

用光的本性对波动力学中若干现象的分析

杨占营

姚尚锋

光具有波动性,对光的干涉、衍射图样的分析,普通物理教材一般从两束光(或光线的两部分)到达某处的光程差出发分析的。进一步看,光所具有的波动性,仅仅是具有干涉、衍射这些波的最本质的特征,而不能被理解为空间中质点(质元)的机械振动。本文认为,对光的干涉、衍射图样的分析,应该从光的本性出发来理解,才能全面理解这些现象的本质。

一、关于光的干涉、衍射实质的分析

对于光的干涉、衍射的实质,应从光的本性方面入手,用概率波函数来描述光,理解为一个光子的两(多)个量子态的叠加。光的干涉是概率波与概率波的叠加,而不是两个光子的干涉。如何理解这句话,我们先引用狄拉克(P. A. M. Dirac)曾说过的“Each photon then interferes only with itself. Interference between different photons never occurs.”针对狄拉克所说的话,R. J. Glauber指出,狄拉克的用意是要我们不要有以下荒谬的看法:一个光子可以吃掉另一个光子,或两个光子合并加强(形成多个光子)。实际上,光所具有的波动性,仅仅是具有干涉、衍射这些波的最本质的特征,而不能被理解为空间中质点(质元)的机械振动。

我们再通过双缝干涉实验来解释上段那句话。在双缝干涉实验中相干的入射光经过双缝后,分成两束,然后出现干涉现象。如果认为入射光束中的光子数目各一半分配给两束。一束光中的一个光子与另一束光中的另一光子发生干涉,这就会发现,有时两个光子因干涉而湮没,有时又会产生多个光子,这违反能量守恒,所以,双缝干涉中是概率波与概率波之间的干涉,有些地方由于干涉而概率消失,有些地方则由于干涉而概率增加。

二、对偏振光通过偏振片的分析

先来看一个经典的检偏实验。设有一束线偏振光通过一块理想的偏振片(令其偏振化方向为X方向)。如入射光为X方向线偏振光,则偏振光将全部通过偏振片(现象a)。如入射光为Y方向线偏振光,则偏振光将全部被偏振片吸收,在偏振片后观测不到入射光(现象b)。如入射光的偏振化方向与X方向之间的夹角为 α ,则入射光的能量只有一部分(\propto

$\cos^2\alpha$)通过偏振片,另一部分($\propto \sin^2\alpha$)则被偏振片吸收(现象c)。

按目前的理论,一束偏振光中的每个光子都处于一定的偏振态,具有一定频率 ν 的光辐射是由光子(能量 $E=h\nu$)组成。任何测量光强度的装置,测出的只能是一个一个的光子。实验还表明,若用一束线偏振光去激发光电子,则光电子的分布有一个优越的方向(该方向依赖于光的偏振方向)。因此,只能认为,在一束偏振光中,每一个光子处于一定的偏振态。

再来看入射光中含有大量光子($N \gg 1$)与只有一个光子入射时的情况。大量光子入射时,由于这些光子都处于同一个偏振态,总能量为 $Nh\nu$ 。当入射光的偏振化方向与X方向之间的夹角为 α 时,通过偏振片后, $N\cos^2\alpha$ 的光子得以通过; $N\sin^2\alpha$ 的光子被吸收。当只有一个光子入射时,会发生什么现象呢?对于上述现象a,光子将通过偏振片,能量及偏振态均不改变。对于现象b,光子将被吸收,在偏振片后观测不到光子。而对于现象c,则在偏振片后有时会观察到一个光子(能量与入射光子相同,但偏振化方向改变为X方向,成为X方向线偏振光),有时则什么也没有,从未观测到“半个光子”通过偏振片。

我们用概率的概念加以分析理解有大量光子出现的经典的检偏实验和一个光子通过偏振片的实验。只能这样理解:光波是概率波,当光的线偏振化方向与X方向之间的夹角为 α 时,每一个光子有 $\cos^2\alpha$ 的概率通过偏振片,有 $\sin^2\alpha$ 的概率被偏振片吸收。除了这种概率诠释,别无选择。至于一个光子在通过偏振片的过程中,怎样改变了它偏振态,可以按态叠加原理来说明,一个偏振化方向与X方向之间的夹角为 α 的光子,部分地处于沿X方向偏振的态 ϕ_x ,部分地处于与X方向垂直偏振的态 ϕ_y ,即可以看成偏振态 ϕ_x 与态 ϕ_y 的线性叠加, $\phi_\alpha = \phi_x \cos\alpha + \phi_y \sin\alpha$,两个叠加态之间有确定的相对相位和权重,也正是由于它们之间的确切的确切的相对相位,才能理解观测到的干涉现象。

(安徽蚌埠坦克学院数理教研室 233013)