

王令隽：光的波粒二象性漫谈

王令隽 2012 年 1 月

近代物理中的革命性思想之一是德布罗意的波粒二象性假说。根据这一假说，光既是波，也是粒子；光在传播时表现出波的特性，在和物质相互作用时表现出粒子的特性。對此，有人接受，有人不接受。本文想比较仔细地谈谈两方面的道理。

关于波粒二象性，应该区分两种不同的情形：一种是没有质量的“粒子”——比如光子；一种是有质量的粒子，比如电子和质子。爱因斯坦不接受量子力学和物质是几率波的概念，可是他却接受光的波粒二象性。所以我把讨论局限在光的波粒二象性。這裡要簡單交待一下的是，光波，電磁波和聲波的波動性是沒有疑義的，有疑義的是其粒子性；物質的粒子性是沒有疑義的，有疑義的是其波動性。所以這是不同的兩個問題。我們這裡僅討論光波（電磁波）和聲波。

一）从光的粒子理论到波动理论的发展

人们对光到底是波还是粒子的认识，历史上有过反复。

物理对光学现象的早期研究主要在几何光学现象，如光线的直线传播，光速测量，反射和折射，透镜和反射镜的成像等等。牛顿认为光是粒子束流。他用粒子理论可以解释光的直线传播和反射现象。如果我们假定一束光线像并排行进的几列队伍，队伍的行进必须保持整齐的横列綫（波前），则光的粒子理论也可以勉强附会地解释光线的折射现象，只是如果要问什么力量能将同一横排的光子保持在一条直线上，为什么左右两边的光子不可以各管各地跑，就没有什么道理可以搪塞了。所以光的粒子理论其实是无法解释折射理论的。不能解释折射，也就不能解释透镜的聚焦，放大和成像。除了折射现象以外，还有光的绕射，色散和干涉，以及光的极化，则是粒子理论完全无法解释的。

几乎同一时代，惠更斯提出了光的波动理论，可以成功地解释上述已知的所有的物理光学现象。尽管牛顿是当时最权威的物理大师，但是惠更斯理论之成功使物理学家毫无疑问地抛弃了牛顿的粒子说而采用惠更斯的波动说。這是科學把真理看得比權威更重的歷史先例。

但是，光波到底是什么波？在惠更斯时代人们不是很清楚。直到麦克斯韦建立了统一的完备的电磁场理论，人们才认识到，光原来不过是在空中传播的电磁波！麦克斯韦的电磁场理论预言了电磁波的存在，算出了电磁波的传播速度为每秒钟三十万公里，正好是光的传播速度。通过求解麦克斯韦方程组，我们可以得到光的反射，折射，干涉，色散，极化现象的精确信息。麦克斯韦的电磁场理论无懈可击，成为了现代物理光学的理论基础。物理学界再也没有人怀疑光是一种电磁波了。

二）光量子理论—光的粒子理论的復活

光的电磁波理论的数学精密程度到了令人不容置疑的程度，直到普朗克提出光的量子假说，人们才又开始重新考虑光到底是波还是粒子的问题。普朗克之所以提出光量子理论，是为了解释黑体辐射现象。当时对黑体辐射的频谱测量已经相当准确，但是理论解释跟不上。维恩和瑞利琼斯提出了两个公式，一个能解释低端频谱，另一个能解释高端频谱，但是没有一个能够解释整个频谱。普朗克于是提出一个大胆假设：如果我们假定黑体的能量是由许多光量子组成，每一个光量子的能量等于光的频率乘以一个常数，叫做普朗克恒量，然后用统计物理的方法计算出整个黑体的辐射能量，就可以得出整个频谱的黑体辐射公式，理论与实验结果符合得惊人地好，好得不由人们不接受普朗克的光量子假设。

這裡有一點微妙之处，就是普朗克爲了得到他的公式所需要的假設，僅僅是能量的量子化，這種量子（quantum）並不一定意味著形態上的“粒子”。關於這一點我們稍后還要作詳細一點的討論。

另一个导致光的粒子理论复活的实验是爱因斯坦的光电效应实验。如果用光照射某一固体表面，可以使电子从固体表面逸出，但是光的频率必须高于某一临界值。爱因斯坦用普朗克的光量子假定来解释这一临界频率。频率一定要高于某个临界值，就意味着光量子的能量必须高过某一临界值，才会使电子从表面

逸出。这一临界值叫逸出功。如果光的频率比临界值大，就会有多余的能量。这部分能量就成了光电子的动能。这一动能可以通过外加电场的方法测量。爱因斯坦的光电效应实验印证了普朗克的光量子假定。于是，光的量子理论逐渐为物理学界接受了。

普朗克和爱因斯坦的光量子理论并不等于尔后薛定谔提出的量子力学理论。爱因斯坦虽然接受普朗克的光量子假定，但他终生不相信量子力学。他有一句名言：“上帝不玩骰子”。他完全不能接受物质是几率波的概念和量子力学的其他基本假定。

三）德布罗意的波粒二象性理论

普朗克和爱因斯坦都是非常有名望的物理学家，而且光的量子假设对黑体辐射和光电效应的解释非常漂亮，使人很难不接受光量子假定。这似乎意味着不得不抛弃光的波动理论。可是，麦克斯韦的电磁场理论对物理光学现象的描述的精确性，又使人们对光的波动性无法置疑。粒子理论根本无法解释光的折射，绕射，干涉，色散，传播，叠加，极化和频谱分析等诸多物理光学现象。要否定光的波动性不太可能。

于是德布罗意便提出一个波粒二象性（Duality）的说法（说不上是“理论”）。他认为，光既是波，也是粒子，是同一个东西具有两个表象。光在传播过程中表现波动性，而在与物质作用时表现出粒子性。这样两不得罪，两个理论的颜面都顾及到了。许多物理学家的迷惑不解似乎得到了某种“解释”，某种安慰。于是皆大欢喜。

可是，波和粒子毕竟是完全不同的概念。波是运动，粒子是物质；波的尺寸是宏观的，基本粒子的尺寸是微观的；波可以在空间上重叠，粒子不可以在空间上重叠；等等等等。把这两个东西说成是一个东西，在思维哲学上和把上帝，圣子和圣灵归为一个神体，把神和人归为一个实体一样，遵循的是同样的神学理念。

对于许多经过一千五百年三位一体和神人二象教义熏陶的西方学者来说，这种需要信仰支撑的一体多象概念不是太难接受的事情。尔后，波粒二象的概念还进一步推广到量子力学，把物质也看着是几率波。这成为爱因斯坦不相信量子力学的重要原因之一，或许和他是犹太教徒，不相信三位一体和神人二象的教义有些关系。

那末，如何从科学逻辑上来分析判断波粒二象性呢？

四）波和粒子是不相容的两个概念

根据经典物理，波和粒子是本质上完全不同的两个概念。波不是物质，而是一种运动。为了直观，我们先用机械波（或曰声波）来说明波与物质的区别。请波粒二象性的拥护者们先别抗议，说电磁波不是机械波，没有可比性。事实上，波粒二象性的概念也用到了机械波上，在固体物理中就把机械波看着是粒子——声子。我之所以举机械波为例，是因为机械波直观，比较容易为不太熟悉电磁理论和量子理论的朋友们理解。就其本质来说，无论是机械波还是电磁波，都是运动，而不是物质，这就是他们的共同点。我们在这里关心的，不是电磁波与机械波的区别，而是波和粒子（物质）的区别。

人们最熟悉的波是水波。构成水波的粒子是水分子。在一个宁静的湖面上激起波浪，水波往前传播，可是水分子并没有随着波浪前进。您只要在水面上放一片树叶就可以验证。树叶会随着波浪在原地方上下波动，但是不会随着波浪前进。波浪往前传播，与之一起往前传播的是运动，是能量和动量，而不是水分子，不是物质。

树叶的波动方向是和水平面垂直的，因而是和波的传动方向垂直的，这种波叫横波。如果水分子的震动方向和波的传播方向一样就叫纵波。水里传播的声波就是纵波。纵波传播的也只是能量和动量，而不是水分子。潜水艇的声音被声纳接收到了，但潜水艇并没有跑到你的监测站来，仍在水里躲着。鹤鸣九皋，声闻于天。声音是到了天上，可白鹤还在九皋，在地上。物质（白鹤）和波（声音）的差别，岂止是天壤之别。

电磁波也一样，只是传播能量和动量，而不是物质。微波炉的波源是磁控管中的高频电流。磁控管产生的微波能量传到了盘子里的火腿，但是我们从来不会吃到磁控管。电视机收到的是从电视台的发射天线传过来的电磁能量。这些电磁能量是从发射天线中的高频电流产生的。发射天线绝不会跑到您的电视机中。

千家万户都在看电视，它就是想跑，也不知道该往哪家跑啊！

波粒二象性的标准说法“光在传播过程中表现波动性，而在与物质作用时表现出粒子性”还有一个说不清楚的微妙之处，那就是，光在传播过程中或与物质相互作用中到底是同时是波和粒子呢，还是在传播过程中仅仅是波，在与物质相互作用时仅仅是粒子？如果是前者，则光同时是波和粒子，粒子的大小应该就是波的大小，那光子的尺寸至少不小于一个波长。电磁波的波长可以是宏观尺寸。比如长波的波长可以长到几十米。而质子的半径在十的负十五次方的数量级。电子的半径应该更小。这么小的质子和电子如何吸收这么大的光子？这比天狗吃月亮还难。几十米的宏观尺寸覆盖的体积中包含的质子和电子数要用阿佛加德罗常数来计量，那么，光子的吸收，是每一个质子或电子同时在一个光子上咬一口（一个光子的十的二十四次方分之一或更小），吃到肚子里以后再慢慢消化，把许多光子的碎片重新组装成完整的光子呢，还是大家排队领面包，每次吸收必须吸收完整的光子（单个光子的不可分性）？一个微观的电子或质子要吸收一个几十米长的光子至少要一百个毫微秒，所以这种相互作用不可能是瞬时的。而且，单个粒子如何波动前进？像杰克逊跳街舞吗？如果波动是由多个粒子排列而成，如何保持粒子们行军时候的高度组织纪律性（空间和时间的正弦分布，精确的频率，极化等等）？

如果是后者，光在传播过程中仅仅是波，不是粒子，在与物质作用时仅仅是粒子，不是波，那就有一个从波到粒子的转换过程。刚刚接触到物质的波前必须立即通知几十米以后的波尾巴：同志们，我们碰到物质啦！听我口令，立即收缩体积，变成粒子！等穿越了障碍以后，再变回成光波继续前进！记住你们的频率波长相位和极化方向，穿越障碍以后，没有牺牲的同志们注意保持频率相位和极化方向！（电磁波可以穿越墙壁到达您的电视机或手机，光可以穿越玻璃，会牺牲一部分能量，但频率和极化方向一般不会变化。）

总而言之，统而言之，德布罗意的波粒二象性，只能姑妄听之，姑妄言之，朦胧对之，糊涂处之。可以作为一种信仰，经不起刨根究底。

五）波的极化

电磁场是矢量场。矢量场的传播波是有极化的。极化光可以被极化滤光片挡住。这种滤光片在照相机商店可以买到。滤光片的微观结构比较复杂，也不直观，但我们可以看看电磁波的极化现象。如果光波是光子，电磁波也应是光子。无线电波的接收天线必须和电波的极化方向一致才可以收到信号。你可以做一个电波极化过滤器。只要在一块金属板上刻出许多平行的狭缝就成。这种过滤器只准电波从一个特定的方向通过。如果将过滤器旋转九十度，电磁波就不能通过了。这种光的极化现象用波动理论来解释非常自然，非常容易。可是如果用粒子的理论来解释就非常困难，除非假定这些极化的光子是一些细长的粒子。一束极化的光子是一些比林肯总统还要瘦长得多的瘦长个子，整齐地排列成罗马军团，而且要保持队形，这就要求各光子之间应该有某种联络，因而它们不是相互独立的粒子，这种不独立性将给光子理论带来麻烦。莱塞光是极化光。从地球上射出的莱塞光可以射到离我们三十八万公里的月球表面而保持其极化方向不变。这样的组织纪律性是罗马军团的骑士和西点军校的士官生望尘莫及的。

而且，如果假定这些极化光子具有狭长的几何形状，就根本违背了光子的大小和形状取决于谐振腔和波导的大小和形状的边界条件。光子的概念和极化根本不相容。“光子”不仅没有质量，也没有大小和形状，因为它根本就不是物质，不是粒子。

六）波的频谱分析—粒子不具备的特性

波的另一个为粒子不具备的性质是频谱分析。光波可以分解成许多谐波的叠加。一个方波或者锯齿波的无线电脉冲可以分解成无数个谐波的叠加。这些不同的谐波在传播过程中在空间和时间上是重叠的。这些不同的谐波可以被分离出来。无线电波中所有的电台和电视台的电波都是同一空间中同时传播的，您可以通过收音机或电视机的调谐把所要的电台或电视台的信号分离出来。传到地球上的太阳光是许多谱线的叠加，您可以通过棱镜把太阳光的不同谱线分解成从红到紫的非常漂亮的彩色频谱。但是粒子就不可能做这种频谱分析。一个光量子只有一个频率，而不是许多频率的叠加。无论是经典的粒子还是量子场论中的粒子，在空间上都是不重叠的。

七) 电磁相互作用是不是靠交换光子实现的?

与光子概念直接相关的一个概念是：电磁场是物质。如果场是物质，那这里就存在着三种物质：电子，质子和他们中间的场。注意这三者——电子，质子和电磁场——在空间上是分离的。这第三种“物质”（场）和前两种是一样的东西吗？所谓物质，至少必须有三种物理表现：第一，物质必须有质量，物质之间会有万有引力存在；第二，物质在受到力的作用时，会有惯性和加速度，加速度的大小和质量（惯性）成反比；第三，物质可以构成原子，分子，有机物，无机物，生物和人体。电磁场显然不具备这三个条件中的任何一个。第一，电磁场没有质量，两个光子之间没有万有引力；第二，没有任何力量能使“光子”加速或减速，其实也没有任何东西能使声波加速或减速，因为波速取决于波动媒质的物理特性；第三，没有人能用光波或声波组成无机物或有有机物。能说电磁场是“物质”吗？

有的朋友要说，光子也有质量，只不过它的质量等于零而已。既然质量等于零，引力当然也就等于零，加速度当然就等于零了。

如果没有质量能说成是有质量，我们就取消了有和无的根本区别，取消了是非。你可以同样地说我的魂魄也是实体，只不过它的质量为零，不受万有引力的影响（所以鬼可以飘然而来飘然而去），也不受其他力的影响（所以他可以穿墙而过）。您可以说拥有 n 个银行，只不过 n 等于零。您的银行存在吗？

八) 量子电动力学中的“场粒子交换”的概念

有的朋友可能又要背书了：场这种物质是和电子，质子不一样的物质。和经典物理的概念不同，按照量子场论的观点，电子和质子之间的电磁相互作用是通过交换光子实现的。而光子就是电磁场的量子。同样，万有引力也是依靠交换引力子来实现的。

说“交换”，名不副实。交换者，互有往来也。投我以木桃，报之以琼瑶。只投不报，只取不予，不可谓公平。所以基本粒子理论中的革命性的提法不应该是“交换”，最多只能说成“发收”。一个发射光子，另一个接受光子。

如果仅仅是辞令术语问题，倒也好办，就依了你王令隽，改成“发收”不就成了吗？不成，因为既然是发收，就有一个时间问题。发者先发，收者后收，不可能同时。氢原子中的电子和质子之间的电磁力是由谁先发出光子，又由谁来接收呢？质子和电子谁是施主谁是受主？光子跑得很快，氢原子的半径很小，只有半个埃，不到十的负十八次方秒就到了。那他还回来吗？如果回来，并且一直飞来飞去，不仅浪费汽油，造成能源危机，而且费曼图没法画！因为“交换”一个光子是一次微扰项，“交换”多个光子就意味着高次微扰项，其物理意义完全不一样，数学上也将繁复得根本无法计算。如果只发收一次，大约十的负二十次方秒以后对方收到短信就不回话了，这情缘大概也就此了结了，电磁相互作用也就完结了。氢原子中的电子和质子可是讲究一旦曾经拥有，就得天长地久的。他们之间的吸引力是永远存在的，不是一次发收，相互作用十的负二十次方秒钟就完事的。如果让光子永远地来回飞来飞去，费曼也不会答应！

所谓“粒子的相互作用是通过交换场粒子来实现”的说法起源于量子电动力学。基本粒子物理的一个基本任务，就是计算各种粒子反应的散射截面。可是，要得到散射截面的解析表达式是几近不可能的事。于是只好假定相互作用很微弱而借助于微扰理论对散射截面表达式作多项展开。这当然就会有无数项。然后逐项计算。人们期待，只要取足够多的项，其结果应该能收敛到某个理论值，以便和实验测量到的散射截面比较而判断理论的真伪。（这里还有一个重整化的大问题。为免跑题，恕不赘述。）

级数展开的繁复是人人皆知的。且不说散射截面的数值计算，单是写下每一项展开的表达式就不是很容易的事，一不小心就弄错。为了避免出错，费曼想出了一个方法，用一张图表示每一项，图中的点表示参与反应的粒子的波函数，连接各点的线代表这些粒子之间的相互作用，又叫“交换场粒子”，不同的线代表交换不同的场粒子，一次项需要一条线，意味着只交换一个场粒子，二次项需要两条线，意味着交换两个粒子，如此类推。用这种方法写下您所要计算的项，就可以避免出错。每一项叫做一个传播子。这个方法给理论计算带来了极大的方便。费曼图只不过是计算散射截面的一种工具而已。但是费曼对费曼图的物理解释太过牵强，经不起逻辑推敲，不可当作信仰。由此也可以看出，“交换”一个“场粒子”和交换两个“场粒子”是完全不同的过程。以交换场粒子的概念（作用时间极短）来解释质子与电子之间的持续

的相互作用有邏輯性的困難。（其他相互作用也一樣。）

電磁場（光子）和電子之間是有相互作用的，是不是意味著光子和電子必須交換什麼“場粒子”來實現這種相互作用呢？如果電子和光子沒有交換場粒子，那是不是說（光子）就不和電子發生作用了？這顯然違背事實，所以，“相互作用一定要通過交換場粒子實現”的說法本身就是邏輯背理的。

如果場粒子的作用僅僅是傳遞相互作用而不具有萬有引力和運動慣性，它和其他物質就是本質上不同的東西，或坦率地說，波和場根本就不是物質。你可以硬把它叫做物質，其實它和物質根本就不是一樣的東西。可以用一個大家熟悉的故事來說明相互作用的粒子和所謂的“場粒子”的差別。唐伯虎和秋香之間的相互作用是通過交換秋波來實現的。您可以趕時髦，把秋波叫做秋波子，把秋香叫做秋香子。秋波子和秋香子的差別，唐伯虎最清楚。他可以與秋香暗送秋波，但不可以與秋波暗送秋香，也沒法和秋波顛鸞倒鳳結婚生子。秋波和秋香本質上是不一樣的。前者只是“波”，只是物質之間的相互作用，而後者纔是真正的“粒子”。

九）場和波的空間重疊性 - 又一個物質不具備的特性

上面對於“場的相互作用是通過交換場粒子而實現的”概念的討論說明了時間方面的不自恰：粒子交換是短暫的，瞬時的，而相互作用是長期的，永恒的。相互作用力靠交換一個粒子來實現的圖像同樣經不起空間方面的考慮。相互饋贈的東西，通常比較小巧珍貴。李香君送給侯朝宗以保持她們之間的電磁相互作用的定情之物是小小的紅豆，體積比体态玲瓏雅號香扇墜的李香君要小很多。當然，也有禮物的體積比美人的個子大得多的，比如王昭君和文成公主的嫁妝。但是發送嫁妝的大漢王朝和大唐王朝以及接受嫁妝的蒙古王宮和布達拉宮，還是比嫁妝大得多。如果電子和質子之間的相互作用力是靠“交換”或者“發收”一個場粒子來實現的，根據部分小於全体的原則，我們有理由期待場粒子的體積比發出這種場粒子的粒子小。可是出乎一般人的意料之外，光子的體積比電子和質子的體積大得多。大多少？理論上一個光子的體積就是電磁波或電磁場的體積，電磁場可以充滿整個空間！黑體有多大，光子的體積就有多大。而電磁場的“源”——電子和質子的尺寸不大於費米的數量級。

可是，一個黑體裡面不是有無窮多個光子嗎？如果每一個光子的體積都有黑體大，那這無窮多個光子如何能夠蝸居在一個和它等體積的黑體之中呢？難道他們能夠重疊在一起不成？對！光子們（其實是量子化的能量單元）在空間上確實是重疊的。在空間放一對電荷有一個電磁場，放兩對電荷也是一個電磁場，放 N 對電荷還是只有一個電磁場。這所有的負責鴻雁傳情的紅娘們都共用着這共同的光子情書來傳遞相互作用，沒有任何隱私，是真正的公有制。而且他們還不擔心錦書送錯。

如果在一個封閉的諧振腔中求解波動方程，會得到一系列的諧波解。每一個諧波頻率相對於某一諧振子，其大小決定於諧振腔的大小。所有的諧振子在空間上是重疊的，在能量上（或頻率上）是分解的。這種空間重疊性是物質所沒有的。物質是不可重疊的。鹽可以溶解在水裡，那是因為水分子中間有空間。組成鹽分子和水分子的原子在空間上是不可重疊的；原子核也是可以聚變在一起的，但是參與聚變的質子和中子是不可重疊的；如此類推。這種通過化學反應和核子反應產生的微观結合和光量子的空間重疊是完全不同的概念。場和波是空間的連續函數，不是離散函數。場和波的疊加是每一個幾何點上的數學疊加，不是離散粒子空間上的互相參插。這是場和波的空間可疊加性與物質的空間不可重疊性的實質區別。

這裡的討論還涉及到一個粒子的數量問題。諧振腔中的諧振子的個數是無窮多個，而不是有限個。而粒子的個數不可能時無限的。

十）如何用波動理論解釋黑體輻射與光電效應

由上面的討論可知，光的波動性是無可置疑的，其粒子性則大成問題。可是如何解釋黑體輻射實驗和光電效應呢？

普朗克在提出量子化假說時，並沒有，也不必要把光看成粒子。普朗克的公式和推導只假定黑體中的光輻射能量可以量子化，黑體輻射的总体能量等於這些量子化的能量的總和。如此而已，豈有他哉！能量的量子化不等於粒子化。這種將整體能量分成許多成分的做法早在頻譜分析中就已經有了。一個非簡諧波的能量可以分解成無窮多個諧波。總能量等於各個諧波的能量之和。這並不要求每一個諧波都是粒子或物

质。

至于爱因斯坦的光电效应，光子理论只是一种现象逻辑性的解释。爱因斯坦在这里用了普朗克的量子假说。如上所述，这一量子假说并没有要求光是粒子，只要求光的能量的量子化。爱因斯坦的光电效应实验的解释也只要求金属中的电子吸收量子化了的能量，并不要求光是粒子。

光电效应中的一个重要参数是激发光频率的临界值。光的频率必须超过这一临界值才能使金属中的电子溢出。对这种现象我们其实并不陌生。临界频率的现象，在超声波清洗技术和微波技术中也存在。一个空心波导（不管是矩形的还是圆柱形的）都有一个临界频率。低于临界频率的微波不可能在波导中传播。这个结果可以从求解麦克斯韦方程组得到。物质对光的吸收当然是比波导中微波的传播更复杂的過程。光电效应的截止频率应该和固体的微观结构和物理特性有关。这种微观结构和物理特性被现象逻辑性地表述为“溢出功”。在我们对金属表面的微观结构还不太清楚的情况下，不妨把爱因斯坦的光电效应理论当作一个现象逻辑性的理论接受，而不能把他当作光是粒子的证明。电子的直径小于一个费米，是微观尺寸，光量子的尺寸很大，至少大于一个波长。可见光的波长大于 4000 埃，相当于质子半径的四亿倍，体积比质子大 26 个数量级。电子的体积更小，小到我们现在还无法测量。一个电子要吸收一个光子，尺寸上就差了几十个数量级。按比例，比一只青蛙吞下一个银河系还难。固体的晶格长度约 10 埃，只有波长的 400 分之一。一个波长的平方可以覆盖 16 万个表面晶格。躲在这 16 万个晶格之中的广大电子群众如何竞争去吸收体积如此庞大的“光子”？是排队凭票供应，还是像狼群扑食一样各咬一口，吃到肚子里再将一口口的量子碎片拼成完整的光量子？

非常奇怪，爱因斯坦不能接受量子力学，却能接受“电子只能吸收整个光量子的全部能量，但不能部分地吸收比这更小的能量”的概念。我们知道，电子之从金属表面激发出来，不但可以通过光电效应实现，还可以通过其他方法实现。摩擦生电就是用机械能把电子拉出来，并不是因为电子吸收了什么“量子”而溢出。灯泡或电子管的灯丝中通过 60 赫兹的交流电就会产生电子。这样的频率（波长 5000 公里）远远在光电效应的临界频率之下。有一种直流电子管，只要用电池就可以工作。在半导体发明之前，这种电子管常用于间谍的收发报机。直流电的频率等于零，波长无穷大，这样的“光子”的能量等于零。但是我们知道直流电可以激发出电子，并使电子管的阴极发光。所以，金属表面的电子的溢出和发光是一个我们并不清楚地了解的非常复杂的过程。仅仅用电子吸收光子的图像来简单化地理解过于粗糙，最多不过是一种现象逻辑学，不能证明光是粒子。

据说有一个太监在炎热的夏天给皇帝扇扇子。皇帝问太监：“寡人身上的汗都到哪去了？”“万岁爷，您龙体上的汗珠子都跑到了奴才的背上了。”如果皇帝和太监都是微观尺寸的粒子，而且我们不了解汗水蒸发和运动泌汗的物理和生理过程，我们很可能会相信这位公公的“汗量子交换”理论。

十一）波粒二象性对大爆炸宇宙学的关键作用

波粒二象性对于近代物理理论本来没有实质的重要性，它并不提供任何新的物理理论或方法，只不过是对于已经存在的理论（哪怕是现象逻辑性的理论）提供某种哲学解释或宗教解释，提供一点精神安慰。但是进入大爆炸宇宙学以后，波粒二象性的作用就十分关键，具有实质的重要性了。

大爆炸宇宙学的一个根本困难就是向世人交待宇宙如何无中生有地被创造出来。为了对这种数学创造轮提供某种他们认为成其为解释的解释，宇宙家们编织了这样一个故事：

1) 在时间原点，由于真空的扰动，会从真空中产生大量的能量，根据是海森伯原理 - 能量的测量误差和时间的测量误差的乘积不小于普朗克常量。时间的测量误差小到十的负四十三次方秒时，能量的测量误差就大于普朗克常量乘以十的四十三次方秒。这一巨大的“能量测量误差”被解释成为“能量的创生”。读者诸君且莫去管他宇宙创生时谁来承担测量的艰巨任务，也甭问如果没人测量，是不是宇宙就会因为没有接生婆而要胎死腹中了这样的现行反革命问题。这样创生出来的能量以电磁波（伽玛光子）的形态出现。这里用到了光的波粒二象性。初生的宇宙是以辐射能量的形态出现的，没有物质。

2) 这巨大的能量会转变成物质，根据是爱因斯坦的质能关系式。所以一旦能量被创生了，物质也就被创生了，光子（辐射能）会变成物质，变成太阳系和银河系，包括银河系里的一切。于是，秋波变成了秋香和唐伯虎，也许先得变成亚当和夏娃。

3) 到了大爆炸以后三十万年的去耦合期，辐射能量和物质就去耦合了，因而有了我们现在的物质世界。至于为什么要去耦合，为什么不会重新耦合回去，是一种信仰，是正统教义，或曰“标准模型”。

所以，如果说波粒二象性对物理学的其他分支可有可无，那末他对宇宙大爆炸理论却是绝对的必要了。关于海森伯原理不足以否定能量和质量守恒定律，以及“真空擾動產生能量”等等概念的荒謬，我在拙作“宇宙学的基本问题与 DET 理论”等文中已有说明，恕不赘述。

十二) 波粒二象性理论的宗教思想根源

宗教信仰是一种后天的意识。如果一个孩子从小在泰国长大成人，他就有百分之九十的可能是佛教徒，如果在阿拉伯长大，很可能是穆斯林，在希腊长大就很可能是东正教徒。虽然是后天的意识，如果经过千百年的宗教洗礼和皇权约束，就可以变成一种非常自觉的思想和行动。只要看看每年的宗教朝圣的盛况，和虔诚的信徒们不远千里三跪九叩地爬行几年去朝圣，就能理解信仰在他们的思想和信念中的地位和作用。

自从基督教成为罗马帝国的国教，整个欧洲经历了天主教庭近两千年的统治，三位一体 (Trinity) 和神人二象性 (Duality) 的思想已经融入了西方社会的各个层面，成了欧洲人 - 包括欧洲科学家 - 的正常思维逻辑和思维习惯。这种思维逻辑能把完全不同的东西看成为一个实体而不认为背理，然后以此为信仰，去演绎发展理论的其他方面，解释各种现象。科学上最典型的例子就是物理学上光的波粒二象性 (Duality) 假说。

科学研究的方法不应该是宗教的方法。当着某种事物看起来似乎具有根本矛盾的性质时，就意味着我们对其某些方面的理解还不透彻，或者根本就是误解，或者这一方面的理解仅仅是现象逻辑学的。科学的态度应该是追根穷源，继续深入研究解开表面上矛盾的逻辑疙瘩，而不应该以宗教的方法把两个完全不同的概念强拉到一起，标以“二象性”的桂冠，以示神圣，以示深奥。对于光与物质相互作用时表现出来的能量量子化性质，我们的了解还停留在现象逻辑学的阶段，远没有麦克斯韦的波动理论完备透彻。随着微观领域科学研究的继续发展，我们对光与物质表面相互作用时的能量量子化性质一定会知道得越来越清楚。在没有透彻了解光电效应的微观本质之前，不妨将爱因斯坦的解释当作一种现象逻辑性的理论接受，但这种现象逻辑性的理论最多只能为光能量的量子化提供一些支持，不足以证明光是粒子。同样，普朗克的黑体辐射公式最多也只要求光能量的量子化，不要求光是粒子。