

# 震惊世界的光量子

谭天荣

青岛大学 物理系 青岛 266071

[ttr359@126.com](mailto:ttr359@126.com)

**内容提要:**按照光子论,光波同时又是一束称为“光子”的粒子,而光电效应则是如下过程:当光照射金属表面时,在金属中静止的电子吸收了光子,获得光子的能量,并将这一能量转化为自身的动能,从而离开金属。这种解释有一个极为初等的错误:按照能量动量守恒定律,当电子吸收一个光子时,不仅会得到光子的能量,而且会得到光子的动量。因此,一个静止的电子在吸收一个光子成为“光电子”以后,将沿光波的传播方向运动。可是,在显示光电效应的实验中,光波传播方向与光电子逸出方向明显不一致。这个错误也可以表成如下形式:根据相对论,吸收与发射的对立是绝对的:如果对某一参照系而言,一个物体经历了一个吸收过程,则对任何其他参照系来说,该过程也是吸收过程;但加速与减速的对立却是相对的:如果对某一参照系而言,一个物体经历了一个加速过程,则对其他参照系来说,该过程却可能是减速过程。可见一个物体不可能依靠吸收来加速,或者说,不可能经历一个只有吸收和加速而没有第三种效果的过程。按照光子论,光电效应正是这样的过程。由此可见,光子论对光电效应的解释违背了相对论。

其实,光电效应可在经典物理学的框架中说明如下:电子是一个“带电粒子”从而它将激发一个电磁场,这是该电子的“固有电磁场”,而电子的状态经久不变表明它的这两个组成部分保持着动态平衡。当电子进入光波时,将经历一个从真空中的平衡过渡到光波中的平衡的过程。在这一过程中,电子吸收了一份光波,从静止进入等速直线运动状态,还有第三种效果:从真空进入光波。正是因为未能表现这一“第三种效果”,光子论所描述的光电效应其实不满足能量动量守恒定律。

如果电子离开光波进入真空,则它将经历一个与从真空进入光波效果相反的过程,其效果为:电子发射了一份光波;改变整体运动的状态;从光波进入光波真空。如果电子进入光波以后,接着又离开光波,则它将经历上面两个过程的合成过程,其总的效果为:电子吸收了一份光波,又发射了一份光波;从静止进入某种等速直线运动状态。这就是康普顿效应。由于电子在该过程的初态与终态都在真空中,没有被光子论所忽略的“第三种效果”。因此,与光电效应不同,即使从光子论的角度看来,康普顿效应也满足能量动量守恒定律。

光波的波源是“物质”,而物质是由一个一个分立的原子组成的,相应地,物质发射光波的过程是由一个一个的分立的“原子发射光波”的过程合成的。原子的能量是有限的,因此原子发射光波只能是一个有始有终的有限过程。在这个有限过程中,原子只能发射一份有限能量的光波。许多同样的原子各自经历同样的有限过程将各自发射一份同样的光波。于是,在物质发射光波的过程中,光波的能量将一份一份地跳跃地增加,而普朗克所说的“能量子”,就是单个原子在某一有限的发射过程中所发射一份光波。由此可见,普朗克的辐射量子论乃是原子论的必然结论:“辐射的‘量子性’起源于辐射源的‘原子性’。”

[Academia Arena, 2009;1(1):76-88]. ISSN 1553-992X.

**关键词:** 电子论; 量子现象; 光子; 光电效应; 康普顿效应; 能量动量守恒定律; 辐射量子论; 普

朗克；电子的固有电磁场；观察者

## 1 引言

1900年，普朗克给出了一个与实验数据完全符合的辐射公式，并从它得出结论：辐射场的能量是由有一些“为数完全确定的、有限的而又相等的部分组成”，他把这种部分称为“能量子”，而他的关于能量子的辐射理论现在称为“辐射量子论”。这一结论使得当时的物理学家们极为震惊，他们认为普朗克的这种理论是完全超出物理学的理论基础的崭新的概念，是一个根本违反物理学的理论基础的革命性的概念，它表明能量不再是连续的，从而看到了物理世界不连续的另一面目。

爱因斯坦当时就说：“我要使物理学的理论基础同这种认识相适应的一切尝试都失败了。这就像一个人脚下的土地都被抽掉了，使他看不到哪里可以有可以立足的巩固基地。”既然如此，爱因斯坦就另辟蹊径。1905年，他在《关于光的产生和转化的一个启发性观点》一文中，大胆地提出了“光量子”假说：能量子概念不只是在光波的发射和吸收时才有意义，光波本身就是由一个个不连续的、不可分割的“光量子”所组成的，他还利用普朗克的能量量子化公式给出了光量子的能量和动量表达式。爱因斯坦的光量子现在称为“光子”，而他的光量子假说现在称为“光子论”。

爱因斯坦在1921年的诺贝尔物理学奖是因为他的这一光子论而不是因为他的相对论。人们认为：爱因斯坦的光子论是物理学上的划时代的成就，它成功地解释了经典电磁场理论无法解释的光电效应，首先揭示微观世界的“波粒二象性”，为量子力学奠定了基础。到了晚年，爱因斯坦自己也认为光量子概念是他一生中所发现的最具革命性的思想。

然而，在我看来，在爱因斯坦提出的各种新理论中，相对论确实是对物理学的划时代的贡献，但光子论却是其中的败笔，因为它有一个极为初等的错误。

## 2 光电效应与光子论的错误

在这里，我将从各种角度指出爱因斯坦的光子论中的这一错误。

按照光子论，光电效应是如下过程：光波同时又是一束称为“光子”的粒子，频率为 $\nu$ 的光波，其光子具有能量 $h\nu$ 。当光照射金属表面时，如果在金属中静止的电子吸收了吸收一个光子，则将获得光子的能量，并将这一能量转化为自身的动能，从而离开金属。在逸出金属表面的过程中经过金属的表面层时将作了“脱出功” $W$ 。于是，“光电子”即逸出金属表面的电子将具有动能

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W。$$

这里有一个细节有待阐明：电子是“先吸收光子再作脱出功”还是“一面吸收光子一面作脱出功”。如果电子先吸收光子再作脱出功，那么对于给定的金属，每个电子所作的脱出功 $W$ 是一样的，从而只有频率大于某一下限或“阈值”

$$v_{\min} = \frac{W}{h}$$

的光才能从该金属击出电子。反之，如果电子一面吸收光子一面作脱出功，则诸电子是在金属的表面层里吸收光子的，这些电子吸收光子时进入表面层的深度将是不同的，从而它们所作的脱出功也是不同的。在最顺利的情况下，电子吸收光子时已经到了金属表面，就完全不要做脱出功了。这样，能从该金属击出电子的光就没有频率的“阈值”。而实验早已证明光电效应确实有频率的“阈值”。于是我们得出结论：电子只能先吸收光子再作脱出功。这样，按照光子论，光电效应可以分解为两步：

第一步，在金属中静止的电子吸收了一个光子，获得了光子的能量，从而获得动能

$$\frac{1}{2}mu^2 = hv。$$

第二步，吸收了光子的电子离开金属表面，作脱出功  $W$ ，从而其动能变成：

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mu^2 - W。$$

光子论的问题出在上面的第一步，我提出了四个论据这一步是不能实现的。我想，不论你是物理学的顶尖高手，还是初学者，在这四个论据中，至少有一个适合你！

论据 1：设有甲和乙是置于光滑的水平面上的两块石头，甲静止，乙从西边飞过来碰撞它并使它移动，这时，甲会向东移动还是向西移动呢？我想，你的回答肯定是“甲会向东移动”。这样，我们可以得出如下结论：

A：如果把一个静止的物体从左往右碰，该物体不可能因此而向左移动。

如果你用心寻找，一定在某一本介绍光电效应的文章或书上看到如下示意图：光线从左上角入射到金属表面上，而被光波击出的电子——光电子，则从金属表面向左逸出，总之，光的传播方向与光电子的运动方向几乎是相反的。如果按照光子论把光电效应理解为电子与光子的碰撞，那么，按照命题 A 和这个示意图，光子只能把金属外面的电子碰到金属中去，而不可能把金属中的电子碰出来。

论据 2：按照光子论，对于地球这一参照系，光电效应是如下过程：电子原来是静止的，由于吸收了一个光子，转入某一等速直线运动状态。这一过程满足能量守恒定律。但存在另一参照系，对于它该过程却具有如下特征：电子原来处于等速直线运动状态，吸收光子以后，反而转入静止状态。这样，电子吸收了一个光子，反而失去了动能，这就违反了能量守恒定律了。

根据相对论，“能量守恒定律”与“动量守恒定律”是一个整体，称为“能量动量守恒定律”。按照光子论，虽然对于地球这一参照系，光电效应过程满足能量守恒定律，但对另一参照系却不满足。这样，对于地球这一参照系，该过程肯定不遵守“动量守恒定律”。电子被光子从左向右碰却反而向左边移动，就是“动量不守恒”的极端表现。

因此，光子论为光电效应所设想的机制违背了物理学的一个最基本的原理——能量动量守恒定律。

论据 3：在爱因斯坦的“相对论”中，“相对”与“绝对”具有如下特殊含义：对一切参照系都成立的事件称为“绝对的”，仅对某些参照系才成立的事件称为“相对的”。按照这种含义，如果对于某一参照系，一个物体经历了一个吸收（发射）过程，则对于其他参照系，该物体所

经历的也是一个吸收（发射）过程，在这种意义下，吸收与发射的对立是绝对的。反之，如果对于某一参照系，一个物体经历了一个加速过程，则对于其他参照系，该物体所经历的可能是一个减速过程，在这种意义下，加速与减速的对立是相对的。由此我们得出结论：一个物体不可能仅仅因为吸收而加速（也不可能以减速为代价来辐射）。这个命题也可以表成：

**B:** 如果一个物体同时吸收而又加速（或者同时减速而又辐射），则该过程一定还有第三种效果。

根据爱因斯坦的光电效应公式，电子吸收光子的过程乃是电子经历一个吸收并且加速而不引起第三种效果的过程，这就与命题 **B** 相矛盾了。

论据 4: 根据相对论，如果一个电子吸收了一个光子，则它的静止质量一定会增加，从而不再是电子。可是在光电效应中，电子被光波击出金属表面以后，仍然还是电子。或许有人问：按照波尔的原子理论，原子中的电子可以吸收一个光子，并且从一个稳定轨道跃迁至另一稳定轨道。电子的静止质量为什么没有因此而改变呢？在原子中，吸收光波不是电子而是原子，以氢原子为例，吸收光波的是电子与原子核所组成的系统。因此，这一过程改变了原子的静止质量却没有改变电子的静止质量。

因此，光子论为光电效应所设想的机制是违背相对论的，而相对论正是爱因斯坦自己建立的。

大家知道，量子力学最基本的特征是光与物质的“波粒二象性”，而这种令人困惑的观念滥觞于“光子论”，在这种意义下光子论改变了物理学的发展方向。物理学的新方向最糟糕的特点正是它违背了逻辑学的基本规律，从而使得二十世纪物理学的经历了一个特殊的发展进程：从飞速发展到没落，从一度独领风骚到沦为边缘学科。如果当年有一位谨慎一点的物理学家发现了光子论的上述错误，物理学会不会朝另一个方向发展呢？我认为不会，因为物理学的这种发展进程不是由一两件偶然事件决定的，而是有颇为深刻的历史原因。为了阐明这一点，让我们简单地回顾一下现代物理学发展的历史进程。

### 3 现代物理学的回顾

法国物理学家朗之万在某处说过：现代物理学是在牛顿力学的世界观与电动力学的世界观的冲突中发展起来的。他忘了补充一句：现代物理学正处在牛顿力学的世界观已经衰老而电动力学的世界观却尚未成熟的时期，量子力学则是这种青黄不接的理论表现。

电动力学建立比牛顿力学晚，开始时它自然接受牛顿力学的现成的世界观，只有在长期的内部斗争中，它才显示出自己的本来面目。因此，这两种世界观的斗争，也就是电动力学的内部斗争。

早期的电动力学有两个对立的学派。以安培为代表的法国学派继承了英国人牛顿的超距作用的观点；而以法拉第和麦克斯韦为代表的英国学派则继承了法国人笛卡儿的接触作用观点。英国学派建立的电磁场论统一地解释了当时的电学、磁学、光学和辐射热力学的实验资料，从而战胜了法国学派，这是电动力学世界观对牛顿力学世界观的第一次胜利。

洛仑兹用他的“洛仑兹规范”简化了电磁学的基本方程——麦克斯韦方程，从而发现接触作用观点与超距作用观点的数学表达式只有一点微妙的区别：表现超距作用观点的场方程是泊松方程：

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = -f(x, y, z; t),$$

表现接触作用观点的场方程则是波动方程（非齐次波动方程，也称达朗贝尔方程）：

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = -f(x, y, z; t)$$

对于所谓“无界问题”，泊松方程的特解是

$$\Psi(x, y, z; t) = \iiint \frac{f(x', y', z'; t)}{4\pi R} dx' dy' dz',$$

它表示电磁作用是“瞬时”的，从而是超距作用。而波动方程的特解是

$$\Psi(x, y, z; t) = \iiint \frac{f(x', y', z'; t - \frac{R}{c})}{4\pi R} dx' dy' dz'$$

它表示电磁作用的“推迟”的，从而是接触作用。

泊松方程遵循的伽利略变换，波动方程则遵循洛仑兹变换，伽利略变换表现牛顿力学的时空观，洛仑兹变换则表现电动力学的时空观。因此用波动方程取代泊松方程来表现电磁过程已经蕴含着物理学史上的一次空前的大变革：用电动力学的时空观取代牛顿力学的时空观。

1905年爱因斯坦建立的相对论开始了这一变革，1908年闵可夫斯基对相对论的几何解释则基本上完成了这一变革。这是电动力学世界观对牛顿力学世界观的第二次胜利。

然而，上面的两次交手都只不过是两种世界观斗争的序幕而已，真正的决战在于对物质结构的认识，即在于“物质观”的问题。

牛顿力学的物质观是所谓“机械论”，它认为“现象世界”的五光十色的运动形式都可以归结为原子的机械运动（即位置移动）。因此，物质的质变（运动形式的转化），只不过是现象，而本质世界即原子世界则只有量变（原子的位置移动）。古希腊的原子论哲学家德谟克里特对这种世界观作了或许是最早的表述：

“按照意见存在着温暖，按照意见存在着寒冷，按照意见存在着颜色、甜味、苦味；但按照真理，则只存在原子与虚空。”

笛卡儿、牛顿以及同时代的其他哲学家和物理学家，都是机械论的信徒，但只有到了1842年，机械论的基本观点才在物理学中获得第一次证实。这一年关于热现象的原子理论——分子运动论——成功地把热现象归结为分子的机械运动，从而在物理学中掀起了把一切运动归结为机械运动狂热。

然而，把电磁运动归结为某种物理模型（例如，以太粒子）的机械运动的一切尝试都遭到挫折。与此同时，法拉第和麦克斯韦的电磁场论却成功地把电磁现象统一于一组数学方程。于是电磁场论作为一种“唯象理论”和原子论对立起来。与此同时，关于热现象的“能量理论”——热力学，也作为一种唯象理论和分子运动论分庭抗礼。

唯象理论与原子论的对立在哲学史上表现为以奥斯特瓦尔德唯代表的“唯能论”和机械论学派的分子运动论的对立。唯能论确认运动形式的转化是自然过程的本质，但它在反对把一切

运动形式归结为原子的机械运动的狂热时，却走向了另一个极端——否认原子本身。

以洛仑兹为代表的电子论学派把原子论与电磁场论两大巨流汇合起来，从而克服了机械论与唯能论的对立。它一方面确认现象世界五光十色的运动形式可以追溯到原子世界的本质，另一方面又确认本质世界也有质变。原子世界不是只有单一的机械运动，而是有两种对立的运动形式：机械运动与电磁运动，它们的转移与转化形成现象世界的各种运动形式。

更重要的是，在“电荷”与“电磁场”哪一个是物质本源的问题上，电子论又克服了法国学派与英国学派的对立。按照法国学派的观点，电荷是实在的，而电磁场则不过是一种表现电荷之间的相互作用的辅助概念；按照英国学派的观点，电磁场是实在的，而电荷则只不过是表示“场的纽结”的辅助概念。电子论把这两种观点各自作为一个环节容纳于自身，它确认电荷是实在的，电磁场也是实在的。传递电荷之间作用力的电磁场不是纯粹的数学抽象，而是物质的一种特殊形式，它有连续分布的能量与动量；作为场源并接受场的作用力的电荷，也不仅是某种“场的纽结”，而且还是组成“电荷原子”的物质微粒——电子。

电子论认为：电子是一个带电粒子，作为电磁场的场源，它激发一个电磁场，这是电子的“固有电磁场”，这个固有电磁场也是电子的自身的组成部分。于是电子乃是一个带电粒子与一个电磁场的统一体。带电粒子的运动是机械运动，而电磁场的运动则是电磁运动，两者统一于“电子的运动”。电子论既然把一切物理运动归结为机械运动与电磁运动，也就把一切运动归结为电子的运动。

按照现代物理学的一般观点，物质有“实物”与“场”两种形式，在电子的两个组成部分中，带电粒子是“实物”，而固有电磁场则是“场”。另一方面，按照电动力学原理，电子的这两个组成部分经常处在双重的相互作用之中：带电粒子按照麦克斯韦方程不断激发电磁场，而电磁场又反过来以电磁力（洛仑兹力）不断作用于带电粒子。电子论认为这种经常的相互作用乃是电子的各种行为的内因，外力只有通过这一内因才能对电子起作用。于是，电子不再是牛顿力学意义下的那种抽象的、僵死的、只能被动地接受外力作用的“力学粒子”，而是包括“实物”与“场”的对立于自身，从而处于永恒的、内部的、必然的、自己的运动之中的“电学粒子”了。

这就是电子论的物质观，它在细节上虽然失之片面，但它毕竟是电动力学的物质观的第一个确定的形式。

物理学发展到了这一阶段，牛顿力学的世界观——机械论——已经寿终正寝；与此同时，它的对立面，电动力学的最后一个学派——电子论——也走到了尽头，因为它在自己所面临的基本问题上遇到了致命的挫折。

#### 4 洛仑兹问题

按照电子论的观点，电子有“带电粒子”与“固有电磁场”两个组成部分。这两部分的相互作用乃是电子的各种行为的内因，外力只有通过这种内因才能对电子起作用。那么，外力怎么通过电子的内因起作用呢？具体地说，问题可以这样提：电子有电荷，它的运动（整体运动

与内部运动)形成电流,电荷与电流按照麦克斯韦方程激发电子的固有电磁场,而电子的固有电磁场又和外电磁场一起作用于电子的电荷与电流。在这种相互作用中,电子在给定的外部作用下将会怎样运动呢?回答这个问题就意味着描写并说明电子(单个电子和电子束)在各式各样的外部条件下的行为。在物理学史上,只有以洛仑兹为代表的电子论学派才自觉地考察过这一问题,我们称它“洛仑兹问题”。电子论既然把一切物理运动最终归结为电子的运动,也就把一切物理学问题最终归结为洛仑兹问题。

诚然,电子论学派并没有如此明确地表达过自己的观点,这是我们从它的基本观点引出的必然结论。电子论在处理具体问题时却常常简单地把电子当作“点电荷”来处理。点电荷是带电粒子的一种简化的模型,当带电粒子作为电磁场的场源时,只要观察点离带电粒子足够远,这个带电粒子就可以当作点电荷来处理;当带电粒子作为电磁力的受力者时,只要场源离带电粒子足够远,这个带电粒子也可以当作点电荷来处理。但是,对于洛仑兹问题,电子既是场源又是受力者,因此,电子的带电粒子作为电磁场的场源,离观察点的距离为零;作为受力者,离场源的距离为零,因此无论电子多么小它都不能当作点电荷来处理了。由此可见,电子论在它把电子当作点电荷来处理时,完全忘记了洛仑兹问题,即完全忘记了它自己的基本观点。然而,电子论的一切积极成果,(例如,推导欧姆定律,计算拉摩旋进等)都得归功于它的这种健忘。因为它解决洛仑兹问题的尝试遭到了彻底的失败。

洛仑兹问题的解答决定于电子的结构,而电子是看不见的,我们只能通过电子的行为去认识。这就是说,我们应该先分析实验事实,再塑造电子模型,然后通过计算给出这个电子模型在各种特殊场合的行为,与电子的实际行为比较,即把该模型交给实验去检验。可电子论不是这样,它想当然地把电子当作“带电刚球”来处理,这就注定它只能一无所获。更糟糕的是,电子论又想当然地应用了麦克斯韦方程的“推迟解”。这就使得它不仅是一无所获而已。

电子论学派采用“刚球模型”和“推迟解”,导出了一个电子动力学方程,我们称它“T方程”。从这个T方程得出结论,电子的固有电磁场对电子的带电粒子的作用可归结为两项。一项相当于电子增加了一份质量,称为“电磁质量”;另一项乃是与电子辐射相联系的“阻力”,称为“辐射阻尼”。这一方程不是像电子论期待的那样解开原子世界的秘密,而是给物理学带来了两次危机。

第一次危机是“电磁质量”这一范畴带来的。电磁质量不遵循质量守恒定律,从而也不遵循动量守恒定律和能量守恒定律,再加上当时人们误解了当时刚发现的“放射性”等实验事实,从而从另一角度感觉到能量守恒定律不再成立。这一情况使得物理学家们大为震惊,彭加勒惊呼这是“物理学原理的普遍毁灭”!

第二次危机则是“辐射阻尼”这一范畴引起的,它如下结论:“电子作加速运动必然辐射电磁波。”将这一结论应用于卢瑟福在1911年建立的“原子的有核模型”必然得出结论:“原子中的电子将因辐射而落于核。”这一结论意味着原子刚一形成就会立刻解体。可事实却证明原子能够持久地存在。

第一次危机动摇了人们对经典物理学的信念,第二次危机则把经典物理学逐出了原子世界。在这里,人们忘记了如下事实:第一次危机乃是T方程推翻了经典物理学的普遍原理,第二次

危机则是卢瑟福所发现的新的实验事实否定了 T 方程。两次危机的效果刚好相互抵消。唯一留下的结论是：T 方程既违背了物理学的普遍原理，又违背了新的实验事实，从而肯定是一个错误的方程。

电子论解决洛仑兹问题的尝试就这样以 T 方程的导出和这一方程带来两次危机告终。在这以后，电子论退出了物理学的舞台，而洛仑兹问题则完全被遗忘了。但是，接踵而来的所谓“量子现象”的一类实验事实正是大自然对洛仑兹问题的回答，而为说明量子现象而建立的理论，即量子物理学，则是对这种回答的数学描述，只不过人们仍然按照牛顿力学的物质观来看待这些量子现象，使得量子物理学的“物理诠释”采取极为神秘的形式，并且被当作原子世界的特殊规律与经典物理学相对立。

## 5 光电效应的经典说明

爱因斯坦的“光子论”，乃是用牛顿力学的观点处理洛仑兹问题的典型例子。爱因斯坦忘记了电子自身有一个“固有电磁场”，更不曾想到这个电子的固有电磁场与光波相遇会产生什么样的效果，却把电子与光波的相互作用理解为两个力学粒子的碰撞。

只要考虑到电子有一个固有电磁场，光电效应就立刻可以在经典物理学的框架下得到说明：电子有两个组成部分，带电粒子与固有电磁场。为了言简意赅，我们把电子的带电粒子称为“粒子”，把电子的固有电磁场称为“波包”，这两部分处于经常的相互作用之中，电子的状态经久不变这一事实表明，电子有一种自我调节的机制，使得它的粒子与波包相互处于平衡状态，这种平衡是双重的。第一，波包以洛仑兹力四面八方作用于粒子，其合力为零，从而波包既不会推动它也不会阻滞粒子。因此，粒子不受外力作用时，其整体运动是等速直线运动；更一般地，在外电磁场中，粒子将像一个点电荷一样运动。另一方面，粒子既辐射电磁波又吸收电磁波，总的来说，这种吸收与辐射既不会改变粒子的状态，也不会改变波包的状态。我们把前一种平衡称为“力学平衡”，后一种平衡称为“电学平衡”，两者之合，总称为“电动平衡”。

当电子从真空进入光波时，由于外部条件突然改变，电子的电动平衡遭到破坏，这时电子内部的自我调节机制将使自己迅速达到新的电动平衡，于是电子进入光波时，将经历一个从真空中的电动平衡过渡到光波中的电动平衡的过程，我们称这一过程为“入光过程”，这是一个怎样的过程呢？

首先，让我们回忆一段往事：最初发现光电效应时，人们断言，光的波动说不能解释这个效应，理由是，按照波动说，金属中的电子进入光波以后，将在光的电磁力作用下强迫振动，当振动的能量积累到一定程度时，就离开金属表面成为“光电子”，而这种机制要求从光线照射到电子逸出有一定的时间延迟，即光电效应具有“惯性”；还要求光电子的数量随光的强度的增加而增加，而且与光的频率无关，等等，所有这些，都与事实不符。

在这里，我们的前人实在太粗心大意了。参与光电效应的电子是自由电子，从而没有平衡位置与恢复力，怎能作强迫振动！再说，根据相对论，电子的速度不能超过光速，因此，就算电子能在光的电磁力作用下振动，其振幅也会小于光的波长，因此振动的振幅将会小得不能为

宏观仪器所感受，电子怎能由于这样小的振动而离开金属表面呢？

实际上，当电子从真空进入光波以后，根据力学原理，电子将在光波的电场作用下振动，虽然因为没有平衡位置与恢复力，这种振动的中心位置是移动的，其振幅也小得不能为宏观仪器所察觉，但仍然还是振动。此外，电子有磁矩，因此它还会在光波的磁力作用下以交变的角速度“进动”。我们把这种振动和进动称为粒子的“光致运动”，光致运动将使粒子激发一个附加的驻波场，我们称它“光致波包”。于是，电子在光波中有三种运动：内部运动、光致运动与整体运动。

在入光过程中，电子将产生“光致运动”，并且激发“光致波包”，为此，电子必须从光波中吸收一份能量，换句话说，将吸收一份光波。这份光波是入射光波的一部分，从而是一份有限的单色平面光波，由于有限，单色只是近似的。这份光波就是一个爱因斯坦所说的“光子”。

其次，让我们回忆一下大家极为熟悉的牛顿力学概念——“位能”（或“势能”）。中学物理课教程说得清楚，位能是机械能的一种。以自由落体为例，位能有两个特性：第一，位能储存在落体和地球的系统，而不是储存在“落体”之中。第二，位能有随时变成落体的动能的趋势。但是，位能究竟是什么东西？为什么会有负的位能？

按照静电学，点电荷将激发一个静电场。当两个点电荷远离时，它们各自激发一个静电场；当它们靠近时，两个静电场迭加起来合成为一个，其静电场的场能不等于原来的两个静电场的场能之和，如果两个点电荷都是正的或者都是负的，则在迭加过程中静电场的场能增加了，反之，如果两个点电荷一正一负，则在迭加过程中静电场的场能减少了。在迭加过程中增加的静电场能，就是这两个点电荷的“相对位能”。在前一种情况下，位能是正的；在后一种情况下，位能是负的。

由此可见，位能并不是“机械能”的一部分（这是牛顿力学的观点），而是“场能”的一部分（这是电动力学的观点）。而且我们可以立刻得出进一步的结论：一般地说，当两个电磁场迭加时，迭加以后的电磁场的能量与动量不等于迭加以前的两个电磁场的两个电磁场的能量与动量之和，因此电磁场的能量与动量在迭加前后都有一个突变，而且这个突然改变的能量与动量有转化成某种机械运动的能量与动量的趋势。当电子进入光波以后，将经历如下过程：电子的“光致波包”与光波这两个具有相同频率的交变电磁场迭加，能量与动量将会突变，并转化为电子的整体运动的能量与动量，从而引起电子的整体运动的速度的改变。这就是电子的“入光过程”。从总的效果来看，在该过程中，电子吸收了一份光波；从一种等速直线运动状态过渡到另一种等速直线运动状态；还有第三种效果：从真空中的电动平衡过渡到光波中的电动平衡。

这种机制可以说明光电效应的最初发现的实验事实：首先，入光过程极为短促，因此光电效应没有明显的惯性；其次，光越强，入光过程越短促，就有越多的电子在两次与晶格碰撞的自由程内完成入光过程，成为“光电子”。最后，电子进入光波以后的光致运动，决定于光的频率而与光的强度无关，因此电子在入光过程中所获得的动能也决定于入射光波的频率而与光波的强度无关。

如果电子完成入光过程就离开金属，那就是光电效应。如果电子在离开金属之前进入金属的晶格点阵留下的阴影中，或者逸出金属以后离开光波，将经历一个与“入光过程”的时间次

序相反“出光过程”，

如果电子离开光波进入真空，将经历一个“出光过程”，其效果将与“入光过程”的时间次序相反：电子发射一个光子，并改变整体运动的速度，从光波中的电动平衡过渡到真空中的电动平衡。

如果一个电子先经历一个入光过程再经历一个出光过程，则它将经历入光过程与出光过程的合成过程，其总的效果为：电子吸收了一份光波，又发射了一份光波；从一种等速直线运动状态进入另一种等速直线运动状态。这正是康普顿效应。该过程的初态与终态电子都在真空中，因此没有被光子论所忽略的“第三种效果”。因此，即使从光子论的角度看来，康普顿效应也满足能量动量守恒定律。

如果电子完成入光过程就离开金属，那就是光电效应。如果它由于某种原因而离开光波（例如，落入晶格点阵的阴影中），则将经历“入光过程”与“出光过程”的合成过程，那就是康普顿效应。

和光电效应一样，康普顿效应也是电子在特殊的外部条件下的行为，从而也是大自然对洛仑兹问题的回答。

## 6 辐射量子论

最后，让我们回顾一下普朗克的辐射量子论。

按照我们的观点，“辐射的量子性”是再自然不过的事：光波的波源是“物质”，而物质是由一个一个分立的原子组成的，相应地，物质发射光波的过程是由一个一个的分立的“原子发射光波”的过程合成的。那么，原子怎样发射光波呢？在普朗克之前，人们是这样想象的：原子中的电子作简谐振动，连续不断地辐射。但是，辐射将带走能量，作简谐振动的宏观谐振子（或其他宏观电磁震荡源）之所以能维持连续不断的辐射，是因为有外部能源源源不断地为它供给能量。但在微观过程中却没有类似的情况：单个原子近旁没有某种外部能源为它输送能量，也没有一个总的外部能源向大量原子统一地输送能量。因此，原子只能以自身的能量减少为代价发射光波。原子的能量是有限的，因此原子发射光波不可能是一个连续不断的过程，而只能是一个有始有终的有限过程。在这个有限过程中，原子只能发射一份有限能量的光波。许多同样的原子各自经历同样的有限过程将各自发射一份同样的光波。没有半个原子，因此没有半份光波。于是，在物质发射光波的过程中，光波的能量将一份一份地跳跃地增加，而普朗克所说的“能量子”，就是单个原子在某一有限的发射过程中所发射一份光波。由此可见，普朗克的辐射量子论乃是原子论的必然结论：“辐射的‘量子性’起源于辐射源的‘原子性’。”

单个原子在一个有限的发射过程发射一份光波，肯定会减少原子的能量，从而改变原子的状态，于是，原子不再是不变的。但是，自古以来，原子与“不可分割”是同义语，这种理解具有如下含义：

第一，原子是“没有组成”的；

第二，原子是永恒不变的。

辐射量子论使我们不得不放弃这种观念。

其实，古代的原子观念并不是第一次接受挑战。人类思想史上似乎有许多具有重大事件由于当时人们不能领会其含义而被人遗忘了。例如，当阿伏加德洛提出分子论时，现代原子论的创始人道尔顿坚决反对。他为什么要反对呢？因为一旦阿伏加德洛的分子论成立，分子就取代原子成了“物质分割的限度”，但分子却由原子组成，从而是“有组成”的，并且在化学反应中可以改变，这就使得从德谟克里特到道尔顿的原子观念不再成立。

实际上，分子虽然“有组成”，但它确实是机械分割的限度，在这种意义下，“不可分割性”转化为如下意义的“稳定性”：分子在机械分割中保持不变。但在更深层次的化学反应中，却表现出可变性。可惜，当时人们似乎并没有意识到“不可分割性”的这一新的含义。

过去实验一再证明的原子的不变性，应该理解为某一新的层次的“稳定性”，或者说，应该理解为“稳定性”这一概念的新含义，这种含义的稳定性保证原子在化学反应中保持不变，但在原子发射光波这样的更深层次的过程中却有了变化。不仅如此，一个原子发射光波以后仍然还是一个原子，从而仍然具有稳定性，因此，原子的稳定性意味着原子可以处于一系列的“稳定状态”，当原子发射一个光子时，从一个稳定状态过渡到另一稳定状态。

莱布尼兹有一句名言：“自然界没有跳跃”。这句话仅仅表现事情的一个方面，原子发射一个量子的过程诚然是一个连续过程，但是在普朗克的辐射公式中，光波的能量增加却呈现为“一次跳跃”。在这里，“跳跃”无非是指一个短促的连续过程，但相对于宏观谐振子的那样的连续发射过程，它却被看成是一个在一瞬间完成的过程，正如在牛顿第二定律中人们把有限物体看成是一个无限小的“质点”一样，这是一种简化。这种简化把连续性与间断性之间的对立的相对性从空间扩展到时间。在许多场合下，这种简化是有益无害的。但如果我们忘记了它仅仅是一种简化，如果我们认真地设想“电子可以从一种状态跳跃到另一种状态而没有过渡阶段”，那就是自讨苦吃了。

在原子的“波尔理论”中，上面说的原子的稳定状态称为“定态”，而从一种定态过渡到另一定态的过程，称为“量子跃迁”，而我们得出这两个结论，并没有用到波尔理论，甚至没有用到卢瑟福的原子有核模型，我们用的只是从“物理学的理论基础”出发所作的合理的推理。从这一推理我们看到，光波发射的量子性的原因不是由于光本身是由一个一个粒子组成的，而是由于作为光源的物质是由一个一个的原子组成的，换句话说：“发光的量子性起源于光源的原子性。”

我们可以用一个日常生活的比喻来阐明这一平易近人的道理。春节时，孩子们放鞭炮。如果有一位“大人国”的观察者，他看不见孩子们更看不见鞭炮，但他根据一系列的测量、计算与推理得出结论：在放鞭炮的过程中声波的能量一份一份地跳跃地增加。那么，这位观察者合理的推测应该是：声波的能量不连续地增加因为声波的波源是由一个一个的鞭炮组成的，而不是因为声波本身是由一个个粒子组成的。在比喻的意义下我们也可以说：“发声的‘量子性’起源于声源的‘原子性’。”

诚然，比喻总有它笨拙的一方面，上面说的“发声”即鞭炮爆炸过程是不可逆的：如果把放鞭炮的过程拍成电影，然后倒过来放映，则银幕上的过程是不可能实现的。但上面说的“发

光”即原子发射光波的过程却是可逆的：如果进入光波的不是自由电子，而是原子中的电子，则在一定的条件下，该原子会吸收一份光波，并且从一种状态进入另一种状态。这就是单个原子的吸收过程。相反，如果原子中的电子离开光波，则在一定的条件下，原子也会发射一份光波，并且也从一种状态进入另一种状态。这就是单个原子的辐射过程。最简单、最纯粹的吸收光波的过程是：当单色平面光波照射某一原子时，该原子经历一个靠吸收光波而使自身能量增加的有限过程。显然，在这一过程中，原子所吸收的这份光波是单色平面光波的一部分，从而也近似地是单色平面光波。根据微观过程的可逆性，在物质发射光波的过程中，单个原子所发射的光波，也近似地是单色平面光波。

## 7 结束语

现在，我们弄清了一个问题：为什么当年爱因斯坦试图使物理学的理论基础同普朗克的新发现相适应的一切尝试都以失败告终？最直接的原因是：他忘记了电子自身有一个固有电磁场。但他为什么会忘记呢？这里有一个思想方法的问题，爱因斯坦太醉心于“惊世骇俗的新颖观念”，不屑于用平易近人的简单道理来阐明本来就简单的自然过程。当然还有更切近的原因：人们遇到量子现象时，电动力学的世界观尚未成熟，像当时的其他物理学家们一样，爱因斯坦不自主地按照牛顿力学的世界观来处理光电效应这一“洛伦兹问题”。可以预期：一旦人们掌握了动力学的物质观，现代物理学将向经典物理学复归。当然，它将带着量子力学的一切积极成果来实现这一复归。

# Light Quantum Shocking the World

TAN Tianrong

(Department of Physics, Qingdao University, Qingdao 266071, P. R. China.)

ttr359@126.com

**Abstract:** According to Einstein's photon theory, the light wave is concurrently a bunch of particles called "photons"; and photoelectric effect can be explained as follows: A metal irradiated with light, an electron stilling in the metal absorbs a photon and obtains its energy; and transfers which into kinetic itself, and thereby it separates itself from the metal and becomes "photoelectron". Such an explanation makes an error at the very start: According to the law of conservation of momenta and energies, while absorbing a photon, an electron not only obtains the energy of the photon, but also obtains its momentum. So, a still electron absorbs a photon and becomes a photoelectron will certainly move along the light propagation direction. However, in the photoelectric effect experiment, the direction that the light propagates is clearly different from that the photoelectron removes. This error can also be expressed as follows: According to relativity, the antithesis between absorption and emission is absolute, namely, if a substance is absorbing with regard to a certain reference frame, then it sure to be absorbing to any other reference frame. However, the antithesis between accelerate motion and decelerate motion is relative, and thus it is possible that a body in motion is speeded up to one reference frame and speeded down to another reference frame. As a result, a body cannot be quickened by

means of absorbing, in other words, it is impossible that an object both speeds up and absorbs without the third effect. But by photon theory, photoelectric effect is just such a process.

Actually, photoelectric effect can be explained naturally in the frame of classical physics as follows: an electron is a charged particle so that it excites an electromagnetic field, which is the “intrinsic electromagnetic field” of the very electron. Therefore, an electron has two component parts, a charged particle and an intrinsic electromagnetic field. Considering that the state of the electron is prolonged unchanged, these two component parts must be in a dynamic equilibrium state. Entering into light wave, an electron will from the equilibrium state in vacuum transits to that in light wave. In this process, there are three effects: Firstly, the electron absorbs a portion of light wave; secondly, its entirety motion velocity changes, from one constant velocity motion state becomes another; thirdly, it enters into light wave from the vacuum. Among them the third effect disappears in photon theory. Precisely so, photoelectric effect explained by photon theory actually violates the law of conservation of momenta and energies.

Similarly, departing from light wave, an electron will undergo a process with the opposite effects: emitting a portion of light wave; changing the entirety motion velocity; and the third effect: entering into the vacuum from light wave. If an electron enters into and later on departs from light wave, then it will undergo the synthetic process of the above two processes, of which the total effect can be summed up as follows: absorbing a portion of light wave; emitting a portion of light wave; twice changing its entirety motion velocity, in the final analysis, from one constant velocity motion state transiting another. That is just Compton effect. For such a synthetic process, both the initial state and the final state of the electron are in the vacuum; so that there is not the third effect neglected by photon theory. As a result, even as viewed from photon theory, Compton effect obeys the law of conservation of momenta and energies.

The source of light wave is material, while material consists of discrete atoms. Therefore, a radiation process of a substance consists of the radiation processes of its atoms. The energy of an atom is finite, so the radiation process of an atom has a beginning and an end, namely, it is a limited process, in which the atom can only radiates a limited portion of light wave. Undergoing a similar radiation process; each atom of a same substance will radiate a similar portion of light wave respectively. As a result, in the radiation process of the material, the increase of the energy of light wave will be noncontinuous, a portion by a portion. Such a portion of light wave is exactly Planck’s “energy quantum”. It is thus seen that Planck’s radiation quantum theory is an inevitable outcome of atomic theory; the quantum character of radiation stems from the atomicity of the source of radiation.

**Key words:** electron theory; quantum phenomenon; photon; photoelectric effect; Compton effect; the law of conservation of momenta and energies; radiation quantum theory; Planck; electron’s intrinsic electromagnetic field; macro observer