

与你分享我初步理解

相对论的激动

李早东



相对论“尺缩钟慢、质量增加”的说法困扰了我这个业余物理学爱好者好长时间，现在可以说我明白了。或者，更确切地说，相对于过去明白了。我的这一进步，得益于看了霍金教授的《时间简史》。要理解相对论，首先得抛弃或更新我们的一些观念，这些观念在我们脑海里根深蒂固，好像是无可怀疑的常识，其实是错误的或不太正确的东西。

1. 以太的观念要抛弃 19 世纪，科学家们认识到光是一种波。而波的传播需要媒介，正如水是水波的媒介一样，科学家们猜想必有一种物质是光波传播的媒介，这种物质被叫做以太。以太被想象成是由某种未知的、在空间中连续的、非原子形式的物质构成的。因为光可传播到任何地方，所以以太也无处不在。如此，以太不仅是光波传播的媒介，同时也被视为“绝对静止”的基准（因为它充满了整个宇宙）、考察一切物体运动的“绝对参照系”。光相对于以太的速度是个唯一固定的常数，穿过以太运动的观察者应当测量到光不同于常数的各种相对速度：逆光而行者，光速显快，顺光而行者，光速显慢。

为了验证这个猜想，1887 年迈克耳逊和莫雷做了一个精密实验，测量地球相对于以太的运动和不同方向来光对观察者的速度变化，结果与人们预期的相反，地球与以太之间没有相对运动，各方向光束对于观察者的速度也无差异。于是人们开始怀疑以太的存在。但由于受传统力学的影响，以太似幽灵般地影响着科学家的思维。他们绞尽脑汁，提出了一个个假设，敷衍迈克耳逊-莫雷实验结果，维护以太存在的合理性。其中，“长度收缩”假说达到了巅峰。该假说由菲茨杰拉德提出，认为之所以没能测出光速的变化，是因为物体（在此，是测光速的仪器本身）在沿运动方向上发生了动力学的、机械性的收缩，物体运动得越快，收缩得越厉害，收缩的长度恰好抵消了因光速变化所产生的距离差。洛伦兹又用“坐标系变换”来佐证“长度收缩”假说，庞加莱则用相对性原理解释实验结果，并完成了“洛

伦兹变换”的数学表达。所有这些，都建立在经典的速度合成法则之上，出发点都是“光速是变化的”，结论是“以太”是存在的。

爱因斯坦独辟蹊径，提出了相对性假说和光速不变假说。前者说物理定律对所有惯性参考系中的观察者是相同的，后者说光在真空中的速率沿各个方向在所有惯性参考系中具有相同的值。根据这两个假说，1905 年他创立了狭义相对论。爱因斯坦认为，不是运动物体长度的“机械式收缩”抵消了光速变化所带来的距离差，而是因为光速不变导致了运动物体长度的“相对性收缩”。多么新奇的思维，多么独到的见解！抛弃了以太观念，砸碎了以太桎梏，物理学天空云开雾散。现在人们认识到电磁场本身就是物质存在的一种形式，而光是一种能量对电磁场的扰动，这个扰动通过电磁场以量子化的、波的形式传播。根本没有以太，也不需要以太，设想以太是多余的。

2. 时间和空间彼此分离、相互独立的观念要更新 过去我们认为，时间是时间，空间是空间，两者没有联系。时间从过去到现在再到未来，直来直去，60 秒是 1 分，60 分是 1 小时，24 小时是 1 天；空间是三维的，即上下、左右、前后，或者经度、纬度和海拔高度。描述一个点在空间中的位置，用 3 个数据足矣，即空间直角坐标系的 x , y , z 。现在设这个点是一只蚊子，则用三维来描述就不够完美，而用四维就好多了，这第四维就是时间 t ，即蚊子飞行的轨迹。这样，时间和空间就纠缠在一起了。霍金教授举了一个向池塘里扔石头的例子，水面上一圈一圈散开的涟漪时空图，使我茅塞顿开，时间作为第四维一目了然！

3. 光的传播需要时间，这一点不常在人们的意识之中 也难怪，真空中光的速度是每秒 30 万千米（近似值，下文将以字母 c 代表之），与我们人类活动相比，它是如此之快，以致人们反应不及、意识不到它在飞行。例如，太阳光到达地球，就需要 8

分钟的时间。这是根据太阳与地球之间的距离除以光的速度得出的。我在向身边的人介绍这一知识时，经常看到他们一脸茫然。我说，我们看到的星星，其实不是此刻的星星。它们有的是几年以前、有的是几百年以前的星星，因为它们离我们太远了，发出的光需几年或几百年才到达我们这里。换句话说，它们此刻发的光，得等几年或几百年，我们才能看见。只听有人“哼——”的连声嗤笑，跟我比较熟的朋友甚至说我“迂”了。

4. 真空中，光沿各个方向在所有惯性参考系中具有相同的速度，且是极限速度，这一点你得接受所谓参考系，就是为确定物体的位置或描述其运动而被选作标准的另一物体体系。而惯性参考系是说，这个物体体系不加速，它与被描述物体之间只能彼此相对以恒定速度直线运动，使得牛顿运动定律在其中能够严格地成立。我们习惯于这样一个事实，一列火车以每小时 40 千米的均匀速度从你身边驶过，乘在车上的我又以每小时 10 千米的均匀速度在车厢里向车头方向跑去，在列车上的其他旅客（以匀速直线运动的列车为参考系）看来，我的速度是每小时 10 千米，而对于站在月台上的你（以静止——相对于地球——的路基为参考系）看来，我的速度是每小时 50 千米，即火车的速度与我奔跑的速度之和，这种直截了当的、相当直观的相对性史上称为“伽利略相对性”。

然而，对于高速运动的“光”就不是这样了。设一列爱因斯坦号列车以恒定速度 u （注意，这个 u 相当大，设它是每秒 24 万千米吧，下文的 u 值同此）高速行驶，在车尾部有一光源向车头部射去，那么，光的速度不论在谁看来（车上的我或者是站在月台上的你），都是每秒 30 万千米，再说一遍，即使是你看它也不是每秒 54 万千米（即不是 24 万+30 万之和）！无论发光的光源如何运动，光的速度永远是不变的，且是极限速度。这明显地与伽利略相对论矛盾，却被实验证实。狭义相对论解决了这一矛盾。我们必须努力改变自己的经验常识，接受这一现实，这是理解相对论的关键！那么，怎么理解呢？因为光是随着一列每秒 24 万千米的火车在行驶，因此，它的（也可以说是我的，我也在车上呢）1 秒钟，在你看来（再确认一遍，你站在月台上）就不是 1 秒钟，而是多于 1 秒钟（即运动中的时间延缓，钟变慢），它的 30 万千米的行程，在你看来就不是

30 万千米，而是少于 30 万千米（即运动中的长度收缩，尺变短）。也就是说，狭义相对论否定了时间的绝对性和空间的绝对性，时间和空间成了速度的函数。亲爱的读者，如果你现在还有些困惑的话，请暂时把它搁置起来，继续往下看，看完了下面的内容，也许你会恍然大悟：原来如此！

5. 时间的相对性 过去我们对两个事件（事件即发生的事情）同时发生的描述通常是不准确的。如：飞机 10 点钟到烟台和火车 10 点钟在北京发车，我们认为飞机到达烟台和火车离开北京是同时发生的，这不精准。其实它们不是同时发生的。

飞机 10 点到烟台，说得是飞机到烟台与烟台机场的时钟 10 点，是同时发生的。火车 10 点从北京出发，说得是火车从北京出发与北京火车站那里的时钟 10 点是同时发生的。然而，烟台机场的钟 10 点与北京火车站的钟 10 点，并不是同时发生的。设你在烟台对钟，当北京钟 10 点的信息传到烟台，立即将烟台钟调到 10 点，此时，北京钟已经 10 点多啦。因为信息（哪怕是光信息）传到烟台需要时间，所以烟台的钟滞后（显然，这里滞后的量被夸大了，请别怪我过于拘泥和较真）。

所以说，同时性是相对的。假设你看到两个独立的事件（“红”事件和“蓝”事件）同时发生。那么以恒定速度 u 相对于你侧向运动的我，也看这两个事件就不是同时发生的。你看到红、蓝事件是同时发生的，是因为你到红事件的距离与到蓝事件的距离相等，两事件发生的信息传到你眼里所用的时间一样。而我是以速度 u 相对于你在侧向运动着，必然产生位移，我到红、蓝两事件的距离就不相等了，因此，我接收到它们发生的信息所用的时间就不相等，感觉也就不是同时发生的。

不能说你看到的是对的，我看到的是错的，我们看到的都正确。套用霍金教授的话说“没有理由以为一个人的立场比别人的更优越”。这有点类似于俗语“公说公有理，婆说婆有理”，其实两个都有理，因他俩的立场（相当于参考系）不同。所以说，同时性不是一个绝对的而是一个相对的概念，决定于观察者的运动。如果两个观察者相对运动的速度比光的速度小得多，则测得的“不同时”的差值就非常小以致感觉不到。这就是在日常生活中所有我们经历的情形，也就是为什么我们不熟悉同时性的相对性的原因。我再说一遍，同时性是相对的，

是相对于光速而言，观察者运动的速度小得多得多时发生的，故是相对的。

6. 钟慢 一台相对于你是静止的钟表，你看见秒针在有规律有节奏地转动。当这台钟表高速离你而飞，你会感觉秒针的转动变慢了。为什么呢？在明白了前面的一些概念之后，就很容易理解了。你感觉到秒针转动，是通过眼睛，而眼睛是接收到了秒针转动的信息，这个信息是以光（即秒针反射的太阳光，或别的什么光）的形式传给眼睛的。当它以 u 的速度离你而飞，它到你眼睛的距离变长，秒针反射的光信息就需要一段时间（这段时间 t ，比钟表相对于你静止时，秒针反射光信息到你眼睛所需的时间 t_0 要长）才能传到你的眼睛。因而，你感觉到（再次强调是你的感觉），运动着的钟表时间 1 秒钟，比静止的要长，即时钟变慢。由狭义相对论时间延缓公式 $t=t_0/[1-(u/c)^2]^{1/2}$ 计算得知，此时约 1.67 秒。假设，钟表飞行速度达到光速（实际上是不可能的！后面将分析原因），则时间停止。可不停止呗，秒针反射光信息到你眼睛的速度，与钟表离你而飞的速度正好抵消，你永远接收不到它转动的信息了，你的感觉不再是时钟变慢，而是停止啦！亲爱的读者，让我们感叹爱因斯坦伟大吧！

7. 尺缩 测量一个物体的长度，如果物体相对于你是静止的（即以你为参考系，物体是静止的），这比较好办。你可以看看物体的首部在你这个参考系中的位置（设你站在参考系坐标的原点，物体沿 x 轴方向放在 x 轴上，首部距你 200 米），再看看物体的尾部在你这个参考系中的位置（设尾部距你 150 米），则这个物体的长度 $L_0=200-150=50$ 米。你甚至可以从容地拿着米尺从头到尾量一量。但，如果物体相对于你是高速运动的（设运动方向沿 x 轴，速度是 u ），则同时测量物体的首部、尾部离你的距离就不可能，因为同时性是相对的（前面已经讨论过）。当你读出首部离你的距离数 x_1 后，再去读尾部离你的距离数 x_2 ，无论你怎么敏捷麻利，物体都沿着 x 方向以 u 的速度向前运动了一段距离。因此，这时物体的长度 $L=x_1-x_2<50$ 米！由狭义相对论长度缩短公式 $L=L_0[1-(u/c)^2]^{1/2}$ 计算得知，此时长度为 30 米。

8. 空间的相对性 小心！长度收缩只发生在相对运动的方向上。一个运动物体“实际上”收缩

了吗？“实际上”这个词是建立在观察和测量的基础上的，更准确的说，物体是“实际上测量得”收缩了——运动影响了测量，因而“实际”。假设我和物体一起运动，则在我看来，物体并没有收缩，并且“实际上”没收缩，因为物体相对于我是静止的。而对于你，物体是运动的，并且是以每秒 24 万千米的速度运动，你先确定了物体的前端的位置，而后，稍微晚一些，才确定了它的后端的位置。这就是为什么你测得了一个物体比固有长度短的原因。表观上，长度缩短发生在高速运动的物体或米尺上，实际上是空间本身在缩短，因为空间是由米尺定义的。所以对不同的观察者，空间是不同的，也就是说空间是相对的。

在匀速行驶的列车上，我从车厢窗口松手丢下一块石头，让其自由下落到路基上。如果不计空气阻力的影响，我看石头是沿直线落下的。而对于站在铁路旁的你，则看到石头是沿抛物线落下的。那么，石头所经过的轨迹到底是一条直线，还是一条抛物线呢？我们说直线也好，抛物线也罢，都是相对的。以车厢为参考系，石头走了一条直线；以路基为参考系，石头走了一条抛物线。由此可见，没有独立存在的轨线，只有相对于特定的参考物体的轨线。我们描述物体在空间的位置或行为，总是以别的某种物体为参考。例如，问二楼在你的上方还是下方，这首先要看你站在哪里。你在一楼时，二楼在你的上方，你在三楼时，二楼在你的下方。而对于恰巧在二楼的我，它既不在我的上方，也不在我的下方。我们都有这样的体验：火车平稳地离开车站时，蓦然窗外，站台徐徐后移，半天才回过神来，原来是火车开动了。实际上，我们在这瞬间前后的两种感觉都是对的。前者，我们以车为参考系看站台，站台在动；后者，我们以站台为参考系看车，车在动。嘿嘿！

9. 质量增加 在我们的常识中，只认为物体的重量是相对的，而质量不是。因为重量是描述物体受到引力的大小。就某一指定物体来说，其重量随着距大质量物体的远近和大质量物体自身的质量大小而发生变化。一个耳熟能详的例子是，奥运会女子比赛用的铅球在地球上重量 49 牛顿，在月球上只有 8 牛顿，因月球的质量仅是地球的 1.23%。而质量是描述物体内物质的多少，它在数值上等于物体所受到的力与获得的加速度的比值。受到的力大，

获得的加速度也大，受到的力小，获得的加速度也小，其比值不变。还是刚才那个铅球，其质量在地球上为 5 千克，在月球上也是 5 千克。因为它在地球表面获得的加速度是 9.8 米/秒²，而在月球表面获得的加速度是 1.6 米/秒²。49 牛顿 ÷ 9.8 米/秒² = 5 牛顿 ÷ 1.6 米/秒² = 5 千克。因此，就某一指定物体而言，其质量大小是个常数。然而，对于高速运动的物体，其质量就不是个常数了，它将随着运动速度的提高而增加，且越接近光速，增加的越显著，这就是相对论的质量增加效应。经典公式 $m_0 = F/a$ (m_0 代表物体的固有质量，单位是千克； F 代表物体受到的力，单位是牛顿； a 代表物体运动的加速度，单位是米/秒²) 是在低速度状态下，描述物体运动与质量关系的一个近似公式，但可搭桥帮助我们理解高速运动状态下物体质量增加的原理。其中分母——加速度—— $a = m/s^2$ (此式中 m 代表长度，单位是米； s 代表时间，单位是秒)，当物体高速运动时，长度收缩，分子 m 变小；而时间延缓，分母 s 变大，且按平方幂变大，这样，其比值——加速度—— a 就越发小了。与此同时， m_0 趋于增大，这时由狭义相对论的质量增加效应公式 $M = m_0 / [1 - (u/c)^2]^{1/2}$ 取而代之 (M 代表物体高速运动时的质量，单位是千克)。设刚才那个铅球的运动速度是 u ，则带入上式计算后得知，其质量增至 8.3 千克。不难看出，在相对论中，质量不再意味着物体内物质的多少，而是物体的惯性的大小。

在这里，我们把话题扯得远一点，说说质能关系。物质是能量存在的一种形式，这在我们日常生活中就能体会得到。例如，我们劳动需要力气，力气就是能量，力气从吃的饭中来，饭就是物质，饭转换成力气，就是物质转换成能量。用煤发电，是

再直观不过的质能转换了。不过，这些物质转换的都是化学能，是物质所含能量的皮毛，真正的、大量的能是原子核里的能——核能！也就是著名的爱因斯坦质能相当公式 $E = mc^2$ (E 代表能量，单位是焦耳； m 在此式中代表物质的质量，单位是千克； c 代表光速，在此式中单位是米/秒，其值近似为 3 亿) 所描述的能，从公式可知，它是质量的近 9 亿亿倍呀！经计算，1 克物质相当的能量是 8.987×10^{13} 焦耳。你每天只要从吃下的饭当中得到 2500 千卡的化学能量，就可以生活得很舒服了。如果你能利用 1 克饭中所代表的所有的能的话，就有了一个够你维持生活 23517.8 年的能源。或者，如果 1 克物质所蕴含的能量能够完全变成电能，那么，它可以供一盏 100 瓦的电灯连续点燃 28504.5 年。这就是原子弹虽小，但爆炸时会释放出那么巨大的能量，造成那么巨大的破坏作用的原因。

10. 光速是极限速度 好，现在把话题再回到质量增加上来。看过上文我们知道，如果物体高速运动，其质量相对于静止时增加。而且运动速度越高，质量增加得越显著。然而，物体运动的速度只能无限地接近光速，却不能达到光速。因为，如果设想物体运动速度达到光速，即 $u = c$ ，则公式 $M = m_0 / [1 - (u/c)^2]^{1/2} = m_0 / 0^{1/2}$ ，失去了物理意义。或者，从公式的变化式 $u^2 = c^2 - (m_0 c / M)^2$ 中更容易看出，即使物体的运动质量 M 增至无穷大， $(m_0 c / M)$ 项也只是变为无穷小，不可能为 0，因此， u 永远小于 c ，即物体运动的速度不可能达到光速，这会儿你明白了为什么光速是极限速度了吧？

(山东省烟台市农业技术推广中心 264001)

本文获“我心目中的现代物理”征文优秀奖

科苑快讯

摩洛哥发现大象的最早祖先

大象是唯一生存至今的长鼻目动物。法国巴黎国立自然历史博物馆 (National Museum of Natural History) 的盖尔布朗 (Emmanuel Gheerbrant) 对摩洛哥一个盆地最近发现的一些化石碎片研究分析后认为，这是生活于 6550 万~5500 万年前古新世时期、长鼻目迄今已知最古老的动物，估计其长约 50~60 厘米、重约 4~5 千克，相关论文已发表于 6 月 22 日的美国《国家科学研究院学报》(Proceedings of the National

Academy of Sciences)。

虽然它并不像大象，更没有长鼻子；但是盖尔布朗说，其门齿已初具象牙雏形，而长鼻子则最早见于渐新世 (Oligocene) 初期 (距今约 3370 万~2380 万年前) 的象形兽 (elephantiform)。

新发现的化石扩充了长鼻目的记录，将其出现时间提前到晚古新世 (Late Paleocene)，距今约 6000 万年前。以前在同一地区也曾发现大象的古老祖先，但要比最近发现的晚 550 万年。

(高凌云编译自雅虎网 2009 年 6 月 22 日科学新闻)