2006 年江苏

1. 从下列哪一组物理量可以算出氧气的摩尔质量（C）

A. 氧气的密度和阿伏加德罗常数　　B. 氧气分子的体积和阿伏加德罗常数

C. 氧气分子的质量和阿伏加德罗常数　　D. 氧气分子的体积和氧气分子的质量

> 物质的分子质量与阿伏加德罗常数的乘积即为摩尔质量，故 C 正确。

2. 质子（p）和 α 粒子以相同的速率在同一匀强磁场中作匀速圆周运动，轨道半径分别为 R_p 和 R_α，周期分别为 T_p 和 T_α，则下列选项正确的是（A）

A. $R_p:R_\alpha=1:2$，$T_p:T_\alpha=1:2$　　B. $R_p:R_\alpha=1:1$，$T_p:T_\alpha=1:1$

C. $R_p:R_\alpha=1:1$，$T_p:T_\alpha=1:2$　　D. $R_p:R_\alpha=1:2$，$T_p:T_\alpha=1:1$

> 由带电粒子在磁场中运动的半径公式 $R=\frac{mv}{qB}$ 得 $\frac{R_p}{R_\alpha}=\frac{m_p}{m_\alpha}\cdot\frac{q_\alpha}{q_p}=\frac{1}{4}\times\frac{2}{1}=\frac{1}{2}$；再由周期公式 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 得 $\frac{T_p}{T_\alpha}=\frac{m_p}{m_\alpha}\cdot\frac{q_\alpha}{q_p}=\frac{1}{4}\times\frac{2}{1}=\frac{1}{2}$，故 A 正确。

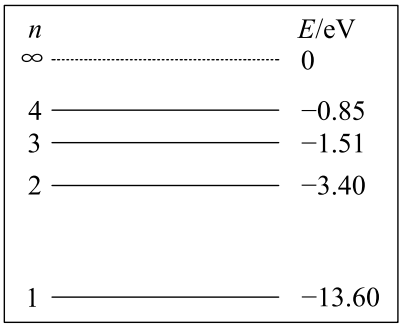
3. 一质量为 m 的物体放在光滑的水平面上，今以恒力 F 沿水平方向推该物体，在相同的时间间隔内，下列说法正确的是（D）

A. 物体的位移相等　　B. 物体动能的变化量相等

C. F 对物体做的功相等　　D. 物体动量的变化量相等

> 由动量定理可知，物体所受冲量相等，则物体的动量变化量必然相等，故 D 正确。

4. 氢原子的能级如图所示，已知可见光的光子能量范围约为 1.62 eV ~ 3.11 eV。下列说法错误的是（D）



A. 处于 $n=3$ 能级的氢原子可以吸收任意频率的紫外线，并发生电离

B. 大量氢原子从高能级向 $n=3$ 能级跃迁时，发出的光具有显著的热效应

C. 大量处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，可能发出 6 种不同频率的光

D. 大量处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，可能发出 3 种不同频率的可见光

> 处于 $n=3$ 能级的氢原子，只需要吸收能量为 1.51 eV 的光子就能电离，故 A 正确；大量氢原子从高能级向 $n=3$ 能级跃迁时，发出的光子能量均小于 1.51 eV，是红外线，具有显著的热效应，故 B 正确；大量处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，可能发出 6 种频率的光子，故 C 正确；其能量大小依次为 12.75 eV（4→1）、12.09 eV（3→1）、10.2 eV（2→1）、2.55 eV（4→2）、1.89 eV（3→2）、0.66 eV（4→3），其中只有两条在可见光范围，故 D 错误。

5. 用隔板将一绝热容器隔成 A 和 B 两部分，A 中盛有一定质量的理想气体，B 为真空（如图 a）。现把隔板抽去，A 中的气体自动充满整个容器（如图 b），这个过程称为气体的自由膨胀。下列说法正确的是 (C)

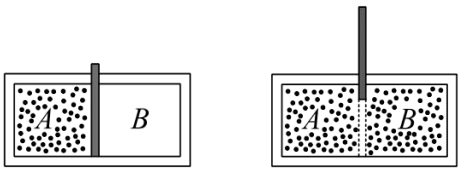


图 a　　图 b

A. 自由膨胀过程中，气体分子只作定向运动

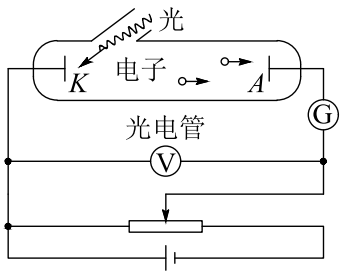
B. 自由膨胀前后，气体的压强不变

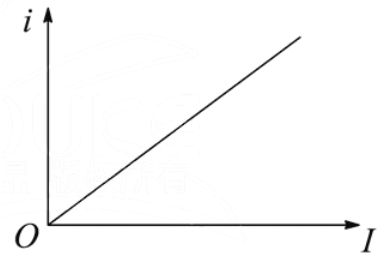
C. 自由膨胀前后，气体的温度不变

D. 容器中的气体在足够长的时间内，能全部自动回到 A 部分

> 自由膨胀过程，气体在做定向运动的同时也在做无规则的热运动，故 A 错误；自由膨胀过程不做功，也没有热交换，故内能不变，气体的温度不变，但由于体积变大，故压强变小，B 错误、C 正确；由热力学第二定律得，自由膨胀的过程是不可逆过程，故 D 错误。

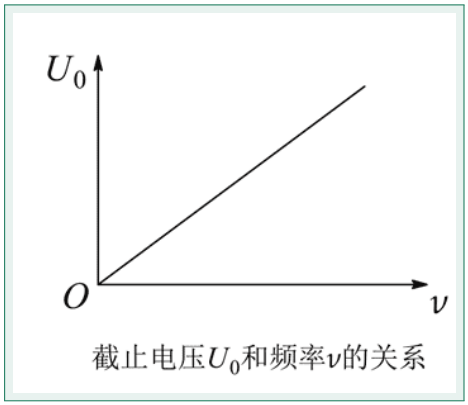
6. 研究光电效应规律的实验装置如图所示，以频率为 ν 的光照射光电管阴极 K 时，有光电子产生。由于光电管 K、A 间加的是反向电压，光电子从阴极 K 发射后将向阳极 A 作减速运动。光电流 I 由图中电流计 G 测出，反向电压 U 由电压表 V 测出。当电流计的示数恰好为零时，电压表的示数称为反向截止电压 U_0。在下列表示光电效应实验规律的图象中，错误的是 (B)





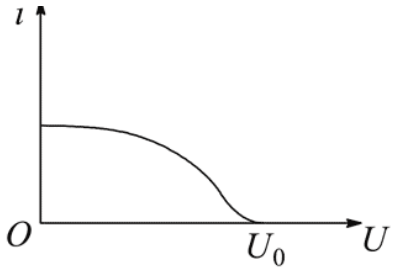
反向电压U和频率ν一定时，光电流i与光强I的关系

A.



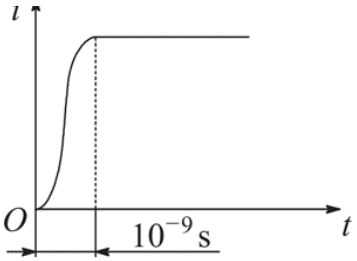
截止电压U_0和频率ν的关系

B.



光强I和和频率ν一定时，光电流i与反向电压U的关系

C.



光强I和和频率ν一定时，光电流i与产生光电子的时间t的关系

D.

> 由光电效应规律，截止电压 U_0 与频率 ν 的关系满足 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - W$，$U_0$ 应随 ν 线性增大且图线与横轴有交点（不过原点），B 图错误；由光电效应的规律可得 A、C、D 正确。

7. 下列说法正确的是（AD）

A. 气体的温度升高时，并非所有分子的速率都增大

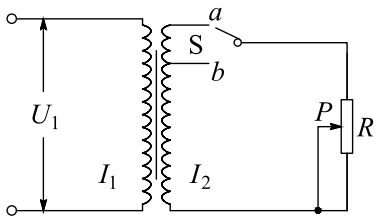
B. 盛有气体的容器作减速运动时，容器中气体的内能随之减小

C. 理想气体在等容变化过程中，气体对外不做功，气体的内能不变

D. 一定质量的理想气体经等温压缩后，其压强一定增大

> 气体的温度升高时，分子的平均动能增大、平均速率增大，但由于分子的热运动无规则，故并非所有分子的速率都增大，A 正确；盛有气体的容器做减速运动时，容器的动能减少，而容器中气体的温度不变，其内能不会随之减小，B 错误；理想气体在等容变化过程中，气体不对外做功，但可以进行热交换，其内能可以变化，C 错误；一定质量的理想气体经等温压缩后，其分子平均动能不变，但密度增大，单位体积内分子数增加，其压强一定增大，D 正确。

8. 如图所示电路中的变压器为理想变压器，S 为单刀双掷开关。P 是滑动变阻器 R 的滑动触头，U_1 为加在原线圈两端的交变电压，I_1、I_2 分别为原线圈和副线圈中的电流。下列说法正确的是 (BC)



A. 保持 P 的位置及 U_1 不变，S 由 b 切换到 a，则 R 上消耗的功率减小

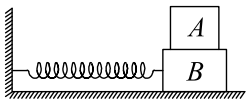
B. 保持 P 的位置及 U_1 不变，S 由 a 切换到 b，则 I_2 减小

C. 保持 P 的位置及 U_1 不变，S 由 b 切换到 a，则 I_1 增大

D. 保持 U_1 不变，S 接在 b 端，将 P 向上滑动，则 I_1 减小

> 由 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 得 $P_R=\frac{U_2^2}{R}=\frac{n_2^2U_1^2}{n_1^2R}$，S 由 b 切换到 a 时 n_2 增大，则 R 上消耗的功率增大，故 A 错误；由 $I_2=\frac{U_2}{R}=\frac{n_2U_1}{n_1R}$，S 由 a 切换到 b 时 n_2 减小，则 I_2 减小，B 正确；同理 C 正确；由 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2=\frac{n_2^2U_1}{n_1^2R}$，将 P 向上滑动时 R 变小，则 I_1 增大，故 D 错误。

9. 如图所示，物体 A 置于物体 B 上，一轻质弹簧一端固定，另一端与 B 相连，在弹性限度范围内，A 和 B 一起在光滑水平面上作往复运动（不计空气阻力），并保持相对静止。则下列说法正确的是 (AB)



A. A 和 B 均作简谐运动

B. 作用在 A 上的静摩擦力大小与弹簧的形变量成正比

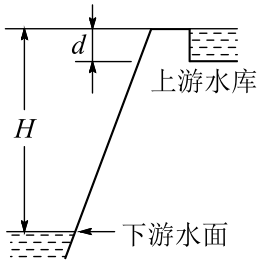
C. B 对 A 的静摩擦力对 A 做功，而 A 对 B 的静摩擦力对 B 不做功

D. B 对 A 的静摩擦力始终对 A 做正功，而 A 对 B 的静摩擦力始终对 B 做负功

> 将 A、B 看成整体，它们在弹簧弹力作用下一起做简谐振动，故 A 和 B 均做简谐振动，A 正确；由 $kx=(m_A+m_B)a$ 及 $f_A=m_Aa$ 可得 $f_A=\frac{m_A}{m_A+m_B}kx$，故 B 正确；B 对 A 的静摩擦力有时做正功、有时做负功，A 对 B 的静摩擦力也有时做正功、有时做负功，故 C、D 错误。

10. 我省沙河抽水蓄能电站自 2003 年投入运行以来，在缓解用电高峰电力紧张方面，取得了良好的社会效益和经济效益。抽水蓄能电站的工作原理是：在用电低谷时（如深夜），电站利用电网多余电能把水抽到高处蓄水池中；到用电高峰时，再利用蓄水池中的水发电。如图，蓄水池（上游水库）可视为长方体，有效总库容量（可用于发电）为 V，蓄

水后水位高出下游水面 H，发电过程中上游水库水位最大落差为 d。统计资料表明，该电站年抽水用电为 $2.4\times10^8\,\mathrm{kW\cdot h}$，年发电量为 $1.8\times10^8\,\mathrm{kW\cdot h}$。则下列计算结果正确的是（BC）（水的密度为 ρ，重力加速度为 g，涉及重力势能的计算均以下游水面为零势能面）



A. 能用于发电的水最大重力势能 $E_v=\rho Vg H$

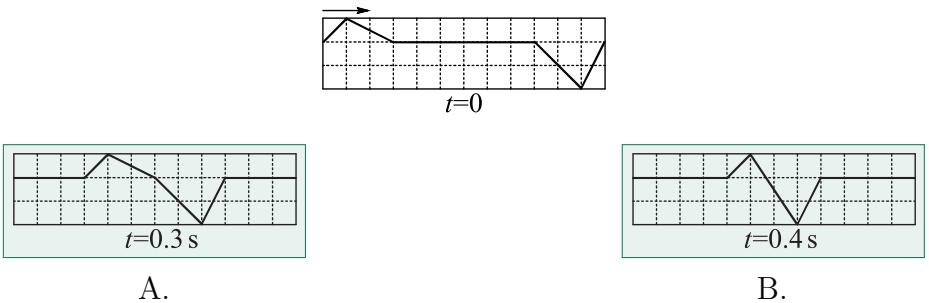
B. 能用于发电的水的最大重力势能 $E_p=\rho Vg\left(H-\frac{d}{2}\right)$

C. 电站的总效率达 75%

D. 该电站平均每天所发电能可供给一个大城市居民用电（电功率以 $10^5\,\mathrm{kW}$ 计）约 10 h

由于上游水库的重心离下游水面的高度为 $H-\frac{d}{2}$，故能用于发电的水的最大重力势能为 $E_p=\rho Vg\left(H-\frac{d}{2}\right)$，A 错误、B 正确；电站的总效率 $\eta=\frac{1.8\times10^8}{2.4\times10^8}\times100\%=75\%$，C 正确；电站平均每天发电 $E_1=\frac{1.8\times10^8}{365}\,\mathrm{kW\cdot h}=4.93\times10^5\,\mathrm{kW\cdot h}$，每天可供给的用电时间约为 4.93 h，与 10 h 相差较大，D 错误。

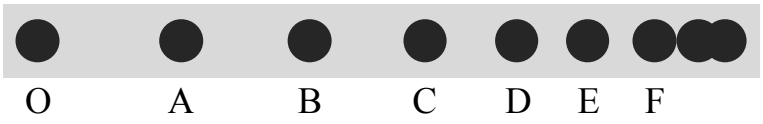
11. 两个不等幅的脉冲波在均匀介质中均以 1.0 m/s 的速率沿同一直线相向传播，$t=0$ 时刻的波形如图所示，图中小方格的边长为 0.1 m。则以下不同时刻，波形正确的是（ABD）



由波的叠加原理，通过对两列波在相向传播过程中叠加的分析作图，可求得 A、B、D 选项正确，C 选项错误。

12. (1) 小球作直线运动时的频闪照片如图所示。已知频闪周期 $T=0.1\,\mathrm{s}$，小球相邻位置间距（由照片中的刻度尺量得）分别为 $OA=6.51\,\mathrm{cm}$、$AB=5.59\,\mathrm{cm}$、$BC=4.70\,\mathrm{cm}$、

$CD = 3.80\,\text{cm}$、$DE = 2.89\,\text{cm}$、$EF = 2.00\,\text{cm}$。小球在位置 A 时速度大小 $v_A =$ m/s，小球运动的加速度大小 $a =$ m/s^2。



(2) 在用插针法测定玻璃砖折射率的实验中，甲、乙、丙三位同学在纸上画出的界面 aa'、bb' 与玻璃砖位置的关系分别如图 a、b 和 c 所示，其中甲、丙同学用的是矩形玻璃砖，乙同学用的是梯形玻璃砖。他们的其他操作均正确，且均以 aa'、bb' 为界面画光路图。则甲同学测得的折射率与真实值相比 （填“偏大”、“偏小”或“不变”），乙同学测得的折射率与真实值相比 （填“偏大”、“偏小”或“不变”），丙同学测得的折射率与真实值相比 。



图 a

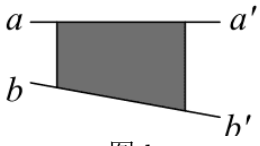


图 b

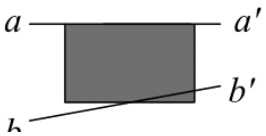


图 c

(1) 0.605 m/s；0.9 m/s^2　(2) 偏小；不变；可能偏大、可能偏小、可能不变

（1）小球在位置 A 时速度大小

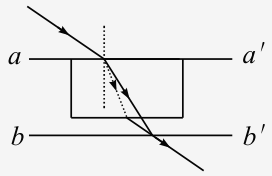
$$v_A = \frac{OA + AB}{2T} = \frac{6.51 + 5.59}{2 \times 0.1} \times 10^{-2}\,\text{m/s} = 0.605\,\text{m/s},$$

由匀变速直线运动的推论 $\Delta x = aT^2$ 得 $CD - OA = 3a_1T^2$、$DE - AB = 3a_2T^2$、$EF - BC = 3a_3T^2$，小球的加速度为

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = \frac{(CD + DE + EF) - (OA + AB + BC)}{9T^2},$$

代入解得 $a = -0.9\,\text{m/s}^2$（大小为 $0.9\,\text{m/s}^2$）。

（2）用图 a 测定折射率时，作出的折射光线如图中虚线所示，实线表示实际光线，可见折射角增大，则由折射定律 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 可知，折射率 n 将偏小，故甲同学测得的折射率与真实值相比偏小；用图 b 测折射率时，只要操作正确，与玻璃砖形状无关，故乙同学测得的折射率与真实值相比不变；用图 c 测折射率时，折射角可能偏小、可能偏大，也可能不变，所以测得的折射率可能偏大、可能偏小，也可能不变。



13. 现在按图 a 所示的电路测量一节旧干电池的电动势 E（约 1.5 V）和内阻 r（约 20 Ω），可供选择的器材如下：电流表 A_1、A_2（量程 0 ～ 500 μA，内阻约为 500 Ω），滑动变阻

器 R（阻值 $0\sim100\,\Omega$，额定电流 1.0 A），定值电阻 R_1（阻值约为 $100\,\Omega$），电阻箱 R_2、R_3（阻值 $0\sim999.9\,\Omega$），开关、导线若干。

由于现有电流表量程偏小，不能满足实验要求，为此，先将电流表改装（扩大量程），然后再按图 a 电路进行测量。

(1) 测量电流表 A_2 的内阻：按图 b 电路测量 A_2 的内阻，以下给出了实验中必要的操作。

(A) 断开 S_1

(B) 闭合 S_1、S_2

(C) 按图 b 连接线路，将滑动变阻器 R 的滑片调至最左端，R_2 调至最大

(D) 调节 R_2，使 A_1 的示数为 I_1，记录 R_2 的值

(E) 断开 S_2，闭合 S_3

(F) 调节滑动变阻器 R，使 A_1、A_2 的指针偏转适中，记录 A_1 的示数 I_1

请按合理顺序排列实验步骤（填序号）：。

(2) 将电流表 A_2（较小量程）改装成电流表 A（较大量程）。如果（1）中测出 A_2 的内阻为 $468.0\,\Omega$，现用 R_2 将 A_2 改装成量程为 20 mA 的电流表 A，应把 R_2 设为 Ω 与 A_2 并联，改装后电流表 A 的内阻 R_A 为 Ω。

(3) 利用电流表 A、电阻箱 R_3 测电池的电动势和内阻。用电流表 A、电阻箱 R_3 及开关 S 按图 a 所示电路测电池的电动势和内阻。实验时，改变 R_3 的值，记录下电流表 A 的示数 I，得到若干组 R_3、I 的数据，然后通过作出有关物理量的线性图象，求得电池电动势 E 和内阻 r。

a. 请写出与你所作线性图象对应的函数关系式 。

b. 请在图 c 的虚线框内坐标中作出定性图象（要求标明两个坐标轴所代表的物理量，用符号表示）。

c. 图中 表示 E；图中 表示 r。

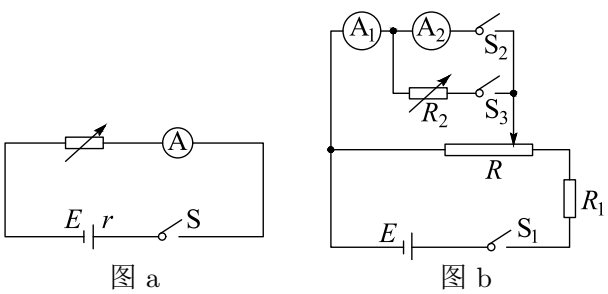


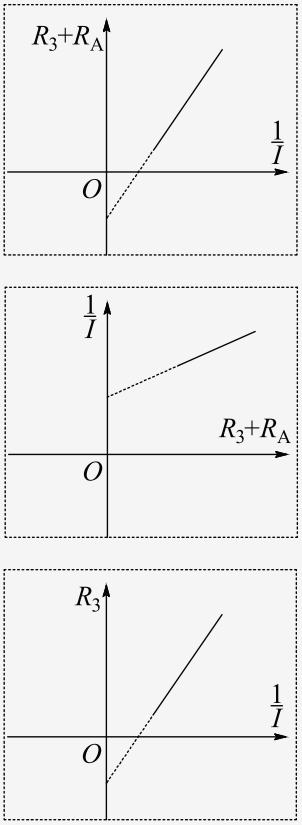
图 a　　图 b　　图 c

(1) CBFEDA (2) 12，11.7 (3) 解法一：a. $R_3+R_A=E\cdot\frac{1}{I}-r$；b. 作 $(R_3+R_A)-\frac{1}{I}$ 图象；c. 直线的斜率表示 E，纵轴截距的绝对值表示 r。解法二：a. $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}(R_3+R_A)+\frac{r}{E}$；b. 作 $\frac{1}{I}-(R_3+R_A)$ 图象；c. 直线斜率的倒数表示 E，纵轴截距除以斜率表示 r。解法三：a. $R_3=E\cdot\frac{1}{I}-(r+R_A)$；b. 作 $R_3-\frac{1}{I}$ 图象；c. 直线的斜率表示 E，纵轴截距的绝对值与 R_A 的差表示 r。三种解法的图象见详解。

（1）由半偏法测电流表内阻的实验步骤可得其顺序为 CBFEDA。

（2）量程扩大倍数为 $n=\frac{20\times10^{-3}}{500\times10^{-6}}=40$ 倍，故并联电阻为 $R_2=\frac{1}{n-1}R_g=\frac{1}{40-1}\times468\,\Omega=12\,\Omega$，改装后电表的总内阻为 $R_A=\frac{1}{40}\times468\,\Omega=11.7\,\Omega$。

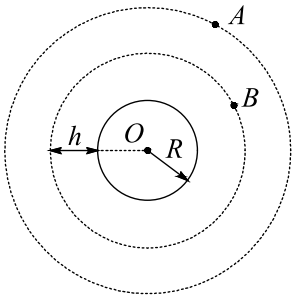
（3）由闭合电路的欧姆定律得 $E=I(R_3+R_A+r)$，变式可得 $R_3+R_A=E\cdot\frac{1}{I}-r$ ①、$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}(R_3+R_A)+\frac{r}{E}$ ②、$R_3=E\cdot\frac{1}{I}-(r+R_A)$ ③，由相应图象的斜率和截距即可求出电动势 E 与内阻 r。



14. 如图所示，A 是地球的同步卫星。另一卫星 B 的圆形轨道位于赤道平面内，离地面高度为 h。已知地球半径为 R，地球自转角速度为 ω_0，地球表面的重力加速度为 g，O 为地球中心。

(1) 求卫星 B 的运行周期。

(2) 如卫星 B 绕行方向与地球自转方向相同，某时刻 A、B 两卫星相距最近（O、B、A 在同一直线上），则至少经过多长时间，它们再一次相距最近？



(1) $T_B = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$　(2) $t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}-\omega_0}$

（1）由万有引力定律和向心力公式得

$$G\frac{Mm}{(R+h)^2} = m\frac{4\pi^2}{T_B^2}(R+h) \quad ①,$$

$$G\frac{Mm}{R^2} = mg \quad ②,$$

联立①②得 $T_B = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$ ③。

（2）由题意和几何关系得 $(\omega_B - \omega_0)t = 2\pi$ ④，由③得 $\omega_B = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}$ ⑤，代入④得 $t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}-\omega_0}$。

15. 电热毯、电饭锅等是人们常用的电热式家用电器，它们一般具有加热和保温功能，其工作原理大致相同。图 a 为某种电热式电器的简化电路图，主要元件有电阻丝 R_1、R_2 和自动开关 S。

(1) 当自动开关 S 闭合和断开时，用电器分别处于什么状态？

(2) 用电器由照明电路供电（$U = 220\,\mathrm{V}$），设加热时用电器的电功率为 400 W，保温时用电器的电功率为 40 W，则 R_1 和 R_2 分别为多大？

(3) 若将图 a 中的自动开关 S 换成理想的晶体二极管 D，如图 b 所示，其他条件不变，求该用电器工作 1 小时消耗的电能。

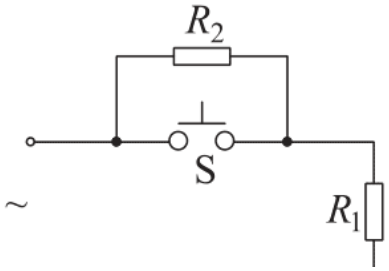


图 a

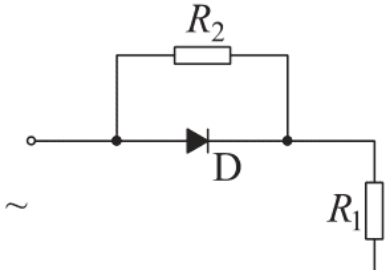


图 b

(1) S 闭合，处于加热状态；S 断开，处于保温状态　(2) $R_1 = 121\,\Omega$，$R_2 = 1089\,\Omega$　(3) $W = 0.22\,\mathrm{kW\cdot h}$（或 $7.92\times10^5\,\mathrm{J}$）

（1）S 闭合，处于加热状态；S 断开，处于保温状态。

（2）由电功率公式得

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}\quad ①,\qquad P_2 = \frac{U^2}{R_1+R_2}\quad ②,$$

联立①②得 $R_1 = 121\,\Omega$、$R_2 = 1089\,\Omega$。

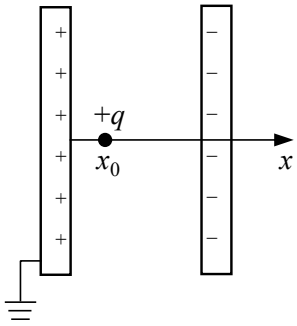
（3）由二极管的单向导电特性知

$$W = P_1\frac{t}{2} + P_2\frac{t}{2} = 0.22\,\mathrm{kW\cdot h}\ (\text{或 } 7.92\times10^5\,\mathrm{J}).$$

16. 如图所示，平行板电容器两极板间有场强为 E 的匀强电场，且带正电的极板接地。一质量为 m、电荷量为 $+q$ 的带电粒子（不计重力）从 x 轴上坐标为 x_0 处静止释放。

(1) 求该粒子在 x_0 处电势能 E_{px}。

(2) 试从牛顿第二定律出发，证明该带电粒子在极板间运动过程中，其动能与电势能之和保持不变。



(1) $E_{px0} = -qEx_0$　(2) 见解析

（1）带电粒子运动时，电场力做的功为 $W_{电} = qEx_0$ ①，由功能关系知 $W_{电} = -(E_{px0}-0)$ ②，联立①②得 $E_{px0} = -qEx_0$ ③。

（2）解法一：在带电粒子的运动方向上任取一点，设坐标为 x，由牛顿第二定律得

$$qE = ma\quad ④,$$

由运动学公式得 $v_x^2 = 2a(x-x_0)$ ⑤，联立④⑤可解得

$$E_{kx} = \frac{1}{2}mv_x^2 = qE(x-x_0),$$

$$E_x = E_{kx} + E_{px} = qE(x-x_0) + (-qEx) = -qEx_0,$$

即动能与电势能之和保持不变。

解法二：在 x 轴上任取两点 x_1、x_2，对应的速度大小分别为 v_1、v_2，由牛顿第二定律得 $F=qE=ma$，由运动学公式得 $v_2^2-v_1^2=2a(x_2-x_1)$，联立得

$$\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=qE(x_2-x_1),$$

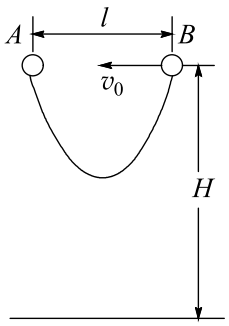
变式得 $\frac{1}{2}mv_2^2+(-qEx_2)=\frac{1}{2}mv_1^2+(-qEx_1)$，即 $E_{k2}+E_{p2}=E_{k1}+E_{p1}$。

17. 如图所示，质量均为 m 的 A、B 两个弹性小球，用长为 $2l$ 的不可伸长的轻绳连接。现把 A、B 两球置于距地面高 H 处（H 足够大），间距为 l。当 A 球自由下落的同时，B 球以速度 v_0 指向 A 球水平抛出。求：

(1) 两球从开始运动到相碰，A 球下落的高度。

(2) A、B 两球碰撞（碰撞时无机械能损失）后，各自速度的水平分量。

(3) 轻绳拉直过程中，B 球受到绳子拉力的冲量大小。



(1) $h=\frac{gl^2}{2v_0^2}$　(2) $v'_{Ax}=v_0$，$v'_{Bx}=0$　(3) $\frac{1}{2}mv_0$

（1）设 A 球下落的高度为 h，由平抛规律得 $l=v_0t$ ①，$h=\frac{1}{2}gt^2$ ②，联立①②得 $h=\frac{gl^2}{2v_0^2}$ ③。

（2）由水平方向动量守恒得

$$mv_0=mv'_{Ax}+mv'_{Bx}\quad ④,$$

由机械能守恒得

$$\frac{1}{2}m\left(v_0^2+v_{By}^2\right)+\frac{1}{2}mv_{Ay}^2=\frac{1}{2}m\left(v_{Ax}'^2+v_{Ay}'^2\right)+\frac{1}{2}m\left(v_{Bx}'^2+v_{By}'^2\right)\quad ⑤,$$

式中 $v'_{Ay}=v_{Ay}$、$v'_{By}=v_{By}$，联立④⑤得 $v'_{Ax}=v_0$、$v'_{Bx}=0$。

（3）轻绳拉直后，两小球以相同的水平速度运动，由水平方向动量守恒得 $mv_0=2mv'_{Bx}$，由动量定理得 $I=mv'_{Bx}=m\frac{v_0}{2}$。

18. 天文学家测得银河系中氦的含量约为 25%。有关研究表明，宇宙中氦生成的途径有两条：一是在宇宙诞生后 3 分钟左右生成的；二是在宇宙演化到恒星诞生后，由恒星内部的氢核聚变反应生成的。

(1) 把氢核聚变简化为 4 个氢核（${}_1^1\mathrm{H}$）聚变成氦核（${}_2^4\mathrm{He}$），同时放出 2 个正电子（${}_1^0\mathrm{e}$）和 2 个中微子（ν_e），请写出该氢核聚变反应的方程，并计算一次反应释放的能量。

(2) 研究表明，银河系的年龄约为 $t = 3.8 \times 10^{17}\,\mathrm{s}$，每秒钟银河系产生的能量约为 $1 \times 10^{37}\,\mathrm{J}$（即 $P = 1 \times 10^{37}\,\mathrm{J/s}$）。现假定该能量全部来自上述氢核聚变反应，试估算银河系中氦的含量（最后结果保留一位有效数字）。

(3) 根据你的估算结果，对银河系中氦的主要生成途径作出判断。

（可能用到的数据：银河系质量约为 $M = 3 \times 10^{41}\,\mathrm{kg}$，原子质量单位 $1\,\mathrm{u} = 1.66 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$，$1\,\mathrm{u}$ 相当于 $1.5 \times 10^{-10}\,\mathrm{J}$ 的能量，电子质量 $m_e = 0.0005\,\mathrm{u}$，氦核质量 $m_\alpha = 4.0026\,\mathrm{u}$，氢核质量 $m_p = 1.0078\,\mathrm{u}$，中微子 ν_e 质量为零）

(1) $4\,{}_1^1\mathrm{H} \longrightarrow {}_2^4\mathrm{He} + 2\,{}_1^0\mathrm{e} + 2\,\nu_e$；$\Delta E = 4.14 \times 10^{-12}\,\mathrm{J}$　(2) 2%　(3) 由估算结果可知，$k \approx 2\%$ 远小于 25% 的实际值，所以银河系中的氦主要是宇宙诞生后不久生成的。

（1）氢核聚变反应的方程为 $4\,{}_1^1\mathrm{H} \longrightarrow {}_2^4\mathrm{He} + 2\,{}_1^0\mathrm{e} + 2\,\nu_e$。反应过程中损失的质量为 $\Delta m = 4m_p - m_\alpha - 2m_e$，由质能方程得 $\Delta E = \Delta m c^2 = 4.14 \times 10^{-12}\,\mathrm{J}$。

（2）由比例关系知，核聚变产生的氦的质量为 $m = \frac{Pt}{\Delta E} m_\alpha = 6.1 \times 10^{39}\,\mathrm{kg}$，又银河系质量约为 $M = 3 \times 10^{41}\,\mathrm{kg}$，故氦的含量为 $k = \frac{m}{M} = \frac{6.1 \times 10^{39}}{3 \times 10^{41}} \approx 2\%$。

（3）由估算结果可知，$k \approx 2\%$ 远小于 25% 的实际值，所以银河系中的氦主要是宇宙诞生后不久生成的。

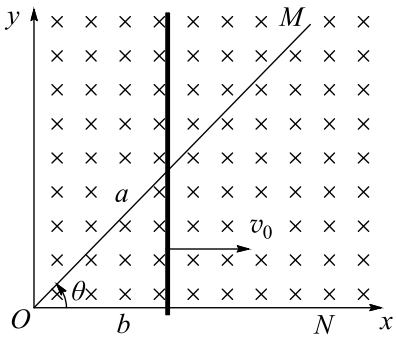
19. 如图所示，顶角 $\theta = 45°$ 的金属导轨 MON 固定在水平面内，导轨处在方向竖直、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。一根与 ON 垂直的导体棒在水平外力作用下以恒定速度 v_0 沿导轨 MON 向右滑动，导体棒的质量为 m，导轨与导体棒单位长度的电阻均为 r。导体棒与导轨接触点为 a 和 b，导体棒在滑动过程中始终保持与导轨良好接触。$t = 0$ 时，导体棒位于顶角 O 处，求：

(1) t 时刻流过导体棒的电流强度 I 和电流方向。

(2) 导体棒作匀速直线运动时水平外力 F 的表达式。

(3) 导体棒在 $0 \sim t$ 时间内产生的焦耳热 Q。

(4) 若在 t_0 时刻将外力 F 撤去，导体棒最终在导轨上静止时的坐标 x。



(1) $I=\frac{Bv_0}{(2+\sqrt{2})r}$，方向 $b\to a$ (2) $F=\frac{B^2v_0^2t}{(2+\sqrt{2})r}$ (3) $Q=\frac{B^2v_0^3t^2}{2(2+\sqrt{2})^2r}$ (4) $x=\sqrt{\frac{2(2+\sqrt{2})mv_0r}{B^2}+(v_0t_0)^2}$

（1）由题意知，0 到 t 时间内导体棒的位移为 $x=v_0t$，由几何关系知 t 时刻导体棒的长度为 $l=x$，导体棒切割产生的电动势为 $E=Blv_0$，回路的总电阻为 $R=(2x+\sqrt{2}x)r$，回路中的电流大小为

$$I=\frac{E}{R}=\frac{Bv_0}{(2+\sqrt{2})r},$$

由右手定则知，电流方向 $b\to a$。

（2）导体棒受到的安培力的大小为 $F_{安}=BlI=\frac{B^2v_0^2t}{(2+\sqrt{2})r}$，由导体棒的运动状态知，水平外力为 $F=F_{安}=\frac{B^2v_0^2t}{(2+\sqrt{2})r}$。

（3）t 时刻导体棒的电功率大小为 $P=I^2R'=\frac{B^2v_0^3t}{(2+\sqrt{2})^2r}$，因为 $P\propto t$，利用平均功率求得产生的焦耳热为 $Q=\frac{P}{2}t=\frac{B^2v_0^3t^2}{2(2+\sqrt{2})^2r}$。

（4）撤去外力后，设任意时刻 t 导体棒的坐标为 x、速度为 v，取很短时间 Δt 或很短距离 Δx。在 $t\sim t+\Delta t$ 时间内，由动量定理得 $BIl\Delta t=m\Delta v$，累积求和得

$$\sum\frac{B^2}{(2+\sqrt{2})r}(lv\Delta t)=\sum\frac{B^2}{(2+\sqrt{2})r}\Delta S=mv_0,$$

扫过的面积为 $\Delta S=\frac{(x_0+x)(x-x_0)}{2}=\frac{x^2-x_0^2}{2}$（$x_0=v_0t_0$），解得

$$x=\sqrt{\frac{2(2+\sqrt{2})mv_0r}{B^2}+(v_0t_0)^2}.$$

