

物理全解全析（吉林 黑龙江）

一、单选题

1. 如图，齐齐哈尔到长春的直线距离约为 400km。某旅客乘高铁从齐齐哈尔出发经哈尔滨到达长春，总里程约为 525km，用时为 2.5h。则在整个行程中该旅客（ ）



- A. 位移大小约为 525km，平均速度大小约为 160km/h
 B. 位移大小约为 400km，平均速度大小约为 160km/h
 C. 位移大小约为 525km，平均速度大小约为 210km/h
 D. 位移大小约为 400km，平均速度大小约为 210km/h

【答案】B

【详解】位移是起点到终点的有向线段，则在整个行程中该旅客位移大小约为 400km，平均速度大小约为

$$v = \frac{x}{t} = \frac{400}{2.5} \text{ km/h} = 160 \text{ km/h}$$

2. 2023 年 8 月，我国首次在空间站中实现了微小卫星的低成本入轨。在近地圆轨道飞行的中国空间站中，航天员操作机械臂释放微小卫星。若微小卫星进入比空间站低的圆轨道运动，则入轨后微小卫星的（ ）

- A. 角速度比空间站的大
 B. 加速度比空间站的小
 C. 速率比空间站的小
 D. 周期比空间站的大

【答案】A

【详解】卫星绕地球做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力可得

$$\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r = ma = m\frac{v^2}{r} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r \text{ 可得 } \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}, a = \frac{GM}{r^2}, v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

由于微小卫星的轨道半径小于空间站的轨道半径，则入轨后微小卫星的角速度比空间站的大，加速度比空间站的大，速率比空间站的大，周期比空间站的小。

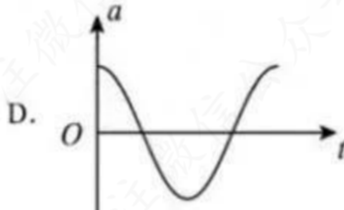
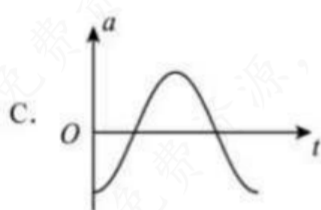
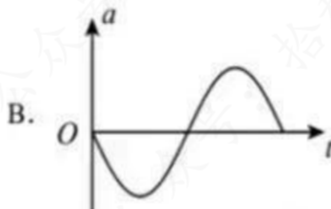
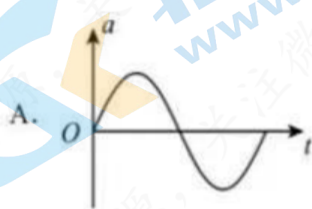
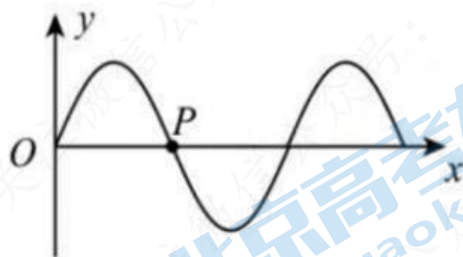
3. 某同学取一装有少量水的塑料矿泉水瓶，旋紧瓶盖，双手快速拧搓挤压水瓶。然后迅速拧松瓶盖，瓶盖被顶飞的同时瓶内出现白雾，则（ ）

- A. 挤压水瓶过程中，瓶内气体分子的平均动能减小
 B. 挤压水瓶过程中，瓶内气体内能不变
 C. 瓶盖被顶飞过程中，瓶内气体对外做功
 D. 瓶盖被顶飞过程中，瓶内气体温度升高

【答案】C

【详解】AB. 旋紧瓶盖，双手快速拧搓挤压水瓶，外界对气体做正功，瓶内气体来不及发生热传导，根据热力学第一定律可知，瓶内气体内能变大，瓶内气体温度升高，则瓶内气体分子的平均动能增大，故 AB 错误；CD. 然后迅速拧松瓶盖，瓶盖被顶飞过程中，瓶内气体对外做功，瓶内气体来不及发生热传导，根据热力学第一定律可知，瓶内气体内能变小，瓶内气体温度降低，故 C 正确，D 错误。

4. 一列简谐横波沿 x 轴正方向传播，某时刻的波形如图所示，则从此刻开始，介质中质点 P 的加速度 a 随时间 t 变化的图像为 ()

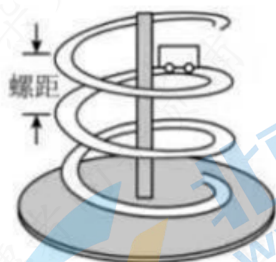


【答案】B

【详解】简谐横波沿 x 轴正方向传播，根据上下坡法可知，质点 P 处于平衡位置，向上振动，质点 P 的加速度为

$$a = -\frac{kx}{m} = -\frac{k}{m} A \sin \omega t$$

5. 某“失重”餐厅的传菜装置如图所示，运送菜品的小车沿等螺距轨道向下匀速率运动，该轨道各处弯曲程度相同，在此过程中，小车 ()



- A. 机械能保持不变
C. 处于失重状态

- B. 动量保持不变
D. 所受合力不为零

【答案】D

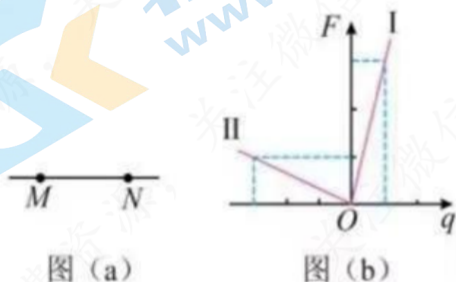
【详解】A. 小车沿等螺距轨道向下匀速率运动，速度大小不变，动能不变，小车高度减小，即重力势能减小，可知，小车的机械能减小，故 A 错误；

B. 小车做螺旋运动，速度大小不变，方向改变，根据动量表达式有 $p=mv$ 可知，小车的动量大小不变，动量的方向发生变化，即动量发生了变化，故 B 错误；

C. 由于小车沿等螺距轨道向下做匀速率运动，沿轨道方向的速度大小不变，即小车沿轨道方向的合力为 0，即沿轨道方向的加速度为 0，又由于该轨道各处弯曲程度相同，则轨道对小车的指向图中轴心的作用力提供圆周运动的向心力，该作用力方向沿水平方向，可知，小车的加速度方向沿水平方向，小车不存在竖直方向的加速度，即小车既不处于超重，又不处于失重，故 C 错误；

D. 根据上述可知，小车沿轨道方向的合力为 0，轨道对小车的指向图中轴心的作用力提供圆周运动的向心力，即小车的合力不为零，合力方向总指向图中轴心，故 D 正确。

6. 如图 (a)，一点电荷 P (未画出) 所在的水平直线上有 M 、 N 两点。在 M 、 N 两点分别放置试探电荷，其受到的静电力与试探电荷的电荷量的关系分别如图 (b) 中直线 I、II 所示。规定向右为正方向，则 ()



A. P 带正电

B. P 在 M 点左侧

C. M 点电势比 N 点的低

D. M 点电场强度比 N 点的小

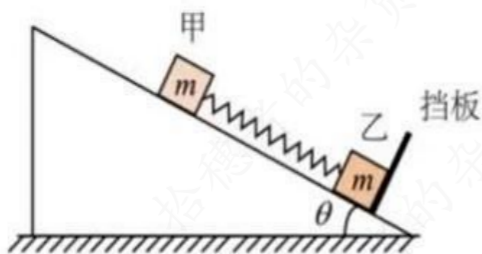
【答案】C

【详解】AB. 由图像中直线 I 可知，在 M 点放置的试探电荷带正电，受到的电场力向右，则 M 点的场强方向向右；由图像中直线 II 可知，在 N 点放置的试探电荷带负电，受到的电场力向右，则 N 点的场强方向向左；可知点电荷 P 应位于 M 、 N 两点之间，且 P 带负电，故 AB 错误；

CD. 根据 $E = \frac{F}{q}$

由 $F-q$ 图像可知，直线 I 对应的场强大于直线 II 对应的场强，即 M 点电场强度比 N 点的大；根据 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 可知 M 点比 N 点离负点电荷 P 更近，则 M 点电势比 N 点的低，故 C 正确，D 错误。

7. 如图，质量均为 m 的物块甲、乙静止于倾角为 θ 的固定光滑斜面上，二者间用平行于斜面的轻质弹簧相连，乙紧靠在垂直于斜面的挡板上。给甲一个沿斜面向上的初速度，此后运动过程中乙始终不脱离挡板，且挡板对乙的弹力最小值为 0，重力加速度为 g 。挡板对乙的弹力最大值为 ()



- A. $2mg \sin \theta$ B. $3mg \sin \theta$ C. $4mg \sin \theta$ D. $5mg \sin \theta$

【答案】C

【详解】物块甲运动至最高点时，挡板对乙的弹力最小值为0，对乙有 $F_{\text{弹}1} = mg \sin \theta$

对甲有 $F_{\text{弹}1} + mg \sin \theta = ma$

物块甲运动至最低点时，根据对称性有 $F_{\text{弹}2} - mg \sin \theta = ma$

对乙受力分析，挡板对乙的弹力最大值为 $F_N = F_{\text{弹}2} + mg \sin \theta = 4mg \sin \theta$

二、多选题

8. 波长不同的 a 、 b 两束单色平行光，分别照射到同一双缝干涉装置上，在屏上得到干涉条纹如图所示。下列说法正确的是 ()



- A. 在真空中， a 光的波长比 b 光的长
 B. 在真空中， a 光的传播速度比 b 光的小
 C. 若只减小双缝到屏的距离，两光产生的条纹间距均变小
 D. 两光分别照射同一单缝衍射装置，若只减小缝宽，中央亮纹宽度均变小

【答案】AC

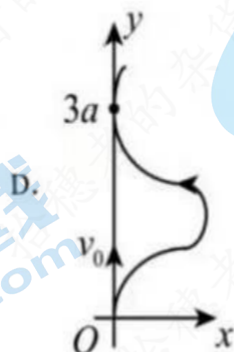
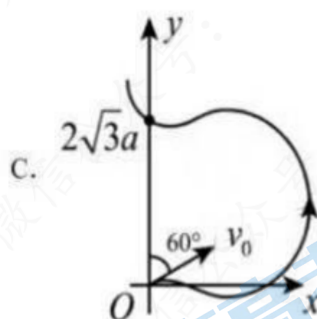
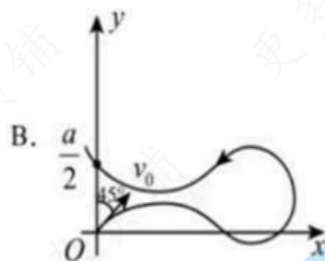
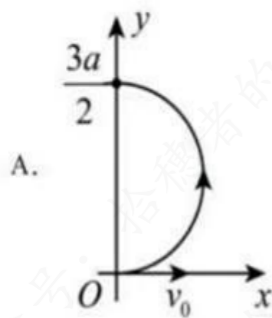
【详解】AB. 根据 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$

在屏上得到干涉条纹可知， a 光对应的条纹间距大于 b 光对应的条纹间距，则在真空中， a 光的波长比 b 光的长；在真空中， a 光的传播速度与 b 光的传播速度相等，均为 c ，故 A 正确，B 错误；

C. 根据 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ 若只减小双缝到屏的距离，两光产生的条纹间距均变小，故 C 正确；

D. 两光分别照射同一单缝衍射装置，若只减小缝宽，中央亮纹宽度均变大，故 D 错误。

9. 空间中存在垂直于 xOy 平面的磁场， $x=a$ 两侧的匀强磁场方向相反， $x>a$ 区域的磁感应强度大小为 $x<a$ 区域的 2 倍。不同带电粒子以速率 v_0 由原点沿 xOy 平面射入该磁场，则粒子的轨迹可能为下图中的 ()



【答案】AD

【详解】因 $x > a$ 区域的磁感应强度大小为 $x < a$ 区域的 2 倍，根据 $r = \frac{mv}{qB}$ 可知 $x < a$ 区域的圆周运动的半径为 $x > a$ 区域的圆周运动的半径的 2 倍。

A. 该图中粒子运动的轨道半径为 $r = \frac{3a}{4} < a$ 即粒子没能到达两磁场的分界线，则该轨迹可能存在，选项 A 正确；

B. 该图中粒子在 $x < a$ 中运动时的轨迹半径为 $r = \frac{\frac{a}{2}}{2\cos 45^\circ} = \frac{\sqrt{2}a}{4}$

则在 $x > a$ 区域运动的半径应该为 $r' = \frac{\sqrt{2}a}{8}$

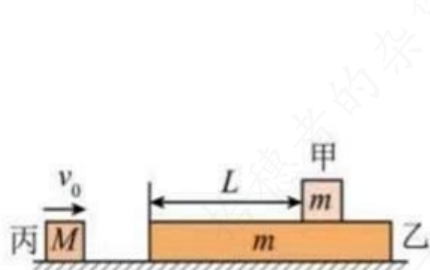
则轨迹与 y 轴交点的纵坐标应该是 $y = 2r' \sin 45^\circ = \frac{a}{4}$ 则 B 错误；

C. 该图中粒子在 $x < a$ 区域的轨道半径小于在 $x > a$ 区域的轨道半径，则选项 C 错误；

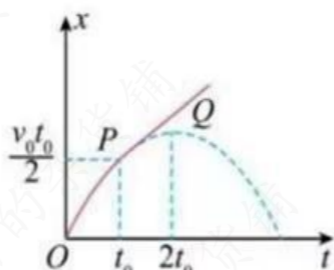
D. 该图中粒子在 $x < a$ 区域的轨道半径为 $r = a$ ，则在 $x > a$ 区域的轨道半径为 $r' = \frac{a}{2}$ 则轨迹与 y 轴交点

$$y = a + 2 \times \frac{a}{2} + a = 3a$$

10. 如图 (a)，质量均为 m 的小物块甲和木板乙叠放在光滑水平面上，甲到乙左端的距离为 L ，初始时甲、乙均静止，质量为 M 的物块丙以速度 v_0 向右运动，与乙发生弹性碰撞。碰后，乙的位移 x 随时间 t 的变化如图 (b) 中实线所示，其中 t_0 时刻前后的图像分别是抛物线的一部分和直线，二者相切于 P ，抛物线的顶点为 Q 。甲始终未脱离乙，重力加速度为 g 。下列说法正确的是 ()



图(a)



图(b)

A. 碰后瞬间乙的速度大小为 $\frac{v_0}{3}$

B. 甲、乙间的动摩擦因数为 $\frac{v_0}{3gt_0}$

C. 甲到乙左端的距离 $L \geq \frac{v_0 t_0}{3}$

D. 乙、丙的质量比 $m:M=1:2$

【答案】BC

【详解】AB. 设碰后瞬间乙的速度大小为 v_1 ，碰后乙的加速度大小为 a ，由图 (b) 可知 $x = v_1 t_0 - \frac{1}{2} a t_0^2 = \frac{v_0 t_0}{2}$

抛物线的顶点为 Q ，根据 $x-t$ 图像的切线斜率表示速度，则有 $v_1 = a \cdot 2t_0$ 联立解得 $v_1 = \frac{2v_0}{3}$ ， $a = \frac{v_0}{3t_0}$

根据牛顿第二定律可得 $a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$ 得甲、乙间的动摩擦因数为 $\mu = \frac{v_0}{3gt_0}$

C. 由于甲、乙质量相同，则甲做加速运动的加速度大小也为 $a = \frac{v_0}{3t_0}$

根据图 (b) 可知， t_0 时刻甲、乙刚好共速，则 $0 \sim t_0$ 时间内甲、乙发生的相对位移为

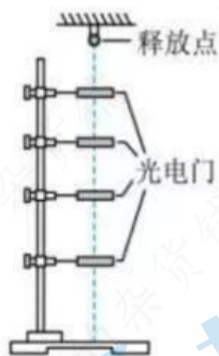
$$\Delta x = x_{\text{乙}} - x_{\text{甲}} = \frac{v_1 + v_{\text{共}}}{2} t_0 - \frac{v_{\text{共}}}{2} t_0 = \frac{v_1}{2} t_0 = \frac{v_0 t_0}{3} \text{ 则甲到乙左端的距离满足 } L \geq \Delta x = \frac{v_0 t_0}{3}$$

D. 物块丙与乙发生弹性碰撞，碰撞过程根据动量守恒和机械能守恒可得

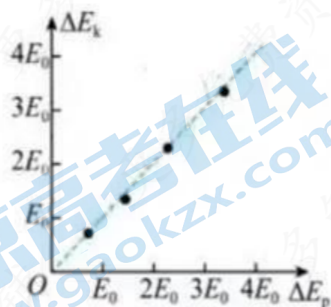
$$Mv_0 = Mv_2 + mv_1 \quad \frac{1}{2} Mv_0^2 = \frac{1}{2} Mv_2^2 + \frac{1}{2} mv_1^2 \text{ 可得 } v_1 = \frac{2M}{M+m} v_0 = \frac{2v_0}{3} \text{ 可得乙、丙的质量比为 } m:M=2:1$$

三、实验题

11. 某同学设计实验验证机械能守恒定律，装置如图 (a) 所示。一质量为 m 、直径为 d 的小球固定于释放装置上，在小球正下方固定四个光电门，调节各光电门的中心，使其与小球的球心均在同一竖直线上。由静止释放小球，记录小球通过每个光电门的挡光时间，重力加速度为 g 。



图(a)



图(b)

(1) 若测得某光电门的中心与释放点的竖直距离为 h ，小球通过此光电门的挡光时间为 Δt ，则小球从释放点下落至此光电门中心时的动能增加量 $\Delta E_k =$ _____，重力势能减小量 $\Delta E_p =$ _____ (用题中字母表示)；

(2) 根据实验数据, 作出 $\Delta E_k - \Delta E_p$ 的图像, 如图 (b) 所示。若图中虚线的斜率 $k \approx$ _____, 则可验证机械能守恒定律;

守恒定律;

(3) 经过多次重复实验, 发现小球经过第三个光电门时, ΔE_k 总是大于 ΔE_p , 下列原因中可能的是_____。

- A. 第三个光电门的中心与释放点的竖直距离测量值偏大
- B. 第三个光电门的中心偏离小球下落时球心所在的竖直线
- C. 小球下落过程中受到空气阻力的作用

【答案】 $\frac{1}{2}m(\frac{d}{\Delta t})^2$ mgh 1 B

【详解】(1) [1] 小球经过光电门中心时的速度为 $v = \frac{d}{\Delta t}$

则小球从释放点下落至此光电门中心时的动能增加量为 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2}m(\frac{d}{\Delta t})^2$

[2] 小球从释放点下落至此光电门中心时的重力势能减小量 $\Delta E_p = mgh$

(2) [3] 根据机械能守恒定律可得 $\Delta E_k = \Delta E_p$

则作出 $\Delta E_k - \Delta E_p$ 的图像中虚线的斜率 $k \approx 1$, 则可验证机械能守恒定律。

(3) [4] A. 第三个光电门的中心与释放点的竖直距离测量值偏大, 则 ΔE_p 的测量值偏大, 使得 ΔE_k 小于 ΔE_p , 故 A 错误; B. 第三个光电门的中心偏离小球下落时球心所在的竖直线, 使得挡光宽度小于小球的直径, 则速度测量值偏大, ΔE_k 的测量值偏大, 使得 ΔE_k 大于 ΔE_p , 故 B 正确; C. 小球下落过程中受到空气阻力的作用, 使得减少的重力势能有一部分转化为内能, 则 ΔE_k 小于 ΔE_p , 故 C 错误。故选 B。

12. 某些材料的电阻率在外磁场作用下发生改变的现象称为磁致电阻效应, 利用该效应可以制作磁敏器件。为探究某磁敏器件材料的电阻率随外磁场的变化规律, 设计如图 (a) 所示电路。该器件在无外磁场时的阻值为 R_0 , 加磁感应强度为 B 的外磁场后, 阻值变为 R , 阻值的变化量 $\Delta R = R - R_0$, 相对变化率 $\frac{\Delta R}{R_0}$ 能反映器件材料电阻率的变化。

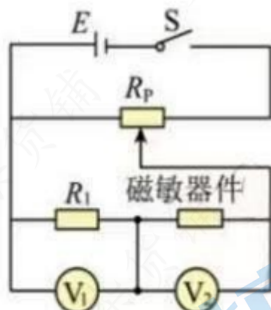


图 (a)



图 (b)

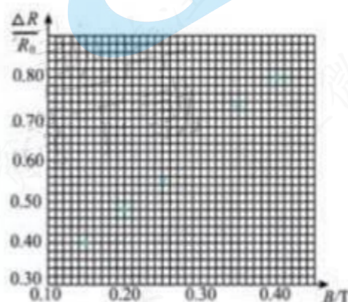


图 (c)

图中 V_1 和 V_2 均为理想电压表, 定值电阻 $R_1 = 300\Omega$, R_p 为滑动变阻器, S 为开关, E 为电源。

(1) 不加外磁场, 调节 R_p 使 V_1 示数为 $U_1 = 0.30V$, 读出 V_2 示数 $U_2 = 0.40V$, 由此可计算出 $R_0 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$;

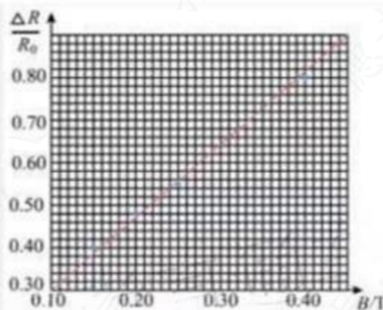
(2) 加外磁场, 调节 R_p 使 V_1 示数仍为 $0.30V$, 记录 B 和 V_2 示数 U_2 , 计算 $\frac{\Delta R}{R_0}$;

(3) 改变 B , 重复 (2) 操作, 实验数据如下表, $B = 0.30T$ 时, 电压表 V_2 示数如图 (b) 所示, 读出数据, 完成下表, 答: ① $\underline{\hspace{2cm}}$, ② $\underline{\hspace{2cm}}$;

B/T	...	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
U_2/V	...	0.56	0.59	0.62	①	0.69	0.72
$\frac{\Delta R}{R_0}$	...	0.40	0.48	0.55	②	0.73	0.80

(4) 在图 (c) 坐标纸上将所缺数据点补充完整并作图 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。由此可知, B 在 $0.15T \sim 0.40T$ 范围内, 该器件材料的电阻率随 B 的增大而增大。

【答案】 400 0.66 0.65



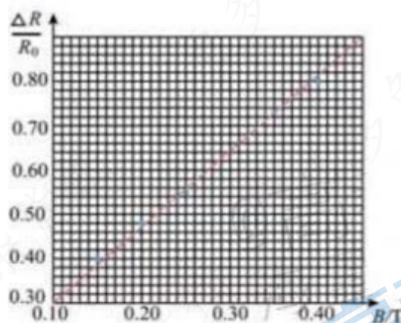
【详解】(1) [1]根据电阻分压关系可得 $\frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R_0}$ 磁敏器件在无外磁场时的阻值为 $R_0 = 400\Omega$

(3) [2]由图可知电压表 V_2 示数为 $U = 0.66V$

[3]根据电阻分压关系可得 $\frac{U_1}{R} = \frac{U}{R_0}$

$B = 0.30T$ 时, 磁敏器件的阻值为 $R'_0 = 660\Omega$ 则 $\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{R'_0 - R_0}{R_0} = \frac{660 - 400}{400} = 0.65$

(4) [4]将所缺数据点补充完整做出图象如图所示。



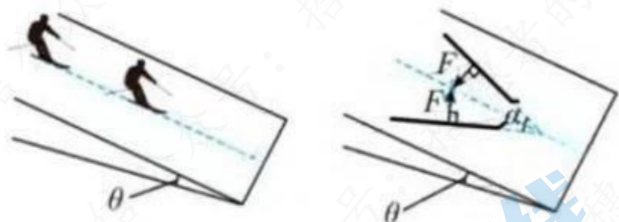
四、解答题

13. 滑雪是我国东北地区冬季常见的体育运动。如图 (a), 在与水平面夹角 $\theta = 14.5^\circ$ 的滑雪道上, 质量 $m = 60kg$ 的滑雪者先采用两滑雪板平行的滑雪姿势 (此时雪面对滑雪板的阻力可忽略), 由静止开始沿直线匀加速下滑 $x_1 = 45m$

之后采取两滑雪板间呈一定角度的滑雪姿势，通过滑雪板推雪获得阻力，匀减速继续下滑 $x_2 = 15\text{m}$ 后停止。已知 $\sin 14.5^\circ = 0.25, \sin 37^\circ = 0.6$ ，取重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ，不计空气阻力。

(1) 求减速过程中滑雪者加速度 a 的大小；

(2) 如图 (b)，若减速过程中两滑雪板间的夹角 $\alpha = 74^\circ$ ，滑雪板受到沿雪面且垂直于滑雪板边缘的阻力均为 F ，求 F 的大小。



图(a)

图(b)

【答案】(1) $a = 7.5\text{m/s}^2$ ；(2) $F = 500\text{N}$

【详解】(1) 由静止开始沿直线匀加速下滑的过程有 $2a_1x_1 = v^2$ $mg \sin \theta = ma_1$

代入数据得 $v = \sqrt{2gx_1 \sin \theta} = 15\text{m/s}$ 匀减速继续下滑的过程有 $2ax_2 = v^2$

代入数据得 $a = \frac{v^2}{2x_2} = 7.5\text{m/s}^2$

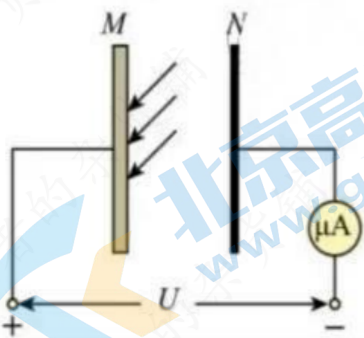
(2) 若减速过程中两滑雪板间的夹角 $\alpha = 74^\circ$ ，根据牛顿第二定律有 $2F \sin \frac{\alpha}{2} - mg \sin \theta = ma$

解得 $F = \frac{ma + mg \sin \theta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = 500\text{N}$

14. 如图，真空中足够大的铝板 M 与金属板 N 平行放置，通过电流表与电压可调的电源相连。一束波长 $\lambda = 200\text{nm}$ 的紫外光持续照射到 M 上，光电子向各个方向逸出。已知铝的逸出功 $W_0 = 6.73 \times 10^{-19}\text{J}$ ，光速 $c = 3.0 \times 10^8\text{m/s}$ ，普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$ 。

(1) 求光电子的最大初动能 E_k (计算结果保留两位有效数字)；

(2) 调节电压使电流表的示数减小到 0 时， M 、 N 间的电压为 U_0 ；当电压为 $\frac{3}{4}U_0$ 时，求能到达 N 的光电子中，初速度与 M 之间夹角的最小值 θ 。



【答案】(1) $3.2 \times 10^{-19}\text{J}$ ；(2) 60°

【详解】(1) 根据光电效应方程可得

$$E_k = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{200 \times 10^{-9}} \text{ J} - 6.73 \times 10^{-19} \text{ J} = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(2) 因调节电压使电流表的示数减小到 0 时, M 、 N 间的电压为 U_0 , 则 $E_k = U_0 e$

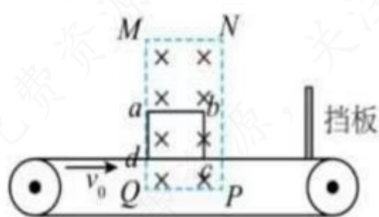
当电压为 $\frac{3}{4}U_0$ 时恰能到达 N 的光子满足 $\frac{3}{4}U_0 e = \frac{1}{2}m(v_0 \sin \theta)^2 = E_k (\sin \theta)^2$ 解得 $\sin \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$ 则 $\theta = 60^\circ$

15. 如图 (a), 水平传送带以恒定速率 v_0 顺时针转动, 宽为 $4L$ 、足够高的矩形匀强磁场区域 $MNPQ$, 磁感应强度大小为 B , 方向垂直纸面向里, 磁场下边界 QP 水平. 矩形导体框 $abcd$ 无初速度地放在传送带上且 ad 与 MQ 重合, bc 向右运动到 NP 时恰与传送带共速, 此时施加水平向右的拉力, 使导体框保持共速前的加速度离开磁场. ad 离开磁场时撤掉拉力, 同时将 QP 提升到传送带上方距上表面 L 处. 导体框继续向右运动, 与 NP 右侧 $4.5L$ 处的竖直固定挡板发生弹性正碰. 当 ad 返回 NP 时, 施加水平向左的拉力, 使导体框以此时的速度匀速通过磁场. 已知导体框质量为 m , 总电阻为 R , ab 长为 $3L$, ad 长为 $2L$, 导体框平面始终与磁场垂直且不脱离传送带, 重力加速度为 g .

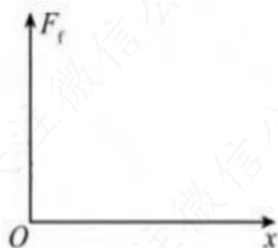
(1) 求导体框从开始运动到与传送带共速过程中, ad 两点间的电势差 U_{ad} 与时间 t 的关系式;

(2) 求导体框向右离开磁场过程中, 拉力冲量 I_F 的大小;

(3) 导体框向左通过磁场的过程中, 设 ad 到 NP 的距离为 x , 导体框受到的摩擦力大小为 F_f , 在图 (b) 中定量画出导体框通过磁场过程中 $F_f - x$ 图像, 不要求写出推导过程.



图(a)



图(b)

【答案】(1) $U_{ad} = \frac{1}{2} B v_0^2 t$; (2) $I_F = \frac{12 B^2 L^3}{R}$; (3) 见解析

【详解】(1) 由法拉第电磁感应定律知 $U_{ad} = 2BL\bar{v}$

设线框运动到共速速度为 v , 由匀变速直线运动平均速度关系知 $\bar{v} = \frac{0+v}{2} = \frac{v}{2}$

由题知, bc 向右运动到 NP 时恰与传送带共速, 位移为 L , 由动能定理知 $fL = \frac{1}{2}mv_0^2$ 代入得 $f = \frac{mv_0^2}{2L}$

由牛顿第二定律知 $f = ma$ 代入得 $a = \frac{v_0^2}{2L}$

设线框运动到共速时间为 t , 由匀变速直线运动速度与时间关系式知 $v = at$

代入得 $U_{ad} = 2BL\bar{v} = 2BL \frac{\frac{mv_0^2}{2L} t}{2} = \frac{1}{2} B v_0^2 t$

(2) 由题知, bc 向右运动到 NP 时恰与传送带共速, 此时施加水平向右的拉力, 使导体框保持共速前的加速度离开磁场. 如图所示, 由于整个过程中加速度没变, 设导体框向右离开磁场时间为 t_1 , 由题知线框移动位移为 $4L$, 由

匀变速直线运动位移与时间关系式知 $4L = \frac{1}{2}at_1^2$ 代入得 $t_1 = 4\frac{L}{v_0}$

bc 向右运动到 NP 时恰与传送带共速, 位移为 L , 线框运动到共速时间为 t , 由匀变速直线运动位移与时间关系式知 $L = \frac{1}{2}at_1^2$ 代入得 $t = 2\frac{L}{v_0}$

则线框磁通量变化时间为 $\Delta t = t_1 - t = 2\frac{L}{v_0}$

由题知, 施加水平向右的拉力, 使导体框保持共速前的加速度离开磁场。则拉力 F 与安培力 $F_{\text{安}}$ 大小相等, 方向相反 $I_F = |-I_{\text{感}}|$

由法拉第电磁感应定律知 $E = n\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = n\frac{BS}{\Delta t}$ $S = 3L \times 2L$

由闭合电路欧姆定律知 $I = \frac{E}{R}$

代入得 $I = \frac{E}{R} = \frac{B(3L \times 2L)}{R \Delta t} = \frac{3BLv_0}{R}$

代入得 $I_F = 2BIL\Delta t = 2B \frac{3BLv_0}{R} L \times 2\frac{L}{v_0} = \frac{12B^2L^3}{R}$

(3)

