



TANMIYUZHOU DABAOZHA

# 探秘宇宙大爆炸

量子一词来自拉丁语quantus，意为“多少”，代表“相当数量的某事”。在物理学中，量子是这样定义的：在微观领域中，某些物理量的变化是以最小的单位跳跃式进行的，而不是连续的，这个最小的单位就是量子。本书将带领青少年读者进入神奇的量子世界，去领略科学无穷的魅力。



中国出版集团



现代出版社



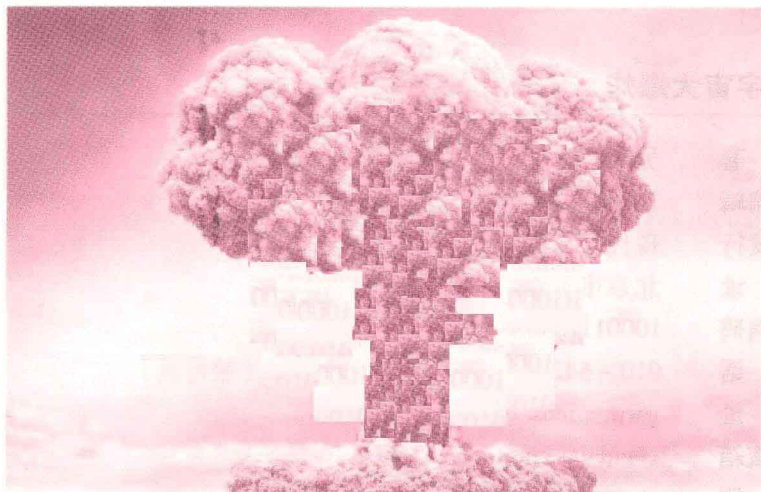
物理能量转换 世界

图文并茂，具有趣味性、知识性

TANMIYUZHOU DABAOZHA

# 探秘宇宙大爆炸

编著◎吴波



中国出版集团



现代出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

探秘宇宙大爆炸 / 吴波编著. —北京: 现代出版社, 2013. 1

(物理能量转换世界)

ISBN 978 - 7 - 5143 - 1043 - 6

I. ①探… II. ①吴… III. ①量子 - 青年读物②量子 - 少年读物 IV. ①O413 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 292884 号

## 探秘宇宙大爆炸

---

编 著	吴 波
责任编辑	刘 刚
出版发行	现代出版社
地 址	北京市安定门外安华里 504 号
邮政编码	100011
电 话	010 - 64267325 010 - 64245264 (兼传真)
网 址	www. xdcbs. com
电子信箱	xiandai@ cnpitc. com. cn
印 刷	大厂回族自治县祥凯隆印刷有限公司
开 本	710mm × 1000mm 1/16
印 张	12
版 次	2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978 - 7 - 5143 - 1043 - 6
定 价	23. 80 元

---

版权所有, 翻印必究; 未经许可, 不得转载





## 前 言

量子一词来自拉丁语 *quantus*，意为“多少”，代表“相当数量的某事”。在物理学中，量子是这样定义的：在微观领域中，某些物理量的变化是以最小的单位跳跃式进行的，而不是连续的，这个最小的单位就是量子。

在经典物理学的理论中能量是连续变化的，可以取任意值。19世纪后期，科学家们发现很多物理现象无法用这一理论解释。1900年12月14日，德国物理学家普朗克提出：像原子作为一切物质的构成单元一样，“能量子”（量子）是能量的最小单元，原子吸收或发射能量是一份一份地进行的。后来，这一天被认为是量子理论的誕生日。1905年，德国物理学家爱因斯坦把量子概念引进光的传播过程，提出“光量子”（光子）的概念，并提出光同时具有波动和粒子的性质，即光的“波粒二象性”。20世纪20年代，法国物理学家德布罗意提出“物质波”概念，即一切物质粒子均具备波粒二象性；在这之后，德国物理学家海森堡等人建立了量子矩阵力学；奥地利物理学家薛定谔建立了量子波动力学。量子理论的发展进入了量子力学阶段。1928年，英国物理学家狄拉克完成了矩阵力学和波动力学之间的数学转换，对量子力学理论进行了系统的总结，并将两大理论体系——相对论和量子力学成功地结合起来，揭开了量子理论发展的第三阶段——量子场论的序幕，最终量子理论成为现代物理学的两大基石之一，为从微观理解宏观提供了理论基础。

理查德·费因曼说：“谁也不懂量子力学”，真的是这样吗？的确，量子这种原子层次的事物，与我们日常所见的世界有很大的不同，这种不同就体现在我们熟悉的两大类现象即粒子和波动二者的差异之中，粒子一次只能存在于一个地点，而波（例如声波）却会在空间弥漫开来。在原子层次，把二者区



别开来的这种差异已然消失。电子，被认为是粒子，但也具有波的属性；光，通常被认为是波动，可是光的某些特性也只有把它看成由粒子组成时才能够得到解释，这种同时具有波动和粒子二者的属性即所谓的“波粒二象性”，其现象只有借助于量子学才有可能说得清楚，除此之外，还有一些现象，比如能量的不连续性、量子的隧道效应、测不准原理等等，所有这些，都是量子学研究的范畴。

量子理论及其应用对技术领域的冲击非常大，以硅基芯片（理论支持来源于量子物理）为基础的现代电子工业，使现代生活中许多方面都发生了革命性的变化。同样，成千上万种激光器件的出现，皆起源于爱因斯坦对原子与光量子相互作用的研究，还有其他更广领域中的一些现象（如超导电性），都可以用同样的量子基本理论解释，一句话，量子世界真是奇妙。



# 目 录

## 微观粒子世界

朴素的原子观 .....	1
卢瑟福的原子核模型 .....	6
玻尔的原子结构模型 .....	9
原子核内的相互作用 .....	14
第一个基本粒子——电子 .....	18
不断运动的粒子 .....	23
反粒子构成反物质 .....	27
中微子确实存在 .....	33
找寻物质结构的最小单元 .....	37
元素周期表的实质 .....	40

## 奇妙的量子理论

颠覆经典物理学的理论 .....	45
连续运动和双缝实验 .....	50
量子世界的测不准原理 .....	55
量子力学的机会法则 .....	59



量子的“隧道效应” .....	63
最基本粒子（夸克）的理论 .....	68

## 量子物理的实际应用

隧道效应与核裂变 .....	75
量子属性与生命基因工程 .....	78
电子的量子性质与激光器 .....	80
不确定性与照相成像 .....	82
最新通信技术——量子通信 .....	86

## 量子化学的研究与应用

量子化学的诞生及发展历程 .....	90
量子化学的研究范围及内容 .....	93
量子化学理论的多领域应用 .....	96

## 波与粒子

黑体辐射公式 .....	99
光既是粒子，也是波 .....	105
量子世界的“核心之谜” .....	108
一切物体都是波 .....	113
妙不可言的概（几）率波 .....	117
激光器和全息摄影 .....	121
将原子冷却的技术 .....	127

## 电磁与量子

泡利不相容原理和电子自旋 .....	131
量子电动力学的意义 .....	136
磁单极子的假设 .....	139



金属, 绝缘体与半导体 .....	143
奇妙的“超导”现象 .....	147
魔术般的超流动性 .....	150
高性能量子计算机 .....	154
远距离传物的量子技术 .....	159

## 宇宙与量子

解密恒星发光的能量来源 .....	163
太阳缓慢燃烧的秘密 .....	166
红巨星和白矮星的形成 .....	172
中子星和黑洞的形成 .....	176
重现“大爆炸”的图景 .....	180





# 微观粒子世界

WEIGUAN LIZI SHIJE

到20世纪60年代,有不少来自实验的间接证据,表明构成原子核的质子和中子并不是真正的基本粒子,而是具有内部结构的。另一方面,电子倒像是基本粒子,没有内容结构,但对它的运动,还了解的不够深入,甚至有偏差。多年来,已经构想出若干个模型,企图说明它们的内部到底是怎样的一种情形。

## 朴素的原子观

人类对自然界这个物质世界的认识,经历的探索时间是漫长的。土石叠为山丘,水流汇成河海。那么,土石和水流是由什么东西组成的?世间万物是怎样来的?假如不是无中生有的话,那么它们必定是由某些原始物质组成的,这些原始物质是什么?对这些问题的看法,或者说关于“原子”的设想,古代人有多多种多样。

早在公元前一千多年的殷周时期,我们的先人就提出了五行说,用金、



木、水、火、土这五种常见的物质来说明宇宙万物的起源和变化。到了春秋战国时期，由五行说的发展而产生了五行相生相克的观念。相生如木生火，火生土，土生金，金生水，水生木；相克如水克火，火克金，金克木，木克土，土克水。五行说中的合理因素，对我国古代的天文、历数和医学等方面，起了一定的作用。古代印度人也提出过与此类似的五大说，五大指的是地、水、火、风、空。



老子画像

我国春秋时期的大学问家老子做过周朝管理藏书的官，后来隐居了。他写的《道德经》虽然只有 5000 字，内容却非常丰富。那时候，人们认为宇宙间的万事万物都由神的意志统治和主宰。最高的神是天，也称为上天或天帝。所以，几乎人人都敬畏上天。然而，老子的看法却与众不同，他说，天地是没有仁义的，它对于万事万物，就像人对待用草扎的供祭祀用的狗一样，用完了就扔，不会有什么爱憎之情的。那么，天地万物的根本是什么呢？老子认为，有一样东西，在天地万物生长运行之前就存在了，世界上的所有东西都是由它产生的，

没有了它，就什么也不会有。这个东西是什么呢？它就是“道”，即世界的本原（本原就是“最初的根源”的意思）是“道”。老子说：“道生一，一生二，二生三，三生万物。”那么，道又是一种什么样的东西呢？老子认为道是不能用语言表达的一种看不见、听不着、摸不到的混混沌沌的东西。你遇见它时，看不见它的前面；你跟着它时，看不见它的后面。然而，它又无处不在。按老子所说：“它惟恍惟惚，是无状之状，无象之象。”后人称老子的哲学学派为道家。道家说的这个“道”是精神还是物质，学术界对此有不同的看法。

在古希腊，盛行过一阵一元说。大约公元前 600 年，有个叫泰勒斯的哲学家，认为水是万物的本原。他认为，大地和万物，都是经过一个自然过程，从水中产生的，就像尼罗河三角洲，是由水中淤泥沉积起来的一样。稍后，有个



叫阿那克西曼德的学者认为，万物的本原是一种叫做“无限”的不固定的物质。它在运动中分裂出冷和热、干和湿等对立的東西，并且产生万物。再稍后，有个叫阿那克西米尼的学者认为，气是万物的本原。他指出，气受热扩散，就变成火；遇冷凝聚，就变成水和土。气扩散和凝聚形成万物，万物也可转化为气。到了公元前500多年，出身于古希腊王室贵族，本应继承王位，却把王位让给了兄弟的哲学家赫拉克利特，又认为火是万物的本原。他说：“这个世界不是任何神所创造的，也不是任何人创造的，它过去、现在和未来永远是一团永恒的火，在一定的分寸上燃烧，在一定的分寸上熄灭。”他认为世界万物都在永远不停地变化着，犹如川流不息的江河，并用许多生动的事例描绘了这种运动和变化的画面。比这晚几十年，又有个叫阿那克萨哥拉的哲学家，认为万物的本原是“种子”，它的数目无限多，体积无限小，还具有各种形式、颜色和气味。他主张每一物体都是由各类性质不同的种子混合而成的，比如身体要靠食物滋养，食物就必然含有构成血和肉种子。哪一类种子在数目和体积上占得多，物体就显出哪一类的性质。

大约在公元前400多年，古希腊的哲学家德谟克利特，发展了他的老师留基伯的原子学说，把构成物质的最小单元叫做原子。他认为，原子是一种不可分割的、看不见的物质微粒，它的内部没有任何空隙。原子在数量上是无限的，它们只有大小、形状和排列方式的不同，而没有本质的差别。原子在无限的虚空中急剧而无规则地运动着，互相碰撞，形成旋涡，产生世界万物。



德谟克利特

对物质本原的设想很多很多，这许许多多的说法，只能当做近代科学研究的一种参考，而不能看做是科学真谛。为什么这样说呢？因为这些假说的提出人，都没有想到或没有条件用实验来检验它们。只有能够用科学的方法进行检验，并且能经受住这种检验的才能被认为是科学的。

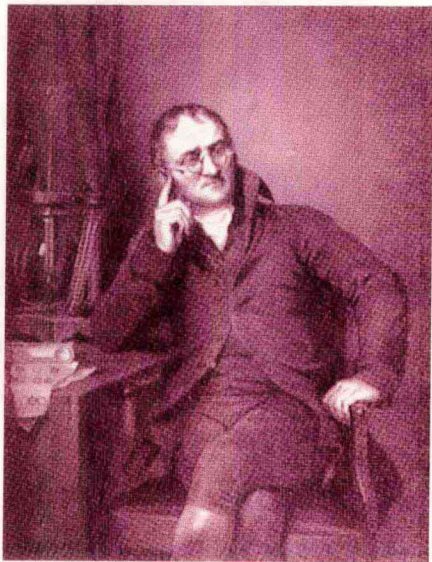


用近似于科学的方法来研究物质结构的的活动，直到 17 世纪才开始。

17 世纪以前，人们还不知道空气里含有多种成分，以为空气就是空气，甚至不知道空气与蒸汽的区别。17 世纪初，比利时的一个叫海尔蒙特的医生，第一次天才地启用了“气体”这个名词，并首次指出“蒸汽比气体容易凝结”的现象。海尔蒙特认为世间万物都是由水和空气这两种东西构成的。为证实这种猜想，他做了一个非常有趣的柳树实验。

海尔蒙特用一个大瓦罐，往里面放了 90.7 千克烘干的土，再栽上一棵 2.25 千克的柳树苗。此后，除了往罐里浇水之外，不再放任何东西，而且，还把柳树的落叶一片片地拾起来保存着。这样过了 5 年，他拔起柳树再称，连同所有的落叶一共重 76.8 千克。再把土倒出来烘干了称，只比原来少了 0.05 千克。柳树增加了 74.6 千克，多出来的物质是从哪里生出来的呢？海尔蒙特认为它生自空气和水。

1661 年，英国科学家玻义耳提出了化学元素概念，为科学地研究化学奠定了基础。百余年后，人们相继用实验手段发现了氢、氮和氧等元素，到这时才知道空气是由多种气体组成的。



物理学家道尔顿

1803 年，英国化学家和物理学家道尔顿，把原子从一个扑朔迷离的哲学名词变为化学中掷地有声的实在东西。他用原子的概念来阐明化合物的组成及其所服从的定量规律，并通过实验来测量不同元素的原子质量之比，即通常所说的“原子量”。这种始自化学的原子假说叫做“化学原子论”，也可以说是科学的原子论。

道尔顿认为：“化学的分解和化合所能做到的，充其量只能让原子彼此分离或重新组合。物质的创生和毁灭，不是化学作用所能达到的。就像我们不可能在太阳系中放进一个新行星和消灭一个老行星一



样，我们也不可能创造出或消灭掉一个氢原子。”

由于时代的局限性，道尔顿不太可能预见到百年之后，化学作用之外的物理作用的巨大威力。科学的发展表明，采用物理手段，就像我们能在太阳系中放进一个新行星或消灭一个老行星一样，我们不仅能创造出或消灭掉任意原子，而且我们还能分割原子核乃至更深层次的基本粒子。

## 知识点

### 化学元素

化学元素简称元素，根据原子核电荷数的多少对原子进行分类，把核电荷数相同的一类原子称为一种元素。任何物质都包含元素，一些常见的元素有氢、氮和碳。到2007年为止，总共有118种元素被发现，其中94种是存在于地球上的。原子序数大于82的元素都不稳定，会进行放射衰变。

## 延伸阅读

### 留基伯和他的原子论思想

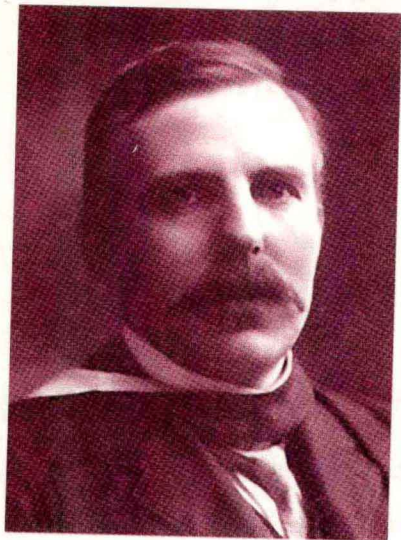
留基伯（约公元前500～约公元前440年），是古希腊唯物主义哲学家。一种说法说他出生在地中海的古希腊殖民地阿布德拉。留基伯是率先提出原子论（万物由原子构成）的哲学家，他的学说受到4个思想家和哲学家的影响，这4个思想家是泰勒斯、芝诺、恩培多克勒、阿那克萨哥拉。

留基伯的原子说认为，世间万物都是由不可分割的物质即原子组成的。宇



宙间的原子数是无穷无尽的，它们的大小、形状、重量等都各自不同，并且不能毁灭，也不能创造出来。他把宇宙的形成解释为：宇宙间的原子在虚空中永远运动着，由于旋涡式的运动，把大的一些原子赶到旋涡中心而形成了地球，而较细小的水、气、火等原子被赶到空间，产生了环绕地球的旋涡运动。地球以外的大原子聚在一起形成湿块，靠它们通过旋涡时的运动变得干燥而燃烧起来形成天体。对于生命，他认为，生命是从一种原始的黏土中发展起来的，一切生命都是如此。人是宇宙的缩影，因为人含有各式各样的原子。人的呼吸是不断地把原子从人体中排出去，又不断地从空气中吸入人体，因此呼吸停止，生命便结束了。

## 卢瑟福的原子核模型



“原子核物理学之父” 卢瑟福

在量子力学出现以前，经典力学既不能解释原子的大小，也不能解释原子的稳定。1911年由新西兰物理学家欧内斯特·卢瑟福最先做的实验，已经证明了，原子的所有正电荷，以及几乎所有的质量，都集中在一个很小的中心上，卢瑟福把这个中心叫做“原子核”。原子的绝大部分是空的。卢瑟福早在1908年就因为在放射性方面的工作已经获得过诺贝尔奖了，现在我们知道放射性是某些不稳定化学元素“衰变”引起的：原子发出阿尔法、贝塔或者伽玛射线等形式的辐射，并且转变成另外一种元素。

卢瑟福发现，带正电、很重、穿透力很强的阿尔法射线，实际上就是失去了两个电子的氦原子。而贝塔射线实际上就是电子，伽玛射线是高能光子。在那个时代，牵涉不同化学元素的研究被认为



是化学家的工作，这样卢瑟福有点跳出了自己的领域，获得了诺贝尔化学奖。在他的获奖讲演中，他说道，在他做的放射性研究工作中，他观察到了很多变化，但是没有哪种变化比他自己快——突然从物理学家变成了化学家！

卢瑟福是怎么发现原子核的？他用到了物理学家的一种传统方法，简单地说就是把一个东西朝某个东西扔过去，然后看会发生什么。卢瑟福与他在英国曼彻斯特的同事们一道，把放射源中出来的阿尔法射线射向一片很薄的金箔。然后他们仔细观察阿尔法粒子向什么方向散射。绝大多数时间，阿尔法粒子的前进方向只有很小的改变，但是偶尔，阿尔法粒子会偏转一个很大的角度。实验结果让卢瑟福大吃一惊，他把实验结果形象地描述为：

这是我一生中见过的最难以置信的事情。这就像你把一枚 15 英寸（1 英寸 = 2.54 厘米）的炮弹射向一张薄纸，炮弹会反弹回来打中你自己一样难以置信！

卢瑟福被这些实验结果困惑了好几个星期，最后意识到，那些阿尔法粒子只有碰到原子里面的很小但是很致密的物质核心——原子的核，才可能发生那么大的偏转。

我们现在已经知道，原子核里面含有一种叫质子的粒子，质子带有一个正电荷，与电子的电荷数量相同电性相反，还有一种叫中子的粒子，中子是电中性的。质子和中子都比电子重大约 2000 倍，因此原子的绝大部分质量都在原子核内。原子核里面质子和中子数目的不同意味着它们是不同的元素。质子和中子，被一种比质子间电斥力强很多很多的力束缚在原子核的很小的空间内。而且，这些“强力”只允许某些数目的中子和质子结合在一起形成一个稳定的原子核。最简单的原子核是氢核，就是一个质子。下一个最简单的原子核是阿尔法粒子，就是氦原子核，含有两个质子和两个中子。在一个中性的原子内，原子核带的正电荷被电子的负电荷精确地平衡。氢原子有一个电子，氦原子有两个。电子的数目，或者等价地说，质子的数目，决定了不同元素的化学性质。这样，虽然强大的核力允许一种元素有几种不同的原子核，也就是原子核中有不同的中子数，但是这些“同位素”的化学性质完全相同。例如，普通气体氖的原子核有 10 个质子和 10 个中子，但自然界也有不同种类的氖，原



子核里的中子数分别是 11 或者 12。由于这些氦的同位素质子数相同，当然电子数也就相同，因此它们的化学性质完全一样。类似地，氢有两种非常稀有的同位素，原子核里面分别含有一个和两个中子。这两种氢的同位素分别叫做“氘”和“氚”，“氘”和“氚”在恒星的核反应和核武器中都非常重要。有些同位素，特别是一些重元素的同位素，不稳定，会经过放射性衰变变成更稳定的元素。

卢瑟福把原子描述为一个微型的太阳系，电子绕着原子核在轨道上运行，就像行星绕太阳运行一样。电子的相对大的轨道，可以解释与原子核相对的，原子的相对较大的尺寸。原子的整体是电中性的，电子被带正电的原子核吸引，沿着绕原子核的轨道运动。不幸的是，对于经典物理来说，这种模型根本无法运转。为了绕原子核运动，电子的运动方向就不能是一条直线，也就是说，电子必须不停地改变方向，才能够保持在轨道上。换句话说，也就是电子必须一直不停地在朝原子核加速。但是根据已经确立的电磁学理论，一个带电粒子加速的时候会辐射出光。因此经典物理预言，在很短的时间内，电子会通过辐射失去能量，直到螺旋着掉进原子核里。

## 知识点

### 同位素

同位素是指具有相同质子数，不同中子数（或不同质量数）同一元素的不同核素。自然界中许多元素都有同位素。同位素有的是天然存在的，有的是人工制造的，有的有放射性，有的没有放射性。氢有三种同位素，H 氕、D 氘（又叫重氢）、T 氚（又叫超重氢）；碳有多种同位素，例如 $^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$ （有放射性）等。同一元素的同位素虽然质量数不同，但它们的化学性质基本相同，物理性质有差异。



## 延伸阅读

### 诺贝尔奖获得者培养人

卢瑟福是一位杰出的学科带头人，被誉为“从来没有树立过一个敌人，也从来没有失去一位朋友”的人。在他的助手和学生中，有多人荣获诺贝尔奖。

1921年，卢瑟福的助手索迪获诺贝尔化学奖；

1922年，卢瑟福的学生阿斯顿获诺贝尔化学奖；

1922年，卢瑟福的学生玻尔获诺贝尔物理学奖；

1927年，卢瑟福的助手威尔逊获诺贝尔物理学奖；

1935年，卢瑟福的学生查德威克获诺贝尔物理学奖；

1948年，卢瑟福的助手布莱克特获诺贝尔物理学奖；

1951年，卢瑟福的学生科克劳夫和沃尔顿，共同获得诺贝尔物理学奖；

1978年，卢瑟福的学生卡皮察获诺贝尔物理学奖。

无怪乎，有人说，如果世界上设立培养诺贝尔奖获得者奖的话，那么卢瑟福是第一号候选人。

## 玻尔的原子的结构模型

人们把玻尔和爱因斯坦，称为20世纪的两们最伟大的物理学家，因为他们分别是量子论和相对论的创始人。

1885年10月7日，玻尔出生在丹麦哥本哈根的一个充满浓郁的科学和艺术气氛的家庭中。他的爸爸是一位有名的生理学家，妈妈也有很高的文化。玻尔是在哥本哈根大学受的高等教育，1906年大学毕业，1911年获得博士学位。