

超光速研究中的几个理论问题

黄志洵¹, 耿天明²

(1. 中国传媒大学, 北京 100024; 2. 首都师范大学, 北京 100037)

[摘要] 宇宙早期的强子时期, 光速比 c 大, 实际上可达 $v=75c$ 。故光速随时间缓慢减小, 从 v 降低到今天的值 (c)。另一方面, 根据对 128 个类星体吸收线的测量, 在过去的 6~12 Ga 期间, 精细结构常数 α 平均增大了 6×10^{-6} , 科学家们认为可能是光速变化造成的。对上述效应进行研究以了解宇宙的去是有意义的。还深入讨论了超光速研究中的一些问题——微观粒子速度的定义, 引力速度, 量子纠缠态作用速度以及超距作用。对这些概念有了更准确的理解。

[关键词] 可变光速; 超光速; 微观粒子速度; 引力速度; 量子纠缠态作用速度; 超距作用

[中图分类号] O423.1; TN201 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742 (2007) 04-0006-12

1 引言

几年前, 美国 Johns Hopkins 大学出版社推出了 Z. Rosenkranz 写的书 (The Einstein Scrapbook) 中称: “1922 年 11 月, Nobel 委员会宣布 Einstein 获 1921 年 Nobel 物理奖; 但在公告中未提及相对论, 原因是瑞典科学院认为对相对论还有许多争议”^[1]。又说: “Einstein 拒绝接受量子力学, 导致他在晚年游离于科学主流之外”; “W. Heisenberg 与 Einstein 在对量子力学和因果性的看法上有本质的不同”^[1]。……这些话和我们过去在一些文章中表达的意思毫无二致, 但由于 Rosenkranz 是 Einstein 档案图书馆馆长, 是研究 Einstein 的著名专家, 他的话似乎显得更有分量。在国外绝大多数物理学家已能冷静、理性地看 Einstein, 不把 Einstein 当作“神”来对待。虽然英国的年轻科学家 J. Magueijo 说“物理学家如挑战 Einstein 就可能丢掉饭碗”^[2], 但在实际上 Magueijo 的论文和书都能正常出版, 他也并未因提出光速可变理论 (VSL) 而失去工作。

正如大家所知, 20 世纪有两大自然科学理论体系出现——相对论和量子力学, 但这两者并不能

完全协调一致。例如关于局域性 (locality) 与非局域性 (non-locality) 之争, 就是不小的矛盾和分歧。1925 年 5 月 A. Einstein 曾在巴西讲学, 科学史家称他的演讲 (关于光子) 是失败的, 关键在于光子不是一个经典的东西, 用经典物理是讲不清楚的。而演讲人却企图用经典的概念去解释, 因而无法说明, 光既是波动又是粒子, 为何前者展布于全空间, 而后者却局域于空间的狭小区域。Einstein 回国后, 经过几个月, 即在 1925 年 6 月至 11 月期间, 年青的 W. Heisenberg 发明了量子力学。令人遗憾的是, 曾经对建立早期量子论作出巨大贡献的 Einstein, 却对新生的量子力学持反对态度。这种态度持续了 30 年, 直到 1955 年这位科学巨人在孤寂中辞世才结束。为了科学的健康发展, 我们确实无法讳言 Einstein 的局限性和失误。

众所周知, 狭义相对论 (SR) 的基础是两个公设 (狭义相对性原理和光速不变原理) 和一个变换 (Lorentz 变换)。相对论学者们都承认, 各种检验“光速不变”的实验都只证明回路光速不变, 从未证明单向光速不变; 甚至把单向光速视为不可观测的量。因而, 光速不变原理至今仍是一个待证实

的假说。至于相对性原理，早就有学者指出它是存在问题的，亦即 SR 与现代宇宙学的多个方面是相互冲突的。既然“对于现实宇宙大尺度行为 SR 失去了意义”^[3]，对近年来在国内外展开的超光速研究的理论基础就不必怀疑。

笔者讨论超光速研究中的几个理论问题，涉及“宇宙早期时的光速值可能比现在大”、微观粒子有没有速度、引力作用和量子纠缠态的作用速度是多少、如何看待超距作用这样几个方面。限于篇幅，其他一些理论问题不在此赘述。

2 早期宇宙（强子时期）中光传播速度的 Sabbata 理论

20 世纪后半期的一项发展是诞生了强子力学。所谓强子 (hadron) 是指重子 (质子、中子等) 和介子 (π 或 K)，而介子是比电子重的带电或不带电粒子。1978 年创立了强子力学 (HM, hadronic mechanics)，它与量子力学 (QM) 不同之处在于，QM 把基本粒子视为点状粒子，互相之间总有一定距离；而 HM 视基本粒子为有一定尺寸的延展性粒子，即波包；粒子间可以有一定距离，但也可以相互重叠和接触。以 Dirac 方程为例，尽管它可以描述例如电子这种单粒子的运动，却无法描述组合在一起的 (强子) 粒子，例如质子和中子。2005 年 6 月 21 日至 23 日在瑞典 Karlstad 大学召开了第 18 届强子力学国际讨论会，在会上 A. O. E. Animalu 教授论述了强子力学的主要特点，并指出“存在着扩展了相对论的情况，即真空中速度超过光速的状况”。

2004 年 11 月，意大利科学家 V. de Sabbata 在第 242 次香山科学会议上曾作了题为“强子物体内的超光速可能性及量子引力问题”^[4]的报告。实际上，早在 1981 年 V. de Sabbata 和 M. Gasperini 即在 Lett. al Nuovo Cimento 上发表文章，题为“光速可变性引起的自发对称性破缺”^[5]。文章涉及 Higgs 场、弱相互作用、弯曲时空等多个领域；但其主要内容却是，在假定光速是一个变量的条件下，引用强引力耦合系数 (strong gravity coupling constant) 概念进行推导，结果算出在 hadron 宇宙内“光以 75 c 的恒定速度传播”。文章认为，在早期宇宙时光速比 c 大得多；它随时间而变，逐渐降低到现在的值 (即 c)。在 242 次香山科学会议上，Sabbata 散发了他的早期 (1981 年) 论文。该文对于研究早

期宇宙中的超光速有重要意义，故于此介绍和讨论。

宇宙学的标准模型是大爆炸宇宙学，它认为经典宇宙始于 Planck 时间 ($t_p \cong 10^{-44}$ s)，在 10^{-35} s 时开始暴胀，而在 ($10^{-23} \sim 10^{-6}$) s 时进入强子时期 (夸克结合成强子)。……直到 $t=3$ min (即 180 s) 时，开始形成原子核，进入核合成时期；而在强子时期与核合成时期之间，是所谓“轻子时期”。

V. de Sabbata 的研究，认为在强子时期的“强子微宇宙”内光的速度比今天的 c 值大很多。当代物理学认为有 3 类粒子——实物粒子、规范粒子、Higgs 粒子，分别对应应有 3 类场。最后一种是英国物理学家 Peter Higgs 于 1964 年提出的，是为了使弱相互作用的规范粒子获得质量而必须的，是一个待证的假设。若该粒子被找到，将是标准模型理论的最高成就，因为它是物理学经典模型最后一个未发现粒子。2004 年 3 月 11 日出版的 Nature 杂志中，P. Renton 曾讨论“Higgs Boseon 是否已被发现”的问题，结论是尚不肯定。不过，当初 Sabbata^[5]做理论分析时，假定 Higgs 场 (以及粒子) 是存在的。此外，又以一定的实验资料作为出发点，即 Higgs 场的真空预期值 φ_0 在低能时满足

$$\frac{G_F}{\sqrt{2}} = \frac{\hbar^2 c^2}{4\varphi_0^2} \quad (1)$$

此处 c 为真空中光速 (现代值)， G_F 为 Fermi 耦合系数 (1.44×10^{-49} erg \cdot cm³)。

另一假定是，光速是一个可变量： $c \rightarrow c(x)$ ；它取决于复标量场 $\varphi(x)$ ，并有

$$c^2 = \frac{G}{3v^2} |\varphi|^2 \quad (2)$$

式中 v 是一个具有速度量纲的参数，而 G 为引力常数。

将任一体系看作场 φ 时，可用 Lagrangian (\mathcal{L}) 描写， \mathcal{L} 满足 Lagrange 方程

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \varphi_0} - \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial \varphi_0 / \partial x_i)} = 0$$

只要有合理的 \mathcal{L} ，即可求出场的动量、能量等。有质量 m 的粒子，其场的 \mathcal{L} 必含 $m\varphi_0^2$ 项；规范场的 \mathcal{L} 不含质量项，对电磁场是对的，对弱作用规范场就不正确，因传递弱作用的粒子有质量。

在传统的讨论中，弯曲时空的 Yang-Mills 规范场的 \mathcal{L} 较易写出。现在是假设光速可变，理论推导亦改变，得

$$\mathcal{L} = \frac{\sqrt{-\gamma}}{4\pi} \left[-\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^j F^{j\mu\nu} - \frac{1}{4} B_{\mu\nu} B^{\mu\nu} - |D_\mu \varphi|^2 - U(\varphi) \right] \quad (3)$$

式中 $\gamma = \det g_{\mu\nu}$ ，而

$$U(\varphi) = \frac{R}{6} |\varphi|^2 - \frac{RG}{36v^4} |\varphi|^4 \quad (4)$$

式(3)右方末项就是引入了 Higgs 场，场量是 φ ；现在求 $\partial U / \partial \varphi$ ，并取为零，解出

$$|\varphi_0| = (3/G)^{1/2} v^2 \quad (5)$$

将 $|\varphi_0|$ 代入 c^2 公式，即得

$$c_0^2 = \frac{G}{3v^2} \frac{3}{G} v^4 = v^2$$

故 $c_0 = v$ ；可见“光速可变假设”中， v 的意义是真空中光速；将 $|\varphi_0|$ 和 $c_0 = v$ 代入实验条件，可得

$$\frac{G}{v^2} = \frac{6\sqrt{2}}{\hbar^2} G_F$$

故有

$$v = \left[\frac{\hbar^2}{6\sqrt{2}} \frac{G}{G_F} \right]^{1/2} \quad (6)$$

对于强引力，引力常数 G 应用强子微宇宙中的强引力耦合常数 k_t 代替：

$$k_t = \frac{\hbar c}{2M_p} = 0.57 \times 10^{31} \text{ c.g.s.u.}$$

结果为

$$v = 226 \times 10^{10} \text{ cm/s} = 75 c \quad (7)$$

上式的 c 为现今光速值（约 $3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ ）；故早期宇宙光速是比 c 大，用现在的话讲是超光速的。后来，随着时间增加，光速逐步减小，直到今天的值（299 792 458 m/s）。

3 光速 c 是否随时间而变

在物理学中，某些常数被认为是永远恒定、从不变化的，物理学家称之为自然常数或基本物理常数。例如真空中光速 c ，Newton 引力常数 G ，电子质量 m_e ，它们被假设在宇宙中任何地方及在任何时刻都相同。物理学的进展已使它们的测量值达到很高的精确度。这些常数有特定的值，它们若稍与此不同，现时的原子结构将不可能成立。然而很奇怪，无人能对这些常数为什么就是这么大提供充分的解释。

近年来的研究表明，“常数”一词其实是不恰当的说法，因它们可能随时间、空间而变。自

1930年起，研究人员即推测常数并不恒定；弦论对此观点提供了理论上的可能的解释。现在国际上有两个词语：“inconstant constants”（“不常的常数”）^[6]，和“not-so-constant constants”（“不那么恒定的常数”）^[7]；这些正是由相关的研究而起。

真空中光速 c 是绝对恒定不变的常数，还是会随时间而变化？国际上的讨论越来越多，“宇宙诞生的早期光速值可能比现时值高”是许多科学家持有的观点。

大爆炸宇宙学当中有一个难解释的“视界问题”（the horizon problem），它产生于两个观念——宇宙年龄有限和光速有限。众所周知，天文学家观测很远（例如 50 光年）的星系时，看到的只是 50 a 前的星系；因此当他们越看越远，以致达到 137×10^8 年时，由于宇宙诞生于 13.7 Ga 前，再观测“更远”的天际没有意义，这称为视界。离大爆炸越近，视界越小，故早期宇宙由许多无法看见彼此的区域组成，这就与宇宙均匀性的事实相矛盾。1970 年，Alan Guth 提出早期宇宙有一个很短暂的暴胀时期，这个情况正如 2000 年 4 月 10 日出版的美国 Time 周刊上 M. Lemonik 的文章所说：“宇宙诞生时的强大能量场对宇宙扩张起一种增压作用，迫使宇宙急速爆裂、膨胀，其速度是光速的许多倍。光速上限是对运动物体的限制，但宇宙本身却不受这一速度极限的制约”。……但是，Guth 未说早期宇宙会以超光速扩张，这个概念是 1997 年由 J. Magueijo 提出的，他把光年 (ly) 分为快光年和慢光年；他称自己的理论为 VSL (varying speed light) 理论，即光速可变理论。J. Magueijo, J. Barrow 以及 A. Albrecht 在 1999 年联合发表了论文“光速随时间而变——宇宙学悬疑的一个解答”^[8]；认为宇宙学一般理论遵守光速不变假设，不能解释早期宇宙的均匀性。VSL 理论认为那时的光传播速度比 c 大很多，正是运动极快的光把不同区域联系在一起使之均匀。……然而，在这篇论文之前，著名的 Andre Linde，还有前面提到的 V. de Sabbata，都有关于“早期宇宙以超光速扩张”的论述。

一般人认为初期宇宙的理论是无法通过实验来检验的，所以上述一切不过是随便说说罢了。实际上，进行间接的实验检验仍有可能。宇宙中一些类星体距离地球非常远，例如可达 120×10^8 光年，它们发出的光在现在才到达地球。因此，研究其光谱可以推断当年（宇宙诞生初期）的情况。2001

年 8 月 Science 杂志报道说，澳大利亚科学家 John Webb 领导的国际研究组利用设置在美国夏威夷的世界最大天文望远镜对宇宙深空最遥远的一些类星体进行观察研究后发现，亿万年前微观结构常数比现行值小，由此判断在宇宙演化的早期的光速比现在大。精细结构常数 (FSC) 的定义为

$$\alpha = 2\pi \frac{e^2}{hc} \quad (8)$$

式中 e 是电子电荷值， h 是 Planck 常数。1998 年国际科技数据委员会 (CODATA) 给出的标准值为 $\alpha^{-1} = 137.035\,999\,76^{[9]}$ 。

2001 年 8 月，美国 Phys. Rev. Lett. 杂志发表了 J. K. Webb 为首的多国科学家研究组对类星体光线的观测结果^[10]。众所周知，类星体 (quasars) 的光谱红移特别大，按 Hubble 定律推算，它们距离地球可达百亿光年以上，故接收和研究类星体发出的光就是收到和研究宇宙诞生后早期发出的光，它们如今才到达地球。Webb 小组利用设在美国夏威夷的世界最大的望远镜对多个高亮度类星体进行了观测。光通过星际物质时由于吸收而在光谱上出现暗线，其位置可导致测出 α 值。英国剑桥大学教授 J. D. Barrow 当初是 Webb 小组的成员之一，参加研究工作达两年之久。他说：“我们观察不同化学元素的吸收谱线间隔（它取决于发生吸收时红移中 α 的任何微小变化）；由于光是在 5~11 Ga 前离开这些星辰的，把观察到的谱线间隔同现在实验室测到的谱线间隔作比较，就可以判断 α 在过去 11 Ga 内有无变化。在两年里，观测了 147 个类星体，结果大大出乎意料——早期的 α 值比现在小了 7×10^{-6} 左右”。图 1 是精细结构常数的相对值 $\Delta\alpha/\alpha$ 与红移 (RS) 的关系^[11]，横坐标同时给出了一定的 RS 值所对应的回溯时间，单位是吉年 (Ga)。在 RS=1~3， α 有明显的负偏移，表示精细结构常数在过去曾为较小的值，比现在约小 $7/10^6$ 。这是统计性证据，来自 147 个不同尘埃云块中由许多不同的化学元素产生的光吸收的天文观测数据。如按年头平均，相当于 $|\Delta\alpha/\alpha| = 5 \times 10^{-16} \text{ a}^{-1}$ (观测区间为 3 Ga 至 11 Ga 前)。这看起来微不足道，但作为物理常数根本不允许有这样的“年变化”。因此在国际科学界有人说，这是 50 a 来实验物理学最惊人的发现之一。J. Barrow 和 J. Webb 于 2005 年 6 月发表的文章说，“以 128 个类星体吸收线为基础的研究中，发现在过去 6~12 Ga 精细

结构常数 (α) 平均增大了 6×10^{-6} ”^[6]。这可认为是 Webb 小组的最终结论。另外，2004 年 7 月 3 日出版的英国刊物 New Scientist 报道说，一个月前对西非 Oklo 核反应堆的实验数据作再分析后得到的结果是：在过去 2 Ga 内 α 增大了 4.5×10^{-8} ，故认为在过去 α 比现在略小。这结论与 Webb 小组是一致的。

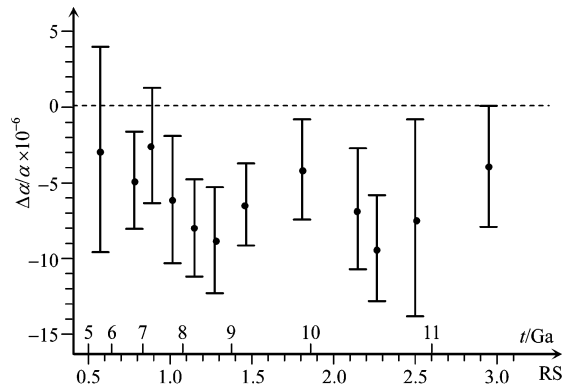


图 1 精细结构常数随时间的变化

Fig.1 Time variation of the fine-structure-constant

总之，J. Webb 和 J. Barrow 等人近年来发现在宇宙历史中有一个时期精细结构常数略小于它今天的数值。J. Barrow 曾从宇宙学角度作出解释^[11]。就全部宇宙历史而言，Barrow 和 Webb 文章^[6]将其分作 3 个时期，见图 2；它显示了 α 的逐渐增大的趋势只发生在宇宙历史的一个中间阶段。

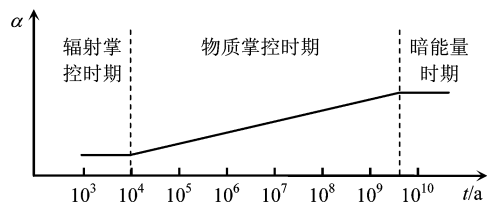


图 2 精细结构常数的变化过程分期

Fig.2 Stages of the fine-structure-constant variation

J. Webb 等人的研究是利用自然光源，即宇宙星体。怎样评价在类星体光束观测中所发现的 FSC 异常，这是科学家们感到尴尬的问题。从式 (8) 来看，构成精细结构常数的要素有 3 个，即 h , e , c ；那么， α 的变化是谁造成的？为简单计，只考虑一种可能的情况，即 e , h , c 这三者之一未能保持恒定。即便如此，也存在各种不同的观点^[12~16]。相对论学者非常不愿意说“实验发现的 FSC 异常是由 c 引起的”，因为正是相对论赋予真空中光速

c 以一种特殊的地位和不变性。或者说,在各个基本物理常数中,相对论使 c 成为一个“特殊的常数”。这样做由来已久,却未必正确和适当。包括相对论在内的一些科学理论可能只是今天的“稳态宇宙”时期的理论,而早期宇宙则可能存在光速可变以及超光速(即 $v > c$)的情况。今天的科学家在大量新的实验事实面前,如何正确地估价和发展现有理论,已是当前刻不容缓的任务。

4 微观粒子究竟有没有速度

迄今为止,在研究工作涉及微观粒子时,速度概念常被使用。例如,1904年H. A. Lorentz提出电子的质量速度方程^[17]:

$$m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (9)$$

这里 v 是电子的速度,而电子就是微观粒子。实际上,在许多场合(如电子管技术、加速器技术等)人们都在谈论“电子的速度”,并未因电子是微观粒子而回避谈它的速度。另外,也可以计算电子绕原子核飞行的速度;由于已知电子在氢原子中绕质子旋转1次需时150 as,即 1.5×10^{-16} s^[18];由于核外只有1个电子处在1 s轨道上,如果取氢原子半径 $r = 0.1$ nm,就可算出电子飞行速度约为4 200 m/s^[19]。这是电子飞行速度的定量化。从道理上说,Bohr的氢原子行星模型有其正确成分,故科学书籍中按轨道而讨论原子结构者并不少见^[20]。

再看光子。正常说的光速,既可以说成是“光波的速度”,但也可说成是“光子的速度”,其值为 $c = 299\,792\,458$ m/s。光子并不是经典粒子,是一种微观粒子;而它是有速度的。另外,1993年美国A. M. Steinberg等完成的“光子赛跑实验”^[21],在两路比较中证明光子穿过位(势)垒时其等效速度比 c 快了70%。该实验设计精巧,实施过程完美;数据处理上不回避“光子被加速到 $1.7c$ ”。这也是用速度概念处理光子这种微观粒子的例子。

综上所述,当采用“半经典方式”以研究微观粒子的运动时,速度概念仍在用。不过,这并不表示理论上不存在需要讨论的问题。例如,有物理学家认为“在量子力学中根本没有速度”^[22],速度算符是无用的。鉴于这个问题既有趣又重要,在此作些讨论。

对经典粒子而言,用每一瞬时粒子的坐标 $\mathbf{r}(t)$ 和动量 $\mathbf{p}(t)$ 来描写其运动。粒子的速度可

由下述两种方式之一而定义:

$$\mathbf{v} = \partial \mathbf{r}(t) / \partial t \quad (10)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{p} / m \quad (11)$$

这里 m 是粒子质量。在量子力学(QM)中 $\partial \mathbf{r} / \partial t$ 不代表粒子速度,只是位置算符 $\mathbf{r}(t)$ 的时间变化率;另外,谈论微观粒子在“某点的动量”没有意义。实际上,在QM中对微观粒子提出“速度”的概念是困难的。这是因为粒子“按一定轨迹(路径)运动”的经典概念已不适用于微观粒子。设位置矢量为 \mathbf{r} ,则测得在 \mathbf{r} 矢量端点出现粒子的几率密度为 $|\Psi(\mathbf{r})|^2$,这里 $\Psi(\mathbf{r})$ 是描写粒子的波函数,它代表一种几率性的描述。假如现在不是测量位置,而是测量动量,那么测得动量 \mathbf{p} 的几率密度为 $|\varphi(\mathbf{p})|^2$, φ 是 Ψ 的Fourier变换:

$$\varphi(\mathbf{p}) \sim \int \Psi(\mathbf{r}) e^{-j\mathbf{p}\mathbf{r}/\hbar} d\mathbf{r} \quad (12)$$

在QM理论中,认为 $\Psi(\mathbf{r})$ 或 $\varphi(\mathbf{p})$ 都是完全表达了3维空间中某个粒子的量子态。

用波函数(描写微观粒子,虽然一些力学量的值并不确定,但由于其几率分布确定,力学量的平均值是确定的。因此可以推导QM中的平均动量 \mathbf{p}_av 。在这个理论中,可以证明引入算符会很方便;动量算符为^[23]

$$\mathbf{p}_\wedge = -j\hbar \nabla \quad (13)$$

式中 $\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y}\mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z}\mathbf{k}$;设粒子沿 z 向作一维运动,则

$$p_z = -j\hbar \frac{\partial}{\partial z} \quad (14)$$

问题是能否由此提出速度算符?亦即动量 \mathbf{p} 与粒子质量之比(\mathbf{p}/m)是否可以量子化为速度算符?这应该是可以的,即有

$$v_z = -j \frac{\hbar}{m} \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (15)$$

问题在于上式的意义是什么?能否应用于实际计算?目前是不太清楚的。

当研究微观粒子的速度概念时,首先会想到N. Bohr的原子模型及电子轨道理论。Bohr模型沿用经典速度的定义,所以他的理论中粒子是有速度的,甚至量子化学也沿用他的做法。这种“轨道”理论是经典概念加量子化条件而成,并非彻底的量子理论,对多数微观现象又不能解释。故虽然仍在用速度概念,但不能说明微观粒子一定有传统意义的速度。至于谈论氢原子中1s态电子绕核(质

子) 旋转的速度、周期等, 是用 Bohr 理论推测, 尚无实验肯定这类推测和估算。而且, 这类束缚态的微观现象量子效应明显, 不能忽略不计。

其次, 要看到量子力学有其适用范围。在某些极端的特定条件下, 量子效应非常小, 以至于可以忽略不计或实测不到。这些情况下, 经典概念和理论对微观粒子仍有效。例如, 电子管技术和加速器技术或其他技术应用中, 由于粒子(电子等)的动能极高, 量子效应微小, 使用经典物理处理不会有重大偏差。这时谈论粒子速度是没有问题的。

另外, 文献[22]说“在 QM 中粒子根本没有速度”, 这是 QM 正统解释的观点。这里所说的速度是指经典的速度概念。因为粒子具有波性, 是非局域的, 所以经典的速度概念不再有用, 不能确切描述微观粒子的行为了。总之, 所谓“在 QM 中粒子根本没有速度”, 是指正统 QM 的解释中没有, 是 QM 这个理论框架中没有。“在 QM 中”这个前提是重要的, 没有排除其他理论中可以有。

例如, D. Bohm 重新定义的速度, 不是 dr/dt , 这样就可以使微观粒子有速度概念。Bohm 从波函数的变型出发:

$$\Psi = Re^{iS/\hbar}$$

式中 R, S 是 (x, y, z, t) 的实函数; 利用 Schrödinger 方程, 导出与经典的主方程和连续性方程形似的二个方程, 并定义

$$v = \frac{\nabla S}{m} \quad (16)$$

为粒子速度。这与 QM 的正统解释是不同的; 此速度把 v 与波函数 Ψ 联系起来(通过 S)。他们仍承认有轨道(但不再是经典的了)。而且通过数值模拟画出了粒子通过单缝、双缝、势垒等情况下的模拟图, “粒子轨道”颇形象化。

至于光子的速度, 恐怕问题并不简单。一方面, 迄今为止无人测量过单光子的飞行速度。另外, 在一束光子包含有许多光子, 但它们当中的每一个是否速度都相同? 至今亦不得而知。光子速度如何定义才适当? 这也是一个未解决的问题。

总之, 微观粒子的运动快慢问题(即速度问题), 是一个尚待解决的问题, 它涉及面广, 影响深远, 必须引起重视。关键之点是对“速度”概念的定义和理解, 不能泛论它的有无。针对早期的超光速实验, 例如在光频进行的 SKC 实验^[21], 以及在微波使用截止波导作位(势)垒的 Nimitz 实验, 由量子力学中对于粒子时空分布的几率函数所得到

“速度”与经典物理和相对论意义上的速度可能不是一个概念, 也许只能把电磁波在位(势)垒中的时空分布理解为一种量子现象下的“态函数”, 它是否具有经典意义上的速度的性质, 仍然值得研究。

5 关于引力速度

引力的作用是如何传播的? 是立即发生作用(速度无限大), 还是要经过一段时间? 这个重要问题, 过去却研究得很不够。迄今主要有 3 种观点; 首先是 I. Newton 的“超距作用”观点, 实际上认为引力传播不需要时间。其次是 A. Einstein 的观点, 认为引力作用传播速度为有限值, 该值即真空中光速 c 。第 3 种意见认为引力速度很大, 但不是无限大, 而是超光速的某值。设引力传播速度为 v_g , 将有

$$v_g = kc \quad (k > 1) \quad (17)$$

目前, 各种意见仍在争论中。

虽然 Newton 著作未直接提到引力作用的时间; 但有理由说, Newton 理论认为引力传递不需要时间, 亦即引力速度是无限大。这是因为 Newton 已注意到光速的有限性——在 1676 年 O. Roemer 已根据对木卫一的观测给出了历史上第一个光速测量值, 对此 Newton 是知道的; 并且在《原理》一书中说^[24], 太阳光到达地球需要 7~8 min (现在知道是 8.3 min)。因而, 作用速度(velocity of interaction)问题绝非 Newton 考虑不到的, 他不讨论引力作用时间正说明他认为“不需要时间”。长期以来, 后人称之为“超距作用”(over distance interaction)。在后来, 由于诞生了系统而完整的电磁理论, 并由于 M. Faraday 和 J. C. Maxwell 等人的出色工作, 人们认识到还有一种媒递作用(interaction through the medium), 它是需要时间的, 即作用速度有限。引力被当作“场”来理解, 也是由于电磁理论的影响。静电场的 Coulomb 定律, 形式上与 Newton 引力定律相似, 即

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (\text{Newton 引力定律}) \quad (18)$$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{Coulomb 静电力定律}) \quad (19)$$

在场的数学理论中, 引力场和静电场遵从 Poisson 方程:

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G\rho \quad (\text{Newton 引力场方程}) \quad (20)$$

$$\nabla^2 \Phi = -\rho / \epsilon_0 \quad (\text{静电场方程}) \quad (21)$$

在以上两式中， ρ 代表产生引力场或静电场的源；它们都是 2 阶线性偏微分方程。两者均为无旋场，均不产生能量辐射（即不存在“静电波”或“引力波”）。

Newton 的引力理论简单明晰。然而，1916 年 A. Einstein 提出了广义相对论（GR）；这个复杂得多的引力理论的主要内容包括：引力质量与惯性质量的等同性；等效原理；引力的几何化；引力场方程及其 Newton 近似；引力波。不过，Einstein 关于引力波的思想的形成有一个过程。这是因为在狭义相对论（SR）发表之后，多位科学家以“引力速度是大于光速的”为由，对 SR 理论提出了质疑。

1911 年 1 月 16 日，A. Einstein 在瑞士 Zürich 对自然研究者协会发表演讲，第一次使用了“相对论”（relativitäts theorie）一词。在演讲以后的讨论中，Rudolf Lämmel (1879—1972) 教授发言说：“有的东西比光更快，万有引力。……现在还未能测量引力速度，看来很可能它比光速大得多。假如我们用引力信号代替光信号，就会有一个新的世界图景，在那种基础上我们将能预言——不存在比引力速度更大的速度。”^[25] 对此，A. Einstein 回答说：“很可能，甚至应该预期，引力以光速传播”。他又说：“假如引力是以一个普适的超光速的速度而传播的，那就足以以一劳永逸地推翻相对性原理了。假如它是无限快地传播的，它就将向我们提供一种定义绝对时间的手段”。另外，1913 年 9 月 23 日，A. Einstein 在奥地利 Vienna 召开的 GDNA 会议 (No.85) 发表演讲，题为“关于引力问题的现状”。在这篇演讲里，Einstein 充分认识到并表达出下述思想，即引力速度问题势必对相对论构成威胁。他在演讲开始时说，Maxwell 电磁理论的胜利使超距作用理论站不住脚；如果能用引力发送瞬时信号（从 A 到 B），这是与相对论矛盾的，因为后者断言“在自然界没有能以大于光速的速度发送信号的方法”。……在演讲结束后进行了讨论，来自美国的 Max Born 发言说：“我想向 Einstein 先生提出一个问题；按照你的理论，引力的作用传播有多快？在我看来，‘以光速传播’并不明显是如此；这必定是一个很复杂的关系。”^[26] Einstein 对此提问只作了模糊的回答。

以上情况表明，在提出狭义相对论（SR）以后的 10 年内，Einstein 不断受到质疑——科学家们

用“引力传播很可能大于光速”这一点，质问 SR 的推论（“光速 c 是一切运动的可能的最高速度”）的正确性。因此，Einstein 如解释不了关于引力速度的疑问，是不可想象的。正是这一压力，以及多年积累下来的对引力问题的兴趣，促使他“疯狂地研究引力理论”（这是他自己的说法），并于 1916 年提出了广义相对论（GR）。

1918 年，A. Einstein 发表了文章“论引力波”^[27]。文章用推迟位（势）解引力场近似方程，认为“引力场以光速传播”。文章还讨论了引力波的平面波；由力学体系发射的引力波；引力波对力学体系的作用等问题。1937 年，A. Einstein 和 N. Rosen 发表文章，题目仍是“论引力波”。文章开头指出，GR 理论引力方程积分的近似方法导致引力波存在，并且平面引力波有 3 个类型——纯纵波、纯横波、半纵波与半横波。文章还给出了柱面引力波的严格解。……Einstein 的这两篇论文，是关于引力波的奠基之作；它们的基础是 GR 理论。不过，这些论文是把引力场与电磁场类比，即认定形式上的场方程在一定条件下就是 Minkovski 空间中的波方程，从而表示引力场和电磁场一样是可以波的方式辐射和传播。这就先验地认为引力场与电磁场相似；并且给人这种感觉，即 Einstein 只是着力于要证明“引力波波速就是光速 c ”。

按照 GR 理论，物质决定时空曲率，而变化的时空曲率的传播就是引力辐射，或引力波。1918 年 Einstein 指出，引力辐射强度取决于运动物质体系的质量 4 极矩对时间的 3 次微商，亦即辐射强度取决于物质分布的不对称性和变化的速率。据此，后人认为超新星爆发应当产生强烈的引力脉冲辐射。此外，脉冲双星系统的不对称性和高速轨道运动也可能产生强的引力辐射；等等。换言之，引力波来源于物质体系质量分布的变化；超新星爆发可能产生脉冲辐射，双星运动可能产生单色辐射。……笔者认为，这些描述仍有极强的“模仿电磁理论”的味道；对尚未在实验上发现的引力波，谈论其“辐射形态”和“频谱分布”其实没有意义。事实是，自 20 世纪 60 年代以来的引力波探测，没有取得任何实验证据表明这种波是存在的。

因此，有关研究课题最好仍用泛化的说法——“引力传播速度的研究”。引力波的检测，只是其中的一个部分。……直觉告诉我们，说“引力传播速度就是光速”，那是太慢了。例如，日蚀是月球暂

时挡住了太阳，使阳光不能照射地球。其时引力是否也被屏蔽了？它的影响（作用速度）与光速是怎样的关系？如认定 $v_c = c$ ，就难以解释。实际上，早在 1810 年 P. Laplace^[28] 根据潮汐造成太阳系行星轨道不稳定的长期影响，断定引力速度是光速的 108 倍（即 $v_c = 108c$ ）。此外，1920 年 A. S. Eddington^[29] 根据水星近日点运动判断 $v_c \gg c$ ；随后又根据日蚀全盛时比日月成直线时超前，判断 $v_c > 20c$ ；等等。

近年来，Tom Flandern^[30,31] 关于引力传播速度的研究引起了广泛的注意。太阳对地球有两种主要作用，一是太阳光照射到地球，这个作用速度是光速 c ；另一个作用是太阳发出的引力使地球绕日旋转，需时多少不知道，因为作用速度不清楚。如果太阳产生的引力是以光速向外传播，那么当引力走过日地间距而到达地球时，后者已前移了与 8.3 min 相应的距离。这样一来，太阳对地球的吸引同地球对太阳的吸引就不在同一条直线上了。这些错行力（misaligned forces）的效应是使得绕太阳运行的星体轨道半径增大，在 1 200 a 内地球对太阳的距离将加倍。但在实际上，地球轨道是稳定的；故可判断“引力传播速度远大于光速”。

另一方面，Flandern 对广义相对论有所批评。在 GR 看来，物质的存在产生广延的时空结构，物质分布决定时空结构的弯曲性质与程度，物质运动的轨迹取决于时空曲率。GR 把物理问题改变为数学（几何）问题，引力是 4 维时空几何特性的一种表现，已不是真实的相互作用了。因此，GR 认为引力是时空的纯几何效应，不同于电磁力（即不是一个可传播的自然力）。Flandern 则认为，应把引力重新当作一种可传播自然力，在平坦时空中具有可观察的、可由实验确定的速度——它是远大于光速的。Flandern 认为广义相对论对引力的弯曲时空解释，同中子干涉仪实验（研究引力对中子干涉的影响，是一种引力“A-B 效应”）是不一致的，经过对实验进行认真研究，可导出引力传播速度至少是 $2 \times 10^{10} c$ ；另外，他认为已有可确定力的传输速度的标准实验技术。如把其用到引力上，在测量上都将产生非常大的传输速度，实际上是超光速。这是因为引力（对比光）没有可检测的像差（光行差）或其作用的时延。

故 T. Flandern 得出结论说，引力场以非常高的速度传播，称为引力速度 v_c （the speed of

gravity）。用天体力学进行推导，可得到包含 v_c 的方程，这时即可参照已有的实验情况把 v_c 算出来。例如，以地球轨道为基础，参考 E. V. Pitjeva 于 1993 年发表的雷达测距数据^[32]，可算出 $v_c \geq 10^9 c$ 。又如，以脉冲双星 PSR 1534+12 为基础，可算出 $v_c \geq 2 \times 10^{10} c$ 。因此，引力的传播是超光速的，有关的实验证据已由 W. D. Walker 于 1997 年发表^[33]。

然而，2003 年 1 月 8 日法新社从美国华盛顿发出电讯说，Einstein 的理论（引力传播速度等于光速）已被两位科学家 S. Kopeikin 和 E. Fomalont 用实验证实。实验方法是对木星经过时发自一个类星体的光作测量。由于光受木星引力影响而偏转，造成它们到地球的时间稍有延迟。实验是设想以木星位置对星光的延迟作为测量引力速度的依据。他们使用了 10 架 25 m 射电望远镜（分布在加勒比地区到夏威夷）和 1 架 100 m 射电望远镜（在德国）进行测量，结果是引力速度相当于光速，误差在 20% 以内。实验者指出，他们的工作对“膜宇宙”理论是个打击。该理论认为引力能以超光速穿过额外的维度，而光只穿过普通宇宙，即主膜。以上情况被说成是于 2002 年 9 月 8 日使用美国的长基线阵列射电望远镜所取得的重要成果。但在两周内，在美国物理界、天文界即引发了严重的争议^[34]。Nature 和 Science 都报道说，科学家们认为实验的解释有致命的缺陷。纽约大学石溪分校的 P. van Nieuwenhuizen 一生致力于引力研究，他说“这完全没有意义”。圣路易华盛顿大学的 C. Will 持类似看法。另一位物理学家 K. Nordvedt 说：“实验很精采，但与引力速度无关”。另有人认为 Kopeikin 等观测的是引力场中的射电波速度，而不是引力的速度。

综上所述，对式（17）中的 k 值已有多个数据：20, 108, 10^9 , 2×10^{10} ；这些数据彼此相差很大。可以认为，引力传播速度问题至今未获解决。一方面，A. Einstein “存在引力波并且以光速传播”的理论尚未得到实验证明；另一方面，“引力以超光速传播”的论点同样也有待于实验的确证。这是新世纪中需要研究解决的一个重要课题。

6 关于量子纠缠态的作用速度

一个有趣的（但也是令人遗憾的）事实是，20 世纪 20 年代中后期由欧洲一些青年科学家发明量

子力学以后，作为早期量子论的提出者之一的 Einstein 始终拒绝承认该理论。吴大猷先生评论说：“狭义相对论与量子力学之间存在隔阂；……他（指 Einstein——笔者注）在年轻时创造并发展了相对论和量子论，但他的哲学在 20 年代晚期后有了改变”；又说：“量子力学是一种演绎的理论，它体现了很多 Einstein 早期的精神，但却不被 Einstein 所采纳了”^[35]。

量子理论的时空表述不符合狭义相对论的精神，Einstein 正是敏感到这一点所以才坚持不渝地反对量子力学。而且，SR 与 QM 的矛盾集中而典型地体现在 EPR 争论里^[36]。EPR 论文集中代表了 Einstein 对量子力学的不满和捍卫 SR 自然观的意图，想以此文痛击其要害。虽然 Bohr 起而反驳，但在很长时期里人们总觉得茫然，莫衷一是。1964—1965 年是一个转变期，因为在 J. Bell 的不等式发表后^[37]，人们觉得以实验检验 EPR 思维（或说检验量子力学）是可能的。

Bell 不等式的推导是以局域性实在论为前提的，和 EPR 论文是一致的。局域性（或说可分离性）是 SR 的基本原则，而 N. Bohr 早就在与 Einstein 的辩论中指出，可分离性在量子领域中并不成立。一个系统中的两个子系统，即使分开也不再是互不相干的独立的存在，这一点是 Einstein 不会接受的。不等式意味着局域实在性对相关程度的限制使相关位于某个区间，而 QM 对相关程度的预言却是严格的等式。最好用实验来检验，从 1972 年起物理学界就开始这样做了。

1982 年 A. Aspect 小组发表的实验^[38]，被认为是最典型和最重要的。它有两套相同的仪器，它们相距 15 m 远。由于 QM 预言，即使两套仪器相距甚远，它对光子对测量的结果之间仍有强相关。因此，获得相关性结果的本身就“否定了 Einstein 的可分离性的简单的世界图景”（这是 Aspect 于 1985 年对新闻记者说的话）。实测的结果，Bell 参数 $S = 0.101 \pm 0.020$ ，与 QM 计算结果（ $S = 0.112$ ）十分接近，而与 Bell 不等式的规定数据（ $-1 \leq S \leq 0$ ）相差很远。……自 Aspect 实验公布后，多数科学家认为量子力学的普遍有效性已获证明，Einstein 的局域实在性有问题，反映出他对量子力学非局域性相关缺乏认识。例如法国物理学家 B. d'Espagnat 评论说：“局域性实在论几乎肯定有错误”；“只能通过放弃 Einstein 可分性假设来解释对

Bell 不等式的违反”。

正是从 Aspect 等人的历史性实验开始，关于量子纠缠态（QES, quantum entangled state）的研究广泛开展起来，并进而创立了新的学科——量子信息学（QIT, quantum information technology）。纠缠态是量子态复合体系中常见的一种情况，除了具有量子态的一般性质（如相干性、不确定性等）之外，还有其独特的奇妙特性（如不可分性或相关性、非局域性等）^[39]。

在 Aspect 实验发表 20 a 后，即最近几年，有关的实验研究仍在进行，科学家们重申“围绕 Bell 不等式的实验研究很重要”。而且，实验时两个子系统之间的距离也扩大了很多。例如，1998 年《Phys. Rev. Lett.》杂志发表了 G. Weihs 等完成的实验，在空间距离 400 m 的条件下，用波长 702 nm 的双光子进行实验，结果也是违反不等式而完全支持 QM。又如，2005 年 6 月由 M. Buchanan 写的报道说，瑞士科学家 N. Gisin 等人在一个利用铺设在日内瓦湖底部的光缆的实验中，把纠缠光子对反向送出后，在 25 km 的距离上的测量显示，结果与不等式相反^[40]。此外，美国的 P. Kwiat 小组也有类似结果。结论是，自 Aspect 实验以来的 20 年中，实验显示量子理论完美无缺，故 SR 的推论（“不存在超光速现象与作用”）是不妥当的。一系列实验都违反 Bell 不等式的事实，使人们认识到“超光速信号可在粒子间传送”。

虽然量子纠缠态和量子信息学的研究近年来已有很大进展，人们却很少考虑其作用速度（speed of interaction）的问题。1984 年，K. Popper 认为“应当考虑存在超距作用的可能”，暗指 QES 可能以无限大速度传播。新的报告则说，实验已肯定证实纠缠态的影响（influence of entanglement）以超光速移动^[40]。2000 年，Gisin 小组进行了首例实验以确定超过光速多少。他们送出若干对的纠缠态光子，在瑞士的 2 个村庄（相距 10 km）之间，在约 5 ps 内完成测量，结果是量子理论的预言仍得以保持。根据他们的实验布置，计算出纠缠态影响的传播为 $10^7 c$ 以上，这是基于相对本地环境的测量。如考虑纠缠态影响相对于别的参考系（例如大爆炸后的微波余辉）会有一固定速度，Gisin 小组找出这个速度是 $10^4 c$ 以上。作为 QM 非局域性标志的 QES，其传播速度有了以实验为基础的计算值（ $v = 10^4 c \sim 10^7 c$ ），这是重要的事态发展，证明如果

不是超光速传播，就不可能是非局域的量子状态。

7 对超距作用的再思考^[41]

经典力学中关于引力起源问题的探索，引发出非接触物体间发生相互作用的机制问题。于是出现两种截然不同的观点；一是媒递作用（action through the medium），也称近距作用，认为相互作用是通过中介媒质以有限速度传递的；一是超距作用（action over a distance），认为相互作用是超越空间距离而瞬时间直接传递的，无需任何中间介质，因而速度也是没有任何限制的。

I. Newton 是主张超距作用的，到 C. A. Coulomb 和 A. Ampere 时代，这一观念向电磁学移植，从而得到加强。然而，后来由 M. Faraday 和 J. Maxwell 发展的理论确定了“电磁作用由场传递”的机制。电磁场理论是针对电磁作用而言的，并不涉及引力作用，因此，本该和引力理论各司其事，并行发展。但相对论的出现打破了二者并行不悖的局面。狭义相对论虽不涉及引力问题，但 Einstein 称光速 c 是一切物理作用和信息的传递速度之最高极限，不得违反，并将此“戒律”作为一条原则（常被称为光速极限原则或局域性原则），去判别一个物理事件或过程能否发生。广义相对论则是针对引力作用而建立的，它将场的概念绝对化，不仅断定引力也是由场（引力场）传递的，而且速度也是光速 c ，还预言有引力波。由于相对论在其他方面的成就和 Einstein 的名望，从此，场是一切物理作用的传播者的观念，成了现代物理中占统治地位的主导思想。而超距作用观被贬为大逆不道的邪说，渐渐地从物理学中淡出，几乎被遗忘了。

但难于理解的是，一个由真空的电磁特性常数 ϵ_0 和 μ_0 决定的电磁作用传递速度 $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$ ，为什么可以操控其他所有作用的传递快慢呢？难道繁杂的自然界真的都服服帖帖遵守光速极限原则而不存在任何形式的超距作用或超光速作用？

量子力学（QM）发展以后，其非局域性反映出来的超距作用再次引起物理界的讨论和重视。从 EPR 关联反映出，在一个双粒子体系中，存在测量一个粒子瞬时地影响另一粒子状态的现象，表明复合体系二部分之间，相距甚远也有超距的或超光速的影响或关联。这当然与局域性原则冲突。Aspect 小组的实验证实了空间远离的子系统之间的确存在瞬时的（起码是超光速的）相互影响或关联，正是

这种非局域的相互关联能引起对方运动状态的改变，所以是一种超距作用。超距作用有两种：a. $v = \infty$ （无限大作用速度），这时不要求媒介的存在；b. $v \neq \infty$ ，但 $v > c$ （超光速作用速度），这时或许要考虑媒介问题，在科学理论研究上尚为空白。前已述及，瑞士的 Gisin 小组测出量子纠缠态（QES）的作用速度为 $(10^4 \sim 10^7) c$ 。

其实，电磁现象领域也有非局域性存在。例如，静电场是跟随电荷一起运动的无旋场，不代表任何能量辐射。所以假设以瞬时方式传递静电相互作用，不会产生任何理论和实验上的困难，只是与 Einstein 的理论有矛盾。相反，若假设无旋的静电场也以光速传递的话，则有：a. 与无振荡事实冲突，b. Coulomb 定律不可能有那么高的精确度，c. 静电荷不可能有那么高的稳定性等三个困难。

电磁作用是通过场且以光速传递的，但是有些现象就无法用这种观点解释，例如 Aharonov-Bohm 效应。在这一现象中，有理由推断，电子受到的是超距作用。首先，实验说明电磁势的确能够传递电磁相互作用。现在的问题是：电子在有势无场区域内所受到的磁通 ϕ 的作用究竟是如何传递的？如果按照传统观点，场量 \mathbf{E} , \mathbf{B} 是基本量，在 $\mathbf{B} = 0$ 的无场区当然不能通过场来传递 ϕ 的作用。如果按照 A-B 的观点，势 \mathbf{A} , φ 具有比 \mathbf{E} , \mathbf{B} 更基本的意义、更能代表场，可以认为电子是通过势 \mathbf{A} 而感受到磁通 ϕ 的作用的。但是 \mathbf{A} 的贡献要涉及到回路所在的整个空间。那么整个回路空间到电子所在位置传递作用的速度怎么可能是同一个光速 c 呢？因此磁通对电子的作用是整体性的、非局域性的。可见两种解释殊途同归了。

根据以上分析， \mathbf{E} , \mathbf{B} 对电磁场的描述是局域性的，但 \mathbf{E} , \mathbf{B} 对场的描述并不完整，不能提供所有信息。电磁现象除局域性的而外还有非局域的，而 \mathbf{A} , φ 可以对电磁场的非局域性进行充分的描述。完整的电磁世界具有两种作用方式，缺一不可，二者是互补的，不是互斥的。

前已述及，引力作用的 Flandern 理论，表明引力作用是超光速的。除了引力的超光速传播，还有一种挠场理论^[42,43]；这是一种有关自然界的旋涡现象的理论。它认为广义相对论只考虑弯曲时空的曲率作用，没有考虑挠率的作用；只考虑物质的能量作用，没有考虑它的自旋作用。这种无挠时空的几何性质完全由度规张量确定，为了考虑物质的自旋

作用,需要引进挠率张量。可将各种场都看作是物理真空在不同极化条件下的表现。物理真空在电荷扰动下极化表现为电场,在质量扰动下极化表现为引力场,在自旋扰动下极化表现为挠场(torsion field,或自旋场 spin field)。挠场有许多奇特性质,比如它的传播速度极高, $v \geq 10^9 c$;在通过一般介质时无能量损失因而不可屏蔽;而且产生挠场的“荷”是同荷吸引,异荷排斥。按照这种理论,既有质量又能自旋的同荷天体间的引力,其传播速度是非常大的。

总之,电磁场是一种特殊的媒质,它不具有普遍性。自然界是丰富多彩的,它存在各种类型的作用,在形式上有力、势、关联或纠缠,在途径上有通过媒介的和直接超距的;在传递速度上有光速和超光速的。也就是说,自然界除光速媒递作还存在超光速媒递作用甚至超距作用。

8 结语

超光速研究是在自然科学的基本问题方面开展的,迄今为止已取得了许多进展^[44~46];并且,它已被越来越多的人所知晓,所关注。……那么,展望未来,它可能会怎样发展?文章的内容将为这个问题的回答提供参考。总的讲,超光速研究已走完了它初步的探路的过程,而进入了从理论上和实验上攻坚的阶段。这就需要多学科专家的参与,相信它有光明的未来!

参考文献

- [1] Rosenkranz Z. The Einstein Scrapbook [M]. Baltimore: The Johns Hopkins Univ Press, 1998, 2002. 李宏魁译. 镜头下的爱因斯坦[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2005
- [2] Magueijo J. Faster Than the Speed of Light [M]. Cambridge: Perseus Publishing, 2003. 郭兆林译. 比光速还快[M]. 台北: 大块文化出版公司, 2004
- [3] 陆启铿, 邹振隆, 郭汉英. 常曲率时空的相对性原理及其宇宙学意义[J]. 自然杂志 1980, (增刊): 97~113
- [4] Sabbata V, Ronchetti L. Some base for quantum gravity [A]. 第242次香山科学会议论文集[M]. 北京前沿科学研究所, 2004
- [5] Sabbata V, Gasperini M. Spontaneous symmetry breaking staring from the light velocity variability [J]. Lett al Nuovo Cimento, 1981, 31(9): 323~327
- [6] Barrow J D, Webb J K. Inconstant constants [J]. Scientific American, 2005, (June): 32~39
- [7] Brooks M. 13 things that don't make sense [J]. New Scientist, 2005, (Mar19): 30~37
- [8] Albrecht A, Magueijo J. Time varying speed of light as a solution to cosmological puzzles [J]. Phys Rev D, 1999, 59(4): 1~3
- [9] 刘瑞珉, 张钟华, 沈乃. 基本物理化学常数的CODATA最新推荐值[J]. 物理, 2000, 29(10): 602~609
- [10] Webb J K, Murphy M T, Flambaum V V, et al. Further evidence for cosmological evolution of the fine structure constant [J]. Phys Rev Lett, 2001, 87(9): 1~4
- [11] Barrow J D. The Constants of Nature [M]. London: Jonathan Cape, 2002. 陆 栋译. 大自然的常数[M]. 上海: 世纪出版集团, 2006
- [12] Davies P, Davies T M, Linweaver. Cosmology: black holes constrain varying constants nature [J]. 2002, 418: 602~603
- [13] Sandvik H B, Barrow J D, Magueijo J. A simple cosmology with a varying fine structure constant [J]. Phys Rev Lett, 2002, 88(1): 031~302
- [14] Webb J. Are the laws of nature changing with time? [J]. Phys World, 2003, 16(4): 33~38
- [15] 黄志洵. 究竟是谁在变——由精细结构常数变化引发的问题与挑战[J]. 科技导报, 2003, (6): 15~17
- [16] 艾小白. 演化的精细结构常数是宇宙连续加速膨胀的证据[J]. 北京广播学院学报(自然科学版), 2004, 11(增刊): 63~70
- [17] Lorentz H A. Electromagnetic phenomana in a system moving with any velocity less than that of light [J]. Konin Akad Weten (Amsterdan), 1904, 6: 809~831
- [18] Klenberger R, et al. Atomic transient recorde [J]. Nature, 2004, 427(6977): 817~821
- [19] 黄志洵. 狭义相对论研究中的若干问题[J]. 北京广播学院(自然科学版), 2003, 10(3): 1~12
- [20] Levine I N. Quantum Chemistry [M]. 宁世光, 等译. 量子化学, 北京: 人民教育出版社, 1980
- [21] Steinberg A M, Kwiat P G, Chiao R Y. Measurement of the single photon tunneling time [J]. Phys Rev Lett, 1993, 71(5): 708~711
- [22] 喀兴林. 谈谈量子力学中的算符[A]. 王文正, 等主编. 量子力学朝花夕拾(教与学篇)[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [23] 曾谨言. 量子力学导论(第二版)[M]. 北京: 北京大学出版社, 1998
- [24] Newton I. 自然哲学之数学原理[M]. 王克迪译. 西安: 陕西人民出版社, 2001

- [25] Einstein A. The Collected Papers of Albert Einstein (Vol. 3) [M]. Princeton: Princeton Univ Press, 1993. 戈革译, 爱因斯坦全集(第3卷)[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 2002
- [26] Einstein A. The Collected Papers of Albert Einstein (Vol. 4) [M]. Princeton: Princeton Univ. Press, 1995. 刘辽译. 爱因斯坦全集(第4卷)[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 2002
- [27] Einstein A. 论引力波[A]. 范岱年, 赵中立, 许良英译. 爱因斯坦文集[M]. 北京: 商务印书馆, 1983. 367~383
- [28] Laplace P. *Mechanique Celeste* [M]. Volumes Published From 1799—1825; English Translation; Chelsea Publ, New York, 1966
- [29] Eddington A E. *Space, time and gravitation* [M]. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1920
- [30] Flandern T. The speed of gravity; what the experiments say [J]. *Met Research Bulletin*, 1997, 6(4): 1~10
- [31] Flandern T. The speed of gravity; what the experiments say [J]. *Phys Lett*, 1998, A250: 1~11
- [32] Pitjeva E V. Experimental testing of relativity effects [J]. *Cel Mech & Dyn Astron*, 1993, 55: 313~321
- [33] Walker W D. Superluminal propagation speed of longitudinally oscillating electrical fields [A]. *Causality and Locality in Modern Physics and Astronomy* [M] New York: York Univ Press, 1997
- [34] 王丹红. 引力实验引发争议[N]. *科学时报*, 2003—01—24
- [35] 吴大猷. *物理学的历史和哲学*[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1997
- [36] Einstein A, Podolsky B, Rosen N. Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete [J]. *Physical Review*, 1935, 47: 777~780
- [37] Bell J S. On the Einstein — Podolsky — Rosen paradox [J]. *Physics*, 1964, 1: 195~200
- [38] Aspect A, Dalibard J, Roger G. Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm gedanken experiment, a new violation of Bell's inequality [J]. *Phys Rev Lett*, 1982, 49: 91~96
- [39] 耿天明. 量子纠缠的理论与实践[J]. *北京广播学院学报(自然科学版)*, 2004, 11(增刊) 40~50
- [40] Buchanan M. Double jeopardy [J]. *New Scientist*, 2005, June 18: 32~35
- [41] 耿天明. 对超距作用的再思考[A]. 第242次香山科学会议论文集[M]. 北京: 北京前沿科学研究所, 2004
- [42] Hehl F W. General relativity with spin and torsion: foundations and prospects [J]. *Rev Mod Phys*, 1976, (3): 393~395
- [43] Akimov A E. Torsion field and experimental manifestation [J]. *Jour of New Energy*, 1997, 1(2): 67~69
- [44] 黄志洵. 超光速研究——相对论、量子力学、电子学与信息理论的交汇点[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [45] 黄志洵. 超光速研究新进展[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002
- [46] 黄志洵. 超光速研究的理论与实验[M]. 北京: 科学出版社, 2005

Several Theoretical Problems in Faster-than-Light Research

Huang Zhixun¹, Geng Tianming²

(1. *Communication University of China, Beijing 100024, China;*

2. Capital Normal University, Beijing 100037, China)

[Abstract] In the early stage of the universe, during the hadronic era, the light velocity was larger than c , in fact was $v=75c$. This implies that light velocity has been decreasing in time slowly, from v down to the present value c . On the other hand, based on the measurements of 128 quasar absorption lines, the average increase in fine-structure constant α was 6×10^{-6} over the past 6~12 Ga. Scientists think it was aroused by the light-speed variation. It would be interesting to investigate if these facts have influenced the past history of the universe. This paper also discusses some problems of faster-than-light research profoundly, such as the velocity definition of the microscopic particles, the velocity of gravitation, the interaction speed of the quantum-entangle-state (QES), and the over distance action.

[Key words] variable light velocity; faster-than-light; velocity of microscopic particles; velocity of gravitation; interaction speed of the QES; over distance action