

走进科学殿堂·物理篇

空间奥秘

张邦固 著

清华大学出版社

走进科学殿堂·物理篇

空间奥秘

张邦固 著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《宇宙奥秘》(张邦固,科学出版社,2002)的姊妹篇。本书从人们心目中的空间是不是真的“空”谈起,系统而又深入浅出地描述了空间在物理学中的真实一面;包括空间的科学定义,空间的性质,空间的对称与守恒,空间与运动物质的关系,空间与引力的关系,空间中的小和大,等等;从而解释了人们心目中的空间到底是什么的问题。本书适合高中以上学历对物理学基础感兴趣的读者阅读。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

空间奥秘/张邦固著. —北京:清华大学出版社,2008.12

(走进科学殿堂)

ISBN 978-7-302-19039-4

I. 空… II. 张… III. 空间科学—普及读物 IV. V1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第190843号

责任编辑:宋成斌 洪 英

责任校对:刘玉霞

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:148×210 印 张:5.875 字 数:89千字

版 次:2008年12月第1版

印 次:2008年12月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:15.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版
社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:031961-01

前言

本书所讨论的空间是真实的物理空间，是定义为“物质及其运动之广延性”的空间。这也是人们在日常生活中十分熟悉的空间。它的基本性质是可以被测量和检验。

在物理理论中，有统计物理的“相空间”、量子力学的“态矢空间”等；在数学中，有“复数空间”、“函数空间”等；在社会科学领域，也有一些思想空间。在佛教书籍中，有十八层地狱，有九十九重天。它们都是抽象的“空间”。

本书基本上不讨论这些“空间”。

空间能弯曲吗？

空间会“变扁”吗？

小空间小到什么程度？

大空间有多大？

都说，宇宙正在膨胀，这是真的吗？有什么根据？它将永远膨胀下去，还是将会停止，进而转入收缩？“标准模型”为什么不能回答这个根本问题？本书根据什么对此做出了明确的答复？为什么说，宇宙的

“年龄”不是一百多亿年，而是九百多亿年？真的发生过宇宙大爆炸吗？是什么原因造成的？以后还会不会再次发生？

本书将科学地讨论这些问题，以及其他一些有趣的科学问题。

本书从人们日常生活中对空间的认识入手，介绍了空间的严格的科学定义，说明空间是物质的一种性质。讨论了空间均匀性、中心对称等对称性与动量守恒定律、角动量守恒定律等的关系。还讨论了物质空间与物质运动的关系，介绍了狭义相对论，说明，当物体速度接近光速时，其空间性质会发生比较大的变化。介绍了人们所观察到的最小空间的性质，以及描述微观世界的量子力学。还介绍了物质引力会弯曲物质的空间，及描述它的广义相对论。还详细地介绍了描述大空间的宇宙论；有关的观测事实，相关的“标准模型”，其困难；叙述了笔者的相关工作，观测事实的支持。最后，本书记述了作者对一些问题的思考。其中几个问题是有待科学继续发展来解决的。

本书的姊妹篇《宇宙奥秘》于2002年6月出版。在当年暑假的一次学术会议上，笔者概要地介绍了其主要内容。与会的老教师们反映热烈。初次见面的北京航空航天大学梁家惠老师邀笔者去做讲座。10月，讲座进行时，同学们坐满了阶梯教室。两个小时



的报告之后,相互交流了一个学时还意犹未尽。为了不影晌旁人,交流移到走廊又持续了一个多小时。这期间,要求签名的同学有20多位。让笔者头一次体会了当“明星”的滋味。

2003年3月笔者在南开大学又做了一次讲座,情况大同小异。这些情景促使笔者加快了本书的工作节奏。6月与科学出版社科普分社的领导和责任编辑谈妥。后来,因为某种原因,计划未能实行。社会对《宇宙奥秘》的反响继续看好。9月在吉林大学、10月在中国科学院高能物理研究所研究生班、11月在北京工业大学又做了3次讲座。不到一年,首印7000册书就没有了库存。这些情况均表明,读者,特别是青年学生对讲述基础科学知识的科普书籍是欢迎的。

感谢清华大学出版社的编辑和领导在关键时刻伸出援助之手。感谢他们的远见卓识,感谢他们对科学的责任感,更感谢他们对提高中华民族的科学素质的热忱。

让我们携起手来,为发展科学,为提高中华民族的科学素质而共同努力。

张邦固

2008年12月



目次

I 前言

第1章 人们心目中的空间

- 1 1.1 空间的长宽高及弯曲程度
- 9 1.2 空间弯曲检测的根据
- 11 1.3 独立的空间

第2章 空间的科学定义

- 12 2.1 物质和质量
- 15 2.2 运动和能量
- 17 2.3 空间是物质的性质

第3章 对称性质与守恒定律

- 19 3.1 空间均匀与动量守恒

21 3.2 空间中心对称与角动量守恒

23 3.3 空间镜像对称与宇称守恒

25 3.4 时间均匀与能量守恒

第4章 空间与物质运动的关系、狭义相对论

27 4.1 波、多普勒效应

31 4.2 狭义相对论

41 4.3 空间被“挤扁”了

43 4.4 空间与时间相关

44 4.5 光锥

第5章 空间的小、微观世界、量子力学

45 5.1 小尺度空间的探测方法、显微镜

46 5.2 原子内的空旷、探针

48 5.3 电磁场、黑体辐射

52 5.4 特征光谱

55 5.5 最小的空间、电子衍射

58 5.6 测不准关系、波粒二象性

第6章 空间与引力的关系、广义相对论

- 62 6.1 世界线
- 66 6.2 空间的拓扑性质、拓扑空间
- 70 6.3 等效原理、广义相对论方程
- 71 6.4 施瓦氏解
- 72 6.5 实验验证
- 74 6.6 施瓦氏黑洞

第7章 空间的大、宇观世界、宇宙论

- 77 7.1 天体距离的测量方法、最大空间
- 84 7.2 星系退行
- 87 7.3 宇宙微波背景辐射
- 92 7.4 均匀膨胀系统的空间
- 96 7.5 膨胀的宇宙、标准模型
- 113 7.6 宇宙收缩、宇宙的“年龄”
- 127 7.7 宇宙的熵、与宏观世界的不同
- 130 7.8 宇宙质量中心的方位

134 7.9 大宇宙

第8章 几个问题

141 8.1 物理真实与理论

148 8.2 弯曲闭合空间

158 8.3 纠缠态、相互影响的超光速传播

162 8.4 粒子在其波长内的空间分布

166 8.5 场物质

168 8.6 球状闪电

名词术语

后 记

第1章 人们心目中的空间

1.1 空间的长宽高及弯曲程度

在日常生活中,人们好像不大在意“空间”。像笔者这样五六十岁的人,在孩提时代,关心的就是“吃”。春天去挖“小根蒜”,秋天去采酸枣。特别是在三年困难时期,就盼着能吃上一顿饱饭。每个月只配给半斤糖块,刚把它从售货员手里接过来,就急不可待地往嘴里放,每次都是没等从商店走到家就在路上吃完了。对于“空间”,没有怎么想过。只要是“觉,有地方睡;书,有地方看”就行了。只有在挤车或者其他拥挤的时候才会感觉到空间太小了。

这些年来,人们逐渐富裕起来。旅游成了人们的生活需要。空间对人们变得重要了。

现在,让我们从科学的角度描述人们心目中的空间。

1.1.1 一维空间

从北京出发去南方旅行,如果乘火车,走京广线,

会经过保定、石家庄、郑州、武汉、长沙、……，这样沿着一条线的运动就是一维运动。在全国地图上看，各个城市都是一个点。所以说，一维运动就是沿着一条线的运动，一维空间就是由许多点构成的一条线。

从上面的叙述可以看出：

(1) “空间”是物质运动的性质。人们在日常生活中认识了这种性质，但是，它不是个别物质的特性，而是物质的共性。

(2) 一些概念，比如上面涉及的“点”和“线”，在物理与数学中，它们是有区别的。在数学中，点是没有形状和大小的；在物理中却略有不同。如上面的例子中，一个点就是一个城市。然而，在讨论北京市内的旅游时，又不能把北京看成一个点了。又比如，要从北京站去颐和园，可以把北京站、崇文门、东单、天安门、西单、西四、新街口、西直门、动物园、白石桥、中关村、颐和园等当成点。而在颐和园内游玩时，又要将知春亭、石舫、排云殿、佛香阁等当成点。因此，“点”在不同的物理条件下有不同的物理含义。但是，它们有共性，就是在所讨论的问题中，它们是可以暂时不考虑其大小的“东西”。这就是数学上的“点”所体现出来的性质——没有大小，只有位置。运用数学，有很多好处。其中，最主要的是简洁和严格。所

以,我们离不开数学。不过,当我们把数学结果用于物理实际时,一定要记住,数学不是物理!采用数学模型解决物理问题和用数学结果解释物理世界都是有条件的!

好啦,让我们回到一维空间的主题上来。对上面叙述的旅游例子做数学抽象分析,一维空间就是由许多点构成的一条线。有的读者可能会想,我还是不大明白。不要紧,请耐心看完这一节。到那时,你或许会明白一些了。

旅游时,我们都知道,武汉比郑州远。因为北京到武汉有1000多公里,而到郑州才几百公里。也就是说,有关部门已经测量了各城市之间的距离。相应的,在数学上,就是要在—维空间的一条线上建立坐标。如图1.1所示。

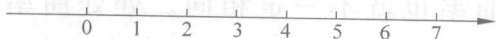


图 1.1 一维坐标

或者说,给一维空间中的每一个点配一个数,就可以用这样的一组数来描述一维空间。比如,在国家公路上一系列里程碑所记录的数字就是这样的一组数。这样的数可以是整数,也可以是小数。于是,可以用一个变数 x 来代表这些数。 x 每取定一个数,就



对应上图线上的一个点。所以说，一维空间可以用一条线来描述，也可以用一个变数来描述。前一种描述方法是几何方法，非常直观，一目了然；后一种方法是代数方法，十分简洁，适宜用来做数学推演。

一维空间的主要特征是它的长度。在旅游活动中，这就是它的路程。路程越长，花钱越多，费时也越多。人们在做旅游计划时，除了兴趣，金钱和时间也是所要考虑的主要因素。

在几何上，我们知道，一条线的另一个特征是它的弯曲程度。一小段曲线可以看成是一小段圆弧。人们就用这一段圆弧的半径来描述这一段曲线的弯曲程度。它叫做曲率半径。人们也常常用曲率半径的倒数来描述一小段曲线的弯曲程度。它叫做曲率。一般来说，一条曲线各处的弯曲程度不一定相同，它的各点的曲率也就不一定相同。处处曲率相同的曲线是圆弧。如果这样的曲线的头和尾接上了，它就是一个圆。

描述曲线弯曲程度的量除了曲率之外，还有挠率。曲率描述了曲线的主要弯曲程度，挠率描述了与主要弯曲方向垂直方向的弯曲程度。只有曲率而挠率处处为零的曲线是平面曲线，即它完全在一个平面内。

1.1.2 二维空间

显然,仅用一维空间是不足以描述物理世界的。仍旧运用旅行的例子。爸爸和妈妈要去海南岛度假,儿子却要去乌鲁木齐出差。现在,用一条线就无法描述这一家的旅行了。仿照一维情况,可以用两条线或者两个变数来描述他们的活动。也就是说,需要用到二维空间。

与一维情况类似,二维坐标系可以如图 1.2 那样建立。这时,有两条坐标轴,分别为 x 轴和 y 轴。平面上任何一点都可以用两个数(坐标)来代表,比如说, P 的坐标就是 $(2.4, 3)$ 。

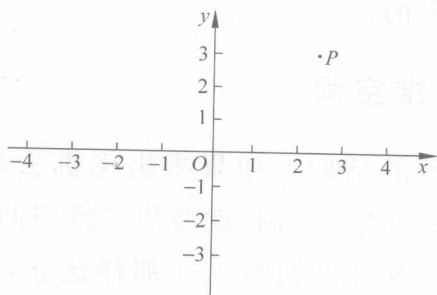


图 1.2 二维坐标系

如果一条旅游线路可以用一条线描述。显然,二维空间不仅能描述一家人的两条旅游线路,而且原则

上,可以描述无数条旅游线路。

二维空间就是由无数条线构成的面。在做旅游规划时用到的是地图,这是这样的一个平面;实际旅游时,人们活动的场地是我们脚下的地球表面,这是一个曲面。人们在球面上所建立的二维坐标是经度和纬度。其中,横坐标轴是赤道,纵坐标轴是格林尼治天文台所在的零经度线。

一个方向曲率处处为零而与之垂直方向的曲率处处相同的曲面是圆筒。曲率各方向相同且处处相同的曲面是球面。

一个二维空间的主要特征除了平和曲之外,还有它的长、宽和面积。不言而喻,面积这个特征对于农民是至关重要的。

1.1.3 三维空间

继续旅游的话题。如果乘坐飞机去旅游,或者,要潜水、要去游地下溶洞,就要用三维空间来描述了。

三维坐标系可以如图 1.3 那样建立, P 点的坐标是 (a, b, c) 。

真实的物理空间都是三维的。一维空间和二维空间都是数学抽象,是在一定条件下的近似。比如,一条线,只要是真实的线,它就是有粗细的。一条棉线

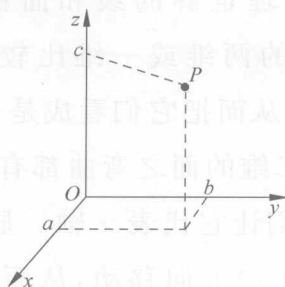


图 1.3 三维坐标系

大约几十 μm ($1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$) 粗细。用纳米技术生长出来的单原子碳线也有 $0.1\ \text{nm}$ ($1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}$) 左右粗细。真实的物理世界中不存在只有长短而无粗细的线。

我们来介绍用指数形式表达物理量的方法。其形如 10^n 。其中的 n 就叫做指数。它如果是正整数, 10^n 就是 1 后面有 n 个零; 它如果是负整数, 10^n 就是 1 前面有 n 个零 (包括小数点前面的那个零)。当物理量很大或者很小时, 这种形式比较简洁。

数学上的面是没有厚度的。物理世界真实的面都有厚度。我们来估算一张纸的厚度。找一本书。量出其厚为 $1\ \text{cm}$ 。它共有 400 页。那么每一张纸的厚度就是 $0.025\ \text{mm}$ 。 $1\ \text{g}$ 金子可以延展成约 $1\ \text{m}^2$ 的金箔。容易算出, 其厚度约为 $5\ \mu\text{m}$ 。

