



青少年前沿科学探索

囚禁在樊笼中的 夸克

◎ 张镇九 著

QIUJINZAI FANLONGZHONG DE
KUA KE

河北出版传媒集团
河北科学技术出版社

囚禁在樊笼中的夸克

在粒子王国中，夸克有着非常奇怪的性质，它们不但色味俱全，夸克最与众不同的是不存在自由的单个夸克，它们都是被囚禁在粒子内部。因此说夸克是被囚禁在樊笼之中。宇宙大爆炸后不到1秒钟内发生的秘密可能就隐藏在这种极微粒子——夸克中。

图书在版编目(CIP)数据

囚禁在樊笼中的夸克 / 张镇九著. —石家庄:河北科学技术出版社, 2015. 7

(青少年前沿科学探索)

ISBN 978-7-5375-7826-4

I. ①囚… II. ①张… III. ①夸克-青少年读物 IV. ①O572.33-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 151718 号

囚禁在樊笼中的夸克

张镇九 著

出版 河北科学技术出版社

地址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编:050061)

经销 新华书店

印刷 河北新华第二印刷有限责任公司

开本 700 毫米×1000 毫米 1/16

印张 11.5

字数 90 000

版次 2015 年 7 月第 1 版

印次 2015 年 7 月第 1 次印刷

定价 20.50 元

大至宇宙，小至分子、原子、夸克，新奇如暗物质、暗能量，人们对自然界各种各样的物质和千奇百怪的现象充满着好奇，总想探索个究竟。物质由分子、原子组成，原子又由原子核与核外的电子组成，原子核由质子和中子组成。那么，质子、中子又由什么组成？现在的理论和实验研究的结果告诉我们，质子是由 3 个夸克组成，中子是由另外的 3 个夸克组成。夸克有奇怪的性质。带电方面，我们知道，一个电子带一个负电荷，一个质子带一个正电荷，而夸克有带三分之二个电荷的，还有带三分之一个电荷的。夸克还有“色”和“味”的特性。“味”的特性，这不是指什么“甜夸克”、“苦夸克”或“酸夸克”，……，而是称为上夸克、下夸克、奇夸克、粲夸克、底夸克和顶夸克共 6 种。除了“味”的特性，还有不同的“色”的特性，分别是红、绿和蓝。这里“色”并不是指夸克真的具有颜色，而是借“色”这一词形象地比喻夸克本身的不同物理属性。红、绿和蓝叠加在一起就成了无色的。因此计入 6 种味和 3 种色的属性，加上它们对应的反粒子共有 36 种夸克。自然界中发现的质量比电子大但是比质子小的粒子称为介子，它是由同色的一个夸克和一个反夸克组成的。有些恒星在演化末期可能演化成夸克星。

2013 年，诺贝尔物理学奖颁给了发现“上帝粒子”

(即希格斯玻色子)的二位科学家。这种粒子是所有基本粒子包括夸克的“质量”之源。

现在科学家们认为,不存在自由的单个夸克,夸克都是被囚禁在粒子内部的。因此说夸克是囚禁在樊笼之中。

既然夸克被囚禁在樊笼之中,那有办法将夸克从樊笼之中解救出来吗?夸克是最基本的粒子吗?夸克又是由什么组成的呢?这就涉及一个问题:

宇宙诞生的极早期,可能就存在着夸克。一种理论认为,早期宇宙产生了一种新粒子 X 和它的反粒子 $\bar{X}$, 它们在可见部分结合成为夸克,在“隐匿”部分组成为暗物质。

2011 年诺贝尔物理学奖颁给了“通过观测遥远超新星发现宇宙的加速膨胀”的三位科学家。而宇宙的加速膨胀预示宇宙中可能存在看不见的“暗物质”和“暗能量”。据科学家预计,“暗能量”占宇宙总质量的 73%, 还有 23% 是看不见的“暗物质”。我们现在能够观测到的物质, 只占 4%。如果是这样,我们对宇宙的看法将大大改观。

张镇九

2014 年 8 月

一 构成物质世界的最基本砖块

- 祖先眼中的世界 001
- 世间万物由什么构成 007
- 宇观、宏观、介观和微观 009
- 大自然的最小单元是什么 014
- 基本粒子的秘密 015
- 费米、爱因斯坦与原子弹 019
- 究竟是波还是粒子呢 025
- “双生子”之间的量子纠缠 027

二 夸克是如何被发现的

- 打开原子的大门 028
- 有“色”有“味”的夸克 030
- 夸克之父盖尔曼 034
- 费曼的故事 037
- 粒子也像陀螺一样有自旋 040
- 物质不只有气态、液态和固态 042

● 第 62 种粒子——“上帝粒子”	045
--------------------------	-----

三 夸克的性质

● 36 种夸克	051
● 夸克有味	057
● 夸克有色	059

四 被囚禁的夸克

● 夸克囚禁	062
● 夸克为什么被囚禁	065
● 囚禁中的渐进自由	069
● 物质是否无限可分呢	072
● 如何看待夸克囚禁现象	074

五 夸克物质研究的新进展

● 夸克星存在吗	076
● 发现宇宙在加速膨胀	078
● 让爱因斯坦难以忍受的宇宙学常数	086
● 超新星——宇宙新标尺	087
● 令人震惊的结论	091
● 最大的科学谜团——暗能量	094
● 夸克与宇宙的联系	097
● 2013 年的新发现	103

● 暗物质——笼罩现代物理学的最大乌云	111
● 阿尔法磁谱仪的贡献	113
● 科学家发现宇宙暗物质的存在线索	116
● 神奇的引力透镜效应	120
● 暗能量的根源	123
● 新粒子 X 与 $\bar{X}$ 能结成为夸克	135

六 人类对物质结构的探索

● 人类对物质的认识过程	138
● 物质的层次结构	140
● 生命的层次结构	145
● 道尔顿原子论	149
● 电子的发现	151
● α 粒子散射实验	154
● 卢瑟福的原子有核模型	155
● 光子——光是粒子组成的	158
● 从原子到基本粒子	164
● 张开想象的翅膀在宇宙翱翔	166

一、构成物质世界的最基本砖块

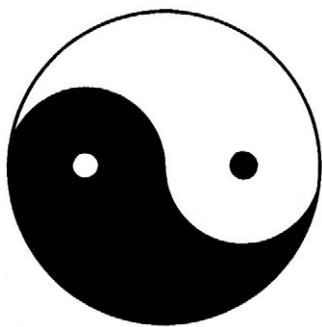
中国古代诗人屈原（约公元前 340 ~ 前 278）有句名言：“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。”人类在追寻真理和科学探索中会有许多问题要问，最大的问题是“宇宙有多大？”最小的问题是“世界上最小的物质粒子是什么？”结果发现，宇宙最早期有夸克产生；我们现在所知道的世界最基本的构成成分有夸克。先看看我们祖先是怎么看世界的。

● 祖先眼中的世界

阴阳八卦与大自然事物相对应

中国古时候认为世界上最基本的是阴阳，即阴气与阳气的合称。这源自人们的自然观。古人观察到自然界中各种对立又相联的大自然现象，如天地、日月、昼夜、寒暑、男女、上下等，归纳出“阴阳”的概念。早至春秋时代的《易经》以及老子的《道德经》都有提到阴阳。《道德经》里面说：“道生一，一生二，二生三，三生万物，……”这

是从宇宙起源角度谈阴阳。这里“道”的意思是道路、方向。当混沌水汽从无序运动转向有序运动，就等于车辆上了正道，开始向目的地前进了。这种在正道上的有序运动导致了太极的诞生。太极就是“一”，它诞生于混沌从无序运动转向有序运动的那一时刻。太极一诞生，随后而来的就是天地的出现。天地就是“二”，就是阴阳。天气下降、地气蒸腾，二气相合，其结果就是人的诞生。人就是“三”。“三”也包含万物生灵，人是万物生灵中最灵者，是它们的总代表。随后世界万物在阴阳交互作用中世代交替，保持种群和数量的平衡。阴阳理论已经渗透到中国传统文化的很多方面。“太极思维”是《易经》的主要观点，“无极生太极，太极生两仪，两仪出四象，四象化八卦，……”。“两仪”就是阴阳。“四象”是指青龙、白虎、朱雀、玄武，分别代表东西南北四个方向。古时候用一长横“—”称为“连”和两短横“- -”称为“断”这两个最基本的因素合起来表示；两个最基本的元素进行三种不同的结合而成为八卦，即二的三次方等于八，即 $2^3=8$ 。



太极图

太极图又称“太极鱼”，黑白两条小鱼的形状代表阴阳。白鱼头的部分与尾的部分与黑鱼的尾和头相补充，合起来成一个圆。而且，黑鱼的眼睛是白的，白鱼的眼睛是黑的，说明阴中有阳，阳中有阴。这都说明，一分为二和合二为一。你中有我，我中有

你。阴和阳，在不同情况下，可以有不同的含义。例如，正电与负电；粒子与反粒子；物质与反物质；吸引与排斥；物质与暗物质；能量与暗能量。质子和电子所带的电荷是基本电荷的整数倍，正负不同，而夸克所带的电荷是基本电荷的分数倍（三分之一或三分之二），也有正负之分。

下面的八卦图，中心是太极图。周围分布着八个方向和八卦，与表示时间的 24 小时（中国古代的 12 个时辰），和东、南、西、北等方向相对应。

首先，八卦用八个汉字表示，这八个汉字的读音接着用拼音标出，卦的形状也形象地用文字写出，接着的三个数字是二进制表示，括号中的文字说明方向，最后的字是代表与它相对应的自然界的事物。八卦就是：

乾：三连 111（西北）天，
 坎：中满 010（正北）水，
 艮：覆碗 100（东北）山，
 震：仰盂 001（正东）雷，
 巽：下断 110（东南）风，
 离：中虚 101（正南）火，
 坤：六断 000（西南）地，
 兑：上缺 011（正西）泽。



八卦图

用现代计算机二进制代码 0 与 1 表示，八卦是三位二进制，共有八卦。两卦同时用，称为“复卦”，共有 64 卦。

阴、阳与“连”、“断”以及二进制的 0、1 联系起来，更有很多意义。

例如，一枚硬币有两个面，一枚硬币就如同一个卦，硬

币的两个面就对应阴和阳。抛掷硬币，阴阳两面中的一面朝上的概率为 $1/2$ 。连续抛三次，再连续抛三次，如此继续下去，各种情况都逃不出下面的 8 种情况：

阳阳阳，阳阳阴，阳阴阳，阴阳阳，
阴阴阳，阴阳阴，阳阴阴，阴阴阴。

第一种情况是三次阳，第二、三、四种情况都是只出现一次阴两次阳，但是出现阴的先后不同；第五、六、七种情况都是只出现一次阳两次阴，但是出现阳的先后不同；第八种情况就是三次阴。

这就是用连“—”和断“--”表示的八种情况，即八卦。

要是用两个卦，最多就有 64 种情况。这就是“复卦”。

单卦如一只鞋子，分阴和阳两面，如鞋子分鞋底和鞋面，与 0 和 1 相对应。一双鞋子的左右两只，每只鞋子又有正反两面，这就形成“复卦”。

在科学上，这属于概率论，与“占卜”不一样。将它与宗教，或者与迷信联系起来，那是另外的事。

五行是构成万物的最基本元素

比“阴阳”更具体一些的观念是“五行”。五行是中国古代的一种物质观。五行指：金、木、水、火、土。五行学说认为宇宙万物，都由金木水火土五种基本物质的运行和变化所构成。它强调整体概念，描绘了事物的结构关系和运动形式。如果说阴阳是一种古代的对立统一学说，那么五行可以说是一种原始的普通系统论。

《五帝》篇中记载：“……天有五行，水火金木土，分时化育，以成万物。”宇宙间一切事物都由五行相互作用而产生。“行”是自然的运行。

五行中有生命活力的是木，生命需要由水才能成长，“水生木”。人类最早取得的人造火种是钻木取火，所以“木生火”。

生命走到尽头，木燃烧后只剩下一堆灰烬，故“火生土”。

土属中性，蕴藏着各种矿藏，故“土生金”。

古人从金属表面发现冷凝水珠，“金生水”。

这就是水生木→木生火→火生土→土生金→金生水的循环状态。

大地一定要植树（木），用大树的根来稳固土质，大雨来时才不会土质流失（土），大雨会造成水灾就必须用土来保卫家园（水），古时家园的门口都要摆个大水缸，下雨时备水以备火灾时可灭火（火），为保卫家园及家中煮饭生火必须有刀枪斧头器皿（金），生火需要用锯子斧头来劈柴（木），这自然的相克制衡的道理就是木克土→土克水→水克火→火克金→金克木。



相生与相克

八卦与五行的关系

前面说过，在八卦中，八卦与自然界的事物的对应关系是：乾一天，坎一水，艮一山，震一雷，巽一风，离一火，坤一地，兑一泽。

与五行金、木、水、火、土对照，可以看出上面已经包含水和火，泽也是水，山和地都是土，将天干、地支结合起来，八卦和五行都以阴阳为基础。

这里，我们来一个小提示：

宇宙间一切事物都由阴阳相互作用而产生。“行”是自然的运行。五行认为大自然由五种要素所构成，随着这五个要素的盛衰，而使得大自然产生变化，不但影响到人的命运，同时也使宇宙万物循环不已。这些与现代的基本粒子中的物质的基本结构如何相联系？后面我们将要讨论到，基本粒子可以分为两大类，一类是费米子，一类是玻色子。玻色子和费米子正好和中国古代的阴阳太极思想一致，即阴是玻色子，是物质存在的基础；阳是费米子，是物质存在的形式。我们现实世界的存在就是以阴的存在为基础而表现出阳的形式。

至于“五行”观念，到现代就扩展了。我们来看看是如何扩展的。在元素周期表中扩展到118种；在基本粒子中扩展到62种。先从元素周期表说起。

● 世间万物由什么构成

人们经过两千多年的探索，产生了元素周期表。元素周期表揭示了物质世界的秘密，把一些看来似乎互不相关的元素统一起来分析比较，组成了一个完整的自然体系。最初的元素周期表是门捷列夫研究出来的，后来又经过许多学者的补充和修改，才成为现在的元素周期表。

门捷列夫，1834 年 2 月 7 日出生于俄国的西伯利亚，1907 年 2 月 2 日卒于彼得堡。1848 年入彼得堡专科学校，1850 年入彼得堡师范学院学习化学，1855 年取得教师资格，并获金质奖章，毕业后任敖德萨中学教师。1856 年获化学高等学位，1857 年首次取得大学职位，任彼得堡大学副教授。1859 年他到德国海德堡大学深



俄国科学家门捷列夫

造。1860 年参加了在卡尔斯鲁厄召开的国际化学家代表大会。1861 年回彼得堡从事科学著述工作。1863 年任工艺学院教授，1864 年，门捷列夫任技术专科学校化学教授，1865 年获化学博士学位。1866 年任彼得堡大学普通化学教授，1867 年任化学教研室主任。1893 年起，任度量衡局局

长。1890 年当选为英国皇家学会外国会员。1907 年 2 月 2 日，这位享有世界盛誉的俄国化学家因心肌梗死在圣彼得堡与世长辞，终年 73 岁。

1869 年，门捷列夫将化学性质相似的元素放在同一纵行，编制出第一张元素周期表。随着科学的发展，原来的元素周期表中未知元素留下的空位先后被填满。现在以原子的核电荷数（等于核外电子数），形成现行的元素周期表。每一种元素都有一个数字编号，数字大小恰好等于该元素原子的核内质子数目，这个编号称为原子序数。现在已经发现的元素共有 118 个。

原子的核外电子排布和性质有明显的规律性，科学家们是按原子序数递增排列，将电子层数相同的元素放在同一行，将最外层电子数相同的元素放在同一列。元素周期表有 7 个周期，16 个族。每一个横行叫做一个周期，每一个纵行叫做一个族。

为什么元素按周期表来排列呢？对于中性原子，它的原子核里面的带正电的质子数等于原子核外面带负电的电子数，这就是元素在周期表中排列的原子序数。核外的电子是按层次排列的，这是由量子力学的规律决定的。最外层电子数最多只能有 $2n^2$ 个， n 表示第 n 个周期。元素的化学性质是由最外层的电子数决定的。所以， $2n^2$ 就决定了一个周期中最多能有多少个元素，如第一个周期（ $n=1$ ）只有 2 个元素，第二个周期（ $n=2$ ）只能有 8 个元素，第三个周期（ $n=3$ ）只能有 18 个元素，…。

原子核中除了质子，还有不带电的中子。

到此为止，我们讨论了的物质的基本构成是：各种各样的物质都由分子、原子组成，原子由原子核和核外电子组成。核外电子是分层次排列的。此外，除了电子，我们还知道的粒子有光子和引力子等，共有 62 种基本粒子，在本书后面介绍。

● 宇观、宏观、介观和微观

现代的自然科学的领域，总的来讲，根据事物的大小范围，从大到小分为：宇观、宏观、介观和微观四个领域。最大的是宇观，我们周围常见的是宏观，最小的是微观，介于宏观和微观之间的是介观。

什么是宏观

我们人类生活在地球上。人的高矮以米作为尺度来衡量。地面上城市之间的距离以千米做单位来衡量。地球的尺度为几千千米，月球离地球的距离是几十万千米。地球与太阳之间的距离，用米或是千米衡量，单位都嫌小了，而用“光年”作为距离的单位。1 光年就是光 1 年所走的距离。光每秒走 30 万千米（这里取近似数值），1 年有 365 天，1 天有 24 小时，1 小时 3600 秒，…，所以，1 光年 $\approx 300000 \times 365 \times 24 \times 3600 \approx 94600$ 亿千米 $\approx 9.46 \times 10^{12}$ 千米 $\approx 9.5 \times 10^{15}$ 米。

在米或是千米这样的尺度范围内的事物，而不牵涉原子、分子、电子这些物质的小的单元结构，就是通常讲的