

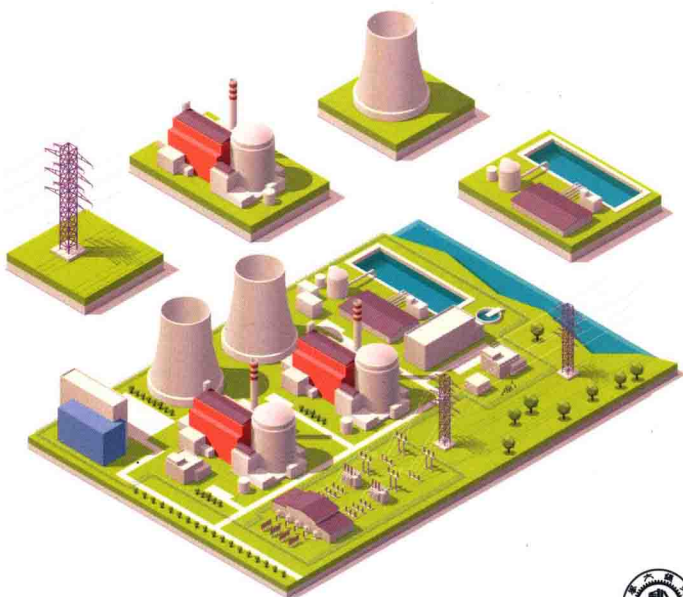


图解科技译丛

图解核能62问

「日」关本博 著 彭瑾 译

- ✧ 为什么世界要依赖核发电？
- ✧ 核电再运转需理解哪些科学知识？
- ✧ 地下核电站有无运行的可能性？
- ✧ 核废料的处理方法有哪些？
- ✧ 小型长寿堆是什么呢？

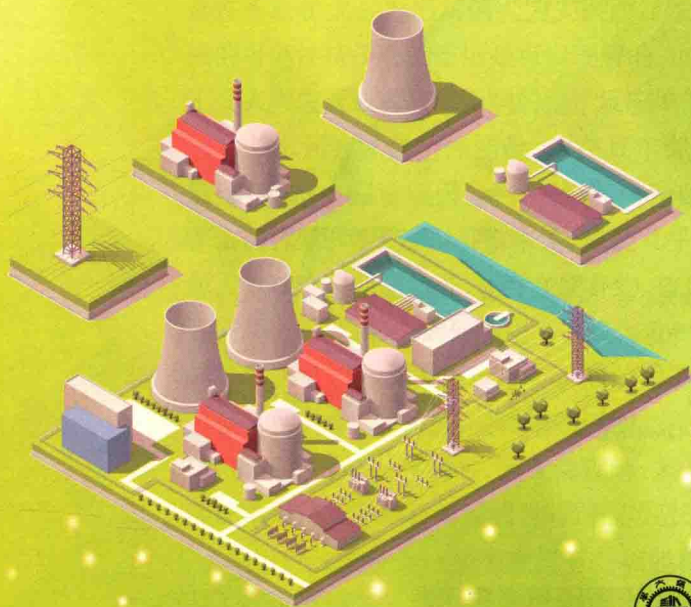


上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

图解科技译丛

图解核能 92 问

〔日〕关本博 著 彭瑾 译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书主要介绍了为什么世界要依赖核能发电、核能的重要性、核能发电的优点、核能的发电原理、核能的威力到底有多大、核能与人类的未来、核能存在什么问题以及日本大地震之后核能再运行必须理解的科学知识。全书图文并茂、形象生动,极具可读性,是大众了解核能不可多得的科普读物,也可供青少年拓展之用。

图书在版编目(CIP)数据

图解核能62问/(日)关本博著;彭瑾译. —上海:

上海交通大学出版社,2015

ISBN 978-7-313-12698-6

I. ①图… II. ①关… ②彭… III. ①核能—图解

IV. ①TL-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第038416号

RIKOUKEI NO TAME NO GENSHIRYOKU NO GIMON 62

Copyright © 2013 Hiroshi Sekimoto

Chinese translation rights in simplified characters arranged with SB Creative Corp., Tokyo through Japan UNI Agency, Inc., Tokyo

上海市版权局著作权合同登记号:图字:09-2014-143

图解核能62问

著 者:[日]关本博

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:苏州市越洋印刷有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

字 数:130千字

版 次:2015年4月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-12698-6/K

定 价:48.00元

译 者:彭 瑾

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:12.5

印 次:2015年4月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-68180638

前言

福岛第一核电站泄漏事故发生后，民众强烈要求放弃使用核能发电，当时执政的民主党也实行了符合民众意愿的核能政策。然而自民党在此后的众议院选举中大胜并掌握了政权，该政权表示会继续使用核能。可以说现在核能政策发生了很大的动摇，很多国民可能有必要进一步了解核能。

同之前较大的原子反应堆事故一样，这次事故同样被认为是人为失误造成的。经过深刻的反省与完善之后，其安全性也应该会格外提高。核能的利用一直以来都在不断扩大。人们对因人为失误而导致发生重大事故的可能性持担心的态度是可以理解的，也有人做出了不受人类失误或者故障影响的原子反应堆的提案。

考虑到核能的超强能量，现在日本即使放弃核能发电，将来人们肯定仍会利用核能。特别是考虑到对宇宙的探索，对于进出宇宙来说，核能几乎是唯一的能源。除核安全问题之外，还存在废弃物、核扩散、核劫持等问题。因此，将来如何利用下去成为重要的问题。

本书就以上相关内容进行了简单明了的说明。不过就某些科学问题仍需要详细的说明。科学问题是基础，如果不好好说明的话，就无法理解，甚至造成误解，因此本书将从基础开始说明，稍微有点冗长，请海涵。

由于 science · eye 新书中没有与核能相关的书，于是5年前策划了本书。在福岛第一核电站事故之前，

核能开发呈现出强劲势头,很多人对核能开发表示担心。编辑部进行了调查问卷,就普通人对核能的了解程度、对核能的看法进行了调查。结果显示,大部分人都不怎么了解核能,并且对此十分担忧。我收到的企划书起先是这样写的:

“大家希望知道的核能的30个疑问——真的安全吗?是否可以抗大地震?发生事故后对人体有什么影响?”后面又列举了24个问题。因此,本书将基于这些疑问进行回答。

问题尽量保持原封不动,不过考虑整体的平衡进行了调整并增加了更多内容。这些问题中,将“真的安全吗”去掉,增加了“能够制造更加安全的原子反应堆吗?”也许编辑对“安全”这个词的定义都茫然费解吧。为此,本书就安全相关内容进行详细说明。以“更加安全的原子反应堆”的提问为契机,请允许我讲解将来核能发展的可能性。

在执笔过程中,发生了福岛第一核电站事故。然而,不论是地震还是冷却等问题,我都已经写过了,其内容没必要做大的改动,还是决定通过追加关于事故的一个示例,来解答读者的新问题。此次事故,在科学领域,就是这样(实际上不要局限在事故中,事故本就是这样的)强调与人相关的部分,因此还是多写一点与人相关的内容吧。

普通民众对于核能科学,知之甚少。这一点通过调查结果反馈得更加清楚,因此我以核能科学为基础进行了说明。将基础知识好好讲解之后,就能够很好地理解核能了,我想这对学习其他领域的知识也是有用的。本书中,当然不仅仅是基础知识,就核能科学的部分也进行了详细的说明。与其说核能是科学,倒不如说核能还涉及人类、组织、社会等方方面面的难题。关于核能的这些问题不能避而不谈。因此,本书尽可

能地用科学家的观点就上述难题进行了说明。

不说明难题,可能会令我的书更好理解。然而在本书中,只要是重要的不管是不是难点全部写进去了,我会努力选择更加通俗易懂的表达方式来促进读者的理解,因此可能会有一些比较难懂的地方,请见谅。我以前对一些人进行小规模演讲的时候,曾有人说理解了我的意思,这次我也期待能有这样的效果。

所谓更详细地理解核能,并未期待那些原本反对核能的人会变得赞成核能。即使对核能详细了解后,也依然会有反对的人、担心的人。我可能无法完全消除大家的这种心理。我只希望那些不了解核能就提出赞同或者反对意见的人,能够在理解本书的内容之后再提出赞同或者反对意见。我了解本书内容之后,赞同或反对的观点很可能发生变化。然而在深入掌握相关知识后,其后的想法可能就不会轻易变化了。

关于未来的核能,是我的专业,我对其进行了长期的研究。不过这样的研究有各种各样的理由,基本上都没有公之于众。本书问题中包含了这样的内容,我也稍微写了一点。然而,从整本书的平衡上来看,只是写了一点点。如果有很多读者关心这个的话,我要再找个机会就我们称之为“创新核能”的未来核能写一本书,在那本书里再进行详细的描述吧。

迄今为止,只要是对人类有用的都可以利用。我认为核能不管是好还是坏,其出现就是为了供人类利用的。如果是这样,我认为,为了真正有助于人类,就应该绞尽脑汁思考利用的方法。希望通过本书的阅读,大家对核能科学有初步的理解,关心未来将如何对其更巧妙地利用。希望大家能够对这些问题进行挑战,哪怕只有几个人,实为幸事。

关本博

第1章 核能的能量有多强大？ 1

- Q01** 力、功率、能量有什么区别呢？ 2
- Q02** 所谓原子核是什么呢？ 6
- Q03** 何谓核反应？同化学反应有什么区别？ 11
- Q04** 我们周围存在着什么样的原子核呢？ 19
- Q05** 核反应容易发生吗？ 22
- Q06** 核裂变是什么样的反应呢？ 27
- Q07** 链式反应和临界是什么呢？ 29
- Q08** 核裂变是如何被发现的呢？ 32
- Q09** 核能的能量有多么强大呢？ 37
- Q10** 核裂变会产生什么样的物质呢？ 41
- Q11** 同火力发电相比，有什么不同呢？ 43
- Q12** 同可再生能源相比有什么不同呢？ 46
- Q13** 没有超过核能的能量吗？ 48

第2章 核能的发电机制是什么？ 53

- Q14** 原子核反应堆的结构是什么样的呢？ 54
- Q15** 核裂变能量如何能够变成电呢？ 55
- Q16** 为什么燃料中要加入铀呢？ 56
- Q17** 所谓慢化剂是什么呢？ 57
- Q18** 中子的慢化是如何进行的呢？ 59
- Q19** 中子在慢化的过程中，没有被完全吸收吗？ 63
- Q20** 从未临界到临界，只需要拔出
控制棒就可以吗？ 65
- Q21** 原子核反应堆的功率是如何变化的呢？ 67
- Q22** 再具体说明一下负反馈 70
- Q23** 进行核裂变的话，会未临界吗？ 78
- Q24** 如何从天然铀中提炼出浓缩铀呢？ 80
- Q25** 现在一般运转的原子核反应堆，
没有使用天然铀吗？ 83
- Q26** 轻水堆同其他原子核反应堆相比
能够小到什么程度呢？ 85

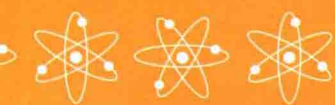


Q27	轻水堆的结构是什么样的呢?	87
Q28	如何致力于快堆的开发呢?	90
Q29	为什么利用快堆可以有效利用铀呢?	92
Q30	^{233}U 看上去可能增殖, 是怎么增殖的呢?	94
Q31	快中子增殖堆是什么样的原子核 反应堆呢?	96
Q32	快中子增殖堆比轻水堆安全吗?	99
Q33	核燃料足够吗?	100
Q34	核燃料是如何制造并使用的呢?	103
Q35	原子核反应堆的历史是什么样的呢?	107
Q36	CP-1 之后, 又制做出了什么样的 原子核反应堆呢?	110
Q37	最初, 只有石墨慢化的原子核反应堆吗?	114
Q38	原子核反应堆除了发电之外还有其他 作用吗?	117

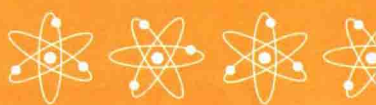
第3章 核能所存在的问题是什么?121

Q39	核能的问题点是什么呢?	122
Q40	可以将核动力挪用到核武器的使用上吗?	123
Q41	原子核反应堆中, 放射性物质是如何 产生的?	125
Q42	放射性射线、放射性能量、放射性物质	

	是什么呢?	127
Q43	放射性射线的影响是什么样的呢?	129
Q44	在放射性射线下被(放射线)照射到什么程度 会生病或者死亡呢?	131
Q45	迄今为止的事故中,被辐射到什么程度呢?	134
Q46	发生事故后怎么办呢?	137
Q47	停止原子核反应堆是怎么回事呢?	138
Q48	原子核反应堆有没有可能像原子弹那样爆炸呢?	139
Q49	停止原子核反应堆为什么还需要冷却呢?	140
Q50	如何封闭放射性物质呢?	142
Q51	发生地震时,安全对策是什么样的呢?	144
Q52	放射性物质或者放射性射线在事故中泄漏的情况下, 怎么办呢?	145
Q53	安全上相对有风险这句说法,是怎么回事呢?	147
Q54	比起安全的烦琐的叮嘱,有没有让人安心的说法呢?	150
Q55	核废弃物的处理是怎么样的呢?	152
Q56	信息公开是到什么程度呢?	156
第4章	核能与人类的未来	159
Q57	不能生产更安全的原子核反应堆吗?	160
Q58	固有安全堆是什么样的原子核反应堆呢?	162
Q59	原子核反应堆不能建在地下吗?	167
Q60	有快堆的固有安全堆吗?	168
Q61	这些固有安全堆可以叫做增殖堆吗?	172
Q62	核能需要使用到什么时候呢?	175
后记		177
索引		180

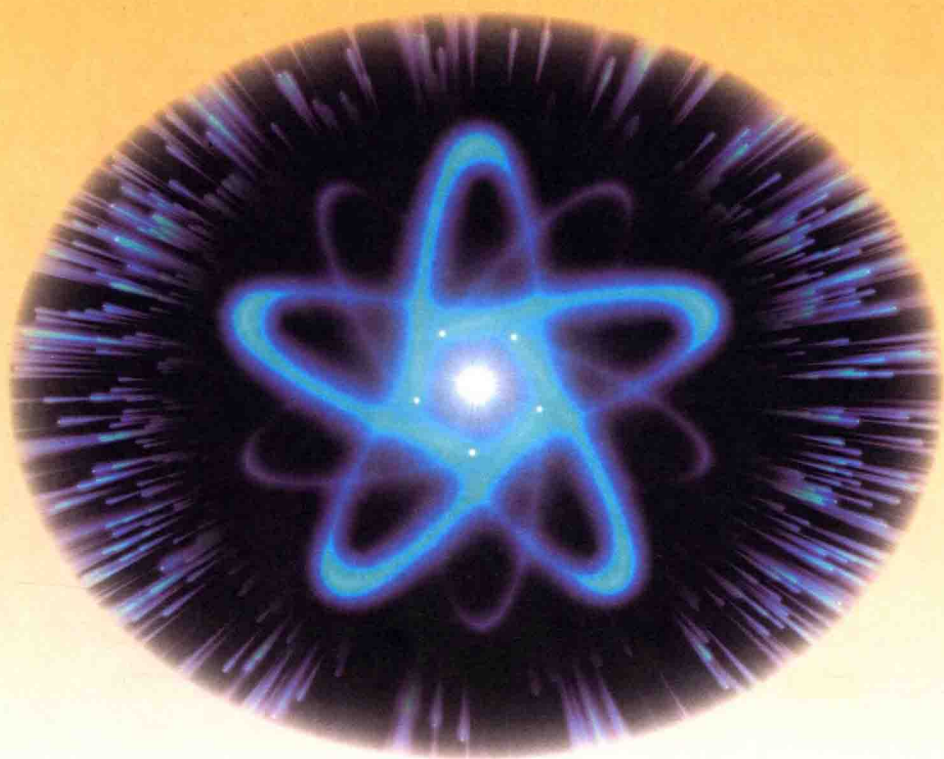


第1章



核能的能量 有多强大？

首先在第1章里,我们从核能的发电基础、原子核和核反应、核裂变、核能的强大威力与火力发电的差异等开始学习。希望理工科、特别是物理专业的学生,准确地掌握每一个知识。



Q

01

力、功率、能量有什么区别呢？

核能被写作“原子之力”，同时也被称作重要的能量。很多情况下是用输出功率来表示原子核反应堆的能力。此外也有功率(power)、功等词语。类似的词语有很多比较复杂，所以在开始问题之前，让我们先谈一下这些词语的不同之处。

力、功率(power)、能量(energy)等词语在日常使用中意思相同，不过在物理上则是不同的量。学习物理就会知道，物理量经过严格的定义，能够找到这些物理量的各种法则，甚至可以用公式等表示这些法则，通过对其进行数学展开，那些仅从直观上无法理解的各种新法则就会变得非常清晰明了。关于物理量的



图1-1 意义相近的语汇

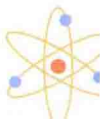
定义先说这么多,下面具体来看一下。

首先,我们从物理教科书上的内容开始。用力 F 使重物沿 F 的方向运动距离 x ,这时力 F 做的功为力的大小 F 和距离 x 的乘积 Fx 。功虽然是我们平时常使用的词汇,然而物理学家对此进行了仔细研究之后对其做了如此严格的定义。应该有人感觉这同我们日常使用的功稍微有些不同吧,物理上出现的量(物理量)需要进行严格的定义,因此才变成这样的。只有进行了严格的定义,才能够继续开展严格的讨论,才可能研究更深的理论,这同数学是类似的。在数学上以所需要的定义及少量的公理为出发点,展开逻辑推理,从而衍生出很多其他的内容。本书所使用的物理量,均以其物理定义为基础。即使物理定义的量同日常使用的量稍微有些不同,也不要太在意。

能量枯竭这个词在新闻报道中大量使用,这是报道领域使用的定义,一般人对此也并未抱有什么疑问。然而物理所定义的能量绝不会消失。能量有很多种,应该说对人类有益的能量正面临着枯竭才正确吧。

我们之前举的功的例子中,可以说使用的能量是 Fx 。也就是说功是能量的一种表现方式。这应该是我们在物理课上学的内容,也就是著名的能量守恒定律。由于功并不守恒,从这种意义上讲,所谓力 F 使重物运动距离 x 时所做的功,是某些能量作了 Fx 的功,从而变成了其他的能量。在将物体提起来的时候,势能增加;在地面推的时候,功的能量有相当一部分在摩擦作用下转化成了热能。

功率是单位时间所做的功,所以从这个意义上来讲被称为功率。原子核反应堆经常使用输出功率来表示其能力。现在广



泛使用的原子核反应堆是将核裂变产生的能量转化成热能,再进一步转化成电能加以利用。因此将热能的发生率称为热输出功率、将电能的发生率称为电输出功率,从而加以区别。

为了进一步具体地理解能量和功率的不同,我们以小电灯泡为例来说明一下。如图1-2所示,将5瓦(W)的小电灯泡接上蓄电池。5瓦通常称作小电灯泡消耗的电力,在此称作功率。如果能够持续亮灯1小时(h)的话,该蓄电池就积蓄了5瓦时的能量。这里,能量的单位用功率的单位瓦和时间的单位小时的乘积表示。能量的单位有很多,物理上经常使用的单位是焦耳,由瓦乘以秒得来。1小时为3 600秒(s),所以5瓦时就是 $18\,000 (=3\,600 \times 5)$ 焦耳(J)。经常使用的能量单位还有很多,我们遇到时再进行说明。

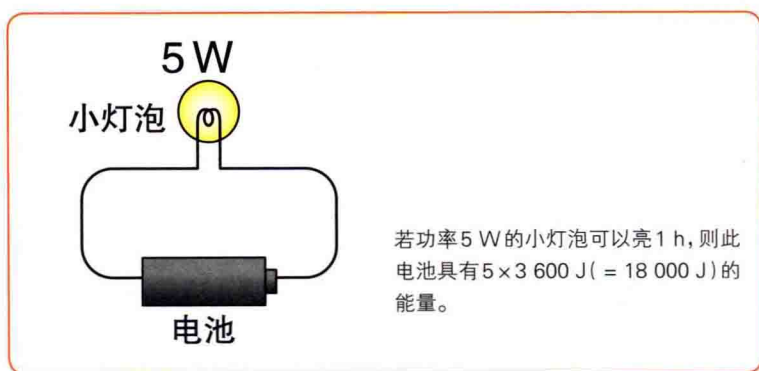


图1-2 功率和电池

关于能量,就像我们已经说过的那样,能量守恒这一基本定律是成立的。能量可以转换成各种类型,总量保持不变,然而经过反复转换,再变回原来种类的能量时,比最初的量会少一些,少掉的那部分转化成了其他种类的能量。此时,无法转化

成原来种类能量的转化后能量,其价值比原来种类能量的价值低。从这点可以看到,能量中存在价值,在每次转化时,价值总量会减少。该定律在物理学中被称作熵增定律。

我们在使用能量的时候,通过将高价值的能量转换成低价值的能量来获得功或者照明。即所谓能量(能源)不足或者能量(能源)危机意味着高价值能量逐渐减少。

图1-3为火力发电的能量转换例子。此例中,最初积蓄在燃料中的化学能通过在锅炉中的燃烧转换成热能,最终通过发电机转换成电能。电能比热能减少了,热能无法全部转换成电能,只能按照转换效率的比例进行转换,此时不能转换的热能变成更低温的热能,通过冷却冷凝器的冷冻剂,丢弃到外面。

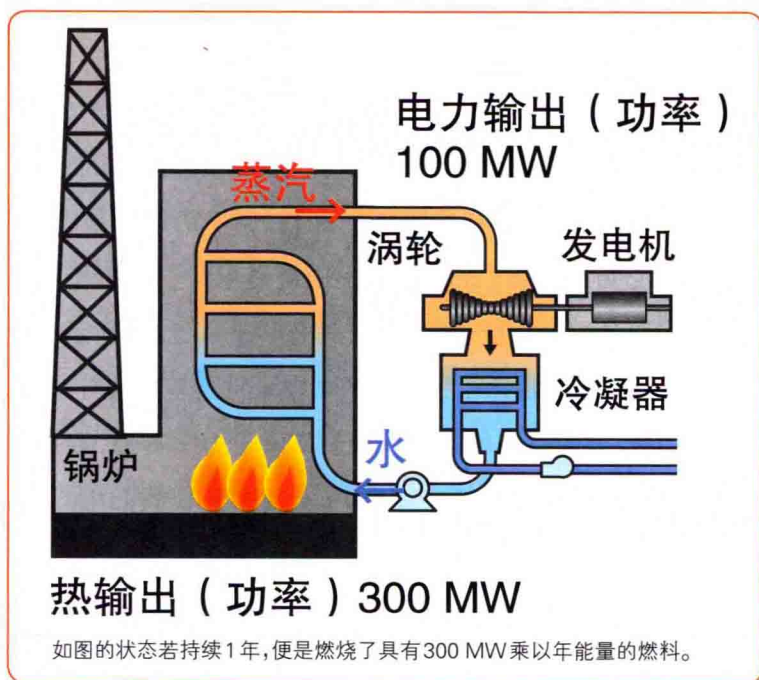


图1-3 能量转换

价值的高低一般同温度有关系,温度越高价值也越高。原子核中蕴含的核能的能量相当于100亿摄氏度高温,因此从这种意义上来说,核能是超高价值的能量。然而由于现实中还无法直接利用如此高温的能量,只能如同火力发电一样,将其转化成数百摄氏度的蒸汽热能,通过转动涡轮转化成机械能之后,再通过发动机的逆原理转化成电能进行利用。这是现在一般的利用方式。

在详细说明“何谓原子力(能)”的这一提问之前,让我来谈下蕴含超高温能量的原子核吧。



所谓原子核是什么呢?



地球上的物质是由原子组成的。原子结合成分子,分子进一步结合成各种各样的物质。首先,原子的结构如图2-1所示,中心为原子核,原子核周围围绕着电子。与电子的质量相比,原子核的质量非常重,因此会形成如图2-1所示的结构。与此相对,构成原子核的质子和中子质量基本相当,因此其中心不会出现特别的粒子。我们从量子力学得知,在原子这样小的场所里,电子的位置是不确定的,所以我们用图2-1表示。

图2-1中,原子和原子核的大小之比与实际相比是大不一样的。同原子的直径相比,原子核的直径为 10^{-5} ,即10万分之一的大小。也就是说,即使放大画一个直径1米大小的原子,原



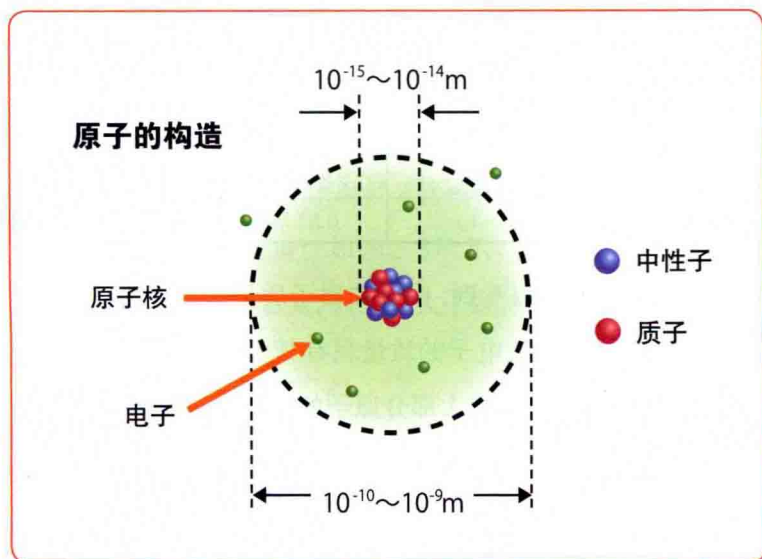


图 2-1 原子的结构

子核的直径也只能是1毫米的1%,无法画出一个让我们可以用肉眼识别的大小。

原子核由质子和中子构成,如同我们画的示意图那样,不过实际也同样不是我们所看到的样子。我们只是用这个来表示质子和中子是聚集在一起的。

中子、质子、电子的主要性质如表2-1所示,质子和电子刚好带有相同大小的正负电荷。通过库仑力,电子得以维系在原子核的周围。稳定的原子中,质子和电子数量相同,整体上呈中性。质量单位的MeV本来是能量的单位,正确的名称应该是兆电子伏,按照其发音我们读作MeV。在此我们使用了著名的爱因斯坦“质能等价定律”。关于能量单位,我们在之后的核反应相关内容中再进行详细说明。

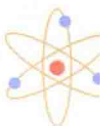


表 2-1 中子、质子、电子的主要性质

粒子	电荷	质量	半衰期
中子	0	939.57 MeV	10.6 min
质子	1	938.28 MeV	无限
电子	-1	0.51 MeV	无限

在这里我们可以看到,中子和质子质量基本相当,一同被称为核子,比起核子,电子的质量只有其2 000分之1。也就是说,原子核的质量占了绝大部分原子的质量。当详细观察质量后可得知,中子的质量比质子和电子的质量相加还多一点,因此从外部施加能量的情况下,中子也可以在不违反能量守恒定律的前提下自然而然地分解为质子和电子。

能量守恒定律对判断能否分解是极为重要的。我们为初次听到这一说法的人们制作了原理图,如图2-2所示,请试着思

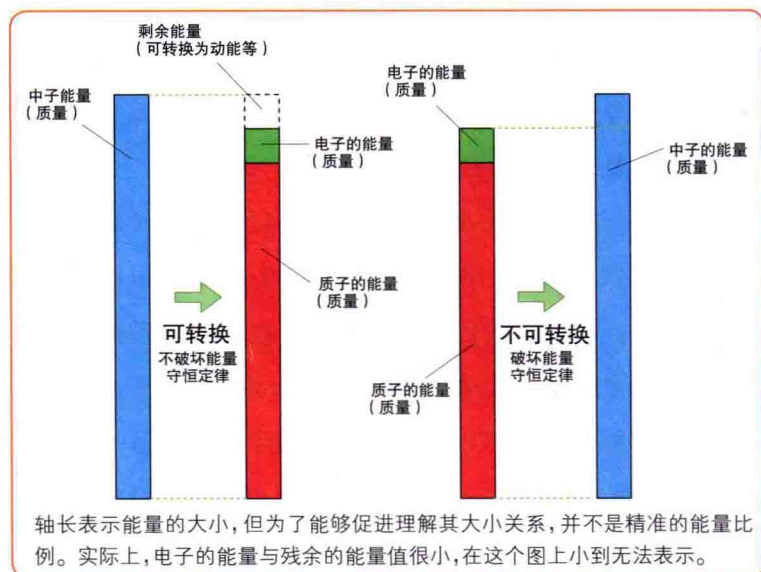


图 2-2 中子可以衰变成为质子和电子 (反应不可逆)

