2008 年上海

1. **A**．某行星绕太阳的运动可近似看作匀速圆周运动，已知行星运动的轨道半径为 R，周期为 T，万有引力恒量为 G，则该行星的线速度大小为 $\frac{2\pi R}{T}$，太阳的质量可表示为 $\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$。

   B．体积为 V 的油滴，落在平静的水面上，扩展成面积为 S 的单分子油膜，则该油滴的分子直径约为 $\frac{V}{S}$。已知阿伏伽德罗常数为 N_A，油的摩尔质量为 M，则一个油分子的质量为 $\frac{M}{N_A}$。

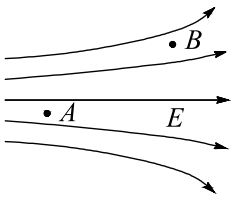
   A．$\frac{2\pi R}{T}$，$\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$。

   B．$\frac{V}{S}$，$\frac{M}{N_A}$。

   A．该行星的线速度大小为 $v=\frac{2\pi R}{T}$；由万有引力定律得 $G\frac{Mm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$，解得太阳的质量 $M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$。

   B．单分子油膜可视为横截面积为 S、高度为分子直径 D 的长方体，则体积 $V=SD$，故分子直径约为 $D=\frac{V}{S}$；取 $1\,\mathrm{mol}$ 油，含有 N_A 个油分子，则一个油分子的质量为 $m=\frac{M}{N_A}$。

2. **A**．如图所示，把电量为 $-5\times10^{-9}\,\mathrm{C}$ 的电荷，从电场中的 A 点移到 B 点，其电势能增大（选填“增大”、“减小”或“不变”）；若 A 点的电势 $U_A=15\,\mathrm{V}$，B 点的电势 $U_B=10\,\mathrm{V}$，则此过程中电场力做的功为 $-2.5\times10^{-8}\,\mathrm{J}$。



   B．放射性元素的原子核在 α 衰变或 β 衰变生成新原子核时，往往会同时伴随着 γ 辐射。已知 A、B 两种放射性元素的半衰期分别为 T_1 和 T_2，$t=T_1\cdot T_2$ 时间后测得这两种放射性元素的质量相等，那么它们原来的质量之比 $m_A:m_B=2^{T_2-T_1}$。

   A．增大，$-2.5\times10^{-8}\,\mathrm{J}$。

   B．γ，$2^{T_2-T_1}$（或 $2^{T_2}:2^{T_1}$）。

   A．将电荷从电场中的 A 点移到 B 点，电场力做负功，其电势能增加；由电势差公式 $U_{AB}=\frac{W}{q}$，得 $W=qU_{AB}=-5\times10^{-9}\times(15-10)\,\mathrm{J}=-2.5\times10^{-8}\,\mathrm{J}$。

   B．放射性元素的原子核在 α 衰变或 β 衰变生成新原子核时，往往以 γ 光子的形式释放能量，即伴随 γ 辐射；由半衰期的定义知，经过 $t=T_1\cdot T_2$ 时间后剩下的放射

> 性元素的质量相同，则 $\frac{m_A}{2^{T_2}}=\frac{m_B}{2^{T_1}}$，故 $m_A:m_B=2^{T_2}:2^{T_1}$。

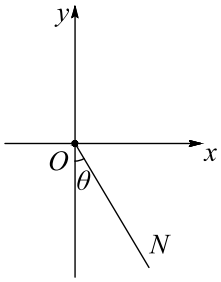
3. **A.** 1911 年卢瑟福依据 α 粒子散射实验中 α 粒子发生了 大（选填“大”或“小”）角度散射现象，提出了原子的核式结构模型。若用动能为 1 MeV 的 α 粒子轰击金箔，其速度约为 6.9×10^6 m/s。（质子和中子的质量均为 1.67×10^{-27} kg，$1\,\text{MeV}=10^6\,\text{eV}$）

   B. 某集装箱吊车的交流电动机输入电压为 380 V，则该交流电压的最大值为 537 V。当吊车以 0.1 m/s 的速度匀速吊起总质量为 5.7×10^3 kg 的集装箱时，测得电动机的电流为 20 A，则电动机的工作效率为 75%。（g 取 $10\,\text{m/s}^2$）

> **A.** 大，6.9×10^6 m/s。
>
> **B.** 537，75%。

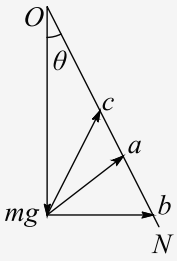
> **A.** 卢瑟福在 α 粒子散射实验中发现了大多数 α 粒子没有大的偏转，少数发生了较大的偏转，卢瑟福抓住了这个现象进行分析，提出了原子的核式结构模型；由 $1\,\text{MeV}=1\times10^6\times1.6\times10^{-19}\,\text{J}=\frac{1}{2}mv^2$，解得 $v=6.9\times10^6$ m/s。
>
> **B.** 输入电压 380 V 为有效值，则最大值为 $380\sqrt{2}\,\text{V}\approx537\,\text{V}$；电动机对集装箱做功的功率 $P=mgv=5.7\times10^3\times10\times0.1\,\text{W}=5.7\times10^3\,\text{W}$，电动机消耗的电功率 $P_{总}=380\times20\,\text{W}=7.6\times10^3\,\text{W}$，故电动机的工作效率为 $\eta=\frac{P}{P_{总}}=75\%$。

4. 如图所示，在竖直平面内的直角坐标系中，一个质量为 m 的质点在外力 F 作用下，从坐标原点 O 由静止开始沿直线 ON 斜向下运动，直线 ON 与 y 轴负方向成 θ 角（$\theta<\frac{\pi}{4}$）。则 F 大小至少为 $mg\sin\theta$；若 $F=mg\tan\theta$，则质点机械能大小的变化情况是 增大或减小。



> $mg\sin\theta$，增大或减小

> 该质点受到重力和外力 F 从静止开始做直线运动，说明质点做匀加速直线运动；当 F 的方向垂直于 ON 时，F 最小为 $F=mg\sin\theta$。若 $F=mg\tan\theta$，则 F 的方向可能与运动方向相同，也可能与运动方向相反，除重力外的 F 对质点可能做正功，也可能做负功，故质点机械能增加、减少都有可能。



5. 在伽利略羊皮纸手稿中发现的斜面实验数据如右表所示，人们推测第二、三列数据可能分别表示时间和长度。伽利略的一个长度单位相当于现在的 $\frac{29}{30}$ mm，假设一个时间单位相当于现在的 0.5 s。由此可以推算实验时光滑斜面的长度至少为 2.04 m；斜面的倾角约为 1.5 度。（g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$）

表：伽利略手稿中的数据		
1	1	32
4	2	130
9	3	298
16	4	526
25	5	824
36	6	1192
49	7	1600
64	8	2104

2.04，1.5°

依题意，第一列数据为时间的平方 t^2；从数据分析可知第一列数据与第三列数据之比约为 1 : 32（取平均值后比值为 1 : 32.75），即斜面长度与时间的平方成正比。由当时数据与现在的数据换算关系和匀变速运动公式，可得实验时光滑斜面的长度至少约为 2.04 m，斜面的倾角约为 1.5°。

6. 在下列四个核反应方程中，x 表示质子的是 (C)

A. ${}^{30}_{15}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + \mathrm{x}$

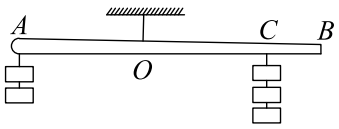
B. ${}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + \mathrm{x}$

C. ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{27}_{12}\mathrm{Mg} + \mathrm{x}$

D. ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{30}_{15}\mathrm{P} + \mathrm{x}$

由核反应方程的质量数和电荷数守恒，可得各个选项中的 x 分别为正电子、α 粒子、质子、中子，故 C 正确。

7. 如图所示，一根木棒 AB 在 O 点被悬挂起来，$AO=OC$，在 A、C 两点分别挂有二个和三个砝码，木棒处于平衡状态。如在木棒的 A、C 点各增加一个同样的砝码，则木棒 (D)

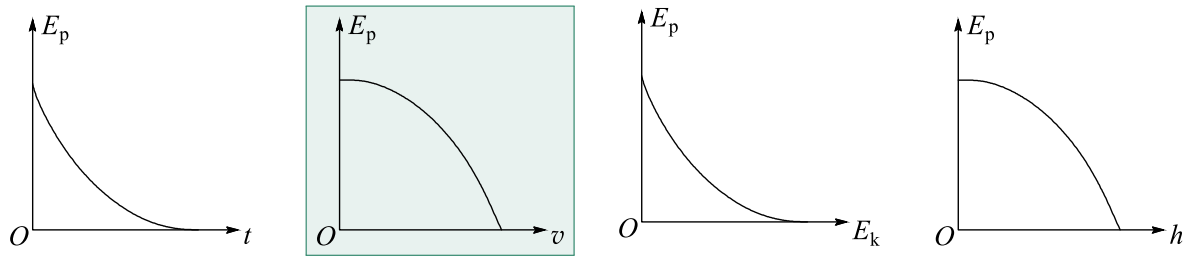


A. 绕 O 点顺时针方向转动　　B. 绕 O 点逆时针方向转动

C. 平衡可能被破坏，转动方向不定　　D. 仍能保持平衡状态

> 设木棒 AO 段重力为 G_1、重心离 O 点 L_1，BO 段重力为 G_2、重心离 O 点 L_2，$AO=OC=l$，由力矩平衡条件得 $G_1L_1+2Gl=G_2L_2+3Gl$；当两边各挂一个同样的砝码后，等式变为 $G_1L_1+3Gl=G_2L_2+4Gl$，依然成立，故木棒仍能保持平衡，D 正确。

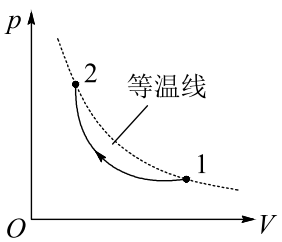
8. 物体做自由落体，E_k 代表动能，E_p 代表势能，h 代表下落的距离，以水平地面为零势能面，下列所示图像中，能正确反映各物理量之间关系的是 (B)



A.　　B.　　C.　　D.

> 由机械能守恒定律得 $E_p=E-E_k$，故势能与动能的图像为倾斜的直线，C 错误；由动能定理得 $E_k=mgh=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mg^2t^2$，则 $E_p=E-mgh$，故势能与 h 的图像也为倾斜的直线，D 错误；且 $E_p=E-\frac{1}{2}mv^2$，故势能与速度的图像为开口向下的抛物线，B 正确；同理 $E_p=E-\frac{1}{2}mg^2t^2$，势能与时间的图像也为开口向下的抛物线，A 错误。

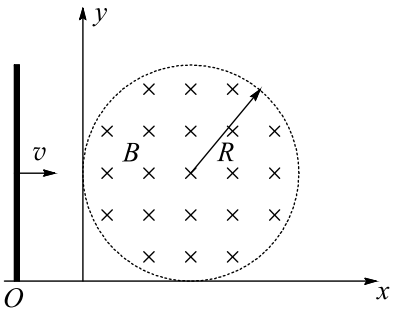
9. 已知理想气体的内能与温度成正比。如图所示的实线为汽缸内一定质量的理想气体由状态 1 到状态 2 的变化曲线，则在整个过程中汽缸内气体的内能 (B)

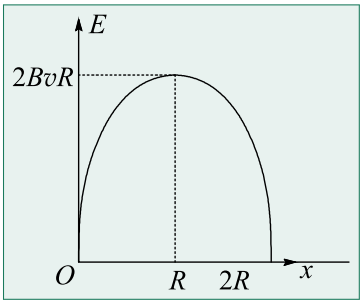


A. 先增大后减小　　B. 先减小后增大　　C. 单调变化　　D. 保持不变

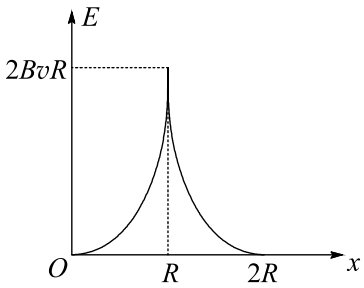
> 由 $\frac{pV}{T}$ 为恒量，用图像与坐标轴围成的面积表示 pV 乘积，从实线与虚线等温线比较可得出，该面积先减小后增大，说明温度 T 先减小后增大，内能先减小后增大。

10. 如图所示，平行于 y 轴的导体棒以速度 v 向右做匀速运动，经过半径为 R、磁感应强度为 B 的圆形匀强磁场区域，导体棒中的感应电动势 E 与导体棒的位置 x 关系的图像是 (A)

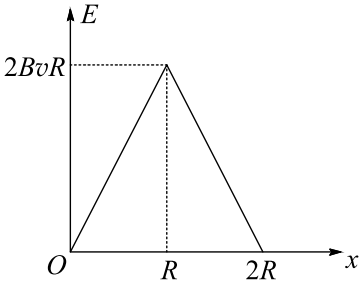




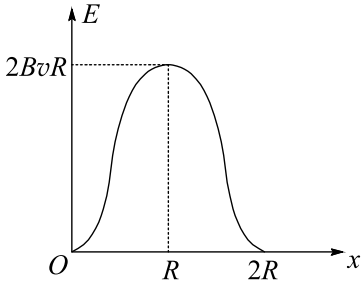
A.



B.



C.



D.

> 在 $x=R$ 左侧，导体棒切割有效长度 $l=2\sqrt{R^2-(R-x)^2}$，电动势与有效长度成正比，故在 $x=R$ 左侧，电动势与 x 的关系为椭圆图像关系；由对称性可知在 $x=R$ 右侧与左侧的图像对称，故 A 正确。

11. 某物体以 30 m/s 的初速度竖直上抛，不计空气阻力，g 取 10 m/s^2。5 s 内物体的 (AB)

A. 路程为 65 m　　B. 位移大小为 25 m，方向向上

C. 速度改变量的大小为 10 m/s　　D. 平均速度大小为 13 m/s，方向向上

> 初速度 30 m/s，只需 3 s 即可上升到最高点，上升高度为 $h_1 = \frac{30^2}{20}\,\mathrm{m} = 45\,\mathrm{m}$；再自由落体 2 s，下降高度为 $h_2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2\,\mathrm{m} = 20\,\mathrm{m}$。故总路程为 65 m，A 正确；此时离抛出点高 25 m，位移方向竖直向上，B 正确；此时速度为 $v = 10 \times 2\,\mathrm{m/s} = 20\,\mathrm{m/s}$，速度改变量为 50 m/s，C 错误；平均速度大小为 $\frac{25\,\mathrm{m}}{5\,\mathrm{s}} = 5\,\mathrm{m/s}$，D 错误。

12. 在杨氏双缝干涉实验中，如果（BD）

A. 用白光作为光源，屏上将呈现黑白相间的条纹

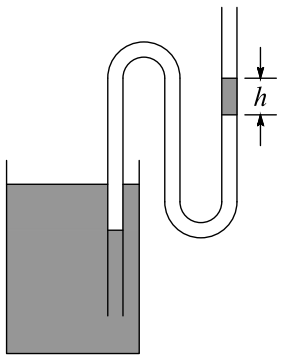
B. 用红光作为光源，屏上将呈现红黑相间的条纹

C. 用红光照射一条狭缝，用紫光照射另一条狭缝，屏上将呈现彩色条纹

D. 用紫光作为光源，遮住其中一条狭缝，屏上将呈现间距不等的条纹

> 白光做杨氏双缝干涉实验，屏上将呈现彩色条纹，A 错误；用红光作光源，屏上将呈现红色亮条纹与暗条纹（即黑条纹）相间，B 正确；红光和紫光频率不同，不能产生干涉条纹，C 错误；紫光作光源，遮住一条狭缝，屏上出现单缝衍射条纹，即间距不等的条纹，D 正确。

13. 如图所示，两端开口的弯管，左管插入水银槽中，右管有一段高为 h 的水银柱，中间封有一段空气。则（ACD）



A. 弯管左管内外水银面的高度差为 h

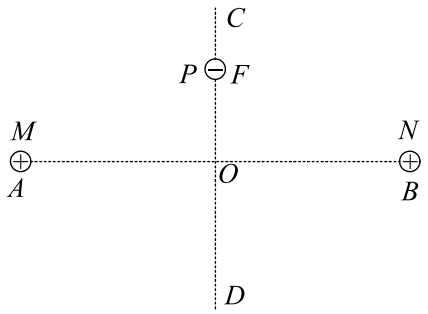
B. 若把弯管向上移动少许，则管内气体体积增大

C. 若把弯管向下移动少许，右管内的水银柱沿管壁上升

D. 若环境温度升高，右管内的水银柱沿管壁上升

> 封闭气体的压强等于大气压与水银柱产生压强之差，故左管内外水银面高度差也为 h，A 正确；弯管上下移动，封闭气体温度和压强不变，体积不变，B 错误，C 正确；环境温度升高，封闭气体体积增大，则右管内的水银柱沿管壁上升，D 正确。

14. 如图所示，在光滑绝缘水平面上，两个带等量正电的点电荷 M、N 分别固定在 A、B 两点，O 为 AB 连线的中点，CD 为 AB 的垂直平分线。在 CO 之间的 F 点由静止释放一个带负电的小球 P（设不改变原来的电场分布），在以后的一段时间内，P 在 CD 连线上做往复运动，则 (BCD)



A. 小球 P 的带电量缓慢减小，则它往复运动过程中的振幅不断减小

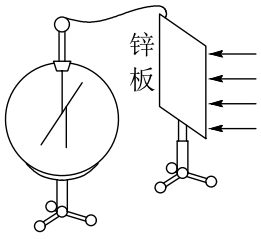
B. 小球 P 的带电量缓慢减小，则它往复运动过程中每次经过 O 点时的速率不断减小

C. 点电荷 M、N 的带电量同时等量地缓慢增大，则小球 P 往复运动过程中周期不断减小

D. 点电荷 M、N 的带电量同时等量地缓慢增大，则小球 P 往复运动过程中的振幅不断减小

> 设 F 与 F' 绕 O 点对称，在 F 与 F' 之间，小球始终受到指向 O 点的回复力并做往复运动。若小球 P 带电量缓慢减小，则此后小球能运动到 F' 点下方，即振幅会加大，A 错误；每次经过 O 点因电场力做功减少而速率不断减小，B 正确；若点电荷 M、N 电荷量缓慢增大，则中垂线 CD 上的场强相对增大，振幅减小，加速度相对原来每个位置增大，故一个周期的时间必定减小，C、D 正确。

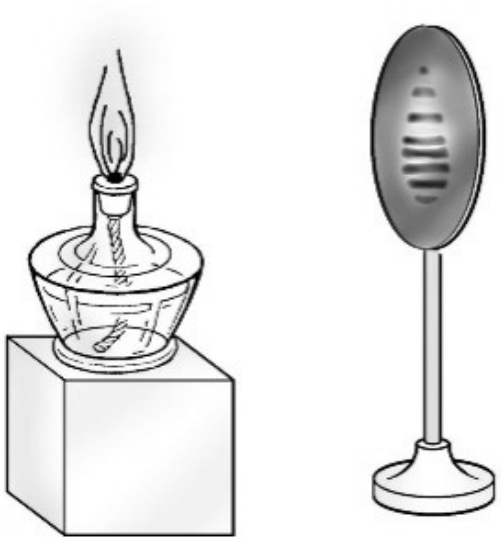
15. 如图所示，用导线将验电器与洁净锌板连接，触摸锌板使验电器指示归零，用紫外线照射锌板，验电器指针发生明显偏转，接着用毛皮摩擦过的橡胶棒接触锌板，发现验电器指针张角减小，此现象说明锌板带 正 电（选填“正”或“负”）；若改用红外线重复以上实验，结果发现验电器指针根本不会偏转，说明金属锌的极限频率 大于 红外线的频率（选填“大于”或“小于”）。



> 正，大于

毛皮摩擦过的橡胶棒带负电，因锌板被紫外线照射后发生光电效应缺少电子而带正电，故验电器指针的负电荷与锌板正电荷中和一部分后偏角变小；用红外线照射验电器指针偏角不变，说明锌板未发生光电效应，锌板的极限频率大于红外线的频率。

16. 用如图所示的实验装置观察光的薄膜干涉现象，图（a）是点燃的酒精灯（在灯芯上洒些盐），图（b）是竖立的附着一层肥皂液薄膜的金属线圈，将金属线圈在其所在的平面内缓慢旋转，观察到的现象是（　）



（a）　　（b）

A. 当金属线圈旋转 30° 时，干涉条纹同方向旋转 30°

B. 当金属线圈旋转 45° 时，干涉条纹同方向旋转 90°

C. 当金属线圈旋转 60° 时，干涉条纹同方向旋转 30°

D. 干涉条纹保持不变

D

金属丝圈的转动，改变不了肥皂液膜的上薄下厚的形状，由干涉原理可知干涉条纹与金属丝圈在该竖直平面内的转动无关，仍然是水平的干涉条纹，故 D 正确。

17. 在“用单摆测重力加速度”的实验中。

(1) 某同学的操作步骤为：

A．取一根细线，下端系住直径为 d 的金属小球，上端固定在铁架台上；

B．用米尺量得细线长度 l；

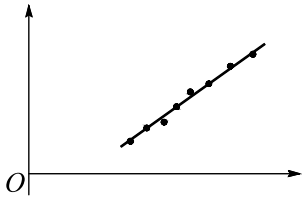
C．在细线偏离竖直方向 5° 位置释放小球；

D．用秒表记录小球完成 n 次全振动所用的总时间 t，得到周期 $T=t/n$；

E．用公式 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 计算重力加速度。

按上述方法得出的重力加速度与实际值相比 偏小（选填“偏大”、“相同”或“偏小”）。

(2) 已知单摆在任意摆角 θ 时的周期公式可近似为 $T'=T_0\left[1+a\sin^2\frac{\theta}{2}\right]$，式中 T_0 为摆角 θ 趋近于 0° 时的周期，a 为常数。为了用图像法验证该关系式，需要测量的物理量有 T'、θ；若某同学在实验中得到了如图所示的图线，则图像中的横轴表示 T'。



(1) 偏小　(2) T'（或 t、n）、θ；T'

（1）单摆的摆长应为摆线长度与小球半径之和，该同学将偏小的摆长代入公式计算，所得重力加速度的测量值偏小。

（2）为验证该关系式，需要测量单摆在任意摆角 θ 时的周期 T'，还需要测量摆角 θ；由公式与图像的函数关系式可推导得到摆角 θ 趋近于 0° 时横轴的截距为 T_0，故图像中的横轴表示 T'。

18. 某同学利用图 a 所示的电路研究灯泡 L_1（6 V，1.5 W）、L_2（6 V，10 W）的发光情况（假设灯泡电阻恒定），图 b 为实物图。

(1) 他分别将 L_1、L_2 接入图 a 中的虚线框位置，移动滑动变阻器的滑片，当电压表示数为 6 V 时，发现灯泡均能正常发光。在图 b 中用笔线代替导线将电路连线补充完整。

(2) 接着他将 L_1 和 L_2 串联后接入图 a 中的虚线框位置，移动滑动变阻器的滑片，当电压表示数为 6 V 时，发现其中一个灯泡亮而另一个灯泡不亮，出现这种现象的原因是 。

(3) 现有如下器材：电源 E（6 V，内阻不计），灯泡 L_1（6 V，1.5 W）、L_2（6 V，10 W）、L_3（6 V，10 W），单刀双掷开关 S，在图 c 中设计一个机动车转向灯的控制电路：当单刀双掷开关 S 与 1 相接时，信号灯 L_1 亮，右转向灯 L_2 亮而左转向灯 L_3 不亮；当单刀双掷开关 S 与 2 相接时，信号灯 L_1 亮，左转向灯 L_3 亮而右转向灯 L_2 不亮。

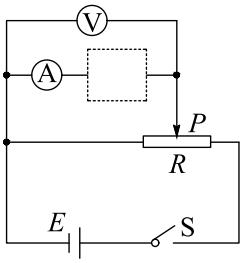


图 a

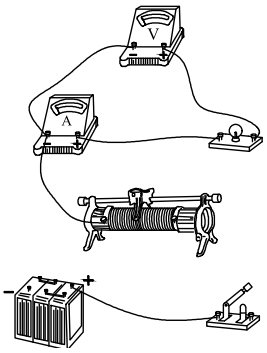


图 b

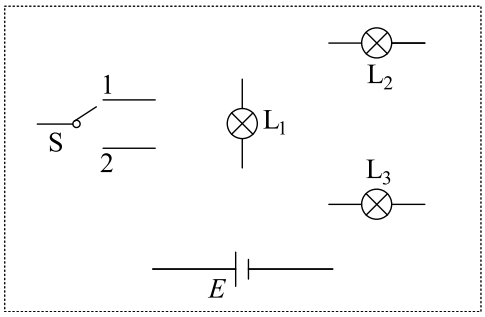
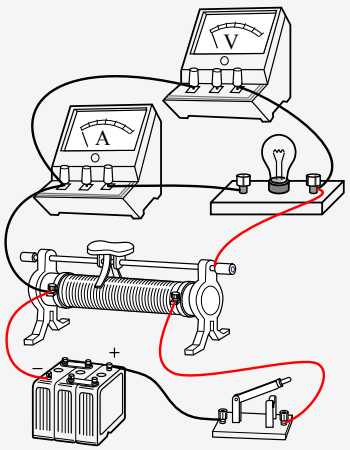


图 c

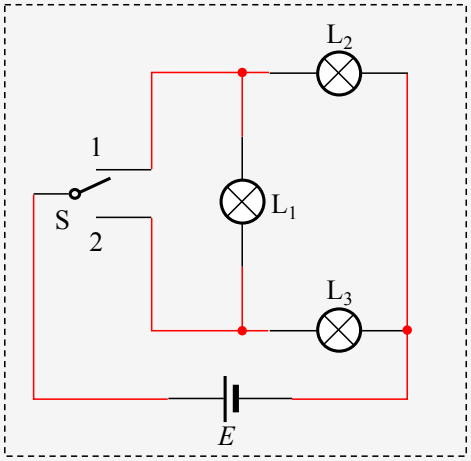
(1) 如图 b 所示。 (2) 由于 L_1 的电阻比 L_2 大得多，所以 L_2 两端分到的电压很小，虽然有电流流过，但功率很小，不能发光。 (3) 如图 c 所示。

（1）将 L_1（或 L_2）与滑动变阻器、电流表、电源、开关串联，电压表并联在灯泡两端，电路连线补充完整如图 b 所示。



（2）由于灯泡 L_2 和 L_1 额定电压相同，灯泡 L_2 功率大得多，故 R_{L_2} 比 R_{L_1} 小得多，灯泡 L_2 分得的电压很小，虽然有电流流过，但功率很小，不能发光。

（3）当单刀双掷开关 S 与 1 相接时，L_1 与 L_2 并联接在电源两端，L_3 所在支路断开，故 L_1、L_2 亮而 L_3 不亮；S 与 2 相接时，L_1 与 L_3 并联接在电源两端，L_2 所在支路断开，故 L_1、L_3 亮而 L_2 不亮，电路设计如图 c 所示。



19. 如图所示是测量通电螺线管 A 内部磁感应强度 B 及其与电流 I 关系的实验装置。将截面积为 S、匝数为 N 的小试测线圈 P 置于通电螺线管 A 中间，试测线圈平面与螺线管的轴线垂直，可认为穿过该试测线圈的磁场均匀，将试测线圈引线的两端与冲击电流计 D 相连。拨动双刀双掷换向开关 K，改变通入螺线管的电流方向，而不改变电流的大小，在 P 中产生的感应电流引起 D 的指针偏转。

(1) 将开关合到位置 1，待螺线管中的电流稳定后，再将 K 从位置 1 拨到位置 2，测得 D 的最大偏转距离为 d_m，已知冲击电流计的磁通灵敏度为 D_φ，$D_\varphi = \frac{d_m}{N\Delta\varphi}$，式中 $\Delta\varphi$ 为单匝试测线圈磁通量的变化量，则试测线圈所在处的磁感应强度的大小为 $B =$ ；若将 K 从位置 1 拨到位置 2 所用的时间为 Δt，则试测线圈 P 中产生的平均感应电动势 $\varepsilon =$ 。

(2) 调节可变电阻 R，多次改变电流并拨动 K，得到 A 中电流 I 和磁感应强度 B 的数据，见下表。由此可得，螺线管 A 内磁感应强度 B 与电流 I 的关系式为 $B =$ 。

实验次数	电流 I（A）	磁感应强度 B（$\times 10^{-3}$ T）
1	0.5	0.62
2	1.0	1.25
3	1.5	1.88
4	2.0	2.51
5	2.5	3.12

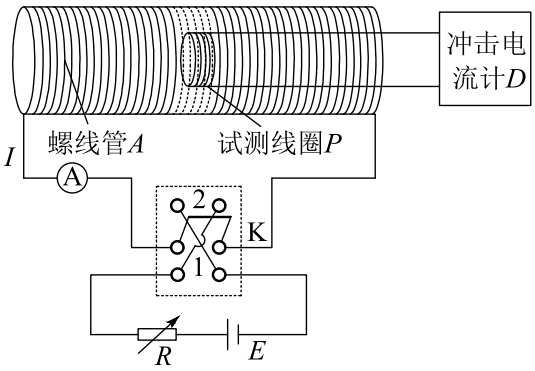
(3)（多选题）为了减少实验误差，提高测量的准确性，可采取的措施有（　）

（A）适当增加试测线圈的匝数 N

（B）适当增大试测线圈的横截面积 S

（C）适当增大可变电阻 R 的阻值

（D）适当延长拨动开关的时间



(1) $\frac{d_m}{2NSD_\varphi}$，$\frac{d_m}{D_\varphi \Delta t}$　(2) $B = 1.25 \times 10^{-3} I$（或 $B = kI$）　(3) A、B

（1）改变电流方向，磁通量变化量为原来磁通量的两倍，即 $2BS$，代入公式 $D_\varphi = \frac{d_m}{N\Delta\varphi}$ 计算得 $B = \frac{d_m}{2ND_\varphi S}$；由法拉第电磁感应定律可知平均感应电动势为 $\varepsilon = \frac{d_m}{D_\varphi \Delta t}$。

（2）由数据可得 B 与 I 成正比，比例常数约为 1.25×10^{-3}，故 $B = 1.25 \times 10^{-3} I$（或 $B = kI$）。

（3）为了得到平均电动势的准确值，时间要尽量小；由 B 的计算值可看出与 N 和 S 相关联，故选择 A、B。

20. **A.** 汽车行驶时轮胎的胎压太高容易造成爆胎事故，太低又会造成耗油量上升。已知某型号轮胎能在 $-40°\mathrm{C} \sim 90°\mathrm{C}$ 正常工作，为使轮胎在此温度范围内工作时的最高胎压不超过 3.5 atm，最低胎压不低于 1.6 atm，那么在 $t = 20°\mathrm{C}$ 时给该轮胎充气，充气后的胎压在什么范围内比较合适？（设轮胎的体积不变）

B. 某小型水电站输出功率为 20 kW，输电线路总电阻是 6 Ω。

(1) 若采用 380 V 输电，求输电线路损耗的功率；

(2) 若改用 5000 V 高压输电，用户端利用 $n_1 : n_2 = 22 : 1$ 的变压器降压，求用户得到的电压。

A. 充气后的胎压在 2.01 atm ~ 2.83 atm 范围内比较合适。

B. (1) $P_{损} = 16.62\,\mathrm{kW}$　(2) $U_2 = 226.18\,\mathrm{V}$

A. 由于轮胎容积不变，轮胎内气体做等容变化。设在 $T_0 = 293\,\mathrm{K}$ 充气后的最小胎压为 $p_{\min}$、最大胎压为 $p_{\max}$。依题意，当 $T_1 = 233\,\mathrm{K}$ 时胎压为 $p_1 = 1.6\,\mathrm{atm}$，根据查理定律 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_{\min}}{T_0}$，即 $\frac{1.6}{233} = \frac{p_{\min}}{293}$，解得 $p_{\min} = 2.01\,\mathrm{atm}$；当 $T_2 = 363\,\mathrm{K}$ 时胎压为 $p_2 = 3.5\,\mathrm{atm}$，根据查理定律 $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_{\max}}{T_0}$，即 $\frac{3.5}{363} = \frac{p_{\max}}{293}$，解得 $p_{\max} = 2.83\,\mathrm{atm}$。故充气后的胎压在 2.01 atm ~ 2.83 atm 范围内比较合适。

B.（1）输电线上的电流强度为 $I = \frac{P}{U} = \frac{20 \times 10^3}{380}\,\mathrm{A} = 52.63\,\mathrm{A}$，输电线损耗的功率为

$P_{损}=I^2R=52.63^2\times 6\,\mathrm{W}=16620\,\mathrm{W}=16.62\,\mathrm{kW}$。

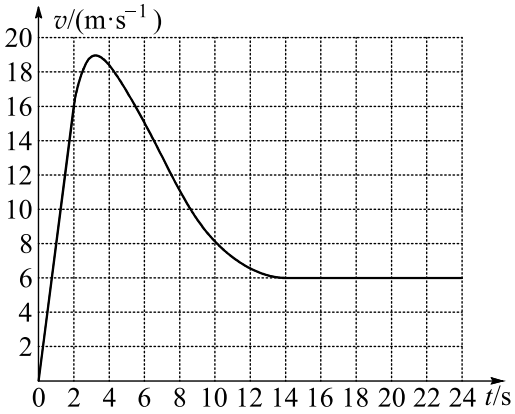
（2）改用高压输电后，输电线上的电流强度变为 $I'=\frac{P}{U'}=\frac{20\times10^3}{5000}\,\mathrm{A}=4\,\mathrm{A}$；用户端在变压器降压前获得的电压 $U_1=U-I'R=(5000-4\times6)\,\mathrm{V}=4976\,\mathrm{V}$；根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，用户得到的电压为 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{1}{22}\times4976\,\mathrm{V}=226.18\,\mathrm{V}$。

21. 总质量为 80 kg 的跳伞运动员从离地 500 m 的直升机上跳下，经过 2 s 拉开绳索开启降落伞，如图所示是跳伞过程中的 $v-t$ 图，试根据图像求：（g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$）

(1) $t=1\,\mathrm{s}$ 时运动员的加速度和所受阻力的大小；

(2) 估算 14 s 内运动员下落的高度及克服阻力做的功；

(3) 估算运动员从飞机上跳下到着地的总时间。



(1) $a=8\,\mathrm{m/s^2}$，$f=160\,\mathrm{N}$　(2) $h\approx158\,\mathrm{m}$，$W_f\approx1.25\times10^5\,\mathrm{J}$　(3) $t_{总}=71\,\mathrm{s}$

（1）由图中可以看出，在 $t=2\,\mathrm{s}$ 内运动员做匀加速运动，其加速度大小为 $a=\frac{v_t}{t}=\frac{16}{2}\,\mathrm{m/s^2}=8\,\mathrm{m/s^2}$。设此过程中运动员受到的阻力大小为 f，根据牛顿第二定律有 $mg-f=ma$，得 $f=mg-ma=80\times(10-8)\,\mathrm{N}=160\,\mathrm{N}$。

（2）从图中可以估算出运动员在 14 s 内下落了 $39.5\times2\times2\,\mathrm{m}=158\,\mathrm{m}$。根据动能定理有 $mgh-W_f=\frac{1}{2}mv^2$，所以 $W_f=mgh-\frac{1}{2}mv^2=(80\times10\times158-0.5\times80\times6^2)\,\mathrm{J}\approx1.25\times10^5\,\mathrm{J}$。

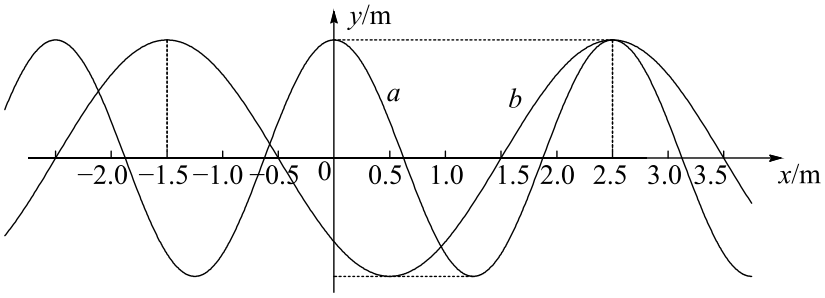
（3）14 s 后运动员做匀速运动的时间为 $t'=\frac{H-h}{v_t}=\frac{500-158}{6}\,\mathrm{s}=57\,\mathrm{s}$，运动员从飞机上跳下到着地需要的总时间 $t_{总}=t+t'=(14+57)\,\mathrm{s}=71\,\mathrm{s}$。

22. 有两列简谐横波 a、b 在同一媒质中沿 x 轴正方向传播，波速均为 $v=2.5\,\mathrm{m/s}$。在 $t=0$ 时两列波的波峰正好在 $x=2.5\,\mathrm{m}$ 处重合，如图所示。

(1) 求两列波的周期 T_a 和 T_b；

(2) 求 $t=0$ 时两列波的波峰重合处的所有位置；

(3) 辨析题：分析和判断在 $t=0$ 时是否存在两列波的波谷重合处。某同学分析如下：既然两列波的波峰与波峰存在重合处，那么波谷与波谷重合处也一定存在。只要找到这两列波半波长的最小公倍数，……，即可得到波谷与波谷重合处的所有位置。你认为该同学的分析正确吗？若正确，求出这些位置；若不正确，指出错误处并通过计算说明理由。



(1) $T_a=1\,\mathrm{s}$，$T_b=1.6\,\mathrm{s}$ (2) $x=2.5\pm 20k\,\mathrm{m}$，$k=0,1,2,3\cdots$ (3) 该同学的分析不正确。要找两列波的波谷与波谷重合处，必须从波峰重合处出发，找到这两列波半波长的奇数倍恰好相等的位置。设距离 $x=2.5\,\mathrm{m}$ 为 L 处两列波的波谷与波谷相遇，并设 $L=(2m-1)\frac{\lambda_a}{2}$，$L=(2n-1)\frac{\lambda_b}{2}$（$m$、$n$ 均为正整数）。只要能找到对应的 m、n 即可。将 $\lambda_a=2.5\,\mathrm{m}$、$\lambda_b=4\,\mathrm{m}$ 代入并整理，得 $\frac{2m-1}{2n-1}=\frac{\lambda_b}{\lambda_a}=\frac{4}{2.5}=\frac{8}{5}$，由于上式中的 m、n 在正整数范围内无解，所以不存在波谷与波谷重合处。

（1）从图中可以看出两列波的波长分别为 $\lambda_a=2.5\,\mathrm{m}$、$\lambda_b=4\,\mathrm{m}$，因此它们的周期分别为 $T_a=\frac{\lambda_a}{v}=\frac{2.5}{2.5}\,\mathrm{s}=1\,\mathrm{s}$，$T_b=\frac{\lambda_b}{v}=\frac{4.0}{2.5}\,\mathrm{s}=1.6\,\mathrm{s}$。

（2）两列波长的最小公倍数为 $s=20\,\mathrm{m}$，在 $t=0$ 时，两列波的波峰重合处的所有位置为 $x=2.5\pm 20k\,\mathrm{m}$，$k=0,1,2,3\cdots$。

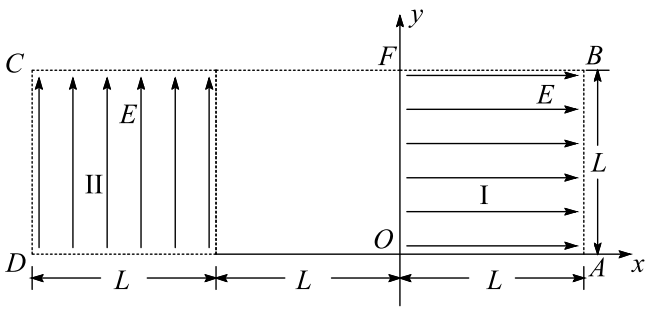
（3）该同学的分析不正确。要找两列波的波谷与波谷重合处，必须从波峰重合处出发，找到这两列波半波长的奇数倍恰好相等的位置。设距离 $x=2.5\,\mathrm{m}$ 为 L 处两列波的波谷与波谷相遇，并设 $L=(2m-1)\frac{\lambda_a}{2}$，$L=(2n-1)\frac{\lambda_b}{2}$（$m$、$n$ 均为正整数），将 $\lambda_a=2.5\,\mathrm{m}$、$\lambda_b=4\,\mathrm{m}$ 代入整理得 $\frac{2m-1}{2n-1}=\frac{\lambda_b}{\lambda_a}=\frac{4}{2.5}=\frac{8}{5}$，即 $5(2m-1)=8(2n-1)$，左边为奇数、右边为偶数，矛盾，故 m、n 在正整数范围内无解，不存在波谷与波谷重合处。

23. 如图所示为研究电子枪中电子在电场中运动的简化模型示意图。在 Oxy 平面的 ABCD 区域内，存在两个大小均为 E 的匀强电场 I 和 II，两电场的边界均是边长为 L 的正方形（不计粒子所受重力）。

(1) 在该区域 AB 边的中点处由静止释放电子，求电子离开 ABCD 区域的位置；

(2) 在电场 I 区域内适当位置由静止释放电子，电子恰能从 ABCD 区域左下角 D 处离开，求所有释放点的位置；

(3) 若将左侧电场 II 整体水平向右移动 $\frac{L}{n}$（$n \geqslant 1$），仍使电子从 ABCD 区域左下角 D 处离开（D 不随电场移动），求在电场 I 区域内由静止释放电子的所有位置。



(1) $(-2L, \frac{1}{4}L)$　(2) $xy = \frac{L^2}{4}$　(3) $xy = L^2\left(\frac{1}{2n} + \frac{1}{4}\right)$

（1）设电子的质量为 m、电量为 e，电子在电场 I 中做匀加速直线运动，出区域 I 时的速度为 v_0，此后进入电场 II 做类平抛运动。假设电子从 CD 边射出，出射点纵坐标为 y，有 $eEL = \frac{1}{2}mv_0^2$，$\frac{L}{2} - y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{eE}{2m} \times \frac{L^2}{v_0^2}$，解得 $y = \frac{1}{4}L$，所以原假设成立，即电子离开 ABCD 区域的位置坐标为 $(-2L, \frac{1}{4}L)$。

（2）设释放点在电场区域 I 中，其坐标为 (x, y)，在电场 I 中电子被加速到 v_1，然后进入电场 II 做类平抛运动，并从 D 点离开，有 $eEx = \frac{1}{2}mv_1^2$，$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{eE}{2m} \times \frac{L^2}{v_1^2}$，解得 $xy = \frac{L^2}{4}$，即在电场 I 区域内满足该方程的点即为所求位置。

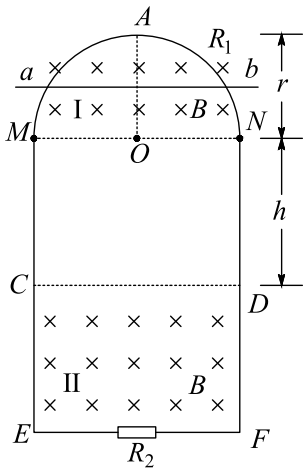
（3）设电子从 (x, y) 点释放，在电场 I 中加速到 v_2，进入电场 II 做类平抛运动，在高度为 y' 处离开电场 II 时的情景与（2）中类似，然后电子做匀速直线运动，经过 D 点，则有 $eEx = \frac{1}{2}mv_2^2$，$y - y' = \frac{1}{2}at^2 = \frac{eE}{2m} \times \frac{L^2}{v_2^2}$，$v_y = at = \frac{eEL}{mv_2}$，$y' = v_y \cdot \frac{L}{nv_2}$，解得 $xy = L^2\left(\frac{1}{2n} + \frac{1}{4}\right)$，即在电场 I 区域内满足该方程的点即为所求位置。

24. 如图所示，竖直平面内有一半径为 r、电阻为 R_1、粗细均匀的光滑半圆形金属环，在 M、N 处与距离为 $2r$、电阻不计的平行光滑金属导轨 ME、NF 相接，EF 之间接有电阻 R_2，已知 $R_1 = 12R$，$R_2 = 4R$。在 MN 上方及 CD 下方有水平方向的匀强磁场 I 和 II，磁感应强度大小均为 B。现有质量为 m、电阻不计的导体棒 ab，从半圆环的最高点 A 处由静止下落，在下落过程中导体棒始终保持水平，与半圆形金属环及轨道接触良好，设平行导轨足够长。已知导体棒下落 $\frac{r}{2}$ 时的速度大小为 v_1，下落到 MN 处时的速度大小为 v_2。

(1) 求导体棒 ab 从 A 处下落 $\frac{r}{2}$ 时的加速度大小；

(2) 若导体棒 ab 进入磁场 II 后棒中电流大小始终不变，求磁场 I 和 II 之间的距离 h 和 R_2 上的电功率 P_2；

(3) 若将磁场 II 的 CD 边界略微下移，导体棒 ab 进入磁场 II 时的速度大小为 v_3，要使其在外力 F 作用下做匀加速直线运动，加速度大小为 a，求所加外力 F 随时间变化的关系式。



(1) $a=g-\frac{3B^2r^2v_1}{4Rm}$ (2) $h=\frac{9R^2gm^2}{32B^4r^4}-\frac{v_2^2}{2g}$, $P_2=\frac{9Rg^2m^2}{16B^2r^2}$ (3) $F=ma-mg+\frac{4B^2r^2}{3R}(v_3+at)$

（1）以导体棒为研究对象，棒在磁场 I 中切割磁感线，棒中产生感应电动势。导体棒 ab 从 A 下落 $\frac{r}{2}$ 时，导体棒在重力与安培力作用下做加速运动，由牛顿第二定律得 $mg-BIl=ma$，式中 $l=\sqrt{3}r$；又 $I=\frac{Blv_1}{R_{总}}$，式中 $R_{总}=\frac{64R^2}{8R+8R}=4R$。由以上各式得 $a=g-\frac{3B^2r^2v_1}{4Rm}$。

（2）当导体棒 ab 通过磁场 II 时，若安培力恰好等于重力，棒中电流大小始终不变，即 $mg=BI\cdot 2r=B\cdot\frac{B\cdot 2r\cdot v_t}{R_{并}}\cdot 2r=\frac{4B^2r^2v_t}{R_{并}}$，式中 $R_{并}=\frac{48R^2}{12R+4R}=3R$，解得 $v_t=\frac{3Rmg}{4B^2r^2}$。导体棒从 MN 到 CD 做加速度为 g 的匀加速直线运动，有 $v_t^2-v_2^2=2gh$，得 $h=\frac{9R^2gm^2}{32B^4r^4}-\frac{v_2^2}{2g}$。此时导体棒重力的功率为 $P_G=mgv_t=\frac{3m^2g^2R}{4B^2r^2}$，根据能量守恒定律，此时导体棒重力的功率完全转化为电路中的电功率，即 $P_{电}=P_1+P_2=P_G=\frac{3m^2g^2R}{4B^2r^2}$，所以 $P_2=\frac{3}{4}P_G=\frac{9Rg^2m^2}{16B^2r^2}$。

（3）设导体棒 ab 进入磁场 II 后经过时间 t 的速度大小为 v_t'，此时的安培力大小为 $F'=\frac{4B^2r^2v_t'}{3R}$。由于导体棒 ab 做匀加速直线运动，有 $v_t'=v_3+at$；根据牛顿第二定律有 $F+mg-F'=ma$，由以上各式解得 $F=\frac{4B^2r^2}{3R}(v_3+at)+ma-mg$。