

无所不在的 正能量

在自然和人类之间流动的能量

倪卫新 杨小蔓 编著

清华大学出版社

无所不在的 正能量

在自然和人类之间流动的能量

倪卫新 杨小蔓 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书十余万字,从自然和人工两方面比较详尽地介绍了目前已存在的各种能量形式。其中宇宙篇和地球篇讲述的是自然生成的能量,而在创造篇列举了机械能、电磁能、原子能以及生物能这几种人类利用自然创造的普遍的能量形式。作者坚守朴素的能量守恒观念,力图用物理学的基本思想阐述各种能量产生的根源以及存在的现实意义,是一本适合高中文化水平以上读者的通俗读物。

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

无所不在的正能量:在自然和人类之间流动的能量/倪卫新,杨小蔓编著. —北京:清华大学出版社, 2015

ISBN 978-7-302-39498-3

I. ①无… II. ①倪… ②杨… III. ①能—普及读物 IV. ①O3-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第036256号



责任编辑:邹开颜 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:165mm×240mm

印 张:9.5

字 数:141千字

版 次:2015年4月第1版

印 次:2015年4月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:25.00元

产品编号:062061-01

大约半年前的一个周末,我正在家里看报,收到了孩子网购的一本新书。这是一本名为“正能量”的心理励志书。从事物理教学三十余年的我,自然对这本书产生了强烈的兴趣。在翻阅了几页之后我就发现,这本书中的相关概念与我所熟悉的物理学能量概念并无直接的关系,心理学家怀斯曼重新定义了“正能量”并用这样的名词激励人积极向上。这使得“正能量”在网络和各种媒体上迅速蹿红,成为 2013 年的流行词。我在这里谈的当然不是怀斯曼的正能量,是名副其实的物理学意义上的正能量。

在物理学中,能量(古希腊语中 $\nuργεια$ *energeia* 意指“活动、操作”)是一个间接观察到的物理量,它往往被视为某一个物理系统对其他物理系统做功的能力。由于功被定义为力与其作用距离的乘积,因此能量总是等同于沿着一定的长度阻挡大自然基本力量的能力。

一个物体所含的总能量奠基于其质量,能量如同质量一

样,一般不会无中生有或无原因的消失。能量是一个标量。在国际单位制(SI)中,能量的单位是焦耳,但是在有些领域中会习惯使用其他单位如千瓦·时和千卡,这些也是功的单位。在物理学中,不仅需要了解正能量,也需要知道负能量,正负能量不仅都客观存在,并且都具其独特的功能。比如力学中,动能为正能量,而势能可正可负,取决于参考系的选择。而在量子力学中,通常把负势能看成与束缚状态有关,而正的势能则表示自由态或散射态。这是对能量概念的具体化的定义。从普遍的意义上讲,在近现代理论物理学中,根据宇宙诞生的理论,将与我们这个物质世界对应的能量称为正能量,霍金在《时间简史》中说“宇宙中的物质是由正能量组成的”。而负能量可以理解为引力场的能量,由于负能量总被正能量所补偿,所以负能量从不表现出来。因此,从物理学意义上说,世界上的能量都是正能量。

能量概念的重要性和普遍性是不言而喻的。虽然物理学课程中对能量概念的描述是完善的,但把各部分贯穿起来写的文章还很少见到。这样即使学过物理学的学生也不会对能量这个最普通的概念融会贯通,更不用说未学过物理学的文科生或者更广泛的大众了。于是在我心中产生了一种强烈的写作愿望,希望用物理学的方法告诉人们能量的本质含义,以希望借此进一步提高大众的科学素养,拓展人们对于物理学的认知,并推动物理学科普的进步!

我在筹备这本书时,恰好听到吴国玠教授关于 KPK 的演讲。KPK 是德文 Der Karlsruhe Physikkurs 的缩写,它是德国卡尔斯鲁厄理工学院(KIT)由赫尔曼教授领衔的团队经多年研究、开拓、发展而创立起来的概念新颖的整套物理学课程。KPK 的主要特色之一是确定出各物理学分支学科中与能量有关的广延量,并研究这些广延量在物理过程中流动的相似性。能量是这门新教程中的主干物理量,而类比法是贯穿 KPK 教程中的一条主线。按照 KPK 的思路,能量不再是按照各个分支学科或所谓形式分类,而是强调能量在流动过程中所利用的载体和转载体。动量、熵、电荷等均可以成为传递能量的载体。我对这套教材提出的能量的观念很感兴趣,于是在我的这本小册子中采用了 KPK 的能量观。

在和清华大学出版社有关编辑提出这样的写作意向后,我就开始着手准备

资料。然而我并不了解读者们尤其是那些没有物理学背景而又对此饶有兴趣的读者们希望从本书中获取什么样的信息,因此我召开了部分同学参加的座谈会,经过讨论,我将这本书的基调定为以下8个字:面广、通俗、有说服力。在学生们的启发下,我确定了以下目标:这本书大体分为两个部分,即自然篇和创造篇。这些内容基本涵盖了宇宙自然和社会生活的方方面面。其中自然篇包括宇宙篇、地球篇。而创造篇包括了人类创造的四种常用能量。每一篇都由独立的一到两个故事组成,努力做到寓学于乐。宇宙篇有两个主题,即“希格斯场的魔法”和“暗流涌动的宇宙”。地球篇则包括四个与地球有关的因素,太阳赋予了地球大部分能量,而月球的影响给我们带来潮汐能,地震和火山反映了地球内部的能量激发,雷电和风暴则反映了大气能量的释放。这四章都用了希腊神话中的人物名字。创造篇也分四章。分别用“轮子创造的神话”、“手机的奇迹”、“曼哈顿工程的启示”以及“物种选择和进化”为标题介绍了机械能、热能、电磁能、核能以及生物能创造的奇迹。这些故事的素材都由我的学生提供,我像是一只无形的手,起到穿针引线的功用,将它们衔接组织起来。

本书能够出版,首先要感谢的是我众多优秀的学生,给予我启发并提供书中故事,他们充实了我的心愿,并帮助我将之付梓。感谢本书所有参考书籍的作者们,由于你们的智慧,才成就这本书。

最后,交代一下我对这本书的定位。国内科学普及还只是停留在小众的范围内,由于时间和人力所限,本书所选素材或所传递的信息总有不尽如人意之处,这并非我所愿,还望读者海涵,并欢迎大家批评指正。我只愿做第一个吃螃蟹的人,在其他学科将物理学名词捧得火热之时,再重新将其本意说与读者听,希望大家能从中收获一点启迪。

顺向合作者杨小蔓女士致谢!并向热心修改本书的姜志进、肖镛槐教授致谢!向悉心给予我们无私指导和鼓励的邹编辑、赵编辑表示衷心的感谢!

作者一:上海理工大学 倪卫新

2015/1



目 录

宇宙篇

- 第一章 希格斯场的魔法——宇宙初期演变探秘 // 005
- 第二章 暗流涌动的宇宙——暗物质和暗能量探索 // 021

地球篇

- 第一章 阿波罗的恩赐——太阳与地球的互动 // 035
- 第二章 阿尔忒弥斯的温柔——从海宁观潮说起 // 044
- 第三章 托尔的愤怒——雷电和风暴的缘由 // 051
- 第四章 宙斯的惩罚——感受火山和地震的震撼 // 062

创造篇

- 第一章 轮子创造的神话——永动机是不存在的 // 075
- 第二章 手机的奇迹——移动互联时代的辉煌 // 088
- 第三章 曼哈顿工程的启示——原子弹的是是非非 // 102
- 第四章 物种的进化与选择——杂交水稻和多利羊 // 122

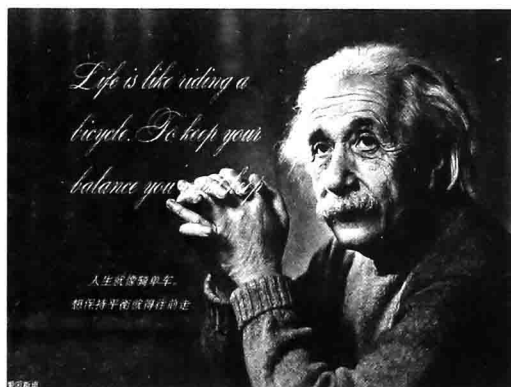
参考文献 // 146

宇 宙 篇

哲学家眼中的宇宙有太多的内涵,包含了整个物质世界和精神世界,可以认为是无边无际的。物理学家眼中的宇宙则稍微具体一点,比如它是整个天体空间的总和,包括了虚空的空间和物质的空间。由于它的尺度实在太太,一般也认为是无边无际的。虽然光速很大,高达每秒 30 万 km,但毕竟是有限的。所以我们对无限宇宙的了解,不但有限,而且一定是滞后的。尽管如此,对于宇宙的大致判断还是能够做出的。宇宙的总能量是守恒的。谈能量不能不谈宇宙,宇宙能量是所有能量的源泉,也是所有物质运动的根据。

历史上由于人们的知识所限和缺乏有效的测量手段,古代人类对宇宙的认识一度是很幼稚的。而宗教界为了维护其自身信念的延续和地位,更提出了荒唐的毫无根据的宇宙观。托勒密的地心说是其中较为典型的宇宙学说。一直到哥白尼和伽利略的日心说,对宇宙的整体研究才逐渐走上科学的道路。牛顿关于引力的科学论文的精辟分析和随之相伴的天文观测结果使得包括宗教界在内的学界最后不得不放弃了错误的地心说理论。但真正让人信服的是以爱因斯坦为代表的广义相对论及其观测结果。

阿尔伯特·爱因斯坦(德语: Albert Einstein)是著名的德国犹太裔理论物理学家、思想家及哲学家。因为“对理论物理的贡献,特别是发现了光电效应”而获得 1921 年诺贝尔物理学奖。他是现代物理学的开创者、奠基人,相对论——“质能关系”的创立者,“决定论量子力学诠释”的捍卫者(振动的粒子)——不掷骰子的上帝。他创立了代表现代科学的相对论,为核能开发奠定了理论基础,被公认为是自伽利略、牛顿以来最伟大的科学家、物理学家。



广义相对论(General Relativity)是阿尔伯特·爱因斯坦于 1916 年发表的用几何语言描述的引力理论,它代表了现代物理学中引力理论研究的最高水平。广义相对论将经典的牛顿万有引力定律包含在狭义相对论的框架中,并在此基础上应用等效原理而建立的。在广义相对论中,引力被描述为时空的一种几何属性(曲率);而这种时空曲率与处于时空中的物质与辐射的能量-动量张量直接相关系,其关系方式即是爱因斯坦的引力场方程(一个二阶非线性偏微分方程组)。

从广义相对论得到的有关预言和经典物理中对应的预言非常不相同,尤其是有关时间流逝、空间几何、自由落体的运动以及光的传播等问题,例如引力场内的时间膨胀、光的引力红移和引力时间延迟效应。

广义相对论的预言至今为止已经通过了所有观测和实验的验证——虽说广义相对论并非当今描述引力的唯一理论,它却是能够与实验数据相符合的最简洁的理论。1950 年前后,伽莫夫第一个建立了大爆炸的观念。这个创生宇宙的大爆炸不是习见于地球上发生在一个确定的点,然后向四周的空气传播开去

的那种爆炸,而是一种在各处同时发生,从一开始就充满整个空间的那种爆炸,爆炸中每一个粒子都离开其他每一个粒子飞奔。事实上应该理解为空间的急剧膨胀。“整个空间”可以指的是整个无限的宇宙,或者指的是一个就像球面一样能弯曲地回到原来位置的有限宇宙。

根据大爆炸宇宙论,早期的宇宙是一大片由微观粒子构成的均匀气体,温度极高,密度极大,且以很大的速率膨胀着。这些气体在热平衡下有均匀的温度。这统一的温度是当时宇宙状态的重要标志,因而称宇宙温度。气体的绝热膨胀将使温度降低,使得原子核、原子乃至恒星系统得以相继出现。

大爆炸理论的科学性令人不得不信服。最直接的证据来自对遥远星系光线特征的研究。20世纪20年代,天文学家埃德温·哈勃(Edwin Hubble)研究了维斯托·斯里弗(Vesto Slipher)所作的观测。他注意到,远星系的颜色比近星系的要稍红些。哈勃仔细测量了这种红化,并作了一张图。他发现,这种红化是系统性的,星系离我们越远,它就显得越红。

光的颜色与它的波长有关。在白光光谱中蓝光位于短波端,红光位于长波端。遥远星系的红化意味着它们的光波波长已稍微变长了。在仔细测定许多星系光谱中特征谱线的位置后,哈勃证实了这个效应。他认为,光波变长是由于宇宙正在膨胀的结果。哈勃的这个重大发现奠定了现代宇宙学的基础。

膨胀中宇宙的性质使许多人困惑不解。从地球的角度来看,好像遥远的星系都正飞快地远离我们而去。但是,这并不意味着地球就是宇宙的中心。平均而言,宇宙不同地方的膨胀图像都是相同的。可以说每一点都是中心,又没有一点是中心(解释得最好的是一幅画:三维空间的切割)。我们最好把它想象成星系间的空间在伸长或膨胀,而不是星系在空间中运动。这一点与我们日常生活中见到的源于一点的爆炸不同。

空间可以伸长这一事实看上去似乎离奇古怪,不过这却是1915年爱因斯坦广义相对论发表以来科学家们早就熟知的概念。广义相对论认为,引力实际上是空间(严格地说是时空)弯曲或变形的一种表现。从某种意义上来说空间

是有弹性的,可以按某种方式弯曲或伸长,具体情况取决于物质的排列。这个思想已为观测所充分证实。

下面我们将分两个章节——“希格斯场的魔法”以及“暗流涌动的宇宙”,研讨宇宙学中的两类重要问题,即宇宙起源和宇宙演化的现状。文章的目标在于简要阐述宇宙能量的流动问题,并坚信宇宙能量是守恒的!

第一章 希格斯场的魔法——宇宙初期演变探秘

—

电影哈利·波特的热映,毫无疑问来自它奇妙的构思和谜一般的梦幻。特别是魔法学校的训练引起了观众的普遍关注,激发了人们对未知世界的探求。宇宙就是人类面临的最大的谜。如今这层谜已被揭开一角,事件的主角是两位理论物理学家恩格勒和希格斯,他们早年倡导的希格斯场成为揭开谜局的魔法。

北京时间 2013 年 12 月 11 日,2013 年诺贝尔物理学奖、化学奖、生理学奖或医学奖、文学奖和经济学奖颁奖仪式当地时间 10 日在瑞典首都斯德哥尔摩举行。诺贝尔奖委员会网站消息称,荣获 2013 年诺贝尔物理学奖的是比利时物理学家弗朗索瓦·恩格勒和英国物理学家彼得·希格斯。

这是一个让人感动的时刻,两位耄耋老人,在他们关于希格斯粒子的理论工作发表 50 年后,终于得到了 CERN 的实验论证,并由此分享了 2013 年的诺贝尔物理学大奖。两位老人各自在他们各自的国家和学校兢兢业业在理论物理学界做出了许多杰出的工作,虽然他们几乎同时发现了希格斯机制,但直到 2012 年,两人居然从未见过面。下图是他们去年在欧洲核子中心的照片。



图片来源：欧洲核子研究中心（CERN）

2013 年诺贝尔物理学奖得主，弗朗索瓦·恩格勒(Francois Englert,图左)和彼得·希格斯(Peter Higgs,图右),直到 2012 年 7 月在 CERN 宣布找到疑似希格斯玻色子的发布会上,才历史性地第一次碰面。

让我们感兴趣的问题是：他们为什么会同时分享 2013 年的诺贝尔物理学大奖？他们是什么样的人物？让我们翻阅一下两位伟人的简历，感受他们给我们带来的启示和鼓舞。

二

弗朗索瓦·恩格勒(Francois Englert, 1932 年 11 月 6 日—)是比利时理论物理学者,在粒子物理学领域作出重要贡献。

1964 年,恩格勒和罗伯特·布绕特共同提出希格斯机制与希格斯玻色子理论。另外还有两个研究小组也在同年独立地提出类似结果,一组为杰拉德·古拉尼、卡尔·哈庚、汤姆·基博尔,另一组为彼得·希格斯。六位物理学者分别发表的三篇论文,在《物理评论快报》50 周年庆祝文献里被公认为里程碑论文。

恩格勒的主要研究领域为统计力学、量子场论、宇宙学、弦理论、超引力,并且作出贡献。恩格勒、希格斯与欧洲核子研究组织共同获得 2013 年阿斯图里亚斯亲王科学技术奖。因为“次原子粒子质量的生成机制理论,促进了人类对这方面的理解,近来经欧洲核子研究组织属下大型强子对撞机的超环面仪器及紧凑 μ 子线圈探测器所发现基本粒子而获得证实”,恩格勒、希格斯共同获授

2013 年诺贝尔物理学奖。

恩格勒是第二次世界大战中犹太人大屠杀的幸存者。他出生于比利时的一个犹太家庭。在第二次世界大战时,由于德国占领了比利时,他被迫隐瞒他的犹太裔身份,躲藏在孤儿院与儿童之家,时常逃躲于各个比利时小镇,迪南、斯图蒙、普罗丰德维耶、昂内都曾经是他隐藏之处。后来,美军在昂内击退德军,他因此获得自由。

1955 年,恩格勒从法语布鲁塞尔自由大学毕业,获得学士学位。毕业后,他选择留在学校继续攻读博士。1959 年,得到博士学位。同年他成为康奈尔大学的副研究员,他的上司是助理教授罗伯特·布绕特。他们成为好朋友与密切工作伙伴。1960 年,恩格勒升迁为助理教授。1961 年,恩格勒返还比利时,布绕特全家也跟着一起来到法语布鲁塞尔自由大学,布绕特在那里担任教授。1964 年,恩格勒擢升为教授。1980 年,布绕特与恩格勒共同领导理论物理组。1998 年,恩格勒成为荣誉退休教授。



弗朗索瓦·恩格勒

“我们当初有一种印象,就是我们做的工作重要,将来会被其他研究者所应用。”

三

另一位科学家是彼得·威尔·希格斯,CH,FRS,FRSE(英语: Peter Ware Higgs,1929 年 5 月 29 日—)是英国理论物理学家,爱丁堡大学荣誉退休教授,他以希格斯机制与希格斯粒子而闻名于世。彼得·威尔·希格斯出生在英格兰泰恩河畔纽塞,1960 年毕业于伦敦国王学院,1980 年到 1996 年期间曾在爱丁堡大学任教,1997 年获得狄拉克奖章及英国物理学会理论物理杰出贡献奖,2004 年获得沃尔夫物理学奖和 2010 年荣获樱井奖。2012 年,史蒂芬·霍金在被访问时表示,彼得·威尔·希格斯应该获得诺贝尔奖。2013 年,与弗朗索瓦·恩格勒获得诺贝尔物理学奖。

彼得·威尔·希格斯出生在英格兰泰恩河畔纽塞,父亲曾在 BBC 担任声

音工程师。希格斯童年时患有气喘，后来因为父亲工作的缘故，全家在第二次世界大战期间搬离泰恩河畔纽塞，他也因此没有继续在学校接受教育。希格斯的父亲后来居住在贝德福德，希格斯与母亲则留在布里斯托。他后来进入可安文法学校就读，并受到校友保罗·狄拉克在物理方面的影响。



彼得·威尔·希格斯

“我希望，这种对基础科研的认可会有助于提升对这种‘没用’研究价值的认知度。”

他在 17 岁时进入伦敦市立中学就读，专研数学。彼得·希格斯后来获得伦敦国王学院物理学位，并成为爱丁堡大学研究员，也曾在伦敦帝国学院及伦敦大学学院任职。希格斯在 1960 年返回爱丁堡大学担任讲师，然后在 1980 年成为爱丁堡大学教授，在 1983 年成为英国皇家学会会员，并在 1984 年获得卢瑟福奖。希格斯在 1991 年成为英国物理学会会员，然后在 1996 年退休成为爱丁堡大学荣誉教授，在 2008 年成为斯旺西大学荣誉教授。

希格斯在爱丁堡大学期间首先对质量研究感兴趣，并逐渐发展出希格斯场理论。因为希格斯场遍布于宇宙中，某些带质量的基本粒子与希格斯场相互作用而获得其质量，而相互作用的副产品为希格斯玻色子。

希格斯机制的起始原先来自芝加哥大学日本物理系教授南部阳一郎，他发现亚原子物理学的自发对称性破缺机制，提出南部-戈德斯通定理，认为连续对称性被自发破缺后必存在额外的零质量玻色子，称为戈德斯通玻色子。1963 年，菲利普·安德森发表论文指出，类似戈德斯通玻色子的准粒子也可以在其他物理学领域找到，他猜测，对于相对论性模型，假若正确应用规范不变性理论，戈德斯通玻色子问题应该可以迎刃而解。

希格斯在 1964 年于苏格兰高地旅行时突然获得灵感，随后在美国物理学会《物理快报》发表论文解决南部-戈德斯通定理留下的难题。希格斯在论文中提出希格斯机制理论，但是遭到《物理快报》退回。于是他将论文转投到《物理评论快报》，同时有另外五位科学家也获得相同的结论，包括弗朗索瓦·恩格勒、罗伯特·布绕特、杰拉德·古拉尼、卡尔·哈庚和汤姆·基博尔。这六位物

理学者分别发表的三篇论文在《物理评论快报》50 周年庆祝文献中被公认为里程碑论文。

四

现在已不清楚为什么这样的粒子要起名希格斯？希格斯不是第一个也不是唯一对这种机制进行解释的科学家。还是两个科学家看得开。恩格勒曾说过：起谁的名字并不重要，重要的这项工作得到了检验，得到了承认，科学又向前迈了一步！而希格斯对于“希格斯玻色子”的名字也表达谦逊，自认不配。但因坚称自己是无神论者，更反对“上帝粒子”的叫法。两个科学家如今都年事已高，但他们的风度、气质包括身体都非常好。虽然两人在不同的国度，属于不同的民族，但他们对科学的热情和严谨是相同的。

2011 年底，大型强子对撞机的两个实验分别独立在质量为 125GeV 附近，侦测到希格斯玻色子可能出现过的迹象。2012 年 7 月，CERN 宣布发现新玻色子，符合希格斯玻色子的质量与性质。

2013 年 3 月 14 日，欧洲核子研究组织发布新闻稿表示，先前探测到的新粒子是希格斯玻色子。

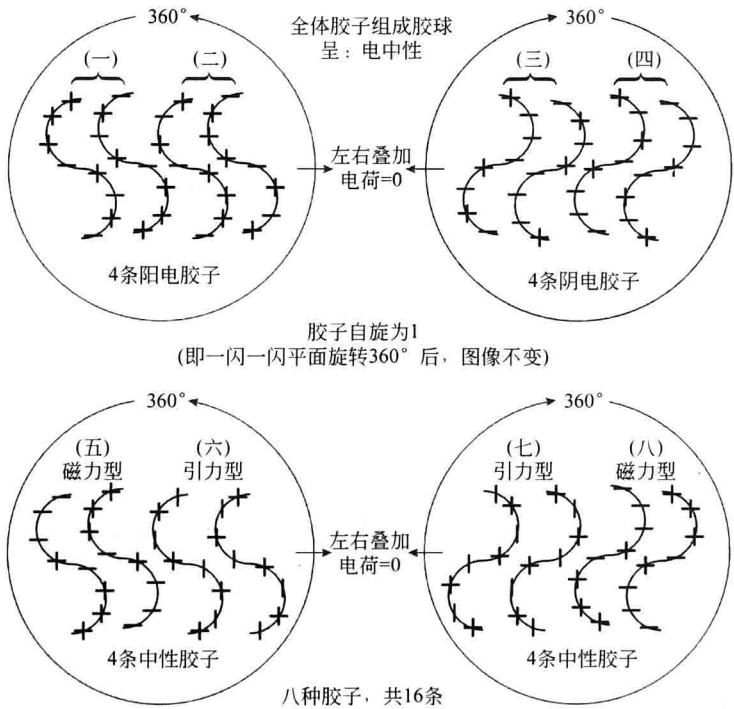
CERN 对希格斯粒子的证实是对标准模型的一个重大支持，而标准模型的理论价值和使用价值，是促使 2013 年诺贝尔委员会做出颁奖给这两位科学家的关键性因素。

五

现在让我们来看看标准模型的意义。首先需要了解何为标准模型？自然界中物体之间的相互作用力可以划分为 4 种，即引力（重力）、电磁力、强相互作用力和弱相互作用力。爱因斯坦的相对论解决了重力问题之后，理论物理学家开始尝试建立统一的模型，以期解释通过后 3 种力相互作用的所有粒子。20 世

纪 60 年代,物理学家们构造了一个标准模型,来描述所有这些基本粒子及各种力出现的机制。标准模型中引入了英国物理学家希格斯提出的一种机制:空间中充满着希格斯粒子,物质本身无所谓质量,质量是物质与希格斯粒子的相互作用。该模型把基本粒子分为夸克、轻子和玻色子 3 大类,预言了 62 种基本粒子的存在。

具体地说,标准模型包含费米子及玻色子——费米子为拥有半整数的自旋并遵守泡利不兼容原理(这原理指出没有相同的费米子能占有样的量子态)的粒子;玻色子则拥有整数自旋而并不遵守泡利不兼容原理。简单来说,费米子就是组成物质的粒子而玻色子则负责传递各种作用力。



胶子结构图

胶子-强相互作用的媒介粒子,自旋为 1,有 8 种胶子。

电弱统一理论与量子色动力学在标准模型中合并为一。这些理论都是规范场论,即它们把费米子跟玻色子(即力的中介者)配对起来,以描述费米子之