

生活与科学文库

SK

生活与科学文库

H094
K026

探索自然的对话

探索自然的对话

唐孝威 等著

与科学
文库

N49/182

科学出版社

科学出版社

生活与科学文库

探索自然的对话

唐孝威 等著

科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

探索自然的对话/唐孝威等编著.

-北京:科学出版社,2001

(生活与科学文库)

ISBN 7-03-008809-3

I. 探… II. 唐… III. 自然

科学-科学研究 IV. N

中国版本图书馆 CIP 数据核字

(2000)第 69895 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

定价: 10.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前言

物质的结构、宇宙的演化、生命的起源、智力的本质,一直是科学探索的基本问题。我们认为,通过数学、物理学、化学、天文学、地学、生物学、心理学、医学、农学、技术科学等诸多学科的参与和交叉研究,人类在 21 世纪将对物理世界(包括微观世界、介观世界*、宏观世界、宇观世界)、生命世界和思维世界取得综合的和深入的理解。我们将为之作不懈的努力。

本书以对话的方式讨论上述四方面的科学探索。在这些前沿,未知的科学问题非常多,本书只能作有限的讨论。先对每一方面进行一般性介绍,然后分别举出具体例子加以说明。除引言和结语外,本书共五章。第一章是粒子,第二章是

* 介观世界指介于宏观世界和微观世界之间的物质世界,例如一些原子集团。

宇宙,第三章是生命,第四章是智能,第五章是技术。

本书的引言、1.1节、2.1节、3.1节、4.1节、4.3节、5.2节、5.3节和结语是我写的。其余一些章节是我和我的同事合写的,其中1.2节莱泼物理是我和陈国明同志合写的,2.2节宇宙反物质是我和吕雨生同志合写的,3.2节细胞运动是我和刘国琴同志合写的,4.2节意识问题是周昌乐同志和我合写的,5.1节测控分子是我和胡钧同志合写的。本书部分内容曾发表过,在有关章节处将分别注明作者和原文出处。在本书附录中附有其他几位的工作单位、工作领域和通信地址,以便感兴趣的读者联系和讨论。

本书部分内容承南京大学陆埏教授和内蒙古大学罗辽复教授提出宝贵意见,特此致谢。

本书作者的知识有限,书中如有错误和不足之处,恳请读者指正。

唐孝威

2000年7月于北京



前言	
引言	(1)
第一章 粒子	(3)
1.1 探索粒子	(3)
1.2 莱泼物理	(5)
第二章 宇宙	(35)
2.1 探索宇宙	(35)
2.2 宇宙反物质	(37)
第三章 生命	(53)
3.1 探索生命	(53)
3.2 细胞运动	(55)
第四章 智能	(92)
4.1 探索智能	(92)
4.2 意识问题	(94)
4.3 信息加工	(113)
第五章 技术	(121)
5.1 测控分子	(121)
5.2 脑功能成像	(133)
5.3 核医学	(140)
结语	(153)
附录	(155)

引言

甲：我们谈谈在科学前沿探索自然的问题。

乙：人们很关心哪些是科学的前沿，也经常讨论在科学前沿上有哪些科学难题需要研究解决。不同领域的科学家，对科学前沿的看法往往并不相同，他们对科学难题的选择也往往并不相同。我们是不是也谈谈自己的看法呢？

甲：好的。但是许多人已经对此谈过很好的意见。我们所能谈的不过是自己的一孔之见而已。

乙：那么你对哪些科学问题感兴趣呢？

甲：物质的结构、宇宙的演化、生命的起源、智力的本质，一直是人类科学探索的基本问题。这些问题都很有兴趣。因此，下面我们就讨论四个问题：粒子问题、宇宙问题、生命问题和智能问题。

乙：重大的科学问题很多，为什么你只提到这四个问题呢？

甲：因为这四个方面都包含有许多未知的科学难题。正如你所说的，需要进行科学探索的问题多得很，并不限于这几个方面。但是我们的知识有限，所以只提出这几个方面作为例子。

乙：听说有人讲过下面的看法：科学知识有三个前

沿，它们是自然界中最小的、最大的和最复杂的。

甲：我们讨论的四个方面和这种看法有些关系。因为就目前已有的知识而言，自然界中最小的是粒子，自然界中最大的是宇宙，自然界中最复杂的是生命，而生命现象中最复杂的是智能。当然科学的前沿还很多，远远不止这些。

乙：下面我们所谈的粒子问题涉及自然界中最小的方面，宇宙问题涉及自然界中最大的方面，生命问题涉及自然界中最复杂的方面，智能问题是生命现象中最复杂的方面。

甲：我们将先对这些方面进行一般性的介绍。

乙：对这四个问题可以再选择一些具体的科学问题作为例子来讨论。

甲：我们在探索粒子方面选择莱泼物理作为例子来说明，在探索宇宙方面选择宇宙反物质作为例子来说明，在探索生命方面选择细胞运动作为例子来说明，在探索智能方面选择意识及其机器实现作为例子来说明。

乙：你选择这些具体的科学问题，原因是什么呢？

甲：没有别的，仅仅因为我们在自己的实验研究中和这些具体科学问题有过一些接触，所以举出它们作为例子。

乙：除此之外，我们还要谈一些具体的新技术。

甲：是的，人类探索自然的基础研究，引发许多新技术。在这方面我们选择了三个例子来说明：测控生物大分子的技术，脑功能成像的技术和核技术在医学中的应用。

乙：好！我们就从探索粒子的讨论开始吧！

第一章

粒子

1.1 探索粒子

- 甲：对物质微观世界的探索是自然科学基础研究的重要方面之一。科学家一直在研究物质的基本结构。
- 乙：人类对物质基本结构的认识是不断深入的。在实验上发现原子以后，曾以为原子就是物质的基本结构。后来在实验上发现了原子核，才知道原子是由原子核和电子组成的。
- 甲：以后又认识到原子核是由中子和质子组成的。中子和质子统称核子。
- 乙：随后的实验研究陆续发现许多粒子，如 π 介子、K 介子等等，“基本物质”的种类逐渐增多到几十种，显然这和“基本物质”的观念不符合。
- 甲：进一步的科学实验又使物质基本结构的认识深入，人们认识到，核子和这些介子是由夸克和胶子组成的。

乙：实验研究的前沿从原子到原子核和电子，从原子核到核子，再从核子、介子等等到夸克和胶子：回顾认识物质基本结构的这些历史，确是很有趣。

甲：此外，还观察到各种轻子。带电的轻子包括电子、 μ 子和 τ 子，不带电的轻子包括与上面三种带电轻子相应的中微子，即电子型中微子， μ 子型中微子和 τ 子型中微子。其中 τ 子型中微子是不久前才在实验上观测到的。

乙：已知自然界的作用力有引力、弱力、电磁力和强力。这些作用力由不同的媒介粒子来传递，它们分别是引力子、中间玻色子、光子和胶子。引力子在实验上尚未观测到。

甲：我们对物质结构和作用力虽然有了许多了解，但是又有许多未知问题，需要进一步科学探索。

乙：是的。例如，在已知的几种夸克和轻子之外，是不是存在更多的夸克和轻子？

甲：另外前面提到的夸克和轻子，目前认为它们都是类点粒子，即对它们结构还不知道的、类似点的粒子。但是夸克和轻子究竟有多大？还不清楚。

乙：是的。需要继续研究目前认为是类点的粒子，能不能分成更小的粒子。

甲：对于自然界的作用力，目前认为弱力、电磁力、强力可以统一起来。人们正在研究引力是否也能统一起来。

乙：还需要研究各种粒子质量的本源是什么。此外，中微子的质量有多大？也是目前正在实验探讨的问题。

甲：在探索粒子的前沿，未知的问题非常多，在下一节中我们选择一个具体问题加以说明，这就是莱泼物理。

乙：我们介绍在莱泼正负电子对撞机的高能条件下探索微观世界的情况。

甲：莱泼对撞机的正负电子总能量达到 200GeV ，这是目前世界上能量最高的正负电子对撞实验。

乙：莱泼实验主要研究中间玻色子 Z^0 和 $W^\pm$ 粒子，以及粒子物理的标准模型。同时，在这个能量区域中研究新粒子和新现象。

甲：我们首先说明什么是莱泼物理，然后介绍粒子加速器和高能探测器的原理。

乙：还要着重介绍莱泼实验在 Z^0 和 $W^\pm$ 粒子的特性、电磁力、中微子代数、量子色动力学，以及寻找新粒子方面的研究成果。

甲：这些实验研究成果全面精确地证明了粒子物理标准模型的正确性。

乙：但是实验上没有找到标准模型所预言的 Higgs 粒子。目前正在对此进行探索。

1.2 莱泼物理*

甲：高能物理实验是利用高能粒子进行物理实验，来探索微观世界的奥秘，了解物质的微观结构和相互作用的规律。在这个领域中，物理内容非常丰

* 本节曾发表过。见唐孝威、陈国明：莱泼物理的对话，《世界科技研究与发展》21，5（1999），19。

富。现在我们以“莱泼”物理作为例子，谈谈近年来正负电子对撞机上高能物理实验的进展。

乙：什么是“莱泼”物理呢？

甲：在瑞士日内瓦的欧洲核子研究中心（CERN），是目前世界上最大的高能物理中心之一。在这个研究中心有许多大型的高能实验装置，其中最大的一台实验装置称为“莱泼”，它是一台大型正负电子对撞机，它的英文全名是 Large Electron Positron Storage Ring，缩写为 LEP，音译为“莱泼”，它是目前（也是 20 世纪）世界上能量最高、规模最大的正负电子对撞机。莱泼实验是指在莱泼对撞机上进行的高能物理实验。莱泼物理是指在莱泼对撞机能区中高能物理实验所研究的物理问题。

粒子和相互作用

乙：现在我们对自然界的粒子和它们的相互作用已经有了许多了解。

甲：是的，在我们周围的世界中，常见的两种相互作用力是万有引力和电磁力。但是在微观粒子世界中，人们发现，除了这两种作用力外，还存在着力程很短的弱相互作用力和强相互作用力。已经知道，使原子核结合的力是强相互作用力；使原子结合的力是电磁力；在放射性衰变中，弱相互作用力起着作用；在星系、太阳系中和地球上，万有引力起着作用。通常用相互作用的“耦合常数”来表征作用力的强度，弱相互作用力的强度只有电磁力的一千亿分之一，而强相互作用力则比电

磁力强上百倍，万有引力的强度比它们都小得多。

乙：目前我们认识到的物质结构最小成分是夸克和轻子，它们是我们现在所知道的“基本”粒子。已经知道有六种夸克，它们是上(u)、下(d)、奇(s)、粲(c)、底(b)、顶(t)夸克，每种夸克有自己的反夸克。有六种轻子，它们是电子、 μ 子、 τ 子、电子型中微子、 μ 子型中微子、 τ 子型中微子，每种轻子也都有自己的反轻子，不带电的轻子参与弱相互作用，带电的轻子参与电磁相互作用和弱相互作用，夸克参与强相互作用，同时也参与电磁相互作用和弱相互作用。

甲：除这些粒子外，还有携带作用力的媒介粒子。它们是：胶子、光子、中间玻色子 $W^\pm$ 和 Z^0 粒子以及引力子。自然界中的强相互作用力、电磁力、弱相互作用力和万有引力等作用力，是通过交换媒介粒子来传递的：强相互作用力通过交换胶子传递；电磁力通过交换光子传递；弱相互作用力通过交换中间玻色子 $W^\pm$ 和 Z^0 粒子传递；万有引力通过交换引力子传递。

粒子物理的标准模型

乙：据我所知，莱波实验主要是研究中间玻色子 $W^\pm$ 和 Z^0 粒子，这种研究有什么重要意义呢？

甲：物理学要研究各种力的统一，也就是研究不同的力是不是有共同的起因，目前已经把电磁力和弱相互作用力联系起来，认为它们有共同的起因，并且用“电弱力”来统一描述它们。标准的电弱统

一理论在解释许多实验事实方面取得了很大的成功。例如实验上发现了理论预言的 $W^{\pm}$ 粒子和 Z^0 粒子，这为高能物理研究揭开了新的一页。莱泼实验的物理目标之一，就是研究“电弱力”的各种性质，以及系统地研究 $W^{\pm}$ 粒子和 Z^0 粒子的性质。

乙：目前描述强相互作用力的基础理论是量子色动力学。用莱泼对撞机可以在高能量下检验这个理论。此外，还要在莱泼对撞机的能区中寻找新粒子和新现象。

甲：这里我们谈谈粒子物理学中的标准模型。什么是粒子物理学中的标准模型呢？描写电弱力的电弱统一理论以及描写强相互作用力的量子色动力学，合称为标准模型。每种力都有起因：在日常生活中，我们熟知的电磁力的起因是电荷；存在于地球和太阳之间的引力的起因是质量。根据标准模型，电弱力有统一的起因，人们把它记为 g ，在理论上 g 和 e 的关系式是 $g=e/\sin\theta_w$ ，其中 e 是单个电荷值，它是已知的，而 θ_w 称为温伯格角，它需要由实验测量来确定。电弱力的起因虽然相同，但因为在弱相互作用中传递的是大质量的中间玻色子 $W^{\pm}$ 和 Z^0 ，而在电磁相互作用中传递的是无质量的光子，所以从作用效果看，电磁力比弱力要大得多。而强相互作用力的起因是“色荷”，人们把它记为 g_s ，只有夸克才有“色荷”，而所有轻子都不具有“色荷”，因此轻子不参加强相互作用。到现在为止，实验上还没有找到自由夸克，在实验室中能看到的具有强作用的粒子都是由多个

夸克（或反夸克）合成的介子或重子，“色荷”并不能直接显现出来，但实验上可以通过测量强相互作用力的大小 α_s 来间接地确定 g_s 。前面说过，通常用相互作用的耦合常数来表征作用力的强度， α_s 就是强相互作用的耦合常数。

粒子对撞实验

乙：那么在高能实验中为什么要进行粒子对撞呢？

甲：在高能实验中用高能加速器把粒子加速到很高能量，再使它们轰击靶子，或者使粒子加速到很高能量，再使它们对撞，这样都可以研究在高能作用下的物理现象。我们来看加速器产生高能粒子轰击静止靶子的情形。以质量中心作为参照物的坐标系叫做“质心系”。当高能粒子和静止粒子碰撞时，只有相对于它们质心系的能量，才是可以用于产生新粒子的能量，这个能量叫做质心系的有效能量。高能粒子和静止粒子碰撞，质心系有效能量只是入射粒子能量的一小部分，大部分都变成了质心系运动的动能。然而，如果用高能粒子对撞来进行高能物理研究，情形就不同了。例如用高能量的正负电子对撞湮灭时，质心系有效能量是正负电子的总能量。正负电子全部能量都可以用于产生新粒子。

乙：这样看来，用粒子对撞来进行高能物理实验的好处是提高质心系的有效能量，那么莱泼对撞机的能量有多高呢？为什么有人把它称为中间玻色子的“工厂”呢？

甲：莱泼对撞机的能量是根据中间玻色子的质量来选

定的。因为在高能正负电子对撞时可以大量产生中间玻色子，所以称之为制造中间玻色子的“工厂”。莱泼对撞机的建造和实验分成两个阶段：对撞机是在20世纪80年代初开始建造的，从90年代初到90年代中，是第一期实验，简称LEP-1实验阶段，这时用50GeV电子和50GeV正电子对撞（正负电子的能量可以调低），能够产生大量的 Z^0 粒子（ Z^0 粒子的质量约是91GeV）；从90年代中到21世纪初，是第二期实验，简称LEP-2实验阶段，这时用80~100GeV电子和80~100GeV正电子对撞，能够产生 W^+ 粒子和 W^- 粒子对（ $W^\pm$ 粒子的质量约是80GeV）。这里eV代表电子伏特，表示一个电子通过电势差为1伏特的电场所获得的能量。G是 10^9 。因此，GeV实际上是能量单位。中文是吉电子伏特。

乙：这真是一台规模宏大的高能正负电子对撞机！它和20世纪60年代初在意大利弗拉斯卡蒂实验室建造的最早的正负电子对撞机相比，总能量大了400多倍！（那台装置是用0.25GeV电子和0.25GeV正电子对撞）

莱泼对撞机装置

甲：莱泼对撞机的主环建在地下隧道中，隧道截面的直径是3.76米，主环隧道周长是27公里。地面上只有小的建筑物，安放辅助设备。物理实验是在几个固定的正负电子对撞区的实验大厅中进行的。

乙：为什么莱泼对撞机主环的周长需要这么长呢？

- 甲：我们知道，正负电子在磁场中偏转时会产生辐射，称为同步辐射。对加速粒子来说，同步辐射是一种能量损失。当电子能量增高时，同步辐射引起的能量损失增加很快，减少同步辐射损失的一种方法是使电子（和正电子）在大圈上运动，作较小的偏转，所以莱泼对撞机主环的周长需要 27 公里这么长，如果用一个小直径的主环，那么使电子达到同样的能量就要消耗更大的电能，来补偿更多的由同步辐射而损失的能量。
- 乙：加速正负电子只需要用同一个环，因为正负电子在磁场中的运动方向相反，它们在同一个环中以相反方向旋转运动，再在固定的对撞点上对头碰撞。
- 甲：物理实验方面，对于对撞机要求能量高之外，还要求在对撞点上单位时间中正负电子发生的碰撞数目越多越好，所以对撞机的束流强度要高。
- 乙：据我了解，莱泼对撞机是由一系列的加速设备组成的。
- 甲：是的，正电子是由 200MeV 的电子在转换靶上产生的。正电子及电子先在直线加速器中加速到 600MeV，然后把正负电子贮存在贮存环中，先输入到一台大加速器中加速到 3.5GeV，又输入到另一台大加速器中加速到 20GeV。正负电子经过这一系列加速器的加速后，注入到莱泼对撞机的主环中，再进行加速。在莱泼对撞机的主环上，用一系列的偏转磁铁和聚焦磁铁，使粒子沿着指定的轨道运动，并且聚焦成为窄束。
- 乙：莱泼对撞机的偏转磁场不是用通常的线圈来产生