



百家讲坛

LECTURE ROOM

系列丛书

中央电视台 CCTV10

物理

的

挑战

中央电视台《百家讲坛》栏目组 编



中国人民大学出版社

04-53

7

2006

物理 的 挑战

中央电视台《百家讲坛》栏目组
编



中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理的挑战/中央电视台《百家讲坛》栏目组编

北京: 中国人民大学出版社, 2006

(《百家讲坛》系列丛书)

ISBN 7-300-07683-1

I. 物…

II. 中…

III. 物理学-文集

IV. 04-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 120443 号

《百家讲坛》系列丛书

物理的挑战

中央电视台《百家讲坛》栏目组 编

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com>(人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 三河市新世纪印务有限公司

规 格 170 mm×228 mm 16 开本

版 次 2006 年 10 月第 1 版

印 张 12.75 插页 2

印 次 2006 年 10 月第 1 次印刷

字 数 150 000

定 价 19.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换



总 序

2001年7月9日，午间时分，当普通大学的学生们收拾好书包走出课堂的时候，一所特殊的、开放的“大学”悄然开学了。

说其特殊是指——

“海内外名家名师主讲，涵盖科学人文社会内容”是它的办学方针；

“聚集知识精英，共享教育资源，传播现代文化，弘扬科学与人文精神”是它的办学理念；

“学理性与实用性并存，权威性与前卫性并重，追求学术创新，鼓励思想个性，强调雅俗共赏，重视传播互动”是它的追求；

“建构时代常识，享受智慧人生”是它的办学目标。

论其开放是说——

免试免考；

不限年龄、身份；

“热爱知识”是入学的唯一要求。

这是哪所“大学”？

《百家讲坛》。

《百家讲坛》在哪儿？

中国中央电视台第十频道。

高度发达的电视技术给了人类一条捷径，让我们能与知识产生如此密切的接触！

杨振宁、李政道、丁肇中、周汝昌、叶嘉莹、白春礼、厉

以宁、冯骥才、龙应台……一个个响亮的名字在光与影搭建的讲台上传递着人类的精神。这精神是文明繁衍的动力，是人类生存的根基。

让知识可感，让思想可触，让全球的好学之士在光与影的圣殿上与我们感同身受——拥有知识确实是一种幸福。

在一千多个日出日落之后，《百家讲坛》最大的收获是七百多盘沉甸甸的磁带。七百个四十五分钟对于电视节目来说应该算一段不短的时长，特别是当这段时长记录了人类思想精髓的时候。

怎样将人类的这些思想精髓发扬光大呢？

我们想到了出版，这是一种既可供收藏又便于研读的方式。

承蒙中国人民大学出版社的鼎力支持，我们精选了五百堂课的内容制成了光盘，分系列结集出版；同时出版近三十本相关的图书，以满足热爱知识的人们不同的求知需求。中国人民大学出版社将此“大动作”称为2004年的“壮举”，对于他们的辛苦付出理应深表谢意。

观众和读者朋友，让我们在知识的传承中握手吧！

丛书编委会



目 录

物理的挑战

- 美与物理学 杨振宁 / 1
- 20 世纪理论物理学的主旋律 杨振宁 / 14
- 物理的挑战 (一) 李政道 / 27
- 物理的挑战 (二) 李政道 / 38
- 物理的挑战 (三) 李政道 / 50
- 实验物理与物理学前沿 丁肇中 / 63
- 寻找宇宙中最基本的粒子 (上) 丁肇中 / 76
- 寻找宇宙中最基本的粒子 (下) 丁肇中 / 89
- 力学与现代生活 丁光宏 / 102
- 21 世纪的中子科学 赵志祥 / 118
- 重力与现代科技 李建成 / 133
- 物理学百年的回顾与展望 周光召 / 149
- 纳米科技的现在与未来 白春礼 / 166
- 走近纳米材料 张 泽 秦禄昌 / 184

美与物理学



主讲人 杨振宁

美国纽约州立大学石溪分校理论物理研究所教授、所长。因发现弱相互作用宇称不守恒现象并被实验证实，于1957年与李政道教授共同获得诺贝尔物理学奖。

1922年9月22日出生于中国安徽省合肥市。1938—1944年在中国西南联合大学物理系读书，先后获学士、硕士学位。1945年赴美求学，1948年获芝加哥大学哲学博士学位。1949—1955年任普林斯顿高级研究所研究员。1955—1966年任普林斯顿大学教授。1966年起任纽约州立大学石溪分校阿尔伯特·爱因斯坦讲座教授兼理论物理研究所所长。1999年被纽约州立大学石溪分校授予一等荣誉博士学位。1999年5月21日正式退休，石溪分校同日将理论物理研究所命名为“杨振宁理论物理研究所”。杨振宁教授也是中科院外籍院士。

19 世纪物理学最重要的两个贡献：一个是电磁学，一个是统计力学。统计力学最主要的创建人是 3 个：一个是麦克斯韦，一个是玻尔兹曼，一个是吉布斯。其中玻尔兹曼，写过很多通俗的文章。我今天就从他的一段话谈起。他说一个音乐家，在听到几个音节以后，就能辨认出来是莫扎特还是贝多芬或者舒伯特的音乐；同样一个数学家或物理学家，也能在念了几页文字以后，就能辨认出来柯西、高斯、雅可比、亥姆霍兹或者基尔霍夫的工作。他的这段话我觉得很有意思，为了解释这段话，我曾经跟几个朋友讲过这样几句话：我说大家知道，每一个画家、音乐家、作家，都有他自己独特的风格。也许有人会以为，科学与文艺不同，科学是研究事实的，事实就是事实，什么叫做风格？要讨论这一点，以物理学为例来说明。物理学的原理有它的结构，这个结构有它的美跟妙的地方，而各个物理学工作者，对于这个结构的美跟妙，有不同感受。因为大家有不同的感受，所以每一个工作者就会发展自己独特的研究方向跟研究方法，也就是说，他会形成自己的风格。对于这段话，我希望在以下几十分钟，给大家详细解释一下。

为了做这件事情，我先给大家介绍 20 世纪的两位大物理学家：第一位叫做狄拉克，他是英国人，1902 年出生，1984 年去世。我带了一张相片，这是他在 1969 年从英国剑桥大学退休以后，我们请他到美国斯坦福访问，那个时候，我的一个喜欢照相的同事拍下了这张照片。我觉得这张相片照得很好。

狄拉克是一个非常有意思的人，他很少讲话，仔细地听他讲话可以感觉到，他有自己的思维方法跟逻辑。举两个例子：第一个故事是有一天他演讲以后，有个学生提问，说狄拉克教授，我不懂你刚才所讲的理论，于

是狄拉克就解释了一下，解释完了以后，学生说狄拉克教授，你刚才讲的这个，跟你以前所讲的，每一个字都是一样的，狄拉克说，这不稀奇，因为这是最好的讲法。另外一个故事，是说他在普林斯顿演讲，在他演讲完了以后，主持人对学生说，狄拉克教授可以回答大家的问题。于是有一个学生就说，狄拉克教授，你刚才那个方程式三，是怎么从方程式二演化出来的？狄拉克不讲话，主持人等了几分钟，就说狄拉克教授请你回答他的问题。狄拉克说他只讲了一句话，他没有问问题。

狄拉克最重要的工作，是在1928年，他写了一篇文章，这篇文章中有一个很简单的方程式，可就是这个方程式有个不得了的贡献，它奠定了今天原子分子结构理论的基础，解释了为什么电子有自旋，自旋的意思就是每一个电子都像陀螺一样在那儿转。电子自旋现象不是狄拉克发现的，在那以前几年，已经有人提出来电子一定有自旋，可是不知道为什么要有自旋。刚才我所念的这个简单的方程式，你了解了它的真正的意义以后，自然而然就知道电子一定要自旋。这样简单的一个方程式，把当时困扰大家的三个重要的问题都解决了，所以当然是震惊了当时的物理学界。我想最好的描述方法，就说这是一个神来之笔。可是这个神来之笔，并没有那么简单就被所有的人都认为是绝对正确的，因为他提出了一个新的问题，叫做负能问题，negative energy。大家知道，通常能都是正的，按这个方程式算了以后，会得出一个非常稀奇的结果，说电子可以有负能，这个负能当时是不可思议的一件事情。很多人看懂了他的这个工作的第一步以后，觉得真是妙不可言，可是又觉得这里头有非常奇怪的、不能理解的、绝对不会发生的事情。所以以后几年，就有种种人批评狄拉克，说他这个

工作看起来对，却是碰巧，其实是不对的，可是狄拉克坚持。到了1931年他更进一步，他说不单负能是应该有的，而且有了负能以后，就会发现一个新的重要的现象，就是说，任何一个电子都有一个跟它与生俱来的反粒子，antiparticle，每一个粒子都有一个反粒子，这个反粒子跟粒子完全一样，可是它的电荷是相反的。这在当时又是大家所不能接受的，人家说从来没有看见过任何一个反粒子，你就随便讲有个反粒子。可是过了一年以后，卡尔泰克有一个年轻的博士生，叫做安德森，他用云雾室照出来一个轨道，这个轨道是个正电子，这正是刚才狄拉克所讲的电子的反粒子，因为它带着正电。这样一来，大家才知道，狄拉克这个方程式不但是对，而且是完全对，它预言了一个从前大家不晓得的新现象。

所以如果你想一想，狄拉克他话讲得很少，可是话的内涵有简单的、直接的、原始的逻辑性，懂了他的想法以后，你会拍案叫绝。我想了想，用什么样的中国传统的话语，可以描述叹服他这个工作的重要性，表达对于他这个文章的看法？我想最好是说，秋水文章不染尘。因为他的文章里头确实是一点渣子都没有的，清楚极了，假如你懂得他的逻辑的思维方法。我曾经想跟文史方面的朋友介绍看了狄拉克文章的感受，应该怎么讲呢？最后我想到唐朝的诗人高适，他有一首诗《答侯少府》，上面有这样两句，“性灵出万象，风骨超常伦”。我觉得这两句话，用来形容狄拉克的风格是最好的。为什么呢？“性灵出万象”，用“万象”来描述狄拉克方程式的影响，那是再恰当不过了，它解释了无数物理化学的现象，它是今天原子分子结构理论的最重要的一个方程式。为什么说“风骨超常伦”呢？我刚才大概介绍了

一下，在1928年到1932年这4年之间，他不顾当时最有名的几个物理学家的反对和冷嘲热讽，这几个最有名的物理学家包括尼尔斯·玻尔，包括海森堡，包括泡利，他们都在嘲笑狄拉克，说狄拉克是想入非非，他做的东西是不对的，可是狄拉克仍然坚持，所以，他确实是“风骨超常伦”。那什么叫做性灵？据我所知，性灵是明朝公安派的文学批评家三袁，他们所最早提出来的。其中袁宏道讲他弟弟袁中道的诗，独抒性灵，不拘格套，非从自己胸臆流出，不肯下笔。这几句话拿来形容狄拉克的风格，是最恰当不过了。

下面介绍20世纪另外一个大物理学家海森堡。我想很多人会以为，海森堡比起狄拉克，还要略胜一筹。海森堡是德国人，1901年出生，1976年过世的。我也带了一个海森堡24岁时的相片，那时候，他还没有做出最重要的工作。今年12月，是他的100周年生日，在慕尼黑要有一个庆祝活动。他所做的工作是开始了量子力学的第一步。20世纪物理学最最重要的几个发展之一，就是量子力学。在20世纪以前，物理学的数目数据都是连续的，可是在20世纪的头20年，发现这跟原子、分子物理不符合，所以，后来就产生出来量子这个观念。可是量子化这件事情，是非常困难的，因为这要把从牛顿开始建立起的物理系统整个改观，那这个革命性的发展不是一天两天所能做到的，所以20世纪头25年有种种的纷扰。

美国一个重要的物理学家，叫做奥本海默，大家也许晓得，奥本海默非常有名的地方，是他在打仗的时候主持了美国的原子弹制造工作。他是非常会讲话的一个人，他在20世纪50年代在英国的演讲里头，描述了20世纪头25年物理学工作者之间的空气，他说那是一个

在实验室里耐心工作的时代，有许多关键性的实验和大胆的决策，有许多错误的尝试和不成熟的假设，那是一个真挚通信与匆忙会议的时代，有许多激烈的辩论跟无情的批评，里面充满了巧妙的、数学性的方法，对于那些参加者，那是一个创新的时代，自宇宙结构的新认识中，他们得到了兴奋，也尝到了恐惧。这段历史，恐怕永远不会被完全记录下来，要写这段历史，需要有像写奥迪帕斯（Oedipus）或写克伦威尔（Cromwell）那样的笔力，可是由于涉及的知识距离日常生活是如此遥远，实在很难想象有任何诗人或史家能胜任。所以这二十几年的经历，确实是被奥本海默描绘得很是恰当。

在那样困难的时候，一个年轻人 24 岁的海森堡出现了，他写了一篇文章，这篇文章向一个方向迈了一步，这个方向现在叫做量子力学，而这个方向后来发扬光大，就变成了 20 世纪几乎是全部物理学里头最重要的几个原则之一。

年轻的海森堡，怎么忽然能够走到从前没走过的这一步呢？他在晚年的时候，曾经有过一篇文章上，讲这个经历。海森堡喜欢爬山，所以很自然地，他就把爬山拿来作为一个例子。他说爬山的时候，你想爬某个山峰，但往往到处是雾，你有地图或别的索引之类的东西，知道你的目的地，但是仍堕入雾中，不知道要向什么方向走，然后只在数秒钟的工夫，忽然你模糊地自雾中看到一些形象，你说这就是我要找的大石头，整个情形从此而发生了突变。因为虽然你仍然不知道，你能不能爬到那块大石头那里，但是在那一瞬间，你知道自己在什么地方了，必须爬近那块大石头，然后就可能知道该如何前进了。他这几句话，确实是描述了在第一篇文章里头所讲的事情。

文章写出来以后，他要去度假，就留给导师玻尔。导师比他年长十几岁，玻尔的数学修养是海森堡所没有的。玻尔看了这篇文章以后，知道海森堡在里面所讲的数学，是一个从前物理学家没有用过的数学，叫做矩阵，海森堡因为数学修养不够，所以不知道所做的东西是矩阵，结果玻尔就跟另外一个比较年轻的物理学家写了一篇文章，等海森堡回来以后，他们三人又合写了一篇文章。这三篇文章，奠定了量子力学的基础。今天物理里头，叫做 one man paper, two men paper, three men paper, 这三篇文章的开始，就是量子力学奠基的地方。量子力学是物理学史上的大革命，我想也是人类的历史上的一次大革命。不讲它对纯粹物理学的贡献，单讲大家可以了解到的对于日常生活的贡献，包括核能发电，核武器，激光半导体元件以及今天的计算通讯工程，假如没有量子力学，所有这些工程都不可能发生。

海森堡 24 岁的时候，写了这篇文章，到了 26 岁他就成为莱比锡理论物理学系的主任。他爱打乒乓球，打得很好，可以独霸那一个系，而他又很好胜，一直到从美国来的一个博士后打败海森堡，海森堡只得屈居亚军，这位能打乒乓球的博士后的名字，我想大家都是熟悉的，叫做周培源。

大家知道磁铁，磁铁里头有很多电子，那些电子自旋都朝一个方向，所以整个磁矩加起来，就变成了一个磁铁。可是什么力量使得这许多磁矩向一个方向走的，这在当时是不懂的，而且是困扰人们很久的一个题目。海森堡说，他换了一个题目，他不再研究一个一个电子的结构，而是去研究很多电子的结构，于是他看出来一个苗头，这个苗头就是今天我们了解的为什么磁铁能够成为磁铁的道理。所以这又是一个极为重要的工作。

如果我们总结一下狄拉克和海森堡的不同的地方，那第一样我们就了解到，狄拉克的研究方法跟海森堡的研究方法是很不一样的。狄拉克的研究方法，可以说是循着独特的新的逻辑无畏地前进，这是他的风格。看了狄拉克的文章跟海森堡的文章以后，可以感到有相同的地方，有不同的地方，相同的地方是，他们都可以出其不意，有极强的独创力，向前人没有想象的地方走，这是他们共同的地方。他们不同的地方，是狄拉克的文章非常清楚，非常直接，你看了他的文章，觉得里头没有渣子。相反海森堡的文章是朦胧绕弯不清楚，而且有渣子。你看了狄拉克的文章，你觉得这个领域已经没有什么事情可以做了，因为凡是正确的话狄拉克都讲过了。海森堡的文章则完全不一样，他的每一篇文章里头，既有非常深入的见解，又有错误的想法，所以对海森堡的文章必须要仔细看，如果对海森堡的文章，能够知道他哪个是对的，那个是不对的，把他不对的那个改正了，你就可以做出来很重要的贡献。所以他们的文章，给你的感受是不一样的。

当然你就会问了，那为什么这两个聪明的大物理学家，他们的风格会如此不一样呢？我想第一部分当然没有问题，是他们的个性不一样。海森堡的个性不太接近数学，狄拉克的个性比较接近数学，比较接近数学的价值观，可是这还不是唯一的道理。另外一个道理，是与物理学自己的结构有密切的关系。物理学现在是个很大的学问，其中大概可以分成三个领域：第一个领域是实验的领域，我们称之为_一；第二个领域叫做唯象理论，我们称之为_二；第三个领域我们叫理论架构，我们称之为_三；而理论架构跟数学比较接近的，我们称之为_四。如果用这样的宏观的分野来看的话，那么就觉得，原来

物理学历史的发展与这个分野是有密切关系的。

我给大家举两个例子：第一个例子是经典力学发展的经过。经典力学开始，是16世纪第谷他做了许多观测，他观测到一些行星的位置怎么样随时间变化，他所做的观测，是以前所有的人都没有达到的准确度，他大大地超过了同时的中国天文学家的观测，这是实验一。他过世以后，开普勒来了，开普勒是一个理论物理学家，他做的是唯象理论二，他分析了第谷的行星运动的数据，发现行星是绕着太阳走的，是椭圆轨道。这是个大发现，因为在那以前，从希腊人开始，就以为行星的轨道是圆，圆不对，就以为是圆上加圆，圆上加圆不对，就是圆上加圆加圆，那他们就永远在圆里头绕圈，绕来绕去做不出结果来。是开普勒第一个指出来，行星轨道不是个圆，而是个椭圆，这一下子就把整个领域大大地开朗，这个叫做唯象理论。为什么叫唯象理论呢？因为他是从现象开始的，没有根本解释出来为什么是这样的。这个就是我刚才讲的二。然后牛顿出现了，牛顿在1687年发表的著作《原理》，是历史上的一件大事。在这个书里头，他写出方程式来，而从这个方程式里可以证明行星的轨道一定是椭圆，而这个椭圆有多大，与它的周期有密切的关系，这些都是开普勒的三大唯象定律所讲的，可是开普勒不知道为什么是这样子。是牛顿把它变成了理论架构，所以牛顿所做的是三。而牛顿所做的当然与数学有密切的关系。

底下我再大概讲一下电磁学发展的经验。电磁学是18世纪库仑他们几个人做的实验，这是一。到了19世纪，安培、法拉第他们发展了唯象理论，所以就有了今天大家所知道的安培定律、法拉第定律，可是这些定律为什么是这样？他们并没有能够讲出来，这是唯象理论

二。到了麦克斯韦，在 1865 年他写的几篇文章，其中有今天有名的叫做麦克斯韦方程式，这个方程式完全解释了而且简要地把那个唯象的理论都包括在里头了。麦克斯韦方程式写出来以后，他就知道电磁波跟光是一回事。这个等到后来赫兹的实验发现有电磁波以后，就引导出来了后来的无线电、电视，今天一切这些通讯，都是由这个方程式来的。这是从理论架构来的三。可是理论架构是建立在一和二的基础上面的。

在这点上有一个非常有意思的事情。海森堡在年轻的时候，他不喜欢数学，他的最重要的文章写的时候，他没有学过方阵，是后来 two men paper 和 three men paper 才把他所做的事情跟方阵连在一起。可是到了海森堡晚年，他改过来了，通过几十年的经验，他了解到数学是非常重要的，他在 74 岁的时候写的一篇文章上讲，1921 年、1922 年到 1927 年间，我们经常讨论，可是总是遇到各种矛盾与困难，我们就是无法用理性的方法来解决这些困难，有人赞成波动理论，有人赞成粒子理论，所以后来有了一个数学结构的时候，这个数学结构就是量子力学，实际上我们的心态已达到十分沮丧的地步，这个数学结构对我们来说是一个奇迹，我们看到了数字能做出我们做不出来的东西，那当然是一个非常奇异的经历。

既然讲到数学跟物理有这么密切的关系，那么当然可以问，数学跟物理整个的关系是什么呢？或者物理系的同学可能常常会问，我作为物理系的学生我应该要学多少数学？这是一个很复杂的问题，不能有一个很简单的解释，我经常把数学跟物理的关系比喻为两片树叶，一片树叶向这个方向，一片树叶向那个方向，一个是物理，一个是数学，这两片叶子在大多数的地方都是不重

叠的，可是在根的地方有一小块地方是重叠的。这一小块地方不是很大，只是占了也许 5%，10% 的样子，在这个重叠的地方非常奇怪的是这两个领域享有共同的观念，所以它们在这个根源上面关系是非常密切的。

现在让我回到主题，美与物理学。比如平时讲的虹霓，我想在座的每一位小时候看见虹跟霓都会说这是非常之美。等到你年纪稍微大了一点，如果会做实验的话，那你可以量那个虹是多少度，霓是多少度，就会发现虹是 42 度，就是它的角是 42 度的，而霓是 50 度。你继续观测以后，知道虹是红在外紫在内，霓是反过来的，是红在内紫在外，这些都是你观测了以后了解到的。这个非常美妙的现象，是实验的美。可是你进步到了唯象理论以后，就懂为什么会有虹跟霓，这是因为太阳光在水珠里头可以有全反射，一次全反射就出来虹，两次全反射就出来霓，而对全反射，可以通过计算算出来，一个是 42 度，一个是 50 度，这是唯象理论的美。我想任何一个学生，第一次算出来这个 42 度跟 50 度的时候，不可能没有非常深的感受，觉得这真是妙不可言。可是为什么要有全反射？为什么要有折射？这些到理论架构里头，到了麦克斯韦方程式出现以后，就可以了解到为什么要有全反射，而且可以知道为什么在水里头有折射，把它的根源找出来了，所以这是更高层的美。

物理学的理论架构，里边也许有若干个方程式，其中刚才我给大家介绍了，狄拉克的方程式，海森堡的方程式，麦克斯韦的方程式，牛顿的方程式，爱因斯坦的方程式。这许多方程式，里面所描述的是宇宙的秘密，这许多方程式大可以讨论到星云群里头的现象，小可以讨论到基本粒子里头的结构，时间长可以讨论到 10 亿