

现代物理学基础的思考之七——热学与光学问题思考

李学生 (Li Xuesheng)

山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员, 北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员

xiandaiwulixue@21cn.com, 1922538071@qq.com

摘要 (Abstract): 物理学是科学的基本学科。本文章分析探讨了现代物理学的重要问题, **热学与光学**, 供参考。

[李学生 (Li Xuesheng). 现代物理学基础的思考之七——热学与光学问题思考. *Academ Arena* 2017;9(14s): 670-675]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 21. doi:[10.7537/marsaaj0914s1721](https://doi.org/10.7537/marsaaj0914s1721).

关键词 (Keywords): 质点; 电荷; 引力; 电力; 空间; 方程; 量子力学; **热学; 光学**

参考文献:

【1】解恩泽等编, 《简明自然科学史手册》, 山东教育出版社, 1987年出版, P316。

第二章 光子的静止质量问题

(1) 光子的静止质量问题的由来

狄拉克在1927年发表的《辐射的发射和吸收的量子理论》中, 对辐射电磁场量子化进行了探讨, 首次提出并应用了真空的思想。他说: “光子有一种特性, 即当它处于定态亦即零态时, 它就很快消失。所谓零态即这种态的动量、能量均为零。当一个光量子被吸收的时候, 这个光量子可以被认为是跃迁到了这种零态, 而被发射时可以被认为是从零态跃迁到了一种物理可观测态, 这样它就产生了。因为被产生的光子没有限制, 所以我们必须假定零态中有无限多的光子……”

19世纪物理学的重大胜利之一是 Maxwell 公式的建立, 即对经典电磁场的数学描述, 而 Maxwell 电磁场暗含的一个基本假定就是真空中的所有电磁辐射都以一个恒定的速度传播。实验研究在很高的精度上验证了在一个很宽的频带里所有电磁辐射都以光速 c 传播 这就预示了光子没有静止质量。但其能量为 $h\nu$, 动量为 $h\nu/c$, 自旋角动量有两个特征值 $\pm h/2\pi$ ($\equiv \pm \hbar$) 其中 h 表示 Planck 常量和电磁波的频率 ν 。量子电动力学的巨大成功导致了光子无静止质量这个概念几乎被完全接受了, 现代规范理论又进一步确定光子没有静止质量。尽管理论上已经接受了光子没有静止质量这个事实, 但仍然有必要对光子静止质量进行直接或间接的测量由于光子的静止质量可能以现在实验不可能达到的极小的值存在。现在实验条件下只能是给出一个静止质量的上限, 依照测不准原理光子静止质量的上限 m_ν 可以用 $m_\nu \approx \hbar / (\Delta t)c^2$ 来估算。狭义相对论的第二个假定具有有限质量的粒子的速度不可能到达光速, 换言之静止质量为零的粒子在静止坐标系下是不存在的, 这件事使人们相信光子静止质量为零的假定是合理的。在过去的近两个世纪里, 基于麦克斯韦方程的电磁理论物理学取得了令人瞩目的成就, 它描述了光子静止质量为0时的宏观现象。麦克斯韦的经典电磁场理论和爱因斯坦的狭义相对论都认为光在真空中以恒定的速度 c 传播, 这要求光子的静止质量必须等于零, 因为根据狭义相对论, 对于光子, 速度为 c , 而 m 又不可能为无限大, 所以光子的静止质量 $m_0 = 0$ 。然而, 从理论上人们既不能肯定也不能否定光子具有非零的静止质量, 因此只有通过大量的实验去检验光子的静止质量到底是否为零。Einstein说: “光子静止质量为零。由于光子以光速行进, 不可能找到光子的静止惯性系, 所以静止质量一词严格说来是不适用于光子的。” 【1】

“我们的物理世界是由实体和场构成的。也就是说, 光是场, 不是实体。” 【2】 在一份纪念兰姆 90 岁诞辰兼讨论光的本质的专集上, 量子光学专家 Zajonc 说: “我们对光量子的无知与 Einstein 当年的情况差不多”。

参考文献:

【1】《相对论导论》 W••G•V 罗瑟 著 236 页。

【2】《相对论的意义》 Einstein 著。

(2) 光子的静止质量在物理学中的重要意义

光子没有静止质量，光子转化为电子和正电子意味着静止质量从运动质量中产生，这是一个极其普遍的和根本的规律。在物体以与光的传播速度相比拟的高速运动时，粒子的质量比其静止质量增大成为重要的事情。在电子和正电子转化为光子的场合，静止质量完全转化为运动质量。这些效应已经不能称为相对论性的，而应称为超相对论性的了。——库兹涅佐夫

中国科学院理论物理学研究所研究员、相对论研究专家张元仲著的《狭义相对论实验基础》，在第 152~182 页中介绍世界各国科学家做的、证明光静质零定理的 19 个实验时说：“迄今对光子静质量所进行的各种检验都是以重电磁理论 (Proca 方程) 为基础的。”假设洛仑兹不变性成立，放弃相角规范(U(r)规范)不变性，从而对麦克斯韦方程进行修改，再附加上与光子静质量有关的项，就得到所谓的 Proca 方程。在这种情况下，洛仑兹变换中的常数 c 已不再代表通常意义下的光速，而只是一个具有速度量纲的普适常数，光速将于频率有关、静电场将发生偏转 (附加了汤川势)、电磁波的纵向分量将不为 0。

历史上，德布罗意曾提出光子具有静止质量的设想，薛定谔在试图统一电磁与引力时也曾对有限光子质量感兴趣。应当指出，光子具有静止质量将导致一个严重的后果，那就是目前最成功的量子电动力学将是不可重整化的，从而将变得无效。

Coulomb's law 与光子静止引力质量 m_γ 是否为零有密切的关系。 m_γ 是有限的非零值还是等于 0，有本质的区别，并且会给物理学带来一系列原则问题。如果 $m_\gamma \neq 0$ ，那么：1. 电动力学的规范不变性被破坏，使电动力学的一些基本性质失去了依据；2. 电荷将不守恒；3. 光子的偏振态有 2 变为 3；4. 黑体辐射公式要修改；5. 会出现真空色散，即不同频率的光波在真空中的传播速度不同，真空光速不变性原理遭到了质疑；重电磁理论的最直接的结论是重光子 ($\mu \neq 0$) 在真空中的速度色散效应。方程(1.2-6)在真空中无电荷电流存在时的自由平面波解是 $A_\nu = \exp\{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)\}$ (1.2-2.1)，其中，波矢 \mathbf{k} ($|\mathbf{k}| \equiv 2\pi/\lambda$, λ 是波长), 角频率 ω 同质量 μ 之间必须满足关系 $k^2 - \omega^2/C^2 = -\mu^2$ (1.2-2.2)，这就是电磁波在真空中的色散关系。自由电磁波的相速度是 $\mu = \omega/|\mathbf{k}| = c(1 - \mu^2 c^2/\omega^2)^{-1/2}$ (1.2-2.3)，群速度定义为 $v_k = d\omega/d|\mathbf{k}| = c(1 - \mu^2 c^2/\omega^2)^{-1/2}$ (1.2-2.4)，光子质量 μ 是一个有限的常数，所以在 $\omega \rightarrow \infty$ 的极限情况下，自由电磁波的相速度和群速度都趋于常量 c ，即 $\lim_{\omega \rightarrow \infty} \mu(\omega) = \lim_{\omega \rightarrow \infty} n_g(\omega) = c$ 也就是说，Proca 方程中的常数 c 是频率趋于无限大的自由电磁波在真空中的传播速度。

由方程 (1.2-2.1) 和 (1.2-2.2) 可以看到，当 $\omega = \mu c$ 时, $k = 0$ ，即电磁波不再传播了：当电磁波的频率 $\omega < \mu c$, $k^2 < 0$, 即 k 是虚数。这样，方程(1.2-2.1)就要贡献出一个指数衰减因子 $\exp\{-|\mathbf{k}|r\}$ ，即电磁波的振幅是指数衰减的 (evanescent)；只有 $\omega > \mu c$ ，波才能无衰减地传播出去，其相速度和群速度由第程(1.2-2.3)和(1.2-2.4)给出。

方程(1.2-2.4)表明，不同频率的电磁波在真空中传播的速度不同。这种传播速度随频率而变化的现象称为色散。显然，这给人们提供了利用电磁波的真空色散效应确立光子静质量的可能性 (测量不同频率的光信号的速度，或者测量不同频率的光走过相同距离所用的时间之差)。

考虑角频率为 ω_1 和 ω_2 的二列电磁波，并假设 $\omega_1, \omega_2 \gg \mu c$ ，那么这二列波在真空中的速度之差可由方程(1.2-2.4)给出：

$$-\frac{\Delta v}{c} = \frac{(v_{g1} - v_{g2})}{c} \cong \frac{1}{2} \mu^2 c^2 \left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \quad (1.2-2.5), \text{ 其中最后一个等式中略去了 } (\mu^2 c^2 / \omega_2)^2 \text{ 以}$$

上的小项。在同样的近似下，由方程(1.2-2.2)可以得到 (1.2-2.6)

$$\text{用方程(1.2-2.6), 可将 } \Delta v \text{ 用波长表达成 } -\frac{\Delta v}{c} \cong \frac{\mu^2 (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)}{8\pi^2} \quad (1.2-2.7), \text{ 如果这二列波通过相同的路程}$$

L , 那么它们所用的时间之差便是
$$\Delta t = \frac{L}{v_{g2}} - \frac{L}{v_{g1}} \cong \frac{L\mu^2 (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)}{8\pi^2 c} \quad (1.2-2.8), \text{ 方程(1.2-2.5)-(1.2-2.8)就是人们利用色散效应确立光子静质量 } \mu \text{ 的出发点。}$$
 6. 电磁力将不会是长程力，平方反比律应有偏差，如果 $m_\gamma \neq 0$ ，则电磁力为非长程力，Coulomb's law 应有偏差，即 $f \propto r^{-2+\delta}$ ， $\delta \neq 0$ ；反之，如果 $m_\gamma = 0$ ，则 $\delta = 0$ 。因

此 m_γ 与 Coulomb's law 偏离平方的修正数有关。1930 年, Proca 指出, 如果 $m_\gamma \neq 0$, 则真空中的 Maxwell 方程组应修改为

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho - (m_\gamma c/h)^2 \phi \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -c^{-1}(\sigma \mathbf{B} / \sigma t) \\ \nabla \times \mathbf{B} = c^{-1}(\sigma \mathbf{E} / \sigma t) + 4\pi/c \mathbf{J} - (m_\gamma c/h)^2 \mathbf{A} \end{cases}$$

式中 \mathbf{A} 和 ϕ 分别是电磁场的矢势和标势, c 是真空中的光速, h 是普朗克常量。②式称为 Proca 方程, 采用的是高斯单位制。Proca 方程的解的形式为 $\phi \sim r^{-1} e^{-\mu r}$ ③, 式中的 μ 为 $\mu = m_\gamma c/h$ ④。当 $m_\gamma \neq 0$ 时, $\mu \neq 0$, 可见 Proca 方程的解比通常的 Maxwell 方程的解多了一个指数因子 $e^{-\mu r}$ 。当 $m_\gamma = 0$ 时, $\mu = 0$, Proca 方程回复到 Maxwell 方程。有 $E \propto -\nabla \phi$ 、 $E \propto \gamma^{-2-\delta}$ 及③④式, 可以找出 δ 与 μ 的关系, 即找出 δ 与 m_γ 的关系。再利用 1971 年 William 等人的实验结果 $\delta < 3 \times 10^{-16}$, 可得出 $m_\gamma < 2 \times 10^{-47} \text{g}$ 。这就是利用 δ 的下限得出 m_γ 下限的方法。

3、测量光子静止质量的方法

直到现在, 人们对光子获得非零静止质量理论机制并没有定论, 所以只有通过大量的实验去检验光子的静止质量是否为零。由于光子的静止质量很小, 人们不可能直接测量光子的静止质量, 只有通过检验光子具有非零静止质量时所对应的物理效应, 从而推导出光子静止质量。光子静止质量不为零时所对应的物理效应应有: 真空中光速的色散效应、静态电磁场的 Yukawa 势、纵向虚光子的出现、AB (Aharonov and Bohm) 和 AC (Aharonov and Casher) 效应、磁单极子的存在与否、Casimir 效应的修正和有限光子质量的引力偏折等等。所有这些效应都是人们检验光子静止质量的基础。长期以来, 人们做了大量的实验, 但是到目前为止, 所有检验光子静止质量的实验都是零结果, 人们只能根据他们的实验精度给出光子静止质量上限。真空中光速的色散效应是人们检验光子静止质量的一个常用方法, 除此之外, 与光子静止质量有关的色散效应还有等离子体的色散和星际磁流体力学波的色散等, 它们也曾被科学家们用来检验光子静止质量上限。

1、星光到达地球的时间差

测量不同频率的光走过同一段路程所用的时间之差 Δt 的微元来确立光子的静质量 μ_0 。方程(1.2-2.8) 表明, Δt 与 L 成正比。路程 L 越长, 效应就越大。因此, 我们可以测量远方星体在同一时刻发射的不同频率的电磁辐射到达地球的时间差, 比如, 利用双星和脉冲星就可做这类观测。

需要强调的是, 星光的色散效应除了用光子静质量解释外, 还可以用电磁场的非线性效应和等离子体色散效应来解释。在远第星体与地球之间的巨大星际空间里存在着极其稀薄的星际介质(等离子体), 这些等离子体引起的色散与 μ 引起的色散完全类似。这是利用星光色散确立光子静质量的主要障碍。下面我们先简略介绍一下电磁波在等离子体中的色散效应。

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 \pm \omega \omega_B} \right) \quad (1.2-3.1a),$$

通常, 麦克斯韦电磁波在等离子体中的色散方程是

$$\omega_p^2 = \frac{4\pi n e^2}{m}, \quad \omega_B = \frac{cB}{mc} \cos \alpha \quad (1.2-3.1b),$$

其中, n 是等离子体中电子的数密度, m 是电子静质量, B 是磁感应强度, α 是 \mathbf{k} 与 \mathbf{B} 之间的交角。星际空间的磁场 B 很小, ω_B 可以略去。于是方程(1.2-3.2) 给出电磁波在等离子体中的色散效应是 $V_g = d\omega/dk = c(1 - \omega_p^2/\omega^2)^{1/2}$, (1.2-3.2), 将方程(1.2-3.2) 与 Proca 重电磁场的真空色散方程(1.2-2.4) 比较, 可以看出, 等离子体的特征频率 ω_p 引起的电磁色散效应与光子静质量 μ 引起的色散效应是一样的。这就是说 ω_p 的效果同 μc 的效果完全一样。因此, 如若不能用另外的方法获得星际离子体的密度, 就无法分辨星光的色散究竟是等离子体产生的还是光子静质量的效应。这就使我们在利用星光色散效应确立光子静质量 μ 上受到了限制。根据银河系旋臂磁场范围对光子静质量上限做的估计约为 10^{-59} 克。

2、双星观测

德布罗意 (deBroglie) 1940 年提出了利用双星来确立光子静质量的方法。双星是在一个椭圆轨道中不停地旋转的二颗星体(例如, 将它们分别叫做 S_1 星和 S_2 星)。在某一时刻, S_1 星把 S_2 星挡住, 使我们看不到 S_2 星。随后, S_1 星从 S_2 星背后显露出来, 此刻测量 S_2 星发射的不同频率的光波到达地球的时间之差。德布罗意使用的数据是: $\lambda_2^2 - \lambda_1^2 \approx 0.5 \times 10^{-8}$ 厘米²; 双星到地球的距离 $L = 10^3$ 光年; 这两种颜色的光到达地球的时间差 $\Delta t \leq 10^{-3}$ 秒。如果光子静质量的贡献不能忽略的话, 那么, 由方程 (1-2-2.8) 便得到

$$\mu \cong \left[\frac{8\pi^2 c \Delta t}{L(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \leq 2.3 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1} = 0.8 \times 10^{-39} \text{ g} \quad (1.2-3.3)$$

3、脉冲星观测

脉冲星的发现为检验光的色散现象提供了一种新的手段。虽然脉冲星在同一个脉冲里发射的频率相近的两列光波色散很小，但是脉冲星到地球的距离很远，这两列光波到达地球的时间差大得足以观测到。脉冲星发射的无线电波的色散效应通常是以等效平均电子密度 \bar{n}_e 给出的。对于脉冲星 NP0532 Staelin 等人(1968)给出 $\bar{n}_e \leq 2.8 \times 10^2 \text{ 厘米}^{-3}$, Feinberg(1969) 假定观察到的 NPO532 脉冲星的色散效应主要是光子静质量引起的。从方程(1.2-2.4)和(1.2-3.2)的比较可知, $\omega_p / c = 4\pi e^2 \bar{n}_e / mc$ 的等离子体的色散效应与光子静质量引起

的色散效应相同, 因此有:
$$\mu = \frac{4\pi e^2 \bar{n}_e}{mc} \leq 3 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1} = 10^{-44} \text{ g} \quad (1.2-3.4)$$
 封伯格(Feinberg)认为, 这种方法是对薛定谔静场方法的一种补充。

4、光子静止质量的最新测量结果

最近由于物理实验的重大新突破, 即由于单个光子质量实验的精确测定结果和用原子的发射光谱对氢原子、氦离子、氦原子内电子的运动瞬时速度和轨道半径的精确测量结果的出现, 迫切需要寻求一种新物理理论的新解释。

2003年3月的《物理学评论快报》发表了一篇文章, 说中国科学家、武汉华中科技大学教授罗俊及同事通过实验在宇宙磁势造成的影响中寻找光子质量的痕迹, 用精密扭秤检验出光子静止质量的上限为 10^{-48} 千克。在2010年2月28日出版的美国《物理学评论快报》(Physical Review Letters)上, 有专文介绍说: “一项由中国科学家罗俊等完成的新的实验表明, 在任何情况下, 光子的静止质量都不会超过 10^{-54} 千克, 这一结果是之前已知的光子质量上限的 $1/20$ 。”罗俊和他的同事通过一种新颖的实验方法, 在一个山洞实验室里将光子静止质量的上限, 进一步提高了至少一个数量级。它使我们再次认识到精确验证电力平方反比律, 即确定 δ 下限的重要性。描写电磁相互作用的局域规范理论称为阿贝尔规范场理论。光波是不应该有惯性质量的。如果有, 则会产生一系列的问题。如: 假设光波有惯性质量。则光波通过介质后其速度无疑会减少。但实际的情况恰恰相反。光波通过介质后速度不但不减少, 反而其速度有时会增加。而这显然与光波具有惯性质量矛盾。所以光波哪怕是具有一点点惯性质量, 都将与我们所观察到的物理事实相违背。长期以来, 人们就试图利用各种电磁学现象检验麦克斯韦电磁理论的正确性, 检验光子静质量是否为零。这些实验也是对真空光速不变原理的一种检验。

前几年, 华中科技大学的罗俊教授和他的研究生涂成良就做了测定光子静止质量的实验。测定光子静止质量为 1.5×10^{-55} 千克, 论文“实验检验光子静止质量的研究进展”发表在2006年09期的物理杂志上。现代物理实验用天体物理的磁压法得出的 m_γ 的最强限制为 $m_\gamma < 10^{-60}$ 克, 既不能否定也不能肯定光子有引力静止质量。在麦克斯韦电磁场的拉格朗日理论中, 电磁场的拉格朗日密度是由场变量(势函数) A_μ 的一阶导数 $\partial_\mu A_\nu$ 构成的双线型的, 在洛伦兹变换下的不变量(标量)和在相角变换(U(r)规范变换)下的不变量。用这样的拉格朗日量, 通过对场变量变分得到的方程就是麦克斯韦电磁场方程。现在, 我们放弃 U(r)规范不变性这个条件, 因此通常的拉格朗日量中需要增加一项 $\mu^2 A_\nu A_\nu$, 这是与质量有关的项。由这样修改过的拉格朗日量得到的方程就是中子静质量 $\mu \neq 0$ 的运动方程, 即重电磁场方程或称为 Proca 方程(使用高斯单位制):

$$\frac{\partial F_{\lambda\nu}}{\partial x_\lambda} - \mu^2 A_\nu = -\frac{4\pi}{c} J_\nu \quad (1.3-1)$$

其中

$$-\frac{\Delta v}{c} - \frac{(v_{g1} - v_{g2})}{c} \cong \frac{1}{2} \mu^2 c^2 \left(\frac{1}{\alpha_2^2} - \frac{1}{\alpha_1^2} \right) \quad (1.3-2), \text{ 它满足恒等式}$$

$$\epsilon_{\lambda\mu\nu\sigma} \frac{\partial F_{\sigma\alpha}}{\partial x_\lambda} = 0$$

(1.3-3), 上面诸希腊指标均取 1, 2, 3, 4. $x_{\lambda\nu\rho\sigma}$ 是单位全反对称张量, $A_\mu = (\vec{A}, i\phi)$, (\vec{x}, ict) , $(\vec{J}, i\rho)$, $(\vec{J}, ic\rho)$. \vec{A} 是矢势, ϕ 是标势, \vec{J} 是电流密度, ρ 是电荷密度。方程

中的电流四矢 J_ν 是守恒流，满足守恒方程 $\frac{\partial J_\nu}{\partial x_\nu} = 0$ (1.3-4)，对方程(1.3-1)做微分，利用定义，

(1.3-2) 和方程 (1.3-4) 可以得到 $\frac{\partial A_\nu}{\partial x_\nu} = 0$ (1.3-5)，此式表明，电荷守恒条件(方程(1.3-2))与洛伦兹条件(方程 (1.3-5))互等价。

将方程 (1.3-2) 代入 (1.3-1)，并利用方程 (1.3-5)，可以得到电磁势 A_μ 的波动方程。

$(\square - \mu^2) A_\nu = \frac{4\pi}{c} J_\nu$ (1.3-6)，其中 $\square = \nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$ (达朗贝尔算子)。以上方程唯一地确定了电磁势 A_ν 。相应于方程 (1.3-1) - (1.3-6) 的三维矢量形式是：

$$\nabla \times \vec{E} - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{4\pi}{c} \vec{J} - \mu^2 \vec{A} \quad (1.3-7a)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 4\pi\rho - \mu^2\phi \quad (1.3-7b), \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (1.3-8a), \quad \nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (1.3-8b), \quad \vec{H} = \nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = -\nabla\phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (1.2-9a), \quad (1.2-9b)$$

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1.2-10a), \quad \nabla \cdot \vec{A} + \frac{1}{c} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad (1.2-10b), \quad (\square - \mu^2) \vec{A} = -\frac{4\pi}{c} \vec{J} \quad (1.2-11a),$$

$(\square - \mu^2)\phi = -4\pi\rho$ (1.2-11b)，显然，当 $\mu = 0$ 时，Proca 方程可简化为麦克斯韦方程。方程(1.3-1)是 Proca 在 30 年代初首先提出的，它是对麦克斯韦方程所做的(保持洛伦兹协变的)唯一推广形式。方程(1.2-7)- (1.2-11) 是用实验检验光子静质量的基础。实际上根据近代量子电动力学理论，并不存在尚未发出的静止光子，光子是在电子(或其他带电的基本粒子)做跃迁运动时产生出来同时发射出去的。

历史上对彗尾的尾巴现象解释首先是光压说，但是近代物理学家发现光根本不具有如此威力，甚至光是否存在压力都受到了人们的怀疑，军事专家的观点更支持我们，《军事学教程》中言：“激光武器的特点：不产生后坐力，是一种无惯性武器。”近代实验也发现原子核向外发射出能量极高的 γ 光子时并不做反冲运动(近代理论认为能量越大的光子其动量越大)。我们应该怀疑麦克斯韦所预言的光压了。经典物理后来又转用太阳风来解释彗尾，但目前的研究发现，地球外的宇宙射线是各向同性的，来源于太阳方向上是宇宙射线并不比其他方向上是多，而且宇宙射线来源于那里至今仍是谜，后来人们发现宇宙射线中有一些“低能质子”的多少与太阳黑子活动存在某种联系，于是认为“低能质子”就是太阳风，但仍然存在两个困难，一是“低能质子”也是各向同性的，二是我们还不清楚是“低能质子”的变化引起太阳黑子活动呢还是太阳黑子活动引起“低能质子”的变化。

作者 (Author):

李学生 (Li Xuesheng)，男，山东大学副教授，理论物理教师，中国管理科学院学术委员会特约研究员、北京相对论研究联谊会会员，中国民主同盟盟员，中国科学院高能物理所研究员。2002 年撰写的论文《数学归纳法的拓广》在《济南教育学院学报》上发表，2004 年 8 月撰写的理论物理学论文《引力质量与电磁质量之间的关系新探》在北京相对论研究联谊会第三届年会上发表，得到了与会专家的初步认可；2005 年 12 月至今我撰写的论文《现代理论物理学的九个问题》、《真空不空》、《以太的发展史》在《香港新科技杂志》上发表。2007 年在《格物》上发表论文《暗物质、暗能量和宇宙常数问题》；2007 年 12 月在《新科技》(香港)杂志上发表论文《以太的发展史》；2002 年在《山东师范大学学报(自然科学版)》教学科研上发表《在物理教学中注意培养科学美的观念》；多篇有关文章在学术争鸣杂志 (Academia Arena, <http://www.sciencepub.net/academia>)上发表。 xiandaiwulixue@21cn.com, 1922538071@qq.com。

主要深入理解阅读的部分文献:

1. [日] 浅野四郎 浅野诚一 著 师华译。《狭义相对论的新图示法——space-time 圆图法——》 高等教育出版社 1992 年版。
2. 《介质浮力存在的普遍性》 段灿光著 本文集。
3. 《没有太阳辐射, 大气将静止吗?》 段灿光著 本文集。
4. 《以太浮力论》 段灿光著 本文集。
5. 《再论以太浮力 —— 关于万有引力变化的讨论》 段灿光著 本文集。
6. Baidu. <http://www.baidu.com>. 2016.
7. Google. <http://www.google.com>. 2016.
8. H.C. 瓦尼安, R. 鲁菲尼, 引力与时空, 科学出版社, 北京, 2006, pp150-153.
9. Ma H, Cherng S. Nature of Life. Life Science Journal 2005;2(1):7 - 15.
10. Ma H. The Nature of Time and Space. Nature and science 2003;1(1):1-11. Nature and science 2007;5(1):81-96.
11. National Center for Biotechnology Information, [U.S. National Library of Medicine. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed). 2015.
12. Wikipedia. The free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org>. 2015.
13. 狄拉克。《现代物理学参考资料》第 3 集[C]。科学出版社,1978.38。
14. 王存臻、严春友 著。《宇宙全息统一论》山东人民出版社 1995 年版。
15. 《彗星漫谈》 徐登里编著 32K、P107 1975 年 7 月科学出版社。
16. 《数学在天文学中的运用》 刘步林编著 32K、P316 1979 年 9 月科学出版社。
17. 《中国大百科全书·天文学》 主编: 张钰哲 1980 年 12 月中国大百科全书出版社。
18. 《哈雷彗星今昔》 张钰哲著 32K、P97 1982 年 3 月知识出版社。
19. 《天体力学浅谈》 [苏]尤·阿·里五波夫著, 李五行、陈晓中译 32K、P201 1984 年 11 月科学普及出版社。
20. 《地学基本数据手册》 主编: 张家诚, 副主编: 李文范 16K、P1377 1986 年 3 月海洋出版社。
21. 《彗星十讲》 胡中为、徐登里编著 32K、P158 1986 年 4 月科学出版社。
22. 《中国百科年鉴·1986》 1986 年 10 月中国大百科全书出版社。
23. 《简明天文学词典》 叶叔华主编 32K、P880 1986 年 12 月上海辞书出版社。
24. 《中国百科年鉴·1987》 1987 年 12 月中国大百科全书出版社。
25. 《哈雷彗星及彗星-地球关系》 天地生综合研究论文集 胡中为、阎林山 16K、P471. 1989 年 11 月中国科学技术出版社。
26. 1995 年 6 月 21 日 《中国青年报》。
27. 1997 年 12 月 19 日 《中国科学报》。
28. Einstein 著, 方在庆、韩文博、何维国 译。《Einstein 晚年文集》 海南出版社 2000 年 3 月第 1 版。

5/4/2017