2019 年天津理综

1. 2018 年 12 月 8 日，肩负着亿万中华儿女探月飞天梦想的嫦娥四号探测器成功发射，“实现人类航天器首次在月球背面巡视探测，率先在月背刻上了中国足迹”。已知月球的质量为 M、半径为 R，探测器的质量为 m，引力常量为 G，嫦娥四号探测器围绕月球做半径为 r 的匀速圆周运动时，探测器的 (A)



A. 周期为 $\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$

B. 动能为 $\frac{GMm}{2R}$

C. 角速度为 $\sqrt{\frac{Gm}{r^3}}$

D. 向心加速度为 $\frac{GM}{R^2}$

> 根据万有引力提供卫星做匀速圆周运动的向心力，有 $\frac{GMm}{r^2}=ma=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，整理得“嫦娥四号”绕月球做匀速圆周运动的周期 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$，角速度 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，向心加速度 $a_{向心}=\frac{GM}{r^2}$，速度 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，故 A 正确 CD 错误；探测器的动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{2r}$，故 B 错误。

2. 2018 年 10 月 23 日，港珠澳跨海大桥正式通车。为保持以往船行习惯，在航道处建造了单面索（所有钢索均处在同一竖直面内）斜拉桥，其索塔与钢索如图所示。下列说法正确的是 (C)



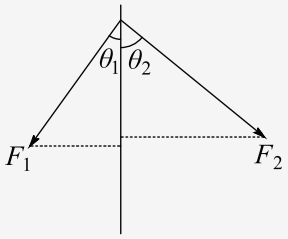
A. 增加钢索的数量可减小索塔受到的向下的压力

B. 为了减小钢索承受的拉力，可以适当降低索塔的高度

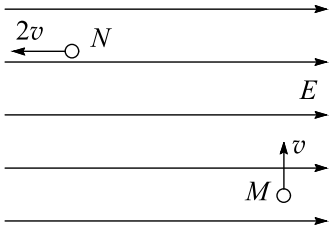
C. 索塔两侧钢索对称且拉力大小相同时，钢索对索塔的合力竖直向下

D. 为了使索塔受到钢索的合力竖直向下，索塔两侧的钢索必须对称分布

对整座桥分析可知，索塔受到向下的压力等于桥的重力，与钢索的数量无关，故 A 错误；索塔越低，左右两侧钢索间的夹角越大，根据合力一定时，两对称分力间的夹角越大，则分力越大，可得钢索承受的力将变大，故 B 错误；如图所示，若 $F_1 = F_2$，且 $\theta_1 = \theta_2$，则由平行四边形定则可得合力方向一定竖直向下，故 C 正确；只要满足 $F_1 \sin\theta_1 = F_2 \sin\theta_2$，即水平分力相互抵消时，合力方向竖直向下，两侧的钢索不一定对称，故 D 错误。



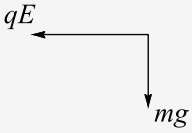
3. 如图所示，在水平向右的匀强电场中，质量为 m 的带电小球，以初速度 v 从 M 点竖直向上运动，通过 N 点时，速度大小为 $2v$，方向与电场方向相反，则小球从 M 运动到 N 的过程 (B)



A. 动能增加 $\frac{1}{2}mv^2$　　B. 机械能增加 $2mv^2$

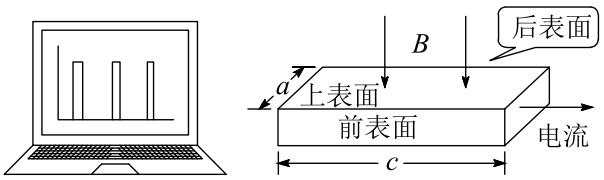
C. 重力势能增加 $\frac{3}{2}mv^2$　　D. 电势能增加 $2mv^2$

带电小球受力分析如图所示，则水平方向上有 $qE = ma_x$ ①，$2v = a_x t$ ②，竖直方向上有 $mg = ma_y$，则 $a_y = g$ ③，$v - a_y t = 0$ ④，联立①②③④可得 $qE = 2mg$ ⑤，上升的高度 $h = \frac{v^2}{2g}$ ⑥，水平位移 $x = \frac{1}{2} \cdot 2v \cdot t = 2h$ ⑦，动能增加量 $\Delta E_k = \frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}mv^2$，故 A 错误；机械能的增加量 $\Delta E = qE \cdot x = 2mg \cdot 2\frac{v^2}{2g} = 2mv^2$，故 B 正确；重力势能增加量 $\Delta E_p = mgh = \frac{1}{2}mv^2$，故 C 错误；电场力做正功，电势能减小，则 $\Delta E_{电} = -qEx = -2mv^2$，即电势能减小 $2mv^2$，故 D 错误。



4. 笔记本电脑机身和显示屏对应部位分别有磁体和霍尔元件。当显示屏开启时磁体远离霍尔元件，电脑正常工作：当显示屏闭合时磁体靠近霍尔元件，屏幕熄灭，电脑进入休眠状态。如图所示，一块宽为 a、长为 c 的矩形半导体霍尔元件，元件内的导电粒子是电荷量为 e 的自由电子，通入方向向右的电流时，电子的定向移动速度为 v。当显示屏

闭合时元件处于垂直于上表面、方向向下的匀强磁场中，于是元件的前、后表面间出现电压 U，以此控制屏幕的熄灭。则元件的 (D)

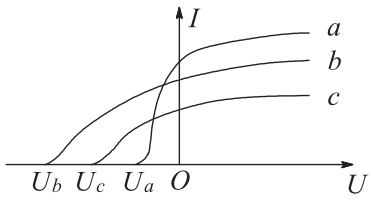


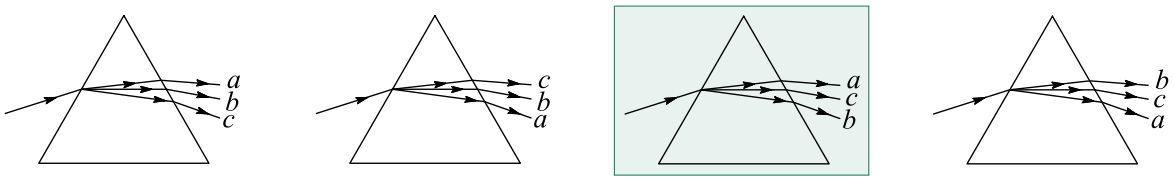
A. 前表面的电势比后表面的低　　B. 前、后表面间的电压 U 与 v 无关

C. 前、后表面间的电压 U 与 c 成正比　　D. 自由电子受到的洛伦兹力大小为 $\frac{eU}{a}$

由于导电粒子是自由电子，根据左手定则可知，电子向后表面偏转，则后表面得到电子带负电，电势较低，故 A 错误；霍尔效应达到平衡时洛伦兹力等于电场力，即 $evB = e\frac{U}{a}$，可得 $U = Bav$，故 BC 错误 D 正确。

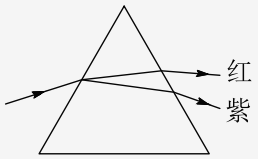
5. 如图为 a、b、c 三种光在同一光电效应装置中测得的光电流和电压的关系。由 a、b、c 组成的复色光通过三棱镜时，下述光路图中正确的是 (C)





A.　　B.　　C.　　D.

由光电效应方程得 $E_k = h\nu - W_0$ ①，其中，反向遏止电压 $U = \frac{E_k}{e}$ ②，结合题图可得 $\nu_a < \nu_c < \nu_b$，光的色散规律如图所示，从上往下依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫，即红光的折射率最小，频率最小，紫光的频率、折射率最大，故 C 正确。



6. 我国核聚变反应研究大科学装置“人造太阳”2018 年获得重大突破，等离子体中心电子温度首次达到 1 亿度，为人类开发利用核聚变能源奠定了重要的技术基础。下列关于聚变的说法正确的是 (AD)



A. 核聚变比核裂变更为安全、清洁

B. 任何两个原子核都可以发生聚变

C. 两个轻核结合成质量较大的核，总质量较聚变前增加

D. 两个轻核结合成质量较大的核，核子的比结合能增加

> 重核裂变燃料及废物都需要严格处理，防止泄漏。轻核聚变原料及生成物都是安全的，更加清洁，故 A 正确；只有较轻的一些原子核可以实现聚变反应，故 B 错误；核聚变的过程中有质量亏损，比结合能增加，放出大量的能量，故 C 错误 D 正确。

7. 一列简谐横波沿 x 轴传播，已知 x 轴上 $x_1 = 1\,\mathrm{m}$ 和 $x_2 = 7\,\mathrm{m}$ 处质点的振动图像分别如图 1、图 2 所示，则此列波的传播速率可能是（BC）

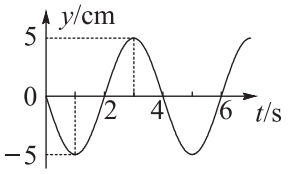


图 1

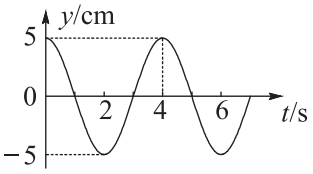
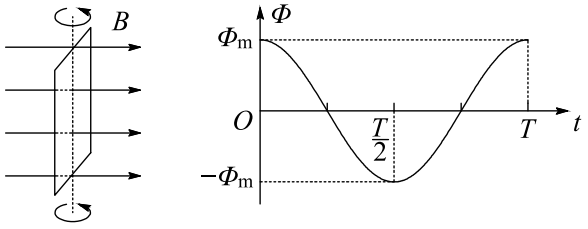


图 2

A. $7\,\mathrm{m/s}$　　B. $2\,\mathrm{m/s}$　　C. $1.2\,\mathrm{m/s}$　　D. $1\,\mathrm{m/s}$

> 由题图可知，波的周期 $T = 4\,\mathrm{s}$。若波沿 x 轴正方向传播，则由题图可知，$x = 7\,\mathrm{m}$ 处质点振动滞后 $x = 1\,\mathrm{m}$ 处质点的时间 $t = \left(n + \frac{1}{4}\right)T$（$n = 0, 1, 2, \ldots$），所以波传播的速度为 $v = \frac{x_2 - x_1}{t} = \frac{6\,\mathrm{m}}{(4n+1)\,\mathrm{s}}$（$n = 0, 1, 2, \ldots$），当 $n = 1$ 时，$v = 1.2\,\mathrm{m/s}$，故 C 正确；若波沿 x 轴负方向传播，同理有 $t = \left(n + \frac{3}{4}\right)T$（$n = 0, 1, 2, \ldots$），所以波速 $v = \frac{6\,\mathrm{m}}{(4n+3)\,\mathrm{s}}$（$n = 0, 1, 2, \ldots$），当 $n = 0$ 时 $v = 2\,\mathrm{m/s}$，故 B 正确。

8. 单匝闭合矩形线框电阻为 R，在匀强磁场中绕与磁感线垂直的轴匀速转动，穿过线框的磁通量 Φ 与时间 t 的关系图像如图所示。下列说法正确的是（BC）



A. $\frac{T}{2}$ 时刻线框平面与中性面垂直

B. 线框的感应电动势有效值为 $\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_m}{T}$

C. 线框转一周外力所做的功为 $\frac{2\pi^2\Phi_m^2}{RT}$

D. 从 $t=0$ 到 $t=\frac{T}{4}$ 过程中线框的平均感应电动势为 $\frac{\pi\Phi_m}{T}$

由题图可知，$\frac{T}{2}$ 时刻磁通量反向最大，线框仍与中性面重合，故 A 错误；角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}$，最大感应电动势 $E_{\mathrm{m}}=n\Phi_{\mathrm{m}}\omega=\frac{2\pi\Phi_{\mathrm{m}}}{T}$，则感应电动势的有效值 $U=\frac{E_{\mathrm{m}}}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_{\mathrm{m}}}{T}$，故 B 正确；线框匀速转动，外力做功转化为电能，求电能时所用电动势为有效值，所以 $W_{外}=\frac{U^2}{R}T=\frac{2\pi^2\Phi_{\mathrm{m}}^2}{RT}$，故 C 正确；$0\sim\frac{T}{4}$ 过程中平均感应电动势 $\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Phi_{\mathrm{m}}}{\frac{T}{4}}=\frac{4\Phi_{\mathrm{m}}}{T}$，故 D 错误。

9. (1) 第 26 届国际计量大会决定，质量单位“千克”用普朗克常量 h 定义，“国际千克原器”于 2019 年 5 月 20 日正式“退役”。h 的数值为 6.63×10^{-34}，根据能量子定义，h 的单位是 $\mathrm{J\cdot s}$，该单位用国际单位制中的力学基本单位表示，则为 $\mathrm{kg\cdot m^2/s}$。

(2) 某小组做测定玻璃的折射率实验，所用器材有：玻璃砖，大头针，刻度尺，圆规，笔，白纸。

i. 下列哪些措施能够提高实验准确程度 AD。

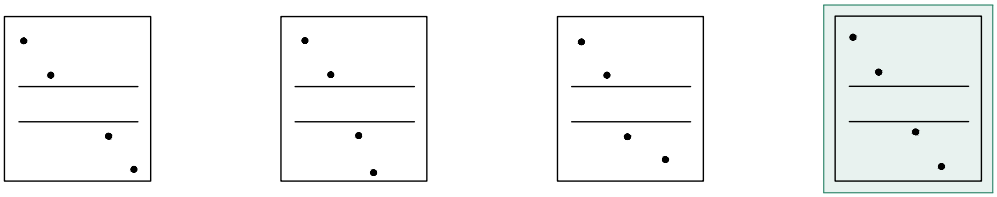
（A）选用两光学表面间距大的玻璃砖

（B）选用两光学表面平行的玻璃砖

（C）选用粗的大头针完成实验

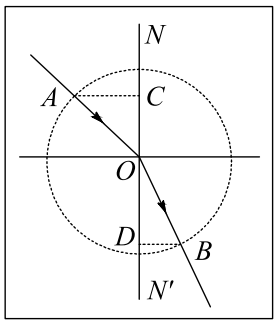
（D）插在玻璃砖同侧的两枚大头针间的距离尽量大些

ii. 该小组用同一套器材完成了四次实验，记录的玻璃砖界线和四个大头针扎下的孔洞如下图所示，其中实验操作正确的是 D。



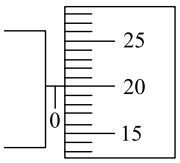
A. B. C. D.

iii. 该小组选取了操作正确的实验记录，在白纸上画出光线的径迹，以入射点 O 为圆心作圆，与入射光线、折射光线分别交于 A、B 点，再过 A、B 点作法线 NN′ 的垂线，垂足分别为 C、D 点，如图所示，则玻璃的折射率 $n=\frac{AC}{BD}$。（用图中线段的字母表示）



(3) 现测定长金属丝的电阻率。

i. 某次用螺旋测微器测量金属丝直径的结果如图所示，其读数是 0.200 mm。



ii. 利用下列器材设计一个电路，尽量准确地测量一段金属丝的电阻。这段金属丝的电阻 R_x，约为 100 Ω，画出实验电路图，并标明器材代号。

电源 E （电动势 10 V，内阻约为 10 Ω）

电流表 A_1 （量程 0 ~ 250 mA，内阻 $R_1 = 5\,\Omega$）

电流表 A_2 （量程 0 ~ 300 mA，内阻约为 5 Ω）

滑动变阻器 R （最大阻值 10 Ω，额定电流 2 A）

开关 S 及导线若干

iii. 某同学设计方案正确，测量得到电流表 A_1 的读数为 I_1，电流表 A_2 的读数为 I_2，则这段金属丝电阻的计算式 $R_x = \frac{I_1 R_1}{I_2 - I_1}$。从设计原理看，其测量值与真实值相比相等（填“偏大”、“偏小”或“相等”）。

(1) J·s，kg·m²/s (2) ① AD；② D；③ $\frac{AC}{BD}$ (3) ① 0.200 mm（0.196 ~ 0.204 mm 均可）；②如图所示；③ $\frac{I_1 R_1}{I_2 - I_1}$，相等

（1）由能量子公式 $E = h\nu$，能量的单位为 J，频率的单位为 s^{-1}，故 h 的单位为 J·s；又因能量的单位换成力学基本单位可表示为 $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$，则 h 的单位为 $kg \cdot m^2/s$。

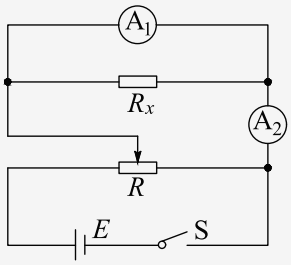
（2）①玻璃砖越厚，入射光线与出射光线侧移距离越大，作图时相对误差越小；两枚大头针间的距离越大，在确定入射及出射光线时的相对误差越小；大头针应选用较细的，减少测量误差；玻璃砖两光学面平行与否不影响测量结果。故 AD 正确。

②出射光线应向左侧移且平行于入射光线，故 D 正确。

③设入射角为 θ_1，折射角为 θ_2，则折射率 $n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\frac{AC}{AO}}{\frac{BD}{BO}} = \frac{AC}{BD}$。

（3）①由题图可知，螺旋测微器的读数为 $0\,mm + 20.0 \times 0.01\,mm = 0.200\,mm$。

②实验电路图如答图所示。



③电流表 A_1 与金属丝 R_x 并联，则 R_x 两端电压为 I_1R_1，通过 R_x 的电流为 I_2-I_1，则金属丝的阻值 $R_x=\frac{I_1R_1}{I_2-I_1}$。根据分析可知，理论上测量值与真实值相等。

10. 完全由我国自行设计、建造的国产新型航空母舰已完成多次海试，并取得成功。航母上的舰载机采用滑跃式起飞，故甲板是由水平甲板和上翘甲板两部分构成，如图 1 所示。为了便于研究舰载机的起飞过程，假设上翘甲板 BC 是与水平甲板 AB 相切的一段圆弧，示意如图 2，AB 长 $L_1=150\,\mathrm{m}$，BC 水平投影 $L_2=63\,\mathrm{m}$，图中 C 点切线方向与水平方向的夹角 $\theta=12^\circ$（$\sin 12^\circ\approx 0.21$）。若舰载机从 A 点由静止开始做匀加速直线运动，经 $t=6\,\mathrm{s}$ 到达 B 点进入 BC。已知飞行员的质量 $m=60\,\mathrm{kg}$，$g=10\,\mathrm{m/s^2}$，求：

(1) 舰载机水平运动的过程中，飞行员受到的水平力所做功 W；

(2) 舰载机刚进入 BC 时，飞行员受到竖直向上的压力 F_N 多大。



图 1

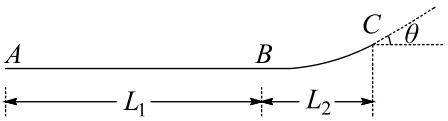


图 2

(1) $W=7.5\times10^4\,\mathrm{J}$　(2) $F_N=1.1\times10^3\,\mathrm{N}$

（1）舰载机由静止开始做匀加速直线运动，设其刚进入上翘甲板时的速度为 v，则有

$\frac{v}{2}=\frac{L_1}{t}$ ①，

由动能定理得

$W=\frac{1}{2}mv^2-0$ ②，

联立①②式，代入数据，得

$W=7.5\times10^4\,\mathrm{J}$ ③。

（2）设上翘甲板所对应的圆弧半径为 R，由几何关系得

$L_2 = R\sin\theta$ ④，

由牛顿第二定律得

$F_N - mg = m\frac{v^2}{R}$ ⑤，

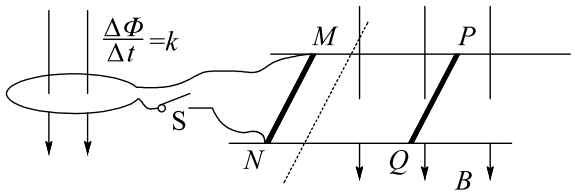
联立①④⑤式，代入数据得

$F_N = 1.1 \times 10^3\,\mathrm{N}$ ⑥。

11. 如图所示，固定在水平面上间距为 l 的两条平行光滑金属导轨，垂直于导轨放置的两根金属棒 MN 和 PQ 长度也为 l、电阻均为 R，两棒与导轨始终接触良好。MN 两端通过开关 S 与电阻为 R 的单匝金属线圈相连，线圈内存在竖直向下均匀增加的磁场，磁通量变化率为常量 k。图中虚线右侧有垂直于导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。PQ 的质量为 m，金属导轨足够长，电阻忽略不计。

(1) 闭合 S，若使 PQ 保持静止，需在其上加多大的水平恒力 F，并指出其方向；

(2) 断开 S，PQ 在上述恒力作用下，由静止开始到速度大小为 v 的加速过程中流过 PQ 的电荷量为 q，求该过程安培力做的功 W。



(1) $F = \frac{Bkl}{3R}$，方向水平向右　(2) $W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2}{3}kq$

（1）设线圈中的感应电动势为 E，由法拉第电磁感应定律 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，则 $E = k$ ①，

设 PQ 与 MN 并联的电阻为 $R_{并}$，有

$R_{并} = \frac{R}{2}$ ②，

闭合 S 时，设线圈中的电流为 I，由闭合电路欧姆定律得

$I = \frac{E}{R_{并}+R}$ ③，

设 PQ 中的电流为 I_{PQ}，有

$I_{PQ} = \frac{1}{2}I$ ④，

设 PQ 受到的安培力为 $F_{安}$，有

$F_{安} = BI_{PQ}l$ ⑤，

保持 PQ 静止，由平衡条件得

$F = F_{安}$ ⑥，

联立①②③④⑤⑥式得

$F=\frac{Bkl}{3R}$ ⑦，方向水平向右。

（2）设 PQ 由静止开始到速度大小为 v 的加速过程中，PQ 运动的位移为 x，所用时间为 Δt，回路中的磁通量变化为 $\Delta\Phi$，平均感应电动势为 $\overline{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ⑧，其中 $\Delta\Phi=Blx$ ⑨，

设 PQ 中的平均电流为 $\overline{I}=\frac{\overline{E}}{2R}$ ⑩，

由电流的定义得 $\overline{I}=\frac{q}{\Delta t}$⑪，

由动能定理得 $Fx+W=\frac{1}{2}mv^2-0$⑫，

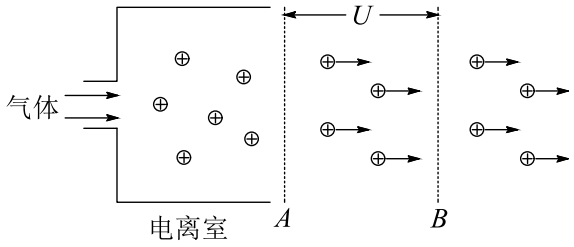
联立⑦⑧⑨⑩ ⑪⑫ 式得 $W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{2}{3}kq$⑬。

12. 2018 年，人类历史上第一架由离子引擎推动的飞机诞生，这种引擎不需要燃料，也无污染物排放。引擎获得推力的原理如图所示，进入电离室的气体被电离成正离子，而后飘入电极 A、B 之间的匀强电场（初速度忽略不计），A、B 间电压为 U，使正离子加速形成离子束，在加速过程中引擎获得恒定的推力。单位时间内飘入的正离子数目为定值，离子质量为 m，电荷量为 Ze，其中 Z 是正整数，e 是元电荷。

(1) 若引擎获得的推力为 F_1，求单位时间内飘入 A、B 间的正离子数目 N 为多少；

(2) 加速正离子束所消耗的功率 P 不同时，引擎获得的推力 F 也不同，试推导 $\frac{F}{P}$ 的表达式；

(3) 为提高能量的转换效率，要使 $\frac{F}{P}$ 尽量大，请提出增大的三条建议。



(1) $N=\frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}}$　(2) $\frac{F}{P}=\sqrt{\frac{2m}{ZeU}}$　(3) 用质量大的离子；用带电量少的离子；减小加速电压。

（1）设正离子经过电极 B 时的速度为 v，由动能定理得

$ZeU=\frac{1}{2}mv^2-0$ ①，

设正离子束所受的电场力为 F_1'，由牛顿第三定律得

$F_1'=F_1$ ②，

设引擎在 Δt 时间内飘入电极间的正离子个数为 ΔN，由牛顿第二定律得

$F_1' = \Delta N m \frac{v-0}{\Delta t}$ ③，

联立①②③式，且 $N = \frac{\Delta N}{\Delta t}$ 得

$N = \frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}}$ ④。

（2）设正离子束所受的电场力为 F'，由正离子束在电场中做匀加速直线运动，有

$P = \frac{1}{2} F' v$ ⑤，

考虑到牛顿第三定律得到 $F' = F$，联立①⑤式得

$\frac{F}{P} = \sqrt{\frac{2m}{ZeU}}$ ⑥。

（3）为使 $\frac{F}{P}$ 尽量大，分析⑥式得到三条建议：用质量大的离子；用带电量少的离子；减小加速电压。