

科學圖書大庫

原子能文庫

主編 鄭振華

第 1—4 冊

徐氏基金會出版

第 三 冊

我們的原子世界

譯 者 鄭 月 李

目 錄

一、希臘人對物質的好奇心·····	1
二、原子理論被證實·····	1
三、陰極射線顯示原子含有較小的粒子·····	3
四、放射性原子的發現·····	4
五、拉塞福發現原子核·····	5
六、認識質子·····	7
七、同位素的發現·····	7
八、鍊金夢終告實現·····	8
九、某些不帶電荷的粒子·····	10
十、質量就是能量，能量就是質量·····	11
十一、原子核包含了能量·····	12
十二、年代表·····	14
十三、原子核分裂的說明·····	16
十四、原子彈的爆炸·····	19
十五、將來人類對原子能的需要·····	21
十六、熔合已成可能·····	22
十七、同位素有多方面的用途·····	24
十八、原子能委員會·····	26

我們的原子世界

原著 C. JACKSON CRAVEN

譯述 鄭月李

原子能的故事包括了人類對於大自然、物質的構造、和組成萬物的材料所具有的好奇心。

一、希臘人對物質的好奇心

一些古希臘的哲學家，（Democritus 就是其中的一位），一直被一個問題所困擾著，究竟什麼是物質？你可以想像：有一位哲學家如此對他的學生說“諸位先生，讓我們假想有一塊牛油，我們用刀子將它切成兩半，如此就可以得到較小的小片，我們還可以將這一小片再切成兩半，而得到更小的小片，我們可以想像，反覆的進行一直可以得到較小的小片，但是，是不是可以無止境的進行不去？或者是說到某一個程度，我們將可以得到最小的一片牛油？換句話說，會不會有一個不能再切的最小片？”

大部分的人們經過二千年的思索以後覺得這個問題的答案是否定的，那時人們的想法是：既然物質有連續性，那麼在理論上，牛油甚至其他的東西，應該不會有所謂最小片的存在。

這個概念被英國的數學家 Augusts De Morgan（1806 - 1871）用很幽默的說法解釋如下：

大跳蚤的背上，有小跳蚤咬它，小跳蚤的背上，也有更小的跳蚤咬它，這樣，循環下去，一直到無窮盡。

二、原子理論被證實

顯然De Morgan並沒有繼續研究下去，因為在他出生的兩年前

，一位英國教師約翰道爾頓，已把空洞的物質原子論改變成具體的原子學說，這使得道爾頓和當代的科學家，相信原子學說來自於定量化學分析。

道爾頓認為大多數的化學物質都可以分成兩個或多個簡單的物質。用化學方法可以分開的物質叫化合物，不能分開的物質叫做元素。道爾頓和他的同伴所做的一些實驗中，顯示出：當兩種或多種元素化合時，這些元素重量間有一定的比例，使得反應完成時，沒有任一元素剩餘下來；例如：當氫和氧化合成水時，氧的重須是氫的八倍，否則，將有一些多餘的氧或氫剩下來。

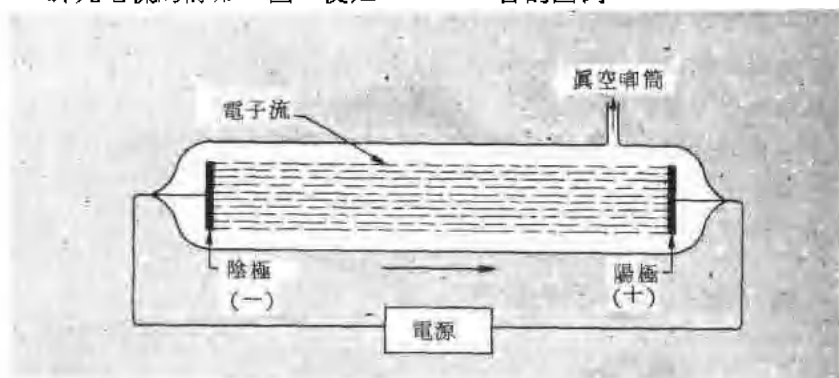
這個基本的真理，就是現在所謂的定比定律，另一個重要的原理，叫做倍比定律，這可以用過氧化氫來解釋：過氧化氫和水一樣，由氫和氧兩元素所構成，但是在過氧化氫中，氧的重量是氫重量的十六倍，恰好是水中氧重量的二倍。

這種化學化合的原理，使得道爾頓相信每一個化學元素中，均含有極小而相同的個體，這些個體就叫做原子，而且每一個化合物也有它的基本單位，就是分子，除非將化合物還原成元素，也就是說，將這化合物破壞，否則這分子是不可分的，他認為化合物的分子是由成分元素的原子結合而成的。顯然地，他認為在任何化合物的分子中，成分元素的每一個原子的重量與化合物整個分子的重量間，有一定的比，正和元素的總重量與化合物總重量間的比值相等；雖然道爾頓並不清楚每一個原子的真實重量，但是，他知道某一元素的原子比另一元素的原子重或輕幾倍，難免的，道爾頓誤以為一個氧原子的重量是氫原子重量的八倍，而非十六倍，這種錯誤乃由於他將水的分子 H_2O 假設成 HO 。

三、陰極射線顯示原子含有較小的粒子

人類對於物質基本性質的探討，正好和對於電本質的探討不謀而合。在一八五〇年以前，人們已經知道許多有關電荷的作用，和電流在固體及液體中的流動情形，但是，一直到高效率的真空唧筒發展以後，人類對於電荷才有了真正的瞭解。

差不多在一八五四年，有一個德國的玻璃吹製匠，Heinrich Geissler製造了一種改良的抽氣唧筒，而且還在玻璃管內的二個金屬片上，焊上導線，這使得作實驗的人，可以在一種接近真空的情形下，研究電流的情形。圖一便是Geissler管的圖例：



圖一：蓋氏真空管。

到了一八九〇年，人們才完全的清楚了，在高度真空中，電的流動，其實是由於負電荷在兩極間，以高速沿直線移動而產生的，因為是由負電荷產生的，或是說由陰極所發出的不可見的電子流，所以，我們把它命名為陰極射線。

雖然，有很多研究者，提出許多有關陰極射線的知識，但是其中最具有貢獻的是一位英國的物理學家，Joseph J. Thomson 湯姆森設計了一個陰極射線管，在這管中，陰極射線由於受磁場和電場的作用，而產生偏轉，這樣，由於引用一個衆所皆知的物理學原理，他證實了一項物理化學家們早已有的觀念：電荷像物質一樣，是“原子化”的，電流乃是包含了一群相同的極小粒子，而且他還測出，這些粒子的速度，約等於光速的十分之一。

可能湯姆森最偉大的成就，就是測定每個粒子，電荷和重量的比值，這項結果，是由於測量偏轉帶電粒子所需的磁力而得到的。（你自己也可以用一些簡單的裝置，從事這項實驗），這種電荷與重量的比值，差不多二千倍於帶正電氫原子的電荷與重量的比值。帶正電氫

原子，也就是氫離子（這個粒子至今仍被認為是構成物質的最小單位）。還有一個值得研究的問題是：造成比值上差異的來源，究竟是電荷，或是質量？由進一步的實驗，得知在上述兩種情形下，所帶的電量差不多相等，這樣，就證明了，氫原子的重量在所有的原子中是最輕的，差不多等於極小負質點質量的二千倍。

湯姆森就把這個帶負電荷的小粒子，命名為電子，由於電子是從陰極逸出的，顯然地，我們可以推論：構成陰極的原子中，一定含有電子。根據湯姆森的解釋，在一根導綫中的電流，是電子繼續不斷地由一個原子流到另一個原子所形成的，而且帶電的原子和中性原子的差別，即是由於前者獲得或失去一個或多個電子。

四、放射性原子的發現



Henri Becquerel

在一八九六年，一個法國物理學家 Henri Becquerel 研究出螢光和X射綫的關係，而X射綫，是在幾個月以前，被一個德國人威廉倫琴所發現的，乃是一種具有極強穿透力的輻射。有許多不同的化合物，被紫外綫或是其他放射綫照射後，會產生螢光，或發白熱光，當Becquerel用不同的化學材料作這種螢光實驗時，他很偶然的發現，有一種含有鈾的化合物，並不需要任何輻射綫的照射，就能使整個被厚黑紙包住的底片感光。

雖然在那時候，沒有人瞭解這是怎麼一回事，但是Becquerel還發現有些元素，在射出一些高速的帶電粒子後，會變成另外一種元素，具有這種性質的原子，就叫做放射性原子，而且也就是因為鈾原子的放射性，使得Becquerel's的底片感光。

五、拉塞福 (Rutherford) 發現原子核



Ernest Rutherford

1871 - 1937

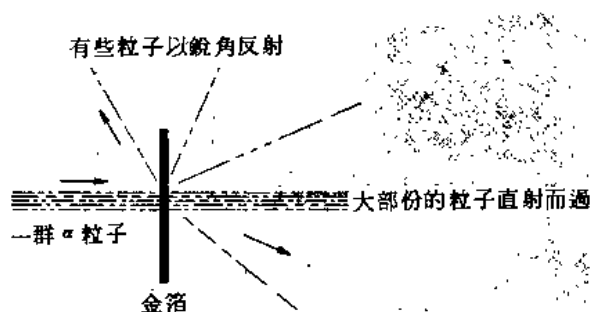
我們非常感謝英國物理學家拉塞福在解釋原子結構方面的想像力和實驗的技術。

拉塞福出生於紐西蘭，並且在那裡受教育，直到一八九五年，才遷到英國，在劍橋大學湯姆森底下工作，不久以後，德國的 Wilhelm Roentgen 倫琴發現X射綫，法國的 Becquerel 發現放射性，同時湯姆森也證實了電子的存在。

在以後的幾年中，有很多人從事於放射性本質的探索，發現鈾元素具有放射性，而 Marie 和 Pierre Curie (居里夫婦) 又發現釷和鐳兩種新的放射性元素。由於射性物質產生的三種輻射，叫作 α 射綫、 β 射綫、和 γ 射綫。拉塞福首先發現 α 射綫，而且後來，他還證實了這就是帶正電的氦原子。Becquerel 試驗出 β 射綫和陰極射綫一樣，是帶負電的電子。湯姆森和 E. N. daC. Andrade 還證實了具有高穿透力的 γ 射綫和X射綫一樣，是一種電磁輻射。

拉塞福和與他共同研究的英國化學家 Frederick Soddy 對於這些令人費解的發現，作了一個一般性的放射性原子的解釋；他斷定在自然界中一些重原子的元素，可以自然的放射 α 或 β 粒子，而變成一種新的原子，同時，如果這些新原子也是具有放射性的話，遲早也會變成另一種新原子，如此，繼續不斷的變下去。每放射一個 α 粒子，所造成的新原子就比原來原子少一 α 粒子的重量，或者說是氦原子的重量。這種蛻變的過程，將一直進行到產生一種穩定的原子為止。這種放射性元素衰變的最後產物，就是鉛。

拉塞福和他的同伴，對於原子結構的瞭解，作了一個很出色的實驗，他們用一群 α 粒子，撞擊一張極薄的金箔，令人驚異的是大部分的粒子，居然都沿直線穿射過金箔，只有極少數的粒子被折回，有些還以銳角反射。（參看圖二）



圖二：拉塞福有名的實驗，這使他有了原子核的概念。

這個實驗的結果，使得拉塞福創立了一個與當代盛行的原子觀念完全不同的概念。當時流行的原子學說是採用湯姆森所說的，原子是一個帶正電的球體，而正電荷就像布丁中的葡萄一樣的分佈在原子裡面，同時還有足夠的電子，來中和這些正電荷。拉塞福的學說很快的就取代了湯姆森葡萄布丁的說法，他認為在一個原子中，所有的正電荷和重量都集中在中間極小的空間內，（假使 α 粒子，撞擊這個中心，也就是此後所謂的原子核，就會產生銳角反射），圍繞著這個核子的周圍除了一些電子外一無所有，（在金原子中，有七十九個電子），而每個電子的大小和核的大小都差不多。

為明瞭拉塞福的觀念，讓我們假想把一個金原子放大到像一綑棉花團一般大時，那麼中間的原子核將只有一小粒胡椒粉那麼大，又假定這棉花團共重五百磅，則這小點胡椒粉就佔四百九十九又四分之三磅重，而圍繞在四周包含了七十九個電子的棉花團僅重四分之一磅。換個別的方法來解釋，看來又堅固又結實的金戒子，它的內部卻幾乎是空無所有。

六、認識質子

拉塞福的發現，使得人們對於構成原子的極小而非常重要的部分，產生了極大的好奇心。於是，便有了一種原子核所帶的總正電荷，是一個電子所帶負電荷的整數倍，而且兩者的電性正好相反的假設，這種假設是基於所有的原子均含有電子，而且原子本身是中性的，而一個中性的氫原子只含一個電子，這樣看來，氫核子的電荷該是正電荷的基本單位，至於其他的原子核，將含有不同數目的正電單位，由各種研究的結果，也明顯的指示出：如果兩元素相差一個電荷單位，則它們在週期表上佔有相隣的位置。因為氫原子核在構成其他原子核的原則上，佔有這麼重要的地位，所以把它命名為質子，乃是源由於希臘的 proto，也就是首先的意思。

七、同位素的發現

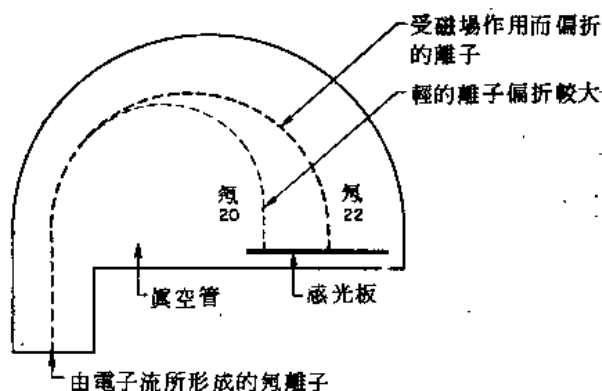
一九一三年，英國科學研究會，在英國伯明罕舉行了一次具有歷史性的會議，會中，兩種不相關連的研究都提出報告，在每一個報告中，都舉出：有一些原子核，雖有相同的電荷，但是質量卻不相等，其中一篇報告是由 Frederick Soddy 所提出的，他和拉塞福一起研究自然放射性的情形。Soddy知道當一個放射性原子核，放出一個 α 粒子（氦原子核）時，將會失去電荷和質量，另一方面，當一個原子核放出 β 粒子（負電子）時，它的正電荷將會增加，可是質量並不改變，因為這樣，Soddy 就推斷了許多放射性物質的質量和電荷。在一些情形下，兩種不同的放射性產物，會有相同的電荷，可是質量卻不相等。同時由於原子核所帶的正電荷，也決定了核外負電荷的數目，因此便成為影響原子的性質（或者說是化學性質）的因素。

這個結論是由於無法將兩個帶有相同電荷，但不同質量的放射性產物分開，那些產物可能有著極不相同的蛻變率，但是它們的化性完全相同，所以在週期表上，佔著同一位置（Same Place.）。Soddy 建議將這些佔有同一位置的原子叫做同位素（isotope）。

在同一會議中，一個湯姆森的助手，Francis W. Aston發表了

氦的帶電原子，或是說氦離子，在一個放電管中（類似於湯姆森發現電子的陰極射綫管），將會加速運動，而這高速的氦離子亦會因磁場而偏折，由於輕原子較重原子更易被偏折，我們便可以由偏折的程度，來決定原子量的大小。利用氧和氦作一個比較，湯姆森和Aston，便很正確的測出氦的原子量。但使他們驚異的是：出現了兩種不同的原子，差不多十分之九的氦原子，其原子量為二十，而其餘十分之一的原子，原子量卻為二十二。

氦由湯姆森和Aston所作的實驗，顯示出安定的氦元素，乃是兩種同位素的混合物，能作出這種實驗結果的機器，叫作質譜儀（參看圖三），從那時候起，用這些質譜儀所作的實驗，顯示出：大約四分之三的穩定化學元素，都由兩種或兩種以上的安定同位素所組成，事實上，總共約有三百多種這樣的同位素。而已知的自然的或人工的不穩定放射性同位素則有一千多種，同時，還不斷的在增加。



圖三： Thomson 和Aston 用來測量氦原子量的質譜儀。

八、鍊金夢終告實現

中古世紀，研究化學最熱門的課題，就是想把基本的金屬例如鉛，變成金子，當原子核決定一個原子性質的原則被提出，人們洞悉自

然放射性蛻變的理論後，很多人就產生一種奇異的想法；也許不久以後，人類就能改變穩定的原子核，而使得一個元素變成另外一種元素。一九四九年，在華盛頓 D. C. 拉塞福作了一次歷史性的演講，他說：一個原子的原子核是可能藉由放射性物質所放出的高速電子或氦原子（ β 或 α 粒子）的撞擊而改變成另一種原子。在有利的情況下，這些粒子，可以非常的接近原子核，而且可能使得原子核分裂，或者是和原子核結合為一。



一位中世紀的鍊匠
Medieval Alchemist

在拉塞福講演後不久，第一次世界大戰就爆發了，因而停止了他對核子研究的工作，但是，無論如何，在一九一九年，他出版了一篇有關 α 粒子穿射氮氣的論著，闡述在 α 粒子的射線上所出現一些高速的質子，（或是叫做氦核子）。下面是拉塞福論著的摘錄：

假若真是這種情形，我們就能歸納出這個結論氮原子的蛻變乃是受了高速 α 粒子的猛烈撞擊所引起的，而且那個釋出的氦原子也成了氮核子的一部分……，總之，倘若有了 α 粒子，或是其他具有更大能量可供實驗的類似射體，我們定能使許多輕原子核產生分裂。

這個預言由於利用高能量的粒子加速器，或是“原子粉碎器”所成的“原子砲”，已經被證實了。

一九一九年，拉塞福發表了核子論文以後，不久，英國的 Patrick Blackett 和美國的 W. D. Harkins 分別證實了一個 α 粒子和一



圖為在柏克萊的加利福尼亞大學勞倫斯輻射線實驗室中的貝他加速器，在擴建後的情形，它是用水泥屏蔽罩起來的。

個氮核子化合以後，產生一種不穩定的化合物，同時立即放出一個質子而變成氧的一種同位素，這是由一個穩定元素蛻變成另一元素的第一個例證。從此以後，人們就利用撞擊的方法來使已知的元素產生蛻變，於是汞變成金，而鍊金的夢想也部分的實現了，我們所以說只是部分的實現，是因為這種過程所費昂貴，不合經濟利益的緣故。

九、某些不帶電荷的粒子

一九二〇年的早期，有一些研究者，包括了美國的Harkins，澳洲的Orme Masson，以及英國的拉塞福，和他的助手 James Chadwick 查德威，他們一致認為自然界中，可能存在一種中性的粒子，而這些粒子也許是由一個質子和一個電子結合而成的。但是質子和電子結合的實驗，卻一直不能成功。

在這些年間，用 α 粒子撞擊所有物質，進而研究其變化的新技術，已經廣泛地推廣著，於是，人們漸漸的發現，在少數的情形下，會產生一種奇異而穿透力極強的輻射。一九三二年，查德威成功地測出這種奇異的輻射，乃是由一群不帶電荷而質量與質子相同的粒子所組成的。

一九二一年，美國的Harkins 建議將這種中性的粒子，命名為中子，現在有許多事實，證明了中子乃是一種基本粒子，而並非由質子和電子結合而成。

由查德威克所發現的新粒子，出乎意料地，不僅在原子科學史上，就是在國家命運方面，竟扮演了這麼重要的角色，它立刻摒除了原子核是由一團質子所組成，而其中約有半數質子被電子中和的觀念。現在，原子核被認為只包含了質子和中子。

中子也被從事核子工作人員，視為一種理想的射體，這種不帶電的中子，不像帶電的 α 粒子，它可以接近帶電荷，而一點也不受排斥力。這種特性使所有的容器，都無法阻止中子穿透器壁而逃逸。

十、質量就是能量、能量就是質量

到今天為止，在人類探索物質本性和構造的發展史上，一直都偏重於構造的研究，但是，現在，我們願意將影響我們認識物質性質的發展，作一個扼要的回顧：

一八八七年，刊登了一篇有關 Michelson-Morley 邁克遜—摩理對於測定地球在絕對空間的速度的實驗報告，這個實驗的驚人結果，影響了人們對於空間和時間的觀念。我們只在這裡，提出一點有關這個實驗的成果：

一九〇五年，一位德國 出生的青年物理學生 Albert Einstein 愛因斯坦，正在瑞士 從事審查員的工作，他發表了三篇論文，每一篇對於物理學界，都有著很大的影響。

其中，有一篇，涉及空間和時間的理論，由於研究邁克遜—摩理的實驗，使他對空間和時間的問題，發生很大的興趣。這些理論也就是我們現在所謂的狹義相對論，其中有一些推斷，很難被當時一般的物理學家所接受，可是，現在，已經證明這些推斷是正確的。

愛因斯坦有一篇有關質能互換的推斷，直到一九〇五年，物質一直被認為是一些具有重量和慣性的東西，而能量則是一種可以作功的能力，因此，這兩者一直被認為是渾然不同的東西，就像一平方碼不同於一小時一樣。但是，愛因斯坦的理論，卻認為物質和能量只是同

一基本物理量的二種不同形態而已，兩者間，可以由其著名的公式，任意換算：

$$E = MC^2$$

這裡 E = 能量

M = 質量

而 C = 真空中的光速



亞伯特·愛因斯坦
Albert Einstein
攝於1905年

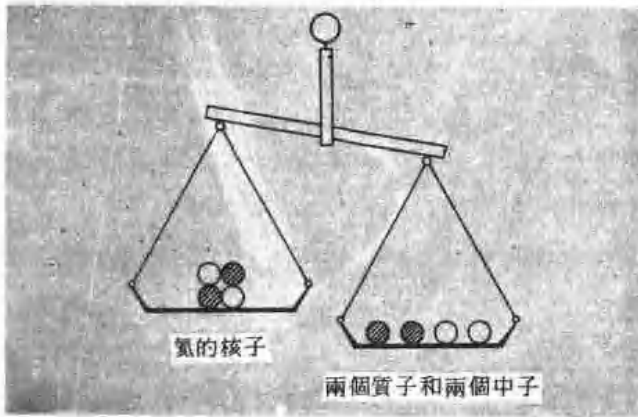
十一、原子核包含了能量

在明瞭為什麼在一九二〇年，人們開始瞭解原子核貯藏極大能量，而這些能量有一天會帶給人類革命性的文明以前，有一件事必須先提出來，在最後的這一項目中，我們要涉及一些核子現象，也就是所謂的緊束分數。(packing fraction)

由於任何原子核都含有一定數目的質子和中子，很自然地，似乎整個原子核的重量，應該是其中粒子質量的總和，但是，當高度精確的質譜儀，發展以後，卻發現，原子核的質量並不等於全部粒子質量的總和！所有原子核的質量（除了氫），都比其中所有粒子質量總和要輕一些。

例如，一個質子的重量是1.00812，而中子是1.00893，（這些是根據國際規定的質量單位而言的相對重量），這樣看來，一個含

有二個質子和二個中子的氦核子，其質量應該是 2×1.00812 加 2×1.00893 ，或是說 4.0341，但事實上，由質譜儀所測出的氦原子量只有 4.0039，（參看圖四）



圖四：原子質量並不等於組成粒子質量總和的情形，兩個質子和二個中子，分明比一個也含有二個質子，二個中子的氦核要重一些，這是能量使然。

那麼，還有 0.0302 的原子量到那兒去呢？物理學家，現在相信了，誠如愛因斯坦公式的假設，這些質量已經變成了能量，這變化是發生在質子和中子受巨大核力作用而形成氦核時。

當這些失去的 0.302 原子量，根據愛因斯坦的公式，乘以光速的平方時，可以得到極大的能量，事實上，當兩個質子和兩個中子形成氦核時所產生的能量，相當於一個碳原子和一個氧分子以燃燒方式結合成二氧化碳分子，所產生能量的七百萬倍。

遠在一九二七年，發明質譜儀的英國科學家 Aston，就已經大量地著手研究，週期表中元素失去原子量的情形，他研究的結果，發現在一般的情形下，假使二個輕的原子核，形成一個重的原子核時，這個新的原子核，並不等於原來二個原子核重量的和，從週期表上的輕元素一直到所謂過渡元素——鐵，鎳和鈷為止，都會有這種情形發生

。但是，假使是二個比鐵離子更重的原子核結合成接近週期表末端的重核時（像鈾核），這個新核就要比原來二個核的總重量重些。

因此，假使有一個很重的原子核，可以被分裂時，一定會發出能量，而且分裂碎片的總重量一定少於原來的核重。在這二種不同類型的核反應中，都一定會有一小部分的物質消失，愛因斯坦的狹義相對論指出這些消失的物質，將變成極大的能量。

在一九二〇年的末期，科學家便開始預言，只要少量的物質，就能產生大量能量，供給一艘大船橫越大洋之需，就我們所知的，由於核子潛艇和核子商船的出現，這些預言已終被證實了。



第一艘使用核子動力的商船 NS Savannah 薩凡娜號



美國海軍第一艘原子動力的潛艇 Nautilus 鸚鵡螺號

十二、年代表

一八〇〇：道爾頓明確的建立了物質的原子理論。

一八九〇—一九〇〇：湯姆森用陰極射線的實驗，證實電子的存