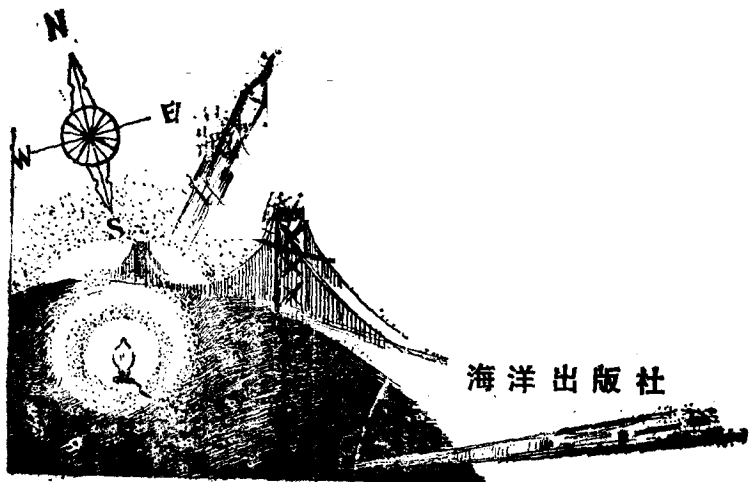


# 物 理 世 界

下 卷

[美] 库 珀 著  
杨 基 译  
黄 高 校  
方 年



海洋出版社

An Introduction to the Meaning  
and Structure of Physics

Leon N. Cooper

物 理 世 界

(上、下卷)

[美] 库 珀 著

杨基方 汲长松 译

黄高年 张 朋 校

海洋出版社出版

(北京复兴门海贸大楼)

光华路中学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年6月第1版 1983年6月第1次印刷

开本 850×1168 1/32 印张 32<sup>1</sup>/<sub>4</sub>

字数: 656千字 印数: 1—20,000

统一书号: 13193·0145 定价: (上、下卷) 3.40元

## 下卷 目录

<b>第七篇 空间与时间概念的修正</b> .....	( 1 )
<b>第28章 绝对运动 绝对静止</b> .....	( 1 )
§ 28.1 宇宙的不动中心 .....	( 1 )
§ 28.2 参照系 .....	( 4 )
§ 28.3 传送光的以太 .....	( 7 )
<b>第29章 迈克耳逊-莫雷实验</b> .....	( 9 )
§ 29.1 干涉仪 .....	( 16 )
§ 29.2 结果 .....	( 21 )
<b>第30章 相对性原理</b> .....	( 23 )
§ 30.1 洛伦兹-菲茨杰拉尔特收缩 .....	( 23 )
§ 30.2 大自然的阴谋 .....	( 26 )
§ 30.3 光速 .....	( 28 )
§ 30.4 丢失了的时间 .....	( 31 )
§ 30.5 在互相匀速运动着的参照系中确定的空间间隔 和时间间隔 .....	( 36 )
§ 30.6 时间变慢了 .....	( 46 )
§ 30.7 速度的加法 .....	( 56 )
§ 30.8 另一世界中的古老时钟 .....	( 60 )
<b>第31章 牛顿定律和相对性原理的统一</b> .....	( 63 )
§ 31.1 相对论力学 .....	( 68 )
§ 31.2 能量与动量之间的相对论关系 .....	( 73 )
§ 31.3 关于相对论电子的运动 .....	( 77 )
<b>第32章 双胞胎的怪论</b> .....	( 82 )
<b>第33章 广义相对论 (爱因斯坦引力理论)</b> .....	( 85 )

§ 33.1	等效性原理 .....	( 87 )
<b>第八篇</b>	<b>原子结构</b> .....	( 95 )
第34章	不协调的色线 .....	( 95 )
§ 34.1	不连续的谱线 .....	( 96 )
§ 34.2	X 射线 .....	( 101 )
§ 34.3	放射性 .....	( 103 )
第35章	电子的发现 .....	( 104 )
§ 35.1	汤姆逊实验 .....	( 104 )
§ 35.2	物质的电结构 .....	( 109 )
§ 35.3	汤姆逊原子 .....	( 111 )
第36章	卢瑟福原子 .....	( 113 )
第37章	量子理论的起源 .....	( 123 )
§ 37.1	卢瑟福原子提出的抉择 .....	( 123 )
§ 37.2	普朗克的作用量子 .....	( 127 )
§ 37.3	爱因斯坦光子 .....	( 130 )
§ 37.4	玻尔的氢原子模型 .....	( 134 )
<b>第九篇</b>	<b>量子理论</b> .....	( 145 )
第38章	电子——波 .....	( 145 )
§ 38.1	德布罗意假设 .....	( 145 )
§ 38.2	戴维孙-革末实验 .....	( 148 )
第39章	量子系统的运动定律——薛定谔方程 .....	( 153 )
§ 39.1	自由解 .....	( 154 )
§ 39.2	束缚解 .....	( 155 )
第40章	德布罗意波是什么 .....	( 162 )
§ 40.1	薛定谔的解释：波表示物质的密度 .....	( 163 )
§ 40.2	概率论的解释 .....	( 169 )
§ 40.3	其他可能的解释 .....	( 173 )

第41章 关于量子力学观点的内部一致性.....	(177)
§ 41.1 量子在什么地方? .....	(177)
§ 41.2 海森堡的测不准原理 .....	(182)
§ 41.3 海森堡的臆想实验 .....	(191)
§ 41.4 不可观察的量在物理学理论中的作用 .....	(196)
§ 41.5 两重性: 波——微粒 .....	(198)
第42章 从量子观点到经典观点的过渡.....	(200)
<b>第十篇 量子世界.....</b>	<b>(205)</b>
第43章 氢原子.....	(207)
§ 43.1 基态的能量.....	(207)
§ 43.2 量子系统能级的退化 .....	(209)
§ 43.3 库仑力的球对称 方位角量子数 .....	(217)
§ 43.4 氢原子的能级.....	(221)
§ 43.5 磁场的影响 .....	(225)
§ 43.6 电子的自旋 .....	(227)
第44章 粒子和光子对原子系统的相互作用.....	(230)
§ 44.1 物质 .....	(230)
§ 44.2 光 .....	(234)
§ 44.3 跃迁几率.....	(239)
第45章 多粒子量子系统.....	(243)
§ 45.1 泡利不相容原理 .....	(243)
§ 45.2 波函数相对于等同粒子互换的对称性 .....	(245)
§ 45.3 禁锢于容器中的无相互作用的电子——金属 的最简单模型 .....	(249)
§ 45.4 元素周期表 .....	(252)
第46章 原子核 .....	(260)
§ 46.1 原子核是由什么构成的 .....	(260)
§ 46.2 核子是怎样结合在一起的.....	(265)

§ 46.3	核力与核模型 .....	( 268 )
§ 46.4	核过程和稳定性 .....	( 272 )
§ 46.5	核裂变和核聚变 .....	( 280 )

## 第十一篇 量子理论和相对性原理的统一..... ( 287 )

第47章	电子——相对论波.....	( 287 )
§ 47.1	狄拉克电子.....	( 288 )
§ 47.2	狄拉克真空.....	( 292 )
§ 47.3	反物质 ... ..	( 297 )
第48章	电子与光子的相互作用.....	( 302 )
§ 48.1	空间-时间线图 .....	( 304 )
§ 48.2	量子电动力学 .....	( 310 )
§ 48.3	辐射修正和重正化方法 .....	( 322 )

## 第十二篇 初始物质..... ( 331 )

第49章	什么是基本粒子.....	( 331 )
第50章	怎样观察基本粒子.....	( 337 )
第51章	怎样获得基本粒子.....	( 349 )
第52章	是什么将核内的粒子约束在一起.....	( 359 )
第53章	奇异粒子.....	( 369 )
第54章	电荷、同位旋和奇异数.....	( 379 )
第55章	对称性：从毕达哥拉斯到泡利.....	( 389 )
第56章	初始物质.....	( 396 )

## 下卷附录：思考题与习题..... ( 410 )

## 参考文献..... ( 443 )

## 第七篇 空间与时间概念的修正

### 第28章 绝对运动 绝对静止

#### §28.1 宇宙的不动中心

卢克莱修<sup>①</sup>写道：

实际上是两样东西组成了大自然，这，首先是物体，再则是那虚无飘渺的太空，物体在那儿停留并以不同的方式运动<sup>[1]</sup>。

但是，这虚无飘渺的太空有边界吗？再说，纵然宇宙空间是有限的，假若突然有某人急速地奔跑，到达那边缘的终端，他以全部力量和冲刺的速度掷出一支标枪，它一直向前飞去，它会不偏不倚地命中那预定的目标，或是会在它的路程上的某个地方被什么东西阻挡？你不得不承认其中的一个结果，但你无法解释其中任何一个结果，你必须同意，宇宙空间扩展到无限的远方<sup>[2]</sup>。

稍晚，布鲁诺<sup>②</sup>直到站在火堆上被烧死之前，还不止一次地重复说过：“尽管这个地球是如此美好，但我始终要问：在它的外面究竟还有什么？”<sup>③</sup>〔4〕。这个论点很容易明白，也不可能被驳倒。如果空间是有限的，那么请问，它的边界外面是什么？<sup>④</sup>

① 卢克莱修（公元前约99—55）古罗马诗人，唯物主义哲学家，以诗歌形式解释了原子说。——译者注

② 布鲁诺（1548—1600）文艺复兴时期的意大利哲学家，因宣扬哥白尼的日心说等被教会烧死在罗马。——译者注

③ 他还提出了某些颇有预见性的思想，他写道：

今后我将满怀信心地在高空展翅， 我不怕那晶莹明彻的玻璃幕墙，  
撕裂破长空，飞向遥远的地方。

从自己的地球我升向另一世界， 透过永恒的蓝天穿入那深邃的空间。  
他人只能从远处看到的那些地方， 而我却把它们远远抛在后边。<sup>[3]</sup>

④ 但是，假定空间类似一个球面，则掷出的标枪将永远飞向目标；即使宇宙不是无限的，在它的路程上什么也不会发生。

空间是无限的吗？它仅仅是表达了物质间的一种相互关系，还是与这些物质无关地独立存在？空间是一种物质的容器吗？在没有物体存在的情况下也能观察到它吗？空间的各点之间是均匀一致的呢，还是在其间存在着某种方向性？空间是中性的呢，还是它支配着位于其中的物体？最后，若没有外界作用影响我们的大脑，我们能不能直观地认识空间的性质，还是我们只能根据实验得知空间的各种性质？——这些都是在各↑历史时期所提出的、涉及所谓“空间”的实质性问题。

伽利略和牛顿所论述的空间是一个欧几里德无限空间，它是均匀的（从这一点到另一点它的性质不变），各向同性的（所有方向都是一样的），部分是满的，部分是空的；这个空间里没有特殊的点和方向；它是容器，是空的，在那儿存在着物质①。

牛顿写道：“绝对空间，就其本质来说，独立于外界任何事物，总是始终如一和静止不动的。”<sup>(6)</sup>正是关于绝对空间的这种观点很自然地导出了运动第一定律。在没有力作用的情况下，在一个既没有中心，又没有方向性的真空中，运动的物体将以均匀的速度沿直线移动。说真的，为什么它要按另外的方式运动呢？正是这个问题本身隐藏着产生绝对空间概念的前提，但也预先孕育着这一概念灭亡的条件。因为可以提出这样的问题：所谓物体的匀速运动是相对于什么而言的？相对于太阳作匀速运动的物体，相对于地球就不是匀速的移动。关于存在着绝对空间的假设使得有可能找到一个观察一切现象的方便的观察点：绝对空间既不依赖于我们而存在，因此我们完全可以放心地如此设想。

牛顿写道：“但完全不能不看到；依靠我们的感觉器官怎么

① 初看起来，关于“空间是空的，在那儿存在着物质”这一观念，与我们的观念很相似，但是现代的真空中并不是绝对的，这种非绝对真空的概念在古代是被摒弃的。古代认为的真空中不仅仅是空的，并且在这种真空中除了真实粒子的运动以外，不能传播任何扰动，因为既然什么也没有，怎么能够传播扰动呢？因此，波西多尼关于地球上潮汐与月亮运动有关的发现，被评价为是古代关于真空概念的反证。



也不能把空间的这一部分与那一部分区分开，我们不得不求助于器官的测量来代替感觉器官。一般根据物体对于被认为是不动的某个物体的距离和位置来确定地点，然后把一切物体放置在其中，根据它们同这些地点的关系来讨论一切运动。这样，就用相对位置和相对运动代替了绝对位置和绝对运动。这在日常生活中并没有引起什么不便。”〔6〕

但是，在这里存在着某种不确定性，牛顿也承认这一点。而且它后来成为物理学史中最诱人的问题之一的起源。假定，从位于某一点的观察者来看，运动第一定律成立。如果物体没有受到外力的作用，则从该观察点看到的物体将作匀速直线运动。很容易看出，如果存在这样的观察点，也就存在着能观察到类似现象的无数个其他的观察点。所有相对于第一个观察点作匀速运动的观察点都具有这些性质。为了方便起见，我们称第一个观察点为“宇宙的不动中心”。可能有人会说，这个概念是虚构的。但它是如此直观，以致我们不想过早地抛弃它。牛顿写道：“世界体系的中心处于静止状态。所有人都可以承认这点，因为一些人可以把地球看作不动的中心，另一些人可以把太阳看作不动的中心”〔7〕。尽管如此，对牛顿动力学和对所有牛顿体系范围内的观察者来说，宇宙中心是处于静止状态还是处于匀速运动状态，这是百分之百地没有关系的。

假定，这个世界中心静止在绝对的、永恒的、均匀的空间的中心。从位于世界中心的观察者看来，运动第一定律应当成立。现在设想从另一个观察点进行观察，这个观察点相对于宇宙中心作匀速运动（以后我们把这种观察点称做“参照系”）。通过简单的加减法运算不难证明，相对于宇宙中心作匀速运动的物体，同样也将相对于这第二个观察点作匀速运动，只是运动速度不同。从位于第二个观察点的观察者来看，牛顿动力学的定律仍然是正确的。换句话说，根本不可能将相对于宇宙中心作匀速运动的观察点与宇宙中心本身区分开。因此，宇宙中心的位置只能是

假设的，在牛顿体系范围内不可能确定它。如果存在一个观察点，对于它牛顿定律成立，那么对于相对于该观察点作匀速运动的所有的其他观察点来说，这些定律也是正确的<sup>①</sup>。

从运动第一定律可以直接得出这样的结果：如果我们处于一个运动着的、封闭的房间里，我们不可能知道自己真实的，或者绝对的运动状态。例如，坐火车旅行时，从窗口看到另一列火车从旁边驰过，我们常常弄不清楚，是我们自己在运动，还是另一列火车在移动。遗憾得很，我们国家铁路路基的损坏是如此之快，以致这种观察对下一代人来说将变得不能令人信服。因为，若要使运动不被察觉到，列车不应当有任何摇晃和振动，即运动应该是均匀的。也许，当大轮船在平静的海面上行驶，或飞机在平稳的大气层中飞行时，船内或飞机内（远离机器房）的旅客容易有这种感觉。透过窗户，我们看到从身边飘逝的白云或流动的海水，但我们没有能力确定，谁在动——是我们还是白云（或海水）。地球沿着自己的轨道以接近每秒30公里的速度运动，太阳相对于银河系的中心而运动，整个银河系自己也在运动。但是，如果忽略由于转动引起的微弱效应，我们绝对不可能感觉到这些运动。这就是说，即使我们围绕着通过不动的宇宙中心的轴转动，也觉察不到我们是在运动。

### §28.2 参照系

现在引入一个非常有用的概念。假定物体在空间占有确定的位置。用什么方式可以表示这个位置呢？我们经常借助于另一物体的位置来表示某一物体的位置；例如，我们说：“离泰晤士公园二英里”或者“沿塞纳河方向离巴黎的爱菲尔铁塔半英里”。我们很少关心物体的绝对位置。假定你朋友的脚在登阿尔卑斯山时骨折了。此时地球位于自己轨道上的某一点，太阳也处在自己银河系旅途中的某一点。但是，医生对这些细节毫无兴趣。他只关心

---

① 所有这些观察点都称为“惯性参照系”。

骨折发生在踝骨以上 5 厘米称之为大胫骨处这样的事实。在这里显示出了我们世界的一种特性：你的朋友可以带着他折断了的腿移动，但是，骨折相对于踝骨和膝盖的位置仍然不变。在这种情况下，以人的脚作为参照系是最方便的。此时骨折位于踝骨以上 5 厘米处。

纽约的曼哈顿岛是一个能非常方便地确定地理位置的地方，因为它的大多数街道都呈直角相交。只要告诉你一个地名，例如“第 6 号路和第 42 号街的角上”，即使你并不熟悉该城，也能很容易找到这个地方。当然，这里指出的并不是绝对空间中的某个地方，而是相对于曼哈顿其他街道和建筑物的某个位置。由于地球是硬的，因而也就是指出了相对于地球上其他地方的某个位置。我们生活的空间是三维空间。但是，由于我们的活动通常仅限于地球表面，对于我们来说，只要指出“第 6 号路和第 42 号街的角上”就足够了，这当然意味着要找的地方就在大街上。当然，也不一定完全这样。有时候，要去的地方也可以在第 6 号路和第 42 号街角的建筑物的四层楼上。

这种极其简单的思想可以借助于坐标系的概念从形式上加以概括<sup>①</sup>。用相互垂直的  $x$ 、 $y$  和  $z$  轴来表示三维空间（图 1）。这时点的位置就可以这样来表示，比如，“沿  $x$  轴方向 3 个长度单位，沿  $y$  轴 2 个单位，沿  $z$  轴 4 个单位”；或者用一组同  $x$ 、 $y$  和  $z$  的数值相应的三个数字  $(3, 2, 4)$  来确定。例如， $(3, 2, 4)$  表示  $x=3$ ， $y=2$ ， $z=4$ 。这与下述说法是一样的：沿  $x$  轴方向数是第 6 号路，沿  $y$  轴方向数是第 42 号街，沿  $z$  轴方向数是第 4 层楼。

我们经常只用二维空间，因为在许多情况下，三维空间的事

---

① 这种思想是笛卡儿在他的代数和几何相结合的解析几何中首先提出来的。他成功地使三维空间的每一点都可以用三个数  $(x, y, z)$  表示出来，同时又使每三个数  $(x, y, z)$  都对应于空间某一点。这样，一切几何对象和几何定理都可以由代数对象和代数关系式来表示了（见附录）。

物也可以很容易地用两维空间表示出来。典型的二维空间坐标系示于图 2。我们用两个互相垂直的轴来描述平面上点的位置。图 2 中所标出的点的坐标是  $x = 3$ ,  $y = 2$ 。如果某人说：“在  $x = 3$  和  $y = 2$  的地方见面”，则这种说法只有当听者懂得这是指某个确定的坐标系时，才能有确定的意思。

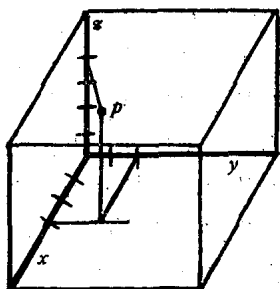


图 1

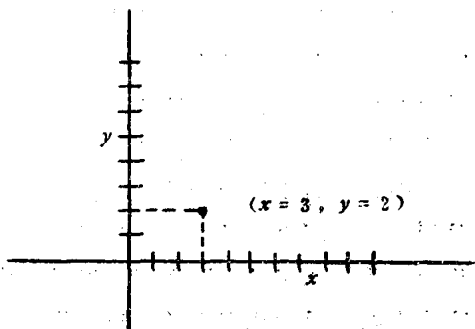


图 2

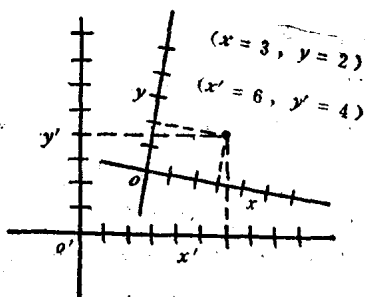


图 3

显而易见，同样一个点如果在别的城市或在另一坐标系中，就将有另外的路号和街号（图 3）。在新的坐标系统中，它的轴（或者路和街）用  $x'$  和  $y'$  表示，这个点的坐标将是  $x' = 6$  和  $y' = 4$ 。因此，物理点  $P$  的坐标与坐标系的选择有关。

有时我们希望记录所谓的事件，也即在空间和时间坐标上的点。为此，应该有三个空间坐标和一个时间坐标（图 4）。

很快我们将要用到相互作用匀速运动的坐标系（为了方便起见，称这些坐标系为“不动的”和“运动着的”）。假定在时刻  $t = 0$ ,

两个坐标系的  $x$  和  $y$  轴重合，而运动沿  $x$  轴方向以速度  $v$  进行（图 5）。经过时间间隔  $t$ ，“运动着的坐标系”的原点  $o'$  将位于距离“不动的坐标系”的原点  $o$  为  $vt$  的地方。这样，在时空点  $P$  发生的事件的坐标：在“不动的参照系”中为  $(x, y, z)$  而在“运动着的参照系”中为  $(x', y', t')$ 。而且它们服从通常的规则①：

$$x' = x - vt,$$

$$y' = y,$$

$$t' = t.$$

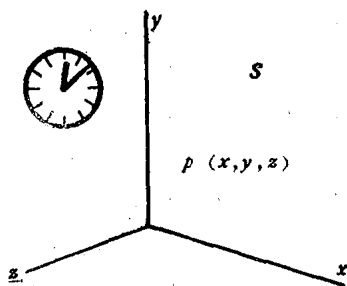


图 4 事件发生在空间点  $p(x, y, z)$  的位置和一定的时刻

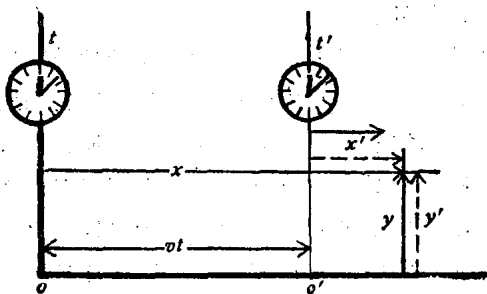


图 5

### §28.3 传送光的以太

在牛顿体系范围内，既不能确定宇宙的绝对中心，也不能证明这个中心是不动的。关于绝对的与不动的空间的概念看起来比较直观，用起来比较方便，但这样的空间原则上不可能被观察到。

① 这些规则称为伽利略变换，利用它们可将点的空间和时间坐标从运动的坐标系（带撇的  $x', y', t'$ ）变换到不动的坐标系（不带撇的  $x, y, t$ ）。

同时，麦克斯韦建立的电磁学和光传播方程，从一个惯性系过渡到另一个惯性系时并不是不变的。这至少意味着，可以找到一个相对于“光媒质”（以太）来说是静止的参照系，因而也是与其他参照系不同的参照系。

一切物质波都是在媒质中传播的扰动。借助于物质波，我们得以建立抽象的波的概念。十九世纪的人们很难同意这样的见解，即光或电磁波是一种不通过什么媒质也能传播的某种抽象的实质。麦克斯韦在他发表在《大不列颠百科全书》上的文章中写道：“发现了光和其他辐射的新现象之后，有关以太存在的主张获得了坚实的支持。以太的性质是基于光的各种现象推论出来的，而这些性质与解释电磁现象所要求的性质完全一样……。在尝试寻找关于以太构造的正确概念时，我们不论遇到什么样的困难，但毫无疑问的是，行星际和星际空间不是虚空的，它为物质实体所占据，或者它充满了大量的，并且应当认为是我们所知道的物体中最均匀的物体。”

关于传送光的以太以及我们和它的关系的争论不断地发展，到十九世纪末达到了狂热的程度，假如可以这样说的话。原因不仅仅在于下列事实：人们感觉到需要存在某种媒质，以便传播电磁波和光波（麦克斯韦也是这样感觉的）。当人们只是试图弄明白，是需要以太呢，还是可以没有它而绕过去的时候；当人们只是将以太作为一种直观模型，并且借助于它的存在来解释光传播的机理的时候，并没有引起鼓噪。到十九世纪末，对以太的兴趣剧增，那时已经很清楚，麦克斯韦建立的电磁理论已获得奇迹般的成功，这个理论好象可以证明，以太是可以观察到的。

十九世纪后半期所进行的许多实验导致了下述情况。根据麦克斯韦的电磁波理论，光以  $c=3 \times 10^{10}$  厘米/秒的速度传播。试问，光以这样的速度运动是相对于什么而言的？在日常生活中，我们都是相对于某一参照系来确定物体的速度的。飞机相对于空气的速度和相对于地面的速度是不一样的。如果飞机顺风飞行，

风速100公里/小时，飞机本身相对于空气的速度是500公里/小时，这意味着，飞机相对地面的速度是600公里/小时。关于顺流而下的船只的速度，沿着传送带跑动的老鼠的速度等等，都可以这么说。那么光以速度  $c$  运动又是相对于什么来说的呢？

不论是麦克斯韦的理论，还是杨氏和非涅尔的理论都没有回答这个问题。如果光是波，而如果波是在媒质中传播的，那么看来光是相对于媒质以速度  $c$  运动。因而，如果电磁波确实和光相同，则光或者电磁波将以速度  $c$  相对于传送光的以太传播。

从上述讨论中得出了各种有意思的结果。例如，假设我们自己相对于以太移动。试问，我们相对于以太的运动（光正是相对于以太以速度  $c$  传播的）会不会影响我们对光学现象的观察？在十九世纪末曾不止一次地提出过这类问题。而每次任何影响都未能发现，因此造成了这样的印象：似乎地球相对于以太是不动的。麦克斯韦带有预见性地指出：

“关于地球周围的传送光的媒质的状态和它与普通物质间的关系的全部问题，实验还远远没有解决。”<sup>(9)</sup>

## 第29章 迈克耳逊-莫雷实验

1887年迈克耳逊提出了一个简单而又直接的方法来测量地球相对于以太的绝对运动。根据一般的认识，如果光通过以太的速度为  $c$ ，那么从相对于以太运动着的观察者看来，光的速度应当不同于  $c$ 。由于地球约以30公里/秒的速度相对于太阳运动，可以合理地认为，地球至少在某一时期以30公里/秒左右的速度相对于以太而运动。（否则，将不得不认为地球是静止的，而宇宙中所有其他的物体将围绕着地球转动；这不又出乎意料地和滑稽可笑地回到了托勒玫<sup>①</sup>的观点上了吗？）且不考虑与实验有关的一切可能的

<sup>①</sup> 托勒玫（约公元80—168年），古希腊天文学家。他认为地球是不动的，它位于整个宇宙的中心，日、月、行星和恒星都围绕它而运行。这种宇宙观被称为“托勒玫体系”。参见本书第5章。——译者注。

技术细节的复杂性，可以认为，迈克耳逊实验的实质在于测光脉冲经过给定两点的距离所需的时间间隔，这样迈克耳逊就能够确定光脉冲的速度。

似乎没有比这更简单的任务了。但不难相信，这种测量几乎不可能实现。事情经常是这样的，很清楚应当做什么，但做起来却非常困难。为了发现由于地球相对于以太的可能运动所引起的光速差异，就要测量光从地球表面的一点到另一点的传播时间。但是，这段时间实在太小了。迈克耳逊（还有稍后与他一起工作的莫雷）的功绩正在于此。他们表现出惊人的创造才能，采用了最新的技术成就，成功地制造出一种设备，利用这种设备，能够有把握地将30公里/秒这样一个与光速（300000公里/秒）相比是很小的量区分出来。

根据当时大家公认的概念，光相对于媒质的速度应与观察者相对于该媒质的速度相加。那末，光脉冲走完一个封闭路程（从光源出发经反射体返回到光源）所需的时间既依赖于仪器相对于媒质的速度，也依赖于仪器的速度矢量和光脉冲的速度矢量的相互关系。为了发现由于仪器相对于以太的运动而引起的光脉冲传播时间上的差异，迈克耳逊想出的测量技术中的巧妙之点在于利用干涉现象。为了弄清迈克耳逊实验，我们利用当时公认的规则<sup>①</sup>来计算一下光脉冲在媒质中从光源到反射体再返回所需要的传播时间。（在这里不得不用一点代数计算，但我们应当容忍这一点，因为不用代数是很难讲清楚相对论的。）

#### 平行传播

现在我们计算光脉冲\*从光源到反射体再返回到源的传播时间。首先考虑仪器运动的方向与光脉冲传播的方向相平行的情况（图7）。

如果仪器相对于光的传送媒质是静止的，则光源产生的脉冲

<sup>①</sup> 从运动着的参照系到不运动的参照系的伽里略变换。



经过时间 $l/c$ 后到达反射体，经过时间 $2l/c$ 后回到光源。也就是说，脉冲走完这一封闭的路程所需的时间就等于全程长除以脉冲的速度（图8）。

试问，如果仪器以速度 $v$ 相对于以太运动，则从光源发出的脉冲到达反射体需要多少时间？当脉冲走完距离 $l$ 时，在这个时间内反射体移动了一段距离。因此，脉冲必须继续向前走才能最终

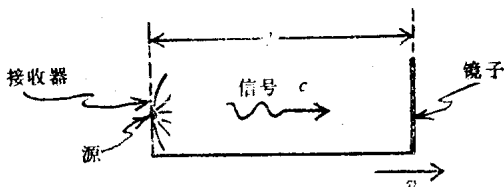


图7 光源发出一个信号，经镜子反射后回到接收器，镜子与源之间的距离为 $l$

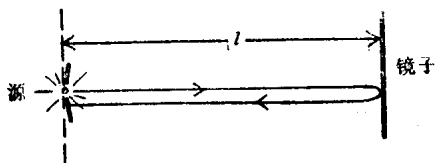


图8 仪器相对于以太不动。信号经全程的时间 $T=2l/c$

- 为直观起见我们这里考察脉冲；也可以考察周期的单色光波的某一部分（例如一个波长的波），如图6所示。



图 6