

如何面对“超光速 C 的实验”

How to Understand the Superluminal Light C Experiment

焦克芳

(军事医学科学院毒物药物研究所,研究员、博士生导师 北京 100850)

2000 年 7 月 20 日, Nature 杂志全文发表了王力军^[1]的“辅助增益超光速的光传播”研究论文。王力军等的超光速 c 实验涉及到经典波动力学、量子光学、量子化学、狭义相对论、微观过程的物理模型及其作用机理等重大理论问题和现代的实验方法、技巧。因此,不仅引起国内外的普遍关注,也引起了不少争论。王力军本人在回答记者时的某些说法也前后矛盾。目前,争论的内容是:实验的可重复性、是否违背因果关系、是否与狭义相对论有矛盾。笔者仔细研究了王力军等报道的原文,认为:王力军的实验是成功的;即使有一个光子被证明超过真空中的光速 c,也是狭义相对论不能允许的;尽管王力军实验结果与狭义相对论的矛盾无法回避,然而,所谓违背因果关系的评论是一种误解。

一、王力军等实验是否成功

为了了解事实真相,笔者通过因特网,获得了王力军发表在 Nature 上的原文,并将其全文翻译。王力军及其同事采用辅助增益、线性异常色散介质(铯原子气体)和量子光学技术方法证明了确实存在超光速传播的光脉冲。实验中,他们首先测定出该异常介质的群速度指数 $n_g = -310(\pm 5)$;激光脉冲在这种区域内的传播群速度不仅超过了真空中光速 c,并保持脉冲形状不变。

王力军的最后实验结果列在他们论文的 Fig. 4 中(见图 1)。图 1 中实线 A 为正常光脉冲,虚线 B 为增益后超光速 c 传播的光脉冲。由此,我们可以清楚地看到以下事实。(1) 脉冲全部宽度,以击发时间从零开始到信号全部消失的时间,大约为 8.5 微秒 ($8.5 \times 10^{-6} \text{s}$);全幅极大值一半处的宽度 (full-width at half-maximum, FWHM) 为 3.7 微秒,此处被定义为脉冲宽度和群速度的标识点。(2) A、B 两种光脉冲几乎同步出现在进口之后(击发 1 微秒之后)和几乎同步结束在出口之前(8.5 微秒之内)。这表明,超光速现象只发生在有条件的介质中。虽然光脉冲的群速度提前 62 纳秒 ($62 \times 10^{-9} \text{s}$) 到达出口,但是整

个脉冲图形并没有提前到零点以前,不存在违背因果关系问题。因此,某些新闻报道中所谓的“就好像它还没有进入气体池之前就离开了气体池”,是没有根据的。准确地说,在光脉冲还没有完全进入气体池之前,其前锋已经离开了气体池,彼光子非此光子(一个光脉冲中包含许多光子)。有的人评价王力军的实验时说:“依照王力军等人的结果,介质中的光脉冲将比它旁边的光脉冲提前 62 纳秒出现在介质的另一面(出口)。介质旁边的光信号以每秒 30 万公里的速度通过 6 厘米的路程只需要 0.2 纳秒。所以,介质中的光脉冲即便有无穷大的速度瞬时(即不花时间)通过 6 厘米的路程,也只能比介质旁边的光脉冲速度早到 0.2 纳秒”。笔者认为,这是把群速度与信号速度混淆了。群速度是一个完整光脉冲中所包含的许多光子的平均速度,是一种宏观现象。而信号速度则是脉冲前锋速度,等于第一个光子的速度;或者说,0.2 纳秒是一个光子以光速 c 通过 6 厘米气体池所花费的时间,脉冲宽度 3.7 微秒的光脉冲通过 6 厘米气体池的时间是 3700.2 纳秒 (3.7 微秒 + 0.2 纳秒),而不是 0.2 纳秒。把群速度与信号速度混为一谈,或者说,把单个光子与整个光脉冲混为一谈,所作出的“62 纳秒的提前量可能是系统误差”的猜测及其推论都不符合实验事实。

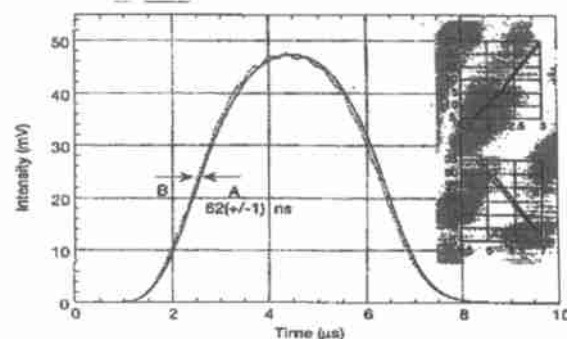


图 1 王力军实验的最后结果

(横坐标为激光脉冲宽度,单位为微秒(μs);
纵坐标为激光脉冲强度,用毫伏(mV)表示)
王力军等在实验中采用了偏共振(off-reso-

nance) 技术。偏共振技术在核磁共振谱研究中属于成熟的实验方法, ^1H (质子)、 ^{13}C NMR(核磁共振)谱可以区分 $1/100$ 万的化学位移差别,关键在于采用相对参考标准,所以 ^1H 、 ^{13}C NMR 谱才能够成为鉴定有机分子结构的常规方法。在王力军的实验中,采用正常光脉冲与超光速传播光脉冲的平行对照的记录方法,其结果准确可信。提前 62 纳秒的实验误差是 ± 1 纳秒,这在王力军论文中写得很清楚,62 纳秒与 3.7 微秒的比值(1.67%),大于 $1/100$,因此,其可信性不会亚于 ^1H 、 ^{13}C NMR 谱。

为什么需要采用偏共振技术,而不能用共振线?

实验事实表明,在吸收的共振线,脉冲往往严重失真,只有偏共振才既可获得超光速,而又保持脉冲形状不变。理论解释如下。

从化学观点来分析王力军的实验,超光速现象不难理解。铯原子的最外层只有 1 个 6S 电子,由于电子的自旋耦合作用,固体铯中的 6S 电子以反自旋、两极耦合($\uparrow\downarrow$)形式生成离域(non-local)的金属键,所以金属铯无宏观磁性,并且具有良好的导电性。在通常铯原子气体中,并不存在孤立的单个铯原子(Laman 吸收和散射不支持孤立铯原子存在),而是形成双原子分子,即,两个自旋相反、两极耦合的 6S 电子围绕两个铯原子核运动,形成类似氢原子的最外层电子结构,这也是第一主族元素容易汽化的原因。在正常情况,这种原子气体是所谓的正常色散介质。但是,在外磁场中,正如王力军实验是在外磁场诱导下进行的那样,两个 6S 电子分别为 $6S_{1/2}(|1\rangle)$ (与外磁场方向一致)、 $6S_{-1/2}(|2\rangle)$ (与外磁场方向相反),其中, $6S_{1/2}$ 属于能量低的基态(相对外加磁场来说), $6S_{-1/2}$ 属于能量高的基态。如果有合适能量提供(例如激光脉冲),将会引起 $6S_{-1/2}$ 向 $6S_{1/2}$ 跃迁,使低能态电子数增多,把某些反自旋耦合的双原子分子变成一种顺自旋、线性耦合($\rightarrow\rightarrow$,单极相互作用)的亚稳体系,形成反成键的定域轨道(local orbital)。这是一种激发态,在王力军文章中,用 $6P_{3/2}$ 或 $6P_{1/2}(|0\rangle)$ 表示,这种顺自旋、线性耦合体系是有磁性的,其所形成的局部磁场是一种挠场。铯原子池内的磁性大小与处于激发态的铯原子数量成正比。对于铯原子来说,反自旋耦合的成键态属于低能态,顺自旋耦合的反成键态属于高能态(激发态),二者同时存在的条件是与外界发生能量交换,维持一种动态平衡。如果没有外界能量交换,只能存在一种稳定的成键态。成键的低能态没有宏观磁性,是正常色散介质。对于顺自旋耦合的反成键态来说,能量升高,轨道半径增大,核外电子与原子核处于若即若离的状态,类似于等离子体。在这种磁性等离子体周围存在的磁挠场,将诱导圆偏振光转变为线性耦合(干涉)的偏振光

($\rightarrow\rightarrow$),从而使亮度增加、速度加快。亮度增加和速度加快都需要有一个过程,并且是同步的。很显然,亮度增加和速度加快都与激发态的原子数目成正比。如果提供增益的激光脉冲或传输的光脉冲能量达到或超过吸收线(共振线),它们将被核外电子吸收,引起电子解离、飞出原子池,铯原子池内的激发态原子数减少或消失,局部磁场也随之减弱或消失。如果最外层电子全部解离,磁性等离子体全部消失,只剩下带正电的原子核,热运动加快,对光子的作用与其它物质一样,又变回正常色散介质,这就是共振线使光脉冲被吸收或使光脉冲传播失真的原因。在王力军的实验条件下,想全部制备成 $6P_{3/2}$ 或 $6P_{1/2}(|0\rangle)$ 态是困难的。王力军实验成功的关键是维持激发态的铯原子不消失,通过应用偏共振的技术方法,保持磁性等离子体的动态过程连续存在。所谓偏共振就是采用比吸收线偏低一些能量的激光增益线和脉冲传输线,既维持铯原子激发态连续存在,又不引起核外电子解离。这需要耐心地进行选择性地调试,是一种巧妙的实验技术。如果采用远偏振(far off-resonance)也不产生加速作用,其原因在于远偏振提供的能量不足,不能形成顺自旋、线性耦合的反成键激发态,只能引起成键电子的局部热运动,属于正常色散介质。

从王力军的文章中还使我们了解到其他人在“异常介质”中研究光传播的近况。光在不同介质中的传播速度是不同的,既可以减低至每秒几米的速度(见王力军的参考文献 23~25),也可以被加速到很大。可见,光与其它具有波性的物质一样都遵循共同的波动规律:在不同介质中传播速度不同,既可以加速,也可以减速。光与其它波性物质没有本质上差异,它们遵循自己的固有运动法则,不为人们的意志所改变。所谓异常介质、异常现象等等,都是人们主观认识的异常,不是客观规律异常;需要改变的是人们的主观认识,而不是客观法则。

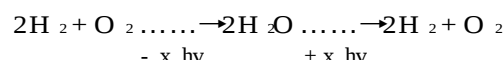
二、因果律与光速的关系

说超光速会引起因果关系颠倒,是爱因斯坦年轻时的科学猜想^[2],后来,他提出了质/速、质/能关系式(或者说洛伦兹变换关系式)进行定量描述。最初,这是一种假说,现在被多数科学家承认为真理或公设。光速不变原理的依据^[3]是迈克尔逊—莫雷的实验结果。90 多年前,在众多人都迷惑不解的情况下,爱因斯坦能够提出理论解释、指点迷津,很了不起。现在来看,迈克尔逊—莫雷的实验结果也可以有别的解释。我们认为他们的实验结果同时证明了两件事:“星系无真空,寰宇无以太”^[4]。也就是说地球和太阳之间不存在绝对静止的以太,而存在一种连续介质——伴随着地球和太阳一起运动的电磁场。波(包括光波)在同一个连续介质中的传播速

度不变是物理学常识。可见,光速不变是有条件的。同理,超光速也是有条件的(如果王力军等实验证明被其他人证明,也只能在类似条件下)。在相同条件下发生的事件,因果关系不会改变。在地球上谈论的真空是相对分子、原子来说的。无论什么样的仪器都由分子层次的物质组成,小于氢原子的微观粒子自然是气态,必然具有波性(流体都具有波性也是物理常识),有些非常小的微观粒子可以穿越任何真空设备,包括迈克尔逊—莫雷的实验设备。即,真空内外存在同一个连续电磁场。

因果律既有绝对性,也有相对性。

因果关系是运动物质相互作用的客观表现。既然说物质运动是相对性的,因果关系必然也有相对性。其实,力和物质运动就是互为因果的关系,力可以使相对静止的物体运动,运动物体也可以表现为力而对其它物体产生作用。在牛顿力学方程中,这种互为因果的关系非常清楚。从化学角度来看,大部分化学反应都是可逆的,化学反应的因果关系取决于反应条件,原料或产品可以相互转化。例如:



反应式中, $| -x \cdot h\nu | = | +x \cdot h\nu |$, 其中 - 表示放出光子,属于放热反应; + 表示吸收光子,属于吸热反应,两个化学反应所涉及的光子速度相同,因果关系却相反。上述反应也可以不通过光子途径实现,所以因果律与光速大小没有必然关系。

因果律的绝对性来源于物质运动的绝对性,对于某个具体过程来说,例如,在确定的化学反应条件下,原料和产品都是确定的,其因果关系就是绝对的。狭义相对论不承认物质运动的绝对性。爱因斯坦说:“‘相对性原理’在其广泛的意义上是包含在如下的陈述里:全部物理现象都具有这样的特征,即它们不为‘绝对运动’概念的引进提供任何根据;或者用比较简短但不那么精确的话来说:没有绝对运动”^[5]。由此可见,在因果关系问题上,狭义相对论本身就前后矛盾。否认物质运动的绝对性不符合现代观察到的宇宙事实:地球围绕太阳转、太阳围绕银河系转、银河系在宇宙中漂浮。这些事实都表明,物质运动是绝对的、静止是相对的,物质运动的相对性是有条件的。

眼睛和耳朵都是人的感觉器官,它们与普通机

(上接第 23 页)

民用价值,发生了直接的部门间的技术溢出效益。

技术创新扩散从宏观上讲,对促进社会、经济、文化的协调发展起着重要的作用;从微观上看,有利于提高产品的科技含量,降低经营风险,增强企业的竞争力,推动高新技术产业的形成。从市场角度研究技术创新扩散,适应了企业营销环境的变化。在市场经济条件下,市场因素对企业间技术创

械仪器没有本质差别。感官和机械仪器的适用范围都是有限的。耳朵听见的是声音,声音在空气中的传播速度是 343 米/秒。现在,不仅枪弹的速度超过了声速,某些飞机也已经超过了声速,这些事实既没有引起因果关系颠倒,也没有引起听觉混乱。眼睛所能看见的仅仅是可见光,还有许多看不见的光,例如,红外光、紫外光都看不见。光是物质相互作用的一瞬间所释放出来的部分微观粒子,是一些特定范围的电磁波(微观粒子都有波粒二象性)。不论光子运动速度多大,也不论传播到那里,都只是反映原来物质相互作用过程的影像,即使乘坐速度远远大于光速的飞船追赶时间历史,眼睛或仪器所观察到的,也只能是历史遗像,怎么可能改变原来事件的因果关系?因此,事件发生的因果关系与光子传播速度无关。科学家既用眼睛和耳朵(包括机械仪器的辅助),也用思维观察世界。狭义相对论是相对性真理,相对性真理必然有它的适用范围。20 世纪 70 年代以后,在修正广义相对论中,发展了规范场理论和挠场理论,推动了广义相对论向前进。根据挠场理论,或者说,根据发展了的广义相对论,超光速不仅是允许的,而且可能很大^[6](取决于条件)。

超光速实验研究已经有多次报道,我国也有专著出版^[7],并开过两次学术讨论会。超光速研究不仅具有重大理论意义,也有潜在的经济、军事意义,我们不能等到高潮迭起的时候再跟着跑。

参考文献

- [1] L.J. WANG, A. KUZMICH & A. DOGARIU, Gain - assisted superluminal light propagation. Nature, 406(2000): 277 - 279
- [2] 许良英,李宝恒,赵中立,范岱年编译. 爱因斯坦文集(一). 商务印书馆,1977,24
- [3] 范岱年,赵中立,许良英编译. 爱因斯坦文集(二). 商务印书馆,1977,155
- [4] 焦克芳,焦昕秋. 宏微遐想. 青春诗歌,2000(1),01
- [5] 许良英,李宝恒,赵中立,范岱年编译. 爱因斯坦文集(一),商务印书馆,1977,455
- [6] 雷锦志,江兴流等. 电化学异常现象与挠场理论. 科技导报,2000(6)
- [7] 黄志洵. 超光速研究. 科学出版社,1999

(责任编辑 蔡德诚)

新扩散的影响较历史上任何时候都更强烈。因此,改善市场环境、抑制市场因素的消极影响,有利于技术创新的扩散,有利于企业间高新技术的交流。

参考文献

- [1] 李平. 技术扩散理论及实证研究. 山西经济出版社, 1999
 - [2] 夏国藩编著. 技术创新与技术转移. 航空工业出版社,1993
- (责任编辑 孙立明)