

文章编号: 1672-8785(2016)11-0001-05

关于可分裂的光子模型的进一步分析和探讨(上)

王忆锋

(昆明物理研究所, 云南昆明 650223)

摘 要: 在作者已有工作和思考的基础上, 进一步分析和探讨了可分裂的光子模型, 并给出了集合或整体意义上的总体量 (例如吸收率、反射率和透射率) 与单个光子的对应量 (例如吸收、反射和透射) 之间的对应关系。利用可分裂的光子模型可以解释反射、衍射、干涉等光学现象。基于蒙特卡罗方法和可分裂的光子模型, 可以对反射、衍射、干涉等光学现象进行计算机仿真。介绍了有关仿真算法的思路。

关键词: 光子; 光子分裂; 光子模型; 光学现象; 计算机仿真

中图分类号: O572.31 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.11.001

Further Analysis and Discussion on Splitting Photon Model (I)

WANG Yi-feng

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: On the basis of the author's existing work and thought, the splitting photon model is further analyzed and discussed. The relationship between the total quantity (e.g. absorbance, reflectivity and transmittance) on the sense of assemblage or integrity and the corresponding quantities of single photons (e.g. absorption fraction, reflection fraction and transmission fraction) is given. The splitting photon model can be used to explain the optical phenomena such as reflection, diffraction, interference and so on. On the basis of the Monte Carlo method and the splitting photon model, the optical phenomena such as reflection, diffraction and interference can be simulated by computer. The idea of simulation algorithm is presented.

Key words: photon; photon split; photon model; optical phenomenon; computer simulation

0 引言

本文作者在文献 [1] 中探讨了光子的可分裂性, 在文献 [2] 中提出了可分裂的光子模型, 此前还提出了广义量子数的概念 [3]。在这些工作和思考的基础上, 本文进一步分析和探讨了光

子的可分裂性以及可分裂的光子模型, 并给出了集合或整体意义上的总体量 (例如吸收率、反射率和透射率) 与单个光子的对应量 (例如吸收、反射和透射) 之间的对应关系。可分裂的光子模型是对牛顿粒子说的修正或补充, 它可以解释

收稿日期: 2016-08-08

作者简介: 王忆锋 (1963-), 男, 湖南零陵人, 工学士, 高级工程师, 主要从事器件仿真研究。

E-mail: wangyifeng63@sina.com

反射、衍射、干涉等光学现象。基于该模型和蒙特卡罗方法,可以对各种光学现象进行计算机仿真。

1 光子发射的确定性、随机性、对称性、发散性和稀疏性

由于光子是一种粒子,下面将不加区分地使用光子或粒子这两个术语。

根据黑体辐射理论,物体只要有温度就会产生辐射。由其辐射出来的粒子即为光子,这是光子发射的确定性。由确定性可知,某个光子特别是满足某些特定条件(例如波长范围)的光子必然会出现,但是我们并不知道该光子将会何时出现在何处,这就是光子发射的随机性。所谓随机性是指发生某一事件的概率大小。光子发射的随机性包括时间上的随机性和空间上的随机性。

由于发射的光子数量巨大,经过一段时间后对其进行统计平均。从结果中可以看出,在空间对称点上落入的光子数量大体上是相等或相近的,即表现出对称性。

光子以光源为中心向四周扩散,这一点称为发散性。因此,距离越远,两个相邻对称点的间距越大。在宇宙尺度上,当某一星体的位置非常遥远时,该间距可能远大于地球直径。这时,如果地球位于两个光子之间,那么地球上的探测器就不可能接收到来自该星体的光子。换言之,当空间尺度极大时,光子在数量上将会表现出稀疏性。如果能力足够强的话,则可分辨出一个一个的单光子。另外,如果时间尺度极小,那么光子在数量上也将表现出稀疏性。真空中,光子的运动速度约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$,在 1 fs 内也只能移动 $0.3 \text{ }\mu\text{m}$ 。如果时间分辨率足够高,或可看清单个光子的运动。

2 光子行为的总体量与个体量之间的对应关系

如图 1 所示,一般而言,一束总能量为 E_T 的光子投射到介质表面时将会分成三部分:一

部分 E_α 被吸收,另一部分 E_ρ 被反射,还有一部分 E_τ 透射进入该物体,即

$$E_\alpha + E_\rho + E_\tau = E_T \quad (1)$$

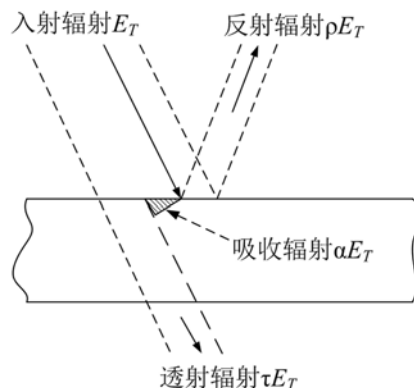


图 1 辐射在介质表面上的吸收、反射和透射

将式 (1) 两边各自除以 E_T , 可得:

$$\frac{E_\alpha}{E_T} + \frac{E_\rho}{E_T} + \frac{E_\tau}{E_T} = 1 \quad (2)$$

或者写为

$$\alpha_T + \rho_T + \tau_T = 1 \quad (3)$$

$$\alpha_T = \frac{E_\alpha}{E_T}, \rho_T = \frac{E_\rho}{E_T}, \tau_T = \frac{E_\tau}{E_T} \quad (4)$$

式中, α_T 、 ρ_T 和 τ_T 分别为吸收率、反射率和透射率。另外将物体的发射率记为 ε_T 。根据基尔霍夫定律,有

$$\varepsilon_T = \alpha_T \quad (5)$$

与单个光子的行为相对应,将上述描述一束光子行为的参数称为总体量。从数值角度看,上述四个参数显然满足:

$$0 \leq \alpha_T, \rho_T, \tau_T, \varepsilon_T \leq 1 \quad (6)$$

设单个光子投射到介质表面时仍然有吸收、反射和透射三种现象发生。至于在每一类能量中又分成了几块,这也是随机的、未知的。以第 i 个光子的吸收能量 $E_{i,\alpha}$ 为例,假定它分成

$$E_{i,\alpha} = E_{i,\alpha,1} + E_{i,\alpha,2} + E_{i,\alpha,3} + \cdots \quad (7)$$

其中

$$E_{i,\alpha,1} > E_{i,\alpha,2} > E_{i,\alpha,3} > \cdots \quad (8)$$

类似地,第 i 个光子的反射能量 $E_{i,\rho}$ 为

$$E_{i,\rho} = E_{i,\rho,1} + E_{i,\rho,2} + E_{i,\rho,3} + \cdots \quad (9)$$

其中

$$E_{i,\rho,1} > E_{i,\rho,2} > E_{i,\rho,3} > \cdots \quad (10)$$

第 i 个光子的透射能量 $E_{i,\tau}$ 为

$$E_{i,\tau} = E_{i,\tau,1} + E_{i,\tau,2} + E_{i,\tau,3} + \cdots \quad (11)$$

其中

$$E_{i,\tau,1} > E_{i,\tau,2} > E_{i,\tau,3} > \cdots \quad (12)$$

在物理学中, 有一个基本思想或者技巧是将一个数值分解成一个长序列 (例如级数), 然后将此数值近似为该序列的前面一项或几项之和^[4]。如果只取一项, 则称为零阶近似。在本文中也可采用这种方法。具体说来, 就是在各部分能量中均取其中量值最大的第一项, 即

$$E_{i,\alpha} \approx E_{i,\alpha,1}, E_{i,\rho} \approx E_{i,\rho,1}, E_{i,\tau} \approx E_{i,\tau,1} \quad (13)$$

于是各光子的能量表达式可以写为

$$\begin{cases} E_{1,\alpha} + E_{1,\rho} + E_{1,\tau} = E_1 \\ E_{2,\alpha} + E_{2,\rho} + E_{2,\tau} = E_2 \\ \vdots \\ E_{i,\alpha} + E_{i,\rho} + E_{i,\tau} = E_i \\ \vdots \end{cases} \quad (14)$$

将所有单个光子的各部分能量相加, 则有

$$\sum_{i=1}^n E_{i,\alpha} + \sum_{i=1}^n E_{i,\rho} + \sum_{i=1}^n E_{i,\tau} = \sum_{i=1}^n E_i \quad (15)$$

将式 (15) 中的各项除以 $\sum_{i=1}^n E_i$, 则有

$$\frac{\sum_{i=1}^n E_{i,\alpha}}{\sum_{i=1}^n E_i} + \frac{\sum_{i=1}^n E_{i,\rho}}{\sum_{i=1}^n E_i} + \frac{\sum_{i=1}^n E_{i,\tau}}{\sum_{i=1}^n E_i} = 1 \quad (16)$$

如果令

$$\alpha_T = \frac{\sum_{i=1}^n E_{i,\alpha}}{\sum_{i=1}^n E_i}, \rho_T = \frac{\sum_{i=1}^n E_{i,\rho}}{\sum_{i=1}^n E_i}, \tau_T = \frac{\sum_{i=1}^n E_{i,\tau}}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (17)$$

则有

$$\alpha_T + \rho_T + \tau_T = 1 \quad (18)$$

当 $n=1$ 时, 式 (16) ~ 式 (18) 是描述单个光子行为的微观量; 当 $n \rightarrow \infty$ 时, 式 (16) ~ 式 (18) 就

变成了一种宏观量, 特别是式 (18) 在形式上也正是前面所给出的式 (3)。换言之, 不管是单个光子的随机的微观行为, 还是无数个光子的有规律的宏观行为, 都可以统一地用一个模型来描述。当然, 该模型的基础之一就是光子可以分裂的理论。

单个光子的个体行为是随机的、无规律的, 但是一批数量巨大的光子在整体或平均上则是非随机的、有规律的。上述处理在总体上与现有理论体系没有矛盾, 但在个体上又涵盖了单个光子的各种可能性。光子行为的总体量与个体量之间既有联系又有区别, 两者之间不能简单地互相演绎; 不能因为总体量具有规律性而否定个体量的随机性, 还不能因为个体量的随机性而认为总体量也具有随机性, 否则在逻辑上或将陷入困境。例如, 由于一束光子的总能量分布满足式 (3), 就推定单个光子的能量分布也满足式 (3), 这将意味着所有光子具有相同的吸收、反射和透射模式。由此出发很难回答这样的问题: “为什么所有的光子都具有相同的吸收、反射和透射模式, 而不能有的光子全反射、有的光子全透射?”, 等等。

3 微观层面上的波长与宏观层面上的波长之间的差异

根据光子理论, 光子能量 ε 与光子波长 λ 之间存在以下关系:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (19)$$

式中, h 为普朗克常数; c 为光速。

不妨将光子分裂后所形成的光子称为次生光子。一般地, 假设一个光子分裂成 n 份, 此时即有 n 个次生光子, 则

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \cdots + \frac{1}{\lambda_n} \quad (20)$$

在能量守恒、光速不变以及只取正数的前提下, 容易理解以下内容: 次生光子的能量只能变小、不能变大, 这就意味着波长只能变长、不能变短。在电磁波谱中, 波长变长是向可见光的红光一侧移动, 故称为红移; 波长变短是向可见光的蓝光一侧移动, 故称为蓝移。换言之, 次生光子只能产生红移, 而不可能产生蓝移。

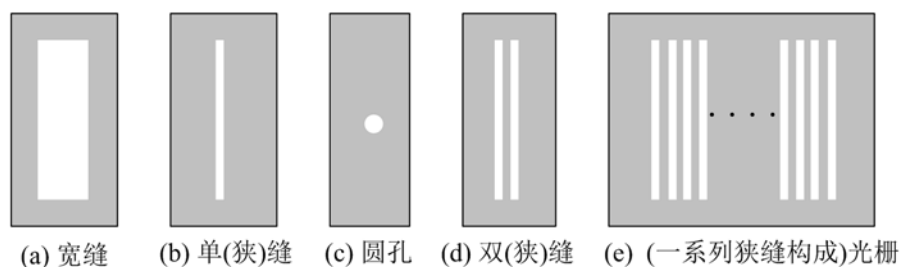


图 2 用于研究光学现象的几种模板结构

在多普勒效应中,由物体辐射的波长因为光源与观测者的相对运动而产生变化:波长可能变长,也可能变短。多普勒效应中所讲的波长应该是宏观层面上的概念,它类似于一个谐波,是无数波长合成的结果,其峰值波长有所偏移、变长或者变短都是有可能发生的事情。而单个粒子或光子的波长则是一个微观层面上的概念,其固有的或者本征的特性是波长只能变长、不能变短。

4 利用可分裂的光子模型解释几个基本的光学现象

利用可分裂的光子模型可以解释和讨论几个基本的光学现象。图 2 所示为用于研究光学现象的几种模板结构,其本质特征就是缝隙,只是形状各异、数量不同罢了。为了叙述方便,本文将与缝隙表面平行的光线称为正射光,并将与缝隙表面不平行的光线称为斜射光,如图 3 所示。由于与介质表面没有碰撞,正射光没有光子分裂且光子能量不变;由于与介质表面发生碰

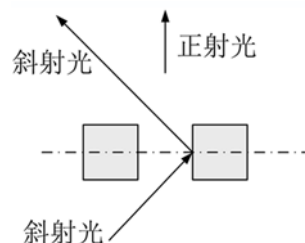


图 3 与缝隙表面平行的光线称为正射光,与缝隙表面不平行的光线称为斜射光

撞,斜射光存在光子分裂且光子能量变小的现象。图 4 所示为模板结构与探测器之间的相对位置关系。

下面以圆孔为例展开分析和讨论。

(1) 如图 4(b) 所示,当圆孔直径较大时,正射光占大多数,而斜射光的量较少,以至于相应的信号不可分辨或者被湮没。这一点类似于数值分析中经常所说的“大数吃小数”现象^[5],即一个小数与一个大数相加,小数被大数“吃掉”。

(2) 当圆孔直径变得很小时,正射光大幅减少,而斜射光则相对大幅增加,从而形成圆孔衍

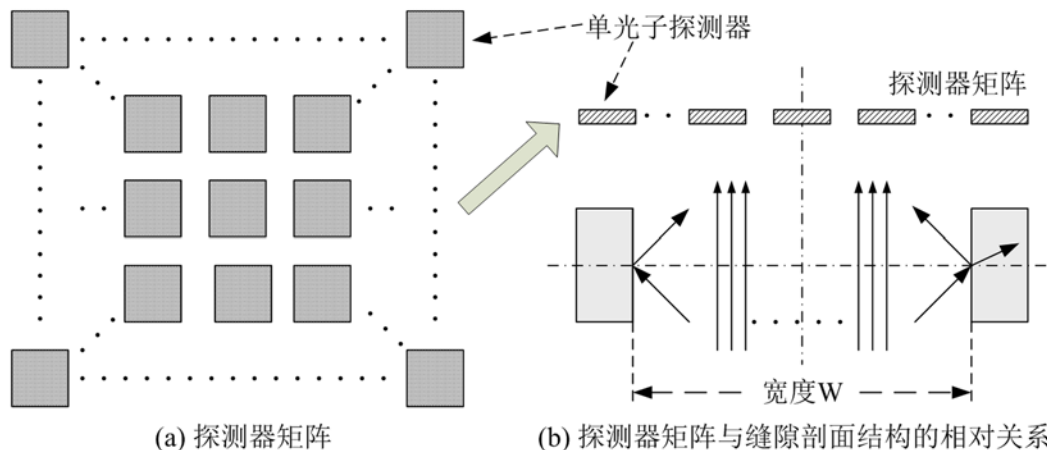


图 4 探测器矩阵与模板结构之间的相对位置关系

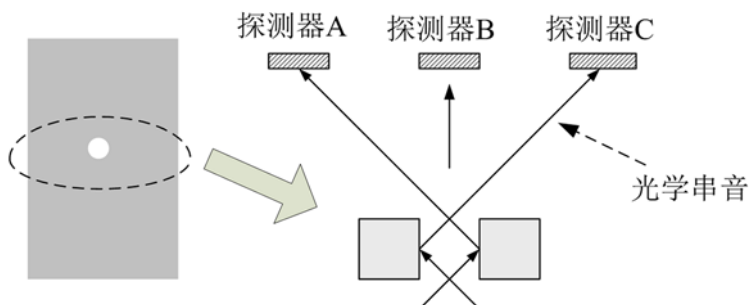


图 5 基于可分裂的光子模型解释光的圆孔衍射现象

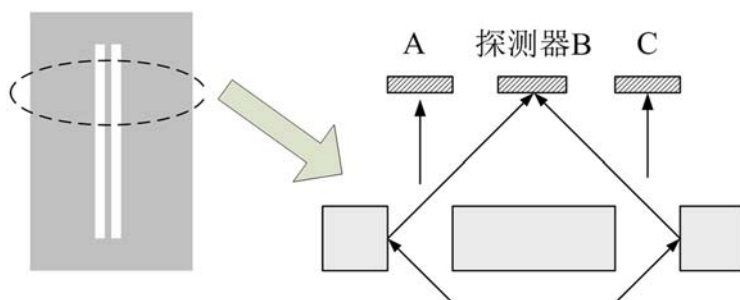


图 6 基于可分裂的光子模型解释光的干涉现象

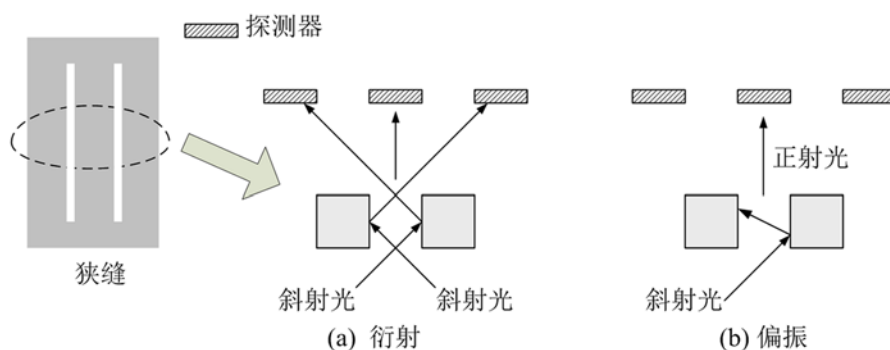


图 7 (a) 狭缝衍射由量值可比的斜射光和正射光构成; (b) 如果把斜射光去掉, 而只有正射光通过狭缝, 那么衍射就会变成偏振

射现象, 如图 5 所示。与圆孔对应的是探测器 B。在理想情况下, 从圆孔过来的光子应全部落在探测器 B 上, 但是由于斜射, 有若干数量的光子会落在与探测器 B 相邻的探测器 A 和探测器 C 上, 这种现象称为探测器的光学串音^[6]。由于光子分裂, 斜射出去的光子能量变小, 最终形成由明及暗的衍射图样。从某种角度上或许可以说, 衍射现象是由光学串音引起的。类似地, 若将圆孔换成一条狭缝, 则将形成狭缝衍射现象。

(3) 在单缝衍射结构中再增加一条狭缝以形成双缝。出自两个狭缝的斜射光在探测器 B 上相互叠加, 从而形成狭缝干涉现象, 如图 6 所示。

(4) 如图 7(a) 所示, 单缝衍射是由量值可比的斜射光和正射光形成的。如果去掉斜射光或者使斜射光在狭缝内形成反射并湮灭, 而只让正射光通过, 则可形成偏振现象, 如图 7(b) 所示。光子的运动轨迹是一条直线。一个平面由无数条直线组成。如果狭缝窄到仅比一个平面略宽, 那么只有在这个平面内的光线才能通过狭缝, 这种情况属于完全偏振。如果狭缝再宽一点, 那么可以通过的光线除了正射光之外, 还会有一些不与狭缝表面接触的斜射光, 这就是所谓的部分偏振。

(未完待续)