

光电效应的发现历史及其启示*

张鑫慧 梁敏

(山东科技大学电子信息工程学院 山东 青岛 266590)

(收稿日期:2022-02-24)

摘要:讲述光电效应的发现历史及实验研究过程,介绍爱因斯坦对光电效应的量子解释和对量子理论发展的推动作用.阐明了光电效应的贡献及对当代物理相关专业学生和科研工作者的有益启示.

关键词:光电效应;发现历史;量子解释;启示

1 引言

光电效应是一个重要的物理现象,是指当高于一定频率的光线照射在金属表面时,电子从金属材料表面逸出而产生光电流的现象.德国物理学家海因里希·鲁道夫·赫兹于1887年发现光电效应,德国物理学家菲利普·莱纳德于1902年总结了光电效应的重要规律,物理学家阿尔伯特·爱因斯坦于1905年对光电效应做出合理的量子解释.光电效应这一现象的发现和爱因斯坦对光电效应的量子解释推动了量子理论的诞生和发展,突破了经典理论对现代物理学发展的桎梏,具有划时代的意义.

2 光电效应的发现历程

1887年,赫兹首次发现光电效应.1902年,莱纳德通过实验系统地总结了光电效应的重要规律.光电效应的发现推动了量子力学的诞生和发展.

2.1 赫兹的“意外”发现

1887年,赫兹忙于进行证实电磁波存在的电火花放电实验.赫兹所用的技术实验研究装置设计如图1所示,其中a、e为高压感应圈,高压感应圈a与火花隙d相连,高压感应圈e与火花隙f相连,高压感应圈用于产生电火花.为了方便观察实验现象,赫兹利用暗箱将接收电磁波的接收器罩住,却意外地发现接收间隙的放电火花变暗了,这一“奇特的效应”令赫兹百思不得其解.为了弄清这一现象的缘

由,赫兹进行了一系列实验,最后发现放电火花变暗这一现象并非暗箱对电磁波的屏蔽作用,只是当紫外光照射在负电极上时,电火花放电才最为明显^[1].

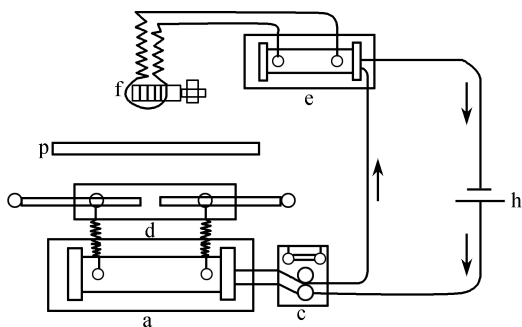


图1 赫兹研究光电效应实验装置示意图

赫兹发现的这种光信号转换为电信号的现象也被称为光电效应,这一奇特的发现在物理学界引起了极大的轰动.遗憾的是,赫兹于1894年就去世了,并没有对光电效应进行更深入的研究,但他发现的这一奇特效应吸引了不少物理学家进行探索和研究.

2.2 莱纳德“无法解释”的实验结果

在光电效应的发现和研究过程中,德国物理学家莱纳德,也是赫兹的助手,同样做出了重要的贡献.莱纳德所用的技术实验研究装置设计如图2所示,K为阴极,A为阳极,阳极和阴极皆被封闭在真空管中.利用滑动变阻器可改变两极之间的电压,光透过石英小窗照射到阴极K上,使电子从金属表面逸出,逸出的光电子定向移动形成光电流.电子在正

* 山东科技大学课程思政培育项目:《光学》,项目编号:KCSZ202221;山东科技大学教育教学研究“群星计划”项目:课程思政理念下大学物理课程创新教学改革研究与实践,项目编号:QX2022M41.

作者简介:张鑫慧(2002-),女,在读本科生.

通讯作者:梁敏(1980-),女,副教授,主要从事大学物理教学和微波电场测量与控制方面的研究.

向电压的作用下定向移动到阳极上,当正向电压增大到一定值时,单位时间内阴极上发射出的电子会全部抵达阳极,此时两极之间的光电流达到它的最大值,称为饱和光电流^[2].

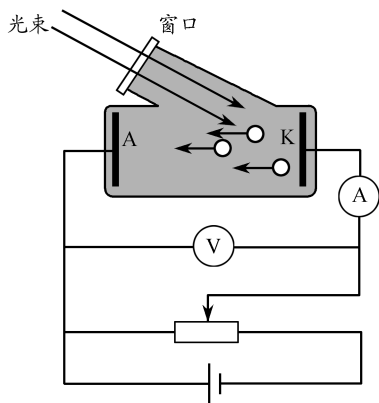


图2 莱纳德研究光电效应实验装置示意图

首先,莱纳德研究了饱和光电流和入射光强度之间的关系,所采用的方法是测量在不同强度的紫外光照射下,相同时间间隔内从阴极K到达阳极A的电荷数目,发现到达阳极A的电荷数目与入射光的强度成正比,即饱和光电流与入射光的强度成正比.除此之外,莱纳德还将两极间的正向电压改为反向电压来测量逸出电子的最大初动能,当两极之间的电势差减小到零,直至正向电压变为反向电压时,仍有电子到达阳极A,这表明从阴极K逸出的电子具有一定的初动能.当反向电压增大到一定值时,阴极与阳极之间的光电流降为零,这个电压称为遏止电压^[2].同时改变入射光的强度,莱纳德发现使光电流降为零的电压不变,即入射光的强度并不影响遏止电压的大小.这意味着电子离开金属表面时的最大初动能与入射光强度无关.

莱纳德通过实验系统的总结了光电效应的实验规律,但同时发现光电效应的一些实验规律却与经典理论背道而驰,用经典理论难以解释,推动了爱因斯坦光子假说的诞生.

3 爱因斯坦对光电效应的量子解释

3.1 量子理论提出的时代背景

在光学的发展史上,对光本质的研究引发了“波粒之争”,即关于波动学说与微粒说两种不同观点的争论.波动说认为光在一种名为“以太”的弹性媒质中以波的形式传播.微粒说认为光是从光源发出的

一种类似微粒的物质所形成的粒子流,即现在所称的“光子”.

3.2 光电效应的量子解释

1900年,普朗克通过能量量子化理论合理地解释了黑体辐射现象,他指出:器壁振子的能量不能连续变化,称之为能量量子化^[3].在整个物理学界甚至普朗克自己都在怀疑“能量量子化”正确与否并企图将“能量量子化”向经典物理学靠拢时,爱因斯坦受到普朗克“能量量子化”理论的启发提出了光子假设,他指出:光在传播过程中具有波动的特性,而光在和物质相互作用中,光能量是集中在一些叫做光量子的粒子上.基于光量子的概念,爱因斯坦根据能量守恒定律提出了爱因斯坦方程

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

式中 h 为普朗克常量, ν 为光子的频率, W 为光子逸出金属表面所需要的能量,即逸出功.

由于一个电子只能吸收一个光子的能量,因此光电子的数目正比于光子的数目,当从阴极发出的光电子全部到达阳极时形成饱和光电流,而又因为光子的数目与入射光的强度有关,所以饱和光电流与入射光的强度成正比^[4].由爱因斯坦方程 $h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$ 可知,当光照射同一金属表面时,改变入射光的强度,光电子的最大初动能不变;当改变入射光的频率时,频率越大,光电子的最大初动能越大,这就表明光电子的最大初动能与入射光的强度无关,而与入射光的频率成正比.由此可见,爱因斯坦提出的光子理论与爱因斯坦方程很好地解释了光电效应的实验规律.

3.3 密立根的质疑

光子假说被提出时,实验测量技术相对落后,无法得出精确的实验数据,再加上这一观点与经典物理学的观点大相径庭,因此当时包括密立根甚至“能量量子化”概念的提出者普朗克在内的绝大多数物理学家都认为光子假说是“冒昧的假设”,是站不住脚的错误观点^[5].

1910年,美国物理学家罗伯特·安德鲁斯·密立根做了大量实验想要证明爱因斯坦光子假说的错误性.他选用了6种不同频率的光,使其透过石英小窗照射金属材料的表面,分别测量它们在不同电

压下的光电流的大小,并通过实验结果绘制了电压与频率之间的关系图,但令密立根意想不到的,6种频率的光分别对应6种不同的遏止电压,绘制出的图像刚好是一条完美的直线^[6].密立根所得到的实验结果恰恰印证了爱因斯坦方程中遏止电压与频率所成的线性关系,最终证明了爱因斯坦的光量子假说和爱因斯坦方程的正确性.1922年,光量子的存在被康普顿效应证实,光量子理论逐渐被人们接受.

自1910年起,爱因斯坦几乎每年都被提名诺贝尔奖,但由于相对论未被证实以及受到当时保守势力的反对,爱因斯坦频频落选.在爱因斯坦广义相对论得到实验证实后,支持爱因斯坦的人越来越多,但当时瑞典皇家科学院中最具权威的成员古尔斯·全德依然极力反对将诺贝尔奖授予爱因斯坦.直到时任评选委员会成员的奥辛提出了一个折中的办法,他提议按照普朗克的建议以光电效应理论授予爱因斯坦诺贝尔奖.经过投票,爱因斯坦在支持票数上取得压倒性的优势,诺贝尔奖委员会最终决定将1921年的诺贝尔物理学奖授予爱因斯坦,至此爱因斯坦才第一次获得诺贝尔奖^[7].

4 光电效应的应用及启示

4.1 光电效应的应用

如今光电效应的应用已经遍布人们生产生活的各个领域.光电倍增管便是利用光电效应研制的光电子器件之一,它能灵敏、快速地将弱光信号转化成对应的电信号.因此,光电倍增管被广泛地应用在光学测量仪器和光谱分析仪器等众多高新探测技术中^[8].此外,光电倍增管还被应用在医疗、军事、核工业、航空航天等领域,推动了科技和社会的进步.

除光电倍增管外,光电控制器也是利用光电效应原理制成的光学器件,它可将接收的光强信号的变化转换为电流信号的变化以达到自动控制目的.由于光电控制器具有响应速度快、适用范围广等特点,被广泛地用于社会生产和科学研究等各个领域.

4.2 光电效应对物理学的贡献

爱因斯坦的光量子假说推广了普朗克的能量子假说,他突破了普朗克只认为能量是不连续变化的理论的局限性,在光量子假说中指出光在传播过程中具有波动的特性,而光在和物质相互作用时有粒子的属性^[9].爱因斯坦的光量子假说揭示了光波粒

二象性的本质,这使人们对光有了进一步的认识.德布罗意在爱因斯坦光量子假说的启示下提出了物质波的概念,使人们清晰地感知到实物粒子和光一样具有波粒二象性,推动了量子力学的建立和发展^[10].同时玻尔也受到爱因斯坦量子理论的启发,提出了原子结构的玻尔理论.光电效应不断衍生新的物理成果,为物理学的发展注入源源不断的活力.

4.3 光电效应对物理学习的启示

(1) 善于发现、勤于思考

赫兹在进行电火花放电实验时意外发现了电火花异常放电现象,他并没有忽略这一现象,而是敏锐地思考产生这一现象的原因,并进行了大量的实验研究,最终发现了光电效应.这启发我们在物理学习中要善于观察发现,不能忽略一丝一毫的线索,勤于思考,培养严谨求实的科学研究态度.

(2) 冲破桎梏、大胆创新

爱因斯坦敢于冲破经典物理学的桎梏,基于普朗克“能量量子化”理论提出光量子假说,推动了量子力学的发展和对光本质的认知,历经曲折,最终获得诺贝尔奖.冲破桎梏、大胆创新是科学研究中必不可少的素养,具有打破思维定式、大胆创新的意思,在物理学习及科学研究中具有十分重要的意义.

5 结束语

光电效应的发现及光量子解释是物理学的一大进步,推动了量子力学的诞生和发展,促进了理论物理和实验物理的发展,同时光电效应原理也被广泛地应用于生产生活的各个领域.此外,光电效应的发现和研究历程也为科学研究提供了有益启示,指引我们在探索物理科学世界奥秘的道路上不断前进.

参考文献

- [1] 钱长炎.赫兹对光电效应的研究及其历史意义[J].自然杂志,2003(2):117-122.
- [2] 姚启钧.光学[M].北京:高等教育出版社,2014:282-290.
- [3] 苗晶良.从旧量子论到量子力学的演变[J].张江科技评论,2021(2):74-77.
- [4] 许富宗,张继业,王达,等.经典物理到量子物理的过渡——以波动力学的建立为主线探索[J].物理教学,2019,41(9):76-79.
- [5] 杨蓉,彭朝阳.在物理教学中渗透科学本质观——以人教版物理选修“科学的转折:光的粒子性”一节为例[J].科技资讯,2012(8):173-174.

(下转第161页)

电子技术的应用,有兴趣的教师、学生及科技爱好者可深入了解。

参考文献

- [1] 人民海军. 海军新闻发言人就福建舰下水命名有关问题发布信息[EB/OL]. (2022-06-17). https://weibo.com/u/7073308386?is_hot=1.
- [2] 张明元,马伟明,汪光森,等. 飞机电磁弹射系统发展综述[J]. 舰船科学技术,2013,35(10):1-5.
- [3] 谭溥学,孙文龙,舒悦,等. 基于电磁弹射系统的直线电

- 机研究[J]. 科协论坛(下半月),2013(6):49-50.
- [4] 马伟明,鲁军勇. 电磁发射技术[J]. 国防科技大学学报,2016,38(6):1-5.
- [5] 官春科. 美军最新型“福特”级航母上的电磁弹射系统[J]. 军事文摘,2016(11):37-39.
- [6] 马伟明. 关于电工学科前沿技术发展的若干思考[J]. 电工技术学报,2021,36(22):4627-4636.
- [7] 刘锦波,张承慧. 电机与拖动[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

Junior Discussion on Electromagnetic Ejection Technology

YAN Shuo

(Shijiazhuang No. 1 Middle School, Shijiazhuang, Hebei 050000)

JIANG Chundong

(Institute of Artificial Intelligence and Data Science, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract: This article takes the launch of China's first aircraft carrier with catapult aircraft launch system "Fujian Ship" as the background, conduct a discussion on the electromagnetic catapult technology equipped on the ship, discusses in detail the selection of linear motors for electromagnetic catapults and the pulse power supply technology two core technical points, and initially introduces the linear motor and pulse power supply technology on the ship.

Key words: electromagnetic ejection; linear motors; pulse power supply

(上接第 157 页)

- [6] 王娜,樊晓宇,郭明磊,等. 浅谈物质波的发展[J]. 现代计算机,2019(35):11-14.
- [7] 施郁. 爱因斯坦的奇葩诺奖[J]. 科学文化评论,2017,14(6):111-120.
- [8] 哈睿. 光电倍增管性能和应用的研究[J]. 电子制作,

- 2014(20):20.
- [9] 叶金琴,刘扭参. 关于光与物质相互作用的相关概念的探析[J]. 河南教育学院学报(自然科学版),2019,28(2):38-40.
- [10] 许方杰. 宏观物体是否具有德布罗意波[J]. 物理通报,2020(3):109-113.

The Discovery History of Photoelectric Effect and Its Enlightenment

ZHANG Xinhui LIANG Min

(College of Electric and Information Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590)

Abstract: This paper describes the discovery history and experimental research process of photoelectric effect, and introduces Einstein's quantum interpretation of photoelectric effect and its role in promoting the development of quantum theory. The contribution of photoelectric effect and its beneficial enlightenment to contemporary physics related students and scientific researchers are expounded.

Key words: photoelectric effect; discovery history; quantum interpretation; enlightenment