

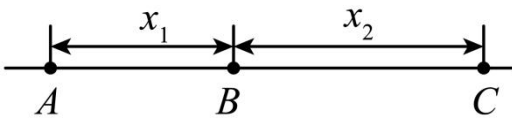
炎德·英才大联考长沙市一中 2024 届高三三月考试卷（四）

物理

时量 75 分钟，满分 100 分。

一、单项选择题：本题共 6 小题，每小题 4 分，共计 24 分。每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的。

1. 如图所示，一质点做匀加速直线运动先后经过 A 、 B 、 C 三点。已知从 A 到 B 和从 B 到 C 速度的增加量 Δv 均为 6m/s ， AB 间的距离 $x_1 = 3\text{m}$ ， BC 间的距离 $x_2 = 13\text{m}$ ，则物体的加速度为（ ）



- A. 3.6m/s^2 B. 4m/s^2 C. 4.2m/s^2 D. 4.8m/s^2

【答案】A

【解析】

【详解】已知从 A 到 B 和从 B 到 C 速度的增加量 Δv 均为 6m/s ，可得 A 到 B 的时间， B 到 C 的时间相等，根据匀变速直线运动规律可知， B 点的速度为

$$v_B = \frac{x_1 + x_2}{2T} = \frac{8}{T}$$

根据匀变速直线运动规律以及加速度定义式可得

$$v_B^2 - v_A^2 = 2ax_1$$

$$v_B = v_A + at$$

$$a = \frac{\Delta v}{T}$$

解得

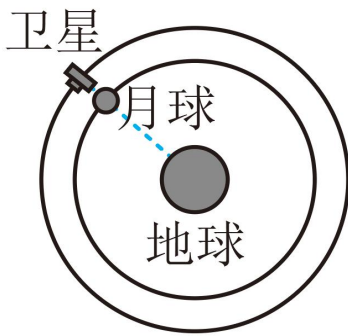
$$T = \frac{5}{3}\text{s}$$

加速度为

$$a = \frac{\Delta v}{T} = 3.6\text{m/s}^2$$

故选 A。

2. 2018 年 6 月 14 日，承担“嫦娥四号”中继通信任务的“鹊桥”中继卫星抵达绕地月第二拉格朗日点的轨道（如图）。第二拉格朗日点是地月连线延长线上的一点，处于该位置上的卫星与月球同步绕地球公转。下列叙述正确的是（ ）



- A. 向心力仅来自于地球的引力
 B. 线速度小于月球的线速度
 C. 角速度小于月球的角速度
 D. 向心加速度大于月球的加速度

【答案】D

【解析】

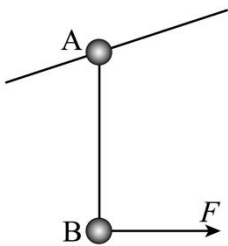
【详解】A. 卫星受地球和月球的共同作用的引力提供向心力，故 A 错误；

BC. 卫星与月球同步绕地球运动，角速度相等，“鹊桥”中继星的轨道半径比月球绕地球的轨道半径大，根据 $v = \omega r$ 知“鹊桥”中继星绕地球转动的线速度比月球绕地球线速度大，故 BC 错误；

D. “鹊桥”中继星的轨道半径比月球绕地球的轨道半径大，根据 $a = \omega^2 r$ 知“鹊桥”中继星绕地球转动的向心加速度比月球绕地球转动的向心加速度大，故 D 正确。

故选 D。

3. 如图所示，带有孔的小球 A 套在粗糙的倾斜直杆上，与正下方的小球 B 通过轻绳连接，处于静止状态。给小球 B 施加水平力 F 使其缓慢上升，直到小球 A 刚要滑动，在此过程中()

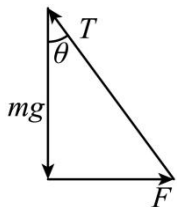


- A. 水平力 F 的大小不变
 B. 杆对小球 A 的支持力不变
 C. 轻绳对小球 B 的拉力先变大后变小
 D. 杆对小球 A 的摩擦力先变小后变大

【答案】D

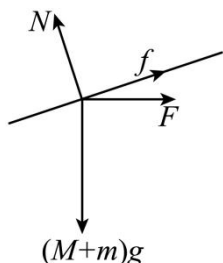
【解析】

【详解】AC. 对小球 B 受力分析，受拉力 F、重力和细线的拉力 T，根据平衡条件，三个力可以构成首尾相连的矢量三角形，如图所示



随着 θ 的增大，拉力 F 和细线的拉力 T 均增加，故 AC 错误；

BD. 对 AB 球整体分析，受重力、拉力 F 、支持力 N 和静摩擦力 f ，如图所示



设杆与水平方向的夹角为 θ ，根据平衡条件，在垂直杆方向有

$$N = (M+m)g \cos \theta + F \sin \theta$$

随着 F 的增加，支持力增加；

在平行杆方向有

$$F \cos \theta - f = (M-m)g \sin \theta$$

故有

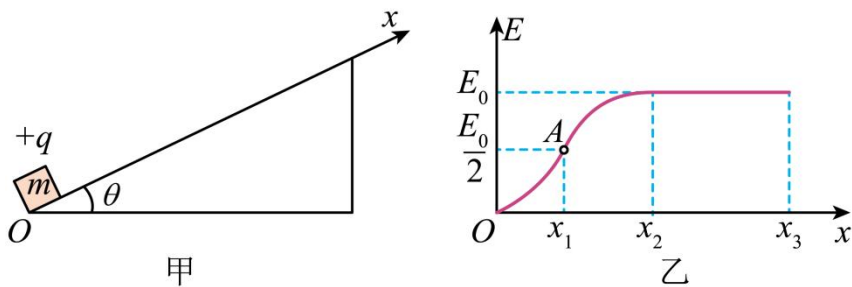
$$f = (M+m)g \sin \theta - F \cos \theta$$

随着 F 的增加，静摩擦力逐渐减小，当 $(M+m)g \sin \theta = F \cos \theta$ 时，摩擦力为零，此后静摩擦力反向增大，故 D 正确 B 错误。

故选 D。

4. 学校科技节中某参赛选手设计了运输轨道，如图甲所示，可简化为倾角为 θ 的足够长固定绝缘光滑斜面。

以斜面底端为坐标原点，沿斜面向上为 x 轴的正方向，且沿 x 轴部分区域存在电场。在斜面底端由静止释放一质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的滑块，在滑块向上运动的一段过程中，机械能 E 随位置坐标 x 的变化如图乙所示，曲线 A 点处切线斜率最大。滑块可视为质点，不计空气阻力，不计滑块产生的电场。以下说法正确的是 ()



- A. 在 $x_1 \sim x_3$ 过程中，滑块动能先减小后恒定
- B. 在 x_1 处滑块的动能最大， $E_{k\max} = \frac{E_0}{2} - mgx_1 \sin \theta$
- C. 在 $0 \sim x_2$ 的过程中重力势能与电势能之和一直增大
- D. 在 $0 \sim x_3$ 过程中，滑块先加速后减速

【答案】D

【解析】

【详解】A. 根据

$$qEx = \Delta E_{\text{机}}$$

可知机械能 E 随位置坐标 x 的变化图像中图像上某点切线的斜率表示电场力，由于滑块由静止开始运动，则刚刚释放时的电场力大于重力沿斜面的分力，结合图像可知，图像的斜率先增大后减小至 0，则电场力先增大至最大值，后减小至 0，可知电场力与重力沿斜面的方向大小相等的时刻在 $x_1 \sim x_2$ 中间的某一位置，

在该位置，滑块所受合力为 0，该位置之后，电场力小于重力沿斜面的分力，根据动能定理可知在 $x_1 \sim x_3$ 过程中，滑块动能先增大后减小，A 错误；

B. 动能最大位置时，滑块速度最大，滑块所受合力为 0，根据上述可知，动能最大的位置在在 $x_1 \sim x_2$ 中间的某一位置，B 错误；

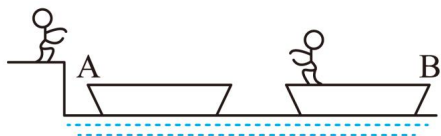
C. 根据上述可知，在 $0 \sim x_2$ 的过程中滑块动能先增大后减小，而滑块在运动过程中只有重力势能、电势能与动能之间的转化，可知在 $0 \sim x_2$ 的过程中重力势能与电势能之和先减小后增大，C 错误；

D. 根据上述可知，在 $0 \sim x_3$ 过程中，滑块向上运动，滑块先做加速度增大的加速运动，后做加速度减小的加速运动，再做加速度反向增大的减速运动，最后做匀减速运动，即在 $0 \sim x_3$ 过程中，滑块先加速后减速，D 正确。

故选 D。

5. 如图所示，在平静的水面上有 A、B 两艘小船，A 船的左侧是岸，在 B 船上站着一个人，人与 B 船的总

质量是 A 船的 10 倍。两船开始时都处于静止状态，当人把 A 船以相对于地面的速度 v 向左推出， A 船到达岸边时岸上的人马上以两倍原速率将 A 船推回， B 船上的人接到 A 船后，再次把它以速度 v 向左推出……直到 B 船上的人不能再接到 A 船，忽略水的阻力，则 B 船上的人最多可以推船的次数为 ()



- A. 8 B. 7 C. 6 D. 9

【答案】A

【解析】

【详解】取向右为正方向， B 船上的人第一次推出 A 船时，由动量守恒定律得

$$m_B v_1 - m_A v = 0$$

解得

$$v_1 = \frac{m_A}{m_B} v$$

当 A 船向右返回后， B 船上的人第二次将 A 推出，由动量守恒定律得

$$m_B v_1 + 2m_A v = -m_A v + m_B v_2$$

解得

$$v_2 = v_1 + \frac{3m_A}{m_B} v$$

当 A 船再向右返回后， B 船上的人第三次将 A 推出，由动量守恒定律得

$$m_B v_2 + 2m_A v = -m_A v + m_B v_3$$

解得

$$v_3 = v_2 + \frac{3m_A}{m_B} v$$

则 B 船上的人第 n 次将 A 推出，由动量守恒定律得

$$m_B v_{n-1} + 2m_A v = -m_A v + m_B v_n$$

得

$$v_n = v_{n-1} + \frac{3m_A}{m_B} v$$

整理得

$$v_n = (3n - 2) \frac{m_A}{m_B} v$$

B 船上的人不能再接到 A 船，须有

$$2v \leq v_n$$

联立解得

$$n \geq \frac{22}{3}$$

则取

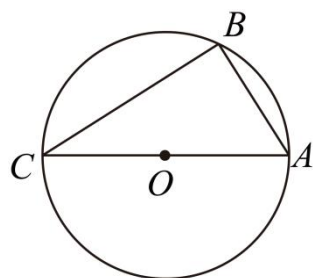
$$n = 8$$

故 A 正确， BCD 错误。

故选 A 。

6. 如图所示，真空中有一匀强电场（图中未画出），电场方向与圆周在同一平面内， $\triangle ABC$ 是圆的内接直角三角形， $\angle BAC = 63.5^\circ$ ， O 为圆心，半径 $R = 5\text{cm}$ 。位于 A 处的粒子源向平面内各个方向发射初动能均为 8eV 、电荷量为 $+e$ 的粒子。有些粒子会经过圆周上不同的点。其中到达 B 点的粒子动能为 12eV ，达到 C 点的粒子电势能为 -4eV （取 O 点电势为零）、忽略粒子的重力和粒子间的相互作用， $\sin 53^\circ = 0.8$ 。

下列说法正确的是（ ）



- A. 圆周上 A 、 C 两点的电势差为 16V
- B. 圆周上 B 、 C 两点的电势差为 -4V
- C. 匀强电场的场强大小为 200V/m
- D. 当某个粒子经过圆周上某一位置时，可以具有 3eV 的电势能，且同时具有 9eV 的动能

【答案】D

【解析】

【详解】A. 粒子在 C 点的电势能为 -4eV ，根据

$$E_{p_C} = \varphi_C q$$

可得

$$\varphi_C = -4\text{V}$$

因为 O 点电势为零，所以

$$U_{CO} = \varphi_C - \varphi_O = -4V$$

根据匀强电场的特点，及 AOC 为直径，可得

$$U_{CO} = U_{OA} = -4V$$

所以

$$U_{CA} = U_{CO} + U_{OA} = -8V$$

$$U_{AC} = -U_{CA} = 8V$$

A 、 C 两点的电势差为 $8V$ ， A 错误；

B ．因为

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8V$$

所以

$$\varphi_A = 4V$$

从 A 到 B 根据动能定理

$$U_{AB}q = Ek_B - Ek_A = 12eV - 8eV = 4eV$$

可得

$$U_{AB} = 4V$$

又因为

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4V$$

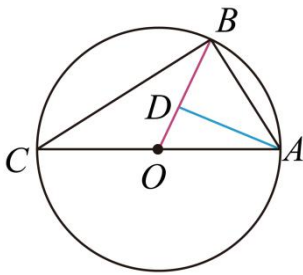
可得

$$\varphi_B = 0V$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 4V$$

B 、 C 两点的电势差为 $4V$ ， B 错误；

C ．由于 B 点电势和 O 点电势相等，连接 BO ，则 BO 为匀强电场的等势面， A 过做 BO 的垂线交 BO 于 D 点，则 AD 的方向为匀强电场电场线的方向，如图所示



根据几何关系可知

$$\angle AOB = 53^\circ$$

$$AD = AO \sin 53^\circ = 4\text{cm}$$

又因为

$$U_{AD} = U_{AB} = 4\text{V}$$

所以匀强电场的场强大小为

$$E = \frac{U_{AD}}{AD} = 100\text{V/m}$$

C 错误；

D. 因为 B 点电势为 0，则 B 点电势能也为 0，粒子在 B 点的总能量为

$$E_B = E_{p_B} + E_{k_B} = 12\text{eV}$$

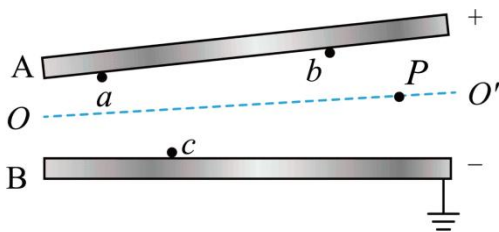
根据能量守恒可知当某个粒子经过圆周上某一位置时，可以具有 3eV 的电势能，且同时具有 9eV 的动能，

D 正确。

故选 D。

二、多项选择题：本题共 4 小题、每小题 5 分，共 20 分。每小题有多个选项符合题目要求。全部选对的得 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

7. 如图所示， OO' 是带有等量异号电荷的金属板 A、B 的中轴线，A 板带正电。B 板水平带负电且接地， a 、 b 和 c 是在两板之间分别紧靠着金属板 A 和 B 表面的三个点。 P 是中轴线 OO' 上的某点。则以下说法中正确的是（ ）



A. a 、 b 和 c 三点电场强度的大小相等

B. 同一试探负电荷分别在 a 点和 b 点所具有的电势能相同，且均为负值

C. 将一试探正电荷分别从 c 点移动到 a 和 b 点，电场力均做相同的负功

D. 在 P 点放一带负电的小液滴，则液滴有可能保持静止

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 由于金属板不平行，金属板间的电场不再是匀强电场，所以 a 、 b 、 c 三点的电场强度不相等，A 错误；

B. a 、 b 是在两板之间分别紧靠着金属板 A 表面的两个点，其电势相等，且均为正，根据电势能的公式

$$E_p = q\varphi$$

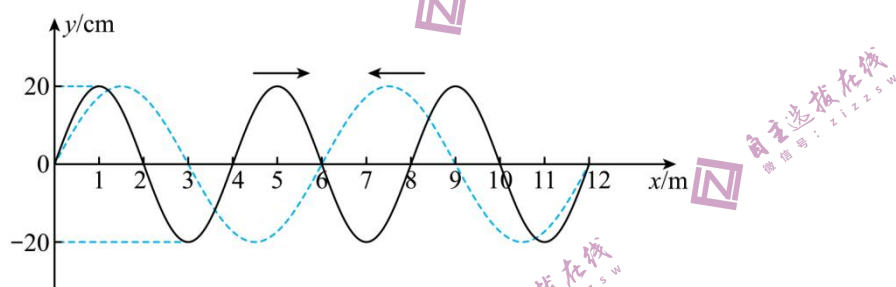
由于电荷量是负值，故它们的电势能相等，均为负值，故 B 正确；

C. 金属板处于静电平衡状态， a 、 b 两点电势相等，所以将一试探正电荷分别从 c 点移动到 a 和 b 点，电场力均做相同的负功，故 C 正确；

D. 在 P 点放一带负电的小液滴，小液滴受竖直向下的重力，斜向上的电场力，所以液滴不可能保持静止。故 D 错误。

故选 BC。

8. 两列简谐横波的振幅都是 20cm，传播速度大小相同，实线波的频率为 2Hz，沿 x 轴正方向传播；虚线波沿 x 轴负方向传播，某时刻两列波在如图所示区域相遇，则 ()



A. 在相遇区域会发生干涉现象

B. 平衡位置为 $x=6\text{m}$ 处的质点此刻速度为零

C. 平衡位置为 $x=8.5\text{m}$ 处的质点此刻位移 $y > 20\text{cm}$

D. 从图示时刻起再经过 0.25s，平衡位置为 $x=5\text{m}$ 处的质点的位移 $y < 0$

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 由图像可知，实线波的波长为 4m，频率为 2Hz，其周期

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2\text{Hz}} = 0.5\text{s}$$

波速

$$v = \frac{\lambda}{T} = 8 \text{ m/s}$$

由图可知：虚线波的波长

$$\lambda' = 6 \text{ m}$$

传播速度大小相同

$$v = \lambda' f'$$

虚线波的频率

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{4}{3} \text{ Hz}$$

则两波的频率不同，所以不能发生干涉现象，A 错误；

B. 由图像可知，两列简谐横波在平衡位置为 $x=6\text{m}$ 处，振动方向都沿 y 轴正方向，振动方向相同，振动加强，速度是两者之和，且此时都处于平衡位置，速度都不为 0，所以不可能为零，B 错误；

C. 两列简谐横波在平衡位置为 $x=8.5\text{m}$ 处的质点是振动方向相同，振动加强，由波动方程，平衡位置为 $x=8.5\text{m}$ 处的质点此刻在实线波的位移

$$y_1 = A \sin \frac{\pi}{4} = 10\sqrt{2} \text{ cm}$$

在虚线波的位移

$$y_2 = A \sin \frac{\pi}{6} = 10 \text{ cm}$$

总位移

$$y = y_1 + y_2 = 10\sqrt{2} \text{ cm} + 10 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$$

C 正确；

D. 从图示时刻起再经过 0.25s ，实线波在平衡位置为 $x=5\text{m}$ 处的质点在实线波振动半个周期，位于波谷，即位移为 -20cm ，在虚线波振动

$$\frac{t}{T'} = t f' = \frac{1}{3}$$

$\frac{1}{3}$ 个周期，位移为

$$y_3 = A \sin \frac{\pi}{3} = 10\sqrt{3} \text{ cm}$$

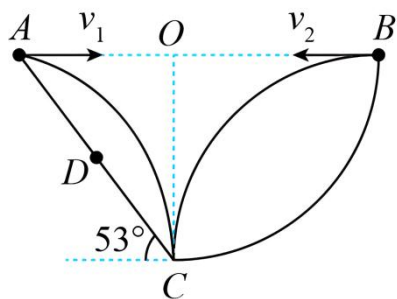
总位移

$$y = -20 \text{ cm} + 10\sqrt{3} \text{ cm} < 0$$

D 正确。

故选 CD。

9. 如图所示，同一竖直平面内有四分之一圆环 BC 和倾角为 53° 的斜面 AC ， A 、 B 两点与圆环 BC 的圆心 O 等高。现将甲、乙小球分别从 A 、 B 两点以初速度 v_1 、 v_2 沿水平方向同时抛出，两球恰好在 C 点相碰（不计空气阻力），已知 $\sin 53^\circ = 0.8$ ， $\cos 53^\circ = 0.6$ ，下列说法正确的是（ ）



- A. 初速度 v_1 、 v_2 大小之比为 $3:4$
- B. 若仅增大 v_1 ，则两球不再相碰
- C. 若 v_1 大小变为原来的一半，则甲球恰能落在斜面的中点 D
- D. 若只抛出甲球并适当改变 v_1 大小，则甲球可能垂直击中圆环 BC

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 甲、乙两球从等高处做平抛运动恰好在 C 点相碰，则时间相等，水平方向有

$$x_{\text{甲}} = v_1 t = \frac{R}{\tan 53^\circ} = \frac{3}{4} R, \quad x_{\text{乙}} = v_2 t = R$$

所以

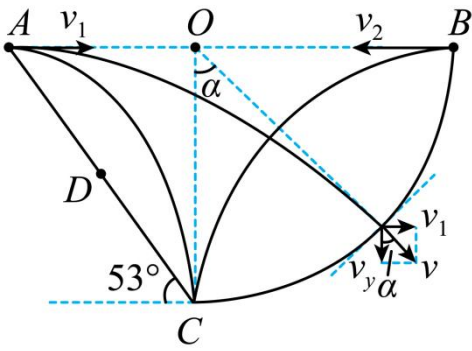
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{3}{4}$$

A 正确；

B. 两球在竖直方向做自由落体运动，同一时间位于同一高度，若仅增大 v_1 ，两球会相碰，B 错误；

C. 若 v_1 大小变为原来的一半，在时间不变的情况下水平位移会变为原来的一半，但由于甲球会碰到斜面，下落高度减小，时间减小，所以甲球的水平位移小于原来的一半，不会落在斜面的中点，C 错误；

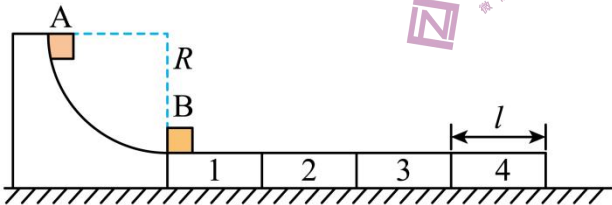
D. 若甲球垂直击中圆环 BC ，则在落点速度的反向延长线过圆心 O ，由推论知落点与 O 点的水平距离



$$x = OA = \frac{3}{4}R$$

符合实际，因此只抛出甲球并适当改变 v_1 大小，则甲球可能垂直击中圆环 BC ，D 正确。

10. 如图所示，半径 $R = 0.8\text{m}$ 的四分之一光滑圆弧轨道竖直固定于水平面上。4 个相同的木板紧挨着圆弧轨道末端静置，圆弧轨道末端与木板等高，每块木板的质量为 $m = 1\text{kg}$ ，长 $l = 1.5\text{m}$ 。它们与地面间的动摩擦因数 $\mu_1 = 0.1$ ，木板与地面的最大静摩擦力等于滑动摩擦力。在第一块木板左端放置一个质量为 $M = 2.5\text{kg}$ 的小铅块 B，可视为质点，现让一个与 B 完全一样的铅块 A 从圆弧顶端由静止滑下，经圆弧底端后与 B 发生弹性正碰，铅块与木板间的动摩擦因数 $\mu_2 = 0.2$ ， $g = 10\text{m/s}^2$ ，则 ()



- A. 小物块 A 滑到曲面轨道下端时对轨道的压力大小为 50N
- B. 铅块 B 刚滑至木板 3 时的速度为 2m/s
- C. 铅块 B 运动 $\frac{17}{9}\text{s}$ 后与某一木板共速
- D. 铅块 B 与木板间相对滑动过程中系统所产生的总热量为 $\frac{175}{9}\text{J}$

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 小物块 A 滑到曲面轨道下端，根据动能定理有

$$MgR = \frac{1}{2}Mv^2$$

小物块 A 滑到曲面轨道下端时，根据牛顿第二定律有

$$F_N - Mg = M \frac{v^2}{R}$$

解得，轨道对小物块 A 的支持力为

$$F_N = 75\text{N}$$

则小物块 A 滑到曲面轨道下端时对轨道的压力大小为 75N，故 A 错误；

B. 小物块 A 与 B 发生弹性正碰，根据动量守恒有

$$Mv = Mv_A + Mv_B$$

根据机械能守恒有

$$\frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2}Mv_A^2 + \frac{1}{2}Mv_B^2$$

解得，小物块 A 与 B 发生弹性正碰后 A 的速度为零，B 的速度为

$$v_B = 4\text{m/s}$$

设铅块 B 刚滑至第 n 块木板，该木板开始滑动，铅块 B 对该木板的滑动摩擦力为

$$f_1 = \mu_2 Mg = 5\text{N}$$

该木板及后面木板受到地面的最大静摩擦力为

$$f_2 = \mu_1 [M + (4 - n + 1)m]g$$

要使木板滑动，则有

$$f_1 > f_2$$

解得

$$n > 2.5$$

即铅块 B 滑上第 3 块木板时，木板开始滑动，根据动能定理有

$$-\mu_2 Mg \cdot 2l = \frac{1}{2}Mv_1^2 - \frac{1}{2}Mv_B^2$$

解得，铅块 B 刚滑至木板 3 时的速度为

$$v_1 = 2\text{m/s}$$

故 B 正确；

C. 根据牛顿第二定律有，铅块 B 在木板上滑动的加速度大小为

$$a_1 = \frac{\mu_2 Mg}{M} = 2\text{m/s}^2$$

则铅块 B 在木板 1 和 2 上滑动的时间为

$$t_1 = \frac{v_B - v_1}{a_1} = 1\text{s}$$

木板 3、4 一起滑动时的加速度为

$$a_2 = \frac{\mu_2 Mg - \mu_1 (M + 2m)g}{2m} = 0.25 \text{m/s}^2$$

假设铅块 B 能在木板 3 上滑动时与木板 3 共速，则有

$$v_2 = v_1 - a_1 t_2 = a_2 t_2$$

解得

$$t_2 = \frac{8}{9} \text{s}, \quad v_2 = \frac{2}{9} \text{m/s}$$

此过程中铅块 B 的位移为

$$x_1 = \frac{v_1 + v_2}{2} t_2 = \frac{80}{81} \text{m}$$

木板 3、4 的位移为

$$x_2 = \frac{v_2}{2} t_2 = \frac{8}{81} \text{m}$$

铅块 B 相对于木板 3、4 的位移为

$$\Delta x = x_1 - x_2 = \frac{8}{9} \text{m} < l$$

则假设成立，则铅块 B 经过运动到与木板共速的时间为

$$t = t_1 + t_2 = \frac{17}{9} \text{s}$$

故 C 正确；

D. 铅块 B 在木板上滑动到与木板共速的过程中，根据能量守恒有

$$\frac{1}{2} M v_B^2 = Q + \frac{1}{2} (M + 2m) v_2^2$$

解得，铅块 B 与木板间相对滑动过程中系统所产生的总热量为

$$Q = \frac{179}{9} \text{J}$$

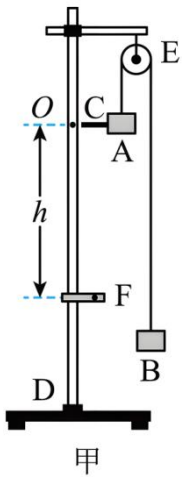
故 D 错误。

故选 BC。

三、实验题：本题共 2 小题，11 题 6 分、12 题 8 分，共 14 分。

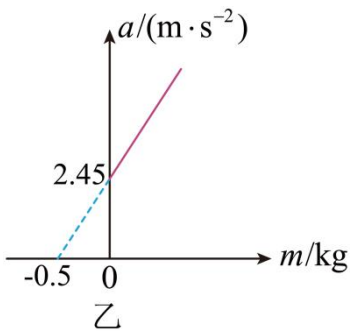
11. 图甲所示为某实验小组同时测量 A、B 两个箱子质量的装置图，其中 D 为铁架台、E 为固定在铁架台上的轻质定滑轮（质量和摩擦可忽略），F 为光电门，C 为固定在 A 上、宽度为 d 的细遮光条（质量不计）。

此外该实验小组还准备了砝码一套（总质量 $m_0 = 0.5 \text{kg}$ ）和刻度尺等，请在以下实验步骤中按要求作答。



甲

- (1) 在铁架台上标记一位置 O ，并测得该位置与光电门之间的高度差 h 。
- (2) 取出质量为 m 的砝码放在 A 中，剩余砝码都放在 B 中，让 A 从位置 O 由静止开始下降。
- (3) 记录下遮光条通过光电门的时间 t ，根据所测数据可计算出 A 下落到 F 处的速度 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ ，下落过程中的加速度大小 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（用 d 、 t 、 h 表示）
- (4) 改变 m ，重复 (2) (3) 步骤，得到多组 m 及 a 的数据，作出 $a-m$ 图像如图乙所示。可得 A 的质量 $m_A = \underline{\hspace{2cm}}$ kg。（重力加速度 g 取 9.8m/s^2 ）



乙

【答案】 ①. $\frac{d}{t}$ ②. $\frac{d^2}{2ht^2}$ ③. 2.5

【解析】

【详解】(3) [1] A 下落到 F 处的速度

$$v = \frac{d}{t}$$

[2] 由匀加速直线运动位移公式

$$2ah = v^2$$

下落过程中的加速度大小

$$a = \frac{d^2}{2ht^2}$$

(2) [3] 整体由牛顿第二定律可得

$$(m_A + m)g - (m_B + m_0 - m)g = (m_A + m_B + m_0)a$$

可得

$$a = \frac{2g}{m_A + m_B + m_0}m + \frac{(m_A - m_B - m_0)g}{m_A + m_B + m_0}$$

结合图乙可得图线斜率为

$$\frac{2g}{m_A + m_B + m_0} = \frac{2.45}{0.5}$$

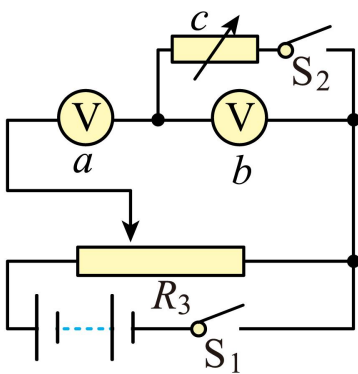
纵轴截距为

$$\frac{(m_A - m_B - m_0)g}{m_A + m_B + m_0} = 2.45$$

联立可得

$$m_A = 2.5\text{kg}$$

12. 为测量两个电压表的内阻，要求操作方便，并可进行多次测量以尽可能地提高测量的精度，杨老师依据实验室提供的下列器材，设计了如下电路。



- A. 待测电压表 V_1 ，量程为 3 V，内阻约为 12 k Ω ；
- B. 待测电压表 V_2 ，量程为 6 V，内阻约为 24 k Ω ；
- C. 电阻箱 R_1 ，阻值范围 0~9 999.99 Ω ；
- D. 电阻箱 R_2 ，阻值范围 0~99.9 Ω ；
- E. 滑动变阻器 R_3 ，阻值范围 0~1500 Ω ，额定电流 1.5A；
- F. 电池组，电动势为 12 V，内电阻为 0.5 Ω ；

此外还有单刀开关和导线若干供选用。

杨老师没有标明图中 a 、 b 、 c 是什么元件。请你依据电路图，完成后续工作：

- (1) a 应选取电压表_____ (填待测电压表前面的字母“ A ”或“ B ”);
- (2) c 应选取电阻箱_____ (填电阻箱前面的字母“ C ”或“ D ”);
- (3) 开关 S_1 闭合, S_2 断开, V_1 、 V_2 的读数分别是 U_1 、 U_2 ; 调节电阻箱的读数为 R , S_1 和 S_2 均闭合, 适当调节 R_3 , 测得 V_1 、 V_2 的读数分别是 U'_1 、 U'_2 , 可得到待测电压表 V_1 的内阻表达式为 $R_{V_1} = \underline{\hspace{2cm}}$, $R_{V_2} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 ①. B ②. C ③. $\frac{(U_1U'_2 - U'_1U_2)R}{U'_1U_2}$ ④. $\frac{(U_1U'_2 - U'_1U_2)R}{U_1U'_1}$

【解析】

【详解】(1)(2) [1][2]估算两表满偏电流, 均约为 0.25mA , 设想 a 表满偏, 则 c 不能选电阻箱 R_2 , 否则 b 表无论选 V_1 或 V_2 , 其电流均远远无法使表 b 达到满偏的 $\frac{1}{3}$, 故 c 只能选取 R_1 。确定 c 后, 要使表 b 达到满偏的 $\frac{1}{3}$, 则表 b 只能选取 V_1 , 故表 a 为 V_2 。

(3) [3][4]开关 S_1 闭合, S_2 断开时, 测得电压表的示数 U_1 和 U_2 , 有

$$\frac{U_2}{R_{V_2}} = \frac{U_1}{R_{V_1}}$$

S_1 和 S_2 均闭合时, 调节电阻箱的阻值为 R 时, 测得电压表的示数 U'_1 和 U'_2 , 有

$$\frac{U'_2}{R_{V_2}} = \frac{U'_1}{\frac{R_{V_1}R}{R_{V_1} + R}}$$

解得

$$R_{V_1} = \frac{(U_1U'_2 - U'_1U_2)R}{U'_1U_2}$$

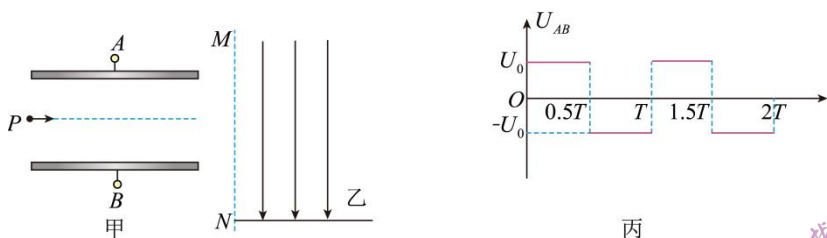
$$R_{V_2} = \frac{(U_1U'_2 - U'_1U_2)R}{U_1U'_1}$$

四、解答题: 本题共 3 小题。13 题 12 分、14 题 14 分、15 题 16 分, 共 42 分。

13. 如图甲所示, 长为 L 的平行金属板水平固定放置, 两板间加有如图丙所示的方波电压, 图丙中 U_0 、 T 均已知, 在两板中线左端 P 点有一个粒子源, 不断地从 P 点射出质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的粒子, 粒子穿过两板所用的时间为 T , 从 $t=0$ 时刻射入两板间的粒子刚好从下板右端边缘射出, 在两板右边的竖直

虚线 MN 右侧有竖直向下的匀强电场，电场强度大小等于 $\frac{U_0}{L}$ ，在电场中有一水平放置的粒子接收板，粒子接收板的上表面比平行板下板的上表面低的高度为板间距离的一半，不计粒子重力，不计粒子间的相互作用，求：

- (1) 粒子从 P 点射出的初速度大小；
- (2) 两平行金属板间的距离；
- (3) 接收板上能接收到粒子区域的长度为多少。



【答案】(1) $\frac{L}{T}$ ；(2) $\sqrt{\frac{qU_0T^2}{2m}}$ ；(3) $(\sqrt{3}-1)\sqrt{\frac{mL^6}{2qU_0T^2}}$

【解析】

【详解】(1) 根据题意可知，粒子从 P 点射出的初速度大小

$$v_0 = \frac{L}{T}$$

(2) 设板间距离为 d ，从 $t=0$ 时刻射进电场的粒子，刚好从下板右端边缘射出，则粒子在电场运动的加速度大小

$$a_1 = \frac{qU_0}{md}$$

则

$$\frac{1}{2}d = 2 \times \frac{1}{2}a_1 \left(\frac{T}{2}\right)^2$$

解得

$$d = \sqrt{\frac{qU_0T^2}{2m}}$$

(3) 由于所有粒子穿过电场的时间均为 T ，因此所有粒子出电场时沿电场方向的速度为零，即所有粒子射出电场时速度大小为 v_0 ，方向水平向右。根据对称性，从 $t=0.5T$ 时刻进入电场的粒子刚好从上板右边缘水平向右射出。即所有粒子射出两板间的区域在两板右端间长为 d 的区域内。从上板右端边缘射出的粒子进入 MN 右侧电场后，做类平抛运动。则

$$x_1 = v_0 t_1$$

$$\frac{3}{2}d = \frac{1}{2} \times \frac{qE_1}{m} t_1^2$$

$$E = \frac{U_0}{L}$$

解得

$$x_1 = v_0 \sqrt[4]{\frac{9mT^2L^2}{2qU_0}}$$

从下板右端边缘射出的粒子进入 MN 右侧电场后，做类平抛运动。则

$$x_2 = v_0 t_2$$

$$\frac{1}{2}d = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m} t_2^2$$

解得

$$x_2 = v_0 \sqrt[4]{\frac{mT^2L^2}{2qU_0}}$$

因此接收板上有粒子打上的区域长度

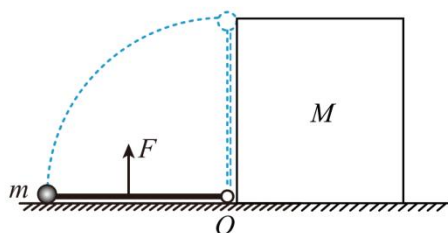
$$\Delta x = x_1 - x_2 = (\sqrt{3} - 1) \sqrt[4]{\frac{mL^6}{2qU_0T^2}}$$

14. 如图所示，长为 L 的轻杆一端连着质量为 m 的小球，另一端用活动铰链轴接于水平地面上的 O 点，初始时小球静止于地面上，边长为 L 、质量为 M 的光滑正方体紧挨 O 点右侧且静止。现在杆中点处施加一大小始终为 $\frac{12mg}{\pi}$ (g 为重力加速度)、方向始终垂直直杆的拉力，经过一段时间后撤去 F ，小球恰好能到达最高点。 m 、 g 、 L 已知，忽略一切摩擦以及空气阻力，试分析：

(1) 拉力所做的功；

(2) 撤去拉力 F 时小球的速度大小；

(3) 若小球运动到最高点后受到微小扰动（初速度为零）开始向右倾倒，当杆与水平面夹角 $\theta = 30^\circ$ 时，杆对小球的作用力为零，求此时正方体的速度大小 v_1 以及正方体和小球的质量之比 $M : m$ 。



【答案】(1) $W_F = mgL$; (2) $v = \sqrt{gL}$; (3) $v_1 = \frac{\sqrt{2gL}}{4}$, $M:m=4:1$

【解析】

【详解】(1) 根据动能定理可得

$$W_F - mgL = 0$$

力 F 所做的功为

$$W_F = mgL$$

(2) 设撤去 F 时, 杆与水平面夹角为 α , 撤去 F 前, 有

$$W_F = \frac{12mg}{\pi} \times \frac{L}{2} \alpha = mgL$$

解

$$\alpha = \frac{\pi}{6}$$

根据动能定理有

$$mgL - mgL \sin \alpha = \frac{1}{2} mv^2$$

得撤去 F 时小球的速度为

$$v = \sqrt{gL}$$

(3) 设杆与水平面夹角为 θ 时, 小球的速度为 v_0 , 正方体的速度为 v_1 . 由速度关联可得此时的速度关系为

$$v_1 = v_0 \sin \theta$$

由加速度关联可得此时小球水平方向的加速度为零, 所以轻杆对小球弹力必须为零, 即此时小球仅受重力作用, 所以此时小球做圆周运动的向心力由小球重力沿杆方向的分力提供, 即

$$mg \sin \theta = m \frac{v_0^2}{L}$$

对 M 和 m 组成的系统, 从杆开始向右倾斜到 M 、 m 分开的过程, 由机械能守恒有

$$mg(L - L \sin \theta) = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} Mv_1^2$$

联立解得

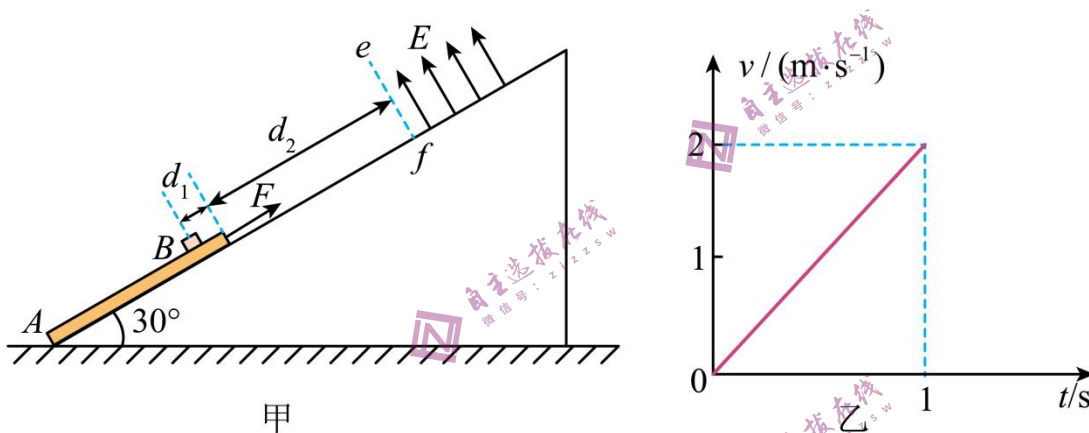
$$v_1 = \frac{\sqrt{2gL}}{4}, \quad M:m=4:1$$

15. 如图甲所示, 倾角 $\theta = 30^\circ$ 的斜面固定在水平地面上, 斜面上放置长度 $L = 1\text{m}$ 、质量 $M = 3\text{kg}$ 的长木板 A, 长木板的下端恰好与斜面底部齐平; 一可视为质点、质量 $m = 1\text{kg}$ 、带电量 $q = +1 \times 10^{-5}\text{C}$ 的物块 B

放在木板上，与木板上端距离 $d_1 = 0.15\text{m}$ ；与木板上端距离 $d_2 = 1\text{m}$ 的虚线 ef 右侧存在足够宽匀强电场，电场方向垂直斜面向上。 $t = 0$ 时刻起，一沿斜面向上的恒力 F 作用在长木板上，1s 后撤去 F ，物块 B 在 $0 \sim 1\text{s}$ 内运动的 $v-t$ 图像如图乙所示，且物块 B 在 $t = 1.3\text{s}$ 时速度恰好减为 0。已知物块与长木板间的动摩擦因数 $\mu_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ，长木板与斜面间的动摩擦因数 $\mu_2 = \frac{\sqrt{3}}{3}$ ，物块 B 带电量始终不变，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，

求：

- (1) 恒力 F 的大小；
- (2) 匀强电场的电场强度大小；
- (3) 从 $t = 0$ 时刻起到木板下端再次与斜面底部齐平的过程中，物块 B 与木板 A 间因摩擦产生的热量。



【答案】(1) $F = 48\text{N}$ ；(2) $E = 5\sqrt{3} \times 10^5 \text{N/C}$ ；(3) $Q = 1.125\text{J}$

【解析】

【详解】(1) 由图乙可得， $0 \sim 1\text{s}$ 物块 B 加速度大小为

$$a_1 = 2\text{m/s}^2$$

若物块 B 与长木板发生相对滑动，则

$$\mu_1 mg \cos \theta - mg \sin \theta = ma_0$$

得

$$a_0 = 2.5\text{m/s}^2$$

$$a_1 < a_0$$

故恒力 F 作用后，两者相对静止，一起向上加速，对 AB 整体有

$$F = \mu_2 (M + m) g \cos \theta - (M + m) g \sin \theta = (M + m) a_1$$

得

$$F = 48\text{N}$$

(2) $0 \sim 1\text{s}$ 内 AB 一起运动的位移为

$$s_1 = \frac{v_1}{2} t_1$$

得

$$s_1 = 1\text{m} = d_2$$

即撤去外力时木板恰运动到电场边缘，假设撤去外力后 AB 相对静止一起减速，对 AB 整体有

$$\mu_2(M+m)g \cos \theta + (M+m)g \sin \theta = (M+m)a_2$$

得

$$a_2 = 10\text{m/s}^2$$

对物块 B 有

$$f_0 + mg \sin \theta = ma$$

得

$$f_0 = 5\text{N} < f_m = 7.5\text{N}$$

假设成立，两者相对静止一起减速，在此加速度下若 B 减速为零，则运动距离为

$$s_{B0} = \frac{v_1^2}{2a_2}$$

得

$$s_{B0} = 0.2\text{m} > d_1$$

即物块 B 到达电场边缘时尚未减速为零。

$$d_1 = v_1 t_2 - \frac{1}{2} a_2 t_2^2$$

得

$$t_2 = 0.1\text{s}$$

或

$$t_2 = 0.3\text{s} \text{ (舍弃)}$$

$$v_2 = v_1 - a_2 t_2$$

物块 B 在 $t = 1.3\text{s}$ 减速为零，则共进入电场后的加速度大小为

$$a_3 = \frac{v_2 - 0}{t - t_1 - t_2}$$

$$mg \sin \theta + \mu_1 (mg \cos \theta - qE) = ma_3$$

得

$$E = 5\sqrt{3} \times 10^5 \text{ N/C}$$

(3) 物块 B 进入电场后减速为零经过的位移为

$$s_B = \frac{v_2^2}{2a_3}$$

长木板 A 减速为零的位移为 s_A ，则

$$-\mu_2 Mg \cos \theta s_A - mgs_A \sin \theta = 0 - \frac{1}{2} Mv_2^2$$

得

$$s_B = 0.1 \text{ m}$$

$$s_A = 0.05 \text{ m}$$

$$s_B < s_A + d_1$$

即物块 B 尚未冲出长木板 A 的上端，A 物体减速为零后，因

$$\mu_2 Mg \cos \theta = Mg \sin \theta$$

故 A 静止不动，物块 B 离开电场时，速度与进入时候等大反向，即

$$v_2' = v_2$$

对 B

$$\mu_1 mg \cos \theta - mg \sin \theta = ma_B$$

对 A

$$\mu_1 mg \cos \theta + Mg \sin \theta - \mu_2 (M + m) g \cos \theta = Ma_A$$

得

$$a_B = 2.5 \text{ m/s}^2$$

$$a_A = \frac{5}{6} \text{ m/s}^2$$

两者共速时

$$v_2' - a_B t_4 = a_A t_4$$

得

$$t_4 = 0.3\text{s}$$

$$v_{\text{共}} = 0.25\text{ m/s}$$

此过程中长木板 A、物块 B 各自的位移大小为

$$s_A' = \frac{v_{\text{共}}}{2} t_4$$

$$s_B' = \frac{v_2' + v_1}{2} t_4$$

得

$$s_A' = 0.0375\text{m}$$

$$s_B' = 0.1875\text{m}$$

$$s_A' < d_2$$

即此时长木板 A 尚未到达底部，物块 B 进入电场后

$$qE = mg \cos \theta$$

与木板间无摩擦生热，仅在物块 B 离开电场后与长木板 A 有摩擦生热，即

$$Q = \mu_1 mg \cos \theta (s_B' - s_A')$$

得

$$Q = 1.125\text{J}$$

