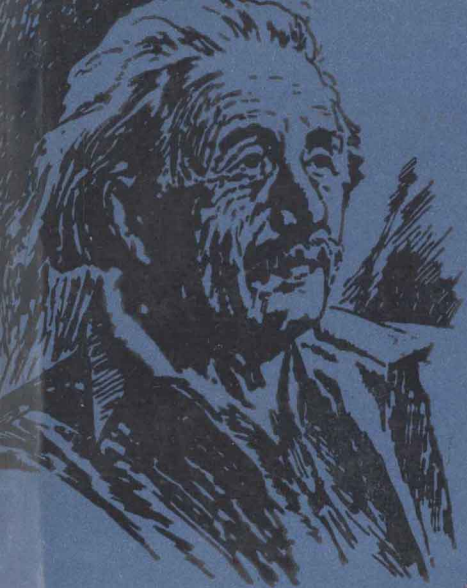




$$E=mc^2$$



与中学生谈相对论

曹志明

科学普及出版社

与中学生谈相对论

曹 志 明

科学普及出版社

(京) 新登字026号

图书在版编目(CIP)数据

与中学生谈相对论 / 曹志明编著. —北京: 科学普及出版社, 1994

ISBN 7-110-03204-3

I. 与…

II. 曹…

III. 相对论—普及读物

IV. 0412.1

科学普及出版社出版

北京海淀区白石桥路32号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 3.625 字数: 70千字

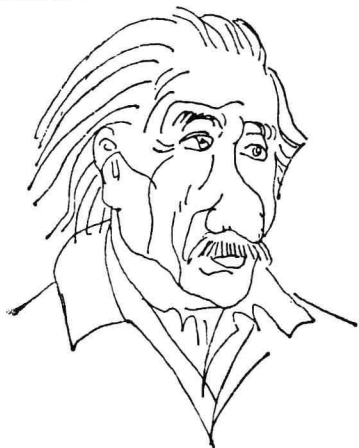
1994年3月第1版 1994年3月第1次印刷

印数: 1—5000册 定价: 3.20元

前言

相对论是关于时间和空间的理论，是自然界一种最基本的学说。相对论时空观的建立，给出了物体在高速运动时的物理规律。对于近代物理的发展，起着极大的推动作用。使人们对物理现象的认识有了一个崭新的飞跃。没有相对论，就没有近代物理学。

这是一本为纪念 20 世纪伟大的物理学家爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879~1955 年) 而向中学生推荐的科学普及读物。



爱因斯坦

本书可作为中学物理学的课外学习材料，供中学生及青年物理学爱好者阅读。只要具有中学物理学和数学知识就可以读懂。

阅读本书对于巩固和加深所学过的中学物理知识，扩大中学生的知识面，启迪思维，培养能力，都有很大帮助。

为了使具有初中物理知识的学生及青年朋友也能读懂此书，在论述相对论的基本内容之前，适当地加写了一些有关的基础物理知识。并备有各种插图60余幅，以帮助读者加深对内容的理解。

本书经徐行教授审阅，在编写过程中还得到许多朋友的帮助，在此谨表示衷心感谢。

曹志明 于农大附中

目 录

序幕	1
第一章 物体的运动	4
一、物质和运动	4
二、机械运动与参照物	6
三、坐标系	7
四、质点	9
五、时间和时刻	10
六、路程和位移	11
七、匀速直线运动	13
八、匀变速直线运动	14
九、匀速圆周运动	16
第二章 牛顿运动定律	19
一、牛顿第一定律	20
二、牛顿第二定律	22
三、牛顿第三定律	24
四、惯性参照系	26
第三章 经典时空观	29
一、经典力学的相对性原理	29
二、伽利略变换	31
三、经典力学中的“同时性”是绝对的	32
四、不变的尺和不变的钟	33
五、经典时空观	34

六、经典力学中的速度相加定理	35
七、经典力学相对性原理的数学表达式	36
第四章 光的传播	38
一、光的本性	39
二、光的传播速度	41
三、绝对参照系	43
四、光速不变原理	44
五、经典时空观的局限性	46
第五章 狭义相对论	47
一、狭义相对论基本原理	48
二、洛伦兹变换	49
三、“同时”的相对性	51
四、我们居住的世界是一个四维时空连续区	54
五、长度缩短	55
六、时间延缓	59
七、狭义相对论中的速度相加定理	62
八、光速 c 是物体运动速率的极限 ——我们不能看到已经过去的事件	64
九、相对论中事件的时间顺序与因果关系	65
十、相对论性质量表达式	67
十一、加速器	69
十二、相对论性动量和相对论动力学基本 规律	73
十三、相对论能量与质能方程	75
十四、质量亏损与原子能的应用	76
十五、狭义相对论与经典力学	80
第六章 广义相对论	81

一、万有引力定律·····	82
二、引力场·····	84
三、引力波·····	85
四、惯性质量和引力质量·····	85
五、引力场中同一地点不同质量的物体都有 相同加速度的原因·····	86
六、惯性力与加速场·····	87
七、广义相对论的等效性原理·····	90
八、广义协变原理·····	91
九、光线在引力场中的偏转·····	91
十、行星近日点的进动·····	93
十一、谱线的引力红移·····	95
十二、弯曲的时空·····	98
十三、黑洞·····	100
十四、星际航行·····	100
尾声·····	104

序 幕

这是一个星期日，风和日丽。校园里撒满阳光。几个中学生在喷泉池旁海阔天空地聊得非常开心。看见老师就笑咪咪地围拢过来，邀请老师与他们一起讨论。

“你们聊什么呀？”

“真有意思，是关于爱因斯坦的相对论。可是我们都说不清楚，还是请老师给我们谈谈吧。”说话的原来是高一（1）班的物理课代表姚广。因他物理学得特别好，各门功课都不错，就被选为学习委员。他个子高高的，明亮的眼睛炯炯有神，说出话来很受同学欢迎。

肌肤红润，双颊圆圆，一向快言快语，出口成章的胖姑娘张苗不等老师开口就抢着说：“听高年级同学说，爱因斯坦的相对论非常有趣，是物理学的一块基石。要是没有了相对论，就像没有了分子、原子概念一样，不仅没有了近代物理学，就是近代化学、生物学也都无法存在了。也有人说相对论太深奥，大学生也很难弄懂。还听人说，爱因斯坦刚发表相对论时，全世界真正懂这个理论的，只有12个人，我们中学生谈论它，能行吗？”

.....

问题真是多，不等一个同学说完，另一个同学就又接着说。

“还是让老师谈谈吧！”这是姚广的声音。

我讲话的机会终于来了。“你们知道的真不少，正像张

苗说的那样，爱因斯坦的相对论确实伟大，它开创了近代物理的新纪元，得到了像长度缩短、时间延缓、质量增大、光线拐弯、时空弯曲这样一些不寻常的结论。由于这些结论与我们在日常生活中观察到的不太一致，在理解相对论时就会有不少困难。但相对论与其他物理理论一样，是不以人的意志为转移的客观真理，只要有浓厚的学习兴趣，有强烈的求知欲望，勤于思索、刻苦钻研，在积累了一定的感性知识的基础上，通过由此及彼、由表及里的积极思维，并按照循序渐进的学习认知规律办事，中学生完全能够掌握相对论的基本内容。”

姚广说：“那我就成立一个专门研究相对论的课外小组吧，您就当我们的辅导员。”

还没有等我答应下来，一个个头不高稚气的脸上镶着一双迷人大眼睛的男孩子说：你们几个都是高中生，我和肖初几个人还是初三学生就不参加了”边说边拉上肖初他们就要走。

胖姑娘张苗一把拉住他说：“喂！魏杰，别走！同学们都说你是机灵鬼，富于幻想，说不定你参加了这个小组，听了老师讲相对论，将来会成为一个有名的科学家呢！爱因斯坦11岁时读了一套通俗科学读物，对他影响很大，后来成了伟大的物理学家。”

“魏杰是小机灵，我们几个的脑子可不如他，能不能参加呢？”肖初的眼睛紧紧地盯着我。

我赶快问：“你们对相对论有兴趣吗？”

“当然有，只是我们水平太低了。”

“没关系，”我接着说：“只要你们有兴趣，我辅导时，起点可以低些，在讲述相对论的基本知识之前适当讲些有关的

基础物理知识。讲相对论时用到的数学知识也全是中学学过的，你们一定能够听懂。”

不等别的同学还有没有新的意见和想法，大个子姚广就自告奋勇地说：“相对论课外小组今天正式成立，我先当临时组长，愿意参加的同学到我们班进行第一次活动。”

就这样，我和这些可爱的中学生就谈起相对论来了。

第一章 物体的运动

“这一章，显然是为我们初中生专门安排的了。”小机灵魏杰说。

胖姑娘张苗说：“我看过一本书，书上说相对论研究的是物体在高速运动时的情景，要了解相对论就应当掌握运动的一般规律。”

“金字塔是由一块块石块砌上去的，要想搞清楚相对论这种比较难懂的理论，没有扎实的基础知识可不行。”姚广在发表着自己的看法。看来，这个小伙子很会学习，不全是像有些同学说的那样，他只是聪明过人。

“大家说的都有道理，这一章讲的主要是关于运动学的一些基本知识，除了高中课本中谈到的一些问题外，还要讲些坐标系问题，这是研究相对论时，反复用到的一个概念。相对论不是一个好懂的理论，但是只要有了牢固的基础知识，就会像姚广同学说的那样，一步一步地走向金字塔的高处。”大个子姚广听到老师赞扬他时，脸上浮起了一片幸福的红云。

一、物质和运动

我们和我们周围的一切，如：水、空气、土地、植物和动物组成了自然界。所有的这一切客观存在都是物质。

自然界的物质总是不断地进行着各种变化：汽车在路上

行驶、轮船在海上航行、飞机在天空飞翔等物体间相互位置的变动；冰变成水、水变成水蒸汽等的物态改变；水分解为氢气和氧气、碳和氧作用生成二氧化碳等化学变化；植物和动物的生长、发育和死亡等都是物质变化的例子。

天体也在不断地变化中：地球不停地自西向东旋转着，叫做自转。旋转1周为1天。自转时，向着太阳的地方是白天，背着太阳的地方是黑夜。地球除了自转外，还侧着身子以30千米/秒的速率绕着太阳公转(图1-1)。公转1周为1年。

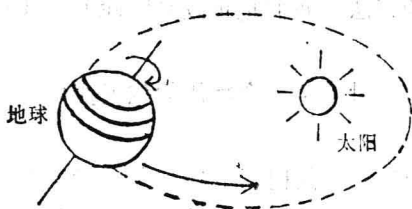


图 1-1 地球除了自转外还侧着身子绕太阳公转

在这一年中地面上每个地方从太阳那里得到的热量有时多，有时少，所以地球公转1周就产生了春夏秋冬四季。太阳仍以250千米/秒的高速率，带领着整个太阳系绕着银河中心运动。太阳和其他恒星的温度在发生着变化，在它们的内部还进行着物质由一种形式变为另一种形式的复杂变化。

物质总是在不断变化着，或者说物质总是在运动着。所以，我们可得出结论：整个自然界就是由运动着的物质所组成。

不断变化和发展的物质是本来就存在的，而且将永久存在下去。

二、机械运动与参照物

公路上有一辆汽车，是不是在运动呢？我们可以找出公路上某些不动的物体，例如路旁的树或是电线杆，去观察汽车对于这些物体的位置。如果跟这些被认为是不动的物体间的距离在改变，那就表示汽车在运动。如果这些距离不变，那就表示汽车是静止的。

用同样的方法，我们也可以判断轮船、飞机和其他物体是否在运动。

一个物体相对于另一个物体的位置变化叫做机械运动。简称为运动。

但刚才选作标准的树、电线杆以及桥梁和房屋等，虽然看起来是不动的，但地球有自转和绕太阳的公转，所以这些物体还是随着地球一起运动的。所以自然界一切物体都在运动之中。

由于一切物体都在运动，我们在研究一个物体的运动时，就必须事先选定某个物体作为标准，然后参照这个被选定的物体来确定其他物体相对它的运动情况。

这个被选定作为标准的物体叫做参照物。

参照物的选择是任意的。同一个运动在选择不同参照物时观察的结果也常常不一样。坐在汽车里的乘客选汽车为参照物时，因为他对汽车的位置没有改变，就认为自己是静止的。站在路边的观察者，选了脚下的地面为参照物，便认为乘客是随着汽车一起运动了。

一个物体从匀速飞行的飞机上落下来，地面上的观察者看到的是：物体沿着一条抛物线落下来。可是在飞机上的乘

客看到的却是这个物体始终在自己的正下方，是沿着一条竖直向下的直线下落的。(图1-2)

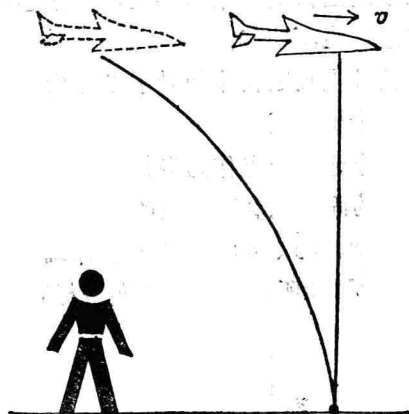


图 1-2 飞机上落下物的运动轨迹

同一个物体的运动，选择不同的参照物，得到的运动轨迹，一般是不同的。这说明了运动的描述，存在着相对性。

参照物虽然可以任意选择，但是为了研究问题方便，应选择最方便的参照物。通常，我们在研究地面上物体运动的时候，就选地面为参照物。当研究地球的自转和公转时，则应选太阳为参照物。

三、坐标系

为了研究物体的运动，需要确定一个参照物。但是，只选了参照物还是不够的。例如，有一架正在飞翔的飞机，对于

不动的参照物，比如是北京来说，飞机的位置不断地发生着变化。可是这架飞机，在这一时刻的位置离北京多远，下一时刻的位置离北京又是多远并不明确。再说，北京也太大了，离北京多远是指离北京东郊的机场多远，还是离北京西郊的机场多远，也不明确。

为了从数量上确定物体相对于参照物的位置，需要在参照物上选用一个坐标系。

在参照物上选取一点作为坐标系的原点，过原点引3条两两相互垂直的固定在参照物上的直线，代表空间的3个方向，这3条直线 ox 、 oy 、 oz 叫做3个坐标轴，分别叫做 x 轴、 y 轴和 z 轴。如图1-3所示，叫做直角坐标系。

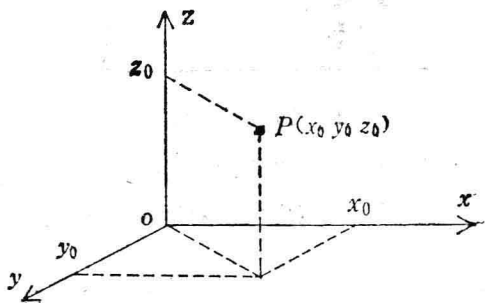


图 1-3 直角坐标系

取某雷达天线所在的地方为坐标原点，向东为 x 轴的正方向，向南为 y 轴的正方向，向上为 z 轴的正方向。那么， t_0 时刻飞机的方位(P)就可用 x_0 、 y_0 、 z_0 来表示了。反之，如果知道了飞机的3个坐标值，就一定能在空间找到这架飞机的位置。

可见，有了坐标系就可以从数量上确定物体的确切位

置，以及位置的变化情况。

坐标系是参照物的数学抽象，坐标系是建立在参照物上的。在今后的讨论中，我们将把参照物以及建立在其上的坐​​标系统称为参照系。

四、质 点

物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构。运动时，物体中的各个点的位置变化，一般说来各不相同。要详细描述各个点的位置及其变化，并不是一件简单的事情。如果在所研究的问题中，物体的大小和形状不起作用，或者是所起的作用不显著时，就可以用一个有质量的点来代替它，这种用来代替物体的有质量的点叫做质点。把物体看作是质点的抽象方法，有很大的实际意义。

一个物体，如果它的各部分的运动情况都相同，那么，在研究这个物体的运动规律时，它的任何一点的运动，都可以代表整个物体的运动。在这种情况下，物体的大小、形状就无关紧要了，可以把整个物体当作质点。一个物体在做平动时，如在平直公路上行驶的汽车，车身各部分的运动情况相同，当把汽车作为一个整体来研究它的运动时，就可以把汽车当作质点。如果我们要单独研究汽车车轮的运动，由于旋转的车轮各个部分的运动情况不同，那就不能把它看作质点了。

在研究地球的公转时，由于地球的直径（约 1.3×10^4 千米）比地球和太阳之间的距离（约 1.5×10^8 千米）小得多，地球上各点相对于太阳的运动，差别极小，所以地球的大小和形状可以忽略不计，因此就把地球看作质点。如果是研究地