2005 年天津理综

1. 下列说法中正确的是（A）

   A. 一定质量的气体被压缩时，气体压强不一定增大

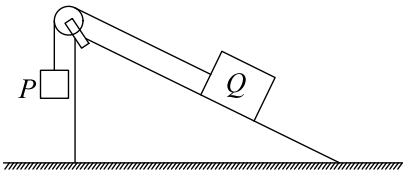
   B. 一定质量的气体温度不变压强增大时，其体积也增大

   C. 气体压强是由气体分子间的斥力产生的

   D. 在失重的情况下，密闭容器内的气体对器壁没有压强

> 一定质量的气体被压缩时，体积减小，密度增大，但如果同时降温，压强不一定增大，故 A 正确；一定质量的气体温度不变时，如果压强增大，体积应该减小，故 B 错误；气体压强是由大量气体分子频繁撞击器壁产生的，与气体分子的无规则运动及宏观状态无关，故 C、D 错误。

2. 如图所示，表面粗糙的固定斜面顶端安有滑轮，两物块 P、Q 用轻绳连接并跨过滑轮（不计滑轮的质量和摩擦），P 悬于空中，Q 放在斜面上，均处于静止状态。当用水平向左的恒力推 Q 时，P、Q 仍静止不动，则（D）



   A. Q 受到的摩擦力一定变小　　B. Q 受到的摩擦力一定变大

   C. 轻绳上拉力一定变小　　D. 轻绳上拉力一定不变

> 对 Q 的受力分析如图 a、图 b 所示。图 a 中，Q 相对运动趋势向上，f 沿斜面向下，加 F 后，f 增大；图 b 中，Q 相对运动趋势向下，f 沿斜面向上，加 F 后，f 减小，故 A、B 错误；因为 P 始终静止，所以绳向上拉力始终等于 G_P，故 C 错误，D 正确。

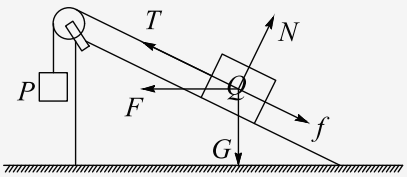


图 a

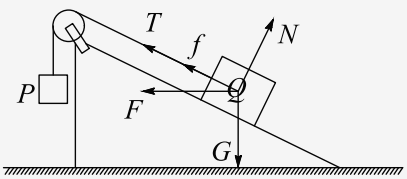
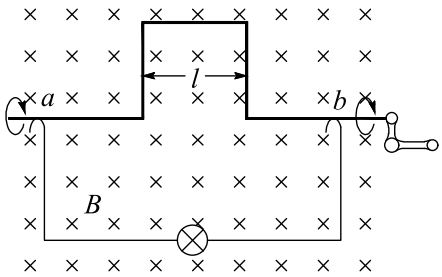


图 b

3. 将硬导线中间一段折成不封闭的正方形，每边长为 l，它在磁感应强度为 B、方向如图的匀强磁场中匀速转动，转速为 n，导线在 a、b 两处通过电刷与外电路连接，外电路有额定功率为 P 的小灯泡并正常发光，电路中除灯泡外，其余部分的电阻不计，灯泡的电阻应为（B）



A. $\frac{(2\pi l^2 nB)^2}{P}$　　B. $\frac{2(\pi l^2 nB)^2}{P}$　　C. $\frac{(l^2 nB)^2}{2P}$　　D. $\frac{(l^2 nB)^2}{P}$

> 此系统可理解为交流发电机模型，其电动势最大值为 $E_m = BS\omega = Bl^2 \cdot 2\pi n$。因产生的电流为正弦交流电，所以有效值为 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi n \cdot Bl^2}{\sqrt{2}}$。又由于 $P = \frac{E^2}{R}$，所以 $R = \frac{E^2}{P} = \frac{2(\pi l^2 nB)^2}{P}$，故 B 正确。

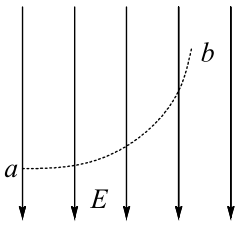
4. 某光电管的阴极是用金属钾制成的，它的逸出功为 2.21 eV，用波长为 2.5×10^{-7} m 的紫外线照射阴极，已知真空中光速为 3.0×10^8 m/s，元电荷为 1.6×10^{-19} C，普朗克常量为 6.63×10^{-34} J · s，求得钾的极限频率和该光电管发射的光电子的最大动能应分别是 (B)

A. 5.3×10^{14} Hz，2.2 J　　B. 5.3×10^{14} Hz，4.4×10^{-19} J

C. 3.3×10^{33} Hz，2.2 J　　D. 3.3×10^{33} Hz，4.4×10^{-19} J

> 逸出功表达式 $W = h\nu_0$，代入数据解得 $\nu_0 = 5.3 \times 10^{14}$ Hz；由爱因斯坦的光电效应方程得 $E_k = h\frac{c}{\lambda} - W$，代入数据解得 $E_k = 4.4 \times 10^{-19}$ J，故 B 正确。

5. 一带电油滴在匀强电场 E 中的运动轨迹如图中虚线所示，电场方向竖直向下。若不计空气阻力，则此带电油滴从 a 运动到 b 的过程中，能量变化情况为 (C)

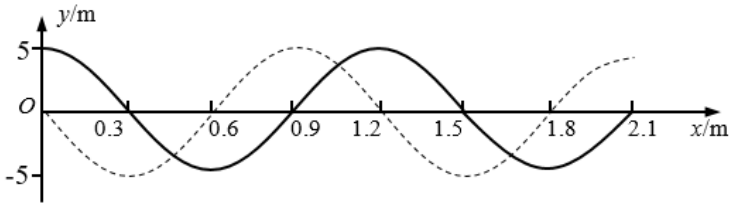


A. 动能减小　　B. 电势能增加

C. 动能和电势能之和减小　　D. 重力势能和电势能之和增加

> 由图分析知，带电油滴受重力和电场力的作用，电场力大于重力，电场力做的正功大于重力做的负功，所以动能增加，电势能减小，重力势能增加；又由能量守恒知，动能、电势能、重力势能之和为恒量，故 C 正确。

6. 图中实线和虚线分别是 x 轴上传播的一列简谐横波在 $t = 0$ 和 $t = 0.03$ s 时刻的波形图，$x = 1.2$ m 处的质点在 $t = 0.03$ s 时刻向 y 轴正方向运动，则 (A)



A. 该波的频率可能是 125 Hz

B. 该波的波速可能是 10 m/s

C. $t=0$ 时 $x=1.4\,\mathrm{m}$ 处质点的加速度方向沿 y 轴正方向

D. 各质点在 0.03 s 内随波迁移 0.9 m

> 由 $x=1.2\,\mathrm{m}$ 处质点在 $t=0.03\,\mathrm{s}$ 时向 y 轴正方向运动，可判出波向 x 轴正方向传播，$0.03=\left(n+\frac{3}{4}\right)T(n=0,1,2,\cdots)$，得到 $T=\frac{0.12}{4n+3}(n=0,1,2,\cdots)$，所以当 $n=3$ 时，频率为 125 Hz，故 A 正确；由图知 $\lambda=1.2\,\mathrm{m}$，所以波速 $v=\frac{\lambda}{T}=40n+30(n=0,1,2,\cdots)$，不可能为 10 m/s，故 B 错误；$t=0$ 时 $x=1.4\,\mathrm{m}$ 处质点的加速度方向向下指向平衡位置，沿 y 轴负向，故 C 错误；波传播过程中，各质点并不随波迁移，故 D 错误。

7. 现用电子显微镜观测线度为 d 的某生物大分子的结构。为满足测量要求，将显微镜工作时电子的德布罗意波长设定为 $\frac{d}{n}$，其中 $n>1$。已知普朗克常量 h、电子质量 m 和电子电荷量 e，电子的初速度不计，则显微镜工作时电子的加速电压应为 (D)

A. $\frac{n^2h^2}{med^2}$　　B. $\left(\frac{md^2h^2}{n^2e^3}\right)^{\frac{1}{3}}$　　C. $\frac{d^2h^2}{2men^2}$　　D. $\frac{n^2h^2}{2med^2}$

> 由德布罗意公式 $\lambda=\frac{h}{mv}$ 得到 $\frac{d}{n}=\frac{h}{mv}$ ①；设电子经电压 U 加速，有 $eU=\frac{1}{2}mv^2$ ②；又由于 $p=\sqrt{2mE_k}$，故有 $mv=p=\sqrt{2mUe}$，代入①式，整理得 $U=\frac{n^2h^2}{2med^2}$，故 D 正确。

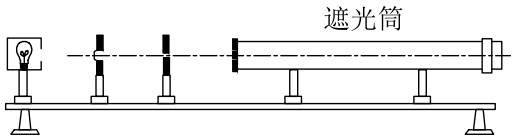
8. 土星周围有美丽壮观的“光环”，组成环的颗粒是大小不等、线度从 1 μm 到 10 m 的岩石、尘埃，类似于卫星，它们与土星中心的距离从 $7.3\times10^4\,\mathrm{km}$ 延伸到 $1.4\times10^5\,\mathrm{km}$。已知环的外缘颗粒绕土星做圆周运动的周期约为 14 h，引力常量为 $6.67\times10^{-11}\,\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$，则土星的质量约为（估算时不考虑环中颗粒间的相互作用）(D)

A. $9.0\times10^{16}\,\mathrm{kg}$　　B. $6.4\times10^{17}\,\mathrm{kg}$　　C. $9.0\times10^{25}\,\mathrm{kg}$　　D. $6.4\times10^{26}\,\mathrm{kg}$

> 对“光环”外边缘的颗粒，由万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$，解得 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$；将 $r=1.4\times10^5\,\mathrm{km}$、$T=14\,\mathrm{h}$ 代入解得 $M\approx6.4\times10^{26}\,\mathrm{kg}$，故 D 正确。

9. 现有毛玻璃屏 A、双缝 B、白光光源 C、单缝 D 和透红光的滤光片 E 等光学元件，要把它们放在如图所示的光具座上组装成双缝干涉装置，用以测量红光的波长。

(1) 将白光光源 C 放在光具座最左端，依次放置其他光学元件，由左至右，表示各光学元件的字母排列顺序应为 C、EDB、A。



(2) 本实验的步骤有：

① 取下遮光筒左侧的元件，调节光源高度，使光束能直接沿遮光筒轴线把屏照亮；

② 按合理顺序在光具座上放置各光学元件，并使各元件的中心位于遮光筒的轴线上；

③ 用米尺测量双缝到屏的距离；

④ 用测量头（其读数方法同螺旋测微器）测量数条亮纹间的距离。

在操作步骤②时还应注意单缝和双缝间距 5 cm ～ 10 cm和使单缝与双缝相互平行。

(3) 将测量头的分划板中心刻线与某条亮纹中心对齐，将该亮纹定为第 1 条亮纹，此时手轮上的示数如图 a 所示。然后同方向转动测量头，使分划板中心刻线与第 6 条亮纹中心对齐，记下此时图 b 中手轮上的示数13.870 mm，求得相邻亮纹的间距 Δx 为2.310 mm。

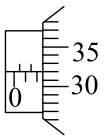


图 a

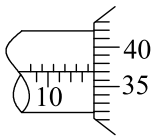


图 b

(4) 已知双缝间距 d 为 2.0×10^{-4} m，测得双缝到屏的距离 l 为 0.700 m，由计算式 $\lambda=\frac{d}{l}\Delta x$，求得所测红光波长为$6.6\times10^{2}$ nm。

(1) EDB (2) 单缝和双缝间距 5 cm ～ 10 cm，使单缝与双缝相互平行 (3) 13.870，2.310 (4) $\frac{d}{l}\Delta x$，6.6×10^{2}

（1）滤光片 E 可以得到红色单色光，单缝 D 是获取线光源，双缝 B 是获得相干光源，最后成像在毛玻璃屏 A 上，所以排列顺序为 C、E、D、B、A。

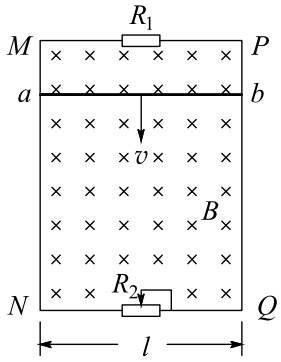
（2）在操作步骤②时应注意的事项有：放置单缝、双缝时，必须使缝平行；单缝、双缝间的距离要适当；要保证光源、滤光片、单缝、双缝和光屏的中心在同一轴线上。

（3）测量头的读数应该先读整数刻度，然后看半刻度是否露出，最后看可动刻度。图 b 读数为 13.5 mm + 37.0 × 0.01 mm = 13.870 mm，图 a 读数为 2 mm + 32.0 × 0.01 mm = 2.320 mm，所以相邻亮条纹间距为 $\Delta x=\frac{13.870-2.320}{5}$ mm = 2.310 mm。

（4）由条纹间距离公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 得 $\lambda=\frac{d\Delta x}{l}$，代入数值得 $\lambda=6.6\times10^{-7}$ m = 660 nm =

$6.6 \times 10^2\,\mathrm{nm}$。

10. 图中 MN 和 PQ 为竖直方向的两平行长直金属导轨，间距 l 为 $0.40\,\mathrm{m}$，电阻不计。导轨所在平面与磁感应强度 B 为 $0.50\,\mathrm{T}$ 的匀强磁场垂直。质量 m 为 $6.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg}$、电阻为 $1.0\,\Omega$ 的金属杆 ab 始终垂直于导轨，并与其保持光滑接触。导轨两端分别接有滑动变阻器和阻值为 $3.0\,\Omega$ 的电阻 R_1。当杆 ab 达到稳定状态时以速率 v 匀速下滑，整个电路消耗的电功率 P 为 $0.27\,\mathrm{W}$，重力加速度取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，试求速率 v 和滑动变阻器接入电路部分的阻值 R_2。



(1) $v = 4.5\,\mathrm{m/s}$　(2) $R_2 = 6.0\,\Omega$

由能量守恒定律得：$mgv = P$ ①

代入数据得：$v = 4.5\,\mathrm{m/s}$ ②

又：$E = BLv$ ③

设电阻 R_1 与 R_2 的并联电阻为 $R_{外}$，ab 棒的电阻为 r，有

$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{外}}$ ④

$I = E/(R_{外} + r)$ ⑤

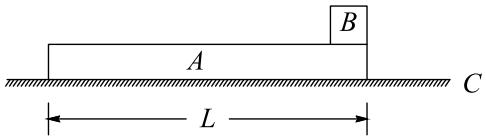
$P = IE$ ⑥

代入数据得：$R_2 = 6.0\,\Omega$ ⑦

11. 如图所示，质量 m_A 为 $4.0\,\mathrm{kg}$ 的木板 A 放在水平面 C 上，木板与水平面间的动摩擦因数 μ 为 0.24，木板右端放着质量 m_B 为 $1.0\,\mathrm{kg}$ 的小物块 B（视为质点），它们均处于静止状态。木板突然受到水平向右的 $12\,\mathrm{N \cdot s}$ 的瞬时冲量 I 作用开始运动，当小物块滑离木板时，木板的动能 E_{kA} 为 $8.0\,\mathrm{J}$，小物块的动能为 $0.50\,\mathrm{J}$，重力加速度取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，求：

(1) 瞬时冲量作用结束时木板的速度 v_0；

(2) 木板的长度 L。



(1) $v_0 = 3.0\,\mathrm{m/s}$ (2) $L = 0.50\,\mathrm{m}$

（1）设水平向右为正方向，有：$I = m_A v_0$ ①

代入数据得：$v_0 = 3.0\,\mathrm{m/s}$ ②

（2）设 A 对 B、B 对 A、C 对 A 的滑动摩擦力的大小分别为 F_{AB}、F_{BA}、F_{CA}，B 在 A 上滑行的时间为 t，B 离开 A 时 A 和 B 的速度分别为 v_A 和 v_B，有

$-(F_{BA} + F_{CA})\,t = m_A v_A - m_A v_0$ ③

$F_{AB} t = m_B v_B$ ④

其中 $F_{AB} = F_{BA}$

$F_{CA} = \mu(m_A + m_B)g$ ⑤

设 A、B 相对于 C 的位移大小分别为 s_A 和 s_B，有

$-(F_{BA} + F_{CA})\,s_A = \frac{1}{2} m_A v_A^2 - \frac{1}{2} m_A v_0^2$ ⑥

$F_{AB} s_B = E_{kB}$ ⑦

动量和动能之间的关系为：$m_A v_A = \sqrt{2 m_A E_{kA}}$ ⑧

$m_B v_B = \sqrt{2 m_B E_{kB}}$ ⑨

木板 A 的长度：$L = s_A - s_B$ ⑩

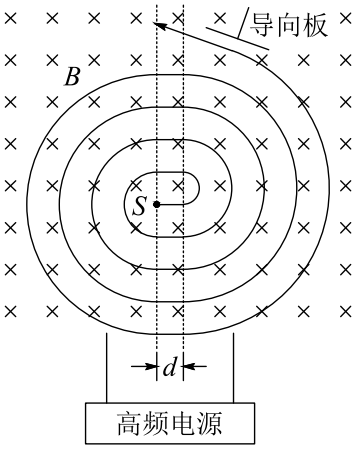
代入数据得：$L = 0.50\,\mathrm{m}$

12. 正电子发射计算机断层（PET）是分子水平上的人体功能显像的国际领先技术，它为临床诊断和治疗提供全新的手段。

(1) PET 在心脏疾病诊疗中，需要使用放射正电子的同位素氮 13 示踪剂。氮 13 是由小型回旋加速器输出的高速质子轰击氧 16 获得的，反应中同时还产生另一个粒子，试写出该核反应方程。

(2) PET 所用回旋加速器示意如图，其中置于高真空中的金属 D 形盒的半径为 R，两盒间距为 d，在左侧 D 形盒圆心处放有粒子源 S，匀强磁场的磁感应强度为 B，方向如图所示。质子质量为 m，电荷量为 q。设质子从粒子源 S 进入加速电场时的初速度不计，质子在加速器中运动的总时间为 t（其中已略去了质子在加速电场中的运动时间），质子在电场中的加速次数与回旋半周的次数相同，加速质子时的电压大小可视为不变。求此加速器所需的高频电源频率 f 和加速电压 U。

(3) 试推证当 $R \gg d$ 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（质子在电场中运动时，不考虑磁场的影响）。



(1) ${}^{16}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{13}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ (2) $f = \frac{qB}{2\pi m}$，$U = \frac{\pi BR^2}{2t}$ (3) $\frac{t_1}{t_2} = \frac{2d}{\pi R} \ll 1$

（1）核反应方程为：${}^{16}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{13}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ ①

（2）设质子加速后最大速度为 v，由牛顿第二定律得：$qvB = mv^2/R$ ②

质子的回旋周期为：$T = 2\pi R/v = 2\pi m/qB$ ③

高频电源的频率为：$f = 1/T = \frac{qB}{2\pi m}$ ④

质子加速后的最大动能为：$E_k = mv^2/2$ ⑤

设质子在电场中加速的次数为 n，则：$E_k = nqU$ ⑥

又 $t = nT/2$ ⑦

可解得：$U = \frac{\pi BR^2}{2t}$ ⑧

（3）在电场中加速的总时间为：$t_1 = 2nd/v$ ⑨

在 D 形盒中回旋的总时间为 $t_2 = n\pi R/v$ ⑩

故：$\frac{t_1}{t_2} = \frac{2d}{\pi R} \ll 1$，即当 $R \gg d$ 时，可以忽略不计。