

# 高中物理教学中光电效应的几个问题探析

陈佳俊 刘露云

(上海师范大学数理学院 上海 200234)

(收稿日期:2022-05-09)

**摘要:**光电效应作为高中物理光学中的重要知识点,在教学过程中,大部分教师仅仅会对概念、规律及光电效应方程做初步的讲解,只要求学生做有关的习题,而没有理清光电效应中学生容易出现的困惑及问题.从这些问题中选取了4个进行探析,帮助教师在教学过程中辅助学生理解光电效应背后的原理及知识,让学生知其然并知其所以然,充分发挥核心素养中的科学态度与责任.

**关键词:**光电效应;光学;能量;逸出

高中物理教学中,光学章节作为比较独立的章节,许多学生对这部分的学习并不像其他章节那么深入,有部分知识存在一知半解的情况.本文就以光电效应为例,着重指出几点高中生常常疑惑或是思考的问题,并提出解答,帮助教师有效解决学生的困惑.

## 1 光电效应的概念与方程

在最新版的沪科版普通高中物理教科书选择性必修第三册(2021)中,光电效应的描述如下:许多实验表明,有些金属(如钾、钠、锌等)即使在太阳光的照射下也会发射出电子.金属在光的照射下发射出电子的现象称为光电效应,从金属表面逸出的电子叫做光电子<sup>[1]</sup>.

利用如图1所示的装置可以研究光电效应所遵循的规律.电子从金属表面逸出时的动能称为光电子的初动能,电子克服金属对它的束缚所做功的最小值称为逸出功.逸出功是由金属的材料决定的.根据能量守恒定律,光电子的最大初动能 $E_{km}$ 与入射光子的能量 $h\nu$ 和逸出功 $W$ 之间的关系是

$$E_{km} = h\nu - W \quad (1)$$

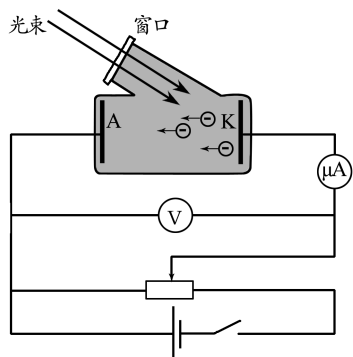


图1 光电效应装置图

## 2 光电效应中的几个问题

### 2.1 电子热运动的能量问题

学生通过之前热学部分的学习,已经了解到分子动理论的有关知识,知道了原子、分子会有热运动,因此知道了这些基本粒子拥有分子动能.那么学生就会提出疑问,为什么在光电效应方程中,不考虑电子本身的动能,只考虑光子的能量呢?

实质上,常温情况下电子热运动具有的能量非常小,约为 $4 \times 10^{-3} \text{ eV}$ ,远远比光电效应产生的光子能量(约 $75 \text{ eV}$ )小,所以在一般情况下都可以忽略电子本身热运动对光电效应的影响<sup>[2]</sup>.但是,一旦电子被加热到高温,例如 $1\ 000 \text{ K}$ 以上时,电子热运动具有的能量就会大大增加,形成“热电子”.随着温度升高,动能超过逸出功的电子数目急剧增多,大量电子无需光电效应就能直接从金属中逸出,形成“热电子”发射.学生提出这个问题,说明他对知识的迁移能力较强,但是碍于没有数据支撑,学生自己无法推导得出这一结论,教师可以在教学过程中对电子能量的数量级进行强调,并与光子能量的数量级进行比较,帮助学生解决这一困惑.同时,教师可能将“热电子发射”这一概念简单地向学生叙述,让学生对电子能量有一个更深的认识.

### 2.2 多个光子的能量问题

当光子的能量大于金属的逸出功时,才能够发生光电效应;一旦光子能量低于金属的逸出功,光电效应就消失了.有部分学生可能会提出问题:如果多个光子同时将能量传递给电子,那么电子的能量就

大于金属的逸出功,这样逸出功就与光子频率无关了.

从物理直觉上来说,这些学生提出的方案是可行的,但是很可惜,在普遍情况下,电子只能一个一个地接收光子,同时接收多个光子的可能性非常小.其原因可以有两种解释,第一种是从经典理论得出:根据光子与电子大小的数量级计算可以得出,电子接收到先后两个光子的平均时间数量级为 $10^{10}$  s.而实验表明,光电效应发生的时间非常快,不超过 $10^{-9}$  s,因此可以基本忽略两个以上光子的吸收;第二种是从热力学角度得出:当电子吸收光子后,它的能量就会比周围的粒子更高,进而处于非平衡态.在这种情况下,不平衡态会趋向于平衡态发展,于是电子便向周围的粒子传递能量.实际上,这个时间非常短,不超过 $10^{-8}$  s.这么短的时间,想要让电子再吸收一个光子的能量,其可能性就变得微乎其微了<sup>[3]</sup>.

教师在讲解完上述知识后,还需要进行补充说明,多光子光电效应在高强度激光情况下还是有可能发生的,只是其可能性依旧不高.就像牛顿第二定律一样,都存在适用条件,只不过通常情况下,实验条件都是处于前面所述的一般情况罢了.因此在高中阶段,教师应不做过多的讨论,防止学生在此问题上纠结,在教学时应将重心放在截止频率上,让学生充分理解光电效应方程的应用条件<sup>[4]</sup>.

### 2.3 光电效应与康普顿效应的混淆

由于光电效应与康普顿效应的教学时间比较靠近,学生很容易混淆两者的概念.光电效应与康普顿效应都是电子与光子的相互作用,但是它们的本质有着巨大的区别.当光子能量与金属对电子的束缚能处于同一数量级时,金属的逸出功就显得格外重要,此时表现为光电效应;当光子能量远大于金属对电子的束缚能时,逸出功就可以基本忽略,表现为康普顿效应<sup>[5]</sup>.

从现象来看,光电效应中只有电子会溢出,光子的能量全部传递给电子;康普顿效应中,电子与光子都会发射出来,并且光子的波长会发生改变.康普顿效应的具体过程比较复杂,在高中阶段也只是对学生进行简单的介绍,因此,可以利用康普顿散射的费恩曼图(图2)来帮助学生强化概念,通过该图来告诉学生康普顿效应的全过程:光子与电子结合后,产

生新的光子,而非原先光子的延续.这样能够有效防止学生将光电效应与康普顿效应混淆.

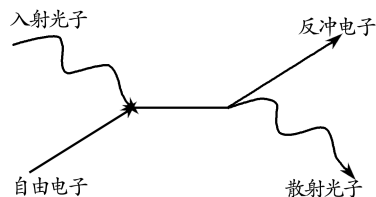


图2 康普顿效应的费恩曼图

### 2.4 光电效率问题

当入射光的频率超过截止频率后,电子受激发就能从金属中逃逸.但并非一个光子就能激发一个电子,电子接收能量后,不一定就能够从中逃逸,主要原因在于电子是呈轨道能级分布的,低能级的电子位于金属表面,容易激发(这部分知识在化学课程中已有初步的了解);而高能级的电子位于金属内部,从中逃逸出需要的能量更大,频率仅仅为截止频率的入射光就无法让金属内部的电子逃逸.光电效应方程中的截止频率,实际上是最外层电子的截止频率,也就是金属所有电子中最低的逸出频率.不过,在实验中,入射光往往有大量的光子,所以只要光子能量大于金属逸出功,电子总还是能逃逸出一部分的.

基于以上原因,教师可以拓展提出光电效率这一概念.但是需要注意,不论是学生还是教师都容易将电子动能与光子能量的比值认为是光电效率,实际上是这错误的.光电转化效率是有专门的定义,其缩写为IPCE,计算公式为 $\eta = \frac{n}{N}$ ,其中 $n$ 为逸出的电子数, $N$ 为发射的光子数.教师在教学过程中,应当避免定义自己并不了解的物理量,而应该去查询有关的文献,确定物理量的具体含义与公式,防止让学生产生误解,制造科学性错误.

### 3 结束语

光电效应作为光学中的一大知识点,教师绝不可以因为高考涉及的少而对此部分缩减课时,仅做初步的介绍.光电效应是提出光子说的重要实验,高中生应该对光电效应中的基本原理进行掌握,并能够对本文提出的几个问题做出辨析,为将来踏入大学,学习普通物理学的光学课程打下基础.

(下转第38页)

### 3.2 确定玻璃瓶水量

基于“格物”时的测量结果:敲击玻璃水瓶最高音调频率为 $5\ 322\ \text{Hz}$ ,最低音调(装满水 $330\ \text{mL}$ )为 $2\ 688\ \text{Hz}$ .通过对比发现,相对前6组音阶,第七组音阶(表4)的音调频率比较适合敲击玻璃瓶音调频率,

表5 第7.5组音阶音调频率及对应水量

音阶	$C7.5$	$D7.5$	$E7.5$	$F7.5$	$G7.5$	$A7.5$	$B7.5$
频率/ $\text{Hz}$	2 986.82	3 348.86	3 710.90	3 982.43	4 434.97	4 978.03	5 611.60
水量/ $\text{mL}$	277.14	234.58	192.01	160.08	106.88	43.03	- 31.39

如表5所示,所需最高音调为 $5\ 611.60\ \text{Hz}$ 时,应有水量为 $-31.39\ \text{mL}$ ,是一个负值,空瓶没法敲出该音调,说明即使是空瓶,其敲击振动的有效质量也还是偏高,还需寻找质量更低的玻璃瓶以满足上述频率.

### 3.3 制作完成

将玻璃瓶固定在泡沫里,防止敲击时水瓶发生偏移影响发声音调,装上相应水量,并把对应玻璃瓶标上音阶.这样,一个简单的乐器制作完成.当会弹奏乐器的学生在课堂上进行简单音乐的演奏时,实验探究的辛勤努力,到这一刻音乐的享受,是学生对整个实验探究过程的赞美与嘉奖,科学也可以很美、很动听.至此,对玻璃瓶发声音调的“格物致知”画上了圆满的句号.

以上过程采用手机模拟钢琴的音调频率.若有相应的乐器实物,例如:尤克里里、铝板琴、吉他等,通过具体的实物获得对应音调频率更能使学生在整个过程中保持强烈浓厚的探究兴趣.生活中,科学与音乐并存,土乐器的制作当然不仅限于玻璃瓶,例如拨动橡皮筋、筷子敲击碗等.

## 4 结束语

本文借助中国传统格物致知的原理,由一道题目的教学出发,通过实验还原题目情境,让学生在探究的过程中,巩固了音调相关知识;学习了音调频率

率,但仍旧有“ $C7$ ”“ $D7$ ”“ $E7$ ”不在敲击玻璃瓶音调频率范围内.通过计算发现,若 $x = 7.5$ ,能较大地满足现有玻璃瓶发声频率.对应频率如表5所示.同时,根据图5敲击玻璃瓶“发声频率-水量”的关系,上述频率对应玻璃瓶水量也如表5所示.

与物体质量大小的关系:“物大音低、物小音高”;收获了测量音调的技能;Phyphox软件的使用;拓展了学生的思维;把所学知识与技能实际应用到生活中;升华学生情感态度;物理与生活是真实联系在一起的,艺术丰富了生活,而物理为生活带来了高质量的艺术.

### 参考文献

- [1] 朱浩瀚.浅谈物理教学中学习策略的渗透[J].科技信息(学术研究),2008(34):646.
- [2] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S].北京:人民教育出版社,2020:4.
- [3] 惠宇洁.智能手机在物理实验教学中的应用探讨——以Phyphox软件为例[J].物理教学探讨,2018,36(7):70-72.
- [4] 王经淘,程敏熙,贾昱,等.利用Tracker软件分析气垫导轨上弹簧振子的阻尼振动[J].大学物理,2014,33(4):22-24.
- [5] 宋徐林,王昆林.利用DIS数字化信息系统对高脚玻璃杯振动声现象的研究[J].物理实验,2015,35(3):43-46.
- [6] 王盼盼.利用智能手机研究声音频率与杯中水量的关系——以苏科版物理八年级上册“声音的特性”中的一则习题为例[J].实验教学与仪器,2021,38(9):45-47.

(上接第33页)

### 参考文献

- [1] 蒋最敏,高景.普通高中教科书物理选择性必修第三册[M].上海:上海科学技术出版社,2021.
- [2] 梁灿彬.普通物理学教程:电磁学[M].北京:高等教育出版社,2018.

- [3] 周琪兵.高中物理光电效应复习中应处理好的三个问题[J].物理教学探讨,2013,31(2):43-44.
- [4] 史博文.对多光子光电效应的一些思考[J].物理通报,2014(S2):22-24.
- [5] 李凯.浅析光电效应和康普顿效应的联系和区别[J].新课程学习(中),2011(8):140.