

第一章 原子能科学溯源

通过发黄的书本或者古老的原始黑白电影片段，回顾人类过去几千年的历史，想想最近这 100 余年人类社会发生的巨大变化，我们不难发现，在古代，虽然出现了中国的四大发明，埃及人的金字塔，但是在那漫长的人类生活中，变化十分缓慢，只是从 19 世纪末至今的近百年间，才出现了翻天覆地的变化。

太空中的航天器、人造卫星，高空的超音速喷气机，地面上鳞次栉比的摩天大楼，工厂家庭中的电视、电脑，海面上的数十万吨巨型油轮，大洋深处的核潜艇，以及发出强大电力的核电站等等，几乎完全改变了人们的生活面貌。那么，造成这种深刻变化的原因是什么呢？是科学技术。

再细细想一想，近百年来科学发现或技术发明，最根本的发现又是什么呢？

是原子科学的发现。

现在的电脑或核电站，是离不开原子外层的电子及原子内的核子这两种粒子的。在 19 世纪就开始使用至今的家家户户的电灯开关，是由无数亿万个原子组成的物质造出来的；而今天，高效电脑，一个原子就是一个开关。在 20 世纪上半期，每年需用上百万吨煤的电厂，现在只要几吨铀就足够了。一部原子科学发展的历史充分说明了科学技术是第一生产力。

第一节 原子学说的起源

世界是由各种各样的物质组成的。人们自然会问，物质是由什么构成的呢？

公元前五世纪，中国的墨翟曾提出过物质微粒说，他称物质的微粒为“端”，意思是不能再被分割的质点。

但在战国时代，有一本著作《庄子·天下篇》中却提到了物质无限可分的思想：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”意思是说，一个短棍今天是一尺，明天取一半，余二分之一尺，后天取一半，余四分之一尺，以此类推，永远没有尽头。当然，这里并没有提出，也不可能提出用什么方法分割的问题。但在那个时代，我国古代学者就能用思辩的方法来这样提出问题，是难能可贵的。

公元前四世纪，希腊人德漠克利特提出了“原子”的概念，也认为这是一种不能再被分割的质点。后来伊壁鸠鲁又把这一概念大大地推进了一步。

罗马人卢克莱修（约公元前 99—55 年）曾用诗句阐明德漠克利特和伊壁鸠鲁的原子观点：

物体或者说物质要素，
都是由原始粒子集合而成；

虽有雷霆万钧之力，
要破坏物质要素也不可能。

.....

原始物质，由此可见，是既结实又单纯，
由极小粒子之力牢固抱紧，
但又不是粒子的堆集，
其特征在任何情况下是无穷地单纯。

不能从它夺取什么，
也不许缩小其本性，
原始物质，
世世代代，永远长存。

.....

原始物质，
在无边无际的真空，
当然不会静止，
反而被迫不断地作各种各样的运动。

.....

从这里可以看出，古代原子论者认为：一切物质都由最小粒子的原子组成，原子是不可分割的；原子是客观的、物质性的存在，它是永远地运动着的。

德谟克利特和他的老师留基伯共同创立了古希腊的原子论，认为一切事物的本源，是原子和虚无的空间。按照这种想法，人的感觉器官所感觉到的自然界物质的多样性，都是由原子的多种排列和各种不同的结合方式产生的。德谟克利特说：“根据现实的感觉，有甜与苦、热与冷、芳香和色彩的存在。但在本质上，仅有原子与空间的存在。我们认为似乎是本体的每一样物体，仅仅只有原子与空间才是真正的实质。”德谟克利特用原子论观点分析了一系列物理现象。他认为，无论是物质从一种状态过渡到另一种状态，从固体过渡到液体或气体以及相反的变化，还是物体的味道、颜色等等，并不是由于物体内部成分的改变，而是取决于原子的形状、大小、排列的变化和结合方式。

关于德谟克利特的学识，后人有许多传说。据记载，德谟克利特诞生时，他的家庭正在款待国王。国王为了报答他家的感情，就把身边几个学问渊博的人，留在了他家，以便教育和培养德谟克利特。这个故事未必属实，但德谟克利特的丰富的学识和深刻的思想确实是超人的。

德谟克利特的性格与众不同，他对财产一点儿也不重视。德谟克利特的父亲死后，兄弟们分配土地遗产，他什么也不要，只要一些现金以便作为周游世界、探求知识的路费。他到世界各地听了许多著名学者的讲学，一心思考着学术问题。回到家乡后，他笑话别人碌碌无为；别人却说他不务正业，

整天想入非非，是个“疯子”，并请了当时的大医生给他看病。这位医生与德谟克利特很谈得来，他的“诊断”结果说，德谟克利特并没有病，说德谟克利特有病的人才是有“病”的。从此这位大医生与德谟克利特结下了深厚的友谊。

德谟克利特对那些自以为了不起的人，不以为然。他认为，看重自己无可非议，但觉得自己“了不起”，就是荒谬的。一个人对于自己的狭小的生活圈子来说，也许觉得很重要；但对于整个宇宙来说，只不过是阳光下的一粒尘埃。可见德谟克利特的眼光是何等远大。

古代对物质结构奥秘的探索，只能靠想象，靠思考。那时自然科学还没有从哲学中分离出来，原子只是哲学上的猜想，没有条件靠精密的实验加以证实。尽管原子说是一种很深刻的见解，但终究还是没有科学论证的一种猜测。至于一种物质能否转变为另一种物质，在那时候，科学技术水平还没有达到相应的高度，物质的内幕在理论上也没有揭开，所以只不过是想象而已。

原子是不是真的存在呢？在整个封建时代，没有人去证实它。当时，化学为了适应封建主的特殊要求，走进了炼金术和炼丹术的泥坑，致力于寻求点石成金和长生不老的秘方。不仅如此，它还受到了封建的神学思想的束缚。当时，科学由古代社会的图书馆和科学院搬进了中世纪的教堂。于是，对“圣典”条文的研究代替了对自然的研究。从物质结构的争论，转移到另一种争论，去争论什么一个针尖里能住得下几个天使，以及天使吃些什么东西等等。

就在这样的历史条件下，原子学说在长达二十个世纪的时期里竟为人们所遗忘。

一直到18世纪中叶，俄国人罗蒙诺索夫（1711~1765年）才把原子观点复活起来，1808年，英国人道尔顿又加以进一步的总结。这样就结束了化学史上的愚昧的炼金时代，保证了化学向前健康的迅速发展。因此，化学中的新时代应该说是从原子论开始的。

这个时代的原子论的基本内容有如下几点：

（1）物质是由最小的微粒——原子组成的。原子就是不能再分的最小的微粒。

（2）同种的原子在重量、大小和其他性质上都相同。

（3）一切原子都处在不停地运动的状态。

18~19世纪，原子学说处在创立和发展的阶段，它解释了不少物理、化学现象。但是到了19世纪后期，由于科学的进一步发展，发现了许多新的现象，为旧的原子学说所无法解释，因而暴露出严重的缺陷。

这是任何学说的共同发展规律。因为客观事物的本质并不是一下子就会被人们全部加以认识的，而是在人们的不断实践中，被逐渐地认识到的。在更广泛和更深入的实践中，原来的理论就逐渐暴露出缺点，这是很自然的事情。不懂得这个道理的人，面对这种现象，往往十分困惑，甚至很不高兴。认为科学进入了死胡同，再也无法前进。而懂得这个道理的人，面对这种现

象、则会满怀喜悦，认为这是新希望的曙光，并且朝着曙光往前探索，修改原来的理论，开辟出一个科学的新世界来。

原子真是不可再分割的吗？

1869 年门捷列夫（俄国人，1834 ~ 1907 年）发表元素的周期律，实际上就是向“原子不可分割”论埋下了一颗炸弹。当人们着手研究元素以及由它所形成的单质和化合物的性质为什么会随着元素原子量的递增而有周期性的变化，以及同族元素性质为什么相似的原因时，必然导致这颗炸弹的爆炸，从而对“原子不可分割”论产生种种疑点：

元素和元素间为什么有这样紧密的联系呢？如果每个原子都是光秃秃的一颗不可分割的最小微粒，各自独立，互不相关，那么元素间还有什么联系？门捷列夫又怎么能找到元素周期律的呢？

合理的分析虽说在当时很难被有的科学家所接受，而又不得不予以承认的，那就是否定“原子不可分割”论，相信原子不是不可分割的，原子有着复杂的结构；正是由于原子内部结构具有某种共同的因素，使元素和元素间的性质有着规律性的联系。元素周期律表明原子还是可以分割的。

门捷列夫的元素周期律开始动摇了原子是“不可分割的”这种根深蒂固的信念，而使这种信念受到摧毁性打击的则是放射性现象的发现。

第二节 原子学说的发展

物质是由原子构成的这一猜想，虽然早就提出来了，但一直到了 18 世纪，尤其是 18 世纪后半期至 19 世纪中期，工业兴起，科学迅速发展，人们通过生产实践和大量化学、物理学实验，才加深了对原子的认识。

把原子学说第一次从推测转变为科学概念的，应归功于英国一个教会学校的化学教员，他就是道尔顿（1766 ~ 1844）。

道尔顿由于家境贫寒，从小就在乡村干农活，完全靠自学当上了教员。19 岁时，他就当上了乡村小学的校长，后来又在教会学校任教员和在曼彻斯特大学任数学和自然科学教授。他一生观察天气的气象记录达 20 万项之多。道尔顿在业余学习中接触到古希腊的自然哲学，包括关于元素和原子的种种学说，很受启发。

道尔顿首先研究了法国化学家普鲁斯特于 1806 年发现的有趣结论：参与化学反应的物质质量都成一定的整数比（定比定律）；例如 1 克氢和 8 克氧化合成 9 克水，假如不按这个一定的比例，多余的就要剩下而不参加化合。道尔顿自己又发现：当两种元素所组成的化合物具有两种以上时，在这些化合物中，如果一种元素的量是一定的，那么与它化合的另一种元素的量总是成倍地变化的（倍比定律）。

为什么元素间的化合总是成整数和倍数的关系呢？道尔顿丰富的想象力，给他以激励。他感到，这一事实暗示物质是由某种可数的最小单位构成

的。于是，道尔顿把这些事实总结概括加以分析，提出了关于原子的著名论断：物质是由具有一定质量的原子构成的；元素是由同一种类的原子构成的；化合物是由构成该化合物成分的元素原子结合而成的；原子是化学作用的最小单位，它在化学变化中不会改变。

道尔顿的一生是艰苦奋斗的一生。他直到临死前，还用颤抖的手，作了最后一次气象记录。他自始至终都是利用业余时间进行科学研究，所用的仪器大多是自制的，所用的材料也都是自己搜集来的不值钱的东西。他在物质条件十分匮乏的情况下，利用简单的仪器，得出了人们难以想象的出色的结论；这不仅仅是因为他勇于实践，而且是因为他善于思考。

道尔顿的原子论同过去的原子论相比，已有雄厚的科学依据。但是，在道尔顿的原子论提出以后，在新的实验事实面前又出现了一个新的矛盾。

1809年，法国科学家盖·吕萨克发现，在气体的化学反应中，在同温同压下参与反应的气体的体积成简单的整数比；如果生成物也是气体，它的体积也和参加反应气体的体积成简单的整数比（气体反应定律）。例如，两公升的氢和一公升的氧化合时，生成两公升的水蒸汽。盖·吕萨克想，如果不论哪种气体在同温同压下，在相同体积内部含有相同的原子数，不就可以用道尔顿的原子论解释气体反应定律了吗？

可是道尔顿发现，这项假定如果正确，在上述实例中，两个氢原子和一个氧原子应当生成两个“水原子”（后来称水分子），这样，一个“水原子”中不就只能含有半个氧原子了吗？为了解决这一矛盾，1811年意大利科学家阿伏加德罗在原子论中引进了“分子”的概念。他认为，构成任何气体的粒子不是原子，而是分子。单质的分子是由同种原子构成的；化合物的分子是由几种不同的原子构成的。在上述例子中，氢的分子是由两个氢原子构成的，氧的分子是由两个氧原子构成的，而水的分子是由两个氢原子和一个氧原子构成的。

这样，经过了不同国家的许多人的努力，才逐步地建立了原子分子学说。

这个学说认为：（1）物质是由分子组成的，分子是保留原物质性质的微粒。例如，糖溶解在一杯水里，糖分子遍及全杯水，水就有了甜味。（2）分子是由原子组成的，原子则是用化学方法不能再分割的最小粒子，它已失去了原物质的性质。例如，我们平时食用的食盐（氯化钠）的分子是由钠原子和氯原子组成，氯是有毒的，显然食盐的性质与氯和钠的性质截然不同；另一方面，完全无害的元素碳和氮，组成的化合物却可以是剧毒的气体氰（CN）化物。

这个原子分子学说比以前的原子学说又有了很大进展。过去，在原子和宏观物质之间没有任何过渡，要从原子推论各种物质的性质是很困难的。现在，在物质结构中发现了分子、原子这样不同的层次。因而我们可以认为，人们对于物质是怎样构成的问题，认识已经接近物质的本来面貌了。

分子是否确定有呢？实践终于证明了分子的存在和分子的运动。

1827 年英国植物学家布朗首先在显微镜下观察到，水中的小花粉在不停地作不规则的运动。仔细观察，可以发现任何悬浮在液体或气体中的非常小的微粒，都永远处于无休止的没有规则的运动状态之中。这个悬浮的微粒愈小，它的运动就愈激烈；温度愈高，这种运动也愈激烈。后来人们把这种运动叫布朗运动，把象花粉那样的小微粒叫做布朗微粒。布朗运动是永不休止的，它不受外界因素的影响，完全是物质内部运动的反映。

布朗运动说明了什么问题呢？原来，这种运动就是由液体的分子运动引起的。由于液体的分子每时每刻都在作不规则的热运动，这些分子撞击布朗微粒，就引起了布朗微粒的运动。如果悬浮物的颗粒太大，则在每一瞬间撞击到这个大颗粒上的分子数目就太多了，致使这些撞击作用基本上相互抵消了，大颗粒就会保持不动。当悬浮粒小到一定程度时，碰撞到小颗粒上的分子就不那么多，就会从某一个方向出现分子撞击的不平衡，使小颗粒发生运动。布朗颗粒体积愈小，发生撞击的不平衡的可能性愈大，布朗运动就愈急剧。另一方面，温度愈高，分子无规则运动的速度就愈大，分子撞击引起的布朗运动也随之加剧。由于对布朗运动现象的观察和了解，使得人们深入理解了布朗运动的本质。因此证实了分子的存在和分子运动的存在。

我们熟悉的自然界的物质有三态：固态、液态和气态。可以这样理解：固体的分子排列得比较整齐和紧密，分子运动的范围相对来说是很小的；液体分子的排列就自由些和松散些，因此分子运动的范围就比较些大些；气体的分子，表现得最自由，它们往往或多或少地独立运动，与其它的分子无所牵连。永无休止的分子的剧烈运动足以说明气体的性质。后来计算出在一秒钟内，气体中的一个分子和其它分子的碰撞次数就达 50 多亿次。气体分子的运动，就总体来说，它全是不规则的运动。

从 19 世纪中期，开始了气体分子运动论的研究。这一研究取得了巨大的成功，科学家们根据气体分子运动论确定了原子的质量和直径。各种原子的大小不同，它们只有 1 亿分之一至 1 亿分之四厘米。50 万个原子只能排满头发丝细的距离，500 万个原子排成一行，也只不过是在我们这本书上的一个小句号的范围里。原子的重量只有 1 千万亿亿分之一克。一杯水的重量与其中的一个原子的重量相比，约等于地球的重量与其上的一小块砖头的重量之比，可见原子是何等的微小。

长期以来，人们并没有用肉眼看见过原子。原子，就是在高倍显微镜下，在近代电子显微镜下也难看见。但是，人们对原子的客观存在不再怀疑。这是为什么呢？因为，发现科学和检验真理的唯一可靠的标准是实践。人类大量的生产实践，间接地证实了原子的存在，用原子分子学说可以准确无误地解释和指导我们的生产实践。

一直到 1970 年，才有一位美国科学家报道说，他借助扫描电子显微镜第一次观察到了单个的铀和钍的原子。1978 年 2 月，日本一位科学家宣布，他们用具有超高度分辨能力的电子显微镜拍摄了世界上第一张原子的照片，看

到了几种原子的图像。

第三节 揭示元素周期律

人类对于化学元素的定性分析，特别是定量分析进行了长期的实践。

根据道尔顿提出的原子观点，人们对元素有了新的认识，认为每一种元素都是由特定的原子组成的；不管这一种元素的数量多少，它都是由原子组成的。这种元素与另一种元素之所以不同，是因为它们的原子的性质不相同。一种原子与另一种原子的最基本的物理性质的区别，就是原子的重量不同。

1862 年，法国地质学家坎古杜瓦首先提出了元素随着原子量的变化，其化学性质呈现周期性变化的问题。1864 年德国化学家迈耶，按原子量递增顺序制定了一个“六元素表”。这个“六元素表”，1865 年，英国化学家纽兰兹按原子量递增顺序，将已知元素作了排列。他发现，到了第八个元素就与第一个元素性质相似，亦即元素的排列每逢八就出现周期性。

纽兰兹从小受母亲的影响，爱好音乐，觉得这好像音乐上的八个音阶一样重复出现，于是自己把它称为“八音律”，画出了“八音律”表。1866 年 3 月当他在伦敦化学学会发表这一观点时，得到的却是嘲笑和讽刺；他的有关论文也被退稿。七年以后，他的论文又被拒绝发表。虽然纽兰兹的“八音律”表存在着缺点和不成熟的地方，但他发现了元素的性质在排列上有周期性这一研讨方向是完全正确的，而且在这个正确的方向上向前迈进了一大步。一直到 18 年以后，即在门捷列夫的元素周期表的重要性得到普遍承认后，纽兰兹的论文才得以发表，英国皇家学会才给他颁赠了勋章。

事实上，在 1869 年，德国的迈耶和俄国的门捷列夫几乎同时发现了元素周期律。一项科学技术的发现或发明，同时被几个人在不同地方各自独立地完成，这在科学史上是屡见不鲜的。因为科学是反映客观规律的，科学技术的发现和发明绝不是孤立的现象，它是前人研究成果的继续和在此基础上的突破，是时代的使命，是科学技术发展到一定阶段时的必然结果。如果这项科学成就，只有某个人能发现，而另外的人不能够发现，那么就不成其为反映客观规律的科学了。只不过科学发现的时间略有早晚而已。

俄罗斯化学家门捷列夫，生在西伯利亚。他从小热爱劳动，喜爱大自然，学习勤奋。他在 15 岁时为了进大学，跟他母亲千里迢迢来到莫斯科，但因他不是出身于豪门贵族，又来自穷乡僻壤，被学校当局拒绝接受入学，于是不得不转往彼得堡。在那里，名牌大学也拒绝他入学，他只好进了彼得堡大学的一个师范学院，后来成为一名教师。门捷列夫从青年时代就立下攻读化学的志向，曾阅读了大量的化学书籍，总结了许多化学家的经验教训。

1860 年门捷列夫在为著作《化学原理》一书考虑写作计划时，深为无机化学的缺乏系统性所困扰。于是，他开始搜集每一个已知元素的性质资料和相关数据，把前人在实践中所得成果，凡能找到的都收集在一起。人类关于

元素问题的长期实践和认识活动，为他提供了丰富的材料。他在研究前人所得成果的基础上，发现一些元素除有特性之外还有共性。例如，已知卤素元素的氟、氯、溴、碘，都具有相似的性质；碱金属元素锂、钠、钾暴露于空气中时，都很快就被氧化，因此都是只能以化合物形式存在于自然界中；有的金属例如铜、银、金都能长久保持在空气中而不被腐蚀，正因为如此它们被称为贵金属。

于是，门捷列夫开始试着排列这些元素。他把每个元素都建立了一张长方形纸板卡片。在每一块长方形纸板上写上了元素符号、原子量、元素性质及其化合物。然后把它们钉在实验室的墙上排了又排。经过了一系列的排队以后，他发现了元素化学性质的规律性。

因此，当有人将门捷列夫对元素周期律的发现看得很简单，轻松地说他是用玩扑克牌的方法得到这一伟大发现的，门捷列夫却认真地回答说，从他立志从事这项探索工作起，一直花了大约 20 年的功夫，才终于在 1869 年发表了元素周期律。他把化学元素从杂乱无章的迷宫中分门别类地理出了一个头绪。此外，因为他具有很大的勇气和信心，不怕名家指责，不怕嘲讽，勇于实践，敢于宣传自己的观点，终于得到了广泛的承认。

元素周期律揭示了一个非常重要而有趣的规律：元素的性质，随着原子量的增加呈周期性的变化，但又不是简单的重复。门捷列夫根据这个道理，不但纠正了一些有错误的原子量，还先后预言了 15 种以上的未知元素的存在。结果，有三个元素有门捷列夫还在世的时候就被发现了。1875 年，法国化学家布瓦博德兰，发现了第一个待填补的元素，命名为镓。这个元素的一切性质都和门捷列夫预言的一样，只是比重不一致。门捷列夫为此写了一封信给巴黎科学院，指出镓的比重应该是 5.9 左右，而不是 4.7。当时镓还在布瓦博德兰手里，门捷列夫还没有见到过。这件事使布瓦博德兰大为惊讶，于是他设法提纯，重新测量镓的比重，结果证实了门捷列夫的预言，比重确实是 5.94。这一结果大大提高了人们对元素周期律的认识，它也说明很多科学理论被称为真理，不是在科学家创立这些理论的时候，而是在这一理论不断被实践所证实的时候。当年门捷列夫通过元素周期表预言新元素时，有的科学家说他狂妄地臆造一些不存在的元素。而通过实践，门捷列夫的理论受到了越来越普遍的重视。

后来，人们根据周期律理论，把已经发现的 100 多种元素排列、分类，列出了今天的化学元素周期表，张贴于实验室墙壁上，编排于辞书后面，是每一位学生在学化学的时候，都必须学习和掌握的一课。

在人类生活的浩瀚的宇宙里，一切物质都是由这 100 多种元素组成的，包括人本身在内。

可是，化学元素是什么呢？化学元素是同类原子的总称。所以，人们常说，原子是构成物质世界的“基本砖石”，这从一定意义上来说，还是可以的。然而，化学元素周期律说明，化学元素并不是孤立地存在和互相毫无关

联的。这些事实意味着，元素原子还肯定会有自己的内在规律。这里已经蕴育着物质结构理论的变革。

终于，到了 19 世纪末，实践有了新的发展，放射性元素和电子被发现了，这本来是揭开原子内幕的极好机会。可是门捷列夫在实践面前却产生了困惑。一方面他害怕这些发现“会使事情复杂化”，动摇“整个世界观的基础”；另一方面又感到这“将是十分有趣的事……周期性规律的原因也许会被揭示”。但门捷列夫本人就在将要揭开周期律本质的前夜，1907 年带着这种矛盾的思想逝世了。

门捷列夫并没有看到，正是由于 19 世纪末、20 世纪初的一系列伟大发现和实践，揭示了元素周期律的本质，扬弃了门捷列夫那个时代关于原子不可分的旧观念。在扬弃其不准确的部分的同时，充分肯定了它的合理内涵和历史地位。在此基础上诞生的元素周期律的新理论，比当年门捷列夫的理论更具有真理性。

第四节 原子世界的曙光

到了 19 世纪末期，物理学已能令人满意地勾画出自然现象及其相互关系的图像，并且似乎达到了相当完善的程度。看来，一切都好象很适合一般的力学概念，甚至包括电、磁、光等现象。许多人认为牛顿的物理学是无所不包、无所不能的，它能“概括”宇宙中最大的物体运动和最小的原子运动。

许多物理学家们觉得，他们已经完成了他们应该做的全部工作。当时有一位著名的科学家在 1893 年发表演说，认为可能物理学的所有伟大发现都已完备。他把科学的发展状况及历史，精心地编制成纲目。他说：以后的物理学家们除了重复及改良过去的实践，使原子量或一些自然常数增加些小数点位数以外，将再也不会有什么事可做了。这种言论在当时来说，是有一定代表性的。在有些人看来，“科学的大厦已经建成”，人类对自然界的认识已经到了顶点，经典物理学已经发展到“终极理论”，科学似乎已完成了历史使命。

可是，就在两三年以后，即在 19 世纪的最后几年里，一些轰动世界的革命性发现无情地冲击了物理学界的保守观点。活生生的客观事实使一些科学的“顶峰论”者目瞪口呆。这些事实也使一些原来已经认为熟悉了这个世界的人们，立即又感到并不完全熟悉了，对某些领域又感到陌生了：对于从前蛮有信心地描绘的那个“简单”、“纯朴”、“有秩序”的世界，立刻又产生了怀疑。

当时轰动世界的事件，首先是 X 光的发现和放射性元素的发现。

1895 年 11 月 8 日的傍晚，德国物理学家伦琴（1845～1923 年）正在沃兹堡大学的一个实验室，做一项有关阴极射线的实验。（阴极射线实验是在抽空的电子管中，由阴极发出的电子在电场加速下所形成的电子流。确认电

子的存在，是两年以后的事情，下面将专门叙述。）

伦琴用黑纸将阴极射线管完全掩遮好，使之与外界相隔绝，然后把窗帘放下，打开高压电源，以便检查有没有光线从管中漏光。突然，他发现有一道绿光从附近的一个板凳射出，掠过他的眼前。他把高压电源关掉，光线也随着消失。奇怪！板凳怎么会发射出光来呢？“留心意外的事情”是科研工作者的座右铭。伦琴马上点了灯，照了照板凳，发现那里摆着的原来是自己做其他试验时用的一块硬纸板，硬纸板上涂了一层荧光材料（氰亚铂酸钡的晶体）。

伦琴感到十分惊讶。从阴极射线管中散出的阴极射线有效射程仅有一英寸（1英寸=2.54厘米），显然是不会跑出这么远的。那么是什么使荧光材料闪出光亮的呢？伦琴很快意识到有某种崭新的未知光线发现了。这种未知光线从阴极射线管发出，穿过了黑纸包层，射到了硬纸板上，激发了涂料的晶体发出荧光。

对大自然最细致的超出常轨的举动，要加以注意，对那些意外事件进行研究，这是科研工作能取得成果的秘诀之一。在这里，最需要的是始终不懈的敏感性。因为“机遇只垂青那些懂得怎样追求它的人”。伦琴为此惊喜万分，再次打开开关，随手拿一本书挡在阴极射线管与硬纸板之间，发现硬纸板依然有光。

伦琴激动得难以控制自己，一连几天几夜关在实验室里继续实验。他先后在阴极射线管和硬纸板之间放了木头、乌木、硬橡胶、氟石以及许多种金属，结果发现这种未知的光线仍然能够照直穿透这些物质。只有铝和铂挡住了这种光线。

伦琴的妻子对于伦琴总是迟迟不回家很生气。于是伦琴把她带到实验室里，把用一张黑纸包好的照相底片放在她的手掌下，然后用阴极射线管一照，拍下了历史上最著名的一张照片。冲洗出来的底片清楚地呈现出伦琴夫人的手骨结构，手上那枚金戒指的轮廓也清晰地印在上面。

伦琴当时无法说明这种未知的射线，就用代数上常用来求未知数的“ X ”来表示，把它定名为 X 射线。实际上后来才知道， X 射线是由阴极射线打在阳极靶上而获得的。伦琴经过了一连七个星期废寝忘食的紧张工作，终于在12月28日完成了举世轰动的科学报告。不久，世界上各大报纸都报道了这一重要新闻。这时，有一些物理学家们才开始懊悔自己没有追究实验室内照相底片“走光”的问题。也有的物理学家责备自己把照相底片感光，错误地归于阴极射线的作用结果。还有一位物理学家声称，他发现 X 光是在伦琴之前，只是由于不愿中断正常的研究工作，而未发表。的确，这个发现完全有条件在20年前的任何实验室完成。可是，如果伦琴对这一“科学的闪光”漫不经心，轻意放过这一重要线索，或是不深入思索，轻率地把它归于任何一种别的原因，那么 X 光还是发现不了。

伦琴的这个发现并不是偶然的。因为早在1878年8月英国物理学家克鲁

克斯的工作就曾轰动一时。那时克鲁克斯就根据自己的研究在英国皇学会作了讲演,他说:“这些真空管中出现的物理现象揭示出物理学的一个新世界”。但他不正确地把阴极射线归于物质的第四态了,他认为阴极射线是“超气态”。德国的勒纳受克鲁克斯的影响,进行了研究,并于1893年公布了关于阴极射线的研究报告。

伦琴在他们研究的基础上,进而通过试验发现,这种X射线不是像阴极射线那样随磁场偏转,它似乎发生在真空管中阴极射线照射的地方。因为他发现,当阴极射线随着磁铁偏转时,X射线的发源点也跟着移动。例如让阴极射线照射铂,产生的X射线远远比在铝、玻璃和其他物质中产生的X射线强。此外,尽管伦琴利用了区分普通光的棱镜,并没有观察到X光的折射,利用透镜也没有观察到反射和聚焦。显然,X光与普通光是不同的。

1901年,当瑞典科学院颁发第一次诺贝尔奖金时,物理学奖的选择对象自然落在伦琴身上。伦琴成名以后,反对用自己的姓名来命名X射线。同时他还谢绝了巴伐利亚王子所授予他的贵族爵位,并因此受到贵族的冷遇。他把他获得的全部诺贝尔奖金都捐献给了自己的工作单位沃兹堡大学物理实验室作为研究费用。他说:“我认为发明和发现都应属于整个人类”。伦琴的无私精神受到了世界各国人民的高度赞扬。

X射线在后来一直到今天,得到了广泛的应用,工业上用于金属探伤,医院里用它来透视人体的心肺、脏腑和骨骼,已经成了重要的医疗设备。

对于X射线的研究,不久又促成了天然放射性的发现。因此,可以说X射线是原子世界透出的一道曙光,为人们深入观察原子及其运动带来了光明。

第五节 铀天然放射性的发现

在一个物理学家的家庭里,爸爸是研究荧光的。有一种钟表上使用的物质,白天在阳光照射后,到了黑夜里会发出微弱的光亮,在物理学上,这种经过太阳光的紫外线照射以后发出的可见辐射,称为荧光。

1896年,儿子亨利·贝克勒耳从爸爸那里选了一种荧光物质铀盐,学名叫硫酸钾铀,想研究一下一年前伦琴发现的X射线到底与荧光有没有关系。

贝克勒耳想,要弄清这个问题,方法并不难。只要把荧光物质放在一块用黑纸包起来的照相底片上面,让它们受太阳光的照射,就能作出判断。由于太阳光是不能穿透黑纸的,因此太阳光本身是不会使黑纸里面的照相底片感光的。如果在由于太阳光的激发而产生的荧光中含有X射线,X射线就会穿透黑纸而使照相底片感光。

于是,贝克勒耳进行了这个实验,结果照相底片真的感光了。因此,他满以为在荧光中含有X射线。他又让这种现象中的“X射线”穿过铝箔和铜箔,这样,似乎就更加证明了X射线的存在。因为当时除了X射线之外,人

们还不知道有别的射线能穿过这些东西。

可是，有次一连几天是阴沉沉的天气，太阳始终不肯露头，这就使贝克勒耳无法再进行实验。他只好把那块已经准备好的硫酸钾铀和用黑纸包裹着的照相底片一同放进暗橱，无意中还将一把钥匙搁在了上面。几天之后，当他取出一张照相底片，企图检查底片是否漏光。冲洗的结果，却意外地发现，底片强烈地感光了，在底片上出现了硫酸钾铀很黑的痕迹，还留有钥匙的影子。可这次照相底片并没有离开过暗橱，没有外来光线；硫酸钾铀未曾受光线照射，也谈不上荧光，更谈不上含有什么 X 射线了。

那么，是什么东西使照相底片感光的呢？照相底片是同硫酸钾铀放在一起的，只能推测这一定是硫酸钾铀本身的性质造成的。硫酸钾铀是一种每个分子都含有一个铀原子的化合物。

物质的最小单元是分子，分子若是由不同元素的原子组成的物质，被称为化合物。

硫酸钾铀这种化合物，含有硫原子、氧原子、钾原子、铀原子，通过比较和鉴别，后来进一步发现，原来，硫酸钾铀中，硫、氧、钾原子是稳定的，只有其中的铀原子能够悄悄地放出另一种人们肉眼看不见的射线，使照相底片感光了。

这种神秘的射线，似乎是无限地进行着，强度不见衰减。发出 X 射线还需要阴极射线管和高压电源，而铀盐无需任何外界作用却能永久地放射着一种神秘的射线。

贝克勒耳虽然没有完成他预想的试验，却意外地发现了一种新的射线。后来，人们把物质这种自发放出射线的性质叫放射性，把有放射性的物质叫做放射性物质。这就是世界闻名的关于天然放射性的发现。

在科学上，决不能轻易地放过偶然出现的现象。新的苗头或线索，一经出现，就要立即抓住它，刨根究底，问它个为什么，查它个水落石出。

据说，在贝克勒耳之前，已经有人发现了这种怪现象。有一位科研人员把沥青铀矿石和包好的照相底片搁在一起，底片因曝光而作废了。但是，这个人只得出了一个“常识性”的结论：不能把照相底片同沥青铀矿石放在一起。这个结论虽然是对的，也有实用价值；可是由于他缺乏一种究根究底的钻研精神，没有把原因搞清楚，以至白白地放过了完成一项重大发现的机会。

朋友！您想当科学家工程师吗？一定要明白，粗心的人是难有重要发现的，伟大的机会到来时，常常被擦肩而过的。因此，科学上想要有成就，必须首先养成善于细心观察事物的习惯和本领。

近代微生物学奠基人巴斯德说过一句话：“在观察的领域中，机遇只偏爱那种有准备的头脑。”这话说的很有道理。

天然放射性的发现揭示了一个非常重要的问题。在自然界中有某些元素能自发地放出射线来，可是这些元素又都是由某种原子构成的，这不就说明了本身还会发生某种变化吗？这种变化深刻地意味着原子还有结构，原子还

隐藏着秘密。所以说，这项发现从根本上动摇了在这以前那种认为原子是不可分割的陈旧观念。从此，人类跨入了进一步了解原子的大门。

天然放射性的发现被誉为原子科学发展的第一个重大发现。

在世纪之交的十九世纪末期，科学上是令人迷惘的时期，面对如此重大的发现，有的科学家想不通，例如，当时很有名望的科学家洛伦兹就企图把这些崭新的实验事实纳入旧理论的框框，从旧的原子学说中寻找答案，这当然是不行的，不会取得任何成就的。于是，在这些客观事实面前，他们苦恼的彷徨，甚至对科学丧失信心，哀叹物理学发生了“危机”，“科学破产”了。他本人曾绝望地说：“在今天，人们提出了与昨天所说的话完全相反的主张；在这样的时期，真理已经没有标准，也不知道科学是什么了。我很悔恨，我没有在这些矛盾出现的五年前死去。”个别科学家甚至因此而走上了自杀的道路。

而后来的事实发展充分证明，正是这些划时代的发现，点燃了新世纪的火炬。

第六节 第一个“基本粒子”的发现

汤姆生与其他青年物理学家一起，研究为什么气体在 X 射线照射下会变成电的导体。据汤姆生的推测：这种导电性，可能是由于在 X 射线的作用下，产生了某种带正电和带负电的微粒所引起的。他甚至认为：这些带电的微粒可能就是想象中原子的一部分。这种想法，在当时不能接受，世界上哪有比原子更小的东西呢？

为了搞清楚在通电玻璃管内从阴极发出的射线可能就是由那些连续发射的粒子所组成的。汤姆生想称量出这些粒子的重量。可是怎么去称量那么小的粒子呢？

汤姆生利用电场和磁场来测量这种带电粒子流的偏转程度，以推测粒子的重量。他说，粒子愈重，愈不易被偏折；磁场愈强，粒子被愈折愈厉害。测量这些粒子被偏折的程度和磁场强度，就能间接地测出它们的质量，亦即能得出粒子所带电荷与其质量之比。这仿佛是要测定子弹的重量（铁子弹），我们可以在一个大磁场附近发射子弹，子弹受磁场的作用会偏离靶心，然后根据子弹偏离靶子多远和磁场强度大小推知子弹重量多大。

1897 年，汤姆生根据实验指出，阴极射线是由速度很高（每秒 10 万公里）的带负电的粒子组成的。起初称为“粒子”，后来借用了以前人们对电荷最小单位的命名，称之为“电子”。实验结果表明，阴极射线粒子的电荷与质量之比与阴极所用的物质无关。也就是说，用任何物质做阴极射线管的阴极，都可以发出同样的粒子流，这表示任何元素的原子中都含有电子。

汤姆生还发现，除阴极射线外，在其他许多现象中也遇到了这种粒子。例如把金属加热到足够高的温度时，金属或某些其它物质受光特别是受紫外

线照射时，也都放出电子。这个事实更进一步说明了任何元素的原子中都含有电子。

汤姆生测出，电子的质量只有氢原子质量的 $1/1840$ ，电子的电荷是 -4.8×10^{-10} 静电系单位（或 -1.602×10^{-19} 库仑）。

电子的重量只有 9.11×10^{-28} 克（约一千亿亿亿分之一克）

汤姆生的思想摆脱了传统观念的束缚，发现了电子，但又受到了嘲笑。因为许多人根本就不相信，认为汤姆生的说法是愚蠢的，甚至说他是个骗子。汤姆生在英国科学知识普及会上讲述他关于电子方面的实验时，在座的大部分物理学家对他所持的观点表示怀疑。所以，在当时，电子的发现并没有引起广泛注意。关于这一点，汤姆生的儿子后来写道：“反对这种比原子还小的粒子客观存在的论调，还是不停地出现，但那只不过是旧物理概念间歇的垂死痉挛。”

电子的客观存在，被后来愈来愈多的事实完全证实了。这项重大发现，不仅使我们对原子结构有了进一步认识，而且还使我们弄清了电的性质。每秒钟在导体的某一截面上会有 6.242×10^{18} （ 10^{18} 即100亿亿）个电子的定向流动，就是我们所知道的 1 安培的电流。

电子的发现及电子学的一系列成就，是现代文明的基础，天上的航天飞机、人造卫星，地上的电气列车，城市的电车，电灯、电视、电炉、收音机、雷达等，无一不是靠电子的工作。

电子的发现，直接证明了原子不是不可分割的物质最小单位。原子的自身还有结构，电子就是原子家族中的第一个成员。

第七节 发现镭的艰苦历程

玛丽·居里，即著名的居里夫人，与她的丈夫皮埃尔·居里一起，夫妇俩共同就贝克勒耳首先发现的放射性现象进行研究，先后发现钋（pō）和镭（léi）两种天然放射性元素，为原子时代的开始作出了重大贡献。

居里夫人在科学上的刻苦自励、坚韧不拔，生活上的不畏挫折、艰苦朴素，成为后代人敬仰和传颂的佳话。

玛丽生长在波兰一个诚实的农民家庭。她的父母后来离开了农业劳动，从事教育工作，父亲是一位中学的数学和物理教员，母亲做过小学校长，弹得一手漂亮的钢琴。玛丽继承了父亲的才智和母亲的灵秀。玛丽记忆力很强，三四岁时，就能熟背许多诗篇。玛丽常到父亲的房间去，那里摆着不少的物理仪器和矿物标本，这些使年幼的玛丽萌生了对科学的好奇心，她觉得这些小东西非常有趣，她时常踮起脚尖，长时间地仔细端详，还不时用小手指去触一触玻璃管。一次，她问父亲：“这些东西叫什么名字呀？”父亲告诉她说：“这叫物理仪器。”从此，这些仪器就深深地印刻在玛丽的脑海里。但是，她的父母却不敢让儿女们在学习上过于用功，因为家里有肺病的病根。

每当玛丽抱起书本，母亲就会心疼地对她说：“去花园里玩玩吧，孩子，外面多美啊！”

后来，大姐得伤寒病夭折，相继，母亲又因病去世。从此，玛丽失去了母亲和大姐的爱抚。家庭的不幸，深深地刺伤了玛丽幼小的心灵。但是，逆境也磨炼了她坚韧的性格和对知识的执著追求。

上中学时，一次她正在家里低头看书，姐妹们和她开玩笑，把几把椅子高高地叠在她的周围，可她一点都没有觉察。时间一分一秒地过去，等着看热闹的姐妹们互相挤眉弄眼，有些不耐烦了。又过了大约半小时，玛丽读完了预定的章节，才抬起头来，象姐妹们盼望的那样碰倒了“椅塔”，引得她们前俯后仰地笑个不停。

功夫不负有心人。玛丽中学毕业时以优异成绩获得了金质奖章，全家人都为她高兴，她的父亲更感到由衷的欣慰。

十九世纪的波兰大学不收女学生，这使玛丽和她的另一个姐姐很犯愁。因为如果出国求学，需要一笔很大的开支。“有办法了！一天，玛丽在月光下兴奋地对姐姐说：“是这样，你把我们俩省下来的钱都带上，先去巴黎。我在这儿做家庭教师，把挣来的钱再给你寄去。等你毕业有了工作再帮助我。若是我们仍旧各自奋斗，那就谁也无法离开这里。”

姐姐高兴地拥抱着妹妹，眼里闪着激动的泪花：“玛丽，你真愿意帮助我吗？你的天资这样好，应该你先出去，也许很快就会功成名就，为什么先让我走呢？”

“因为你是20岁，我才17岁。”

就这样，姐妹分手了。

姐姐从巴黎寄来了信，妹妹从华沙寄去了钱。为了支持姐姐读书，玛丽有时连一张邮票都买不起。

玛丽做家庭教师时，经受了一次感情上的磨难。这户人家的大儿子是华沙大学的学生，回家度假时认识了玛丽，从此一见钟情，玛丽高雅的谈吐，优美的舞姿，强烈地吸引着他；而热情、单纯的玛丽也深深地坠入了情网。

但是，他们的恋情引起了一场轩然大波。大学生的父母尽管深知玛丽天性聪颖、品行端正，可是，贫穷的女老师怎能配得上自己高贵的家庭和门第呢？父亲大发雷霆，母亲几乎气晕了过去，大学生终于屈从了父母的意志。

失恋的痛苦折磨着善良的玛丽，她写信给一个表姐准备“向尘世告别”。但是，坚定的信念，使玛丽很快战胜了内心的懦弱，她开始把全部精力放在了自学上。几年后，她又与大学生作了最后一次交谈，但是，他还是那样犹豫、软弱。玛丽毅然折断了心灵上的幻想之帆，动身前往巴黎求学去了。

这是一次幸运的失恋。否则，她的历史也许将要重新改写，玛丽也不会成为举世闻名的居里夫人了。

玛丽在巴黎求学期间，一个波兰籍物理教授为物理学家皮埃尔·居里做了牵线搭桥的人，用中国话说，为玛丽和皮埃尔做了“红娘”。

皮埃尔原是一位对女性抱有成见的人，在他的日记中曾这样写道：“女人比我们更加留恋生命，天才的女人是少见的。”

皮埃尔与玛丽第一次见面时，漫不经心地同她握手，伸过来的是一只秀丽纤巧的小手，手指上留有硫酸灼伤的斑痕。

对于年轻有为的科学家皮埃尔，玛丽闻名已久。然而，第一次会见，除了欣喜之外，在这位 27 岁的姑娘心中还激起了一道波澜。

当晚，皮埃尔和玛丽都失眠了，皮埃尔找出了自己的日记本，把上面关于女性的偏见涂抹得一干二净。一年之后，两人的感情终于找到了共同的节奏，皮埃尔在给玛丽的信中写道：“如果我们能够生活在一起，那该有多好啊！”

1805 年，玛丽和皮埃尔在充满诗情画意的夏天里结婚了。玛丽的婚礼没有白礼服，没有金戒指，也没有按照当地的习俗到教堂去举行仪式。亲友们来祝贺他们的结合，这对新婚夫妇用亲友的馈赠，购买了两辆新自行车。

婚后的蜜月，玛丽和皮埃尔骑着两辆新自行车，在附近森林中崎岖的小道上漫游。累了坐在大树下，吃着带来的面包、香肠、干酪和梨。他们尽情享受只有两个人在一起时的宁静之乐。晚上，到一家就近的小客店里去住。吃完了晚餐之后，话题自然而然地转到研究中的某一个难点上来。

理化学校的校长同意玛丽在皮埃尔的实验室里继续进行她的钢磁化性能研究。在那些日子里，玛丽白天做八小时的科学研究，回家料理两三小时的家务，学会了煮牛肉和剪土豆片。晚饭后，她坐在一张没有上漆的白木桌子的一端，在煤油灯下准备着大学毕业生的职业考试。皮埃尔坐在这张桌子的另一端，准备明天要上的课。他们不说话，只有翻书页的声音和钢笔尖在纸上摩擦的声音。偶尔，他俩不约而同地抬起头来，相互望一眼，交换一个深情的微笑，又低头专心干他们自己的事，一直到凌晨两三点钟。

婚后第三年，玛丽生了一个女儿，玛丽下决心把对科学的热爱和做母亲的责任同时担负起来。她每天给女儿喂奶、换尿布。幸好玛丽的公公给了她很大的帮助。这位老人细心地看管这个小女孩，使玛丽有较多的时间从事她喜爱的科研工作。

那时玛丽已经考得了硕士学位，也写完了钢磁化性能的专论。下一步她该做什么呢？

按照一般的顺序，当然是准备考博士学位。可是选一个什么样的研究题目呢？玛丽仔细阅读了物理学方面的最近论著，想找出一个新奇的有希望的研究课题来。

玛丽看到一份报告，是法国物理学家贝克勒耳写的，内容是关于他发现铀矿石会放出看不见的射线，而使底片感光的研究。这真是一种奇妙的现象。这种射线是从那儿来的？具有什么性质？这是一个好题目，还没有人做过详细的研究，正可写一篇绝妙的博士论文！

玛丽的想法得到了皮埃尔的支持，于是她便立刻动手，搜罗了一些铀矿

石，一个皮埃尔和他的哥哥以前所发明的压电石英静电计和测量器，一个电离室，此外便是一些瓶子。可是得找一个地方来从事她的试验呀！经皮埃尔多次向理化学校校长请求的结果，同意让他们使用一间空着的小贮藏室。

这间房子阴暗、潮湿，对灵敏的测电器是极为不利的。不过玛丽倒觉得无关紧要，她首先是测量射线使空气电离的力量。多次的实验证明：射线的强度和矿石铀的含量成比例，和外界的光照、温度无关。这结果已使当时的物理学界震惊。

玛丽想来想去，觉得这种独立的射线现象一定是一种原子的特性。铀具有这种特性，别的元素难道不具备这种特性吗？玛丽把能弄到的元素或它的化合物都逐个儿检查一番。结果，她发现另外一种元素钍（t）的化合物也会自动发出射线。玛丽认为：必须给这种独立的放射现象另起一个名称，就叫做“放射性”。

玛丽简直被放射性迷住了。由于好奇心的驱使，她几乎检查了所有的盐类、化合物、矿物质、软的、硬的以及各种奇形怪状的东西。她明白了：大凡含有铀或钍的物质，都会有放射性。

玛丽就专门研究那些有放射性的矿物，她发现，有一种铀沥青矿石的放射性，比其中照铀的含量算出来的应有的放射性大得多。难道是仪器不准，或是操作有毛病？可是反复几十次，证明测量没有错。这种过度的放射性是哪儿来的呢？玛丽想：在这种矿石中，一定含有一种放射性比铀或钍强得多的新元素。

玛丽的惊人发现使皮埃尔也感到惊奇，他决定暂时停止他自己在结晶学方面的研究，用他的全部力量和玛丽一起研究这种神奇的新元素。

这种强放射性既然是由一种新元素所产生，就一定要把它找出来。可是铀矿石的成分早就化验过了，并没有发现什么未知物质。由此可知，这种新元素在矿石中的含量一定非常非常少，以致于当时所用的分析方法都发现不了它。他们悲观地估计，至多不超过百分之一。

玛丽和皮埃尔用化学的方法，把这种矿石的各种成分分开，然后个别测量它们的放射性。经过反复的搜查，发现放射性主要集中在两种化学成分里，这是两种不同的新元素存在的象征。他们认为，现在已经可以宣布发现了这两种元素之一。

皮埃尔对玛丽说：“你给它起个名字吧！”

玛丽的祖国波兰当时已经不存在了，她喃喃地说：“为了纪念我的祖国，把它叫做‘钋’（钋是波兰的意思）吧！”

玛丽把这一发现，写在1898年7月给理科博士院的报告里。同年12月，在另一份报告里写道：“还发现另一种有强放射性的新元素，它放出的射线强到了是纯铀的九百倍。我们提议叫它‘镭’（镭是放射的意思）”。

这个发现使当时的物理学界大为惊奇，有人高兴，也有人怀疑。也有人毫不客气地提出来：“你说你发现了新元素，可是我们没有看见，你能把它

放在瓶子里，用酸来化验它？它的原子量是多少？把新元素拿给我们看看，我就相信。”

为了把钋和镭指给不相信的人看，玛丽和皮埃尔决心要把它提炼出来。

根据以往的试验，钋是一个不稳定的东西，提炼起来比较困难，他们决定先提取镭。可是手头的沥青铀矿石太少了。按照他们当时作百分之一含量的“悲观”估计，要想提取看得见的一点镭，估计至少也得一吨矿石。哪儿去弄那么多原料呢？过去的研究全是花他俩自己的钱，政府并没有给他们一文经费。他们打听到在波希米亚的一个矿上正在用这种矿石提炼制玻璃用的铀盐，剩下的残渣就作为废物不要了。这些废物中一定也可提炼出镭来。皮埃尔请维尔纳科学院的著名地质学家绪斯教授向这个矿的经理说情，能否以廉价购买一吨残渣。回音出乎意料的使人兴奋，这位好心的经理决定赠送一吨残渣给这两个“疯子”使用，并答应以后如果还想再要，可以用便宜的价格卖给他们。

玛丽雇了一辆运煤的马车搬运。残渣像小山一样地堆在矿口附近一片松林里。搬运工人把这些废物装进几十个大麻袋里，拉到玛丽在学校的那间小工作室前。残渣运到的那一天，玛丽高兴极了。她立刻解开口袋，双手捧起那些灰褐色的东西，还夹杂着不少松针和泥土。玛丽仿佛看到，镭就在里面。

那么多大麻袋只好卸在露天。得找个地方来进行提炼镭的试验呀！皮埃尔去找理化学校的校长，请求他给一间屋子。校长一向是支持皮埃尔工作的，可是他摊着双手表示：哪儿有空屋子呢？

玛丽原来的小工作室对面有一个院子，院子的一侧有一个小木板屋，原来是大学的医学院当解剖室用的。现在这间屋年久失修，玻璃天窗漏雨，板壁破裂透风，连停放死尸都认为不合适了，很久没有人愿意使用这个破屋子。屋里只有一张会摇动的桌子，一个没有门的柜子，一个铁火炉，一截锈烂了的烟囱。墙上挂了一块小黑板，留有几个粉笔字的残迹。

当皮埃尔向校长提出可否使用那间破木屋时，校长说：“那间破屋子还能用吗？你们觉得能用就用吧！”这一对夫妇已经感到满意了，赶紧向校长致谢，并不断地说：“那就行了，我们自己会去安排的。”

他们立刻在那木屋里忙碌起来，没有什么大型的器械，只有坩埚、烧杯、曲颈甑、大大小小的瓶子，还有两双手。他们把矿石残渣一公斤一公斤地加热、蒸干、结晶。这种工作是在院子里的空地上做的，因为有难闻的气味和烟雾。玛丽身穿粗布衣服，沾满了灰尘和酸渍，手拿一根大铁棍，一连几个小时地搅动着呛人的溶液。她的头发被风吹得飘起来，眼睛和咽喉被烟刺激得红肿。皮埃尔则在木屋里专心做他的试验工作，因为他善于摆弄仪器。

下雨的时候，只好匆匆忙忙地把这些东西搬到木屋里来，把门窗打开，好让那些烟散出去。碰到下雨天，雨水透过天棚一滴一滴地落下来。他们只好用粉笔在地上划出记号，把仪器放在不滴水的地方。冬天，那个铁炉子尽管烧得发红，也只有离炉子很近的地方才感到有些热，稍远一点就如冰窖。

偶尔有一些物理或化学方面的同行来看看镭提炼得怎么样了。理化学校一个实验室工人叫伯弟，出于个人的热心，自愿给他们帮些忙。另一个青年化学家安德烈·德比尔纳对提炼镭很感兴趣，常常到木屋来看他们。

玛丽一锅一锅地提炼着这些谁也不要的东西，一吨残渣用完了，又去运来了许多。一次又一次的蒸浓、结晶，可是所得的非常少。他们当初所作的悲观估计只有含量为百分之一，其实实在是太过于乐观了，看来最多只有百万分之一。这种无休止的奋斗，使皮埃尔产生了暂停这项工作的念头。可是玛丽非常坚决，她把全部体力劳动都承担起来，到了晚上简直筋疲力尽。她独自一个人就是一座工厂，这使皮埃尔大为感动，也下决心干到底。这种枯燥的工作日继以月，月继以年。有一次玛丽对皮埃尔说：“我真想知道，镭会是什么样子？”皮埃尔眯起了眼睛说：“我不知道……不过，我相信它会有很美丽的颜色。”

从宣布镭存在的那天起，时间已过去三年零九个月了。他俩经过漫长的艰苦奋斗，终于从三十多吨残渣里，提炼出 0.1 克的镭，并且测定了它的原子量。人们可以想象，在这漫长的岁月里，有多少个艰苦劳动的白天，有多少个不可名状的焦心期待的黑夜。这需要有钢铁般的意志，还要有坚韧不拔的毅力。

那天晚上九点钟，玛丽坐在她四岁的小女儿的床边，一直等到这小女孩发出了均匀的鼾声。她站起身来，轻轻地走下楼去，手里拿着针线，坐在皮埃尔对面，缝着小女儿的衣服。可是她老是安不下心来，总记挂着刚刚提炼出来的镭。她对皮埃尔说：“我们到那儿去一会好不好？”

皮埃尔的心情和她一样，他们立刻穿上外衣，出了门，挽臂步行。谁也没有说话，默默地穿过街道，进入那个熟悉的院子。皮埃尔把钥匙插入锁孔，听到那扇板门转动时轧轧作响过几千次的声音。

在漆黑的小屋里，一个放在桌上的极小的瓶子里发出闪烁的、淡蓝的荧光。玛丽和皮埃尔没有点灯，她俩坐在木凳上，身体向前倾斜，久久地望着这神秘的微光。那就是人们一再要求他们拿出来看看的，新发现的放射性镭所发出来的。

他们在科学的道路上携手共进，攻克了一道又一道难关，终于在 1902 年从沥青矿渣中提炼出了现代物理化学中最宝贵的放射性元素——镭，从而揭开了原子时代的序幕，成为现代科学史上一项划时代的伟大发现。

居里夫妇的长女伊伦，从呱呱坠地起，她就得到了父母的爱抚。她的妈妈玛丽·居里，既是严谨的学者，又是慈爱、温存的母亲。玛丽即使在工作最忙的时候，也要挤出时间照料孩子。

当伊伦到了入学年龄时，玛丽·居里对她施行了一种不循惯例的教育。她认为小孩子在学校里太累了，儿童正是长身体、长知识的年龄，把她们整天关在空气污浊的教室里，消耗过多的精力是野蛮的。她对孩子教育的原则是：孩子要学得少些，但要学得好些。玛丽这种想法得到了朋友们的支持和

赞赏，一群有才华的学者都把自己的子女聚集在一起，实施这种新的教育方法。

当时包括伊伦在内共有十来个孩子，每天都去听一种课程，由特邀的老师讲授。这种教育方法既使孩子们兴奋，又使孩子们感到有趣。比如，第一天，孩子们听化学课，第二天，又听另一个教师的数学课。他们还学各种语言，自然科学，雕塑和绘画。最令人兴奋的是听玛丽·居里的物理课。

玛丽利用星期四下午给年幼的学生们讲初步的物理知识，她把书本上抽象而枯燥的概念变成了生动而有趣的语言。玛丽还把她对科学的热爱和严格的治学作风都传授给伊伦和其他孩子们。就这样，当伊伦还是一个几乎不会写不会读的孩子时，就接受了母亲和其他学者的教诲。可以说，伊伦从小就受到了第一流的科学教育。

伊伦所受的这种特殊教育一直继续了两年，直到玛丽·居里及其他孩子的父母实在忙得无暇顾及时，她才被送进一所学校。

在那个初春阴冷的日子里，居里的幸福家庭遭受了巨大的不幸。1906年4月19日，当伊伦还不满9周岁时，她的父亲皮埃尔·居里在巴黎街头不幸被马车辗死了。深深的悲痛笼罩着居里全家。玛丽失去了志同道合的亲密伴侣，伊伦和妹妹失去了敬爱的父亲。

皮埃尔的去世，把居里一家的生活秩序完全打乱了，玛丽被这突如其来的不幸压倒了。今后怎么办？她想起皮埃尔生前的一句话：“无论发生什么事情，一个人也得照常工作。”丈夫的嘱咐为她指出了继续奋斗的方向。

年幼的伊伦是个懂事的孩子，她常常依偎在妈妈的怀抱里，安慰悲伤的母亲。父亲的不幸去世给小伊伦留下的印象太深了，她唯恐母亲再发生什么不幸。她常跟随母亲去实验室，依伴在母亲的身旁。也正是在这里，伊伦渐渐对物理及化学实验发生了浓厚的兴趣。

伊伦的另一位良师是她的祖父居里大夫。在皮埃尔不幸去世的那年，已经79岁高龄的居里大夫决定留在儿媳和孩子们中间，用他的爱使失去亲人的玛丽平静下来。他总是竭力让这个失去欢乐的家庭气氛活跃，而不愿作无益的悔恨。老人确实使这个家庭重新获得了欢乐。

若是没有这位祖父，伊伦和她的妹妹一定会感到十分悲哀和寂寞。老人非常喜欢酷似儿子的小伊伦。他教伊伦读博物学和植物学，还把他对于作家雨果的热爱也传给了她。他用各种方式启发她的智力。

伊伦有一种反对教权、同情贫苦人的品德，正是来源于她的祖父。

约里奥是同伊伦一起在实验室里工作的同事。玛丽·居里虽然失去了忠实的伴侣皮埃尔，而现在又有了两个助手。

伊伦与约里奥结婚后在生活 and 工作中相敬相助。1934年，他们用阿尔法粒子轰击铅、硼、镁，也就是通过核反应的方法，由人工制造出放射性同位素，从而首次产生了人工放射性物质。

1939年，差不多在同一个时期里，约里奥·居里、费米、西拉德、玻尔

等分别完成了铀链式反应的实验。共同为原子能的释放作出了贡献。

伊伦与约里奥培养了不少优秀的科学家，中国的钱三强，即发现铀三分裂的核科学家，中国放射化学家杨承宗等都是他们的学生。

约里奥·居里还是著名的国际和平战士。1951年，夫妇俩得知杨承宗准备离开法国回国参加建设，特地约见杨，对他说，你回国后，请转告毛泽东主席，你们要反对原子弹，你们必须要有原子弹。原子弹也不是那么可怕的。原子弹的原理也不是美国人发明的。约里奥·居里夫人还将亲手制作的10克含微量镭盐的标准源送给杨承宗，作为对中国人民开展核科学研究的一种支持。

第八节 原子有核及质子中子的发现

有“核子科学之父”尊称的卢瑟福，终生从事原子结构和放射性的研究。卢瑟福幼年时期是个普普通通的孩子，由于家境贫寒，他不得不和哥哥姐姐们一起，经常帮助父亲去农场干活，或到牛棚里帮母亲挤牛奶。

传记作家在描绘卢瑟福时说：“也许除了他那惊人的自制力以外，在其他任何方面，卢瑟福都谈不上还有什么特别出众之处。”

1889年，当卢瑟福18岁时，他那惊人的自制力给他带来了第一次奖赏和报酬。他所在的中学校长鼓励他参加初级大学奖学金的考试，如果考上了，他就可以进入新西兰大学的坎特伯雷学院继续深造。虽然他对考试的结果没有半点把握，但他最后还是同意去试一试。正象许多聪明的孩子一样，他总是过低地估计自己的才能。

奖学金考试结果揭晓了，当他的母亲急急忙忙地赶来告诉他时，卢瑟福正在菜园里挖马铃薯。

“卢瑟福，你考上了！”母亲兴奋地大声嚷道。

“考上了什么？”他一时弄不清母亲指的是什么。当他突然明白母亲的话时，用力甩掉了手中的铁锹，缓慢而平静地说：“这也许就是我要挖的最后一颗马铃薯吧！”

这次奖学金的获得是卢瑟福未来登上科学高峰的起点。卢瑟福后来自己常说：要不是在乡村里获得奖学金，使我进入纳尔逊学院，我可能会成为一个农民，而我那特殊的才能也将永无用武之地了。

从此，在科学道路上，卢瑟福勇往直前，顽强进取，有人在他实验室大门的右端，雕刻着一条鳄鱼，因为鳄鱼是一种从不向后看的动物，它象征着卢瑟福在事业上执著追求的刚强性格。他取得了成功后，家乡的父老说：“乡下小孩发了迹。”

卢瑟福不是个古怪人物，他体魄健壮，很象农民，他总是谦虚地同实验室里的朋友和同事一起讨论问题，甚至做“讲夸张故事”的比赛。由于和谐相处，坦诚相见，所以卢瑟福实验室的研究工作，很有成绩。

古代哲学家认为，原子是不可分割的最小物质单元，后来人们又得悉原子内有电子存在。但是，原子学说对此始终无法解答，更不能证明是否有单个原子存在。卢瑟福迈出了决定性的一步。

1899 年，卢瑟福发现了镭的两种辐射。

第一种辐射，不能贯穿比 1/50 毫米更厚的铝片，但能产生显著的电效应。

第二种辐射，能贯穿约半米厚的铝片，然后强度减少一半，并且能穿过包装纸使照相底片感光。卢瑟福把前者命名为 α （阿尔法）射线，后者命名为 β （贝塔）射线。

卢瑟福的这些发现以及后来在测定 α 射线的性质等方面的工作，大大地推进了贝克勒耳开始的关于放射性的研究。

1911 年，卢瑟福完成了闻名的 α 粒子散射实验，证实了原子核的存在，建立了原子的核模型。

人们对原子模型曾作过各种各样的猜测。卢瑟福的老师汤姆生提出：球形的原子内部均匀地分布着阳电荷，带阴电的电子夹杂其中。这个原子模型在科学史上被称为“西瓜模型”，因为它像一个西瓜：整个西瓜分布着阳电荷，而瓜籽带阴电荷，所以对整个“西瓜”——原子而言——显现中性。

按照“西瓜模型”，如果用 α 粒子轰击原子， α 粒子会很容易地穿过这个原子，而不至于发生 α 粒子的散射现象。然而，卢瑟福和他的学生们做了多次的实验，表明汤姆生的结论不符合事实。

当卢瑟福以高能量的 α 粒子流来轰击金属箔时，发现了一种奇妙的现象：大多数 α 粒子穿过金属箔后依然沿直线前进，但有少数 α 粒子偏离了原来的运动方向，还有个别的 α 粒子被弹射回来，即和原来的入射方向恰好相反。这种偏离现象称为 α 粒子的散射。那些少数的不依原来的入射方向前进的 α 粒子的行为，好比一个弹球打在一块硬石上，弹球被反射回来或被弹到别处一样。

同学们玩玻璃球时，会有这样的体验：玻璃球打到玻璃球，其中之一一定会弹射到别的地方去，而玻璃球打到小砂粒上，决不会弹射回来，因为玻璃球比砂粒大的多。同样，由于 α 粒子的质量要比电子的约大 7000 ~ 8000 倍，因此，电子是不可能将 α 粒子弹回的。

卢瑟福作了在各种金属薄膜下的 α 粒子流的散射实验，计数了在不同方向上散射的粒子数。通过实验、观察和计算，一副崭新的原子图就出现在他的面前：原子具有很小的、坚硬的、很重的并且带正电的中心核。卢瑟福把这个核称之为“原子核”。

卢瑟福假定，环绕着核的大量电子是在电磁引力作用下旋转的。看起来，它多少类似于环绕着太阳运转、并以万有引力维系着运动轨道的行星系。因此，后来有人把卢瑟福的原子模型称为“小太阳系”。

原子具有核的结构这一物理学思想，对于当时的物理学家和化学家都是

一个巨大的震动。核模型的建立对原子物理学的发展起了重大作用。虽然今天对原子结构已有更精确的认识，但人们还经常用这种模型作为原子结构的直观的粗线图，也就是我们在各种杂志报纸、宣传画上常常可以看到的作为科学技术象征的原子图像。因此，科学家们称卢瑟福是“近代原子物理学的真正奠基者”。

自从发现放射性物质以后，人们总是在考虑以人工的方法使自然界中一些元素的原子核转变为另一元素的原子核。第一个实现这种思想的又正是卢瑟福。他在 1919 年用实验表明了这一点。

卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核，会从它里面打出一粒碎屑，这粒碎屑在涂着硫化锌的荧光屏上发出闪光。后来，科学家们又成功地把这种“星球相撞事件”拍摄成了立体照片。

研究了碎屑之后，知道氮原子核并吞了 α 粒子，变成了氢原子核（质子）和原子量不是 16 而是 17 的氧原子核，普通氧原子的原子量是 16。

于是，人们把一种元素转变成另外一种元素的研究初次成功了。

炼金家徒劳了多少世纪，妄想找到把铅和铜变成黄金的“哲人石”。要达到这个目的，那些炼金家不仅仅是知识不够，而且手里也没有这种能够打破原子的工具和能量。

在炼金家炉子的烈焰里，原子核始终没有变化。即使现代的那种温度高达几千度的电炉也未必能够破坏它。

可是现代炼金家——核科学家终于学会了转变元素。

卢瑟福以 α 粒子轰击氮核后，元素氮转变为氧的同位素氧-17，并放出一个质子。卢瑟福和查德威克还测量了质子的射程，他们发现从硼到钾的所有轻元素中，除碳和氧以外，都可以，用 α 粒子轰击使它们产生嬗变并放出质子。此外，卢瑟福还曾预言中子和正电子的存在。从卢瑟福关于原子核的种种研究和发现，实际为原子能的利用起了先导作用。

卢瑟福否定了“原子是不可再分的”，“电是一种连续的、均匀的液体”，“原子永恒不变”的学说。他正确地指出：“看来很清楚，在如此微小的距离内，带电粒子间的普通的力学定律显然已经破产了。”既认定旧定律不适用于新领域，就需要努力探索新领域的新规律。

卢瑟福坚信自己的信念“是建筑在坚固的事实的岩石之上的”。

卢瑟福在 1920 年的一次演讲中，有一个极为出色的预言，认为在原子的某个地方，可能存在着一个尚未被察觉到的中性粒子，而一经发现这种中性粒子，很可能比 α 粒子的用途要大得多，“它能自由地穿过物体，但却不能把它控制在一个密封的容器中。”

卢瑟福所预言的这种粒子就是后来所说的中子，它是 12 年后，查德威克在卡文迪许实验室里发现的。这是在原子能利用的历史上具有重大意义的事件。

又过了六年多，哈恩用中子使铀核发生了裂变。紧接着，玻尔、费米、

约里奥、西拉德等分别实现了由中子引起的铀裂变的链式反应，从而为原子能的释放及利用找到了实施的途径。

卢瑟福在原子科学中的贡献，总结起来有下列几个方面：

提出假设，原子内部存在着一个质量大、体积小、带正电荷的部分——原子核。

原子内部的结构像行星系一样，有一个处于原子中心的原子核，若干个绕核运转的电子。核带正电，电子带负电，核正电量与电子总负电量相等，所以原子显中性。

核和电子较原子小得多，如果把原子的直径放大到北京人民大会堂一般大，那么核或者电子也不过黄豆一样大，由此可以想象到原子内部是何等的空旷啊！

核的质量较电子的大得多。核的质量可以是一个氧单位的一倍到二、三百倍，而电子的质量约是一个氧单位的 $1/1840$ ，所以可以认为，原子的质量主要集中在它的核上。（一个氧单位是氧原子质量的 $1/16$ ）

发现质子。卢瑟福考虑到电子是原子中带负电的粒子，而原子是中性的，那么原子核必然是由带正电的粒子组成的。这粒子的特征是怎样的呢？他又想到氢原子是最轻的原子，那么氢原子核也许就是组成一切原子核的最小微粒，它带 1 个单位正电荷，质量是 1 个氧单位。卢瑟福把它叫做“质子”。这就是卢瑟福的质子假说。1919 年，卢瑟福本人用速度是 20000 公里/秒的“子弹”—— α 粒子去轰击氮、氟、钾等元素的原子核，结果都发现有一种微粒产生，电量是 1，质量是 1，这样的微粒就是质子，这就证明了卢瑟福自己的质子假说是正确的。

预言中子。卢瑟福考虑到原子核如果完全由质子组成，那么某种元素的原子核所带的正电荷，在数值上一定等于那种元素的原子量，因为元素的原子量，主要是原子核决定的，核外电子的质量是微不足道的。但是事实并不是这样，元素的原子量总是比它的核所带的正电荷数大一倍或一倍以上，这说明原子核里除了质子之外，必然还有一种质量和质子相仿，但却不带电的粒子存在。所以在 1920 年，他提出了中子假说：原子核里存在一种“中子”微粒，它不带电，质量是一个氧单位。

但是，直到 12 年以后的 1932 年，英国物理学家查德威克才在卡文迪许实验室里发现了中子。这时卢瑟福已接替卡文迪许实验室退休的汤姆生的职务。

这个发现要追溯到德国和法国物理学家们的研究工作。

1930 年，德国物理学家博特和贝克尔利用钋发射的 α 粒子去轰击铍、硼和其它轻元素时，他们用尖端式盖革计数管（一种对 γ 即伽玛射线灵敏的探测器）探测到了有一种穿透力异常大的射线产生。法国物理学家约里奥·居里夫妇，利用一个强得多的钋源进一步研究了受到 α 粒子射击后的铍的辐射现象。他们把铍发射出来的射线解释为“ γ 射线”，把从含氧物质中打出的

质子解释成“ γ 射线在氢核上的”“散射”了。由于他们没有足够地重视理论，这就使他们错过了完成一项重大发现的机会。他们误认为是“ γ 射线”的，正是人们长期寻找的中子流，并不是 γ 射线。他们走到了“中子”的门口，而没有发现它。

1932年，海峡对岸的英国物理学家查德威克，对此进行了反复试验，每次他都得到了相同的结果。他进一步察觉这些射线像 γ 射线和X射线一样不会被磁偏折，可见是中性的。然而，这种射线的运动速度却与之大不相同，只为光速的 $1/10$ ，比起几乎以光速前进的 γ 射线来说，简直太慢了。

查德威克继续研究这些射线，发现当这种射线被笔直地引向氮气时，偶尔会有个别以极大的力量打进氮原子。如果是 γ 射线，则没有这种现象发生。查德威克对这种新射线进行了多次试验和能量测量，发现在不同情况下，新射线的能量也不同。他想，这种新射线显然与 γ 射线不相同，它是由粒子组成的。为了确定粒子的大小，他用这种粒子轰击硼，并从新产生的原子核所增加的质量来计算加到硼中去的这种粒子的质量，结果算出新粒子的质量与质子大致相等。查德威克在卢瑟福的领导下，长期从事寻找中子的研究，理论思维帮助了他从现象中抓到本质，终于悟出：这种新射线正是长期寻找的中子流。这样，他惊人地发现了人们预言的中子。

这是科学预言的又一个胜利。

至此，人们在探索原子秘密的道路上，又前进了一大步。所以，中子的发现被誉为原子科学发展的第二个重大发现。（第一个重大发现是放射性现象的发现）

接着，在这个发现的启示下，苏联的伊凡宁柯和德国的海森堡先后提出了原子核是由质子和中子组成的模型，（质子和中子统称为核子）使长期存在的原子核结构问题得到了初步解决。

卢瑟福向人们报告了用 α 粒子轰击镁、铝等轻金属的原子核所发生的变化。因此在新闻界曾不止一次地为卢瑟福及其助手们在进行的原子转变工作欢呼、喝彩，称他们为现代可以点铁成金的“炼金术士”。他们经常提出这样的问题——可不可说，现代炼金术士所做的工作要比古代的炼金术士所曾梦寐以求的理想更为神奇、美妙呢？是否真能很快地“制造”出金子来呢？

卢瑟福为此发表了公开声明，严正地驳斥了这种过于天真的臆测：“把一种金属变为另一种金属并不是不可能的。不过，至少在相当长的一段时间里，企图使之商品化的可能性是不存在的。”

不论在什么情况下，卢瑟福同科学界绝大多数学者一样，对自己所从事的科学工作的商业利益毫无兴趣，他们只对扩展知识领域有兴趣，他们的目的并不在于把廉价的金属转变为昂贵的金属，而是为了探索元素之间相互转变的可能性。

这是卢瑟福他们的局限性，是一种错误的观念。

更令人感到惋惜的是，卢瑟福对原子的研究虽然得到了那么突出的成果，但他对于原子能量的开发利用却抱着一种悲观的态度，1933年9月，他在不列颠协会的演说中声称：

“通过这些方法，我们可能获得比目前提供的质子高得多的能量，但一般说来，我们不能指望通过这种途径来取得能量。这种生产能的方法是极端可怜的，效率也是极低的。把原子嬗变看成是一种动力来源，只不过是纸上谈兵而已。”“我们可能永远做不到这一点。”其实，通过原子核的变化取得能量不仅是可能的，而且由此取得的原子能非常巨大，应用非常广泛，我们将在第二、三篇中专门叙述。

这是卢瑟福在他一幅风顺的科学生涯中走错了几乎是仅有的一步。这次会上，与会者中的大多数人感到他对将来利用原子能的可能性，未免过于悲观了。

不仅卢瑟福在认识上有错误，当时对于原子核内蕴藏的能量能否实际应用，开始并没有引起普遍注意。甚至到了1938年哈恩发现铀核裂变时，核物理学家玻尔也还认为，核裂变反应的实际应用是不可能的。连哈恩自己，当他同几个要好的同事辩论他的发明的实用性问题时，对核能的应用还大叫：“无疑，这是违反上帝意志的！”

其实，科学家们不仅实现了古代炼金术士的梦想，他们用原子核轰击产生的新元素比金子更宝贵、更有价值。1942年，当科学家们在历史上首次实现了核裂变的自持链式反应，并控制住它的时候，表明原子能不仅可以为人类所利用，而且力量惊人。

第九节 点燃原子能的火种

在用中子轰击各种元素的原子核时，人们不但发现用中子能实现许多核反应，创造出多种放射性元素（称同位素），同时还发现：中子竟是一把打开原子能宝库的钥匙。

1938年，当第二次世界大战的阴影已经笼罩欧洲上空的时候，人类科学技术史上完成了一项重大发现——铀核裂变现象的发现。从此，原子科学又翻开了新的一页，原子科学的历史从原子核物理研究进入到原子能技术革命的崭新阶段。

这项重大发现的序幕早在几年以前就已揭开。1934年，当约里奥·居里夫妇发现人工放射性元素的消息传出后，意大利罗马大学的一些青年物理学家，在年轻的费米的领导下，决定做类似的实验。他们已经不用 α 粒子做炮弹，而是用刚刚发现不久的中子做炮弹来轰击原子核。

在用中子轰击周期表中许多元素的原子核试验中，最初都象他们所预想的那样，许多元素的原子核都吸收了一个中子。原子核吸收一个中子后，就失去了稳定状态，而放出 β 射线（电子流），原子核放出电子后，变成了周

期表中下一位置的元素的原子核。既然一种元素的原子核吸收一个中子会衰变为周期表中的下一个元素的原子核,那么当使周期表中的最后一个元素(原子序数为 92 的铀)的原子核吸收一个中子时,会产生什么现象呢?他们设想,可能产生新的、人们还不知道的超铀元素(即铀后面的新元素,也叫铀后元素)。

费米等人对这个令人感兴趣的问题进行了试验。他们用中子轰击铀,企图得到原子序数为 93、94 的人造元素,可是所获得的都是一些令人迷惑、无法精确分析的放射性物质。其实,这些物质,后来查明,已经蕴藏着新的重大发现。而费米等人则认为自己已经创造出了原子序数为 93 的超铀元素。由于未能测出这个核反应的生成物,所以失之交臂地错过了发现铀核裂变重大秘密的机会。

这里失误的主要原因是:在当时这些物理学家们中间,没有熟悉必要的化学分析的人,以至使这一重大发现推迟了五年。如果当时能组织多专业攻关,突破难点,可能会很快就搞清楚这一问题。

与此同时,德国柏林凯撒·威廉研究所的放射化学家哈恩和斯特拉斯曼,以及法国的伊伦·居里和约里奥·居里都对这一问题做了很多试验。但是,由于他们都按着过去已知的核反应规律推断:“元素受到中子的轰击后,生成原子序数增加一的新元素”,得出了一些错误的结论,也都认为自己发现了 93、94、95 号等超铀元素,并分别命名为所谓“类镧”、“类钍”、“类铀”等等,即表示是那一类的元素。后来,哈恩和斯特拉斯曼发现,当把钡加到被轰击过的铀中时,它能带出一些放射性。他们认为,这些放射性应该是镭的,因为镭在元素周期表中正好列在钡的下面。于是,他们认为,铀被中子轰击后,似乎有一部分变成了“镭”。但他们尽了最大努力,这种“镭”还是不能从钡里分离出来。

在世界上许多实验室中,都进行了类似的实验。这些实验都得到了大致相同的看法,并受到了普遍的赞扬。但德国年轻的诺达克夫妇却不以为然。他们当时在布列斯高的弗莱堡大学物理化学学院工作。他们对此提出了完全不同的看法,对费米的“超铀元素”做出了否定的结论,认为这位意大利物理学家的实验在化学分析方面没有提出令人信服的论据。也是在 1934 年,诺达尔夫妇提出了一个大胆的假定,“铀原子核在中子的作用下发生了裂变反应,这个反应与到目前为止发现的原子核反应有很大的区别。似乎在用中子轰击重原子核时,原子核分裂成几个碎片是可能的,而且毫无疑问,这些碎片应该是已知元素的同位素,但不是被轰击元素的相邻元素。”

上述后来得到了证实的极其有价值的假定,当时并没有引起那些权威人士的重视,更没有得到承认。费米得知这种批评性意见之后,并没有认真地考虑,重新研究自己的结论。他按着过去的知识,简单地认为,能量这么低的中子会击破那些坚固的原子核简直是不可能的,也是不可思议的。当他听到世界公认的放射化学权威哈恩也同意自己的看法时,就更加相信自己的正

确。所以，费米再一次失去了完成一项重大发现的机会。这是很有才能的费米在科学研究生涯中的一个很大的失误。

费米本来是一个非常细致、一丝不苟的人。他的同事们给他起了一个外号，经常称呼他“教皇”，意思是说，他总是正确的。但毕竟一贯正确的人是没有的。费米确实比别人细心、冷静。他在自己家里安装“风斗”时，也要计算一下“通风量”，然后决定尺寸大小，结果发现还是算错了，通风量差了一倍。不犯错误的人是没有的。

在进一步的实验研究中，实验事实更有力地冲击了费米等人的错误论断。

1938年，伊伦·居里和沙维奇，从铀的被轰击的产物中发现了一种新的放射性元素，他的化学性质和镭完全相同（后来证明是周期表中的57号元素镧-141）。伊伦·居里发表了他们的成果论文。但是他们并没有弄清楚镭是从何而来。

可是，偏见使哈恩甚至连人家发表的论文也不屑一读。斯特拉斯曼读完这篇论文，马上意识到居里实验室揭示了核反应的一个新问题，这与过去已知的核反应完全不同。他连忙跑到哈恩面前叫道：“你一定要读这篇报道！”哈恩仍然漫不经心，不愿阅读。于是，斯特拉斯曼便向哈恩叙述了文章的精华。这个如同惊雷的消息使得哈恩连那根雪茄烟也没有吸完，把还燃着的烟丢在办公桌上就同斯特拉斯曼跑到实验室里去了。

于是，一连几天甚至几个星期哈恩和斯特拉斯曼在实验室里，重复着用中子射击铀原子核的核反应试验。他们经过精密的分析终于也发现，获得的核反应生成物并不是和铀靠近的元素，而是和铀相隔很远，而且原子核比铀要轻得多的钡。这是他们过去万万没有想到的。他们对此感到莫名其妙，无法解释。这本来是一个奇迹，可是这些创造了奇迹的人，当时谁也不知道自己已经创造了奇迹。

哈恩和斯特拉斯曼对于自己的发现，思想上一直处于矛盾之中。他们是化学家，有熟练的化学分析技巧，因此对于这种核反应所产生的生成物深信不疑。但另一方面，从过去的物理学观点来看，又感到似乎不大可能。用中子射击元素周期表上最后一个元素，怎么会产生元素周期表上中间位置的一种元素呢？距离太远了。能把这个结果在众多的原子核物理学家面前公诸于世吗？会不会因此得到取笑而有损于自己的荣誉呢？于是，他们以很谨慎的措施，作了下列结论：“我们的‘放射性’同位素具有钡的特性，作为研究化学的人，我们应当肯定，这个物质不是镭，而是钡。毫无疑问，在这里不能假定它除了镭或钡以外，还会是别的什么元素……然而，作为研究核物理的人，我们不能做出这样的论断，因为这样的论断与核物理过去的实验是相矛盾的。”

他们感到这是一个事实，而且是一个很重要的事实，有必要把这个新发现尽快宣布出去。这样客观地报道一下，又不下任何结论，也许会好些。于

是在圣诞节的前夕，哈恩采取了紧急措施，打电话给他的朋友——“斯普林格”出版社的经理保罗·罗兹保德博士；请求他在最近一期《自然科学》杂志上留一栏，以便发表一个非常紧急的消息。罗兹保德同意了。于是，这篇注明1938年12月22日的报道文章就被送到了邮局。文章送走以后，哈恩又感到有些犹豫不决，甚至想把文章从邮箱里取回来。经再三考虑之后，于是哈恩又给奥地利女物理学家梅特纳（犹太人）寄了一份论文。因为梅特纳与哈恩曾共事30年，他对自己过去的这位助手非常信任，而梅特纳对他的著作一向铁面无私，批评严厉。大约在五个月以前，她因“第三帝国”的种族法令，不得不逃避希特勒法西斯政权对犹太人的迫害，而迁居到瑞典。

梅特纳在哥德堡附近的海淀公寓接到了哈恩的来信。她当时来到这里，要度过她流亡中的第一个圣诞节。她有一个年轻的侄子弗瑞士，是从1934年流亡国外在丹麦哥本哈根尼尔斯·玻尔的研究所里工作。这时，弗瑞士正来看望孤独的姑母。梅特纳接到信后很激动。她深知哈恩工作的准确性，很难怀疑他们的化学分析结果。她感到，如果这的确是事实，那么，这个重大的事实就可以推翻到目前为止在核物理方面那些被认为是反驳不了的概念。

梅特纳的思绪纷纭，难以安静。幸好弗瑞士正在她的身边。但弗瑞士总想避免与姑母讨论科学问题，为的是能轻松地度过这个节日的假期。当他们在有着一种寂静风光的小镇周围滑雪的时候，弗瑞士扣紧了滑雪板，想很快地跑到姑母跑不到的地方去。可是梅特纳却总是紧跟在他的身边，对这个学术问题唠唠叨叨地讲个没完。姑母的话终于引起了他的注意，激起了他的思考。

一连几天，他们进行了热烈的讨论。最后，他们经过了仔细的考虑以后，接受了玻尔最近设想的原子核“液滴”模型（这是当时物理学家在探讨原子核模型时的许多设想之一）。这就是说，设想原子核象一滴水，当外来的中子闯进这个“液滴”时，“液滴”会发生剧烈的震荡。它开始变成椭圆形，然后变成哑铃形，最后分裂为两半。不过，这个过程的速度快得惊人。

梅特纳和弗瑞士决定将他们两人讨论的结果，合作为一篇论文。当时，在哥本哈根，有一位弗瑞士的朋友，他叫阿诺德，是美国生物学家。他了解到梅特纳和弗瑞士正在研讨的新问题以后，很感兴趣。他说，根据你们所形容的，原子核就像一滴液滴，它被中子击中以后，就分裂成为两个原子核，这种情形，多么象我在显微镜下面看到的细胞繁殖时的分裂现象啊！想不到原子核也会分裂，大自然的结构是多么的相似，又是多么微妙啊！

梅特纳和弗瑞士听了阿诺德的一番议论，很受启发，他们正在寻找一个合适的名词，来表示原子核被打破而分裂的现象，现在他们认为，就用细胞分裂的“分裂”（在英文中，原子核的“裂变”和细胞“分裂”，两个名词都叫 *division*。）这个名词，来表示原子分裂，把它称做“核裂变”，或“原子分裂”。

梅特纳认为：“由此可以看出，这似乎是可能的，铀原子核在结构上仅

具有很小的稳定性，在俘获中子以后，它可以将自身分裂为两个体积大致相等的核。这两个核将相互排斥（因为它们都带有巨大的正电荷），并且能获得总共约为两亿电子伏特的能量”。

至于弗瑞士，他后来描写当时的情况说：“我们逐渐清楚了，铀原子核破裂成两个几乎相等的部分……可以说是完全按照一定的形式发生的。情况是这样的……原始的铀原子核逐渐变形，中部变窄，最后分裂成两半。”这种情况与生物学上细胞繁殖的分裂过程非常相似，这使我们有理由把这种现象在自己的第一篇报告中称为‘核分裂’。”

梅特纳对此很感兴趣。后来，她用数学方法分析了实验结果。她推想钡和其它元素就是铀原子核的分裂而产生的。但当她把这类元素的原子量相加起来时，发现其和并不等于铀的原子量，而是小于铀的原子量。

对于这种现象，唯一的解释是：在核反应过程中，发生了质量亏损。怎么去解释所发生的亏损现象呢？梅特纳认为，这个质量亏损的数值正相当于反应所放出的能。于是她又根据爱因斯坦的质能关系式算出了每个铀原子核裂变时会放出的能量。

当弗瑞士从瑞典返回哥本哈根以后，把哈恩的研究工作以及自己与姑母的讨论情况，向玻尔谈了。玻尔听完以后，猛敲自己的前额，大声说道：“啊！我们为什么这么久都没有发现呢？”

弗瑞士赶回实验室去证实他和姑母在瑞典所作的设想。他也用中子轰击铀，每当中子击中铀核时，他观察到了那异常巨大的能量几乎把测量仪表指针逼到刻度盘以外。这样他就完全证实了这个新的观点。

后来，弗瑞士与姑母梅特纳通了长途电话，这时她已经从哥德堡到了斯德哥尔摩，电话中商量好了他们的公报。这份公报终于在1939年2月的《自然》杂志上发表了。

铀核裂变为两个碎片（两个新的原子核）的消息立即传遍了全世界。紧接着各国科学家们都证实：铀核确实是分裂了。

铀核分裂产生的这个能量，比相同质量的化学反应放出的能量大几百万倍以上！就这样，人们发现了“原子的火花”，一种新形式的能量。这个能量就是原子核裂变能，也称核能，或原子能。但当时，人们只注意到了释放出惊人的能量，却忽略了释放中子的问题。稍后，哈恩、约里奥·居里及其同事哈尔班等人又发现了更重要的一点，也是最引人注目的一点，就是：在铀核裂变释放出巨大能量的同时，还放出两、三个中子来。

这是又一项惊人的发现。为什么呢？

一个中子打碎一个铀核，产生能量，放出两个中子来；这两个中子又打中另外两个铀核，产生两倍的能量，再放出四个中子来，这四个中子又打中邻近的四个铀核，产生四倍的能量，再放出八个中子来……。以此类推，这样的链式反应，也就是一环扣一环的反应，又称连锁反应，持续下去，宛如雪崩，山顶上一团雪滚下来，这团雪带动了其它雪，其它的雪再带动另一块

雪，这样连续下去，愈滚愈烈，瞬间就会形成大雪球，滚下山坡，势不可挡。这意味着：极其微小的中子，将有能力释放沉睡在大自然界中几十亿年的物质巨人。

正是由于这一发现，卢瑟福和同他持同样观点的人认为开发利用原子能量的设想是不可能的结论，终于被一种新的科学手段所动摇，并且最后被彻底摧毁了。

1944 年，哈恩因为发现了“重核裂变反应”，荣获该年度的诺贝尔化学奖。但是，在这一研究中曾经与其合作并作出过重大贡献的梅特纳和斯特拉斯曼却没有获此殊荣，对此，人们不免感到遗憾。特别是对梅特纳而言，是她首先创造性的采用了“原子分裂”这个科学史上从来没有过的名词，难道仅仅因为她是一位女科学家就可以“忽略不计”吗！对此，一直到 20 世纪的 90 年代，仍然有人为她和有同样命运的女科学家们感到不平。

不过，尚呵欣慰的是，1966 年，梅特纳博士和哈恩博士，还有斯特拉斯曼博士共同获得瑞典原子能委员会颁发的 5 万美元的“恩里科·费米奖”。那时的梅特纳已有 80 高龄，身体很虚弱，不能到维也纳去领奖，是原子能委员会主席西博格博士亲自到英国剑桥向她授奖的。这对梅特纳博士来说，当是极大的荣誉，也是莫大的欣慰。

说到“费米奖”，让我们再回过头来说说费米在 1934 年时，用中子去轰击铀核，得到新的放射性元素，于是就宣布自己创造了原子序数为 93 的超铀元素。其实那时他已经用实验完成了原子的裂变，可惜他没能认识到，以至这一发现原子裂变的荣誉被哈恩、梅特纳和斯特拉斯曼等博士所获得。

当发现原子的裂变越来越受到科学界的重视时，费米夫人曾经不无惋惜地对费米说：“其实，你在 1934 年所做的那个实验，就完成了原子的分裂。”

费米说：“是的。”

夫人又说：“但是你们没有认出来，而且作了错误的解释。”

费米说：“事情正是这样，我们当时没有足够的想象力来设想铀会发生一种与任何其他元素都不一样的转变过程；我们当时试图把放射性产物证明为元素周期表中那些最靠近铀的元素。况且，我们也没有足够的化学知识去一个一个地分离铀原子核受到轰击以后生产的转变产物。”

夫人又问：“你们曾经宣布已经创造出来的第 93 号超铀元素呢？”

费米说：“我们当时认为可能是第 93 号元素的东西，已被证实是各种转变产物的混合物。我们曾经对此怀疑了很长的时间，现在可以确定它其实并不是了。”

费米真不愧是一位有气度有远见的核科学家，他对自己的失误的剖析，说得是多么坦然和深刻。而且，他很快就放弃了自己的失误，也不为失误感到沮丧，他立即全力以赴地去研究原子裂变，并且对裂变提出了一系列理论，他发现，铀核被分裂为二时，可以放出两个中子，这两个中子再去击中两个铀原子核，它被分裂为四，同时放出四个中子……，由此类推，原子的裂变

就会这样自发地持续下去，产生一连串的原子分裂，同时不断放出能量。

原子裂变自持链式反应的概念就是这样提出来的，它是利用原子裂变产生能量的重要理论基础。

第十节 原子能威力的源泉

爱因斯坦早在 1905 年发表狭义相对论的原始论文，作为相对论的一个推论，他又提出了质能关系。这种关系的发展，对解释原子能释放有重大意义。

在知道原子能以前，只知道世界上有机械能，如汽车运动的动能；有化学能，如燃烧酒精放出热能转变为二氧化碳气体和水；有电能，当电流通过电炉丝以后，会发出热和光，等。这些能量的释放，都不会改变物质的质量，只会改变能量的形式。

例如，两辆完全相同的汽车，都是 5 吨，一辆在运动，一辆是静止的，运动的车虽然有动能，但其质量与静止的车是完全一样的，不会因为运动而发生变化；如果运动的车一旦与静止的车发生碰撞，猛然停止时，动能虽然失去了，可我们发现，汽车在相撞处变得很热。这是什么原因呢？汽车的动能转变成了撞击点金属的热能，而汽车的质量仍然没有改变，还是 5 吨。这是用我们的常识可以理解的。

但爱因斯坦发现质能关系以后，他的理论是，质量也可以转变为能量，而且这种转变的能量非常巨大。

例如，原子能比化学反应中释放的热能要大将近 5 千万倍：铀核裂变的这种原子能释放形式约为 200,000,000 电子伏特（一种能量单位），而碳的燃烧这种化学反应能量仅放出 4.1 电子伏特。原子能是怎样产生的呢？前面已经提到，铀核裂变以后产生碎片，我们发现，所有这些碎片质量加起来少于裂变以前的铀核，那么，少掉的质量到哪里去

了，就是因为转变成了原子能。数学上用 $E = mc^2$ 的公式来表示，即：能量等于质量乘以光速的平方。由于光速是个很大的数字（ $C=30,000,000,000$ 厘米/秒），所以质量转变为能量后会是个非常巨大的数量。爱因斯坦的理论超出了人们的常识范围，这正是他的过人之处。

爱因斯坦的这个质能关系正确地解释了原子能的来源，奠定了原子能理论的基础。

由于铀链式反应在中子的作用下实验成功，预示着利用原子能可以制造出威力巨大的新型炸弹。当时正进行着第二次世界大战，流亡在美国的欧洲科学家如西拉德、费米等人，听到法西斯德国有可能在从事原子弹方面研究的谣传，强烈感到美国政府有必要加强这方面的工作，争取主动。

于是，西拉德等找到了爱因斯坦以及进出白宫的总统经济顾问萨克斯，讨论了这个问题，决定由西拉德和萨克斯共同起草一封信，请爱因斯坦签名，用他的名义呈交美国总统罗斯福，要求研制原子弹，用来对付法西斯德国。

在这里，我们需要简单地回顾一下爱因斯坦对法西斯的态度。

爱因斯坦在当时被称为“物理学之父”，在世界上享有崇高的威望，在美国也是家喻户晓，几乎连孩子都知道。爱因斯坦是一位热爱和平、充满博爱精神的科学家，面对希特勒在欧洲的疯狂屠杀，他义愤填膺。

爱因斯坦敏慧的探索和深思熟虑的推敲和他所建树的理论物理体系使物理学度过了重重危机，产生了革命性的变革。爱因斯坦在当代科学上的辉煌成就可以说是无与伦比，举世公认。同时，他又是一位卓越的政治活动家。爱因斯坦把人生的价值看得高于一切，认定人的尊严神圣不可侵犯。还在第一次世界大战初期，爱因斯坦就呼吁建立一个使战争成为不可能的国际组织。

但是，到了 1933 年，形势发生了根本的变化，迫使爱因斯坦改变了自己的主张。这年，纳粹在德国篡夺了政权，掀起了排犹运动，作为犹太人的爱因斯坦受到了迫害，他应美国人的再三邀请，移居美国，后来于 1940 年又加入美国国籍。人们预言，“物理学之父迁到美国”，必将给美国带来荣誉。

爱因斯坦清醒地认识到了希特勒法西斯的本质，很早就向人们指出，希特勒政权的目的是要征服欧洲。

当后来欧洲遭到希特勒的铁蹄蹂躏，爱因斯坦看到自己的预言逐渐变成事实，他为欧洲人民感到惋惜，他为欧洲的反击无力而痛苦，爱因斯坦深深地为战争发展的前途忧虑。

现在，出于为制止法西斯魔爪的需要，爱因斯坦也成了超级武器的崇尚者，欣然接受了西拉德他们的请求，在那封请求美国总统组织研制原子弹的信件上签了自己的名字。当时，他对这个举动毫不犹豫。

但是，当美国总统罗斯福动员了全国力量实施原子弹研制的曼哈顿工程计划快要成功时，世界反法西斯力量已经打败了德国纳粹希特勒，因此原子弹并没有在欧洲使用。

后来，为了尽快结束第二次世界大战，迫使日本早日投降，美国于 1945 年 8 月，先后在广岛和长崎投掷了两颗原子弹。

战后，当爱因斯坦看到原子弹造成严重的后果时，他负疚地回顾了自己在那封信上签名的行动，认为“如果当时我知道德国人在制造原子弹方面不能获得成功，那我连手指头也不会动一动的。”

爱因斯坦的后悔是多余的，历史的发展自有其本身的逻辑，他不签这个名，原子弹这个怪物总有一天是要出世的，任何个人的意志都难以改变这种趋势。自人类有阶级或阶层的区别以来，政治军事没有一天停止过通过科学技术以更新自己的斗争手段，难道原子能在就可以例外吗？

由于投掷在日本的原子弹带来了数十万计的伤亡，给日本人民造成了巨大的灾难，因此在广岛、长崎事件之后，针对原子弹问题，爱因斯坦在一篇文章中写道：“物理学家们发现他们自己处于与诺贝尔相同的地位。诺贝尔发明了至今仍为最强的炸药，这是一种具有摧毁力的东西。为了纪念这个发

明和减轻他思想上的痛苦，他为和平的成功设立了奖金。今天，参加那些令人恐惧和充满危险的武器研制的物理学家们，被同样的责任感所烦扰，但是没有必要感到抱歉。”

第十一节 原子时代的诞生

费米出生于意大利，从小喜爱书籍，酷爱学习。罗马有一个著名的百花广场，每逢星期三这天，许多商人都来到这个露天市场作买卖，从活鱼到鲜花，从古董到旧衣服，应有尽有。费米对百花广场很熟悉，每星期三他总来这里，两只滴溜溜的大眼睛在五光十色的地摊上搜索。

原来，从小就喜欢读书的费米根本不满足课堂上所学到的那点知识，他对数学和物理特别感兴趣。

1918年，17岁的费米以优异成绩考入比萨王家高等师范学院。在入学考试时，他写了一篇论述弦振动的论文，他的丰富的物理学知识使主考的一位教授感到惊讶。他特地找费米到它办公室里作了一次非正式的谈话。从那时起费米在物理学领域的才智，就引起了学术界的注意。

大学里活跃的学术空气和轻松的学习生活，使得费米原先内向的性格有了很大的变化。在他身上，已难以找到童年时代那种沉默寡言、害羞怕臊的痕迹。小学时代那个怯生生、不合群的少年，现在变成一个爱开玩笑，有一副结实休格的年轻人。他跟同学们一起去登山远足，一起活跃在足球场上。

比萨给了费米丰富的知识，也激励着他为实现远大抱负而奋斗。

1922年夏天，费米完成了毕业论文。11位主考人倾听着他的毕业论文答辩。费米用尽可能简洁的语言，阐明论文的观点。内容实在太艰深，连学识广博的主考教授有时也难听懂。显然，费米的论文已超出了某些老师的理解力。

论文答辩结束了，主考先生宣布：

“费米的论文水平很高，可得一个最高份。”

费米很想在罗马大学从事物理学研究，但这仅仅是希望。人生的道路并没有人们想象得那么美妙，费米没有如愿。作为爱因斯坦信徒的费米，遭到反爱因斯坦相对论考官的冷落。分子、原子是多么微小，芝麻大的一滴水中，大约就有一亿亿个分子。若要掌握那一个个分子和原子和运动规律，那该是多么困难。

当人们处身于车水马龙之中，繁华的大街显得那么杂乱无章，汽车、行人来来往往，使人眼花缭乱。可是，如果登上高楼之顶，往下鸟瞰时，那种乱七八糟的景象会顿时消失，呈现在我们眼前的车流人行却是井井有序。

科学家们研究原子、分子也有类似情况，他们要区别的往往并非是某一个原子或分子的行为，感兴趣的却是那一群粒子的洪流，这种研究大量微观粒子所组成的系统的学科就叫做统计力学。

后来，费米提出了一个新的统计理论，成了微观世界最重要的规律之一。那时费米才 24 岁。他成为物理学界的一颗明星。

教育部长看准了费米的才华，特别建议在罗马大学设立一个理论物理新讲座，以便费米出任。1926 年，25 岁的物理学教授费米登上讲台，开始了他的第一堂课。

“物理学，当今正处在一个新生的时代，上一个世纪还认为是正确的东西，今天已暴露出了它的局限性……，我们必须全力以赴去获得这些新知识……。”

费米的科学方法立足于鼓励学生培养创造性，而反对那种分数加名利的窒息青少年思想的陈旧教育手段。费米团结了一批血气方刚的青年科学工作者。

费米教授和学生罗拉相识并相爱。罗拉是一位有着犹太血统的可爱姑娘，她佩服费米的渊博知识和自信心。他们结婚后，一切家务由罗拉照料，费米消除了后顾之忧，更专心于他的科学研究。后来费米解释了原子核衰变现象，并且成功地提出了弱相互作用理论。

但是，意大利法西斯的崛起，疯狂的战争叫嚣打破了人们的美梦。歇斯底里的排犹太运动，使有着犹太血统的罗拉和费米一家受到了严重的威胁。这是 1935 年，大街上，一队队法西斯匪徒正在游行，不断在狂呼着：“绞死犹太人！”“犹太人滚出去！”“墨索里尼万岁！”等口号。

沿街的墙上，触目惊心的标语映入眼帘：“一手持书，一手拿枪”，“墨索里尼永远正确！”

此刻，费米再也无心去思考中子和原子核了，挤满了他脑子的是怎样才能生存下去。

费米过去很少过问政治，可是现在，老伽俐略受到迫害的命运已摆在费米的面前，他不得不考虑自己的命运。

走，既然罗马已无他生存的余地，那就走得远远的，到大洋的彼岸去。

1938 年 11 月 10 日，一阵急促的电话铃声，把费米、罗拉从梦中唤醒。

瑞典科学院已决定授予费米为该年度诺贝尔物理学奖金，以表彰他发现了由中子轰击所产生的新的放射性元素，以及他在这一研究中发现了慢中子引起的核反应，他对超铀元素的研究也具有开拓意义。

对于正想逃离意大利的费米一家，这可是一个天赐的良机。这样一来费米就可以冠冕堂皇地出国了。12 月 6 日，费米来到罗马大学，最后看了一眼那间蒙上了灰尘的实验室，深深地鞠了一躬，随即匆匆向火车站走去。费米和妻子罗拉离开了意大利。

费米在瑞典首都斯德哥尔摩领取了诺贝尔物理学奖金。并于 1939 年 1 月 2 日和妻子罗拉一同到达美国纽约。

这一年，费米又迎来了丹麦首都哥本哈根的著名科学家玻尔。并且从他那里听到了一个慨惊人又可怕的消息：德国的哈恩及斯特拉斯曼实现了铀核

的分裂。

原子核的研究正面临着一个新的转折点，人类应用原子核内能量的日子已为时不远。

费米从玻尔那里得知这个消息以后，二话没说，就直奔哥伦比亚大学实验室，立即动手重复做他五年前做过的没成功的试验。

许多物理学家加入了费米小组，协同作战。几个星期以后，消息传出，实验结果完全同玻尔他们预言的一样：

一个中子把一个铀原子核轰击成两半，释放出能量，同时又跑出两个以上中子，这些中子又去轰击更多的原子核。

分裂，分裂，越来越猛烈的分裂。

能量，能量，越来越多的能量。

费米把这种现象称为连锁反应（或链式反应）。

铀的连锁反应就是炸弹！而且是一种新的威力无比的炸弹，它可以把千万条生命瞬间烧成灰尽。费米一想到这里，心中不禁打了个寒噤，要是德国的希特勒、意大利的墨索里尼这两个战争狂人掌握了这个秘密，那人类将遭受多大的灾难。

战争乌云已笼罩着整个大地，但原子核的分裂也同样使科学家们忧心忡忡，因为原子核释放的超级能量，不但可以给我们这个能源日益缺乏的世界带来光明，而且它可能把人类推向灾难的深渊。

后来，从匈牙利逃到美国的西拉德等科学家找到了费米，决定起草一封给罗斯福总统的信，请爱因斯坦签名，敦促美国筹划研制原子弹的工程计划。这个建议被罗斯福所采纳。并且把研制原子弹的计划称为“曼哈顿工程计划。”

不久，日本偷袭珍珠港事件爆发，美国同日本、德国、意大利宣战。美国政府进一步大力推动实施原子弹研制的曼哈顿工程计划。

当时在美国的费米已经成为敌国侨民，因为他来自法西斯一方的意大利。美国战时的宪法规定，这些敌侨的言行将受到限制。

但费米同时已是一位成就卓著的核物理学家，原子武器的研制，没有费米参加可不行，他的朋友们千方百计设法使费米摆脱这些外加的限制。

核计划的主要负责人康普顿教授向政府部门竭力推荐费米：

“事实很明显，如要进行核反应堆的研究，那一定要有费米领导。他在理论上的修养和实验上的经验，在我们中间是没有一个人能与他相比的。”

推荐获准。费米着手领导建设第一座核反应堆。

原子弹爆炸的能量和核反应堆的能量虽然都来自原子核裂变，但这是两种不完全相同的过程。如作一个对比，原子弹就好像我们把一根火柴丢进一桶汽油中，引起猛烈的燃烧和爆炸，而核反应堆犹如将汽油注入汽车发动机慢慢消耗一样。原子弹是由原子核里产生的快速中子在一瞬间引发的，而反应堆中的中子速度必须先降低，然后加以控制利用。

制造原子弹，必先建造核反应堆。因为设计原子弹所需要的许多重要数据和机理，必须事先在反应堆的实验中取得。

1942 年 11 月，费米出其不意地在芝加哥大学运动场的西看台下忙碌起来。

1942 年 12 月 2 日，上午 8 点 30 分，参加这项研究的 40 余位科学家聚集在北面的看台上。

9 点 45 分，费米下了第一道命令：“启动！”

下午 3 点 20 分，反应堆进入自持的工作状态。

“胜利了！胜利了！”

“反应堆成功了！”

事情说来也凑巧，1492 年是意大利航海家哥伦布横渡大西洋到达美洲新大陆；而 1942 年，又有一位意大利“航海家”登上了另一块“新大陆”——人类终于首次实现了有控制地释放蕴藏在原子核中的巨大能量。1492 年和 1942 只是中间两个数字颠倒了一下，这不能不说是一种巧合。

人类第一次利用原子核反应堆，直接从原子核中提取了能量。

第二章 威胁人类生存的核武器

原子能的威力无比，其力量之大胜过金刚；原子能的变化多端，其神通广大赛过孙悟空。

原子核如此大的本领怎么来的呢？

原子核有重也有轻。重的核内部不很团结，核内的质子与中子你碰我撞，因此一旦外来中子入侵，就引起分崩离析，裂变时会产生能量，这是原子核的裂变能。相反，轻的核势单力孤，它有与其他轻核相互结合，团结起来，成双成对或抱成一团的“愿望”，结合时也会产生能量，这就是原子核的聚变能。

说的具体一些，人们利用中子作为炮弹去轰击重元素铀的原子核，把核分成两半，（极少数的分成三个、四个碎片）同时又放出两个或三个中子来。这两、三个中子又去轰击别的原子核而引起了一连串的链式反应，从而放出巨大的能量。这种由重元素分裂产生的能量叫做裂变能；相反，由轻元素氢聚合而产生能量就叫做聚变能。原子弹爆炸就是裂变。氢弹爆炸就是聚变。统称为核能，或通俗地叫做原子能。

原子能有巨大的威力。同样多的物质，它所蕴藏的原子能要比化学能（化学能是一种仅改变物质原子或分子结合方式而不改变原子核本身所产生的能量，例如氢燃烧时氢分子与氧分子结合形成水，同时放出热能，这就是化学能。）大几百万倍以至 1000 万倍以上。1 千克铀核完全分裂时可放出相当 2000 万度电的能量，或者相当于燃烧 2500 吨优质煤所放出的能量。1 千克铀-235 的爆炸威力相当于 18000 吨梯恩梯炸药。（梯恩梯炸药即普通的三硝基甲苯炸药。原子爆炸威力用相当于多少梯恩梯炸药的爆炸力衡量，称为梯恩梯当量。）如用来开山炸山，相当于 25 万人劳动一天。核聚变又比核裂变的能量要大上许多倍。1 千克氘氚（氢的同位素）混合物全部发生聚变，放出的能量相当于 58000 吨梯恩梯炸药。

原子能如果以原子弹的形式释放出来，这是一种瞬间的和不受控制的爆炸，在小于百万分之一秒的时间内，释放出巨大的能量，使爆炸中心的温度立即上升到上千万度，压力上升到几十亿大气压，可以把一切物质化为气体，形成一团火球，从而产生冲击波、光热辐射、贯穿辐射和放射性污染等杀伤因素，因而这种原子能的释放只能是破坏性和毁灭性的。

但是，原子能如果以原子核反应堆的形式释放出来，这种释放是缓慢的和受控的，人类就可以利用和依靠它造福于社会。

第一节 杀伤力巨大的原子弹

当哈恩的实验发现铀核裂变以后，匈牙利青年物理学家西拉德，这时已迁居美国，他敏锐的想象力清晰地意识到了将来可能要开展一场原子武器的

竞赛。他说服了费米及美国的同行们实行保密，提出对本身的研究工作进行自我约束的“出版自我检查制度”。

西拉德在 1939 年 2 月给法国的约里奥·居里的信中写道：“两星期以前，当哈恩的文章传到我们这里来的时候，我们这里就有些人想了解：铀裂变以后能否有中子释放出来。如果能有一个以上的中子释放出来，那么就有可能形成链式反应。在一定的条件下，制造对人类有极大威胁的原子弹是有可能的……我们但愿中子根本不能释放出来，或者就是释放出来也是微不足道的，这样就不必为这一问题而担心了。”他请求约里奥·居里自愿不泄露研究成果。

这是有科学史以来最奇怪的现象，科学家的功能就是在求得科学的进步，将“不能”变为“可能”；现在却因为科学的进步会带来严重后果，竟然希望科学不要继续，实验不要成功。这充分说明，科学与道德发生冲突的时候，科学家的社会责任感在行为中反映出的矛盾心理。

西拉德请求约里奥·居里立即通知他关于自愿不泄露研究数据的问题是否达成了协议，并表明对这一问题所持的态度。但是，西拉德没有接到回信。其时，约里奥·居里研究小组，已经接近了西拉德所担心的那种链式反应了。由于种种原因，约里奥·居里将西拉德的建议置于一旁，却将自己完成的实验结果寄给英国的《自然》杂志发表，因为这份杂志以出版及时而著称。

西拉德知道自己的努力失败以后，也只好违背自己的意愿同意发表他在链式反应方面的研究材料。

很快，《自然》杂志、《物理评论》等报道了铀裂变时能释放出多余的中子，因此链式反应可以支持下去，从而也就能实现核爆炸。当然，明白了科学原理，不等于解决了实践运用。而一旦能进入军事技术的应用阶段，那么，在历史上规模最大的战争开始的严峻时刻，历史上最危险的科学发现的秘密，就会迫使自我审查制度的建立，虽晚了一点，但晚建立比不建立好。

从 1930 年 4 月末到 7 月末，西拉德、维格纳、泰勒（都是匈牙利的流亡物理学家）和维斯科普（奥地利的流亡物理学家）一直设法让美国政府了解原子能研究工作的重大意义。早先，费米就曾凭哥伦比亚大学系主任乔治·波格拉姆的介绍信去拜访了海军军械部长、海军上将胡伯，同他讨论制造原子弹的可能性。但这位部长只表示了礼貌上的兴趣，希望费米继续提供发展情况，而实际上未予重视。

在历史还没有真正充分地认识到科学的作用时，科学只能仰仗于政权。生活在这个时代的科学家，还难以全身心地投入研究工作，他们需要花精力找门路，学会奔走呼号，声明主张，宣传自己工作的意义，叩门达官显贵，寻求权力支持和财力投资。

由西拉德和白宫经济顾问萨克斯共同起草一封信，请爱因斯坦签名，然后提交罗斯福总统，要求制造原子弹。爱因斯坦看完信之后说：“这将是人类历史上第一次使用不是来自太阳的能源”并立即署了名。那封信在决定原

子弹工程前是个极重要的缘起，它成了后来史学家们广为引证的历史文献。

爱因斯坦签署的这封信是拟好了，可是要把信送到总统手里，并说服当权者将巨额投资放到一项没有把握的冒险的浩繁工作上，恐怕不是轻易能做到的。

1939年10月11日，萨克斯终于得到了亲自向罗斯福总统递呈这封信的机会。这封信已经在他手里压了将近十个星期。其时第二次世界大战已在欧洲爆发。为了使总统了解全面情况而又不致使此信件积压等候处理，萨克斯当面向总统汇报了情况。可是罗斯福已经很疲倦，他向萨克斯说，这些都是很有趣的事，不过政府在现阶段就干预此事，看来还为时过早。显然，罗斯福是想推掉这件事。事情有些微妙。但是，当萨克斯要离开的时候，总统为了表示歉意而约他第二天早晨来共进早餐。

萨克斯一整夜没合眼。他在旅馆的房间里来回地踱着，从旅馆出去到附近的小公园达三、四次之多，长时间地思考着怎样说服总统从而得到他的支持。

看来，重温历史的教训是有益的，萨克斯这样想。

第二天早晨，萨克斯来到了白宫。罗斯福一见面就开玩笑地问道：“你有了什么绝妙的想法吗？”萨克斯鼓足了勇气回答道：“我想向您讲一段历史。”接着他就说：“在拿破仑战争时代，有一个年轻的美国发明家富尔顿来到了这位法国皇帝面前，建议建立一支由蒸汽机舰艇组成的舰队。他说，这样的舰队，无论什么天气都能在英国登陆。拿破仑想，军舰没有帆能走吗？这简直不可思议，因此拒绝了富尔顿。根据英国历史学家阿克顿爵士的意见，这是由于敌人缺乏见识而使英国得到幸免的一个例子；如果当时拿破仑稍稍动一动脑筋，再慎重考虑一下，那么19世纪的历史进程也许完全是另一个样子。”

历史的进程是否真如阿克顿估计的那样，由武器决定，当然并非如此。但此时此刻，经济顾问的话确实提醒了总统。

罗斯福沉默了几分钟，然后吩咐仆人拿来了一瓶拿破仑时代的法国白兰地与萨克斯碰杯。然后说了一句：“阿列克塞，你有把握不让纳粹分子把我们炸掉，是吗？”萨克斯回答说：“真是这样。”然后总统就把自己的随员沃特逊将军叫来，指着萨克斯带来的信件说：“帕阿（沃特逊的绰号），对此事要立即采取行动！”

不久，在罗斯福总统的命令下，组成了一个铀咨询委员会。1939年11月1日该委员会提出了一个报告。但是，在1940年6月底以前，华盛顿当局对这项任务抓得并不得力，经费也没有增加。相反，对计划的批评意见渐多。因此，爱因斯坦还写了第二封信，也并未立即奏效。

从1940年7月以后，福勒博士奉命陆续将英国在原子能研究方面的发展通知有关方面，并告知有可能在战争结束前造出原子弹，才引起华盛顿当局的注意。最后，终于在1941年12月6日，即日本偷袭珍珠港的前一天才正

式命名设置机构从事发展原子弹的计划。

美国这项发展原子弹的计划，是一项政治冒险计划。在国际上，它是继德国生产 V 型火箭之后的第二次由国家出面组织的巨大工程。按着这个计划，当时美国把大量的人力、物力都转移到了这一有可能要失败的项目上来。很多正在从事发展的雷达、潜艇探测、自动瞄准武器以及其他数不尽的急迫项目的优秀科技工作者，以及大批的技术工人都被调到这个岗位上。大量的战略物资也都转用于这项工业体系的建立上。美国的原子弹计划就这样悄悄地开始了。

对科学工作的保密、保安及新闻检查制度，随着原子弹计划的推进也越来越严密；这时候，已经完全不象大战前西拉德那样的自发行为或自我审查，而是实行强制性的保密措施。科学探索成了军事机密的重要部分。

1942 年 9 月，政府战时办公室和军队领导决定把核计划交给格罗夫斯上校，并在不久之后把他提升为准将。格罗夫斯上任后 48 小时之内就成功地把计划的优先权升为最高级，选定了在田纳西州橡树岭作为铀同位素分离工厂基地。美国整个核研究计划命名为“曼哈顿计划”。

在美国的核研究中，有一半以上的物理学家是刚从欧洲逃到美国的，格罗夫斯认识到核研究是当时科学研究的最高峰，如果把这些优秀人才拒之门外，美国的原子弹计划就将成为泡影。他从美国的国家利益出发，团结了这批人，来为自己的总战略和目标服务。不仅如此，即使政治上曾表现左倾的人，格罗夫斯也不犯忌讳，能团结并充分信任他们，给他们担当重任。

鉴于一个人在日后核研究计划的进程中，无论在组织上，还是具体的技术工作方面都起到的关键作用，在这里，我们需要简单地把他作一番介绍。

罗伯特·奥本海默，他在 1904 年生于美国纽约的一个商人家庭。1922 年进哈佛大学学习物理学，1925 年到英国剑桥大学学习，1927 年又到德国格廷根大学修论文，获得博士学位，随即被哈佛大学和加州理工学院推选为国家研究员。其哥嫂都曾是美国共产党党员。尽管奥本海默一度在政治上左倾，但他仍不愿卷入到政治纠纷之中。1942 年春天，奥本海默应邀到芝加哥大学物理系讨论快中子与核的相互作用和原子弹问题，后被正式任命为“金属计划”理论部主任，组织讨论原子弹模型。

经过康普顿等几个著名科学家的推荐，格罗夫斯在史汀生的批准下，他们正式选定奥本海默担任原子弹实验室主任，并负责整个曼哈顿计划的科学协调。后来，1943 年 7 月 20 日，格罗夫斯还亲自下令澄清了奥本海默等曼哈顿计划的科学家们的情况，进行了严密的监视，并作了详细的记录。

军事当局同意奥本海默的建议，决定建立一个新的原子弹结构研究基地，在军事工程部的帮助下，奥本海默与格罗夫斯选择洛斯—阿拉莫斯作为新的实验基地。

由于大多数科学家都反对实验室的军事化，格罗夫斯同意加州大学成为洛斯—阿拉莫斯实验室名义上的管理单位和合同保证单位，从而保证了研究

室内部的自由学术讨论。由基地的军队负责实验室建设、后勤供应和安全保障。

洛斯—阿拉莫斯在新墨西哥州的一片沙漠环绕的大山之中，距离最近的小镇约 48 公里，是一个十分闭塞的地方，这里原有一所小学，附近还有农场。当奥本海默他们选定这里后，美国军事工程部和其他军事单位合作立即开始了紧急的工程建设，奥本海默等一批科学家也带着小型加速器等仪器设备不断地进入实验室。他们开始时对困难估计不足，认为只要 6 名物理学家和 100 多名工程技术人员就够了。但实验室到 1945 年时，发展到拥有 2000 多名文职研究人员和 3000 多名军事人员，其中包括 1000 多名科学家。

罗斯福总统在 1942 年为原子弹计划批准了 4 亿美元财政支持，其中 2.2 亿为曼哈顿计划研究费用，1.8 亿为原材料采购费。在以后几年的工作中，为这项计划追加的投资远远超过了当初的计划。美国全国都为这个计划作出牺牲，橡树岭核工厂曾一度耗用了美国电力供应的 10%。洛斯—阿拉莫斯的科学家负责整个计划的协调，他们在交通方面拥有比国会议员还要高的优先权。在洛斯—阿拉莫斯，军队一方面强化安全检查制度，另一方面尽量地为科学家和他们的家属创造良好的生活条件，成为美国历史上科学家和军队最成功的一次合作。

洛斯—阿拉莫斯等核研究基地，几乎集中了美国全国所有的优秀核科学家及有关学科的专家，他们自愿放弃自己的研究而跑到那里做一些很具体的技术工作，有的甚至为原子弹的研究献出了生命。此外，这项工程浩大的核计划还召集了大批优秀的青年学生，他们把自己的青春年华交给了核武器实验室，其创造性的工作和旺盛的斗志，大大加快了原子弹研究的进程。

原子能的释放，在实验室里已经被科学家认识到了，但它在实际应用当中能否成功以及究竟有多大威力，至此，还是个谜。

经过五年多的紧张努力，1945 年 7 月中旬美国人就要进行第一颗原子弹的试验了。在这样漫长的准备阶段，曼哈顿工程区是在极严格的保密控制下工作的。但是在新墨西哥沙漠上阿拉默果尔多第一次核试验的前几天，这个即将到来的事件对于洛斯—阿拉莫斯研究机构科学家的妻子和孩子们来说，已经不是什么秘密了。谁都知道，人们正在准备做一件极重要的激动人心的事情。有人把他们工作的目标称为凶神。

1945 年 7 月 12 日和 13 日，实验性原子弹的内部爆炸机械各组成部件由洛斯—阿拉莫斯经战时建成的秘密道路运了出来，这些部件由装置地段运往试验地区。这个著名的地区叫做“死亡地带”。就在这儿的沙漠中心已经立起了一座高大的钢架，原子弹就将装在上面。

在最后的几个星期中一直没有从洛斯—阿拉莫斯离开的那些进行最后阶段工作的原子科学家们，正整装待发。他们备足了食物，并且按照领导的特殊指令穿上了特别服装。连着两天雷雨大作，15 日召集全体实验参加者开了一个会，然后到会者分乘了几辆伪装的各种颜色的小轿车，经过四小时的路

程到达了试验场。

深夜两点钟以前大家都在就地待命,然后集合在距离那高大钢架 16 公里开外的宿营地,这个钢架上现在正放着一颗未经试验过的原子弹,这就是他们整整两年的劳动成果。他们都戴上了准备好的黑色保护镜,以预防辐射的烧伤,脸上也涂了油膏,免得炽热的光线伤害皮肤。

在距离装在炸弹的钢架大约 10 公里的一个观测站上,洛斯-阿拉莫斯主任奥本海默和曼哈顿工程总负责人格罗夫斯将军正在指挥着这一次历史性的爆炸。他们在同气象学家商讨过后,决定在 7 月 16 日 5 点 30 分起爆。

他们每个人都无一例外地戴上防护眼镜俯卧在地面上。如果有谁想用肉眼直接观看爆炸引起的火焰,就可能丧失视力。因此,没有人敢去看原子弹爆炸火焰的第一道闪光,他们所看到的仅仅是从天空和小丘反射出来的炫目的白色光亮。但是,还是有人激动得甚至忘了戴面罩就那么下了汽车。只有两、三秒钟的工夫,他们就都丧失了视力,终于未能看到三年来朝思暮想的这幅景象。

起爆后,在整个观测站周围的广大地区,都被刺目的闪光照亮,爆炸后 30 秒钟,暴风开始向人们和物体冲击,随之而来的是强烈的持续的怒吼,大地在颤抖。

住在离试验区 200 公里以内的居民们,当天在 5 点 30 分左右也看到了空中的这道强烈的闪光。力图保住全部机密的保安机关所作的努力,没有奏效,不过几天,关于原子弹试验成功的消息就传到了曼哈顿工程区的所有实验室。直到试爆以前,没有一人知道爆炸效果会是如何,但是爆炸后算出来的大致效果比原来估计的要大 10 倍乃至 20 倍。

现在,对应用原子能力量的认识,终于从科学家小小的圈子里扩展到整个曼哈顿工程区的范围。

二十天以后即 8 月 6 日,美国人在日本广岛投下了第一枚军用原子弹,惨案发生后几个小时,在东京还没有一个人清楚地知道在那里出了什么事。官方消息还只是从中国的一位地方民政官员的电报中得到。8 月 7 日晨,日本总参谋部正式接到了一份情报:“广岛市在一刹那间被一颗炸弹全部毁灭了。”8 月 9 日,美国人在日本长崎又投下了第二枚原子弹。

8 月 8 日,日本核物理学家西名从东京飞往广岛,看到了一座繁荣的城市已经变成了烟雾弥漫的废墟。

西名在 20 年代里,曾在哥本哈根玻尔的指导下工作过,回到日本后,建立了一个原子物理研究室。早从 1939 年起,他就经常想这种武器是可以制造的,而且可以在战争中使用。他甚至对这种武器可能造成的破坏规模做过一些计算。因此日本当局在事件发生后立即请他去检测。西名在广岛的亲眼目睹,完全证实了自己的忧虑。

西名看到,在距离爆炸地点约 200 米的半径内,所有房顶上的瓦都被熔化了 0.1 毫米,高温及炫目的光线使周围的一切东西被烧毁或者褪了颜色,

强烈的冲击波把烧焦的人体和物件溅到墙壁上。四个月以后，西名自己也由于受剩余放射性的作用，浑身起了浓疱。

原子弹爆炸这一可怕的消息也深深地震惊了哈恩。他在发现铀分裂以前，丝毫没有预料到它会在实际中有所应用。当反法西斯组织在希特勒战败时逮捕哈恩以后，他被拘押在巴黎附近的一个美国特种流放监狱，后来又转押到剑桥附近的格德曼彻斯特。他在这里知道了自己约在七年前所进行的研究工作产生的严重后果。看守人员告诉哈恩，美国人在日本广岛投了一颗原子弹。当时，这位一贯斥责希特勒种族歧视的人，大声叫道：“什么！十万人的生命被毁灭了？这真是太可怕了！”

在格德曼彻斯特，和哈恩一起被拘禁的还有九名德国物理学家，他们之中有海森堡，有参预铀计划的哈尔泰克等，还有冯劳埃，虽然冯氏一直是纳粹主义的公开反对者。

如果今天能看一看保存在英国侦察局通过窃听设备获得的秘密档案室里的记录，听一听被拘禁的科学家们获悉在广岛投了一颗原子弹以后，于8月6日晚上所进行的讨论，那可是一件非常有趣的事。起初德国专家们不相信这个报道，他们说：“这不是原子弹，这可能是宣传。他们可能是有了某种新的爆炸物或者是超级炸弹，而给它取了个原子弹的名字。但这根本不是我们所说的那种原子弹。这和铀的问题丝毫没有关系……”到9点钟，无线电广播了比较详细的报道。这时，对于德国科学家们来说，却是一个沉重的打击。他们就炸弹的物理学问题，争论了好几个钟头，并企图弄清它的机械构造。但是无线电广播的消息并未给他们提供足够的资料，于是德国科学家们估计美国人在广岛投下的是整个一个核反应堆……

这些德国物理学家们还蒙在鼓里，他们哪里知道，科学研究的成果一旦走出实验室以后，它们的技术应用，以及走向战场就不以科学家们的主观意志为转移了。

无线电波向全世界广播了美国在广岛和长崎投掷原子弹的消息。

美国的原子弹虽然重创了日本的一些军火设施，但受害的主要是日本无辜的和平居民，两城市民死伤过半。战后，在广岛市中心区中岛町原爆资料馆墙上有一幅巨大的照片，上端写着“原子弹爆炸纪念物”，可是照片上只有几级岩石做的台阶，台阶上有一个成年人屁股大小的阴影。这是一座银行大厦前面的台阶，有一个中年人坐在那儿等候一位朋友，不幸距离爆炸中心只有二百八十米，这位中年人给烧得什么也没有剩下，只是在台阶上留下了他曾坐过的印痕。

核能的威力终于被全世界认识到了。

核能工程是一种耗资巨大的工程，一开始就以国家规模展开。从1941年美国参战前夕正式颁布制订原子弹计划起，到1943年建设第一个核武器研究和制造中心洛斯—阿拉莫斯实验室，开始研制原子弹，1943~1944年建成第一座制钚工厂汉福特制钚厂，1943~1945年建成第一座分离铀-235的工厂

橡树岭气体扩散工厂，直到 1945 年 7 月 16 日在新墨西哥州阿拉默果尔多沙漠进行第一颗原子弹的爆炸试验等，这一系列浩繁工程，都是依靠政权力量来实现的。

核能的初露锋芒，引起了各国政府的重视，发达的工业国立即加紧了核计划的推进。

第二节 破坏力极大的“三弹”

核能的发现正值第二次世界大战的前夕。虽然科学的本意在为人类谋取福利，不幸的是，在这个充满斗争的世界上，核能刚从实验室崭露头角的时候，就被人们拖进了战争的深渊。

核能的威力一经确认以后，就会在军事上获得应用。当时的美国，为了战胜德、意、日法西斯力量，在 1945 年二战结束前造出了三颗原子弹，8 月其中的两颗投掷于日本的广岛和长崎，投在广岛的原子弹叫“小男孩”，投在长崎的原子弹叫“胖子”。原子弹为促使第二次世界大战的尽早结束，虽作出了历史性的贡献，但杀伤力太大，以致误伤了许多日本的和平居民。据日本的统计，8 月 6 日轰炸广岛的原子弹造成 118661 人死亡（一年后的宣布数字），而 8 月 9 日轰炸长崎的原子弹当即造成死亡 74000 人，重伤 75000 人。

对于一般人来说，首先是从这两颗原子弹认识到原子能威力的。

1949 年 8 月 29 日，苏联也成功地进行了第一次核试验，爆炸力相当于 21 万吨梯恩梯。

1952 年 10 月 3 日，英国成为第三个核大国。

1960 年 2 月 13 日，法国成为“核俱乐部”的第四个成员国。

这个阶段，氢弹也在加紧研制。1952 年 11 月 1 日，美国在太平洋上的埃尼威克岛上进行了第一次氢弹试验，其爆炸力为 1 千万吨纯，把该岛一扫而光。1953 年 8 月 12 日，苏联也成功地进行了一次氢弹试验。

1977 年以来，又出现了中子弹。

美国投在广岛和长崎的两颗原子弹，按当时这两个城市人口计算，平均每人头上掉下了相当于 50~100 千克梯恩梯炸药。80 年代美国拥有各种核武器 3 万多枚，总当量超过 90 亿吨，前苏联拥有各种核武器 2.5 万多枚，总当量约为 130 多亿吨。这就是，全世界每人头上平均有相当于 5 吨梯恩梯炸药。

当时美苏制造了那么多的核武器，其目的是为了称霸世界。

中国于 1964 年 10 月 16 日成功地爆炸了第一颗原子弹，1967 年又成功地进行了氢弹试验，具备了一支有限的核武装力量。我们研制和装备核武器，完全是为了自卫，为了打破当时美苏的核垄断，才能最终为全面禁止并彻底销毁核武器创造条件。

核武器又称原子武器，它是利用原子核反应在一瞬间放出巨大的能量，

造成大规模杀伤破坏的武器。原子弹、氢弹、中子弹都叫核武器，氢弹又称热核武器。

一、原子弹

原子弹是利用重核裂变释放出巨大能量来达到杀伤破坏作用目的的武器。它使用的装料有铀-235 和钚-239。

原子弹的爆炸原理是：它在爆炸前，核装料在弹内分成几块，每块都小于临界体积（能使链式反应不断进行下去的核装料最小体积），而它们的总体积却大大超过临界体积。爆炸时控制机构先引爆普通的烈性炸药，利用爆炸的挤压作用，使几块分离的装料迅速合拢，使总体积大于临界体积。这时，弹内的镭铍中子源放出中子，引起裂变链式反应，在百万分之一秒的极短时间内释放出巨大能量，引起猛烈爆炸。

原子弹爆炸，要通过对临界体积的控制来引发，根据引发机构的不同可分为两种不同类型的原子弹：一种是“枪式”原子弹，另一种是“收聚式”原子弹。

1. “枪式”原子弹

1945 年 8 月 6 日，投在日本广岛代号叫“小男孩”的原子弹就是这种“枪式”结构，弹重约 4.09 吨，弹长 3.05 米，直径 0.711 米，内装 50 多千克铀-235，但爆炸的威力只有 12500 吨梯恩梯当量（按理 1 千克铀-235 若全部裂变，应释放出大约 18000 吨梯恩梯当量）。“小男孩”弹的核装料利用率很低，不到 2%。经过改进的枪式原子弹，效率提高到 10% 左右。一颗原子弹的核装料一般需要 16~25 千克铀-235，或者 5~10 千克钚-239。

枪式原子弹结构简单，容易制造，但核装料的利用率很低，很难用钚-239 作为核装料。

2. “收聚式”原子弹

收聚式原子弹结构复杂，技术要求高，但是，它的核装料有效利用率高，达 20% 左右。1945 年 8 月 9 日，美国投在日本长崎的名叫“胖子”的原子弹就是收聚式的，弹重约 4.54 吨，长 3.252 米，直径 1.525 米，内装 20 千克钚-239，其当量为 22000 吨，核燃料的利用率约 6%。

现代原子弹的构造，采用的是一种压拢（枪式）与压紧（收聚式）混合型的原子弹，核裂变材料的利用率高达 80% 左右。

二、氢弹

氢弹是利用核聚变反应释放出的巨大能量来达到杀伤破坏作用目的的武器。它的核装料可以是氘和氚，也可以是氘化锂—6。同时，必须用一颗小型原子弹作为引爆装置。

氢弹在弹壳里面，装有氘和氚，这些就是氢弹的核装料。另外还有三个互相分开的铀-235 或钚-239 块作为产生原子弹爆炸的核装料及普通炸药做的引爆装置。

当雷管引起普通炸药爆炸时，就将分开的核装料（铀-235 或钚-239）迅

速地合拢，这样就产生了裂变反应，同时还产生了上千万度的超高温，使氘和氚产生了裂变反应。在超高温下，氘氚成为一团由赤裸裸的原子核和自由电子所组成的气体，并以很高的速度相互碰撞，迅速剧烈地进行合成氦的反应，放出巨大的聚变能，这就是氢弹的爆炸过程。

三、中子弹

中子弹又称“加强辐射弹”，它是一种战术核武器，与原来的战术核武器不同的地方是它用中子和 γ （伽玛）射线，特别是以中子来起杀伤作用的核武器，所以又称“加强辐射—弱冲击波弹”。它是在小型氢弹的基础上发展起来的，和普通氢弹有以下几点不同：装料不同，不能用氘锂—6，而用氘和氚；引爆中子源的强度不同，要求中子源放出更多的中子；引爆原子弹的当量不同，当量越小越好，最好用钚—239；要用一定厚度的铍作中子反射层，以增大中子的比例，而且可减少冲击波和辐射作用。

核武器的杀伤破坏因素：

核爆炸的杀伤破坏一般是指冲击波、光辐射、贯穿辐射、放射性污染及电磁脉冲等五种。前三种作用时间很短，称瞬时的或早期的杀伤破坏因素。第四种作用时间较长，而最后一种只不过几百微秒。冲击波是核武器的基本杀伤破坏因素，约占总释放能量的二分之一，它可以在空气、水和土壤等介质中传播。光辐射这个因素无足轻重，可以不加考虑。贯穿辐射是 α 射线、 β 射线、 γ 射线和中子流所组成，虽然只占爆炸总能量的5%，但具有特殊的危险性，不能忽视。放射性污染是一种潜伏的敌人，核爆炸之后，放射性污染的面积较大，人员不能进入现场；放射性对人体的伤害主要是外照射、内照射和皮肤沾污。电磁脉冲对人体和建筑都无伤害，只对电子设备、线路和电子元件造成干扰和破坏。

核武器同其他新式武器出现一样，也相应地出现了防御它的种种方法。只要以科学的方法来防御它，核武器并不可怕。

第三节 大洋深处游弋的核潜艇

作为核能的另一个重要应用，就是核潜艇。它是在常规潜艇基础上发展起来的，以核反应堆作为它的动力装置。

核潜艇是袭击水面舰只，破坏敌人海上运输的新型战舰。它以隐蔽性好、续航力大、潜航时间长、航速高的特殊优点遨游在海洋之中。在敌人的突然袭击下，只要留有一艘导弹核潜艇，就能给敌人以严重的回击，因为其装备的核导弹具有强大的摧毁力量。

由于核潜艇海上航行和战斗的特殊需要，它的核动力装置还是有不同于核电站之处的，要求其体积小，重量轻，控制系统简单、灵活和自动化；各项设备要耐冲击、耐振动、抗摇摆，并能在潜艇横倾、纵倾达 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 的条件下良好地工作；各项设备要做到安全、可靠、不出事故；机器转动的噪

音要尽量小，核辐射、热辐射、电磁辐射都要尽量弱，免于敌人发现。所有这些对核潜艇的设计和制造都提出了严格的要求，也是它的困难所在。

1949年5月18日，美国海军作战部长召开潜艇作战会议，对核潜艇和常规柴电潜艇的战术技术性能进行了全面的比较和分析。由于潜艇在潜航状态有着良好的隐蔽性，所以在二次大战中取得了卓越的战绩，许多潜艇击沉的舰船总吨位比潜艇自身的吨位高数十乃至上百倍。但常规潜艇的柴油发动机只有在水面状态或通气管运行时才能使用，潜航时要靠蓄电池航行，最大水下续航距离只有100多里，且航速低；若以高速潜航，只能维持1小时，所以常规柴电潜艇必须经常上浮至水面或通气管状态，再启动柴油发电机进行充电，因此大大降低了自身的隐蔽性和机动性。由于反潜技术的进展，致使二次大战后期，常规潜艇被击沉的数字也在迅速增加。如果潜艇能用核动力进行装备，那就能有效地克服这一致命弱点。

会后，由水下作战部长提出的潜艇会战报告中强调：“核动力装置是一种可能对潜艇的设计与整个水下战争艺术产生深远影响的全新推进手段。能够在占地球面积七分五之的海洋中无限制活动的理想潜艇的出现，可彻底改变海战的整个面貌。海军十分强烈地支持核动力潜艇的发展。”

1951年8月20日，海军正式和电动船舶公司签订了建造第一艘核潜艇的合同。1951年10月25日，美海军部长决定核潜艇的代号为SSN，并命名首艇为“鲉(chuán)鱼”号。

秋天，陆上原型堆开工建造。1952年6月14日，“鲉鱼”号进行了隆重的龙骨铺设仪式，总统、国会领袖、三军将领、原子能委员会官员、工业界首脑和众多的新闻界人士应邀出席，当时的总统杜鲁门发表了演说。核潜艇进一步获得了社会各界的关注。

1953年3月3日，“鲉鱼”号的陆上原型堆达到了临界（即链式反应可以持续）。6月25日，反应堆提升到满功率并进行了全面的试验。在长达96小时的连续运行中，反应堆情况良好，相当累计航程2500里。陆上原型堆的建造和成功，为“鲉鱼”号的核动力装置奠定了坚实的技术基础。1954年1月21日，在电动船舶公司的格罗顿船厂，艾森豪威尔总统夫人主持了“鲉鱼”号的下水典礼，装饰得五彩缤纷的核潜艇，从倾斜的龙骨墩上，徐徐滑入宽阔的江面。

1955年4月22日，“鲉鱼”号作为世界上第一艘作战核潜艇加入美国海军服役。“鲉鱼”号以16节的航速，历时84小时，完成了从新伦敦到圣胡安的1380里首次长距离潜航。随后从佛罗里达州到新伦敦，又以平均20节的航速，连续潜航了1396里，1955年7月至8月间，“鲉鱼”号和大西洋舰队进行编队作战学习时所呈现的优异性能，给人以更深刻的印象。“鲉鱼”号和几艘常规潜艇，对由一艘航空母舰和几艘驱逐舰组成的反潜舰队展开攻击，水面的护航驱逐舰和航空母舰上起飞的飞机，都可以发现并攻击常规潜艇；但无法发现一直处于潜航中的核潜艇，高速潜航中的“鲉鱼”号甚

至能躲避标准鱼雷的攻击。至此，潜艇核动力的优越性得到了充分的证实。

“ 鲳鱼 ” 号的核反应堆用第一炉核燃料航行了 62562 里，其中 95% 以上一直处于潜航状态，仅消耗了几千克浓缩铀，若常规潜艇以相应速度续航这一距离，则需 800 万公升燃油。1957 年 4 月，“ 鲳鱼 ” 号换装了第二炉核燃料，随即参加了太平洋舰队的反潜学习，开创了一次潜航 3049 里的新记录。不久又开始了去北极的探险航行，在 1958 年 8 月 3 日 23 点 15 分，穿过了北极，完成了航海史上潜艇的首次极地航行。获得了表彰荣誉的“ 鲳鱼 ” 号，取道英国再向西航行，又以 21 节的航速连续潜航了 3850 里的新记录，抵达纽约港，受到热烈的欢迎。

潜艇的核动力推进是舰艇发展史上的划时代变革，但鱼雷武器自第一次世界大战以来并未取得重大进展。二次大战后的数年中，美国的导弹技术已取得相当大的发展。因此，美国海军在建造首批鱼雷核潜艇的同时，对核潜艇和导弹联姻的可能性始终怀着浓厚的兴趣。原子能委员会的官员们则更是急不可待，认为核潜艇上配备鱼雷武器太委曲了核动力。

“ 好马还得配好鞍 ”。1955 年，在“ 鲳鱼 ” 号开始了历史性的核动力航行后不久，美国国家安全委员会发出了一份有关导弹发展的意向报告。主张优先发展中远程导弹，并优先考虑在舰艇上发射。这一要求得到了国防部、国会、原子能委员会和海军官员的广泛支持。然而，当时的美海军作战部长卡尼上将，虽然看到了核动力和导弹技术的发展和结合会对海军带来光明的前景。但在导弹核潜艇的研制上却裹足不前，并粗暴地拒绝他的上司海军部长托马斯要求积极发展导弹核潜艇的建议，坚决地抵制托马斯对海军军事事务的干预。

被激怒了的托马斯斥责卡尼守株待兔的短视，立即解除了卡尼海军作战部长的职务。1955 年 8 月，任命军衔较低的伯克少将接任，扫清了人事上的障碍。托马斯和伯克一致决定，同时发展飞航式导弹核潜艇和弹道导弹核潜艇，并迅速组建了海军弹道导弹设计局，以雷伯恩少将为长官，赋以海军中的最高优先权。

到 1955 年，美国海军在德国 V—2 飞弹基础上发展起来的天狮星- 型飞航导弹已装备了几艘常规潜艇和水面舰艇，所以将飞航式导弹移植到核潜艇上并无技术上的困难。天狮星- 型导弹的射程为 1000 公里，时速 800 公里，可在 1000 米的高空飞行，然后作垂直俯冲，或低空接近目标。主要缺点是，飞航式导弹发射的时候，潜艇必须上浮到水面上来，所以隐蔽性较差。

在弹道导弹方面，1955 年 11 月，美国国防部指令海军和陆军共同发展“ 木星 ” 中程弹道导弹。但海军很快发现这种采用液体推进剂的导弹不仅尺寸太大，致使潜艇无法容纳，而且在技术上和可靠性方面均存在着海军难以逾越的障碍。

1957 年 8 月，苏联成功地发射了世界上第一枚洲际弹道导弹，10 月间用推力更大的洲际火箭将世界上第一颗人造卫星送入了宇宙空间。苏联的成就

意味着几乎美国所有的大城市都进入了苏联陆基导弹的打击范围。与此同时，美国则尚无相应的报复和防御手段。危机的气氛笼罩着华盛顿。美国第一次实际感到了苏联毁灭性核打击的严重威胁，禁不住心惊肉跳。

1958年，苏联第一艘核潜艇建成，性能胜过了美国的“鳐鱼”号和“鳐鱼”号核潜艇，结束了美国在核海军中的垄断地位。严峻的现实迫使美国当权派重新估计美国在武器装备领域中的技术优势及防御能力。

美军参谋长联席会议频频商讨对策，陆、海、空三军都提出了扩充部队和研制新型武器装备的要求。此时的海军中本来就获得最高优先权的北极星核潜艇研制计划，由此得到了新的刺激和活力。根据新的扩军备战计划，美国海军拥有第一艘导弹核潜艇的时间，将不是1965年，而提前到1959年。到1965年，美国海军已不再是只有一艘，而将拥有20余艘北极星导弹核潜艇。

1959年12月30日，第一艘北极星导弹核潜艇华盛顿号编入美国海军服役。1960年7月2日，华盛顿号首次成功地进行了水下导弹发射。当海面上突然抛起一股水柱，导弹迅速破水而出，待完全摆脱海水的纠缠以后，火箭发动机开始工作，熊熊呼啸的火焰喷射着，冲击着海面，沸腾的海水四处飞溅。加速起飞的导弹直射天字，进入同温层，沿着既定的弹道飞行了2000公里，溅落在茫茫大海之中。

核潜艇自出现以来，现在攻击能力大有改进，主要表现在如下三方面：

首先，核武器威力增加。早期的弹道导弹核潜艇只携带单个核弹头的导弹。由于潜艇在水中浮动，发射条件比以陆地为基础的导弹差，射击命中精度不高，只能用来攻击城市和机场等大型目标。敌方洲际导弹发射井和地下作战指挥中心等有坚固钢筋水泥工事的目标，不易命中。但是使用恒星星光导航技术来校正潜基导弹的弹道，使射击精度大有改进，提高击毁此目标的命中率。利用分导多弹头导弹使敌人的反导弹系统防不胜防。美国的31艘海神式核潜艇每艘带16枚导弹，每枚导弹有14枚分导弹头。这样，一艘潜艇可以攻击224个战略目标。

以对付敌方舰船为主的攻击型核潜艇仍以鱼雷为进攻武器。老式鱼雷发射后就不能再改变它的航向，速度比军舰大得不多。鱼雷前进时，有明显的航迹，敌舰发现后来得及转弯躲避。现代的制导鱼雷就是一枚水中导弹，装有制导装置，能自动跟踪目标。另外有火箭助飞，这种火箭助飞鱼雷先飞入空中，高速飞到敌舰附近落入水中，然后自动瞄准驶向目标。敌舰躲避的可能性是很小的。鱼雷上还可装小型核弹头。

第二方面是提高核潜艇的航速。大功率的核反应堆和流线型的艇体，使攻击型核潜艇航速提高到40节，大于航空母舰、驱逐舰等的最大航速。

第三方面是加大核潜艇的续航力。续航力决定了舰艇能用于作战的时间。返回基地加燃料或在补给船处加燃料以及返回作战海域途中的舰艇都不能用来作战。美国第一艘核潜艇的续航力达60,000多里，是常规潜艇的6

倍。但核潜艇返回基地换装核燃料很费功夫，往往要一年多时间。目前已做到一次装入核燃料可连续航行 10 年，航程 50 万里。不过，人在不见天日的水下生活，那怕只连续呆二、三个月，也是难以适应的，所以通常每两个月就得轮换一次人员。

核潜艇的自卫能力表现在两个方面，一是它能隐蔽起来，不被敌方发现；二是能在己方其他兵种保护下活动。

反潜技术关键是探测潜艇在水下什么地方。只要查明潜艇的准确位置，就可由水面舰只、反潜潜艇或飞机发射反潜鱼雷把它击毁。核潜艇再快也快不过飞机，它很难逃掉。

探测水下潜艇比较有效的方法是用声纳探测潜艇航行时发出的噪声。噪声的来源有两个，一个是带动螺旋桨的减速齿轮，一个是反应堆里使水循环的主泵。70 年代的核潜艇有不少采用先让汽轮机发电，再由低速电动机带动螺旋桨的做法，消除了齿轮的噪声。消除主泵噪音的办法是不用主泵。反应堆里的水靠进出口的温度差进行自然循环。此外，凡能产生噪音的其他设备都加装消音器，管道尽量去弯取直，艇身用吸音材料覆盖起来。经过种种改进，最新式的三叉戟导弹核潜艇的噪音只有海神型核潜艇的 1/3。

过去潜艇主要用来袭击敌方舰船，常常单艇行动。即使是第二次世界大战时，纳粹德国的潜艇曾经采用狼群战术袭击英美运输船，那时也不过几艘潜艇一齐行动。而如果动用本国海军空军保护水下潜艇的行踪，那么，这种措施等于告诉敌人这下面的潜艇。但是，对导弹核潜艇来说却可以采用这个办法，就是利用己方的以海岸为基地或以航空母舰为基地的空军，控制核潜艇所在海域，根本不让敌方的反潜飞机或舰只进入。只要潜艇不浮出水面，人造卫星就探测不出它的具体位置。即使让敌人知道这片海域下有核潜艇也并不造成威胁。而核潜艇上的导弹有足够长的射程，可以打击敌方任何战略目标，核潜艇是一座活动的隐蔽的洲际导弹基地。

中国历来反对毁灭性极大的核武器，但是，为了防止别人欺侮我们，为了保护自己的国家，也为了捍卫世界和平，只要别人有核武器，我们也要有。因此，中国依靠自己的科学家，也发展了核武器。1964 年我国研制的第一颗原子弹爆炸成功，1967 年第一次氢弹试验成功，1971 年第一艘核潜艇下水成功。

中国已经建立成有效的威慑性武装。可是，中国多次郑重声明不首先使用核武器，如果国际间能达成全面禁止和彻底销毁核武器的条约，并且找到有效监督的办法，我们也会遵守。全世界爱好和平的科学家和人民正在为此作不懈的努力。

第三章 和平利用核能

人类的生息——衣、食、住、行，始终离不开能源。可以说，没有能源，就没有人类的一切。即使在原始时代，蒙昧的类人猿如果失去能源，也是无法生活的，因为他们赖以生存的肉食及其植物食物，必须依靠太阳这个巨大的能源才能生长。更何况，我们正处于高度文明的现代社会，一刻都不能离开热、机械能、光、电等能源的供应，失去了能源，我们将寸步难行，日子难过。

文明越向前发展，对能源的需求和消费就越多。

能源这个词，虽然从 70 年代至今才频繁地进入人们的语言文字中，其实，人类很早就已经认识了它。例如煤炭，由考古证实，6000—7000 年前的新石器时代，就发现了用煤精磨制的物件，至迟在西周，我国已经能够采煤并用煤做燃料。英国从 13 世纪开始了有组织的采煤工作。

当然，大规模使用煤是从 18 世纪至 19 世纪英国产业革命开始的。瓦特蒸汽机的发明和普及，促进了煤炭的生产和利用，从那时起，作为能源的煤炭成了工业的粮食。

人类为了发展农业和畜牧业，以获取维持生命的食物，已经不限于接受自然界的太阳能，也同样需要大量诸如石油和电能等在内的能源，以致有人称现代农业是石油农业。

如今的能源，已不是煤炭这种单一的物质，而是汇合煤炭、石油、天然气、水力、核能、地热能，风力、海洋能、太阳能以及沼气、氢能、电能等等的总称。

能源是人类从事各种经济活动的原动力，是生产力发展的重要标志。几千年来，人类一直顽强地同自然作斗争，为获得新的能源而奋斗。

人类在认识和利用能源方面有过四次大的突破：火的出现、蒸汽机的利用、电的应用、核能的开发。

目前的世界面临着三个相互联系的主要问题，自然资源短缺（主要指能源、粮食和水）、人口迅速增长、环境污染。而根本的问题是潜在的能源短缺，因为能源是满足人类一切物质需要的基础，是生活 and 娱乐的基本保障。

可是，世界上目前正在大量使用的石油、天然气、煤炭等的储量是有限的，总有一天要用完，全世界对这些化石燃料或有机燃料已探明的储量，按目前的消耗水平来看，少则几十年，多的（如煤炭）也只能开采几百年。

而且，全世界对能源的需求是逐年在增长，估计在 2000 年要比 1978 年增加一倍多。

人类要一代一代继续生存下去，必须为长远的未来作考虑。因此，要对各种资源状况作全面的了解。

当世界上石油用完之时，以石油产品为燃料的汽车、火车、飞机就将失去动力。更何况石油天然气与煤炭等本身是化工原料，不能轻易白白地当燃

料烧掉，应该让它以宝贵的原料更好地发挥作用。而且煤炭、石油、天然气的燃烧，还有一个很大的问题，对环境造成污染。

就最近的将来而言，地热能、风力、海洋能、太阳能、沼气、氢能等，还不可能经济地采用，不可能代替石油、天然气、煤炭，而水力的开发也有限度。

在认识到原子的聚变和裂变都能产生巨大的能量时，科学家们立即敏感地意识到，这样巨大的能量并不是只能做为一种破坏性和毁灭性巨大的战争武器——原子弹和氢弹。如果很好地加以控制，那么，从原子内部释放出来的能量，同样能给人们做许多工作，正象过去人们从机械能、从化学能那儿得到巨大的动力那样。

利用原子裂变时产生的能量去发电，也就是利用核能发电，是一个极好的设想。经过科学家们的努力，现在已经成为事实，人们正在指望核能成为人们摆脱能源困境的好办法。

第一节 核能发电

1954 年，美国建造的世界上第一艘核潜艇下水。后来在北极冰层下成功航行，这就促使他们计划建造世界上第一座小规模核电站，这实质上是由小型潜艇反应堆按比例而增大的。当核能推动所产生的电力第一次送进电力网时，商用核能才终于被人们确认。它是一座 6 万千瓦轻水示范反应堆，由美国联邦政府支持建造的。

1963 年，在新泽西州建立了一个 51.5 万千瓦的核电站，经济分析表明，核电最便宜。

因此，1965 年左右，核能在市场上一窝蜂地上马。

现在，我们先就遍布世界各地已经投入运行的 400 多个核电站的一般情况谈一谈。

远眺核电站的时候，首先看到的是高大的厂房和矗入云天的烟囱。火电站的烟囱，昼夜不停地冒着银灰色烟龙。但是，核电站的烟囱却从不冒烟，它实际上是一条巨大的通风道，排出的是肉眼看不见的废气。

核电站是利用原子核裂变反应放出的核能来发电的发电厂，它通常由一回路系统和二回路系统两大部分组成。核电站的核心是反应堆。反应堆工作时放出的核能，主要是以热能的形式，由一回路系统的冷却剂带出，用以产生蒸汽。因此，整个一回路系统被称为“核蒸汽供应系统”，也称为核岛，它相当于常规火电厂的锅炉系统，但工艺技术复杂得多。为了确保安全，整个一回路系统装在一个被称为安全壳的密闭厂房内，这样，无论在正常运行或发生事故时都不会影响环境安全。由蒸汽驱动汽轮发电机组进行发电的二回路系统，与常规火电厂的汽轮发电机系统基本相同，也称为常规岛。

核电站常常靠山傍水，四周绿树成荫，风景如画。如果你走进核电站厂

门，会感到环境清静而幽雅。这里既没有尘土灰渣的飞扬或小山般的煤堆，也没有庞大的油罐。外面没有刺耳的噪声。可在机房里，巨大的汽轮发电机却在飞转，强大的电流正源源不断送往四面八方。

在核电站的中央控制室，正面墙上布满了各式各样的仪表，指示灯闪闪发光，操纵员通过电脑遥控着核电站，使之安全稳定地运行。

核电站是能源家族中的巨人，他吃食很小，却力大无比。一座百万千瓦级的压水堆（反应堆中的一种）核电站，一年只需 30 吨左右低浓铀核燃料。而同样规模的煤电站，一年至少要供应它 230 万吨煤炭。

核电站的不凡风貌，其奥妙就在它的“核发电机”与众不同。

核电站是怎样发电的呢？简而言之，它以核反应堆来代替火电站的锅炉，以核燃料在核反应堆中发生特殊形式的“燃烧”产生热量，加热水使之变成蒸汽。蒸汽通过管路进入汽轮机，推动汽轮发电机发电。一般说来，核电站的汽轮发电机及电器设备与普通火电站大同小异，其关键设备在于反应堆。

普通的房子都有窗户，这是人所共知的，那不是为了装饰，而是为了实际需要。窗户的作用不外乎两个：一是采光、二是通风。设想房子要是没有窗户，岂不是又暗又闷，人怎么能在里面工作和生活呢？

有的工业建筑物，象进行精细操作的电子工业的车间，为了防止从房子外面的空气中带进来灰尘，影响产品质量，也为了保持室内一定的恒温要求，是靠人工调节系统进行换气并调节空气的温度、湿度的。即使象这种工业建筑，也还是开有很大的窗户，只不过这窗户是密闭的，只用于采光，不靠它通风罢了，因为到现在为止，无论用哪一种灯光照明，总没有太阳的光亮那样使人感到舒适自然。

核电站里安装着原子反应堆的厂房，则是因要求特殊，不能有窗户。

提起反应堆，人们会想到放射性是很可怕的东西。其实，对于危险物品，最好的办法是隔离。老虎要吃人，把它关进笼子里，就谁都不必害怕了，还可以放到动物园去任人观赏。核电站里的危险物质就是核燃料，它是一种有放射性的物质，特别是在使用过以后，放射性更为强烈。核燃料是被密闭在称之为燃料元件包壳的金属管内的。只要管子不破，放射性物质就不会漏到外面来，这是第一道防线。燃料元件放在反应堆的容器内，反应堆容器是密闭的。一切相联的管道，其它各种容器也都是密闭的。这是第二道防线。整个的反应堆设备都安装在一座密闭的建筑物内，这是一座没有窗的房子，万一放射性物质冲破一道和二道防线外溢，这座没有窗户的房子就是最后的防线。

核电站的反应堆是一个庞然大物，容纳这样一个东西的房子必然也很大，而且必须十分坚固。设想反应堆如发生严重的事故，比如说发生了爆炸，这最后一道防线也决不能受到损坏。它就象一个钟罩似的，把一切危险物质或危险气体都罩在里面，不会散发到外面去。

什么结构的建筑式样最坚固呢？是球形建筑。球形的东西，如果里面产生压力，那么它所受的力是很均匀的。而且，从几何学上可以知道，球体和其它几何形状比起来，在最小的表面积之下，有着最大的容积。这就是说照这个样子建成的房子，里面可以容纳最多的设备，而所用的建筑材料最少，也最坚固。

核电站反应堆厂房就是按照这个原理来设计的。由于它的主要目的是防止核电站在运行、停堆和事故期间因失去控制而将放射性物质排放到周围环境中去，因而这个没有窗户的房子就专门叫做“安全壳”。

50年代的“安全壳”，为了达到密封和坚固的目的，是做成球形的。这是一个很大的球，直径大到二、三十米，是用厚达50毫米的钢板压成弧形，一块块地拼焊起来的。这要求有很高的焊接技术，才能保证密封得很好。这种巨大的圆球，构成了核电站特有的宏伟景观。

造一个这样大的球形钢壳，要用几百万吨钢材。钢材用得还多还在其次，主要的困难在于焊接工艺不易达到要求。几千块钢板，几万里焊缝，要做到一丝气体不漏，实在很困难。而且还要防止焊接中钢板变形。既然安全壳是一种工业建筑，为什么不能用钢筋混凝土来造呢？于是，进入60年代，人们就为核电站建成了用钢筋混凝土作材料的安全壳，里面敷上钢衬里。式样也从球形演变为圆柱形上接一个半球形的盖，因为这样便于浇灌水泥。钢筋混凝土厚达一米，用来承受压力，而钢衬里只用来保持密封，这样，钢板可以用得很薄，焊接时就比较容易达到气密的要求。

有时候由于要求更可靠的气密性，在钢衬里和混凝土壳之间留一层1米多厚的空气隙，空气隙内的气压比周围环境的大气压低一些，如果钢壳发生泄漏，有放射性的气体就漏入这空隙中，因为这层空气空隙的气压低，所以泄漏到它里面去的有放射性气体绝不会再透过混凝土壳的裂缝漏到外面去，只能是外面的大气漏入空隙中。漏入空隙中的有害气体便可吸入专门的处理设备中加以处理，以除去有害的成分。

为了使混凝土安全壳更加坚固，现在大部分新建的核电站都采用预应力混凝土安全壳。它的原理很象紧箍木桶的铁箍的妙用。在混凝土里嵌进许多纵横交错的钢丝绳，用巨大的螺旋机构将钢丝绳拉紧。这样的安全壳十分可靠。每一股钢丝绳都可以安装测力的仪器，随时检查拉紧的情况，如果有哪一根松了，便及时重新拧紧，用这么多钢丝绳捆紧的混凝土壳，不可能一下子崩开。要是损坏的话，总是先裂一条小缝，钢丝绳的弹力就会把这条小缝挤合。这样的建筑物，固然没有窗，但门还是有的，不过这门也是密封的，而且还十分坚固。

这样的安全壳，在设计的时候已经考虑到，即便壳内的反应堆本身发生最大的事故，它也不会损坏。那么它对外面来的“飞来横祸”是不是有足够的防御能力呢？作为安全考虑，应把所有的可能性都估计到。

安全壳旁边就是汽轮发电机厂房，这是一栋没有防护的厂房，如果汽轮

发电机正在高速运转，忽然，旋转着的叶轮碎裂了，裂成了几个碎片，它们冲破屋顶，打在安全壳上，结果会怎么样呢？最好的是做实验。做一块厚长1.4米、面积为 6×6 米²的钢筋混凝土板，它同实际核电站的反应堆安全壳的混凝土壁是一样的。把重达1.5千克的汽轮机叶片放在一个小型火箭的头部，发射火箭，使火箭加速到每小时300公里的速度，射击这块混凝土板，看看它是否损坏。

每小时300公里是计算出来的碎片可能的甩出速度，试验的结果是叶片的一头钻入了混凝土中达半尺深，而整块混凝土板却没有大的损伤，只不过在背后有少许裂纹而已。

如果电线杆因刮大风而倒在安全壳上又会怎样呢？坚固的安全壳肯定不会损坏。

要是一架飞机失事，撞在安全壳上，这又会发生什么结果呢？很多研究者在研究这种事故发生的可能性和后果。幸亏核电站不会建在飞机起落频繁的航线之下。要是真的有一架飞机撞到核电站的安全壳上，那机会也许是几千年才有一次。至少到目前为止还没有发生过。

地震会不会使安全壳破裂？这在选择厂址的时候就已经作过考虑，那时已对地质情况作了调查，最好是在从未发生地震的地区，并且按照防震的要求来建造核电站。这就是说，即便发生最大的地震，安全壳仍旧能保持完整；不管是下陷也好，翻倒也好，安全壳仍应安然无恙。这样，里面的东西即使震坏了也不致漏出来。

那么，核电站有没有辐射危险呢？

核电站的燃料（铀-235）在裂变发出能量的同时，放出中子、 β （贝塔）射线、 γ （伽玛）射线，铀的两个分裂碎片将长期辐射出 β 射线、 γ 射线。核电站的带放射性的部分（反应堆及其冷却系统）放在有防护的球形或圆柱形安全壳内。

即使有充分防护，核电站也向外界产生微量辐射，但是这种微量辐射对人们并不构成任何危险。要知道，我们人类从古到今一直生活在一个放射性的世界中，我们周围的自然环境充满着辐射。这种辐射来自土壤、水和空气中的天然放射性（如自然界的元素铀、钾-40、氡等）以及宇宙射线辐射。人们由于居住、饮食和日常活动每年平均要受到115至215毫雷姆的辐射剂量。雷姆是考虑射线对人的生物效应的度量单位、毫雷姆等于千分之一雷姆。从事原子能的职业人员每年规定不许受到大于5雷姆的辐照剂量，邻近居民每年受到的附加剂量不许超过50毫雷姆。

实际上，核电站附近8公里处的居民每年受到来自核电站的辐射剂量约为17毫雷姆，超过8公里以外实际已没有影响。所以，核电站的存在只使8公里内的居民每年总辐射剂量所增极少。

另外需要提到的是，烟草中含有微量放射性元素钋-210，这可能是导致肺癌的一个因素。煤电站由于煤含有天然放射性元素也会放出辐射线。地热

电站的蒸汽中有时含有放射性气体氡。在这个充满辐射的世界中，防护良好的核电站平常是不会构成辐射危害的。

第二节 核电站的废物

多数发电站都要产生废物，核电站也不例外。与煤电站相比，核电站产生的废物只有它的十万分之五左右。一座 100 万千瓦煤电站每年消耗煤约 230 万吨，每天要用 100 车皮的火车运煤；而同样发电容量的核电站每年消耗铀 1 吨。煤电站每年产生灰渣 25 万吨，每天要用 33 车皮的火车运渣，核电站每年只产生 11.6 吨的各种废物。

核电站产生的放射性废物包括固体、液体和气体。其中固体废物量很少，采取贮存或焚烧后贮存的方法。排放到环境中只是废气和低放射性废液。

核电站产生的放射性气体排放前先经过衰变或用活性炭吸附，达到允许标准后才由高空烟囱排至大气。排出物中只有氡-85、氙-133、碘-131 对公众有轻微影响。一般用相对危害指数、来比较各种有害排出物对人们健康的影响。

人们常常关注核电站的气体排出物，却容易忽视危害较大的煤电站气体排出物。一座 100 万千瓦的煤电站每年排出 24000 吨二氧化碳（ CO_2 ），360 吨二氧化硫（ SO_2 ），67 吨二氧化氮（ NO_2 ）和 3 吨一氧化碳（ CO ）。二氧化硫会引起呼吸道疾病，而且对电站附近的农作物生长有害，二氧化氮和飞灰的危险也较大。核电站就没有这些问题。根据相对危害指数的分析计算，煤电站气体排放物对人们健康的危害比核电站大 1880 倍，燃油电站气体排放物对健康的危害比核电站大 830 倍。此外，科学家们担心地球上二氧化碳的大量积累会对气候带来严重影响。因此，正常的核电站的气体排出物对公众和环境的影响是最轻微的。

核电站产生的放射性液体在排放前经过衰变，除去放射性或者稀释到无害水平才允许排放到湖泊、河流或海洋中去。有的国家核电站排出的废水放射性比家用自来水还低，比含 4% 酒精的啤酒中的放射性小 12 倍，比牛奶小 140 倍。

核电站本身产生的废物量小，对环境影响轻微，但是燃料后处理厂（用来处理核电站烧过的燃料，以提取有用的钚和回收未烧尽的铀）却要产生强放射性废液。这些废液先要在双层不锈钢容器内长期贮存等待衰变，然后用固化的办法变成固体，放在稳定的岩盐地层中永久贮存。已经证实，岩盐地层没有地下水循环，不受地震破坏，地质上可以稳定几百万年。

当然，任何一种能量生产都会对自然环境的平衡带来影响，人类是可以使这种不利一面缩小到最低程度的。

第三节 核电站的安全性

世界上没有绝对的事情。在现代的各种能源生产方法中，因事故而造成的重大伤亡屡见不鲜，例如，1988年在北海开采石油的平台就有165人死亡，在西德有一座煤矿发生爆炸造成57名矿工死亡；1984年墨西哥城的一起天然气爆炸事故中造成450人死亡，几千人受伤；1979年印度的一座大坝倒塌，有15000人死亡，等。同样，作为新能源技术的核能，也有发生事故的可能性。

1986年4月26日在前苏联切尔诺贝利核电站发生了有核电史以来最严重的一次事故。

这一天的凌晨1点23分，位于前苏联大城市基辅以北的130公里白俄罗斯—乌克兰大森林地带东部的切尔诺贝利核电站，第四号机组发生了事故，反应堆猛烈爆炸，引起熊熊大火导致反应堆堆芯毁坏和部分厂房倒塌。

事故发生以后，引起的大火被扑灭，展开了限制和消除事故后果的紧张工作，撤离了核电站毗邻地区及电站周围30公里地带的居民。据1987年7月8日电视报道，工作人员中，由于烧伤和急性射线并发症死亡的总人数31人。

事故后外泄的放射性物质主要是惰性气体和碘、铯等挥发性裂变产物，这些放射性尘埃在一至二周内即可消失，不象大气核试验产生的放射线尘埃要存在好多年后才能消失。

事故致使邻近苏联的芬兰、瑞典、波兰等国空气中的辐射水平比天然本底增高了4—10倍，这相当于的最大允许值的百分之几。离该电站最近的大城市——基辅，水源未被污染，空气最高辐射水平是正常排放水平的20倍。居民生活正常。

这次事故震动了世界，其后果几乎影响到整个国际能源界。

事故的根源是由几个没有想到的事件的综合原因所造成的，此核电站采用的大功率压力管式石墨反应堆在支持上有缺陷，更重要的是管理上的混乱，才酿成了这场灾祸。核能界必须从改进核技术及整顿管理中吸取教训。

切尔诺贝利核事故以后，在世界各地掀起了阵阵反核浪潮，当时对核能的偏见和讨伐之声掩盖了科学的理智呼声。后来，人们逐渐平静了下来，国际原子能机构1987年2月公布的数字表明，世界核能发展总的趋势没有受切尔诺贝利事故太大的影响，1986年又有21座核反应堆联网发电，新增加核发电量2094万千瓦。

当切尔诺贝利事故煽起的反核浪潮平息以后，人们能够比较冷静地对事件作出公正的评价。1987年初，21国欧洲委员会议会就核安全问题举行了听证会。他们拿1986年4月26日切尔诺贝利反应堆发生爆炸和起火对人的健康造成的已知的和估计会产生的长期影响与普通电厂同其他辐射源对人们的健康和环境带来的危险作比较。专家们得出了基本一致的看法，认为尽管发生了这次核事故，利用核燃料发电仍然比利用普通燃料发电要安全得多。

前苏联的国家原子能利用委员会副主席说，如果苏联重新用煤和石油等有机燃料来发电，对人们的健康和环境带来的危险将会大大增加。他还说，对因切尔诺贝利事故受污染地区的所有人进行的体检检查表明，目前没有发现与核事故有关的新的发病案例。

设在维也纳的国际原子能机构核安全部门的负责人也说：“人们现在已认识到‘煤和石油燃烧后产生的物质’对我们的环境是一个重大的威胁。”他提到了一个例子，一个发电能力为 100 万千瓦的普通电厂在城市居民中引起死亡的人数和生病的人数可以分别达到 3~30 人和 2000~20000 人，而一个发电力相仿的核电厂在正常运转的情况下引起死亡和生病的人数最多分别是一个。

对于核能的安全性已经为国际所公认。

核能的优点是十分鲜明的，其能量密度大，功率高，为其他能源所不及。这就容易使安全装置集中，提高效率。人们往往忽视，功率小，设施就分散，即使微小的危险也随之分散而导致经常发生大量不被人发觉的各种事故。

在能量储存方面，核能比太阳能、风能等其他新能源容易储存，后者常常什么时候有，什么时候才能利用，除非安装储存缓冲器，但这种装置目前价格昂贵。核燃料的储存占地不大，在核船舶或核潜艇中，也同样占据不大空间，因为它们两年才换料一次。相反，烧重油或烧煤设备需庞大的储存罐或占地很多。

核电作为一种新兴的能源事业，已在世界能源中占有举足轻重的地位，但它并非十全十美。正象其它任何先进技术一样，核电既能造福于人类，也伴有一定的潜在风险。从对核能的指责声中，我们就听到了一些对生态环境的影响以及退役时的疑虑。例如，台湾北部核能一、二厂和南部恒春的核三厂，对沿海渔业就有不小的冲击；南湾的珊瑚也因受到废热水浸害而死亡。

其实，无论是核电站还是火电站，都有余热排入环境，因此废热对环境的影响并不是核电站独有的，只是程度上有差别。核电站通过冷却水排入水中的余热要比火电站高约 35~50%。

世界上很多国家把核电站建在沿海，利用海水作冷却水，既可为核电站提供无限的冷却水，又比河水能更好地消散余热，减少余热对环境的影响。为了尽可能减少余热对天然水域的影响，人们还采取了不少措施，如制定排放标准，限制排放引起的温升；选择合适的排放位置及排放方式；提高热转换效率；余热利用等。

日本核电站排水温度一般高出海水温度有 7~9℃，进入海域后扩散很快，温度迅速下降，一般在 1~2 公里外的水表面温升即降到 1~2℃，因此对水资源不会带来有害影响。据国外报道，多数核电站附近的捕鱼量没有明显变化，有的地方还有增加。

核电站在投入正常运行时，进入废气、废液和固体废物中的放射性物质只是极少的一部分。核电站设有完善的废物废液废气处理系统，可对放射性

废物实行有效的处理。在核电站周围还设置许多监测点，定期采集空气、水样、土样和动植物样品进行分析，监督放射性对环境的污染。放射性物质很难以有害量进入环境。

因此，担心和忧虑核电站污染环境和破坏生态平衡是不必要的。利用核电站循环水的排水灌溉农田；利用冷却水的余热为温室供热，培养瓜果和鱼类是可以做到的。

第四节 中国的核电站

中国能源短缺极为严重，能源工业的发展远远赶不上生产发展的需要。西方的经验表明，由于能源不足引起的国民经济损失，是能源本身价值的 20~60 倍。尽管中国电力工业发展很快，但每年约缺电 400 亿度。就算每度电创造 2 元的平均产值(上海平均工业产值为 5 元/度电)就要损失 800 亿元，相当于 1983 年我国工业总产值的 13%。

中国商品能源中，煤占主要地位，1983 年煤占 73%，石油仅占 19.5%。1990 年煤炭约占 76%。中国煤储量的绝对值虽居世界第三位，但按人口平均占有量，只及全世界人均占有储量的一半。不仅储量有限，而且分布不均。华北地区煤的储量占全国 60% 以上，仅山西就占全国储量的 1/3。然而东南地区的上海、江苏、浙江、福建、江西、湖南、湖北、广东、广西，占全国人口 1/3 以上，全国产值的 40% 以上，煤的储量只占 2% 左右。这里陆地上的石油、天然气的储量也很少，可开发的水力资源只占全国的 1/6。因此每年要从山西、河南、安徽等地调入大量煤炭。今后首先是东南九省、市、自治区，然后是东北，将成为严重缺能地区。

从 1952 年到 1980 年，山西煤产量增加 11 倍，外运量增加近 30 倍，而铁路运输能力只增加 5 倍。虽然增建了新的铁路线，这是为全国经济建设服务的，但煤炭增产后所引的运输量的增加将会吞没新增加的运输能力的相当大的一部分，从而削弱了交通运输业对国民经济其他部门的支持。

中国目前化工原料有 2/3 来自煤，用煤制造甲醇及聚氯乙烯等已比用石油做原料价值便宜。到下世纪，煤将逐渐出现世界性的短缺的提价。到那时，不仅石油，而且烧煤都将是一种资源和经济上的损失或浪费。因此到下世纪，煤将日益无法挑起中国能源主要支柱的重担。

从石油的情况来看，虽然 70 年代自给有余(1973 年开始出口石油)，但是中国石油储采比例失调。从 1965 年到 1979 年的 14 年中，中国原油产量增加 10 倍，而新探明的储量只增加 2 倍。即使今后石油产量上升，由于石油越来越多地用作化工原料和出口，石油在中国能源结构中的比重将日渐下降。把石油当燃料，一吨石油约等于两吨煤，只能为国家增加 2~3 元利润的税金；如果将石油作为化工原料生产合成氨等，一吨石油可代替 3.5 吨煤，由于产品价值的提高，能为国家增加 200 元左右的利润和税金。因此要尽量

限制石油及石油产品在能源中的消耗。

就水力资源而言，中国虽居世界第一，但按目前人口平均，可开发的水能资源每年人均均为 1900 度，仍低于世界平均值 2260 度，远低于美国。而且水能资源分布不均，开发很少，主要在西南和西北，仅四川、云南、西藏就占 64.5%，大多远离工业中心，交通不便，地形地质条件复杂。1983 年中国水电仅占可开发的水力资源的 4.5%，开发程度在世界上是很低的。一些先进国家水力资源的 90% 已开发完毕，全世界的平均开发率约 20%。水电建设周期长，材料耗费巨大。到 2000 年，中国可开发的水力资源的利用程度，还只能超过 12%。况且水力资源有限，水电仍不可能成为主要能源。由于中国能源消耗量的增长速度很快，“远水解不了近渴”。在一段时间以后，随水力开发程度的提高，水电在能源结构中的比重还将会日渐下降。

综上所述，中国目前存在的主要问题是，煤炭的生产和运输紧张，水电开发程度低，石油和天然气后备储量不足，生产和生活用电严重短缺。同时还需要指出，中国农村生活用能尤其匮乏，过度消耗薪柴和秸秆会导致生态恶性循环。

能源是中国社会发展的重要物质基础，现代化的实现，在很大程度上取决于能源的供应和有效利用。我国已经把能源确定为社会主义经济建设的战略重点。

经过几年的调查研究表明，中国整个能源系统的技术和管理落后，能源利用率低，浪费严重，污染成害。因此，能源已成为国民经济发展的突出的制约因素。从中国国情出发，依靠科技进步，加速能源开发和合理使用，成了当务之急。

中国能源资源地理分布极为不均，地区能源丰富程度相差悬殊，开发条件有优有劣。经济重心偏东，而能源重心偏西。

为了对付能源资源分布不均匀的局面，以往只得靠北煤南运、西电东送来弥补，能源运输量占全国铁路运量的一半以上，水运中煤炭运量也占 1/3 以上，造成了交通运输的极度紧张。

尽管作了很大努力，中国东南一些省区仍然严重缺能。例如，华东地区有三省一市是我国重工业基地，工业产值占全国 1/4，又是全国重要粮棉和农副产品基地。但华东地区严重缺能，发电用煤约 70% 以上要从外区二十多个矿点调入，全区缺电 1/3。如不迅速改变中国现有能源结构，是无法改变以上地区的严重缺能状况的。近年来，中国农村面貌有了很大改观，但由于缺电缺水，不少农户家庭，出现了洗衣机存米，电冰箱当碗柜的奇怪现象。显然，能源供应不足，要实现四化，提高人民生活质量，不过是空话。

由于核燃料能以少胜多，在中国东南地区发展核电站是完全适合当地情况的。它不但能满足这些地区的能源需求，还能缓解交通运输紧张。有人估计，在华东地区建造 1000 万千瓦核电站，每年可节省 3600 万吨原煤，省下 136 亿吨公里的货运量。发展核电对于电力短缺、交通运输极度紧张的华东、

华北、华南地区来说，作用十分明显。

由此可见，若在发展煤电、水电的同时，适当发展核电，会使我国的能源结构逐步趋向合理化。

要解决中国能源问题，必须积极开辟新能源，走能源多样化的道路。国务院的一个文件指出：“我们要从水电、火电和核电三个方面，加快电力工业的发展”。这是完全正确的。

中国不仅能源紧张，化工原料也很紧张。发展核电就可以节省大量的煤和原油，以进行煤和原油的深加工。这对于发展经济、满足人民生活需要和合理利用资源均有很大意义。

一、秦山核电站

目前，我国的核电工业正在市场的推动下有计划的建设之中。

1991年12月15日，在风景如画的杭州湾畔，一件令人振奋的大事发生了：我国在那里建设成功秦山核电站。虽然，这是一次没有声响的、悄悄进行的、和平的核裂变，然而，对于中华民族来说，它的意义决不亚于那颗惊天动地的原子弹！人们都清楚，建设一座核电站，让核裂变在受控的情况下，为人类造福，比制造一颗毁灭生灵的原子弹，难度要大得多。

然而，我们又成功了，一座发电量为30万千瓦的秦山核电站平地而起，它距上海市约120里，距杭州市约80公里。站址地质构造稳定，地震烈变很低，主厂房直接座落在基岩上，安全可靠。它完全靠我们自己的力量设计建设，并且并网发电了。

在世界上靠自己的力量建造第一座核电站的国家，中国是继前苏联、美、英、加拿大之后的第五个。但英国和加拿大的核电站都不是先进的堆型，如果从这种堆型（压水堆）核电站的独立设计建造来看，中国则是继前苏联、美国之后的世界第三位。

秦山核电站系统设备复杂，大小设备2万多台件，涉及到设备制造厂商200多家，特别是核电站的主要设备，安全性能要求高，制造难度大，国内制造厂家经过几年的努力，攻克了许多难关，严格执行质量保证大纲，按质按量为秦山核电站提供了优良合格的产品。

核电站设备的国产化率很高，如按设备自身看在90%以上，按所用资金核算也在70%以上。

核反应堆部分自1991年8月加入核燃料后，1991年10月底，裂变反应开始，反应堆进入零电压的临界状态。1991年12月15日零时14分，秦山核电站首次并网发电试验成功。目前，核电机组运行正常，核能转化的电力正输入华东电网，送往城市农村。

为保证核电站的安全可靠，秦山核电站采取了防止核泄漏的四道安全屏障。第一道屏障是控制反应性慢变化的硼溶液；第二道屏障是控制反应性快变化和意外事故的控制棒；第三道屏障是把反应堆包在其中、密封极好的反应堆压力容器；第四道屏障就是具有世界一流水平的安全壳。该安全壳不仅

在反应堆完全毁掉的情况下，保证放射性物质不会泄漏出来，还可以做到遇龙卷风、强地震、失事飞机和陨石的撞击而岿然不动。

所以，秦山核电站的安全性是极高的，真可以说是万无一失。

二、大亚湾核电站

广东的地理环境、气候条件对发展工农业生产有不少得天独厚之处。但长期以来能源不足，而电力是其中突出的薄弱环节，全省全年平均缺电达1/3。在枯水季节，不少企业每周只能开工三四天。由于缺电，一些值得发展的项目不得不搁置，某些已在建设的项目也蒙受影响。这对整个经济以至居民生活的影响是不难想象的。

造成广东电力工业跟不上国民经济发展的客观原因，主要是广东缺乏能源。全省煤炭储量不多，年产只有700—800万吨，平均每人每年只有120公斤左右。广东如建大型煤电厂，一座百万千瓦电厂每年需煤约200—300万吨。因此需从华北、西北远距离调运煤炭，这在短期内难以解决。水电资源方面，广东已经建设了一批中小型水电站，如新丰江、枫树坝等，但不能满足用电的需要。如果建设较大的水电站，由于广东地处珠江下游，落差小，淹没面积大，且地少人多，这是不适宜的。即使在广东以外有适合的条件建设大型水电站，由于水电有季节性，为了保证稳定供电，也必须有适当比例的火电或核电相配合。南海石油资源丰富，正在勘探，根据国家能源政策，石油是宝贵的化工原料，也不能大量用来发电。因此，广东要加快电力建设，应当考虑能源的多样化，适当发展核电。

当然，从中国的电力供应上讲，在近期核电只是个补充。但从长远的需要来看，核电必将有个大的发展。当前核电必须迅速起步，并在一定时期内为将来的核电大发展打好基础。广东核电站的建设就是在这样的背景下得到国家批准的。

从香港方面来说，70年代电力发展受到了石油危机的冲击，电费一度连年上涨，上升幅度最高的一年曾达50%以上。为摆脱这种危机，香港的两家电力公司都转向建设煤电厂。香港有关方面，还委托国际原子能机构研究在香港建设核电站的可能性。研究结果表明核电有竞争力，但香港不具备建设核电站的条件。因此，他们希望和广东合作，在靠近香港负荷中心的地方，利用廉价的土地、劳动力等条件兴建核电站。广东毗邻香港，历史上一向经济交往密切，在国家实行对外开放政策并对广东实行特殊政策、灵活措施以后，两地经济关系更为密切。基于粤港双方都有建设核电站的需要和愿望，广东电力公司和香港中华电力公司，早在1979年冬便成立了联合工作委员会，研究在广东省境内兴建核电站的可能性。经过双方长达五年之久的谈判，终于在1985年元月签订了合营合同，成立了广东核电合营有限公司。

广东核电站的兴建，将为香港解决能源问题提供有力的保证，核电站的发电量约为100亿度，其中70%输往香港。前五年电价将不高于香港用煤发电的电价。如此优惠的电价，不但对香港整体经济的发展极为有利，而且惠

及每一个市民。同样，广东核电站的建设和投产，无疑是推动广东各地，特别是深圳经济发展的强有力杠杆。

至于厂址选择，更是把安全放在首位。这项工作从 1979 年开始。按照核电站选址要求，首先组织有关厂家在西江、北江、东江，以及在珠江口以东到海丰鲎门沿海地区进行调查踏勘，第一次从十几个点中筛选，推荐了三个点。又经过一年多的调查和踏勘，认为这三个点中，比较好的是大鹏湾的屯洋。它与香港的直线距离是 45 公里，距深圳是 35 公里。这个距离，按照法国、美国的安全标准，以及同有些国家核电站与大中城市的距离作比较，对城市安全是有充分保证的。但是考虑到对公众的心理影响，放弃了这个点。以后又组织专家沿大鹏湾半岛和大亚湾进行选址。在 1982 一年推荐了五个点，经过地质勘探和水文、气象、人口和生态环境调查，请各方面专家反复审查鉴定，于 1983 年 2 月由国家组织有关部门的专家进行审定。认为大坑、凌角两个地点，从区域稳定、地震地质、环境保护、取排水、地形、交通运输、施工场地、和输电线路出线走廓等条件衡量，都符合建核电站的要求。经过进一步工作和从技术经济方面比较，1983 年 9 月最后选定了大坑麻岭角厂址，也就是大亚湾核电站现址。它直线距离香港 52.5 公里，距深圳 45 公里，并有大鹏半岛山岭的屏障，属人口稀少地区，自然和生态环境条件也比较好，是个比较理想的厂址。

秦山和大亚湾核电站的建设只是中国发展核电工业的序幕，随着四个现代化事业的发展，对核电的需求还将会越来越显示出它的迫切性。

第四章 形形色色的核能源

第一节 海上及水下的核电站

大西洋海面上，漂浮着一座比足球场还大的环形小岛——海上核电站，岛上高大的厂房隐约可见。美国设计的这种核电站是在一个长 130 米、宽 120 米和深 12 米的铁制浮动箱上建造的小型核反应堆。浮动箱露出水面 3 米，而有 9 米处于水下。整个核电站重约 16 万吨，可以在深 15 米的浅海中漂浮。

从图上可以看到，核电站好像被围在一个环形岛上。其实，那是为了防止凶猛的海潮和巨大的海浪冲击核电站而设置的圆形防波堤。

这种防波堤造得非常坚固，是用 1.7 万多个象星状一样的钢筋混凝土堆桩垒成的，而且在堤的下面还有好多个长 60 米的大混凝土沉箱作地基支撑着。在堤上还建有水闸，以便海水进入核电站周围，作为反应堆工作时的冷却用水。但当大型油轮高速驶近核电站附近的海面，或者特别大的海潮来临时，必须将闸门关上。

这种核电站可先在海港内建造，然后用大轮船象拖驳船一样拖向离海岸不远的浅海区，或者海湾附近。电站发出的强大电力，可通过海底电缆与岸上的电网接通。同时，由于建有较高大的防波堤，能引来鱼、虾回游，便于海洋生物的养殖和捕捞。

在海上建造核电站的一个重要的优点是，造价要比陆地上的核电站低。这一点是很吸引人的，因为在同样的投资条件下可以建造更多的核电站。

海上核电站的另一个长处是，在选核电站地址时，不象在陆地上那样要考考虑地震、地质等条件，以及是否在居民稠密区等各种情况的影响，而且选择的余地大。

这种核电站还有一个独特的优点是，海上的工作条件几乎到处都一样，不存在陆地上那种“因地制宜”的种种问题。这样，就可以使整个核电站象加工产品一样，按标准化的要求进行制造。结果，建造出的核电站全都模样相同，象多胞胎的兄弟一样。因而，能象工业上的流水线作业方式来制造一批核电站，既简化了生产过程，又方便了使用，而且还可大大降低建造成本，缩短建造的时间。

现在，人们对这种灵活方便的海上核电站很感兴趣，特别是象英国、日本、新西兰等岛国，陆地面积适宜建造核电站的地方少，而海岸线却很长，就可充分利用这一优势，大力发展海上核电站，使辽阔的海面上镶嵌更多、更大的明珠！

核电站不仅可以漂浮在海面上，更令人惊奇的是核电站还可以潜伏在海底，静悄悄地为人服务。

不久的将来，海底核电站就要正式问世了。

海底核电站并不是人们凭空想出来的。它是随着海洋石油开采不断向深

海海底发展而提出的一项大胆设想，实际上也是远见卓识的创新。

要勘探和开采海底，特别是五、六百米以上深海海底的石油和天然气，需要从陆地上的发电站向海洋采油平台远距离供电。为此，就要通过很长的海底电缆将电输送过去。这不仅技术上要求很高，而且要花费大量的资金。如果在采油平台的海底附近建造海底核电站，就可轻而易举地将富足的电力送往采油平台，而且还可为其他远洋作业设施提供廉价的电源。

海底核电站在发电原理上和陆地上的核电站是一样的，都是利用核燃料在裂变过程中产生的热量将冷却的水（或其他液体）加热，使它变成高压蒸汽，再去推动汽轮发电机发电。但是，海底核电站的工作条件要比陆地上的核电站苛刻得多。

首先，在海底核电站的各个零、部件要能承受住几百米深的海水所施加的巨大压力；其次要求所有设备滴水不漏，密封性好，并能耐海水腐蚀。因此，海底核电站所用的反应堆都安装在耐压的堆舱里，汽轮发电机则密封在耐压舱内。而堆舱和耐压舱都固定在一个大的平台上。

考虑到安装方便，海底核电站可在海面上进行安装。安装完工后，将整个核电站和固定平台一起沉入海底，座落在预先铺好的海底地基上。

当核电站在海底连续运行数年以后，象潜水艇一样可将它再浮出海面，以便由海轮拖到附近海滨基地进行检修和更换堆料。

美国最先开始研究海底核电站。早在 1974 年，美国原子能委员会就提出了发电容量为 3000 千瓦的海底发电站的设计方案。这座海底发电站包括反应堆、发电机、主管道、废热交换器、沉箱等五大部分。它采用的是一种安全性非常好的铀氢化锆反应堆。

这种反应堆的特殊之处就在于，它的发电能力在极短的时间内能由零迅速上升到几百万千瓦，以后又自动迅速地降落下来。所以，人们将这种反应堆叫做脉冲反应堆。意思是说，它象那汽车转弯的指示灯，一闪一闪地变化很快。别看脉冲反应堆这么一升一降，可它的发电能力大为提高。就以这座发电站来说，它在稳定时的发电能力虽然只有 3000 千瓦，可是其脉冲发电能力最高可达 600 万千瓦，是原来的 2000 倍。

核反应堆用的冷却剂，是取用方便的海水。整个核电站在海底安全运行四年后，浮出水面，进行换料检修，然后再沉入海底继续使用。

英国研究海底核电站也比较早，是在 70 年代初期“石油危机”后开始研制试验的。1978 年，为了开采海底石油，英国几家公司联合提出了海底核电站的设计方案。

它与美国的海底核电站的主要区别是，装置了两座反应堆舱。这样，在一座反应堆停堆换料或检修时，另一堆可照常供电，保证采油平台连续用电的需要。反应堆安置在长 60 米、直径为 10 米的耐压舱内，而耐压舱可在 500 米的海底长期稳定工作。

耐压舱的外壳是用双层 5 至 7 厘米厚的钢板制成的，中间灌注混凝土，

其厚度为 0.5 至 1.5 米，并随水深而增大。汽轮发电机共装备了 3 台，也分别密封在耐压舱内，以确保电力供应的需要。

第二节 上天入地的核能源

1986 年，前苏联切尔诺贝利核电站发生事故以后，前苏联等国核电站设计专家为提高核电站的安全系统的可靠性，进行了深入的调查研究。其中有一个研究方向是探讨地下核电站的可行性。结果表明：地下核电站比地上核电站更为安全，并且经济和技术上都是可行的。

前苏联核反应堆的防护罩只有 1.6 米厚，反应堆内的熔融核燃料一旦逸出而压到罩壁上，不到 1 小时就会把罩烧毁。在新的“核电站-88”设计中，防护罩也只能耐受 4.6 个大气压的内部压力，电缆、管道等也只能耐受 8 个大气压，而在反应堆核燃料熔融事故中蒸汽与氢的爆炸会产生高达 13~15 个大气压的压力，所以，在未能设计出“绝对安全的反应堆”之前，应将核电站建在地下。目前所说的地下核电站，是把反应堆和控制系统建在石质和半石质地层中的中小型核电站。

据分析，这种地下核电站至少可保证运营中不危害周围环境，不发生切尔诺贝利核电站那种浩劫式的事故后果，而且便于封存寿终正寝的反应堆，减轻地震对核电站的影响。此外，把核电站转入地下还可以使核电站的建设得以在现有技术水平上得到发展，而无须等到“绝对安全”的核电站设计问世之后再发展核电。

据分析，把 4 个机组的 100 万千瓦核电站的反应堆和控制系统建在 50 米深的地下，建筑费用只增加 11~15%，但如果把关闭核电站所需费用算进去，那么地下核电站的造价比地上核电站还要低一些。拿 2 个机组的 50 万千瓦供热核电站来说，将反应堆设在地下的建筑费用比地上同类核电站多 20~30%，如把关闭核电站所需费用打进去，则只多 4~11%。

1978 年 1 月 24 日，前苏联军用卫星“宇宙 954”号因控制机构失灵而坠入大气层，变成许多小碎片，散落在加拿大的西北部地区。加拿大政府就此向苏联提出抗议，并要求赔偿损失。国外一些报刊也就此纷纷发表评论。

怎么卫星坠毁于他国，竟引起抗议和纠纷呢？原来在苏联这颗军用卫星上装有核反应堆，卫星失事后变成碎片散落在地面上，就会产生污染，人们由此知道，核反应堆已被搬上太空，成为当时超级大国争夺空间的重要工具。

其实，美国在这方面也毫不示弱。早在 1965 年，它就发射了一颗装有核反应堆的卫星。

在卫星上装有各种电子设备，包括电子计算机、自动控制装置、通信联络机构、电视摄像和发送系统等，都需要使用大量可靠的电能。对于用来探测火星、木星等星体的行星际飞行器，配备的电子设备就更多更复杂，而且来回航程就要数年至十几年。在此期间，还要与地球保持不断的联系，……

因此，这种太空飞行器上所用的电源，就要求容量更大，性能更加可靠。

为了满足太空卫星和飞行器的用电要求，人们进行了各种试验研究。

60 年代初期，首先在卫星和太空飞行器上使用了燃料电池。这种电池和普通化学电池（即干电池）不同，它实际上是一种发电设备。只要向电池中不断地注入反应物质（流体），排出反应的产物，燃料电池就能长期连续地进行工作。

通常广泛采用的是氢—氧燃料电池。由于这种燃料电池是一种把燃料具有的化学能，也就是氢—氧燃料的燃烧热能连续而直接地转变成电能，没有作机械运动的零部件，所以它的工作稳定可靠。不仅如此，它除了能得到需要的电能外，还可以得到与燃料的消耗量相同的水。这种水经过净化以后就可供人饮用。这对太空飞行器来说，是一种宝贵的副产品。美国的飞船就采用了氢—氧燃料电池。但是，燃料电池的成本高，使用寿命最长为几十天，不能满足长期使用的要求。

后来，人们又采用了太阳能电池作为太空卫星和飞行器用电源。然而，当卫星运行到地球背面，或在月球上漫长的黑夜（一个“月夜”相当于地球上的 14 个昼夜），或者向远离太阳的其他行星飞行中，太阳能电池就根本无法工作。此外，即使在有阳光的条件下使用太阳能电池，但当需要提供大量的电能量，仅电池的集光板就得大到上千平方米，这在太空飞行中显然是难以做到的。因此，人们最后才找到了比较理想的太空飞行器和卫星用的电源——空间核反应堆。

在采用反应堆作为空间电源之前，广泛使用的是放射性同位素电池。直到目前，在一些太空飞行器上还大量采用这种核电源。

常用作放射性同位素电池的同位素是钷-238 和锶-90，它们的半衰期（放射性元素由于衰而使原有量的一半变成为其他元素所需要的时间）分别是 87 年和 28 年。核电池的使用寿命，一般可达 5 年至 10 年以上，电容量可达几十至上百瓦。然而，它的电容量与空间核反应堆电源比起来就微不足道了。

堪称空间电源大力士的核反应堆，其电容量从 500 瓦至几千瓦，甚至可高达百万瓦。在这种情况下，对于要求电源容量越来越大的一些太空飞行器来说，就理所当然地选用核反应堆作电源了。

太空核反应堆在工作原理上与陆地上的核反应堆基本一样，只是前者由于在太空飞行中使用，要求反应堆体积小，轻便实用。为此，太空核反应堆所用的燃料是纯铀-235。这种核反应堆连同控制装置，大约象 2 公斤重的小西瓜那么大。反应堆运行时产生的热量，一般用以下两种办法转换成电能：一种办法是，将装有液态金属（如水银或钾钠合金）的管子从反应堆中通过，液态金属就吸收热量变成蒸汽，来推动汽轮发电机发电。它的优点是，能量转换效率高，可达 30%。缺点是，汽轮机的转速很高，达到每分钟 1 万转，这在空间飞行无人维修的情况下，很难做到长期安全运行。因此，这种办法未能得到实际使用；另一种办法是，以热电偶或热离子方式发电。它不需要

转速很高的汽轮机，所以使用简便，可以长期稳定地发电。

太空核反应堆不仅用作空间飞行器和卫星的主要能源，而且还是未来用于考察和开采月球矿藏的理想电源。在人类征服宇宙空间的伟大事业中，空间核反应堆无疑将是最得力的助手之一。

1992年8月报载，俄罗斯圣彼得堡设计所已建成一台供人造地球卫星使用的微型核电站：“黄玉—2”号，其功率为7000瓦。装置中没有涡轮机，也没有发电机，完全靠反应堆把原子能直接变成电能。微型核电站机组的寿命为5~7年。

第三节 核能火箭遨游太空

1908年6月30日晨7时许，在俄国西伯利亚通古斯地区的森林上空，发生了一次稀有的爆炸。方圆几百公里内数以千计的居民，看到天外飞来了一个巨大的火球，很快变成了一根擎天的火柱。接着是天崩地裂的巨响，大地都在颤抖。

随后是冲击波夹着狂风把周围30公里的森林夷为平地，远在400公里外的屋顶被掀走，森林中的树木被烧着，动物被烧焦。爆炸引起的气浪，绕地球转了两圈。爆炸后，出现了一系列反常气候，蘑菇状的烟云冲到19公里的高空，通古斯地区普降黑雨。爆炸后出现了磁场干扰。据当时记载所作的测算，这次爆炸威力相当于1000万吨级核爆炸。这就是举世闻名的通古斯大爆炸。

80多年来，先后有许多科学家到过通古斯地区实地考察，试图揭示这个世界之谜。早在1927年，苏联科学家库里克，率领考察队到通古斯地区作过十几次仔细考察，他们掘到25米也没找到陨石或陨石的痕迹。近来，又有一些科学到过通古斯地区，利用最先进的检测技术，对爆炸区树木作了放射性检测。结果发现情形与遭受原子弹袭击的广岛很相似。还发现爆炸中心区土壤里有数以千计的直径几毫米的小珠，很可能是高温熔融的硅酸盐。

目前的科学界倾向于认为这是一个小行星造成的，但是，有的科学家根据已发现的种种迹象，大胆地推测通古斯大爆炸是一艘外星人操纵的核动力宇宙飞船失事时引起的核爆炸。

他们推想：这时这艘核动力飞船正以几分之一的光速从天外飞向地球轨道。操纵者本想对地球作一番仔细的观察，但不料在飞船进入地球轨道后，发动机出现了故障。飞船与大气发生摩擦，表面产生高温而猛烈燃烧起来。飞船在离地面8公里上空时，好象作了一次飞行姿态修正，想避免迫在眉睫的灾难。但最后的努力也失败了，结果因核装置触发，引起了一场灾难性的核爆炸。

如果这一设想成立的话，就等于告诉人们，80多年前，外星人就曾驾驶着核动力飞船探访过地球。也就是说，核动力推进宇宙飞船的理想并非地球

人的独创，也许在天外的文明星体里，它已经是平常的交通工具了。

有的科学家们确信外星人的存在，而且找到了许多令人信服的证据。现代科学家估计，在浩瀚无边的宇宙中，有亿万个象地球一样生机盎然的星体。其中定有类似地球人的智慧生物生活着的星体，甚至有的已发展到比地球上更发达的核子时代。

有了这样的基本估计，人类决意出使茫茫太空去找觅知音人。1977年八、九月间，美国分别发射了“旅行者1、2号”无人驾驶宇宙探测器，带上包括115张有代表性的地球图片和35种自然音响录音带，先去拜访太阳系中地球的姐妹星，随后离开太阳系，飞向深空去寻找宇宙人。

早在1913年，小说家韦尔斯在《人类的解放》一书中，曾大胆地幻想过带着原子弹的原子飞机参加了欧洲战争。这时，科学家刚刚打开原子的一扇小窗，原子世界才透出了一丝透明的曙光。后来，随着原子世界大门被敲开，科学家们就大胆地设想用核能作动力来推进飞船。

早在1955年，美国就开始研究核子火箭。后来这项计划曾一度因种种原因而进展缓慢，但在研究中，科学家已找到了一些有希望的设计方案。

有征服宇宙的征途中，已迈出了可喜的头几步。人类已在宁静的月球表面上留下了浅浅的脚印。还多次派出空间探测器对金星、火星、木星等地球的近邻作近距离的考察，发现了许多前人未曾知晓的奥秘。然而，迈出这几步，人们已经付出了高昂的代价。以美国登月计划为例，就花费近十年时光和300亿美元。推动登月飞船的巨大土星号运载火箭，就有35层楼房那样高。

尽管现代宇航工业有能力制造出比土星号火箭推力大得多的运载工具。但要奔赴远在数十光年以外的深空去旅行，化学燃料火箭因带不够燃料而无能为力。

由于铀核裂变时释放出来的能量比最好的化学燃料要大上十万倍，在未来的星际航行中，核动力火箭将大显身手。有人预计，在宇航时代到来时，化学燃料火箭只能担负近距离的运载任务，而深空航行的重任将落在核火箭身上。

那时，先将核动力火箭发射到环绕地球运行的轨道上，然后，由太空运输船将燃料箱运往天空，并一一挂在核动力火箭上。带足燃料的核动力火箭，载着宇航员离开地球轨道，飞向遥远的星球，然后模仿登月航行，派登陆舱在外星体上着落。在完成考察任务后返回等候在轨道上的母船，对接后重返地球轨道。核动力火箭在地球轨道和遥远星球之间往返运行。长期肩负星际航行的任务，无需返回地面。

核火箭用的发动机是靠核燃料（铀或钚）裂变时产生的巨大热能，将推进剂加热到极高温度（4000℃以上）。推进剂因而获得动能，以极高速度从尾部喷出，从而推动火箭高速飞行。

由于核燃料体积小、发热量大，核火箭可做到重量轻、体积小，化学燃料火箭根本不能与它抗衡。

将来，人类不但要飞出世代居住的地球，而且要离开太阳系作令人神往的深空旅行。也可能到某个未知星体上与外星人聚会，而且这一光荣使命要在人的有生之年内完成。

要实现这一美好理想，人类必须要与时间赛跑，使自己的生命进程变得更慢些，以适应去数十光年距离以外的天涯旅行的需要。当然，乘坐现代速度不高的宇宙飞船的旅行是不可能的。但要是乘坐接近光速的飞船，就有可能达到目的。

有人也许在 1992 年夏天去观赏过北京中山公园内的苏州灯展，其中有一个造型是“二仙一局棋，人间过千年”的神话故事。还有人也许读过关于一位宇航员作了一次接近光速的航行后回来与亲人团聚，发现他的儿子已变成白发老人，而自己却很年轻的科学幻想故事。起初可能感到很离奇，但要是用科学的道理分析一下，就一点也不觉得惊奇了。相对论已告诉人们，在接近光速飞驰的物体上的时钟，会大大减慢。同样，在接近光速飞行的飞船上，人的衰老过程也会大大减慢，科学家已为相对论找到了实验依据，他们将 K 介子加速到接近光速时，终于出现了介子寿命大为延长的奇迹。

人类有理由期待，随着宇航技术的发展和核火箭的应用，会亲眼见到“二仙一局棋，人间过千年”的神话变为现实。当然，要使核动力火箭加速到接近光速是极不容易的，人类务必付出艰辛的努力。

据 1992 年初报载，美国一些著名科学家和工业界人士指出，假如美国宇航员要登上火星的话，必须依靠核动力。

在 1975 年美国阿波罗号和前苏联联盟号对接中作为指令长的托马斯·斯塔福特，曾领导一个小组研究对太阳系探险的几个计划以及有关的技术细节。

布什总统 1989 年在庆祝首次登月 20 周年大会上的讲话推动了人们提出各种空间计划。为响应布什的号召，美国宇航局准备对火星进行探险。

在副总统奎尔的要求下，美国宇航局发出 34500 封信，征求意见。

美国宇航局从全国各州的科学家和工业界人士中，以及从学校的孩子中收到 1697 封回信。斯塔福特小组将各种意见汇集起来，并提出火星探险的四条不同的途径。所有意见都认为，飞船要依靠核动力，以缩短到达火星的时间，这将使宇航员少受太阳耀斑和宇宙射线的照射。另外，核动力反应堆也比化学推进器轻，可降低发射运载火箭的费用。

美国宇航局之所以重视孩子们的建议，道理很显然，如今的宇航计划必将要依靠明天的宇航科学家和宇航飞行员，也就是今天的孩子们去实现。理想寄托在青少年的身上。

早在 25 年前，人类就踏上了月球，实现了人类千百年来梦想。现在科学家们又把眼光转向了火星，他们预言这一目标将在下个世纪初实现。尽管还不能确切指出具体的日期，但只要通过努力克服目前宇航技术方面尚存的不足之处，人类登上火星之日是可以期待的。

作为可供完成火星之行的运载火箭之一的核聚变动力火箭，现在成了科学家们研究的课题。他们的方案为：将各种材料的构件陆续运送到地球轨道上，在那里组装核聚变动力火箭，因为在零重力空间可以组装起比在地球上巨大得多的火箭。利用这种火箭把宇宙飞船送上火星，可给宇航员赢得 10—20 天在火星表面活动的时间，并能返回地球。

核聚变动力火箭采用氘和氦-3 组合燃料。这种推进方式具有很高的效率，但在技术上有很大困难，不易实现。此外，美国劳伦斯·利特莫尔国家实验室的罗德里克·海德博士也提出了使用氘和氦作为核聚变动力火箭燃料的设想：用数毫克这种燃料将 50 克固态氢包成小球，然后将这些小球以每秒 50 千米的速率经加速后喷向发动机后方。在圆锥形反应室中用激光照射这些小球，于是便可以引发微型核爆炸，在这种核聚变反应中产生的等离子体经线圈制成的抛物面状超导磁场向火箭后方喷出。如果让爆炸和加速以脉冲形式持续下去，宇宙飞船就能逐步达到相当高的飞行速度。

目前世界各国火箭使用的多为化学燃料，气体的喷射速度仅为每秒数公里，但是如果实现了这种激光核聚变，等离子体的喷射速度就能达到每秒 6000 ~ 10000 公里。

这种核聚变动力火星火箭的全长为 200 米，重量为 300 吨，包括 5 ~ 10 名乘员在内可向火星运送约 100 吨有效载荷。使用化学燃料火箭往返火星一次，无论如何也得用一年以上时间，而利用这种火箭用 100 天时间就足够了，这对宇航员们来说，当然是好事。

要实际造出这种激光核聚变动力火箭，必须使在超高温条件下发生的核聚变及在超低温条件下产生的超导技术趋于完善，还必须尽快开发产生强力激光脉冲光束的技术。尽管困难尚多，但完全可以将人类更快更远地送上其他行星的希望，寄托于核聚变动力火箭身上。

尾声 前途未可限量的核聚变电站

人们早就对太阳发出的能源产生了浓厚的兴趣，它每天发出那么多的光和热，而且根据科学家的推算，太阳的高龄已有 50 亿年。是什么能量使太阳能这么经久不衰地发出光和热，而且它的热度是那么高，表面温度达到 6000℃，核心的温度则可能是 2000 万℃呢？

当人们只知道燃料能发出光和热的时候，曾经猜想，太阳大概象一块巨大的煤，它在无休止的燃烧。然而到了 18 世纪，已经有科学家对这样的推测产生了怀疑。他们作了大概的推算，如果太阳真是一大块不断燃烧着的煤，那么，它在 50 亿年前该有多大呢？现在人们知道的太阳的体积，如果仍旧象煤一样继续燃烧下去的话，还能再燃烧多少年呢？

计算的结果更增加了人们对太阳是燃烧着的煤块的怀疑，因为将现在已知太阳的体积全部折算为煤的话，它顶多只能再燃烧 5000 年。显然，这么短

促的时间，对已经有了 50 亿年高龄，正处在它的“壮年”时代的太阳来说，是太过于微不足道，因而也是不足信的了。

再说，如果太阳上是一团煤在燃烧的话，那么，太阳的表面应该充满煤燃烧以后产生的二氧化碳，然而，1868 年 8 月 18 日，当印度出现日全食的时候，法国天文学家詹森和英国天文学家罗克耶用分光镜去分析日全食时在太阳表面上涌动的日珥，分别独立发现太阳上充满着一种在地球上未曾观察到的元素的光谱，当时人们不知道它是一种什么元素，就干脆将它叫做“太阳元素”。人们虽然还不知道太阳元素是一种什么样的元素，也不知道它的性质，然而，当他俩的发现报告同时在法国科学院宣布时，仍使大家为之惊奇不已。为了奖赏这一突出的发现，科学院为他俩铸造了一块金质的纪念章，一面是神话中的太阳神阿波罗，他驾着套了四匹马的战车；另一面则是詹森和罗克耶的头像，上部分别刻着詹森和罗克耶的名字，下部写着他俩的发现太阳元素的年月日：“1868 年 8 月 18 日太阳突出物分析”。

虽然一时弄不清“太阳元素”的性质，但它反正不是二氧化碳，从而便增强了太阳上发出的光和热不是由煤燃烧所提供的论点。但如果不是由燃烧作用所提供的，又是由什么作用所提供的呢？一时找不出合理的解释。

1895 年三、四月间，英国化学家拉姆赛、克鲁克斯，还有瑞典青年化学家兰格列，都在不同的场合，先后各自独立地发现了地球上也存在着那种“太阳元素”。这种元素现在我们根据它的读音翻译为“氦”。使化学家感到困惑不解的是，这种氦不爱和别的元素相化合，而且它常和放射性铀在一起。这样，就使科学家产生了一个联想，氦是不是和放射性元素有联系呢？

1903 年，卢瑟福和另一位名叫索地的化学家经过研究发现，从放射性元素铀放出的 α 射线，原来就是元素失去了电子的氦原子。它们从放射性物质中一粒一粒地射出来，所以又叫 α 粒子。 α 粒子射出来的速度非常快，每秒钟可以达到上万公里。

根据这个发现，化学家们立即敏感地猜想到，太阳上经久放出的能量极大的光和热，会不会是一种核反应的结果呢？如果是，那又是怎样的一种核反应呢？

1938 年，美国的贝特和德国的魏塞克证明，太阳上发出的光和热来自太阳上的氢。氢虽然能燃烧，不过太阳上的氢并不是在燃烧，而是在太阳那样一个特殊的环境里，温度极高（表面温度达到 6000 ），运动的速度又极快，（粒子射出速度达到每秒 19200 公里），氢原子核互相撞来撞去，每四个氢原子核撞在一起，就会聚合成另外一个原子核，同时放出很大的能量。这新聚合的原子核就是氦。

这是又一种原子核反应，由于它是轻元素的原子核（如氢）互相聚合成另一种元素的原子核反应，和重元素的原子核（如铀、钍等）受到轰击而分裂成另外的元素的原子核的反应相区别，前一种核反应叫做核聚变反应，后一种叫核裂变反应。两种核反应的共同点是：它们在核反应的过程中，都

能放出巨大的能量。

核反应所放出的能量，是过去已经知道的其他反应（例如燃烧，是化学反应）所不可比拟的。拿氢原子在核反应过程中聚变为氦原子核来说，每 1 克氢全部聚合为氦，它在聚变过程中所放出的热，能使 400 吨的冰完全变成水蒸汽；而如果这 1 克氢是与氧起化学反应，也就是被燃烧掉的话，它所放出的热量只不过能使 47 克冰变成水蒸汽而已。两相比较，差距有多大？氢进行的热核反应所放出的热核能，是氢进行化学反应时所放出的化学热能的 850 万倍。

这是一种多么令人向往的能源啊！核物理学家们岂能放弃对捕获和利用它的追求！

令人不无惋惜的是，对热核能源的开发最初成为现实，和原子裂变产生的原子能源的开发成为现实一样，首先得到成功的实验是氢弹爆炸！1952 年，美国爆炸了第一个热核聚变装置；1967 年，我国也成功地爆炸了第一颗氢弹。世界上其他一些核国家也都已拥有相当数量的热核武器。到目前为止，热核武器只是作为一种威慑力量而存在；在我国，则是作为与核威慑相抗衡的实力而拥有核武器。

热核聚变首先实现于核弹，其中一个重要因素是，要使氢原子核产生热核聚变，必须提供一个温度几千万以至 1 亿摄氏度的条件，氢弹是通过一个小小的原子裂变装置引爆，也就是说，先通过一个小小的原子弹爆炸，产生出这么高的温度，而后才能实现氢的热核聚变。

热核聚变，也就是氢弹爆炸，它产生的巨大能量，使人们震惊，人们当然进一步设想，如果能将这巨大的能量加以控制，使它们稳稳当地徐徐释放，去为人们发电做功，那该多好。

在起初，对这样的设想提出怀疑的人同样不少，首先是，怎样产生这样的高温条件；而后是在这么高的温度下完成的热核反应，人们可以用什么装置去加以控制，使它成为一种稳定的、可控制的能源呢？

富有进取精神和开拓思想的科学家们设想出种种办法来使热核聚变反应成为一种可控能源，这项研究就叫受控热核聚变。如 20 世纪 60 年代，世界上出现了托卡马克受控热核聚变装置，使这一研究获得了重大突破。

1984 年，我国正式建成并启动的“中国环流器 1 号”，便是研究利用受控热核聚变的实验装置。

后来，科学家又认为，太阳有巨大的引力场约束着氢的聚变，那么，在地球上，人们是不是也可以用引力场来作为约束氢核聚变的受控装置呢？

核科学家们还发现，利用氢的同位素，一种叫作氘(d 或 2H) 的氢的同位素，它的原子核里除了一个质子外，还有一个中子，所以它的质量比普通氢大一倍，人们叫它重氢。还有一种氢的同位素叫做氚(3H)，它比氘又多一个中子，质量比普通的氢要大 2 倍，也是一种重氢。当氘和氚在高温高速的条件下互相碰撞的时候，就会聚合成为氦，这个氦元素是氦的同位素，它并不

稳定，需要放出一个中子和很大的能量而后才成为稳定的氦。热核聚变的能量就是这样产生的。

利用这两方面的研究成果，1991年11月9日，在英国牛津郡的卡勒姆实验室里，由欧洲14国科学家共同进行了一次受控热核聚变反应实验，采用了86%的氘和14%的氚，使它们在一个磁约束的环形装置里进行了聚变，持续时间2秒钟，温度达到3亿摄氏度，比太阳内的温度还要高15倍。

这一实验的成功，在世界上引起很强烈的轰动，它给全世界的能源开发带来巨大的希望。氢的同位素氘，在海水里的含量比在空气里的含量要高，估计以世界海水的总量计算，重氢的总蕴藏量可达10万亿吨！将这么大的数量的重氢都用来进行热核聚变反应的话，那么，人类得到的能源，大概相当于把地球的海水总量加在一起再乘以300倍，再把这个数量的海水想象成为全部是汽油，把这么多的汽油全部作为燃料而后产生的能量。想想看，那该是一座多么巨大的，取之不尽，用之不竭的能源库啊！地球上将不再受到能源危机的威胁。

所以，人们认为，未来的热核电站将是前途未可限量的能源装置。

当然，从一个仅仅只进行了两秒的实验成功，发展成为生产上的实际应用，从热核聚变要求那么高的条件来看，核物理学家和其他专家们，还要走一段很艰难的探索道路，还有无数的技术难题需要研究解决，因而，也不排除有人对这一发展远景仍持悲观态度，认为它只不过是一个美好的、但却十分遥远的幻想；然而，更多的核科学家们则信心百倍地坚信，受控热核聚变的开发利用，总有一天会成为美好的现实出现在人们的面前。