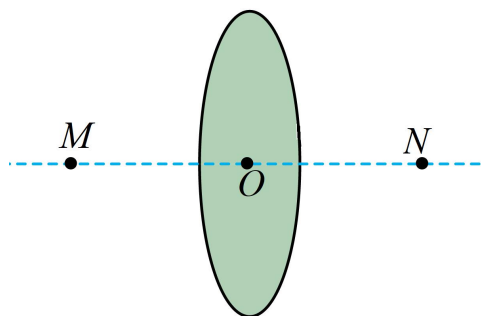


C. 密封气体对外做正功

D. 密封气体的末态压强是初态的 2 倍

4. 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

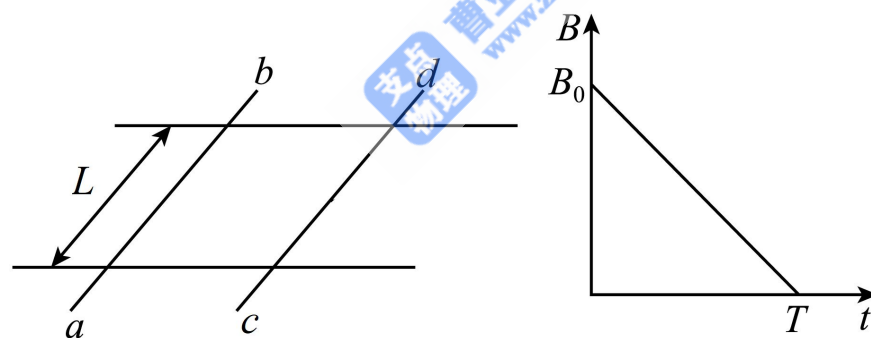
B. B

C. $2B$

D. $3B$

5. 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 ()



A. $\frac{B_0 L x_0}{4R}$

B. $\frac{B_0 L x_0}{2R}$

C. $\frac{B_0 L x_0}{R}$

D. $\frac{2B_0 L x_0}{R}$

6. 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. $\frac{1}{2}$

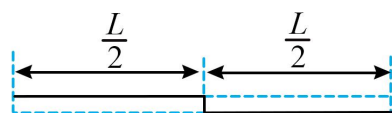
B. $\frac{1}{3}$

C. $\frac{1}{4}$

D. $\frac{1}{6}$

7. 一个宽为 L 的双轨推拉门由两扇宽为 $\frac{L}{2}$ 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（ ）



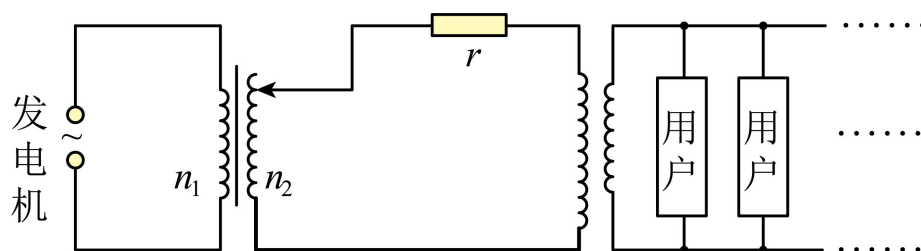
图（a）



图（b）

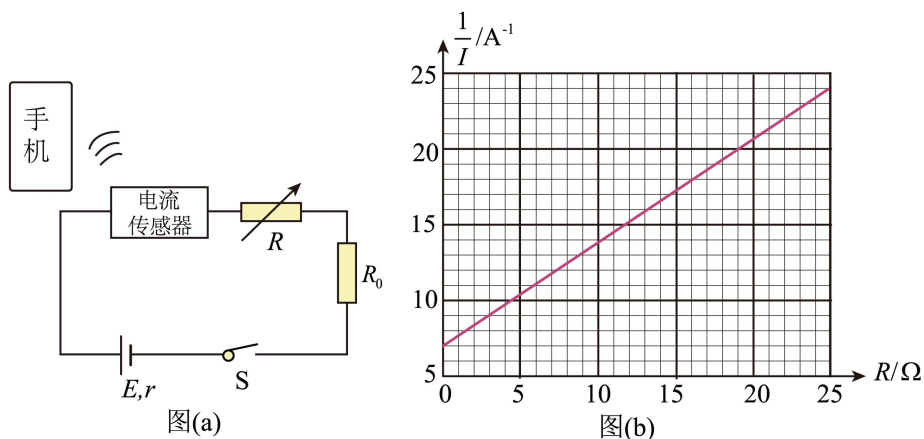
- A. $\sqrt{\frac{L}{2\mu g}}$ B. $\sqrt{\frac{L}{\mu g}}$ C. $\sqrt{\frac{2L}{\mu g}}$ D. $2\sqrt{\frac{L}{\mu g}}$

8. 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

9. 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（ ）



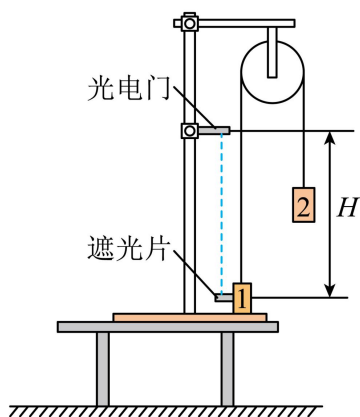
(1) R_0 在电路中起_____（填“保护”或“分流”）作用。

(2) $\frac{1}{I}$ 与 E 、 r 、 R 、 R_0 的关系式为 $\frac{1}{I} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(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 $E = \underline{\hspace{2cm}}$ V（保留三位有效数字）， $r = \underline{\hspace{2cm}}$ 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。

12. 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 。

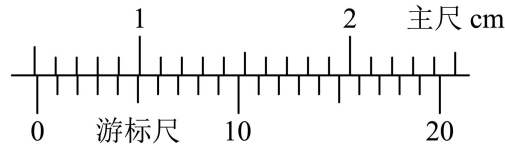
④启动光电门，释放重锤 1，用毫秒计测出遮光片经过光电门所用时间 t 。

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，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_____cm。



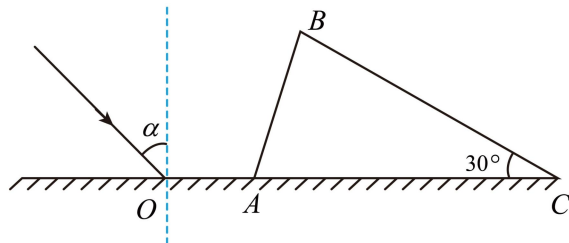
图(b)

(2)重锤 1 通过光电门时的速度大小为 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ (用遮光片 d 、 t 表示)。若不计摩擦， g 与 m 、 M 、 d 、 t 、 H 的关系式为_____。

(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 $\Delta T = 4\gamma \frac{Mm}{M+m}g$ ，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 $g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ (保留三位有效数字)。

β	0.04	0.06	0.08	0.10
$a/(\text{m/s}^2)$	0.084	0.281	0.477	0.673

13. 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 $\sqrt{2}$ 。

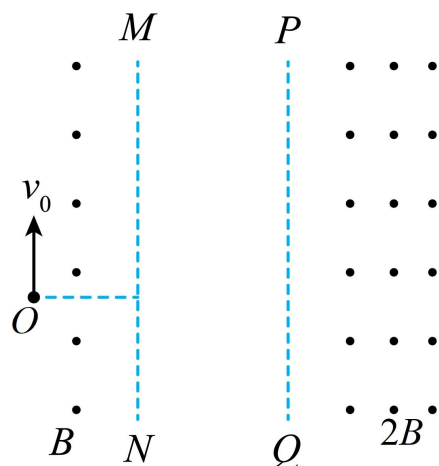


(1)当 $\alpha = 45^\circ$ 时，求光线从 AB 边射入棱镜时折射角的正弦值；

(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

14. 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

15. 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。(参考公式：

$$1^2 + 2^2 + \dots + k^2 = \frac{1}{6}k(k+1)(2k+1)$$

1. C

【详解】A. 根据质量数与电荷数守恒可知，该物质为 $^{18}_8\text{O}$ ，故 A 错误；

B. 核聚变是轻核结合成重核的过程（如氢弹原理）。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。

故选 C。

2. A

【详解】根据卫星做圆周运动的向心力等于万有引力可知

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = ma$$

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

因 $r_{\text{甲}} < r_{\text{乙}}$ ，可知卫星甲、乙运动的周期 $T_{\text{甲}} < T_{\text{乙}}$

线速度关系 $v_{\text{甲}} > v_{\text{乙}}$

角速度关系 $\omega_{\text{甲}} > \omega_{\text{乙}}$

向心加速度关系 $a_{\text{甲}} > a_{\text{乙}}$

故选 A。

3. B

【详解】A. 气体温度升高，体积减小，根据 $\frac{pV}{T} = C$

气体压强变大，则外力 F 增加，选项 A 错误；

B. 气体温度升高，则气体内能变大，即 ΔU 增加，选项 B 正确；

C. 气体体积减小，则外界对气体做功，选项 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，选项 D 错误。

故选 B。

4. A

【详解】由右手螺旋定则及对称性可知，环形电流在 N 点产生的磁场，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。

故选 A。

5. B

【详解】通过导体的电荷量 $q = \bar{I} \Delta t$

$$\text{而 } \bar{I} = \frac{\bar{E}}{2R}$$

$$t = T \text{ 时, 磁感应强度为零, 故 } \bar{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{B_0 l x_0 - 0}{T}$$

$$\text{联立以上各式, 可得 } q = \frac{B_0 l x_0}{2R}$$

故选 B。

6. C

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

$$\text{设球网高度为 } h, \text{ 则对 } A \text{ 点发出的球, 有 } L - h = v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{对 } B \text{ 点发出的球, 有 } \frac{L}{2} - h = -v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{联立以上各式, 可得 } \tan \theta = \frac{1}{4}$$

故选 C。

7. B

【详解】设拉力为 F ，作用时间为 t_1 ，撤去外力后 AB 运动的时间为 t_2 ， AB 运动过程的最大速度为 v_m ，则由动量定理，有 $(F - \mu mg)t_1 = mv_m$

$$\text{得 } t_1 = \frac{mv_m}{F - \mu mg}$$

撤销拉力后，有 $\mu mg t_2 = mv_m$

$$\text{得 } t_2 = \frac{v_m}{\mu g}$$

对于全过程，有 $F t_1 = \mu mg t$

$$\text{得 } F = \frac{\mu mgt}{t_1}$$

$$\text{对于全过程有 } \frac{L}{2} = \frac{v_m t}{2}$$

故 AB 运动的总时间

$$t = t_1 + t_2 = \frac{mv_m}{F - \mu mg} + \frac{v_m}{\mu g} = \frac{mv_m}{\frac{\mu mgt}{t_1} - \mu mg} + \frac{v_m}{\mu g} = \frac{v_m}{\mu g} \frac{t}{t - t_1} + \frac{v_m}{\mu g} \frac{1}{t - t_1} = \frac{L}{\mu g t_2}$$

可知当 t_2 越大时, t 越小, 当 $t_2 = t$ 时, t 取最小值。

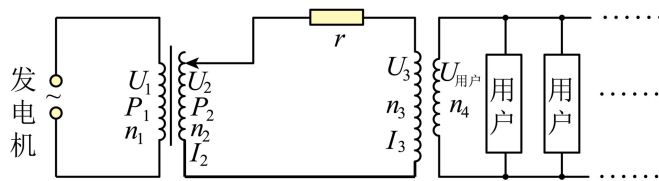
$$\text{则 } t_{\min}^2 = \frac{L}{\mu g}$$

$$\text{则 } t_{\min} = \sqrt{\frac{L}{\mu g}}$$

故选 B。

8. AC

【详解】A. 整个电路物理量标注如图



设用户端总电阻为 $R_{\text{用户}}$, 降压器输入端等效为电阻 R_x , 则有 $I_3^2 R_x = I_4^2 R_{\text{用户}}$

因为 $I_3 n_3 = I_4 n_4$

其中 $I_2 = I_3$, 则对于输电线有 $I_2 = \frac{U_2}{r + R_x}$

$$\text{联立整理可得 } I_2 = \frac{U_2}{r + \left(\frac{n_3}{n_4}\right)^2 R_{\text{用户}}}$$

仅增加用户数, 则 $R_{\text{用户}}$ 减小, 可知 I_2 增大, 根据 $\Delta P = I_2^2 r$

可知 r 消耗的功率增大, 故 A 正确;

B. 仅增加用户数, I_2 增大, 根据 $U_3 = U_2 - I_2 r$

可知 U_3 减小, 根据用户端的电压 $U_4 = \frac{n_4}{n_3} U_3$

可知用户端的电压减小, 故 B 错误;

C. 仅适当增加 n_2 , 根据 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$

可知 U_2 增大, 根据 $I_2 = \frac{U_2}{r + \left(\frac{n_3}{n_4}\right)^2 R_{\text{用户}}}$

可知 I_2 增大, 根据 $U_3 = I_2 R_x$

可知 U_3 增大, 根据用户端的电压 $U_4 = \frac{n_4}{n_3} U_3$

可知用户端的电压增大, 故 C 正确;

D. 由 C 选项可知, 仅适当增加 n_2 , I_2 增大, 整个电路消耗的电功率 $P_1 = P_2 = U_2 I_2$

由于 U_2 增大, 故整个电路消耗的电功率变大, 故 D 错误。

故选 AC。

9. AD

【详解】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;

ACD. A 球发生运动的临界条件为弹簧对 A 球向上的弹力大于 A 球的重力, 则此时对 A 球有 $kx_0 = mg$

对 B 球有此时加速度 $kx_0 + mg = ma$

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 $kl = ma$

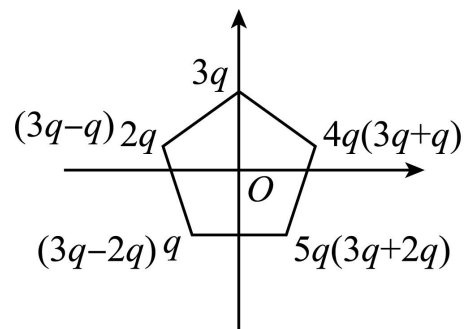
解得 $l = \frac{2mg}{k}$

即 $l \leq \frac{2mg}{k}$, 否则 A 球会发生运动, AD 正确, C 错误。

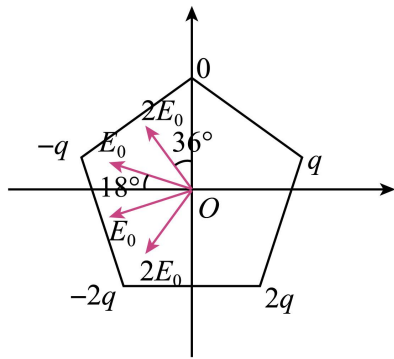
故选 AD。

10. AD

【详解】由题意可知, 如图



将五个点电荷等效成



设五个点电荷与 O 点距离为 r ，设 $E_0 = \frac{kq}{r^2}$

则 O 点场强大小为 $E = 2 \times 2E_0 \cos 54^\circ + 2E_0 \cos 18^\circ$

代入可得 $E = 2 \frac{kq}{r^2} (2 \cos 54^\circ + \cos 18^\circ)$

方向沿 x 轴负方向；

故选 AD。

11. (1)保护

$$(2) \frac{R}{E} + \frac{R_0 + r}{E}$$

(3) 1.47 1.3

(4)有

【详解】(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 $E = I(R + R_0 + r)$

化简可得 $\frac{1}{I} = \frac{R}{E} + \frac{R_0 + r}{E}$

(3) [1][2]结合上述有 $\frac{1}{I} = \frac{R}{E} + \frac{R_0 + r}{E}$

结合图 (b) 有 $\frac{1}{E} = \frac{24-7}{25-0} \text{V}^{-1}$ ， $\frac{R_0 + r}{E} = 7 \text{A}^{-1}$

解得 $E \approx 1.47 \text{V}$ ， $r \approx 1.3 \Omega$

(4) 当电流传感器有内阻时，所测的电源内阻 $r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + r_{\text{传}}$

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。

12. (1)0.515

$$(2) \frac{d}{t} \quad \frac{(M+m)d^2}{2(M-m)Ht^2}$$

(3)9.81

【详解】(1) 根据游标卡尺的读数规律，该游标卡尺的读数为

$$5\text{mm} + 0.05 \times 3\text{mm} = 5.15\text{mm} = 0.515\text{cm}$$

(2) [1]根据光电门的测速原理，重锤 1 通过光电门时的速度大小为 $v = \frac{d}{t}$

[2]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 $v = \frac{d}{t}$

$$\text{解得 } g = \frac{(M + m)d^2}{2(M - m)Ht^2}$$

(3) 由于 γ 是只与圆柱体表面动摩擦因数有关的常数，且有 $a = (\beta - \gamma)g = g\beta - g\gamma$

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 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$

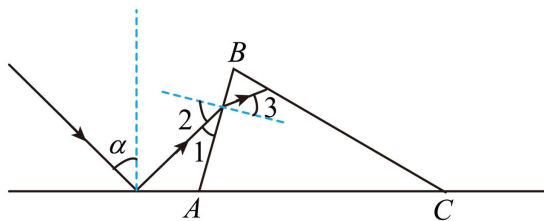
利用表格中的数据，根据逐差法有 $a_4 + a_3 - a_2 - a_1 = (\beta_4 + \beta_3 - \beta_2 - \beta_1)g$

带入数据可则重力加速度 $g = 9.81\text{m/s}^2$

13. (1) $\frac{\sqrt{6}}{4}$

(2) 60°

【详解】(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 $n = \frac{\sin \angle 2}{\sin \angle 3}$

解得光线从 AB 边射入棱镜时折射角的正弦值为 $\sin \angle 3 = \frac{\sqrt{6}}{4}$

(2) 根据 $\sin C' = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

可得 $C' = 45^\circ$

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 $n = \frac{\sin \angle 2'}{\sin \angle 3'}$

解得 $\angle 2' = 45^\circ$

根据几何关系可知恰好发生全反射时的入射角为 $\alpha' = 90^\circ - [\angle BAC - (90^\circ - \angle 2')] = 60^\circ$

14. (1) $R = \frac{mv_0}{qB}$

(2) $x = \frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$

(3) $\frac{5\pi m}{3qB} + \frac{\sqrt{3}m}{qB}$

【详解】(1) 粒子在左侧磁场中运动，根据洛伦兹力提供向心力有 $qv_0B = \frac{mv_0^2}{R}$

可得 $R = \frac{mv_0}{qB}$

(2) 粒子在左侧磁场运动，设从 MN 射出时速度方向与 MN 的夹角为 θ ，由于 O 到 MN 的距离 $d = \frac{3mv_0}{2qB}$ ，结合 $R = \frac{mv_0}{qB}$ ，根据几何关系可知 $\theta = 60^\circ$ ；

粒子在 MN 和 PQ 之间做匀速直线运动，所以粒子从 PQ 进入右侧磁场时与 PQ 的夹角 $\theta = 60^\circ$ ；

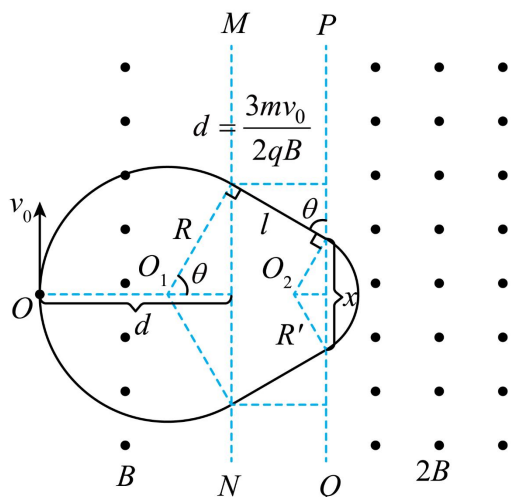
粒子在右侧磁场做匀速圆周运动有 $qv_0 \cdot 2B = \frac{mv_0^2}{R'}$

解得 $R' = \frac{mv_0}{2qB}$

根据几何关系可知粒子第一次和第二次经过 PQ 时位置的间距 $x = \sqrt{3}R' = \frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$

(3) 由图可知粒子在左边磁场运动的时间 $t_1 = \frac{2}{3}T_1 = \frac{2}{3} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{4\pi m}{3qB}$

粒子在右边磁场运动的时间 $t_2 = \frac{1}{3}T_2 = \frac{1}{3} \times \frac{2\pi m}{2qB} = \frac{\pi m}{3qB}$



根据对称性可知粒子在 MN 左侧进出磁场的距离 $x_0 = \sqrt{3}R = \frac{\sqrt{3}mv_0}{qB}$

所以粒子从 MN 到 PQ 过程中运动的距离为 $l = \frac{\sqrt{3}R - \sqrt{3}R'}{2 \cos \theta} = \frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$

粒子在 MN 和 PQ 之间运动的时间 $t_3 = \frac{2l}{v_0} = \frac{\sqrt{3}m}{qB}$

综上所述可知粒子完成完整运动回到 O 点的周期为 $T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{5\pi m}{3qB} + \frac{\sqrt{3}m}{qB}$

15. (1) $v_1 = \sqrt{(\beta - 4)\mu gL}$

(2) $v_{j+1} = \frac{j}{j+1} \sqrt{v_j^2 - 4\mu gL}$

(3) $\beta = \frac{4n(2n+1)(8n^2 + 10n + 5)}{3(2n-1)}$

【详解】(1) 滑块 1 运动时，对木板的摩擦力为 $f_1 = 2\mu mg$

地面对木板的摩擦力为 $f_2 = 4\mu mg$

所以此过程中木板保持不动；每个滑块之间距离为 L ，所以对滑块 1 根据动能定理有

$$-2\mu mgL = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $v_1 = \sqrt{(\beta - 4)\mu gL}$

(2) 滑块间碰撞时间极短，碰后滑块粘在一起运动，若长木板不动，第 j 个滑块开始运动

时加速度为 $a_j = \frac{2\mu \cdot jmg}{jm} = 2\mu g$

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 $v_j^2 - v_j'^2 = 2a_j L$

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 $v_{j+1} = \frac{j}{j+1} \sqrt{v_j^2 - 4\mu g L}$

(3) 当第 k 个木块开始滑动时，木板恰好要滑动，此时有 $2\mu \cdot kmg = \mu(nm + 3nm)g$

解得 $k = 2n$ (n 为整数)

则第 $k+1$ 个 (即 $2n+1$) 木块开始滑动时，木板开始滑动，要刚好不发生下一次碰撞，假设木板和剩下的木块不发生相对滑动，则

$$2\mu(2n+1)mg - \mu(nm + 3nm)g = [nm + (n-1)m]a_{\text{木}}$$

$$\text{则 } a = \frac{2\mu g}{2n-1} < 2\mu g$$

木板和剩下的木块不发生相对滑动。

对前面 $k+1$ 个 (即 $2n+1$) 木块，有 $a_{k+1} = \frac{2\mu \cdot (k+1)mg}{(k+1)m} = 2\mu g$

木板开始滑动时，刚好不发生下一次碰撞，则对前面 $k+1$ 个木块和 $k+2$ 个木块共速，且相对位移恰好为 L ，则

$$\frac{v_{k+1}^2 - v_{\text{共}}^2}{2a_{k+1}} - \frac{v_{\text{共}}^2}{2a} = L$$

$$\text{则 } v_{k+1}^2 = 2nv_{\text{共}}^2 + 4\mu g L$$

$$\text{又 } v_{\text{共}} = at = v_{k+1} - 2\mu g t$$

$$\text{则 } v_{\text{共}} = \frac{v_{k+1}}{2n}$$

$$\text{则 } v_{k+1}^2 = \frac{8n\mu g L}{2n-1}$$

$j=1$ 时，第一个滑块开始运动的速度 $v_0 = \sqrt{\beta\mu g L}$ ，则 $v_0^2 = \beta\mu g L$

$j=2$ 时，根据动量守恒定律可得 $mv_1 = 2mv_2$

$$\text{可得第 2 个滑块开始运动的速度 } v_2 = \frac{1}{2} \sqrt{(\beta-4)\mu g L},$$

$$\text{则 } 4v_2^2 = \beta\mu g L - 4\mu g L$$

由第二问可得, $(j+1)^2 v_{j+1}^2 = j^2 v_j^2 - 4j^2 \mu g L$, 则对第 3 个滑块到第 $k+1$ 个滑块有

$$9v_3^2 = 4v_2^2 - 4 \times 4\mu g L$$

$$16v_4^2 = 9v_3^2 - 9 \times 4\mu g L$$

$$25v_5^2 = 16v_4^2 - 16 \times 4\mu g L$$

.....

$$(k+1)^2 v_{k+1}^2 = k^2 v_k^2 - k^2 \times 4\mu g L$$

将从 $j=2$ 到 $j=k+1$ 相关方程累积求和可得

$$(k+1)^2 v_{k+1}^2 = \beta \mu g L - 4\mu g L [1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \dots + k^2] = \beta \mu g L \frac{2k(k+1)(2k+1)}{3} \mu g.$$

$$\text{联立 } v_{k+1}^2 = \frac{8n\mu g L}{2n-1}, \quad k = 2n$$

$$\text{可得 } \beta = \frac{4n(2n+1)(8n^2+10n+5)}{3(2n-1)}$$