：撤出细绳连接的力传感器和重物，将木板左端用垫块垫起适当高度，使小车能沿木板匀速下滑。

(4) 两车均从静止释放，都做初速度为零的匀加速直线运动，根据匀变速直线运动的位移公式$x=\frac{1}{2}at^2$

可知$a=\frac{2x}{t^2}$，因为$t_M:t_N=n:1$，故$a_M:a_N=t_N^2:t_M^2=1:n^2$

14. [202501 浙江卷]“探究加速度与力、质量的关系”的实验装置如图 1 所示。

(1) 如图 2 是某次实验中得到的纸带的一部分。每 5 个连续打出的点为一个计数点，电源频率为 50 Hz，打下计数点 3 时小车速度为_____ m/s (保留三位有效数字)。

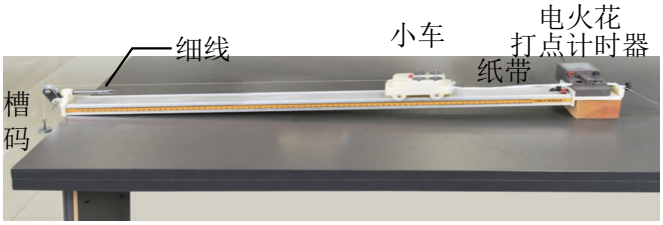


图 1

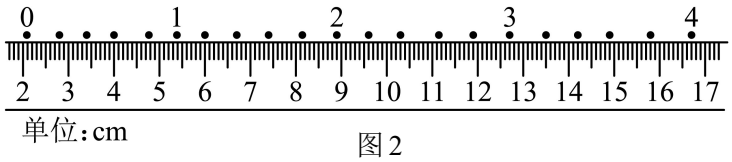


图 2

(2) 下列说法正确的是_____ (多选)

A. 改变小车总质量，需要重新补偿阻力

B. 将打点计时器接到输出电压为 8 V 的交流电源上

C. 调节滑轮高度，使牵引小车的细线跟长木板保持平行

D. 小车应尽量靠近打点计时器，并应先接通电源，后释放小车

(3) 改用如图 3 所示的气垫导轨进行实验。气垫导轨放在水平桌面上并调至水平，滑块在槽码的牵引下先后通过两个光电门，配套的数字计时器记录了遮光条通过光电门 1、2 的遮光时间分别为 Δt_1、Δt_2，测得两个光电门间距为 x，用游标卡尺测量遮光条宽度 d，结果如图 4 所示，其读数 $d=$_____ mm，则滑块加速度 $a=$_____ (用题中所给物理量符号表示)。

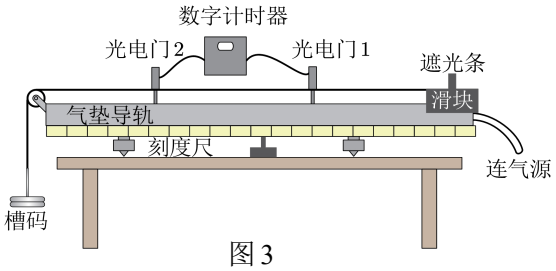


图 3

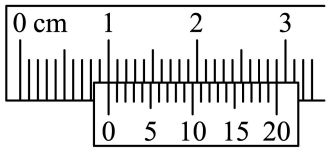


图 4

答案 (1)0.390　(2)CD　(3)10.00、$a=\dfrac{d^2}{2x}\left(\dfrac{1}{\Delta t_2^2}-\dfrac{1}{\Delta t_1^2}\right)$

解析 (1) $v_3=\dfrac{x_{24}}{2T}=\dfrac{(16.70-8.90)\times10^{-2}}{0.2}\text{m/s}=0.390\text{m/s}$

(2) A．平衡摩擦力时满足 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$，两边质量消掉，改变小车质量时不需要重新平衡摩擦力，选项 A 错误；

B．电火花计时器需要接 220V 交流电源，选项 B 错误；

(3) 注意是 20 分度，故遮光条宽度 $d=10\text{mm}+0.05\text{mm}\times0=10.00\text{mm}$；过两光电门时的速度分别为 $v_1=\dfrac{d}{\Delta t_1}$，$v_2=\dfrac{d}{\Delta t_2}$，根据 $v_2^2-v_1^2=2ax$，解得 $a=\dfrac{d^2}{2x}\left(\dfrac{1}{\Delta t_2^2}-\dfrac{1}{\Delta t_1^2}\right)$

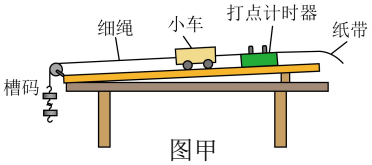
15. [2025 · 安徽卷]某实验小组通过实验探究加速度与力、质量的关系。

(1) 利用图甲装置进行实验，要平衡小车受到的阻力。平衡阻力的方法是：调整轨道的倾斜度，使小车_____。(选填正确答案标号)

a. 能在轨道上保持静止

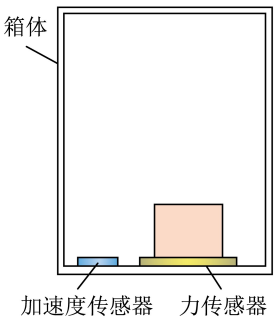
b. 受牵引时，能拖动纸带沿轨道做匀速运动

c. 不受牵引时，能拖动纸带沿轨道做匀速运动

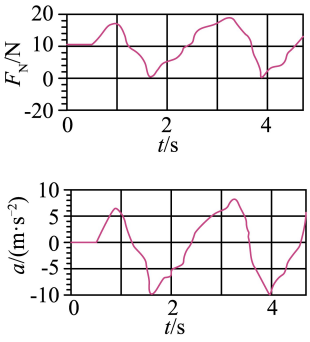


图甲

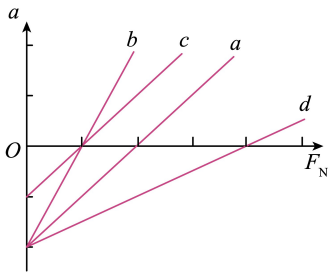
(2) 利用图乙装置进行实验，箱体的水平底板上安装有力传感器和加速度传感器，将物体置于力传感器上，箱体沿竖直方向运动。利用传感器测得物体受到的支持力 F_N 和物体的加速度 a，并将数据实时传送到计算机。



图乙



图丙



图丁

①图丙是根据某次实验采集的数据生成的 F_N 和 a 随时间 t 变化的散点图，以竖直向上为正方向。$t=4\,\mathrm{s}$ 时，物体处于_____(选填“超重”或“失重”)状态；以 F_N 为横轴、a 为纵轴，根据实验数据拟合得到的 $a-F_N$ 图像为图丁中的图线 a。

②若将物体质量增大一倍，重新进行实验，其 $a-F_N$ 图像为图丁中的图线_____。(选填“b”“c”或“d”)

答案 (1) c　(2) 失重、d

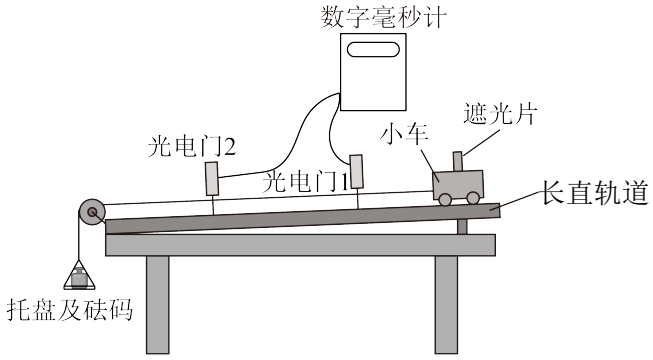
解析 (1) 平衡阻力的方法是：调整轨道的倾斜度，使小车不受牵引时，能拖动纸带沿轨道做匀速运动。故选 c。

(2) [1] 根据图像可知 $t=4\,\mathrm{s}$ 时，加速度方向竖直向下，故处于失重状态；

[2] 对物体根据牛顿第二定律 $F_N-mg=ma$ 整理得 $a=\frac{1}{m}\cdot F_N-g$

可知图像的斜率为 $\frac{1}{m}$，故将物体质量增大一倍，图像斜率变小，纵轴截距不变，其 $a-F_N$ 图像为图丁中的图线 d。

16. [2025 · 山东卷]某小组采用如图甲所示的装置验证牛顿第二定律，部分实验步骤如下：



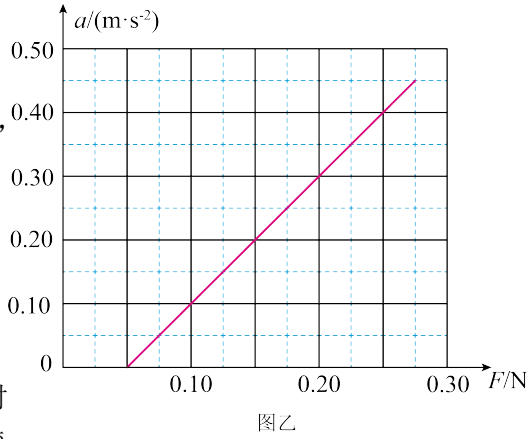
图甲

(1) 将两光电门安装在长直轨道上，选择宽度为 d 的遮光片固定在小车上，调整轨道倾角，用跨过定滑轮的细线将小车与托盘及砝码相连。选用 $d=$ _____ cm（填“5.00”或“1.00”）的遮光片，可以较准确地测量遮光片运动到光电门时小车的瞬时速度。

(2) 将小车自轨道右端由静止释放，从数字毫秒计分别读取遮光片经过光电门 1、光电门 2 时的速度 $v_1=0.40\ \text{m/s}$、$v_2=0.81\ \text{m/s}$，以及从遮光片开始遮住光电门 1 到开始遮住光电门 2 的时间 $t=1.00\ \text{s}$，计算小车的加速度 $a=$ _____ m/s^2（结果保留 2 位有效数字）。

(3) 将托盘及砝码的重力视为小车受到的合力 F，改变砝码质量，重复上述步骤，根据数据拟合出 $a-F$ 图像，如图乙所示。若要得到一条过原点的直线，实验中应 _____（填“增大”或“减小”）轨道的倾角。

(4) 图乙中直线斜率的单位为 _____（填“kg”或“kg^{-1}”）。



图乙

答案 (1)1.00　(2)0.41　(3) 增大　(4)kg^{-1}

解析 (1) 实验用遮光片通过光电门的平均速度代替瞬时速度，遮光片宽度越小，代替时的误差越小，故选择宽度较小的 $d=1.00\text{cm}$ 的遮光片；

(2) 根据加速度的定义式可得 $a=\dfrac{v_2-v_1}{t}=0.41\text{m/s}^2$

(3) 根据图像可知当有一定大小的外力 F 时此时小车的加速度仍为零，可知平衡摩擦力不足，若要得到一条过原点的直线，需要平衡摩擦力，故实验中应增大轨道的倾角；

(4) 图乙中直线斜率为 $k=\dfrac{\Delta a}{\Delta F}$，根据 $F=ma$ 可知直线斜率的单位为 kg^{-1}。

17. [2025 · 贵州卷]在“探究平抛运动的特点”实验中，某同学使用视频分析软件提取小球运动的位置数据。所用器材有高速摄像机、小钢球、斜槽轨道、铅垂线、刻度尺等。

请完成下列步骤：

(1) 固定斜槽轨道并使其末端_____。

(2) 在斜槽轨道上某位置释放小钢球，用摄像机录制小钢球的运动过程。

(3) 通过视频分析，提取一段时间内每隔 0.05 s 小钢球的位置，测量得到小钢球相邻两个位置的水平间距 Δx 和竖直间距 Δy 如下表所示：

Δx/m	0.0517	0.0514	0.0505	0.0504
Δy/m	0.0975	0.1217	0.1465	0.1704

经初步分析，可判断小钢球在水平方向做匀速直线运动、竖直方向做匀变速直线运动。充分利用数据计算得小钢球的水平方向速度大小为_____m/s、竖直方向加速度大小为_____m/s²。(结果均保留 2 位小数)

答案 (1) 水平　(3)1.02、9.77

解析 (1) 固定斜槽轨道并使其末端水平，以保证小球做平抛运动；

(3) 水平位移的平均值为 $x=\dfrac{0.0517+0.0514+0.0505+0.0504}{4}\text{ m}=0.051\text{ m}$，

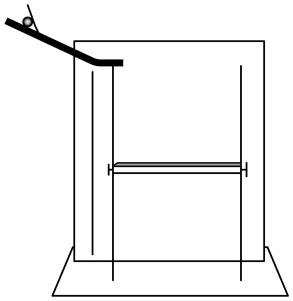
小钢球的水平方向速度大小 $v_0=\dfrac{x}{T}=\dfrac{0.051}{0.05}\text{ m/s}=1.02\text{ m/s}$；

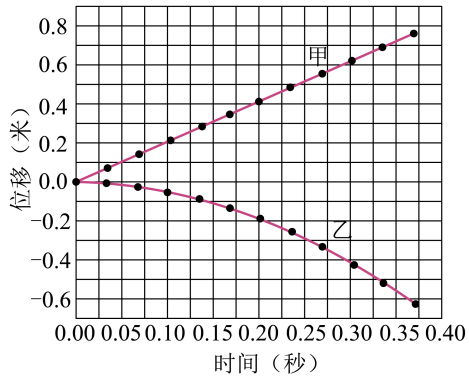
竖直方向根据 $\Delta y'=aT^2$，结合逐差法可得 $a=\dfrac{(\Delta y_4+\Delta y_3)-(\Delta y_2+\Delta y_1)}{(2T)^2}=$

$\dfrac{(0.1704+0.1465)-(0.1217+0.0975)}{4\times0.05^2}\text{m/s}^2=9.77\text{m/s}^2$

18. [2025 · 天津卷]某实验小组探究平抛运动的特点。

(1) 实验采用图示装置，将白纸和复写纸重叠并固定在竖直背板上，钢球在斜槽中某一高度滚下，从末端水平飞出，落在挡板上，在白纸上挤压出一个痕迹点。移动挡板，重复实验，在白纸上留下若干痕迹点。为正确研究钢球运动的规律，将白纸从背板上取下前还应根据_____在白纸上标记竖直方向；





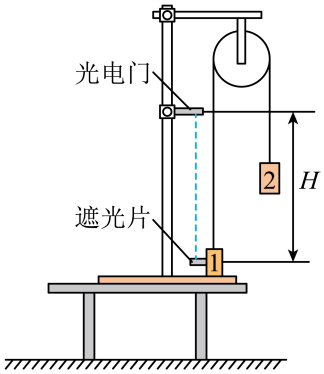
(2) 利用手机和计算机可以方便地记录钢球做平抛运动的轨迹并分析其运动规律。该实验小组利用视频处理软件分析钢球某次平抛运动的录制视频，得到的水平位移和竖直位移随时间变化的图像如图所示。图中图线_____(选填“甲”或“乙”)为水平位移随时间变化的图线，此次钢球做平抛运动的初速度为_____米/秒。

答案 (1) 铅垂线　(2) ①甲　②2

解析 (1)为正确研究钢球运动的规律,将白纸从背板上取下前还应根据铅垂线在白纸上标记竖直方向

(2)水平方向,钢球做匀速直线运动,所以位移随时间均匀增大,即图线甲为水平位移随时间变化的图线;此次钢球做平抛运动的初速度为$v=\frac{0.3}{0.15}\text{m/s}=2\text{m/s}$

19. [2025 · 湖北卷]某同学利用如图 (a) 所示的实验装置来测量重力加速度大小 g。细绳跨过固定在铁架台上不可转动的小圆柱体，两端各悬挂一个重锤。实验步骤如下：



图(a)

①用游标卡尺测量遮光片的宽度 d。

②将遮光片固定在重锤 1 上，用天平测量重锤 1 和遮光片的总质量 m、重锤 2 的质量 $M(M>m)$。

③将光电门安装在铁架台上，将重锤 1 压在桌面上，保持系统静止，重锤 2 离地面足够高。用刻度尺测量遮光片中心到光电门的竖直距离 H。

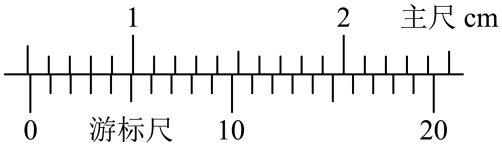
④启动光电门，释放重锤 1，用数字毫秒计测出遮光片经过光电门所用时间 t。

⑤根据上述数据求出重力加速度 g。

⑥多次改变光电门高度，重复步骤③④⑤，求出 g 的平均值。

回答下列问题：

(1) 测量 d 时，游标卡尺的示数如图 (b) 所示，可知 $d=$ _____ cm。



图(b)

(2) 重锤 1 通过光电门时的速度大小为 $v=$ _____ (用 d、t 表示)。若不计摩擦，g 与 m、M、d、t、H 的关系式为 $g=$ _____。

(3) 实验发现，当 M 和 m 之比接近于 1 时，g 的测量值明显小于真实值。主要原因是圆柱体表面不光滑，导致跨过圆柱体的绳两端拉力不相等。理论分析表明，圆柱体与绳之间的动摩擦因数很小时，跨过圆柱体的绳两端拉力差 $\Delta T=4\gamma\dfrac{Mm}{M+m}g$，其中 γ 是只与圆柱体表面动摩擦因数有关的常数。保持 $M+m=2m_0$ 不变，其中 $M=(1+\beta)m_0$，$m=(1-\beta)m_0$。β 足够小时，重锤运动的加速度大小可近似表示为 $a=(\beta-\gamma)g$。调整两重锤的质量，测得不同 β 时重锤的加速度大小 a，结果如下表。根据表格数据，采用逐差法得到重力加速度大小 $g=$ _____ $\mathrm{m/s^2}$ (保留三位有效数字)。

β	0.04	0.06	0.08	0.10
$a/(\mathrm{m/s^2})$	0.084	0.281	0.477	0.673

答案 (1)0.515　(2)$\dfrac{d}{t}$、$\dfrac{(M+m)d^2}{2(M-m)Ht^2}$　(3)9.81

解析 (1) 读数为 $5\mathrm{mm}+0.05\times3\mathrm{mm}=5.15\mathrm{mm}=0.515\mathrm{cm}$

(2) 重锤 1 通过光电门时的速度大小为 $v=\frac{d}{t}$；对重锤 1 与重锤 2 构成的系统进行分析，根据系统机械能守恒定律有 $(M-m)gH=\frac{1}{2}(M+m)v^2$ 其中 $v=\frac{d}{t}$，得 $g=\frac{(M+m)d^2}{2(M-m)Ht^2}$

(3) 由题意得 $a=(\beta-\gamma)g=g\beta-g\gamma$，即 a 是 β 的线性函数，其中斜率 $g=\frac{\Delta a}{\Delta\beta}$ 可以用逐差法求得。取表格从左至右四组数据分别为 a_1，a_2，a_3，a_4 和对应的 β_1，β_2，β_3，β_4。将数据平分成前后两组，计算对应的差值 $Y_1=a_3-a_1$、$Y_2=a_4-a_2$，对所有差值取平均值有 $\bar{Y}=\frac{Y_1+Y_2}{2}=\frac{a_4+a_3-(a_2+a_1)}{2}$，所以斜率为

$$g=\frac{\bar{Y}}{\beta_3-\beta_1}=\frac{0.673+0.477-0.281-0.084}{2(0.08-0.04)}\approx 9.81\text{m/s}^2$$

（或两组相对应的项相减后求出斜率 g_i，即 $g_1=\frac{a_3-a_1}{\beta_3-\beta_1}$，$g_2=\frac{a_4-a_2}{\beta_4-\beta_2}$，再求出 g_i 的算术平均值作为斜率 g 的估算值，即 $g=\frac{g_1+g_2}{2}=\frac{1}{2}(\frac{a_3-a_1}{\beta_3-\beta_1}+\frac{a_4-a_2}{\beta_4-\beta_2})=\frac{a_4+a_3-(a_2+a_1)}{2(\beta_3-\beta_1)}\approx 9.81\text{m/s}^2$）

20. [2025 · 湖南卷]某同学通过观察小球在黏性液体中的运动，探究其动力学规律，步骤如下：

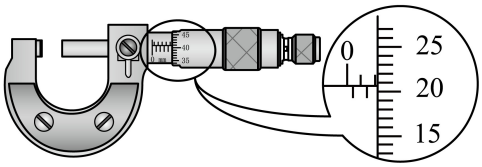


图1

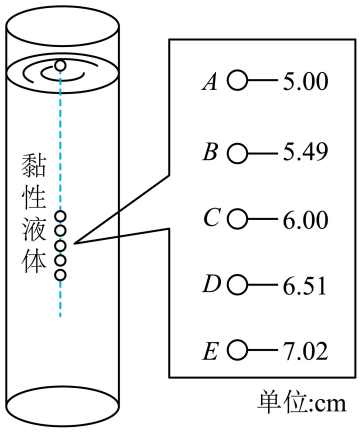


图2

(1) 用螺旋测微器测量小球直径 D 如图 1 所示，$D=$ _____ mm。

(2) 在液面处由静止释放小球，同时使用频闪摄影仪记录小球下落过程中不同时刻的位置，频闪仪每隔 0.5 s 闪光一次。装置及所拍照片示意图如图 2 所示 (图中的数字是小球到液面的测量距离，单位是 cm)。

(3) 根据照片分析，小球在 A、E 两点间近似做匀速运动，速度大小 $v=$ _____ m/s (保留 2 位有效数字)。

(4) 小球在液体中运动时受到液体的黏滞阻力 $f=kDv$(k 为与液体有关的常量)，已知小球密度为 ρ，液体密度为 ρ_0，重力加速度大小为 g，则 k 的表达式为 $k=$ _____ (用题中给出的物理量表示)。

(5) 为了进一步探究动力学规律，换成直径更小的同种材质小球，进行上述实验，匀速运动时的速度将_____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

答案 (1)2.205　(3)0.010　(4)$\dfrac{\pi(\rho-\rho_0)gD^2}{6v}$　(5) 减小

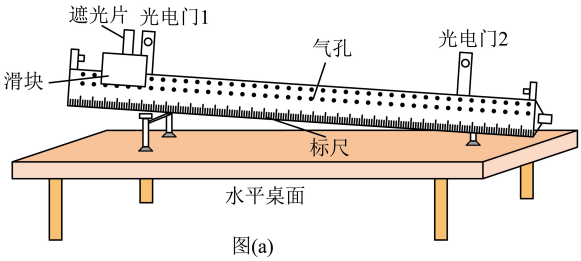
解析 (1) 根据图 1 可知小球直径 $D=2\text{mm}+0.01\text{mm}\times20.5=2.205\text{mm}$

(3) 由图 2 可知 A、E 两点间的距离为 $x=(7.02-5.00)\times10^{-2}\text{m}=2.02\times10^{-2}\text{m}$，时间为 $t=4t_0=4\times0.5\text{s}=2\text{s}$，所以速度为 $v=\dfrac{x}{t}=\dfrac{2.02\times10^{-2}\text{m}}{2\text{s}}\approx1.0\times10^{-2}\text{m/s}$

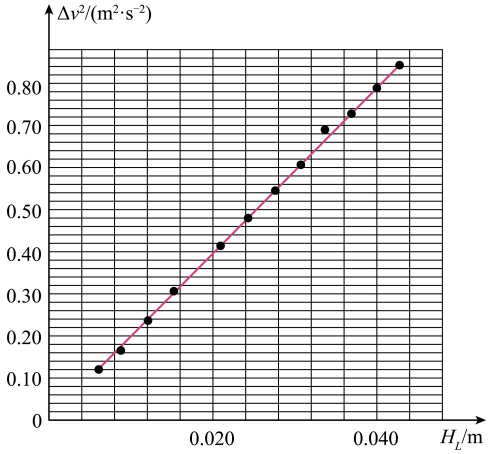
(4) 小球近似匀速运动，由受力平衡得 $\rho gV=\rho_0gV+f$ 其中 $V=\dfrac{4}{3}\pi\left(\dfrac{D}{2}\right)^3$　得 $k=\dfrac{\pi(\rho-\rho_0)gD^2}{6v}$

(5) 根据 (4) 可知 $v\propto D^2$，所以换成直径更小的同种材质小球，速度将减小。

21. [2025 · 江西卷]某小组利用气垫导轨、两个光电门、滑块、遮光片等，组成具有一定倾角的导轨装置，研究机械能守恒定律。重力加速度 g 取 9.80m/s^2。



图(a)



图(b)

(1) 实验前，应合理安装实验器材。图(a)中光电门_____的位置安装不合理，应如何调整：_____。

(2) 实验时，导轨倾斜角的正弦值 $\sin\theta=0.0613$，光电门 1、2 相距 L。将宽度 $d=4.82\,\text{mm}$ 的遮光片固定于滑块上，从导轨最左端静止释放滑块，分别记录遮光片通过光电门 1、2 的时间 Δt_1 和 Δt_2。移动光电门 2 的位置改变 L，重复实验，所测数据见下表。

L/cm	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	…	60.00	65.00	70.00
Δt_1/ms	9.982	9.883	10.019	10.068	10.049	…	10.073	10.066	10.170
Δt_2/ms	8.016	7.578	7.032	6.583	6.310	…	4.938	4.787	4.677

滑块经过光电门 1、2 的速度分别为 v_1 和 v_2。当 $L=65.00\,\text{cm}$ 时，$v_2=$_____m/s，滑块通过两光电门下降的高度 $H_L=$_____cm。(结果保留 2 位小数)

(3) 处理上表数据，并绘制 Δv^2-H_L 关系曲线(其中 $\Delta v^2=v_2^2-v_1^2$)，如图(b)所示。根据图(b)中的信息，分析滑块在下滑过程中机械能是否守恒：_____，并给出理由：_____。

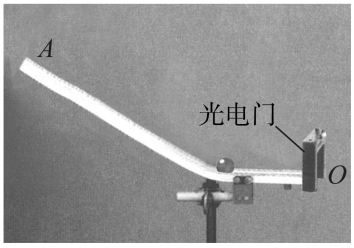
答案 (1)1；适当向右移动光电门 1。(2)1.01；3.98。(3) 守恒；根据图 (b) 可知其斜率约为 $19.6\,\text{m/s}^2$(等于 $2g$)。在误差范围内 $\Delta v^2=2gH_L$ 成立，说明下滑过程中滑块的动能增加量等于重力势能的减少量，即机械能守恒。

解析 (1) 滑块从导轨左端释放时其状态易受到扰动，若其与光电门 1 的位置太近，会导致滑块通过光电门 1 的速度测量不准，因此应将光电门 1 位置适当右移。

(2)$v_2=\dfrac{d}{\Delta t_2}=\dfrac{4.82\,\text{mm}}{4.787\,\text{ms}}\approx 1.01\,\text{m/s}$；$H_L=L\sin\theta=65\times 0.0613\approx 3.98\,\text{cm}$

(3) 根据图 (b) 可知其斜率约为 $19.6\,\text{m/s}^2$(等于 $2g$)。在误差范围内 $\Delta v^2=2gH_L$ 成立，说明下滑过程中滑块的动能增加量等于重力势能的减少量，即机械能守恒。

22. [2025 · 江苏卷]小明同学探究机械能守恒定律，实验装置如图。实验时，将小钢球在斜槽上某位置 A 由静止释放，钢球沿斜槽通过末端 O 处的光电门，光电门记录下钢球的遮光时间 t。用游标卡尺测出钢球的直径 d，由 $v=\frac{d}{t}$ 得出其通过光电门的速度 v，再计算出动能增加量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2$。用刻度尺测得钢球下降的高度 h，计算出重力势能减少量 ΔE_p。



(1) 安装实验装置的操作有：

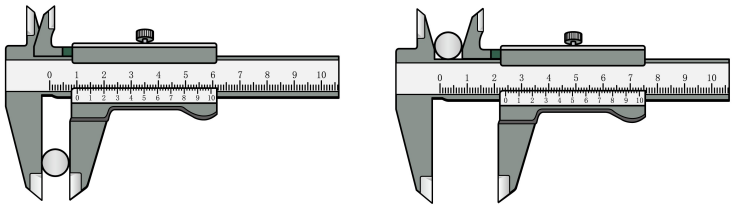
①在斜槽末端安装光电门　　②调节斜槽在竖直平面内

③调节斜槽末端水平　　④将斜槽安装到底座上

其合理的顺序是_____(选填“A”“B”或“C”)。

A. ①②③④　　B. ④②③①　　C. ④①②③

(2) 测量钢球直径的正确操作是图中_____(选填“甲”或“乙”)所示的方式。



甲　　乙

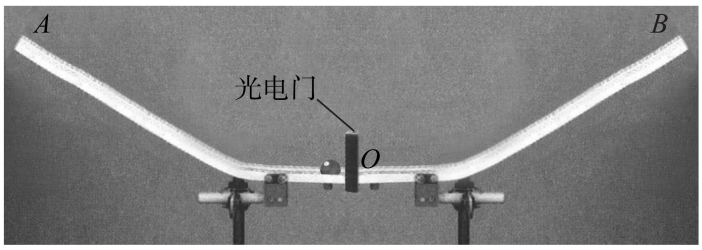
(3) 在斜槽上 5 个不同的位置由静止释放钢球。测量得出的实验数据见表 1。已知钢球的质量 $m=0.02\,\mathrm{kg}$，重力加速度 $g=9.80\,\mathrm{m/s^2}$。请将下表的数据补充完整。

表 1

$h/(10^{-2}\mathrm{m})$	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$\Delta E_k/(10^{-3}\mathrm{J})$	4.90	6.25	7.45	8.78	10.0
$\Delta E_p/(10^{-3}\mathrm{J})$	7.84	9.80	11.8	13.7	_____

(4) 实验数据表明，ΔE_k 明显小于 ΔE_p，钢球在下降过程中发生机械能的损失。小明认为，机械能的损失主要是由于钢球受到的摩擦力做功造成的。

为验证此猜想，小明另取一个完全相同的斜槽按下图平滑对接。若钢球从左侧斜槽上 A 点由静止释放，运动到右侧斜槽上，最高能到达 B 点，A、B 两点高度差为 H。则该过程中，摩擦力做功大小的理论值 $W_{理}=$_____(用 m、g、H 表示)。



(5) 用上图的装置，按表 1 中所列部分高度 h 进行实验，测得摩擦力做功大小 $W_{测}$。由于观察到 H 值较小，小明认为，AO 过程摩擦力做功近似等于 AB 过程的一半，即 $W_f=\frac{W_{测}}{2}$。然后通过表 1 的实验数据，计算出 AO 过程损失的机械能 $\Delta E=\Delta E_p-\Delta E_k$。整理相关数据，见表 2。

表 2

$h/(10^{-2}\mathrm{m})$	4.00	5.00	6.00	7.00
$\Delta E/(10^{-3}\mathrm{J})$	2.94	3.55	4.35	4.92
$W_f/(10^{-3}\mathrm{J})$	0.98	1.08	1.18	1.27

上表中 ΔE 与 W_f 相差明显。小明认为这是由于用 $\frac{W_{测}}{2}$ 近似计算 W_f 不合理。你是否同意他的观点？请根据表 2 数据简要说明理由。_____

答案 (1)B　(2) 甲　(3)15.7　(4)mgH　(5) 不同意。小球减小的重力势能有一部分转化为小球的转动动能，相差很大的原因是小球的转动动能没有计入。

解析 (1) 正确步骤为将斜槽安置于底座，调节斜槽在竖直平面内，调节斜槽末端水平，安装光电门，序号为④②③①；

(2) 乙图用于测量内径，故选甲。

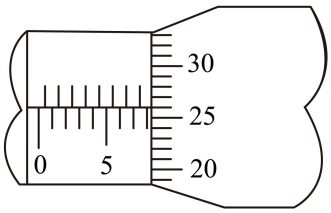
(3)$\Delta E_p=mgh=0.02\times9.8\times0.08=0.01568\,\mathrm{J}\approx15.7\times10^{-3}\,\mathrm{J}$

(4) 根据动能定理可得 $mgH-W_{测}=0$ 得 $W_{测}=mgH$

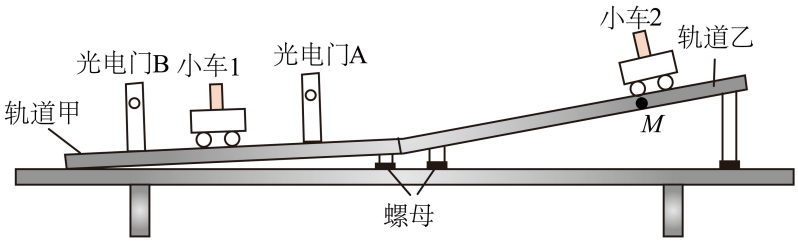
(5) 由表格数据可知 ΔE 明显大于 W_f，故 AO 过程机械能损失的主要原因不是由于钢球受到的摩擦力做功，应该是小球到达 O 点时有滚动的状态，AO 过程减小的重力势能有一部分转化为小球的转动的动能，故相差很大的主要原因是忽略了小球的转动动能，而不是估算 W_f 的问题，即小明的说法不对。

23. [2025 · 广东卷]请完成下列实验操作和计算。

(1) 在“长度的测量及其测量工具的选用”实验中，用螺旋测微器测量小球的直径，示数如图所示，读数_____mm。



(2) 实验小组利用小车碰撞实验测量吸能材料的性能，装置如图所示，图中轨道由轨道甲和乙平滑拼接而成，且轨道乙倾角较大。



①选取相同的两辆小车，分别安装宽度为1.00 cm的遮光条。

②轨道调节。

调节螺母使轨道甲、乙连接处适当升高。将小车在轨道乙上释放，若测得小车通过光电门A和B的_____。证明已平衡小车在轨道甲上所受摩擦力及其他阻力。

③碰撞测试

先将小车1静置于光电门A和B中间，再将小车2在M点由静止释放，测得小车2通过光电门A的时间为t_2，碰撞后小车1通过光电门B的时间为t_1。若t_2____t_1，可将两小车的碰撞视为弹性碰撞。

④吸能材料性能测试。

将吸能材料紧贴于小车2的前端。重复步骤③。测得小车2通过光电门A的时间为10.00 ms，两车碰撞后，依次测得小车1和2通过光电门B的时间分别为15.00 ms、30.00 ms，不计吸能材料的质量，计算可得碰撞后两小车总动能与碰撞前小车2动能的比值为_____(结果保留2位有效数字)。

答案 (1)8.260　(2) 时间相等、=、0.56

解析 (1) 小球的直径为$d=8\text{mm}+26.0\times0.01\text{mm}=8.260\text{mm}$

(2) ②若已平衡其他力，小车将在轨道甲上做匀速直线运动，通过两个光电门的速度相等，即通过光电门A和B的时间相等。

③若两个小车发生弹性碰撞，由于两个小车的质量相等，则碰撞后两个小车的速度互换，即碰撞后小车1的速度等于碰撞前小车2的速度，则有$t_2=t_1$

④碰撞前小车2的速度为$v_0=\dfrac{d}{\Delta t_1}=\dfrac{1\times10^{-2}}{10\times10^{-3}}\text{ m/s}=1\text{ m/s}$，碰撞后小车1和小车2的速度分别为$v_1=\dfrac{d}{\Delta t_2}=\dfrac{2}{3}\text{ m/s}$，$v_2=\dfrac{d}{\Delta t_3}=\dfrac{1}{3}\text{ m/s}$，则比值$\dfrac{E_k'}{E_k}=\dfrac{\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_0^2}=\dfrac{5}{9}\approx0.56$

24. [2025 · 河南卷]实验小组利用图1所示装置验证机械能守恒定律。可选用的器材有：交流电源（频率50 Hz）、铁架台、电子天平、重锤、打点计时器、纸带、刻度尺等。

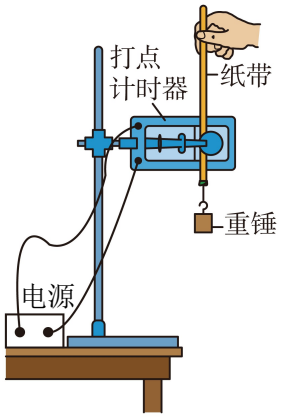


图1

(1) 下列所给实验步骤中，有4个是完成实验必需且正确的，把它们选择出来并按实验顺序排列：_____（填步骤前面的序号）

①先接通电源，打点计时器开始打点，然后再释放纸带

②先释放纸带，然后再接通电源，打点计时器开始打点

③用电子天平称量重锤的质量

④将纸带下端固定在重锤上，穿过打点计时器的限位孔，用手捏住纸带上端

⑤在纸带上选取一段，用刻度尺测量该段内各点到起点的距离，记录分析数据

⑥关闭电源，取下纸带

(2) 图2所示是纸带上连续打出的五个点A、B、C、D、E到起点的距离。则打出B点时重锤下落的速度大小为_____m/s（保留3位有效数字）。

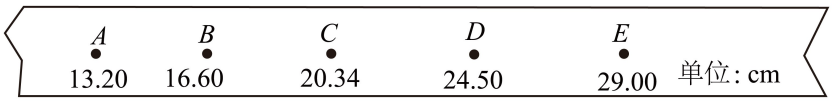


图2

(3) 纸带上各点与起点间的距离即为重锤下落高度h，计算相应的重锤下落速度v，并绘制图3所示的v^2-h关系图像。理论上，若机械能守恒，图中直线应_____（填“通过”或“不通过”）原点且斜率为_____（用重力加速度大小g表示）。由图3得直线的斜率k=_____（保留3位有效数字）。

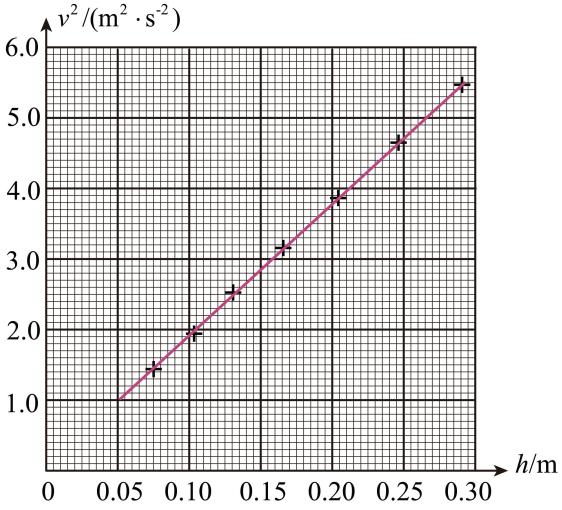


图3

(4) 定义单次测量的相对误差 $\eta=\left|\dfrac{E_p-E_k}{E_p}\right|\times100\%$，其中 E_p 是重锤重力势能的减小量，E_k 是其动能增加量，则实验相对误差为 $\eta=$ _____ $\times100\%$ (用字母 k 和 g 表示)；当地重力加速度大小取 $g=9.80\,\mathrm{m/s^2}$，则 $\eta=$ _____%（保留 2 位有效数字），若 $\eta<5\%$，可认为在实验误差允许的范围内机械能守恒。

答案 (1) ④①⑥⑤　(2)1.79　(3) 通过、$2g$、19.0　(4)$\dfrac{2g-k}{2g}$、3.1

解析 (1) 实验步骤为：将纸带下端固定在重锤上，穿过打点计时器的限位孔，用手捏住纸带上端，先接通电源，打点计时器开始打点，然后再释放纸带，关闭电源，取下纸带，在纸带上选取一段，用刻度尺测量该段内各点到起点的距离，记录分析数据，根据原理 $mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$ 可知质量可以约掉，不需要用电子天平称量重锤的质量。

故选择正确且正确排序为④①⑥⑤。

(2) 纸带上相邻计数点时间间隔 $T=\dfrac{1}{f}=0.02\,\mathrm{s}$，则 $v_B=\dfrac{h_{AC}}{2T}=\dfrac{20.34-13.20}{2\times0.02}=178.5\,\mathrm{cm/s}$

(3) [1] [2] 根据 $mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$ 得 $v^2=2gh$，图中直线应通过原点，且斜率 $k=2g$

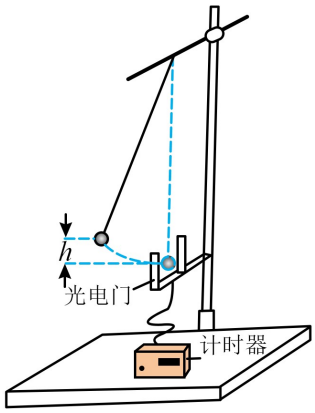
[3] 由图 3 得直线的斜率 $k=\dfrac{5.6-1.5}{0.295-0.08}\approx19.0$

(4) [1] 根据题意有 $\eta=\dfrac{mgh-\frac{1}{2}mv^2}{mgh}\times100\%=1-\dfrac{v^2}{2gh}=1-\dfrac{k}{2g}$

[2] $\eta=1-\dfrac{19.0}{2\times9.8}\approx3.1\%$

25. [2025·甘肃卷]某学习小组使用如图所示的实验装置验证机械能守恒定律。

把一个直径为 d 的小球用不可伸长的细线悬挂，光电门置于小球平衡位置处，其光线恰好通过小球球心，计时器与光电门相连。



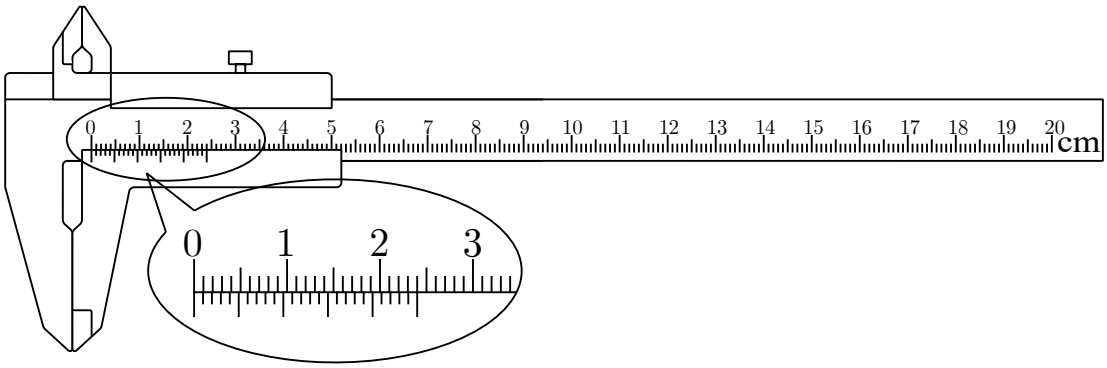
将小球拉离平衡位置并记录其高度 h，然后由静止释放（运动平面与光电门光线垂直），记录小球经过光电门的挡光时间 Δt。改变 h，测量多组数据。已知重力加速度为 g，忽略阻力。

(1) 以 h 为横坐标、_____（填“Δt”、“$(\Delta t)^2$”、“$\frac{1}{\Delta t}$”或“$\frac{1}{(\Delta t)^2}$”）为纵坐标作直线图。若所得图像过原点，且斜率为_____（用 d 和 g 表示），即可证明小球在运动过程中机械能守恒。

(2) 实验中，用游标卡尺测得小球直径 $d=20.48\,\text{mm}$。

①由结果可知，所用的是_____分度的游标卡尺（填“10”、“20”或“50”）；

②小组设计了一把 25 分度的游标卡尺，未测量时的状态如图所示。如果用此游标卡尺测量该小球直径、则游标尺上第_____条刻度线与主尺上的刻度线对齐。



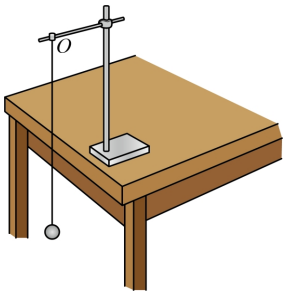
答案 (1)$\frac{1}{(\Delta t)^2}$、$\frac{2g}{d^2}$　(2)50、12

解析 (1) 小球到达平衡位置的速度 $v=\frac{d}{\Delta t}$，为验证机械能守恒定律，此过程中重力势能转化为动能有 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$，联立解得 $\frac{1}{(\Delta t)^2}=\frac{2g}{d^2}h$，可得纵坐标为 $\frac{1}{(\Delta t)^2}$，图像的斜率为 $k=\frac{2g}{d^2}$。

(2) [1]10 分度、20 分度、50 分度的游标卡尺的精确度分别为 0.1mm、0.05mm、0.02mm，此游标卡尺测得小球直径 $d=20.48\text{mm}$，可以判断所用的是 50 分度的游标卡尺。

[2] 若为 25 分度的游标卡尺，其精确度为 $\frac{1\text{mm}}{25}=0.04\text{mm}$，用此游标卡尺测量该小球直径，可得 $n=\frac{0.48}{0.04}=12$，则游标尺上第 12 条刻度线与主尺上的刻度线对齐。

26. [2025 · 海南卷]某实验小组用如图所示单摆测量当地重力加速度。



①用游标卡尺测得小球直径 $d=20.00\ \text{mm}$，刻度尺测得摆线长 $l=79.00\ \text{cm}$，则单摆摆长 $L=$ _____ cm (保留四位有效数字)。

②拉动小球，使摆线伸直且与竖直方向的夹角为 $\theta(\theta<5°)$，无初速度释放小球，小球经过 _____ (填“最高”或“最低”) 点时开始计时，记录小球做了 30 次全振动用时 $t=54.00\ \text{s}$，则单摆周期 $T=$ _____ s，由此可得当地重力加速度 $g=$ _____ m/s^2 ($\pi^2\approx10$)。

答案 (1)80.00　(2) 最低、1.8、9.88

解析 (1) 单摆的摆长为 $L=l+\frac{d}{2}=80.00\text{cm}$

(2) 为减小实验计时误差，需小球经过最低点时开始计时；单摆周期 $T=\frac{t}{n}=\frac{54}{30}\ \text{s}=1.8\ \text{s}$；根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，可得 $g=\frac{4\pi^2L}{T^2}=\frac{4\times10\times0.8}{1.8^2}\approx9.88\text{m/s}^2$

27. [202506 浙江卷] II 在用单摆测重力加速度的实验中，

(1) 如图 1 所示，可在单摆悬点处安装力传感器，也可在摆球的平衡位置处安装光电门。甲同学利用力传感器，获得传感器读取的力与时间的关系图像，如图 2 所示，则单摆的周期为 _____ s (结果保留 3 位有效数字)。乙同学利用光电门，从小钢球第 1 次遮光开始计时，记下第 n 次遮光的时刻 t，则单摆的周期为 $T=$ _____；

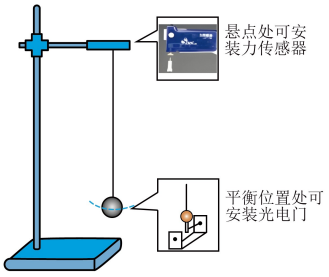


图1

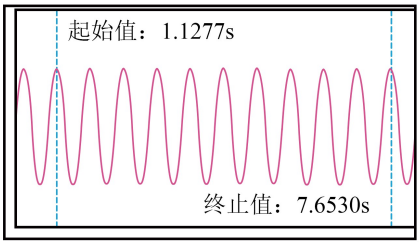


图2

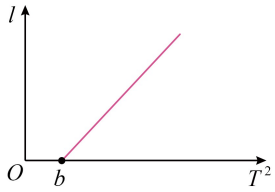


图3

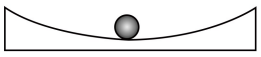


图4

(2) 丙同学发现小钢球已变形，为减小测量误差，他改变摆线长度 l，测出对应的周期 T，作出相应的 $l-T^2$ 关系图线，如图 3 所示。由此算出图线的斜率 k 和截距 b，则重力加速度 $g=$ _____，小钢球重心到摆线下端的高度差 $h=$ _____；(结果均用 k、b 表示)

(3) 丁同学用 3D 打印技术制作了一个圆心角等于 5°、半径已知的圆弧槽，如图 4 所示。他让小钢球在槽中运动，测出其运动周期，算出重力加速度为 $8.64\ \text{m/s}^2$。若周期测量无误，则获得的重力加速度明显偏离实际值的最主要原因是 _____。

答案 (1)1.31、$\frac{2t}{n-1}$　　(2)$4\pi^2k$、kb　　(3) 小球发生滚动，导致周期变长

解析 (1) 甲同学：当小球通过最低点时拉力最大，相邻两次同通过最低点的时间间隔为半个周期，

故 $T_{甲}=\frac{7.6530-1.1277}{5}\approx 1.31\,\mathrm{s}$；

乙同学：$(n-1)\frac{T}{2}=t$，得 $T=\frac{2t}{n-1}$

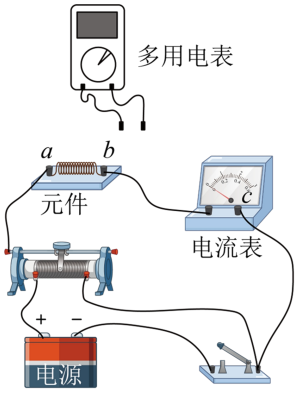
(2) 由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l+h}{g}}$ 得 $l=\frac{g}{4\pi^2}T^2-h$　故 $\frac{g}{4\pi^2}=k$，$\frac{g}{4\pi^2}b-h=0$

得 $g=4\pi^2k$，$h=\frac{g}{4\pi^2}b=kb$

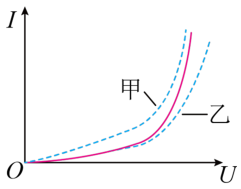
(3) 小球发生滚动，导致周期变长（[2025 · 江苏卷]实验题也涉及滚动带来的误差）

八、电学实验

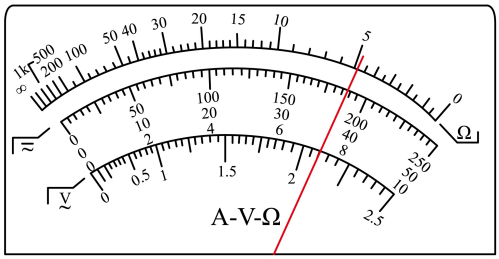
1. [2025·黑吉辽内卷]在测量某非线性元件的伏安特性时，为研究电表内阻对测量结果的影响，某同学设计了如图(a)所示的电路。选择多用电表的直流电压挡测量电压。实验步骤如下：



图(a)



图(b)



图（c）

①滑动变阻器滑片置于适当位置，闭合开关；

②表笔分别连 a、b 接点，调节滑片位置，记录电流表示数 I 和 a、b 间电压 U_{ab}；

③表笔分别连 a、c 接点，调节滑片位置，使电流表示数仍为 I，记录 a、c 间电压 U_{ac}；

④表笔分别连 b、c 接点，调节滑片位置，使电流表示数仍为 I，记录 b、c 间电压 U_{bc}，计算 $U_{ac}-U_{bc}$；

⑤改变电流，重复步骤②③④，断开开关。

作出 $I-U_{ab}$、$I-U_{ac}$ 及 $I-(U_{ac}-U_{bc})$ 曲线如图(b)所示。

回答下列问题：

(1) 将多用电表的红、黑表笔插入正确的插孔，测量 a、b 间的电压时，红表笔应连_____接点 (填“a”或“b”)；

(2) 若多用电表选择开关旋转到直流电压挡“0.5 V”位置，电表示数如图(c)所示，此时电表读数为_____V (结果保留三位小数)；

(3) 图(b)中乙是_____(填“$I-U_{ab}$”或“$I-U_{ac}$”) 曲线；

(4) 实验结果表明，当此元件阻值较小时，_____(填“甲”或“乙”) 曲线与 $I-(U_{ac}-U_{bc})$ 曲线更接近。

答案 (1)a　(2)0.377　(3)$I-U_{ac}$　　(4) 甲

解析 连 a、b 接点时，测的是多用电表和元件并联的总电阻 $\frac{RR_V}{R+R_V}$，即 $I-U_{ab}$ 曲线为该等效电阻的伏安特性曲线；同理连 a、c 时测的是元件和电流表串联的总电阻 $R+R_A$，即 $I-U_{ac}$ 曲线为该等效电阻的伏安特性曲线。

连 b、c 接点时测的是电流表的电阻 R_A，由于步骤③④中保证了通过电流表的电流相同，故电流表两端电压也相同，故步骤③中元件两端电压即为 $U_{ac}-U_{bc}$，所以 $I-(U_{ac}-U_{bc})$ 曲线为元件的伏安特性曲线。

由于 $\frac{RR_V}{R+R_V}<R<R+R_A$，故相等电流下，$U_{ab}<(U_{ac}-U_{bc})<U_{ac}$，所以甲是 $I-U_{ab}$ 曲线，乙是 $I-U_{ac}$ 曲线，图中实线为元件的伏安特性曲线。

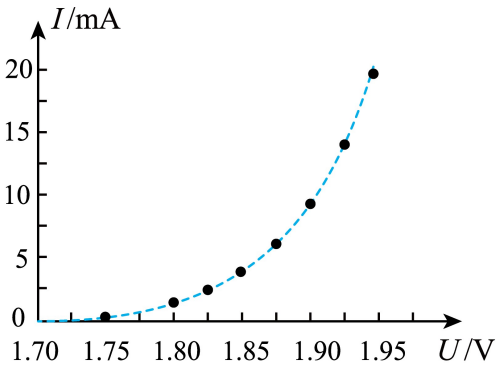
(1)红进黑出 电流从红表笔流入，黑表笔流出，故红表笔应连 a 接点。

(2)0.5 V 的直流电压挡，分度值为 0.01 V，故需估读一位，由图可知读数为 0.377 V。

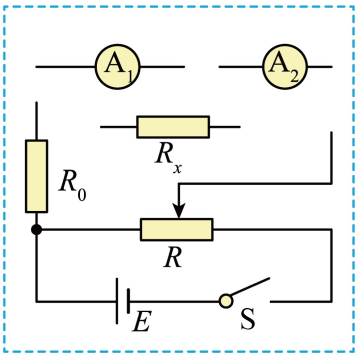
(3) 相同电流 I 下，$U_{ac}>U_{ab}$，故乙应为 $I-U_{ac}$ 曲线

(4)$I-U$图像上一点与原点连线的斜率代表$\frac{1}{R}$，故由图可知R随电压的增大而减小。此元件阻值较小时电压较大，故甲曲线与$I-(U_{ac}-U_{bc})$曲线（实线）更接近。

2. [2025·理综卷(新疆西藏)]用伏安法可以研究电学元件的伏安特性。阻值不随电流、电压变化的元件称为线性电阻元件，否则称为非线性电阻元件。



图(a)



图(b)

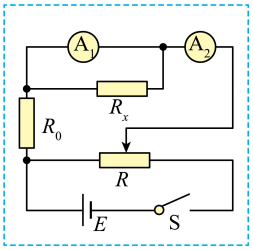
(1)利用伏安法测量某元件的电阻，电流表和电压表的示数分别记为I和U。若将电流表内接，则U_____元件两端的电压，$\frac{U}{I}$_____元件的电阻；将电流表外接，则I_____流过元件的电流，$\frac{U}{I}$_____元件的电阻。(均选填“小于”或“大于”)

(2)图(*a*)是某实验小组用电流表内接法测得的某元件的伏安特性曲线，由图可知，所测元件是_____(选填“线性”或“非线性”)电阻元件。随着电流的增加，元件的电阻_____(选填“增大”“不变”或“减小”)。

(3)利用电流表A_1(内阻r_1)、电流表A_2(内阻未知)以及一个用作保护电阻的定值电阻R_0(阻值未知)，测量电阻R_x的阻值。将图(*b*)中的器材符号的连线补充完整，完成实验电路原理图_____。按完整的实验电路测量R_x，某次测量中电流表A_1和A_2的示数分别为I_1和I_2，则$R_x=$_____(用I_1、I_2和r_1表示)。

答案 (1)大于、大于、大于、小于　　(2)非线性、减小　(3)见解析、$\frac{I_1r_1}{I_2-I_1}$

解析 (1)选择电流表内接时，电流表指示的电流I就是流过元件的电流，但是电压表指示的电压U是元件和电流表串联后的电压，这个电压值是大于元件两端的电压的，因此$\frac{U}{I}$是大于元件电阻的；选择电流表外接时，电压表的指示U就是元件两端的电压，但是电流表测量的电流I是流过元件和电压表的电流之和，这个电流是大于流过元件的电流的，因此$\frac{U}{I}$是小于元件电阻的。

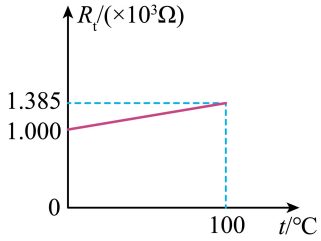


(2)根据题中所给的伏安特性曲线，很容易看出图中各实验点的$\frac{U}{I}$是不同的，每个实验点的电阻等于那一点的曲线斜率的倒数，因此可以判断元件的电阻是变化的，是非线性电阻元件，并且其电阻随着电流增大而减小。

(3)电路图如图所示；根据并联电路电压相等有$I_1r_1=(I_2-I_1)R_x$得$R_x=\frac{I_1r_1}{I_2-I_1}$

3. [2025 · 云南卷]基于铂电阻阻值随温度变化的特性，某兴趣小组用铂电阻做了测量温度的实验。可选用的器材如下：Pt1000 型号铂电阻、电源 E（电动势 5 V，内阻不计）、电流表 A_1（量程 100 μA，内阻 4.5 kΩ）、电流表 A_2（量程 500 μA，内阻约 1 kΩ）、定值电阻 R_1（阻值 15 kΩ）、定值电阻 R_2（阻值 1.5 kΩ）、开关 S 和导线若干。

查阅技术手册可知，Pt1000 型号铂电阻测温时的工作电流在 0.1~0.3 mA 之间，在 0~100°C 范围内，铂电阻的阻值 R_t 随温度 t 的变化视为线性关系，如图(a)所示。

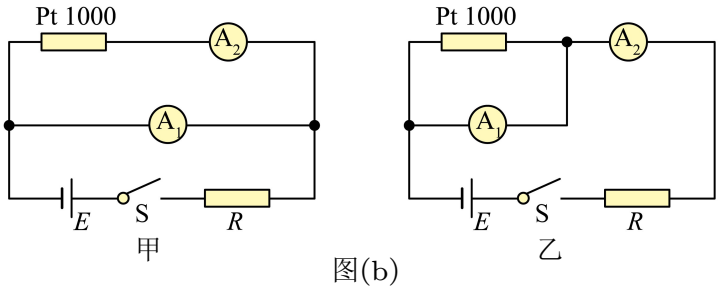


图(a)

完成下列填空：

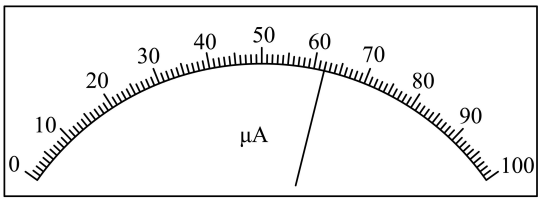
(1) 由图(a)可知，在 0~100°C 范围内，温度每升高 1°C，该铂电阻的阻值增加_____Ω；

(2) 兴趣小组设计了如图(b)所示的甲、乙两种测量铂电阻阻值的电路图，能准确测出铂电阻阻值的是_____（填“甲”或“乙”），保护电阻 R 应选_____（填“R_1”或“R_2”）；



图(b)

(3) 用 (2) 问中能准确测出铂电阻阻值的电路测温时，某次测量读得 A_2 示数为 295 μA，A_1 示数如图(c)所示，该示数为_____μA，则所测温度为_____°C（计算结果保留 2 位有效数字）。



图(c)

答案 (1)3.85　(2)①乙　②R_1　(3)①62.0　②51

解析 (1) 温度每升高 1°C，该铂电阻的阻值增加 $\Delta R=\dfrac{1.385-1.000}{100}\times10^3\Omega=3.85\Omega$

(2) [1] 由于 A_1 内阻确定，所以用 A_1 测量电阻的电压，用 A_2 与 A_1 之差来测量经过电阻的电流，故能准确测出铂电阻阻值的是乙；

[2] 当 A_2 满偏时干路电流最大为 0.5 mA，回路总电阻至少为 $\dfrac{5\text{ V}}{0.5\text{ mA}}=10\text{ k}\Omega$，故保护电阻 R 应选 R_1

(3) [1] 由图可知 A_1 的分度值为 1 μA，则其读数为 62.0 μA；

[2] 铂电阻阻值 $R=\frac{I_1R_{A1}}{I_2-I_1}=\frac{62\times4.5}{295-62}\approx1.197\,\text{k}\Omega$，故 $t=\frac{1197-1000}{3.85}+0℃\approx51℃$

4. [2025 · 贵州卷]某实验小组为测量粗细均匀的铅笔芯单位长度电阻及电压表的内阻，选用的器材有：

待测铅笔芯；

电源 E（电动势 1.5 V，内阻不计）；

毫安表 A（内阻约 10 Ω，量程 0～100 mA）；

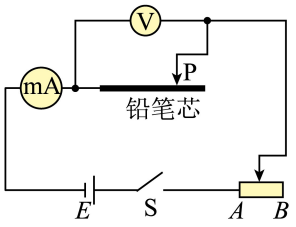
电压表 V（内阻约几百欧，量程 0～1 V）；

滑动变阻器（阻值 0～20 Ω）；

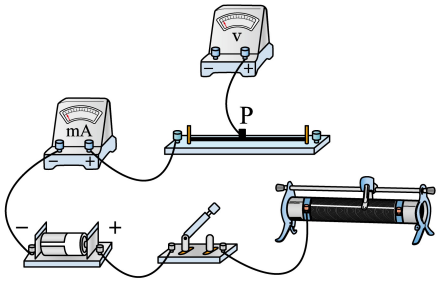
刻度尺；开关；导线若干。

请完成下列步骤：

（1）该小组设计了如图（a）所示的电路图。根据图（a）在答题卡上完成图（b）中的实物图连线_____。



图(a)



图(b)

（2）闭合开关 S 前，应将滑动变阻器的滑片调到_____端（填“A”或“B”）。

（3）移动滑动触头 P 到铅笔芯上的某位置，测量铅笔芯接入电路部分的长度 x；闭合 S，移动滑动变阻器的滑片使毫安表示数 $I_0=50.0\,\text{mA}$，读出此时电压表的示数 U，断开 S。

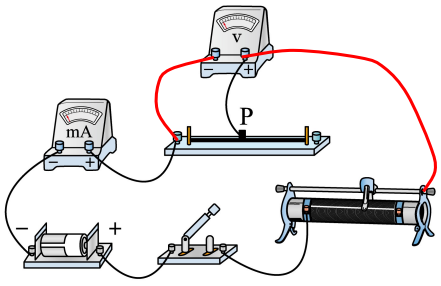
（4）重复步骤（3），得到多组 $I_0=50.0\,\text{mA}$ 条件下不同 x 对应的 U，如下表所示。表中电压的某个数据记录有误，有误的数据是_____。

x/cm	3.00	4.00	6.00	10.00	14.00
U/V	0.13	0.18	0.26	0.4	0.57

（5）实验小组更正表中的数据后，计算出 $\frac{1}{x}$ 和 $\frac{1}{U}$ 的值，并以 $\frac{1}{x}$ 为横坐标、$\frac{1}{U}$ 为纵坐标对其进行线性拟合，得到直线的斜率 $k=0.23\,\text{m/V}$，纵轴截距 $b=0.06\,\text{V}^{-1}$。计算出该铅笔芯单位长度（1 m）的电阻为_____Ω，电压表的内阻为_____Ω。（结果均保留至整数）

答案 （1）见解析 （2）B （4）0.4 （5）87333

解析 （1）实物图连线如图。



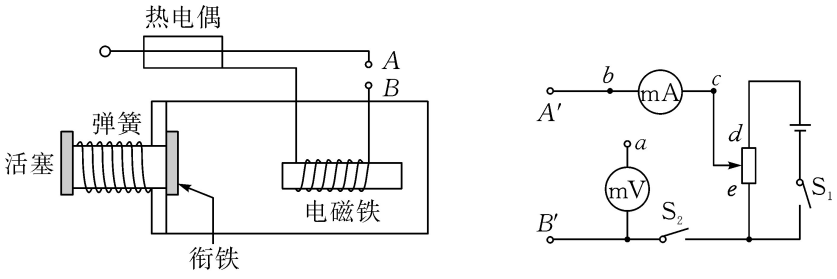
（2）滑动变阻器限流式连接，闭合开关 S 前，应将滑动变阻器的滑片调到 B 端使回路电阻最大。

（4）表格中电压表的读数均为保留两位小数，电压有误的数据是 0.4 V，应为 0.40 V。

（5）设该铅笔芯单位长度的电阻为 R_0，根据电路图得 $\frac{U}{R_V}+\frac{U}{xR_0}=I_0$，

整理得 $\frac{1}{U}=\frac{1}{I_0R_0}\cdot\frac{1}{x}+\frac{1}{I_0R_V}$，故 $k=\frac{1}{I_0R_0}=0.23$，$b=\frac{1}{I_0R_V}=0.06$，其中 $I_0=0.05\,\mathrm{A}$，得 $R_0=87\Omega$，$R_V=333\Omega$

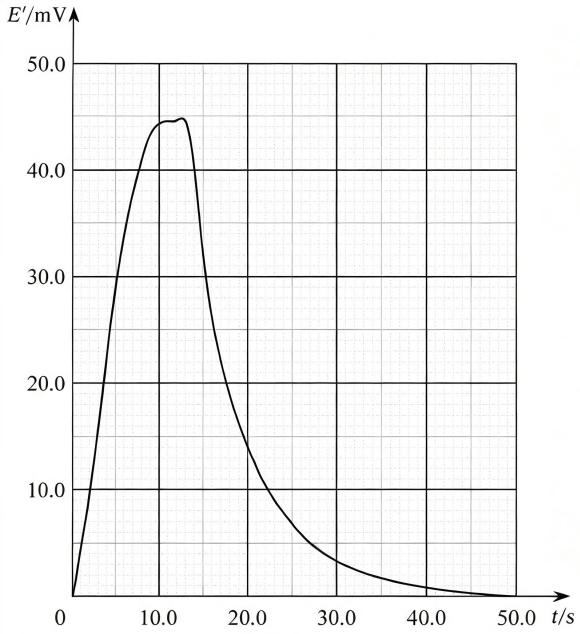
5. [2025 · 重庆卷]熄火保护装置主要由弹簧、热电偶和电磁铁等组成，其示意图如图(a)所示，A、B为导线上两个接线端。小组设计了如图(b)所示的电路(部分连线未完成)进行探究，图中数字毫安表内阻约为1 Ω，数字毫伏表内阻约为10 MΩ。



(1) 将图(a)中的 A、B 端分别与图(b)中的 A'、B' 端连接，测量热电偶和电磁铁线圈构成的组合体电阻。已知组合体电阻不超过 0.05 Ω，则未完成的连接中，a 端应和_____(填“b”或“c”)处相连，理由是_____。

正确连线后，开始时滑动变阻器的滑片应置于_____(填“d”或“e”)端。

(2) 闭合开关 S_1、S_2，实验测得组合体电阻为 0.020 Ω，当电磁铁线圈中的电流小于 142 mA 时，电磁铁无法继续吸合衔铁，衔铁被释放。断开开关 S_1、S_2，从室温加热热电偶感温端到某一温度后，停止加热，使其自然冷却至室温。测得整个过程中热电偶受热产生的电动势 E' 随时间 t 的变化关系如图(c)所示。在相同的加热和冷却过程中，如果将 A、B 端直接连接，不计温度变化对组合体电阻的影响，从停止加热到吸合的衔铁被释放，所用的时间约为_____s(保留3位有效数字)。



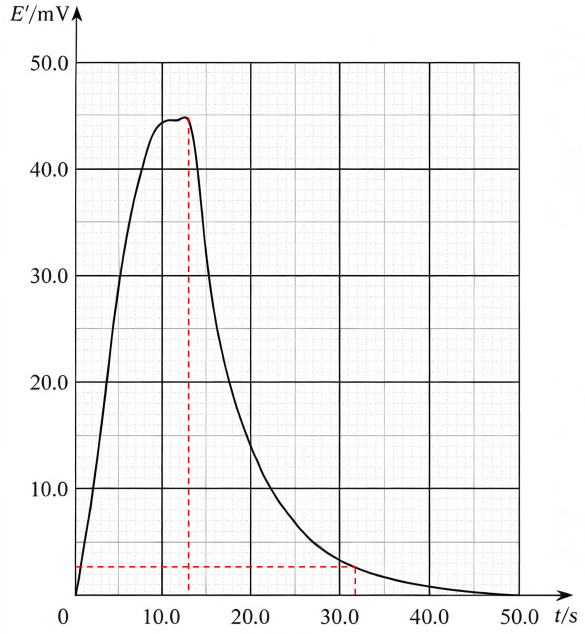
答案 (1)b、毫伏表分流的影响比毫安表分压的影响更小、e　(2)18.5(17.5~19.5 均可)

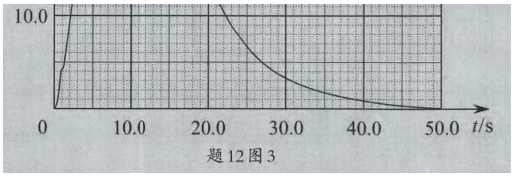
解析 (1) [1] [2] 组合体电阻不超过 0.05Ω，相比较远小于数字毫伏表内阻，应采用数字毫安表外接法，即 a 端应和 b 处相连。

[3] 滑动变阻器采用分压接法，闭合开关时，为了保护电表，滑动变阻器的滑片应置于 e 端。

(2) 衔铁被释放时，电动势为 $E' = Ir = 0.02 \times 142 = 2.84\,\mathrm{mV}$

停止加热时，热电偶受热产生的电动势 E' 最大，如图所示。

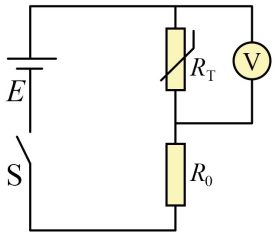




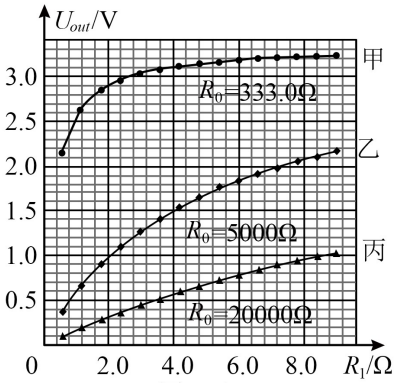
题 12 图 3

由图可知，从停止加热到吸合的衔铁被释放，所用的时间约为 $\Delta t = 31.5 - 13 = 18.5\,\mathrm{s}$

6. [2025 · 江西卷]热敏电阻的阻值随温度的变化而改变，通过建立温度与热敏电阻两端电压的关系，可制作一简易的温度传感器，进而实现温度测量。如图(a)所示，R_T 为热敏电阻，R_0 为匹配电阻，电源电动势为 E（内阻不计），数字电压表Ⓥ（内阻视为无穷大）用于测量热敏电阻两端的电压 U_{out}。



图（a）



图（b）

(1) 由图(a)可得 U_{out} 的表达式为_____。

(2) 已知某热敏电阻从 20°C 升温到 100°C 时，其阻值从 10 kΩ 单调减小到 0.5 kΩ。为了合理配置 R_0 的阻值，用电阻箱 R_1 代替该热敏电阻 R_T 进行实验。经数据处理得到不同 R_0 值对应的 $U_{out}-R_1$ 关系图线，如图(b)所示，分析可知应选图线_____对应的 R_0 作为匹配电阻，可使 U_{out} 在更宽范围内对 R_1 变化的响应更灵敏。

(3) 选定匹配电阻 R_0 后，按图(a)连接电路，改变热敏电阻的温度 T，测量其两端的电压 U_{out}，并尝试用二次多项式进行数据拟合，得到温度 T（°C）与 U_{out}（V）的关系。

(4) 用已标定的温度传感器进行实验，记录数据，如下表所示，其中 T 为测量温度，T_b 为标准温度，$\Delta T=T-T_b$。表中绝对误差最大和最小的测量温度值 T 分别为_____°C 和_____°C。除涉及元器件的精度和稳定性之外，分析该温度传感器测量误差的主要来源：_____。

T（°C）	29.6	34.0	38.0	42.2	47.0	51.6	55.0	66.1	70.2
T_b（°C）	31.4	36.4	40.5	44.5	48.7	52.5	55.8	65.7	70.0
ΔT（°C）	−1.8	−2.4	−2.5	−2.3	−1.7	−0.9	−0.8	0.4	0.2

答案 (1)$U_{out}=\dfrac{E}{R_T+R_0}R_T$　(2) 乙　(4)38.0；70.2；匹配电阻 R_0 的阻值不太合适或选用二次多项式进行数据拟合不够精确（答对任一项即可）。

解析 (1) 由闭合电路的欧姆定律可得电路中电流 $I=\dfrac{E}{R_0+R_T}$，可得 $U_{out}=IR_T=\dfrac{R_T}{R_0+R_T}E$。

(2) 结合图 (*b*) 分析可知，图线乙对应的 R_0 作为匹配电阻可使 U_{out} 在更宽范围内对 R_1 变化响应更灵敏。

(4) 结合表格数据分析，可知测量的绝对误差最大和最小对应的测量温度分别为 38.0°C 和 70.2°C，误差的主要来源可能是匹配电阻 R_0 的阻值不太合适或者选用二次多项式进行数据拟合不够精确。

7. [2025·河北卷] (1) 某学习小组把热敏电阻置于带有温控的加热装置中，利用图 1 所示电路研究热敏电阻的温度特性。

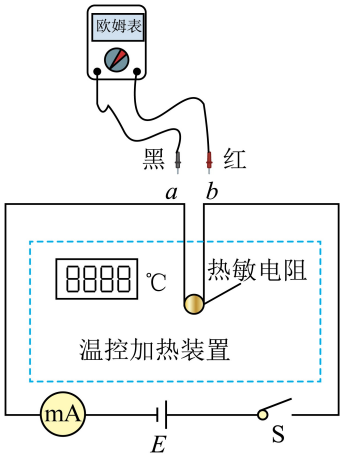


图1

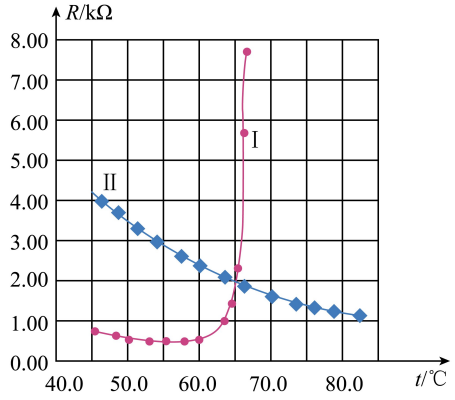


图2

①闭合开关 S，观察到温度改变时电流表示数也随之改变。定量研究热敏电阻的阻值 R 随温度 t 变化的规律时，将欧姆表两表笔分别接到热敏电阻 a、b 两端测量其阻值，这时开关 S 应_____(填“断开”或“闭合”)。

②按照正确方法测出不同温度下热敏电阻的阻值。电阻 R_1、R_2 与温度 t 的关系分别对应图 2 中曲线Ⅰ、Ⅱ。设计电路时，为防止用电器发生故障引起电流异常增大，导致个别电子元件温度过高而损坏，可串联一个热敏电阻抑制电流异常增大，起到过热保护作用。这种热敏电阻与电阻_____(填“R_1”或“R_2”)具有相同温度特性。

(2) 某学习小组在倾斜的气垫导轨上验证机械能守恒定律，实验装置如图 3 所示，当地重力加速度为 g。

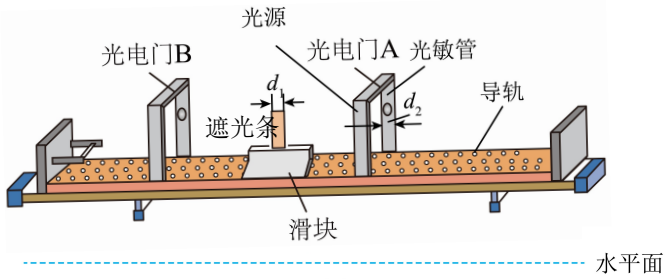


图3

①方案设计阶段，该小组同学对需要测量哪些物理量产生了不同意见。

甲同学：需测量滑块和遮光条的总质量、滑块通过两个光电门的速度、两个光电门间的竖直高度差。

乙同学：只需测量滑块通过两个光电门的速度、两个光电门间的竖直高度差。

丙同学：只需测量滑块通过两个光电门的速度、两个光电门间的距离。

你认为_____(填“甲”“乙”或“丙”)同学的方案不可行。

②如图 3，光电门中光源与光敏管相对，光源发出的光使光敏管感光。当滑块经过时，遮光条把光遮住，计时器记录遮光时间，可计算出滑块的速度。实验中使用的遮光条宽度 $d_1=10.0\,\text{mm}$，光电门宽度 $d_2=20.0\,\text{mm}$。某次测量时，记录通过光电门 A 的遮光时间为 25.0 ms，则滑块经过光电门 A 的速度大小为_____ m/s。

答案 (1) 断开、R_1　　(2) 丙、0.4

解析 (1)① [1] 用欧姆表测量热敏电阻的阻值时应该让热敏电阻与电源断开，即开关 S 应该断开；

② [2] 由题意可知要串联的热敏电阻的阻值应该随温度的增加而快速增加，从而抑制电路中电流的增加，由图可知热敏电阻 R_1 在温度 65℃ 左右电阻异常变化较大，则为防止用电器用电器故障引起电流异常增加，可串联一个热敏电阻与 R_1 具有相同温度特性的热敏电阻；

(2)① [1] 要验证的关系为 $mg\Delta h=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$ 得 $2g\Delta h=v_B^2-v_A^2$

则只需要测量滑块经过两光电门时的速度和两个光电门间的竖直高度差，即甲、乙同学的方案可行，丙同学的方案不可行；

② [2] 滑块经过光电门的速度为 $v_A=\frac{d_1}{\Delta t}=\frac{10\times10^{-3}}{25\times10^{-3}}\ \mathrm{m/s}=0.4\ \mathrm{m/s}$

8. [2025 · 四川卷]某学生实验小组要测量一段合金丝的电阻率。所用实验器材有：

待测合金丝样品 (长度约 1 m)

螺旋测微器

学生电源 E(电动势 0.4 V，内阻未知)

米尺 (量程 0~100 cm)

滑动变阻器 (最大阻值 20 Ω)

电阻箱 (阻值范围 0~999.9 Ω)

电流表 (量程 0~30 mA，内阻较小)

开关 S_1、S_2

导线若干

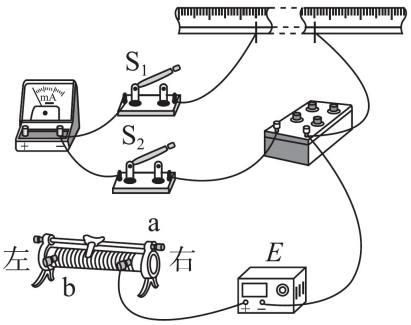


图 1

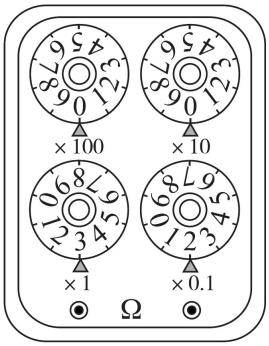


图 2

(1) 将待测合金丝样品绷直固定于米尺上，将金属夹分别夹在样品 20.00 cm 和 70.00 cm 位置，用螺旋测微器测量两金属夹之间样品三个不同位置的横截面直径，读数分别为 0.499 mm、0.498 mm 和 0.503 mm，则该样品横截面直径的平均值为_____ mm。

(2) 该小组采用限流电路，则图 1 中电流表的“+”接线柱应与滑动变阻器的接线柱_____(选填“a”或“b”) 相连。闭合开关前，滑动变阻器滑片应置于_____端 (选填“左”或“右”)。

(3) 断开 S_2、闭合 S_1，调节滑动变阻器使电流表指针恰好指到 15.0 mA 刻度处。断开 S_1、闭合 S_2，保持滑动变阻器滑片位置不变，旋转电阻箱旋钮，使电流表指针仍指到 15.0 mA 处，此时电阻箱面板如图 2 所示，则该合金丝的电阻率为_____ Ω·m (取 $\pi=3.14$，结果保留 2 位有效数字)。

(4) 为减小实验误差，可采用的做法有_____ (有多个正确选项)。

A. 换用内阻更小的电源

B. 换用内阻更小的电流表

C. 换用阻值范围为 0~99.99 Ω 的电阻箱

D. 多次测量该合金丝不同区间等长度样品的电阻率，再求平均值

答案 (1)0.500　(2)a、左　(3)1.3×10^{-6}　(4)CD

解析 (1)该样品横截面直径的平均值为 $d=\dfrac{(0.499+0.498+0.503)}{3}\ \text{mm}=0.500\ \text{mm}$

(2) [1] 由于滑动变阻器采用限流式接法，应将其串联接在电路中，故采用 " 一上一下 " 原则，即电流表的 " + " 接线柱应与滑动变阻器的接线柱 a 相连。

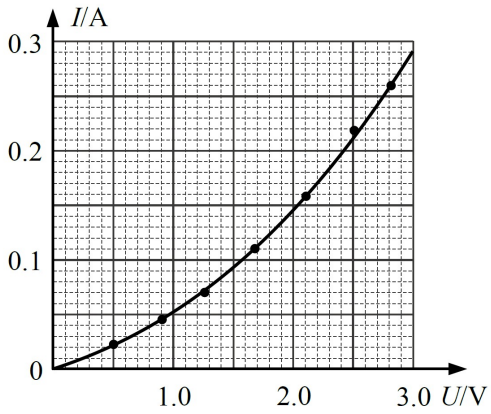
[2] 为了保护电路，闭合开关前，滑动变阻器滑片应最大阻值处，即最左端。

(3) 由题意可知，该合金丝的电阻为 $R=3.2\Omega$，由电阻定律 $R=\rho\dfrac{l}{S}$ 及 $S=\pi\left(\dfrac{d}{2}\right)^2$ 可得 $\rho=\dfrac{\pi Rd^2}{4l}$，其中 $d=0.500\ \text{mm}$，$l=70.00\text{cm}-20.00\text{cm}=50.00\text{cm}$，代入得 $\rho\approx1.3\times10^{-6}\Omega\cdot\text{m}$

(4) 根据电阻定律可知 $\rho=\frac{\pi Rd^2}{4l}$，则为了减小实验误差，可减小测合金丝电阻时的误差，选择更精确的电阻箱，可换用阻值范围为 0～99.99Ω，或多次测量该合金丝不同区间等长度样品的电阻率，再求平均值。

故选 *CD*。

9. [2025 · 上海卷]小佳用柱形电阻 *X*、电动势为 3 V 的电池、滑动变阻器 *R*、电流表、电压表、开关连成电路进行实验，根据实验数据作出通过 *X* 的电流 *I* 随 *X* 两端电压 *U* 变化的 *I* − *U* 图线。实验过程中 *X* 的长度和横截面积保持不变。

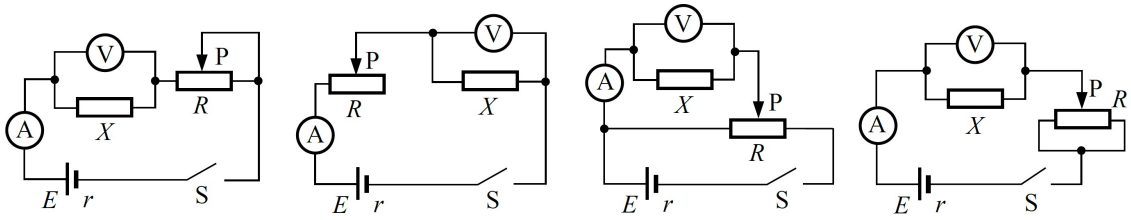


(1) 若 *X* 的阻值为 R_X，*X* 的材料的电阻率为 ρ，根据 *I* − *U* 图线可知，当加在 *X* 两端的电压增大时，_____。

A. R_X 增大，ρ 增大　　B. R_X 减小，ρ 减小　　C. R_X 增大，ρ 不变　　D. R_X 减小，ρ 不变

(2) 当电阻两端电压为 1.80 V 时，该电阻的功率约为_____W。（保留 3 位有效数字）

(3) 根据 *I* − *U* 图线的测量数据点推测，小佳所采用的实验电路图可能为_____。



A　　B　　C　　D

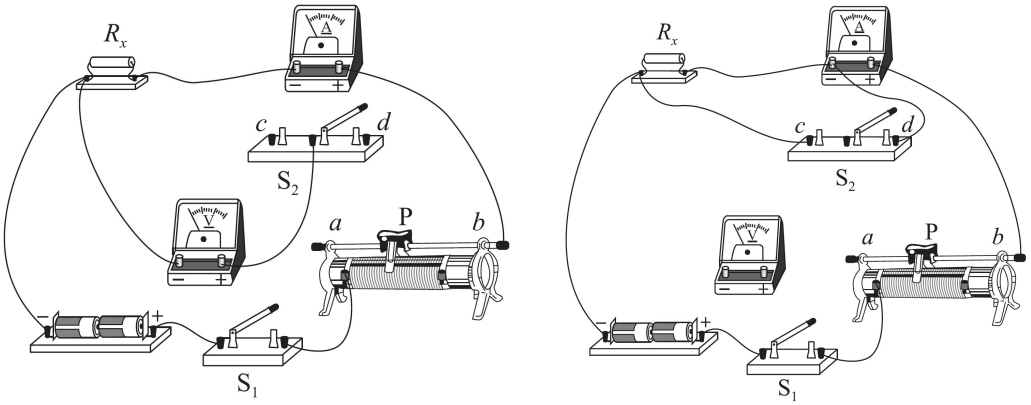
答案 (1)*B*　(2)0.221　(3)*C*

解析 (1)*I* − *U* 图像上一点与原点连线的斜率代表 $\frac{1}{R}$，故由图可知 *R* 随电压的增大而减小；再根据电阻定律 $R=\rho\frac{l}{S}$，可得 ρ 也在减小，*B* 选项正确。

(2) 根据图像分析，当电阻两端电压为 1.8 V 时，可读出此时流过电阻的电流为 0.123 A，根据公式 $P=UI$，代入数据解得 $P=1.8\times0.123\approx0.221$ W

(3) 为了获得该电阻两端的电压和通过该电阻的电流，电压表要测该电阻两端的电压，电流表要测通过该电阻的电流，又通过该电阻的电流从 0 开始变化，故滑动变阻器应用作分压式解法，*C* 正确，*ABD* 错误。

10. [2025 · 甘肃卷]某兴趣小组设计测量电阻阻值的实验方案。可用器材有：电池（电动势 1.5 V）两节，电压表（量程 3 V，内阻约 3 kΩ），电流表（量程 0.3 A，内阻约 1 Ω），滑动变阻器（最大阻值 20 Ω），待测电阻 R_x，开关 S_1，单刀双掷开关 S_2，导线若干。



（1）首先设计如图甲所示的电路。

①要求用 S_2 选择电流表内、外接电路，请在图甲中补充连线将 S_2 的 c、d 端接入电路；

②闭合 S_1 前，滑动变阻器的滑片 P 应置于_____端（填“a”或“b”）；

③闭合 S_1 后，将 S_2 分别接 c 和 d 端，观察到这两种情况下电压表的示数有变化、电流表的示数基本不变，因此测量电阻时 S_2 应该接_____端（填“c”或“d”）。

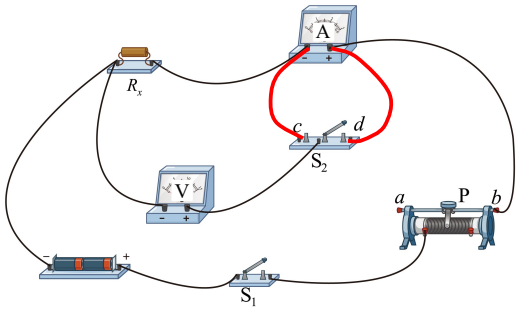
（2）为了消除上述实验中电表引入的误差，该小组又设计了如图乙所示的电路。

①请在图乙中补充连线将电压表接入电路；

②闭合 S_1，将 S_2 分别接 c 和 d 端时，电压表、电流表的读数分别为 U_c、I_c 和 U_d、I_d。则待测电阻阻值 $R_x=$ _____（用 U_c、U_d、I_c 和 I_d 表示）。

答案 （1）见解析、b、c　　（2）见解析实物连接图 $\frac{Uc}{I_c}-\frac{U_d}{I_d}$

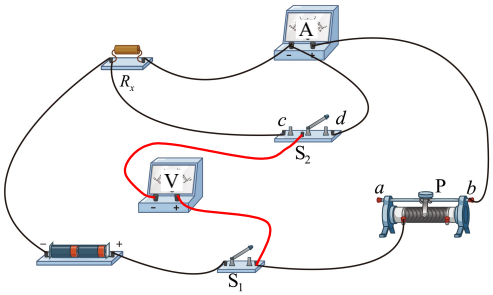
解析 （1）①实物连接图如图所示，



②闭合 S_1 前，根据滑动变阻器的限流式接法，滑片 P 应置于 b 端，连入电路中的阻值最大，保护电路的安全。

③闭合 S_1 后，将 S_2 分别接 c 和 d 端，观察到这两种情况下电压表的示数有变化、电流表的示数基本不变，说明电流表分压明显，为减小实验误差，应采用电流表外接法，因此测量电阻时 S_2 应该接 c 端。

（2）①实物连接图如图所示，



②当闭合 S_1，将 S_2 接 c 端时，电压表、电流表的读数分别为 U_c、I_c，则 $\frac{U_c}{I_c}=R_x+R_A+R_{滑}$，

将 S_2 接 d 端时，电压表、电流表的读数分别为 U_d、I_d，则 $\frac{U_d}{I_d}=R_A+R_{滑}$

那么待测电阻阻值 $R_x=\frac{U_c}{I_c}-\frac{U_d}{I_d}$

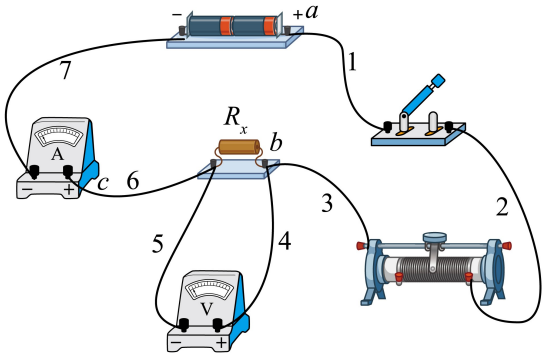
11. [2025 · 天津卷]某同学用伏安法测量电阻 R_x 的阻值(约为 5 Ω)。除滑动变阻器、电源(电动势为 3 V,内阻不计)、开关、导线外,还有下列器材可供选择:

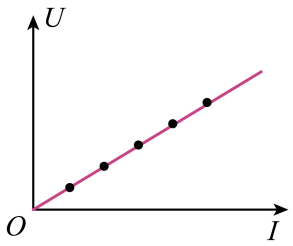
A. 电压表(量程 0 – 3 V,内阻约为 3 kΩ)　　B. 电压表(量程 0~15 V,内阻约为 15 kΩ)

C. 电流表(量程 0~0.6 A,内阻约为 0.1 Ω)　　D. 电流表(量程 0~3 A,内阻约为 0.02 Ω)

(1) 为使测量尽量准确,实验中电压表应选_____,电流表应选_____(均填器材前的字母代号);

(2) 该同学连接好的电路如下图所示,闭合开关后,电流表和电压表的读数均为零,经排查,发现电路中的七条导线中混进了一条内部断开的导线。为了确定哪条导线断开,该同学用多用电表的直流电压挡测量电源正极 a 与接线柱 b 间电压,读数为零;测量 a 与接线柱 c 间电压,读数不为零,则可以确定导线_____内部断开(填图中导线编号);





(3) 更换导线后进行实验,该同学测得多组电压数据 U 和电流数据 I,描绘出 $U-I$ 图像如图所示,测得图中直线的斜率为 k,已知电压表的内阻为 R_V,若考虑电压表内阻的影响,则 R_x 阻值的表达式为_____。

答案　(1)A、C　　(2)6　　(3)$\dfrac{R_Vk}{R_V-k}$

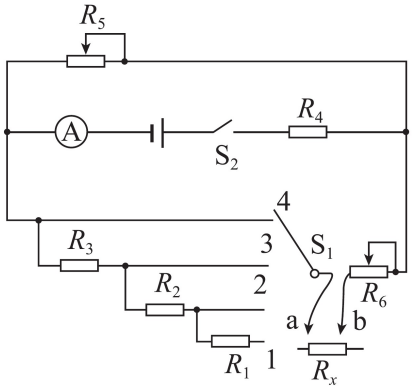
解析　(1) [1] 电源电动势为 $3V$,为了减小误差,电压表选用量程为 $3V$ 的 A;

[2] 流过电阻的最大电流约为 $I_{max}=\dfrac{E}{R_x}=\dfrac{3}{5}A=0.6A$,为了减小误差,电流表选用量程为 $0.6A$ 的 C。

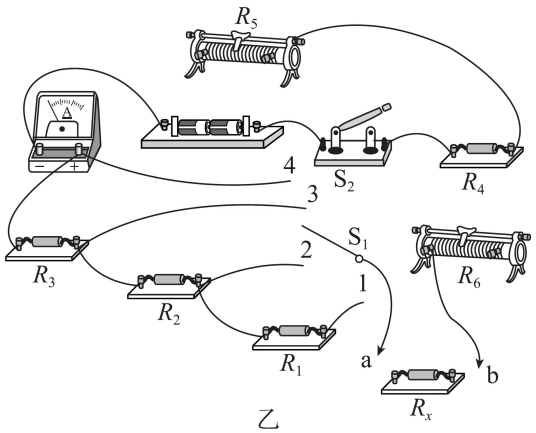
(2)电流表和电压表示数都为零,则不可能是 4、5 导线内部断开;测 a、b 间电压时读数为零,测量 a、c 间电压时读数不为零,则可以确定导线 6 内部断开。

(3)根据电路图可得 $I=\dfrac{U}{R_V}+\dfrac{U}{R_x}$,整理可得 $U=\dfrac{R_VR_x}{R_x+R_V}I$(即外接法测得的电阻为并联电阻),则 $\dfrac{R_VR_x}{R_x+R_V}=k$,可得 $R_x=\dfrac{R_Vk}{R_V-k}$

12. [2025 · 福建卷]在如图甲所示的电路中，$R_1=R_2=R_3=R_4=100\,\Omega$，$R_5$与$R_6$均为滑动变阻器，最大阻值均为$100\,\Omega$，且$R_6$可进行读数。电源电动势$E=3\,\mathrm{V}$，电流表A的量程为0~30 mA，可旋转开关$S_1$可接1～4触点。



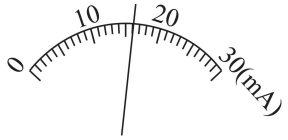
甲



乙

(1)将图乙所示的实物图连接完整。

(2)某时刻电流表读数如图丙所示，电流为_____mA。



丙

(3)将开关S_2闭合，S_1指向1处，R_6滑片调至最右端，表笔a、b短接，调节R_5，让电流表读数为(2)中的值，记为I_0。然后将R_x接入a、b间，发现S_1拨至1和2处时，电流表A的示数均小于I_0，S_1拨至3处时，电流表A的示数大于I_0，则R_x的阻值位于_____(选填“0~100”“100~200”“200~300”或“300~400”)Ω之间。

(4)现将S_1拨于_____处，R_6调为$55\,\Omega$时，A的示数恰为I_0，则$R_x=$_____。

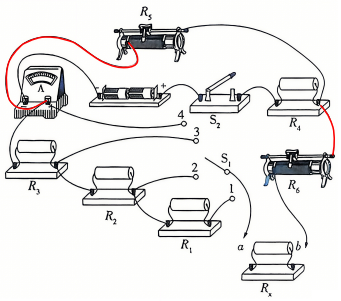
(5)下列哪些问题会造成本次实验误差_____。

A. 电流表A的内阻被忽略　　B. 电源内阻被忽略

C. R_6读数不准确　　D. 电流表读数比I_0偏大

答案　(1)如图所示　(2)16.0　(3)100~200　(4)2、145　(5)*CD*

解析　(1)如图所示；



(2)最小刻度为1 mA，估读一位，故读数为16.0

(3)表笔短接时，图甲下半部分总电阻$R'=R_3+R_2+R_1+R_6$；

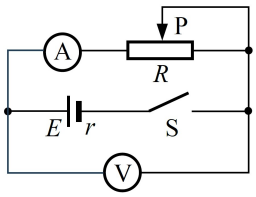
S_1拨至2处时，电流表A的示数小于I_0，说明R'偏大，得$R_x>R_1$；

S_1拨至3处时，电流表A的示数大于I_0，说明R'偏小，得$R_x<R_1+R_2$，故$100\,\Omega<R_x<200\,\Omega$；

(4)将S_1拨于2处，R_6调为$55\,\Omega$时，A的示数恰为I_0，则图甲下半部分总电阻仍为$R'=R_3+R_2+R_x+R_6'$，得$R_1+R_6=R_x+R_6'$，得$R_x=145\,\Omega$；

(5)电流表A的内阻和电源内阻不影响图甲下半部分总电阻R'，而R_6读数和电流表读数会影响图甲下半部分等效总电阻，故选*CD*。

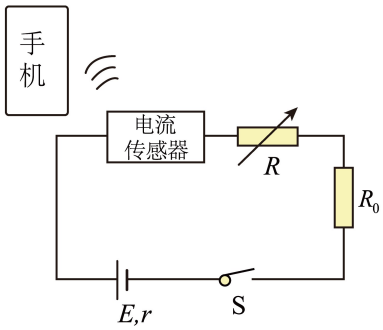
13. [2025 · 上海卷]实验室利用如图所示电路进行实验。调节滑动变阻器，当电流表示数 $I_1=1\ \mathrm{A}$ 时，电压表示数 $U_1=3\ \mathrm{V}$；当电流表示数 $I_2=2\ \mathrm{A}$ 时，电压表示数为 $U_2=1.5\ \mathrm{V}$，则电源电动势为_____ V，内阻为_____ Ω。



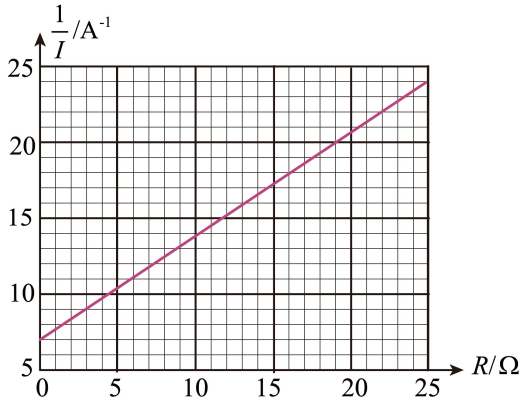
答案 4.5、1.5

解析 根据闭合电路欧姆定律 $E=U+Ir$，代入数据可得 $E=3+r$；$E=1.5+2r$，联立两式解得 $E=4.5\ \mathrm{V}$；$r=1.5\ \Omega$

14. [2025 · 湖北卷]某实验小组为测量一节干电池的电动势 E 和内阻 r，设计了如图 (a) 所示电路，所用器材如下：干电池、智能手机、电流传感器、定值电阻 R_0、电阻箱、开关、导线等。按电路图连接电路，将智能手机与电流传感器通过蓝牙无线连接，闭合开关 S，逐次改变电阻箱的阻值 R，用智能手机记录对应的电流传感器测得的电流 I。回答下列问题：



图(a)



图(b)

(1)R_0 在电路中起_____ (填“保护”或“分流”) 作用。

(2)$\frac{1}{I}$ 与 E、r、R、R_0 的关系式为 $\frac{1}{I}=$_____。

(3) 根据记录数据作出 $\frac{1}{I}-R$ 图像，如图 (b) 所示。已知 $R_0=9.0\ \Omega$，可得 $E=$_____ V (保留三位有效数字)，$r=$_____ Ω (保留两位有效数字)

(4) 电流传感器的电阻对本实验干电池内阻的测量结果_____ (填“有”或“无”) 影响。

答案 (1) 保护　(2)$\frac{1}{E}R+\frac{R_0+r}{E}$　(3)1.47、1.3　(4) 有

解析 (1)R_0 与电阻箱串联，可知 R_0 在电路中起保护作用。

(2) 根据闭合电路欧姆定律 $E=I(R+R_0+r)$ 得 $\frac{1}{I}=\frac{R}{E}+\frac{R_0+r}{E}$

(3) 结合图 (b) 可知，斜率 $\frac{1}{E}=\frac{24-7}{25-0}\ \mathrm{V^{-1}}$，截距 $\frac{R_0+r}{E}=7\ \mathrm{A^{-1}}$，解得 $E\approx1.47\ \mathrm{V}$，$r\approx1.3\ \Omega$

(4) 当电流传感器有内阻时，所测的电源内阻 $r_{测}=r_{真}+r_{传}$，导致电源内阻测量值偏大，即电流传感器的电阻对本实验干电池内阻的测量结果有影响。

15. [2025 · 海南卷]某小组测量电动势和内阻，可供使用的器材有：

电源（电动势 E 约为 3 V，内阻 r 未知）

电压表（量程 0～3 V，内阻 R_V 约为 3 kΩ）

电流表（量程 0～0.6 A，内阻 R_A 约为 1 Ω）

定值电阻 $R_0=3\ \Omega$

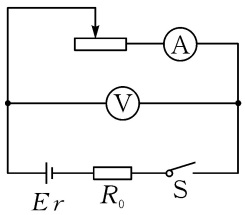
滑动变阻器 R_1（最大阻值 50 Ω）

滑动变阻器 R_2（最大阻值 500 Ω）

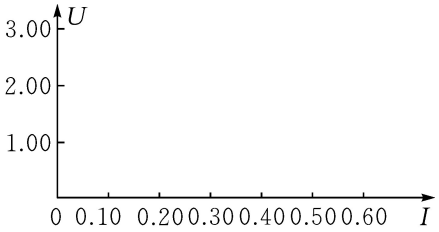
开关 S

导线若干

该小组设计了如图（a）的实验电路：



图(a)



图(b)

回答下列问题：

(1) 为了测量精确，滑动变阻器应选择_____（填“R_1”或“R_2”）。

(2) 闭合开关，调节滑动变阻器，记录电压表示数 U 和对应的电流表示数 I 如下表，根据表格的数据在图（b）的坐标纸上补完数据点，并绘制 $U-I$ 图像。

U/V	1.00	1.30	1.70	2.00	2.50
I/A	0.38	0.32	0.24	0.18	0.08

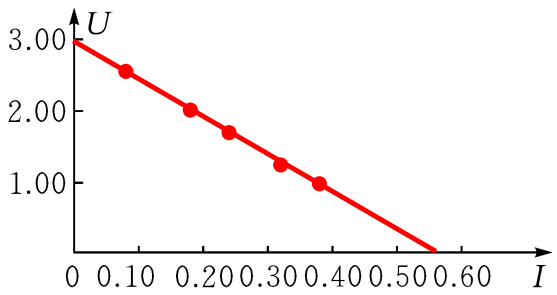
(3) 由 $U-I$ 图像可求得电源电动势测量值 $E_{测}=$_____ V，内阻测量值 $r_{测}=$_____ Ω（结果均保留三位有效数字）。

(4) 考虑电压表分流引起的误差，则 $E_{测}$_____ $E_{真}$（填“大于”“小于”或“等于”）；$r_{测}$ 与真实值 $r_{真}$ 之间的关系式为_____（用 R_V、R_0、$r_{测}$、$r_{真}$ 表示）。

答案 (1)R_1　(2) 见解析　(3)3.00、2.36　(4) 小于、$r_{测}=\dfrac{(r_{真}+R_0)R_V}{r_{真}+R_0+R_V}$

解析 (1) 为了提高测量精度，方便调节电路，滑动变阻器选择最大阻值较小的 R_1；

(2) 图像如图。



(3) 由闭合电路欧姆定律得 $U=E-I(R_0+r)$，结合图线得

$E=3.00\ \text{V}$，$R_0+r=\dfrac{3.00}{0.56}\approx 5.36\Omega$，得 $r=2.36\Omega$

(4) 考虑电压表分流引起的误差时，

由闭合电路欧姆定律得 $E_{真}=U+(r_{真}+R_0)\left(I+\dfrac{U}{R_V}\right)$

整理得 $U=-\dfrac{R_V(r_{真}+R_0)}{R_V+r_{真}+R_0}I+\dfrac{R_V}{R_V+r_{真}+R_0}E_{真}$

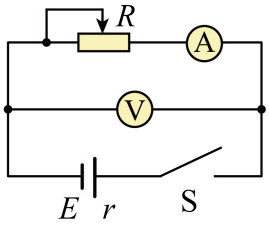
即可将电压表和电源等效为新的电源，此时根据图像得到的电动势和内阻为等效电源的电动势和内

阻。

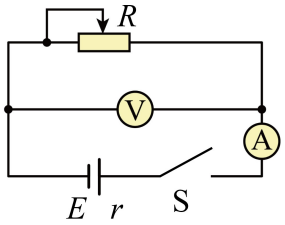
等效电源的电动势为 $E_{测}=\dfrac{R_V}{R_V+r_{真}+R_0}E_{真}$，故 $E_{测}<E_{真}$；等效电源的内阻为 $r_{测}=\dfrac{(r_{真}+R_0)R_V}{R_V+r_{真}+R_0}$

16. **[202506 浙江卷]** Ⅰ 在测量一节干电池的电动势和内阻的实验中，

(1) 为了减小测量误差，如图所示的电路中应该选择的是_____(选填“甲”或“乙”)；



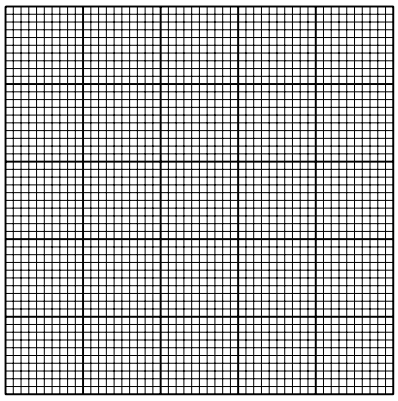
甲



乙

次数	1	2	3	4	5
U/V	1.35	1.30	1.25	1.20	1.15
I/A	0.14	0.22	0.30	0.37	0.45

(2) 通过调节滑动变阻器，测得多组 U、I 数据，记录于题表。试在答题纸上的方格纸中建立合适的标度，描点并作出 $U-I$ 图像，由此求得电动势 $E=$_____V，内阻 $r=$_____Ω。(结果均保留到小数点后两位)



答案 (1) 甲　　(2) 图像见解析、1.44、0.65

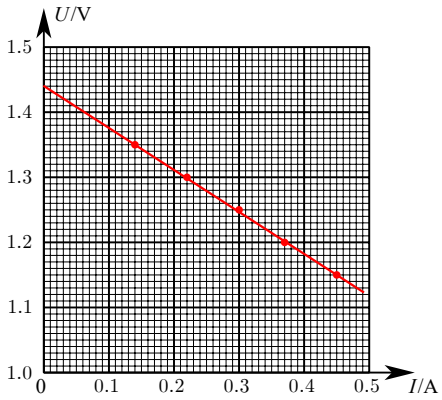
解析 (1) 必修三　图12.3－1 一般干电池的内阻很小(从第2小问也可知内阻很小)，故选择相对电源的电流表外接法。

(2) 根据实验数据得到如图 $U-I$ 图像，

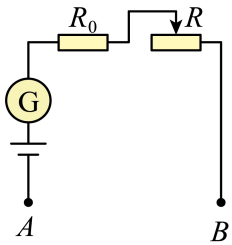
由 $U=E-Ir$ 结合图像可知

电动势 $E=1.44\,\text{V}$

内阻 $r=\dfrac{\Delta U}{\Delta I}=\dfrac{1.35-1.15}{0.45-0.14}\,\Omega\approx0.65\Omega$



17. [2025·广西卷]某小组将电流表改装成欧姆表，所用器材有电源（电动势 $E=1.5\,\mathrm{V}$，内阻不计），电流表（满偏电流 $I_g=100\,\mu\mathrm{A}$，内阻 $R_g=100\,\Omega$），电阻 $R_0=500\,\Omega$，滑动变阻器 $R(0\sim20\,\mathrm{k}\Omega)$，导线若干，电路如图。



(1) 欧姆调零时，应先将 A、B _____，再调节滑动变阻器，使电流表示数为_____ $\mu\mathrm{A}$，此时滑动变阻器的阻值为_____ $\mathrm{k}\Omega$。

(2) 调零后，在 A、B 间接入电阻 R_x，当电流表示数为 $60\,\mu\mathrm{A}$ 时，R_x 为_____ $\mathrm{k}\Omega$。

答案 (1) 短接、100、14.4　(2)10

解析 (1) [1] 欧姆表在使用前需要调零，这个过程需要将红黑表笔短接，即图中的 A、B 点短接；

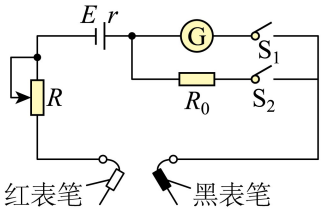
[2] 欧姆表短接调零需要将指针调到电流表 G 满偏的状态，即让 G 表示数为 $100\,\mu\mathrm{A}$；

[3] 因为电源内阻不计，调零过程中根据闭合电路欧姆定律可知 $I_g=\dfrac{E}{R_g+R_0+R_P}=100\times10^{-6}\,\mathrm{A}$

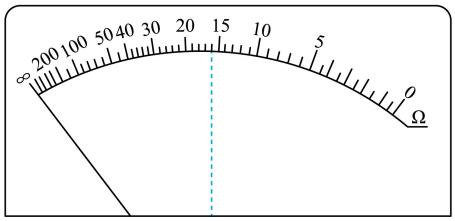
解得 $R_P=\dfrac{E}{I_g}-R_g-R_0=14.4\,\mathrm{k}\Omega$

(2) 当欧姆表的示数是 $60\mu A$ 时，有 $R_{内}+R_x=\dfrac{E}{I}=25k\Omega$，其中 $R_{内}=\dfrac{E}{I_g}=15k\Omega$，故 $R_x=10k\Omega$

18. [2025 · 安徽卷]某同学设计了一个具有两种挡位(“×1”挡和“×10”挡)的欧姆表,其内部电路如图甲所示。电源为电池组(电动势 E 的标称值为3.0 V,内阻 r 未知),电流表G(表头)的满偏电流 I_g = 20 mA,内阻 R_g = 45 Ω,定值电阻 R_0 = 5 Ω,滑动变阻器 R 的最大阻值为200 Ω。设计后表盘如图乙所示,中间刻度值为“15”。



图甲



图乙

(1) 测量前,要进行欧姆调零:将滑动变阻器的阻值调至最大,闭合开关 S_1、S_2,此时欧姆表处于“×1”挡,将红表笔与黑表笔_____,调节滑动变阻器的阻值,使指针指向_____(选填“0”或“∞”)刻度位置。

(2) 用该欧姆表对阻值为150 Ω的标准电阻进行试测,为减小测量误差,应选用欧姆表的_____(选填“×1”或“×10”)挡。进行欧姆调零后,将电阻接在两表笔间,指针指向图乙中的虚线位置,则该电阻的测量值为_____Ω。

(3) 该同学猜想造成上述误差的原因是电源电动势的实际值与标称值不一致。为了测出电源电动势,该同学先将电阻箱以最大阻值(9999 Ω)接在两表笔间,接着闭合 S_1、断开 S_2,将滑动变阻器的阻值调到零,再调节电阻箱的阻值。当电阻箱的阻值调为228 Ω时,指针指向“15”刻度位置(即电路中的电流为10 mA);当电阻箱的阻值调为88 Ω时,指针指向“0”刻度位置(即电路中的电流为20 mA)。由测量数据计算出电源电动势为_____V。(结果保留2位有效数字)

答案 (1) 短接、0　　(2) ×10、160或160.0　(3)2.8

解析 (1) [1] [2] 测量前,要进行欧姆调零:将滑动变阻器的阻值调至最大,闭合开关 S_1、S_2,此时欧姆表处于“×1”挡,将红表笔与黑表笔短接,调节滑动变阻器的阻值,使指针指向0刻度位置。

(2) [1] 为使测量时表针落在刻度盘的中间区域,应选用欧姆表的×10挡;

[2] 进行欧姆调零后,将电阻接在两表笔间,指针指向图乙中的虚线位置,则该电阻的测量值为16 × 10Ω = 160Ω

(3) 根据闭合电路欧姆定律 $E = I_1(r + R_g + R_{阻})$,$E = I_2(r + R_g + R'_{阻})$其中 I_1 = 10 mA,I_2 = 20 mA,得 r = 7 Ω,E = 2.8 V

【补充】欧姆表档位调节原理是内部电流表改装,电流表小量程对应欧姆表大档位

若要选用“×1”挡(此时中值电阻为15Ω),应同时闭合 S_1、S_2;

若要选用“×10”挡(此时中值电阻为150Ω),应闭合 S_1、断开 S_2;

19. [2025 · 河南卷]实验小组研究某热敏电阻的特性，并依此利用电磁铁、电阻箱等器材组装保温箱。该热敏电阻阻值随温度的变化曲线如图 1 所示，保温箱原理图如图 2 所示。回答下列问题：

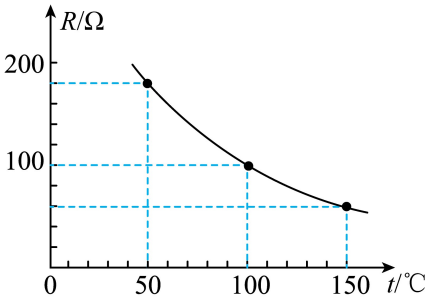


图1

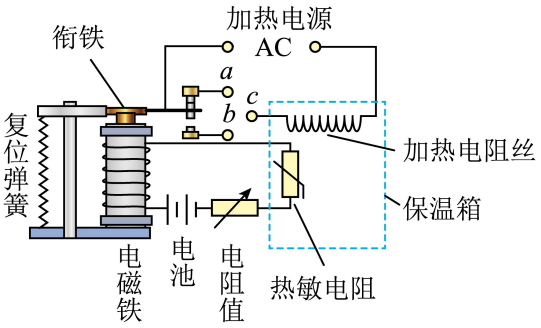


图2

(1) 图 1 中热敏电阻的阻值随温度的变化关系是_____(填“线性”或“非线性”) 的。

(2) 存在一个电流值 I_0，若电磁铁线圈的电流小于 I_0，衔铁与上固定触头 a 接触；若电流大于 I_0，衔铁与下固定触头 b 接触。保温箱温度达到设定值后，电磁铁线圈的电流在 I_0 附近上下波动，加热电路持续地断开、闭合，使保温箱温度维持在设定值。则图 2 中加热电阻丝的 c 端应该与触头_____(填“a”或“b”) 相连接。

(3) 当保温箱的温度设定在 50°C 时，电阻箱旋钮的位置如图 3 所示，则电阻箱接入电路的阻值为_____Ω。

(4) 若要把保温箱的温度设定在 100°C，则电阻箱接入电路的阻值应为_____Ω。

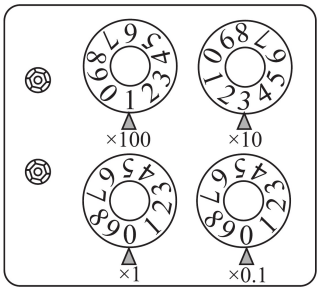


图3

答案 (1) 非线性 (2)a (3)130.0 (4)210.0

解析 (1) 根据图 1 可知热敏电阻的阻值随温度的变化关系是非线性的。

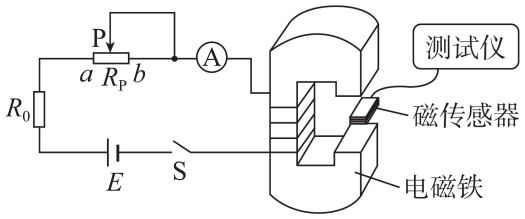
(2) 根据图 1 可知温度升高，热敏电阻的阻值变小，根据欧姆定律可知流过电磁铁线圈的电流变大，衔铁与上固定触头 b 接触，此时加热电阻丝电路部分断开连接，停止加热，可知图 2 中加热电阻丝的 c 端应该与触头 a 相连接。

(3) 由图 3 可知电阻箱接入电路的阻值为 $100\times1\Omega+10\times3\Omega=130.0\Omega$

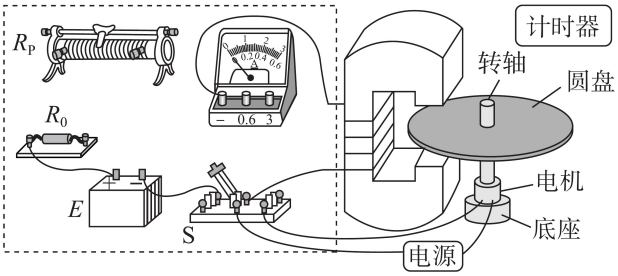
(4) 根据 (3) 可知，当温度为 50°C 时，热敏电阻的阻值为 180Ω，电阻箱接入的电阻为 130Ω，当温度为 100°C 时，热敏电阻的阻值为 100Ω，要使得电流值 I_0 不变，则在电流为 I_0 时，控制电路的总电阻不变，则此时电阻箱的电阻为 $180\Omega+130.0\Omega-100\Omega=210.0\Omega$

20. [2025 · 广东卷]科技小组制作的涡流制动演示装置由电磁铁和圆盘控制部分组成。

图(a)是电磁铁磁感应强度的测量电路。所用器材有：电源 E(电动势 15 V，内阻不计)；电流表Ⓐ(量程有 0.6 A 和 3 A，内阻不计)；滑动变阻器 R_P(最大阻值 100 Ω)；定值电阻 R_0(阻值 10 Ω)；开关 S；磁传感器和测试仪；电磁铁(线圈电阻 16 Ω)；导线若干。图(b)是实物图，图中电机和底座相固定，圆形铝盘和电机转轴相固定。



图(a)



图(b)

请完成下列实验操作和计算。

(1) 量程选择和电路连接。

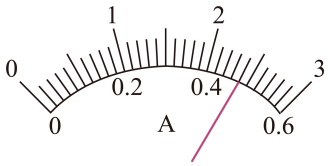
①由器材参数可得电路中的最大电流为_____A(结果保留 2 位有效数字)，为减小测量误差，电流表的量程选择 0.6 A 挡。

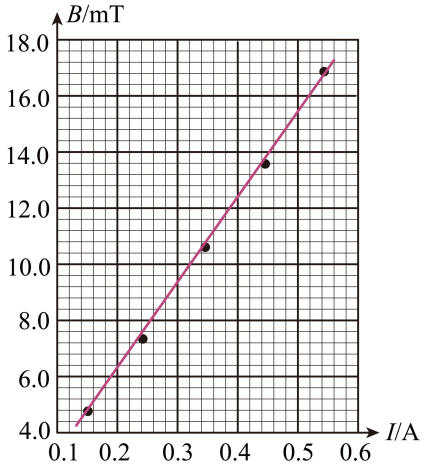
②图(b)中已正确连接了部分电路，请在虚线框中完成 R_P、R_0 和Ⓐ间的实物图连线。

(2) 磁感应强度 B 和电流 I 关系测量。

①将图(a)中的磁传感器置于电磁铁中心，滑动变阻器 R_P 的滑片 P 置于 b 端。置于 b 端目的是使电路中的电流_____，保护电路安全。

②将滑片 P 缓慢滑到某一位置，闭合 S，此时Ⓐ的示数如图所示，读数为_____A，分别记录测试仪示数 B 和 I，断开 S。





③保持磁传感器位置不变，重复步骤②。

④如图是根据部分实验数据描绘的 $B-I$ 图线，其斜率为_____mT/A(结果保留 2 位有效数字)。

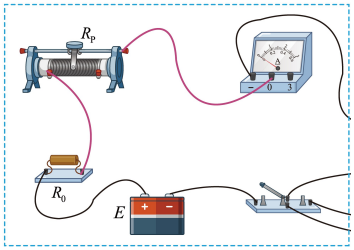
(3) 制动时间 t 测量。

利用图(b)所示装置测量了 t，结果表明 B 越大，t 越小。

答案 (1)0.58、见解析 (2) 最小、0.48、30

解析 (1)①当滑动变阻器的阻值为零时，电路中有最大电流 $I=\frac{E}{R_0+R_{线}}=\frac{15}{26}\approx 0.58\ \mathrm{A}$

②电流表应选择 0~0.6 A 量程，根据电路图实物图连线如下



(2)①滑片 P 置于 b 端时滑动变阻器的电阻最大，电路中的电流最小，保护电路安全。

②最小分度为 0.02 A，故电流表读数为 0.48 A。

③根据题图中数据可知 $B-I$ 图线斜率为 $k=\frac{16.0-5.2}{0.52-0.16}=30\ \mathrm{mT/A}$

21. [2025 · 湖南卷]车辆运输中若存在超载现象，将带来安全隐患。由普通水泥和导电材料混合制成的导电水泥，可以用于监测道路超载问题。某小组对此进行探究。

(1) 选择一块均匀的长方体导电水泥块样品，用多用电表粗测其电阻。将多用电表选择开关旋转到“×1 k”挡，正确操作后，指针位置如图 1 所示，则读数为_____Ω。

(2) 进一步提高实验精度，使用伏安法测量水泥块电阻，电源 E 电动势 6 V，内阻可忽略，电压表量程 0~6 V，内阻约 10 kΩ，电流表程 0~600 μA，内阻约 100 Ω。实验中要求滑动变阻器采用分压接法，在图 2 中完成余下导线的连接。

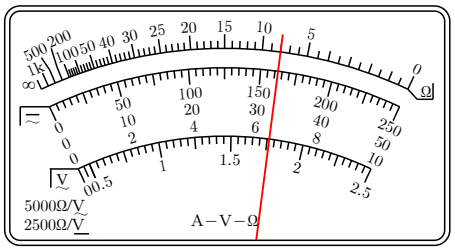


图1

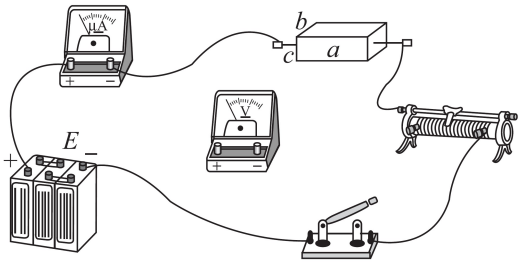


图2

(3) 如图 2，测量水泥块的长为 a，宽为 b，高为 c。用伏安法测得水泥块电阻为 R，则电阻率 $\rho=$_____(用 R、a、b、c 表示)。

(4) 测得不同压力 F 下的电阻 R，算出对应的电阻率 ρ，作出 $\rho-F$ 图像如图 3 所示。

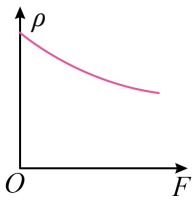


图3

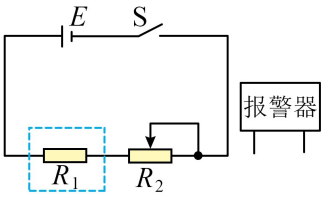


图4

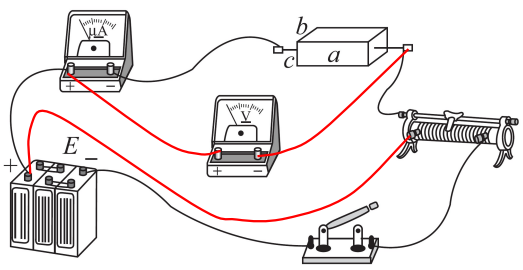
(5) 基于以上结论，设计压力报警系统，电路如图 4 所示。报警器在两端电压大于或等于 3 V 时启动，R_1 为水泥块，R_2 为滑动变阻器，当 R_2 的滑片处于某位置，R_1 上压力大于或等于 F_0 时，报警器启动。报警器应并联在_____两端 (填“R_1”或“R_2”)。

(6) 若电源 E 使用时间过长，电动势变小，R_1 上压力大于或等于 F_1 时，报警器启动，则 F_1 _____ F_0 (填“大于”“小于”或“等于”)。

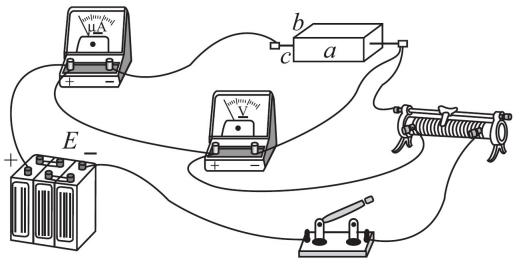
答案 (1)8000　(2) 见解析　(3)$\frac{bcR}{a}$　(5)R_2　(6) 大于

解析 (1) 多用电表选择开关旋转到“×1k”挡，故根据图 1 可知读数为 8000Ω；

(2) 由于 $R_x>\sqrt{R_AR_V}$，则由“大内小外”可知电流表应采用内接法；又实验中要求滑动变阻器采用分压接法，故连接实物图如图



或



(3) 根据电阻定律 $R=\frac{\rho L}{S}$ 得 $\rho=\frac{SR}{L}=\frac{bcR}{a}$

(5) 根据图 3 可知压力越大电阻率越小，即电阻越小；回路中电流增加，R_2 电压增加，R_1 电压减小，而报警器在两端电压大于或等于 3 V 时启动，故应将报警器并联在 R_2 两端；

(6) 电源电动势 E 减小，要使报警器启动，即 R_2 两端电压要仍为 3 V，根据串联分压有 $U_2=\frac{R_2}{R_1+R_2}E=\frac{1}{\frac{R_1}{R_2}+1}E$，可知 E 减小需要 R_1 更小，又因为 F 越大 R_1 越小，可知 F_1 需要大于 F_0。

22. [2025 · 山东卷]某实验小组为探究远距离高压输电的节能优点，设计了如下实验。所用实验器材为：

学生电源；

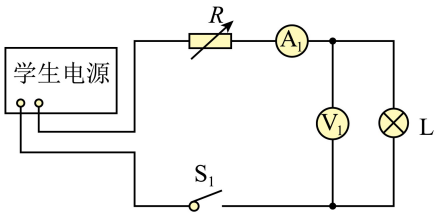
可调变压器 T_1、T_2；

电阻箱 R；

灯泡 L（额定电压为 6 V）；

交流电流表 A_1、A_2、A_3，交流电压表 V_1、V_2，

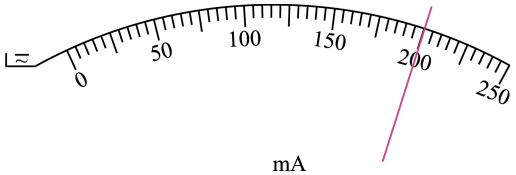
开关 S_1、S_2，导线若干。



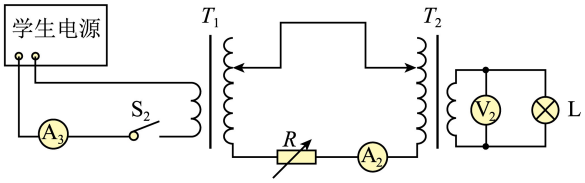
图甲

部分实验步骤如下：

(1) 模拟低压输电。按图甲连接电路，选择学生电源交流挡，使输出电压为 12 V，闭合 S_1，调节电阻箱阻值，使 V_1 示数为 6.00 V，此时 A_1（量程为 250 mA）示数如图乙所示，为_____ mA，学生电源的输出功率为_____ W。



图乙



图丙

(2) 模拟高压输电。保持学生电源输出电压和电阻箱阻值不变，按图丙连接电路后闭合 S_2。调节 T_1、T_2，使 V_2 示数为 6.00 V，此时 A_2 示数为 20 mA，则低压输电时电阻箱消耗的功率为高压输电时的_____倍。

(3)A_3 示数为 125 mA，高压输电时学生电源的输出功率比低压输电时减少了_____ W。

答案 (1)200、2.4　　(2)100　　(3)0.9

解析 (1) [1] 根据题图可知电流表的分度值为 5mA，故读数为 200mA；

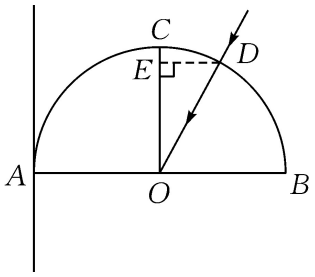
[2] 学生电源的输出功率 $P_1 = U_{有} I_{有} = 12 \times 200 \times 10^{-3}\,\mathrm{W} = 2.4\,\mathrm{W}$

(2) 电阻箱阻值不变，由 $P = I^2 R$ 可知 $\dfrac{P_{低}}{P_{高}} = \left(\dfrac{I_1}{I_2}\right)^2 = \left(\dfrac{200}{20}\right)^2 = 100$

(3) 电源输出电压不变，则 $\Delta P = P_1 - P_2 = 2.4 - 12 \times 0.125 = 0.9\,\mathrm{W}$

九、其他实验

1. [2025 · 海南卷]测量某半圆形玻璃砖的折射率，操作步骤如下：



①在白纸上画一条直线，将半圆形玻璃砖底面放在白纸上，玻璃砖底面直径与直线重合，描出直径两端点 A 和 B，取走玻璃砖，用刻度尺找出圆心 O 点，过 O 点作 AB 垂线 CO，放回玻璃砖，将光屏垂直于 AB 贴近玻璃砖 A 点放置。

②沿玻璃砖由 C 点向 B 点缓慢移动激光笔，使得入射光线平行于纸面且始终沿着半径方向射向圆心 O 点，从玻璃砖射出的激光在 AB 面下方的光屏上恰好消失，记下激光入射点 D。取走玻璃砖，过 D 点作 CO 的垂线 DE。

(1) 步骤②中，当激光从 D 点入射到 O 点，在 AB 面下方光屏上恰好消失时是光的_____。

A. 色散现象　　B. 衍射现象　　C. 全反射现象

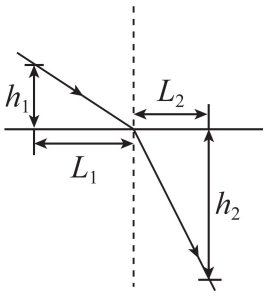
(2) 用刻度尺测得 $OB=4.00\,\text{cm}$，$DE=2.50\,\text{cm}$，则玻璃砖的折射率 $n=$_____。

答案 (1)C　(2)1.6

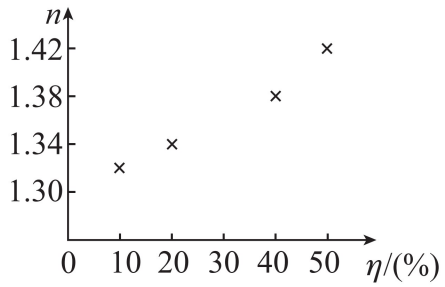
解析 (1) 当激光从 D 点入射到 O 点在 AB 面下方光屏上恰好消失时，此时光线在 AB 面发生全反射，故是光的全反射现象。

(2) 此时入射角等于临界角，故 $\sin C=\dfrac{DE}{OD}=\dfrac{5}{8}$，根据 $\sin C=\dfrac{1}{n}$，得玻璃砖的折射率 $n=1.6$

2. [2025·福建卷] (1) 为测糖水的折射率与浓度的关系，设计如下实验：某次射入激光，测得数据如图甲所示，则糖水的折射率为_____。



甲



乙

(2) 改变糖水浓度，记录数据如表：

n	1.32	1.34	1.35	1.38	1.42
$\eta(\%)$	10%	20%	30%	40%	50%

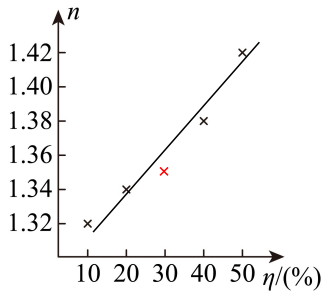
将 30% 的数据在图乙中描点后并连线，糖水浓度每增加 10%，折射率的增加值为_____(保留两位有效数字)。

答案 (1)$\dfrac{L_1\sqrt{L_2^2+h_2^2}}{L_2\sqrt{L_1^2+h_1^2}}$　(2)0.023(0.020 − 0.025 均可)

解析 (1) 设入射角为 i，折射角为 r，根据几何关系有 $\sin i=\dfrac{L_1}{\sqrt{L_1^2+h_1^2}}$，$\sin r=\dfrac{L_2}{\sqrt{L_2^2+h_2^2}}$

根据折射定律 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$，得糖水的折射率为 $n=\dfrac{L_1\sqrt{L_2^2+h_2^2}}{L_2\sqrt{L_1^2+h_1^2}}$

(2) 数据点连线时，应使尽可能多的点落在线上，其余点均匀分布在线两侧。



故可得糖水浓度每增加 10%，折射率的增加值为 $\Delta n=\dfrac{1.41-1.34}{50\%-20\%}\times 10\%=0.023$

3. **[2025·北京卷]** (1) 下列实验操作，正确的是_____(填选项前的字母)。

A. 用单摆测重力加速度时，在最高点释放摆球并同时开始计时

B. 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系时，使用多用电表的交流电压挡测电压

C. 用多用电表测电阻前应先把两表笔短接，调整欧姆调零旋钮使指针指向欧姆零点

(2) 用双缝干涉实验测量光的波长的实验装置如图 1 所示。

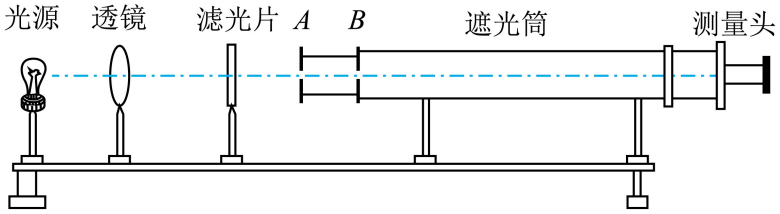


图1

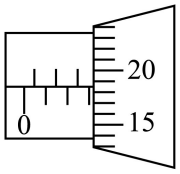


图2

①双缝应该放置在图 1 中_____处(填“A”或“B”)。

②分划板中心刻线与某亮纹中心对齐时，手轮上的示数如图 2 所示，读数为_____mm。

(3) 某电流表出现故障，其内部电路如图 3 所示。用多用电表的欧姆挡检测故障，两表笔接 A、B 时表头 R_g 指针不偏转，接 A、C 和 B、C 时表头 R_g 指针都偏转。出现故障的原因是_____(填选项前的字母)。

A. 表头 R_g 断路　　B. 电阻 R_1 断路

C. 电阻 R_2 断路

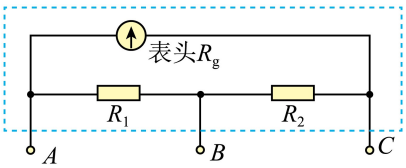


图3

答案 (1)B　(2)B、3.185　(3)C

解析 (1)A．最高点小球速度为 0，有加速过程造成摆动不明显，计时不准确，摆球在最低点速度最快，因此需要在最低点开始计时，A 错误；

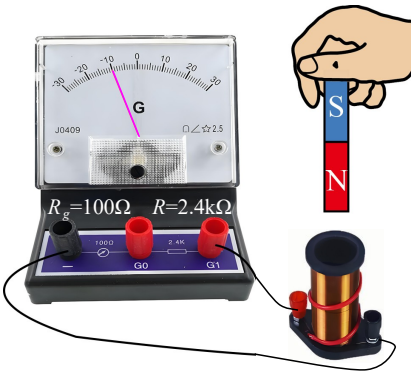
B．变压器原、副线圈上为交变电压，使用多用电表的交流电压挡测量，B 正确；

C．用多用电表测电阻之前需要先进行机械调零，之后选择合适的倍率，然后将红黑表笔短接，进行欧姆调零，C 错误。

(2) 双缝应置于单缝后边，因此 A 为单缝，B 为双缝；读数为 $3\text{mm}+18.5\times0.01\text{mm}=3.185\text{mm}$

(3) 接 A、C 和 B、C 时表头 R_g 指针都偏转，所以表头和 R_1 没有断路，又由于接 A、B 时表头 R_g 指针不偏转，故是 R_2 断路，C 正确。

4. [202501 浙江卷]在“探究影响感应电流方向的因素”实验中，当电流从“－”接线柱流入灵敏电流表，指针左偏；从“G_0”或“G_1”接线柱流入，指针右偏。如图所示是某次实验中指针偏转角度最大的瞬间，则



(1) 此时磁铁的运动状态是_____(选填“向上拔出”、“静止”或“向下插入”)。

(2) 只做以下改变，一定会增大图中电流表指针偏转角度的是_____(多选)

A. 磁铁静止，向上移动线圈

B. 增大(1)中磁铁运动速度

C. 将导线从接线柱 G_1 移接至接线柱 G_0

D. 将一个未与电路相接的闭合线圈套在图中线圈外

答案 (1)向下插入　　(2) BC

解析 (1)由图可知，灵敏电流表指针左偏，可知感应电流从“－”极流入，根据楞次定律可知，螺线管中产生的感应电流从下到上，说明磁铁的N极向下插入；

(2) A．磁铁静止，向上移动线圈，则产生的感应电流不一定增加，指针偏角不一定会增加；

B．增大(1)中磁铁的速度，产生的感应电动势会增加，指针偏角会增大；

C．将导线从接线柱 G_1 移接到 G_0，回路总电阻减小，故感应电流更大，电流计指针偏角变大；

D．磁铁插入时，外加的独立线圈产生的感应磁场，与原磁场叠加后，会减小实验线圈中磁通量的变化率。

故选BC。

5. [2025 · 陕西卷]常用的电压表和电流表都是由小量程的电流表(表头)改装而成的,与电源及相关元器件组装后可构成多功能、多量程的多用电表。

(1)某同学使用多用电表正确测量了一个15.0 Ω的电阻后,需要继续测量一个阻值大约是15 kΩ的电阻。在用红、黑表笔接触这个电阻两端之前,请选出以下必要的操作步骤并排序:

①把选择开关旋转到“×100”位置。

②把选择开关旋转到“×1 k”位置。

③将红表笔和黑表笔接触。

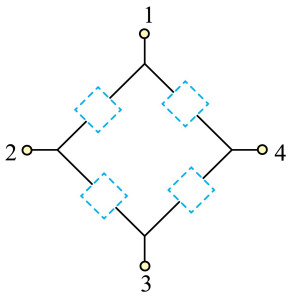
④调节欧姆调零旋钮使指针指向欧姆零点。

下列选项中正确的是_____。(单选,填正确答案标号)

A. ①③④　　B. ②③④　　C. ②④③　　D. ①④③

(2)若将一个内阻为20 Ω、满偏电流为1 mA的表头改装为量程0~2 V的电压表,需要_____(填“串联”或“并联”)一个_____Ω的电阻。

(3)如图,某同学为探究由一个直流电源E、一个电容器C、一个电阻R_A及一个电阻$R_B(R_A>R_B)$组成的串联电路中各元器件的位置,利用改装好的电压表分别测量各接线柱之间的电压,测得数据如表:



接线柱	1和2	2和3	3和4	1和4	2和4	1和3
U/V	0	1.53	0	0.56	1.05	0.66

根据以上数据可判断,直流电源E处于_____之间,电容器C处于_____之间,电阻R_A处于_____之间。(填“1和2”“2和3”“3和4”或“1和4”)

答案　(1)B　(2)串联、1980　(3)2和3、1和4、1和2

解析　(1)[必修三第11章第5节习题]要测量一个阻值约为15$k\Omega$的电阻,需要选择电阻“×1k”挡,即把选择开关旋转到“×1k”位置,后将红表笔和黑表笔短接,然后调节欧姆调零旋钮使指针指向欧姆零。故选B。

(2)将表头改装为电压表需要串联一个电阻,串联电阻的阻值为$R=\frac{U}{I_g}-R_g=\frac{2}{1\times10^{-3}}\Omega-20\Omega=1980\Omega$

(3)用电压表进行测量,电源两端电压最大,可知直流电源E处于2和3之间;接1和2、3和4时电压表示数为0,接1和4时电压表有示数,则1和2、3和4之间为电阻,电容器在1和4之间;

接1和3时电压表示数比接2和4时小,即接1和3时电压表内阻分得的电压较小,则1和2之间的电阻阻值比3和4之间的大,即1和2之间电阻为R_A,3和4之间电阻为R_B。

6. [2025 · 河北卷]自动洗衣机水位检测的精度会影响洗净比和能效等级。某款洗衣机水位检测结构如图 1 所示。洗衣桶内水位升高时，集气室内气体压强增大，铁芯进入电感线圈的长度增加，从而改变线圈的自感系数。洗衣机智能电路通过测定 LC 振荡电路的频率来确定水位高度。

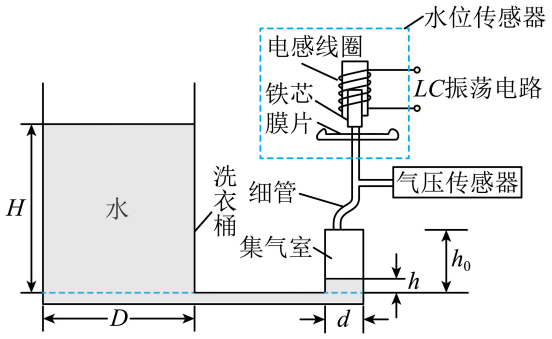


图1

某兴趣小组在恒温环境中对此装置进行实验研究。

(1) 研究集气室内气体压强与体积的关系

①洗衣桶内水位 H 一定时，其内径 D 的大小_____(填“会”或“不会”) 影响集气室内气体压强的大小。

②测量集气室高度 h_0、集气室内径 d。然后缓慢增加桶内水量，记录桶内水位高度 H 和集气室进水高度 h，同时使用气压传感器测量集气室内气体压强 p。H 和 h 数据如下表所示。

H/cm	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00
h/cm	0.33	0.40	0.42	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87

实验中使用同一把刻度尺对 H 和 h 进行测量，根据数据判断，测量_____(填“H”或“h”) 产生的相对误差较小。

③利用数据处理软件拟合集气室内气体体积 V 与 $\frac{1}{p}$ 的关系曲线，如图 2 所示。图中拟合直线的延长线明显不过原点，经检查实验仪器完好，实验装置密封良好，操作过程规范，数据记录准确，则该延长线不过原点的主要原因是_____。

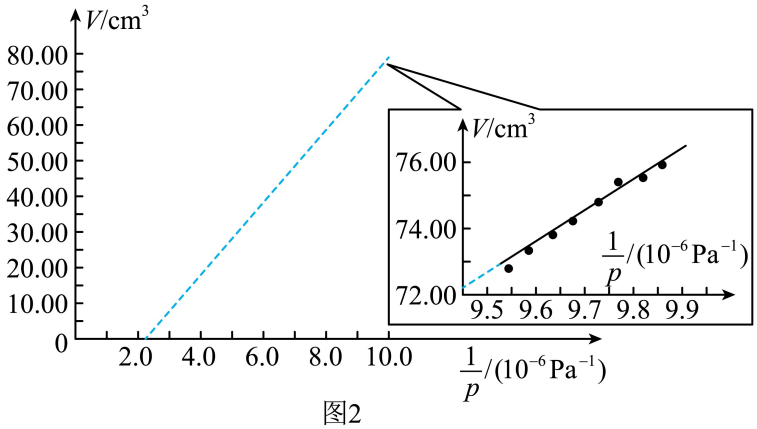


图2

(2) 研究洗衣桶水位高度与振荡电路频率的关系图 3 是桶内水位在两个不同高度时示波器显示的 $u-t$ 图像，u 的频率即为 LC 振荡电路的频率。LC 振荡电路的频率 f 与线圈自感系数 L、电容 C 的关系是 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$，则图中_____(填“甲”或“乙”) 对应的水位较高。

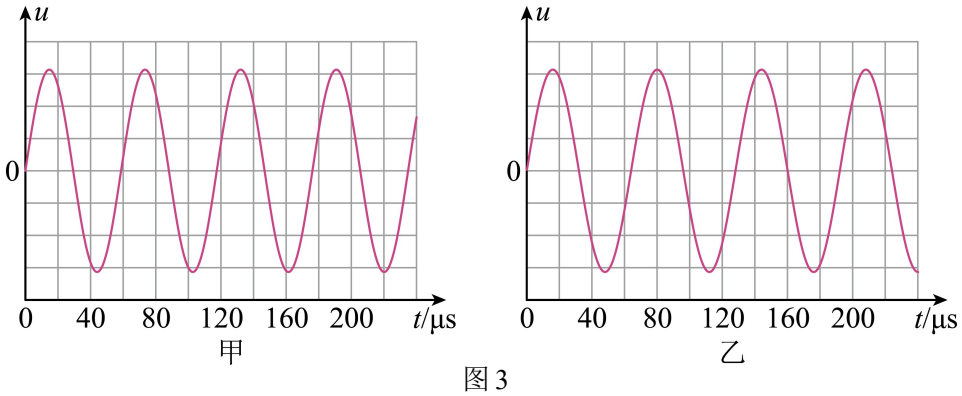


图 3

答案 (1)①不会 ②H ③忽略了与集气室相连的细管中的气体体积 (2)乙

解析 (1)①集气室内气体压强等于桶内水位高度 H 和集气室进水高度的高度差产生的压强和大气压强之和，根据 $p=\rho gh$ 可知其内径 D 的大小不会影响影响集气室内气体压强的大小；

②由于实验中使用同一把刻度尺进行测量，分度值相同，根据数据分析，桶内水位高度 H 明显大于集气室内进水高度 h，所以测量桶内水位高度 H 产生的相对误差较小；

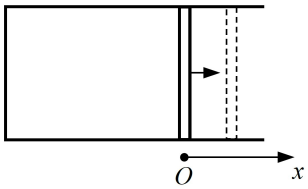
③该延长线不过原点的主要原因是与集气室相连的细管中的气体被忽略不计，导致集气室气体体积 V 相比于实际气体体积偏小。

(2)桶内水位高度 H 越大，集气室内气体压强越大，铁芯进入电感线圈的长度越大，电感线圈的自感系数越大，根据 $T=2\pi\sqrt{LC}$ 可知 LC 震荡电路的周期越大，所以图 3 中乙对应的水位较高。

十、大题

1. [2025 · 上海卷]气囊减震技术中的气囊可简化为图示水平固定的气缸，质量为 M、横截面积为 S 的光滑活塞将一定质量的理想气体封闭在气缸内。开始时气缸内气体压强为 p_0、体积为 V_0，活塞静止于平衡位置 O。外界大气压强恒为 p_0。以 O 为原点、水平向右为正方向建立 x 轴。

如图，一汽缸水平固定放置，通过一质量为 M、横截面积为 S 的活塞封闭一定质量的理想气体。初始时，封闭气体的体积为 V_0，压强与外界大气压强相等，为 p_0。不计一切摩擦且活塞不漏气。



(1) 若缸内气体经历等温过程，求活塞在平衡位置 O 右侧、位移为 x 时内外气体对活塞的压力的合力大小 F。（计算）

(2) 若缸内气体经历等温过程，活塞由平衡位置 O 沿 x 轴正方向移动微小位移并由静止释放，证明活塞近似做简谐振动（论证）。与振子质量为 m、弹簧劲度系数为 k 的弹簧振子频率公式 $f_{弹}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ 类比，可知该活塞做简谐振动的频率 $f_1=$ _____。

【提示：当 $|y|<1$ 时，$\frac{y}{y+1}\approx y$】

(3) 若气缸和活塞导热性均不佳，活塞移动微小位移并由静止释放，在短时间内活塞的运动仍可视为简谐运动，其频率为 f_2。

①与等温情况下活塞近似做简谐运动的频率 f_1 相比，_____。

A. $f_1>f_2$　　B. $f_1=f_2$　　C. $f_1<f_2$

②对上述①中的选择作出解释。（简答）

答案 (1)$F=\frac{p_0xS^2}{V_0+xS}$；　(2)$f=\frac{S}{2\pi}\sqrt{\frac{p_0}{MV_0}}$；　(3)$C$

解析 简谐运动

(1) 根据玻意耳定律 $p_0V_0=p(V_0+xS)$

对活塞，由力的平衡条件可知 $F=(p_0-p)S$　　得 $F=\frac{p_0xS^2}{V_0+xS}$

(2) 以 x 方向为正方向，结合 (1) 问可知，拉开微小位移 x 松手后，活塞所受的合力

$F_{合}=-(p_0-p)S=-\frac{p_0S^2}{V_0+xS}x$

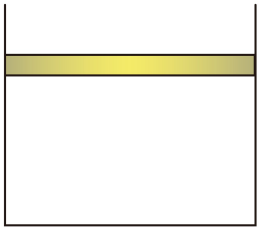
当 x 很小时，有 $F_{合}\approx-\frac{p_0S^2}{V_0}x=-kx$

即活塞的振动可视为简谐振动。其中 $k=\frac{p_0S^2}{V_0}$，振动频率 $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{M}}=\frac{S}{2\pi}\sqrt{\frac{p_0}{MV_0}}$

2. [2025 · 海南卷]如图，竖直放置的汽缸内有一横截面积 $S=0.01\ \mathrm{m}^2$ 的活塞，活塞质量忽略不计，活塞与汽缸无摩擦且密封良好。若活塞保持静止，汽缸内密封一定质量的理想气体，气体温度 $T_0=300\ \mathrm{K}$，气体体积 $V_0=5\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3$。设大气压强 $p_0=1\times10^5\ \mathrm{Pa}$，重力加速度 $g=10\ \mathrm{m/s}^2$。

(1) 若加热气体，使活塞缓慢上升，当气体体积变为 $V_1=7.5\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3$，求气体温度 T_1；

(2) 若往活塞上轻放质量为 $m=25\ \mathrm{kg}$ 的重物，且活塞下降过程中气体温度 T_0 不变，求稳定后的气体体积 V_2。



答案 (1)450 K　(2)$4\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3$

解析 (1) 等压过程，有 $\frac{V_0}{T_0}=\frac{V_1}{T_1}$　　得 $T_1=450\ \mathrm{K}$

(2) 设稳定后气体的压强为 p_2，根据平衡条件有 $p_2S=p_0S+mg$　　$p_2=1.25p_0$

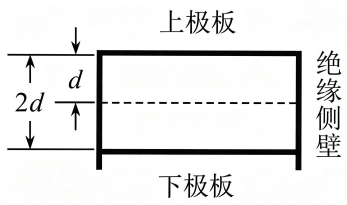
等温过程，有 $p_0V_0=p_2V_2$　　得 $V_2=4\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3$

3. [2025 · 重庆卷]如图为小明设计的电容式压力传感器原理示意图，平行板电容器与绝缘侧壁构成密闭气腔。电容器上下极板水平，上极板固定，下极板质量为 m、面积为 S，可无摩擦上下滑动。初始时腔内气体 (视为理想气体) 压强为 p，极板间距为 d。当上下极板均不带电时，外界气体压强改变后，极板间距变为 $2d$，腔内气体温度与初始时相同，重力加速度为 g，不计相对介电常数的变化，求此时

(1) 腔内气体的压强；

(2) 外界气体的压强；

(3) 电容器的电容变为初始时的多少倍。



答案 (1)$\frac{p}{2}$　(2)$\frac{p}{2}+\frac{mg}{S}$　(3)$\frac{1}{2}$

解析 (1) 腔内气体温度与初始时相同，故有 $p'S(2d)=pSd$　　得 $p'=\frac{1}{2}p$

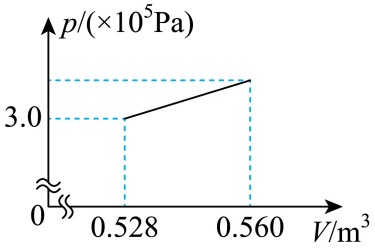
(2) 对下极板受力分析，有 $p'S+mg=p_{外}S$　　得 $p_{外}=\frac{1}{2}p+\frac{mg}{S}$

(3) 根据平行板电容器的决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，变化后间距为 $2d$，其他条件均不变，可知电容器的电容变为初始时的 $\frac{1}{2}$。

4. [2025 · 陕西卷]某种卡车轮胎的标准胎压范围为 $2.8\times10^5\,\mathrm{Pa}$~$3.5\times10^5\,\mathrm{Pa}$。卡车行驶过程中，一般胎内气体的温度会升高，体积及压强也会增大。若某一行驶过程中胎内气体压强 p 随体积 V 线性变化如图所示，温度 T_1 为 300 K 时，体积 V_1 和压强 p_1 分别为 $0.528\,\mathrm{m}^3$、$3.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$；当胎内气体温度升高到 T_2 为 350 K 时，体积增大到 V_2 为 $0.560\,\mathrm{m}^3$，气体可视为理想气体。

(1) 求此时胎内气体的压强 p_2；

(2) 若该过程中胎内气体吸收的热量 Q 为 $7.608\times10^4\,\mathrm{J}$，求胎内气体的内能增加量 ΔU。



答案 (1)$3.3\times10^5\mathrm{Pa}$　(2)$6.6\times10^4 J$

解析 (1) 根据理想气体状态方程 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$　　得 $p_2=\frac{p_1T_2V_1}{T_1V_2}=3.3\times10^5\,\mathrm{Pa}$

(2)$p-V$ 图线与横轴围成的面积代表做功的大小，该过程气体体积增大，则外界对气体做负功，即

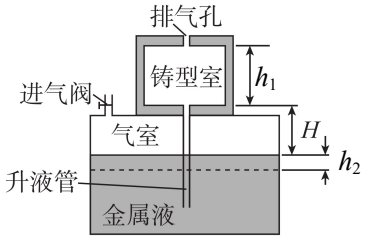
$W=-\frac{p_1+p_2}{2}(V_2-V_1)=-1.008\times10^4\,\mathrm{J}$

由热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$　　得 $\Delta U=6.6\times10^4\,\mathrm{J}$

5. [2025 · 广东卷]如图是某铸造原理示意图，往气室注入空气增加压强，使金属液沿升液管进入已预热的铸型室，待铸型室内金属液冷却凝固后获得铸件。柱状铸型室通过排气孔与大气相通，大气压强 $p_0=1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$，铸型室底面积 $S_1=0.2\,\mathrm{m}^2$，高度 $h_1=0.2\,\mathrm{m}$，底面与注气前气室内金属液面高度差 $H=0.15\,\mathrm{m}$，柱状气室底面积 $S_2=0.8\,\mathrm{m}^2$，注气前气室内气体压强为 p_0，金属液的密度 $\rho=5.0\times10^3\,\mathrm{kg/m}^3$，重力加速度取 $g=10\,\mathrm{m/s}^2$，空气可视为理想气体，不计升液管的体积。

(1) 求金属液刚好充满铸型室时，气室内金属液面下降的高度 h_2 和气室内气体压强 p_1。

(2) 若在注气前关闭排气孔使铸型室密封，且注气过程中铸型室内温度不变，求注气后铸型室内的金属液高度为 $h_3=0.04\,\mathrm{m}$ 时，气室内气体压强 p_2。



答案 (1)$h_2=0.05\,\mathrm{m}$，$p_1=1.2\times10^5\,\mathrm{Pa}$　(2)$p_2=1.35\times10^5\,\mathrm{Pa}$

解析 (1) 根据体积关系 $S_1h_1=S_2h_2$　　得 $h_2=0.05\,\mathrm{m}$

此时气室内气体的压强 $p_1=p_0+\rho g(h_1+H+h_2)$　　得 $p_1=1.2\times10^5\,\mathrm{Pa}$

(2) 设上方铸型室气体注气后压强为 p'，

由等温过程得 $p_0S_1h_1=p'S_1(h_1-h_3)$　　得 $p'=1.25\times10^5\,\mathrm{Pa}$

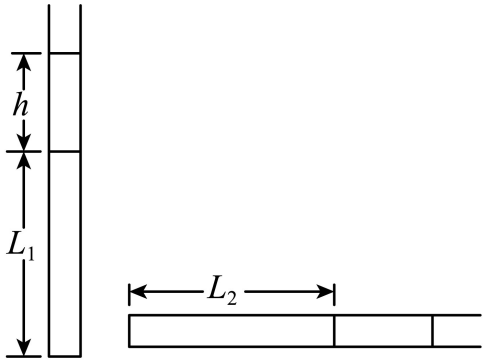
根据体积关系 $S_1h_3=S_2\Delta h$　　得气室内金属液面下降高度 $\Delta h=0.01\,\mathrm{m}$

此时气室内气体的压强 $p_2=p'+\rho g(h_3+H+\Delta h)$　　得 $p_2=1.35\times10^5\,\mathrm{Pa}$

6. [2025 · 湖南卷]用热力学方法可测量重力加速度。如图所示，粗细均匀的细管开口向上竖直放置，管内用液柱封闭了一段长度为 L_1 的空气柱。液柱长为 h，密度为 ρ。缓慢旋转细管至水平，封闭空气柱长度为 L_2，大气压强为 p_0。

(1) 若整个过程中温度不变，求重力加速度 g 的大小；

(2) 考虑到实验测量中存在各类误差，需要在不同实验参数下进行多次测量，如不同的液柱长度、空气柱长度、温度等。某次实验测量数据如下，液柱长 $h=0.2000\,\mathrm{m}$，细管开口向上竖直放置时空气柱温度 $T_1=305.7\,\mathrm{K}$。水平放置时调控空气柱温度，当空气柱温度 $T_2=300.0\,\mathrm{K}$ 时，空气柱长度与竖直放置时相同。已知 $\rho=1.0\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}$，$p_0=1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$。根据该组实验数据，求重力加速度 g 的值。



答案　(1)$g=\dfrac{p_0(L_2-L_1)}{L_1\rho h}$　　(2)$g=9.5\,\mathrm{m/s^2}$

解析　(1) 竖直放置时内部气体压强为 $p_1=p_0+\rho gh$，水平放置时内部气体压强 $p_2=p_0$

由等温过程可得 $p_1L_1S=p_2L_2S$　　得 $g=\dfrac{p_0(L_2-L_1)}{L_1\rho h}$

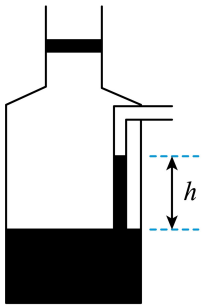
(2) 空气柱的体积不变，由查理定律得 $\dfrac{p_1}{T_1}=\dfrac{p_2}{T_2}$　得 $g=\dfrac{p_0(T_1-T_2)}{\rho hT_2}=9.5\,\mathrm{m/s^2}$

7. **[202501 浙江卷]** 如图所示，导热良好带有吸管的瓶子，通过瓶塞密封有温度 $T_1=300\,\mathrm{K}$、体积 $V_1=1\times10^3\ \mathrm{cm}^3$ 处于状态 1 的理想气体，管内水面与瓶内水面的高度差 $h=10\,\mathrm{cm}$。将瓶子放进 $T_2=303\,\mathrm{K}$ 的恒温水中，瓶塞无摩擦缓慢上升恰好停在瓶口，h 保持不变，气体达到状态 2，此时锁定瓶塞，再缓慢地从吸管中吸走部分水后，管内和瓶内水面等高，气体达到状态 3。已知从状态 2 到状态 3，气体对外做功 1.02 J，从状态 1 到状态 3，气体吸收热量 4.56 J；大气压 $p_0=1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$，水的密度 $\rho=1.0\times10^3\,\mathrm{kg/m}^3$；忽略表面张力和水蒸气对压强的影响。

(1) 从状态 2 到状态 3，气体分子平均速率_____(选填“增大”、“减小”或“不变”)，单位时间内撞击单位面积瓶壁的分子数_____(选填“增多”、“减少”或“不变”)；

(2) 求气体在状态 3 的体积 V_3；

(3) 求从状态 1 到状态 3 气体内能的改变量 ΔU。



答案 (1) 不变、减小　　(2)$V_3=1.0201\times10^3\mathrm{cm}^3$　　(3)$\Delta U=2.53\,\mathrm{J}$

解析 选修三 第二章 第3节 教材正文

（1）从状态 2 到状态 3 为等温过程，故气体分子平均速率不变；该过程压强减小，故单位时间内撞击单位面积瓶壁的分子数减小。

（2）从状态 1 到状态 2 为等压过程，压强 $p_1=p_2=p_0+\rho gh=1.01\times10^5\mathrm{Pa}$

由 $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$　　得 $V_2=1.01V_1=1.01\times10^3\mathrm{cm}^3$

从状态 2 到状态 3 为等温过程，由 $p_2V_2=p_0V_3$　　得 $V_3=(1.01)^2V_1=1.0201\times10^3\mathrm{cm}^3$

（另解：由理想气体状态方程得 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_0V_3}{T_2}$　　得 $V_3=1.0201\times10^3\mathrm{cm}^3$）

（3）从状态 1 到状态 2，气体对外做功 $W_1=p_1(V_2-V_1)=1.01\,\mathrm{J}$

故整个过程，有 $\Delta U=-W_1-W_2+Q=-1.01-1.02+4.56\,\mathrm{J}=2.53\,\mathrm{J}$

8. **[202506 浙江卷]** “拔火罐”是我国传统医学的一种疗法。治疗时，医生将开口面积为 S 的玻璃罐加热，使罐内空气温度升至 t_1，然后迅速将玻璃罐倒扣在患者皮肤上(状态 1)。待罐内空气自然冷却至室温 t_2，玻璃罐便紧贴在皮肤上(状态 2)。从状态 1 到状态 2 过程中罐内气体向外界放出热量 7.35 J。已知 $S=1.6\times10^{-3}\,\mathrm{m}^2$，$t_1=77^\circ\mathrm{C}$，$t_2=27^\circ\mathrm{C}$。忽略皮肤的形变，大气压强 $p_0=1.05\times10^5$ Pa。求

(1) 状态 2 时罐内气体的压强；

(2) 状态 1 到状态 2 罐内气体内能的变化；

(3) 状态 2 时皮肤受到的吸力大小。



答案 (1)$p_2=9\times10^4\,\mathrm{Pa}$　(2)$\Delta U=-7.35\,\mathrm{J}$　(3) 吸力大小 $F=24\,\mathrm{N}$

解析 教材选修三第二章第 2 节习题

(1)由于忽略皮肤的形变，故罐内空气体积不变，有

$\frac{p_0}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$　　其中 $T_1=t_1+273^\circ\mathrm{C}=350\,\mathrm{K}$，$T_2=t_2+273^\circ\mathrm{C}=300\,\mathrm{K}$

得 $p_2=9\times10^4\,\mathrm{Pa}$

(2)根据热力学第一定律有 $\Delta U=W+Q$　　其中 $W=0$，$Q=-7.35\,\mathrm{J}$

故 $\Delta U=-7.35\,\mathrm{J}$，即气体内能减少 7.35 J

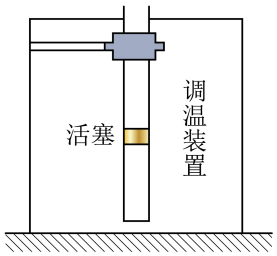
(3)罐内外的压强差 $\Delta p=p_0-p_2=1.5\times10^4\,\mathrm{Pa}$

故状态 2 皮肤受到的吸力大小 $F=S\Delta p=24\,\mathrm{N}$

9. [2025 · 山东卷]如图所示，上端开口，下端封闭的足够长玻璃管竖直固定于调温装置内。玻璃管导热性能良好，管内横截面积为 S，用轻质活塞封闭一定质量的理想气体。大气压强为 p_0，活塞与玻璃管之间的滑动摩擦力大小恒为 $f_0=\frac{1}{21}p_0S$，等于最大静摩擦力。用调温装置对封闭气体缓慢加热，$T_1=330\,\mathrm{K}$ 时，气柱高度为 h_1，活塞开始缓慢上升；继续缓慢加热至 $T_2=440\,\mathrm{K}$ 时停止加热，活塞不再上升；再缓慢降低气体温度，活塞位置保持不变，直到降温至 $T_3=400\,\mathrm{K}$ 时，活塞才开始缓慢下降；温度缓慢降至 $T_4=330\,\mathrm{K}$ 时，保持温度不变，活塞不再下降。求：

(1) $T_2=440\,\mathrm{K}$ 时，气柱高度 h_2；

(2) 从 T_1 状态到 T_4 状态的过程中，封闭气体吸收的净热量 Q（扣除放热后净吸收的热量）。



答案 (1)$\frac{4}{3}h_1$　(2)$\frac{8p_0h_1S}{63}$

解析 (1) 活塞开始缓慢上升，由受力平衡 $p_0S+f_0=p_1S$　得 $p_1=\frac{22}{21}p_0$

$T_1\to T_2$ 升温过程中，等压膨胀，由盖—吕萨克定律 $\frac{h_1S}{T_1}=\frac{h_2S}{T_2}$　得 $h_2=\frac{4}{3}h_1$

(2) $T_1\to T_2$ 升温过程中，等压膨胀，外界对气体做功 $W_1=-p_1(h_2-h_1)S=-\frac{22p_0h_1S}{63}$

$T_2\to T_3$ 降温过程中，等容变化，外界对气体做功 $W_2=0$

活塞受力平衡有 $p_0S=f_0+p_3S$　得 $p_3=\frac{20}{21}p_0$

$T_3\to T_4$ 降温过程中，等压压缩，由盖－吕萨克定律 $\frac{h_2S}{T_3}=\frac{h_4S}{T_4}$　得 $h_4=\frac{11}{10}h_1$

外界对气体做功 $W_3=p_3(h_2-h_4)S=\frac{14p_0h_1S}{63}$

全程中外界对气体做功 $W=W_1+W_2+W_3=\frac{-8p_0h_1S}{63}$

因为 $T_1=T_4$，故封闭的理想气体总内能变化 $\Delta U=0$

由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$　得 $Q=\frac{8p_0h_1S}{63}$

故封闭气体吸收的净热量 $Q=\frac{8p_0h_1S}{63}$

10. [2025 · 北京卷]某物体以一定初速度从地面竖直向上抛出，经过时间 t 到达最高点。在最高点该物体炸裂成 A、B 两部分，质量分别为 $2m$ 和 m，其中 A 以速度 v 沿水平方向飞出。重力加速度为 g，不计空气阻力。求：

(1) 该物体抛出时的初速度大小 v_0；

(2) 炸裂后瞬间 B 的速度大小 v_B；

(3) A、B 落地点之间的距离 d。

答案 (1)$v_0=gt$　(2)$v_B=2v$　(3)$d=3vt$

解析 (1) 物体竖直上抛至最高点时速度为 0，由运动学公式 $0=v_0-gt$　　得 $v_0=gt$

(2) 爆炸瞬间水平方向动量守恒，且爆炸前总动量为 0，故有 $2mv-mv_B=0$　　得 $v_B=2v$

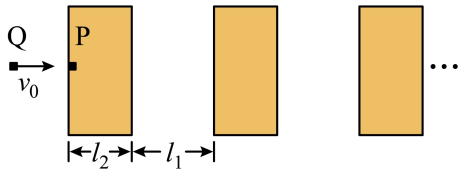
(3) 根据竖直上抛运动的对称性可知下落时间与上升时间相等为 t，故

落地点 A、B 之间的距离 $d=vt+v_Bt=3vt$

11. [2025 · 河南卷]如图，在一段水平光滑直道上每间隔 $l_1=3\ \mathrm{m}$ 铺设有宽度为 $l_2=2.4\ \mathrm{m}$ 的防滑带。在最左端防滑带的左边缘静止有质量为 $m_1=2\ \mathrm{kg}$ 的小物块 P，另一质量为 $m_2=4\ \mathrm{kg}$ 的小物块 Q 以 $v_0=7\ \mathrm{m/s}$ 的速度向右运动并与 P 发生正碰，且碰撞时间极短。已知碰撞后瞬间 P 的速度大小为 $v=7\ \mathrm{m/s}$，P、Q 与防滑带间的动摩擦因数均为 $\mu=0.5$，重力加速度大小 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。求：

(1) 该碰撞过程中损失的机械能；

(2) P 从开始运动到静止经历的时间。



答案 (1)24.5 J　(2)5 s

解析 (1) 由于 P、Q 碰撞时间极短，故有动量守恒 $m_2v_0=m_2v_Q+m_1v$　　得 $v_Q=3.5\ \mathrm{m/s}$

故碰撞损失的机械能 $\Delta E=\frac{1}{2}m_2v_0^2-(\frac{1}{2}m_2v_Q^2+\frac{1}{2}m_1v^2)$　　得 $\Delta E=24.5\ \mathrm{J}$

(2) 物块 P 在防滑带上的加速度大小 $a=\mu g=5\ \mathrm{m/s^2}$

离开第 1 个防滑带时的速度满足 $v_1^2-v^2=-2al_2$　　得 $v_1=5\ \mathrm{m/s}$

通过第 1 个防滑带的时间 $t_1=\frac{v-v_1}{a}=0.4\ \mathrm{s}$，通过光滑直道 l_1 的时间 $\Delta t_1=\frac{l_1}{v_1}=0.6\ \mathrm{s}$

离开第 2 个防滑带时的速度满足 $v_2^2-v_1^2=-2al_2$　　得 $v_2=1\ \mathrm{m/s}$

通过第 2 个防滑带的时间 $t_2=\frac{v_1-v_2}{a}=0.8\ \mathrm{s}$，通过光滑直道 l_1 的时间 $\Delta t_2=\frac{l_1}{v_2}=3\ \mathrm{s}$

在第 3 个防滑带上减速到 0 的时间 $t_3=\frac{v_2}{a}=0.2\ \mathrm{s}$

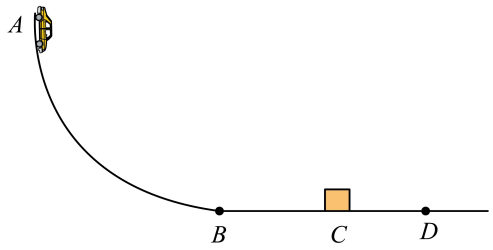
故总时间 $t=t_1+\Delta t_1+t_2+\Delta t_2+t_3=0.4+0.6+0.8+3+0.2=5\ \mathrm{s}$

12. [2025 · 天津卷]如图所示，半径为 $R=0.45\,\mathrm{m}$ 的四分之一圆轨道 AB 竖直固定放置，与水平桌面在 B 点平滑连接。质量为 $m=0.12\,\mathrm{kg}$ 的玩具小车从 A 点由静止释放，运动到桌面上 C 点时与质量为 $M=0.18\,\mathrm{kg}$ 的静置物块发生碰撞并粘在一起，形成的组合体匀减速滑行 $x=0.20\,\mathrm{m}$ 至 D 点停止。A 点至 C 点光滑，小车和物块碰撞时间极短，小车、物块及组合体均视为质点，g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，不计空气阻力。求：

(1) 小车运动至圆轨道 B 点时所受支持力 F_N 的大小；

(2) 小车与物块碰撞后瞬间组合体速度 v 的大小；

(3) 组合体与水平桌面 CD 间的动摩擦因数 μ 的值。



答案 (1)$F_N=3.6\,\mathrm{N}$　(2)$v=1.2\,\mathrm{m/s}$　(3)$\mu=0.36$

解析 (1)设小车运动至圆轨道 B 点时的速度大小为 v_0，由动能定理得 $mgR=\frac{1}{2}mv_0^2$

由向心力公式得 $F_N-mg=m\frac{v_0^2}{R}$

联立解得 $F_N=3.6\,\mathrm{N}$

(2)小车与物块在 C 点碰撞，在水平方向由动量守恒，有 $mv_0=(M+m)v$　　得 $v=1.2\,\mathrm{m/s}$

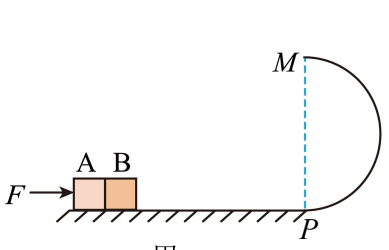
(3)对组合体，由匀减速运动规律得 $v^2=2\mu gx$　　得 $\mu=0.36$

13. [2025 · 福建卷]如图甲，水平地面上有并排放置的 A、B 两个物块，两物块质量均为 $0.2\,\mathrm{kg}$，A 与地面间动摩擦因数为 $\mu=0.25$，B 与地面间无摩擦，两物块在外力 F 的作用下向右前进，F 随位移 x 的变化图像如图乙所示，P 为圆弧轨道最低点，M 为圆弧轨道最高点，圆弧轨道与水平地面平滑连接，初始时水平地面上 A、B 与 P 点间的长度大于 $4\,\mathrm{m}$。求

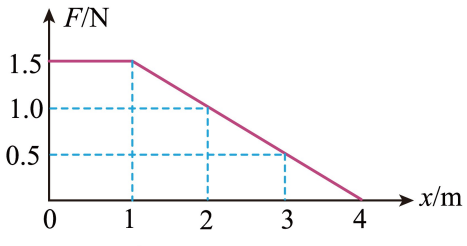
(1) 求 0~1 m 内 F 做的功；

(2)$x=1\,\mathrm{m}$ 时，A 与 B 之间的弹力大小；

(3) 要保证 B 能到达 M 点，圆弧半径满足的条件。



甲



乙

答案 (1)1.5 J　(2)0.5 N　(3)$R\leqslant 0.2\,\mathrm{m}$

解析 (1)0~1 m 内恒力 F 做功 $W=Fx=1.5\,\mathrm{J}$

(2) 对 AB 整体，有 $F-f=2ma$　其中 $f=\mu mg=0.5\,\mathrm{N}$　　得 $a=2.5\,\mathrm{m/s^2}$

对 B 有 $F_{AB}=ma$　得 $F_{AB}=0.5\,\mathrm{N}$

(3)$x=3\,\mathrm{m}$ 时 $F=f$，此时 AB 整体加速度为零，之后 A、B 将分离，B 做匀速直线运动。

0~3 m 过程，对 AB 整体，由动能定理得 $W_3-fx=\frac{1}{2}(2m)v^2$

其中由 $F-x$ 图像面积可知外力做功 $W_3=3.5\ \mathrm{J}$　　得 $v=\sqrt{10}\ \mathrm{m/s}$

分离后，要保证 B 能到达 M 点，临界情况下有 $mg=\frac{mv_M^2}{R}$，

对 B 由动能定理得 $-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_M^2-\frac{1}{2}mv^2$

得 $R=\frac{v^2}{5g}=0.2\ \mathrm{m}$，即圆弧半径满足的条件为 $R\leqslant 0.2\ \mathrm{m}$。

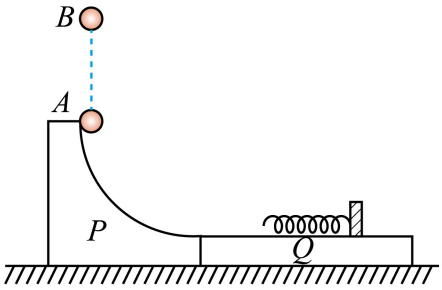
14. [2025 · 理综卷(新疆西藏)]如图，物块 P 固定在水平面上，其上表面有半径为 R 的 $\frac{1}{4}$ 圆弧轨道。P 右端与薄板 Q 连在一起，圆弧轨道与 Q 上表面平滑连接。一轻弹簧的右端固定在 Q 上，另一端自由。质量为 m 的小球自圆弧顶端 A 点上方的 B 点自由下落，落到 A 点后沿圆弧轨道下滑，小球与弹簧接触后，当速度减小至刚接触时的 $\frac{1}{3}$ 时弹簧的弹性势能为 $2mgR$，此时断开 P 和 Q 的连接，从静止开始向右滑动。g 为重力加速度大小，忽略空气阻力，圆弧轨道及 Q 的上、下表面均光滑，弹簧长度的变化始终在弹性限度内。

(1) 求小球从落入圆弧轨道至离开圆弧轨道，重力对其做的功；

(2) 求小球与弹簧刚接触时速度的大小及 B、A 两点间的距离；

(3) 欲使 P 和 Q 断开后，弹簧的最大弹性势能等于 $2.2mgR$，Q 的质量应为多大？

(4) 欲使 P 和 Q 断开后，Q 的最终动能最大，Q 的质量应为多大？



答案　(1)mgR　(2)$\frac{3\sqrt{2gR}}{2}$，$\frac{5}{4}R$　(3)$4m$　(4)$\frac{1}{9}m$

解析　(1)$W=mgR$

(2) 设 B、A 两点间的距离为 h，小球与弹簧刚接触时的速度大小为 v_0，由机械能守恒定律得

$mg(h+R)=\frac{1}{2}mv_0^2$，$\frac{1}{2}mv_0^2=2mgR+\frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{3}\right)^2$

得 $v_0=\frac{3\sqrt{2gR}}{2}$，$h=\frac{5}{4}R$

(3) 弹簧达到最大弹性势能时，小球与 Q 共速，设此时速度大小为 v_1，Q 的质量为 M。

由动量守恒和机械能守恒得 $m\cdot\frac{1}{3}v_0=(m+M)v_1$，$\frac{1}{2}mv_0^2=2.2mgR+\frac{1}{2}(m+M)v_1^2$

得 $M=4m$

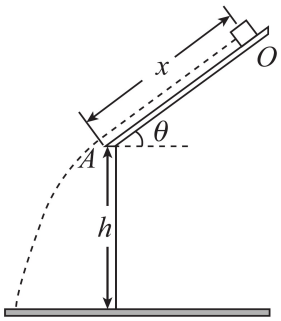
(4) 使 Q 最终动能达到最大值的条件是：弹簧恢复原长时，小球的速度恰好为零。设满足此条件时 Q 的质量为 M_0，Q 能达到的最大速度为 v_m。由动量守恒定律和机械能守恒定律有

$m\cdot\frac{1}{3}v_0=M_0v_m$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}M_0v_m^2$　　得 $M_0=\frac{1}{9}m$

15. [2025·黑吉辽内卷]如图，一雪块从倾角 $\theta=37°$ 的屋顶上的 O 点由静止开始下滑，滑到 A 点后离开屋顶。O、A 间距离 $x=2.5\,\mathrm{m}$，A 点距地面的高度 $h=1.95\,\mathrm{m}$，雪块与屋顶的动摩擦因数 $\mu=0.125$。不计空气阻力，雪块质量不变，取 $\sin37°=0.6$，重力加速度大小 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$。求：

(1) 雪块从 A 点离开屋顶时的速度大小 v_0；

(2) 雪块落地时的速度大小 v_1，及其速度方向与水平方向的夹角 α。



答案 (1)$v_0=5\,\mathrm{m/s}$　(2)$v_1=8\,\mathrm{m/s}$，$\alpha=60°$

解析 (1)$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$，$v_0^2=2ax$　　得 $a=5\,\mathrm{m/s^2}$，$v_0=5\,\mathrm{m/s}$

(2)$mgh=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　　得 $v_1=8\,\mathrm{m/s}$

$\cos\alpha=\frac{v_0\cos\theta}{v_1}=\frac{1}{2}$　　得 $\alpha=60°$

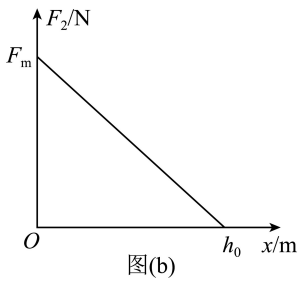
16. [2025·贵州卷]杵臼是我国古代加工谷物的重要工具，在《诗经·大雅》中有明确记载。使用杵臼的示意图如图 (*a*) 所示，舂捣臼中谷物时，手紧握质量为 m 的石杵 (石杵与谷物接触但未陷入)，对其施加一竖直向上的恒力 F_1 使其上升，作用一段时间 t_1 后松手，松手后不考虑手与石杵的作用力。当石杵上升到最高点时，手再次紧握石杵并对其施加一竖直向下的作用力 F_2，其大小随下降距离 x 的变化关系如图 (*b*) 所示，图中 F_m 为 F_2 的最大值。石杵接触谷物时松手，松手后不考虑手与石杵的作用力，再经过 Δt 时间石杵静止，完成一次舂捣。已知 $m=2.5\,\mathrm{kg}$，$F_1=\frac{200}{7}\,\mathrm{N}$，$F_m=50\,\mathrm{N}$，$t_1=0.7\,\mathrm{s}$，$\Delta t=0.025\,\mathrm{s}$，取重力加速度大小 $g=10\mathrm{m/s^2}$。求：

(1) 石杵上升的最大高度 h_0 及上升过程所用的时间；

(2)Δt 时间内石杵对谷物的平均作用力大小。



图(a)



图(b)

答案 (1)0.4 m，0.8 s　(2)425 N

解析 (1)t_1 时间内，石杵的加速度 $a=\dfrac{F_1-mg}{m}=\dfrac{10}{7}\ \mathrm{m/s^2}$，$v_1=at_1=1\ \mathrm{m/s}$，$h_1=\dfrac{v_1}{2}t_1=0.35\ \mathrm{m}$；撤去 F_1 后，上升的高度 $h_2=\dfrac{v_1^2}{2g}=0.05\ \mathrm{m}$，$t_2=\dfrac{v_1}{g}=0.1\ \mathrm{s}$

故 $h_0=h_1+h_2=0.4\ \mathrm{m}$，$t=t_1+t_2=0.8\ \mathrm{s}$

(2) 石杵下落过程，由动能定理得 $W+mgh_0=\dfrac{1}{2}mv_2^2$

其中 F_2 对石杵做功大小由图像可知 $W=\dfrac{1}{2}F_mh_0=\dfrac{1}{2}\times50\times0.4\ \mathrm{J}=10\ \mathrm{J}$

解得 $v_2=4\ \mathrm{m/s}$

石杵与谷物作用的过程，对石杵由动量定理 (向上为正) 得

$F\Delta t-mg\Delta t=0-(-mv_2)$　　得 $F=425\ \mathrm{N}$

根据牛顿第三定律可知，石杵对谷物的平均作用力大小为 425 N

17. [2025 · 甘肃卷]如图 1 所示，细杆两端固定，质量为 m 的物块穿在细杆上。初始时刻，物块刚好能静止在细杆上。现以水平向左的力 F 作用在物块上，F 随时间 t 的变化如图 2 所示。开始滑动瞬间的滑动摩擦力等于最大静摩擦力。细杆足够长，重力加速度为 g，$\theta=30°$。求：

(1)$t=6\,\mathrm{s}$ 时 F 的大小，以及 t 在 0~6 s 内 F 的冲量大小。

(2)t 在 0~6 s 内，摩擦力 f 随时间 t 变化的关系式，并作出相应的 $f-t$ 图像。

(3)$t=6\,\mathrm{s}$ 时，物块的速度大小。

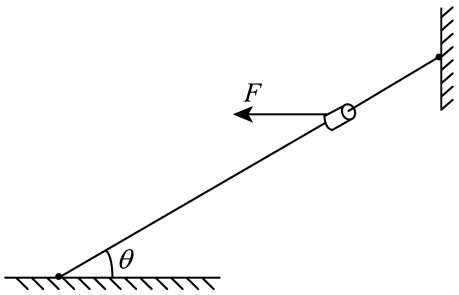


图1

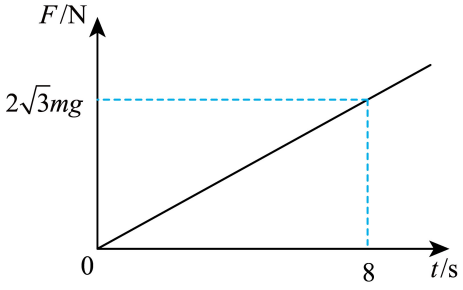


图2

答案 (1)$F=\dfrac{3\sqrt{3}mg}{2}$，$I_F=\dfrac{9\sqrt{3}mg}{2}$　　(2) 见解析　　(3)$v=\dfrac{17}{2}g$

解析 (1) 由图 2 可知 F 随时间线性变化，有 $F=\dfrac{\sqrt{3}mg}{4}t$，故 $t=6\,\mathrm{s}$ 时 $F=\dfrac{3\sqrt{3}mg}{2}$；

由于 F 方向不变，故由 $F-t$ 图围成的面积可得

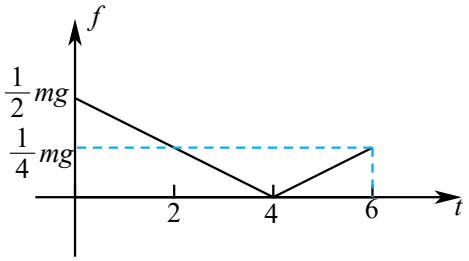
在 0~6 s 内 $I_F=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{3\sqrt{3}}{2}mg\times6=\dfrac{9\sqrt{3}}{2}mg$

(2) 初始时刻物块刚好能静止在细杆上，有 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$　得 $\mu=\tan\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

在垂直杆方向，有 $mg\cos\theta=F\sin\theta+N$　得 $f=\mu N=\dfrac{1}{2}mg-\dfrac{1}{8}mgt$；当 $f=0$ 时 $t=4\,\mathrm{s}$

在 4~6 s 内有 $mg\cos\theta=F\sin\theta-N$　　得 $f=\dfrac{1}{8}mgt-\dfrac{1}{2}mg$

综上有 $f=\begin{cases}\dfrac{1}{2}mg-\dfrac{1}{8}mgt, & 0\leqslant t<4\,\mathrm{s}\\ \dfrac{1}{8}mgt-\dfrac{1}{2}mg, & 4\leqslant t\leqslant6\,\mathrm{s}\end{cases}$，$f-t$ 图像如图。



(3) 在 0~6s 内沿杆方向根据动量定理有 $I_F\cos\theta+mgt\sin\theta-I_f=mv-0$

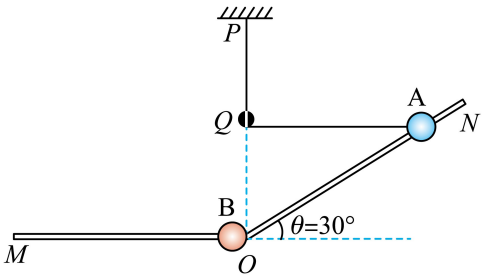
其中 $I_F=\dfrac{9\sqrt{3}}{2}mg$，摩擦力的冲量大小可由 $f-t$ 图围成的面积求得，故 $I_f=\dfrac{5}{4}mg$

得 $v=\dfrac{17}{2}g$

18. [2025 · 江西卷]如图所示，在竖直平面内一轻质弹力绳的一端固定于 P 点，另一端经光滑孔钉 Q 连接质量为 m 的小球 A，该球穿过与水平直杆 OM（足够长）成 $30°$ 角的直杆 ON，两杆平滑连接。点 P、Q 和 O 在同一竖直线上，PQ 间距为弹力绳原长。将小球 A 拉至与 Q 等高的位置由静止释放。当小球 A 首次运动到斜杆底端 O 点后，在水平方向与穿在直杆 OM 且静止于 O 点、质量为 $3m$ 的小球 B 发生弹性碰撞。小球 A、B 与杆间的动摩擦因数均为 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$，且最大静摩擦力等于滑动摩擦力。弹力绳始终在弹性限度内且满足胡克定律，劲度系数为 k，其弹性势能 E_p 与伸长量 x 的关系为 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$。已知重力加速度为 g，OQ 间距为 $\frac{2mg}{k}$。

(1) 求小球 A 下滑过程中滑动摩擦力的大小；

(2) 若从碰撞后开始计时，小球 A 第一次上滑过程中离 O 点的距离 x 与时间 t 关系为 $x=A_0\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$（$A_0$ 为常数），求小球 A 第一次速度为零时，小球 B 与 O 点的距离。



答案 (1)$f=\frac{1}{2}mg$　　(2)$s=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\pi-\frac{\sqrt{3}}{24}\pi^2\right)\frac{mg}{k}$

解析 简谐运动

(1) 设小球 A 下滑到某位置时，绳子与直杆 ON 的夹角为 α，OQ 间距 $h=\frac{2mg}{k}$，

此时绳子拉力 $F=k\Delta x=k\cdot\frac{h\cos\theta}{\sin\alpha}=\frac{2mg\cos\theta}{\sin\alpha}$，小球 A 受到的支持力 $F_N=F\sin\alpha-mg\cos\theta=mg\cos\theta$，故滑动摩擦力 $f=\mu F_N=\frac{1}{2}mg$，大小不变。

(2) 小球从静止滑到 O 点过程中，由能量守恒得

$\frac{1}{2}k(\frac{h}{\tan\theta})^2+mgh=\frac{1}{2}kh^2+\frac{1}{2}mv_1^2+f\cdot\frac{h}{\sin\theta}$　　得 $v_1=h\sqrt{\frac{2k}{m}}=2g\sqrt{\frac{2m}{k}}$

A、B 弹性碰撞过程，由水平方向动量守恒、动能守恒得

$\begin{cases}mv_1=mv_A+3mv_B\\ \frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}(3m)v_B^2\end{cases}$　得 $v_A=-\frac{1}{2}v_1$，$v_B=\frac{1}{2}v_1=g\sqrt{\frac{2m}{k}}$

由 $x=A_0\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$ 可知 A 第一次上滑过程做简谐运动，小球 A 第一次速度为零时，距离达到最大值 $x_{max}=A_0$，则 $\sqrt{\frac{k}{m}}t_A=\frac{\pi}{2}$，得 $t_A=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}$

小球 B 碰撞后做匀减速运动，小球 B 速度减为 0 所经历的时间 $t_B=\frac{v_B}{\mu g}=\frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{2m}{k}}$

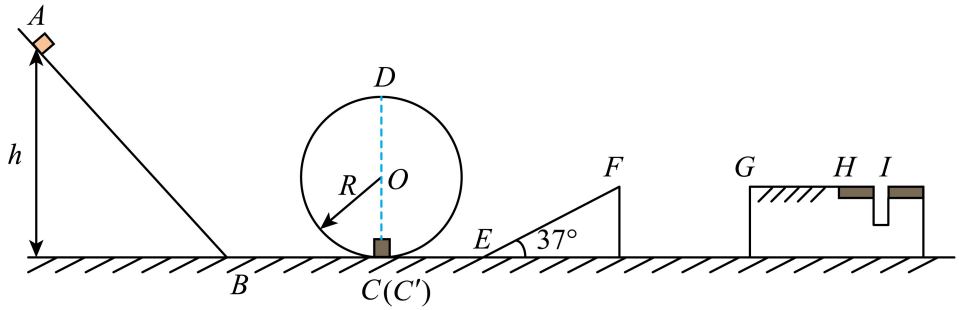
由于 $t_B>t_A$，故 $s=v_Bt_A-\frac{1}{2}\mu gt_A^2$　　得 $s=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\pi-\frac{\sqrt{3}}{24}\pi^2\right)\frac{mg}{k}$

19. **[202501 浙江卷]** 一游戏装置的竖直截面如图所示。倾斜直轨道 AB、半径为 R 的竖直螺旋轨道、水平轨道 BC 和 $C'E$、倾角为 $37°$ 的倾斜直轨道 EF 平滑连接成一个抛体装置。该装置除 EF 段轨道粗糙外，其余各段均光滑，F 点与水平高台 GHI 等高。游戏开始，一质量为 m 的滑块 1 从轨道 AB 上的高度 h 处静止滑下，与静止在 C 点、质量也为 m 的滑块 2 发生完全非弹性碰撞后组合成滑块 3，滑上滑轨。若滑块 3 落在 GH 段，反弹后水平分速度保持不变，竖直分速度减半；若滑块落在 H 点右侧，立即停止运动。已知 $R=0.2\,\mathrm{m}$，$m=0.1\,\mathrm{kg}$，EF 段长度 $L=\frac{5}{16}\,\mathrm{m}$，$FG$ 间距 $L_{FG}=0.4\,\mathrm{m}$，GH 间距 $L_{GH}=0.22\,\mathrm{m}$，HI 间距 $L_{HI}=0.1\,\mathrm{m}$，EF 段 $\mu=0.25$。滑块 1、2、3 均可视为质点，不计空气阻力，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。

(1) 若 $h=0.8\,\mathrm{m}$，求碰撞后瞬间滑块 3 的速度大小 v_C；

(2) 若滑块 3 恰好能通过圆轨道 CDC'，求高度 h；

(3) 若滑块 3 最终落入 I 点的洞中，则游戏成功。讨论游戏成功的高度 h。



答案 (1)$v_C=2\,\mathrm{m/s}$　(2)$h=2\,\mathrm{m}$　(3)$h=2.5\,\mathrm{m}$ 或 $2\,\mathrm{m}$

解析 (1)$A\to C$：$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$　得 $v_0=\sqrt{2gh}=4\,\mathrm{m/s}$

碰撞过程由动量守恒 $mv_0=2mv_C$　得 $v_C=\frac{1}{2}v_0=2\,\mathrm{m/s}$

(2) 圆轨道最高点，有 $2mg=2m\frac{v_D^2}{R}$　得 $v_D=\sqrt{gR}$

$C\to D$：$-2mg(2R)=\frac{1}{2}(2m)v_D^2-\frac{1}{2}(2m)v_C^2$　其中 $v_C=\frac{1}{2}v_0=\frac{\sqrt{2gh}}{2}$　得 $h=10R=2\,\mathrm{m}$

(3)$C\to F$：$-2mgL\sin\theta-\mu(2m)gL\cos\theta=\frac{1}{2}(2m)v_F^2-\frac{1}{2}(2m)v_C^2$　得 $v_F=\sqrt{5h-5}$

①直接落入洞中，$t=\frac{2v_F\sin\theta}{g}$，$L_{FG}+L_{GH}+L_{HI}=v_F\cos\theta\times t$　得 $h=2.5\,\mathrm{m}$

②经一次反弹落入洞中，$t'=\frac{2v_F\sin\theta}{g}+\frac{v_F\sin\theta}{g}=\frac{3v_F\sin\theta}{g}$　得 $h=2\,\mathrm{m}$

此时由第 (2) 问分析可得恰好通过最高点 D，故不存在多次反弹掉入洞中的情况。

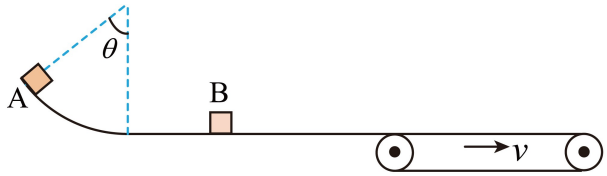
综上，$h=2.5\,\mathrm{m}$ 或 $2\,\mathrm{m}$

20. [2025 · 海南卷]某自动包装系统的部分结构简化后如图所示，足够长的传送带固定在竖直平面内，半径为 $R=0.5\,\mathrm{m}$，圆心角 $\theta=53°$ 的圆弧轨道与平台平滑连接，平台与顺时针匀速转动的水平传送带平滑连接，工件 A 从圆弧轨道顶点无初速度下滑，在平台上滑入静止的空箱 B 并与其瞬间粘连成一个整体，随后一起滑上传送带，与传送带共速后进入下一道工序。已知工件 A 的质量 $m_A=4\,\mathrm{kg}$，空箱 B 的质量 $m_B=1\,\mathrm{kg}$，A、B 及粘连成的整体均可视为质点，整体与传送带间的动摩擦因数恒定，在传送带上运动的过程中因摩擦产生的热量 $Q=2.5\,\mathrm{J}$，忽略轨道及平台的摩擦，$\cos53°=0.6$，重力加速度 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$。求：

(1) 工件 A 滑到圆弧轨道最低点时受到的支持力；

(2) 工件 A 与空箱 B 在整个碰撞过程中损失的机械能；

(3) 传送带的速度大小。



答案 (1)72N，方向竖直向上　(2)1.6 J　(3)0.6 m/s 或 2.6 m/s

解析 (1) 由动能定理 $m_Ag R(1-\cos53°)=\frac{1}{2}m_Av_0^2$　得 $v_0=2\,\mathrm{m/s}$

在最低点有 $F_N-m_Ag=\frac{m_Av_0^2}{R}$　得 $F_N=72\,\mathrm{N}$，方向竖直向上

(2)A、B 碰后成一整体，由动量守恒 $m_Av_0=(m_A+m_B)v_{共}$　得 $v_{共}=1.6\,\mathrm{m/s}$

故损失的机械能为 $\Delta E=\frac{1}{2}m_Av_0^2-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_{共}^2$　得 $\Delta E=1.6\,\mathrm{J}$

(3) 设传送带速度大小为 v，动摩擦因数为 μ，

①若 $v_{共}<v$，则箱子整体在传送带上做匀加速直线运动，有 $Q=\mu(m_A+m_B)g\Delta s$

对箱子整体，由相对运动得 $(v-v_{共})^2=2\mu g\Delta s$　得 $v=2.6\,\mathrm{m/s}$

①若 $v_{共}>v$，则箱子整体在传送带上做匀减速直线运动，同理有 $(v_{共}-v)^2=2\mu g\Delta s$　得 $v=0.6\,\mathrm{m/s}$

综上，传送带速度大小为 0.6 m/s 或 2.6 m/s。

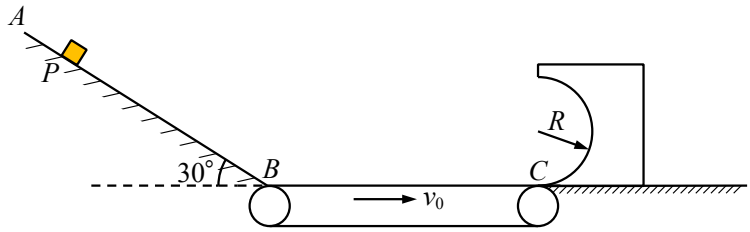
21. **[202506 浙江卷]** 某兴趣小组设计了一传送装置，其竖直截面如图所示。AB 是倾角为 30° 的斜轨道，BC 是以恒定速率 v_0 顺时针转动的水平传送带，紧靠 C 端有半径为 R、质量为 M 置于光滑水平面上的可动半圆弧轨道，水平面和传送带 BC 处于同一高度，各连接处平滑过渡。现有一质量为 m 的物块，从轨道 AB 上与 B 相距 L 的 P 点由静止下滑，经传送带末端 C 点滑入圆弧轨道。物块与传送带间的动摩擦因数为 μ，其余接触面均光滑。已知 $R=0.36\,\mathrm{m}$，$L=1.6\,\mathrm{m}$，$v_0=5\,\mathrm{m/s}$，$m=0.2\,\mathrm{kg}$，$M=1.8\,\mathrm{kg}$，$\mu=0.25$。不计空气阻力，物块可视为质点，传送带足够长。求物块

(1) 滑到 B 点处的速度大小；

(2) 从 B 点运动到 C 点过程中摩擦力对其做的功；

(3) 在传送带上滑动过程中产生的滑痕长度；

(4) 即将离开圆弧轨道最高点的瞬间，受到轨道的压力大小。



答案 (1)$v=4\,\mathrm{m/s}$　(2)$W_f=0.9\,\mathrm{J}$　(3)$\Delta x=0.2\,\mathrm{m}$　(4)$F=3\,\mathrm{N}$

解析 支持力 $F_N+mg=\dfrac{mv_{相}^2}{R}$

(1)滑块从 P 点到 B 点，由动能定理 $mgL\sin30^\circ=\dfrac{1}{2}mv^2$　得 $v=4\,\mathrm{m/s}$

(2)由于传送带足够长，故物块滑上传送带后做匀加速运动直到与传送带共速，

则由动能定理 $W_f=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}mv^2$　得 $W_f=0.9\,\mathrm{J}$

(3)物块在传送带上加速运动的加速度 $a=\mu g=2.5\,\mathrm{m/s^2}$，加速时间 $t=\dfrac{v_0-v}{a}=0.4\,\mathrm{s}$

则产生的滑痕长度 $\Delta x=v_0t-\dfrac{v_0+v}{2}t=0.2\,\mathrm{m}$

(4)滑块从刚进入圆弧槽到最高点，由水平方向动量守恒和能量守恒得

$$\begin{cases}mv_0=mv_1+Mv_2\\ \dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2+\dfrac{1}{2}Mv_2^2+2mgR\end{cases}$$　得 $\begin{cases}v_1=-2.2\,\mathrm{m/s}\\ v_2=0.8\,\mathrm{m/s}\end{cases}$ 或 $\begin{cases}v_1=3.2\,\mathrm{m/s}\\ v_2=0.2\,\mathrm{m/s}\end{cases}$(舍去)

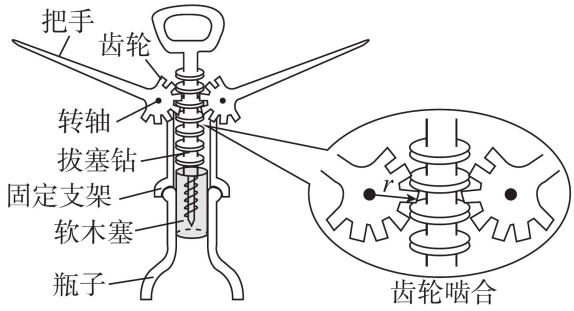
对滑块在最高点时由牛顿第二定律 $F+mg=m\dfrac{(v_1-v_2)^2}{R}$　得 $F=3\,\mathrm{N}$

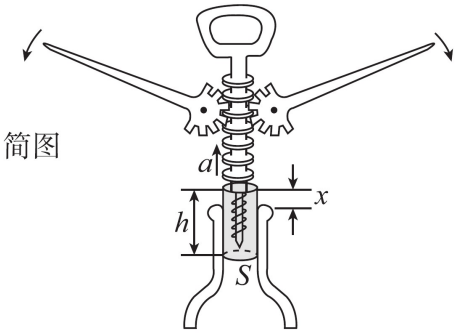
22. [2025 · 广东卷]如图所示，用开瓶器取出紧塞在瓶口的软木塞时，先将拔塞钻旋入木塞内，随后下压把手，使齿轮绕固定支架上的转轴转动，通过齿轮啮合，带动与木塞相固定的拔塞钻向上运动。从0时刻开始，顶部与瓶口齐平的木塞从静止开始向上做匀加速直线运动，木塞所受摩擦力 f 随位移大小 x 的变化关系为 $f=f_0\left(1-\frac{x}{h}\right)$，其中 f_0 为常量，h 为圆柱形木塞的高，木塞质量为 m，底面积为 S，加速度为 a，齿轮半径为 r，重力加速度为 g，瓶外气压减瓶内气压为 Δp 且近似不变，瓶子始终静止在桌面上。(提示：可用 $f-x$ 图线下的“面积”表示 f 所做的功) 求：

(1) 木塞离开瓶口的瞬间，齿轮的角速度 ω。

(2) 拔塞的全过程，拔塞钻对木塞做的功 W。

(3) 拔塞过程中，拔塞钻对木塞作用力的瞬时功率 P 随时间 t 变化的表达式。

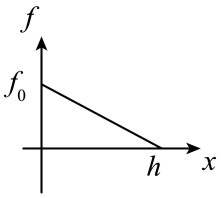




答案 (1)$\omega=\frac{\sqrt{2ah}}{r}$　(2)$W=mah+mgh+\frac{1}{2}f_0h+\Delta pSh$　(3)$P=(mg+ma+f_0+\Delta pS)at-\frac{f_0a^2}{2h}t^3$

解析 (1) 对木塞有 $v^2=2ah$，由于齿轮线速度等于木塞的末速度，故 $\omega=\frac{v}{r}=\frac{\sqrt{2ah}}{r}$

(2) 根据题意画出木塞摩擦力与运动距离的关系图如图所示，



可得摩擦力所做的功为 $W_f=-\frac{1}{2}f_0h$

对木塞，由动能定理 $W+W_f-mgh-\Delta pSh=\frac{1}{2}mv^2-0$

得 $W=mah+mgh+\frac{1}{2}f_0h+\Delta pSh$

(3) 设开瓶器对木塞的作用力为 F，对木塞有 $F-mg-f-\Delta pS=ma$，t 时刻位移 $x=\frac{1}{2}at^2$

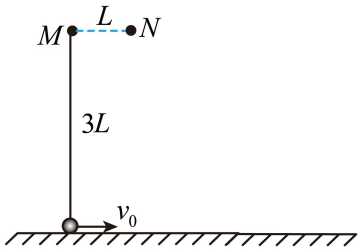
故 $P=Fv=\left[mg+f_0\left(1-\frac{x}{h}\right)+\Delta pS+ma\right]at=(mg+ma+f_0+\Delta pS)at-\frac{f_0a^2}{2h}t^3$

23. [2025 · 安徽卷]如图，M、N为固定在竖直平面内同一高度的两根细钉，间距$L=0.5\,\mathrm{m}$。一根长为$3L$的轻绳一端系在M上，另一端竖直悬挂质量$m=0.1\,\mathrm{kg}$的小球，小球与水平地面接触但无压力。$t=0$时，小球以水平向右的初速度$v_0=10\,\mathrm{m/s}$开始在竖直平面内做圆周运动。小球牵引着绳子绕过N、M，运动到M正下方与M相距L的位置时，绳子刚好被拉断，小球开始做平抛运动。小球可视为质点，绳子不可伸长，不计空气阻力，重力加速度g取$10\,\mathrm{m/s^2}$。

(1) 求绳子被拉断时小球的速度大小，及绳子所受的最大拉力大小；

(2) 求小球做平抛运动时抛出点到落地点的水平距离；

(3) 若在$t=0$时，只改变小球的初速度大小，使小球能通过N的正上方且绳子不松弛，求初速度的最小值。



答案 (1)$v=4\sqrt{5}\,\mathrm{m/s}$，$T=17\,\mathrm{N}$　　(2)$4\,\mathrm{m}$　　(3)$2\sqrt{15}\,\mathrm{m/s}$

解析 (1) 从初始到刚好被拉断，由动能定理$-mg\cdot 2L=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　　得$v=4\sqrt{5}\,\mathrm{m/s}$

此时由$F_m-mg=\frac{mv^2}{L}$　　得$F_m=17\,\mathrm{N}$

(2) 小球做平抛运动时$x=vt$，$2L=\frac{1}{2}gt^2$　　得$t=\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{s}$，$x=4\,\mathrm{m}$

(3) 若小球经过N点正上方绳子恰不松弛，则有$mg=m\frac{v'^2}{2L}$

从最低点到该位置由动能定理$-mg\cdot 5L=\frac{1}{2}mv'^2-\frac{1}{2}mv_0'^2$　　得$v_0'=\sqrt{12gL}=2\sqrt{15}\,\mathrm{m/s}$

24. [2025 · 北京卷]如图 1 所示，金属圆筒 A 接高压电源的正极，其轴线上的金属线 B 接负极。

(1) 设 A、B 两极间电压为 U，求在 B 极附近电荷量为 Q 的负电荷到达 A 极过程中静电力做的功 W。

(2) 已知筒内距离轴线 r 处的电场强度大小 $E=k\frac{2\lambda}{r}$，其中 k 为静电力常量，λ 为金属线 B 单位长度的电荷量。如图 2 所示，在圆筒内横截面上，电荷量为 q、质量为 m 的粒子绕轴线做半径不同的匀速圆周运动，其半径为 r_1、r_2 和 r_3 时的总能量分别为 E_1、E_2 和 E_3。若 $r_3-r_2=r_2-r_1$，推理分析并比较 (E_3-E_2) 与 (E_2-E_1) 的大小。

(3) 图 1 实为某种静电除尘装置原理图，空气分子在 B 极附近电离，筒内尘埃吸附电子而带负电，在电场作用下最终被 A 极收集。使分子或原子电离需要一定条件。以电离氢原子为例。根据玻尔原子模型，定态氢原子中电子在特定轨道上绕核做圆周运动，处于特定能量状态，只有当原子获得合适能量才能跃迁或电离。若氢原子处于外电场中，推导说明外电场的电场强度多大能将基态氢原子电离。（可能用到：元电荷 $e=1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$，电子质量 $m=9.1\times10^{-31}\,\mathrm{kg}$，静电力常量 $k=9.0\times10^{9}\,\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$，基态氢原子轨道半径 $a=5.3\times10^{-11}\,\mathrm{m}$ 和能量 $E_0=-13.6\,\mathrm{eV}$）

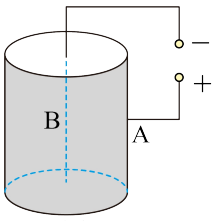


图1

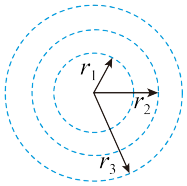


图2

答案 (1)$W=QU$　(2)$(E_3-E_2)<(E_2-E_1)$　(3)$E\approx1.3\times10^{11}\,\mathrm{N/C}$

解析 第(2)问类似《必修三第十章 A 组习题》

(1)$W=(-Q)U_{BA}=QU$（如果认为 $Q<0$，则 $W=QU_{BA}=-QU$）

(2) 带正电荷的粒子在半径为 r 处绕轴线做匀速圆周运动，有 $qE=\frac{mv^2}{r}$ 其中 $E=k\frac{2\lambda}{r}$

得 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=kq\lambda$，即在不同位置处时的动能相同。

粒子在 r_1 处的总能量 $E_1=E_k+E_p=kq\lambda+q\varphi_1$，同理有 $E_2=kq\lambda+q\varphi_2$，$E_3=kq\lambda+q\varphi_3$

故 $(E_3-E_2)-(E_2-E_1)=q(\varphi_3-\varphi_2)-q(\varphi_2-\varphi_1)=qU_{32}-qU_{21}$

由于 $r_3-r_2=r_2-r_1$，平均场强 $\bar{E}_{32}<\bar{E}_{21}$，故由 $U=\bar{E}d$ 可知 $U_{32}<U_{21}$，故 $(E_3-E_2)<(E_2-E_1)$

(3)【力学角度】如果电子在圆轨道处受到的外电场力 eE 大于氢核的库仑力 $\frac{ke^2}{a^2}$，电子就可以离开氢核从而发生电离，故临界情况下有 $eE=\frac{ke^2}{a^2}$

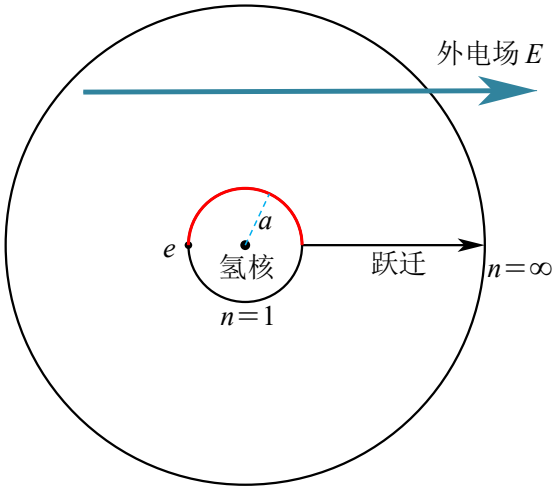
得 $E=\frac{ke}{a^2}=\frac{9.0\times10^{9}\times1.6\times10^{-19}}{(5.3\times10^{-11})^2}\approx5.1\times10^{11}\,\mathrm{N/C}$

【能量角度】由于氢原子尺度极小，不妨认为宏观外电场 E 是匀强电场。

由于定态氢原子中的电子只能在特定轨道做圆周运动，故假设外电场在对电子做正功时电子轨道半径不变，当电子获得足够多的能量时突然从 $n=1$ 能级跃迁到 $n=\infty$ 能级（即电离），而电离所需的最低能量即为 $|E_0|=13.6\,\mathrm{eV}$。

如图，当电子转动半圈时，沿外电场方向位移最大，外电场做功最多，当做功数值大于 13.6 eV 时可以使电子跃迁至 $n=\infty$ 能级。故临界情况下有 $eE\cdot2a=|E_0|$

得 $E=\dfrac{|E_0|}{e\cdot 2a}=\dfrac{13.6\,\mathrm{eV}}{e\cdot 2(5.3\times10^{-11})\,\mathrm{m}}\approx 1.3\times10^{11}\,\mathrm{V/m}$



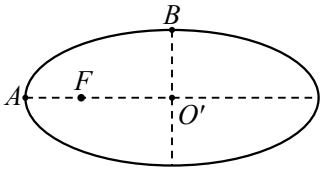
（听说第 (3) 问满分 4 分，算出 $5.1\times10^{11}\,\mathrm{N/C}$ 得 2 分，算出 $1.3\times10^{11}\,\mathrm{N/C}$ 得 4 分，若认为外电场做功位移为 a，则有 $eEa=13.6\,\mathrm{eV}$）

25. [2025 · 广西卷]在真空中，一个电荷量为 $-q$、质量为 m 的试探电荷绕电荷量为 $+Q$ 的点电荷做椭圆轨道运动，如图甲，O' 为椭圆中心，$O'A$ 为半长轴，长度为 a，$O'B$ 为半短轴，点电荷处于椭圆的焦点 F 处，焦距为 c。图乙是 $v^2-\frac{1}{r}$ 的关系图，其中 v 为该试探电荷运动速率，r 为该试探电荷到点电荷的距离。距离点电荷 r 处的电势 $\varphi=\frac{kQ}{r}$，其中 k 为静电力常量。重力和万有引力忽略不计。

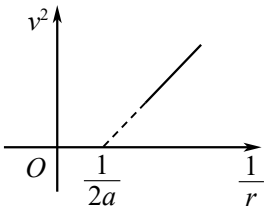
(1) 求 B 点的电势。

(2) 求该试探电荷从 A 点运动到 B 点电场力所做的功。

(3) 通过推理论证该试探电荷在运动过程中动能和电势能之和是否守恒。若不守恒，说明理由；若守恒，求出该试探电荷在运动过程中动能和电势能之和。



图甲



图乙

答案 (1)$\varphi_B=\frac{kQ}{a}$　(2)$\frac{-kQqc}{(2a-c)a}$　(3) 守恒，$-\frac{kQq}{2a}$

解析 (1) 根据椭圆性质可知，B 点到 F 点的距离 $r_{BF}=a$，则 B 点电势 $\varphi_B=\frac{kQ}{a}$

(2) 同理可知，A 点的电势 $\varphi_A=\frac{kQ}{a-\frac{c}{2}}=\frac{2kQ}{2a-c}$，根据电场力做功与电势能的关系可知，

$W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=-q\varphi_A-(-q\varphi_B)=-kQq\left(\frac{2}{2a-c}-\frac{1}{a}\right)=\frac{-kQqc}{(2a-c)a}$

(3) 设带电粒子的质量为 m，假设带电粒子动能与电势能之和守恒，则满足

$\frac{1}{2}mv^2+(-q)\frac{kQ}{r}=C$(定值)　整理得 $v^2=\frac{2kQq}{m}\cdot\frac{1}{r}+\frac{2C}{m}$

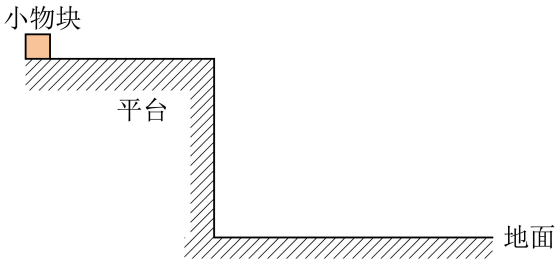
可知 $v^2-\frac{1}{r}$ 图像应为一条倾斜直线，由图乙可知假设成立。

将图像中 $\left(\frac{1}{2a},0\right)$ 代入关系式可得其动能与电势能之和为 $C=-\frac{kQq}{2a}$

26. [2025 · 河北卷]如图，一长为2 m的平台，距水平地面高度为1.8 m。质量为0.01 kg的小物块以3 m/s的初速度从平台左端水平向右运动。物块与平台、地面间的动摩擦因数均为0.2。物块视为质点，不考虑空气阻力，重力加速度g取10 m/s^2。

(1) 求物块第一次落到地面时距平台右端的水平距离。

(2) 若物块第一次落到地面后弹起的最大高度为0.45 m，物块从离开平台到弹起至最大高度所用时间共计1 s。求物块第一次与地面接触过程中，所受弹力冲量的大小，以及物块弹离地面时水平速度的大小。



答案 (1)0.6 m　(2)$I=0.1\ \mathrm{N\cdot s}$；$v_x'=0$

解析 斜碰中的动量定理

(1) 小物块在平台做匀减速直线运动，由动能定理 $-\mu mgL=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　得 $v=1\ \mathrm{m/s}$

由平抛运动得 $H=\frac{1}{2}gt_1^2$，$x=vt_1$　得 $t_1=0.6\ \mathrm{s}$，$x=0.6\ \mathrm{m}$

(2) 落地前瞬间竖直速度 $v_{1y}=gt_1=6\ \mathrm{m/s}$，落地后弹起瞬间竖直速度 $v_{2y}=\sqrt{2gh}=3\ \mathrm{m/s}$，

第一次与地面接触过程的时间 $\Delta t=t-t_1-\frac{v_{2y}}{g}=0.1\ \mathrm{s}$，

竖直方向由动量定理得 $I-mg\Delta t=mv_{2y}-m(-v_{1y})$　得 $I=0.1\ \mathrm{N\cdot s}$

接触过程，由水平方向动量定理得 $-\mu\overline{F_N}\Delta t=mv_{2x}-mv$　其中 $\overline{F_N}\Delta t=I$

故 $v_{2x}=-1\ \mathrm{m/s}$，但由于 v_{2x} 减小为0后水平方向不再相对滑动，故 $v_{2x}=0$

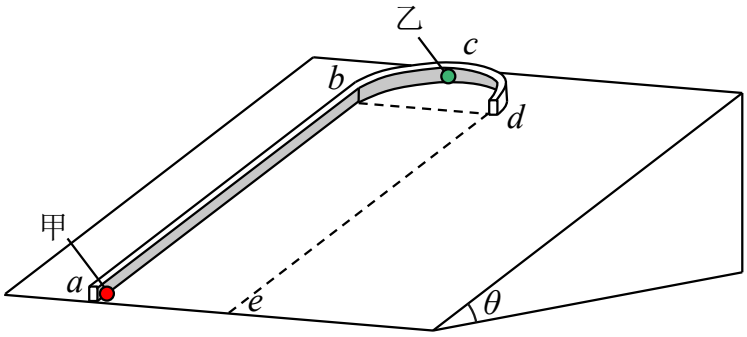
即物块弹离地面时水平速度的大小为0。

27. [2025 · 四川卷]如图所示，倾角为 θ 的斜面固定于水平地面，斜面上固定有半径为 R 的半圆挡板和长为 $7R$ 的直挡板。a 为直挡板下端点，bd 为半圆挡板直径且沿水平方向，c 为半圆挡板最高点，两挡板相切于 b 点，de 与 ab 平行且等长。小球乙被锁定在 c 点。小球甲从 a 点以一定初速度出发，沿挡板运动到 c 点与小球乙发生完全弹性碰撞，碰撞前瞬间解除对小球乙的锁定，小球乙在此后的运动过程中无其他碰撞。小球甲质量为 m_1，两小球均可视为质点，不计一切摩擦，重力加速度大小为 g。

(1) 求小球甲从 a 点沿直线运动到 b 点过程中的加速度大小；

(2) 若小球甲恰能到达 c 点，且碰撞后小球乙能运动到 e 点，求小球乙与小球甲的质量比值应满足的条件；

(3) 在满足 (2) 中质量比值的条件下，若碰撞后小球乙能穿过线段 de，求小球甲初动能应满足的条件。



答案 (1)$g\sin\theta$　(2)$\dfrac{m_2}{m_1}\leqslant 1$ 或 $\dfrac{m_2}{m_1}=7$　(3)$\dfrac{17}{2}m_1gR\sin\theta<E_{k0}<12m_1gR\sin\theta$

解析 等效重力法

(1) 由 $m_1g\sin\theta=m_1a$　得 $a=g\sin\theta$

(2) 甲恰能到 c 点，则有 $m_1g\sin\theta=\dfrac{m_1v_1^2}{R}$　得碰前甲速度 $v_1=\sqrt{gR\sin\theta}$

甲乙弹性碰撞，有 $\begin{cases}m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'\\ \dfrac{1}{2}m_1v_1^2=\dfrac{1}{2}m_1v_1'^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2'^2\end{cases}$　得 $v_2'=\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}v_1=\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}\sqrt{gR\sin\theta}$

①乙沿着半圆轨道到达 e 点，要求 $m_2g\sin\theta\leqslant\dfrac{m_2v_2'^2}{R}$　即 $v_2'\geqslant\sqrt{gR\sin\theta}$

故 $\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}\geqslant 1$　得 $\dfrac{m_2}{m_1}\leqslant 1$

②乙做类平抛运动到达 e 点，有 $R=v_2't$，$7R+R=\dfrac{1}{2}(g\sin\theta)t^2$　得 $v_2'=\dfrac{1}{4}\sqrt{gR\sin\theta}$

故 $\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}=\dfrac{1}{4}$　得 $\dfrac{m_2}{m_1}=7$

综上，小球乙与小球甲的质量比值应满足的条件为 $\dfrac{m_2}{m_1}\leqslant 1$ 或 $\dfrac{m_2}{m_1}=7$

(3) 要穿过线段 de，乙应做类平抛运动，由 (2) 中条件得 $\dfrac{m_2}{m_1}=7$

设甲初动能为 E_{k0}，从 a 到 c 由动能定理得 $-m_1g\sin\theta(7R+R)=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2-E_{k0}$

故 $E_{k0}=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2+8m_1gR\sin\theta$　(其中 $v_1\geqslant\sqrt{gR\sin\theta}$)

甲乙弹性碰撞后，$v_2'=\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}v_1=\dfrac{1}{4}v_1$

乙做类平抛运动恰到达 d 点时，有 $R=v_2't$，$R=\frac{1}{2}(g\sin\theta)t^2$　　得 $v_2'=\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{gR\sin\theta}$

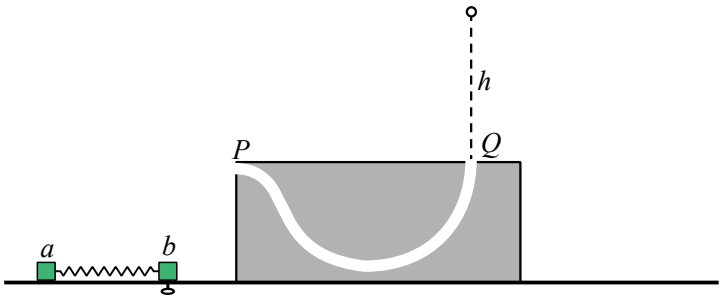
故要穿过线段 de，应有 $\frac{1}{4}\sqrt{gR\sin\theta}<v_2'<\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{gR\sin\theta}$　　得 $\sqrt{gR\sin\theta}<v_1<2\sqrt{2}\sqrt{gR\sin\theta}$

故 $\frac{17}{2}m_1gR\sin\theta<E_{k0}<12m_1gR\sin\theta$

28. [2025 · 山东卷]如图所示，内有弯曲光滑轨道的方形物体置于光滑水平面上，P、Q 分别为轨道的两个端点且位于同一高度，P 处轨道的切线沿水平方向，Q 处轨道的切线沿竖直方向。小物块 a、b 用轻弹簧连接置于光滑水平面上，b 被锁定。一质量 $m=\frac{1}{2}$ kg 的小球自 Q 点正上方 $h=2$ m 处自由下落，无能量损失地滑入轨道，并从 P 点水平抛出，恰好击中 a，与 a 粘在一起且不弹起。当弹簧拉力达到 $F=15$ N 时，b 解除锁定开始运动。已知 a 的质量 $m_a=1$ kg，b 的质量 $m_b=\frac{3}{4}$ kg，方形物体的质量 $M=\frac{9}{2}$ kg，重力加速度大小 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，弹簧的劲度系数 $k=50$ N/m，整个过程弹簧均在弹性限度内，弹性势能表达式 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$（x 为弹簧的形变量），所有过程不计空气阻力。求：

(1) 小球到达 P 点时，小球及方形物体相对于地面的速度大小 v_1、v_2；

(2) 弹簧弹性势能最大时，b 的速度大小 v_b 及弹性势能的最大值 E_{pm}。



答案 (1)$v_1=6$ m/s，$v_2=\frac{2}{3}$ m/s　　(2)$\frac{2}{3}$ m/s，水平向左，$E_{pm}=\frac{5}{2}$ J

解析 (1) 小球从开始下落到 P 处过程，由能量守恒和水平方向动量守恒，得

$$\begin{cases} mgh=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2 \\ mv_1=Mv_2 \end{cases}$$

得 $v_1=6$ m/s，$v_2=\frac{2}{3}$ m/s

(2) 小球与物块 a 粘连过程，由水平方向动量定理得 $mv_1=(m+m_a)v_3$　　得 $v_3=2$ m/s

从粘连后到 b 解除锁定，由能量守恒得 $\frac{1}{2}(m+m_a)v_3^2=\frac{1}{2}kx^2+\frac{1}{2}(m+m_a)v_4^2$

b 解除锁定时，弹簧形变量 $x=\frac{F}{k}=0.3$ m　　得 a 的速度 $v_4=1$ m/s

之后 ab 弹簧系统，由动量守恒得 $(m+m_a)v_4=(m+m_a+m_b)v_b$　　得 $v_b=\frac{2}{3}$ m/s

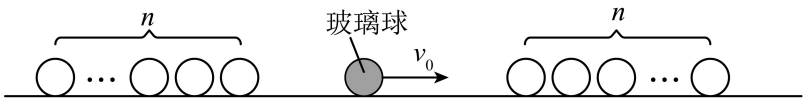
由能量守恒得 $\frac{1}{2}(m+m_a)v_3^2=\frac{1}{2}(m+m_a+m_b)v_b^2+E_{pm}$　　得 $E_{pm}=\frac{5}{2}$ J

29. [2025 · 江苏卷]如图所示，在光滑水平面上，左右两列相同的小钢球沿同一直线放置。每列有 n 个。在两列钢球之间，一质量为 m 的玻璃球以初速度 v_0 向右运动，与钢球发生正碰。所有球之间的碰撞均视为弹性碰撞。

(1) 若钢球质量为 m，求最右侧的钢球最终运动的速度大小；

(2) 若钢球质量为 $3m$，求玻璃球与右侧钢球发生第一次碰撞后，玻璃球的速度大小 v_1；

(3) 若钢球质量为 $3m$，求玻璃球经历 $2n$ 次碰撞后的动能 E_k。



答案 (1)v_0 (2)$\frac{v_0}{2}$ (3)$\left(\frac{1}{2}\right)^{4n+1}mv_0^2$

解析 (1) 根据题意可知，所有碰撞均为弹性碰撞，由于钢球质量也为 m，根据动量守恒和机械能守恒可知，碰撞过程中，二者速度互换，则最终碰撞后最右侧钢球的速度大小等于开始碰撞前玻璃球的初速度为 v_0。

(2) 第一次碰撞过程，由动量守恒和能量守恒得

$$\begin{cases} mv_0=mv_1+3mv_2 \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}(3m)v_2^2 \end{cases}$$

得 $v_1=\frac{m-3m}{m+3m}v_0=-\frac{1}{2}v_0$，$v_2=\frac{2m}{m+3m}v_0=\frac{1}{2}v_0$

负号表示速度反向，则玻璃球的速度大小为 $\frac{1}{2}v_0$

(3) 结合小问 2 分析可知，玻璃球与右侧第一个小球碰撞后反弹，且速度大小变为碰撞前的 $\frac{1}{2}$，右侧第一个小球又与第二个小球发生弹性碰撞，速度互换，静止在光滑水平面上，玻璃球反弹后与左侧第一个小球同样发生弹性碰撞，同理可得，碰撞后玻璃球再次反弹，且速度大小为碰撞前的 $\frac{1}{2}$，综上所述，玻璃球碰撞 $2n$ 次后速度大小为 $v=\left(\frac{1}{2}\right)^{2n}v_0$

则玻璃球碰撞 $2n$ 次后最终动能大小 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\left(\frac{1}{2}\right)^{4n+1}mv_0^2$

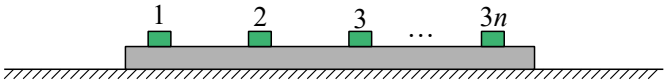
30. [2025 · 湖北卷]如图所示，一足够长的平直木板放置在水平地面上，木板上有 $3n$(n 是大于 1 的正整数) 个质量均为 m 的相同小滑块，从左向右依次编号为 1、2、…、$3n$，木板的质量为 nm。相邻滑块间的距离均为 L，木板与地面之间的动摩擦因数为 μ，滑块与木板间的动摩擦因数为 2μ。初始时木板和所有滑块均处于静止状态。现给第 1 个滑块一个水平向右的初速度，大小为 $\sqrt{\beta\mu gL}$(β 为足够大常数，g 为重力加速度大小)。滑块间的每次碰撞时间极短，碰后滑块均会粘在一起继续运动。最大静摩擦力等于滑动摩擦力。

(1) 求第 1 个滑块与第 2 个滑块碰撞前瞬间，第 1 个滑块的速度大小。

(2) 记木板滑动前第 j 个滑块开始滑动时的速度为 v_j，第 $j+1$ 个滑块开始滑动时的速度为 v_{j+1}。用已知量和 v_j 表示 v_{j+1}。

(3) 若木板开始滑动后，滑块间恰好不再相碰，求 β 的值。

提示：$1^2+2^2+\cdots+k^2=\dfrac{1}{6}k(k+1)(2k+1)$。



答案 (1)$v_1=\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$ (2)$v_{j+1}=\dfrac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$ (3)$\beta=\dfrac{4n(2n+1)(8n^2+10n+5)}{3(2n-1)}$

解析 (1) 对长木板和滑块分别受力分析，可知长木板不动，第 1 个滑块做匀减速运动，

对第 1 个滑块由动能定理得 $-2\mu mgL=\dfrac{1}{2}mv_1^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$　　得 $v_1=\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$

(2) 第 j 个滑块开始运动时加速度为 $a_j=\dfrac{2\mu\cdot jmg}{jm}=2\mu g$

根据运动学公式，第 j 个滑块开始滑动到和第 $j+1$ 个滑块碰撞时，有 $v_j^2-v_j'^2=2a_jL$

第 j 个滑块和第 $j+1$ 个滑块碰撞过程中动量守恒有 $jmv_j'=(j+1)mv_{j+1}$

联立可得 $v_{j+1}=\dfrac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$

(3) 设 k 个滑块一起在木板上滑动时，木板开始滑动，则有 $2\mu kmg>\mu(nm+3nm)g$，得 $k>2n$。

故第 $2n+1$ 个滑块在木板上滑动时，木板开始滑动，其余滑块和木板相对静止，设第 $2n+1$ 个滑块刚开始在木板上滑动时的速度大小为 v_{2n+1}、加速度为 a_1，木板的加速度大小为 a_2，则有

$a_1=2\mu g$，$a_2=\dfrac{2\mu(2n+1)mg-4\mu nmg}{[4n-(2n+1)]m}=\dfrac{2\mu g}{2n-1}$，

由 $\begin{cases}v_{2n+1}-a_1t=a_2t\\ L=v_{2n+1}t-\dfrac{1}{2}a_1t^2-\dfrac{1}{2}a_2t^2\end{cases}$ 得 $v_{2n+1}^2=2(a_1+a_2)L=\dfrac{8n\mu gL}{2n-1}$

由第 (2) 问得 $\begin{cases}(j+1)^2v_{j+1}^2=j^2v_j^2-4j^2\mu gL\\ j^2v_j^2=(j-1)^2v_{j-1}^2-4(j-1)^2\mu gL\\ \cdots\\ 2^2v_2^2=1^2v_1^2-4\mu gL\\ v_1^2=\beta\mu gL\end{cases}$ 求和得 $(j+1)^2v_{j+1}^2=\beta\mu gL-4\mu gL(1^2+2^2+\cdots+j^2)$

即 $(j+1)^2v_{j+1}^2=\beta\mu gL-4\mu gL\cdot\dfrac{1}{6}j(j+1)(2j+1)$

故有 $v_{2n+1}^2=\dfrac{\beta\mu gL-4\mu gL\cdot\frac{1}{6}\cdot2n(2n+1)(2\cdot2n+1)}{(2n+1)^2}=\dfrac{8n\mu gL}{2n-1}$

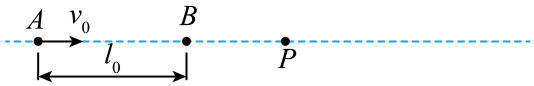
$\beta=\dfrac{4}{3}n(2n+1)(4n+1)+\dfrac{8n(2n+1)^2}{2n-1}$ 或 $\beta=\dfrac{4n(2n+1)(8n^2+10n+5)}{3(2n-1)}$

31. [2025 · 陕西卷]如图，有两个电性相同及质量分别为 m、$4m$ 的粒子 A、B，初始时刻相距 l_0，粒子 A 以速度 v_0 沿两粒子连线向速度为 0 的粒子 B 运动，此时 A、B 两粒子系统的电势能等于 $\frac{1}{25}mv_0^2$。经时间 t_1 粒子 B 到达 P 点，此时两粒子速度相同，同时开始给粒子 B 施加一恒力，方向与速度方向相同。当粒子 B 的速度为 v_0 时，粒子 A 恰好运动至 P 点且速度为 0，A、B 粒子间距离恢复为 l_0，这时撤去恒力。任意两带电粒子系统的电势能与其距离成反比，忽略两粒子所受重力。求：(m、l_0、v_0、t_1 均为已知量)

(1) 粒子 B 到达 P 点时的速度大小 v_1；

(2)t_1 时间内粒子 B 的位移大小 x_B；

(3) 恒力作用的时间 t_2。



答案 (1)$\frac{1}{5}v_0$　(2)$\frac{v_0t_1}{5}-\frac{2}{11}l_0$　(3)$\frac{2l_0}{v_0}$

解析 (1) 根据动量守恒定律 $mv_0=(m+4m)v_1$　得 $v_1=\frac{1}{5}v_0$

(2) 两者共速时设间距为 l'，根据能量守恒定律可知此时电势能为 $E_p'=\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{1}{25}mv_0^2-\frac{1}{2}\times5mv_1^2$

$=\frac{11}{25}mv_0^2$

根据题意电荷间的电势能与它们间的距离成反比，则 $l'=\frac{E_{p0}}{E_p'}l_0=\frac{1}{11}l_0$

两者共速前的过程系统始终动量守恒，即 $mv_0=mv_A+4mv_B$，

两边求和得 $\sum mv_0\Delta t=\sum mv_A\Delta t+\sum 4mv_B\Delta t$，即 $mv_0t_1=mx_A+4mx_B$

根据位移关系可知 $x_B+l_0=x_A+l'$

联立解得 $x_B=\frac{v_0t_1}{5}-\frac{2}{11}l_0$

(3) 全过程，初末位置系统电势能相等，则由能量守恒 $Fl_0=\frac{1}{2}\times4mv_0^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　得 $F=\frac{3mv_0^2}{2l_0}$

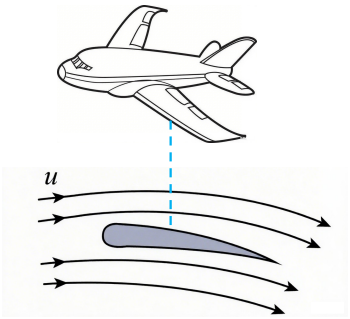
对全过程，根据动量定理 $Ft_2=4mv_0-mv_0$　得 $t_2=\frac{2l_0}{v_0}$

32. [2025 · 北京卷]关于飞机的运动，研究下列问题。

(1) 质量为 m 的飞机在水平跑道上由静止开始做加速直线运动，当位移为 x 时速度为 v。在此过程中，飞机受到的平均阻力为 f，求牵引力对飞机做的功 W。

(2) 飞机准备起飞，在跑道起点由静止开始做匀加速直线运动。跑道上存在这样一个位置，飞机一旦超过该位置就不能放弃起飞，否则将会冲出跑道。已知跑道的长度为 L，飞机加速时加速度大小为 a_1，减速时最大加速度大小为 a_2。求该位置距起点的距离 d。

(3) 无风时，飞机以速率 u 水平向前匀速飞行，相当于气流以速率 u 相对飞机向后运动。气流掠过飞机机翼，方向改变，沿机翼向后下方运动，如图所示。请建立合理的物理模型，论证气流对机翼竖直向上的作用力大小 F 与 u 的关系满足 $F\propto u^{\alpha}$，并确定 α 的值。



答案 (1)$W=\frac{1}{2}mv^2+fx$　(2)$d=\frac{a_2L}{a_1+a_2}$　(3) 论证见解析，$\alpha=2$

解析 (1) 由动能定理 $W-fx=\frac{1}{2}mv^2$　得 $W=\frac{1}{2}mv^2+fx$

(2) 在该位置前做匀加速直线运动，然后做匀减速直线运动至恰好没有冲出轨道，有

$v_m^2=2a_1d$，$v_m^2=2a_2(L-d)$　得 $d=\frac{a_2L}{a_1+a_2}$

(3) 气流对机翼的竖直升力源于气流动量在竖直方向的变化。以飞机为惯性参考系，设气流掠过机翼的等效横截面积为 S，气流密度为 ρ，之后沿机翼向后下方与水平方向成 θ 角运动。

则 Δt 内通过该横截面的气流质量为 $m=\rho Su\Delta t$，以 m 为研究对象，

由竖直方向动量定理得 $F'\Delta t=m\Delta u_y=\rho Su\Delta t\cdot u\tan\theta$

由牛顿第三定律得 $F=F'=\rho Su^2\tan\theta$

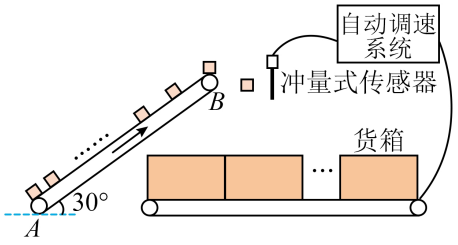
可知 $F\propto u^2$，$\alpha=2$

33. [2025 · 广西卷]图甲为某智能分装系统工作原理示意图，每个散货经倾斜传送带由底端 A 运动到顶端 B 后水平抛出，撞击冲量式传感器使其输出一个脉冲信号，随后竖直掉入以与水平传送带共速度的货箱中，此系统利用传感器探测散货的质量，自动调节水平传送带的速度，实现按规格分装。倾斜传送带与水平地面夹角为 30°，以速度 v_0 匀速运行。若以相同的时间间隔 Δt 将散货以几乎为 0 的速度放置在倾斜传送带底端 A，从放置某个散货时开始计数，当放置第 10 个散货时，第 1 个散货恰好被水平抛出。散货与倾斜传送带间的动摩擦因数 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{2}$，到达顶端前已与传送带共速。设散货与传感器撞击时间极短，撞击后竖直方向速度不变，水平速度变为 0。每个长度为 d 的货箱装总质量为 M 的一批散货。若货箱之间无间隔，重力加速度为 g。分装系统稳定运行后，连续装货，某段时间传感器输出的每个脉冲信号与横轴所围面积为 I 如图乙，求这段时间内：

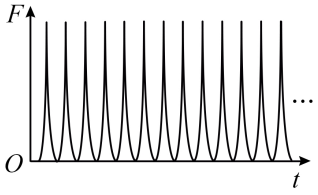
(1) 单个散货的质量。

(2) 水平传送带的平均传送速度大小。

(3) 倾斜传送带的平均输出功率。



图甲



图乙

答案 (1)$\frac{I}{v_0}$　(2)$\frac{Id}{Mv_0\Delta t}$　(3)$\frac{(9g\Delta t+2v_0)I}{2\Delta t}$

解析 (1) 散货撞击传感器过程，水平方向上由动量定理有 $-I=0-mv_0$　得单个散货的质量 $m=\frac{I}{v_0}$

(2) 一个货箱装有的散货个数为 $n=\frac{M}{m}=\frac{Mv_0}{I}$，由于每隔 Δt 释放一个散货，

则水平传送带的平均传送速度大小为 $\bar{v}=\frac{d}{n\Delta t}=\frac{Id}{Mv_0\Delta t}$

(3) 散货在传送带上的加速过程中的加速度 $a=\mu g\cos 30°-g\sin\theta 30°=\frac{1}{4}g$，该过程运动时间 $t_1=\frac{v_0}{a}=\frac{4v_0}{g}$，

相对位移 $\Delta x=v_0t_1-\frac{v_0}{2}t_1=\frac{2v_0^2}{g}$。

由于放置第 10 个散货时，第 1 个散货恰好被水平抛出，则 A、B 长度为 $L=\frac{v_0^2}{2a}+v_0(9\Delta t-t_1)=9v_0\Delta t-\frac{2v_0^2}{g}$。

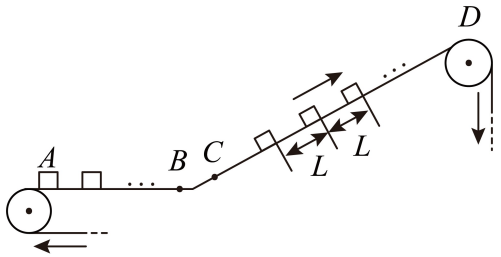
由于散货是源源不断地放置上去的，故在 Δt 内可等效为传送带将一个散货从底端搬运到了顶端，

则 Δt 内传送带输出的能量转化为这个散货的机械能和摩擦产生的内能，

即 $\bar{P}\Delta t=\frac{1}{2}mv_0^2+mgL\sin 30°+\mu mg\Delta x\cos 30°$

得 $\bar{P}=\frac{9}{2}mgv_0+\frac{mv_0^2}{\Delta t}=\frac{(9g\Delta t+2v_0)I}{2\Delta t}$

34. (2003·新课程理综·34) 一传送带装置示意如图，其中传送带经过 AB 区域时是水平的，经过 BC 区域时变为圆弧形 (圆弧由光滑模板形成，未画出)，经过 CD 区域时是倾斜的，AB 和 CD 都与 BC 相切．现将大量的质量均为 m 的小货箱一个一个在 A 处放到传送带上，放置时初速为零，经传送带运送到 D 处，D 和 A 的高度差为 h．稳定工作时传送带速度不变，CD 段上各箱等距排列，相邻两箱的距离为 L．每个箱子在 A 处投放后，在到达 B 之前已经相对于传送带静止，且以后也不再滑动 (忽略经 BC 段时的微小滑动)．已知在一段相当长的时间 T 内，共运送小货箱的数目为 N．这装置由电动机带动，传送带与轮子间无相对滑动，不计轮轴处的摩擦．求电动机的平均输出功率 $\overline{P}$.



答案 $\frac{Nm}{T}\left(\frac{N^2L^2}{T^2}+gh\right)$

解析 以地面为参考系 (下同)，设传送带的运动速度为 v_0，在水平段运输的过程中，小货箱先在滑动摩擦力的作用下做匀加速运动，匀加速运动的路程为 s，所用时间为 t，加速度为 a，则

对小货箱，由运动学公式得 $s=\frac{1}{2}at^2$，$v_0=at$

在这段时间内，传送带运动的路程为 $s_0=v_0t$，得 $s_0=2s$

用 f 表示小货箱与传送带之间的滑动摩擦力，则传送带对小箱做的功为 $W=fs=\frac{1}{2}mv_0^2$

传送带克服小箱对它的摩擦力做的功为 $W_0=fs_0=2\cdot\frac{1}{2}mv_0^2$

两者之差就是克服摩擦力做功发出的热量为 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2$，

可见，在小货箱加速运动过程中，小箱获得的动能与发热量相等。

T 时间内，电动机输出的功为 $W_{电}=\overline{P}T$，

此功用于增加小货箱的动能、势能以及克服摩擦力产生的热量，即

$W_{电}=\frac{1}{2}Nmv_0^2+Nmgh+NQ$，

已知相邻两小货箱的距离为 L，所以 $v_0T=NL$，

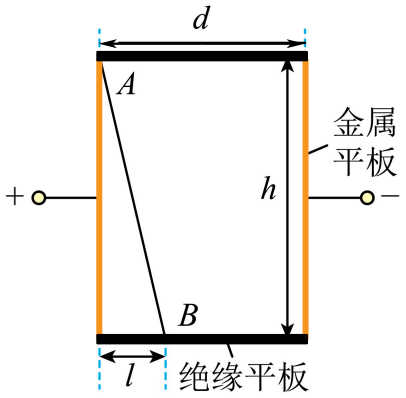
联立得 $\overline{P}=\frac{Nm}{T}\left(\frac{N^2L^2}{T^2}+gh\right)$

35. [2025 · 广东卷]如图是研究颗粒碰撞荷电特性装置的简化图。两块水平绝缘平板与两块竖直的平行金属平板相接。金属平板之间接高压电源产生匀强电场。一带电颗粒从上方绝缘平板左端 A 点处，由静止开始向右下方运动，与下方绝缘平板在 B 点处碰撞，碰撞时电荷量改变，反弹后离开下方绝缘平板瞬间，颗粒的速度与所受合力垂直，其水平分速度与碰前瞬间相同，竖直分速度大小变为碰前瞬间的 k 倍（$k<1$）。已知颗粒质量为 m，两绝缘平板间的距离为 h，两金属平板间的距离为 d，B 点与左平板的距离为 l，电源电压为 U，重力加速度为 g。忽略空气阻力和电场的边缘效应。求：

(1) 颗粒碰撞前的电荷量 q。

(2) 颗粒在 B 点碰撞后的电荷量 Q。

(3) 颗粒从 A 点开始运动到第二次碰撞过程中，电场力对它做的功 W。



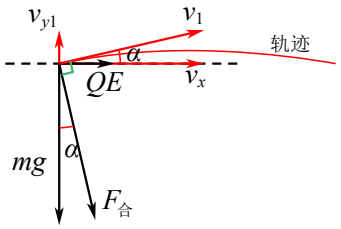
答案 (1)$q=\dfrac{mgld}{Uh}$　(2)$Q=\dfrac{kmghd}{Ul}$　(3)$mg\left(\dfrac{l^2}{h}+4k^2h+\dfrac{4k^4h^3}{l^2}\right)$ 或 $mg\left(\dfrac{l^2}{h}+\dfrac{khd}{l}-kh\right)$

解析 (1) 颗粒做初速为零的匀加速直线运动，合力方向沿 AB 方向，设合力方向与竖直方向夹角为 θ，由受力分析得 $qE=mg\tan\theta$　其中 $E=\dfrac{U}{d}$，$\tan\theta=\dfrac{l}{h}$　得 $q=\dfrac{mgld}{Uh}$

(2) 设第一次碰撞后颗粒速度方向与水平方向夹角为 α，碰前竖直速度大小为 v_y，水平速度为 v_x，碰后竖直速度大小 $v_{y1}=kv_y$，则有 $\tan\alpha=\dfrac{v_{y1}}{v_x}=\dfrac{kv_y}{v_x}=\dfrac{k}{\tan\theta}=\dfrac{kh}{l}$

由于碰后速度与合力垂直，故合力方向与竖直方向夹角也为 α，故由受力分析得 $QE=mg\tan\alpha$，

得 $Q=\dfrac{kmghd}{Ul}$



(3)$A\to B$ 过程，电场力做功 $W_1=qEl=\dfrac{mgl^2}{h}$，竖直方向有 $v_y^2=2gh$

从 B 到第二次碰撞过程，

①若第二次碰撞落在下方绝缘板，则竖直方向有 $t=\dfrac{2v_{y1}}{g}=\dfrac{2kv_y}{g}$，水平方向有 $x=v_xt+\dfrac{1}{2}a_xt^2$

其中 $v_x=\frac{v_{y1}}{\tan\alpha}=\frac{lv_y}{h}$，$a_x=g\tan\alpha=\frac{khg}{l}$　　得 $x=4kl+\frac{4k^3h^2}{l}$，电场力做功 $W_2=QEx$

故整个过程电场力做功 $W=W_1+W_2=\frac{mgl^2}{h}+mg\frac{kh}{l}(4kl+\frac{4k^3h^2}{l})=mg(\frac{l^2}{h}+4k^2h+\frac{4k^4h^3}{l^2})$

②若 $x>d-l$，则第二次碰撞落在右侧金属板，电场力做功为

$W=W_1+QE(d-l)=mg(\frac{l^2}{h}+\frac{khd}{l}-kh)$

36. [2025 · 江西卷]精密条纹相机通过将时域信号转换成空间信息可实现超短激光脉冲持续时间的测量，其简化原理如图所示。某个待测激光脉冲的持续时间为 Δt，经过狭缝和聚焦透镜入射至真空条纹管的光电阴极中心。由于光电效应，产生与输入激光脉冲持续时间相同的电子脉冲。电子脉冲先后经加速和偏转等过程打到荧光屏上。阳极与光电阴极间的加速电压为 U_1，距离为 d_1。偏转极板间距和长度分别为 d_2 和 L_2，其左端与阳极的距离为 L_1，右端与荧光屏的距离为 L_3。光电效应产生电子的初速度忽略不计，电子不会打到偏转极板上。电子质量为 m，电荷量为 e，不考虑电场力和相对论效应，以及电子之间相互作用。所有元件的中心在同一条直线上，并以荧光屏中心 O 为原点、竖直方向为 y 轴建立坐标系。（普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$，光速 $c=3\times10^8\,\mathrm{m/s}$）

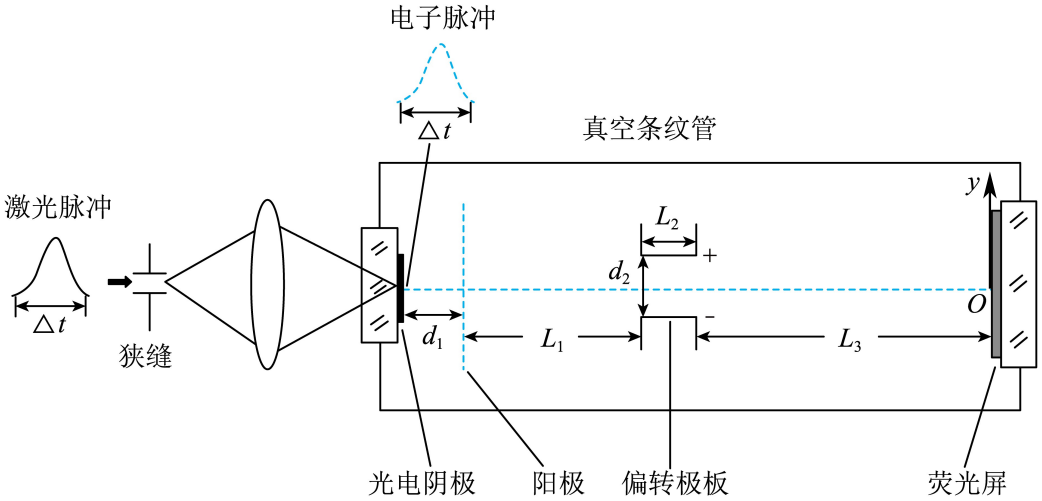
(1) 现有多碱、Au 和 CsI 三种常用的光电阴极材料，它们的逸出功分别约为 1.1 eV、4.5 eV、6.2 eV。若要使波长范围为 200~900 nm 的入射激光都能打出光电子，请通过定量分析确定应选用哪种光电阴极材料。（$1\,\mathrm{eV}=1.6\times10^{-19}\,\mathrm{J}$）

(2) 当偏转极板间电压 U 为常数时，求电子打在荧光屏上的位置。

(3) 真实情况下，偏转极板间电压 U 与时间 t 的关系为 $U=U_0+kt$（U_0 和 k 为大于零的常数），其零时刻与激光脉冲刚入射至光电阴极的时刻相同。

①求最后进入偏转极板间的电子离开偏转极板时 y 方向速度的大小；

②若 L_2 很小且 $L_2\ll L_3$，此时可忽略不同时刻电子在偏转极板间 y 方向位移的差别，求电子脉冲在荧光屏上的空间宽度 Δy 与激光脉冲持续时间 Δt 的关系。



答案 (1) 多碱阴极材料　　(2)$y=\frac{UL_2(L_2+2L_3)}{4U_1d_2}$

(3) ① $(U_0+k\Delta t)\frac{L_2}{d_2}\sqrt{\frac{e}{2mU_1}}+(4d_1+2L_1+L_2)\frac{kL_2}{4U_1d_2}$；② $\Delta y=\frac{kL_2L_3}{2U_1d_2}\Delta t$

解析 (1) 设入射激光波长为 λ，则对应的光子能量为 $\varepsilon=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$

当波长范围为 200~900 nm 时，激光的能量范围为 1.4 eV~6.2 eV

根据题意ε应大于光电阴极材料的逸出功，所以应选择多碱阴极材料。

(2) 电子进入偏转极板时的速度v_1满足$eU_1=\frac{1}{2}mv_1^2$

在偏转极板中做类平抛运动，竖直方向向上偏移量$y_1=\frac{1}{2}at^2$　　其中$a=\frac{eU}{md_2}$，$t=\frac{L_2}{v_1}$

联立解得$y_1=\frac{UL_2^2}{4U_1d_2}$

由相似三角形几何关系得$\frac{y_1}{y}=\frac{L_2/2}{L_2/2+L_3}$　　得$y=\frac{L_2+2L_3}{L_2}y_1=\frac{UL_2(L_2+2L_3)}{4U_1d_2}$

(3)①由于电子脉冲持续时间为Δt，故“最后进入偏转极板的电子”到达偏转极板的时间为

$t_1=\Delta t+\frac{d_1}{v_1/2}+\frac{L_1}{v_1}=\Delta t+\frac{2d_1+L_1}{v_1}$　　其中$v_1=\sqrt{\frac{2eU_1}{m}}$

在偏转极板中，竖直加速度$a=\frac{eU}{md_2}=\frac{e}{md_2}(U_0+kt)$与$t$成线性关系，

故速度变化量可由平均值法求（或$a-t$图像面积法），故

$$v_y=\frac{a_1+a_2}{2}\cdot\frac{L_2}{v_1}=\frac{\frac{e}{md_2}(U_0+kt_1)+\frac{e}{md_2}[U_0+k(t_1+\frac{L_2}{v_1})]}{2}\cdot\frac{L_2}{v_1}$$

得$v_y=(U_0+k\Delta t)\frac{L_2}{d_2}\sqrt{\frac{e}{2mU_1}}+(4d_1+2L_1+L_2)\frac{kL_2}{4U_1d_2}$

②“最先进入偏转极板的电子”到达偏转极板的时间$t_2=\frac{d_1}{v_1/2}+\frac{L_1}{v_1}$，

故令$\Delta t=0$，即可得到该电子离开偏转极板时y方向速度的大小

$v_y'=U_0\frac{L_2}{d_2}\sqrt{\frac{e}{2mU_1}}+(4d_1+2L_1+L_2)\frac{kL_2}{4U_1d_2}$

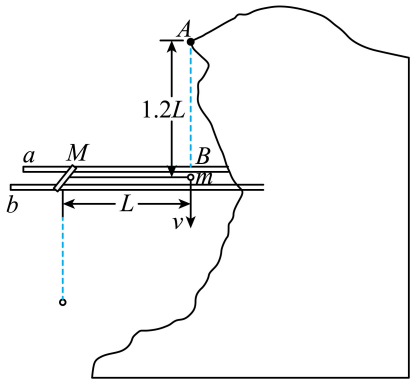
在荧光屏上的空间宽度$\Delta y=(v_y-v_y')\frac{L_3}{v_1}=\frac{kL_2L_3}{2U_1d_2}\Delta t$

37. [2025 · 湖南卷]某地为发展旅游经济，因地制宜利用山体举办了机器人杂技表演。表演中，需要将质量为 m 的机器人抛至悬崖上的 A 点，图为山体截面与表演装置示意图。a、b 为同一水平面上两条光滑平行轨道，轨道中有质量为 M 的滑杆。滑杆用长度为 L 的轻绳与机器人相连。初始时刻，轻绳绷紧且与轨道平行，机器人从 B 点以初速度 v 竖直向下运动，B 点位于轨道平面上，且在 A 点正下方，$AB=1.2L$。滑杆始终与轨道垂直，机器人可视为质点且始终作同一竖直平面内运动，不计空气阻力，轻绳不可伸长，$\sin37^\circ=0.6$，重力加速度大小为 g。

(1) 若滑杆固定，$v=\sqrt{gL}$，当机器人运动到滑杆正下方时，求轻绳拉力的大小；

(2) 若滑杆固定，当机器人运动到滑杆左上方且轻绳与水平方向夹角为 37° 时，机器人松开轻绳后被抛至 A 点，求 v 的大小；

(3) 若滑杆能沿轨道自由滑动，$M=km$，且 $k\geqslant1$，当机器人运动到滑杆左上方且轻绳与水平方向夹角为 37° 时，机器人松开轻绳后被抛至 A 点，求 v 与 k 的关系式及 v 的最小值。



答案 (1)$F=4mg$　　(2)$v=\dfrac{\sqrt{370gL}}{10}$　　(3)$v=\sqrt{\dfrac{14}{5}gL+\dfrac{9gLk}{10(k+1)}}$，$v=\dfrac{\sqrt{13gL}}{2}$

解析 斜抛、人船模型

(1) 从 B 点到最低点，由动能定理得 $mgL=\dfrac{1}{2}mv'^2-\dfrac{1}{2}mv^2$ 其中 $v=\sqrt{gL}$

最低点有 $F-mg=\dfrac{mv'^2}{L}$　　得 $F=4mg$

(2) 从 B 点到松开轻绳，由动能定理得 $-mgL\sin37^\circ=\dfrac{1}{2}mv''^2-\dfrac{1}{2}mv^2$　　得 $v''^2=v^2-1.2gL$

从松开轻绳到 A 点，$\begin{cases}\text{水平方向}L\cos37^\circ+L=v''\sin37^\circ\cdot t\\ \text{竖直方向}1.2L-L\sin37^\circ=v''\cos37^\circ\cdot t-\dfrac{1}{2}gt^2\end{cases}$　　得 $t=\sqrt{\dfrac{3.6L}{g}}$，$v''=\sqrt{2.5gL}$

故有 $v^2-1.2gL=2.5gL$，得 $v=\sqrt{3.7gL}=\dfrac{\sqrt{370gL}}{10}$

(3) 从 B 点到松开轻绳过程，设机器人向左水平位移大小为 x_1，滑杆水平向右位移大小为 x_2，

由系统水平方向动量守恒得 $mx_1=Mx_2$，又相对位移满足 $x_1+x_2=L+L\cos37^\circ$　　得 $x_1=\dfrac{1.8Lk}{k+1}$

设松开轻绳瞬间机器人相对地面的水平速度为 v_x，相对地面的竖直速度为 v_y，

由沿绳方向速度相等，得 $v_y\sin37^\circ-v_x\cos37^\circ=v_M\cos37^\circ$　　又 $mv_x=Mv_M$　　得 $v_y=\dfrac{4(k+1)}{3k}v_x$

从松开轻绳到 A 点，$\begin{cases}\text{水平方向}x_1=v_x\cdot t\\ \text{竖直方向}1.2L-L\sin37^\circ=v_y\cdot t-\dfrac{1}{2}gt^2\end{cases}$　　得 $t=\sqrt{\dfrac{3.6L}{g}}$，$v_x=$

$\frac{k}{k+1}\sqrt{0.9gL}$

从 B 点到松开轻绳，由系统能量守恒得 $\frac{1}{2}mv^2=mgL\sin37^\circ+\frac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2)+\frac{1}{2}Mv_M^2$

得 $v=\sqrt{\frac{14}{5}gL+\frac{9gLk}{10(k+1)}}$ $(k\geqslant 1)$ （当 $k\to\infty$ 时对应第 (2) 问的结果）

（或 $v=\sqrt{\left(\frac{37}{10}-\frac{9}{10(k+1)}\right)gL}$）

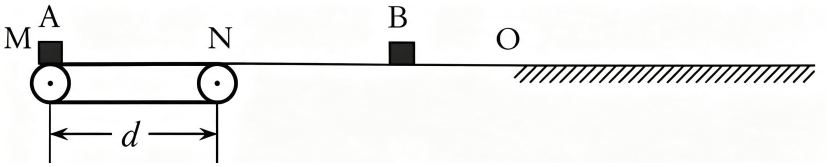
当 $k=1$ 时 v 取最小值，此时 $v_{\min}=\frac{\sqrt{13gL}}{2}$

38. [2025 · 重庆卷]如图所示，长度为 d 的水平传送带顺时针匀速运动。质量为 m 的小物块 A 在传送带左端 M 由静止释放。A 还未与传送带达到相同速度时就从右端 N 平滑地进入光滑水平面 NO，与向右运动的小物块 B 发生碰撞 (碰撞时间极短)。碰后 A、B 均向右运动，从 O 点进入粗糙水平地面。设 A 与传送带间的动摩擦因数和 A、B 与地面间的动摩擦因数均为 μ，重力加速度为 g。

(1) 求 A 在传送带上的加速度大小及离开传送带时的速度大小；

(2) 若碰前瞬间，B 的速度大小为 A 的一半，碰撞为弹性碰撞，且碰后 A、B 在粗糙地面上停下后相距 d，求 B 的质量；

(3) 若 B 的质量是 A 的 n 倍，碰后瞬间 A 和 B 的动量相同，求 n 的取值范围及碰后瞬间 B 的速度大小范围。



答案 (1)$a=\mu g$，$v_1=\sqrt{2\mu gd}$ (2)$M=\frac{m}{3}$ (3)$\frac{1}{3}<n\leqslant 1$，$\frac{\sqrt{2\mu gd}}{2}<v_B<\frac{3\sqrt{2\mu gd}}{2}$

解析 (1) 由 $\mu mg=ma$ 得 $a=\mu g$

A 在传送带上做匀加速直线运动，由 $v_1^2=2ad$ 得 $v_1=\sqrt{2\mu gd}$

(2) 设 B 的质量为 m_B，碰前有 $v_A=v_1$，$v_B=\frac{v_1}{2}$，两物体发生弹性碰撞，则由动量守恒和能量守恒得

$$\begin{cases} mv_1+m_B\cdot\frac{v_1}{2}=mv_1'+m_Bv_2' \\ \frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}m_B\left(\frac{v_1}{2}\right)^2=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}m_Bv_2'^2 \end{cases}$$ 得 $v_1'=\frac{m}{m+m_B}v_1$，$v_2'=\frac{3m+m_B}{2(m+m_B)}v_1$

（可利用“一维弹性碰撞”结论：碰后相对远离速度大小等于碰前相对靠近速度大小，即 $v_2'-v_1'=v_1-\frac{v_1}{2}=\frac{v_1}{2}$；或以碰前 B 为参考系，将“动碰动”转化为“动碰静”问题）

从 O 点进入粗糙水平地面后，由动能定理 $-\mu mgs=0-\frac{1}{2}mv^2$ 得 $s=\frac{v^2}{2\mu g}$，即有 $s_A=\frac{v_1'^2}{2\mu g}$，$s_B=\frac{v_2'^2}{2\mu g}$

由题意得 $s_B-s_A=d$，又 $v_1=\sqrt{2\mu gd}$ 得 $m_B=\frac{m}{3}$

(3) 设碰前瞬间 B 的速度大小为 v_2，碰后瞬间 A、B 的速度大小分别为 v_{A}、v_{B}。

碰后应满足 $v_{\mathrm{A}}\leqslant v_{\mathrm{B}}$，且 $mv_{\mathrm{A}}=nmv_{\mathrm{B}}$ 得 $n\leqslant 1$

由 $\begin{cases} mv_1+nmv_2=2mv_{\mathrm{A}} \\ \frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}nmv_2^2\geqslant\frac{1}{2}mv_{\mathrm{A}}^2+\frac{1}{2}nmv_{\mathrm{B}}^2 \end{cases}$

要 A、B 发生碰撞，应有 $0<v_2<v_1$

得 $(v_1-nv_2)[(3n-1)v_1-n(3-n)v_2]\geqslant 0$

【推导过程： 将 $v_A=\frac{v_1+nv_2}{2}$，$v_B=\frac{v_1+nv_2}{2n}$ 代入不等式，

$v_1^2+nv_2^2\geqslant\left(\frac{v_1+nv_2}{2}\right)^2+n\left(\frac{v_1+nv_2}{2n}\right)^2$ $\Rightarrow$ $v_1^2+nv_2^2\geqslant\left(\frac{v_1+nv_2}{2}\right)^2\left(1+\frac{1}{n}\right)$ $\Rightarrow$

$(3n-1)v_1^2-2n(n+1)v_1v_2+n^2(3-n)v_2^2\geqslant 0$ $\Rightarrow$ $(v_1-nv_2)[(3n-1)v_1-n(3-n)v_2]\geqslant 0$】

由于 $v_1>v_2\geqslant nv_2$，故有 $(3n-1)v_1-n(3-n)v_2\geqslant 0$，得 $\frac{3n-1}{n(3-n)}v_1\geqslant v_2>0$，得 $n>\frac{1}{3}$

综上得 $\frac{1}{3}<n\leqslant 1$

【或由恢复系数 $e=\frac{v_B-v_A}{v_1-v_2}$ 满足 $0\leqslant e\leqslant 1$ 可得 $0\leqslant\frac{v_B-v_A}{v_1-v_2}\leqslant 1$，即 $0\leqslant v_B-v_A\leqslant v_1-v_2$

$0\leqslant\frac{v_1+nv_2}{2n}-\frac{v_1+nv_2}{2}\leqslant v_1-v_2$ $\Rightarrow$ $0\leqslant(\frac{1}{n}-1)\frac{v_1+nv_2}{2}\leqslant v_1-v_2$ $\Rightarrow$

$0\leqslant\frac{1}{n}-1$ 且 $(1-n)v_1+(1-n)nv_2\leqslant 2n(v_1-v_2)$ $\Rightarrow$ $n\leqslant 1$ 且 $(1-3n)v_1\leqslant(n^2-3n)v_2$

对于第二个不等式，由于 $n(n-3)<0$，故 $\frac{1-3n}{n^2-3n}v_1\geqslant v_2>0$ 得 $1-3n<0$ 得 $n>\frac{1}{3}$】

由于 $v_2>0$，故 $v_B=\frac{v_1}{2n}+\frac{v_2}{2}>\frac{v_1}{2n}$；由于 $v_2\leqslant\frac{1-3n}{n^2-3n}v_1$，故 $v_B=\frac{v_1}{2n}+\frac{v_2}{2}\leqslant\frac{v_1}{2n}+\frac{1}{2}(\frac{1-3n}{n^2-3n}v_1)$，

即 $v_B\leqslant\frac{n+1}{n(3-n)}v_1$

综上有 $\frac{v_1}{2n}<v_B\leqslant\frac{n+1}{n(3-n)}v_1$

在 $\frac{1}{3}<n\leqslant 1$ 范围内，$\frac{1}{2}v_1\leqslant\frac{v_1}{2n}<\frac{3}{2}v_1$，$v_1\leqslant\frac{n+1}{n(3-n)}v_1<\frac{3}{2}v_1$

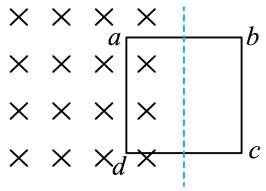
故 $\frac{v_1}{2}<v_B<\frac{3v_1}{2}$，即 $\frac{\sqrt{2\mu gd}}{2}<v_B<\frac{3\sqrt{2\mu gd}}{2}$

39. [2025 · 黑吉辽内卷]如图(a)，固定在光滑绝缘水平面上的单匝正方形导体框 $abcd$，置于始终竖直向下的匀强磁场中，ad 边与磁场边界平行，ab 边中点位于磁场边界。导体框的质量 $m=1\ \text{kg}$、电阻 $R=0.5\ \Omega$、边长 $L=1\ \text{m}$。磁感应强度 B 随时间 t 连续变化，$0\sim1\ \text{s}$ 内 $B-t$ 图像如图(b)所示。导体框中的感应电流 I 与时间 t 关系图像如图(c)所示，其中 $0\sim1\ \text{s}$ 内的图像未画出，规定顺时针方向为电流正方向。

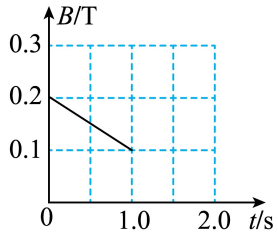
(1) 求 $t=0.5\ \text{s}$ 时 ad 边受到的安培力大小 F；

(2) 在图(b)中画出 1~2 s 内 $B-t$ 图像 (无需写出计算过程)；

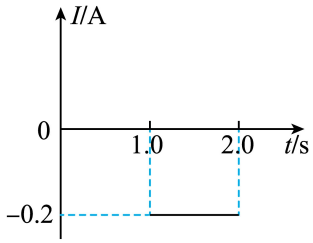
(3) 从 $t=2\ \text{s}$ 开始，磁场不再随时间变化。之后导体框解除固定，给导体框一个向右的初速度 $v_0=0.1\ \text{m/s}$，求 ad 边离开磁场时的速度大小 v_1。



图(a)



图(b)



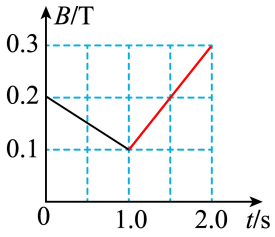
图(c)

答案 (1)$F=0.015\ \text{N}$　(2) 见解析　　(3)$v_1=0.01\ \text{m/s}$

解析 (1)$0\sim1\ \text{s}$ 内，感应电动势 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{L^2\Delta B}{2\Delta t}=0.05\ \text{V}$，感应电流 $I=\dfrac{E}{R}=0.1\ \text{A}$

$t=0.5\ \text{s}$ 时，磁感应强度 $B_1=0.15\ \text{T}$，故安培力 $F=B_1IL=0.015\ \text{N}$

(2) 由图 (c) 可知 1~2 s 内电流反向，且 $I'=0.2\ \text{A}$；又由于 B 随 t 连续变化，故该过程 B 均匀增大，且 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.2\ \text{T/s}$，如图所示。



(3)$t=2\ \text{s}$ 时 $B=0.3\ \text{T}$。t 时刻安培力 $F=BIL=B\dfrac{BLv}{R}L=\dfrac{B^2L^2v}{R}$，

由动量定理得 $-F\Delta t=m\Delta v$

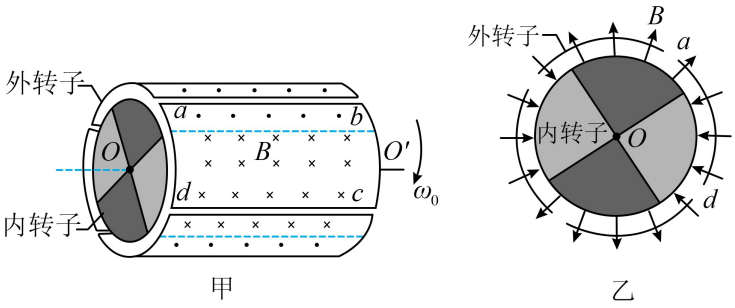
两边求和得 $-\dfrac{B^2L^2}{R}\cdot\dfrac{L}{2}=mv_1-mv_0$　　得 $v_1=0.01\ \text{m/s}$

40. [2025 · 江苏卷]圆筒式磁力耦合器由内转子、外转子两部分组成。工作原理如图甲所示。内、外转子可绕中心轴 OO' 转动。外转子半径为 r_1，由四个相同的单匝线圈紧密围成，每个线圈的电阻均为 R，直边的长度均为 L，与轴线平行。内转子半径为 r_2，由四个形状相同的永磁体组成，磁体产生径向磁场，线圈处的磁感应强度大小均为 B。外转子始终以角速度 ω_0 匀速转动，某时刻线圈 $abcd$ 的直边 ab 与 cd 处的磁场方向如图乙所示。

(1) 若内转子固定，求 ab 边产生感应电动势的大小 E；

(2) 若内转子固定，求外转子转动一周，线圈 $abcd$ 产生的焦耳热 Q；

(3) 若内转子不固定，外转子带动内转子匀速转动，此时线圈中感应电流为 I，求线圈 $abcd$ 中电流的周期 T。



答案 (1)$E=BL\omega_0 r_1$　(2)$\dfrac{8\pi\omega_0 B^2L^2r_1^2}{R}$　(3)$\dfrac{2\pi BLr_1}{IR}$

解析 (1)ab 转动时的线速度 $v=\omega_0 r_1$，则 ab 产生的感应电动势 $E=BLv=BL\omega_0 r_1$

(2) 外转子转动过程中，ab、cd 均切割磁感线，且产生的感应电流方向相反，则转动过程中总感应电动势为 $2E=2BL\omega_0 r_1$，转子转动的周期为 $T=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$，则 $abcd$ 转一圈产生的热量 $Q=\dfrac{(2E)^2}{R}T=\dfrac{8\pi\omega_0 B^2L^2r_1^2}{R}$

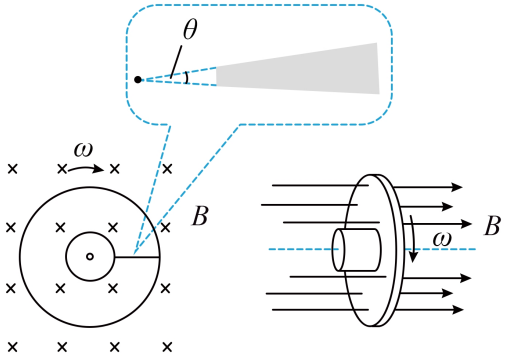
(3) 线圈相对磁场切割的速度为 Δv，有 $2BL\Delta v=IR$；线圈相对磁场转过 $\dfrac{1}{4}$ 圈时电流方向改变，大小不变，故线圈相对磁场转半圈的时间即为周期 T，即 $T=\dfrac{\pi r_1}{\Delta v}=\dfrac{2\pi BLr_1}{IR}$

41. [2025 · 天津卷]轴向磁通风力发电机在新能源领域中有广泛应用，其原理可简化为一圆盘发电机。如图所示，发电机的中心轴为固定不动的圆柱，一外半径为$3l$、厚度均匀的环形导体盘套在轴上，接触良好并可绕轴转动，导体盘轴线与中心轴的轴线重合。整个装置处在方向与轴线平行的匀强磁场中，磁感应强度大小为B。在风力的作用下，导体盘以角速度ω匀速转动，导体盘的内、外缘为发电机的两个电极。两极接在外电阻两端后，导体盘上各处均有沿半径流动的电流。

(1) 磁场方向与导体盘转动方向如图所示，试判断导体盘的外缘是发电机的正极还是负极；

(2) 若外电阻阻值为R，导体盘电阻忽略不计、内半径为l，通过导体盘上相同圆心角区域内的电流相同。求作用在导体盘上圆心角为θ区域(θ很小，可视为导体棒)上的安培力大小F与θ的关系式；

(3) 若外电阻阻值忽略不计，导体盘电阻不可忽略，距离轴线为r处的电阻率ρ与r成正比，比例系数为k，即$\rho=kr$，导体盘厚度为d、内半径大小可调。求导体盘发热功率最大时内半径的大小。



答案 (1) 正极　(2)$F=\dfrac{4B^2l^3\omega}{\pi R}\theta$　(3) 当$x=l$时，导体盘发热功率最大

解析 (1)根据右手定则可知导体盘的外缘是发电机的正极。

(2)设导体盘上圆心角为θ区域切割磁场的平均速度为v，有$v=\dfrac{1}{2}(3l+l)\omega=2l\omega$

则导体盘产生的感应电动势$E=B\cdot 2lv=4Bl^2\omega$，回路中的总电流$I=\dfrac{E}{R}$

导体盘上圆心角为θ区域的电流$I'=\dfrac{\theta}{2\pi}I$

作用在导体盘上圆心角为θ区域上的安培力大小为$F=BI'\cdot 2l=\dfrac{4B^2l^3\omega}{\pi R}\theta$

(3)采用微元法，将圆盘沿半径方向分割为无数个细窄的同心小圆环。

取其中一个半径为r、宽度为Δr(Δr趋近于0)的小圆环，计算其电阻$\Delta R'=\rho\dfrac{\Delta r}{2\pi rd}=\dfrac{k\Delta r}{2\pi d}$，

设导体盘的内半径为x，则导体盘电阻$R'=\sum\Delta R'=\sum\dfrac{k\Delta r}{2\pi d}=\dfrac{k(3l-x)}{2\pi d}$

导体盘产生的感应电动势$E'=B(3l-x)\cdot\dfrac{3l+x}{2}\omega$

故导体盘发热功率$P=\dfrac{E'^2}{R'}=\dfrac{\pi dB^2\omega^2(3l-x)(3l+x)^2}{2k}$

利用均值不等式，有$y=(3l-x)(3l+x)^2=\dfrac{1}{2}(6l-2x)(3l+x)(3l+x)\leqslant\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{12l}{3}\right)^3=32l^3$，

当且仅当$6l-2x=3l+x$，即$x=l$时，y有最大值$32l^3$。

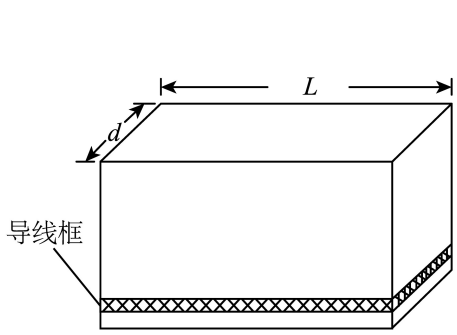
故当$x=l$时，导体盘发热功率最大。

42. [2025 · 云南卷]如图所示，光滑水平面上有一个长为L、宽为d的长方体空绝缘箱，其四周紧固一电阻为R的水平矩形导线框，箱子与导线框的总质量为M。与箱子右侧壁平行的磁场边界平面如截面图中虚线PQ所示，边界右侧存在范围足够大的匀强磁场，其磁感应强度大小为B、方向竖直向下。$t=0$时刻，箱子在水平向右的恒力F（大小未知）作用下由静止开始做匀加速直线运动，这时箱子左侧壁上距离箱底h处、质量为m的木块（视为质点）恰好能与箱子保持相对静止。箱子右侧壁进入磁场瞬间，木块与箱子分离；箱子完全进入磁场前某时刻，木块落到箱子底部，且箱子与木块均不反弹（木块下落过程中与箱子侧壁无碰撞）；木块落到箱子底部时即撤去F。运动过程中，箱子右侧壁始终与磁场边界平行，忽略箱壁厚度、箱子形变、导线粗细及空气阻力。木块与箱子内壁间的动摩擦因数为μ，假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度为g。

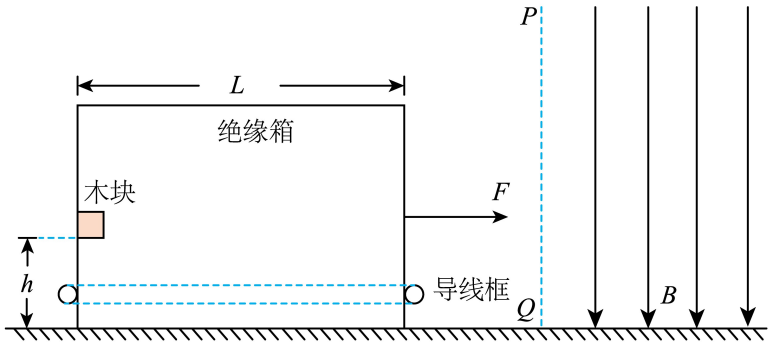
(1) 求F的大小；

(2) 求$t=0$时刻，箱子右侧壁距磁场边界的最小距离；

(3) 若$t=0$时刻，箱子右侧壁距磁场边界的距离为S（S大于 (2) 问中最小距离），求最终木块与箱子的速度大小。



绝缘箱立体图



截面图

答案 (1)$\dfrac{(M+m)g}{\mu}$　(2)$\dfrac{(M+m)^2gR^2}{2\mu B^4d^4}$　(3)$\dfrac{1}{\mu}(\sqrt{2\mu gS}+\sqrt{2gh})-\dfrac{B^2d^2L}{(M+m)R}$ 或 0

解析 必修一　第四章B组习题　整体隔离法、分离条件、安培力冲量$I_A=\dfrac{B^2l^2}{R_{总}}\Delta x$

(1) 木块恰好能与箱子保持相对静止，故有$\mu F_N=mg$　　得加速度$a=\dfrac{F_N}{m}=\dfrac{g}{\mu}$

对木块与箱子整体，有$F=(M+m)a$　　得$F=\dfrac{(M+m)g}{\mu}$

(2) 设箱子刚进入磁场中时速度为v，则此时感应电动势$E=Bdv$，感应电流$I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{Bdv}{R}$，

此时安培力$F_A=BId=\dfrac{B^2d^2v}{R}$

分离前木块与箱子加速度相同，分离后瞬间木块水平加速度为0，分离后瞬间应有$a_{箱}\leqslant a_{木块}$

分离后瞬间，对箱子有$F-F_A=Ma_{箱}$　　其中$a_{箱}\leqslant 0$　　得$v\geqslant\dfrac{(M+m)gR}{\mu B^2d^2}$

当$v=\dfrac{(M+m)gR}{\mu B^2d^2}$时，箱子右侧壁距磁场边界的距离有最小值$x_{\min}=\dfrac{v^2}{2a}=\dfrac{(M+m)^2gR^2}{2\mu B^4d^4}$

(3) 箱子刚进入磁场时速度$v_1=\sqrt{2aS}=\sqrt{\dfrac{2gS}{\mu}}$；木块分离后做平抛运动，落地时间$t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

①若最终木块与箱子一起在磁场中匀速运动，设最终速度为v_2，则箱子从刚进入到匀速过程，对系统由动量定理得$Ft-I_A=(M+m)v_2-(M+m)v_1$

其中 $F=\dfrac{(M+m)g}{\mu}$，安培力冲量大小 $I_A=\sum\dfrac{B^2d^2v}{R}\Delta t=\dfrac{B^2d^2L}{R}$

得最终速度 $v_2=\dfrac{1}{\mu}(\sqrt{2\mu gS}+\sqrt{2gh})-\dfrac{B^2d^2L}{(M+m)R}$

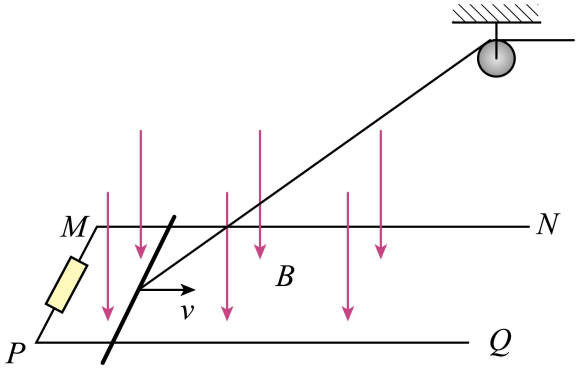
②当 $v_2\leqslant 0$，即 $\dfrac{1}{\mu}(\sqrt{2\mu gS}+\sqrt{2gh})\leqslant\dfrac{B^2d^2L}{(M+m)R}$ 时，最终木块与箱子的速度大小为 0

43. [2025 · 四川卷]如图所示，长度均为 s 的两根光滑金属直导轨 MN 和 PQ 固定在水平绝缘桌面上，两者平行且相距 l，M、P 连线垂直于导轨，定滑轮位于 N、Q 连线中点正上方 h 处。MN 和 PQ 单位长度的电阻均为 r，M、P 间连接一阻值为 $2sr$ 的电阻。空间有垂直于桌面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。过定滑轮的不可伸长绝缘轻绳拉动质量为 m、电阻不计的金属杆沿导轨向右做匀速直线运动，速度大小为 v。零时刻，金属杆位于 M、P 连线处。金属杆在导轨上时与导轨始终垂直且接触良好，重力加速度大小为 g。求：

(1) 金属杆在导轨上运动时，回路的感应电动势；

(2) 金属杆在导轨上与 M、P 连线相距 d 时，回路的热功率；

(3) 金属杆在导轨上保持速度大小 v 做匀速直线运动的最大路程。



答案 (1)Blv　　(2)$\dfrac{B^2l^2v^2}{2r(d+s)}$　　(3)$\sqrt{s^2-\dfrac{B^2l^2hv}{2mgr}}$

解析 (1) 金属杆在导轨上运动时，切割磁感线，产生感应电动势 $E=Blv$

(2) 此时电路中的总电阻为 $R=2dr+2sr$　　故 $P=\dfrac{E^2}{R}=\dfrac{B^2l^2v^2}{2r(d+s)}$

(3) 设能保持匀速直线运动的最大路程为 x，此时刚好将要脱离导轨，金属杆只受重力 mg、绳子拉力 T 和安培力 $F=BIl$，绳子与水平方向的夹角 θ 满足 $\tan\theta=\dfrac{h}{s-x}$，

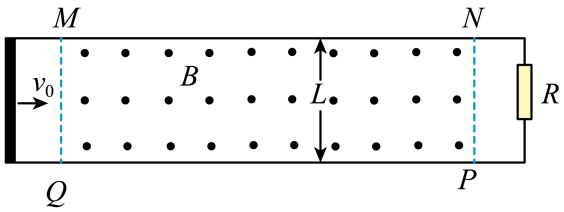
由共点力平衡得 $BIl\tan\theta=mg$　　其中 $I=\dfrac{Blv}{2sr+2xr}$　　得 $x=\sqrt{s^2-\dfrac{B^2l^2hv}{2mgr}}$

44. [2025 · 安徽卷]如图，平行光滑金属导轨被固定在水平绝缘桌面上，导轨间距为 L，右端连接阻值为 R 的定值电阻。水平导轨上足够长的矩形区域 $MNPQ$ 存在竖直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。某装置从 MQ 左侧沿导轨水平向右发射第 1 根导体棒，导体棒以初速度 v_0 进入磁场，速度减为 0 时被锁定；从原位置再发射第 2 根相同的导体棒，导体棒仍以初速度 v_0 进入磁场，速度减为 0 时被锁定，以此类推，直到发射第 n 根相同的导体棒进入磁场。已知导体棒的质量为 m，电阻为 R，长度恰好等于导轨间距，与导轨接触良好 (发射前导体棒与导轨不接触)，不计空气阻力、导轨的电阻，忽略回路中的电流对原磁场的影响。求：

(1) 第 1 根导体棒刚进入磁场时，所受安培力的功率；

(2) 第 2 根导体棒从进入磁场到速度减为 0 的过程中，其横截面上通过的电荷量；

(3) 从第 1 根导体棒进入磁场到第 n 根导体棒速度减为 0 的过程中，导轨右端定值电阻 R 上产生的总热量。



答案 (1)$\frac{B^2L^2v_0^2}{2R}$ (2)$\frac{mv_0}{BL}$ (3)$\frac{nmv_0^2}{2(n+1)}$，$n=1,2,3,\cdots$

解析 (1) 第 1 根导体棒刚进入磁场时产生的感应电动势 $E=BLv_0$，电流 $I=\frac{E}{2R}$

此时导体棒受到的安培力 $F_{安}=BIL=\frac{B^2L^2v_0}{2R}$，故 $P=F_{安}v_0=\frac{B^2L^2v_0^2}{2R}$

(2) 第 2 根导体棒从进入磁场到速度减为 0 的过程中，由动量定理得

$\sum -BIL\Delta t=0-mv_0$　其中 $\sum I\Delta t=q$　得 $q=\frac{mv_0}{BL}$

(3) 由于每根导体棒均以初速度 v_0 进入磁场，速度减为 0 时被锁定，则根据能量守恒，每根导体棒进入磁场后产生的总热量均为 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2$

第 1 根导体棒进入磁场到速度减为 0 的过程中，导轨右端定值电阻 R 上产生的热量 $Q_{R1}=\frac{1}{2}\cdot Q$

第 2 根导体棒进入磁场到速度减为 0 的过程中，导轨右端定值电阻 R 上产生的热量 $Q_{R2}=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}\cdot Q$

第 3 根导体棒进入磁场到速度减为 0 的过程中，导轨右端定值电阻 R 上产生的热量 $Q_{R3}=\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{4}\cdot Q$

第 n 根导体棒进入磁场到速度减为 0 的过程中，导轨右端定值电阻 R 上产生的热量 $Q_{Rn}=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{n+1}\cdot Q$

则从第 1 根导体棒进入磁场到第 n 根导体棒速度减为 0 的过程中，导轨右端定值电阻 R 上产生的总热量 $Q_R=Q_{R1}+Q_{R2}+Q_{R3}+\cdots+Q_{Rn}=Q[\frac{1}{2}+\frac{1}{2\times3}+\frac{1}{3\times4}+\cdots+\frac{1}{n\times(n+1)}]$

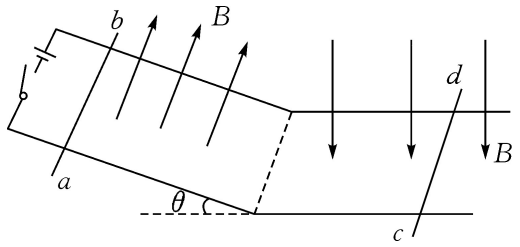
故 $Q_R=\frac{1}{2}mv_0^2(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}-\frac{1}{3}+\frac{1}{3}-\frac{1}{4}+\cdots+\frac{1}{n}-\frac{1}{n+1})=\frac{nmv_0^2}{2(n+1)}$

45. [2025 · 海南卷]间距为 L 的金属导轨倾斜部分光滑，水平部分粗糙并平滑相接，导轨上端有电源和开关，倾斜导轨与水平面夹角 $\theta=30°$，处于垂直于导轨平面向上的匀强磁场中，水平导轨处于竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小均为 B。两相同导体棒 ab、cd 与水平导轨的动摩擦因数 $\mu=0.25$，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。两棒的质量均为 m，接入电路的电阻均为 R。cd 棒仅在水平导轨上运动，两导体棒在运动过程中始终与导轨垂直并接触良好，且不会碰撞。忽略金属导轨的电阻，重力加速度为 g。

(1) 锁定水平导轨上的 cd 棒，闭合开关，ab 棒静止在倾斜导轨上，求通过 ab 棒的电流；断开开关，同时解除 cd 棒的锁定，当 ab 棒下滑距离为 x_0 时，cd 棒开始运动，求 cd 棒从解除锁定到开始运动过程中产生的焦耳热；

(2) 此后 ab 棒在下滑过程中电流达到稳定，求此时 ab 棒与 cd 棒速度大小之差；

(3) ab 棒中电流稳定之后继续下滑，从 ab 棒运动到水平导轨开始计时，t_1 时刻 cd 棒速度为 0，加速度不为 0；此后某时刻 cd 棒的加速度为 0，速度不为 0，求从开始到 cd 棒加速度为 0 时刻，ab 棒与 cd 的路程之差。



答案 (1)$\frac{mg}{2BL}$，$\frac{1}{4}mgx_0-\frac{m^3g^2R^2}{16B^4L^4}$　(2)$\frac{3mgR}{4B^2L^2}$　(3)$\Delta s=\frac{3mgRt_1}{4B^2L^2}+\frac{m^2gR^2}{4B^4L^4}$

解析 双棒切割

(1) ① ab 棒静止在倾斜导轨上，有 $BI_{ab}L=mg\sin\theta$　得 $I_{ab}=\frac{mg}{2BL}$

②断开开关，两棒构成一个回路，当 cd 棒开始运动时，有 $BIL=\mu mg$

由闭合回路欧姆定律得 $BLv=2IR$　得 $v=\frac{mgR}{2B^2L^2}$

由能量守恒得 $mgx_0\sin30°=\frac{1}{2}mv^2+Q_{总}$　得 $Q_{cd}=\frac{1}{2}Q_{总}=\frac{1}{4}mgx_0-\frac{m^3g^2R^2}{16B^4L^4}$

(2) 设 ab 棒与 cd 棒速度大小之差为 Δv，cd 棒向左运动而产生反电动势，

故总电动势 $BL\Delta v=2IR$，$F_A=BIL=\frac{B^2L^2\Delta v}{2R}$

当电流达到稳定时 Δv 不变，故两棒的加速度不变，有 $mg\sin\theta-F_A=F_A-\mu mg$　得 $\Delta v=\frac{3mgR}{4B^2L^2}$

(3) 设 0 时刻 ab 棒的速度为 v_{10}（方向向右），cd 棒的速度为 $v_{20}=v_{10}-\Delta v$（方向向左），

① t_1 时刻前，两棒受到的合外力（$F_A+\mu mg$）相等，故 0~t_1 过程 ab、cd 棒系统动量守恒，有

$mv_1-mv_2=mv_{10}-mv_{20}$　即该过程中任意时刻都有 $v_1-v_2=\Delta v$，故该过程两棒路程差 $\Delta s_1=\Delta vt_1$

② t_1 时刻时，ab 棒速度即为 $\Delta v=\frac{3mgR}{4B^2L^2}$，之后 cd 棒受到向右的安培力而向右运动，

设 t_2 时刻 cd 棒加速度为 0，此时 ab、cd 棒速度分别设为 v_{12} 和 v_{22}，

对 cd 棒有 $\mu mg=BIL=\frac{B^2L^2(v_{12}-v_{22})}{2R}$　得 $v_{12}-v_{22}=\frac{2\mu mgR}{B^2L^2}$

设 $t_1\sim t_2$ 过程中的某时刻 ab、cd 棒速度分别为 v_1 和 v_2，有 $E=BIL(v_1-v_2)$，$F_A=BIL=\dfrac{B^2L^2(v_1-v_2)}{2R}$，

对 ab 棒由动量定理得　　$\sum -F_A\Delta t-\mu mg(t_2-t_1)=mv_{12}-m\Delta v$

同理对 cd 棒由动量定理得　　$\sum F_A\Delta t-\mu mg(t_2-t_1)=mv_{22}-0$

其中 $\sum F_A\Delta t=\sum\dfrac{B^2L^2(v_1-v_2)}{2R}\Delta t=\dfrac{B^2L^2}{2R}\Delta s_2$　（Δs_2 为相对位移）

联立可得 $\dfrac{B^2L^2}{R}\Delta s_2=mv_{22}-mv_{12}+m\Delta v=m(-\dfrac{2\mu mgR}{B^2L^2})+m\Delta v$

得 $\Delta s_2=-\dfrac{2\mu m^2gR^2}{B^4L^4}+\dfrac{mR\Delta v}{B^2L^2}=\dfrac{m^2gR^2}{4B^4L^4}$

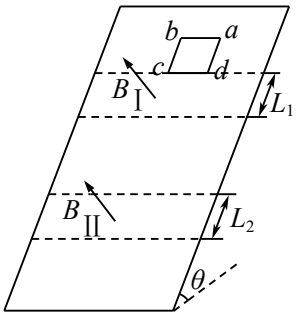
故路程之差 $\Delta s=\Delta s_1+\Delta s_2=\dfrac{3mgRt_1}{4B^2L^2}+\dfrac{m^2gR^2}{4B^4L^4}$

46. [2025 · 福建卷]光滑斜面倾角为 $\theta=30°$，Ⅰ区域与Ⅱ区域均存在垂直斜面向外的匀强磁场，两区磁感应强度大小相等。正方形线框 $abcd$ 质量为 m，总电阻为 R，由同种材料制成且粗细均匀，Ⅰ区域长为 L_1，Ⅱ区域长为 L_2，两区域间无磁场的区域长度大于线框边长。线框从某一位置释放，从 cd 边进入Ⅰ区域到 ab 边离开Ⅰ区域的过程中速度均为 v，cd 边进入Ⅱ区域时的速度和 ab 边离开Ⅱ区域时的速度一致，则：

(1) 求线框释放时 cd 边与Ⅰ区域上边缘的距离；

(2) 求 cd 边进入Ⅰ区域时 cd 边两端的电势差；

(3) 求线框进入Ⅱ区域到完全离开过程中克服安培力做功的平均功率。



答案　(1)$\dfrac{v^2}{g}$　　(2)$\dfrac{3\sqrt{2mgRv}}{8}$　　(3)$L_2>L_1$ 时 $\overline{P}=\dfrac{mgv(L_1+L_2)}{4L_1}$；$L_2<L_1$ 时 $\overline{P}=\dfrac{mgv(L_1+L_2)}{4L_2}$

解析　(1) 线框从释放到 cd 边进入Ⅰ区域，由动能定理 $mgS\sin\theta=\dfrac{1}{2}mv^2$　　得 $S=\dfrac{v^2}{g}$

(2) 线框从 cd 边进入Ⅰ区域到 ab 边离开Ⅰ区域的过程中做匀速直线运动，故线框边长即为 L_1，设磁感应强度大小为 B，有 $mg\sin\theta=BIL_1$，$I=\dfrac{E}{R}$，$E=BL_1v$　　得 $\dfrac{B^2L_1^2v}{R}=mg\sin\theta$

cd 边进入Ⅰ区域时，cd 相当于电源，c 端为电源正极，故 cd 两端电势差 $U=\dfrac{E}{R}\times\dfrac{3}{4}R=\dfrac{3}{4}E$

即 $U=\dfrac{3}{4}BL_1v=\dfrac{3}{4}v\sqrt{\dfrac{mgR\sin\theta}{v}}=\dfrac{3\sqrt{2mgRv}}{8}$

(3) 线框在两区域间无磁场的区域中做匀加速运动，设 cd 边进入Ⅱ区域时的速度为 v_1，则有 $v_1>v$，故 $\dfrac{B^2L_1^2v_1}{R}>\dfrac{B^2L_1^2v}{R}=mg\sin\theta$，即线框进入Ⅱ区域过程中会经历一段减速过程。

线框从进入Ⅱ区域到完全离开过程，

由动能定理得 $mg(L_1+L_2)\sin\theta-W_{安}=0-0$　　得 $W_{安}=\dfrac{1}{2}mg(L_1+L_2)$

沿斜面方向，由动量定理得 $mg\sin\theta\cdot t-\sum F_{安}\Delta t=0-0$

其中安培力冲量大小 $\sum F_{安}\Delta t=\sum\frac{B^2L_1^2v_t}{R}\Delta t=\frac{B^2L_1^2}{R}x=\frac{mgx}{2v}$，$x$ 为切割时的总位移。

①若 $L_2>L_1$，则 $x=2L_1$，得 $t=\frac{\frac{mg}{2v}\cdot 2L_1}{mg\sin\theta}=\frac{2L_1}{v}$　　得 $\overline{P}=\frac{W_{安}}{t}=\frac{mgv(L_1+L_2)}{4L_1}$

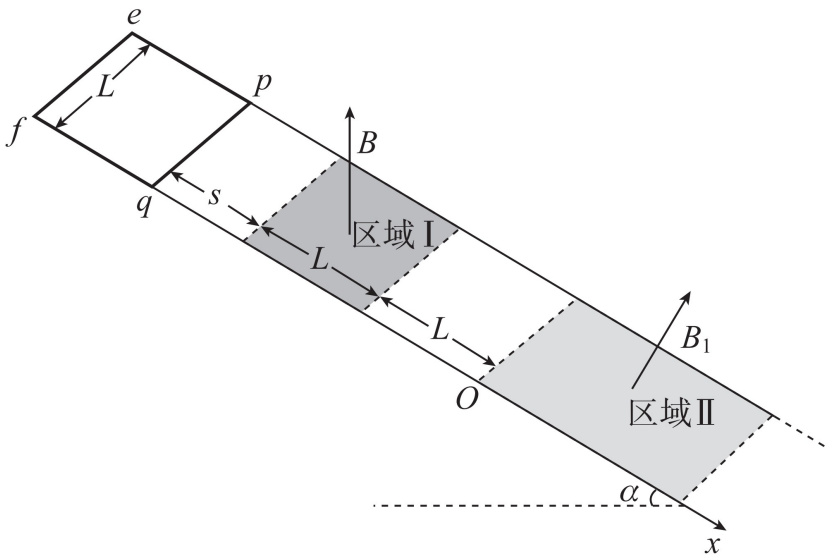
②若 $L_2=L_1$，则线框在通过Ⅱ区域过程中一直减速或先减速后匀速，完全离开时速度不再为 v_1，故该情况不符合题意，舍去。

③若 $L_2<L_1$，则 $x=2L_2$，得 $t=\frac{2L_2}{v}$　　得 $\overline{P}=\frac{W_{安}}{t}=\frac{mgv(L_1+L_2)}{4L_2}$

47. [2025·山东卷]如图所示，平行轨道的间距为 L，轨道平面与水平面夹角为 α，二者的交线与轨道垂直，以轨道上 O 点为坐标原点，沿轨道向下为 x 轴正方向建立坐标系。轨道之间存在区域Ⅰ、Ⅱ，区域Ⅰ（$-2L\leqslant x<-L$）内充满磁感应强度大小为 B、方向竖直向上的匀强磁场；区域Ⅱ（$x\geqslant 0$）内充满方向垂直轨道平面向上的磁场，磁感应强度大小 $B_1=k_1t+k_2x$，k_1 和 k_2 均为大于零的常量，该磁场可视为由随时间 t 均匀增加的匀强磁场和随 x 轴坐标均匀增加的磁场叠加而成。将质量为 m、边长为 L、电阻为 R 的匀质正方形闭合金属框 $epqf$ 时放置在轨道上，pq 边与轨道垂直，由静止释放。已知轨道绝缘、光滑、足够长且不可移动，磁场上、下边界均与 x 轴垂直，整个过程中金属框不发生形变，重力加速度大小为 g，不计自感。

(1) 若金属框从开始进入到完全离开区域Ⅰ的过程中匀速运动，求金属框匀速运动的速率 v 和释放时 pq 边与区域Ⅰ上边界的距离 s；

(2) 金属框沿轨道下滑，当 ef 边刚进入区域Ⅱ时开始计时（$t=0$），此时金属框的速率为 v_0，若 $k_1=\frac{mgR\sin\alpha}{k_2L^4}$，求从开始计时到金属框达到平衡状态的过程中，$ef$ 边移动的距离 d。



答案 (1)$v=\frac{mgR\tan\alpha}{B^2L^2\cos\alpha}$，$s=\frac{m^2gR^2\sin\alpha}{2B^4L^4\cos^4\alpha}$　(2)$d=\frac{mRv_0}{k_2^2L^4}$

解析 (1) 金属框从开始进入到完全离开区域Ⅰ的过程中，金属框只有一条边切割磁感线，感应电动势 $E=BLv\cos\alpha$，则 $I=\frac{E}{R}$，金属框受到水平向左的安培力 $F_A=BIL=\frac{B^2L^2v\cos\alpha}{R}$，

由匀速可知 $mg\sin\alpha = F_A\cos\alpha$　　得 $v = \dfrac{mgR\sin\alpha}{B^2L^2\cos^2\alpha}$

由动能定理 $mgs\sin\alpha = \dfrac{1}{2}mv^2$　　得 $s = \dfrac{m^2gR^2\sin\alpha}{2B^4L^4\cos^4\alpha}$

(2) 设 t 时刻线框速度为 v，动生电动势 $E_{动} = B_{下}Lv - B_{上}Lv = \Delta BLv = k_2vL^2$，感生电动势 $E_{感} = k_1L^2$

故总电动势 $E = E_{动} + E_{感} = (k_2v + k_1)L^2$，电流 $I = \dfrac{E}{R}$，

线框 pq 边受到沿轨道向上的安培力 $F_1 = B_{1下}IL$，线框 ef 边受到沿轨道向下的安培力 $F_2 = B_{1上}IL$，

故线框受到总安培力 $F = F_1 - F_2 = B_{1下}IL - B_{1上}IL = k_2L \cdot IL = \dfrac{k_2(k_2v + k_1)L^4}{R}$，

对线框有 $F - mg\sin\alpha = ma$　　得 $a = \dfrac{k_2^2L^4v}{mR}$，当 $a = 0$ 时线框达到稳定，得 $v = 0$

即在区域Ⅱ线框做加速度减小的减速运动，最终减速到 0 时恰好合力为 0。

由动量定理得 $\sum -ma\Delta t = 0 - mv_0$　　得 $\sum \dfrac{k_2^2L^4v}{R}\Delta t = mv_0$

故 $d = \sum v\Delta t = \dfrac{mRv_0}{k_2^2L^4}$

48. **[202501 浙江卷]** 如图所示，接有恒流源的正方形线框边长 $\sqrt{2}L$、质量 m、电阻 R，放在光滑水平地面上，线框部分处于垂直地面向下、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。以磁场边界 CD 上一点为坐标原点，水平向右建立 Ox 轴，线框中心和一条对角线始终位于 Ox 轴上。开关 S 断开，线框保持静止，不计空气阻力。

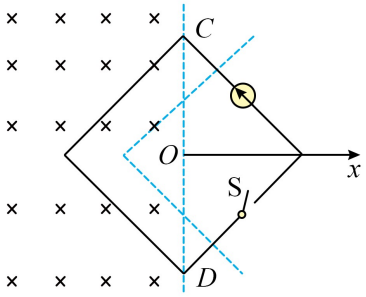
(1) 线框中心位于 $x=0$，闭合开关 S 后，线框中电流大小为 I，求

①闭合开关 S 瞬间，线框受到的安培力大小；

②线框中心运动至 $x=L/2$ 过程中，安培力做功及冲量；

③线框中心运动至 $x=L/2$ 时，恒流源提供的电压；

(2) 线框中心分别位于 $x=0$ 和 $x=L/2$，闭合开关 S 后，线框中电流大小为 I，线框中心分别运动到 $x=L$ 所需时间分别为 t_1 和 t_2，求 t_1-t_2。



答案 (1) ① $F_A=2ILB$　② $W=\frac{3}{4}IBL^2$，$I_F=\sqrt{\frac{3IBm}{2}}L$　③ $U=BL^2\sqrt{\frac{3IB}{2m}}+IR$　(2) $t_1-t_2=0$

解析 (1) ①等效长度 $l=2L$，故安培力 $F_A=IlB=2ILB$

②线框运动到 x 时，等效长度 $l=2(L-x)$，故此时安培力 $F_A=2IB(L-x)$ 与 x 成线性关系，

故安培力做功 $W=\bar{F}\cdot\frac{L}{2}=\frac{2IBL+2IB\frac{L}{2}}{2}\cdot\frac{L}{2}=\frac{3}{4}IBL^2$

（另解：类比简谐运动，回复力 $F_A=2IB(L-x)=2IBx'=kx'$，即 $k=2IB$，

故 $W=\Delta E_p=\frac{1}{2}k\left[L^2-\left(\frac{L}{2}\right)^2\right]=\frac{3}{4}IBL^2$）

由动能定理 $W=\frac{1}{2}mv^2$　　得 $v=\sqrt{\frac{3IB}{2m}}L$

由动量定理 $I_F=mv$　　得 $I_F=\sqrt{\frac{3IBm}{2}}L$

③恒流源提供的电压，一部分施加在电阻上，一部分用于抵消反电动势，即有

$U=BLv+IR=BL^2\sqrt{\frac{3IB}{2m}}+IR$

（另解：总电动势等于电阻两端电压，$U-Blv=IR$；或能量守恒 $UI=BLvI+I^2R$）

(2) 类比简谐运动，回复力 $F_A=2IB(L-x)=2IBx'=kx'$，即 $k=2IB$，两次情景的 k 相同，故周期 T 一样，且都是从速度为 0 处（即最大振幅处）到达平衡位置，所以 $t_1=t_2=\frac{T}{4}$，即 $t_1-t_2=0$

（周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\frac{m}{2IB}}$，故 $t_1=t_2=\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{2IB}}$，即 $t_1-t_2=0$）

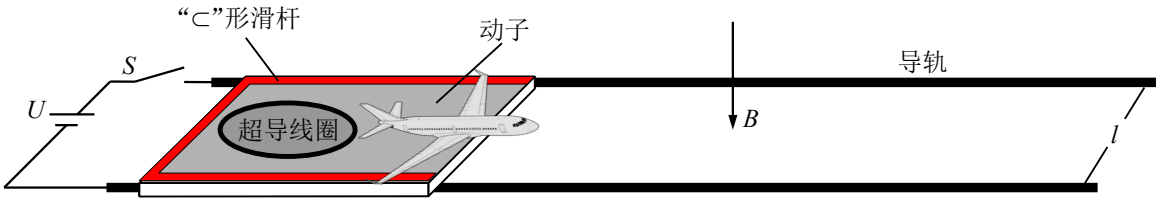
49. **[202506 浙江卷]** 如图所示，某兴趣小组设计了一新型两级水平电磁弹射系统。第一级由间距为 l 的水平金属导轨、可在导轨上滑行的导电动子、输出电压恒为 U 的电源和开关 S 组成，由此构成的回路总电阻为 R_1；第二级由固定在动子上间距也为 l 的导电“⊂”形滑杆、锁定在滑杆上可导电的模型飞机组成，由此构成的回路总电阻为 R_2。另外在第二级回路内固定一超导线圈，它与第一、第二两级回路三者彼此绝缘。导轨间存在方向竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。接通开关 S，动子从静止开始运动，所受阻力与其速度成正比，比例系数为 k。当动子运动距离为 x_m 时（可视为已匀速），立即断开 S，在极短时间内实现下列操作：首先让超导线圈通上大电流，产生竖直方向的强磁场，在第二级回路中产生磁通量 Φ；再让超导线圈断开，磁场快速消失，同时解锁飞机，对飞机实施第二次加速，飞机起飞。已知动子及安装其上所有装备的总质量为 M，其中飞机质量为 m，在运动过程中，动子始终与导轨保持良好接触，忽略导轨电阻。

(1) 求动子在接通 S 瞬间受力的大小；

(2) 求第一级弹射过程中动子能达到的最大速度 v_m；

(3) 求第一级弹射过程中电源输出的总能量 W；

(4) 判断超导线圈中电流方向（俯视），并求飞机起飞时的速度大小。



答案 (1) $\frac{BUl}{R_1}$　(2) $v_m=\frac{BUl}{B^2l^2+kR_1}$　(3) $W=\frac{kUx_m}{Bl}+\frac{MU^2}{B^2l^2+kR_1}$　(4) 顺时针、$v=\frac{Bl\Phi}{mR_2}+\frac{BUl}{B^2l^2+kR_1}$

解析 (1) 接通 S 瞬间，动子速度 $v=0$，此时所受阻力为零，回路中没有感应电动势，则 $I_1=\frac{U}{R_1}$，

动子只受安培力 $F=BI_1l=\frac{BUl}{R_1}$

(2) 当动子达到最大速度 v_m 时，回路电流 $I_2=\frac{U-Blv_m}{R_1}$；

动子二力平衡，有 $BI_2l=kv_m$

得最大速度 $v_m=\frac{BUl}{B^2l^2+kR_1}$

(3) 第一级弹射过程，对动子由动量定理得

$Blq-\sum kv\Delta t=Mv_m$　　其中 $\sum v\Delta t=x_m$　　得 $q=\frac{kx_m+Mv_m}{Bl}$

故 $W=Uq=\frac{kUx_m}{Bl}+\frac{MU^2}{B^2l^2+kR_1}$

(4) 假设超导线圈中电流方向（俯视）为顺时针，则产生竖直向下的强磁场。超导线圈断开时，磁场快速消失，由楞次定律可知第二级回路中产生顺时针的感应电流，则解锁后的飞机在磁场 B 中受到水平向右的安培力，从而实现第二次加速，故假设正确。

在极短时间 Δt 内，第二级回路中产生的感应电动势大小 $E=\frac{\Phi-0}{\Delta t}$，感应电流 $I=\frac{E}{R_2}=\frac{\Phi}{R_2\Delta t}$

对飞机，由动量定理得 $BIl\Delta t=mv-mv_m$　（阻力冲量 $-kv\Delta t=-k\Delta x\to 0$，可忽略）

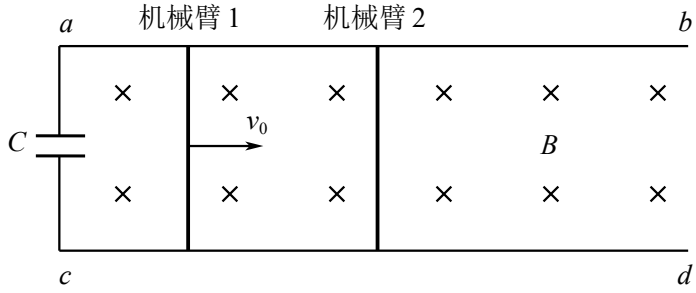
得 $v=\frac{Bl\Phi}{mR_2}+v_m=\frac{Bl\Phi}{mR_2}+\frac{BUl}{B^2l^2+kR_1}$

50. [2025 · 甘肃卷]在自动化装配车间，常采用电磁驱动的机械臂系统。如图，ab、cd为两条足够长的光滑平行金属导轨，间距为L，电阻忽略不计。导轨置于磁感应强度大小为B，方向垂直纸面向里的匀强磁场中。导轨上有与之垂直并接触良好的金属机械臂1和2，质量均为m，电阻均为R。导轨左侧接有电容为C的电容器。初始时刻，机械臂1以初速度v_0向右运动，机械臂2静止。运动过程中两机械臂不发生碰撞。系统达到稳定状态后，电流为零，两机械臂速度相同。

(1) 求初始时刻机械臂1产生的感应电动势大小及感应电流方向。

(2) 系统达到稳定状态前，若机械臂1和2中的电流分别为I_1和I_2，写出两机械臂各自所受安培力的大小；若电容器两端电压为U，写出电容器所带电荷量的表达式。

(3) 求系统达到稳定状态后两机械臂的速度。若要两机械臂不相撞，二者在初始时刻的间距至少为多少？



答案 (1)BLv_0，方向向上　(2)BI_1L，BI_2L，$Q=CU$　(3)$v=\frac{mv_0}{2m+CB^2L^2}$，$\frac{mv_0R}{B^2L^2}$

解析 电动机模型、安培力冲量

(1)$E=BLv_0$，由右手定则可知感应电流方向向上。

(2)$F_1=BI_1L$，$F_2=BI_2L$，$Q=CU$

(3) 稳定前，机械臂1相当于电源，同时给电容和机械臂2供电；机械臂2相当于电动机，两端输入功率等于焦耳功率和机械功率。任意时刻电容的充电电流等于I_1-I_2。

设稳定后两机械臂的速度为v，此时电流为零，电容两端电压等于感应电动势，即$U=BLv$，电容最终带电量$q=CU=CBLv$。

分别对两机械臂，由动量定理得

$\sum -BI_1L\Delta t=mv-mv_0$　其中通过机械臂1的电荷量$q_1=\sum I_1\Delta t$

$\sum BI_2L\Delta t=mv-0$　其中通过机械臂2的电荷量$q_2=\sum I_2\Delta t$

即$-BLq_1=mv-mv_0$，$BLq_2=mv$，又$q=q_1-q_2$

得$q_1+q_2=\frac{mv_0}{BL}$，$v=\frac{mv_0}{2m+CB^2L^2}$，方向水平向右。

机械臂1(电源)的路端电压等于机械臂2(电动机)的输入电压，有$BLv_1-I_1R=BLv_2+I_2R$

即$v_1-v_2=\frac{R}{BL}(I_1+I_2)$　两边求和得$\sum(v_1-v_2)\Delta t=\sum\frac{R}{BL}(I_1+I_2)\Delta t=\frac{R}{BL}(q_1+q_2)$

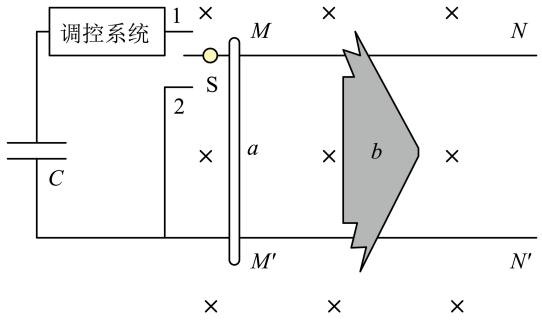
故相对位移$x=\sum(v_1-v_2)\Delta t=\frac{mv_0R}{B^2L^2}$

51. [2025 · 河北卷]某电磁助推装置设计如图，超级电容器经调控系统为电路提供 1000 A 的恒定电流，水平固定的平行长直导轨处于垂直水平面的匀强磁场中，a 可视为始终垂直导轨的导体棒，b 为表面绝缘的无人机。初始时 a 静止于 MM' 处，b 静止于 a 右侧某处。现将开关 S 接 1 端，a 与 b 正碰后锁定并一起运动，损失动能全部储存为弹性势能。当 a 运行至 NN' 时将 S 接 2 端，同时解除锁定，所储势能瞬间全部转化为动能，a 与 b 分离。已知电容器电容 C 为 10 F，导轨间距为 0.5 m，磁感应强度大小为 1 T，MM' 到 NN' 的距离为 5 m，a、b 质量分别为 2 kg、8 kg，a 在导轨间的电阻为 0.01 Ω。碰撞、分离时间极短，各部分始终接触良好，不计导轨电阻、摩擦和储能耗损，忽略电流对磁场的影响。

(1) 若分离后某时刻 a 的速度大小为 10 m/s，求此时通过 a 的电流大小。

(2) 忽略 a、b 所受空气阻力，当 a 与 b 的初始间距为 1.25 m 时，求 b 分离后的速度大小，分析其是否为 b 能够获得的最大速度；并求 a 运动过程中电容器的电压减小量。

(3) 忽略 a 所受空气阻力，若 b 所受空气阻力大小 f 与其速度 v 的关系为 $f=kv^2(k=0.025\ \mathrm{N\cdot s^2/m^2})$，$b$ 初始位置与 (2) 问一致，试估算 a 运行至 NN' 时，a、b 分离前的速度大小能否达到 (2) 问中分离前速度的 99%，并给出结论。$(0.99^2=0.9801)$



答案 (1)500 A　(2)$v_{b1}=25$m/s，是，$\Delta U=40$ V　(3) 能，见解析

解析 (1) 分离后 a 切割磁感线有 $E=BLv$　则通过 a 的电流 $I=\dfrac{E}{R}$　得 $I=\dfrac{BLv}{R}=500$ A

(2) 从 a 静止释放到 a、b 碰前，有 $BILx_1=\dfrac{1}{2}m_av_1^2$　得 $v_1=25$ m/s

a、b 碰撞过程由动量守恒、能量守恒得 $\begin{cases}m_av_1=(m_a+m_b)v_2\\ \dfrac{1}{2}m_av_1^2=\dfrac{1}{2}(m_a+m_b)v_2^2+E_p\end{cases}$　得 $\begin{cases}v_2=5\ \mathrm{m/s}\\ E_p=500\ \mathrm{J}\end{cases}$

碰后 a、b 一起运动至 NN'，有 $BILx_2=\dfrac{1}{2}(m_a+m_b)v_3^2-\dfrac{1}{2}(m_a+m_b)v_2^2$　得 $v_3=20$ m/s

a、b 分离过程由动量守恒、能量守恒得 $\begin{cases}(m_a+m_b)v_3=m_av_4+m_bv_5\\ \dfrac{1}{2}(m_a+m_b)v_3^2+E_p=\dfrac{1}{2}m_av_4^2+\dfrac{1}{2}m_bv_5^2\end{cases}$　得 $\begin{cases}v_4=0\\ v_5=25\ \mathrm{m/s}\end{cases}$

故 b 分离后的速度大小 $v_5=25$ m/s。

从 a 静止释放到 a、b 分离整个过程中，安培力做功转化为 a、b 系统的机械能，即 $BILx=\dfrac{1}{2}m_av_4^2+\dfrac{1}{2}m_bv_5^2$，由于安培力做功为一定值，故 $v_4=0$ 时 v_5 有最大值，即 $v_5=25$ m/s 是 b 能够获得的最大速度。

对 a、b 系统，整个过程由动量定理 $BIL\Delta t=m_av_4+m_bv_5$　其中 $q=I\Delta t$　得 $q=400$ C

故 a 运动过程中电容器的电压减小量 $\Delta U=\dfrac{q}{C}=40$ V

(3) 从 a、b 碰后一起运动至 NN' 过程，由于 b 受空气阻力，故末速度 v_3' 必小于 v_3，故该过程中始终有 $f<kv_3^2$，如果 b 所受阻力大小取 $f_m=kv_3^2=10$ N

由动能定理得 $BILx_2 - f_m x_2 = \frac{1}{2}(m_a + m_b)v_3'^2 - \frac{1}{2}(m_a + m_b)v_2^2$　　得 $v_3'^2 = 392.5\ \mathrm{m^2/s^2}$

由于 $(0.99v_3)^2 = 0.9801v_3^2 = 392.04 < v_3'^2$，故 $v_3' > v_3$，即能达到 (2) 问中分离前速度的 99%。

52. [2025 · 北京卷]北京谱仪是北京正负电子对撞机的一部分，它可以利用带电粒子在磁场中的运动测量粒子的质量、动量等物理量。

考虑带电粒子在磁感应强度为 B 的匀强磁场中的运动，且不计粒子间相互作用。

(1) 一个电荷量为 q_0 的粒子的速度方向与磁场方向垂直，推导得出粒子的运动周期 T 与质量 m 的关系。

(2) 两个粒子质量相等、电荷量均为 q，粒子 1 的速度方向与磁场方向垂直，粒子 2 的速度方向与磁场方向平行。在相同的时间内，粒子 1 在半径为 R 的圆周上转过的圆心角为 θ，粒子 2 运动的距离为 d。求：

a. 粒子 1 与粒子 2 的速度大小之比 $v_1 : v_2$；

b. 粒子 2 的动量大小 p_2。

答案　(1)$T = \frac{2\pi}{q_0 B}m$　　(2)a. $v_1 : v_2 = (\theta R) : d$；　　b. $\frac{qBd}{\theta}$

解析　(1) 粒子做匀速圆周运动，有 $q_0 vB = \frac{mv^2}{R}$　　得 $R = \frac{mv}{q_0 B}$

故圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{q_0 B}$

(2)a. 粒子 1 做匀速圆周运动，线速度 $v_1 = \omega R = \frac{\theta}{t}R$；粒子 2 做匀速直线运动，速度 $v_2 = \frac{d}{t}$

所以速度之比 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{\theta R}{t}}{\frac{d}{t}} = \frac{\theta R}{d}$

b. 对粒子 1，由 $qv_1 B = \frac{mv_1^2}{R}$　　得 $v_1 = \frac{qBR}{m}$

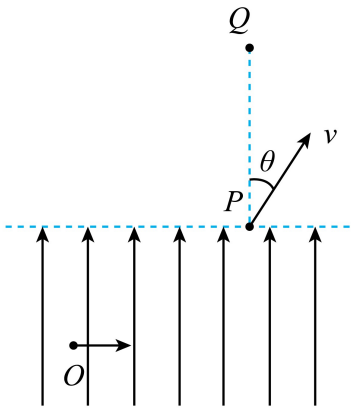
故粒子 2 的动量 $p_2 = mv_2 = m \cdot \frac{d}{\theta R}v_1 = \frac{qBd}{\theta}$

53. [2025 · 天津卷]如图所示，纸面内水平虚线下方存在竖直向上的匀强电场，虚线上方存在垂直于纸面的匀强磁场。一质量为 m、电荷量为 q 的粒子从电场中的 O 点以水平向右的速度开始运动，在静电力的作用下从 P 点进入磁场，射入磁场时的速度大小为 v、方向与竖直方向夹角为 θ，粒子返回电场前的运动轨迹过 P 点正上方的 Q 点，P、Q 间距离及 O、P 间的水平距离均为 L。不计粒子重力。

(1) 判断粒子的电性；

(2) 求电场强度大小 E；

(3) 求磁感应强度大小 B。



答案 (1) 正电　(2)$E=\dfrac{mv^2\sin\theta\cos\theta}{qL}$　(3)$B=\dfrac{2mv\sin\theta}{qL}$

解析 (1)粒子向上偏转，所受电场力向上，与电场方向相同，则粒子带正电。

(2)设粒子在电场中运动的时间为 t，则

$$\begin{cases}\text{水平方向有}\quad L=vt\sin\theta\\ \text{竖直方向有}\quad v\cos\theta=at=\dfrac{qE}{m}t\end{cases}\qquad \text{得 } E=\frac{mv^2\sin\theta\cos\theta}{qL}$$

(3)由几何关系得粒子在磁场中做圆周运动的轨迹半径 $r=\dfrac{L}{2\sin\theta}$

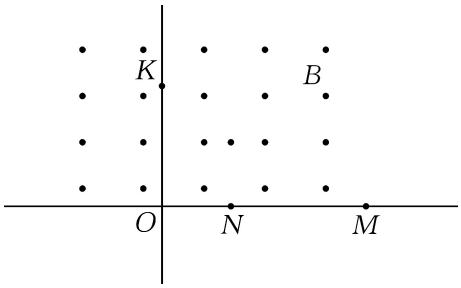
由洛伦兹力提供向心力得 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$　得 $B=\dfrac{2mv\sin\theta}{qL}$

54. [2025 · 重庆卷]某研究小组设计了一种通过观察粒子在荧光屏上打出的亮点位置来测量粒子速度大小的装置，如图所示，水平放置的荧光屏上方有磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外的匀强磁场。O、N、M 均为荧光屏上的点，且在纸面内的同一直线上。发射管 K(不计长度) 位于 O 点正上方，仅可沿管的方向发射粒子，一端发射带正电粒子，另一端发射带负电粒子，同时发射的正、负粒子速度大小相同、方向相反，比荷均为 $\frac{q}{m}$。已知 $OK=3h$，$OM=3\sqrt{3}h$，不计粒子所受重力及粒子间相互作用。

(1) 若 K 水平发射的粒子在 O 点产生光点，求粒子的速度大小。

(2) 若 K 从水平方向逆时针旋转 $60°$，其两端同时发射的正、负粒子恰都能在 N 点产生光点，求粒子的速度大小。

(3) 要使 (2) 问中发射的带正电粒子恰好在 M 点产生光点，可在粒子发射 t 时间后关闭磁场，忽略磁场变化的影响，求 t。



答案 (1)$\frac{3qBh}{2m}$　(2)$\frac{2qBh}{m}$　(3)$\frac{2\pi m}{3qB}$

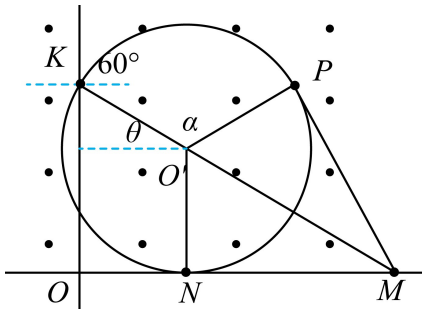
解析 (1) 由题意粒子水平发射后做匀速圆周运动，要在 O 点产生光点，其运动半径 $r=\frac{3h}{2}$

由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$　得 $v=\frac{qBr}{m}=\frac{3qBh}{2m}$

(2) 由于正、负粒子比荷相同，故两粒子的轨道半径相同，两粒子的轨迹处在同一个圆中。两粒子恰都能在 N 点产生光点，即轨迹圆正好与荧光屏相切于 N 点。

由于 K 从水平方向逆时针旋转 $60°$，则 $\theta=30°$，根据几何关系可知轨迹半径 $r_1=2h$，

由 $qv_1B=\frac{mv_1^2}{r_1}$　得 $v_1=\frac{qBr_1}{m}=\frac{2qBh}{m}$



(3) 关闭磁场时粒子速度应恰好指向 M，过 M 点做正电粒子轨迹的切线，切点为 P，如图所示。

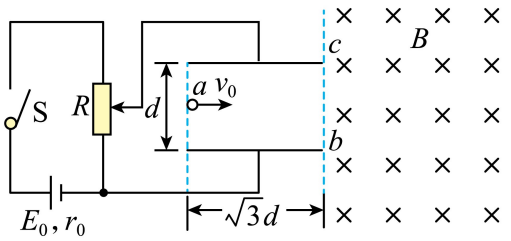
由几何关系可知 $\tan\angle KMO=\frac{OK}{OM}=\frac{1}{\sqrt{3}}$，即 $\angle KMO=30°$，$\angle PMO=60°$，故正粒子在 t 时间内速度方向偏转了 $\alpha=120°$。粒子在磁场中运动的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，故 $t=\frac{1}{3}T=\frac{2\pi m}{3qB}$

55. [2025 · 湖南卷]如图，直流电源的电动势为 E_0，内阻为 r_0，滑动变阻器 R 的最大阻值为 $2r_0$，平行板电容器两极板水平放置，板间距离为 d，板长为 $\sqrt{3}d$，平行板电容器的右侧存在方向垂直纸面向里的匀强磁场。闭合开关 S，当滑片处于滑动变阻器中点时，质量为 m 的带正电粒子以初速度 v_0 水平向右从电容器左侧中点 a 进入电容器，恰好从电容器下极板右侧边缘 b 点进入磁场，随后又从电容器上极板右侧边缘 c 点进入电容器，忽略粒子重力和空气阻力。

(1) 求粒子所带电荷量 q；

(2) 求磁感应强度 B 的大小；

(3) 若粒子离开 b 点时，在平行板电容器的右侧再加一个方向水平向右的匀强电场，场强大小为 $\frac{4\sqrt{3}E_0}{3d}$，求粒子相对于电容器右侧的最远水平距离 x_m。



答案 (1)$q=\frac{mv_0^2}{E_0}$　(2)$B=\frac{2E_0}{dv_0}$　(3)$\frac{(2+\sqrt{3})d}{2}$

解析 (1) 电容器两端电压 $U=\frac{r_0}{r_0+2r_0}E_0=\frac{1}{3}E_0$，

粒子在电容器中做类平抛运动，有 $\sqrt{3}d=v_0t$，$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$　其中 $a=\frac{qU}{md}$

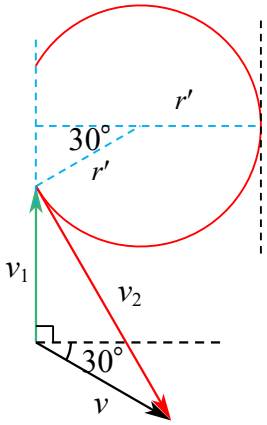
得 $q=\frac{mv_0^2}{E_0}$

(2) 设粒子经过 b 点时速度为 v，速度方向与水平方向的夹角为 θ，

则 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{at}{v_0}=2\times\frac{\frac{1}{2}at^2}{v_0t}=2\times\frac{\frac{d}{2}}{\sqrt{3}d}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，故 $\theta=30°$，$v=\frac{v_0}{\cos\theta}=\frac{2\sqrt{3}}{3}v_0$

在磁场中有 $qvB=\frac{mv^2}{r}$　其中有几何关系得 $r=\frac{d}{\sqrt{3}}$　得 $B=\frac{2mv_0}{qd}=\frac{2E_0}{dv_0}$

(3)配速法 将粒子在 b 点的速度分解，使竖直向上的分速度 v_1 产生的洛伦兹力刚好平衡电场力，如图所示，则由 $qv_1B=qE$ 得 $v_1=\frac{E}{B}=\frac{2\sqrt{3}}{3}v_0$。由于 v_1 与 v 大小相等，则由几何关系可知粒子在 B 点的另一个分速度 $v_2=\sqrt{3}v=2v_0$，方向与竖直方向夹角为 30°。



则粒子在平行板电容器右侧的运动可分解为速度为 v_1 的竖直向上的匀速直线运动和以速率为 v_2 的匀速圆周运动。

由圆周分运动得 $qv_2B=\frac{mv_2^2}{r'}$　得 $r'=d$

作出粒子圆周分运动的轨迹如图所示，由几何关系得

$x_m=r'\cos30°+r'=\frac{(2+\sqrt{3})d}{2}$

洛伦兹力冲量法 当粒子的速度方向竖直向上时，粒子相对于电容器右侧的水平距离最小，设此时速度大小为 v'，规定竖直向上为正方向，则对粒子从 b 点运动到该位置的

过程，在竖直方向上由动量定理得 $\sum qv_xB\Delta t = mv' - m(-v\sin 30°)$　即 $qBx_m = mv' + \frac{1}{2}mv$

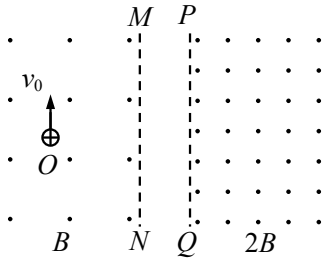
由动能定理得 $qEx_m = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv^2$　　联立得 $x_m = \frac{(2+\sqrt{3})d}{2}$

56. [2025 · 湖北卷]如图所示，两平行虚线 MN、PQ 间无磁场。MN 左侧区域和 PQ 右侧区域内均有垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小分别为 B 和 $2B$。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从 MN 左侧 O 点以大小为 v_0 的初速度射出，方向平行于 MN 向上。已知 O 点到 MN 的距离为 $\frac{3mv_0}{2qB}$，粒子能回到 O 点，并在纸面内做周期性运动。不计重力，求

(1) 粒子在 MN 左侧区域中运动轨迹的半径。

(2) 粒子第一次和第二次经过 PQ 时位置的间距。

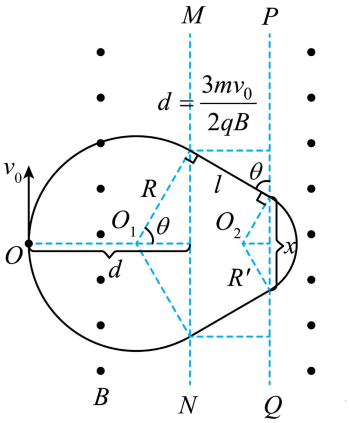
(3) 粒子的运动周期。



答案　(1)$R = \frac{mv_0}{qB}$　　(2)$x = \frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$　　(3)$T = \frac{5\pi m}{3qB} + \frac{\sqrt{3}m}{qB}$

解析　(1)$qv_0B = \frac{mv_0^2}{R}$　　得 $R = \frac{mv_0}{qB}$

(2) 粒子能回到 O 点，则粒子运动轨迹对称，如图所示。



O 到 MN 的距离为 $\frac{3mv_0}{2qB} = \frac{3}{2}R$，由几何关系得 $\theta = 60°$，粒子在中间无磁场区域做匀速直线运动，运动到 PQ 右侧后，粒子以 O_2 为圆心、R' 为半径做匀速圆周运动，由 $qv_0 \cdot 2B = \frac{mv_0^2}{R'}$ 得 $R' = \frac{1}{2}R$，由几何关系得在 PQ 右侧磁场中运动的轨迹所对的圆心角为 120°，则粒子第一次和第二次经过 PQ 时位置的间距 $x = 2R'\sin 60° = \frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$

(3) 由图可知粒子在左边磁场运动的时间 $t_1 = \frac{2}{3}T_1 = \frac{2}{3} \times \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{4\pi m}{3qB}$，

粒子在右边磁场运动的时间 $t_2 = \frac{1}{3}T_2 = \frac{1}{3} \times \frac{2\pi R'}{v_0} = \frac{\pi m}{3qB}$，

粒子在中间无磁场区域做匀速直线运动的时间 $t_3 = \frac{2(R-R')\tan 60°}{v_0} = \frac{\sqrt{3}m}{qB}$

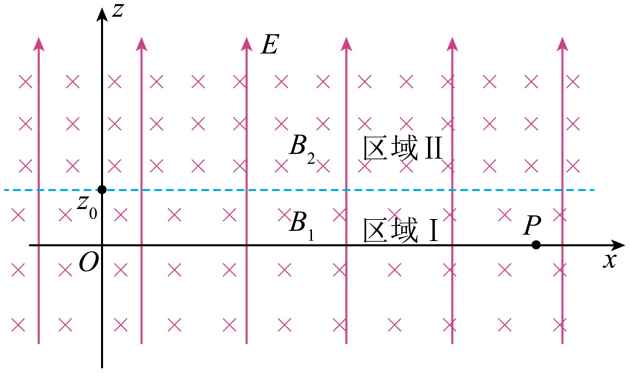
故运动周期 $T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{5\pi m}{3qB} + \frac{\sqrt{3}m}{qB}$

57. [2025 · 贵州卷]如图，建立直角坐标系 $O-xyz$，x 轴正方向水平向右，y 轴正方向垂直纸面向里（y 轴未画出），z 轴正方向竖直向上。空间中存在方向竖直向上的匀强电场，在 $z\leqslant z_0$ 的区域Ⅰ和 $z>z_0$ 的区域Ⅱ中均存在方向垂直纸面向里的匀强磁场，区域Ⅰ的磁感应强度大小为 B_1，区域Ⅱ的磁感应强度大小 B_2 未知。有一带正电荷的粒子，质量为 m、电荷量为 q，以速率 v 从 O 点沿 x 轴正方向射出后，在区域Ⅰ、Ⅱ中均可做匀速圆周运动，且恰好能经过 x 轴上的 P 点，P 点坐标为 $\left(\frac{16v^2}{5g},0,0\right)$。已知 $z_0=\frac{2v^2}{5g}$，$B_1=\frac{mg}{qv}$，g 为重力加速度。

(1) 求电场强度大小 E 及该粒子第一次经过 $z=z_0$ 平面时的位置对应的 x 坐标值；

(2) 求粒子从 O 点到 P 点的运动时间最短时区域Ⅱ的磁感应强度大小 B_2；

(3) 若仅将匀强电场的方向改为沿 y 轴正向，该粒子仍以速率 v 从 O 点沿 x 轴正方向射出，求该粒子的轨迹方程。

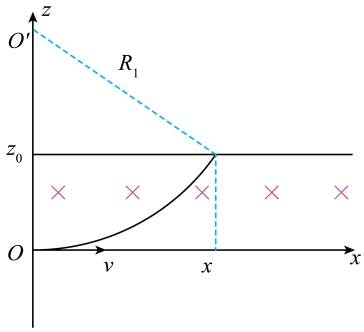


答案 (1)$E=\frac{mg}{q}$，$x=\frac{4v^2}{5g}$　(2)$B_2=\frac{3mg}{qv}$　(3)$y=\frac{gx^2}{2v^2}$

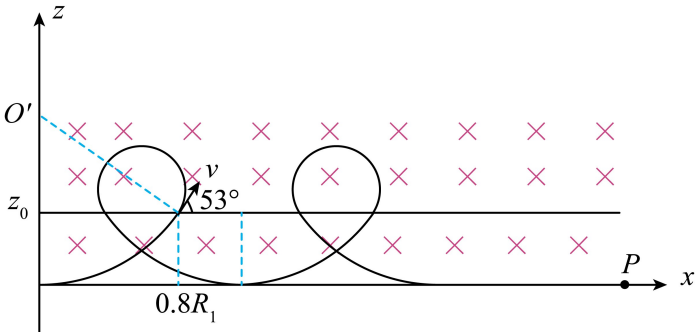
解析 (1) 由题意可知，粒子受到重力、洛伦兹力和电场力做匀速圆周运动，可以判断粒子受到的电场力与重力平衡，则有 $Eq=mg$　得 $E=\frac{mg}{q}$

粒子在区域Ⅰ中，有 $qvB_1=m\frac{v^2}{R_1}$　得 $R_1=\frac{v^2}{g}$

由几何关系得 $x^2+(R_1-z_0)^2=R_1^2$　得 $x=\frac{4v^2}{5g}$



(2) 粒子做匀速圆周运动，可能的运动轨迹如图所示



设粒子进入 B_2 磁场时速度方向与磁场分界面成 θ 角，由几何关系得 $\cos(90°-\theta)=\frac{x}{R_1}$

解得 $\theta=53°$

设粒子在 B_2 磁场中运动的轨道半径为 R_2，粒子从 O 点射出至第一次回到 x 轴上时，位移 $\Delta x=R_1\sin\theta-2R_2\sin\theta+R_1\sin\theta=2R_1\sin\theta-2R_2\sin\theta$

要达到 P 点，应满足 $\frac{16v^2}{5g}=n\Delta x\ (n=1,2,3,\cdots)$　　得 $R_2=R_1-\frac{2v^2}{ng}=\frac{(n-2)v^2}{ng}>0$

得 $n>2$，当取最小值即 $n=3$ 时，运动时间最短，此时 $R_2=\frac{v^2}{3g}$

由 $qvB_2=\frac{mv^2}{R_2}$　　得 $B_2=\frac{3mg}{qv}$

(3)O 点处恰有 $qv_1B_1=mg$，初始时 v 沿 x 轴正方向，电场力 qE 沿 y 轴正方向。此时由于电场力作用，将产生沿 y 轴正方向的分速度 v_y。又因为 v_y 与 B 同向，所以洛伦兹力仍为 qv_1B_1，粒子沿 z 轴方向合力仍为 0，故粒子将在 $z=0$ 平面做类平抛运动，有

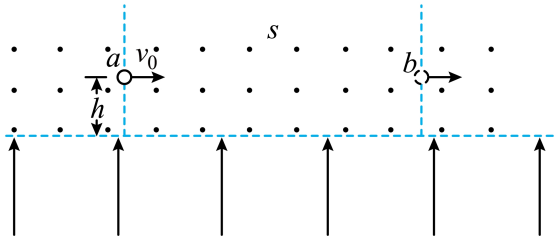
$y=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2,x=vt$　　得 $y=\frac{gx^2}{2v^2}$

58. [2025 · 河南卷]如图，水平虚线上方区域有垂直于纸面向外的匀强磁场，下方区域有竖直向上的匀强电场。质量为 m、带电量为 q（$q>0$）的粒子从磁场中的 a 点以速度 v_0 向右水平发射，当粒子进入电场时其速度沿右下方向并与水平虚线的夹角为 60°，然后粒子又射出电场重新进入磁场并通过右侧 b 点，通过 b 点时其速度方向水平向右。a、b 距水平虚线的距离均为 h，两点之间的距离为 $s=3\sqrt{3}h$。不计重力。

(1) 求磁感应强度的大小；

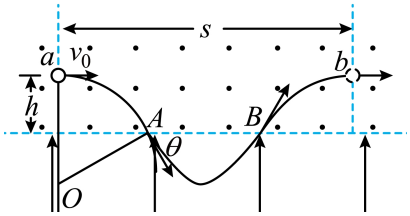
(2) 求电场强度的大小；

(3) 若粒子从 a 点以 v_0 竖直向下发射，长时间来看，粒子将向左或向右漂移，求漂移速度大小。（一个周期内粒子的位移与周期的比值为漂移速度）



答案　(1)$\frac{mv_0}{2qh}$　(2)$\frac{mv_0^2}{2qh}$　(3)$\frac{3\sqrt{3}}{6\sqrt{3}+8\pi}v_0$

解析　(1) 粒子的运动轨迹如图，由题意可知 $\theta=60°$



设粒子在磁场中做圆周运动的半径为 r，

由几何关系有 $r=r\cos\theta+h$　　得 $r=2h$

由 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{r}$　　得 $B=\frac{mv_0}{2qh}$

(2) 由对称性可知，粒子射出电场时，速度大小仍为 v_0，方向与水平虚线的夹角为 60°，

由几何关系可得 $AB=s-2r\sin\theta=3\sqrt{3}h-2\sqrt{3}h=\sqrt{3}h$

则粒子在电场中的运动时间为 $t=\frac{AB}{v_0\cos\theta}=\frac{2\sqrt{3}h}{v_0}$

沿电场方向有 $2v_0\sin\theta=at=\frac{qE}{m}t$　　得 $E=\frac{mv_0^2}{2qh}$

(3) 若粒子从 a 点以 v_0 竖直向下发射，粒子的运动轨迹如图，

由几何关系可得，粒子进入电场时速度与水平虚线的夹角 $\alpha=60°$，

由第 (2) 问粒子在电场中的运动时间为 $t_1=\frac{2\sqrt{3}h}{v_0}$，

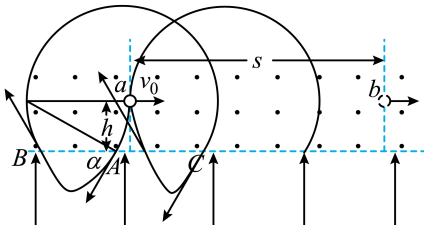
AB 间的距离为 $AB=\sqrt{3}h$

由几何关系可得 $BC=2r\sin\alpha=2\sqrt{3}h$

则 $AC=BC-AB=\sqrt{3}h$

粒子在磁场中的运动时间为 $t_2=\dfrac{360^\circ-2\alpha}{360^\circ}\cdot\dfrac{2\pi r}{v_0}=\dfrac{8\pi h}{3v_0}$

则有 $t=t_1+t_2=\dfrac{(6\sqrt{3}+8\pi)h}{3v_0}$



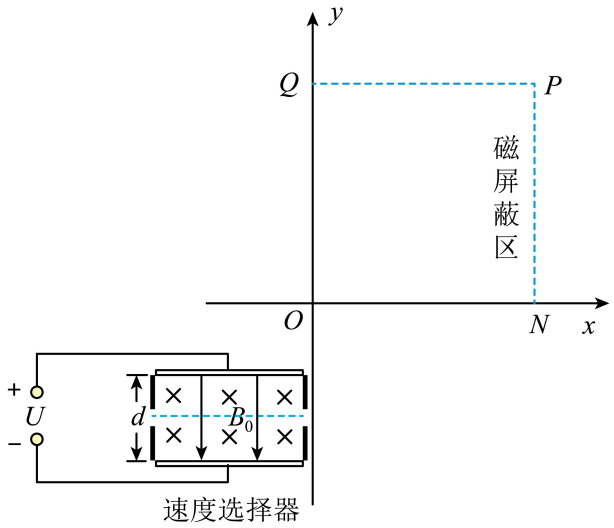
综上所述可知，粒子每隔时间 t 向右移动 $\sqrt{3}h$，则漂移速度大小 $v'=\dfrac{\sqrt{3}h}{t}=\dfrac{3\sqrt{3}}{6\sqrt{3}+8\pi}v_0$

59. [2025 · 云南卷]磁屏蔽技术可以降低外界磁场对屏蔽区域的干扰。如图所示，$x\geqslant 0$ 区域存在垂直 Oxy 平面向里的匀强磁场，其磁感应强度大小为 B_1（未知）。第一象限内存在边长为 $2L$ 的正方形磁屏蔽区 $ONPQ$，经磁屏蔽后，该区域内的匀强磁场方向仍垂直 Oxy 平面向里，其磁感应强度大小为 B_2（未知），但满足 $0<B_2<B_1$。某质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的带电粒子通过速度选择器后，在 Oxy 平面内垂直 y 轴射入 $x\geqslant 0$ 区域，经磁场偏转后刚好从 ON 中点垂直 ON 射入磁屏蔽区域。速度选择器两极板间电压 U、间距 d、内部磁感应强度大小 B_0 已知，不考虑该粒子的重力。

(1) 求该粒子通过速度选择器的速率；

(2) 求 B_1 以及 y 轴上可能检测到该粒子的范围；

(3) 定义磁屏蔽效率 $\eta=\dfrac{B_1-B_2}{B_1}\times 100\%$，若在 Q 处检测到该粒子，则 η 是多少？



答案 (1)$\dfrac{U}{B_0d}$　(2)$\dfrac{mU}{qdB_0L}$，$L<y<3L$　(3)60%

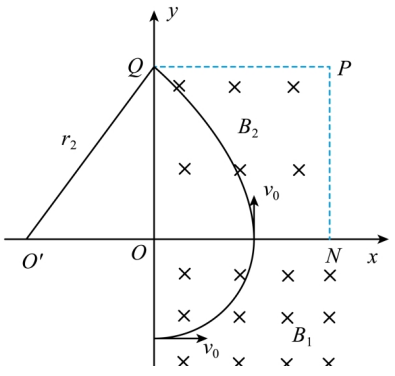
解析 (1)$qvB_0=qE=q\dfrac{U}{d}$　得 $v=\dfrac{U}{B_0d}$

(2)$qvB_1=m\dfrac{v^2}{r_1}$　其中 $r_1=L$　得 $B_1=\dfrac{mv}{qL}=\dfrac{mU}{qLB_0d}$

当 $B_2\approx B_1$ 时，y 轴上检测到的坐标为 $(0,L)$；

当 $B_2\approx 0$ 时，粒子在磁屏蔽区几乎直线运动，离开屏蔽区后做圆周运动，故 y 轴上检测到的坐标为 $(0,3L)$；

故 y 轴上可能检测到该粒子的范围为 $L<y<3L$



(3) 若在 Q 处检测到该粒子，轨迹如图所示。

由几何关系 $r_2^2=(2L)^2+(r_2-L)^2$　得 $r_2=\dfrac{5}{2}L$

由 $qvB_2=m\dfrac{v^2}{r_2}$　得 $B_2=\dfrac{2mv}{5qL}$

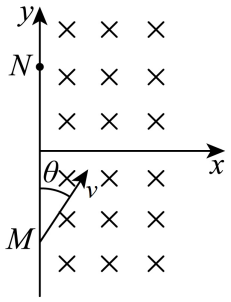
故 $\eta=\dfrac{B_1-B_2}{B_1}=1-\dfrac{B_2}{B_1}=1-\dfrac{2}{5}=60\%$

60. [2025 · 黑吉辽内卷]如图，在 xOy 平面第一、四象限内存在垂直平面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。一带正电的粒子从 $M(0,-y_0)$ 点射入磁场，速度方向与 y 轴正方向夹角 $\theta=30°$，从 $N(0,y_0)$ 点射出磁场。已知粒子的电荷量为 $q(q>0)$，质量为 m，忽略粒子重力及磁场边缘效应。

(1) 求粒子射入磁场的速度大小 v_1 和在磁场中运动的时间 t_1。

(2) 若在 xOy 平面内某点固定一负点电荷，电荷量为 $48q$，粒子质量取 $m=\dfrac{B^2y_0^3}{k}$（k 为静电力常量），粒子仍沿 (1) 中的轨迹从 M 点运动到 N 点，求射入磁场的速度大小 v_2。

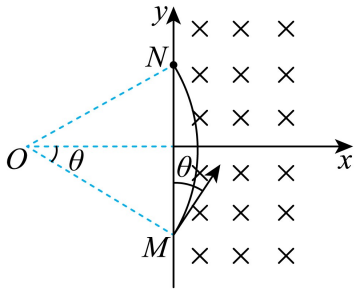
(3) 在 (2) 问条件下，粒子从 N 点射出磁场开始，经时间 t_2 速度方向首次与 N 点速度方向相反，求 t_2（电荷量为 Q 的点电荷产生的电场中，取无限远处的电势为 0 时，与该点电荷距离为 r 处的电势 $\varphi=\dfrac{kQ}{r}$）。



答案 (1)$\dfrac{2qBy_0}{m}$，$\dfrac{\pi m}{3qB}$　(2)$\dfrac{6kq}{By_0^2}$　(3)$\dfrac{2\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$

解析 开普勒第二、第三定律

(1) 作出正电荷在磁场中运动的轨迹，如图所示，由几何关系可知，



正电荷在磁场中做匀速圆周运动的半径 $r=\dfrac{y_0}{\sin\theta}=2y_0$

由 $qv_1B=m\dfrac{v_1^2}{r}$　得 $v_1=\dfrac{2qBy_0}{m}$

由 $T=\dfrac{2\pi r}{v_1}=\dfrac{2\pi m}{qB}$　得 $t_1=\dfrac{2\theta}{2\pi}T=\dfrac{T}{6}=\dfrac{\pi m}{3qB}$

(2) 由题意可知，在 xOy 平面内的负电荷必在圆心 O 处，故

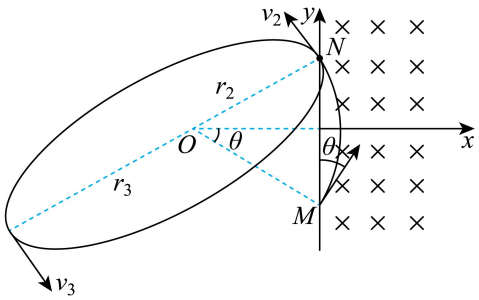
$qv_2B+k\dfrac{48q^2}{r^2}=m\dfrac{v_2^2}{r}$　其中 $m=\dfrac{B^2y_0^3}{k}$　得 $v_2=\dfrac{6kq}{By_0^2}$ 或 $v_2=\dfrac{-4kq}{By_0^2}$（舍去）

(3) 在 (2) 的条件下，正电荷从 N 点离开磁场后绕负电荷做椭圆运动，如图所示

由能量守恒定律得 $\dfrac{1}{2}mv_2^2+q\cdot\dfrac{-48kq}{r_2}=\dfrac{1}{2}mv_3^2+q\cdot\dfrac{-48kq}{r_3}$

由开普勒第二定律可知 $v_2r_2=v_3r_3$　其中 $r_2=2y_0$

联立解得 $r_3=6y_0$



由 $k\dfrac{48q^2}{\left(\dfrac{r_2+r_3}{2}\right)^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}\left(\dfrac{r_2+r_3}{2}\right)$　得 $T=\dfrac{4\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$

故正电荷从 N 点离开磁场后到首次速度变为与 N 点的射出速度相反的时间为 $t_2=\dfrac{T}{2}=\dfrac{2\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$

（假设有个试探电荷 q' 能绕负电荷 $-48q$ 做匀速圆周运动，则有 $\frac{48kq^2}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T'})^2r$　　得 $\frac{48kq^2}{4\pi^2m}=\frac{r^3}{T'^2}$

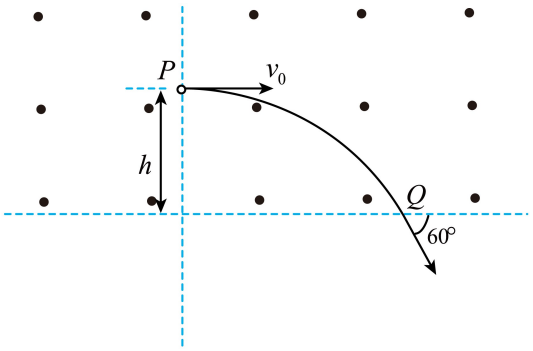
故由开普勒第三定律得 $\frac{\left(\frac{r_2+r_3}{2}\right)^3}{T^2}=\frac{r^3}{T'^2}=\frac{48kq^2}{4\pi^2m}$　得 $T=\frac{4\sqrt{3}\pi By_0^3}{3kq}$）

61. [2509 河北省保定市四校]如图所示，在水平边界上方空间存在垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，P 点与水平边界的距离为 h，一带正电的粒子以水平向右的速度 v_0(大小未知) 从 P 点射入磁场，并与水平边界成夹角 $60°$ 从边界上 Q 点射出。已知静电力常量为 k，粒子的电荷量为 $q(q>0)$、质量为 m，不计粒子重力，忽略磁场边缘效应。

(1) 求粒子射入磁场的速度 v_0 的大小及粒子在磁场中运动的时间 t_1；

(2) 在纸面内某点固定一负点电荷 $-q_0(q_0>0$，大小未知)，入射粒子的电荷量减为 $\frac{q}{3}$，仍以水平向右的速度 v_0 射入磁场，粒子仍可沿电荷量改变前的轨迹从 P 点运动到 Q 点，求在纸面内固定的负点电荷的电荷量大小 q_0

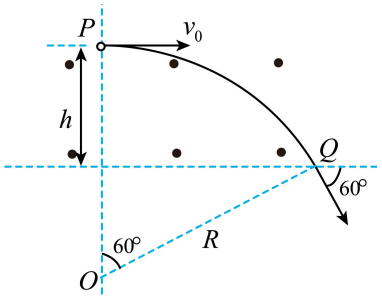
(3) 规定无穷远处的电势为零，已知在电荷量为 $-q_0$ 的点电荷产生的电场中，距离 $-q_0$ 为 r 的点其电势 $\varphi=-\frac{kq_0}{r}$。在 (2) 问条件下，粒子从 Q 点射出磁场后，经时间 $t_2=\frac{2\sqrt{3}\pi m}{qB}$，粒子速度第一次出现方向与 Q 点速度方向相反，求粒子再次进入磁场前的最小速度 v_{min}。



答案 (1)$\frac{2qBh}{m}$，$\frac{\pi m}{3qB}$　　(2)$\frac{16qB^2h^3}{mk}$　　(3)$\frac{2qBh}{3m}$

解析 开普勒第三定律 2025 · 黑吉辽内卷改编

(1) 根据题意，画出粒子的运动轨迹如图所示。设粒子在磁场中做圆周运动的半径为 R，由几何关系有 $R=R\cos60°+h$，得 $R=2h$



由 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{R}$　　得 $v_0=\frac{2qBh}{m}$

粒子在磁场中运动的周期 $T=\frac{2\pi R}{v_0}$

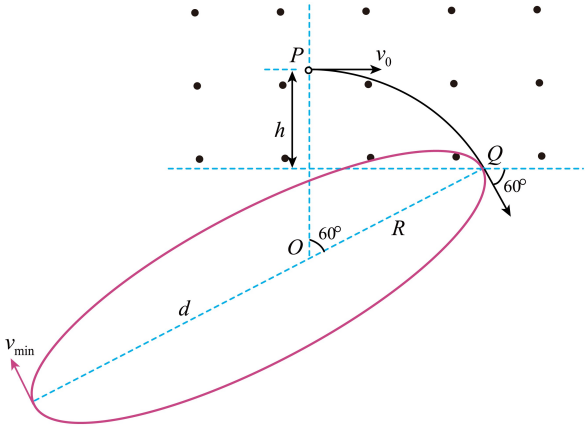
粒子在磁场中运动的时间 $t_1=\frac{T}{6}$

得 $t_1=\frac{\pi m}{3qB}$

(2) 由题意可知，负点电荷应在轨迹的圆心处，由合力提供向心力得

$\frac{q}{3}v_0B+k\cdot\frac{qq_0}{3R^2}=m\frac{v_0^2}{R}$　　得 $q_0=\frac{16qB^2h^3}{mk}$

(3) 由题意可知，粒子从 Q 点离开，仅在负点电荷的作用下运动，粒子所需要的向心力为 $m\frac{v_0^2}{R}$，大于点电荷提供的库仑力，因此粒子无法做匀速圆周运动，即正电荷从 Q 点离开磁场后绕负电荷做椭圆运动，如图所示



设第一次出现速度方向与 Q 点速度方向相反的位置距离圆周运动圆心的距离为 d，椭圆运动的半长轴可表示为 $a=\frac{R+d}{2}$

粒子从 Q 点射出磁场，到速度第一次出现方向与 Q 点速度方向相反，所用时间为椭圆运动的半个周期，类比开普勒第三定律，在库仑力作用下半长轴为 a 的椭圆运动与半径为 a 的圆周运动的周期相同，由牛顿第二定律得 $k\frac{qq_0}{3a^2}=m\frac{4\pi^2}{(2t_2)^2}a$　　得 $a=4h$，$d=6h$

由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{q}{3}\cdot\frac{kq_0}{R}=\frac{1}{2}mv_{min}^2-\frac{q}{3}\cdot\frac{kq_0}{d}$　　得 $v_{min}=\frac{2qBh}{3m}$

62. **[202501 浙江卷]** 同位素$^{14}_{6}C$相对含量的测量在考古学中有重要应用，其测量系统如图1所示。将少量古木样品碳化、电离后，产生的离子经过静电分析仪ESA—I、磁体—I和高电压清除器，让只含有三种碳同位素$^{12}_{6}C$、$^{13}_{6}C$、$^{14}_{6}C$的C^{3+}离子束(初速度可忽略不计)进入磁体—II。磁体—II由电势差为U的加速电极P，磁感应强度为B、半径为R的四分之一圆弧细管道和离子接收器F构成。通过调节U，可分离$^{12}_{6}C$、$^{13}_{6}C$、$^{14}_{6}C$三种同位素，其中$^{12}_{6}C$、$^{13}_{6}C$的C^{3+}离子被接收器F所接收并计数，它们的离子数百分比与U之间的关系曲线如图2所示，而$^{14}_{6}C$离子可通过接收器F，进入静电分析仪ESA—II，被接收器D接收并计算。

(1) 写出中子与$^{14}_{7}N$发生核反应生成$^{14}_{6}C$，以及$^{14}_{6}C$发生β衰变生成$^{14}_{7}N$的核反应方程式；

(2) 根据图2写出$^{12}_{6}C$的C^{3+}离子所对应的U值，并求磁感应强度B的大小(计算结果保留两位有效数字。已知$R=0.2\,m$，原子质量单位$u=1.66\times10^{-27}\,kg$，元电荷$e=1.6\times10^{-19}\,C$)；

(3) 如图1所示，ESA—II可简化为间距$d=5\,cm$两平行极板，在下极板开有间距$L=10\,cm$的两小孔，仅允许入射角$\varphi=45°$的$^{14}_{6}C$离子通过。求两极板之间的电势差U_1；

(4) 对古木样品，测得$^{14}_{6}C$与$^{12}_{6}C$离子数之比值为4×10^{-13}；采用同样办法，测得活木头中$^{14}_{6}C$与$^{12}_{6}C$的比值为1.2×10^{-12}，由于它与外部环境不断进行碳交换，该比例长期保持稳定。试计算古木被砍伐距今的时间(已知$^{14}_{6}C$的半衰期约为5700年，$\ln3=1.1$，$\ln2=0.7$)。

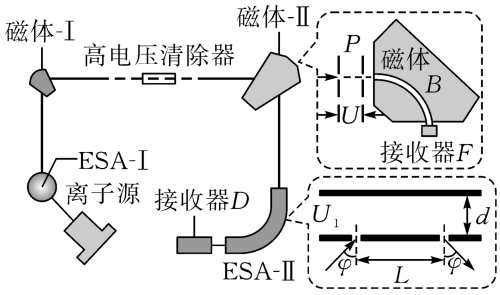


图1

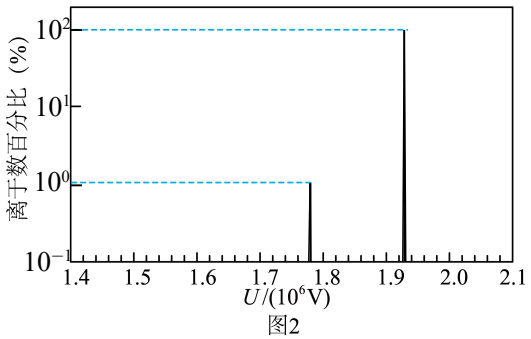


图2

答案 (1) 见解析　(2)$U=1.93\times10^{6}\,V$；$B=2.0\,T$　(3)$U_1=1.65\times10^{6}\,V$　(4)8957年

解析 选修三 第五章 第2节 科学漫步“碳14测年技术”

(1) $^{14}_{7}N+^{1}_{0}n\rightarrow{}^{14}_{6}C+^{1}_{1}H$，　$^{14}_{6}C\rightarrow{}^{14}_{7}N+^{0}_{-1}e$

(2) 粒子经过电压U加速，$qU=\frac{1}{2}mv^2$；在磁场中偏转，$qvB=m\frac{v^2}{R}$，

得$\frac{q}{m}=\frac{2U}{B^2R^2}$，所以比荷越大，所需的$U$越大，由于$^{12}_{6}C$离子比荷最大，故对应的$U=1.93\times10^{6}\,V$。

其中$q=3e$，$m=12u$，故$B=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{q}}=2.0\,T$

(3) 由(2)分析可知，三种粒子的q相同，则m与U的乘积恒定，$^{14}_{6}C$经过磁场2时，所对应的电压满足$m_{14}U_{14}=m_{12}U_{12}$，得$U_{14}=1.65\times10^{6}\,V$

$^{14}_{6}C$经过ESA—II区域时，入射速度v满足$qU_{14}=\frac{1}{2}m_{14}v^2$

粒子在极板间做类斜抛运动，有$2v\cos\varphi=at$，$L=vt\sin\varphi$，其中$a=\frac{qU_1}{m_{14}d}$

得$U_1=\frac{2d\sin2\varphi}{L}U_{14}=U_{14}=1.65\times10^{6}\,V$

(4) 根据$N=N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$　得$\frac{4\times10^{-13}}{1.2\times10^{-12}}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}=\frac{1}{3}$，即$\ln\frac{1}{3}=\frac{t}{T}\ln\frac{1}{2}$　所以$t=T\frac{\ln3}{\ln2}=8957$年

63. **[202506 浙江卷]** 利用磁偏转系统可以测量不同核反应中释放的高能粒子能量，从而研究原子核结构。如图 1 所示，用回旋加速器使氘原子核 $({}^{2}_{1}\mathrm{H})$ 获得 2.74 MeV 动能，让其在 S 处撞击铝 $({}^{27}_{13}\mathrm{Al})$ 核发生核反应，产生处于某一激发态和基态的同位素核 $({}^{28}_{13}\mathrm{Al})$、以及两种不同能量的质子 $({}^{1}_{1}\mathrm{H})$。产生的质子束经狭缝 X 沿水平直径方向射入半径为 R，方向垂直纸面向里、大小为 B 的圆形匀强磁场区域，经偏转后打在位于磁场上方的探测板上 A、D 处 (探测板与磁场边界相切于 A 点，D 点与磁场圆心 O 处在同一竖直线上)，获得如图 2 所示的质子动能的能谱图。

(1) 写出氘核撞击铝核的核反应方程；

(2) 求 A、D 的间距 L；

(3) 若从回旋加速器引出的高能氘核流为 1.0 mA，求回旋加速器的输出功率；

(4) 处于激发态的 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}$ 核会发生 β 衰变，核反应方程是 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}\rightarrow{}^{28}_{14}\mathrm{Si}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$。若 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}$ 核质量等于 ${}^{28}_{14}\mathrm{Si}$ 核质量，电子质量为 0.51 MeV/c^2，在上述两个核反应过程中，原子核被视为静止，求衰变释放的能量。

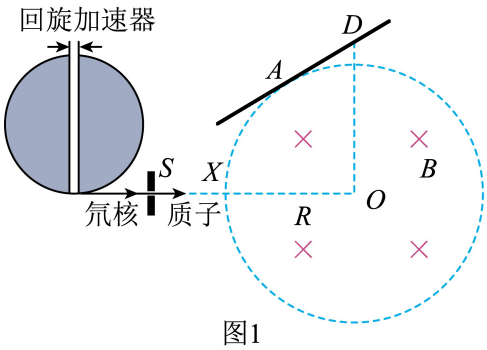


图1

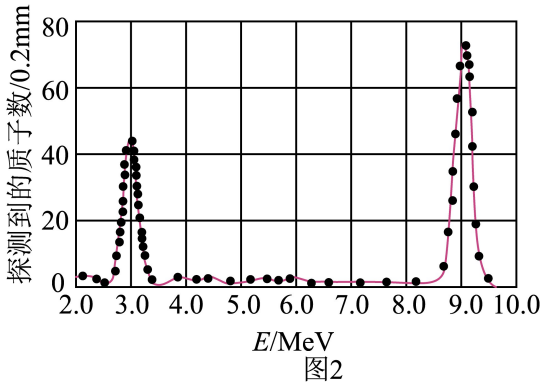


图2

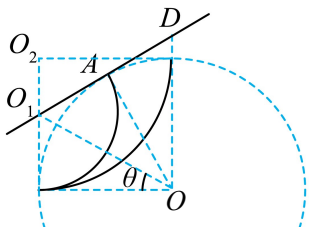
答案 (1) ${}^{2}_{1}\mathrm{H}+{}^{27}_{13}\mathrm{Al}\rightarrow{}^{28}_{13}\mathrm{Al}+{}^{1}_{1}\mathrm{H}$　(2) $L=\dfrac{\sqrt{3}}{3}R$　(3) $2.74\times10^{3}\,\mathrm{W}$　(4) 5.49 MeV

解析 (1) ${}^{2}_{1}\mathrm{H}+{}^{27}_{13}\mathrm{Al}\rightarrow{}^{28}_{13}\mathrm{Al}+{}^{1}_{1}\mathrm{H}$

(2) 由图可知，两种质子的动能分别为 3 MeV 和 9 MeV，动能之比 1∶3，可知速度之比 $1:\sqrt{3}$，

由 $evB=m\dfrac{v^2}{r}$ 可知 $r=\dfrac{mv}{eB}$，所以两种质子在磁场中的半径之比为 $r_1:r_2=1:\sqrt{3}$。

两种质子的运动轨迹(径入径出)如图，有 $\tan\theta=\dfrac{r_1}{r_2}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，故 $\theta=30°$。



所以 $\angle AOD=30°$，A、D 间距 $L=R\tan30°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}R$

(3) Δt 内从回旋加速器引出的氘核数为 $n=\dfrac{I\Delta t}{e}$，

故 $P\Delta t=nE_k$　得 $P=\dfrac{I}{e}E_k=\dfrac{10^{-3}\,\mathrm{A}\times2.74\times10^{6}\,\mathrm{eV}}{\mathrm{e}}=2.74\times10^{3}\,\mathrm{W}$

(4) 第一个核反应中，质子的两种能量 3 MeV、9 MeV 分别对应 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}$ 的激发态和基态。由于原子核视为静止，铝核动能忽略不计，故 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}$ 核两态的能量差约为 $E=9\,\mathrm{MeV}-3\,\mathrm{MeV}=6\,\mathrm{MeV}$。

第二个核反应中，由于 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}$ 核质量等于 ${}^{28}_{14}\mathrm{Si}$ 核质量，质量差为零，因此衰变释放的能量主要来自 ${}^{28}_{13}\mathrm{Al}$ 核跃迁产生的能量差 E。但 β 衰变产生电子，需消耗电子静质量能，故释放的能量为

$\Delta E=E-m_ec^2=6\,\mathrm{MeV}-0.51\,\mathrm{MeV}=5.49\,\mathrm{MeV}$

【补充】①核子的能量 E 包括动能 K 和静质量能 m_0c^2，即 $E=K+m_0c^2$。

若核子处于激发态，设其激发能（激发态和基态能量差）为E^*，由质能方程$E=mc^2$可知，激发能可以等效为核静质量的增加，核子静质量$m_0^*=m_0+\frac{E^*}{c^2}$。

②在核反应过程中，各生成物的动能总和减去各反应物的动能总和，称为反应能Q。

根据能量守恒，反应前“各粒子动能总和”加“静质量能总和”等于反应后“动能总和”加“静质量总和”，故反应能Q也等于反应前后静质量能的变化Δm_0c^2。

③对于第一个核反应（由于原子核被视为静止，故铝核动能不计）：

产生基态铝核时，反应能$Q_1=9-2.74=6.26\,\mathrm{MeV}=(m_{{}_1^2\mathrm{H}}+m_{{}_{13}^{27}\mathrm{Al}}-m_{{}_{13}^{28}\mathrm{Al}}-m_{{}_1^1\mathrm{H}})c^2$

产生激发态铝核时，反应能$Q_2=3-2.74=0.26\,\mathrm{MeV}=(m_{{}_1^2\mathrm{H}}+m_{{}_{13}^{27}\mathrm{Al}}-m_{{}_{13}^{28}\mathrm{Al}^*}-m_{{}_1^1\mathrm{H}})c^2$

故$Q_1-Q_2=(m_{{}_{13}^{28}\mathrm{Al}^*}-m_{{}_{13}^{28}\mathrm{Al}})c^2=E^*$，即激发能$E^*=6\,\mathrm{MeV}$

（核反应产生激发态核过程中，相当于有一部分能量暂时储存在核中，然后核子跃迁重新释放能量）