

科普知识馆
KEPUZHISHIGUAN

发现宇宙黑洞之旅

FAXIAN YUZHOU HEIDONG ZHI LV

潘秋生 编著



如果宇宙始于一**场爆炸**，会不会终于**一场收缩**？
是什么物质会有这样大的引力让一个无界的宇宙归于沉寂？
黑洞的发现可能会给出一个答案

航空工业出版社

科普知识馆

发现宇宙黑洞之旅

潘秋生 编著

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

黑洞是天体物理学中最令人兴奋的发现，它是存在于宇宙空间的密度无限大、体积无限小的天体，我们已知的物理定理在黑洞那里全部失效。

对于黑洞的了解完全依赖于它对其他事物的影响。借由物体被吸入之前的因高热而放出紫外线和 X 射线的“边缘讯息”，可以获取黑洞存在的讯息，也可由间接观测恒星或星际云气团绕行轨迹了解其位置以及质量。

图书在版编目（CIP）数据

发现宇宙黑洞之旅 / 潘秋生编著. — 北京：航空工业出版社，2018.1

ISBN 978-7-5165-1414-6

I. ①发… II. ①潘… III. ①黑洞—普及读物 IV. ①P145.8-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第307580号

发现宇宙黑洞之旅

Faxian Yuzhou Heidong zhi Lü

航空工业出版社出版发行

（北京市朝阳区北苑2号院 100012）

发行部电话：010-84936597 010-84936343

晟德（天津）印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2018年1月第1版

2018年1月第1次印刷

开本：710×1000 1/16

印张：10

字数：110千字

印数：1—10000

定价：29.80元

前言

黑洞是目前物理学和天文学研究的一个热点。黑洞性质涉及物理学的基本规律和时空属性，现有的发现暗示人们：热力学与时空性质之间可能存在着深刻的内在联系，对黑洞理论的进一步探索有可能导致物理学的另一场革命。

对于普通的读者，可能更想知道想要了解黑洞，更应具备哪些基本常识呢？想要了解宇宙的秘密应掌握哪些知识呢？本书开始就为读者介绍了可以完美解释宇宙的相对论，正是爱因斯坦的理论才让困惑世人的很多问题得到了解决。如果说相对论因为高深还不能为大众所了解，那哈勃定律因为是出自实验物理则很好理解，而这两大理论就成了宇宙学的基础理论。

正是这两大宇宙学理论，让人们发现了黑洞，对于黑洞的研究还有很多其他的物理理论，比如，电磁学、钱德拉塞卡极限、史瓦西半径、奇点理论等，所有这些理论都为完美解释宇宙天体的变化做出了贡献。

因为所有这些理论的基础都离不开引力、电磁力等一些力的相互作用，爱因斯坦曾提出了大统一理论。后来的科学家也是基于这种思想来对宇宙进行研究。而黑洞所表现出来的时空维度正好符合科学家对宇宙秘密的探究。科学家通过对黑洞的研究提出了白洞与虫洞的假设，如果黑洞完全被解密，也许人类可以穿梭于不同的时空，想想这样的前景都是让人振奋的。

本书所讲内容不仅仅是黑洞，它涵盖了物理学的一些基本常识，宇宙学的一些知识，读者在出于对黑洞的好奇来阅读本书时，会接收到大量的科学知识信息，因此会在轻松的阅读中产生对科学知识的兴趣，最终产生一种学习的冲动，从而让生命更有意义。

目 录

第 1 章 发现宇宙的秘密

1.1 开启宇宙学的两大定理	2
1.2 暗物质和暗能量	35
1.3 大统一理论	49

第 2 章 发现黑洞

2.1 黑洞理论的提出	54
2.2 黑洞的产生	68
2.3 黑洞的物理性质	79
2.4 黑洞的演化过程	86
2.5 几种不同类型的黑洞	89
2.6 黑洞候选星	99
2.7 红移	107

第 3 章 黑洞的时空

3.1 爱因斯坦的时空理论	112
3.2 霍金辐射	118
3.3 看不见的维数	123
3.4 II 型超新星的引力坍缩	130

第 4 章 黑洞其他宇宙学知识

4.1 白洞	134
4.2 虫洞	147
4.3 天体物理学	153

第1章

发现宇宙的秘密

研究黑洞就是研究宇宙的命运，因为它是一个由一个只允许外部物质和辐射进入而不允许物质和辐射从中逃离的边界即视界所规定的时空区域。如果宇宙中的其他天体就这样一点点被它吞噬掉，想想未来的宇宙将是一个什么样子呢？

1.1 开启宇宙学的两大定理

引言

天体物理学分为：太阳物理学、太阳系物理学、恒星物理学、恒星天文学、行星物理学、星系天文学、宇宙学、宇宙化学、天体演化学等分支学科。另外，射电天文学、空间天文学、高能天体物理学也是它的分支。

想要了解任何天体的秘密都要了解一些天体物理的知识。本书的主角虽然是黑洞，但开篇一定要让读者学习点天体物理学知识。

天体物理学是研究宇宙的物理学，这包括星体的物理性质（光度，密度，温度，化学成分等）和星体与星体彼此之间的相互作用。应用物理理论与方法，来探讨恒

▼ 浩瀚的宇宙空间吸引着无数的科学工作者



星结构、恒星演化、太阳系的起源和许多跟宇宙学相关的问题。由于天体物理学是一门很广泛的学问，天文物理学家通常应用很多不同的学术领域，包括力学、电磁学、统计力学、量子力学、相对论、粒子物理学等。由于近代跨学科的发展，与化学、生物、历史、计算机、工程、古生物学、考古学、气象学等学科的混合，天体物理学目前大小分支为300~500门主要专业分支，成为物理学当中最前沿的庞大领导学科，是引领近代科学及科技重大发展的前导科学，同时也是历史最悠久的古老传统科学。

我们现在知道宇宙最著名的模型是大爆炸模型，宇宙中所有的一切都来自于那最初的爆炸。这一理论的提出要归功于理论物理学家，理论物理学家通常扮演大胆的假设者，当然这种假设并不是无依据的胡乱猜测，我们知道爱因斯坦是一位伟大的理论物理学家，而他的相对论是宇宙大爆炸模型的理论栋梁。我们现在知道相对论理论是正确的，而这一理论被世人接受完全要归功于另外一类天体物理学家，即实测天体物理学家，正是这类物理学家中的一位——英国物理学家阿瑟·斯坦利·爱丁顿(1882—1944)在1919年实地测量，才使人们接受了德裔美籍物理学家(犹太人)爱因斯坦(1879—1955)的理论。

为了接下来更好地理解黑洞被发现的意义，我们有必要了解一下两个物理大发现，正是这两个发现才有了我们今天的宇宙学。

相对论

只要说到现代物理学就不可能绕开爱因斯坦的相对论。这一理论是我们探索神秘宇宙的灯塔。相对论主要包含两部分内容：狭义相对论和广义相对论。

狭义相对论最著名的推论是质能公式，它说明了质量随能量的增加而增加。它也可以用来解释核反应所释放的巨大能量，但它不是导致原子弹的诞生的原因。而广义相对论所预言的引力透镜和黑洞，与有些天文观测到的现象符合。

狭义相对论

◎概念

哲学的伟大之处除了让人有理性思考之外，更重要的是它包罗了一切科学在未被完全解释中提出的那些假设，而任何一种假设都会让人充满探求的快乐。每个人都会受到前辈的启发，就连伟大的爱因斯坦也不例外。

知识
链接

以太

以太是希腊语，原意为上层的空气，指在天上的神所呼吸的空气。在宇宙学中，有时又用以太来表示占据天体空间的物质。

1881—1884年，波兰裔美籍物理学家阿尔伯特·迈克尔逊（1852—1931）和爱德华·莫雷为测量地球和以太的相对速度，进行了著名的迈克尔逊—莫雷实验。实验结果显示，不同方向上的光速没有差异。这实际上证明了光速不变原理，即真空中光速在任何参照系下具有相同的数值，与参照系的相对速度无关，以太其实并不存在。后来又有许多实验支持了上面的结论。

在19世纪末和20世纪初，虽然还进行了一些努力来拯救以太，但在狭义相对论确立以后，它终于被物理学家们所抛弃。人们接受了电磁场本身就是物质存在的一种形式的概念，而电磁场可以在真空中以波的形式传播。

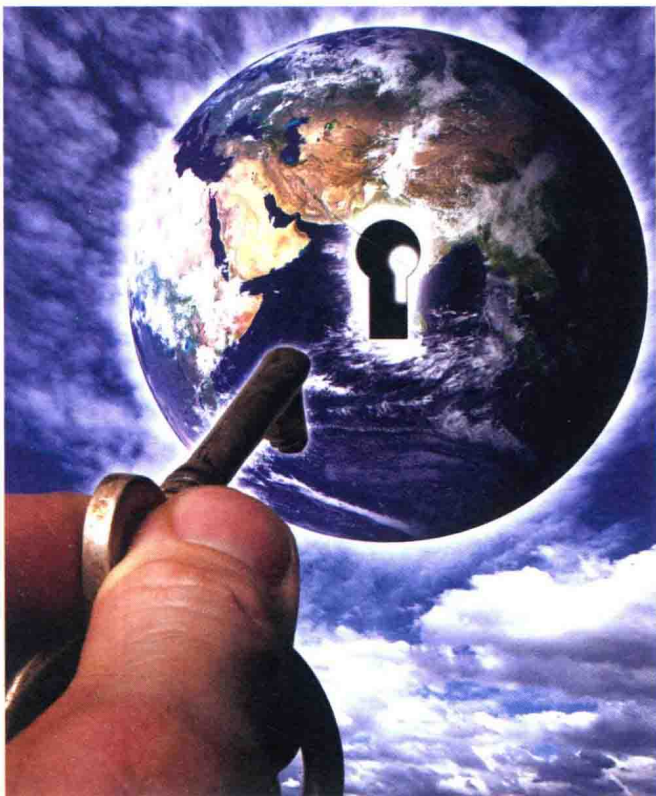
量子力学的建立更加强了这种观点，因为人们发现，物质的原子以及组成它们的电子、质子和中子等粒子的运动也具有波的属性。波动性已成为物质运动的基本属性的一个方面，那种仅仅把波动理解为某种媒介物质的力学振动的狭隘观点已完全被冲破。

然而人们的认识仍在继续发展。到20世纪中期以后，人们又逐渐认识到真空并非是绝对的空，那里存在着不断的涨落过程（虚粒子的产生以及随后的湮没）。这种真空涨落是相互作用着的场的一种量子效应。

▼ 宇宙创生模拟图



奥地利物理学家恩斯特·马赫(1838—1916)和英国哲学家大卫·休谟(1711—1776)的哲学对爱因斯坦影响很大。马赫认为时间和空间的量度与物质运动有关。时空的观念是通过经验形成的,绝对时空无论依据什么经验也不能把握。休谟更具体地说:“空间和广延不是别的,而是按一定次序分布的可见的对象充满空间,而时间总是由能够变化的对象的可觉察的变化而发现的。”1905年爱因斯坦指出,阿尔伯特·迈克尔逊和莫雷实验实际上说明关于“以太”的整个概念是多余的,



▲ 人类对宇宙的思考最早是从探索地球开始的

光速是不变的,而牛顿的绝对时空观念是错误的。不存在绝对静止的参照物,时间测量也是随参照系不同而不同的。他用光速不变和相对性原理推出了洛仑兹变换(因荷兰物理学家亨德里克·安东·洛仑兹<1853—1928>创立而得名),创立了狭义相对论。

狭义相对论是建立在四维时空观上的一个理论,因此要弄清相对论的内容,要先对相对论的时空观有个大体了解。在数学上有各种多维空间,但目前为止,我们认识的物理世界只是四维,即三维空间加一维时间。

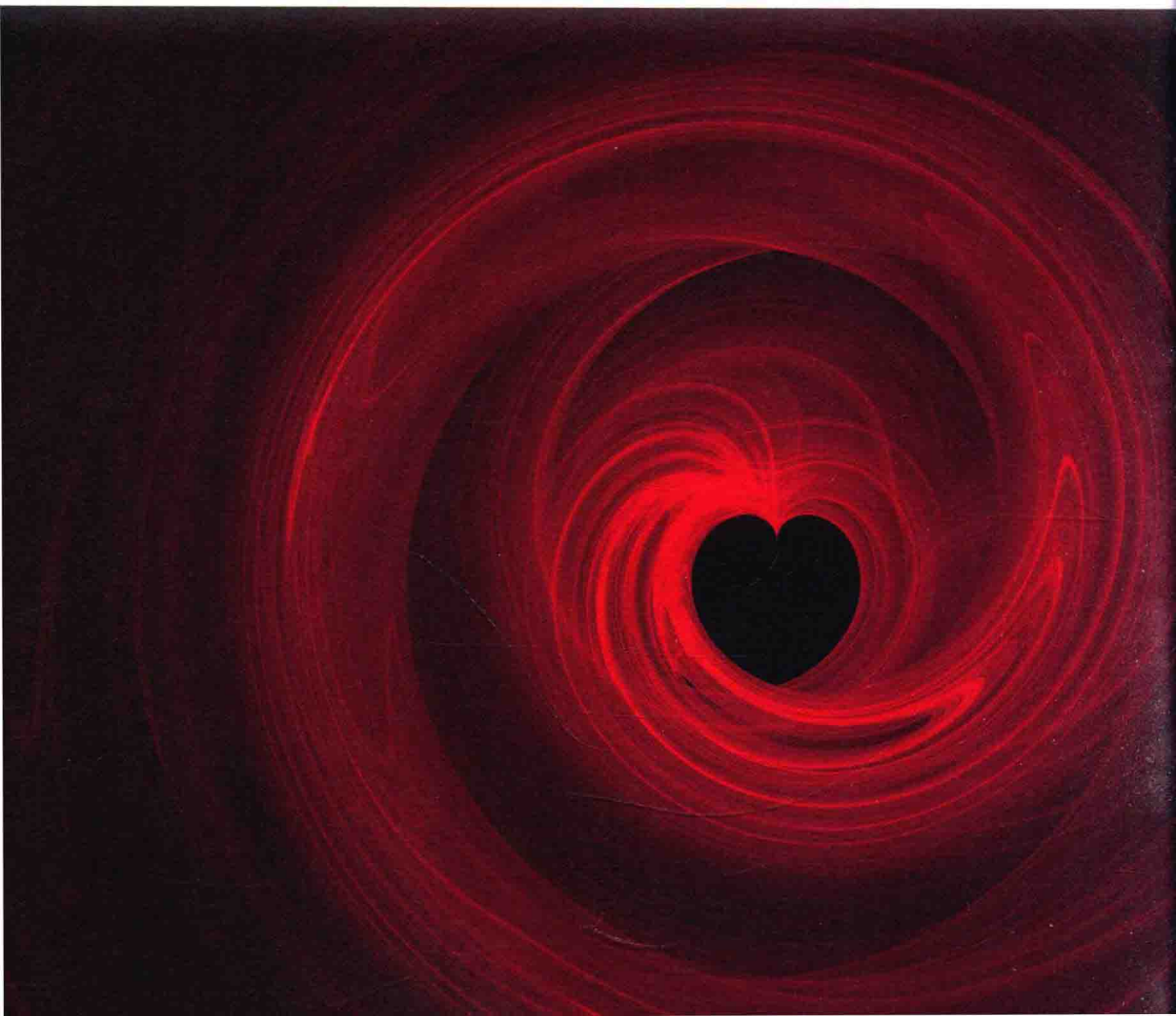
四维时空是构成真实世界的最低维度,我们的世界恰好是四维,至于高维真实空间,至少现在我们还无法感知。有一个例子,一把尺子在三维空间里(不含时间)转动,其长度不变,但旋转它时,它的各坐标值均发生了变化,且坐标之间是有联系的。四维时空的意义就是时间是第四维坐标,它与空间坐标是有联系的,也就是说时空是统一的,不可分割的整体,它们是一种“此消彼长”的关系。

四维时空不仅限于此，由质能关系可以知道，质量和能量实际是一回事，质量（或能量）并不是独立的，而是与运动状态有关的，比如速度越大，质量越大，即在我们的自然世界中没有绝对静止的物体。在四维时空里，质量（或能量）实际是四维动量的第四维分量，动量是描述物质运动的量，因此质量与运动状态有关就是理所当然的了。

在四维时空里，动量和能量实现了统一，称为能量动量四矢。另外在四维时空里还定义了四维速度、四维加速度、四维力、电磁场方程组的四维形式等。值得一提的是，电磁场方程组的四维形式更加完美，完全统一了电和磁，电场和磁场用一个统一的电磁场张量来描述。

四维时空的物理定律比三维定律更完美地解释了我们生活的这个宇宙，这说明

▼ 模拟黑洞图



我们的世界的确是四维的。正是因为它完美的解释才让我们不再怀疑它的正确性。

相对论中，时间与空间构成了一个不可分割的整体——四维时空，能量与动量也构成了一个不可分割的整体——四维动量。这说明自然界一些看似毫不相干的量之间可能存在深刻的联系。在下面论及广义相对论时我们还会看到，时空与能量动量四矢之间也存在着深刻的联系。

◎原理

物质在相互作用中作永恒的运动，没有不运动的物质，也没有无物质的运动，由于物质是在相互联系，相互作用中运动的，因此，必须在物质的相互关系中描述运动，而不可能孤立地描述运动。也就是说，运动必须有一个参考物，这个参考物就是参考系。

伽利略曾经指出，运动的船与静止的船上的运动不可区分，也就是说，当你在封闭的船舱里，与外界完全隔绝，那么即使你拥有最发达的头脑，最先进的仪器，也无从感知你的船是匀速运动，还是静止。更无从感知速度的大小，因为没有参考。比如，我们不知道我们整个宇宙的整体运动状态，因为宇宙是封闭的。爱因斯坦将其引用，作为狭义相对论的第一个基本原理：狭义相对性原理。其内容是：惯性系之间完全等价，不可区分。

著名的迈克尔逊—莫雷实验彻底否定了光的以太学说，得出了光与参考系无关的结论。也就是说，无论你站在地上，还是站在飞奔的火车上，测得的光速都是一样的。这就是狭义相对论的第二个基本原理：光速不变原理。

由这两条基本原理可以直接推导出相对论的坐标变换式、速度变换式等所有的狭义相对论内容。比如速度变换，与传统的法则相矛盾，但实践证明是正确的，因此，从这个意义上说，光速是不可超越的，因为无论在哪个参考系，光速都是不变的。速度变换已经被粒子物理学的无数实验证明，是无可挑剔的。正因为光的这一独特性质，因此被选为四维时空的唯一标尺。洛仑兹变换由于爱因斯坦提出的假说否定了伽利略变换，因此需要寻找一个满足相对论基本原理的变换式。爱因斯坦导出了这个变换式，一般称它为洛仑兹变换式。

Umwandlung von Energie in Masse

1B 

Energie
Masse
Lichtgeschwindigkeit

$$E = m \cdot c^2$$

$\frac{1}{c^2}$
jede Seite
durch c^2
teilen.

$$\frac{E}{c^2} = \frac{m \cdot c^2}{c^2}$$

$$m = \frac{E}{c^2}$$

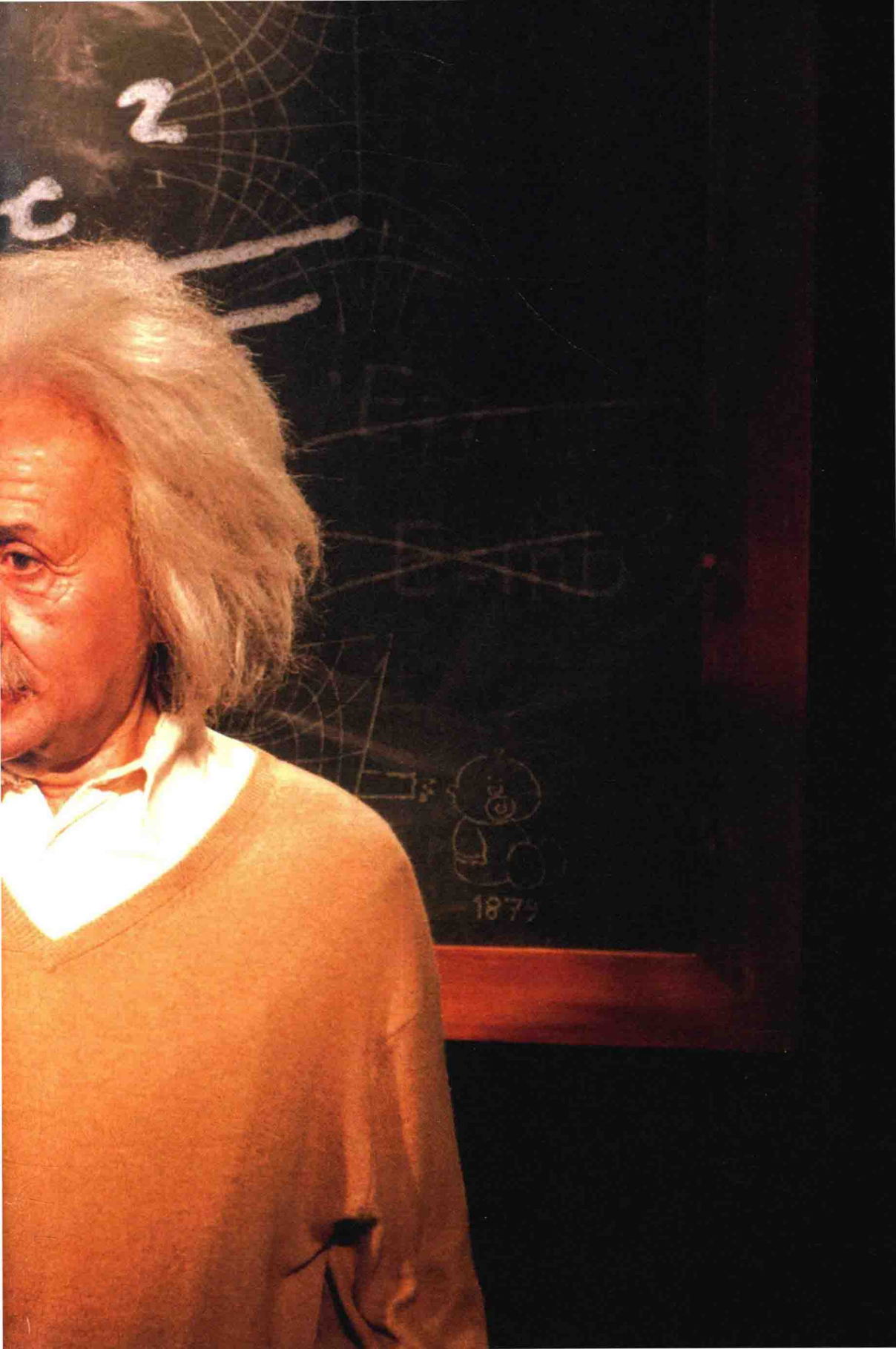
In der Relativitätstheorie
wird m nicht als eine
bestimmte Masse von
einem bestimmten
Material festgelegt.
Für m kann jede
beliebige Masse ver-
wendet werden.

Man versteht man, wenn
die Energie durch die
Lichtgeschwindigkeit im
Raum geteilt wird.

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$



▲ 爱因斯坦的理论是现今最能解释宇宙秘密的理论



◎效应

根据狭义相对性原理，惯性系是完全等价的，因此，在同一个惯性系中，存在统一的时间，称为同时性，而相对论证明，在不同的惯性系中，却没有统一的同时性，也就是两个事件（时空点）在一个惯性系内同时，在另一个惯性系内就可能不同时，这就是同时的相对性，在惯性系中，同一物理过程的时间进程是完全相同的，如果用同一物理过程来度量时间，就可在整个惯性系中得到统一的时间。在广义相对论中可以知道，非惯性系中，时空是不均匀的，也就是说，在同一非惯性系中，没有统一的时间，因此不能建立统一的同时性。

相对论导出了不同惯性系之间时间进度的关系，发现运动的惯性系时间进度慢，这就是所谓的钟慢效应。可以通俗地理解为，运动的钟比静止的钟走得慢，而且，运动速度越快，钟走得越慢，接近光速时，钟就几乎停止了。尺子的长度就是在同一惯性系中“同时”得到的两个端点的坐标值的差。由于“同时”的相对性，不同惯性系中测量的长度也不同。相对论证明，在尺子长度方向上运动的尺子比静止的尺子短，这就是所谓的尺缩效应，当速度接近光速时，尺子缩成一个点。由以上陈述

▼ 牛顿的理论曾统治了很长一段时间

可知，钟慢和尺缩的原理就是时间进度有相对性。也就是说，时间进度与参考系有关。这就从根本上否定了牛顿的绝对时空观，相对论认为，绝对时间是不存在的，然而时间仍是个客观量。比如双生子理想实验中，哥哥乘飞船回来后是15岁，弟弟可能已经是45岁了，说明时间是相对的，但哥哥的确是活了15年，弟弟也的确认为自己活了45年，这时与参考系无关的，时间又是“绝对的”。这说明，不论物体运动状态如何，它本身所经历的



时间是一个客观量，是绝对的，这称为固有时。也就是说，无论你以什么形式运动，你都认为你喝咖啡的速度很正常，你的生活规律都没有被打乱，但别人可能看到你喝咖啡用了100年，而从放下杯子到寿终正寝只用了1s。

◎结论

相对论要求物理定律要在坐标变换（洛仑兹变化）下保持不变。经典电磁理论可以不加修改而纳入相对论框架，而牛顿力学只在伽利略变换中形式不变，在洛仑兹变换下原本简洁的形式变得极为复杂。因此经典力学要进行修改，修改后的力学体系在洛仑兹变换下形式不变，称为相对论力学。狭义相对论建立以后，对物理学起到了巨大的推动作用。并且深入到量子力学的范围，成为研究高速粒子不可缺少的理论，而且取得了丰硕的成果。然而在成功的背后，却有两个遗留下的原则性问题没有解决。第一个是惯性系所引起的困难，抛弃了绝对时空后，惯性系成了无法定义的概念。我们可以说惯性系是惯性定律在其中成立的参考系。惯性定律实质是一个不受外力的物体保持静止或匀速直线运动的状态。然而“不受外力”是什么意思？

▼ 爱因斯坦的质能公式

$$E=mc^2$$

