

2009-2013 五年高考物理 高校自主招生试题物理精选分类解析 专题 15 近

代物理

一. 2013 年

1. (2013 北约自主招生) 一个具有放射性的原子核 A 放射一个 β 粒子后变成原子核 B, 原子核 B 再放射一个 α 粒子后变成原子核 C, 可以肯定的是()

- A. 原子核 A 比原子核 B 多 2 个中子
- B. 原子核 A 比原子核 C 多 2 个中子
- C. 原子核为 A 的中性原子中的电子数, 比原子核为 B 的中性原子中的电子数少 1
- D. 原子核为 A 的中性原子中的电子数, 比原子核为 C 的中性原子中的电子数少 1

解析: 一个具有放射性的原子核 A 放射一个 β 粒子后变成原子核 B, 质量数不变, 质子数增加 1, 中子数减 1; 原子核 B 再放射一个 α 粒子后变成原子核 C, 质子数减 2, 质量数减 4。原子核 A 比原子核 B 少 1 个中子多 1 个质子, 选项 A 错误。原子核 A 比原子核 C 多 1 个质子, 多 3 个中子, 选项 B 错误。原子核为 A 的中性原子中的电子数, 比原子核为 B 的中性原子中的电子数多 1, 选项 C 正确。原子核为 A 的中性原子中的电子数, 比原子核为 C 的中性原子中的电子数多 1, 选项 D 错误。

答案: C

2. (2013 年卓越大学联盟) ${}_{27}^{60}\text{Co}$ 的衰变方程可以写成 ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_Z^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$, 其中 $\bar{\nu}_e$ 是反电子中微子, 反电子中微子不带电, 质量可视为零。由衰变方程可知 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ 。如果静止的 ${}_{27}^{60}\text{Co}$ 发生衰变, 实验过程中测量衰变产物中 ${}_{-1}^0\text{e}$ 和 ${}_{-1}^0\text{e}$ 的径迹时, 由 $\underline{\hspace{2cm}}$ 守恒定律可知, ${}_{-1}^0\text{e}$ 和 ${}_{-1}^0\text{e}$ 的径迹在同一条直线上。

答案: 28 动量

解析: 根据 ${}_{27}^{60}\text{Co}$ 的衰变遵循电荷数守恒可得: $27 = Z - 1$, 解得 $Z = 28$ 。如果静止的 ${}_{27}^{60}\text{Co}$ 发生衰变, 根据动量守恒定律, ${}_{-1}^0\text{e}$ 和 ${}_{-1}^0\text{e}$ 的速度方向相反, 径迹在同一条直线上。

3、（10分）（2013年华约自主招生）核聚变发电有望提供人类需要的丰富清洁能源。氢核聚变可以简化为4个氢核（ ${}^1_1\text{H}$ ）聚变生成氦核（ ${}^4_2\text{He}$ ），并放出2个正电子（ ${}^0_1\text{e}$ ）和2个中微子（ ${}^0_0\nu_e$ ）。

（1）写出氢核聚变反应方程；

（2）计算氢核聚变生成一个氦核所释放的能量；

（3）计算1kg氢核（ ${}^1_1\text{H}$ ）完全聚变反应所释放的能量；它相当于多少质量的煤完全燃烧放出的能量？（1kg煤完全燃烧放出的能量约为 $3.7\times 10^7\text{J}$ ）。已知： $m_{\text{H}}=1.6726216\times 10^{-27}\text{kg}$ ， $m_{\text{He}}=6.646477\times 10^{-27}\text{kg}$ ，

$$m_e=9.109382\times 10^{-31}\text{kg}, m_\nu\approx 0, c=2.99792458\times 10^8\text{m/s}.$$

解析：（1） $4{}^1_1\text{H}\rightarrow {}^4_2\text{He}+2{}^0_1\text{e}+2{}^0_0\nu_e$

（2）发生一次核反应的质量亏损为 $\Delta m=4m_{\text{H}}-m_{\text{He}}-2m_e$ 。

放出能量为 $\Delta E=\Delta mc^2$ ，

联立解得： $\Delta E=3.79\times 10^{-12}\text{J}$ 。

（3）1kg氢核（ ${}^1_1\text{H}$ ）完全聚变反应所释放的能量 $E=\frac{1}{4m_{\text{H}}}\Delta E$

代入数据解得： $E=5.67\times 10^{14}\text{J}$ 。

相当于完全燃烧煤的质量约为： $M=E/q=\frac{5.67\times 10^{14}}{3.7\times 10^7}\text{kg}=1.5\times 10^7\text{kg}$ 。

【点评】此题以核聚变发电切入，意在考查核聚变反应方程，核能的计算及其相关知识，难度与高考相当。

二. 2012 年

1. (2012 年华约自主招生) 一铜板暴露在波长 $\lambda = 200\text{nm}$ 的紫外光中, 观测到有电子从铜板表面逸出。当在铜板所在空间加一方向垂直于板面、大小为 $E = 15\text{V/m}$ 的电场时, 电子能运动到距板面的最大距离为 10cm 。已知光速 c 与普朗克常数 h 的乘积为 $1.24 \times 10^{-6}\text{eVm}$, 则铜板的截止波长约为 ()

- A. 240nm B. 260nm
C. 280nm D. 300nm

答案: B

解析: 由动能定理, $-eEd = 0 - E_{k0}$, 解得从铜板表面逸出光电子的最大初动能为 $E_{k0} = 1.5\text{eV}$ 。由爱因斯坦光电效应方程, $E_{k0} = h\nu - W$, $W = hc/\lambda_0$ 。联立解得 $\lambda_0 = 264\text{nm}$, 选项 B 正确。

【点评】此题以暴露在紫外光中的铜板切入, 意在考查光电效应、动能定理、爱因斯坦光电效应方程及其相关知识。

2. (2012 北约自主招生真题) 氢原子模型中, 轨道的量子化条件为: $2\pi r_n = n\lambda_n$, 其中 r_n 为 n 级轨道半径, λ_n 为 n 级的物质波的波长。已知电子电量 e 、静电力恒量 k 、电子质量 m 、普朗克常数 h 。

(1) 求第 n 级的电子轨道半径。

(2) 求第 n 级得电子的运动周期。

(3) 偶电子素的量子化条件为 $2\pi(2r_n) = n\lambda_n$ (偶电子素是指反电子与电子构成的体系, 它们绕两点中心做圆运动), 求偶电子素中第 n 级得电子轨道半径 r_n 。

解析: (1) 由 $k\frac{e^2}{r_n^2} = m\frac{v^2}{r_n}$, $2\pi r_n = n\lambda_n$, $mv = h/\lambda_n$

联立解得第 n 级的电子轨道半径 $r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k e^2 m}$ 。

$$(2) \text{ 由 } k \frac{e^2}{r_n^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r_n, \quad r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k e^2 m}$$

联立解得第 n 级的电子的运动周期 $T = \frac{n^3 h^3}{4\pi^2 m e^4}$ 。

$$(3) \text{ 由 } k \frac{e^2}{(2r_n)^2} = m \frac{v^2}{r_n}, \quad 2\pi(2r_n) = \lambda_n, \quad mv = h/\lambda_n$$

联立解得偶电子素中第 n 级的电子轨道半径 $r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k e^2 m}$ 。

【点评】此题以氢原子模型切入，意在考查库仑定律、牛顿第二定律、量子化条件、圆周运动及其相关知识。

3. (2012 清华保送生测试) 物理学家在微观领域发现了“电子偶数”这一现象。所谓“电子偶数”就是由一个负电子和一个正电子绕它们的质量中心旋转形成的相对稳定的系统。已知正负电子的质量均为 m ，电量大小均为 e ，普朗克常数 h ，静电力恒量 k 。

(1) 用波尔模型推算“电子偶数”的基态半径；

(2) 求赖曼线产生光子的最高频率。

$$\text{解析: (1) 由 } k \frac{e^2}{(2r_1)^2} = m \frac{v_1^2}{r_1}, \quad 2\pi r_1 m v_1 = h \cdot 2\pi$$

$$\text{联立解得: } v_1 = \frac{\pi k e^2}{h},$$

“电子偶数”的基态半径 $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 k e^2 m}$ 。

$$(2) \text{ 由 } k \frac{e^2}{(2r_n)^2} = m \frac{v_n^2}{r_n}, \quad r_1 m v_n = nh/2\pi,$$

$$E_n = -k \frac{e^2}{2r_n^2} + 2 \cdot \frac{1}{2} m v_n^2,$$

$$\text{联立解得: } E_n = -\frac{m\pi^2 k^2 e^4}{n^2 h^2}.$$

赖曼线产生光子的最高频率理解为从 $n=\infty$ 跃迁到 $n=1$ 的轨道产生。

赖曼线产生光子的最大能量为 $E=0-E_n=\frac{m\pi^2k^2e^4}{n^2h^2}$ ，

由 $E=h\nu$ 解得： $\nu=E/h=\frac{m\pi^2k^2e^4}{n^2h^3}$ 。

【点评】此题以“电子偶数”切入，意在考查库仑定律、牛顿第二定律、能量、量子化条件、圆周运动及其相关知识。

4. (2012年北约) 固定在地面上的两激光器 A 和 B 相距为 L_0 ，有大木板平行贴近地面以速度 $v=0.6c$ 相对地面沿 AB 连线方向高速运动。地面参考系某时刻，两激光器同时发射激光在运动木板上形成点状灼痕 A' 和 B' 。此后，让大木板缓慢减速至静止后，测量两灼痕的间距为 $L=______L_0$ 。随原木板高速运动的惯性参考系的观察者认为，两束激光不是同时，应存在发射时间差 $\Delta t' = L_0/c$ 。

答案： $\frac{4}{5}L_0$ ； $\frac{3}{4}L_0/c$ 。

解析：地面上观察者看到 AB 的间距为 L_0 。由相对论运动的长度缩短效应，大木板观察

者看到 AB 的间距为 $L_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{4}{5}L_0$ ，大木板缓慢减速至静止后测量两灼痕的间距与

大木板观察者看到 AB 的间距相同，即为 $L_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{4}{5}L_0$ 。

在地面上同时不同地发生的两个事件，在随原木板高速运动的惯性参考系的观察者认为

是不同时、不同地发生的两个事件，时间差为 $\Delta t' = \frac{\frac{v}{c^2}L_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{3}{4}L_0/c$ 。

【点评】此题以高速运动的大木板切入，意在考查对狭义相对论时空观的理解。

5. (10分) (2013卓越自主招生) 通过荧光光谱分析可以探知元素的性质，荧光光谱分析仪是通过

测量电子从激发态跃迁到基态时释放的光子频率来实现的。激发态的原子可以采用激光照射基态原子的方法来获得。现用激光照射迎着激光而来的一离子束，使其电子从基态跃迁到激发态，已知离子质量为 m ，电荷量为 e ($e > 0$)，假设该离子束处于基态时的速度分布如图所示， V_0 为该离子束中离子的最大速度 ($V_0 \ll c$)。

(1) 速度为 V 的离子束迎着发射频率为 ν 的激光运动时，根据经典多普勒效应，接收到此激光的频率为 $\nu' = \nu(1 + \frac{V}{c})$ ，其中 c 为光速。设波长为 λ_0 的激光能够激发速度 $V = 0$ 的基态离子，若要激发全部离子，试推断激光的波长范围。

(2) 若用电压为 U 的加速电场加速处于基态的离子束，试推断离子束的速度分布的范围是变大了还是变小了；加速后的基态离子束再被激发，那么激光的波长范围与 (1) 问的结论相比如何变化。

5. (10分)

解析：(1) 因为波长为 λ_0 的激光能够激发速度 $V = 0$ 的基态离子，因此，以速度为 V 运动的离子若要被激发，该离子接收到的激光波长（即固定于以速度 V 运动的参考系上测到的激光波长）也必须是 λ_0 。由经典多普勒效应，迎着激光以速度 V 运动的离子束接收到

激光的频率为 $\nu' = \nu(1 + \frac{V}{c})$ ，因此，离子能被激发的频率是

$$\nu' = \frac{c}{\lambda_0} \quad ①$$

设激发速度为 V 的离子束的激光波长为 λ ，则

$$\lambda = \lambda_0(1 + \frac{V}{c}) \quad ②$$

若要激发全部离子，激光的波长范围为

$$\lambda_0 \leq \lambda \leq \lambda_0(1 + \frac{V_0}{c}) \quad ③$$

(2) 设初速度为 V 的离子经加速电场后的速度为 V' ，由动能定理得

$$eU = \frac{1}{2}mV'^2 - \frac{1}{2}mV^2 \quad 4$$

$$V' = \sqrt{V^2 + \frac{2e}{m}U} \quad 5$$

原来速度为零的离子加速后的速度最小，速度为 V_0 的离子加速后的速度最大，设加速后速度分布的范围为 $\Delta V'$ ，则

$$\Delta V' = \sqrt{V_0^2 + \frac{2e}{m}U} - \sqrt{\frac{2e}{m}U}$$

整理得

$$\Delta V' = \frac{V_0^2}{\sqrt{V_0^2 + \frac{2e}{m}U} + \sqrt{\frac{2e}{m}U}} \quad 6$$

加速前离子的速度分布范围为 $\Delta V = V_0 - 0$ ，所以

$$\Delta V' < \Delta V \quad 7$$

离子束经加速电场后，速度分布的范围变小了。

设(1)问中激光的波长范围为 $\Delta \lambda_0$

$$\Delta \lambda_0 = \lambda_0 \left(1 + \frac{V_0}{c}\right) - \lambda_0 = \frac{\lambda_0}{c} V_0 \quad 8$$

设经加速电场加速后所需激光的波长范围为 $\Delta \lambda$ ，综合 3、5、6 式得

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda_0}{c} \Delta V' \quad 9$$

由 3、9 式得

$$\Delta \lambda < \Delta \lambda_0 \quad 10$$

为激发经加速电场后的全部离子，激光的波长范围变小。

评分标准：

(1) 5 分，1、3 式各 2 分，2 式 1 分。

(2) 5 分，4 式 2 分，6、7、10 式各 1 分。

本题的第一问也可以从如下角度进行考虑：

运动的离子束受迎面而来激光照射而被激发所需的能量应小于激发静止离子所需的能量。速度为 V 的离子被激发所需的激光能量为

$$h\nu = h\nu_0\left(1 - \frac{V}{c}\right) \quad \text{11}$$

由 $c = \lambda\nu$ 得

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_0}\left(1 - \frac{V}{c}\right) \quad \text{12}$$

整理得

$$\lambda = \lambda_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{V}{c}\right)}$$
$$\lambda = \lambda_0 \frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}} \left(1 - \frac{V}{c}\right)$$

由于 $V \ll c$ ，因此激光器的波长为

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{V}{c}\right) \quad \text{13}$$

若要激发全部离子，可变激光器的波长范围为

$$\lambda_0 \leq \lambda \leq \lambda_0 \left(1 + \frac{V_0}{c}\right) \quad \text{14}$$

评分标准：5分，1114式各2分，13式1分。

三. 2011年

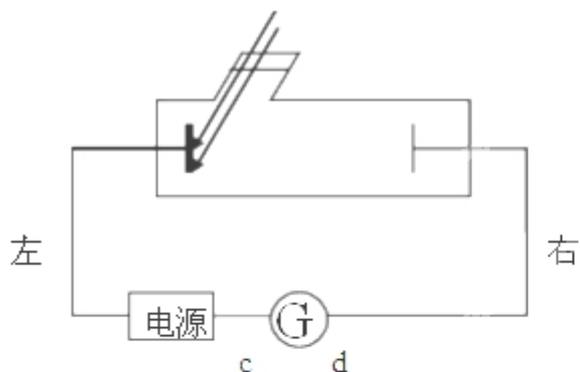
1. (2011 华约自主招生) 根据波尔原子理论，当某个氢原子吸收一个光子后，
- A. 氢原子所在能级下降
 - B. 氢原子电势能增大
 - C. 电子绕核运动的半径减小
 - D. 电子绕核运动的动能增加

答案：BD

解析：根据波尔理论，当某个氢原子吸收一个光子后，氢原子能量增大，能级升高，电势能增大，电子绕核运动的半径增大，选项 AC 错误 B 正确。电子绕核运动，库仑力提供向心力，由 $k\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ，可得 $E_k = mv^2/2$ ，半径变大，动能变小，选项 D 正确。

2、（2011 年卓越自主招生）如图，在光电效应实验中用 a 光照射光电管时，灵敏电流计指针发生偏转，而用 b 光照射光电管时，灵敏电流计指针不发生偏转，则（ ）

- A. a 光的强度一定大于 b 光的强度
- B. 电源极性可能是右边为正极，左边为负极
- C. 电源极性可能是左边为正极，右边为负极
- D. 发生光电效应时，电流计中的光电流沿 d 到 c 方向



解析：在光电效应实验中用 a 光照射光电管时，灵敏电流计指针发生偏转，而用 b 光照射光电管时，灵敏电流计指针不发生偏转，根据光电效应知识可知，a 光频率一定大于 b 光，a 光的强度不一定大于 b 光的强度，选项 A 错误。若 b 光频率低于极限频率，用 b 光照射光电管时不产生光电效应，电源极性可能是右边为正极，左边为负极，用 b 光照射光电管时，灵敏电流计指针也不发生偏转；选项 B 正确；若 a 光频率足够高，即使电源极性左边为正极，右边为负极，产生的光电子也能够形成电流，灵敏电流计指针

发生偏转，选项 C 正确。发生光电效应时，电流计中的光电流沿 c 到 d 方向，选项 D 错误。

答案：BC

【点评】此题以光电效应实验切入，意在考查光电效应实验及其相关知识。要注意形成的光电流自由移动的电荷为电子，电子移动方向与光电流方向相反。

四. 2010 年

1、(2010 复旦自主招生) 由狭义相对论可知：_____。

- A. 每个物理定律的形式在一切惯性系中都相同
- B. 钟的快慢与其运动速度无关
- C. 真空中光速与光源运动速度有关
- D. 所有粒子的质量与其运动速度无关

答案：A

解析：根据狭义相对论的假设，每个物理定律的形式在一切惯性系中都相同，真空中光速与光源运动速度无关，选项 A 正确 C 错误。根据狭义相对论的推论，钟的快慢与其运动速度有关，所有粒子的质量与其运动速度有关，选项 BD 错误。

2、(2010 复旦自主招生) 用 α 粒子轰击铍核(Be)发生的核反应可用如下的核反应方程式表示：

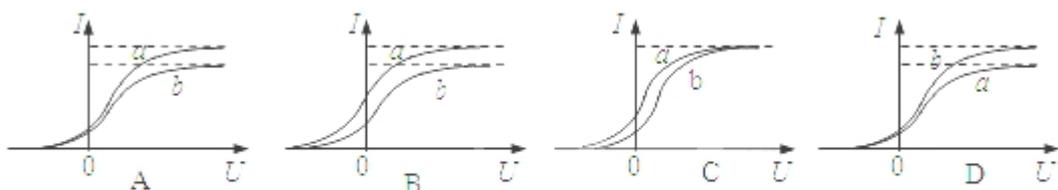
$\text{Be} + \text{He} \rightarrow \text{C} + \text{X}$, 式中的 X 是_____。

- A. 正电子
- B. 质子
- C. 电子
- D. 中子

答案：D

解析：铍核(Be)电荷量为 4，卢瑟福用 α 粒子轰击铍核(Be)发生的核反应发现了中子，式中的 X 是中子，选项 D 正确。

3、(2010 清华五校) 在光电效应实验中，先后用频率相同但光强不同的两束光照射同一个光电管。若实验 a 中的光强大于实验 b 中的光强，实验所得光电流 I 与光电管两端所加电压 U 间的关系曲线分别以 a、b 表示，则下列 4 图中可能正确的是 ()



答案：A

解析：由光电效应现象的规律，饱和光电流与照射光的强度成正比，选项 C、D 错；由光电效应方程 $\frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - W$ ，反向截止电压 U_c 决定于照射光的频率，图线与 U 轴的交点坐标值为反向截止电压，可见选项 B 错 A 正确。

五. 2009 年

1. (2009 复旦) 两放射性元素样品 A 与 B，当 A 有 $15/16$ 的原子核发生了衰变时，B 恰好有 $63/64$ 的原子核发生了衰变，则 A 与 B 的半衰期之比 $T_A : T_B$ 应为_____。

- A. 2 : 3 B. 3 : 2
C. 5 : 21 D. 21 : 5

答案：B

解析：A 有 $15/16$ 的原子核发生了衰变，说明 A 经历了 4 个半衰期， $t=4T_A$ 。B 恰好有 $63/64$ 的原子核发生了衰变，说明 B 经历了 6 个半衰期， $t=6T_B$ 。解得 $T_A : T_B=3 : 2$ ，选项 B 正确。

2. (2009 复旦) 某原子核经历了两次 α 衰变，6 次 β 衰变，它的质子数及中子数变化情况分别是_____。

- A. 减少 4，减少 4
B. 增加 2，减少 10
C. 减少 10，增加 2
D. 增加 4，减少 8

答案：B

解析：原子核经历了两次 α 衰变，质量数减少8，质子数减少4，中子数减少4；经历6次 β 衰变，质子数增加6，中子数减少6，总的变化是：质子数增加2，中子数减少10，选项B正确。

3. (2009 同济大学) 具有相等德布罗意物质波波长的下列粒子中，动能最大的是

- A. α 粒子 B. 质子 C. 中子 D. 电子

3.答案 D 解析：根据德布罗意物质波公式， $\lambda=h/p$ ，具有相等德布罗意物质波波长的粒子，其动量 p 相等。由动能与动量的关系， $p^2=2mE_k$ ，可知质量越小，动能越大，所以具有相等德布罗意物质波波长的粒子中，动能最大的是电子，选项 D 正确。

4. (2009 同济大学) 如果一个光子的能量等于一个电子的静止能量，则该光子的波长为_____，动量为_____；在电磁波谱中属于_____射线。已知电子质量 $0.90 \times 10^{-30} \text{kg}$ ，光速 $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

答案： $2.4 \times 10^{-12} \text{m}$ $2.7 \times 10^{-22} \text{kg} \cdot \text{m/s}$ γ

解析：光子能量等于电子能量， $hc/\lambda=mc^2$ ，解得光子的波长为 $\lambda=2.4 \times 10^{-12} \text{m}$ 。

由 $\lambda=h/p$ 得动量 $p=h/\lambda=mc=2.7 \times 10^{-22} \text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。

根据波长可知在电磁波谱中属于 γ 射线。

5、(2009 北大) 已知 He^+ 原子构型和 H^+ 类似：

(1) He^+ 的基态电离能为 54.4eV，问要使其由基态跃迁电子变成激发态最少需要吸收多少能量？

(2) 如果考虑了粒子的反冲，则此结果与 (1) 中的结果相差百分之多少？

注： $e=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 、 $m_e=9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ 、 $m_p=m_n=m_0=1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$ 。

解析：(1) He^+ 的基态能量为 $E_1=-54.4 \text{eV}$ ，第一激发态能量为 $E_2=E_1/2^2=-13.6 \text{eV}$ ，要使其由基态跃迁电子变成激发态最少需要吸收 $E=E_2-E_1=40.8 \text{eV}$ 。

(2) 粒子反冲，动量守恒， $m_e v_e = 4m_0 v$

解得：反冲核速度 $v = m_e v_e / 4m_0$

$$\text{反冲核动能 } \frac{1}{2} 4m_0 v^2 = \frac{m_e}{4m_0} \frac{1}{2} m_e v_e^2 = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{4 \times 1.67 \times 10^{-27}} \times \frac{1}{2} m_e v_e^2 = 1.36 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

如果考虑了粒子的反冲，需要多吸收能量 $1.36 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} m_e v_e^2$ ，

与（1）中的结果相差 $1.36 \times 10^{-4} \times 100\% = 0.0136\%$ 。