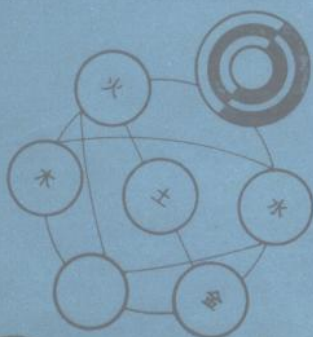


无限而大粒



万物化生

方励之 李淑娴 著

宇宙的创生

科学出版社

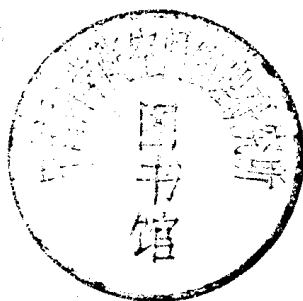
P159

112

物理学基础知识丛书

宇宙的创生

方励之 李淑娴 著



科学出版社

1987

32481

内 容 简 介

本书主要介绍现代宇宙学,即大爆炸宇宙学,包括观测发现以及理论上的进展。大爆炸宇宙学是近三十年来物理学及天文学领域中的主要成果之一。3K背景辐射的发现对大爆炸宇宙学的确立起了关键性作用。它的发现者曾获诺贝尔物理学奖。

《宇宙的创生》是《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》的续篇。

本书可供大学生和科学工作者阅读。

物理学基础知识丛书

宇 宙 的 创 生

方励之 李淑娴 著

责任编辑 姜淑华

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

北京市景山学校印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年7月第一版 开本: 787×1092 1/32

1987年7月第一次印刷 印张: 6 1/4

印数: 0001—4,000 字数: 138,000

统一书号: 13031·3565

本社书号: 5200·13-3

定价: 1.35 元

代 序

1978年8月,中国物理学会在庐山召开年会,不少物理学工作者有感于物理学在提高全民族科学文化水平和实现“四化”中的伟大作用,建议中国物理学会与科学出版社合作,编辑出版一套《物理学基础知识丛书》,有计划有系统地普及物理学的基础知识和物理学的新发展。这一倡议当即得到了广泛的响应。为此,中国物理学会理事会进行了认真讨论,积极热情地支持了这一建议,于是,就在风景绮丽的庐山,在中国物理学会和科学出版社的共同主持下,正式成立了本丛书的编委会,讨论和制定了丛书的编辑方针和选题计划,正式开始了丛书的编辑出版工作。

物理学研究物质的运动规律,物质的结构及其相互作用,它是许多科学技术的基础。从本世纪开始,物理学经历了极其深刻的革命,从宏观发展到微观,从低速发展到高速,由此诞生了量子物理学和相对论,并在许多科学技术领域引起了深刻的变革。本世纪以来,物理学在认识和改造物质世界方面不断取得伟大成就,不断揭开物质世界的奥秘。原子能的利用,使人类掌握了新的能源;半导体科学技术的发展,导致了计算技术和自动控制系统的革命;激光的出现焕发了经典光学的青春;凝聚态物理学的发展,使人们不断创造出许多性能大大提高的材料……。因此,向广大读者宣传物理学的基础知识以及物理学的新发展,乃是提高全民族科学文化水平和实现“四化”的需要。我们编辑出版本丛书的目的,就是试图在这方面贡献一份力量。

本书将着重介绍现代物理学的基础知识，介绍物理学的最新发展，要求注重科学性。我们希望作者发扬创新精神，力求做到题材新颖，风格多样；勇于发表独创性、探索性的见解，以活跃读者思路。在文风上则要求做到准确、鲜明、生动，深入浅出、引人入胜，以说透物理意义为主，尽量少用数学公式。

在编辑出版丛书工作中，我们得到了广大物理学工作者的热情支持和鼓励，还得到老一辈物理学家严济慈、钱临照、**陆学善**等同志的热情赞助和关怀。美国加州大学热斐尔学院院长吴家玮教授应邀积极参加编委会工作，并约请了美籍学者为丛书撰稿。我们一并在此致以谢意。

《物理学基础知识丛书》编委会

前 言

本来并没有多少话要在前言里说了,因为,这本书就是《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》一书的续篇,写作的目的和动机,在《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》的前言中,都已经详细地交待过,这里只补充几句。

《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》写于七年之前。这七年的时间相对于宇宙的年龄而言,是不足道的,但相对于宇宙学发展而言,却十分有意义。在这七年里,宇宙学的发展是令人兴奋的,许多新的观念被建立了,许多旧的束缚被突破了。只要把本书的内容和《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》的第十一章比较一下,就会看到前后七年的差别有多大!

最关键的似乎还不在宇宙学本身的进展,而是在宇宙学的进展得到了越来越高的评价和公认。1978—1984年共颁发了七次诺贝尔物理学奖,其中就有两次是给了与宇宙学有关的成就,一次是1978年授与微波背景辐射的发现,一次是1983年授与核合成理论的创立。1984年夏,在日内瓦欧洲核子研究中心(CERN)召开了一次物理教学问题会议,目的是讨论有哪些新的研究成果应尽快补充到物理教材中去,以使物理教学跟上整个物理学的进步。在会议中,第一个被提及的课题就是宇宙学,亦即,会议认为,宇宙学的基本概念应成为基础物理课程中的一个标准内容。的确,普及或介绍宇宙学,是近年出版的物理教科书所共有的特征之一。

实际上,这本小册子也是在普及和介绍宇宙学的过程中完成的。1982年以来,我们曾先后在安庆、南宁、杭州、南充、

贵阳和上海等地向从事物理教学的同行介绍宇宙学。那些讲稿就是本书的前身，同行的反响就是完成本书的催化剂。

《从牛顿定律到爱因斯坦相对论》的前言，是在意大利写的。事有凑巧，写这篇前言时，我又是在意大利。那一次，我是住在伽利略所创建的林琴科学院，这一次，我是住在国际理论物理中心的伽利略楼，一前一后，又都是在伽利略的名声之中！不同的是，上一次我从窗外看到的是罗马的斑驳陈迹，今天，窗外则是一望无际的亚得里亚海。陈迹使人缅怀过去，而海洋总是自由的元素，总把人引向未来。是的，罗马的陈迹使你禁不住想起伽利略的受难，海洋则使你清楚地意识到，那终归是过去的事了。在这六年中间，罗马教廷也终于正式宣布三百多年前对伽利略的判决是错误的。这件事，对今天的宇宙学来说，是有些为时过晚了。尽管如此，它们不免令人强烈地感到，宇宙学对社会进步的推动是不可低估的啊！

愿宇宙学在更多人的心底里激起对文明和进步的追求。

方励之

1985年6月25日

于的里雅斯特

目 录

第一章 杞人忧天的物理启示	1
千年的憾事——天坠问题的古典解释——康德的演化观——137438953471/137438953472——考察更大的体系——坍缩的时标——有限的寿命——质子的衰变	
第二章 没有中心的膨胀	18
哥白尼原理——圆桌会议中的几何——宇宙的图景——一个平凡的推论——变动的圆桌——宇宙的膨胀与收缩——为什么夜是黑的——视界——哈勃的发现	
第三章 宇宙的年龄	35
“万八千岁”——同位素年代学——用镭母测量太阳系——放射性元素的起源——稳定元素的年龄——两个“小”的证据——球状星团赫罗图	
第四章 空间的有限和无限	50
白痴的问题——有限和无限的思辨——思辨的继续——无界的有限——宇宙膨胀和有限无限——膨胀宇宙的前景——平均密度和有限无限	
第五章 可视的和不可视的物质	65
星系的密度——下落不明的质量——类星体的视星等红移关系——星系的转动曲线——不是重子——候选者名单——以大知小、以明知暗	
第六章 有序如何生于混沌	79
“世界越来越复杂了”——热死佯谬——膨胀宇宙的	

热力学——绝热膨胀下的辐射——绝热膨胀下的粒子——温差的产生——太阳系的热容量是负的——没有热平衡——结构的生成

第七章 宇宙热历史.....93

宇宙创生时期的信息——辐射是黑体的——原初的火球——辐射时期的性质——各向异性的上限——热历史年表

第八章 元素的合成..... 108

再谈元素的丰度——再谈恒星核合成——氦丰度——氦困难——原初核合成——中子衰变的影响——氘

第九章 不对称的起源..... 124

狄拉克的错误——反物质的含量——重子数、反重子数和光子数—— 10^{-10} 的不对称——共工的故事——大统一理论和 B 不守恒——重子不对称的形成

第十章 真空的暴涨..... 139

不唯一的真空态——真空的相变——大统一相变的化石——情人节事件——宇宙的暴涨——视界和平性——宇宙的开端

第十一章 第一推动的物理学..... 156

第一推动考——无限的困境——大爆炸的地狱——“有生于无”的出口——没有时间也没有空间——自足的框架——宇宙波函数——最“坚硬”的东西——时空拓扑——多连通的宇宙？

第十二章 人择原理和物理常数..... 175

宇宙学框架中的漏洞——人择原理——基本物理常数——人生存的必要条件(I)——人生存的必要条件(II)——人生存的必要条件(III)——物理常数的人择——物理常数是常数——物理规律的“人择”

第一章 杞人忧天的物理启示

千 年 的 憾 事

几千年的中国文明中，有许多东西直到今天仍然令我们自豪，但是，也有一些，却不能不使我们感到深深的遗憾。“杞人忧天”的故事的结局，就是后者之一。

这个故事是熟知的，也很简单。只不过说曾经有杞国的人醉心于思考天何时将坠、地何时将崩，以至废寝忘食。故事源于《列子》的《天瑞》篇，原文这样写着：

杞国有人，忧天地崩坠，身亡所寄，废寝食者。

这一段文字相当中立，从中看不出作者对杞人的忧虑是褒是贬。

可是不幸，“杞人忧天”后来演变成了一个贬义的成语，用来形容那些对没有意义的问题的思考。

更不幸的是，当科学的进步已经无疑义地证明杞人忧天极富价值的今天，仍然可以看到一些人把思考天坠等价于没有意义。这不能不说是一桩千年的憾事。

这种憾事发生在中国，是有它文化上的背景的。诗人李白在自己的诗作里可以无拘无束地想像“疑是银河落九天”，但是，对于银河是否真的会落九天的科学思考，他也没有跳出传统的价值观，写道：

白日不照吾精诚，

杞国无事忧天倾。

似乎，惊人的想像、大胆的提问放在文学家身上，就是“富有浪



图 1-1 杞国有人，忧天地崩坠，身亡所寄，废寝食者

漫”，而在科学中就成了没有价值的“无事忧”。

这是不对的。本书的目的之一，就是想说明，对这些“无事忧”的认真的科学考查，曾经和正在对人类文明的发展有怎样的贡献

让我们就从天坠问题开始吧！

天坠问题的古典解释

“天”会不会掉下来？

这个问题，就以今天的科学标准来衡量也属于一个提得非常准确的物理问题。因为，地面附近的任何东西，当没有支持时，都会落向地面，自然会问：天上的物体是否也将会落向地面？由于这个问题的存在是如此之显然，所以，不仅中国的杞人思考过，古希腊的哲人也曾思考过。

亚里士多德认为，天或天上的东西，是永远不会掉到地上来的。他的理由是：月亮以下的物体属于世俗，月亮以上的物体属于神界，它们是两类不同的东西，遵从不同的运动规律，一者总要下坠，一者总沿着圆而运动，总不会下坠。这就是有名的两界说。它可以圆满地解释地上的落体总是趋向地心，而天体总是围绕着地球而转动。

牛顿也思考过天坠问题：熟了的苹果总是要掉下来，为什么月亮不掉下来？牛顿不同意亚里士多德的两界说，他认为苹果和月亮应遵从相同的规律。按照牛顿的理论，苹果和月亮都同样地受着地球的吸引。实际上，月亮和苹果一样，是在不断地落向地球，只不过月亮有一个相当大的初始的横向速度，这样，下落运动加上一个横向运动就变成了一个永远掉不到地面上的圆（见图1-2）。

总之，月亮之所以不坠并非由于它属于天界，而是它有大的初始横向速度。因此，进一步的问题是：为什么月亮有这样大的初始速度？牛顿说，这个初始速度是由第一推动者给的。

“第一推动”并不是牛顿的发明，它在亚里士多德的《物理学》里已有了。亚里士多德用第一推动来表示终极的原因。如

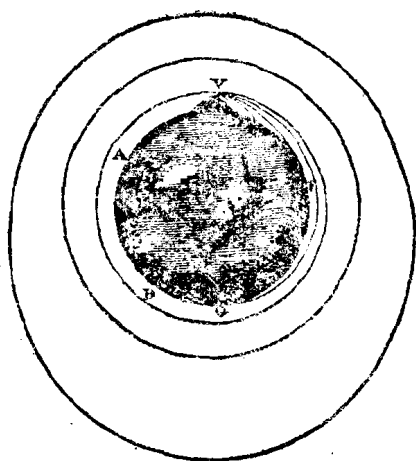


图 1-2 这是牛顿设想的一张图示。它表明，下落运动加上一个横向运动成为一个抛物运动，当横向速度足够大时，抛物轨道就过渡为围绕着地心转而永远掉不到地面上的圆轨道

果采取因果论的观点研究物体的运动，则任一物体的运动都是其他物体推动的结果，即“任何被推动者皆被某一事物推动”。由这一命题出发，结论就是：应当存在“一个不被任何别的事物推动的第一推动者”作为终极的原因。

康德的演化观

为了解脱“第一推动”的困难，康德提出一种观点：各种天体都是逐渐演化而成的，并非从宇宙创生时起从来就是这样。这就是演化观。

天体演化观，在西方科学的发展中起过极大的作用。因为，宇宙永恒不变的思想影响，在西方远比在中国深得多。在康德的时代，用演化观去冲击永恒观，的确是要有点勇气的。

相反,在中国的传统中,并不乏演化的观点。例如,三国时代的杨泉,在《物理论》中写着:

“气发而升,精华上浮,宛转随流,名曰之天河,一曰云汉,众星出焉!”

这种观点同康德主张的星体由气云收缩而成,是十分相似的。

可惜,中国古代学者从没有进一步用这种天才的洞见去考查任何一个具体问题,因此,这些思想一直停留在哲理性的阶段,没有发展成系统的科学理论。康德提出演化观的一个直接动机,就是企图以此解决月亮为何有那样大的横向速度。

康德认为,太阳系是由气云形成的。气云原来很大,由自身引力而收缩,最后聚集成一个个行星、卫星以及太阳。在收缩过程里,物质会获得很大速度,就象从高空落到地面的物体都会有很大速度一样。这样,月球具有很大速度是很自然的结果。不过,收缩而产生的速度都是向着中心的,而不是横向的。所以,需要一种把向心的高速转变成横向高速的机制,才能说明月球的运动。

为此,康德进一步假定存在万有斥力。由于斥力的阻挡,就可以把向心的运动变成横向的运动。用现代物理的语言说,这是散射机制或碰撞机制,高速运动的质点碰到坚硬的排斥力后,会明显地改变运动方向(图1-3)。

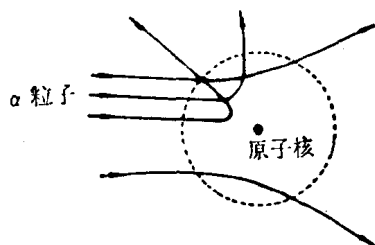


图 1-3 高速运动的质点碰到坚硬的排斥力后,会明显地改变运动方向。譬如带正电的 α 粒子受到带正电的原子核的排斥力,会被散射而改变方向(图中点线内的区域表示斥力的作用范围)

应当说,康德提出斥力存在,相当部分是基于他的哲学观。他曾说:吸引和排斥“这两种力都是同样确实、同样简单,而且也同样地基本和普遍”,“当物质分解成微粒时,它们之间的相互排斥表现在由排斥和吸引相互斗争所引起的那种运动中”。在这里,我们的确可以明显地看到“排斥和吸引相互斗争”这种哲学观的作用。

然而,根据这种哲学观所作的推测,并不总是正确的。

137438953471/137438953472

拉普拉斯第一个令人信服地证明,康德基于“排斥和吸引相互斗争”这种哲学做出的猜测是错误的。

拉普拉斯指出,若天体的横向速度是由斥力散射形成的,那么天体的横向速度应当有的向左,有的向右。即向各个方向有均等的机会。这样,太阳系中的天体应当有的从东向西旋转,有的从西向东旋转。但事实是:

所有行星都自西向东绕太阳运动,且在同一平面上。所有卫星绕其行星的方向与平面,同行星运行的方向和平面是一样的。

这是拉普拉斯在《宇宙体系概论》中的一段话。在拉普拉斯时代,已经知道太阳系中共有三十七个绕行体系。其中没有一个是自东向西运动的图(1—4)。

随后,拉普拉斯做了更定量的证明。如果像康德机制要求的那样,天体的横向速度方向,从西向东的概率为 $\left(\frac{1}{2}\right)$,从东向西的概率也是 $\left(\frac{1}{2}\right)$,那么,三十七个天体都获得从西向东的横向速度的概率应为 $\left(\frac{1}{2}\right)^{37}$ 。所以,拉普拉斯的结论是:

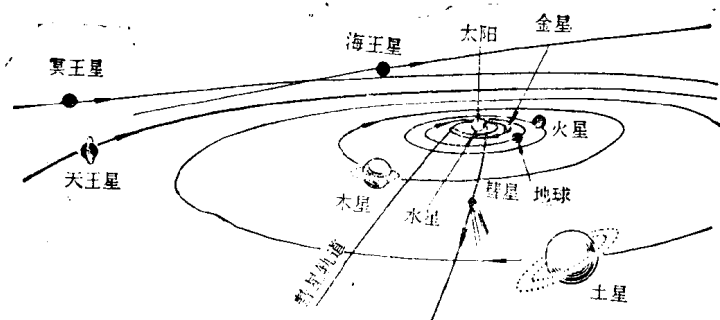


图 1-4 太阳系鸟瞰图。这是现代对太阳系的了解，所有行星轨道完全与拉普拉斯所说相符；只有少数卫星轨道平面的倾角与拉氏说法略有偏离，这并不影响他的论证

若运动平面的取向是任意的，则三十七个天体中至少有一个取逆向的概率是

$$1 - \frac{1}{2^{37}} = \frac{137438953471}{137438953472}。$$

这就证明了，康德的斥力说在 $1 - \frac{1}{2^{37}} = 99.99\cdots\%$ 的程度上是错误的。

进一步，拉普拉斯证明，并不需要斥力，只要有万有引力，就可以产生大的横向速度，而且速度方向是一致的。也就是说，气云在收缩过程中，不仅会使粒子的向心速度从小变大，而且会使它的横向速度也从小变大，并且，整个体系最后必定成为一个具有一致旋转方向的天体系统。这个结论的根据是：在万有引力作用的体系中，角动量是守恒的，在气云收缩过程中，角动量是不变的。对于初始具有一定角动量的气云，只要万有引力规律就足以保证体系不会收缩到一个点上，而必定形成旋转的盘状结构(图1-5)。

简言之，月亮之所以不坠，正是由于存在着力图使它下坠

的万有引力。

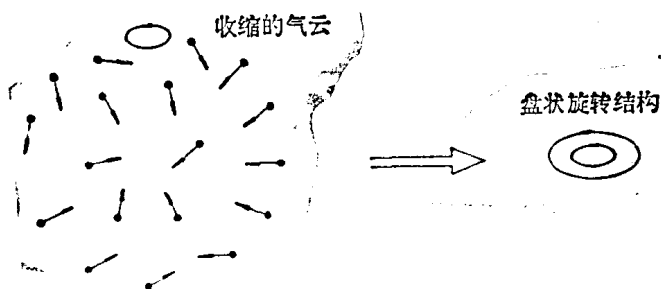


图 1-5 只要初始的气云(左)具有角动量,收缩以后它就会形成盘状结构

考察更大的体系

拉普拉斯的解释,是相当成功的。他从统一的观点和规律出发,不仅说明了太阳系中的天体为何不坠,而且说明了太阳系中的天体为何具有盘状的分布,天体旋转方向为何一致。

拉普拉斯的理论还可以去说明更大的天体系统。的确发现,许多不同尺度的天体系统都具有旋转的盘状结构。

从天体物理的眼光看,太阳系只是一个非常小的盘,用光的传播来度量,太阳系的半径大约是一个光天,即光在一天里走的距离。在许多恒星周围也有类似的盘状分布的物质。

银河系是个大约包括 10^{11} 个恒星的体系。太阳也在其中。银河系也是个旋转的盘,当然它的尺度要大得多,从太阳到银河的旋转中心的距离大约是三万光年(图1-6)。

许多河外星系称为旋涡星系,就是因为它们都有盘状的式样,并且在旋转着。这些旋涡星系都是类似于银河系这样的恒星体系(图1-7)。

更大的天体系统是星系团,星系团是由许多星系构成的