
电子图书
信息技术的结晶
人类文明的载体
网络的基本资源

威力无穷的原子(下卷)

第一章 能源新葩——核电

一、时代的灾难

1965 年 11 月 9 日，在美国发生了一起重大的事故，它震撼了整个纽约及其附近的其他城市。西方报纸都在显著位置上刊载出题为《时代的灾难》、《世界的末日》等文章，广播电台和电视台也用大量时间报导事故详情。

究竟发生了什么事？原来，横跨美国和加拿大的一根次要的输电线发生了故障，致使其他一些并联输电线路断开。接着，故障像雪崩似的一个接一个发生，结果迫使总容量达 4500 万千瓦的发电站纷纷停止供电。几百公里范围内的电力网终于彻底瓦解。美国东部八个州和加拿大两个省的几千万居民失去了电力供应。

没有了电，便没有了光明，也没有了动力。

整个晚上，纽约市笼罩在一片黑暗和混乱之中。由于交通信号灯不亮了，车祸不断发生。交通因大街阻塞完全中断。公共汽车、无轨电车、小汽车排成了长龙。地下铁道中的列车也被“冻结”在黝黑的隧道中部。

断电还使通风和地下水抽吸系统停止了运行。

事故发生在交通“高峰”时刻，下班的人们被困在电梯里。因为空气不畅通，电梯变成了闷热窒息的密封罐。

一切电动机和电气设备都停止了运行。冷藏库因断电而失效。工厂工艺流程遭到破坏，铁水凝固，操作中断，甚至引起火灾。

有人却趁火打劫。而警察根本无法履行职责，因为通讯联络也已中断……几小时内，纽约和其他几个城市全部陷入瘫痪状态。人们落入了可怕的境地。直到次日，各发电站陆续恢复工作后，情况才开始好转。

这次事故，损失惨重。不少人受伤、致残，甚至死亡。有些人则因房屋被大火席卷而失去了栖身之地。保存在冷藏库中的几万吨食品开始变质，只好作为垃圾清理掉……

这次事故清楚地表明，一个现代化城市的生存和发展与电能的供应关系多么密切。

二、呼唤新能源

20 余年过去了，人们对电力的需求不仅丝毫不减，反而更加依赖它了。由于电能输送方便，电器使用简单，如今电已经深入到人类日常生活的每个角落。电饭煲、微波炉、电热灶代替了煤炉；电热水器、电淋浴器代替了开水壶。电视机、冰箱，空调器，以及各式各样的新型电器产品，不断改善着人们的生活。

然而，真正需要大量电能的不是各家各户，而是工农业生产。钢铁厂、水泥厂、化肥厂、有色金属冶炼、农业灌溉和排涝等，像鲸吸水一样消耗着大量的电能。各国政府都把能源开发作为发展经济的基础，将电力建设当作头等大事。发电厂的烟囱像雨后春笋般的矗立起来，煤炭、石油、天然气等大量一次性能源滔滔不绝地从地下采掘出来，以满足人类日益改善的物质和精神生活的需要。

现在，人类驾驭能量的规模已经相当庞大。由于大规模地使用能源，不

少地区开始出现能源危机。

随着物质文明的发展，人类对生态环境的破坏也达到了比较严重的程度。大量二氧化碳排入大气造成“温室效应”。地球在二氧化碳的覆盖下会吸收阳光的能量而逐年升温。当温度上升到使极地的冰山全部融化时，全球的海平面就会上升，淹掉大部分工业发达、商业繁荣的沿海城市。

“未来学”学派认为，如果人类社会继续按目前的势头发展，那么到下个世纪中叶，由于资源，尤其是能源的限制，人口和产品会转而急剧下降，而环境污染则急剧加重，文明社会随着开始凋谢……

为了避免这种真正的“时代的灾难”，我们只有两条出路：一条出路是非常节省地使用地球上剩下的能源资源，另一条出路是尽快地开发和利用能取而代之的强大的新能源。

三、美妙的设想

人类为寻找能源曾绞尽脑汁，留下过很多美妙设想。

地理学家们知道，每秒钟有 8.8 万立方米的海水从大大西洋经直布罗陀海峡流入地中海，然后在那儿蒸发掉。而流动的水只要有落差就可用来发电。因此早在本世纪初就有人建议，用水坝将直布罗陀海峡拦住，把地中海的水位人为地降低 200 米，这样建在直布罗陀海峡上的水电站就可以发出 1.2 亿千瓦的电力。

人们还想利用地球本身来发电。具有磁场的天体旋转时，由于电磁感应，会产生电动势。我们的地球每 24 小时旋转一圈。如果利用地球作为天然发电机的转子，南北极成为正的接线端，赤道成为负的接线端，则理论上可获得 10 万伏左右的电压。利用这种异乎寻常的发电机，就可以把地球巨大的转动能分出一部分来供人类使用。

还有过一个利用中微子能量的设想。中微子是天体核反应中产生的一种中性的基本粒子，它的质量几乎为零，但却具有能量。从太空落到大地上的中微子流，按功率计，不亚于太阳能。由于中微子与物质的相互作用很微弱，因此中微子流可以自由地穿过云层，来到地球上供我们使用。但它同时也能轻而易举地穿透整个地球，重新进入太空，使我们失之交臂。因此，要利用它，必须想办法在中微子经过我们身旁时把它留住……

这些方案理论上无懈可击，这些能量客观上也都存在，但最终都没能付诸实施。原因在哪儿呢？原来，我们人类在利用能量时，对能源的品质有一定的要求。如果不符合这些要求，使用起来就不那么得心应手，甚至会增添麻烦。

四、谁能不负众望

从现代化生产的角度来看，一种理想的能源至少要符合四点要求。

首先，它应当是源源不断的，是能量的“源”泉。这类能源有两种：使用掉以后还会在短期内重新产生出来的能源，如风能、水能等，称为可再生的能源。可再生能源要及时利用，否则也会白白流失掉。还有一种在短期内不能再生出来，用一点少一点的能源，如煤炭、石油等，称为不可再生的能源。不可再生能源是古代动植物的残骸，经过亿万年的演变而逐渐形成的化

石燃烧。因为它们的储存量较大，所以才能源源不断地开发出来供人类使用。

其次，能源应当是比较便宜的。也就是说当人们使用它时付出的代价是可以接受的。在古代社会里，利用能源的方式十分原始，要求也不高。人们用木柴来烧烤猎获的野兽，用动物的脂肪来照亮幽暗的洞穴，一起挤在冬天的阳光下取暖。利用这些自然形态的能源，在当时不需要花太高的代价。这些天然存在的、未经人类加工的能源，如阳光、木柴、煤块等，统称为一次能源。然而到了今天，社会大生产的精细分工对能量的使用提出了各种特殊的要求，因此必须对一次能源进行改造，将它们转变成二次能源。我们日常生活和生产中使用的电能、汽油、焦炭、煤气等都属于经过加工的二次能源。二次能源还包括氢气、火药、乙炔、甲醇等等能贮存和放出能量的化学物质。

除了加工外，还要对能源进行采集、运输、转化，并分配到各个使用能量的地方，这是一个庞大复杂的工程。一种能源是否能够在国民经济中得到发展，并站住脚根，归根到底，取决于建成这套工程所花的代价。

符合上面两点要求的能源品种很多，煤、石油、太阳能、风能、核能都可以用。然而，基于当前工农业生产用能的特点，如今对能源还有第三个要求：能源的能量密度必须很大。由于生产用能的规模有了巨大的发展，金属冶炼、机械制造、农业生产、交通运输等部门，每天消耗着几百万千瓦的电能，只有高度密集的能源，才能满足工农业突飞猛进的发展需求。

按照第三点要求，所有一般的能源都要退居一旁，而把冠军让给裂变的原子。在能量密集方面，其他能源都是无法和核能竞争的。按照原子裂变的原理建造的核电站，它的单套机组的最大功率目前已达到 150 万千瓦，足以满足一座现代化城市的用电需要。

除了要求能源具有上述三点品质以外，对能源还有更为重要的一点要求：它不会给生态环境带来有害的影响。

近年来由于不重视生态保护，人类活动已在全球规模上造成一些严重的后果。对热带雨林滥加采伐，破坏着大气中氧的平衡；非洲沙漠不断扩张，使它剩下的沃土有五分之二将变成不毛之地；亚洲将有三分之一，拉丁美洲将有五分之一的地方步其后尘。大型火电站排出的废热使很多大河的水温猛增，影响了水生生物的生长。水电站的建造影响着鱼类的回游繁殖。泄漏到空气中的氟利昂致冷剂正在破坏地球高空的臭氧层，使人类暴露在强烈的太阳辐射之中。污浊的大气威胁着人类的生存……

各种能源对生态环境造成的影响差别很大，一些常规的动力工程，如火电站、水电站等等，从生态学的角度来看是不够理想的，有的甚至就是污染环境的罪魁祸首。与它们形成鲜明对照，不断制造放射性物质的核动力，却是一种生态学上十分干净的新型能源。它在生态学上的优越性仅次于日趋匮乏的天然气。

根据以上四点要求对各种能源进行全面考查，现在越来越多的有识之士认识到，正是核能代表着动力事业发展的新方向，它能帮助我们克服种种危机，迎接文明社会面临的各种新挑战。

五、地球的收支帐

460 年以前，伟大的航海家麦哲伦和他勇敢的水手们历尽千辛万苦，用了 3 年多时间，完成了第一次环球航行。当人们张大嘴巴，睁着惊诧的眼睛，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

听他们介绍美丽的异国风光、富饶的沿海岛屿、热带丛林中的冒险经历、惊涛骇浪里的生死搏斗时，大家开始感觉到我们的地球是多么的巨大，在它里面蕴藏着的资源无穷无尽，足以让子孙万代生生世世地享用下去。

然而，今天，当宇航员坐上宇宙飞船，只用 1 小时左右的时间，就绕地球一周时，大家心目中的地球已经明显地缩小了。人们不由自主地开始考虑：我们的地球究竟有多少资源可继续慷慨地供我们挥霍使用？又需要多少能量才能保证人类社会继续繁荣昌盛呢？

在我们这颗行星上，现在生活着 50 亿男女老少。根据统计，我们每年消耗的能量约为 0.27Q（Q 是一个新的能量单位，1Q 相当于燃烧 360 亿吨标准煤所释放的能量）。这个数字还将随着人口的增长和生活质量的改善而继续增长。

据估计，100 年以后全世界的人口最终将稳定在 120 亿左右。那时，全球的能量需求将是多少个 Q 呢？

经过详细的分析，动力学家们认为，到了 2100 年，由于矿物资源日益减少，人们不得不转向开发品位较低的贫矿（品位是指矿物的含量），这样取得每吨原料所需的能耗将会显著地增加。为了养活众多的人口，人们将在土地上大量使用化学肥料以增加作物产量，还要大面积地实行人工灌溉，以开垦原来不适于耕作的荒地。这样一来，每吨粮食所需的能耗也将大幅度地提高。由于石油短缺，那时的交通工具得用新的燃烧（很可能是氢气）来代替。生产氢气要比开采地下的石油复杂得多。更令人头痛的是，这时地球上的淡水资源也不够了。很多地区得像现在的海湾国家那样，消耗大量的能量来淡化海水。

此外，还有一个不容忽视的情况。我们每年开采出来的煤、石油、天然气，以及各式各样的矿产多达数百亿吨。经过利用和加工，最后只有 1～2% 变成了制成品，其余都成为废物而进入了生物圈。为了防止我们美丽的地球变得污秽不堪，使人难以忍受，我们还要增加一大笔能量开支，用于对废物进行适当处理。

这样一算，到那时，要让 120 亿居民达到工业发达国家的现有水平，我们全球每年的能量需求大概为 7.2Q。

现在让我们回头来看一下地球的家底。我们可以把地球上不可再生的能源看作地球几亿年来的积蓄，把可再生的能源看作地球每年的收入。下面两张表告诉了我们地球的积蓄和收入状况。

我们已探明的不可再生能源的储量是十分有限的，总共只有 23.8Q。它已很难满足日益增长的能量需求。即使把地下埋藏的资源全部挖掘出来，总计也不超过 400Q，至多只能供人类节省地使用几百年。由于这些资源在其他工业领域（如化学工业）中也有重要用途，因此今天更必须综合平衡，节省使用。

可再生能源总计在一起，可得到一个相当可观的数字，约为 2Q/年。但实际使用中，除水能外，其他各种能源过于分散，经济上至今得不偿失，对解决大规模的能量需求起不了重大作用。

那些我们习惯使用的常规能源并不能满足子孙万代的需要。为了获得持久的能量供应，必须把立足点移到强大新能源的开发上来。现在最有希望的新能源有两个，即太阳能和核能。

六、取之不尽的能量宝库

太阳在 1 秒钟内辐射的能量大约为 3.8×1033 尔格，相当于“滴嗒”一声爆炸了 900 亿颗氢弹。由于不断放出能量它每天要“瘦”掉 4000 亿吨。这种热核反应已经进行了 500 亿年。根据恒星演化的理论推算，太阳正处在壮年时期，它至少还可以工作 80 亿年左右。在这以后，它将经历一个辉煌的红巨星阶段，然后渐渐熄灭，成为一颗冰冷密实的白矮星。

地球从太阳“截获”的能量只有它辐射能量的二十亿分之一。这个数量比世界各国所有电站生产的能量大 10 万倍。来自太阳的热能平均每年约为 5300Q。可惜的是，这笔巨大的财富地球没能照单全收，其中 30%几乎立即就反射回太空去了。

大规模利用太阳能，在技术上和经济上目前还没有重大突破。夏天阳光充足的南方地区有很丰富的太阳能，但需要供暖的却是阴冷北方的隆冬季节。这样一来，太阳能的供应和需求在时间上和空间上常常是错位的。要使太阳能成为全球性的能源，满足未来世界对能量的需求，必须建立一个能够远距离输送并长期贮存太阳能的动力系统。方案之一是大规模地建造太阳能电站。但是这种电站价格昂贵，技术复杂，需占用大量的土地。根据预测，建造同样功率的电站，太阳能电站所需的钢材为煤电站的 12 倍，为核电站的 17 倍，所用的水泥则为各种电站的 60～100 倍。

按照专家们的估计，大约还需要 50 年左右的时间，太阳能才能可能在全球范围内被大规模地使用。从目前能源供应的紧张状况来看，太阳能发展的脚步，已慢了几拍，它不能填补最近几十年内即将出现的能源缺口。

现在，科学家们已经普遍承认，无论从近期或远期来看，最为现实的出路是利用核能，因为它的部分技术已经成熟，而且前途无量。核能源与其他能源不同，它不是地球的一种积蓄，也不是它的一种收入。核能的燃料——铀、钍、氘、锂，在开天辟地时就存在于地球的大气圈、水圈和岩石圈内。虽然它们也是一种不可再生的能源，然而其数量是如此丰富，实际上构成了人类取之不尽、用之不竭的能量宝库。

七、小巫见大巫

科学家们为了开发这个宝库，已经创造性地工作了近一个世纪。为了把禁锢在原子核内的能量释放出来，要利用一种称作核反应堆的设备，在那里有控制地进行重原子核的裂变反应或轻原子核的聚变反应，使核能一点一点地转化为热能。再利用这些热能烧出蒸汽，推动汽轮发电机发电。这样的工厂就是核电站。

还有一种鼎鼎大名的释放核能的装置，那就是原子弹和氢弹。在那里发生的是不受控制的裂变反应和聚变反应，就是让原子核内的能量一下子释放出来，这实质上是一次威力极大的爆炸过程。

受控的核反应与不受控的核反应之间有重大区别，我们以后还要仔细地加以说明，大家千万不要将它们混为一谈。

目前世界上所有核电站，都是按裂变反应的原理工作的，所用的主要核燃料是一种重元素——铀。铀在门捷列夫元素周期表上排在第 92 位。这种银白色的重金属，拿在手里沉甸甸的，比铅还要重 65%。尽管在日常生活中我

们很少遇到它，但实际上它以各种化合物的形式，广泛地分布在自然界中。在地壳的岩石圈内，每吨土壤平均含铀 1 克左右。在海水中铀占十亿之二。把非常分散的铀收集到一起，要花很大的力气。只有当矿石中的铀含量超过千分之一时，人们才乐意进行开采。

原子物理学家对铀进行了仔细的研究，发现天然开采的金属铀中，有 0.7%的金属铀原子量为 235，其余 99.3%的金属铀原子量为 238。由于铀—235 和铀—238 都放在元素周期表的同一个位置上（第 92 位），因此被称作同位素。它们在化学性质上毫无区别，但核物理的性能却大不一样。在一般的反应堆（热中子反应堆）内，只有铀—235 能发生裂变反应，铀—238 则不能。铀—238 必须在一种更先进的反应堆（快中子反应堆）内转化成人造元素钚—239 以后，才能发生裂变。除了钚—239 以外，可裂变的人造元素还有铀—233，它是由钍转化来的。钍在自然界中只有一种同位素钍—232。铀—238 和钍—232 经过转换，都可以成为核燃料。

可裂变的重原子核内蕴藏的能量十分巨大。1 千克铀—235 全部裂变时放出的能量相当于 2700 吨标准煤。这些煤足以装满整整一列火车车厢。

释放核能的另一条途径是轻原子核的聚变反应，它是宇宙中经常发生的一种能量转换过程（如太阳中发生的过程）。但在地球上，人类至今还不能对这一反应进行有效的控制。可控的聚变反应有待突破。目前最接近成功的是氘（音“刀”，用字母 D 表示）核和氚（音“川”，用字母 T 表示）核的聚变反应。氘和氚都是氢的同位素，它们的化学行为和氢完全一样，因此它们也可写成氢—2 和氢—3。氚在自然界中几乎是不存在的。聚变反应所需的氚由锂转化而成。在聚变反应中，锂的作用与裂变反应中的铀—238 和钍—232 相似。

轻核发生聚变时放出的能量相当于同等重量的铀裂变时所放出的能量的 4～5 倍，因此聚变反应具有更大的威力。

氘在自然界以氘水的形式存在，这种水又叫重水。从一浴缸的海水中可提取出一茶匙的重水，当这些重水中的氘全部聚合后，释放出来的能量相当于燃烧两浴缸汽油。根据计算，在全世界烟波浩渺的海水中，氘的总蕴藏量高达 3.8×10^{9}Q，它实际上为核能的生产提供了雄厚的物质基础。

地球的积累和收入与它天赋的能量相比，那时我们今天所奢望的 7.2Q/年的能量消耗水平，该是一个多么寒酸的数字！

八、珠联璧合的地方

在与浩瀚东海相通的杭州湾北岸，有一座滨海的小县城——浙江省海盐县。根据《汉书》记载，那里曾观测到“五星如联珠，日月如合璧”的美妙天象。从字面上看，“五星联珠”是指五颗星排在一条直线上，“日月合璧”是说太阳和月亮叠在一起，冉冉升起。古人把天象中的“珠联璧合”附会为国家祥瑞之兆，把能看到这种吉象的地方视为神佑之邦。因此，从晋代起，就有人在那里屯兵积粮，认为在那里扎下大营，会受到神灵的保护。直到现在，每年农历十月的朔日，还有很多人爬上海盐县附近的山顶，去观看这一著名的景色。

80 年代初，一批核动力专家来到海盐县，登上东南角一条不太显眼的山岗——秦山。他们也是来观赏奇景的吗？不！他们忙的是另外一件事。他们

攀登上这布满荆棘的山丘，为的是确定我国第一座核电站的厂址。

经过多年的努力，1991 年 12 月 15 日，秦山核电厂第一次把原子能转化为电力，并将它源源不断地送入我国的华东电网。那天晚上你一定开亮过电灯，可你有没有想到过，从那时开始，照耀着你的已有来自原子核内部的光辉？

为什么要选择海盐秦山来建造核电站呢？这块谷地究竟有什么魅力能赢得核动力专家的青睐呢？充满求实精神的科技人员当然不相信奇异的天象，他们选择秦山谷地作为我国大陆核电站第一厂址，是因为秦山在地质、地貌、水文、交通，以及环境保护等方面具有优越的条件，符合核电站对厂址的各种严格要求。

九、得天独厚

秦山核电厂三面环山，一面濒海。圆柱形的高大建筑物，是安放核反应堆的主厂房，又叫安全壳。它是一个非常坚固的钢筋混凝土圆筒，壁厚在 1 米以上，由成千上万吨钢铁和水泥浇灌而成。因此，这个厂房要求地基能承受每平方米 60 吨的重量，并且在核电厂的整个寿期内不能产生差异沉降。秦山谷地恰好具有这样的条件。对山体进行适当开挖后，整个厂房直接座落在基岩上。这里地质构造稳定，地震烈度很低，可保护主厂房稳如磐石。

安全壳近旁的长方形建筑物是汽轮发电机厂房，里面的设备和普通火电厂相似，但尺寸要大得多。

从主厂房往前看有一片平地，上面整齐地排列着许多小车间，它们是为主厂房服务的。这片平地原先是经常被海水淹没的滩涂。经过设计人员的精心安排，用开挖山体得到的土石方修筑了一条海堤，才从海水中夺得了这一片土地。

厂区周围高低参差的重峦叠嶂，恰好成为厂区和居民村之间一道完美的天然屏障，把含有大量放射性物质的反应堆及外面的厂房包在山峦之中，并面向辽阔的海面，大大地增加了当地居民的安全感。

还有一些看不见的地下和水下设施，秦山谷地也为这些设施提供了十分便利的条件。例如，核电厂运行时需要大量的冷却水，多达每小时 7 万立方米。这些水是经由一个穿山的涵洞，从海平面下的一个取水口中汲取的。那里基岩裸露，岸坡陡峭，水道深而稳定，可以汲取到深层的低温海水。核电厂所需的淡水则是由附近的长山河供给的。那里新建了一个自来水厂，生产的淡水足以满足生产和生活的需要。

核电厂运行中产生的放射性废物（包括废水），都贮存在厂区的地下建筑物内。这些建筑物能有效地防止放射性物质泄漏到环境中去。

大家还可以看到，这里没有常规电厂里必不可少的铁路专用线。对核电厂来说，装入反应堆的核燃料可以烧整整三年，而一炉燃料总共只用 40 吨二氧化铀，因此就没有必要建造铁路线。建厂期间所需的设备、器材，是通过公路或水路运送来的。附近的沪杭公路和金山卫码头，都为核电厂大型设备的运输和装卸立下过汗马功劳。

当然，我国大陆第一座核电站建在浙江省海盐县，不仅仅是由于这些技术上的原因。如果我们把视野再放宽一些，把视角再提高一些，从我国能源供求的全局观点来考虑，就会明白，选择这个厂址建造核电站，还有更为实

需要全本请访问 www.ertongbook.com

际的经济背景和深远的战略意义。

从全局来看，我国和面临能源饥荒的某些发达国家不同。我国是一个能量资源比较丰富、能量消费比较节制的国家。

我国已探明的煤炭储量有 7200 亿吨，按照目前的开采量，可供全国人民使用 1000 年。除煤炭外，我国还有丰富的石油和天然气，石油产量排在世界第六位，天然气产量排在第十三位。我国水力资源也十分丰富，蕴藏量达 5.38 亿千瓦，居世界首位。如果能开发其中的一半，也有 3 亿千瓦左右，相当于我国全部电站设备总容量的 4 倍。

然而，我国能源的分布情况却不理想。适于开采的煤炭资源，大部分集中在北方，所以一直得“ 北煤南运 ”。水力资源大多集中在西南地区，那儿地质条件复杂，交通闭塞，即使把水力资源开发出来，也得“ 西电东调 ”，解决电能的远距离输送问题。而迫切需要能源的沿海地区，却无法自给。

华东地区科学技术发达，资金、劳力密集，历来是我国工农业生产的重要基地。根据预测，到 2000 年，这个地区的用煤量约为 1.1 亿吨，而区内生产的煤炭只到这个数字的 40%，其余都要通过铁路从山西省运来。目前华东地区每年要输入发电用煤约　1000 万吨，这已使铁路运输处于十分紧张的超载状态。因此，由于运输上困难重重，依靠输入煤炭来发展电力，有可能使电力供应的缺口越来越大。只有同时开发其他能源，尤其是核电，才能扭转这一颓势。

在华东电网的端点——浙江省海盐县，建造第一座核电站，为华东地区能源结构的改造迈出了决定性的第一步。现在，国家正在秦山开始第二期核电工程建设。

第二章 探索核能的脚步

一、“ 布丁中的葡萄干 ”

为了深入了解先进的核能技术的工作原理，让我们先去微观世界遨游一次，认识一下那巨大的能量究竟藏在原子核内的什么地方，科学家们又是如何找到开启这座能库的钥匙的。现在，让我们退回到 100 年前……

19 世纪末　20 世纪初，科学幻想创作空前繁荣。当时的科幻著作中，几乎可以找到人类的各种梦想：巨大的宫殿式的水下船舶能以前所未有的速度在五大洋中游弋，笔直地穿过极地几千千米的冰壳；结构极为奇特的飞行器，能把人们从一块大陆带到另一块大陆，甚至环绕地球整整一圈；威力无比的大炮把人射上了月球；火箭把勇敢的探索者送上了另外一些星球世界；有一种设备，能够让人不用导线而进行远距离的谈话，同时还能看到自己的交谈者；一些特殊的药片，能在极短的时间内，将一些无害的兔子变成一群可怕的巨兽；藏在火柴盒内的一种神秘的化学物质，足够供一艘军舰开动好几年……

当年所幻想的事物，相当一部分已变成了今天的现实。当时为实现这些梦想，科学家们耐心细致地做了大量实验，历尽坎坷，终于取得了辉煌的成果。

在这普遍高涨的科学潮流的推动下，曾经有三个重大发现，奠定了原子时代的起点。这就是：

1.贝克勒尔于 1896 年发现了放射性；

2.查德威克于 1932 年发现了中子；

3.哈恩和斯特拉斯曼于　1938 年发现了铀核的人工裂变。

这些发现大大改变了人们对物质构造的认识。19 世纪后叶，科学家们确信，自然界中千变万化的一切物质，都是由为数不多的基本元素以不同方式组合而成的。这些元素从最轻的元素氢开始，到最重的元素铀为止。有少数元素当时还没有找到，俄国化学家门捷列夫已预见到它们的存在，并英明地在他自己发明的周期表中为它们留出了空位。

人们原先认为，任何一种元素，原子是最小的、不能再分割的微小颗粒，小得难以想象。即使本身小到几乎看不见的微尘，也是由几亿颗原子组成的。由一种或几种原子组成的复杂物质的最小颗粒则叫做分子。分子虽然同样微小，却保存着这种物质的全部特性。分子经分解，可回复为组成它的各种原子。这时，原来物质的特性也随着消失。任何化学变化，都只能把复杂物质分解为纯粹的化学元素，或将各种元素组成新的复杂物质，却没法创造出新元素。

中世纪的炼金术士，曾想把水银或铅转变为黄金，根据上面的结论，这种愿望是永远不会实现的。

后来，对电的研究有了新进展。英国物理学家汤姆逊设计了一个真空管通电试验，发现阴极射线在磁场作用下会发生偏转，由此证明电并不是像原先认为的那样，是一种流动的液体，而是由一些极小的带负电的颗粒——电子构成的。他很快地测定了电子的质量，发现它的质量只有最轻的氢原子的 1/1836。多次试验表明，电子具有当时已知的最小电荷量 e^{-1}，它大约等于 $4.8\times10^{-1}0$ 静电单位。

电子的存在使人们开始意识到，原子不是物质最终的、不可再分割的单元。而电子肯定是原子的组成部分，已有好几种方法可从原子中取得电子。例如，用紫外线照射金属时，从金属中跑出来的带负电的粒子，同汤姆逊测定的电子具有完全相同的性质。

学者们认为，原子就像一个实心的圆球，均匀地布满了正电，而负的电子就镶嵌在充满正电的圆球之中，有点像“布丁中的葡萄干”。原子中电子所带负电荷的总数，永远等于整个球中正电荷的数值。只有当原子失去一个或几个电子以后，它才变成带正电的“原子”——正离子。这就是 1898 年提出的原子结构模型。然而，没有人能够解答，原子中带正电的那部分物质究竟是什么？原子中是否还存在着像负电子那样的正电颗粒？

二、暗斑图像的秘密

19 世纪末，德国物理学家伦琴在研究阴极射线时，发现了一种看不见的射线，它能穿过不透明的物质，使某些晶体发出荧光，或使照相底片感光。对当时的人们来说，这是十分奇妙的。伦琴自己也无法解释这一光线的本质，因此把它叫做 X 射线。

法国物理学家亨利·贝克勒尔听到了关于伦琴发现 X 射线的消息，也想研究这些奇妙辐射的起源问题。他想起有一些物质在普通光线照射下会发出荧光，就很想知道这些物质是否也同时在发射肉眼看不见的 X 射线。

他决定用在太阳光会发出最强烈荧光的硫酸铀酷钾的晶体来进行这个试

验。他把未感光的照相底片用黑纸包起来，然后在纸包上面撒一些晶体，放在窗外的阳光下。太阳的紫外线使这些晶体发出了荧光。几小时后，贝克勒尔把纸包取回，将照相底片显影。按他的推断，如果晶体在太阳照射下发出 X 射线，那末 X 射线应能穿透黑纸而使底片感光。如果没有 X 射线，那末黑纸挡住了所有的可见光，底片就应保持不曝光状态。试验取得了很大的成功，他在底片上放置晶体物质的地方，果然看到了灰色的暗斑！

1896 年 2 月 24 日，他向科学界宣布他发现了由光线引起的类似 X 射线的射线。

可是几天以后贝克勒尔发现，他搞错了。

当时，由于天气阴沉，没有阳光，他把准备好的铀晶体和底片收到抽屉里，一连等了好几天，天气仍未放晴，他就用这些底片作了别的用途。当他将底片显影以后，出乎意料地发现，底片上居然也有这些铀晶体的暗斑图像，而且更深更黑。这就证明了，在没有光线的地方，晶体也在发出自己的射线。

贝克勒尔一次次用不同类型的荧光物质进行实验，结果证明他试验过的每一种物质，只要含有铀，都会放出这种射线。看来铀是关键的物质。要使铀发出穿透性的射线，既不需要可见光，也不需要紫外线。他终于用纯铀作了一次试验，发现这次射线比以往任何一次都更为强烈。

铀的放射性现象的发现，带来了原子内部的第一个信息，成为 20 世纪的新物理学的起点。贝克勒尔的成就吸引了全世界学者的注意力，也包括当时就在他的实验室中工作的杰出的波兰女科学家玛丽·斯克洛道芙斯卡娅。她就是后来蜚声学术界的居里夫人。

居里夫人研究了贝克勒尔所发现的、在铀射线作用下空气会改变自己导电能力的现象后，想搞清楚是否还会有另外一些物质也能使空气具有导电能力……结果发现，氧化钍的放射性甚至超过金属铀的放射性。

后来，居里夫妇两人进行了艰巨的努力，把沥青铀矿中的放射性物质分离了出来。他们发现，这种由氧化铀中分离出来的物质含有未知的、性质近似于铋的金属，居里夫妇称它为钋。

接着，居里夫妇又发现了一种极为强烈的放射性物质，其化学性质与钋有明显的区别。他们称它为“ 镭 ”。

以后，其他科学家又发现了一些放射性物质。人们开始明白，放射性在自然界中的分布，要比科学家们过去所设想的广泛得多。它是某些物质固有的一种属性。

物理学家们通过试验很快了解到，放射性物质放出好几种射线。一种是带正电的粒子流，称为 α 射线。它的质量大约是氢原子的 4 倍，实质上就是氦原子。第二种是带负电的粒子流，称为 β 射线，实质上就是运动得很快的电子。第三种是穿透性很强的类似于 X 射线的 r 射线，这是一种频率极高的电磁波。

放射性元素在放出射线的同时，本身也发生“ 衰变 ”而成为另一种元素。例如镭放出 α 粒子和 r 射线后变成氡。氡是一种放射性气体，它还会放出 α 粒子而继续衰变。

放射性的发现至少说明两个问题：第一，原子不是不可分割的，否则就不可能从其内部放出粒子或射线来。第二，原子内部一定含有很大的能量，否则这些粒子和射线就不可能具有如此高的运动速度或动能。

根据测定，1 克镭每小时放出的能量达 136 卡。如果把它放在一杯 0℃的

冰水中，大约 6 昼夜就可将水加热到沸点。1 克镭全部衰变后放出的热量为 28 万千卡，这大约相当于 375 千克优质煤。可以想象，当人们意识到在不到半节手指头那么大的一块物质中，藏有如此巨大的能量时，该是多么地受鼓舞啊！

物理学家们更加忙碌起来了。他们希望把这些能量的释放过程置于自己的控制之下。可惜的是，无论他们用什么办法，提高温度也好，改变压力也好，都不能改变这些核素释放能量的速度，它们不紧不慢地按照自己固有的速度进行衰变。

三、炮弹换来金钥匙

尽管人们对放射性现象的本质的认识还很模糊，但不少学者已经想到，可以利用这些高速运动的粒子作为武器，来研究原子的内部结构。

英国物理学家卢瑟福用 α 粒子作为炮弹轰击原子核，期望用它来揭开原子内部的秘密。其中有一部分试验是这样进行的：在窄束的 α 粒子的前进方向上放上一张金属薄片。根据汤姆逊模型，如果原子是一个实心的小球，那末 α 粒子通过金属箔时，即使不能把金属原子轰开，也会与它们发生千万次碰撞而改变自己的路线，从金属箔后飞出来的粒子应具有各种不同的方向。

然而试验的结果却完全不是这样。以每秒 2 万千米高速前进的 α 粒子，除了少数发生角度的偏转和反弹以外，大部分毫无阻碍地穿过金属箔，几乎不改变自己的直线前进方向。

这个试验说明原子不是实心的球体，更不是“带葡萄干的布丁”。原子的大部分是“空”的。它的全部正电荷和质量都集中在一个很小的体积内，其断面大约只有整个原子断面的十万分之一。正因为这样，原子允许 α 粒子通行无阻，只有当 α 粒子恰好碰到原子核时才发生偏转或反弹。

如果把原子比作地球，那末电子就只有在地球表面上滚动的“足球”那么大，而带正电的原子核，相当于地球中心的一个直径为一二百米的“核”。对原子来说，除了滚动的“足球”和密实的“核”以外，其他地方都是空的。各个原子的“核”本来应挨在一起，由于电荷之间存在斥力，才使它们之间保持着很大的距离。如果把原子核紧挨着排列起来，则 1 立方厘米纯粹的核物质，其重量将达到 11400 万吨！

卢瑟福据此提出了一个新的原子结构的模型——质子—电子模型。他认为原子类似于一个缩小了的太阳系，中间是质子组成的核心，外围是一群绕核旋转的电子。质子带有一个正电荷，质量为电子的 1836 倍，因此原子核几乎集中了原子的全部质量。然而，这个模型有一个明显的漏洞，因为除了氢原子核为带一个正电荷的质子以外，其他所有元素核内的电荷数，并不等于核内的质子数。例如氦原子核带 2 个单位正电荷，但质量却相当于 4 个质子。如果它是由 4 个质子组成的，那末其中有 2 个质子的正电荷到哪里去了呢？

在研究放射性现象时，学者们曾认为原子核内除了质子以外，还有电子，它们可以中和那些多余的质子电荷。β 衰变过程就是一个例证，在 β 衰变时，从放射性元素的核内飞出了真正的电子。

然而奥地利物理学家泡利通过实验证明，电子是不可能在核内独立存在的。这样，学者们只好假定，核内还存在另外一些粒子，其质量与质子相同，但没有电荷。1920 年，三个物理学家在三个不同的国家提出了这个想法。他

们是英国的卢瑟福、澳大利亚的马森和美国的哈金斯。哈金斯甚至为这种尚未发现的粒子起了一个名字，他把它叫做中子。但是，此后 10 多年间，这个设想一直没有得到证实。

1930 年，德国物理学家博特和他的合作者贝克尔，用α粒子轰击轻金属铍，预期用α粒子能从铍原子核中打出质子来。可是没有出现质子，却发觉有另一种辐射。这种辐射贯穿力极强，甚至能穿透几厘米厚的铅板。根据当时的认识，由靶物产生的各种形式的辐射中，唯一能贯穿厚铅层的只有 r 射线。所以博特和贝克尔断定，他们得到了 r 射线。

1932 年，居里夫妇重复了博特和贝克尔的实验，得到了相同的结果。不过，他们在辐射的路径上还放上了石蜡作试验。石蜡是由碳和氢两种轻原子构成的。他们惊奇地发现，新的辐射从石蜡中打出了质子。从来也没有发现过 r 射线具有这样的性质，但他们又想不出这种辐射还能是别的什么，因此，就以为发现了 r 射线的一种新功能。太可惜了，他们已经站在了发现中了的门槛上，却又退了回去，没能进入这一新的科学殿堂。

英国物理学家詹姆斯·查德威克了解这些情况后指出，r 射线没有质量，因此不可能具有将质子从原子里击出的能量。而电子太轻，也不可能做到这一点。因此，这一定是一些本身就相当重的粒子，可能是中性粒子。但如何确定它的质量，证明它是中性粒子呢？

由于当时发明的质谱仪等仪器无法测定中性粒子的质量。查德威克想到了利用弹性碰撞的理论，即用相同速率的中性粒子，分别去轰击含氢物质和含氮物质，根据被击出的氢核和氮核的速率，可以求得入射粒子的质量。结果测得这种粒子的质量与氢核的质量几乎一样。这就证明了的确存在着一种质量与质子相等的中性粒子。根据哈金斯当年的建议，查德威克把这个新发现的粒子命名为中子。这一年是 1932 年。由于发现中子，查德威克荣获了 1935 年的诺贝尔物理奖。这也是他探索了 12 年获得的成果。

中子的发现在当时的物理学界引起很大的反响，但丝毫没有受到社会的注意。只是 13 年后，在日本广岛上空爆炸了第一颗原子弹时，人们才理解到，发现中子意味着什么——中子是开启核能宝库的一把金钥匙。

四、炼金术梦想成真

根据查德威克的发现，伊凡宁柯和海森堡为原子核提出了一个新的“质子—中子”模型：原子核是由质子和中子组成的。如果一个原子核包含 x 个质子和 y 个中子，那么它的原子序数就等于 x，而它的质量数（即核的原子量）就等于 x＋y。

例如氢原子核里有一个质子，它的原子序数是 1，原子量也是 1，可写成$_{1}^{1}\mathrm{H}$。氦原子核里有2个质子和2个中子，它的原子序数是2，原子量则是4，可写成$\mathrm{H}_{2}^{4}\mathrm{He}$。当时周期表中的最后一个元素是铀。它的原子核里有92个质子和146个中子。它的原子序数是92，而原子量则为238，故可写成$_{92}^{238}\mathrm{U}$。按照质子一中子模型，任何元素的原子量都应接近一个整数。相对于原子，核外电子的质量很小，可忽略不计。

然而，化学家们早已从实验中了解到，绝大多数元素的原子量都是带有小数值的。例如已经测定氯的原子量为 35.5，这个“0.5”是怎么回事呢？

要知道原子核里是不会有半个质子或半个中子的。

事情原来是这样的。天然氯中含有两种氯元素：一种氯元素原子量是35，核内有 17 个质子和 18 个中子；另一种氯元素原子量是 37，核内有 17 个质子和 20 个中子。这两种氯元素具有相同的质子量，其外层具有相同数量的电子，因此在化学性质上几乎没有任何区别。由于原子序数相同，它们在门捷列夫周期表内被安排在同一个小格内。这些原子量不同，在周期表内占有同一位置的核素，人们称它们为同位素。氯的两种同位素就是$^{37}_{17}Cl$和$^{35}_{17}Cl$。

同位素在元素中所占的百分数称为该同位素的丰度。天然元素中各同位素的丰度是相当稳定的。天然氯元素中，$^{3}5_{1}7Cl$的丰度为75%，$^{37}_{17}Cl$的丰度为 25%。它总是以这个比例参加各种化学反应。因此，它的化学原子量就等于 35.5。

利用质子—中子模型还可以很方便地解释各种核素的放射性衰变现象。例如铀—238 衰变时会放出一个α粒子（即氦核），这就相当于失去两个质子和两个中子。于是它的原子序数要减2，它的质子数要减4。铀—238（$^{238}_{92}U$就变成了钍—234（$^{234}_{90}Th$）。

除此以外，我们还知道，有相当多的放射性核素是进行β衰变的。放出一个β粒子就相当于放出一个电子。然而物理学家泡利证明过，电子在核内是不可能单独存在的。那末这究竟是怎么一回事呢？这里我们可以把中子看成是质子和电子的复合体。当放射性核进行β衰变时，核内有一个中子分解，放出一个电子而留下一个解脱了的质子。例如钍—234 原子核里有 90 个质子和 144 个中子。放出β粒子后，中子减少一个，质子增加一个，于是钍—234（$^{234}_{91}Th$）就变成了钋—234（$^{234}_{91}Po$），后者含有91个质子和143个中子。

核素的放射性衰变是自发进的。它需要多长时间进行衰变，衰变成什么元素，都是不受人的意志控制的。使物质中的放射性核素衰变掉一半所需的时间称为“半衰期”。各种核素都有各自固定的半衰期，从若干分之一秒到成千上万年，不受外界一般条件的影响。稳定核素的半衰期就是无穷大。科学家们认识到，要改变这种局面，必须依靠“核”反应。这种反应发生在原子核内，而不是像化学反应那样，只是发生在原子核外的电子壳层之间。

当用各种粒子与原子核进行碰撞时，粒子有时会被核吸收，有时会从核内击出另一些粒子来，通过这种核反应可以人工地制造出新核素。这种核反应也可用质子—中子模型来解释。

第一个人为地使原子核发生变化的先驱者，是英国物理学家卢瑟福。他在 1919 年用α粒子去轰击氮—14，结果氮—14 放出一个质子而变成了氧—17，首次实现了中世纪炼金术士的梦想：在人的意志下，使一种元素变成另一种元素。物理学家利用各种粒子对不同的元素进行轰击，诱发核反应，结果生产出了 1000 多种在自然界里并不存在的原子核。

现在看来，要用其他物质炼出黄金并不是不可能实现的愿望。关键是要“凑”到适当的质子数和中子数。当原子核中的质子数为 79 时，我们就可得到黄金的各种同位素。它们中有的是带放射性的。只有当核内的中子数为 118 时，才能得到稳定的、与天然开采的黄金完全一样的金原子（$^{197}_{79}Au$）。

炼金术士的愿望是将其他物质转变为黄金，而物理学家感兴趣的，是原子核内蕴藏着的巨大能量。

卢瑟福用各种粒子“大炮”对原子轰击了 14 年，试图揭开了原子核内部能量之谜，当没有取得什么进展时，他曾惋惜地宣称，人类可能永远无法使原子能在经济上获得巨大效益。然而，他的结论下得早了一点。中子的发现使事情出现了转机。

五、从混乱的顶峰上下来

查德威克发现中子，给物理学家添置了一种研究原子核的新武器。由于中子没有电荷，不会受到电场的排斥或吸引，因此它能平静地穿过原子的电子壳层，接近任何一个带正电的原子核，从而增加引起核反应的机会。费米最早开始用中子作为炮弹，去轰击各种元素，结果成功地制造出很多种人工的放射性核素，并且发现，其中许多核素都是进行 β 衰变的。

地球上存在的最重的天然元素是铀。费米想，如果用中子去轰击铀核，铀吸收一个中子后发生 β 衰变的话，将会出现什么结果呢？原子核吸收一个中子又放出一个 β 粒子（即电子），相当于核内增加了一个质子。也就是说，由第 92 号元素铀变成了第 93 号“超铀元素”。这个“超铀元素”应该是一种放射性元素。否则，人们早已在地球上稳定元素的行列中找到它了。

费米的实验获得了成功。铀经中子轰击后，产生了前所未见的新的放射性。这种放射性由成分相当复杂的 β 射线所组成。这是否就是“超铀元素”的特征呢？

德国科学家哈恩和梅特涅对“超铀元素”进行了详细研究，又细致地分析了各种 β 衰变的半衰期，发现“超铀元素”有好多种。

在法国，伊伦娜（居里夫人的女儿）和她的丈夫也在进行中子轰击铀的实验。他们发现在“超铀元素”中有一种半衰期为 3.5 小时的放射性物质。可以用化学方法将它与锕分离，但无法将它与镧分离。因此这种放射性物质与其说是锕的同位素，到不如说是镧的同位素。

后来，哈恩和斯特拉斯曼又做了进一步研究，在经中子轰击过的铀中，不仅找到了镧的类似物，同时还找到了钡的类似物。这时，在经中子轰击过的铀中，发现的放射性物质的总数已达 16 种之多，而“越铀元素”的混乱程度也达到了它的顶峰。

物理学家梅特涅和弗里施据此得出结论：铀原子核在中子作用下发生了分裂。铀核俘获一个中子时，就取得了额外的能量。它会像冲击波似的使铀核发生振荡。有时候铀核振荡以后又能恢复原状，将这个中子收容下来，随后发射 β 粒子放出多余的能量，而成为超铀元素。但有的时候，铀核会因振荡而伸长，逐渐变成哑铃状。这时，短距离内起作用的核力已无法把它拉回原来的形状。由于正电荷之间产生强烈的排斥作用，铀核就分裂成了两半。其电荷和质量大致相等地分给了这两个碎片。两个碎片带着巨大的动能向相反的方向飞去。铀核裂变的碎片是多种多样的。哈恩和斯特拉斯曼所观测到的钡和镧，就是铀的碎片。

物理学家们很快测定到了铀核裂变时所放出的能量，它大约相当于 200 兆电子伏，其中 80%以上转化成了裂变碎片动能，其分配情况如表 4 所示。这里 1 电子伏的能量是指 1 个电子在 1 伏的电场内加速时所获得的能量。1

兆电子伏=1.6021×10^{-6}尔格。

在直径不到10^{-12}厘米的原子核内部包含着如此惊人的能量，对物理学家来说，既是意料之外，又属情理之中。德国出身的伟大科学家爱因斯坦，早在1905年就为这种能量释放现象提供了坚实的理论基础。他根据自己的“狭义相对论”断言，可以把质量看作是能量的一种存在形式，而且是一种非常密集的存在形式。质量和能量可以互相转化。为了定量地描述两者的关系，他天才地提出了著名的质能转换关系式：

$E=mc^2$

式中E代表能量，单位尔格；m代表质量，单位克；c代表光速，单位厘米每秒。根据这个公式立即可以算出，1克质量就相当于9×10^{20}尔格的能量。

这个关系式在一般的能量释放过程中是很难检验的。例如当一个碳原子与氧化合成二氧化碳时，放出的能量只有4.1电子伏。它所引起的质量变化是微乎其微的，根本不可能进行测定。然而铀核裂变时释放的能量却有200兆电子伏，显然有可以感知的质量变化伴随发生。

精细的分析证明，铀核实际上以40余种不同的方式进行裂变，可以形成80多种放射性核素。它们的质量数大多在72～160的范围内，与此同时还放出2～3个中子。

我们不妨进行一个粗略的估算。设铀—235吸收一个中子裂变后生成钇—95和碘—139，并放出2个中子，则：

裂变前的质量数为：

铀—235	235.124
一个中子	1.009
共计	236.133

裂变后的质量数为：

钇—95	94.945
碘—139	138.955
两个中子	2.018
共计	235.918

前后相比，质量亏损了0.215个质量单位。一个质量单位相当于1.66×10^{-24}克。根据$E=mc^2$可以算出，这些质量亏损所产生的裂变能，恰好相当于2009兆电子伏。

六、让火焰熊熊燃烧

铀核释放巨大能量所引起的激动心情尚未完全平复，人们就开始探索实际利用核能的方法。现在已经十分明确，要使铀核裂变必须依靠中子。然而，当时所用中子“大炮”的火力却相当微弱。它们是一些内装氡气和铍粉的小玻璃管。氡自发地放出α粒子，对铍进行轰击。当铍核吸收一个α粒子时，就会放出一个中子而转化为碳核。

以这种方式产生的中子炮弹，其数量是不多的，每秒约为100万个。即使发发命中铀核，由此得到的功率也十分有限。用这种方法进行裂变，就像用一盒蹩脚的火柴点火。每根火柴要划好几次才能发火，没等到把火柴棍烧着，火焰却熄灭了。把整盒火柴都用上，也只能得到少得可怜的能量。要想

需要全本请访问 www.ertongbook.com