

光电效应和康普顿效应中光子和电子之作用

罗 平

(巢湖师专物理系 安徽 238000)

我们知道,当波长较短的光与物质相互作用时,则表现为粒子性.光电效应和康普顿效应(亦称康普顿散射)是光的粒子性的最好证明.在这两种效应中都包含了光子和电子的作用,那么在这两种效应中,光子和电子作用有什么不同?在什么情况下,产生光电效应?在什么情况下,产生康普顿效应?这些问题常使学生感到困惑.为回答上述问题,本文试对这两种效应中光子与电子作用的异同之处作一定性讨论.

光电效应和康普顿效应中光子和电子作用主要有两方面不同,即电子对光子能量吸收程度不同和光的阈能不同.

一 能量吸收程度不同

光电效应是指当可见光或紫外光投射到金属上时,可以使电子从金属表面发射出来的现象(常称外光电效应).金属中的自由电子由于受到某种势垒的作用,难以从金属表面逸出,如果用 A 表示使自由电子从固体中逸出所需的最小能量,称为逸出功(或功函数),则按爱因斯坦的光电效应理论,当能量为 $h\nu$ 的光照射到金属上时,一个自由电子将完全吸收一个入射光子的

能量,克服势垒的束缚,从金属表面逃逸出来,且

$$h\nu = 1/2m_e v^2 + A$$

其中 m_e ——电子静质量, v ——光电子速率

如果光子具有足够大的能量,当光照射到媒

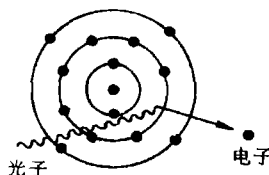


图1 原子的光电效应

质上时,还会产生原子光电效应(亦称为内光电效应).如图1所示,在这个过程中,光子消失了,原子中的某一个壳层电子吸收了一个光子的能量,而从原子中逃逸出来.这种情形下,光子提供的能量,至少要等于原子中电子的结合能.

可见光电效应,无论是外光电效应还是内光电效应,其基本原理都是一个受一定程度束缚的电子,完全吸收一个入射光子的能量,克服其束缚作用,而从金属或原子表面逸出,成为真正的自由电子.

在康普顿效应中,光子和电子发生相互作用

教师提供.测 Δt 关键在减小偶然误差,因此必须取一电子表,当秒码变化瞬间用跑表多次练习启动与停止,看小数后的数值,越小越好,尽量使误差最小.

综上所述,用同步卫星测量光速,无论作为验证性实验,还是作为新开发的课外实验都是可行的.

随着现代物理技术的发展,过去只能在实验室里做的物理实验,现在逐渐成为中学生课外物理实验的内容之一,由于有些问题被简化,被省略(如电子线路的延迟问题等),使它的误差大些,但对青少年开发智力,培养能力,增强科学意识无疑是一个新途径.

$$\frac{2r_{\min} - (\widehat{AD} + \widehat{DB})}{\Delta t} = 28.2 \times 10^4 (\text{km/s}), \text{相对误差 } 6.0\%.$$

可见在 $r_{\max} \geq r \geq r_{\min}$ 的条件下,测出的光速在 $32.9 \times 10^4 \geq C \geq 28.2 \times 10^4 (\text{km/s})$ 范围里,这对中学生认识光速 (299792.458km/s) 是十分有益的.

本实验只对同时用天、地波转播中央电视台节目的地区适用.技术数据需咨询当地电视台(站).对卫星的定点位置,无论是过去的 $115^\circ (\text{E})$ 、 $105^\circ (\text{E})$ 还是最新发射的东方红3号的 $125^\circ (\text{E})$,都因各自的天波往返路程相差不大,其结果与本例差别无几,故本方法均能使用. ΔS 值可由

用,原来的光子消失了,但只有一部分能量表现为电子的动能,其余的能量以新光子的形式出现,新光子的能量小于原始光子的能量.这个过程可以看成是一个光子与一个原来静止的自由电子发生完全弹性碰撞,使电子获得一定的反冲动量,成为反冲电子,而同时产生一个新光子,如图2所示.即,在康普顿散射中电子与光子的作用过程,电子吸收了光子的部分能量.

二 阈能范围不同

在光电效应中,只要入射光子的能量大于

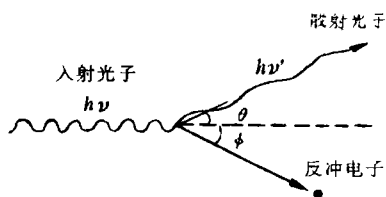


图2 康普顿效应

或等于金属中电子的逸出功,光电效应即可发生.因此,每一种金属的光电效应都有一个阈能,一般为2~5eV,相当于波长620~248nm的电磁辐射,即在光谱的可见区和紫外区.如果入射光子能量大于或等于原子中某一支壳层电子的结合能时,极有可能发生原子光电效应.原子的光电效应是媒质对X射线和低能γ射线的主要吸收方式.原子光电效应发生的最大几率处当为光子能量等于原子每一支壳层电子结合能时,这时就出现相应的吸收峰(如K吸收峰,L吸收峰等等,它们分别发生于从原子的K壳层和L壳层释放出一个电子所需的最小能量处.)但是,一旦光子的能量小于电子结合能时,电子吸收的几率就迅速降到零.

康普顿效应,原则上应可以出现在一切频率范围上.它使被散射光子的波长改变为 $\Delta\lambda$

$$= \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\alpha), \text{ 其中 } \alpha \text{ 为散射角, } m_e \text{ —— 电}$$

子静质量.对所有物质来说,在1~3MeV范围内康普顿效应最显著.对于轻元素,则一直高到10MeV或更高能量还很显著.在可见光范围内,虽然也产生康普顿效应,但由于谱线太宽、强度太弱而观察不到.如果能量大于或等于 $1.0 \cdot 22\text{MeV}$ 的情况下,光子和物质的相互作

用还可能出现另一种现象——电子对的产生,即一个光子消失了,同时产生一对正负电子对.这一过程可以用下式表示:

$$h\nu \rightarrow e^+ + e^- + 2K$$

式中K是每个正电子和电子的动能.

综上所述,可见光电效应和康普顿效应中光子和电子相互作用的不同之处主要表现为电子对光子能量的吸收程度不同和两种效应的阈能范围不同.这两种效应是处于不同能量范围的光子和电子作用而光子能量被不同程度地吸收所致.在可见光和紫外区,一般仅能观察到显著的光电效应(外光电效应),而能量较高的X射线和低能γ射线入射到物质上时,往往可以同时观察到原子光电效应和康普顿散射;能量更高时,可能会同时出现光电效应、康普顿效应和电子对的产生,但三者的相对重要性则取决于元素的原子序数.

在光电效应和康普顿效应中光子和电子作用除了存在上述不同之处外,还存在如下共同之处:

(1) 遵从能量-动量守恒

在康普顿效应中,光子与电子发生完全弹性碰撞,因而能量、动量守恒;而在光电效应中,光子和电子作用除了遵从能量守恒外,也不违背动量守恒.金属中的自由电子和带正电的离子实之间相互作用以金属键的形式相连接,原子内部的电子亦受到原子核的束缚作用,在光电效应中,当电子吸收光子时,离子实和原子核均能够参加吸收,获得一定的动量,产生反冲,以保持动量守恒.由于离子实和原子核质量相比很大,因而几乎不吸收多少能量,其动能可忽略.

(2) 光子与非相对论性电子的作用.

在两种效应中,无论是光子能量被物质中电子吸收而产生光电子的光电效应,还是获得光子部分能量而产生反冲电子的康普顿效应,都是光子与运动速度远小于光速的电子碰撞的情况.如果电子运动速度接近于光速c,即光子与相对论性电子碰撞,则碰撞结果可与康普顿效应相反,散射光子不仅未损失能量,反而从运动电子获得能量,散射光子将以较高频率射出,即逆康普顿效应.