

关于2015高考北京理综卷第24题 能量转化关系的两点讨论

杨 君

(北京教育考试院 北京 100083)

(收稿日期:2016-02-25)

摘要:2015年高考北京理综卷第24题介绍了以真空中放置的平行金属板用作光电转换装置的相关内容.实际上,金属板中电子的分布状态以及光电效应的解释均涉及到复杂的量子物理内容,这并不是高中物理讨论的范围.本文以经典物理的模型及方法,对题中情境进行理想化的处理,从高中物理教学的层面对试题中的能量转化及守恒进行了讨论,期望能对高中学生及教师对试题的理解有所帮助.

关键词:2015北京高考 光电转换 能量转化及守恒

1 原题

真空中放置的平行金属板可以用作光电转换装置,如图1所示.光照前两板都不带电.以光照射A板,则板中的电子可能吸收光的能量而逸出.假设所有逸出的电子都垂直于A板向B板运动,忽略电子之间的相互作用.保持光照条件不变, a 和 b 为接线柱.

已知单位时间内从A板逸出的电子数为 N ,电子逸出时的最大动能为 E_{km} ,元电荷为 e .

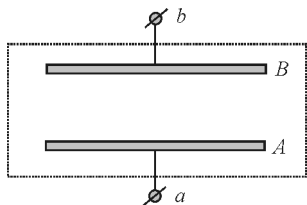


图1

(1) 求A板和B板之间的最大电势差 U_m ,以及将 a, b 短接时回路中的电流 $I_{短}$.

(2) 图示装置可看作直流电源,求其电动势 E 和内阻 r .

(3) 在 a 和 b 之间连接一个外电阻时,该电阻两端的电压为 U .外电阻上消耗的电功率设为 P ;单位时间内到达B板的电子,在从A板运动到B板的过

程中损失的动能之和设为 ΔE_k .请推导证明: $P = \Delta E_k$.

(注意:解题过程中需要用到、但题目没有给出的物理量,要在解题中做必要的说明)

2 电源中的非静电力

从能量转化的角度看,电源是通过非静电力做功把其他形式的能转化为电势能的装置.题中的装置可看作一个电源.那么此电源的非静电力是如何把其他形式的能转化为电势能的呢?以光照射A板,发生光电效应,即板中的电子吸收光的能量而逸出,形成具有一定初动能的光电子.此过程中,光能转化为光电子的动能.光电子逸出后,在板间电场的作用下(抵抗电场的作用力)向B板运动,此过程中并不损失能量,光电子的动能转化为电势能.可见,在整个过程中,板间电场充当了“能量中介”的作用,作为电源,光电子的初动能或光电效应可看作电源中的“非静电力做功”.

3 能量转化及守恒

为讨论问题的简便,设定题干中的“稳定光照条件”为“稳定的单色光照射”,且出射光电子的数量按动能大小均匀分布(实际上,题中模型只需要光照

条件稳定,不需要限定单色光入射),以下将从定性和定量两个方面讨论能量的转化和守恒问题.

3.1 定性分析

当 a 与 b 间接入外电阻时且采用单色光入射时,若不考虑光电子逸出过程中的能量损失,则所有光电子逸出时的动能均为 E_{km} .实际情况则是,由于部分电子从 A 板逸出过程中有能量损失,导致逸出时的动能不同.

假设电源的电动势为 E ,内电阻为 r .连接外电阻时,路端电压为 U ,则仅有初动能大于 E'_{km} ($E'_{\text{km}} = eU$)的电子才能到达 B 板,设单位时间内这部分的电子数量为 N' ,这部分电子从 A 板运动到 B 板的过程中电场力做负功,动能转化为电势能,大小为 $N'eU$.这部分能量转化为外电路消耗的能量.

初动能小于 eU 的电子不能到达 B 板,返回 A 板后,其动能转化为内能.所以这部分电子的动能没有转化为电势能,不能算是电路中的能量,因此这部分内能不能算作内阻消耗的能量.

能够到达 B 板的电子,其能量之和为 $N'E_{\text{km}}$ (即电源提供的总能量),除去转化为电能的这部分(也是外电路消耗的能量) $N'eU$,余下的这部分能量包括逸出之前在逸出过程中损失的能量(A 板发热的一部分),以及到达 B 板后剩下的动能(B 板发热),两者之和为内电阻消耗的功率.大小为 $N'(E_{\text{km}} - E'_{\text{km}})$.

(2)当 a, b 间短接时.此时 A, B 两极板等电势,板间无电场.光电子匀速运动到 B 板,期间不损失动能.当然,由于短路,外电路也不消耗电能.所以电源提供的能量全部消耗于电源内阻上.

3.2 定量证明

(1)当 a 与 b 之间接入外电阻时

电源提供的总功率(全电路消耗的功率)

$$P_{\text{total}} = EI' = EN'e = N'E_{\text{km}}$$

外电路消耗的电功率为

$$P_{\text{out}} = I'U = N'e \frac{E_{\text{km}}'}{e} = N'E'_{\text{km}}$$

若逸出光电子按动能大小均匀分布,有

$$\frac{N}{N'} = \frac{E_{\text{km}}}{E_{\text{km}} - E'_{\text{km}}}$$

根据闭合电路欧姆定律,电源内电阻为

$$r = \frac{E - U}{I'} = \frac{E_{\text{km}} - E'_{\text{km}}}{N'e^2} = \frac{N'E_{\text{km}}}{N'e^2} = \frac{E_{\text{km}}}{Ne^2}$$

由于 E_{km} 和 N 均为常数,可知内电阻也为常数.内电路消耗的功率为

$$P_{\text{in}} = I'^2 r = (N'e)^2 \frac{E_{\text{km}}}{Ne^2} =$$

$$\frac{N'}{N} N' E_{\text{km}} = \frac{E_{\text{km}} - E'_{\text{km}}}{E_{\text{km}}} N' E_{\text{km}} = (E_{\text{km}} - E'_{\text{km}}) N'$$

综上

$$P_{\text{total}} = P_{\text{out}} + P_{\text{in}}$$

内电路和外电路消耗的总功率与电源提供的总能量相等,符合全电路的能量守恒.

(2)当 a 与 b 间短接时

此时所有逸出的光电子均能到达 B 板,此时电路中的电流为

$$I = Ne$$

电源提供的总功率为

$$P_{\text{total}} = EI = \frac{E_{\text{km}}}{e} Ne = NE_{\text{km}}$$

内阻消耗的电功率为

$$P_{\text{in}} = I^2 r = (Ne)^2 \frac{E_{\text{km}}}{Ne^2} = NE_{\text{km}}$$

由于 a 与 b 短接,外电路消耗的电功率为零.

综上,短路连接时,电源提供的总功率等于内阻消耗的电功率.

4 总结

实际上,金属中电子的分布状态以及光电效应的解释均涉及到复杂的量子物理内容,这并不是高中物理讨论的范围.本文以经典物理的模型及方法,对其进行理想化的处理,从高中物理教学的层面对试题情境做简单的讨论,期望能对高中学生及教师对试题的理解有所帮助.文中不当之处也请读者指正!