

# 勒纳和光电效应

杨建邨 庄国策

(华中理工大学物理系, 武汉 430074)

我们知道, 爱因斯坦 (A. Einstein) 获得 1921 年诺贝尔物理学奖的原因是“因为对理论物理学所作的贡献, 特别是发现了光电效应定律”。诺贝尔奖金评选委员会的这一决定, 使德国另一位著名的物理学家勒纳 (P. Lenard, 1862—1947) 大为恼火, 因为正是他对光电效应作了系统而有成就的研究。他不仅和汤姆孙 (J. J. Thomson) 同时证明光电效应是由下述事实造成, 即从金属表面发射了带负电的微粒 (即电子)<sup>[1]</sup>, 而且他还在一篇较长的论文中, 报道了他在光电效应研究中得出的两个重要发现<sup>[2]</sup>。劳厄 (M. von Laue) 曾称这两个重要发现为“两个惊人的规律”。勒纳一直坚持认为, 光电效应发现的优先权非他莫属。有位传记作者写道: “勒纳一直不原谅爱因斯坦用自己的名字冠在这个定律之上。”<sup>[3]</sup>

本文打算对光电效应早期研究的情形作一回顾, 并着重介绍勒纳的贡献和他的某些错误思想。

邓稼先先生一贯谦虚真诚、作风引主。他身居领导岗位, 是一位出色的科研工作组织领导者, 但他从不自傲, 平易近人, 真诚相待, 善于倾听别人意见, 从不以势压人。在学术问题上, 他充分发扬学术民主, 平等讨论, 博采众长。在科研工作中, 他非常注意发挥各人所长, 使之各尽所能。他热爱工作又热爱生活, 业余爱好广泛、活泼开朗。研究所建立初期, 他是研究所里唯一的高级研究人员, 他既当老师又当学生, 虚心学习比他年轻的大学生们长处, 从不摆领导的架子, 人们都亲热地称呼他“老邓”。在内爆型原子弹的物理过程等先后九次的计算分析

物理

## 一、勒纳的生平

勒纳于 1862 年 6 月 7 日生于匈牙利的普雷斯堡 (现捷克和斯洛伐克共和国的布拉迪斯拉瓦)。勒纳先后在布达佩斯、维也纳、柏林和海德堡等地学习物理学, 教过他的老师有本生 (R. W. Bunsen)、赫姆霍兹 (H. L. F. von Helmholtz) 和昆克 (G. H. Quincke) 等著名物理学家。

1886 年, 勒纳在海德堡大学获得博士学位以后, 留校作昆克的助手。在此期间, 他开始接触到光电效应, 并与沃尔夫 (M. Wolf) 作过有关光电效应的一些简单实验。从 1892 年起, 他在波恩大学任讲师, 并担任赫芝 (H. R. Hertz) 的助手。在赫芝的影响下, 勒纳开始研究阴极射线的性质。由于赫芝的建议和鼓励, 他发明了“勒纳窗”, 这就使得人们可以把阴极射线和它的源分离开, 从而将阴极射线作为自由对象

过程中, 专家云集, 众说纷纭, 在他的领导下出现了一种使普通科研人员与高级专家在学术上平等讨论的民主气氛。这种学术民主风气一直延传至今, 对于我国核武器理论的迅速发展及其多次重要突破, 产生了非常重要的作用。

邓稼先先生不愧是中华民族的好儿子, 他对祖国的贡献永载史册, 他的光辉业绩、优秀性格和品质永恒。

本文参考了胡思得同志撰写的关于邓稼先先生的文章, 得到邓稼先先生的夫人许鹿希教授的大力支持并认真审阅全稿, 谨此致谢。

来研究。1896年,勒纳被任命为海德堡大学的理论物理教授,两年之后,他又被任命为基尔大学常任教授。1907年,勒纳又回到海德堡大学任教。1933年希特勒登上德国总理的宝座后,勒纳成了纳粹党在科学界忠实的代言人。作为回报,希特勒将德国物理学会主席的桂冠戴到了他的头上。

勒纳除了在阴极射线方面有卓越的贡献,并因此而获1905年诺贝尔物理学奖以外,在光电效应方面也有功不可没的发现。1903年,他还根据他在光电效应研究中提出的假说,提出过一种原子模型。在光谱线的本性及其起源方面,他也作过具有启发性的研究并获得成果。

1947年5月20日,勒纳在梅塞尔豪森去世。

## 二、勒纳在光电效应方面的研究

光电效应指的是金属表面在光的作用下释放电子的现象,确切地说,这一现象应该称作“光电发射效应”。

光电效应是赫芝在1887年首先发现的。赫芝在研究电磁波性质时发现,如果用紫外线射到火花放电的罅缝中时,放电变得容易一些。赫芝对这一偶然的发现没有作出任何解释,只是作了忠实的记录。但这一发现立即引起了许多物理学家的注意。

1888年,德国物理学家霍尔瓦希(W. L. F. Hallwachs)做了一系列实验,率先对光电效应进行了实验研究。虽然霍尔瓦希也没有弄清光电效应的本质,但他能够用实验证明,某些不带电的金属表面如果经紫外线照射,可以得到一个正电荷<sup>[4]</sup>。在德国,还有埃尔斯特(J. Elster)和盖特尔(H. F. Geitel)等人对光电效应作过实验研究,他们发现有些金属如钾、钠、锌等的汞合金不仅在紫外线作用下发生光电效应,而且在可见光作用下也有光电效应产生。他们甚至还认为,光电效应的带电粒子是以一定的速度从金属中逃逸出来的<sup>[5]</sup>,这与当时流行的看法是不相同的。当时多数人认为,光

电流的本质是光促使气体分子分解,即当金属极板周围的气体因光的作用与极板相撞时,气体分子就被分解为带电的原子组分,其中负电荷随即离开极板,形成光电流<sup>[6]</sup>。这种假设,显然是受了液体电解机制的影响。

除了德国,还有意大利和俄国的物理学家对光电效应的研究作出了重要的贡献,其中特别应提到的是俄国的斯托列托夫(A. Г. Столетов)。他不仅与霍尔瓦希和意大利物理学家里纪(A. Righi)同时于1888年各自独立地发现光电效应,而且还是光电效应定量研究方法的创始人之一。

到1889年,光电效应已经是一个比较时髦的研究课题,恰好这时勒纳已经获得博士学位三年,正忙于寻找一个崭新的研究课题,于是他把他的研究方向确定在光电效应上。当时,物理学家们已经实现了用紫外线照射金属板后,引起带负电的粒子流离开金属板,形成所谓“光电流”,而且这种现象的产生与金属板开始是否带电没有关系。但是,光电流的本质是不清楚的。虽然有极板周围气体分子分解假说,但勒纳从一开始就不同意这一假说。他曾与后来成为天文学家的沃尔夫做过一些关于光电效应的实验,试图用实验否定气体分子分解的假说,但没有达到预期目的,这使勒纳十分惊奇<sup>[6]</sup>。

1891年,由于他成了赫芝的助手,在赫芝的影响下,他开始研究阴极射线,暂时中断了光电效应的研究。后来的事实证明,1892年的转向对他毕生的科学事业具有关键性的作用。

阴极射线是在稀薄气体的放电管中产生的一种看不见的辐射。当时,以克鲁克斯(W. Crookes)为首的英国物理学家认为,阴极射线是由带电的物质分子形成。在德国,观点虽不止一种,但流行的看法认为阴极射线是以太中的高频振荡。德国物理学家的根据是基于这样一个假设:只有以太波才能激发出荧光。当时有两个实验似乎证实了阴极射线的以太波动说。一是1883年赫芝发现,静电场不可能使阴极射线发生偏转;二是1891年,赫芝和勒纳发现,阴极射线可以穿过金属箔<sup>[7]</sup>。当时人们很

难想象,物质分子能够穿过金属。

当勒纳开始研究阴极射线时,他接受了阴极射线的以太波动假说。非常幸运的是,赫芝将一个想法告诉了勒纳,即他认为可以用一片薄铝箔将阴极射线放电管的空间隔成两半,一边是与源没分开的部分,而另一边则是与源分开了的阴极射线。这个实验是以前从未作过的,赫芝因为太忙,就建议勒纳去做这个实验。

勒纳立即动手做这个实验。在用了大量不同厚度的铝箔测试后,勒纳终于作出了闻名于世的“勒纳窗”。1894年,勒纳公布了他的重大发明<sup>[6]</sup>。勒纳用一块厚度适中的铝箔封闭放电管,它恰好可以使管内保持真空,但又要薄到恰好能让阴极射线通过。这样,勒纳就可以方便地研究这些透过铝箔在管外的阴极射线,而其中有些实验项目以前是根本无法进行的。

非常有趣的是,伦琴(W. C. Röntgen)正是用勒纳设计的放电管发现了X射线。勒纳对此十分恼火,并且坚持认为伦琴发现的X射线只不过是他研究过的放电管外面的以太波的特殊情形。在勒纳看来,X射线只不过是一种特别“硬”的阴极射线,其速度接近光速。因而,勒纳对X射线发现的优先权提出了要求,他认为伦琴的那些引起轰动的照片,只不过是一种技术加工而已。

开始,大部分物理学家都赞成勒纳对X射线实质所作出的解释。但到1897年以后,勒纳的观点受到了冲击。1896年,勒纳在英国科学促进会第66次会议上以特邀代表身份发言时,他再一次宣称,阴极射线和X射线都是以太波,X射线实质上就是在磁场中不被偏转的阴极射线,只不过硬一点而已。J. J. 汤姆孙立即发言指出,勒纳对阴极射线本质的解释,与佩兰(J. B. Perrin)的实验结果相矛盾。佩兰曾用实验证明,阴极射线带有负电荷,与X射线不同<sup>[9]</sup>。但勒纳认为,佩兰的结论缺乏说服力,因为阴极射线的任何有意义的实验必须在高真空条件下进行。

第二年4月,汤姆孙作出了更重要的发现,他成功地使阴极射线在静电场中发生了偏

转<sup>[10]</sup>。随后,汤姆孙还测出阴极射线的荷质比,它是一个常数。据此,汤姆孙有理由认为,构成阴极射线的微粒比人们知道的任何原子都还要小许多。从此以后,人们就不再把X射线和阴极射线等同起来,包括勒纳在内,大家一致认为X射线是不带电的电磁扰动。勒纳对X射线发现优先权的要求,彻底被否定了。

但关于阴极射线的本质,勒纳还不肯全盘接受英国同行们的观点。虽然他在真空度更好的情形下重复了汤姆孙的实验,得出了与汤姆孙相同的结果,而且他还承认,“从各方面来看,阴极射线的行为就好象运动着的携带负电荷的物质”,但他又以完全不同的方式解释说:“这儿,人们有了至今未被发现的单个以太碎片存在的证据,它们各自独立地运动,具有质量(惯性),并且好象与电荷携带物完全一样。”<sup>[11]</sup>

也许正是基于这种对阴极射线的新的理解,勒纳于1898年起对光电效应再次发生了兴趣。在再次研究光电效应的过程中,由于勒纳已经熟练掌握研究阴极射线的实验技巧,而且在这方面已是世界公认的权威,所以研究的进展十分迅速。

1899年10月,勒纳在一篇论文中报道了他研究的进展<sup>[12]</sup>。其中有两条结论十分重要:一是紫外线作用下引起的光电流必需在高真空中才能表现出来,这意味着光电流不决定于放电管中的气体;二是他测出光电流中带电粒子的荷质比与阴极射线中测定的荷质比基本相符,而且在两电极间将电势增加20倍,荷质比仍保持常量。由于这些实验结果,勒纳认为光电效应的行为“就象阴极射线通过放电管”。当勒纳正准备将他的研究成果作公开报道时,他发现作公开报道时,他发现汤姆孙已经作出了与他的结论相同的实验<sup>[13]</sup>,这使他又一次十分恼火,他甚至无端地埋怨说汤姆孙是仿效他的实验。勒纳似乎总有无穷的埋怨,当伦琴发现X射线时,他也曾埋怨赫芝误了他的事,否则X射线将是由他首先发现。不过,这次汤姆孙特意用德文发表他的论文(也是唯一的一次),由此可以猜想,汤姆孙知道勒纳的研究方向。

但勒纳不愧是一位实验高手，他巧妙地设计了一些实验仪器，使他对光电流的特性有日渐深入的了解。例如，为了加速光电流中电子的速度并测量它们的能量，勒纳发明了一种光电管，类似今日无线电技术中的三极管，其不同之处仅在于勒纳的光电管中，由光的作用使阴极发射电子，而今日的三极管则是加热白炽灯丝来发射电子。显然，后者可以发射出强得多的电子流。

1902年3月，勒纳在一篇长50页的论文中，报道了他研究的最新成果<sup>[2]</sup>，其中有两个特别重要的发现：(1)为了从一个给定的金属表面获得电子，只有具有某些频率的入射光才是有效的；(2)发射出来的电子其速度不依赖于入射光线的强度，即电子的速度(或它们的动能)与发射的电子数目完全没有关系，只与光的波长有关，波长减小时电子动能增加。

勒纳的实验的确令人叹服，爱因斯坦曾把勒纳的上述实验誉为“开创性的”<sup>[4]</sup>。

但以上实验结果与当时流行的理论是相互矛盾的，因而对光电子流形成的机制必须作出合理解释。

### 三、勒纳的触发假说

为了解释光电流形成的机制，勒纳首先提出了“触发假说”(triggering hypothesis)。勒纳显然受了光电子速度与光强无关这一实验事实的启迪，因而认为在光电效应中，光的能量并没有转变成电子的能量，光仅仅起着激发原子内部的电子作共振运动的作用，对电子的能量并未作出贡献。自由电子以它原来在原子中已被决定的速度飞出来。他在1902年3月的论文中指出：“所发射的量子(勒纳将电子称为量子)的初速度完全不是起源于光能，而是起源于在照射以前就已经存在于原子内部的那些剧烈的运动；因此(由入射辐射激发的那些电子的)共振运动只起着一种释放(电子的)机制的作用。”“光仅仅起着触发已经存在于原子内部的电子运动的作用。”<sup>[2]</sup>

勒纳十分满意于他的触发假说，因为它还可以解释电子运动的最大速度与激发光的种类有关这一实验结果。勒纳认为，光以某种方式影响着具有一定光谱特征的阴极金属板，只有当光的频率达到原子中电子振荡的频率时，才可能将电子激发出来。因此，不同的光源能够触发具有不同速度的电子从同样的极板中逸出。原子中的电子所具有的速度分布，完全取决于原子的结构，频率不同的光对这种速度分布具有挑选作用。

勒纳不仅满意地认为他的假说可以完美地揭示光电流形成的机制，他还认为由电子可能具有的速度分布，可以反映出原子内部的动力学结构。认识到这一点之后，勒纳没有进一步去研究光的频率与速度的关系，他将自己的研究方向转向研究原子内部的速度分布，希望以此揭示原子的结构。勒纳相信，触发假说架起了光电效应和原子结构间的桥梁。

触发假说提出来以后，受到科学界的普遍好评，例如德国物理学家拉登堡(R. W. Ladenburg)就曾指出，触发假说是“可接受的物理真理”之一<sup>[5]</sup>。但也有许多实验结果无法用触发假说解释，例如如果电子从原子内部获得速度，象勒纳假设的那样，那么加热阴极就应该使发射的电子速度增大。但实验结果否定了这一推论<sup>[6]</sup>。还有，当时的实验并不能清楚地显示光和电子的相互作用真是共振。尽管有许多不利于触发假说的实验事实，但在1911年以前，大部分物理学家仍然认为，实验将最终证实触发假说。

1911年以后，精确的实验证明光电效应起因于能量的转移，这样触发假说赖以立足的根基就被抽掉了，勒纳的工作再次黯然失色。但他本人直到1920年还不肯承认这一事实，还试图激发人们对他的假说再次燃起希望。但在量子力学大潮即将奔腾而来时，勒纳的希望几乎没有引起任何人的重视。

#### 四、爱因斯坦的光量子假说

在勒纳的触发假说还没有遭到冷遇，人们对于它还抱有相当大的期望时，爱因斯坦于1905年提出了另一个截然不同的“光量子假说”。

1905年3月，爱因斯坦在德国的《物理学纪事》第17卷上发表了题为《关于光的产生和转化的一个推测性观点》的论文<sup>[4]</sup>。在论文中他指出，“当人们试图解释光电现象时，认为光的能量连续地分布在它传播所及的空间中的那种通常想法就会遇到一些特别大的困难”。为了解决这一众所周知的困难，他提出，“如果假定光的能量不连续地分布于空间的话，那么，我们就可以更好地理解黑体辐射、光致发光、紫外线产生阴极射线以及其他涉及光的发射与转换的现象的各种观测结果。根据这种假设，从一点发出的光线传播时，在不断扩大的空间范围内能量是不连续分布的，而是由一个数目有限的局限于空间的能量量子所组成，它们在运动中并不瓦解，并且只能整个地被吸收或发射。”爱因斯坦把这些不连续的能量量子取名为“光量子”(light quanta)。波动的振幅(即光强)决定于光量子在某点上的数量，不过这数量只是一种统计上的平均值。

爱因斯坦还高度评价了勒纳的观测结果，认为它们具有开创性的价值。但他认为，勒纳的观测结果恰好证明了光的量子性。如果光是由能量量子组成的，每个能量量子的大小为 $h\nu$ ，量子透入到金属表面层中，它们的能量至少部分转化为电子的动能。在最简单的情形下，光量子把它的全部能量转移给一个电子并使其获得自由。当它离开金属表面时，这个电子损失一部分能量以克服离开金属所需的功。这样，爱因斯坦得到了电子动能极大值的公式：

$$E_{k,\max} = h\nu - W。$$

上式现在一般称为爱因斯坦光电方程。通过这一方程，人们可以贴切地解释勒纳的所有观测。

爱因斯坦的光量子假说提出来以后，遭到

物理

了几乎所有物理学家的怀疑和反对。洛伦兹(H. Lorentz)说：“那是绝不可能的。”就连普朗克(M. Planck)这位首先提出能量量子假说并率先支持狭义相对论的杰出物理学家，也认为爱因斯坦“在其思辨中有时可能走得太远了”，并一再告诫物理学家们应该以“最谨慎的态度”对待光量子假说。

爱因斯坦的假说之所以不能为当时物理学界接受，原因是极复杂的。首先，当时所有有关光电效应的实验都很粗糙，很原始。据光电效应研究的先驱休斯(A. L. Hughes)说：“关于光电效应，当时的确了解得很少，光电的真空工作还没做过，即便做了也是在非常可怜的情形下完成的。事实上，在测定一定电路中足以制止光电流所需的遏止电压方面，也并没有做出什么努力。”<sup>[5]</sup>美国物理学家密立根(R. A. Millikan)，这位后来被认为用实验验证了爱因斯坦光量子假说的人，也曾经在谈到爱因斯坦方程时指出：“那个时候实际上根本没有任何实验数据能够说明上述电位差与频率 $\nu$ 的关系是什么性质的，也不能说明在方程中假设的物理量 $h$ 是不是比普朗克常数更大的一个数，……甚至在爱因斯坦提出自己的假说之前，这些论点中连一个都没有检验过，而且这个假说的正确性在不久前还被拉姆威尔无条件否定过。”<sup>[6]</sup>

其次，爱因斯坦的假说完全背离了经典的电磁理论，而电磁理论在当时可以说正处于其辉煌成就的顶峰。不仅其他物理学家实在难于接受爱因斯坦的假说，就是爱因斯坦本人也以十分谨慎的态度对待光量子假说。从他第一篇论光电效应文章的题目似乎也可以看出他是有顾虑的，他的题目表明他只提出了一个“推测性的观点”。后来在1911年召开的第一届索尔维会议上，他又一次表示了自己的谨慎，他说：“我坚持(光量子)概念具有暂时性质，它同已被证实了的波动说是无法调和的。”<sup>[7]</sup>也许正是由于他的谨慎，劳厄和索末菲(A. Sommerfeld)还误以为爱因斯坦放弃了光量子假说，并为此表示高兴。

最后，光量子假说之所以一时不能为人们

接受,还与当时人们对勒纳的触发假说的信赖有关。前面我们已经说过,在1911年以前,勒纳的假说颇得人心,尤其是勒纳的假说完全以经典物理理论为基础,再加上他高超的实验技术,连爱因斯坦在建立他的假说时也都利用了勒纳的实验数据,在这种情形下,要人们放弃他们熟悉和信赖的理论而去接受完全背离经典理论的新假说,是不符合常情的。即使是密立根,当他于1915年用精密实验证实了爱因斯坦的光电方程以后,他仍然认为光量子假说“看上去是站不住脚的”<sup>[18]</sup>。

严格地说,密立根1915年的实验并没有否认勒纳的触发假说,也未能使人们放心地接受光量子假说。实际上,从1913年到1923年的十年时间里,人们对于光电效应的理论解释采取了一种敷衍的态度<sup>[20]</sup>。这也许是因为人们暂时不知道如何处理光的波粒二象性这一悖论。只是到了1924年以后,人们已无计可施,只好对光量子假说采取姑妄用之的态度。明白了这种形势,我们也许可以理解爱因斯坦于1951年说的一段话:“整整50年有意识的思考还没有使我更接近‘光量子是什么?’的答案。当然,今天每一个不老实的人认为他知道了答案,但他是在欺骗自己。”

勒纳是一位很有才华的实验物理学家,这是世界公认的。但是,“他是不是一个理论家尚值得怀疑”。他的关于阴极射线的实验发现是出类拔萃的,关于光电效应的发现也是非常具有开创性的。人们承认了他的巨大贡献,他一生得到了许多荣誉,除了获得1905年诺贝尔物

理学奖以外,他还获得过 Baumgartner 奖、Rumford 奖章和 La Caze 物理奖等等。

照理说勒纳应该满足了,但他总是感到自己被忽视了,人们对他不够公正,他的发现的重要性被人们贬低了。他总有无穷无尽的埋怨,他对他周围的人似乎总抱有敌意。他后来之所以堕落成为一个忠实的纳粹党徒,之所以无理地攻击包括爱因斯坦、海森伯在内的许多物理学家,莫不与他的这种变态心理有关。

- [1] J. J. Thomson, *Phil. Mag.*, 48 (1899), 547—567; P. Lenard, *Ann. d. Phys.*, 2 (1900), 359—375.
- [2] P. Lenard, *Ann. d. Phys.*, 5 (1902), 149—198
- [3] 诺贝尔奖金基金会编,宋玉升等译,诺贝尔奖获得者演讲集·物理学,第一卷,科学出版社,(1985),125.
- [4] W. Hallwachs, *Ann. d. Phys.*, 33 (1888), 301—312.
- [5] A. L. Hughes et al., *Photoelectric Phenomena*, McGraw-Hill, (1932)
- [6] B. R. Wheaton, *Hist. Stu. Phys. Sci.* Hopkins U. Press, Vol. 9, (1978), 301—302, 303.
- [7] H. Hertz, *Ann. d. Phys.*, 45 (1892), 28—32.
- [8] P. Lenard, *Ann. d. Phys.*, 51 (1894), 225—268.
- [9] J. J. Thomson, *Rep. Brit. Assn. Adv. Sci.*, (1896), 702; J. Perrin, *Comptes Rendus*, 121 (1895), 1130—1134.
- [10] J. J. Thomson, *Phil. Mag.*, 44(1897), 293—316.
- [11] P. Lenard, *Ann. d. Phys.*, 64 (1897), 279.
- [12] P. Lenard, *Ann. d. Phys.*, 2 (1900), 359—375.
- [13] J. J. Thomson, *Phys. Zets.*, 1 (1889), 20—22.
- [14] A. Einstein, *Ann. d. Phys.*, 17 (1905), 145.
- [15] R. Ladenburg, *Jahrb. Radioak. Elek.*, 6(1909), 427.
- [16] R. Ladenburg, *Verh. Deut. Phys. Gesell.*, 9(1907), 165—174; R. A. Millikan and G. Winchester, *Phil. Mag.*, 14 (1907), 188—210.
- [17] A. L. Hughes, *Trans. Roy. Soc.*, 212 (1912), 205
- [18] R. A. Millikan, *Phys. Rev.*, 7(1916), 18
- [19] A. Einstein, in *Pro. of First Solvay Congress* (Eds. P. Langevin and M. de Broglie), Paris: Gauthier-Villars, (1912), 443.
- [20] R. Stuewer, *Minnesota Stud. Phil. Sci.*, 5 (1970), 246—263.