

热学

【例 1】D 【例 2】增大、减小，增大；增大，外界，气体

【例 3】(1) 对与器壁碰撞的一个氦气分子，由动量定理可得： $I=2mv$

(2) 设正方体容器某一侧壁面积为 S ，则时间内碰壁的氦气分子数 $N = \frac{1}{6} n \cdot Sv\Delta t$

由动量定理得： $F'\Delta t = N \cdot 2mv$

由牛顿第三定律可得：器壁受到的压力 $F = F' = \frac{2Nmv}{\Delta t} = \frac{1}{3} nSmv^2$

由压强的定义式得 $p = \frac{F}{S} = \frac{1}{3} nmv^2$

(3) 分子的平均动能 $\overline{E_k} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{3p}{2n}$

由于压强 p 和温度 T 的关系式为 $p = nkT$

代入可得 $\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT \propto T$ ，故温度是分子平均动能的标志。

(4) 设气体初始温度为 T_1 ，末温度为 T_2 ，容器中气体分子总数为 N'

由能量守恒定律可知：气体的动能转化为气体的内能，即 $N'E_{k2} - N'E_{k1} = \frac{1}{2} N' mu^2$

由 (2) 可知初始时分子平均动能 $E_{k1} = \frac{3}{2} kT_1$ ，末态时分子平均动能 $E_{k2} = \frac{3}{2} kT_2$

$$\text{得： } \Delta T = T_2 - T_1 = \frac{mu^2}{3k}$$

【高考真题】DDAD

【课时练习】BAADD BBDAB DDDCB

16. (1) ② (2) $V_B = 0.4m^3$

(3) 气体的压强与气体分子的平均动能、气体分子的密集程度有关。 $B \rightarrow C$ 过程为等容变化，气体体积不变，气体分子的密集程度不变。气体的温度降低，气体分子的平均动能变小，因此气体的压强变小。

(4) Q_1 大于 Q_2

一定质量理想气体的内能只与温度有关。

$A \rightarrow B$ 过程：气体温度升高，内能增大 ΔE_1 。气体体积增大，气体对外做功 W_1 。由热力学第一定律可知，气体吸收热量 $Q_1 = \Delta E_1 + W_1$

$B \rightarrow C$ 过程：气体温度降低，内能减少 ΔE_2 。气体体积不变，既没有气体对外做功，也没有外界对气体做功， $W_2 = 0$ 。由热力学第一定律可知，气体放出热量 $Q_2 = \Delta E_2$ 。

由题知 $T_A = T_C$ ， $\Delta E_1 = \Delta E_2$ ，因此 Q_1 大于 Q_2 。

光学

【例 1】C 【例 2】A

【例 3】(1) 小球与钢板碰撞瞬间，设钢板对小球的作用力为 F 。对于小球，根据动量定理有

$$x \text{ 方向 } F_x \Delta t = \Delta p_x = mv_0 \sin \theta - mv_0 \sin \theta = 0 \Rightarrow F_x = 0$$

$$y \text{ 方向 } F_y \Delta t = \Delta p_y = mv_0 \cos \theta - (-mv_0 \cos \theta) \Rightarrow F_y = \frac{2mv_0 \cos \theta}{\Delta t}$$

根据牛顿第三定律可知，小球对钢板作用力 $F' = F_y = \frac{2mv_0 \cos \theta}{\Delta t}$ ，方向沿 y 轴负方向。

(2) Δt 时间内每束光穿过小球的粒子数为 $n = P_0 \Delta t / \varepsilon$ 。

这些粒子进入小球前的总动量为 $p_1 = 2n p \cos \theta$

从小球出射时的总动量为 $p_2 = 2np$

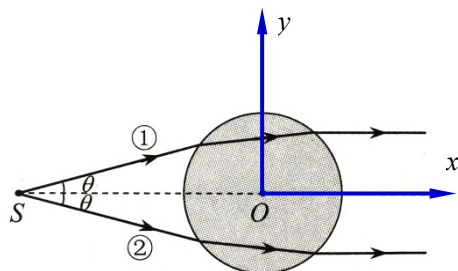
p_1 、 p_2 的方向均沿 SO 向右

根据动量定理 $F \Delta t = p_2 - p_1 = 2np(1 - \cos \theta) > 0$

因为 $\varepsilon = pc$

可知，小球对这些粒子的作用力 $F = 2P_0(1 - \cos \theta) / c$ ，方向沿 SO 向右；

根据牛顿第三定律，两光束对小球的合力 $F' = F = 2P_0(1 - \cos \theta) / c$ ，的方向沿 SO 向左。



【例 4】(1) 单色光照射在金属板上恰好发生光电效应, 故 $W = h\nu_c = h\nu$ 解得 $\nu = \frac{W}{h}$

(2) 设稳定时, 任意 Δt 时间内到达金属板 M 上的光子个数 $N = \frac{P\Delta t}{W}$

则 Δt 时间内产生的光电子个数为 $N' = \eta N$, 则 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{N'e}{\Delta t} = \frac{\eta eP}{W}$

(3) 设光电子到达 N 板时速度为 v , 粒子在极板间加速, 根据动能定理得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$

Δt 时间内, 到达 N 板光电子与板发生完全非弹性碰撞, 设电子受到的平均作用力为 F' ;

根据动量定理 $F' \cdot \Delta t = N'mv$ 解得 $F' = \frac{\eta P}{W} \sqrt{2meU}$

根据牛顿三定律 $F = F' = \frac{\eta P}{W} \sqrt{2meU}$

(4) 平行板方向的平面内, 电子均匀分布。因为电流处处相同, 距离金属板 M 越近的平面内, 电子的速度越小, 电子分布越密集。

电子加速到与金属板 M 的距离为 x 处, 速度为 $v(x)$ 根据动能定理 $eU \frac{x}{d} = \frac{1}{2}mv_{(x)}^2$

任意 Δt 时间内, 截面积为 S , 长为 $v(x)\Delta t$ 的柱体内电子个数 $N(x) = N'\Delta t$

则 $n(x) = \frac{N(x)}{Sv(x)\Delta t} = \frac{\eta P}{WS} \sqrt{\frac{dm}{2eUx}}$, 即单位体积的电子数与到金属板 M 的距离的平方根成反比。

【高考真题】BCC

【课时练习】CCCBC (BC) BBCC AC

13. (1) 加速运动; (2) $E_k = eU$; (3) $U_c = \frac{h}{e} \nu - \frac{W}{e}$;

爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W$

遏止电压对应为具有最大初动能的光电子由 K 极板运动到 A 极板动能减为 0,

根据动能定理有: $E_k = eU_c$

联立以上各式得: $U_c = \frac{h}{e} \nu - \frac{W}{e}$

可见, 对于确定的金属来说, 一定频率的光, 无论光的强弱如何, 遏止电压都是一样的。

14. a. 依题意, 入射 X 射线的光子能量为 $E = h \frac{c}{\lambda}$

散射后 X 射线的光子能量为 $E' = h \frac{c}{\lambda'}$

设碰撞后电子的动能为 E_e , 碰撞中可能存在的能量损失为 $\Delta E_{\text{损}}$ 。根据能量守恒定律得 $E = E' + E_e + \Delta E_{\text{损}}$

可知 $E > E'$ 即 $h \frac{c}{\lambda} > h \frac{c}{\lambda'}$ 则有 $\lambda < \lambda'$

b. 设散射后电子获得的动量为 p_e , 方向与 X 射线入射方向夹角为 φ , 入射方向有 $\frac{h}{\lambda} = p_e \cos \varphi + \frac{h}{\lambda'} \cos \theta$

垂直方向有 $0 = p_e \sin \varphi - \frac{h}{\lambda'} \sin \theta$ 代入 $\theta = 90^\circ$, 解得 $p_e = h \sqrt{\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2}}$ 方向: $\tan \varphi = \frac{\lambda}{\lambda'}$

【例 1】(1)甲: α 衰变, 乙: β 衰变; (2)甲: 小圆是新核轨迹, 大圆是 α 粒子轨迹。乙: 小圆是新核轨迹, 大圆是电子轨迹; (3)甲: 垂直纸面向外, 乙: 垂直纸面向里; (4) $2n+2, n-1$

【例 2】C 【例 3】(1) a. $\varphi_g = \frac{E_p}{m} = -\frac{GM}{r}$

b. 黑洞的第二宇宙速度 v_2 为光速 c , 依据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{GM_0m}{r} \leq 0$

解得 $r \leq \frac{2GM_0}{c^2}$, 即所以黑洞可能的最大半径 $r_m = \frac{2GM_0}{c^2}$

(2) ① $E_{p\text{电}} = -k\frac{e^2}{r}$

② 电子在第 1 轨道上运动时, 根据牛顿第二定律有 $k\frac{e^2}{r_1^2} = m\frac{v_1^2}{r_1}$

\therefore 电子在第 1 轨道运动的动能 $E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{ke^2}{2r_1}$

此时氢原子的能量 $E_1 = -\frac{ke^2}{r_1} + \frac{ke^2}{2r_1} = -\frac{ke^2}{2r_1}$

同理, 电子在第 n 轨道运动时氢原子的能量 $E_n = -\frac{ke^2}{2r_n}$

又因为 $r_n = n^2r_1$ 可以解得 $E_n = -\frac{ke^2}{n^2 \cdot 2r_1} = \frac{E_1}{n^2}$, 命题得证

③ 电子在 $n=2$ 轨道运动时氢原子的能量 $E_2 = \frac{E_1}{2^2} = -\frac{ke^2}{8r_1}$, 在 $n=4$ 时 $E_4 = \frac{E_1}{4^2} = -\frac{ke^2}{32r_1}$

\therefore 电子从第 2 轨道跃迁到第 1 轨道所释放的能量 $\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{3ke^2}{8r_1}$

$n=4$ 的氢原子电离过程, 根据能量守恒有 $E_k = E_4 + \Delta E = \frac{11ke^2}{32r_1}$

【高考真题】ABABA

【课时练习】CBBDC DBBBC BDCB

15、(1) ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$ (2) $I = \frac{q}{T} = \frac{q^2B}{2\pi m}$ (3) $\Delta m = \frac{(M+m)(qBR)^2}{2mMc^2}$ 说明: 利用 $M = \frac{A-4}{4}m$ 亦可。

16、(1) $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$

(2) 根据牛顿第二定律得 $k\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 即 $mv^2 = ke^2$

根据题意 $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ 联立推得 $v = \frac{2\pi ke^2}{nh}$

所以 $E_{kn} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{2\pi ke^2}{nh}\right)^2 = \left(\frac{2\pi^2 k^2 me^4}{h^2}\right) \cdot \frac{1}{n^2}$ 即 $E_{kn} = \frac{A}{n^2}$, $A = \frac{2\pi^2 k^2 me^4}{h^2}$ 是与 n 无关的常量

天体

【例 1】D

【例 2】(1) $M = \frac{gR^2}{G}$; (2) $E_k = \frac{mgR^2}{2(R+h)}$; (3) $W = E = E_p + E_k = \frac{GMmh}{R(R+h)} + \frac{mgR^2}{2(R+h)} = \frac{mgR(R+2h)}{2(R+h)}$

【例 3】

【高考真题】AA

$$3. (1) \rho = \frac{1}{8}\rho_0; (2) a. \Delta E_k = -\frac{2}{3}G\pi\rho_0mr_0^2; b. H \text{ 随 } t \text{ 增大而减小}$$

$$4. (1) v = \sqrt{\frac{GM}{r}}; (2) v = r\sqrt{\frac{GM}{R^3}}; (3) M' = (n-1)M$$

$$5. (1) W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (2) F = \frac{4\pi^2 km}{r^2} \quad (3) \frac{T_2}{T_1} = 4\sqrt{2}$$

【课时练习】ACABD DCBBB CC

$$13. (1) h = \sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}} - R$$

(2) 力与运动状态变化的角度: $Q \rightarrow P$ 过程中, 引力方向和速度方向成钝角, 引力沿轨迹的切向分力与速度方向相反, 使卫星做减速运动, 速度变小。

功与能量变化的角度: $Q \rightarrow P$ 过程中, 只有引力做负功, 卫星动能减小, 所以速度减小。

14、

a. 根据牛顿运动定律与万有引力定律, 有

$$G \frac{M_s M_p}{L^2} = M_p \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

可得

$$k = \frac{L^3}{T^2} = \frac{GM_s}{4\pi^2}$$

b. 设行星与 O 点的距离为 r_p , 太阳与 O 点的距离为 r_s , 根据牛顿运动定律, 对行星和太阳, 分别有

$$G \frac{M_s M_p}{L^2} = M_p \frac{4\pi^2}{T_0^2} r_p$$

$$G \frac{M_p M_s}{L^2} = M_s \frac{4\pi^2}{T_0^2} r_s$$

再根据几何关系 $r_p + r_s = L$, 可得该模型下的开普勒第三定律 $k' = \frac{L^3}{T_0^2} = \frac{G(M_s + M_p)}{4\pi^2}$ 。

发现, k' 不仅与太阳质量有关, 也与行星的质量有关。

将 k' 与 k 做比, 可得

$$\frac{k'}{k} = \frac{M_s + M_p}{M_s} = 1 + \frac{M_p}{M_s}$$

即当 $M_p \ll M_s$ 时, 有 $k' \approx k$

振动波

【例 1】A 【例 2】(1) 图乙中, 摆球受到重力 G 、电场力 $F_{\text{电}}$ 和摆线拉力 T , 与重力场中的单摆类比, 重力和电场力都是恒力, 其合力可以视为等效的“重力”, $mg' = mg + F_{\text{电}}$, 即 $g' = \frac{G + F_{\text{电}}}{m}$

代入单摆周期公式得: $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g + \frac{Eq}{m}}}$

图丙中, 摆球受到重力 G 、洛伦兹力 $F_{\text{洛}}$ 和摆线拉力 T , 与重力场中的单摆类比, 洛伦兹力始终沿摆线方向,

不产生回复力的效果。单摆周期与重力场中相同， $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

(2) a. 单摆在电场力作用下的简谐运动， $qE=ma$ 得 $a = \frac{qE}{m}$

类比单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 得 $T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{a}} = 2\pi\sqrt{\frac{mL}{qE}}$

b. 根据重力电场力大小关系可知，动能最大的位置在与竖直方向成 45° 角斜向右下的位置

根据动能定理 $mgL \cos 45^\circ - qEL (1 - \cos 45^\circ) = \frac{1}{2}mv^2$

由牛顿第二定律得 $F_m - \sqrt{2}mg = m\frac{v^2}{L}$ 解得 $F_m = (3\sqrt{2} - 2)mg$

【例 3】(1) B 自由下落，由机械能守恒得 $mgH = \frac{1}{2}mv_B^2$ 解得 $v_B = \sqrt{2gH}$

B 与 A 碰撞过程动量守恒 $mv_B + 0 = (m+m)v_1$ 解得 $v_1 = \sqrt{\frac{3mg^2}{2k}}$

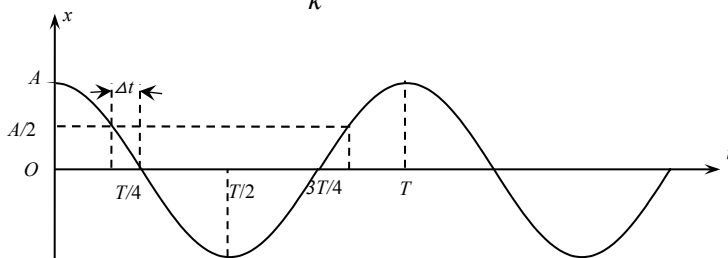
(2) A 在 O 位置时 $mg = kx_0$ 此时弹簧被压缩 $x_0 = \frac{mg}{k}$

A 与 B 共同向下运动至最大位移的过程，由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}(2m)v_1^2 + \frac{1}{2}kx_0^2 + 2mgx_m = \frac{1}{2}k(x_0 + x_m)^2$

解得： $x_m = 3x_0 = \frac{3mg}{k}$ 或 $x_m = -x_0$ (舍去)

(3) 由题意 $T = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$ 又振幅 $A = 2x_0 = \frac{2mg}{k}$

振动图像如图：



由余弦函数知 $\Delta t = \frac{1}{3} \times (\frac{1}{4}T) = \frac{T}{12}$

所求时间 $t = 2\Delta t + \frac{1}{2}T = \frac{2}{3}T$ 即 $t = \frac{2}{3} \times 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}} = \frac{4}{3}\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$

【高考真题】BDDA

【课时练习】CDDCB CDDBA BCCCC

16. (1) $T=0.4\pi s$; $L=0.4m$ (2) $0.089m/s$; (3) $0.495N$

交流电

【例 1】D 【例 2】E 【例 3】C 【例 4】D

【高考真题】CBBB

【课时练习】BCCAA BABDD

11. (1) $3.14V$, $1.57V$; (2) $1J$; (3) $0.1C$ 12. (1) $1:20$ (2) $5m$

电场

【例 1】AD 【例 2】B

【例 3】设 A 、 B 离开电场时的速度分别为 v_A 、 v_B ,

由动能定理得 $QE_0d = \frac{1}{2}mv_A^2$, $\frac{4}{9}QE_0d = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{4} v_B^2$ 解得 $v_A = \sqrt{\frac{2QE_0d}{m}}$, $v_B = \frac{2}{3}v_A$

A、B 相互作用过程中，合外力为 0，系统的动量和能量守恒。

当 A、B 最接近时相互作用能最大时两者速度相同，有 $mv_A + \frac{m}{4}v_B = (m + \frac{m}{4})v$ 解得 $v = \frac{4}{3}v_A$

相互作用能的最大值 $E_{pm} = (\frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{4} v_B^2) - \frac{1}{2}(m + \frac{m}{4})v^2$ 代入可得 $E_{pm} = \frac{1}{45}QE_0d$

【高考真题】DCC

4. (1) 两极板间的场强 $E = \frac{U}{d}$ 带电粒子所受的静电力 $F = qE = q \frac{U}{d}$

(2) 带电粒子从静止开始运动到 N 板的过程，根据功能关系有 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 得 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$

(3) 设带电粒子运动 $d/2$ 距离时的速度大小为 v' ，根据功能关系有 $q \frac{U}{2} = \frac{1}{2}mv'^2$

带电粒子在前 $d/2$ 距离做匀加速直线运动，后 $d/2$ 距离做匀速运动，设用时分别为 t_1 、 t_2 。

有 $\frac{d}{2} = \frac{v'}{2}t_1$, $\frac{d}{2} = v't_2$ 得 $t = t_1 + t_2 = \frac{3d}{2} \sqrt{\frac{m}{qU}}$

5. (1) 设颗粒通过收集器的时间为 t $L = v_0t$ 当恰好全部被收集时 $d = \frac{1}{2} \frac{qU_1}{md} t^2$ 得 $U_1 = \frac{2md^2v_0^2}{qL^2}$

(2) a. 设半径为 R 的颗粒相对于流动空气的最大速度为 v_1 $\frac{qU_2}{d} = kRv_1$

根据题意，颗粒在收集器中可视为做匀速直线运动，当恰好全部被收集时 $\frac{L}{v_0} = \frac{d}{v_1}$ 得 $U_2 = \frac{kRd^2v_0}{qL}$

b. 设半径为 r 的颗粒相对于流动空气的最大速度为 v_2 $\frac{qU_2}{d} = kr v_2$ 根据题意 $q = k'r^2$ (k' 为常量)

得 $v_2 = \frac{k'rU_2}{kd}$ 沿金属板方向有 $L = v_0t$ 颗粒在经过收集器时垂直金属板方向的位移 $y = v_2t = \frac{k'rLU_2}{kdv_0}$

得 $y \propto r$ 所以 $10 \mu\text{m}$ 的颗粒与 $2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒经过收集器时在垂直于金属板方向的位移之比为 4 : 1。故当 $10 \mu\text{m}$ 的颗粒恰好 100% 被收集， $2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒被收集的百分比为 25%。

【课时练习】DDDD (BD) CBBDD CDCCC BA

18、(1) $v_B = \sqrt{gR}$ (2) $x_0 = 2.5R$ (3) $x = 0$

19、(1) $E = \frac{4\pi kQ}{\epsilon S}$ (2) $v_0 = \sqrt{\frac{qUL^2}{8md^2}}$

20、(1) 光照射 A 板后，A 板发出的光电子不断打到 B 板上，在 AB 之间形成电场，将阻碍后续发出的光电子向 B 运动。当 AB 之间的电势差达到最大值 U_m 时，以最大初动能从 A 板逸出的光电子也刚好不能到达 B 板，由动能

定理可得 $eU_m = E_{km}$ ，解得 $U_m = \frac{E_{km}}{e}$

短路时，在 A 板上方设置与 A 平行、面积等大的参考面，时间 t 内通过该参考面的电荷量

$Q = Net$ ，根据电流定义式 $I = \frac{Q}{t}$ ，可得 $I_{短} = Ne$

(2) 电源电动势等于开路时的路端电压, 故 $E = U_m = \frac{U_{km}}{e}$

由闭合电路的欧姆定律可得 $r = \frac{E_m}{I_{短}}$, 解得 $r = \frac{E_{km}}{Ne^2}$

(3) 设单位时间内到达 B 板的光电子数为 N' , 则电路中的电流 $I = \frac{Q}{t} = \frac{N'et}{t} = N'e$

则外电阻消耗的功率 $P = UI = UN'e$

光电阻在两极板中运动时, 两极板间电压为 U , 每个电子损失的动能 $\Delta E_{k0} = eU$

则单位时间内到达 B 板的电子损失的总动能 $\Delta E_k = N'\Delta E_{k0}$

联立解得 $\Delta E_k = N'eU$, 故 $P = \Delta E_k$

电流

【例 1】D

【例 2】设金属棒的横截面积为 S 、长为 L , 两端电压为 U 时电流为 I

(1) Δt 时间内, 从导体截面流过的电量 $\Delta q = neSv\Delta t$

根据电流定义式 $I = \frac{q}{t}$ 可得 $I = nSve$

由题意可知, 电流密度 $j = \frac{I}{S} = nve$

(2) 由电阻定律得 $R = \rho \frac{L}{S}$, 由欧姆定律得 $U = IR = \rho nve L$

\therefore 稳恒电场的场强 $E = \frac{U}{L} = \rho nev$

(3) 金属棒内稳恒电场的场强 $E = \frac{U}{L}$, t 时间内自由电子沿导体定向移动的位移 $x = vt$

\therefore 电场力对每个电子所做的功 $W_0 = eE \cdot x = \frac{eU}{L} vt$

\therefore 这段导体内的电子数 $N = nSL$

\therefore 对这些自由电子所做的总功 $W = NW_0 = U nSve t = UIt \dots$

【例 3】D 【例 4】C 【例 5】BC 【例 6】C 【例 7】C 【例 8】A

【高考真题】DBC

【课时练习】BDCBD DCDAB CC

13、(1)40V; (2)-0.02J; (3)9.0m/s

14、(1) $v = \frac{eU}{kL}$ (2) ① $v_0 = \frac{v}{2} = \frac{at_0}{2} = \frac{Uet_0}{2mL}$ ② $I = neSv_0 = \frac{ne^2t_0SU}{2mL}$ ③ $\rho = \frac{2m}{ne^2t_0}$

磁场

【例 1】直导线南北放置, 磁针在导线正下方。因为地磁场南北方向, 通电后, 导线的磁场在东西方向, 小磁针在导线的磁场下偏转。 $\arctan(B_2/B_1)$

【例 2】CD 当安培力的方向平行斜面向上时, 安培力最小, 施加的匀强磁场磁感应强度最小, 由左手定则可知, 磁场方向垂直斜面向上, 此时有 $Bl d = mg \sin \theta$ 磁感应强度最小值为 $B = \frac{mg \sin \theta}{Id}$

【例 3】①等于粒子做圆周运动的周期 需要 ②D 形盒半径 ③ $n = \frac{qB^2 R^2}{2mU}$ ④ $t_{磁} = \frac{\pi BR^2}{2U}$

⑤令合计加速了 n 次, 则有 $E_{k\max} = nqU$ 磁场中运动时间 $t_{\text{磁}} = n \cdot \frac{T}{2}$ 电场中有 $nd = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{md} t_{\text{电}}^2$

解得 $t_{\text{磁}} = \frac{\pi BR^2}{2U}$ $t_{\text{电}} = \frac{RBd}{U}$ $\frac{t_{\text{电}}}{t_{\text{磁}}} = \frac{2d}{\pi R}$ 可知, 当 $R \gg d$ 时有 $t_{\text{磁}} \ll t_{\text{电}}$ 即当 $R \gg d$ 时, 质子在电场中加速

的总时间相对于在 D 形盒中回旋的时间可忽略不计。

【例 4】 【例 5】 C

【高考真题】 CCAA

5. (1) 10^{-5}T (2) $B = \frac{nec}{I} U$

6. (1) kI^2L ; (2) 1:4; (3) $\sqrt{\frac{10kI^2Ls}{m}}$

7. (1) $T = \frac{2\pi}{q_0B} \cdot m$ (2) a. $v_1 : v_2 = \theta R : d$; b. $\frac{qBd}{\theta}$

8. (1) $a = \frac{eE}{M}$; (2) $B_2 = \frac{mE}{eRB_1}$; (3) $F = \frac{nk\sqrt{2eMEd}}{1+k}$

【课时练习】 BCDCB BABDC BDBEB B

17. (1) $B = \frac{E}{v_0}$; (2) a. $\frac{q}{m} = \frac{v_0^2}{5dE}$; b. $x^2 + (y-5d)^2 = (5d)^2$ 18、D

19. (1) $Q = \frac{Ub}{B}$; (2) $\Delta p = \frac{kaU}{bc^2B}$ 20. (1) 上极板为发电机的正极; (2) Bvd ; (3) (4) $nqBdSv^2$

电磁感应

【例 1】 (1) 电路中非静电力是洛伦兹力沿棒方向的分力 evB

根据电动势的定义 $E = \frac{W_{\text{非}}}{q} = \frac{evBL}{e} = BLv$

(2)

(3) 电子最终在沿棒方向等价于匀速运动, 所以受力平衡, 有 $eE_{\text{场}} + f = evB$

导体棒两端电势差 $U = \frac{\rho \frac{L}{S}}{R_0 + \rho \frac{L}{S}} E$, 导体棒内稳恒电场的电场强度 $E_{\text{场}} = \frac{U}{L}$

联立以上各式得 $f = evB - \frac{BL\rho v}{R_0S + \rho L}$ 。

例 2 . (1) 由法拉第电磁感应定律得 $E_{\text{感}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S = k\pi r^2$

电动势定义 $E_{\text{感}} = \frac{W_{\text{非}}}{q}$, 小球沿着导线环运动一周非静电力做的功 $W_{\text{非}} = E_{\text{场}} q 2\pi r$

联立解得 $E_{\text{场}} = \frac{E_{\text{感}}}{2\pi r} = \frac{kr}{2}$

(2) 小球做匀加速圆周, 由 $E_{\text{场}} q = ma$ 得 $a = \frac{F}{m} = \frac{kqr}{2m}$

$B = B_0 - kt = 0$ 时 $t = \frac{B_0}{k}$, 此时小球的速度 $v = at = \frac{qrB_0}{2m}$

由牛顿第二定律得 $N = \frac{mv^2}{r} = \frac{q^2 B_0^2 r}{4m}$

【例 3】D 【例 4】A

【例 5】(1) 金属棒的感应电动势 $E = BLv$ ，电路中的电流 $I = \frac{E}{R+r}$

金属棒所受的安培力 $F_{安} = BIL$ 得 $F_{安} = \frac{B^2 L^2 v}{R+r}$

(2) 金属棒从速度为 v_0 至停下来的过程中，由动量定理得 $I_{安} = 0 - mv_0$

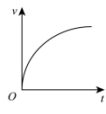
将整个运动过程划分成很多小段，可认为每个小段中的速度几乎不变，设每小段的时间为 Δt ，则安培力的冲量

$$I_{安} = -\left(\frac{B^2 L^2}{R+r} v_1 \cdot \Delta t + \frac{B^2 L^2}{R+r} v_2 \cdot \Delta t + \frac{B^2 L^2}{R+r} v_3 \cdot \Delta t + \dots\right)$$

$$I_{安} = -\frac{B^2 L^2}{R+r} (v_1 \cdot \Delta t + v_2 \cdot \Delta t + v_3 \cdot \Delta t + \dots)$$

$$I_{安} = -\frac{B^2 L^2}{R+r} x \quad \text{解得 } x = \frac{m v_0 (R+r)}{B^2 L^2}$$

【高考真题】ADCBD DBD

12. (1) $I = \frac{Q}{CR}$; (2) $a = \frac{BQL}{CRm}$; (3) 

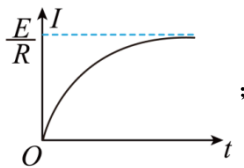
13. (1) $E = BLv$; (2) $P = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$; (3) $Q = \frac{B^2 L^3 v}{4R}$

14. (1) $a \rightarrow b$; (2) 10V; (3) 9.6V

15. (1) $t \approx 24.3s$, $x \approx 279.3m$;

(2) 列车电气制动产生的加速度与列车的速度成正比，为过 P 点的正比例函数，图线如图

(3) 3m/s

16. (1) $v_m = \frac{G}{k}$; (2) a. $E - RI = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, b. 

(3) 各种能量转化的规律如图所示

| | |
|--------------|-----------|
| 情境 1 | 情境 2 |
| | 电源提供的电能 |
| | 线圈磁场能的增加量 |
| 克服阻力做功消耗的机械能 | |

【课时练习】BBBCB DBDCB DDCBC DCB

19. (1) 由 b 流向 a; (2) $\frac{1}{2} Br^2 \omega$;

(3) 圆盘中产生感应电流；但没有电流通过电阻 R。圆盘中产生涡旋电流，沿半径方向没有电势差，故没有电流通过电阻 R。

20. (1) a. $E = \frac{B_0 d^2}{2t_0}$ b. $q = It = \frac{B_0 d^2}{R}$ (2) $F = F_1 + F_2 = B_1 Id + B_0 Id = \frac{3B_0^2 d^3}{2t_0 R}$

力和运动

【例 1】D 【例 2】D 【例 3】D

【高考真题】CBBAC ABA

9. (1) $v_0 = gt$ (2) $v_B = 2v$ (3) $d = 3vt$ 10. $d = \frac{a_2 L}{a_1 + a_2}$

【课时练习】CCCAB ADCCA B

12、 0.5m/s^2 , $3:2$, 20m

能量

【例 1】将物体从地球表面上提高 h , 相当于 r 由 R 增大到 $R+h$,

$$\text{引力势能的增加量为 } \Delta E_p = E_{p\text{高}} - E_{p\text{地表}} = GMm\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+h}\right) = \frac{GMm}{R(R+h)} \cdot h$$

在地面附近时, 可认为 $R+h=R$, 因此有 $\Delta E_p = \frac{GM}{R^2} h = mgh$

若取地面为重力势能的参考平面, 则有 $E_p = mgh$ 证毕。

【例 2】AD

【例 3】(1) 弹性绳刚好拉直时 $l_0=10\text{m}$, 由机械能守恒定律有 $mgl_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$

得 $v_0=14.1\text{m/s}$, 与图像吻合, 说明空气阻力可忽略不计。

(2) 运动员速度最大时, 下落的位移 $l_1=15\text{m}$, 由图像可知此时的速度大小 $v_m = 15\text{m/s}$ 。

此过程中, 根据机械能守恒定律有 $E_p = mgl_1 - \frac{1}{2}mv_m^2$, 得 $E_p = 2.25 \times 10^3\text{J}$

(3) a. 该弹性绳不遵循胡克定律。证据如下:

由图像可知, 当 $l_1=15\text{m}$ 时运动员速度最大, 此时 $mg = k(l_1 - l_0)$, 可得 $k = \frac{mg}{x_1} = 120\text{N/m}$

答案一: 若弹性绳遵循胡克定律, 则此时的弹性势能 $E_{p1} = \frac{1}{2}k(l_1 - l_0)^2 = 1.5 \times 10^3\text{J}$

根据机械能守恒定律, 由 (2) 问可知, $E_p = 2.25 \times 10^3\text{J}$

显然, $E_{p1} < E_p$, 二者相差较大, 所以该弹性绳不遵循胡克定律。

答案二: 当 $l_2=25\text{m}$ 时, 根据机械能守恒定律得 $mgl_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}k(l_2 - l_0)^2$ 解得 $v_2 \approx 7.1\text{m/s}$

与 $v-l$ 图像得到的 5m/s 不符, 所以该弹性绳不遵循胡克定律。

b. 该结论的得出, 可能是因为弹性绳超过了其弹性限度。

【高考真题】CCDDB 6. $W = \frac{1}{2}mv^2 + fx$ 7. (1) $\frac{v^2}{2g}$; (2) $mg + m\frac{v^2}{L}$; (3) $\frac{1}{4}mv^2$

$$8、(1) T = mg + m\frac{v^2}{l_1}$$

(2) a. 设在最低点站起前后“摆球”的摆动速度大小分别为 v_1 、 v_2 ,

$$\text{根据功能关系得 } mgl_1(1 - \cos\theta_1) = \frac{1}{2}mv_1^2, \quad mgl_2(1 - \cos\theta_2) = \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$\text{已知 } v_1 = v_2, \text{ 得 } mgl_1(1 - \cos\theta_1) = mgl_2(1 - \cos\theta_2)$$

因为 $l_1 > l_2$, 得 $\cos\theta_1 > \cos\theta_2$ 所以 $\theta_2 > \theta_1$

$$b. \Delta E_k \geq \frac{5}{2}mgl_2 - mgl_1(1 - \cos\theta)$$

【课时练习】DBBBD DD

8、(1) $v=2\text{m/s}$

(2) 小球从释放到 A 点, 根据动能定理 $mg(h - 2R) = \frac{1}{2}mv_A^2 - 0$

在 A 点根据牛顿第二定律： $N + mg = m \frac{v_A^2}{R}$

根据牛顿第三定律 $F=N$ 联立可得： $F = \frac{2mg}{R}h - 5mg$

对比 $F-h$ 图像，根据斜率和截距关系，可得： $R=0.12m$ ， $m=0.02kg$

(3) 假设 $h=h_1$ 时，小球恰好到达最高点 A，此时 $F=0$

由 $F-h$ 图像可得： $h_1=0.3m$

假设 $h=h_2$ 时，小球恰好到达圆轨道圆心的右侧等高点，根据动能定理： $mg(h_2 - R) = 0 - 0$

解得 $h_2=R=0.12m$

综上，为使小球在运动过程中始终不脱离圆轨道，释放高度 h 应满足： $h \leq 0.12m$ 或者 $h \geq 0.3m$

动量

【例 1】(1) 水滴自由落体，由 $v^2 = 2gh$ 得 $v = 10m/s$

水滴撞击过程由动量定理得 $mg\Delta t - F\Delta t = 0 - mv$ ，解得 $F \approx 0.03 N$

根据牛顿第三定律，水滴对石板的作用力也为 $0.03 N$

(2) 设水流的横截面积为 S ，在时间 Δt 内喷出的水的质量 $M = \rho S v \Delta t$

对这部分水由动量定理得 $-F\Delta t = 0 - Mv$ 解得 $F = \rho S v^2$

所以单位面积上的作用力 $F_0 = \frac{F}{S} = \rho v^2 = 1 \times 10^9 N$

【例 2】(1) a. 设母球和目标球碰撞后的速度分别为 v_1 、 v_2 ，根据动量守恒定律和机械能守恒定律有

$mv_0 = mv_1 + mv_2$ ， $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$ ，联立解得 $v_1 = 0$ ， $v_2 = 2.4 m/s$ ，即目标球被撞后瞬间速度的大小为 $2.4m/s$ 。

b. 建立如图所示坐标系，将目标球与 CD 挡壁碰撞前后的速度沿两坐标轴方向分解。

可知 x 轴方向动量变化为 $\Delta p_x = -mv \cos 60^\circ - (-mv \cos 60^\circ) = 0$

y 方向动量变化为 $\Delta p_y = mv \sin 60^\circ - (-mv \sin 60^\circ) = 0.4\sqrt{3}kg \cdot m/s$

因此碰撞前后目标球的动量变化为 $\Delta p = 0.4\sqrt{3}kg \cdot m/s$

方向沿 y 轴正方向，即垂直于 CD 挡壁向上。设 CD 挡壁对目标球的作用力为 F ，根据动量定理 $F\Delta t = \Delta p$ 。解得 $F = 4\sqrt{3}N$ ，方向直于 CD 挡壁向上。

(2) 该同学得出的结论正确。由于两球碰撞遵循动量守恒定律和机械能守恒定律，碰前动量水平向右，所以碰后垂直于初速度方向的动量为零，又因为两球质量

相等 $M = m$ ，所以 $mv' \sin \alpha = mv \sin \beta$ ，又有 $mv' \cos \alpha + mv \cos \beta = mv_0$ ， $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv'^2 + \frac{1}{2}mv^2$

联立解得 $\alpha + \beta = 90^\circ$

【例 3】(1) a. 如答图所示

b. 由图像可知，当 $v_A = -2m/s$ 时弹簧恢复到原长

根据动量守恒定律 $0 = m_A v_A + m_B v_B$ 可得 $v_B = 1m/s$

根据机械能守恒 $E_p = \frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = 0.3J$

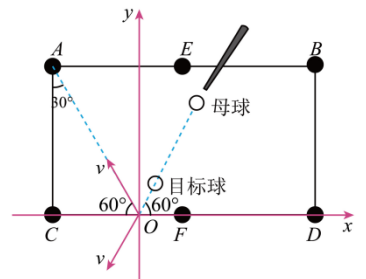
c. 如图

(2) B 处于 $r_1 = r_0$ 处时，系统的动能为最大值，设为 E_{k1}

系统的势能为最小值 $E_{p1} = E_{p0} + \frac{k}{2}(r_1 - r_0)^2 = E_{p0}$

原子 B 处于 $r_2 = r_0 - a$ 处时，系统的动能为 0

系统的势能为最大值，为 $E_{p2} = E_{p0} + \frac{k}{2}(r_2 - r_0)^2 = E_{p0} + \frac{1}{2}ka^2$



根据能量守恒定律可得 $E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + 0$ 解得 $E_{k1} = \frac{1}{2}ka^2$

【高考真题】CBDD 5. $\alpha=2$

6、(1) 根据动能定理 $mgh - W = \frac{1}{2}mu^2$ 得 $W = mgh - \frac{1}{2}mu^2$

(2) a. 当 $a=0$ 时速度最大, 此时 $f=mg$, 雨滴质量 $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$

联立可得 $v_m = \sqrt{\frac{4\pi\rho g}{3k}r}$

b. ①

(3) 根据题设条件: 大量气体分子在各方向运动的几率相等, 其对静止雨滴的作用力为零。以下只考虑雨滴下落的定向运动。

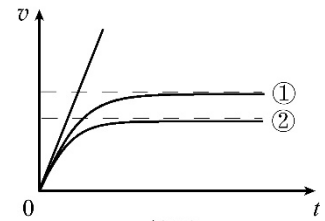
简化的圆盘模型如答图 3。设空气分子与圆盘碰撞前后相对速度大小不变。

在 Δt 时间内, 与圆盘碰撞的空气分子质量为 $\Delta m = Sv\Delta t n m_0$

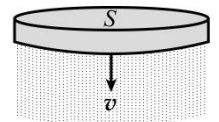
以 F 表示圆盘对气体分子的作用力, 根据动量定理有 $F\Delta t \propto \Delta m \times v$

得 $F \propto n m_0 S v^2$

由牛顿第三定律, 可知圆盘所受空气阻力 $f \propto v^2$



答图2



答图3

【课时练习】CDAC (AB) BB

8、(1) 质量为 m' 的物体放在月球表面, $G \frac{m'M}{R^2} = m'g$ 得 $M =$

(2) 设喷出气体对上升器的力为 F , 上升器对喷出气体的力为 F'

取向上为正, 对于上升器 $F - mg = ma$

设在 Δt 时间内喷射出气体质量为 Δm , $-F'\Delta t = -\Delta m v$

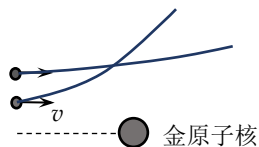
由牛顿第三定律有 $F = F'$

综上得 $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{m(g+a)}{v}$

9、 $t=7.5s$, $I=1.8 \times 10^3 N \cdot s$, $F_C=3.9 \times 10^3 N$ (牛三律) 10、4.0m/s, 1.0m, 3.0J

11. $Q_{cd} = \frac{1}{2}Q = \frac{1}{8}mv_0^2$

12、(1) 如答图



(3) 设每一层金原子数的 N , 则其中原子核的横截面积 $S_0 = N \frac{\pi}{4} d^2$

\therefore 该金箔的原子层数 $n = \frac{L}{D}$

若每层原子核前后不相互遮蔽, 则所有原子核的总横截面积 $S_1 = nS_0 = N \frac{\pi L d^2}{4D}$

【法一】该金箔的面积 $S = N \frac{\pi}{4} D^2$

所以, α 粒子在遇到原子核被大角度散射的概率 $p = \frac{S_1}{S} = \frac{Ld^2}{D^3}$ 解得 $d = \sqrt{\frac{pD^3}{L}}$

【法二】该金箔的面积 $S = ND^2$

所以, α 粒子在遇到原子核被大角度散射的概率 $p = \frac{S_1}{S} = \frac{\pi L d^2}{4D^3}$ 解得: $d = 2\sqrt{\frac{pD^3}{\pi L}}$

学生实验

1. (1) 方法一：设每两个计数点的时间间隔为 T 。测量每个计数点到 O 点的距离 x_1 、 x_2 、 x_3 、……，求出每个计数点的瞬时速度 $v^1 = \frac{x^2}{2T}$ 、 $v^2 = \frac{x^3 - x^1}{2T}$ 、 $v^3 = \frac{x^4 - x^2}{2T}$ 、……，做 $v-t$ 图。若 $v-t$ 图像是一条倾斜直线，则说明物体做匀变速直线运动。

方法二：测量相邻计数点时间的距离 s_1 、 s_2 、 s_3 、……。若 $s_2 - s_1$ 、 $s_3 - s_2$ 、……在误差允许的范围内相等，则说明物体做匀变速直线运动。

(2) 令小球在倾斜木板上不同位置由静止开始下滑。测量下滑距离 s 和所用时间 t ，发现 $s \propto t^2$ 。改变木板的倾角 θ ，仍满足 $s \propto t^2$ 。据此推论： $\theta = 90^\circ$ 时， $s \propto t^2$ 依然成立，说明自由落体运动是匀变速直线运动。

2. (1) $F_{\text{合}} = F + Mg \sin \theta - f$ ，令 $Mg \sin \theta - f$ ，则绳对小车的拉力 F 即小车所受的合外力 $F_{\text{合}}$

(2) 实验中，取砂和桶的重力 mg 作为小车的合力的测量值， $F = mg$ 。

以砂和桶为研究对象，根据牛顿第二定律， $mg - F = ma$ ，

以小车为研究对象，根据牛顿第二定律， $F = Ma$ ，

$$\text{二式联立，解得：} a = \frac{mg}{m + M}, F = \frac{M}{M + m} mg$$

$$\text{也可以写成：} a = \frac{1}{m + M} F, F = \frac{M}{M + m} mg$$

当 $m \ll M$ 时，才满足 $F \approx mg$ ， $a \approx \frac{1}{M} F$ 。

3. (1) 保证每次小球都做平抛运动，落地时间相等，那么水平位移 $x = vt \propto$ 平抛初速度 v 。可以用 x 代替 v ，验证动量守恒。若每次小球做斜抛运动，由于竖直方向初速度不同，所以落地时间不同，不满足 $x \propto v$ 。

(2) 若小球半径不相等，小球之间的冲量不沿水平方向，可能导致小球做斜抛运动。

(3) 这是为了避免碰撞之后小球 A 反向运动。

① 假定 A 反向运动，则有 $p_0 = p_2 - p_1$ 。那么 $p_2 > p_0$ ，即 $\sqrt{2m^2 E_k^2} > \sqrt{2m^1 E_k^0}$ 。若 $m_1 > m_2$ ，则必有 $E_{k2} > E_{k0}$ ，这与能量守恒矛盾，所以前述假设错误。也就是说， $m_1 > m_2$ 时，小球 A 不可能反向。

② 若 A、B 发生弹性碰撞，根据动量守恒，有 $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ ，

$$\text{根据能量守恒，有 } \frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2。$$

二式联立，得 $v^1 = \frac{m^1 - m^2}{m^1 + m^2} v^0$ 。若 $m_1 > m_2$ ，则 v_1 与 v_0 方向相同。

在非弹性碰撞中，小球 B 对小球 A 的冲量比发生弹性碰撞时更小，那么碰后小球 A 的速度仍沿 v_0 方向。

综上，满足 $m_1 > m_2$ 时，小球 A 不可能反向运动。

(4) v_1 一定小于 v_0 ，所以 P 与 M 不可能重合。若 P 与 N 重合，即 $v_2 = v_0$ 。

$$\text{根据动量守恒，} m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_0, \text{ 所以 } v^1 = \frac{m^1 - m^2}{m^1} v^0$$

碰撞前后动能变化量 $\Delta E_k = \frac{1}{2} m^1 v_1^2 + \frac{1}{2} m^2 v_0^2 - \frac{1}{2} m^1 v_0^2 = \frac{m^2(m^2 - m^1)}{2m^1} v_0^2 < 0$ ，所以这种现象是可能的。

(5) 不一定。

如果是完全非弹性碰撞， $v_{\text{共}} < v_0$ ，此时 N 点会在 P 点内侧。所以在非弹性碰撞中，又可能出现 P 为最远点。

4. (1) U 、 I 可能的最大值 X_m 应大于所选电表量程的 $\frac{1}{3}$ 。 X_m 大于量程也可接受，在实验过程中保证 U 、 I 在量程范围内变化即可。

(2) 电压表分流，电流表分压

伏安法测电阻的原理是 $R = \frac{U}{I}$ ，若采用电流表外接法，则由于电压表的分流作用，电流测量值实际为

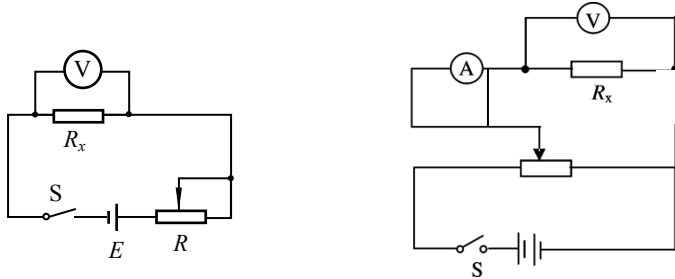
$$I_{\text{测}} = I + \frac{U}{R^V}, \text{ 则 } R_{\text{测}} = \frac{U}{I_{\text{测}}} = \frac{RR^V}{R + R^V}, \text{ 相对误差 } \eta^{\text{外}} = \frac{|R - R_{\text{测}}|}{R} \times 100\% = \frac{R}{R + R^V} \times 100\%;$$

若采用电流表内接法，则由于电流表的分压作用，电压测量值实际为 $U_{\text{测}} = I(R_A + R)$ ，则 $R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I} = R + R^A$ ，相

$$\text{对误差 } \eta^{\text{内}} = \frac{|R - R_{\text{测}}|}{R} \times 100\% = \frac{R^A}{R} \times 100\%;$$

若 $\eta^{\text{外}} > \eta^{\text{内}}$ ，则 $\frac{R}{R + R^V} > \frac{R^A}{R}$ ，若 $R^V \gg R$ ，可近似为 $\frac{R}{R^V} > \frac{R^A}{R}$ ，即 $R > \sqrt{R^V R^A}$ ，即大电阻适合电流表内接法，同理小电阻适合电流表外接法。

(3)



(4) a. 如果有“电压从零开始变化”或者“电压变化范围尽可能大”的要求，一定要选择分压式接法。没有此类要求一般用限流式接法。

b. 适宜限流式接法的滑动变阻器的 R_m ，一般取几倍于 R_x ，以 3-5 倍为佳；适宜分压式接法的滑动变阻器小阻值比较好。因为选择这样的滑动变阻器， U 随 x 的变化比较均匀，方便调节，且有利于取多组数据。

c. 若分压限流皆可，应先排除阻值太大的滑动变阻器，再判断剩余的滑动变阻器适宜哪种接法。

5、(1) 指针摆角 θ 与流过表的电流 I 成正比。

根据闭合电路欧姆定律可知通过表头的电流 $I = \frac{E}{R^x + R^g + R^l + r}$ ，可见通过表头的电流 I 与待测电阻 R_x 之间的关系为非线性关系。

因此指针摆角 θ 与电阻 R_x 成非线性关系，故电阻的刻度线是不均匀的。

(2) 红黑表笔短接时，调节滑动变阻器，使电流表满偏，即 $I^g = \frac{E}{R^g + R^l + r}$ ，或 $I^g = \frac{E}{R^{\Omega}}$

$$\text{当接入待测电阻 } R_x \text{、指针在中值时，回路中电流 } \frac{1}{2} I^g = \frac{E}{R^{\Omega} + R^x}$$

两个方程联立可得 $R_x = R^{\Omega}$ ，说明欧姆表的中值电阻为表的内阻。

(3) 灯丝的电阻随温度的增加而增大。标称值体现的是：当灯泡的分压为 6V 时功率为 3W，其电阻为 12Ω。但是用欧姆表测量灯泡电阻时，灯泡不会发光、其电压低于 6V，所以此时灯丝电阻小于 12Ω。

(4) 大，增大

(5) 电流从红表笔流入欧姆表，从黑表笔流出欧姆表，适用；黑，红，红，红

(6) 等于

测量值=真实值。电动势不变，且仍满足 $I^g = \frac{E}{R^{\Omega}}$ ，所以 R^{Ω} 也不变 (r 增大，欧姆调零时把 R 调小，保证 R^{Ω} 不变)。根据 $I = \frac{E}{R^{\Omega} + R^x}$ ，流过表的电流也没有变化，所以测量是准确的。

偏大。仍能欧姆调零，即 $I^g = \frac{E'}{R^{\Omega}'}$ 。 $I = \frac{E'}{R^{\Omega}' + R^x} = \frac{1}{\frac{R^{\Omega}'}{E'} + \frac{R^x}{E'}} = \frac{1}{\frac{1}{I^g} + \frac{R^x}{E'}}$ 。因为 $E' < E$ ，所以 I 变小，即指针偏转

角度变小，读数偏大。

6、(1) 电压表分流，<，<；电流表分压，=，>

$$\text{图 1 所示电路，电动势和内阻的测量值为：} E_{\text{测}} = \frac{R^V}{R^V + r} E, r_{\text{测}} = \frac{R^V}{R^V + r} r$$

图 2 所示电路，电动势和内阻的测量值为： $E_{测}=E$ ， $r_{测}=r+R_A$

故图 1 所示电路适宜内阻远小于电压表内阻的电源；图 2 所示电路适宜内阻远大于电流表内阻的电源。

(2) $U=IR=E-Ir$ ，所以 $IR-I$ 图线为一次函数图像，纵截距为电动势 E 、斜率大小为电源内阻 r ；

根据闭合电路欧姆定律可知 $I = \frac{E}{R+r}$ ，所以 $\frac{1}{I} = \frac{1}{E}(R+r)$ ，画 $\frac{1}{I}-R$ 图线为一次函数图像，图线斜率为 $\frac{1}{E}$ 、横截距为 $-r$ 。

7、(1) 需满足三个条件，忽略导线电阻，忽略漏磁，忽略铁芯内的涡流。

(2) 证明：忽略铁芯的漏磁，则通过原副线圈每匝线圈的磁通量 Φ 都相等；

根据法拉第电磁感应定律，原、副线圈产生的感应电动势分别为：

$$E^1 = n^1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, E^2 = n^2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \text{ 可得 } \frac{E^1}{E^2} = \frac{n^1}{n^2}$$

因理想变压器不计原、副线圈的电阻，则线圈两端的电压等于它产生的感应电动势，即 $U_1=E_1$ 、 $U_2=E_2$

$$\text{联立以上各式可得 } \frac{U^1}{U^2} = \frac{n^1}{n^2}$$

(3) 大于。因为实际变压器的导线有电阻，通过电流会发热，消耗电能。铁芯有漏磁。铁芯内部有涡流，也会

$$\text{发热消耗电能, } U^1 > n^1 \frac{\Delta\Phi^1}{\Delta t}, U^2 < n^2 \frac{\Delta\Phi^2}{\Delta t}, \frac{\Delta\Phi^1}{\Delta t} > \frac{\Delta\Phi^2}{\Delta t}, \square \frac{U^1}{n^1} > \frac{U^2}{n^2}, \frac{U^1}{U^2} > \frac{n^1}{n^2}$$

8、【思考】电能 $E_{能}$ 如何随时间 t 变化。

$E_{能}$ 对时间 t 的变化率应该等于克服电场力做功的功率，即 $\frac{\Delta E_{能}}{\Delta t} = iu$ 。充电开始时， $i^0 = \frac{E}{r}$ ， $u=0$ ， $\frac{\Delta E_{能}}{\Delta t} = 0$ ；充

电接近完成时， i 趋近于零， u 趋近于 E ，那么 iu 也趋近于零。所以， $E_{能}-t$ 图线的斜率 $\frac{\Delta E_{能}}{\Delta t}$ 从零开始增加，最终减小为零，见图 3。

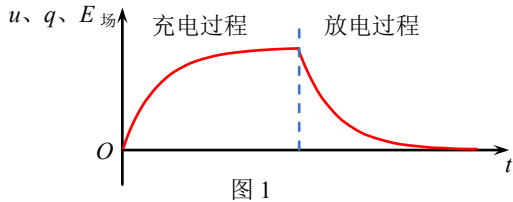


图 1

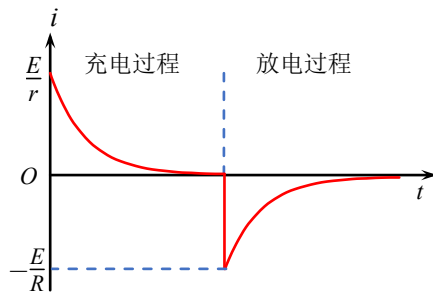


图 2

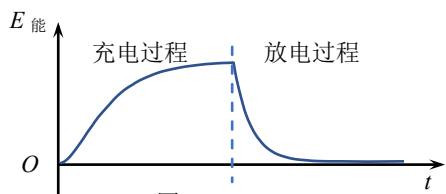


图 3

9、(1) 质量，温度，可以不测量，因为 $l \propto v$

(2) ①快速推拉活塞，气体不能与外界进行充分的热交换，从而导致气体温度发生变化。

②润滑油起到密封和减小摩擦的作用。缺少润滑油有可能导致漏气，使封闭气体的质量发生变化。

③会导致气体温度升高

④可能导致气体和外界的压强差过大，增加漏气的几率。另外，气体体积过小，可能导致测量体积的相对误差变大。

(3) 同学①的实验环境温度更高，或者同学①封闭的气体质量更大。

不能，应作 $p-\frac{1}{V}$ 图，若图线是一条过原点的直线，说明 p 与 V 成反比。

二、

1、(1) 平行四边形——在线下描点时，距结点 O 远一些；

设测量力的方向的误差为 $\Delta\theta$ ，若两力夹角 θ 太小， $\frac{\Delta\theta}{\theta}$ 较大，那么做平行四边形时会产生较大偏差，导致计算

合力的理论值时，误差很大；若两力夹角太大，那么二力合力可能很小，测量合力的相对误差很大。

测折射率——两枚大头针距离适当远一些；选宽度较大的玻璃砖，使玻璃砖截面描绘不准带来的相对误差较小。

测波长——测量第 1 条和第 n 条条纹的距离 a ，再推算相邻条纹间距： $\Delta x = \frac{a}{n-1}$

测 g ——假设单次时间测量的绝对误差 Δt 大致不变。若直接测量一个周期 T ，则测量周期的绝对误差为 Δt ，相对误差为 $\frac{\Delta t}{T} \times 100\%$ 。若测量 50 个周期的总时间，则一个周期的平均绝对误差为 $\frac{\Delta t}{50}$ ，平均相对误差为

$\frac{\Delta t}{50T} \times 100\%$ ，显然第二种测量方式的误差要小得多。

(2) 机械能守恒——忽略空气阻力和摩擦力

牛二律——令砂桶总质量 $m \ll$ 小车和车上砝码的总质量 M

测电阻——当 $R > \sqrt{R^V R^A}$ 时，选择电流表内接法，当 $R < \sqrt{R^V R^A}$ 时，选择电流表外接法

匀变速运动——均匀分布在直线两侧，舍去，相距较远

2、(1) 测电动势—— $\frac{1}{U} = \frac{r}{E} + \frac{1}{E}$ ，图像的横轴代表 $\frac{1}{R}$ ，纵轴代表 $\frac{1}{U}$

测电动势——干电池的内阻较小， $U-I$ 图中纵轴可能不从零开始。若纵轴从零开始，横截距会很大，作图不便。

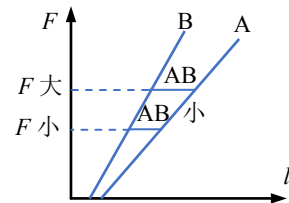
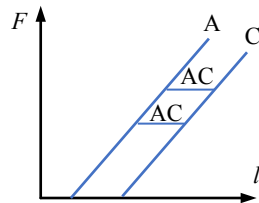
(2) 牛二律——①横截距代表 $a=0$ 时，拉力 $F \neq 0$ ，说明拉力 F 被其它力平衡。这说明斜面倾角 θ 太小，导致重力分力未能平衡摩擦力。②同一 a 下，合力的测量值 $mg >$ 合力的真值 $F_{真}$ ，这说明摩擦力未被平衡。③对小车

列牛顿第二定律， $F + Mg \sin \theta - f = Ma$ ，得 $a = \frac{1}{M} F + g \sin \theta - \frac{f}{M}$ ，由图像可知纵截距 $g \sin \theta - \frac{f}{M} < 0$ ，即 $Mg \sin \theta < f$ 。

机械能守恒——若机械能守恒理论上 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，则 $v^2 = 2gh$ ， v^2-h 图线是一条过原点的直线；实际上，

若空气阻力不可忽略且大小恒定，有 $mgh - fh = \frac{1}{2}mv^2$ ，则 $v^2 = 2(g - \frac{f}{m})h$ ， v^2-h 图线也是一条过原点的直线，但斜率不同。所以，当 v^2-h 图线是一条过原点且斜率为 $2g$ 的直线，能够说明机械能守恒。

胡克定律——指针固定在 C 处，在力 F 作用下， l 的测量值均大于真值，且误差 AC 是恒定的，（即 x 测量准确）它对应的图线应与理论图线平行，斜率相等，故 $k_C = k$ 。如果指针固定在 B 处，在力 F 作用下， l 的测量值均小于真值，但误差 AB 并不恒定。当 F 更大时，弹簧伸长量更大，AB 作为弹簧的一部分，它的长度也 longer。所以误差随 F 的增大而增大。所以它对应的图线斜率更大，故 $k_B > k$ 。



单摆—— a 图线上各点的横纵坐标可认为是摆长 L 和周期 T 的真值。

②假定周期测量无误。可发现：任一周期下，图线 b 上点的纵坐标更大，即 $L_{测} > L_{真}$ ，且误差 $L_{测} - L_{真}$ 为定值。故 b 有可能是将悬点到小球底端的距离记为摆长所导致。

假定摆长测量无误。任一摆长下，图线 c 上的点的横坐标更大，即 $T_{测}^2 > T_{真}^2$ ，且随着周期增大，误差 $\delta = T_{测}^2 - T_{真}^2$ 逐渐增大。若将 50 个周期的总时 t 记为 49 个周期，则 $\delta = T_{测}^2 - T_{真}^2 = (t(1.49)^2 - t(1.50)^2) \propto t^2$ ，那么 $\delta \propto T_{测}^2$ 。误差随着 $T_{测}^2$ 均匀地增大，这与图线 c 相符。

③若误将悬点到小球底端的距离记为摆长 L ，那么真实的摆长应为 $L - \frac{1}{2}d$ ，故测量值满足的方程是

$$L - \frac{1}{2}d = \frac{g}{4\pi^2} T^2, \text{ 整理为 } L = \frac{g}{4\pi^2} T^2 + \frac{1}{2}d. \text{ 这符合图线 } b.$$

若误将绳长记为摆长，那么真实的摆长应为 $L + \frac{1}{2}d$ ，故有 $L = \frac{g}{4\pi^2} T^2 - \frac{1}{2}d$ 。

若误将 50 次周期记为 49 次周期，即 $T = \frac{t}{49}$ 。而真实的周期应为 $\frac{t}{50} = \frac{49}{50}T$ ，故测量值满足的方程是

$$L = \frac{g}{4\pi^2} (\frac{t}{49})^2 T^2, \text{ 也就是 } L = (\frac{t}{49})^2 \frac{g}{4\pi^2} T^2. \text{ 它对应的图线仍是正比例图线，且斜率更小，这符合图线 } c.$$

若单摆变成了圆锥摆，那么其周期为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos\theta}{g}}$ ，测量值满足的方程是 $L = \frac{g}{4\pi^2 \cos\theta} T^2$ 。它对应的图线仍是正

比例图线，但斜率更大。

测电动势——①考察图线的横纵截距的物理意义。

按图 1 所示电路实验。当 $I=0$ 时，即电流表断路（图 4a），此

时，电压表的示数为 $\frac{R^V}{R^V+r}E$ ，这就是纵截距，也就是电动势的测量值，比真值小。当 $U=0$ 时，即电流表所在支路短路（图 4b），

电压表不分流，电流表所在支路的电流为 $\frac{E}{r}$ ，这就是横截距，与

理论图线的横截距相同。所以图 1 所示电路对应图 3b。

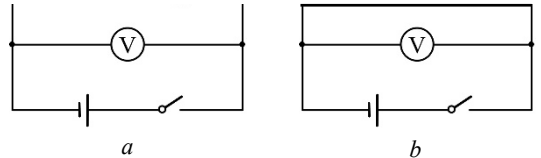


图 1

故电动势测量值 $E_{\text{测}} = \frac{R^V}{R^V+r}E$ ，内阻测量值，也就是图线 b 斜率为 $r_{\text{测}} = \frac{\frac{R^V}{R^V+r}E}{\frac{E}{r}} = \frac{R^V}{R^V+r}r$ 。

按图 2 所示电路实验。当 $I=0$ 时，即外电路断路（图 5a），

a、b 之间的电压正是电源的开路电压 $U=E$ ，这是纵截距，与电动势真值相等。当 $U=0$ 时，即滑动变阻器短路（图 5b），

此时电压表不分流，电流表示数为 $\frac{E}{R^A+r}$ ，这是横截距，小于

理论图线的横截距。所以图 2 所示电路对应图 3a。

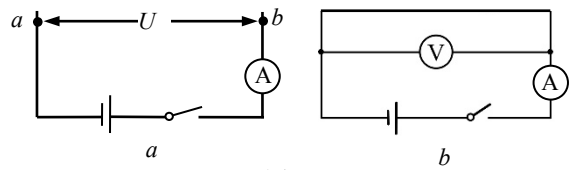


图 2

故电动势测量值 $E_{\text{测}}=E$ ，内阻测量值，也就是图线 a 斜率为 $r_{\text{测}} = \frac{E}{\frac{E}{R^A+r}} = R^A+r$ 。

③分别推导两种接法对应的图线方程。设 U 、 I 分别代表电压表、电表示数。

图 1： U 正是路端电压，干路电流应是 $I + \frac{U}{R^V}$ ，故闭合电路欧姆定律可写成 $U = E - (I + \frac{U}{R^V})r$ ，整理后得

$$U = \frac{R^V}{R^V+r}E - I \frac{R^V r}{R^V+r}. \text{ 纵截距为 } \frac{R^V}{R^V+r}E < E, \text{ 横截距为 } \frac{E}{r}, \text{ 故对应图线 } b, \text{ 且 } E_{\text{测}} = \frac{R^V}{R^V+r}E, r_{\text{测}} = \frac{R^V}{R^V+r}r.$$

图 2： I 正是干路电流，路端电压应为 $U + IR_A$ ，故闭合电路欧姆定律可写成 $U + IR_A = E - Ir$ ，整理后得 $U = E -$

$$I(R_A+r). \text{ 纵截距为 } E, \text{ 横截距为 } \frac{E}{R_A+r}, \text{ 故对应图线 } a, \text{ 且 } E_{\text{测}}=E, r_{\text{测}}=r+R_A.$$

(一) 力学实验

1. (1)CBA (2)左端 (3) $\frac{x_2}{2T}$ (4) 0.81 1.6

2. 31.4, 0.44

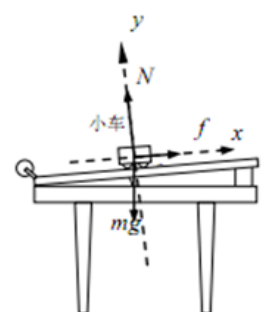
(3) 设绳的拉力为 T ，小车运动的加速度为 a 。

对桶和砂 $mg - T = ma$ ，对小车 $T = Ma$ ，得 $T = \frac{M}{M+m}mg$

只有桶和砂的总质量 m 比小车质量 M 小得多时， $\frac{M}{M+m} \approx 1$ ，才能认为桶和砂所受的重力 mg 等于使小车做匀加速直线运动的合力。

3. (1) B (3) AD

4. (1) BCD (2)不挂，打点



(3) 受力分析如图, $Mg \sin \theta = \mu Mg \cos \theta$, $\mu = \tan \theta$ 。

论证: 当小车质量由 M 变为 $M + \Delta m$ 时

若使匀速运动, 仍有 $(M + \Delta m)g \sin \theta = \mu(M + \Delta m)g \cos \theta$ 成立, 仍满足 $\mu = \tan \theta$

即若增大小车质量, 角度 θ 无需改变。

(4) D

(5) ①a. 小车 $F = Ma$, 砝码和砝码盘 $mg - F = ma$, 所以 $F = \frac{Mmg}{M+m}$, 得到 $\frac{F}{mg} = \frac{1}{2}$

② 利用 a 问中得到的结论 $F = \frac{Mmg}{M+m}$, 结合 $\frac{|F - mg|}{F} < \frac{5}{100}$, 可得 $\frac{m}{M} < 5\%$ 。

③C

(6) A

(7) 不同意。小车和砂桶组成的系统机械能不守恒。挂上砂桶后, 小车在沿长木板下滑的过程中, 所受的阻力对系统做功, 使得小车和砂桶系统不再满足机械能守恒的条件, 即“只有系统内的重力和弹力做功”。因此小车和砂桶组成的系统机械能不守恒。

(通过“小车下滑过程中, 阻力做功使小车和砂桶系统的一部分机械能转化为内能, 引起机械能减少”亦可。)

5. C, 相同, a , D

6. BD 球心 需要 大于 $v_0 = x \sqrt{\frac{g}{y_2 - y_1}}$ AB B

7. ABD 自由落体运动 A 球相邻两位置水平距离相等 10 $\left| \frac{x_2 - 2x_1}{y_2 - 2y_1} \right|$

8. (1) 9.75, 10 ; ACD (2) AC, mgh_B , $\frac{m(h_C - h_A)^2}{8T^2}$;

③假设重物下落过程受到一阻力 f , 则根据动能定理有 $mgh - fh = \frac{1}{2}mv^2$ 整理得 $v^2 = 2\left(g - \frac{f}{m}\right)h$

此时所得出的 v^2-h 图像仍是一条过原点的直线, 但重物的机械能显然不守恒, 所以仅靠图像是一条过原点的直线这一结果不能推断出重物下落过程中机械能守恒的结论, 还需要根据图像的斜率是否等于 $2g$ 来判断。

9. (1) 20.1, 75.2s (2) BD (3) 测摆长时没有加上小球半径, 9.87

(4) 等于

根据 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l+r}{g}}$ 解得 $l = \frac{g}{4\pi^2} T^2 - r$ 则出现图线不过原点的原因是将摆线长当做了单摆的摆长;

由图像可知 $\frac{g}{4\pi^2} = \frac{b}{a_2 - a_1}$ 解得 $g = \frac{4\pi^2 b}{a_2 - a_1}$ 可知他求得的重力加速度 g 等于真实值。

(5) C, 测量值偏小

对圆锥摆, 根据牛顿第二定律有 $mg \tan \theta = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 其中 $r = L \sin \theta$

解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}} < 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 可知 T 偏小

根据 $g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$, 所以 g 偏大。

10. (1) BC

(2) 小球离开斜槽末端做平抛运动, 竖直方向满足 $y = \frac{1}{2}gt^2$, 由同一高度下落时间相同;

水平位移 $x = vt$ 与平抛初速度成正比

(3) OP (5) $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$ (6) B

(7) C, $\frac{1}{2}m_1 \cdot OP^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot OM^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot ON^2$

11.(1)AC (2) 用圆规画圆, 尽可能用最小的圆把各个落点圈住, 这个圆的圆心位置代表平均落点

$$m_1OP = m_1OM + m_2ON \quad (3)ml_1 = -ml_2 + Ml_3$$

(二) 电学实验

12. C

13、3360；电容器在 Δt 时间内的放电量， $4.2 \times 10^{-4} \sim 4.6 \times 10^{-4}$ ；A、D； D

14、AD, B, ABD, BC 15、(1) BE (2) C (3) 有效, 7.2 (4) D

16、1.844, 3 (3) a, 电压表的示数有较大变化, 电流表分压作用明显, 选择电流表外接; $\frac{\pi U d^2}{4lL}$ 小于

(5) 刚闭合开关时, 灯丝温度较低, 电阻较小, 电流较大; 随着灯丝温度升高, 电阻逐渐增大, 电流逐渐减小; 当灯丝发热与散热平衡时, 温度不变, 电阻不变, 电流保持不变

(6) $\frac{R_0 R_2}{R_1}$

17.M b 移动滑片时, 电压表和电流表的示数为 0

18、(4) 电动势定义式: $E = \frac{W_{\text{非静电力}}}{q}$ 根据能量守恒定律, 在图 1 所示电路中, 非静电力做功 W 产生的电能等于在外电路和内电路产生的电热, 即

$$W = I^2 r t + I^2 R t = I r q + I R q$$

$$E = I r + I R = U_{\text{内}} + U_{\text{外}}$$

19、BC A 1.48 0.96 BC AC $\frac{1}{a_1}$ $\frac{a_2 - a_1}{a_1 b_1}$ 1.0 3.320、B b B $\frac{1}{k_2}$ $\frac{k_1}{k_2}$

21、红 B; AD; 1600 准确

(5) 设多用电表欧姆挡内部电源电动势为 E , 红黑表笔短接时电流为 I_g ,

根据闭合电路欧姆定律, 有 $E = I_g R_g$, $E = \frac{n}{N} I_g (R_g + R)$

联立可得 $R_g = \frac{n}{N - n} R$, 可见利用这些数据能得出欧姆表的内阻 R_g

(6) 1.0 3.3

(三) 热光原实验

22、D

23 (1) 4×10^{-12} , 1.14×10^{-2} ($1.12 \times 10^{-2} \sim 1.19 \times 10^{-2}$), 3×10^{-10} 或 4×10^{-10} (2) B (3) AC

24、CD 25、A

26、(1) D (2) 15.376 (15.375~15.379) (3) $\frac{(x_6 - x_1)d}{5l}$, 6.5×10^{-7} (4) C

27. (1) D (2) A (3) 反比, C

(4) $V = Sl$ 可知体积正比于针筒长度 l , 可知无法测量针筒的横截面积, 可以通过测量针筒的长度, 所以不影响实验结果

(5) 连接压力表和注射器内空气柱的细管中有气体未计入