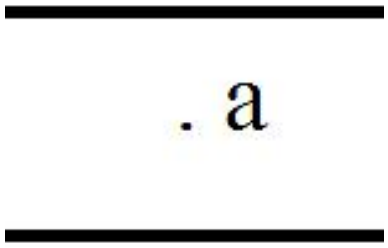
2015 年全国课标 II

1. 如图，两平行的带电金属板水平放置。若在两板中间 a 点从静止释放一带电微粒，微粒恰好保持静止状态。现将两板绕过 a 点的轴（垂直于纸面）逆时针旋转 45°，再由 a 点从静止释放一同样的微粒，该微粒将（D）

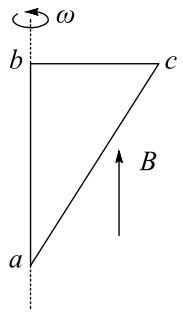


A. 保持静止状态　　B. 向左上方做匀加速运动

C. 向正下方做匀加速运动　　D. 向左下方做匀加速运动

> 分析带电金属板旋转后带电微粒的受力情况。由题意可知，两板间距离不变，板间电压不变，则由 $E=\frac{U}{d}$ 知板间场强不变。所以带电微粒所受电场力仍然为 $qE=mg$，电场力方向为左上方，与竖直方向成 45° 角，合力向左下方，则带电微粒向左下方做匀加速运动，故 D 正确。

2. 如图，直角三角形金属框 abc 放置在匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，方向平行于 ab 边向上。当金属框绕 ab 边以角速度 ω 逆时针转动时，a、b、c 三点的电势分别为 φ_a、φ_b、φ_c。已知 bc 边的长度为 l。下列判断正确的是（C）



A. $\varphi_a>\varphi_c$，金属框中无电流

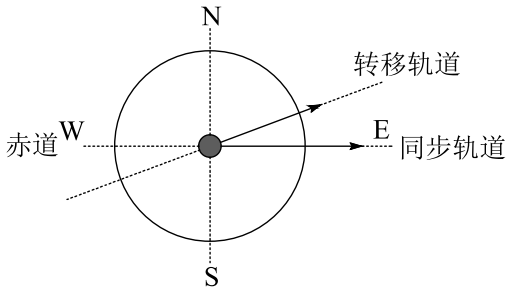
B. $\varphi_b>\varphi_c$，金属框中电流方向沿 a-b-c-a

C. $U_{bc}=-\frac{1}{2}Bl^2\omega$，金属框中无电流

D. $U_{ac}=\frac{1}{2}Bl^2\omega$，金属框中电流方向沿 a-c-b-a

> bc 边、ac 边都在切割磁感线，由右手定则判断，c 端电势高，a、b 端电势低；两边的有效切割长度都为 l，则 $U_{ac}=U_{bc}=-Blv=-\frac{1}{2}Bl^2\omega$，所以 a、b 端电势相同，金属框中无电流，故 C 正确。

3. 由于卫星的发射场不在赤道上，同步卫星发射后需要从转移轨道经过调整再进入地球同步轨道。当卫星在转移轨道上飞经赤道上空时，发动机点火，给卫星一附加速度，使卫星沿同步轨道运行。已知同步卫星的环绕速度约为 $3.1\times10^3\,\mathrm{m/s}$，某次发射卫星飞经赤道上空时的速度为 $1.55\times10^3\,\mathrm{m/s}$，此时卫星的高度与同步轨道的高度相同，转移轨道和同步轨道的夹角为 30°，如图所示，发动机给卫星的附加速度的方向和大小约为 (B)



A. 西偏北方向，$1.9\times10^3\,\mathrm{m/s}$

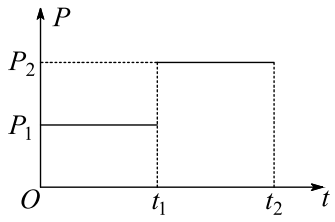
B. 东偏南方向，$1.9\times10^3\,\mathrm{m/s}$

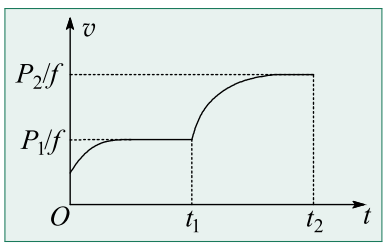
C. 西偏北方向，$2.7\times10^3\,\mathrm{m/s}$

D. 东偏南方向，$2.7\times10^3\,\mathrm{m/s}$

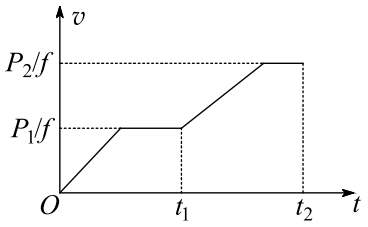
> 结合题意，题图是由转移轨道和同步轨道交点处看地球的俯视图。由速度的矢量合成法则可知，需要的速度变化沿东偏南方向；由余弦定理可得，附加速度的大小约为 $\sqrt{(3.1\times10^3)^2+(1.55\times10^3)^2-2\times3.1\times10^3\times1.55\times10^3\times\frac{\sqrt3}{2}}\,\mathrm{m/s}=1.9\times10^3\,\mathrm{m/s}$，故 B 正确。

4. 一汽车在平直公路上行驶。从某时刻开始计时，发动机的功率 P 随时间 t 的变化如图所示。假定汽车所受阻力的大小 f 恒定不变。下列描述该汽车的速度 v 随时间 t 变化的图像中，可能正确的是 (A)

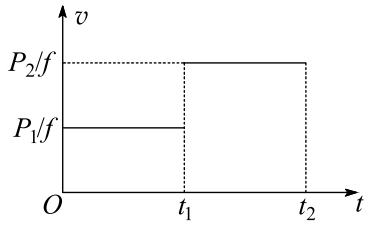




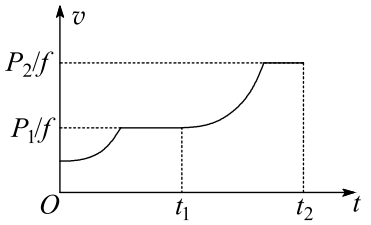
A.



B.



C.



D.

> 因 $P = F_{牵}v$，$F_{牵} - f = ma$，汽车在 $0 \sim t_1$ 时间内功率恒定，所以当汽车的速度增大时，牵引力 $F_{牵}$ 减小，加速度 $a = \frac{F_{牵}-f}{m}$ 减小；$v-t$ 图像的斜率表示汽车运动时的加速度，故斜率减小。t_1 时刻汽车的功率突然增加，牵引力 $F_{牵}$ 瞬间增大，随着 v 逐渐增大，$F_{牵}$ 逐渐减小，加速度 a 逐渐减小，$v-t$ 图像的斜率同样逐渐减小，故 A 正确，B、C、D 错误。

5. 指南针是我国古代四大发明之一。关于指南针，下列说明正确的是 (BC)

A. 指南针可以仅具有一个磁极

B. 指南针能够指向南北，说明地球具有磁场

C. 指南针的指向会受到附近铁块的干扰

D. 在指南针正上方附近沿指针方向放置一直导线，导线通电时指南针不偏转

> 指南针有 N、S 两个磁极，受到地磁场的作用静止时 S 极指向南方，故 A 错误、B 正确；指南针有磁性，可以与铁块相互吸引，故 C 正确；由奥斯特实验可知，小磁针在通电导线放置位置合适的情况下，会发生偏转，故 D 错误。

6. 有两个匀强磁场区域 I 和 II，I 中的磁感应强度是 II 中的 k 倍，两个速率相同的电子分别在两磁场区域做圆周运动。与 I 中运动的电子相比，II 中的电子 (AC)

A. 运动轨迹的半径是 I 中的 k 倍

B. 加速度的大小是 I 中的 k 倍

C. 做圆周运动的周期是 I 中的 k 倍

D. 做圆周运动的角速度与 I 中的相等

> 由洛伦兹力公式及牛顿第二定律可知，$F_{洛} = qvB$，$F_n = ma = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m\frac{4\pi^2 r}{T^2}$，得 $r = \frac{mv}{qB}$，$a = \frac{qvB}{m}$，$\omega = \frac{qB}{m}$，$T = \frac{2\pi m}{qB}$。因 I 中磁感应强度是 II 中的 k 倍，$\frac{r_{II}}{r_I} = \frac{B_I}{B_{II}} = \frac{k}{1}$，$\frac{a_{II}}{a_I} = \frac{B_{II}}{B_I} = \frac{1}{k}$，$\frac{T_{II}}{T_I} = \frac{B_I}{B_{II}} = \frac{k}{1}$，$\frac{\omega_{II}}{\omega_I} = \frac{B_{II}}{B_I} = \frac{1}{k}$，故 A、C 正确，B、D 错误。

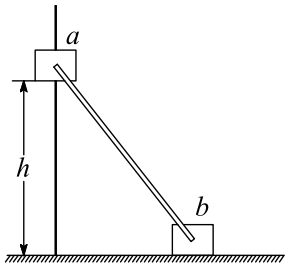
7. 在一东西向的水平直铁轨上，停放着一列已用挂钩连接好的车厢。当机车在东边拉着这列车厢以大小为 a 的加速度向东行驶时，连接某两相邻车厢的挂钩 P 和 Q 间的拉力大小为 F；当机车在西边拉着这列车厢以大小为 $\frac{2}{3}a$ 的加速度向西行驶时，P 和 Q 间的拉力大小仍为 F。不计车厢与铁轨间的摩擦，每节车厢质量相同，则这列车厢的节数可

能为 (BC)

A. 8　　B. 10　　C. 15　　D. 18

设每节车厢质量为 m，挂钩 P、Q 西边车厢的质量为 bm，东边车厢的质量为 cm。当机车在东边时，以 bm 为研究对象，由牛顿第二定律得 $F = bma$；当机车在西边时，以 cm 为研究对象，由牛顿第二定律得 $F = \frac{2}{3}cma$，可得 $3b = 2c$。设 $3b = 2c = k$，则总节数 $d = b + c = \frac{5}{6}k$，且 d 为正整数，则 k 取 6、12、18$\cdots$，d = 5、10、15$\cdots$，故 B、C 正确。

8. 如图，滑块 a、b 的质量均为 m，a 套在固定直杆上，与光滑水平地面相距 h，b 放在地面上，a、b 通过铰链用刚性轻杆连接。不计摩擦，a、b 可视为质点，重力加速度大小为 g。则 (BD)



A. a 落地前，轻杆对 b 一直做正功

B. a 落地时速度大小为 $\sqrt{2gh}$

C. a 下落过程中，其加速度大小始终不大于 g

D. a 落地前，当 a 的机械能最小时，b 对地面的压力大小为 mg

开始运动时，b 的速度为零；当 a 到最低点时，水平分速度为零，b 的速度也为零；整个过程中 b 的速度大于零，所以 b 应先加速后减速，则轻杆对 b 先做正功后做负功，故 A 错误。整个过程中系统机械能守恒，a 的重力势能最终全部转化为 a 的动能，由 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 得 $v = \sqrt{2gh}$，故 B 正确。在 b 减速运动过程中，杆对 b 的作用效果应为拉力，方向沿杆，则杆对 a 的作用效果也为拉力，方向沿杆，故杆对 a 有竖直向下的分力，则此时 a 的加速度大于 g，故 C 错误。由系统机械能守恒可知，当 a 的机械能最小时，b 的动能最大，则此时 b 的速度最大，水平方向加速度为零；可知此时杆对 b 没有力，b 对地面的压力大小为 mg，故 D 正确。

9. 某学生用图 a 所示的实验装置测量物块与斜面的动摩擦因数。已知打点计时器所用电源的频率为 50 Hz，物块下滑过程中所得到的纸带的一部分如图 b 所示，图中标出了 5 个连续点之间的距离。

(1) 物块下滑时的加速度 a =3.25 m/s^2，打点 C 点时物块的速度 v =1.79 m/s；

(2) 已知重力加速度大小为 g，为求出动摩擦因数，还需测量的物理量是 C（填正确答案标号）（A）物块的质量　（B）斜面的高度　（C）斜面的倾角

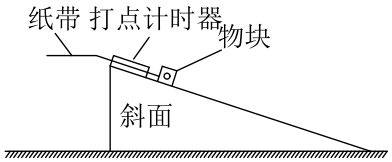


图 a

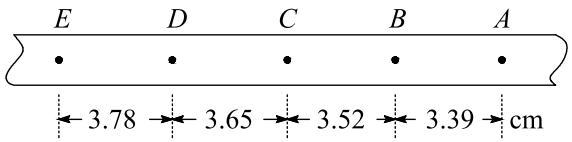


图 b

（1）3.25 m/s²，1.79 m/s；（2）C

（1）由逐差法可得 $a=\frac{x_{DE}+x_{CD}-x_{BC}-x_{AB}}{4T^2}=3.25\,\mathrm{m/s^2}$；在匀变速直线运动中，由 $v_{\frac{t}{2}}=\frac{x}{t}$ 得 $v_C=\frac{x_{BC}+x_{CD}}{2T}=1.79\,\mathrm{m/s}$。

（2）在斜面上，由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$，则物块的加速度为 $a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$，即 $\mu=\frac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$，故还需测量斜面的倾角，C 正确。

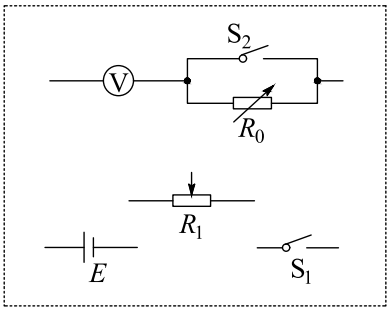
10. 电压表满偏时通过该表的电流是半偏时通过该表的电流的两倍。某同学利用这一事实测量电压表的内阻（半偏法），实验室提供材料器材如下：

待测电压表 V（量程 3 V，内阻约为 3000 Ω），电阻箱 R_0（最大阻值为 99999.9 Ω），滑动变阻器 R_1（最大阻值 100 Ω，额定电流 2 A），电源 E（电动势 6 V，内阻不计），开关 2 个，导线若干。

(1) 虚线框内为该同学设计的测量电压表内阻的电路图的一部分，将电路图补充完整。

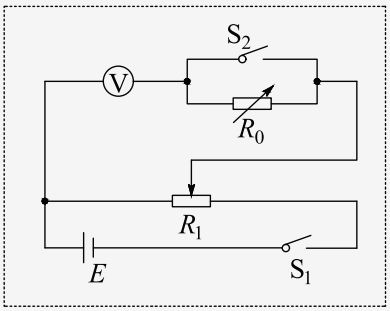
(2) 根据设计的电路，写出实验步骤：见解析（2）。

(3) 将这种方法测出的电压表内阻记为 R_V'，与电压表内阻的真实值 R_V 相比，R_V' > R_V（填“>”、“=”或“<”），主要理由是见解析（3）。



(1) 见解析图。 (2) 见解析。 (3) >

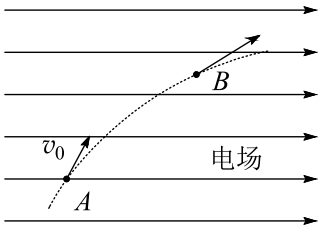
（1）答案电路图如下：



（2）移动滑动变阻器的滑片，以保证通电后电压表所在支路分压最小；闭合开关 S_1、S_2，调节 R_1，使电压表指针满偏；保证滑动变阻器的滑片的位置不变，断开 S_2，调节电阻箱 R_0，使电压表的指针半偏；读取电阻箱所示的电阻值，即为测得的电压表内阻。

（3）断开 S_2，调节电阻箱使电压表成半偏状态，电压表所在支路的总电阻增大，分得的电压也增大，此时 R_0 两端的电压大于电压表的半偏电压，故 $R'_V > R_V$。

11. 如图，一质量为 m、电荷量为 q（$q > 0$）的粒子在匀强电场中运动，A、B 为其运动轨迹上的两点。已知该粒子在 A 点的速度大小为 v_0，方向与电场方向的夹角为 60°；它运动到 B 点时速度方向与电场方向的夹角为 30°。不计重力。求 A、B 两点间的电势差。



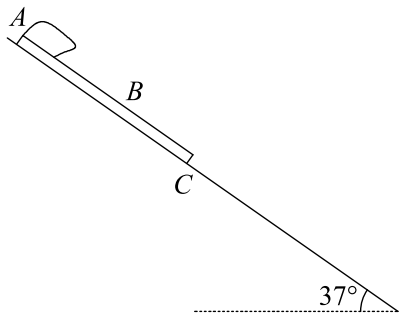
$U_{AB} = \frac{mv_0^2}{q}$

设带电粒子在 B 点的速度大小为 v_B，粒子在垂直于电场方向的分速度不变，即 $v_B \sin 30° = v_0 \sin 60°$，由此得 $v_B = \sqrt{3}v_0$。设 A、B 两点间的电势差为 U_{AB}，由动能定理有 $qU_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $U_{AB} = \frac{mv_0^2}{q}$。

12. 下暴雨时，有时会发生山体滑坡或泥石流等地质灾害。某地有一倾角为 $\theta = 37°$（$\sin 37° = 0.6$）的山坡 C，上面有一质量为 m 的石板 B，其上下表面与斜坡平行；B 上有一碎石堆 A（含有大量泥土），A 和 B 均处于静止状态，如图所示。假设某次暴雨中，A 浸透雨水后总质量也为 m（可视为质量不变的滑块），在极短时间内，A、B 间的动摩擦因数 μ_1 减小为 $\frac{3}{8}$，B、C 间的动摩擦因数 μ_2 减小为 0.5，A、B 开始运动，此时刻为计时起点；在第 2 s 末，B 的上表面突然变为光滑，μ_2 保持不变。已知 A 开始运动时，A 离 B 下边缘的距离 $l = 27\,\mathrm{m}$，C 足够长，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力。取重力加速度大小 $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$。求：

(1) 在 $0\sim2\,\mathrm{s}$ 时间内 A 和 B 加速度的大小；

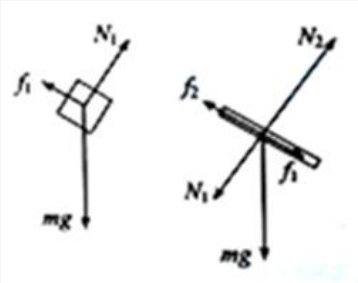
(2) A 在 B 上总的运动时间。



(1) $a_1=3\,\mathrm{m/s^2}$，$a_2=1\,\mathrm{m/s^2}$　(2) $t_{总}=4\,\mathrm{s}$

（1）在 $0\sim2\,\mathrm{s}$ 时间内，A 和 B 的受力如图所示，其中 f_1、N_1 是 A 与 B 之间的摩擦力和正压力的大小，f_2、N_2 是 B 与 C 之间的摩擦力和正压力的大小，方向如图所示。由滑动摩擦力公式和力的平衡条件

$f_1=\mu_1N_1$ ①，$N_1=mg\cos\theta$ ②，$f_2=\mu_2N_2$ ③，



$N_2=N_1+mg\cos\theta$ ④，

规定沿斜面向下为正。设 A 和 B 的加速度分别为 a_1 和 a_2，由牛顿第二定律得

$mg\sin\theta-f_1=ma_1$ ⑤，$mg\sin\theta-f_2+f_1=ma_2$ ⑥，

联立①②③④⑤⑥式，并代入题给条件得

$a_1=3\,\mathrm{m/s^2}$ ⑦，$a_2=1\,\mathrm{m/s^2}$ ⑧。

（2）在 $t_1=2\,\mathrm{s}$ 时，设 A 和 B 的速度分别为 v_1 和 v_2，则

$v_1=a_1t_1=6\,\mathrm{m/s}$ ⑨，$v_2=a_2t_1=2\,\mathrm{m/s}$ ⑩。

$t>t_1$ 时，设 A 和 B 的加速度分别为 a_1' 和 a_2'。此时 A 与 B 之间摩擦力为零，同理可得

$a_1'=6\,\mathrm{m/s^2}$⑪，$a_2'=-2\,\mathrm{m/s^2}$⑫，

即 B 做减速运动。设经过时间 t_2，B 的速度减为零，则有

$v_2 + a_2' t_2 = 0$⑬，

联立⑩ ⑫⑬ 式得

$t_2 = 1\,\mathrm{s}$⑭，

在 $t_1 + t_2$ 时间内，A 相对于 B 运动的距离为

$s = \left(\frac{1}{2}a_1 t_1^2 + v_1 t_2 + \frac{1}{2}a_1' t_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}a_2 t_1^2 + v_2 t_2 + \frac{1}{2}a_2' t_2^2\right)$⑮ $= 12\,\mathrm{m} < 27\,\mathrm{m}$。

此后 B 静止不动。A 继续在 B 上滑动。设再经过时间 t_3 后 A 离开 B，则有

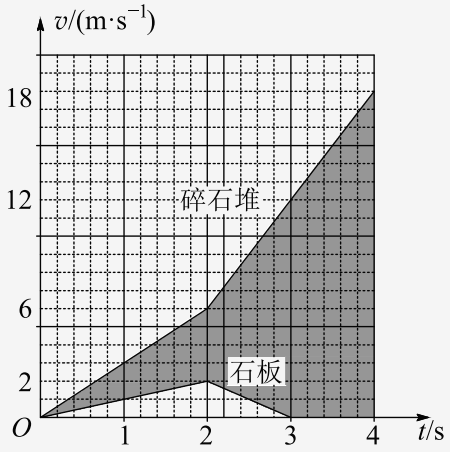
$l - s = (v_1 + a_1' t_2)\, t_3 + \frac{1}{2}a_1' t_3^2$⑯，

可得 $t_3 = 1\,\mathrm{s}$（另一解不合题意，舍去）⑰。

设 A 在 B 上总的运动时间为 $t_{总}$，有

$t_{总} = t_1 + t_2 + t_3 = 4\,\mathrm{s}$⑱。

（利用下面的速度图象求解，正确的，参照上述答案参考给分）



13.【物理——选修 3-3】（15 分）

（1）（5 分）关于扩散现象，下列说法正确的是（ACD）（填正确答案标号。选对 1 个得 2 分，选对 2 个得 4 分，选对三个得 5 分。每选错一个扣 3 分，最低得分为 0 分）

A. 温度越高，扩散进行得越快

B. 扩散现象是不同物质间的一种化学反应

C. 扩散现象是由物质分子无规则运动产生的

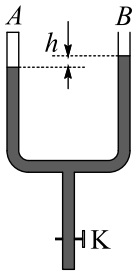
D. 扩散现象在气体、液体和固体中都能发生

E. 液体中的扩散现象是由于液体的对流形成的

（2）（10 分）如图，一粗细均匀的 U 形管竖直放置，A 侧上端封闭，B 侧上端与大气相通，下端开口处开关 K 关闭；A 侧空气柱的长度为 $l = 10.0\,\mathrm{cm}$，B 侧水银面比 A 侧的高 $h = 3.0\,\mathrm{cm}$。现将开关 K 打开，从 U 形管中放出部分水银，当两侧水银面的高度差为 $h_1 = 10.0\,\mathrm{cm}$ 时将开关 K 关闭。已知大气压强 $p_0 = 75.0\,\mathrm{cmHg}$。求：

(1) 求放出部分水银后 A 侧空气柱的长度；

(2) 此后再向 B 侧注入水银，使 A、B 两侧的水银面达到同一高度，求注入的水银在管内的长度。



(1) 12.0 cm　(2) 13.2 cm

（1）扩散现象是物质分子做无规则运动产生的，在气体、液体、固体中都能发生；温度越高，扩散现象越明显；这是一种物理现象，不是化学反应；液体中的扩散现象是由液体分子的无规则运动而产生的，故 A、C、D 正确，B、E 错误。

（2）（i）以 cmHg 为压强单位。设 A 侧空气柱长度 $l = 10.0\,\mathrm{cm}$ 时的压强为 p；当两侧水银面的高度差为 $h_1 = 10.0\,\mathrm{cm}$ 时，空气柱的长度为 l_1，压强为 p_1。由玻意耳定律得

$pl = p_1 l_1$ ①，

由力学平衡条件得

$p = p_0 + h$ ②，

打开开关 K 放出水银的过程中，B 侧水银面处的压强始终为 p_0，而 A 侧水银面处的压强随空气柱长度的增加逐渐减小，B、A 两侧水银面的高度差也随之减小，直至 B 侧水银面低于 A 侧水银面 h_1 为止。由力学平衡条件有

$p_1 = p_0 - h_1$ ③，

联立①②③式，并代入题给数据得

$l_1 = 12.0\,\mathrm{cm}$ ④。

（ii）当 A、B 两侧的水银面达到同一高度时，设 A 侧空气柱的长度为 l_2，压强为 p_2。由玻意耳定律得

$pl = p_2 l_2$ ⑤，

由力学平衡条件有

$p_2 = p_0$ ⑥，

联立②⑤⑥式，并代入题给数据得

$l_2 = 10.4\,\text{cm}$ ⑦，

设注入的水银在管内的长度为 Δh，依题意得

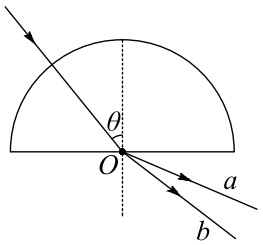
$\Delta h = 2(l_1 - l_2) + h_1$ ⑧，

联立④⑦⑧式，并代入题给数据得

$\Delta h = 13.2\,\text{cm}$ ⑨。

14. 【物理——选修 3-4】（15 分）

（1）（5 分）如图，一束光沿半径方向射向一块半圆柱形玻璃砖，在玻璃砖底面上的入射角为 θ，经折射后射出 a、b 两束光线。则（ ABD ）（填正确答案标号。选对 1 个得 2 分，选对 2 个得 4 分，选对 3 个得 5 分。每选错 1 个扣 3 分，最低得分为 0 分）



A. 在玻璃中，a 光的传播速度小于 b 光的传播速度

B. 在真空中，a 光的波长小于 b 光的波长

C. 玻璃砖对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率

D. 若改变光束的入射方向使 θ 角变大，则折射光线 a 首先消失

E. 分别用 a、b 光在同一个双缝干涉实验装置上做实验，a 光的干涉条纹间距大于 b 光的干涉条纹间距

（2）（10 分）平衡位置位于原点 O 的波源发出的简谐横波在均匀介质中沿水平 x 轴传播，P、Q 为 x 轴上的两个点（均位于 x 轴正方向），P 与 O 的距离为 35 cm，此距离介于一倍波长与二倍波长之间。已知波源自 $t = 0$ 时由平衡位置开始向上振动，周期 $T = 1\,\text{s}$，振幅 $A = 5\,\text{cm}$。当波传到 P 点时，波源恰好处于波峰位置；此后再经过 5 s，平衡位置在 Q 处的质点第一次处于波峰位置。求：

(1) P、Q 间的距离；

(2) 从 $t = 0$ 开始到平衡位置在 Q 处的质点第一次处于波峰位置时，波源在振动过程中通过的路程。

(1) 133 cm (2) 125 cm

（1）利用 $n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$，由图及光的可逆性可知 $\theta_{a1} > \theta_{b1}$，$\theta_{a2} = \theta_{b2}$，可知 $n_a > n_b$，故 C 错误。折射率越大，频率越大，波长越小，发生全反射的临界角越小，故 B、D 正

确；又 $n=\frac{c}{v}$，则 $v_a<v_b$，故 A 正确；由干涉条纹间距公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知 E 错误。

（2）（i）由题意，O、P 两点间的距离与波长 λ 之间满足 $OP=\frac{5}{4}\lambda$。波速 v 与波长 λ 的关系为 $v=\frac{\lambda}{T}$。在 $t=5\,\mathrm{s}$ 的时间间隔内，波传播的路程为 vt，由题意得 $vt=PQ+\frac{\lambda}{4}$，式中 PQ 为 P、Q 间的距离，联立解得 $PQ=133\,\mathrm{cm}$。

（ii）Q 处的质点第一次处于波峰位置时，波源运动的时间为 $t_1=t+\frac{5}{4}T$。波源从平衡位置开始运动，每经过 $\frac{T}{4}$，波源运动的路程为 A，由题给条件得 $t_1=25\times\frac{T}{4}$，故 t_1 时间内波源运动的路程为 $s=25A=125\,\mathrm{cm}$。

15.【物理——选修 3-5】（15 分）

（1）（5 分）实物粒子和光都具有波粒二象性，下列事实中突出体现波动性的是（ACD）（填正确答案标号，选对 1 个给 2 分，选对 2 个得 4 分，选对 3 个得 5 分，每选错 1 个扣 3 分，最低得分 0 分）

A. 电子束通过双缝实验后可以形成干涉图样

B. β 射线在云室中穿过会留下清晰的径迹

C. 人们利用慢中子衍射来研究晶体的结构

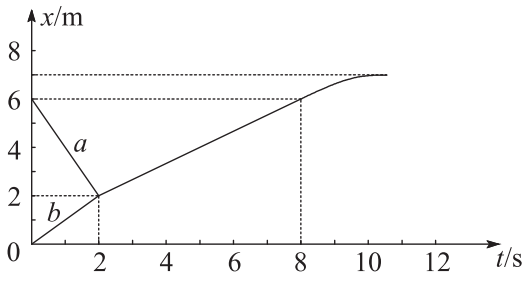
D. 人们利用电子显微镜观测物质的微观结构

E. 光电效应实验中，光电子的最大初动能与入射光的频率有关，与入射光的强度无关

（2）（10 分）滑块 a、b 沿水平面上同一条直线运动，并发生碰撞；碰撞后两者粘在一起运动；经过一段时间后，从光滑路段进入粗糙路段。两者的位置 x 随时间 t 变化的图像如图所示。求：

(1) 滑块 a、b 的质量之比；

(2) 整个运动过程中，两滑块克服摩擦力做的功与因碰撞而损失的机械能之比。



(1) $\frac{1}{8}$　(2) $\frac{1}{2}$

（1）体现波动性的常见现象有：反射、折射、干涉、衍射、偏振等；体现粒子性的有：光电效应、康普顿效应、荧光屏出现光点等，故 A、C、D 正确。

（2）（i）设 a、b 的质量分别为 m_1、m_2，a、b 碰撞前的速度分别为 v_1、v_2，由题给

图像得 $v_1 = -2\,\mathrm{m/s}$，$v_2 = 1\,\mathrm{m/s}$。a、b 发生完全非弹性碰撞，碰撞后两滑块的共同速度为 v，由题给图像得 $v = \frac{2}{3}\,\mathrm{m/s}$。由动量守恒得 $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$，联立解得 $m_1 : m_2 = 1 : 8$。

（ii）由能量守恒定律得，两滑块因碰撞而损失的机械能为 $\Delta E = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$。由图像可知，两滑块最后停止运动，由动能定理得，两滑块克服摩擦力所做的功为 $W = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$。联立并代入题给数据得 $W : \Delta E = 1 : 2$。