2020 年 1 月浙江

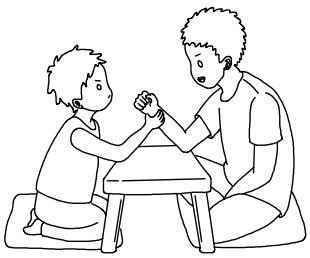
本试卷 g 均取 $10\,\mathrm{m/s^2}$。

1. 以下物理量为矢量，且单位是国际单位制基本单位的是 (B)

A. 电流、A　　B. 位移、m　　C. 功、J　　D. 磁感应强度、T

> 电流是标量，其单位为国际单位制中的基本单位 A，故 A 错误；位移是矢量，其单位为国际单位制中的基本单位 m，故 B 正确；功是标量，其单位不是国际单位制中的基本单位，故 C 错误；磁感应强度是矢量，其单位不是国际单位制中的基本单位，故 D 错误。

2. 如图所示，一对父子掰腕子，父亲让儿子获胜。若父亲对儿子的力记为 F_1，儿子对父亲的力记为 F_2，则 (B)



A. $F_2 > F_1$　　B. F_1 和 F_2 大小相等

C. F_1 先于 F_2 产生　　D. F_1 后于 F_2 产生

> 由牛顿第三定律知，F_1、F_2 大小相等，且同时产生，故 B 正确，A、C、D 错误。

3. 如图所示，新中国成立 70 周年阅兵仪式上，国产武装直升机排列并保持“70”字样编队从天安门上空整齐飞过。甲、乙分别是编队中的两架直升机，则 (D)



A. 以甲为参考系，乙是运动的

B. 以乙为参考系，甲是运动的

C. 以甲为参考系，坐在观众席上的观众都是静止的

D. 以乙为参考系，“70”字样编队中所有直升机都是静止的

直升机编队保持“70”字样飞行，则以甲为参考系，甲、乙间没有位置的改变，故乙是相对静止的；同理以乙为参考系，甲是静止的，故 A、B 错误。以甲为参考系，坐在观众席上的观众都是运动的，故 C 错误。以乙为参考系，“70”字样编队中所有直升机都是静止的，故 D 正确。

4. 下列说法正确的是 (D)

A. α 射线的穿透能力比 γ 射线强

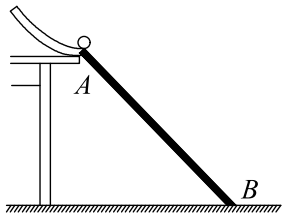
B. 天然放射现象说明原子具有复杂的结构

C. 核聚变中平均每个核子放出的能量比裂变中平均每个核子的小

D. 半衰期跟放射性元素以单质或化合物形式存在无关

α 射线的穿透能力比 γ 射线弱，故 A 错误；天然放射现象说明原子核具有复杂的结构，故 B 错误；核聚变中平均每个核子放出的能量比裂变中平均每个核子的大，故 C 错误；半衰期只与原子核的内部结构有关，与放射性元素以单质或化合物形式存在无关，故 D 正确。

5. 如图所示，钢球从斜槽轨道末端以 v_0 的水平速度飞出，经过时间 t 落在斜靠的挡板 AB 中点。若钢球以 $2v_0$ 的速度水平飞出，则 (C)



A. 下落时间仍为 t

B. 下落时间为 $2t$

C. 下落时间为 $\sqrt{2}t$

D. 落在挡板底端 B 点

设 A、B 两点的水平位移为 $2x$，则钢球以 v_0 的速度水平抛出，下落时间为 t，水平位移为 $x = v_0t$；若钢球以 $2v_0$ 的速度水平抛出，下落时间 t 时，其水平位移为 $x' = 2v_0t = 2x$，即 t 时刻钢球在 B 点正上方，故钢球会落在挡板底端 B 点的右侧，故 D 错误。设 A、B 两点间竖直位移为 H，由 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 得，钢球以 v_0 的速度水平抛出的下落时间 $t = \sqrt{\frac{H}{g}}$，则钢球以 $2v_0$ 的速度水平抛出时下落时间 $t' = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{2}t$，故 C 正确，A、B 错误。

6. 小明在一根细橡胶管中灌满食盐水，两端用粗铜丝塞住管口，形成一段封闭的盐水柱。他将此盐水柱接到电源两端，电源电动势和内阻恒定。握住盐水柱两端将它水平均匀拉伸到原长的 1.2 倍，若忽略温度对电阻率的影响，则此盐水柱 (B)

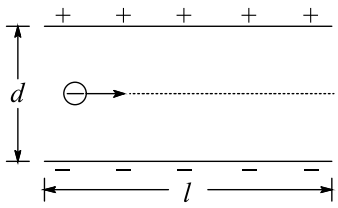
A. 通过的电流增大

B. 两端的电压增大

C. 阻值增大为原来的 1.2 倍　　D. 电功率增大为原来的 1.44 倍

> 将盐水柱拉长，盐水柱的电阻变大，由闭合电路欧姆定律知，通过盐水柱的电流减小，故 A 错误；由 $U=E-Ir$ 知，盐水柱两端的电压增大，故 B 正确；盐水柱的体积不变，将其水平均匀拉伸到原长的 1.2 倍，横截面积变为原来的 $\frac{1}{1.2}$，由 $R=\rho\frac{L}{S}$ 知，阻值增大为原来的 1.44 倍，故 C 错误；由 $P=I^2R$ 知，电流减小、电阻增大为原来的 1.44 倍，其电功率未增大为原来的 1.44 倍，故 D 错误。

7. 如图所示，电子以某一初速度沿两块平行板的中线方向射入偏转电场中，已知极板长度 l，间距 d，电子质量 m，电荷量 e。若电子恰好从极板边缘射出电场，由以上条件可以求出的是 (B)

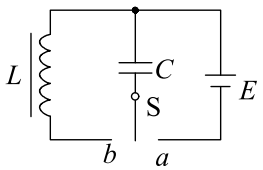


A. 偏转电压　　B. 偏转的角度

C. 射出电场速度　　D. 电场中运动的时间

> 设偏转电压为 U，初速度为 v_0，电子做类平抛运动，有 $l=v_0t$，$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$，$e\frac{U}{d}=ma$，由以上各式解得 $U=\frac{md^2v_0^2}{el^2}$，由于初速度 v_0 未知，故无法求出偏转电压 U，故 A 错误；$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{at}{v_0}=\frac{d}{l}$，故可求出偏转角度，故 B 正确；由动能定理得 $e\frac{U}{2}=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $v=\sqrt{1+\frac{d^2}{l^2}}v_0$，由于初速度 v_0 未知，故无法求出电子射出电场的速度 v，故 C 错误；电子在电场中的运动时间 $t=\frac{l}{v_0}$，由于初速度 v_0 未知，故无法求出 t，故 D 错误。

8. 如图所示，单刀双掷开关 S 先打到 a 端让电容器充满电。$t=0$ 时开关 S 打到 b 端，$t=0.02\,\mathrm{s}$ 时 LC 回路中电容器下极板带正电荷且电荷量第一次达到最大值。则 (C)



A. LC 回路的周期为 0.02 s

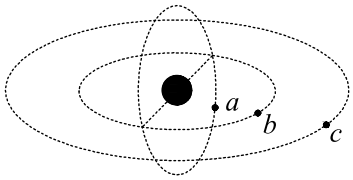
B. LC 回路的电流最大时电容器中电场能最大

C. $t=1.01\,\mathrm{s}$ 时线圈中磁场能最大

D. $t=1.01\,\mathrm{s}$ 时回路中电流沿顺时针方向

开关 S 打到 a 端时电容器充电，电容器上极板带正电；开关打到 b 端后，$t = 0.02\,\mathrm{s}$ 时 LC 回路中电容器下极板带正电荷且电荷量第一次达到最大值，则该过程中电容器先放电后充电，为半个周期，故 LC 回路的周期 $T = 2t = 0.04\,\mathrm{s}$，故 A 错误；LC 回路的电流最大时电容器中电场能为零，故 B 错误；$t = 1.01\,\mathrm{s} = 25T + \frac{1}{4}T$，此时电容器放电完毕，线圈中磁场能最大，回路中电流方向沿逆时针方向，故 C 正确、D 错误。

9. 如图所示，卫星 a、b、c 沿圆形轨道绕地球运行。a 是极地轨道卫星，在地球两极上空约 1000 km 处运行；b 是低轨道卫星，距地球表面高度与 a 相等；c 是地球同步卫星，则 (C)

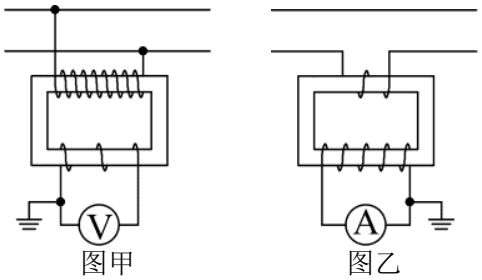


A. a、b 的周期比 c 大　　B. a、b 的向心力一定相等

C. a、b 的速度大小相等　　D. a、b 的向心加速度比 c 小

由万有引力定律得 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得卫星的运动周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，c 的轨道半径最大，故 c 的周期比 a、b 的周期大，故 A 错误；由万有引力定律知，向心力 $F = G\frac{Mm}{r^2}$，a、b 的质量大小关系未知，故向心力不一定相等，故 B 错误；由万有引力定律得 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$，解得卫星的速度大小 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$，a、b 的轨道半径相等，故速度大小相等，故 C 正确；由万有引力定律得 $G\frac{Mm}{r^2} = ma$，解得卫星的向心加速度大小 $a = \frac{GM}{r^2}$，c 的轨道半径最大，故 c 的向心加速度比 a、b 的小，故 D 错误。

10. 如图 甲、乙 所示，两图中的理想变压器以不同的方式接在高压电路中。图 甲 中变压器原副线圈的匝数比为 k_1，电压表读数为 U，图 乙 中变压器原副线圈的匝数比为 k_2，电流表读数为 I。则图 甲 中高压线电压和图 乙 中高压线电流分别为 (B)

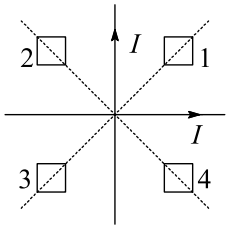


图甲　　图乙

A. k_1U，k_2I　　B. k_1U，I/k_2　　C. U/k_1，k_2I　　D. U/k_1，I/k_2

由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得，图 甲 中高压线电压为 $U' = k_1U$；由 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 得，图 乙 中高压线电流 $I' = \frac{I}{k_2}$，故 B 正确。

11. 如图所示，在光滑绝缘水平面上，两条固定的相互垂直彼此绝缘的导线通以大小相同的电流 I。在角平分线上，对称放置四个相同的正方形金属框。当电流在相同时间间隔内增加相同量，则 (B)



A. 1、3 线圈静止不动，2、4 线圈沿着对角线向内运动

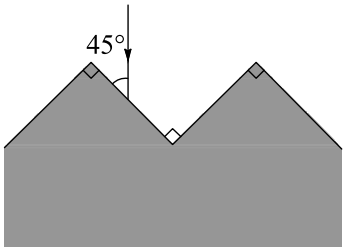
B. 1、3 线圈静止不动，2、4 线圈沿着对角线向外运动

C. 2、4 线圈静止不动，1、3 线圈沿着对角线向内运动

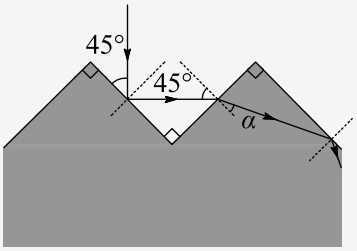
D. 2、4 线圈静止不动，1、3 线圈沿着对角线向外运动

> 由安培定则及磁场的叠加知，穿过 1、3 线框的磁通量为零，穿过 2 线框的磁通量垂直纸面向外，穿过 4 线框的磁通量垂直纸面向里。当电流在相同时间内增加量相同时，由楞次定律知，1、3 线圈静止不动，2、4 线圈沿对角线向外运动，故 B 正确。

12. 如图所示，一束光与某材料表面成 $45°$ 角入射，每次反射的光能量为入射光能量的 k 倍（$0 < k < 1$）。若这束光最终进入材料的能量为入射光能量的（$1 - k^2$）倍，则该材料折射率至少为 (A)

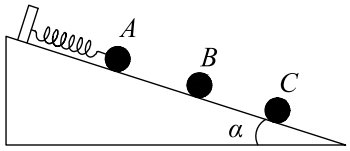


A. $\frac{\sqrt{6}}{2}$　　B. $\sqrt{2}$　　C. 1.5　　D. 2

> 光最终进入材料的能量一定，故光最终发生全反射。光路图如图所示，根据折射定律得 $n = \frac{\sin 45°}{\sin \alpha}$，由 $\sin(90° - \alpha) \geq \frac{1}{n}$，由以上两式解得 $n \geq \frac{\sqrt{6}}{2}$，故 A 正确。
>
> 
>

13. 如图所示，在倾角为 α 的光滑绝缘斜面上固定一个挡板，在挡板上连接一根劲度系数为

k_0 的绝缘轻质弹簧，弹簧另一端与 A 球连接。A、B、C 三小球的质量均为 M，$q_A = q_0 > 0$，$q_B = -q_0$，当系统处于静止状态时，三小球等间距排列。已知静电力常量为 k，则（A）



A. $q_C = \frac{4}{7}q_0$

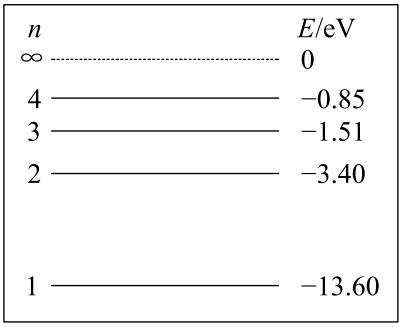
B. 弹簧伸长量为 $\frac{Mg\sin\alpha}{k_0}$

C. A 球受到的库仑力大小为 $2Mg$

D. 相邻两小球间距为 $q_0\sqrt{\frac{3k}{7Mg}}$

设小球间的距离为 r，对 B 球，由平衡条件得 $k\frac{q_0^2}{r^2} = k\frac{q_0q_C}{r^2} + Mg\sin\alpha$；对 C 球，由平衡条件得 $k\frac{q_0q_C}{(2r)^2} + Mg\sin\alpha = k\frac{q_0q_C}{r^2}$，联立解得 $q_C = \frac{4}{7}q_0$，$r = q_0\sqrt{\frac{3k}{7Mg\sin\alpha}}$，故 A 正确、D 错误；A、B、C 球作为整体，由平衡条件得 $k_0x = 3Mg\sin\alpha$，解得弹簧的伸长量 $x = \frac{3Mg\sin\alpha}{k_0}$，故 B 错误；对 A 球，由平衡条件得 $k_0x = Mg\sin\alpha + F$，解得 A 球受到的库仑力大小 $F = 2Mg\sin\alpha$，故 C 错误。

14. 由玻尔原子模型求得氢原子能级如图所示，已知可见光的光子能量在 1.62 eV 到 3.11 eV 之间，则（CD）



A. 氢原子从高能级向低能级跃迁时可能辐射出 γ 射线

B. 氢原子从 $n = 3$ 的能级向 $n = 2$ 的能级跃迁时会辐射出红外线

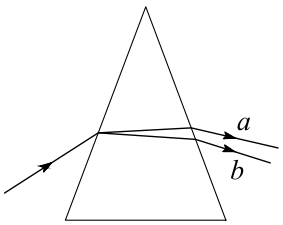
C. 处于 $n = 3$ 能级的氢原子可以吸收任意频率的紫外线并发生电离

D. 大量氢原子从 $n = 4$ 能级向低能级跃迁时可辐射出 2 种频率的可见光

γ 射线是原子核受激发产生的，氢原子跃迁不能辐射出 γ 射线，故 A 错误；氢原子从 $n = 3$ 能级向 $n = 2$ 能级跃迁时辐射出光子的能量为 $\Delta E = -1.51\,\text{eV} - (-3.4\,\text{eV}) = 1.89\,\text{eV}$，而可见光的光子能量在 1.62 eV 到 3.11 eV 之间，故该跃迁不会辐射出红外线，故 B 错误；处于 $n = 3$ 能级的氢原子的电离能为 1.51 eV，紫外线的能量大于 3.11 eV，故该氢原子可吸收任意频率的紫外线并发生电离，故 C 正确；从 $n = 4$ 能级到 $n = 3$ 能级辐射光子的能量 $\Delta E_1 = -0.85\,\text{eV} - (-1.51\,\text{eV}) = 0.66\,\text{eV}$，从 $n = 4$ 能级到 $n = 2$ 能级辐射光子的能量 $\Delta E_2 = -0.85\,\text{eV} - (-3.4\,\text{eV}) = 2.55\,\text{eV}$，从 $n = 4$ 能级到 $n = 1$ 能级辐射光子的能量 $\Delta E_3 = -0.85\,\text{eV} - (-13.6\,\text{eV}) = 12.75\,\text{eV}$，从

> $n=3$ 能级到 $n=2$ 能级辐射光子的能量 $\Delta E_4=-1.51\,\mathrm{eV}-(-3.4\,\mathrm{eV})=1.89\,\mathrm{eV}$，从 $n=3$ 能级到 $n=1$ 能级辐射光子的能量 $\Delta E_5=-1.51\,\mathrm{eV}-(-13.6\,\mathrm{eV})=12.09\,\mathrm{eV}$，从 $n=2$ 能级到 $n=1$ 能级辐射光子的能量 $\Delta E_6=-3.4\,\mathrm{eV}-(-13.6\,\mathrm{eV})=10.2\,\mathrm{eV}$，故可辐射出 2 种频率的可见光，故 D 正确。

15. 如图所示，波长为 λ_a 和 λ_b 的两种单色光射入三棱镜，经折射后射出两束单色光 a 和 b，则这两束光 (BD)



A. 照射同一种金属均有光电子逸出，光电子最大初动能 $E_{ka}>E_{kb}$

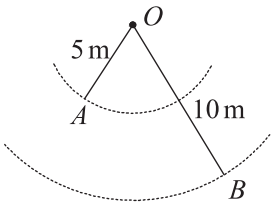
B. 射向同一双缝干涉装置，其干涉条纹间距 $\Delta x_a>\Delta x_b$

C. 在水中的传播速度 $v_a<v_b$

D. 光子动量 $p_a<p_b$

> 由题图知，三棱镜对 a 光的偏折程度小，故三棱镜对 a 光的折射率小，a 光的频率小，由光电效应方程 $E_{\mathrm{km}}=h\nu-W_{逸}$ 知，照射同一种金属时逸出的光电子最大初动能 $E_{ka}<E_{kb}$，故 A 错误；a 光的频率小、波长长，由 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 知，射向同一双缝干涉装置时其干涉条纹间距 $\Delta x_a>\Delta x_b$，故 B 正确；由 $n=\frac{c}{v}$ 知，在水中的传播速度 $v_a>v_b$，故 C 错误；由 $p=\frac{h}{\lambda}$ 知，光子动量 $p_a<p_b$，故 D 正确。

16. 如图所示，波源 O 垂直于纸面做简谐运动，所激发的横波在均匀介质中向四周传播，图中虚线表示两个波面。$t=0$ 时，离 O 点 5 m 的 A 点开始振动；$t=1\,\mathrm{s}$ 时，离 O 点 10 m 的 B 点也开始振动，此时 A 点第五次回到平衡位置，则 (AB)



A. 波的周期为 $0.4\,\mathrm{s}$

B. 波的波长为 $2\,\mathrm{m}$

C. 波速为 $5\sqrt{3}\,\mathrm{m/s}$

D. $t=1\,\mathrm{s}$ 时 AB 连线上有 4 个点处于最大位移

$t=1\,\mathrm{s}$ 时 A 点第五次回到平衡位置，则 $\frac{5}{2}T=1\,\mathrm{s}$，解得 $T=0.4\,\mathrm{s}$，故 A 正确；波的传播速度 $v=\frac{\overline{OB}-\overline{OA}}{t}=5\,\mathrm{m/s}$，故 C 错误；波长 $\lambda=vT=2\,\mathrm{m}$，故 B 正确；因为题中未明确给出 A、B 两点具体位置关系，故 AB 间处于最大位移处的质点个数不确定，但一定不少于 5 个，故 D 错误。

17. 在“探究加速度与力、质量的关系”和用橡皮筋“探究做功与物体速度变化的关系”实验中

(1) 都是通过分析纸带上的点来测量物理量，下列说法正确的是 _____（多选）

A．都需要分析打点计时器打下的第一个点

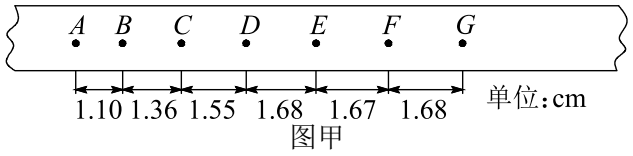
B．都不需要分析打点计时器打下的第一个点

C．一条纸带都只能获得一组数据

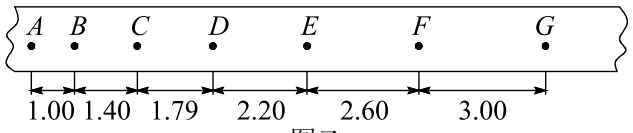
D．一条纸带都能获得多组数据

(2) 如图是两条纸带的一部分，A、B、C、…、G 是纸带上标出的计数点，每两个相邻的计数点之间还有 4 个打出的点未画出。其中图 _____（填“甲”或“乙”）所示的是用橡皮筋“探究做功与物体速度变化的关系”的实验纸带。“探究加速度与力、质量的关系”实验中，小车的加速度大小 $a=$_____ $\mathrm{m/s^2}$（保留 2 位有效数字）。

(3) 在用橡皮筋“探究做功与物体速度变化的关系”实验中，平衡阻力后，小车与橡皮筋组成的系统在橡皮筋恢复形变前机械能 _____（填“守恒”或“不守恒”）。



图甲



图乙

(1) BC (2) 甲，0.40 (3) 不守恒

（1）“探究加速度与力、质量的关系”实验中利用纸带求小车的加速度，“探究做功与物体速度变化的关系”实验中利用纸带求小车的最大速度，故都不需要分析打点计时器打下的第一个点，故 B 正确、A 错误；一条纸带都只能获得一组数据，故 C 正确、D 错误。

（2）“探究做功与物体速度变化的关系”实验中，橡皮筋恢复原长后，小车做匀速直线运动，故题图 甲 是用橡皮筋“探究做功与物体速度变化的关系”的实验纸带；相邻计数点间还有 4 个点未画出，则相邻计数点间的时间间隔 $t=0.1\,\mathrm{s}$，由题图 乙 知，小车的加速度 $a=\frac{DE+EF+FG-AB-BC-CD}{(3T)^2}=\frac{0.0220+0.0260+0.0300-0.0100-0.0140-0.0179}{(3\times0.1)^2}\,\mathrm{m/s^2}\approx$

$0.40\,\mathrm{m/s^2}$。

（3）平衡阻力后，小车和橡皮筋组成的系统在橡皮筋恢复形变前受阻力作用，且阻力做功，系统机械能不守恒。

18.（1）小明同学用多用电表测量一未知电阻器的阻值。经过规范操作后，所选欧姆挡倍率及指针位置分别如图 甲、图 乙 所示，则此电阻器的阻值为 _____Ω。

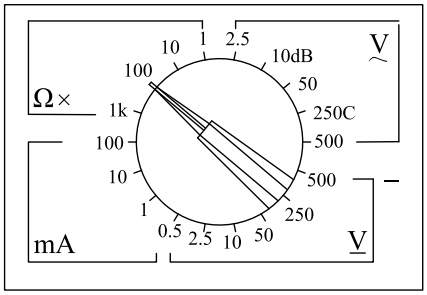
在“测绘小灯泡的伏安特性曲线”实验中：

①如图 丙 所示，已经连接了一部分电路，请在答题纸上对应位置将电路连接完整。

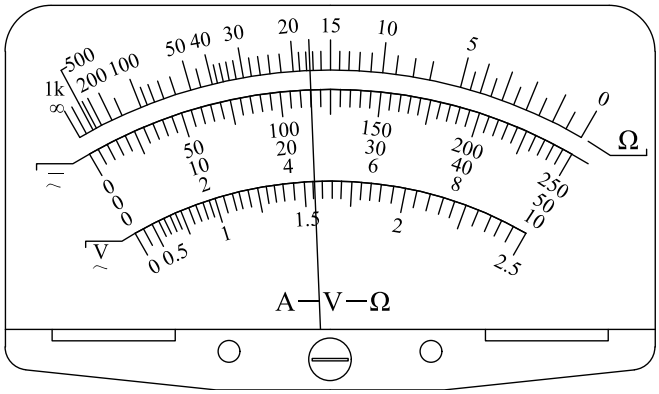
②合上开关后，测出 9 组 I、U 值，在 $I-U$ 坐标系中描出各对应点，如图 丁 所示。请在答题纸对应位置的图中画出此小灯泡的伏安特性曲线。

③与图 丁 中 P 点对应的状态，小灯泡灯丝阻值最接近 _____

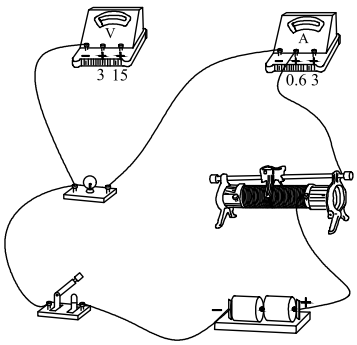
（A）16.7Ω　　（B）12.4Ω　　（C）6.2Ω

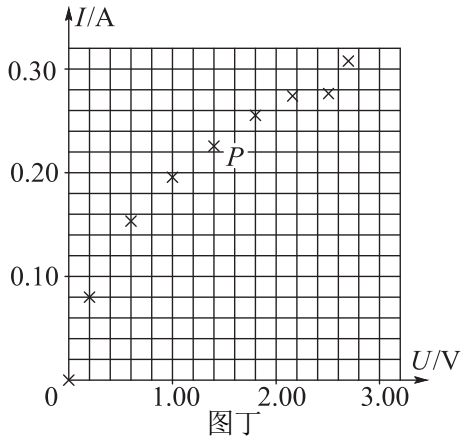


图甲



图乙


图丙

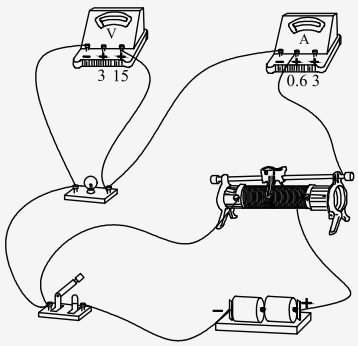


图丁

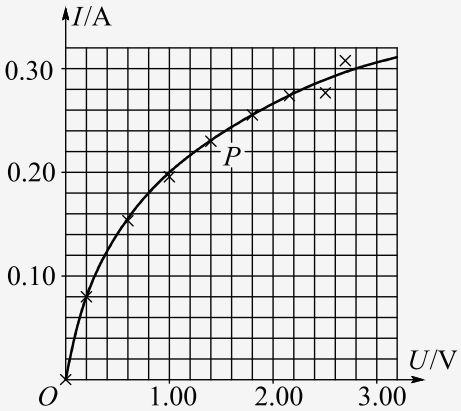
(1) 1700~1800　(2) ①连线正确；②作图正确；③ C

（1）由题图 甲、乙 知，电阻器的阻值约为 $R=17.5\times100\,\Omega=1750\,\Omega$。

（2）①连线如答图 甲 所示；②作图如答图 乙 所示；③由题图 丁 知，P 点对应电压约为 $U=1.40\,\mathrm{V}$，电流约为 $I=0.23\,\mathrm{A}$，由欧姆定律得 $R=\frac{U}{I}\approx6.1\,\Omega$，故 C 正确。



答图甲



答图乙

19. 一个无风晴朗的冬日，小明乘坐游戏滑雪车从静止开始沿斜直雪道下滑，滑行 54 m 后进入水平雪道，继续滑行 40.5 m 后减速到零。已知小明和滑雪车的总质量为 60 kg，整个滑行过程用时 10.5 s，斜直雪道倾角为 37°（$\sin 37° = 0.6$）。求小明和滑雪车

(1) 滑行过程中的最大速度 v_m 的大小；

(2) 在斜直雪道上滑行的时间 t_1；

(3) 在斜直雪道上受到的平均阻力 F_f 的大小。



雪道

(1) $v_m = 18\,\mathrm{m/s}$ (2) $t_1 = 6\,\mathrm{s}$ (3) $F_f = 180\,\mathrm{N}$

（1）由题意知，滑雪车先做匀加速运动后做匀减速运动，加速阶段与减速阶段的平均速度相同。设滑行过程中的最大速度为 v_m，则平均速度为 $\frac{v_m}{2}$，由运动学公式得 $\frac{v_m}{2}t = x_1 + x_2$，解得 $v_m = 18\,\mathrm{m/s}$。

（2）同（1），由运动学公式得 $x_1 = \frac{v_m}{2}t_1$，解得 $t_1 = 6\,\mathrm{s}$。

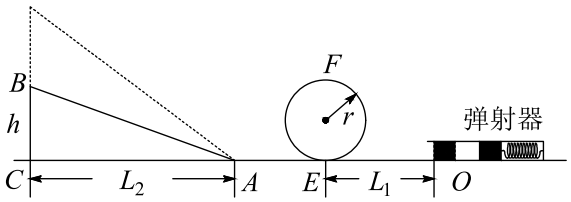
（3）设滑雪车在斜直雪道上运动时的加速度为 a，则 $a = \frac{v_m}{t_1} = 3\,\mathrm{m/s^2}$，由牛顿第二定律得 $mg\sin 37° - F_f = ma$，解得 $F_f = 180\,\mathrm{N}$。

20. 如图所示，一弹射游戏装置由安装在水平台面上的固定弹射器、竖直圆轨道（在最低点 E 分别与水平轨道 EO 和 EA 相连）、高度 h 可调的斜轨道 AB 组成。游戏时滑块从 O 点弹出，经过圆轨道并滑上斜轨道。全程不脱离轨道且恰好停在 B 端则视为游戏成功。已知圆轨道半径 $r = 0.1\,\mathrm{m}$，OE 长 $L_1 = 0.2\,\mathrm{m}$，AC 长 $L_2 = 0.4\,\mathrm{m}$，圆轨道和 AE 光滑，滑块与 AB、OE 之间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$。滑块质量 $m = 2\,\mathrm{g}$ 且可视为质点，弹射时从静止释放且弹簧的弹性势能完全转化为滑块动能。忽略空气阻力，各部分平滑连接。求：

(1) 滑块恰好能过圆轨道最高点 F 时的速度 v_F 大小；

(2) 当 $h = 0.1\,\mathrm{m}$ 且游戏成功时，滑块经过 E 点对圆轨道的压力 F_N 大小及弹簧弹性势能 E_{p0}；

(3) 要使游戏成功，弹簧的弹性势能 E_p 与高度 h 之间满足的关系。



(1) $v_F = 1\,\mathrm{m/s}$　(2) $F_N = 0.14\,\mathrm{N}$，$E_{p0} = 8.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{J}$　(3) $E_p = 2 \times 10^{-3}(10h + 3)\,\mathrm{J}$，其中 $0.05\,\mathrm{m} \le h \le 0.2\,\mathrm{m}$

（1）滑块恰好经过最高点 F 的条件为重力提供向心力，由牛顿第二定律得 $mg = m\frac{v_F^2}{r}$，解得 $v_F = 1\,\mathrm{m/s}$。

（2）滑块从 E 到 B，由动能定理得 $-mgh - \mu mgL_2 = 0 - \frac{1}{2}mv_E^2$；设滑块在 E 点受到的支持力为 F_N，由牛顿第二定律得 $F_N - mg = m\frac{v_E^2}{r}$，联立解得 $F_N = 0.14\,\mathrm{N}$。滑块从 O 到 B 点，由动能定理得 $E_{p0} - mgh - \mu mg(L_1 + L_2) = 0$，解得 $E_{p0} = 8.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{J}$。

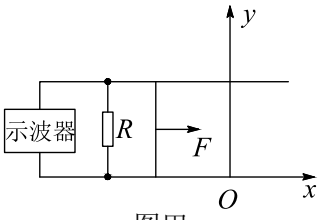
（3）由功能关系得，滑块恰能过 F 点的弹性势能为 $E_{p1} = 2mgr + \mu mgL_1 + \frac{1}{2}mv_F^2 = 7.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{J}$；滑块运动到 B 点减速到 0，由功能关系得 $E_{p1} - mgh_1 - \mu mg(L_1 + L_2) = 0$，解得 $h_1 = 0.05\,\mathrm{m}$。滑块恰好能停在 B 点，则 $\mu mg\cos\theta = mg\sin\theta$，解得 $\tan\theta = 0.5$，此时 $h_2 = 0.2\,\mathrm{m}$。滑块从 O 到 B 点，由功能关系得 $E_p = mgh + \mu mg(L_1 + L_2) = 2 \times 10^{-3}(10h + 3)\,\mathrm{J}$，其中 $0.05\,\mathrm{m} \le h \le 0.2\,\mathrm{m}$。

21. 如图 甲 所示，在 xOy 水平面内，固定放置着间距为 l 的两平行金属直导轨，其间连接有阻值为 R 的电阻，电阻两端连接示波器（内阻可视为无穷大），可动态显示电阻 R 两端的电压。两导轨间存在大小为 B、方向垂直导轨平面的匀强磁场。$t = 0$ 时一质量为 m、长为 l 的导体棒在外力 F 作用下从 $x = x_0$ 位置开始做简谐运动，观察到示波器显示的电压随时间变化的波形是如图 乙 所示的正弦曲线。取 $x_0 = -\frac{U_m T}{2\pi Bl}$，则简谐运动的平衡位置在坐标原点 O。不计摩擦阻力和其它电阻，导体棒始终垂直导轨运动。（提示：可以用 $F - x$ 图象下的“面积”代表力 F 所做的功）

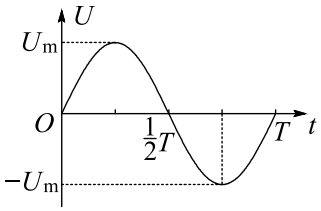
(1) 求导体棒所受到的安培力 F_A 随时间 t 的变化规律；

(2) 求在 0 至 $0.25T$ 时间内外力 F 的冲量；

(3) 若 $t = 0$ 时外力 $F_0 = 1\,\mathrm{N}$，$l = 1\,\mathrm{m}$，$T = 2\pi\,\mathrm{s}$，$m = 1\,\mathrm{kg}$，$R = 1\,\Omega$，$U_m = 0.5\,\mathrm{V}$，$B = 0.5\,\mathrm{T}$，求外力与安培力大小相等时棒的位置坐标和速度。



图甲



图乙

(1) $F_A=-\frac{BlU_m}{R}\sin\frac{2\pi}{T}t$ (2) $I_F=\frac{BlU_mT}{2\pi R}+\frac{mU_m}{Bl}$ (3) $x=0$，$v=\pm1\,\mathrm{m/s}$；$x_1'=\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m}$，$v_1'=\frac{2}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m/s}$；$x_2'=-\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m}$，$v_2'=-\frac{2}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m/s}$

（1）由显示的波形可得 $U=U_m\sin\frac{2\pi}{T}t$，回路中的电流大小为 $I=\frac{U_m}{R}\sin\frac{2\pi}{T}t$，导体棒受到的安培力大小为 $F_A=-BIl=-\frac{BlU_m}{R}\sin\frac{2\pi}{T}t$。

（2）由安培力产生过程可得安培力的冲量为 $I_A=Bl\Delta q=-\frac{B^2|x_0|l^2}{R}$；由（1）知 $U=U_m\sin\frac{2\pi}{T}t$，由法拉第电磁感应定律得 $U=Blv$，解得 $v=\frac{U}{Bl}$，即 $v=\frac{U_m}{Bl}\sin\frac{2\pi}{T}t$；从 0 至 $0.25T$，由动量定理得 $I_F+I_A=mv_m$，代入解得 $I_F=\frac{BlU_mT}{2\pi R}+\frac{mU_m}{Bl}$。

（3）由题意知，导体棒做简谐运动，则有 $F_{回复}=F_A+F=-kx$ ①。由题给条件知 $F_0=-kx_0$，解得 $k=1$。当 $F_A=-F$ 时，代入①可知 $x=0$，此时导体棒处于平衡位置，导体棒的速度取最大值，即 $v=\pm v_m=\pm1\,\mathrm{m/s}$；当 $F_A=F$ 时，设此时导体棒的位移为 x'、速度为 v'，代入①有 $F_A=-\frac{1}{2}kx'=-\frac{1}{2}x'$，又 $F_A=-BIl=-\frac{B^2l^2v}{R}=-\frac{1}{4}v$，联立化简得 $2x'=v'$ ②。设导体棒从 x_0 运动至 x' 时，回复力对导体棒做的功为 W，$F_{回复}$ 与 x 成线性关系，由提示知 $F-x$ 图象下的“面积”代表 F 所做的功（也可理解成平均力做功），则 $W=\frac{kx_0+kx'}{2}(x_0-x')=\frac{1}{2}k(x_0^2-x'^2)$；导体棒从 x_0 运动至 x' 时，由动能定理得 $\frac{1}{2}mv'^2=\frac{1}{2}k(x_0^2-x'^2)$ ③，联立②③解得 $x_1'=\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m}$ 或 $x_2'=-\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m}$，当 $x_1'=\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m}$ 时，$v_1'=\frac{2}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m/s}$；当 $x_2'=-\frac{1}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m}$ 时，$v_2'=-\frac{2}{\sqrt{5}}\,\mathrm{m/s}$。

22. 通过测量质子在磁场中的运动轨迹和打到探测板上的计数率（即打到探测板上质子数与衰变产生总质子数 N 的比值），可研究中子（${}_0^1\mathrm{n}$）的 β 衰变。中子衰变后转化成质子和电子，同时放出质量可视为零的反中微子 $\bar{\nu}$。如图所示，位于 P 点的静止中子经衰变可形成一个质子源，该质子源在纸面内各向均匀地发射 N 个质子。在 P 点下方放置有长度 $L=1.2\,\mathrm{m}$ 以 O 为中点的探测板，P 点离探测板的垂直距离 OP 为 a。在探测板的上方存在方向垂直纸面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。

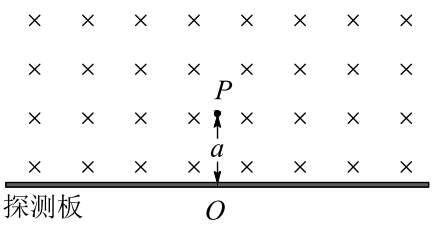
已知电子质量 $m_e=9.1\times10^{-31}\,\mathrm{kg}=0.51\,\mathrm{MeV/c^2}$，中子质量 $m_n=939.57\,\mathrm{MeV/c^2}$，质子质量 $m_p=938.27\,\mathrm{MeV/c^2}$（$c$ 为光速，不考虑粒子之间的相互作用）。

若质子的动量 $p=4.8\times10^{-21}\,\mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}=3\times10^{-8}\,\mathrm{MeV\cdot s\cdot m^{-1}}$。

(1) 写出中子衰变的核反应式，求电子和反中微子的总动能（以 MeV 为能量单位）；

(2) 当 $a=0.15\,\mathrm{m}$，$B=0.1\,\mathrm{T}$ 时，求计数率；

(3) 若 a 取不同的值，可通过调节 B 的大小获得与（2）问中同样的计数率，求 B 与 a 的关系并给出 B 的取值范围。

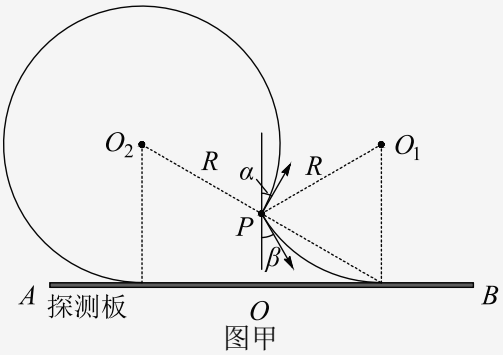


(1) ${}_0^1\mathrm{n} \to {}_1^1\mathrm{p} + {}_{-1}^0\mathrm{e} + \overline{\nu}_e$，$E_e + E_\nu = 0.7468\,\mathrm{MeV}$　(2) $\eta = \frac{2}{3}$　(3) $B = \frac{3}{200a}\,\mathrm{T}$，$B \geq \frac{\sqrt{15}}{40}\,\mathrm{T}$

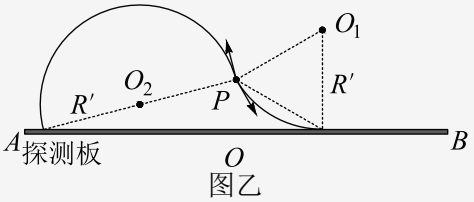
（1）由题意知，中子衰变的核反应方程为 ${}_0^1\mathrm{n} \to {}_1^1\mathrm{p} + {}_{-1}^0\mathrm{e} + \overline{\nu}_e$。中子衰变时的质量亏损为 $\Delta m = m_n - (m_p + m_e)$，由质能方程得 $\Delta E_d = [m_n - (m_p + m_e)]c^2 = 0.79\,\mathrm{MeV}$。由动量与动能的关系知，质子的动能为 $E_{kp} = \frac{p^2}{2m_p} = 0.0432\,\mathrm{MeV}$。由能量守恒得 $E_e + E_{\overline{\nu}_e} = \Delta E_d - E_{kp} = 0.7468\,\mathrm{MeV}$。

（2）质子运动时，由洛伦兹力提供向心力得质子运动的轨迹半径为 $qvB = m\frac{v^2}{R}$，解得 $R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{eB} = 0.3\,\mathrm{m}$，由题意知此时满足 $R = 2a$；如图 甲 所示，质子打到探测板的两种临界情况对应发射角度分别为 $\alpha = \beta = \frac{\pi}{6}$，利用打到探测板与未打到探测板上的粒子的发射角度，可得质子计数率为 $\eta = \frac{\frac{4\pi}{3}}{2\pi} = \frac{2}{3}$。

（3）为确保计数率仍为 $\eta = \frac{2}{3}$，则仍需满足 $R' = 2a$，即 $R' = \frac{p}{eB'} = 2a$，解得 $B = \frac{3}{200a}\,\mathrm{T}$。将图 甲 中的大圆轨迹绕 P 点逆时针旋转，若探测板足够长，轨迹均可以与探测板相交，即质子可以打到探测板上，当交点与 P 的连线长度等于直径时为临界情况，如图 乙 所示，恰能打到探测板左端的条件由几何关系得 $4R_{\max}^2 - a^2 = \frac{L^2}{4}$，又 $R_{\max} = 2a$，联立解得 $B \geq \frac{\sqrt{15}}{40}\,\mathrm{T}$。



图甲



图乙