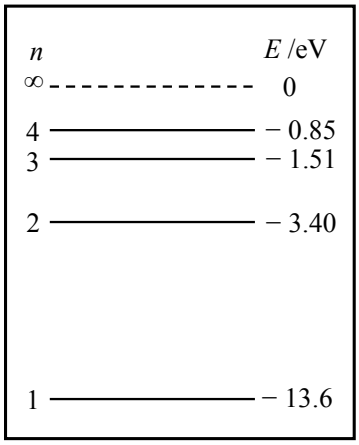
2024 年安徽

1. 大连相干光源是我国第一台高增益自由电子激光用户装置，其激光辐射所应用的玻尔原子理论很好地解释了氢原子的光谱特征。图为氢原子的能级示意图，已知紫外光的光子能量大于 3.11 eV，当大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，辐射不同频率的紫外光有 (B)



A. 1 种　　B. 2 种　　C. 3 种　　D. 4 种

> 大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，能够辐射出不同频率的种类为 $C_3^2=3$ 种。
>
> 辐射出光子的能量分别为
>
> $\Delta E_1=E_3-E_1=-1.51\,\mathrm{eV}-(-13.6\,\mathrm{eV})=12.09\,\mathrm{eV}$
>
> $\Delta E_2=E_3-E_2=-1.51\,\mathrm{eV}-(-3.4\,\mathrm{eV})=1.89\,\mathrm{eV}$
>
> $\Delta E_3=E_2-E_1=-3.4\,\mathrm{eV}-(-13.6\,\mathrm{eV})=10.2\,\mathrm{eV}$
>
> 其中 $\Delta E_1>3.11\,\mathrm{eV}$，$\Delta E_2<3.11\,\mathrm{eV}$，$\Delta E_3>3.11\,\mathrm{eV}$
>
> 所以辐射不同频率的紫外光有 2 种。
>
> 故选 B。

2. 某同学参加户外拓展活动，遵照安全规范，坐在滑板上，从高为 h 的粗糙斜坡顶端由静止下滑，至底端时速度为 v。已知人与滑板的总质量为 m，可视为质点．重力加速度大小为 g，不计空气阻力．则此过程中人与滑板克服摩擦力做的功为 (D)

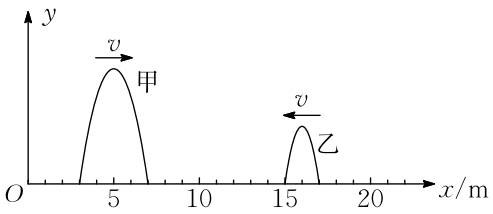
A. mgh　　B. $\frac{1}{2}mv^2$　　C. $mgh+\frac{1}{2}mv^2$　　D. $mgh-\frac{1}{2}mv^2$

> 人在下滑的过程中，由动能定理可得
>
> $mgh-W_f=\frac{1}{2}mv^2-0$

可得此过程中人与滑板克服摩擦力做的功为 $W_f = mgh - \frac{1}{2}mv^2$

故选 D。

3. 某仪器发射甲、乙两列横波，在同一均匀介质中相向传播，波速 v 大小相等。某时刻的波形图如图所示，则这两列横波（C）



A. 在 $x = 9.0\,\mathrm{m}$ 处开始相遇　　B. 在 $x = 10.0\,\mathrm{m}$ 处开始相遇

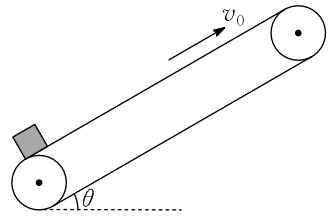
C. 波峰在 $x = 10.5\,\mathrm{m}$ 处相遇　　D. 波峰在 $x = 11.5\,\mathrm{m}$ 处相遇

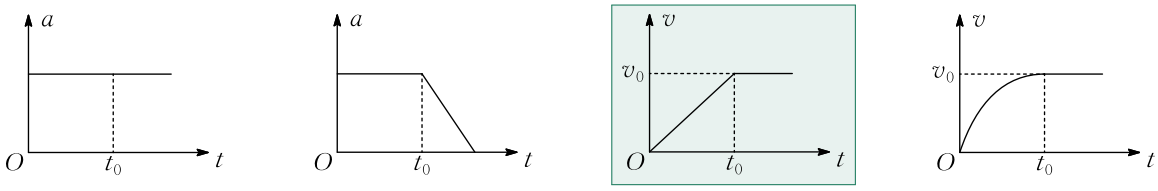
AB．由题意可知两列波的波速相同，所以相同时间内传播的距离相同，故两列横波在 $x = 11.0\,\mathrm{m}$ 处开始相遇，故 AB 错误；

CD．甲波峰的坐标为 $x_1 = 5\,\mathrm{m}$，乙波峰的坐标为 $x_2 = 16\,\mathrm{m}$，由于两列波的波速相同，所以波峰在 $x' = 5\,\mathrm{m} + \frac{16-5}{2}\,\mathrm{m} = 10.5\,\mathrm{m}$ 处相遇，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

4. 倾角为 θ 的传送带以恒定速率 v_0 顺时针转动。$t = 0$ 时在传送带底端无初速轻放一小物块，如图所示。t_0 时刻物块运动到传送带中间某位置，速度达到 v_0。不计空气阻力，则物块从传送带底端运动到顶端的过程中，加速度 a、速度 v 随时间 t 变化的关系图线可能正确的是（C）





A.　　B.　　C.　　D.

$0 \sim t_0$ 时间内：物体轻放在传送带上，做加速运动。受力分析可知，物体受重力、支持力、滑动摩擦力，滑动摩擦力大于重力的下滑分力，合力不变，故做匀加速运动。

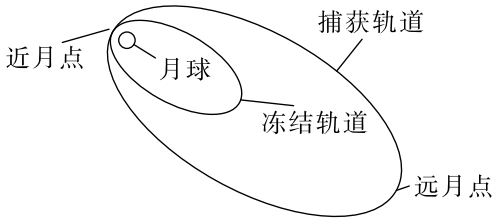
t_0 之后：当物块速度与传送带相同时，静摩擦力与重力的下滑分力相等，加速度突变

为零，物块做匀速直线运动。

C 正确，ABD 错误。

故选 C。

5. 2024 年 3 月 20 日，我国探月工程四期鹊桥二号中继星成功发射升空。当抵达距离月球表面某高度时，鹊桥二号开始进行近月制动，并顺利进入捕获轨道运行，如图所示，轨道的半长轴约为 51 900 km。后经多次轨道调整，进入冻结轨道运行，轨道的半长轴约为 9 900 km，周期约为 24 h。则鹊桥二号在捕获轨道运行时 (B)



A. 周期约为 144 h

B. 近月点的速度大于远月点的速度

C. 近月点的速度小于在冻结轨道运行时近月点的速度

D. 近月点的加速度大于在冻结轨道运行时近月点的加速度

A．冻结轨道和捕获轨道的中心天体是月球，根据开普勒第三定律 $\frac{T_1^2}{R_1^3}=\frac{T_2^2}{R_2^3}$

整理得 $T_2=\sqrt{\frac{R_2^3}{R_1^3}}T_1=288\,\mathrm{h}$

A 错误；

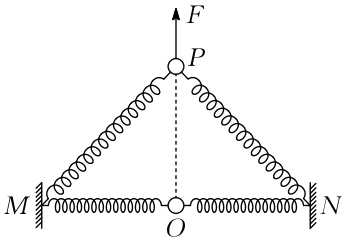
B．根据开普勒第二定律得，近月点的速度大于远月点的速度，B 正确；

C．近月点从捕获轨道到冻结轨道鹊桥二号进行近月制动，捕获轨道近月点的速度大于在冻结轨道运行时近月点的速度，C 错误；

D．两轨道的近月点所受的万有引力相同，根据牛顿第二定律可知，近月点的加速度等于在冻结轨道运行时近月点的加速度，D 错误。

故选 B。

6. 如图所示，竖直平面内有两完全相同的轻质弹簧，它们的一端分别固定于水平线上的 M、N 两点，另一端均连接在质量为 m 的小球上。开始时，在竖直向上的拉力作用下，小球静止于 MN 连线的中点 O，弹簧处于原长。后将小球竖直向上缓慢拉至 P 点，并保持静止，此时拉力 F 大小为 $2mg$。已知重力加速度大小为 g，弹簧始终处于弹性限度内，不计空气阻力。若撤去拉力，则小球从 P 点运动到 O 点的过程中 (A)



A. 速度一直增大　　B. 速度先增大后减小

C. 加速度的最大值为 $3g$　　D. 加速度先增大后减小

AB. 缓慢拉至 P 点，保持静止，由平衡条件可知此时拉力 F 与重力和两弹簧的拉力合力为零。此时两弹簧的合力大小为 mg。当撤去拉力，则小球从 P 点运动到 O 点的过程中两弹簧的拉力与重力的合力始终向下，小球一直做加速运动，故 A 正确，B 错误；

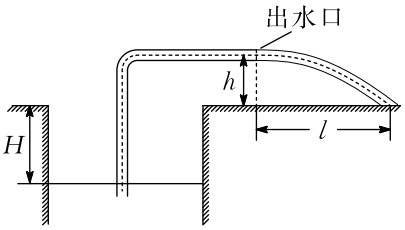
CD. 小球从 P 点运动到 O 点的过程中，形变量变小，弹簧在竖直方向的合力不断变小，故小球受的合外力一直变小，加速度的最大值为撤去拉力时的加速度，由牛顿第二定律可知

$2mg = ma$

加速度的最大值为 $2g$，CD 错误。

故选 A。

7. 在某地区的干旱季节，人们常用水泵从深水井中抽水灌溉农田，简化模型如图所示。水井中的水面距离水平地面的高度为 H。出水口距水平地面的高度为 h，与落地点的水平距离约为 l。假设抽水过程中 H 保持不变，水泵输出能量的 η 倍转化为水被抽到出水口处增加的机械能。已知水的密度为 ρ，水管内径的横截面积为 S，重力加速度大小为 g，不计空气阻力。则水泵的输出功率约为 (B)



A. $\frac{\rho g S l\sqrt{2gh}}{2\eta h}\left(H+h+\frac{l^2}{2h}\right)$　　B. $\frac{\rho g S l\sqrt{2gh}}{2\eta h}\left(H+h+\frac{l^2}{4h}\right)$

C. $\frac{\rho g S l\sqrt{2gh}}{2\eta h}\left(H+\frac{l^2}{2h}\right)$　　D. $\frac{\rho g S l\sqrt{2gh}}{2\eta h}\left(H+\frac{l^2}{4h}\right)$

设水从出水口射出的初速度为 v_0，取 t 时间内的水为研究对象，该部分水的质量为 $m = v_0 t S\rho$

根据平抛运动规律 $v_0 t' = l$，$h = \frac{1}{2}gt'^2$

解得 $v_0 = l\sqrt{\frac{g}{2h}}$

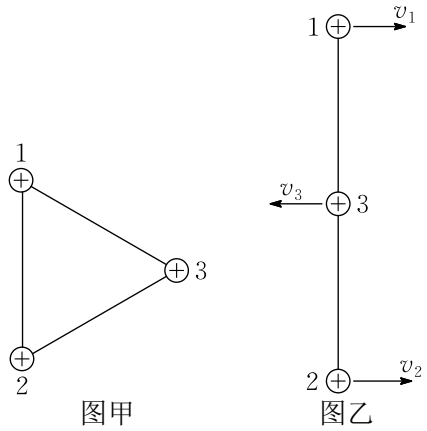
根据功能关系得

$Pt\eta = \frac{1}{2}mv_0^2 + mg(H+h)$

联立解得水泵的输出功率为 $P = \frac{\rho g S l\sqrt{2gh}}{2\eta h}\left(H + h + \frac{l^2}{4h}\right)$

故选 B。

8. 在某装置中的光滑绝缘水平面上，三个完全相同的带电小球，通过不可伸长的绝缘轻质细线，连接成边长为 d 的正三角形，如图 甲 所示。小球质量为 m，带电量为 $+q$，可视为点电荷。初始时，小球均静止，细线拉直。现将球 1 和球 2 间的细线剪断，当三个小球运动到同一条直线上时，速度大小分别为 v_1、v_2、v_3，如图 乙 所示。该过程中三个小球组成的系统电势能减少了 $\frac{kq^2}{2d}$，k 为静电力常量，不计空气阻力。则 (D)



A. 该过程中小球 3 受到的合力大小始终不变

B. 该过程中系统能量守恒，动量不守恒

C. 在图 乙 位置，$v_1 = v_2$，$v_3 \neq 2v_1$

D. 在图 乙 位置，$v_3 = \sqrt{\frac{2kq^2}{3md}}$

AB．该过程中系统动能和电势能相互转化，能量守恒，对整个系统分析可知系统受到的合外力为 0，故动量守恒；当三个小球运动到同一条直线上时，根据对称性可知细线中的拉力相等，此时球 3 受到 1 和 2 的电场力大小相等，方向相反，故可知此时球 3 受到的合力为 0，球 3 从静止状态开始运动，瞬间受到的合力不为 0，故该过程中小球 3 受到的合力在改变，故 AB 错误；

CD．对系统根据动量守恒 $mv_1 + mv_2 = mv_3$

根据球 1 和 2 运动的对称性可知 $v_1 = v_2$，解得 $v_3 = 2v_1$

根据能量守恒

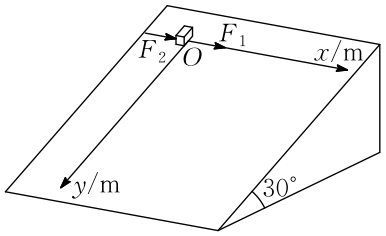
$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}mv_3^2 = \frac{kq^2}{2d}$

解得 $v_3=\sqrt{\frac{2kq^2}{3md}}$

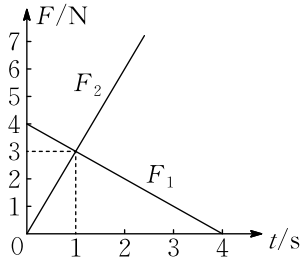
故 C 错误，D 正确。

故选 D。

9. 一倾角为 30° 足够大的光滑斜面固定于水平地面上，在斜面上建立 Oxy 直角坐标系，如图（1）所示。从 $t=0$ 开始，将一可视为质点的物块从 O 点由静止释放，同时对物块施加沿 x 轴正方向的力 F_1 和 F_2，其大小与时间 t 的关系如图（2）所示。已知物块的质量为 1.2 kg，重力加速度 g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，不计空气阻力。则（BD）



图（1）



图（2）

A. 物块始终做匀变速曲线运动

B. $t=1\,\mathrm{s}$ 时，物块的 y 坐标值为 2.5 m

C. $t=1\,\mathrm{s}$ 时，物块的加速度大小为 $5\sqrt{3}\,\mathrm{m/s^2}$

D. $t=2\,\mathrm{s}$ 时，物块的速度大小为 $10\sqrt{2}\,\mathrm{m/s}$

A．根据图像可得 $F_1=4-t$，$F_2=3t$，故两力的合力为 $F=4+2t$（单位：N）

物块在 y 轴方向受到的力不变为 $mg\sin 30°$，x 轴方向的力在改变，合力在改变，故物块做的不是匀变速曲线运动，故 A 错误；

B．在 y 轴方向的加速度为

$a_y=\frac{mg\sin 30°}{m}=g\sin 30°=5\,\mathrm{m/s^2}$

故 $t=1\,\mathrm{s}$ 时，物块的 y 坐标值为

$y=\frac{1}{2}a_yt^2=2.5\,\mathrm{m}$

故 B 正确；

C．$t=1\,\mathrm{s}$ 时，$F=6\,\mathrm{N}$，故此时加速度大小为

$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\sqrt{\left(\frac{6}{1.2}\right)^2+5^2}\,\mathrm{m/s^2}=5\sqrt{2}\,\mathrm{m/s^2}$

故 C 错误；

D．对 x 轴正方向，对物块根据动量定理

$Ft=mv_x-0$

由于 F 与时间 t 成线性关系故可得

$\frac{(4+2\times0)+(4+2\times2)}{2}\times2=1.2v_x$

解得 $v_x=10\,\mathrm{m/s}$

此时 y 轴方向速度为

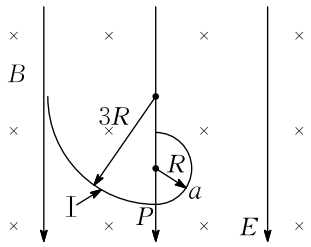
$v_y=g\sin30^\circ\cdot t=5\times2\,\mathrm{m/s}=10\,\mathrm{m/s}$

故此时物块的速度大小为 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=10\sqrt{2}\,\mathrm{m/s}$

故 D 正确。

故选 BD。

10. 空间中存在竖直向下的匀强电场和垂直于纸面向里的匀强磁场，电场强度大小为 E，磁感应强度大小为 B。一质量为 m 的带电油滴 a，在纸面内做半径为 R 的圆周运动，轨迹如图所示。当 a 运动到最低点 P 时，瞬间分成两个小油滴 Ⅰ、Ⅱ，二者带电量、质量均相同。Ⅰ在 P 点时与 a 的速度方向相同，并做半径为 $3R$ 的圆周运动，轨迹如图所示。Ⅱ的轨迹未画出。已知重力加速度大小为 g，不计空气浮力与阻力以及Ⅰ、Ⅱ分开后的相互作用，则 (ABD)



A. 油滴 a 带负电，所带电量的大小为 $\frac{mg}{E}$

B. 油滴 a 做圆周运动的速度大小为 $\frac{gBR}{E}$

C. 小油滴Ⅰ做圆周运动的速度大小为 $\frac{3gBR}{E}$，周期为 $\frac{4\pi E}{gB}$

D. 小油滴Ⅱ沿顺时针方向做圆周运动

A．油滴 a 做圆周运动，故重力与电场力平衡，可知带负电，有 $mg=qE$

解得 $q=\frac{mg}{E}$

故 A 正确；

B．根据洛伦兹力提供向心力

$Bqv=m\frac{v^2}{R}$

得 $R=\frac{mv}{Bq}$

解得油滴 a 做圆周运动的速度大小为 $v=\frac{gBR}{E}$

故 B 正确；

C．设小油滴 I 的速度大小为 v_1，得

$3R=\frac{\frac{m}{2}v_1}{B\frac{g}{2}}$

解得 $v_1=\frac{3BqR}{m}=\frac{3gBR}{E}$

周期为 $T=\frac{2\pi\cdot 3R}{v_1}=\frac{2\pi E}{gB}$

故 C 错误；

D．带电油滴 a 分离前后动量守恒，设分离后小油滴 II 的速度为 v_2，取油滴 a 分离前瞬间的速度方向为正方向，得

$mv=\frac{m}{2}v_1+\frac{m}{2}v_2$

解得 $v_2=-\frac{gBR}{E}$

由于分离后的小油滴受到的电场力和重力仍然平衡，分离后小油滴 II 的速度方向与正方向相反，根据左手定则可知小油滴 II 沿顺时针方向做圆周运动，故 D 正确。

故选 ABD。

11. 某实验小组做“测量玻璃的折射率”及拓展探究实验。

(1) 为测量玻璃的折射率，按如图所示进行实验，以下表述正确的一项是 B。（填正确答案标号）

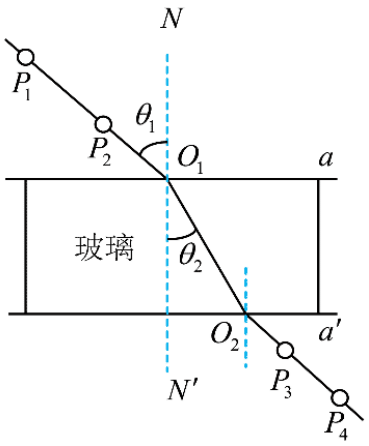
A．用笔在白纸上沿着玻璃砖上边和下边分别画出直线 a 和 a'

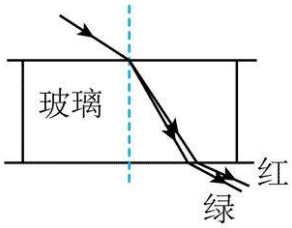
B．在玻璃砖一侧插上大头针 P_1、P_2，眼睛在另一侧透过玻璃砖看两个大头针，使 P_2 把 P_1 挡住，这样就可以确定入射光线和入射点 O_1。在眼睛这一侧，插上大头针 P_3，使它把 P_1、P_2 都挡住，再插上大头针 P_4，使它把 P_1、P_2、P_3 都挡住，这样就可以确定出射光线和出射点 O_2

C．实验时入射角 θ_1 应尽量小一些，以减小实验误差

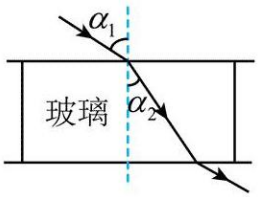
(2) 为探究介质折射率与光的频率的关系，分别用一束红光和一束绿光从同一点入射到空气与玻璃的分界面．保持相同的入射角，根据实验结果作出光路图，并标记红光和绿光，如图 乙 所示．此实验初步表明：对于同一种介质，折射率与光的频率有关。频率大，折射率大（填“大”或“小”）

(3) 为探究折射率与介质材料的关系，用同一束激光分别入射玻璃砖和某透明介质，如图 丙、丁 所示。保持相同的入射角 α_1，测得折射角分别为 α_2、α_3（$\alpha_2<\alpha_3$），则玻璃和该介质的折射率大小关系为 $n_{玻璃}>n_{介质}$（填“>”或“<”）。此实验初步表明：对于一定频率的光，折射率与介质材料有关。

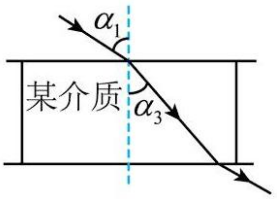




图乙



图丙



图丁

(1) B　(2) 大　(3) >

（1）A．在白纸上画出一条直线 a 作为界面，把长方体玻璃砖放在白纸上，使它的一个长边与 a 对齐。用直尺或者三角板轻靠在玻璃砖的另一长边，按住直尺或三角板不动，将玻璃砖取下，画出直线 a' 代表玻璃砖的另一边，而不能用笔在白纸上沿着玻璃砖上边和下边分别画出直线 a 和 a'，故 A 错误；

B．在玻璃砖一侧插上大头针 P_1、P_2，眼睛在另一侧透过玻璃砖看两个大头针，使 P_2 把 P_1 挡住，这样就可以确定入射光线和入射点 O_1。在眼睛这一侧，插上大头针 P_3，使它把 P_1、P_2 都挡住，再插上大头针 P_4，使它把 P_1、P_2、P_3 都挡住，这样就可以确定出射光线和出射点 O_2，故 B 正确；

C．实验时入射角 θ_1 应尽量大一些，但也不能太大（接近 90°），以减小实验误差，故 C 错误。

故选 B。

（2）由图 乙 可知，入射角相同，绿光的折射角小于红光的折射角，根据光的折射定律

$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$

可知绿光的折射率大于红光的折射率，又因为绿光的频率大于红光的频率，所以频率大，折射率大。

（3）根据折射定律可知，玻璃的折射率为

$n_{玻璃}=\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}$

该介质的折射率为

$n_{介质}=\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_3}$

其中 $\alpha_2<\alpha_3$，所以 $n_{玻璃}>n_{介质}$。

12. 某实验小组要将电流表 G（铭牌标示：$I_g=500\,\mu A$，$R_g=800\,\Omega$）改装成量程为 1 V 和 3 V 的电压表，并用标准电压表对其进行校准。选用合适的电源、滑动变阻器、电阻箱、开关和标准电压表等实验器材，按图（1）所示连接电路，其中虚线框内为改装电路。

(1) 开关 S_1 闭合前，滑片 P 应移动到 M（填“M”或“N”）端。

(2) 根据要求和已知信息，电阻箱 R_1 的阻值已调至 1200 Ω，则 R_2 的阻值应调至 4000 Ω。

(3) 当单刀双掷开关 S_2 与 a 连接时，电流表 G 和标准电压表 V 的示数分别为 I、U，则电流表 G 的内阻可表示为 $R_g=\frac{U}{I}-R_1-R_2$。（结果用 U、I、R_1、R_2 表示）

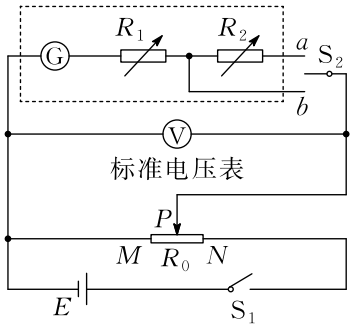
(4) 校准电表时，发现改装后电压表的读数始终比标准电压表的读数偏大，经排查发现电流表 G 内阻的真实值与铭牌标示值有偏差，则只要 A 即可。（填正确答案标号）

A．增大电阻箱 R_1 的阻值

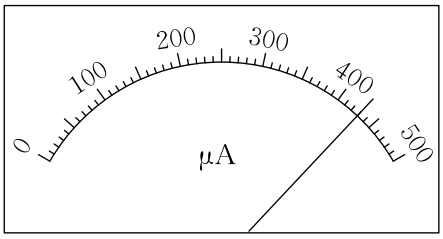
B．减小电阻箱 R_2 的阻值

C．将滑动变阻器的滑片 P 向 M 端滑动

(5) 校准完成后，开关 S_2 与 b 连接，电流表 G 的示数如图（2）所示，此示数对应的改装电压表读数为 0.86 V。（保留 2 位有效数字）



图（1）



图（2）

(1) M (2) 4000 (3) $R_g=\frac{U}{I}-R_1-R_2$ (4) A (5) 0.86

（1）由图可知，该滑动变阻器采用分压式接法，为了保护电路，在开关 S_1 闭合前，滑片 P 应移到 M 端；

（2）当开关 S_2 接 b 时，电压表量程为 1 V，根据欧姆定律

$U_1=I_g(R_g+R_1)$

当开关 S_2 接 a 时，电压表量程为 3 V，根据欧姆定律

$U_2 = I_g(R_g + R_1 + R_2)$

其中 $R_1 = 1200\,\Omega$

联立解得 $R_2 = 4000\,\Omega$

（3）当开关 S_2 接 a 时，根据欧姆定律 $U = I(R_g + R_1 + R_2)$

可得电流表 G 的内阻可表示为 $R_g = \frac{U}{I} - R_1 - R_2$

（4）校准电表时，发现改装后电压表的读数始终比标准电压表的读数偏大，可知电流表 G 内阻的真实值小于铭牌标示值，根据闭合电路的欧姆定律可以增大两电阻箱的阻值。

故选 A。

（5）根据闭合电路欧姆定律 $U_V = I_A(R_g + R_1) = 430 \times 10^{-6} \times (800 + 1200)\,\mathrm{V} = 0.86\,\mathrm{V}$。

13. 某人驾驶汽车，从北京到哈尔滨，在哈尔滨发现汽车的某个轮胎内气体的压强有所下降（假设轮胎内气体的体积不变，且没有漏气，可视为理想气体）。于是在哈尔滨给该轮胎充入压强与大气压相同的空气，使其内部气体的压强恢复到出发时的压强（假设充气过程中，轮胎内气体的温度与环境相同，且保持不变）。已知该轮胎内气体的体积 $V_0 = 30\,\mathrm{L}$，从北京出发时，该轮胎气体的温度 $t_1 = -3°C$，压强 $p_1 = 2.7 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$。哈尔滨的环境温度 $t_2 = -23°C$，大气压强 p_0 取 $1.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$。求：

(1) 在哈尔滨时，充气前该轮胎气体压强的大小。

(2) 充进该轮胎的空气体积。

(1) $2.5 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$　(2) $6\,\mathrm{L}$

（1）由查理定律可得

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

其中 $p_1 = 2.7 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$，$T_1 = 273 - 3\ \mathrm{K} = 270\,\mathrm{K}$，$T_2 = 273 - 23\ \mathrm{K} = 250\,\mathrm{K}$

代入数据解得，在哈尔滨时，充气前该轮胎气体压强的大小为

$p_2 = 2.5 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$

（2）由玻意耳定律 $p_2V_0 + p_0V = p_1V_0$

代入数据解得，充进该轮胎的空气体积为 $V = 6\,\mathrm{L}$。

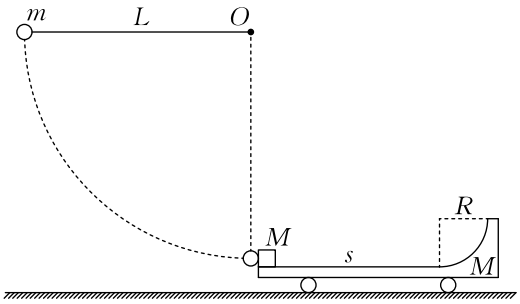
14. 如图所示，一实验小车静止在光滑水平面上，其上表面有粗糙水平轨道与光滑四分之一圆弧轨道。圆弧轨道与水平轨道相切于圆弧轨道最低点，一物块静止于小车最左端，一

小球用不可伸长的轻质细线悬挂于 O 点正下方，并轻靠在物块左侧。现将细线拉直到水平位置时，静止释放小球，小球运动到最低点时与物块发生弹性碰撞。碰撞后，物块沿着的轨道运动，已知细线长 $L=1.25\,\mathrm{m}$。小球质量 $m=0.20\,\mathrm{kg}$。物块、小车质量均为 $M=0.30\,\mathrm{kg}$。小车上的水平轨道长 $s=1.0\,\mathrm{m}$。圆弧轨道半径 $R=0.15\,\mathrm{m}$。小球、物块均可视为质点。不计空气阻力，重力加速度 g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$。

(1) 求小球运动到最低点与物块碰撞前所受拉力的大小；

(2) 求小球与物块碰撞后的瞬间，物块速度的大小；

(3) 为使物块能进入圆弧轨道，且在上升阶段不脱离小车，求物块与水平轨道间的动摩擦因数 μ 的取值范围。



(1) $6\,\mathrm{N}$ (2) $4\,\mathrm{m/s}$ (3) $0.25 \leqslant \mu < 0.4$

（1）对小球摆动到最低点的过程中，由动能定理

$mgL=\frac{1}{2}mv_0^2-0$

解得 $v_0=5\,\mathrm{m/s}$

在最低点，对小球由牛顿第二定律

$F_T-mg=m\frac{v_0^2}{L}$

解得，小球运动到最低点与物块碰撞前所受拉力的大小为 $F_T=6\,\mathrm{N}$

（2）小球与物块碰撞过程中，由动量守恒定律和机械能守恒定律

$mv_0=mv_1+Mv_2$

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$

解得小球与物块碰撞后的瞬间，物块速度的大小为

$v_2=\frac{2m}{m+M}v_0=4\,\mathrm{m/s}$

（3）若物块恰好运动到圆弧轨道的最低点，此时两者共速，则对物块与小车整体由水平方向动量守恒

$Mv_2=2Mv_3$

由能量守恒定律

$\frac{1}{2}Mv_2^2=\frac{1}{2}\times 2Mv_3^2+\mu_1 Mgs$

解得 $\mu_1=0.4$

若物块恰好运动到与圆弧圆心等高的位置，此时两者共速，则对物块与小车整体由水平方向动量守恒

$Mv_2=2Mv_4$

由能量守恒定律

$\frac{1}{2}Mv_2^2=\frac{1}{2}\times 2Mv_4^2+\mu_2 Mgs+MgR$

解得 $\mu_2=0.25$

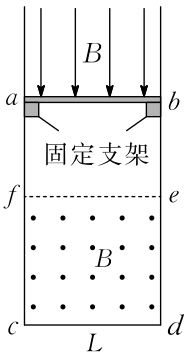
综上所述物块与水平轨道间的动摩擦因数 μ 的取值范围为 $0.25\leqslant\mu<0.4$。

15. 如图所示，一“U”型金属导轨固定在竖直平面内，一电阻不计，质量为 m 的金属棒 ab 垂直于导轨，并静置于绝缘固定支架上。边长为 L 的正方形 cdef 区域内，存在垂直于纸面向外的匀强磁场。支架上方的导轨间，存在竖直向下的匀强磁场。两磁场的磁感应强度大小 B 随时间的变化关系均为 $B=kt$（SI），k 为常数（$k>0$）。支架上方的导轨足够长，两边导轨单位长度的电阻均为 r，下方导轨的总电阻为 R。$t=0$ 时，对 ab 施加竖直向上的拉力，恰使其向上做加速度大小为 a 的匀加速直线运动，整个运动过程中 ab 与两边导轨接触良好。已知 ab 与导轨间动摩擦因数为 μ，重力加速度大小为 g。不计空气阻力，两磁场互不影响。

(1) 求通过面积 S_{cdef} 的磁通量大小随时间 t 变化的关系式，以及感应电动势的大小，并写出 ab 中电流的方向；

(2) 求 ab 所受安培力的大小随时间 t 变化的关系式；

(3) 求经过多长时间，对 ab 所施加的拉力达到最大值，并求此最大值。



(1) kL^2t，kL^2，从 a 流向 b　(2) $F_{安}=\frac{k^2L^3t}{R+art^2}$　(3) $\frac{\mu k^2L^3}{2\sqrt{Rar}}+m(g+a)$

（1）通过面积 S_{cdef} 的磁通量大小随时间 t 变化的关系式为

$\Phi = BS = kL^2t$

根据法拉第电磁感应定律得

$E = n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = kL^2$

由楞次定律可知 ab 中的电流从 a 流向 b。

（2）根据左手定则可知 ab 受到的安培力方向垂直导轨面向里，大小为 $F_{安} = BIL$

其中 $B = kt$

设金属棒向上运动的位移为 x，则根据运动学公式 $x = \frac{1}{2}at^2$

所以导轨上方的电阻为 $R' = 2xr$

由闭合电路欧姆定律得 $I = \frac{E}{R+2xr}$

联立得 ab 所受安培力的大小随时间 t 变化的关系式为

$F_{安} = \frac{k^2L^3t}{R+art^2}$

（3）由题知 $t = 0$ 时，对 ab 施加竖直向上的拉力，恰使其向上做加速度大小为 a 的匀加速直线运动，则对 ab 受力分析由牛顿第二定律

$F - mg - \mu F_{安} = ma$

其中 $F_{安} = \frac{k^2L^3t}{R+art^2}$

联立可得

$F = \frac{\mu k^2L^3t}{R+art^2} + m(g+a) = \frac{\mu k^2L^3}{\frac{R}{t}+art} + m(g+a)$

根据均值不等式可知，当 $\frac{R}{t} = art$ 时，F 有最大值，故解得 $t = \sqrt{\frac{R}{ar}}$

F 的最大值为 $F_m = \frac{\mu k^2L^3}{2\sqrt{Rar}} + m(g+a)$。