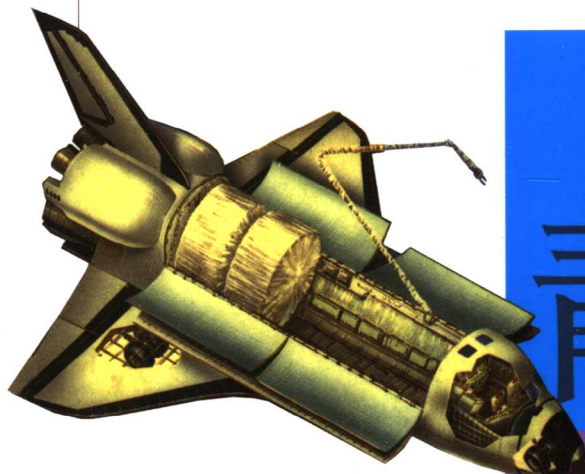


广 西 科 学 技 术 出 版 社

唐孝威等 编著 DANGDAI QINGNIAN (KEPU WENKU)

探寻反物质的踪迹



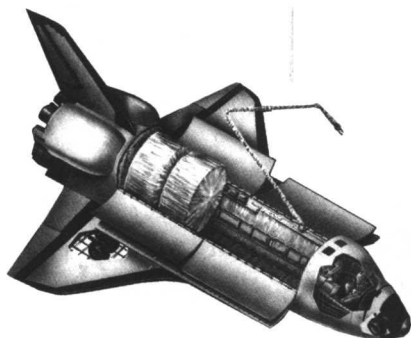
当代青年科普文库

DANGDAI QINGNIAN KEPU WENKU

探寻反物质的踪迹

广西科学技术出版社

唐孝威等 编著



图书在版编目(CIP)数据

探寻反物质的踪迹/唐孝威等编著. —南宁:广西科学技术出版社, 2004. 1.

(当代青年科普文库)

ISBN 7-80666-394-0

I. 探... II. 唐... III. 反物质-青年读物
IV. P14-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077302 号

探寻反物质的踪迹

唐孝威等 编著

*

广西科学技术出版社出版

(南宁市东葛路 66 号 邮政编码 530022)

广西新华书店发行

广西民族印刷厂印刷

(南宁市明秀西路 53 号 邮政编码 530001)

*

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 4 插页 1 字数 90 000

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1—3 000 册

ISBN 7-80666-394-0

定价: 12.40 元

K·16

本书如有倒装缺页, 请与承印厂调换

《当代青年科普文库》顾问

吴阶平 周光召 朱丽兰 陈至立 路甬祥 邬书林
杨牧之

当代青年科普文库 编委会

主 任 周 诒 王为珍

副主任 (按姓氏笔画为序)

李建臣 肖尔斌 张培兰 林万泉 孟祥林 胡大卫 胡明琇

委 员 (按姓氏笔画为序)

王浩荧 刘 红 刘振杰 杨新书 李书敏 李光炜 肖尔斌

汪 华 沈火生 张培兰 张敬德 林万泉 胡大卫 胡明琇

赵守富 袁大川 夏 楨 夏同珩 徐惠国 席广辉 黄达全

冠秀荣 覃 春 谢荣岱 曾勇新 额敦桑布

总体策划工作组

组 长 胡明琇 汪 华

成 员 (按姓氏笔画为序)

杨勇翔 李永平 李建臣 汪 华 宋德万 张虹霞 张洁佩

孟祥林 胡明琇 徐荣生 黄元森

出版一套面向广大青年的科普图书,是许多地方科技出版社萦怀已久的愿望,但是由于种种原因,一直没有哪一家出版社独自将之付诸实施,这常常让我们引为憾事。1995年,新闻出版署确定了《当代青年科普文库》(以下简称《文库》)为国家“九五”出版重点选题,才使我们有机会通过联合出版的方式了却大家的夙愿。

今天,世界处在科学技术飞速发展、社会生活瞬息万变的时代。处于高科技时代的青年人,通过耳濡目染或者孜孜以求,已经打开了曾经狭窄的眼界,而从各种不同的途径汲取知识,丰富自己,以求得到多元的而不是单一的知识结构。将会影响21世纪人类命运和前途的高新科学技术知识,便成为他们涉猎的热点。青年人清醒地认识到,21世纪是青年人的世纪,他们背负着时代赋予的重大责任,而科学技术知识恰恰能开发他们担负起这种责任的巨大潜能。

地方科技出版社承担着向青年系统地进行科学普及教育的重要任务,这是具有使命性的任务。科学普及事业直接影响着社会进步和民族兴衰。翻开历史的卷页,许多事实都证明,科学技术对社会的影响既取决于科学技术的发展水平,又取决于科学技术被公众理解的程度,所以说,科学普及与一切科学活动、科学成就具有等量齐观的价值。我们注意到,由于现代科学技术发展迅速,知识更新日益加快,自然科学的各分支学科之间、自然科学与社会科学之间的融合愈加紧密,

再像过去那样仅向青年人介绍一般的科学常识已经不足以提高他们的科学文化素质。因此,《文库》除介绍了当代科学技术的重要知识内容,并竭力避免浮光掠影地粗浅描述外,还十分注重一定层次的整体描述,企望以此引导青年朋友改变传统的、陈旧的思想观念,确立新的科学理念、科学精神、科学方法和科学的思维方式。

在人类社会发展进程中,科学技术从来不是孤立存在的,它是社会文化的重要组成部分。今天,人们越来越重视科学技术的文化意义,这对当今社会的进步具有重大意义。我们力求把科学技术放到大的文化背景中,采用合理的文化观念描述人类、自然、社会相互间的关系,使当代青年从单纯了解科学技术事实的局限中解脱出来,看到科学技术更为广阔和动人的图景。

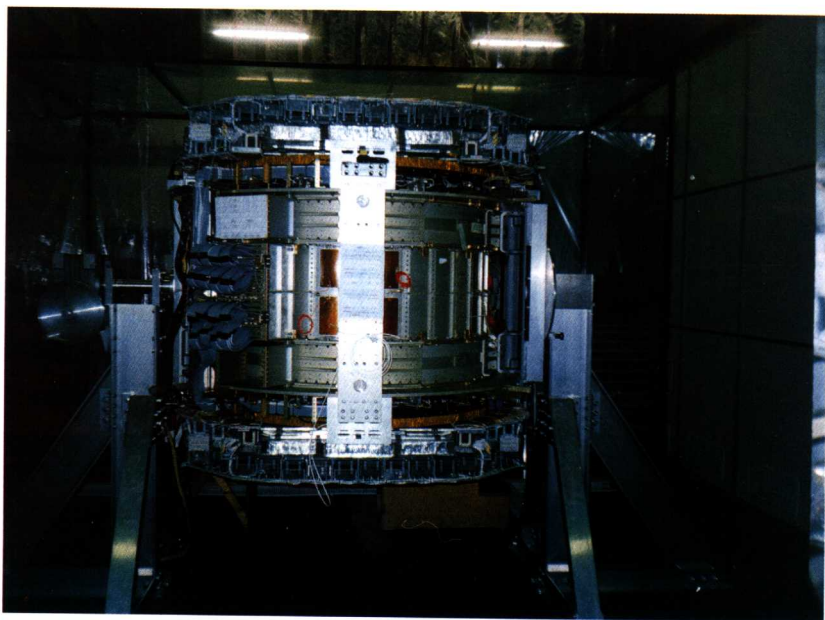
《文库》的前期准备工作进行了将近两年,总体策划工作组在广泛调查研究的基础上,拿出了选题设想和文库整体编辑方案,之后又多次进行了充分的讨论并召开专家论证会,确定了最后的选题编辑方案,这一方案经过地方科学技术出版社社长、总编年会通过后才正式加以实施。参加这一工程的共有 27 家地方科学技术出版社。

在《文库》即将全部付梓之际,我们倍觉欣慰。与此同时,我们对在《文库》策划、编辑、出版过程中给予关心和支持的中宣部出版局、新闻出版署图书司和中国版协科技委员会的领导表示敬意和感谢;对应邀担任《文库》顾问的各位领导和科学家表示诚挚的谢意;对在很短的时间内编写出高质量稿件的各位作者表示衷心的感谢;对承担《文库》编辑、出版工作的各地方科学技术出版社的领导、责任编辑致以深切的慰问。作为跨世纪的大型科普书,这是我们奉献给当代青年的一份礼物,希望他们能够喜欢这份礼物。

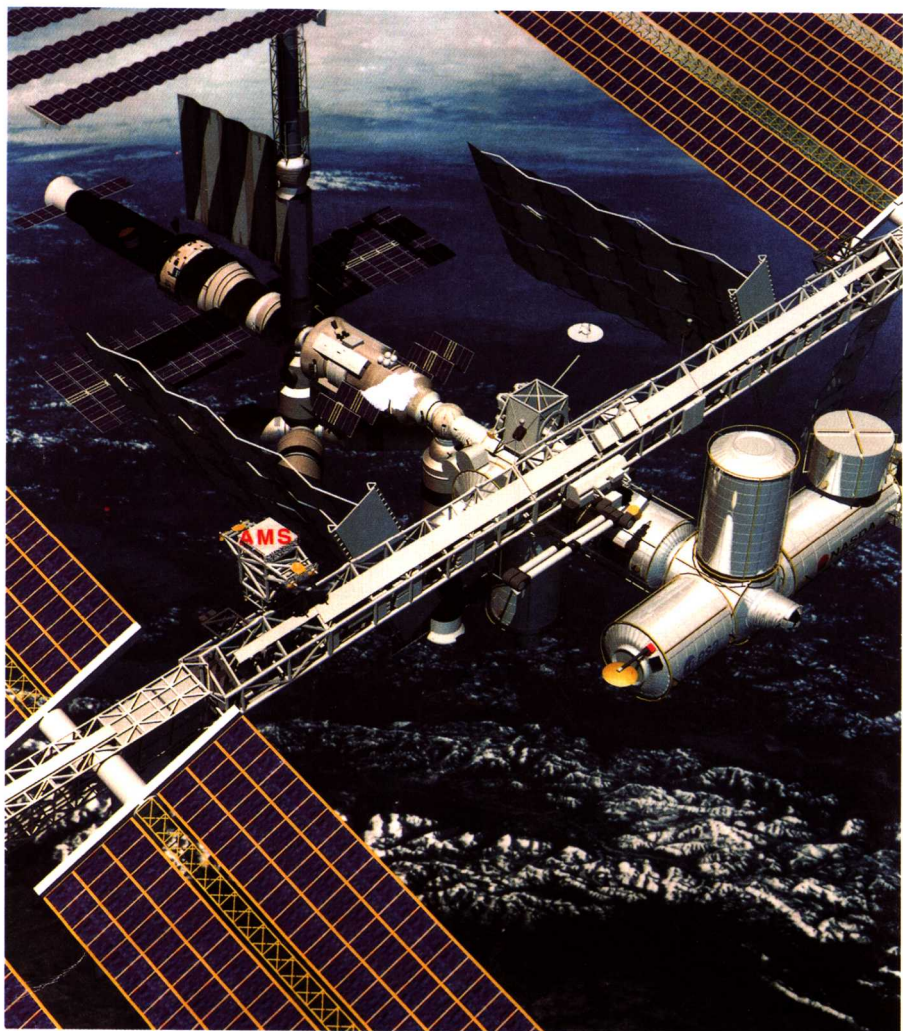
中国出版工作者协会
科技委员会地方工作部
1999 年 6 月



图为由中国负责研制的阿尔法磁谱仪（AMS-01）永磁体系统初样，按美国 NASA 标准，成功地在北京完成离心试验。
(庄红梅摄)



图为阿尔法磁谱仪（AMS-01）装配现场，1997 年 11 月摄于瑞士苏黎世高等理工学院。
(庄红梅摄)



按计划，阿尔法磁谱仪（AMS-02）将于2005年9月送入国际空间站运行3年。阿尔法磁谱仪在国际空间站中的位置如图所示已经在空间站的设计中确定。

目录

引 言	(1)
第一篇 从粒子到宇宙	(3)
1. 追本溯源论物质	(5)
2. 自然界里的力	(7)
3. 是它们构筑了物质世界——谈谈原子	(10)
4. 原子里面是什么	(12)
5. 放射性原子核	(15)
6. 夸克和轻子	(18)
7. 宇宙和粒子	(21)
第二篇 什么是反物质	(23)
1. 预言反物质	(24)
2. 见识反物质	(26)
3. 反粒子和宇宙反物质	(28)
4. 反物质的特性	(29)
5. 反物质有什么用途	(32)
第三篇 探寻反物质的工具	(35)
1. 在实验室里产生反粒子	(35)
2. 什么是探测器	(38)
3. 径迹探测器	(39)
4. 粒子计数器	(41)
5. 量能器和磁谱仪	(43)
第四篇 探寻反粒子	(48)
1. 研究反物质的先驱——赵忠尧	(49)
2. 发现正电子的故事	(51)
3. 第一次观测到反中微子	(55)
4. 反质子是怎样发现的	(59)

5. 反中子是怎样发现的	(63)
6. 反氦原子核的发现	(65)
7. 反超子的实验	(66)
8. 发现反氢原子	(71)
9. 正负电子对撞的新现象	(73)
10. W^+ 和 W^- 的成对产生	(77)
第五篇 探寻宇宙反物质	(82)
1. 宇宙空间的高能粒子——宇宙射线	(82)
2. 茫茫宇宙,何处寻觅反物质	(86)
3. 怎样寻找宇宙反物质	(88)
4. 一个宏伟的计划:阿尔法磁谱仪实验	(91)
5. 为什么 AMS 能寻找反物质	(102)
6. 另一种神秘的物质——暗物质	(103)
7. 中国科学家在行动	(106)
8. AMS 首飞告捷	(108)
9. 至今没有测量到宇宙反物质	(110)
10. 展望研究反物质的前景	(112)
后 记	(115)

引 言

在这本书里，我们要和读者谈谈人类是怎样探寻反物质的踪迹的。

我们先要说明这本书里所讲的反物质是什么。大家常常听说“物质”这个名词，比如说“物质世界”，或者说“物质结构”等。但是，有的读者没有听说过反物质，也不知道什么是反物质，可能对“反物质”这个词感到生疏和奇怪，以为这是什么神秘的东西。

让我们从浩瀚的自然界说起：我们周围的自然界，在时间上和空间上范围都非常之大。在自然界里物质结构有许多层次，小到微观粒子，大到整个宇宙。反物质是自然界的一部分。从小的方面说，有微观的反粒子，从大的方面说，有由微观反粒子组成的反物质。

我们讲的“反物质”不是哲学的名词，而是物理学的名词。哲学家讲的物质的概念，是指独立存在于人的意识之外的客观实在。物理学中的反物质是一种物质形式，它们也是独立存在于人的意识之外的客观实在。虽然它们的物理属性和普通的物质有些区别，但并不是什么神秘的东西，更不是什么与客观实在的物质“相反”的东西。

总之，我们所讲的物理学的反物质，是客观物质世界的一部分。我们将分别从小的方面到大的方面来介绍反物质，小的方面是各种反粒子，大的方面是宇宙中的反物质。

要说明反物质，就先要讲讲反粒子。我们知道，自然界里有许多种微观粒子。例如电子、质子、中子……都是微观粒子，

原子也是微观粒子。各种微观粒子都有它的反粒子,反粒子也是微观粒子。例如电子的反粒子是反电子也叫正电子,质子的反粒子是反质子,中子的反粒子是反中子……还有各种反原子。反电子、反质子、反中子、反原子……它们都是微观的反物质。

宏观的物质是由原子组成的。原则上,反原子可以组成宏观的反物质。如果宇宙里存在宏观的反物质,它们就叫宇宙反物质。此外,如果空间飞行的宇宙射线中有反氦原子核、反碳原子核或是更重的反原子核,它们也都叫做宇宙反物质。

为什么在这本书里我们要讲“探寻反物质的踪迹”呢?因为我们平时遇到的都是物质,而反物质却不常有,所以要设计专门的实验来探寻它们的踪迹。对于各种反粒子,要在实验室里用专门的设备和仪器来产生和探寻它们。对于宇宙反物质,则要在空间里用专门的实验仪器来探寻它们。至今在实验上还没有宇宙反物质的证据,对它们需要进行长期的探寻。

探寻反物质的踪迹必须进行许多科学实验,而要进行科学实验又离不开工具,也就是实验仪器。特别是因为微观粒子是不能直接看到的,这就更需要设计和建造专门的实验仪器去测量它们。所以我们将要比较详细地介绍探寻反物质的工具。

然后我们将分别谈谈人类探寻反粒子和宇宙反物质的故事。先介绍人类是怎样在实验室里探寻各种反粒子的,再介绍人类是怎样在空间探寻宇宙反物质的,其中要比较详细地介绍阿尔法磁谱仪的实验计划和它首次飞行的结果。

第一篇

从粒子到宇宙

在这一篇里,我们要谈谈自然界里的各种力,还要谈谈什么是宏观世界,什么是宇观世界,什么是微观世界。

自然界里有大大小小的物体。图 1 表示物质结构的许多层次。

我们在日常生活中见到的物体是比较大的,这个部分通常叫做宏观世界。“宏”是大的意思,“宏观”物体是大尺度的物体,宏观物体的尺寸常用米作为度量单位,通常把毫米到万米的物体都称为宏观物体。

我们又把自然界里非常大的世界叫做宇观世界。“宇”是“宇宙”的意思。我们的地球处于太阳系里,太阳系里的太阳是一颗普通的恒星,地球和其他行星围绕着太阳转动。太阳系又处于一个星系里,这个星系称为银河系,太阳系在银河系里运动,太阳系只是银河系里的很小一部分。

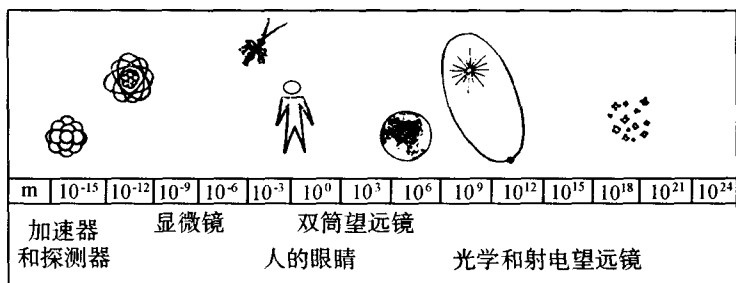


图 1

图 1 是自然界中物质结构层次的示意图。图中的横轴是以米为单位的空间尺度。图中以 10^3 为一级,连续标出空间尺度。例如这一级是 10^0 米,前一级就是 10^{-3} 米,后一级就是 10^3 米。

图中从左到右标出了 $10^{-15} \sim 10^{24}$ 米的空间尺度。最左边与最右边的空间尺度相差有 10^{39} 倍之多。

在横轴的上面,画出了不同尺度的一些物体。从左到右有原子核、原子、昆虫、人、地球、太阳系和星系。它们都是示意图。其中有“极小的”原子核和“极大的”星系。人的空间尺度是以米来计算的,靠近横轴的中间。

在横轴的下面,列出了观测不同尺度的物体所用的一些“工具”。从左到右有:加速器和探测器(用来观测和研究微观物体);显微镜(用于观测较小的宏观物体);人的眼睛(可以看到周围的宏观物体);双筒望远镜(可以看到远处的宏观物体),光学和射电望远镜(用来观测和研究宇观世界)。

在具有各种不同尺度的物体的自然界里,可以看到物质的多层次结构。

在茫茫宇宙中,有许许多多星系,其中星系间又可组成星系团,银河系所处的星系团称为“本星系团”。宇宙射线是从遥

远的空间飞来的射线,其中也包括一些从太阳来的能量较低的射线。

在宇观世界里,物体间的距离常用“光年”作为单位。在自然界中光的速度是最大的,光速约为每秒 30 万千米。光走一年的距离叫做一个“光年”。光年是距离,因为 1 年有 3.16×10^7 秒,所以 1“光年”大约是 10^{16} 米。

我们把自然界里非常小的世界叫做微观世界,“微”是小的意思。从物质结构来说,微观粒子又分成若干个层次,各个层次的物质,尺寸又不相同。

一个层次是原子,原子尺寸的数量级是 10^{-10} 米。下一个层次是原子核,原子核尺寸的数量级是 10^{-14} 米。所以原子核比原子要小 1 万倍左右。

再下一个层次是一些“粒子”,例如原子核里面的质子和中子,它们统称为核子。后面将会提到的介子(像 π 介子)和超子等,也属于这个层次。它们的尺寸的数量级是 10^{-15} 米。

更下一个层次是夸克和轻子,它们是目前我们知道的最小的粒子。夸克是英文字 Quark 的译名,轻子的英文名称是 Lepton。夸克和轻子尺寸的数量级小于 10^{-18} 米。确切地说,它们的半径小得至今还测量不出来,看来像是一个个没有尺寸的“点”,所以也常把这些粒子叫做“点”粒子。

对于微观粒子,我们将从原子说起,再说原子里是什么。因为有些放射性的原子核会发射反粒子(正电子或反中微子),所以要专门介绍放射性原子核。然后再说说有哪些夸克和轻子。

微观世界和宇观世界有紧密的联系,后面我们要提到“极小的”和“极大的”物质世界之间的联系。

1. 追溯溯源论物质

我们生活在地球上。在上古时代,人们不了解地球,也不

了解宇宙,因此有种种迷信的传说,有人说天地是神创的,还有人说盘古开天辟地。

古人对一些自然现象提出种种可笑的猜测,说什么“天圆地方”,说什么“日食是天狗吃了太阳”……后来人的知识慢慢多了,知道上面这些观念都是不正确的。天地根本不是神创的,也不是盘古开辟的,太阳是太空中的一个恒星,地球是太空中的一个行星,日食是月球绕着地球转动,转到太阳和地球之间时,把太阳遮住产生的景象。

古时有所谓“地心说”,以为地球是宇宙的中心;后来又发展到“日心说”,以为太阳是宇宙的中心。由于科学的发展,这些观念也都改变了。现在没有人相信地球是宇宙的中心,或太阳是宇宙的中心。在浩瀚的空间里,地球只是太阳系中的一颗行星,是太空中一个微不足道的天体。

总之,自古以来人类一直在探索宇宙的本源。随着科学技术的发展,人类对宇宙的了解越来越深入和全面。但宇宙到底是怎么来的呢?至今仍有许多未知的问题。

现在流行一种理论,叫做“宇宙大爆炸”学说。按照这种理论,一切都起源于一场“大爆炸”——据说距今约150亿年前发生“宇宙大爆炸”,随着那次“大爆炸”,在不到1微秒(100万分之一秒)的时间里,叫做夸克的亚原子粒子就结合形成了质子和中子,在3分钟后温度降低,质子和中子就结合成原子核,以后温度再降低,原子核和电子就开始结合成原子——这就是物质世界的开始。

“宇宙大爆炸”学说认为大爆炸后3分钟内,最初的化学元素中的原子核就已形成,我们所熟悉的物质的原子核在那时就已出现了。以后,随着宇宙的不断膨胀,宇宙星云开始收缩形成原星系,其中之一便演化为我们今天的银河系。

在螺旋状银河系的旋臂上有一颗我们非常熟悉而倍感亲切的恒星——太阳,它在银河系1000亿颗光芒四射的恒星当中显得如此地普通。在这距离银河系中心3万光年(前面已经

提到,1光年为光走一年的距离,约 9.5×10^{12} 千米)的“边远地带”,太阳带着围绕它旋转的行星以 9.0×10^5 千米/时的速度绕着银河系中心旋转,完成一次周转大约要2.4亿年。

在这漫长的岁月里究竟发生了些什么?今天我们无法确切知晓,一切的演化都是那么缓慢。而在一定的条件下,生命终于在太阳系中的第三颗行星——我们的地球上开始繁衍兴旺。

也许是在35亿年前,或许还更早,地球上就开始出现了具有生命特征的物质,又经过漫长的进化,终于形成了地球上今天生机盎然的生命世界,最后出现了我们人类。然而无论大如星系或小若原子,无论是生机勃勃的鸟兽鱼虫,还是没有生命的沙土岩石,无论是古老的化石或新奇的克隆羊多莉,它们都有一个共同点:都是物质的。

物质是多种多样的,它们有小有大,有简单有复杂,有的在时间上可以以亿年计算,有的在距离上可以用光年衡量,我们所熟知的日常世界只是物质世界中极小的一部分。随着人类科学技术水平的提高,借助高科技的手段,人们现在已经能用扫描隧道显微镜观测到半径以 10^{-10} 米计的原子以及用哈勃望远镜观测到离我们120亿光年远的星系。这些大大小小的物体都是客观存在的物质。

2. 自然界里的力

自然界里万物之间都有相互作用,我们需要了解各种相互作用。图2表示自然界中的4种作用力。

力是物体对物体的作用。在日常生活里,地球吸引苹果使苹果落地,表明地球对苹果有力的作用,这种力叫做万有引力,它实际上是地球和苹果之间相互作用的力;磁铁吸引铁钉,使铁钉被吸到磁铁上,表明磁铁对铁钉有力的作用,这种力叫做磁力,它实际上是磁铁和铁钉之间相互作用的力。