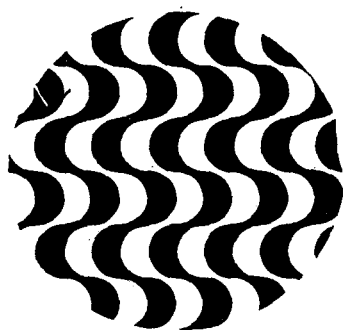


神奇的物质世界





《知识就是力量》丛书

神奇的物质世界

科学普及出版社

内 容 提 要

本书系“知识就是力量”丛书，以翔实的科学发展足迹展示了人类对于物体这一科学概念的认识过程，从抽象的理论到细致入微的科学实验都有精辟的介绍，如物质世界反映出来的磁、光、核等物理及化学现象，以及这些现象对于人类生存的重大意义。

(京)新登字 026 号

**《知识就是力量》丛书
神奇的物质世界**

责任编辑：赵尉杰 吉佳玲

封面设计：石尚仪

技术设计：范小芳

*

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路 32 号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：7 字数：170 千字

1991 年 5 月第 1 版 1992 年 3 月第 2 次印刷

印数：10,001—20,000 册 定价：3.95 元

ISBN7-110-01874-1/N·45

目 录

一、打破常规

爱因斯坦预言的奇妙世界	(2)
相对论质疑	(15)
伽利略实验受到挑战	(18)

二、漫游微观世界

不可思议的微观世界	(25)
最初的探索	(42)
在理论家的预言下	(51)

三、基本粒子研究

基本粒子大家庭	(60)
“基本”粒子并不基本	(69)
中微子研究的杰出成就	(76)
能探测宇宙奥秘的巨型核粒子加速器	(84)
一种新型的核粒子碰撞机	(86)
寻找 W_s 和 Z_s	(88)

四、大统一理论

支配宇宙的力能够统一吗	(94)
宇宙间的力	(97)

发现 W 粒子之后	(104)
五、物质是什么	
物质是怎样工作的	(111)
物质七态	(115)
超临界流	(127)
奇怪的液氦-4 超流	(131)
原子的运动会停止吗	(137)
六、奇特的超导现象	
超导体漫谈	(142)
揭开超导电现象工业应用的序幕	(147)
向绝对零度进军	(150)
七、磁的世界	
磁的世界	(157)
自然界最小的磁体	(162)
磁单极子之谜	(165)
八、光与射线	
光是粒子还是波	(174)
放射线	(179)
漫话 X 射线	(184)
全息照相	(187)
九、核反应的研究与突破	
核裂变的发现	(194)

胜利在望的可控核聚变	(200)
能实现低温核聚变吗	(204)
中子星可以模拟吗	(211)
天工奇作——天然核反应堆	(214)

(一)

打破常规

爱因斯坦预言的奇妙世界

王 恒 编译

时间、空间、运动

经典力学的创始人牛顿认为：空间就象一个无限大的容器，物体分布在其中，一切事件也在那里发生。它不依赖于物体，也不受物体运动的影响，它是绝对的。时间就好像一条无头无尾的均匀连续流逝的长河，和物体以及物质运动无关，也是绝对的、无限的。绝对空间与绝对时间互不依赖，也不与物质和物质的运动相关。

这一观点与人们日常生活中的感受相一致，因此为当时大多数科学家所接受，很少有人对它表示怀疑。

这是因为人们日常生活中所观察到的物体运动的速度远远小于光速。当科学日益发展，科学家开始同可以与光速相比的运动速度打交道时，牛顿的时空观受到了冲击。

爱因斯坦从 16 岁开始，经过 10 年的辛勤钻研，终于悟出了其中的奥秘，创立了相对论。他说：“我有时自问，怎么偏偏是我创立了相对论？我认为其原因如下：一个正常的成年人不见得会去思考空间和时间问题，他会认为这个问题早在孩童时代就搞清楚了。我则正相反，智力发展很慢，成年以后才开始思考空间和时间问题。很显然，我对这些问题比儿童时期发育正常的人想得更深。”

光速不变原理

1864 年英国物理学家麦克斯威提出了电磁场方程式，并且预言，光波也是一定频率范围的电磁波，在真空中以不变的速度（30 万公里 / 秒）向空间各方向均匀传播。

最初，人们认为光波的传播与声波一样需要媒质，并把这种假想的媒质称为“以太”。他们认为找到了“以太”并测出光在“以太”中向各个方向传播的速度相等，那在相对于“以太”作匀速运动的系统中，光速必定在各个方向不同。

于是不少物理学家开始寻找假想的绝对静止系统——“静止以太”。

迈克尔逊—莫雷制作了很精密的仪器进行了实验以证明“以太”的存在。

地球从西向东一天自转一周。赤道上某一点从西向东的运动速度为 0.46 千米 / 秒。这个速度只有光速的 $1.5 / 10^6$ 。

据此可得出：从西向东传播的光与从东向西传播的光将会产生百万分之三的速度差别。然而迈克尔逊—莫雷的实验装置未检

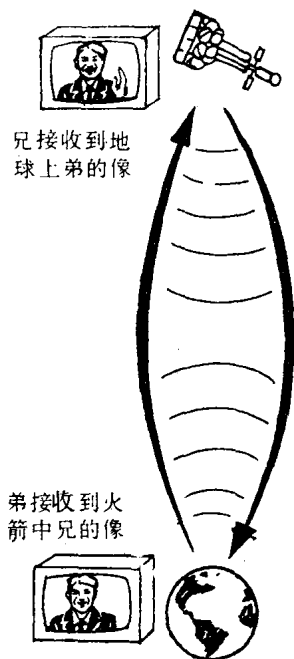


图 1 兄弟之间通过无线电电视电话相互联系，发送频率为 1 赫兹。

出这个差别。

迈克尔逊—莫雷寻找“静止以太”的努力失败了，这给科学界留下了强烈的印象，引起了科学界的震惊。许多科学家重新做了类似的实验，都证实了光速不变结论是正确的。人们不能不在事实面前确认：光速不但与光源运动无关，且和观察者的运动无关。

麦克斯威的预言被证实。光速不变原理被确立。

相 对 性 原 理

相对性原理是力学中一条基本原理。伽利略首先提出。他在著作中写道：“……把你和一些朋友关在一条大船的主舱里，只要船作匀速直线运动，你就无法从任何一个现象来确定，船是在运动还是停着不动。只有船加速前进或减速时，我们才发现船在运动。”

伽利略上述这一段话告诉我们：原则上我们无法将一个静止系统与作匀速直线运动的系统区别开来；它们对描述的自然都是等价的。

相对性原理说明了物理定律对一切惯性系是等效的，不存在绝对静止的特殊坐标系。

狭 义 相 对 论

按照相对性原理任何速度只对特定的参照物讲才有意义，但光速却似乎与参照物的选择无关。怎样解决这个矛盾呢？爱因斯坦从完全不同的角度考察相对性原理与光速不变原理的关系，作了许多无效的尝试，最后，他终于认识到时

间是可变的。

在时间、空间、运动三者关系中，运动法则仍然存在，时间和空间是相对的。这就意味着牛顿的绝对时间，绝对空间必须予以重新考虑。

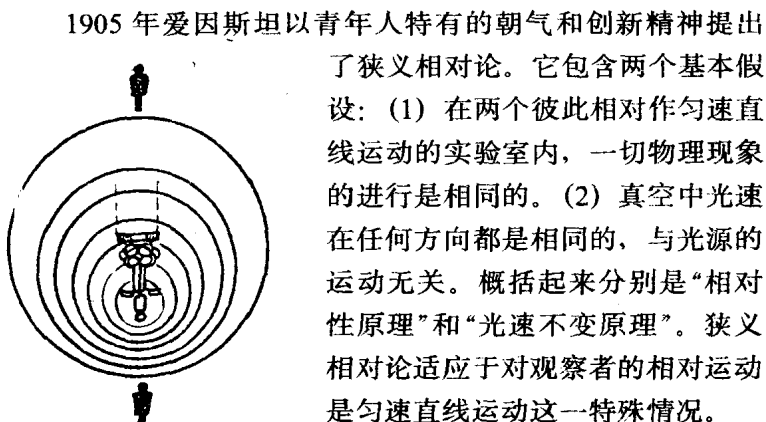


图2 电波频率受多普勒效应的影响沿运动前进方向增加，相反方向则减少

时间的相对性

根据相对性原理和光速不变原理，爱因斯坦建立了新的时间、空间概念。新概念中时间与空间不可分割地联系着，空间与时间相互渗透、转化。

狭义相对论表明，时间与空间的测量都具有相对性，随观察者的运动状态而有所不同。运动快的物体长度变短，运动快的时钟变慢，质量将随物体速度加快而变大。

有一匀速直线飞行的航天飞机从太空站附近飞过。航天飞机飞临太空站中部时，太空站中部的灯正好发光，光照到太空站两端的太阳能电池板上。航天飞机的飞行员与太空站中部的观察者将看到不同的情景。太空站中部的观察者看见灯光同时照亮太空站两端。航天飞机飞行员先看见右端被照

亮，随后左端才被照亮。

运动的时钟变慢

运动的时钟变慢，相对论这一奇妙的预言已为实验验证。 μ 介子衰变，半衰期约为 $1.5/10^6$ 秒。现代科学已经

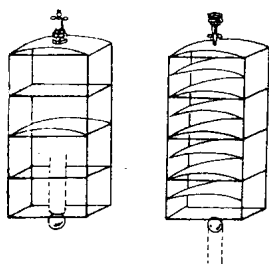


图 3 兄往返 8 年间收到弟的像

已经发现在大气层顶部产生的 μ 介子可以越过几十公里的路程降落到海平面。按 μ 介子的半衰期计算，即令它以光速运动，最多只能走几百米的距离。由于相对论时钟变慢的效应，我们能够观察到比静止时半衰期长 100 倍到 1000 倍寿命的 μ 介子。

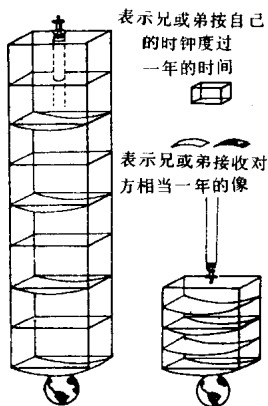


图 4 弟 10 年间收到兄的像

运动的时钟为什么会变慢呢？设有两架作匀速直线飞行的航天飞机，飞机上装有光时钟。姑且认为这个时钟相当大，先从圆柱的上面传播到下面往返一次的时间为 1 秒钟。两架飞机相对静止时，两只光时钟完全指向相同的时刻。两机交替作加速飞行时，作匀速直线运动飞机上的飞行员，只感到对手

的飞机在运动，自己的飞机是静止的。他发现对手的光时钟发生变化。从上面发出的光是沿着斜线向下传播。它比静止者的光时钟上下往返的距离长。根据光速不变原理，静止者的光时钟中光

往返一个来回（1 秒钟）时，对手光时钟中光还未返回（不到 1 秒钟）。高速运动的时钟比静止的时钟变慢。根据相对论原理，以速度 V 运动的时钟是静止的时钟的 $\sqrt{1 - \left(\frac{V}{C}\right)^2}$ 倍。（ C 为光速）

宇宙旅行与时间

一对孪生兄弟，兄乘速度为光速 60% 的火箭到宇宙旅行。兄根据自己的时钟计算单程 4 年，往返 8 年。旅行结束回到地球上时，地球上已经过去了 10 年，留在地球上的弟反而比兄长了两岁。根据相对论原理得到了“天上一昼夜，地上 500 年”这样神话一样的结论。

为什么会产生这样的现象，原来是兄的时钟是地球上的时钟的 $\sqrt{1 - (0.6)^2} = 0.8$ 倍。兄在太空旅行的 8 年间通过无线电电视与留在地球上的弟相互联络。电视电话每秒钟传递一幅像，即发射频率 $\omega = 1$ 。

传递像的无线电波频率受多普勒效应的影响沿运动前进的方向增加，相反的方向减少。根据相对论原理，振动频率为 ω 的物体如果以速度 V 远离而去，静止的观察者接收到的振动频率 ω' 为

$$\omega' = \omega \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \dots\dots(1)$$

〔图 1、2〕

兄乘火箭离地球而去 ($V = 0.6C$)，他感到自己是静止

的，而地球正以 $V=0.6C$ 的速度远去。以 $V=0.6C$ 、 $\omega=1$ 代入 (1) 式，得 $\omega'=0.5$ 。弟以每秒 1 幅的频率发出的电视电话传真，兄两秒钟才收到 1 幅。兄直到折回时的 4 年间总共收到相当弟 2 年发出的像。返回地球时，对兄来说地球以 $V=0.6C$ 的速度向他靠近。以 $V=-0.6C$ 、 $\omega=1$ 代入 (1) 式得 $\omega'=2$ 。兄 1 秒钟可得弟 2 幅像。兄归途 4 年中得到相当弟 8 年发送出的像。兄 8 年得到了弟 10 年的像〔图 3〕。

现在再看地球上弟接受来自火箭上兄的信号的情况。兄乘火箭离地球旅行单程 4 年间，地球上已经过了 5 年。从地球出发到火箭的折返地点的距离为 $0.6 \times 5 = 3$ 光年。这就是说折返点发出的信号到达地球要 3 年的时间。兄 4 年间发出的信号，弟 8 年才能全部收到，从地球上来看，兄以 $V=0.6C$ 的速度远去代入 (1) 式可得 $\omega'=0.5$ 弟 8 年间看到了相当兄 4 年的像。兄返回地球时，弟看见他向地球飞来，以 $V=-0.6$ 、 $\omega=1$ 代入 (1) 式可得 $\omega'=2$ 。弟 3 年间看到了相当兄 4 年的像。结果弟 10 年看到了相当兄 8 年的像〔图 4〕。

运动的物体长度变短

爱因斯坦根据相对性原理和光速不变原理推导出用静止的尺测量运动的棒，棒长变短这样一个奇妙的结论。

测量运动着的棒的长度有两种方法。一种是用与棒一起运动的尺去测量。由此测得的值称为棒的本征长度。另一种方法是用静止的尺测量运动的棒，此法测得的棒长比本征长度变短。

太空中有两根制作太空站的梁 AB 和 $A'B'$ 。梁的两端 A 、 B 和 A' 、 B' 都装有自动信号仪器。调整仪器使 A 、 A' 或 B 、 B' 重合同时都能发出光信号。在 AB 、 $A'B'$ 中点 C 和 C' 上各有一个观察者。

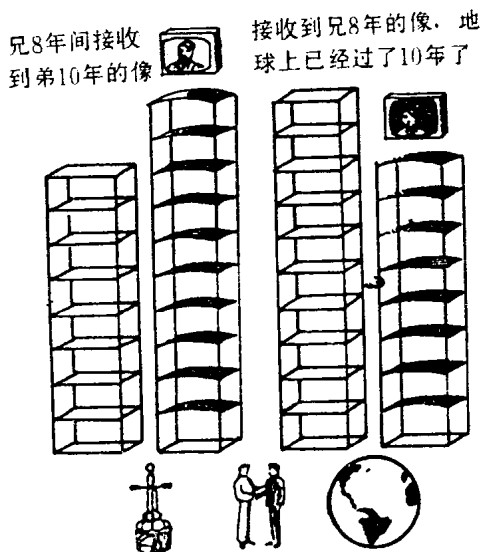


图 5

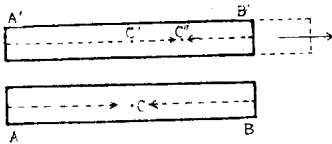
兄弟在地球上再相会，兄与弟各自度过了 8 岁和 10 岁，在这期间看到对方的像分别相当 10 年，8 年。

当梁 $A'B'$ 自左向右相对于梁 AB 作匀速直线运动时，假定 C 点的观察者看到 A 与 A' ， B 与 B' 重合同时发生，也就是说 C 点的观察者测量到 AB 与 $A'B'$ 相等。这时 C' 点的观察者将看到了什么呢？由于 $A'B'$ 自左向右运动， BB' 重合时发出的光先达到正在向右运动的 C' 点， C' 处的观察者先看到 BB' 重合的讯号。 AA' 重合时的光信号要多走一段路程才能达到 C' 。 C' 处的观察者看到 AA' 重合发生在 BB' 重合之后，他判断 $A'B'$ 比

AB 长一些。对观察者静止的尺子要长一些 (A'B' 对 C' 的观察者是静止的), 而运动的尺子将变短 (图 6)。

速度的合成

在物理学中我们已经学过速度合成的法则。例如以每秒 10 米行进的电车中, 某人以 1.5 米 / 秒的速度在其中行走, 站立在地上的人来看, 此人是以 11.5 米 / 秒的速度运动。



但是这个速度合成的法则在计算接近光速运动物体速度合成时就会出现问題。

爱因斯坦在推导相对论时, 作出了一个深思熟虑的假定: 光速是宇宙间最大的速度, 是不能超越的速度。

图 6 长度的相对性

实验证明, 在加速器中加速到速度为光速的 99.9999985% 的电子放出的伽玛射线, 也是以光速运动。在相对论的速度合成法则中, 光速与光速合成不会得到 2 倍光速。

在相对论中怎样计算速度的合成呢?

从航天飞机中以秒速 24 万公里射出一粒子, 而航天飞机正以相对于太空站秒速 24 万公里的速度飞行。射出的粒子以多大的速度运动呢? 如果简单的根据相对性原理, 答案为 $24+24=48$, 即相对于太空站以秒速 48 万公里的速度运动。这个结果显然是错误的。

实际上太空站上的人观测到粒子的速度为 29.24680 万公里 / 秒。以速度 V_1 运动的物体射出速度 U 的物体的速度

V, 根据相对论为:

$$V = \frac{U + V_1}{1 + \frac{UV_1}{C^2}}$$

用下述方法思考, 问题就变得容易了。射出粒子的速度是相对于航天飞机的速度, 即是以航天飞机飞行员所具有的尺度和时间确定的速度。航天飞机的速度又是以太空站人的尺度和时钟确定的。

两个速度是用不同的尺度和时钟确定的。根据相对论, 运动的尺子的长度和时钟的快慢都是变化的。从两种尺度和时钟得到的速度当然不能用简单的合成方法。

质量与能量

物质的能量等于质量乘以光速的平方, 这就是相对论的质能关系式。质量与能量的相互转换表现在核裂变和核聚变

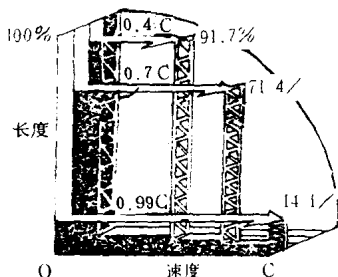


图 7 高速运动时, 随速度增加长度缩短的百分比。横轴为速度 (与光速之比), 纵轴表示缩短的比率。

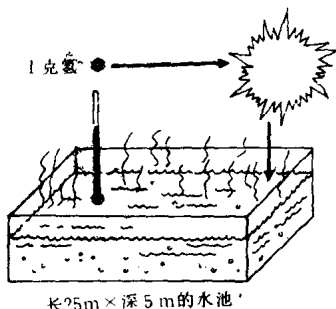


图 8 1 克氢变成氦的核聚变反应可使 20℃ 的容积为 25×15×5 立方米的池水沸腾。