

212 光子的形状

主题

我们来关注一下人们是如何对光子进行描述的；当人们提到光子的大小和形状时，想表达的是什么意思？

我们先来看维基百科德文版关于光子的词条：

“光子（photons）也叫光量子（light quanta）或光粒子（light particles）。它有一个解释性的名称：光子是由电磁辐射组成的能量“包”（energy packets）。

在物理学中，光子被认为是一种交换粒子（exchange particle）。根据量子电动力学，光子是一种电磁相互作用的媒介子，属于规范玻色子，因而是一种基本粒子。光子没有质量，但有能量和动量。光子的能量和动量都与其频率成正比，其角动量也如此。”

在维基百科英文版中，关于光子的词条是这样的：

“光子是基本粒子，是电磁场（包括光和无线电波这些电磁辐射）的量子，是电磁力的携带者。光子没有质量，因此在真空中总是以 299792458m/s（约 186282mi/s）的速度运动。光子是一种玻色子。”

在一些中学物理教科书中是这样描述光子的：

“在光与物质的相互作用中，能量总是一小份一小份传递的。这每一小份的能量叫作光量子或光子。”

“这一份一份的能量叫作光子。我们说，光的能量是量子化的……”

结论：电磁辐射的能量与频率 f 的关系为 $W=hf$ 。它叫作光子。光的能量是量子化的。”

负担

在正式进入关于光子的主题之前，我们先来简要地说说一个简单的问题：光子到底是什么（同时也说说不属于光子属性的方面）。

在物理学中，对光子的理解在我们前面所引用的维基百科英文版中有清晰的表述：光子是一种基本粒子，是电磁场的量子，是电磁相互作用的媒介子。在物理学通常的语言习惯中，光子并不指一份能量，尽管在前面所引用的两本中学物理教科书和维基百科德文版中是这样说的。如果有人说光子是一份能量，那么问题就来了：他们为什么不说光子是一份动量或一份角动量呢？他们为什么不说电

子也是一份能量呢？

我知道，那些教科书的编者想避免回答这样一些难以回答的问题：光子处于哪个位置？光子有多大？光子运动的路径是怎样的？但是，“一份能量”这个概念也解决不了这些问题。

我们来讨论一下光子的大小和形状。在上面所引用的材料中，没有一处提到这个问题。这是不是由于我们所提出的问题有问题？我们知道，有些问题本身确实是有问题的，例如，“电子的颜色是怎样的？”这个问题是有问题的。“光子的形状是怎样的？”这个问题有问题吗？

然而，如果这个问题是有问题的，那么通常那些关于光子的随随便便的表达是不应该出现的。

当我们说光子以某一概率穿过一条缝和以相同概率穿过另一条缝时，其意思是光子的宽度比缝的宽度小。如果我们说在太阳内部的光子在被吸收前最多行进 1 毫米时，其意思是它们的长度不会超过 1 毫米。然而，为什么我们不能清晰地把这些话说出来？这是不是由于我们认为光子是一个质点？当然，人们一般不敢这样说。

后来人们发现，光子的能量是 hf 。光子有频率，也必定有波长。光子的频率有一确定的值。由此，人们认识到，光子是有一定的长短的。这样，矛盾就出现了。

问题是，如果我们不提及这个矛盾，学生就会形成自己的观念。难道我们作为物理教师真的愿意这样做吗？

当然，物理学家们都知道为什么人们不愿意回答这个问题的原因。我们遇到了真实世界中所存在的一种粒子，这种粒子是不“局域的”（或有时是局域的，或局域在很小的范围内），这种粒子与另一种粒子是等同的。

这样的观念对于有些人来说是无法接受的。比如，灵魂，它存在于空间。它是弱局域的，其轨迹是不确定的。当然，我们不会迷信这种说法。毕竟，我们有合乎逻辑的理论，这种理论能帮助我们预测哪个结论具有多少概率的测量结果。这就意味着，我们必须找到一种语言用来将这一理论尽可能清晰地描述给人们听。为此，我们要考虑所描述是什么感受。只有当人们发现所描述的现象与他们已经感受到的是相似的，那么这现象才是可描述的。

因此，我们在表述关于光子的理论时必须知道这种表述在哪些方面和在何种程度上与我们所已经感受到的现象是相似的。

人们也许会这样反对：但是，问题正好就在这里！没有一种粒子象光子那样表现得这样不可思议！除了“它像灵魂一样”外，我们无法将“它像……一样”这样的句式用到对光子的描述上。我认为，当我们作这样的辩论时，我们会很快屈从的。

对于电子，我们就没有这样的问题；对于质子也同样。然而，其原因是因为这些粒子所呈现的现象正象一个个单独的粒子所呈现的现象，它们具有确定的运动轨迹和比较大的形状。

历史

“光子是一份份的能量”这一普遍的错误表述源于这样的错误理解：混淆物理量和物理系统（physical system）。

理论物理学家们之所以不愿意提及光子的形状，是因为他们不像我们中学物理教师那样需要对光子进行如此的描述。

建议

我们建议，至少在中学物理教育中给光子以一个生动的形象。我们用光的干涉区域来确定光子的大小和形状。这样，光子就有了纵向和横向的长度和宽度。光子的长度和宽度取决于光的状态，取决于光是怎样产生的和产生后的情况。如果光的相干长度（即时间相干长度）很大，那么其动量和波长就有确定的值。如果光的相干宽度很大，那么其动量的横向分量就很小，波前就很大（这种光在双缝干涉实验中很重要）。

Friedrich Herrmann

（陈敏华，2022年8月18日译毕于深圳）