

# On the Principle of Light Speed and Its Inferences

Yifeng Wang

Kunming Institute of Physics, Kunming Yunnan  
Email: wangyifeng63@sina.com

Received: Aug. 9<sup>th</sup>, 2019; accepted: Aug. 28<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 4<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Mass is the commonness of the concepts of matter, object, particle, material point and so on. On this basis, the author puts forward the concept of mass body. Logically or semantically, there is no something is a kind of meaning, there is a little something but the quantity is so small that it cannot be felt or detected is another kind of meaning. A small quantity does not mean that there is no one. Therefore, Newton's first law of motion can be supplemented and perfected as follows: all mass bodies will remain in uniform motion in a straight line or at rest when they are not acted by external forces, or when they are acted by external forces, but the effect of external forces is too small to be negligible. The principle of light speed is deduced respectively from the physical and mathematical point of view, that is, the square root of the ratio of the total universal energy to the total universal mass equals light speed. Several inferences of the principle of light speed are discussed. The faster-than-light speed obtained by various mathematical processing is called the algorithmic faster-than-light speed, which is a virtual speed independent of the mass body. The algorithmic faster-than-light speed is not equal to the physical faster-than-light speed, and faster-than-light speed does not exist in physics. A new method of constructing Maxwell's equations is introduced. The inherent defects of Maxwell's equations in describing the behavior of photon radiation are analyzed. The theory of wave-particle duality of light can be revised as follows: light is essentially a particle, in the special scale near to the light source, and the statistical average of the behavior of countless light particles shows the characteristics of wave. The parameters of wavelength and frequency of photon are auxiliary variables with no physical meanings for describing the magnitude of photon energy. The concepts of inertia mass, gravitational mass, dynamic mass and static mass are discussed. It is pointed out that there is one and only one type of mass, the mass is the inertia mass, and vice versa; in addition, other types of mass concept are redundant and unnecessary.

## Keywords

Mass Body, Newton's First Law of Motion, Principle of Light Speed, Maxwell's Equations, Wave-Particle Duality

---

# 光速原理及其推论

王忆锋

昆明物理研究所, 云南 昆明  
Email: wangyifeng63@sina.com

收稿日期: 2019年8月9日; 录用日期: 2019年8月28日; 发布日期: 2019年9月4日

## 摘要

质量是物质、物体、质点、粒子等概念的共性, 在此基础上作者提出了质量体的概念。从逻辑或者语义上说, 没有是一种含义, 有但是量值微小以致于感受不到或者检测不出是另外一种含义, 量值微小不等于没有。因此牛顿第一运动定律可以补充完善为: 一切质量体在没有受到外力作用、或者虽然有外力作用但是外力作用小到可以忽略不计的时候, 总保持匀速直线运动或者静止状态。分别从物理和数学角度推导了光速原理, 即宇宙总能量和宇宙总质量比值的平方根等于光速。讨论了光速原理的几个推论。通过各种数学处理得到的超光速称为算法超光速, 它是虚拟的与质量体无关的速度。算法超光速不等于物理超光速, 在物理上不存在超光速。介绍了一种构建麦克斯韦方程组的新方法, 分析了麦克斯韦方程组用于描述光子辐射行为所存在的固有缺陷。光的波粒二象性理论可以修正为: 光本质上是粒子, 在离光源较近的空间范围内、无数光粒子行为的统计平均呈现出波的特点。光子波长及频率参数是描述光子能量大小的辅助变量, 它们本身并没有物理意义。讨论了惯性质量、引力质量、动质量以及静质量等概念, 指出质量的种类有且只有一个, 质量就是惯性质量, 反之亦然; 除此之外的其他种类的质量概念都是多余的、可以不需要的。

## 关键词

质量体, 牛顿第一运动定律, 光速原理, 麦克斯韦方程组, 波粒二象性

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

光速的起源是理论物理的一个基本问题, 甚至是终极问题。该问题有不同的提法, 例如光速是怎么来的、为什么会有光速、什么时候开始有光速等, 这些提法基本上是等价的。

近年来作者系统地分析了与光速相关的一系列问题, 在文献[1]中探讨了光子的可分裂性, 在文献[2][3][4]中提出了可分裂的光子模型。在文献[5][6][7][8][9]探讨了光子分裂模型的若干应用问题, 指出宇宙总能量和宇宙总质量比值的平方根等于光速, 这一结果称为光速原理[10][11]。文献[12][13]对光速原理进行了深入探讨和分析。在文献[14]中介绍了从物理和数学角度推导光速原理的两种方法。

本文在作者已有工作的基础上, 补充完善了牛顿第一运动定律, 讨论了基于光速原理衍生的几个推论, 介绍了一种构建麦克斯韦方程组的新方法, 分析了麦克斯韦方程组用于描述光子辐射行为所存在的

固有缺陷，对若干质量概念之间的关系进行了探讨。

## 2. 对牛顿第一运动定律的补充完善

质量是物质、物体和质点等概念的共同点，据此作者提出了质量体(mass body)的概念[12]，其中所说的“体”包括了点、线、面、体。质量体包括了物质、物体、质点、粒子等一切有质量的东西或者实在。质量体是作者在分析过程中提出的仅有的一个新概念。本文中主要使用质量体的说法。

一切物体在没有受到外力作用的时候，总保持匀速直线运动或静止状态，该结论称为牛顿第一运动定律，简称牛顿第一定律，又称惯性定律。物体的这种保持原来的匀速直线运动或者静止状态的性质称为惯性，换言之，惯性是一切物体都具有的性质。

一般只注意到物体没有受到外力作用的情况。仔细推敲，还有一种情况是牛顿第一定律没有指明的，即物体有外力作用、但是外力作用小到可以忽略不计的情况，显然这时物体还是保持匀速直线运动或静止状态。如果再引入质量体的概念，牛顿第一定律可以补充完善为：一切质量体在没有受到外力作用、或者虽然有外力作用但是外力作用小到可以忽略不计的时候，总保持匀速直线运动或者静止状态。

从逻辑或者语义上说，没有是一种含义；有但是量值微小以致于感受不到、检测不出又是另外一种含义，量值微小不等于没有，两者之间的差异需要厘清，不宜混同。另外这里说的静止是相对静止，不是绝对静止。

在几何光学中，光被视为直线传播，光的传播速度也就是光的运动速度，简称为光速。如果认可光速是恒定的，那么光的直线传播就是一种匀速直线运动。根据牛顿第一定律反向推演，既然光是一种保持匀速直线运动的状态，说明光有惯性，也就意味着光有质量，光是质量体，该质量体的运动速度为光速。

按照补充完善前的牛顿第一定律，光保持匀速直线运动的状态意味着没有外力作用；但是根据牛顿万有引力定律，只要有二个质量体就有引力。所以从逻辑上说，光保持匀速直线运动的状态并不意味着没有外力作用，因为引力本身就是典型的外力，只是在绝大多数情况下这种引力太小、不足以改变光的匀速直线运动状态；换言之，补充完善后的牛顿第一定律具有逻辑上的自洽性。

## 3. 光速原理的推导

质量、能量和速度三者之间在量纲上存在下列关系[12][13][14]

$$\text{能量} = \text{质量} \times (\text{速度})^2 \quad (1)$$

这里用“ $\equiv$ ”表示量纲意义上的等价关系。量纲相同不一定量值相等。本文用符号“ $=$ ”表示量值或者数值意义上的等量关系。以式(1)为基础可以简单地分别从物理和数学角度推导光速原理[14]。为了阅读上的连贯性，下面将有关推导过程的主要部分再次呈现。

### 3.1. 基于物理角度推导光速原理

质量体的质量由于分裂而变小、通过合并而变大，这是一个常识。设有一个质量体  $M_U$ ，其运动速度为  $u_U$ 。假设在某一时刻， $M_U$  分裂为  $M_1$  和  $M_2$ ；由于惯性，在分裂的瞬间， $M_1$ 、 $M_2$  的运动速度与  $M_U$  的运动速度相同、均为  $u_U$ ；由于分裂，质量体的个数由原来的一个变成了两个，原来的质量体  $M_U$  不复存在，但是在总量关系上有

$$M_U = M_1 + M_2 \quad (2)$$

在式(2)两端乘以速度的平方  $u_U^2$ ，则有

$$M_U u_U^2 = (M_1 + M_2) u_U^2 \quad (3)$$

根据式(10),  $M_U u_U^2$  具有能量的量纲。

将上述讨论推广到  $M_U$  分裂为无穷多个质量体的情况, 则有

$$M_U = M_1 + M_2 + M_3 + \dots \quad (4)$$

宇宙由无穷多个质量体构成, 所以式(5)可以视为宇宙体系的质量模型, 其中  $M_U$  为宇宙总质量。在认可质量守恒的前提下, 宇宙总质量  $M_U$  是一个不变量, 或者说是一个无穷大的常数。

类似地由于惯性, 在  $M_U$  分裂的瞬间,  $M_1, M_2, \dots$  的运动速度和  $M_U$  的运动速度相同、均为  $u_U$ 。在式(4)两端乘以  $u_U^2$ , 可得

$$M_U u_U^2 = (M_1 + M_2 + M_3 + \dots) u_U^2 \quad (5)$$

在式(5)中, 一方面,  $M_U u_U^2$  具有能量的量纲; 另一方面,  $M_U$  为宇宙总质量, 相应地必然存在一个宇宙总能量(本文记为  $E_U$ )。下面讨论宇宙总能量  $E_U$  应该是多少。

1) 在数值上, 速度  $u_U$  可以在静止( $u_U = 0$ )和光速( $u_U = c$ )之间任意取值。从逻辑上说, 如果认同物质是运动的观点, 那么就没有不运动的质量体, 也就是说没有静止的质量体, 所以  $u_U = 0$  的选项被排除;

2) 如果  $u_U < c$ , 从常识知道, 一个质量体的总能量在数值上未必等于其质量和运动速度平方的乘积, 换言之, 当  $u_U \neq c$  时, 宇宙总能量  $E_U$ 、宇宙总质量  $M_U$  和运动速度  $u_U$  三者之间的关系是不确定的;

3) 当  $u_U = c$  时, 与之相应的宇宙总能量  $E_U$  为

$$M_U c^2 = E_U \quad (6)$$

在  $M_U$  为常数的前提下, 因为光速  $c$  是运动速度的最大值, 故  $M_U c^2$  也是最大值, 此时三者之间的关系是确定的, 具有唯一性。因此  $u_U = c$  是最合适的选项。

### 3.2. 基于数学角度推导光速原理

在数学上我们知道, 在满足总和为 1 的前提下, 1 可以分解为无穷多个正小数或者正分数之和,

$$1 = \sum_{i=1}^{\infty} a_i, \quad 0 < a_i < 1 \quad (7)$$

在式(7)两端乘以一个无穷大的正常数  $M_U$ , 则有

$$M_U = M_U \sum_{i=1}^{\infty} a_i = \sum_{i=1}^{\infty} M_U a_i = \sum_{i=1}^{\infty} M_i, \quad 0 < M_i < M_U \quad (8)$$

或者

$$M_U = M_1 + M_2 + M_3 + \dots \quad (9)$$

式(7)没有物理量纲, 它从数学上描述了整体可以无限分解为局部的思想, 同时“1”意味着不变, 意味着守恒。如果  $M_U$  具有特定的量纲, 则式(8)可能就具有一定的物理意义。这里取  $M_U$  表示宇宙总质量, 则式(9)表示宇宙总质量  $M_U$  为宇宙中所有质量体的质量之和, 它还意味着宇宙中的所有质量体源于一个(总的)质量体的分裂。

另一方面, 质量体是运动的, 其逻辑推论就是所有的质量体都是运动的, 没有不运动的质量体; 只要是质量体都是运动的; 哪怕是只有一个质量体、该质量体也是运动的。如果认同这一观点, 则意味着宇宙中的每一个质量体都有一个运动速度, 假设质量体  $M_1, M_2, M_3, \dots$  的运动速度分别为  $u_1, u_2, u_3, \dots$ ; 同样, 总的质量体  $M_U$  也有一个运动速度  $u_U$ 。

从数学上说, 一般情况下有

$$M_U u_U^2 \neq M_1 u_1^2 + M_2 u_2^2 + M_3 u_3^2 + \dots \quad (10)$$

根据式(1), 式(10)两端均为能量的量纲。当且仅当  $u_1 = u_2 = \dots = u_U = u$ 、即速度全同时, 式(10)中的不等式变为等号, 即

$$M_U u^2 = M_1 u^2 + M_2 u^2 + M_3 u^2 + \dots = (M_1 + M_2 + M_3 + \dots) u^2 \quad (11)$$

也就是说所有质量体的运动速度必须相同, 式(11)才成立; 否则, 只要有一个质量体的运动速度不同, 式(11)即不成立。

这一点还可以从引力的角度来分析。万有引力定律指出: 任意两个质点通过连心线方向上的力相互吸引, 该定律的前提条件是“两个质点”;  $M_U$  为一个质点的情况, 此时不满足万有引力定律的适用条件, 没有引力。当  $M_U$  分裂成  $M_1, M_2, \dots$  等较小的质量体时, 一方面,  $M_1, M_2, \dots$  的初始运动速度与  $M_U$  的运动速度相同, 另一方面, 因为分裂之后质量体的数量大于二, 满足万有引力定律的适用条件, 随之出现的引力作用必然使得若干质量体的运动速度发生变化, 导致速度全同的条件不再满足; 换言之, 式(11)的成立隐含着对特定时间点的严格要求。

从计算的角度上看, 运动速度  $u$  的任何取值均可让式(11)成立。但是如果  $u < c$ , 将无法解释光速  $c$  从何而来的问题, 所以最合理的选择是  $u = c$ 。于是有

$$M_U c^2 = (M_1 + M_2 + M_3 + \dots) c^2 = E_U \quad (12)$$

式中,  $E_U$  为宇宙总能量, 这个结果与式(6)相同。

从式(12)可以写出

$$E_U = M_U c^2 \Rightarrow \frac{E_U}{M_U} = c^2 \Rightarrow \sqrt{\frac{E_U}{M_U}} = c \quad (13)$$

即宇宙总能量和宇宙总质量比值的平方根等于光速, 这是作者提出的光速原理。

光速原理成立的前提是速度全同, 即每一个分裂出来的质量体均以光速运动(以光速运动的质量体称为光子), 于是有

$$E_i = M_i c^2 \quad (14)$$

不失一般性, 将式(14)中的下标  $i$  去掉, 可以写出

$$E = M c^2 \quad (15)$$

式(15)称为光子的质量 - 能量关系式, 也就是说只要质量体以光速运动, 该质量体的能量、质量和速度三者之间均满足该式。

### 3.3. 光速原理与诺特定理之间的关系

20 世纪初的数学家埃米·诺特提出了诺特定理, 即对于力学体系的每一个连续的对称变换, 都有一个守恒量与之对应。宇宙中的所有质量体构成一个最大的力学体系。根据诺特定理, 宇宙的总能量和总动量肯定是守恒的, 但是诺特定理并没有告诉我们如何计算, 也没有指出守恒量具体为多少。光速原理给出了这些问题的答案。

简单地所谓守恒, 就是在数值上保持为一个常量。根据式(1), 能量是质量和速度的函数, 因此要做到能量守恒, 质量和速度必须同时分别为常量, 否则只要有一个是变量, 就不可能做到守恒。具体到宇宙体系来说, 首先由于宇宙质量守恒, 即宇宙总质量  $M_U$  是一个无穷大的恒定常量, 再加上光速  $c$  为常

数，所以式(13)必然守恒，这就是宇宙能量守恒。另外，因为光速  $c$  是速度的极限，故式(13)给出了宇宙能量的极限或者最大值。

反过来看，如果要求宇宙能量守恒，必然有速度恒定；如果速度不是常数，即使宇宙质量守恒也不会有宇宙能量守恒。恒定的速度可以有很多选项，最合适的选项是将它取为速度的极限即光速  $c$ 。

在式(13)中两端除以光速  $c$  可得

$$\frac{E_U}{c} = cM_U = P_U \quad (16)$$

$P_U$  的量纲为质量  $\times$  速度，它是动量的量纲。在宇宙质量守恒、光速数值不变的前提下，式(16)表明了宇宙动量守恒。

从逻辑上说，如果认可诺特定理是正确的、普适的，因为光速原理给出的结果满足诺特定理的要求，那么光速原理也可以被认为是正确的。

## 4. 从光速原理导出的推论

光速原理只有简单的一句话，但是以它为基础可以导出一系列推论[10]，这里介绍与本文相关的几个推论。

### 4.1. 光速的起源

观察式(5)或者式(11)，这两个关系式是等效的，下面以式(11)为例来讨论。本来当质量体  $M_1, M_2, M_3, \dots$  出现时，总的质量体  $M_U$  已经不存在；但是如果要求式(11)成立，则要求质量体  $M_1, M_2, M_3, \dots$  与总的质量体  $M_U$  同时存在；在什么情况下满足同时存在的要求？可以认为在总的质量体  $M_U$  分裂为  $M_1, M_2, M_3, \dots$  的瞬间它们同时存在，该“瞬间”就是宇宙诞生的初始时刻；此外由于惯性，在该“瞬间”它们的运动速度相同并且为光速，这就是光速的起源。换言之，宇宙之初就是一个以光速运动的质量体。

### 4.2. 超光速的不可能性

宇宙总能量和宇宙总质量是导出光速原理的前提。“总”意味着“1”，即只有唯一的一个质量体，除此之外没有任何其他的质量体；能量依附于质量体，没有质量也就没有能量；总质量必然蕴含了总能量；没有任何其他的质量体意味着除了总能量之外没有任何其他能量。如果认可速度的改变需要能量，而此时再也没有任何一点多余的能量可以用于把速度从已有的光速提高到超光速，那么只有认同超光速是不可能的。

对于一个以非光速运动的有限大小的质量体来说，如果把多于使它达到光速所需要的能量施加给它，该质量体是否可能超光速？从非光速到超光速要经历两个阶段：第一个阶段是从非光速加速到光速；第二个阶段是从光速加速到超光速；假设该质量体可以完整地经历第一个阶段将运动速度提高到光速，即从非光子变为光子；由于施加能量是一个施加作用力的过程，在第二阶段，已经达到光速、成为光子的该质量体必将由于受力而发生分裂。分裂意味着该质量体不复存在，意味着依附于该质量体的各种过程的终结。换言之，一旦质量体达到光速，则再也没有一点给该质量体施加更多能量的机会。光子分裂终结了质量体获得让它超过光速所需要的能量的可能性。这也是为什么各种超光速实验不成功的根本原因。

另外关于超光速还有两个问题需要厘清，第一个问题是物理层面上的与“物”相关或者与质量体相关联的超光速，简言之，就是一定要有一个以超光速运动的质量体，这一层面上的超光速可以称为物理超光速；第二个问题是算法层面上的超光速，算法包括简单的相加或者向量合成等，这时讲的超光速不

与“物”或者质量体相关联，可以称之为算法超光速。例如从某一点往相反的两个方向发射两个光子 A 和 B，它们的相对速度为  $2c$ ，它等效于光子 A 不动，光子 B 的运动速度为  $2c$ ；如果要从光子 A 上发射出一个粒子去追赶光子 B，该粒子的运动速度必须为  $2c$ 。算法上的超光速只有虚拟意义，例如相对速度为  $2c$  并不等于光子 A 或 B 的运动速度真的因为一相对就从  $c$  变成  $2c$ ，而要发射一个运动速度为  $2c$  的粒子去追赶另一个光子也是不可能的，因为质量体的运动速度不可能超光速。

通过各种数学处理得到的算法超光速是虚拟的与质量体无关的超光速，并不意味着在物理上存在与之对应的真实的与质量体相关的超光速，或者简单地说，算法超光速不等于物理超光速，在物理上不存在超光速。

### 4.3. 瞬间传输的不可能性

“瞬间”意味着时间无穷小，因为速度等于长度除以时间，则相应的速度无穷大。如果超光速是可能的，那么不停地超光速下去，逻辑上讲就有可能让速度趋于无穷大。速度无穷大的传输可以瞬间完成，这就是所谓的“瞬间传输”。这里的前提是超光速；从逻辑上说，如果认可上述超光速的不可能性，那么该前提就是不成立的，随之相关的瞬间传输也是不可能的。

牛顿给出的万有引力定律中没有时间量。这一点被解读成牛顿认为引力速度是无穷大[15]，即引力可以瞬间传播至任何地方，不管距离有多远，引力都能瞬间到达[16]。如果认可瞬间传输的不可能性，那么引力瞬间到达也是不可能的。

再从另外一个角度来看，如前所述，当只有一个质量体时，不满足万有引力定律的适用条件，没有引力，这是宇宙之初，此时该质量体以一个以光速运动的光子。随后该光子分裂，出现两个以上的质量体，满足万有引力定律的适用条件，引力出现。如果引力传播速度大于光速、甚至无穷大，那么分裂产生的质量体尚未跑远即被引力拉回，根本不可能形成目前质量体数量无穷多的宇宙体系。

作者在文献[10]中指出，引力传播速度就是产生该引力的质量体的运动速度；光速是引力传播速度的极限。

### 4.4. 在相同时间及相同方向上光子存在的唯一性

首先明确一点，本小节中所讨论的光子是指从一个光源发射出来的光子。从接收光子的角度去看，当与光源之间的距离足够远时，该光源看过去为一个点，称为点光源。另外，这里还隐含了一个前提即这些光子的运动状态不受引力的影响，光子的运动状态不受影响意味着光速不变，而光子的运动状态之所以不受引力的影响则是因为它们的质量太小，这基本上也是人类所能感知到的光子现状。

在相同时间及相同方向上光子存在的唯一性是指在同一条直线上，不可能同时出现两个光子。从几何上说，通过一个点可以画无数条直线(与此对应的物理图景是一个点光源辐射出无数条光线)。下面所说的直线均为出自同一个点(光源)的直线。

由于光速相同，如果在一条直线上同时出现两个光子，这两个光子必然因为碰撞而分裂，分裂导致光子能量变小，这样一来也许就做不出激光。另外，碰撞产生的分裂光子的运动方向是随机的，而事实表明在激光指向范围之外探测不到激光信号，这意味着构成激光的光子相互之间没有因为碰撞而发生分裂，说明在一条直线上没有同时出现两个光子。

唯一性可以进一步衍生出下列推论。

#### 4.4.1. 光子的不可追赶性

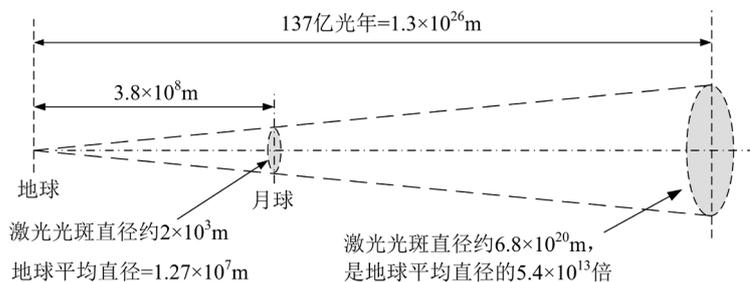
唯一性指出在一条直线上，不可能同时出现两个光子；反之，在一条直线上如果出现两个光子，它们在时间上必然不是同时出现的，在位置上必然是一个在前面、一个在后面；由于速度相同，后面的光

子永远赶不上前面的光子。这是光子的不可追赶性。

#### 4.4.2. 光子的辐射性

如果从某一点往同一方向同时发射两个光子，由于前述的唯一性，这两个光子必定不在同一条直线上，它们的运动方向有一个夹角，这是光子的辐射性或者发散性，简称光子辐射。

在宇宙尺度上可以较好地理解和想象光子的辐射性。光在宇宙真空中沿直线传播一年时间所经历的距离称为一光年( $\approx 9.46 \times 10^{15}$  m)。关于宇宙大小的一种说法是：地球距宇宙边缘之间的距离约 137 亿光年( $\approx 1.3 \times 10^{26}$  m)。1962 年，人类首次使用激光照射月球。地球离月球的距离约  $3.8 \times 10^8$  m，激光在月球表面的光斑直径不到  $2 \times 10^3$  m。如图 1 所示，假设把月球移开，让这束激光照射到与地球相距 137 亿光年的地方，根据三角形相似性可以计算出此时的光斑直径约为  $6.8 \times 10^{23}$  m，是地球平均直径( $1.27 \times 10^7$  m)的  $5.4 \times 10^{13}$  倍，即相当于  $5.4 \times 10^{13}$  个地球。



**Figure 1.** Based on similarity, the spot diameter of a laser beam emitted from Earth at a distance of 13.7 billion light-years is estimated

**图 1.** 根据相似性，估算从地球发出的一束激光在 137 亿光年距离上的光斑直径

#### 4.4.3. 光子运动方向的随机性

在光子的辐射性定义中，如果去掉“同一方向”的限制条件，即从某一点同时发射两个光子，则它们的运动方向是随机的、无法确定的，这是光子运动方向的随机性。

#### 4.4.4. 光子空间分布的离散性

由于光子的随机性，由接收光子的角度来看，光子在空间位置上的分布必然是离散的或者分散的，这是光子空间分布的离散性。

#### 4.4.5. 光子空间分布的规律性

假设从某一点发射光子，如果光子数量稀少，则光子运动方向的随机性导致光子空间分布的离散性；如果光子数量巨大，对这些光子行为的统计平均将导致光子运动方向的随机性被规律性所取代，与之对应的光子空间分布的离散性也将趋向于规律性或者连续性。

例如，设有一个可以  $360^\circ$  发射光子的点光源，一方面它发射出来的每一个光子的运动方向是随机的，另一方面大量随机方向的统计平均结果就是看起来点光源发射出来的光子分布于整个球空间，这意味着在任意一个空间位置上的质量体都有可能接收到来自该点光源的光子。

#### 4.4.6. 质量体在接收外来光子的同时自身也在发射光子

这一推论可以这样来理解，如果在空间中只有一个点光源和一个质量体，把点光源发射出来的光子称为外来光子。那么该质量体有可能接收到外来光子，也可能接收不到外来光子。假如该质量体被无数个点光源环绕，则它必然接收到外来光子。并且从概念上说，随着质量体对外来光子接收时间的无限拉长，外来光子的总数将趋于无穷大，相应地外来光子的能量之和将趋于无穷大，这将导致质量体的能量

趋于无穷大。但实际上这种情况并没有发生，尽管该质量体一直在接收外来光子，但是其能量基本上处于平衡状态，这说明该质量体在接收外来光子的同时自身也在发射光子。是否可能质量体接收的是光子，发射的是非光子？如果是这样，由于存在速度差导致的输入大于输出，仍有可能让质量体的能量趋于无穷大；所以最合适的选项是输入和输出或者能量交换均以光子的形式进行；换言之，质量体本身也是点光源，这样就将光速引入到了以非光速存在的质量体。辐射体是一般形式的点光源，由此可以进一步衍生出黑体辐射的概念。

#### 4.4.7. 光子波动性观念的起源分析

下面主要以一个点光源发射出大量光子的情况为例展开讨论。根据前述推论，在同一时刻、同一方向上不可能有两个光子，在同一时刻从点光源发射出来的光子运动方向必然不同，当光子数量巨大时，各个方向的光子数量分布呈现出均匀性；另一方面因为光速相同，在同一时刻从点光源发射出来的光子所经历的距离必然相同；如果以点光源为中心，将相同距离的光子连接在一起，这些光子均位于同一个(三维)球面上，此时点光源所在位置为该球面的球心。用一个平面经过球心切割球面，两者的截交线是一个(二维)圆周，球心所在位置即为圆心。在该圆周的不同位置上分布着一系列光子。下面讨论圆周的情况。

不难想象，如果在一个圆周上有数量足够多的光子，那么这些光子彼此将紧密相邻，使得该圆周曲线变成一条圆线形式的光线，这是从静态来看。引入时间因素即从动态来看，则有一系列同心圆，这些同心圆逐次排列开去，在整体上呈现出波动的效果。

如果从圆心引出穿过所有同心圆的径向直线，该径向直线与各同心圆的交点处可能有光子，也可能没有光子；它代表了在不同时间、在同一方向上从点光源发射出来的光子。如果这些光子的数量足够多，那么它们将彼此紧密相邻，使得该径向直线变成一条直线形式的光线，或许这就是几何光学中的光线概念的起源。

如果我们的讨论到此为止，很容易形成光既是圆(曲)线、又是直线的印象。问题是光子并没有到此停止，假设光子不受阻碍地继续前进，为此需要在一个足够大的、可以把问题说清楚的空间范围内来讨论问题。

不难理解，在保持圆周上的光子数量不变的前提下，随着时间的推移，由于圆周越变越大，圆周上两个相邻光子之间的距离也将越拉越开，圆线将被拉断，逐渐变成线段、再变成点。保持圆周上的光子数量不变意味着质量/能量守恒；如果在圆周变大的情况下还想保持圆线连续，那么只有不停地在圆周注入新的光子，即增加光子的总量，但是这意味着不满足质量/能量守恒。

实际上，成为圆线并不是因为波动，首先是因为光子数量太多，其次是因为(离点源即球心的)径向距离太近，根本原因则是光子的发散性，而这种发散性又是由于在同一方向、同一时刻不可能有两个光子决定的；另一方面，在保持光子数量不变的前提下，如果径向距离非常远，即使光子数量再多也不会成为圆线；如果光子数量稀少，径向距离再短也不会成为圆线。与此同时，由于光速相同，径向直线上两个相邻光子之间的距离不会变化，在同一条径向直线上的光子始终保持为一条直线，或许这就是几何光学中认为光线为直线的理由。

上述分析可以通俗地用一个绳圈来比喻。想象用一条绳子围成一个绳圈，然后让绳圈不断扩大。这里分为两种情况，第一种情况是如果绳圈的总长度不变，那么绳圈终将被扯断，其连续性将被破坏；第二种情况是，如果保持绳圈的连续性，即扩大之后还是一个绳圈，就必须不停地增加绳子长度，也就是说绳圈的总长度是变化的。从绳圈总长度的角度去看，这是一个二选一的问题，两个选项分别是绳圈总长度不变和绳圈总长度可变。绳圈总长度不变等效于引入了守恒的概念，而绳圈总长度可变意味着不守恒。二选一问题只能挑取一个选项，不能两个都挑取，也不能一个都不挑取。换言之，如果认可守恒，

则相应的情形是绳圈被扯断，连续性被离散性所取代；如果不认可守恒，那么通过不停地增加绳圈的长度，可以保持绳圈的连续性。物理中最基本的守恒是质量守恒，是否认同质量守恒是不同物理观分歧的最初起点。绳圈总长度不变实际上对应着质量守恒，绳圈被扯断意味着质量(体)的分裂。下面继续沿着这一思路深入讨论。

## 5. 从向量分析的角度推导麦克斯韦方程组

数学理论中，将某种计算工具或方法称为算子。为了阅读和叙述上的顺畅，这里重写一下本文将要用到的几个算子。

两个向量  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{C}$  的点积记为  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{C}$ ，定义为两个向量  $\mathbf{A}$  与  $\mathbf{C}$  的大小同它们之间夹角  $\theta$  余弦的乘积即

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{C} = A \cdot C \cdot \cos \theta, \quad 0 \leq \theta \leq \pi \quad (17)$$

其中  $A$ 、 $C$  为纯量(实数)，分别表示向量  $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{C}$  的大小。如果  $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{C}$  不是零向量且  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{C} = 0$ ，则有  $\theta = 90^\circ$ ，即向量  $\mathbf{A}$  与  $\mathbf{C}$  垂直。两个向量点积的结果是纯量。

两个向量  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{C}$  的叉积记为  $\mathbf{A} \times \mathbf{C}$ ，定义为两个向量  $\mathbf{A}$  与  $\mathbf{C}$  的大小同它们之间夹角  $\theta$  正弦的乘积，即

$$\mathbf{A} \times \mathbf{C} = \mathbf{u} \cdot A \cdot C \cdot \sin \theta, \quad 0 \leq \theta \leq \pi \quad (18)$$

其中  $\mathbf{u}$  为表示  $\mathbf{A} \times \mathbf{C}$  方向的单位向量。单位向量是具有单位长度的向量。两个向量叉积的结果是向量。

不同算子可以组合在一起。例如，将对空间位置的偏微分与向量函数结合在一起，则构成  $\nabla$  算子[17]，

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \quad (19)$$

其中  $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$  为直角单位向量。 $\nabla$  算子的运算结果仍然是一个向量。

$\nabla$  算子与向量的点积称为该向量的散度[17]。例如， $\nabla \cdot \mathbf{A}$  称为向量  $\mathbf{A}$  的散度， $\nabla \cdot \mathbf{C}$  称为向量  $\mathbf{C}$  的散度。

$\nabla$  算子与向量的叉积称为该向量的旋度[17]。例如， $\nabla \times \mathbf{A}$  称为向量  $\mathbf{A}$  的旋度， $\nabla \times \mathbf{C}$  称为向量  $\mathbf{C}$  的旋度。

除了  $\nabla$  算子、点积/叉积、散度/旋度以外，在微积分理论中并没有提供太多的与向量相关的算子，换言之，假如让两个向量配对对现有各种算子，组合出来的配对形式是非常有限的。

### 5.1. 数学意义上的麦克斯韦方程组

设有两个共起点的向量  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  互相垂直，则有

$$\mathbf{E} \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (20)$$

引入  $\nabla$  算子与向量  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  的散度，并且使

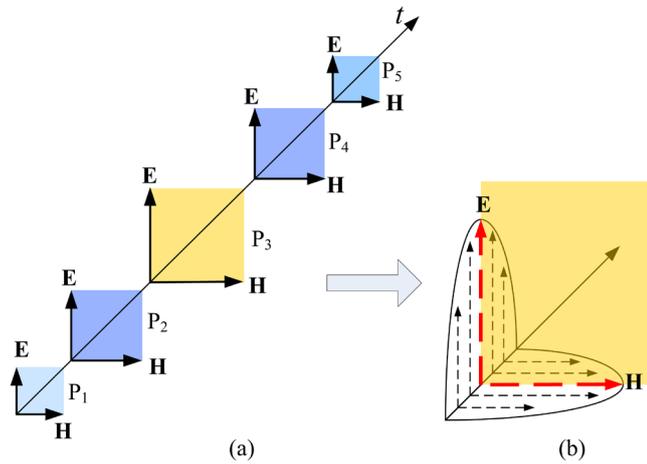
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (21)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (22)$$

式(21)表明，向量  $\nabla$  算子与向量  $\mathbf{E}$  垂直；式(22)表明，向量  $\nabla$  算子与向量  $\mathbf{H}$  垂直；由于向量  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  共起点(即相交)，于是  $\nabla$  算子垂直于向量  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  构成的平面。

如图 2(a)所示，向量  $\mathbf{E}$  与  $\mathbf{H}$  构成的平面相当于在某一个特定时间点所截取的一个剖面，这是从静态的角度来看。如果要描述这些沿着时间轴平行排列的剖面，就要引入一个时间变量  $t$ ，于是向量  $\mathbf{E}$  与  $\mathbf{H}$  不仅是空间位置  $(x, y, z)$  的函数，也是时间  $t$  的函数，即可以写为  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  和  $\mathbf{H}(x, y, z, t)$ ，这是从动态

变化的角度来看。指出这一点，是因为下面要用到对时间的偏微分，相应的前提就是它们必须可以写为时间的函数。



**Figure 2.** (a) The plane composed of vectors  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{H}$  is equivalent to a section intercepted at a specific time point; (b) By reducing the spacing between these sections, the magnitudes of vector  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{H}$  seems fluctuating or rising and falling, which is similar to the discrete sampling of signals

**图 2.** (a) 向量  $\mathbf{E}$  与  $\mathbf{H}$  构成的平面相当于在某一个特定时间点所截取的一个剖面；(b) 让这些剖面间距变小，向量  $\mathbf{E}$  与  $\mathbf{H}$  的量值大小呈现起伏性，类似于对信号进行离散采样

假设要构造某种等量关系，其中等号左边为与向量  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  相关的量，等号右边为与向量  $\mathbf{H}(x, y, z, t)$  相关的量；或者反之。由于空间和时间是两个基本量，而前面的式(21)和(22)已经对空间位置  $(x, y, z)$  求过一次偏导数，所以这里很自然的一种想法就是看一看能否对时间  $t$  求偏导数。以向量  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  为例，由于时间  $t$  是标量，向量  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  对时间  $t$  求偏导数的结果还是向量，所以必须构造某种对向量  $\mathbf{H}(x, y, z, t)$  的计算、并且计算结果仍为向量，这样才有可能实现概念上的一致性。

鉴于在式(21)和(22)中已经用了  $\nabla$  算子与向量  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  的散度，明显地这里的可用选项只剩下  $\nabla$  算子与向量  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  的旋度，于是有

$$\nabla \times \mathbf{E} = \kappa_1 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (23)$$

式中的  $\kappa_1$  是满足某种关系或条件的系数或者系数函数。

类似地，对于向量  $\mathbf{H}$  可以写出

$$\nabla \times \mathbf{H} = \kappa_2 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (24)$$

式中的  $\kappa_2$  是满足某种关系或条件的系数或者系数函数。

将式(21)~(24)合并到一起，可以写为

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = \kappa_1 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \kappa_2 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (25)$$

式(25)是一个不含物理意义的方程组,仅具有数学上的意义。该方程组如果是文献中没有出现过的,不妨称之为数学意义上的麦克斯韦方程组,或者称为广义的麦克斯韦方程组,其中 $\kappa_1$ 和 $\kappa_2$ 可能存在、也可能不存在,需要根据不同情况具体分析。

## 5.2. 物理意义上的麦克斯韦方程组

下面从物理意义的层面来分析式(25),为此需要引入量纲。

电流(A)、时间(s)和长度(m)是三个基本量纲。电流与时间的乘积为电量的量纲库仑(C),即 $1\text{C}=1\text{A}\cdot\text{s}$ ;能量除以电量就是电压的量纲(V),即 $1\text{V}=1\text{J}/\text{C}$ ;电压除以长度就是电场(强度)的量纲(V/m),并有

$$\frac{\text{V}}{\text{m}} = \frac{\text{J}/\text{C}}{\text{m}} = \frac{\text{N}\cdot\text{m}/\text{C}}{\text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

事实上, N/C (牛顿/库仑)是电场的量纲之一。磁场(强度)的量纲也是 N/C,因此电场与磁场的量纲可以均为 V/m。

设电场向量  $\mathbf{E}$  和磁场向量  $\mathbf{H}$  的量纲取为 V/m。以式(25)中的第三个方程为例。如式(19)所示,  $\nabla$  算子本质上是对空间位置的微分,故  $\nabla \times \mathbf{E}$  相当于电场量纲除以长度量纲,  $\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$  相当于磁场量纲除以时间量纲。故从量纲角度来看,

$$\nabla \times \mathbf{E} = \frac{1\text{V}/\text{m}}{\text{m}} \Rightarrow \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = \frac{1\text{V}/\text{m}}{\text{s}} = \underbrace{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}_{\text{速度量纲}} \cdot \frac{1\text{V}/\text{m}}{\text{m}} \quad (26)$$

因此只要在式(26)右边引入一个具有速度量纲的参数、并取其倒数,就有可能实现两个量的相等,即

$$\kappa_1(\text{的量纲}) \equiv \frac{1}{\text{速度}} \quad (27)$$

如前所述,这里恒等号“ $\equiv$ ”表示量纲上的等价关系。

对式(25)中的第四个方程做类似的分析,可得

$$\kappa_2(\text{的量纲}) \equiv \frac{1}{\text{速度}} \quad (28)$$

将式(27)的左右两端分别与式(28)的左右两端相乘,有

$$\kappa_1 \times \kappa_2 \equiv \frac{1}{\text{速度}} \times \frac{1}{\text{速度}} = \frac{1}{(\text{速度})^2} \quad (29)$$

式(29)可以视为求解式(25)的一个约束条件。

反过来看,式(29)所描述的约束条件可以放得宽泛一些,也就是说只要满足参数 $\kappa_1$ 和 $\kappa_2$ 的乘积为速度量纲倒数的平方即可,而不局限于两个参数 $\kappa_1$ 和 $\kappa_2$ 分别为速度量纲的倒数。于是在满足该约束的前提下,参数 $\kappa_1$ 和 $\kappa_2$ 的具体选取可有不同的组合,从而构成不同形式的麦克斯韦方程组。例如取

$$\kappa_1 = -\frac{1}{c}, \quad \kappa_2 = \frac{1}{c} \quad (30)$$

这时参数 $\kappa_1$ 和 $\kappa_2$ 的乘积满足式(29),则有

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (31)$$

式(31)是麦克斯韦方程组的特殊情况[17]。可以证明,  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{H}$  满足下列方程

$$\nabla^2 \Psi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} \quad (32)$$

其中  $\nabla^2$  称为拉普拉斯算子, 其定义为

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (33)$$

式(32)为波动方程的一种形式, 该式“引导麦克斯韦尔作出光是电磁现象的论断” [17]。满足波动方程的解称为波(动)函数。波动是波函数的主要特点之一, 它是波函数周期性或者重复性的反映。光的波动性最初可能就是这样引入的。

如果取

$$\kappa_1 = -1, \quad \kappa_2 = \mu_0 \varepsilon_0 \quad (34)$$

式中,  $\mu_0$  为真空磁导率,  $\varepsilon_0$  为真空介电常数(或电导率)。  $\kappa_1$  无量纲,  $\kappa_2$  在数值上刚好有

$$\kappa_2 = \mu_0 \varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}, \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \quad (35)$$

即  $\kappa_2$  的量纲为速度量纲平方的倒数, 于是  $\kappa_1$  和  $\kappa_2$  的量纲乘积满足式(29), 从而有

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (36)$$

式(36)的解仍然满足波动方程。

## 6. 麦克斯韦方程组描述光子辐射的不适用性

现有各种文献资料中一般将麦克斯韦方程组(31)和(36)解读为变化的电场产生磁场, 变化的磁场产生电场, 电场和磁场此消彼长、相互转化、向前传播, 其中的核心是电场/磁场转换。

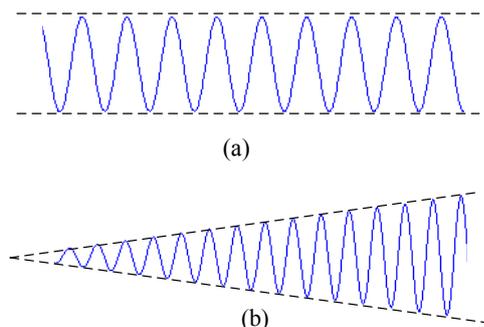
质量体、(质量体的运动)过程和空间是宇宙的基本要素。人类对过程的描述产生时间。任何过程都需要时间。电场/磁场转换是一个过程, 它同样需要时间。下面从过程和时间角度分析麦克斯韦电磁理论存在的问题。

在空间中指定两个点 A 和 B, 它们之间的距离  $L_{AB}$  大到足以把问题说清楚的程度。从位于点 A 的光源发射一个光子  $q_1$  从 A 到 B,  $q_1$  不具有麦克斯韦方程组描述的电场/磁场转换的形式, 记下该光子所需要的时间  $t_1$ ; 然后再从 A 发射一个光子  $q_2$  到 B,  $q_2$  具有麦克斯韦方程组描述的电场/磁场转换的形式, 相应的时间为  $t_2$ 。下面细分几种情况讨论:

- 1) 因为距离相同，光速相同，所以必有  $t_1 = t_2$ ；
- 2) 光子  $q_1$  没有电场/磁场转换，光子  $q_2$  有电场/磁场转换， $t_1 = t_2$  必然意味着电场/磁场转换不需要时间，这与任何过程都需要时间的常识相矛盾；
- 3) 如果电场/磁场转换需要时间，则必然有  $t_2 > t_1$ ，这与 1) 即  $t_1 = t_2$  相矛盾；
- 4) 如果光子的电场/磁场转换需要时间，但是这种转换瞬间完成，这意味着转换时间无穷小，但是仔细推敲一下就可以发现这种“瞬间”概念实际上隐含着一个前提条件即速度无穷大，这又与光速是一切物理速度的极限相矛盾；
- 5) 电场/磁场转换意味着能量分配，对于单个光子来说，牵涉到光子分裂问题。如果不加控制，光子分裂是随机性的；要做到具有类似波函数曲线那样的规律性，就需要某种机制来实现可控的光子分裂。目前来看，并没有这样一种机制；
- 6) 无数个光子的行为是单个光子行为的统计平均。如果单个光子不具有电场/磁场转换特性，无数个光子叠加起来具有电场/磁场转换特性，这在逻辑上和物理上均说不通。

顺着反推回去，必然是最初的前提之一即  $q_2$  具有电场/磁场转换的形式不成立，换言之，光不是电磁波，光不能用麦克斯韦方程组来描述。实际上目前公认的观点是光子既不带电、也不带磁，那么从逻辑上讲，用描述电磁量变化的麦克斯韦方程组来描述不具有电磁性的光子行为并不适合。如果一方面认同光不具有电磁性，另一方面又认同光是电磁波，那么要回答的第一个问题就是如何让光带上电磁性；第二个问题才是如何实现光的电场/磁场转换。

上述讨论是基于比较抽象的过程或者时间概念。下面基于图例给出一个比较形象的分析。麦克斯韦方程组给出的波函数解是连续函数，它类似于一条周期性函数曲线始终在两条平行直线之间波动，如图 3(a) 所示，这种情况相当于光被限定在一条通道内(例如光纤)传播。由于从一个点光源辐射出来的光子是发散的，为了描述光子的发散性，函数曲线应该具有图 3(b) 所示的变化趋势。仔细推敲之下，可以发现图 3(b) 虽然可以描述发散性，但是随着空间尺度的延伸，波函数的波动幅度将趋于无穷大，这意味着与波动幅度对应的相关物理量不守恒；相比之下，图 3(a) 所示的函数曲线波动幅度不变，可以做到守恒，但是它又不具有发散性。能不能做到既守恒、又发散？



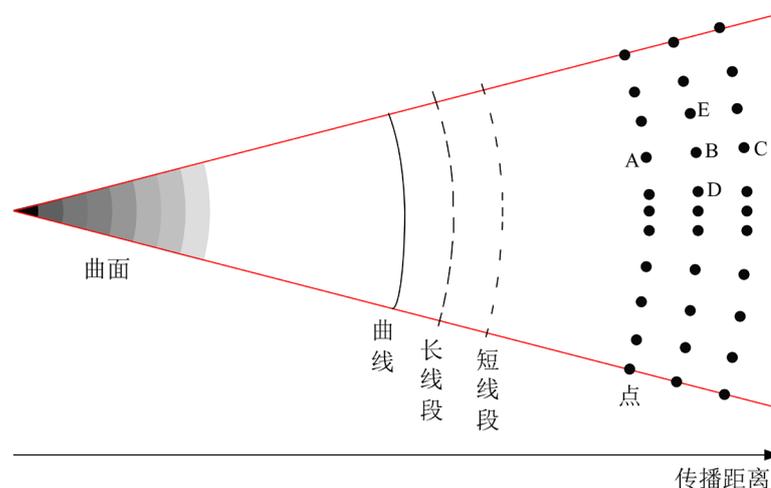
**Figure 3.** In infinite space, the magnitude or variation range of a divergent continuous wave function curve tends to infinite with the extension of spatial scale

**图 3.** 在无穷大的空间里，随着空间尺度的延伸，一条具有发散性的连续波函数曲线的变化幅度将趋于无穷大

注意到曲线可以视为由无穷多个点彼此相邻排列而成。形象地说，假设一条曲线由  $N$  个点构成，这些点( $N$  个)跑到无穷远还是  $N$  个点，而把它们合在一起又可以复现出原来的曲线，换言之，用点来替代曲线从而实现既守恒、又发散。此外还应该注意点是粒子，曲线是波，这是一个二选一的问题，只能

从两个选项中取一个，不能两个都选。

不妨基于日常生活中可见的水波变化，去想象波在无穷大空间中不受阻碍地自由传播的情形。设想空间中有一个波源，在构成波的质量不变的前提下，随着传播距离的增大，三维波体变成二维波曲面，二维波曲面变成一维波曲线，波曲线随后被拉断成长线段，长线段变成短线段，短线段再变短直至缩小为一个零维的点即(波)粒子，然后粒子继续前进，即体→曲面→曲线→长线段→短线段→点。图4以经过波源中心的剖面形式，从一个局部描述了这种变化趋势。



**Figure 4.** With the extension of propagation distance, the trend of wave change is as follows: volume → surfaces → curves → longer line segments → shorter line segments → points

**图4.** 随着传播距离的延伸，波的变化趋势依次为：体→曲面→曲线→长线段→短线段→点

下面分析一下相邻粒子的情况。在波源与各粒子之间分别画一条直线，如果最近相邻粒子与波源之间的距离相等，称为左右相邻，例如对于图4中标注A~E的几个粒子，B分别与E和D构成左右相邻关系。如果以粒子与波源之间的距离为半径画一个圆，则左右相邻的粒子均位于该圆周上；如果最近相邻粒子均在同一条直线上，则称为前后相邻，以图4为例，B分别与A和C构成前后相邻关系。这里分析的一个前提是各粒子的运动速度相同。如果粒子的运动速度等于光速，则它们就是光子；与左右相邻光子对应的是光子的离散性(推论4.4.4)；与前后相邻光子对应的是光子的不可追赶性(推论4.4.1)。

反过来看，如果从最外层的一个圆周开始把这些粒子全部同步压缩回来，它们又将呈现出从点→短线段→长线段→曲线→曲面→体的演变过程，最终形成宏观上的波。这一分析过程揭示了微观上粒子是波的本质，宏观上无数个粒子的统计行为在离波源较近的尺度范围内呈现出波的特点。这种理解同时兼顾微观和宏观，同时满足粒子性、辐射性、随机性、波动性、连续性和守恒性等多种性状。

如果以光子而论，波源就是光源。这里同时有两个前提，一个是光子数量众多，一个是离光源较近；如果光子数量很少，例如是可以一个一个计数的单光子，那么离光源再近也难以呈现出波的特点；另一方面，即使光子有无数个，但是离光源所在位置足够远甚至无穷远，它们也将稀释为一个一个的单光子。仔细考察一下可以发现，现有“波粒二象性”理论中所说的波动性恰恰是同时满足了这两个前提条件。换言之，光的波粒二象性理论可以修正为：光本质上是粒子，在离光源较近的空间范围内、无数光粒子行为的统计平均呈现出波的特点。

作者猜测，之所以形成目前这种光(电磁辐射)是波的观念，可能是一种不得已而为之的选项。因为在

理论上光速  $c$  可以从麦克斯韦方程组导出，而麦克斯韦方程组的解满足波动方程，所以如果没有第二个选项，只能接受光是波的概念。换言之，如果质疑光是电磁波，那么最好的途径或许是提出另外一种与麦克斯韦方程组完全无关的方法来导出光速。作者提出的光速原理实际上是第二种从理论上导出光速  $c$  的方法，该方法完全与麦克斯韦方程组/波动方程无关。

上述分析表明：麦克斯韦方程组只描述了电磁辐射的部分情况。电磁辐射以光速传播，说明电磁辐射就是光子辐射。麦克斯韦方程组不适于全面描述光子辐射，是可以不需要的，这实际上否定了麦克斯韦方程组在电磁理论中的基础地位，相应地需要一个新的模型来取而代之。为此作者提出了一个基于光子切割电场线产生电荷数差值的光电信号转换模型[11]。

## 7. 对若干基本概念探讨

### 7.1. 光子质量

式(15)是一个光子能量的计算公式；事实上还有一个光子能量的计算公式，这就是爱因斯坦提出的光子能量模型

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu \quad (37)$$

式中， $h(=6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$  为普朗克常数， $\lambda$  为波长， $\nu = c/\lambda$  称为光子频率。

表面上看，式(37)中没有包含光子的质量，但是因为普朗克常数中有焦耳(J)，而焦耳(J)定义为

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg}\cdot(\text{m/s})^2 \quad (38)$$

即焦耳(J)的定义中包括质量的量纲(千克, kg)，所以实际上式(37)隐含地与质量相关。于是联立(15)和(37)两式可以求出光子质量为

$$M = \frac{h}{\lambda c} \quad (39)$$

这里的逻辑关系是：因为普朗克常数包含能量(量纲)，能量(量纲)又包含质量(量纲)，因此反过来，可以用普朗克常数来表达质量。类似地，如果光速是常数，而光速中包含长度的量纲，那么就有可能用光速来表达长度。事实上，国际度量衡委员会(CIPM)已经用普朗克常数来定义“千克”，用光速来定义“米”，当然这样做的前提条件是认可普朗克常数和光速分别恒定不变。类似地，因为光速包括时间的量纲，若用光速来定义“秒”在道理上也是说得通的。

如果不看量纲只看数值大小，式(15)表明光子质量仅是光子能量的 $\sim 1/c^2$ 。这一点不妨这样来理解，以单光子测量为例，假设测量每一种物理量需要一种探测器，那么测量光子质量所需要的光子质量探测器的灵敏度要比测量光子能量所需要的光子能量探测器的灵敏度高  $c^2$  倍。这就给光子质量探测器的制造带来了巨大的挑战。因为探测器的制造是一个受限于技术能力的实际问题，技术能力并不是无限的。如果技术能力处于一个仅能造出单光子能量探测器的水平，那么肯定造不出单光子质量探测器。这一点在现实中的反映就是目前已经可以检测单光子的能量，而单光子的质量是不可测量的。由于不可测量或者测量不到，就给人一种光子质量为 0 或者光子没有质量的印象。但是，光子有没有质量与是否可以测量出光子的质量是两个不同的概念。从逻辑上说，人类目前感知不到光子质量并不意味着光子没有质量，也不能因为人类目前感知不到光子质量而推断过去的光子没有质量或者未来的光子没有质量。

### 7.2. 光子的波长和频率是没有物理意义的辅助变量

波长是与波相关联的一个概念。从历史过程来看，首先是麦克斯韦方程组可以推导出光速，其次是

爱因斯坦提出光(量)子能量模型即式(37), 该式中的参数 $\lambda$ 被称为光子波长一直延续至今。

本文前面已经指出, 麦克斯韦方程组可以推导出光速并不意味着光就具有波动的性质。从逻辑上说, 如果光不是波, 光自然也就没有波长。下面再分析一下式(37)中参数 $\lambda$ 量纲的由来。

式(37)是一个光子能量模型。由于不同的光子具有不同的能量, 而 $h$ 和 $c$ 均为常数, 所以首先必须引入一个变量才能表示不同光子的能量大小。其次分析一下该变量应该具有的量纲。 $hc$ 乘积的量纲为 $J \cdot s \times m \cdot s^{-1} = J \cdot m$ , 所以引入的变量量纲必须为 $m$ ; 同时为了消去 $hc$ 乘积中所包含的量纲 $m$ , 引入的变量必须放在分母, 这样构造出来的关系才具有能量的量纲 $J$ ; 假如 $hc$ 的量纲不是 $J \cdot m$ 而是其他量纲的组合, 那么引入的变量参数 $\lambda$ 肯定将不再是长度的量纲, 而是另外某种新量纲, 这时是不是又认为光子具有这种新量纲所描述的性质呢?

因为光子频率 $\nu = c/\lambda$ , 如果光子波长是一个没有物理意义的辅助变量, 那么相应的光子频率也是一个没有物理意义的辅助变量。

### 7.3. 质量的种类有且只有一个

质量是物质的基本属性。在国际单位制中, 作为基本量纲的“质量”只有一个说法, 质量就是质量, 没有再做细分。此外, 关于质量还有些其他观点, 例如有种观点认为可以把质量分为引力质量和惯性质量, 引力质量等于惯性质量。换言之, 引力质量与惯性质量是等效的, 这意味着有引力质量就有惯性质量, 反之亦然。这种观点隐含地假设了引力质量和惯性质量同时存在。仔细推敲一下, 可以提出这样的问题: 如果没有引力, 有没有引力质量? 如果没有引力质量, 惯性质量如何与引力质量等效?

至少有两个质量体是牛顿万有引力定律的适用条件。当只有一个质量体时, 不再满足万有引力定律的适用条件, 此时没有引力。如果没有引力时还有引力质量, 这在逻辑上说不过去。什么时候只有一个质量体? 把整个宇宙中的所有质量体的质量加在一起, 加到最后就只有一个质量体, 事实上这是作者提出的压缩宇宙的思想实验[8], 由此衍生出了光速原理。在质量相加过程中, 加的是引力质量还是惯性质量? 加到只有一个质量体的时候, 引力已经不存在, 此时该质量体的质量是引力质量还是惯性质量? 如果认同没有引力就没有引力质量, 那么在这一前提下引力质量与惯性质量等效的观点就是不自洽的; 因为只有一个质量体时没有引力、因此也就没有引力质量; 但是该质量体仍然(以光速)在做惯性运动, 惯性质量依然存在; 此时惯性质量如何与不存在的引力质量等效?

常识是没有无源之水、无本之木。如果在根本或者源头上没有引力质量, 那么引力质量概念就是有违逻辑或者常识的。引力质量和惯性质量的划分是多余的, 引力质量不存在, 惯性质量 = 质量。

此外还有所谓运动质量、静止质量等说法。从逻辑上说, 如果认同质量体是运动的观点, 那么就没有不运动的质量体, 所有的质量体都是运动的, 也就是没有静止的质量体, 相应地也就没有静止质量。运动质量和静止质量的划分是多余的。惯性质量本身就是“动”的, 惯性质量 = 运动质量 = 质量。

另外一个问题是: 质量体的质量是否随着质量体运动速度的变化而变化, 或者从数学上说, 质量是不是速度的函数? 这是二选一的问题。如果认同质量是速度的函数, 那么将质量表达为速度函数的数学公式可能就具有物理意义, 例如狭义相对论中的质量-速度关系式。但是无数的事实表明, 质量不是速度的函数, 例如在飞机起降这样一个典型的速度变化过程中, 机上乘客的体重或者质量并没有任何变化, 这已经是一个常识。如果认同这一常识, 即选择质量不是速度的函数, 那么在这一视角下, 狭义相对论中的质量-速度关系式就是错误的。这里反映了一个深层次问题, 即如何理解物理现象与数学模型之间的关系, 是基于数学模型来设计或者描述物理机制、还是基于物理机制来寻找合适的数学模型, 或者简单地说是数学决定物理还是物理决定数学。

质量种类有且只有一个, 这是质量的唯一性, 它是质量守恒的基础。是否认可质量守恒是理论物理

中不同观点分歧的起始点。如果认可质量守恒,那么相应的逻辑推论必然指向质量的种类有且只有一个;反之如果不认可质量守恒,那么不仅可以导出这样那样的质量定义,还可以推演出种类众多的质量随其他物理参数变化的数学模型,或者说,不具有唯一性的质量定义或者关系式必然不满足质量守恒。还有一点,本文的分析表明,能量守恒要求质量守恒;如果一方面认可能量守恒,另一方面所采信的质量概念又不满足质量守恒,这在逻辑上是不自洽的。

#### 7.4. 时间不会对过程产生作用

本文第6节提到任何过程都需要时间。人对过程的描述形成时间的概念,所以这一描述实际上引入了人的因素。质量体、过程和空间三位一体构成宇宙。没有人之前没有时间,没有人之后也没有时间,但是过程依然存在,换言之,任何过程都需要时间并不意味着时间可以反作用于过程。从本质上说,时间不是“物”,只有“物”及“物”产生的效果才可能对过程有作用。

时间不会对过程产生作用,这意味着时间不会对过程的长度产生影响。以植物种子的发芽过程为例,假设在正常生长条件下一颗植物种子完成发芽过程需要7天时间,这个“7天”只是人描述发芽过程给出的一个时间长度;如果生长条件保持不变,那么其发芽过程的长度在没有人之前、有人之后以及没有人之后均是不变的,既然与人都没有关系,那么与人定义的时间更加没有关系;反过来说,时间本身不会对种子发芽过程的长度产生影响;不仅如此,时间(不管是人的时间、昆虫的时间或者是植物自己的时间)的相对变化也不会对种子发芽过程的长度产生影响。与种子发芽相类似的一个问题是相对论中的所谓双生子佯谬。如果认同时间不会对过程产生作用的观点,那么双生子佯谬就是一个伪命题。

### 8. 结束语

物理是关于“物”之“理”,首先要有“物”,然后才有“理”。“物”除了具有质量、还具有体积,并且质量有大有小,体积也是有大有小,这里说的大可以到无穷大,小可以到无穷小。据此作者提出了“质量体”的概念。质量体涵盖了物质、物体、质点、粒子等各种有形或无形、抽象或具体的与质量相关的概念,简而言之,只要是具有质量的东西或者实在均属于质量体,“物” = “质量体”。

宇宙中为什么会有质量体的问题不在物理的研究范畴。物理只能研究质量体出现之后的事情,其中质量体出现之始就是物理研究的起点。质量体出现之始也就是宇宙之始,与此相关的一个问题是:宇宙之始质量体的个数有多少?如果认同“万物始于一”的观点,那么在宇宙之始,质量体的个数有且只有一个,此时该质量体的质量就是宇宙总质量,其能量就是宇宙总能量。与此相关的另一个问题是:该质量体的质量是多少?这个问题很难给出定量答案,但是有两个定性选项:宇宙总质量不变或者宇宙总质量可变,即守恒或者不守恒,这是一个二选一问题。另外,宇宙之始质量体的个数有且只有一个决定了质量体的质量种类或者性质有且只有一个,换言之,只有一种性质的质量,不存在其他性质的质量。

应该指出,一个常见的思维误区是把(相对的)量值微小等价于(绝对的)无或没有,两者理解不当容易产生误判。从逻辑或者语义上说,没有是一种含义,有但是量值微小以致于感受不到或者检测不出是另外一种含义,量值微小不等于没有。一个典型例子是,一方面认可光子具有能量,另一方面又不认可光子具有质量。实际上能量只是质量体运动特性的一种描述,从量纲上说,能量  $\equiv$  质量  $\times$  (速度)<sup>2</sup>,也就是说能量是质量的函数,没有质量就没有能量。人感受不到光子的质量只是因为光子的质量太小,引力对光子没有作用也是因为光子的质量太小,但是这些现象并不意味着光子没有质量,也并不意味着过去或者未来的光子没有质量。有鉴于此,牛顿第一运动定律可以补充完善为:一切质量体在没有受到外力作用、或者虽然有外力作用但是外力作用小到可以忽略不计的时候,总保持匀速直线运动或者静止状态。几何光学中认为光的运动轨迹是直线。如果认可光速不变,则意味着光是处于匀速直线运动状态,那么根据牛顿第一运动

定律反向推论, 说明光有惯性, 相应地光有质量。简言之, 光子是以光速运动的质量体。

物质是运动的等价于质量体是运动的。从逻辑上说, 质量体是运动的意味着没有不运动的质量体, 只要是质量体就是运动的; 即使只有一个质量体, 该质量体也是运动的。如果认同这一观点, 那么相应的问题就是: 当有且只有一个质量体时, 也就是宇宙之始, 该质量体的运动状态是什么? 作者的分析表明, 此时该质量体以光速运动, 这一论断用数学语言表述就是: 宇宙总能量和宇宙总质量比值的平方根等于光速, 这就是作者提出的光速原理。可以从物理和数学角度证明光速原理[14]。

牛顿运动定律描述了质量体数量在两个(包括两个)以上时的运动规律。光速原理描述了只有一个质量体时的运动规律。基于光速原理衍生的一系列推论给出了对若干基本物理问题的不同理解, 例如光的波粒二象性理论可以修正为: 光本质上是粒子, 在离光源较近的空间范围内、无数光粒子行为的统计平均呈现出波的特点; 麦克斯韦方程组不适用于描述光子辐射等等。

## 参考文献

- [1] 王忆锋, 黄江平. 试论光子的分裂[J]. 红外, 2014, 35(3): 1-6.
- [2] 王忆锋. 论可分裂的光子模型[J]. 云光技术, 2015, 47(1): 1-17.
- [3] 王忆锋. 关于可分裂的光子模型的进一步分析和探讨(上) [J]. 红外, 2016, 37(11): 1-5.
- [4] 王忆锋. 关于可分裂的光子模型的进一步分析和探讨(下) [J]. 红外, 2016, 37(12): 10-12, 18.
- [5] 王忆锋. 论光子分裂视角下的宇宙观(上) [J]. 红外, 2017, 38(3): 1-5.
- [6] 王忆锋. 论光子分裂视角下的宇宙观(中) [J]. 红外, 2017, 38(4): 6-11.
- [7] 王忆锋. 论光子分裂视角下的宇宙观(下) [J]. 红外, 2017, 38(5): 44-48.
- [8] 王忆锋. 论超光速量子纠缠的不可能性[J]. 云光技术, 2016, 48(1): 52.
- [9] 王忆锋. 论光子分裂视角下二进制数据的量子态表达[J]. 红外, 2017, 38(12): 7-12, 30.
- [10] 王忆锋. 论以光速原理为标志的第三次科学革命[J]. 云光技术, 2017, 49(1): 1-10.
- [11] 王忆锋. 论麦克斯韦方程组对于描述光子辐射的不适用性与基于电荷数差值的光电信号转换模型[J]. 云光技术, 2017, 49(1): 41-53.
- [12] 王忆锋. 论光子本性的公理化逻辑分析[J]. 云光技术, 2017, 49(2): 41-65.
- [13] 王忆锋. 论若干物理问题的量纲分析方法[J]. 云光技术, 2018, 50(1): 42-51.
- [14] 王忆锋. 基于量纲分析从物理和数学角度推导光速原理[J]. 现代物理, 2019, 9(4): 183-190.
- [15] 柯济. 引力的速度[N]. 光明日报, 2013-01-22(3).
- [16] 汤克云, 华昌才, 文武, 等. 由固体潮发现引力以光速传播的观测证据[J]. 科学通报, 2013, 58(10): 907-911.
- [17] Spiegel, M.R. 高等数学的理论和习题[M]. 谢国瑞, 蒋司勋, 宣月华, 等, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-0916, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [mp@hanspub.org](mailto:mp@hanspub.org)