

原子彈之檢討

原子彈之檢討

張其耀編 管光晉校

目 錄

1. 序言.....	P. 1
2. 原子之構造.....	P. 1— 2
3. 原子之蛻變及分裂.....	P. 3— 4
4. 愛因斯坦之公式.....	P. 4— 5
5. 鈾 235	P. 5— 7
6. 鐳.....	P. 7— 8
7. 美國研究原子彈之里程碑.....	P. 8— 9
8. 與世人見面的五枚原子彈.....	P. 9—11
9. 美加製造原子彈之場所.....	P. 11—12
10. 原子彈之構造.....	P. 13—15
11. 原子彈之威力.....	P. 15— 8
12. 原子彈與其他武器之比較.....	P. 18—20
13. 原子彈之防禦.....	P. 20—21
附錄 世界之鈾礦.....	P. 22—24

原子彈之檢討

1. 序言

原子彈自1945年8月6日正式使用以來，今已一年有半，對該彈之構造效力迄無完全之官方報告。言人人殊，半多推測之詞，筆者因個人之愛好，對該方面曾集得若干資料。今願就原子之構造，鈾之分裂，及原子彈之構造，威力，及防禦各點，作一系統之報告。一方面我們希望材料豐富，一方面又感無確實根據之苦，同時個人學識淺薄故本文錯誤之處，在所難免，尙望海內賢達有以指教，拋磚引玉，是乃編者之願耳！

2. 原子之構造

吾人在未對原子炸彈有何說明以前，預備先將原子之構造略加說明，原子為構成分子之最小單位，而各種分子為構成各種純物質之最小單位。譬如飲水，吾人可利用各種方法使其體積越變越小，但是不論牠體積變的多小，總是一滴水。但若用電解的方法，就是再小再小的一滴水，也可能分解成氧氣和氫氣。氫氣和氧氣普通雖成分子狀態而存在，但在電解以後，多是先呈原子狀態存在的。氫氣的叫氫原子。氧氣的叫氧原子。在普通日常狀況之下，許多種氣體原子仍多合成氣體分子而存在的，所以我們可以說，分子是利用物理方法不能再分的最小單位，而原子是利用普通化學方法，不能再分的最小單位。

英人道爾頓 Dalton (1766—1844)，於1804年，提出了原子學說後，吾人始終以為原子是構成天地間各種物質的基本單位。但到1898年，英人湯姆生 Goseph J. Thomson(1856—1940)發現了電子，1912年左右羅茲福特(Rutherford)發現了質子

，吾人方知原子本身，仍是一個龐然大物，在原子的外層有電子，在原子的中間有一個原子核。電子帶負電荷，原子核帶正電荷，電子的質量甚輕，僅為輕原子重之 $1/1840$ 。所以我們可以說，原子的重量全在核上面，原子的半徑為 10^{-8} 釐，原子核的直徑為 10^{-12} 釐，所以原子裏面多半是空間，而電子與原子核相比更小的可憐，設如原子核是棒球大小的一個東西，那麼電子才僅是 2,000 呎以外的一個黑點耳。

就是在原子核裏面，其實也不僅是一種東西，而是由質子和中子兩種東西組成的。質子帶正電，中子不帶電，核中質子電量之和，就是原子核的正電荷，這種電量與原子外面所有電子的負電量和，也是相等的，這種電量，我們就用原子序數來表示，所以原子序數，就是電子的個數，或核上的正電荷數。

原子核裏除了質子外，尚有中子，中子是 1932 年英人蔡得威克 (Chadwick) 發現的，是不帶電而有質量的東西，與質子相比，質量是一般大，但就缺少個正電荷。質子質量加上中子的質量，就等於原子核的質量，這種質量也就是原子的質量。而我們為應用方便起見，以氦原子等於 16 為標準，來表示各種元素的質量大小，這樣就得了我們普通說的各元素的原子量。

所以我們可總說一句，原子的構造是由核外的電子，和核內的質子和中子組成的。最簡單的原子是氫，牠是由一個電子和一個質子組成的，牠的原子序數是一，牠的原子量也是一。(嚴格言之是 1.008) 而最標準的原子是氦，牠是由二個電子和核中的兩個質子二個中子組成的。牠的原子序數是二，面牠的原子量就是四了。至於複雜的原子，電子的數目多至數十，而質子和中子的數目也都很多。譬如最重的九十二號元素鈾，牠外面的電子有九十二個之多，而原子核內的質子也有九十二個，中子則自一四二至一四六個有三種不同的數量了。所以牠的原子序數是九十二，而牠的原子量是 234, 235 和 238 三種了。這種有同一序數而有不同質量的元素，我們稱之為同位素，其化學性質完全是一樣的。故鈾的這三種同位素，我們可稱之為 $U-234$, $U-235$, 和 $U-238$ 了。這種原子量很大的元素，多不穩定，而易發生蛻變以及原子分裂作用的。位於週期表末其他的較重元素也都有這種趨向。

3. 原子之蛻變分裂

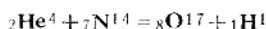
在前面我們已講到 $U-234$, $U-235$ 及 $U-238$ 三種同位素，和重原子易有蛻變之現象，在這種我們就說一說這原子蛻變及分裂方面研究之事實。

1895 年德國科學家倫琴 W. Rontgen 發現 X 射線後不久，法國貝克萊爾 Becquerel (1852—1908) 試驗太陽光對於各種礦物之影響，並包括鉀鹽之試驗時，彼將鉀鹽樣品放置於黑紙包好的新鮮照像板上。某晨彼檢查此照像板時，發現有黑色點跡，貝克萊爾未能解釋此種理由，彼用其他含鈾之礦石試驗，發現瀝青鈾礦 Pitch Blende 亦放射同樣射線，對照像板之感光性較其他鈾礦更強，貝克萊爾將此現象求教於居里夫人 (Marie Curie)，居里夫婦因此於 1898 年發現少量之鐳鹽，自此以後對此等放射元素各國皆努力研究。

1902 年英人羅茲福特及索地 Soddy 二人，解釋鈾之放射時，謂具有放射性之元素，繼續放射， α 、 β 、和 γ 三種射線， γ 射線與 X 線相似， α 射線是高速帶正電之氦原子，而 β 射線則是高速帶負電之電子。

由放射元素之研究，吾人乃知原子之蛻變作用，即一放射性元素經若干時間後，可蛻變為另一元素。譬如由鈾變為鉛，通常需時 45,600,000,000 年，鐳放射性較強，蛻變為錒，需時 1000 年，故在含鈾之岩石中，測驗鉛和氦成分之多寡，即可測知岩石年代之久暫。

此種天然之原子蛻變，乃刺激若干化學家重溫十五世紀時鍊金家之美夢，即希望能由某種元素轉變為另一元素。在 1919 年羅茲福特氏，曾將少數許鐳置於氮原子旁，發現鐳原子仍照常分裂，放射出 α 微粒而將氮原子擊破，後經研究，知氮原子已轉變為氧原子，其作用情形可如下式：



故羅茲福特實已完成鍊金家之美夢，至 1932 年英人察得威克氏發現中子後，因中子不載電荷，可不受核子之電力作用，較 α 線帶正電不易進入原子核，及 β 線帶負電雖

易接近原子核，但無質量動能較低，對原子核之擊裂方面皆較有利。故用中子擊裂原子核，以改變原子之研究乃益盛。

此種以中子射擊原子核而使之發生變化之研究，對不穩定之重原子自易先行着手。待 1938 年，德國科學家漢恩 Hann 及斯托拉斯曼 Strassmann，使鈾二分裂放出大量能為止，吾人之目標乃自原子蛻變之研究，進而為原子能之利用問題矣。在鈾作大約相等之二部分裂時，可發生 1 個質量數在 127—154 之部份，及另一質量數在 83—115 之部份，前者可以五十六號元素銀作代表，而後者可以三十六號元素氙作代表。此外並有若干異常活潑之物質，及大量之能量，對於此種能量之解釋，吾人則不得不利用愛因斯坦公式以行說明。

4. 愛因斯坦之公式

遠自十八世紀以來，吾人即有一「物質不滅」定律，即在化學變化前後，其所有物質之總量，恆相等而不變，即物質不能毀滅，亦不能添加。至十九世紀內，吾人更創一「能量不滅定律」，即能量形式可以改變，但不能增加或減少，但自放射現象發現後，對該二定律之真實性，已有若干學者發生懷疑，至 1904 年，著名之宇宙原始論家琼斯，表示高溫度之電子和質子，能因彼此衝擊而消滅，釋放大量之能量。而相對論之發明者愛因斯坦博士，則於 1905 年創一質量與能量相關之公式，其式為：

$$E = Mc^2$$

E 為能量，可以爾格為單位，M 為質量，可以克為單位，C 為光速，每秒為 3×10^{10} 厘（或十八萬六千英里）。按此公式，吾人知一克之物質，若全變為能量，則得 9×10^{20} 爾格之力量。一磅物質，若全變為能，其量應為一百一十四萬瓩小時。以此計算十二磅之物質即可供給美國全年所需用之電力。

若一公斤之 U-235，全部進行分裂，則放出之能量約與兩萬六千噸 T.N.T. 之爆炸力相等，而此全部能量之中，假定有 10% 可以爆炸方式放出，則一公斤 U-235 放出之能量，約與兩千六百噸 T.N.T 炸彈相等，如有 1% 至 5% 之能量放出，

量為五百噸 T.N.T. 上下之能量。經吾人仔細測量後，知一克之鈾分裂時可生成 99 克之物質，即有 0.001 克之物質變為能量，亦即得到十一萬四千瓩小時之能量，此吾人當可想到原子彈威力之大也。

5. 鈾—235

前已述及鈾有三種同位素，即 $U-234$ 、 $U-235$ 及 $U-238$ 。並已說明 $U-235$ 分裂時，所放出之大量能量，可用愛因斯坦公式說明之。但可產生分裂放出能量者，僅 $U-235$ ，而非全部之鈾，故吾人預備對 $U-235$ 作進一步之說明。

純粹的鈾，是銀狀金屬，比金輕比鋼軟，但我們不大看到純粹的鈾，直到 1940 年，在美國所有的純鈾，還填不滿一個針孔，普通見到的是鈾酸鈉，是一種黃色的粉末。

在天然鈾中有 99.3% 係 $U-238$ ，只有 0.7% 係 $U-235$ ，而 $U-234$ 僅佔 0.06%，可說微不足道。假設鈾作二分裂而放出大量能量的是 $U-238$ ，那麼原子彈或可早出幾年，而成本也許便宜若干。但仔細研究的結果，知 $U-238$ 容易收取中子，但不容易分裂。而容易分裂的是 $U-235$ ，且和高速中子不容易產生分裂作用，而低速中子（熱能中子）則較易引起分裂，故吾人製造原子彈之前提，為如何提取 $U-235$ ，及如何產生熱能中子。在 1940 年，美國所有之純鈾為量很少，且無適當之提取方法，若由一噸普通鈾中提出 $U-235$ ，按戰前方法，需時要達七萬五千年，方能提取出一磅之 $U-235$ 。對於原子彈製造實感不濟急，可想而知，且為製造原子彈計，必須使 $U-235$ 自 $U-238$ 中分出，但 $U-238$ 與 $U-235$ ，化學性質多屬相同，利用化學方法分離，殆不可能，故目前分離 $U-238$ 及 $U-235$ ，多係利用物理方法，而其重要者約如下述數法：

(1) 電磁分離法：此法之原理，乃利用離子化之原子，在經過電場及磁場時，因原子量之不同，所受之迴旋加速力亦不同，較輕之 $U-235$ 受吸力後折轉較大，故可利用原子射束之遠近，而分別收集之。1941 年夏，奈爾 Nier 氏曾用質譜儀，製出少量之純 $U-235$ 待勞倫斯 Lawrence 之迴旋加速器 Cyclotron 出，其所分出之 U

—235 量，乃大為增加。在 1941 年時，利用此器，每小時內已可製出百萬分之一克純 $U-235$ ，至 1942 年十一月，每日則可產數厘克之純 $U-235$ ，以目前情形觀之，其分出之量，將大有增加。且此法為目前分離 $U-235$ 之最重要之方法。

(2) 氣體擴散法：此法之原理，則在利用氣體擴散之速度與其分子量之平方根成反比，較輕之 $U-235$ ，較易通過多孔性障壁。但 $U-238$ 與 $U-235$ 之重量所差甚少，故其擴散速度之差，為數極為微小，於實行此法時，不得不利用若干連續之擴散階段，以增其效力。按史邁氏之報告，此法曾在克林登廠施行，且似為目前第二個重要之方法，而其所用之氣體，則係六氟化鈾。

(3) 離心機法：離心機法之原理，亦在利用 $U-238$ 及 $U-235$ 原子量之不同，故可利用此種不同以分離之，當氟化之 $U-235$ 及 $U-238$ 混合物，迅速旋轉時，輕之 $U-235$ 積聚於中心。

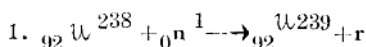
(4) 熱擴散法：在一套管內，有一冷的外管，及一熱的內管，當液態的鈾在套管內周流不息時，較輕的 $U-235$ ，易於積聚管面。目前美國用電磁法分離時，多係利用此法增濃 $U-235$ 後之原料，故此法雖不易單獨使用，但用之以增濃 $U-235$ 之含量，使電磁法產率增高，則頗有效用。

但鈾中分出之 $U-235$ ，須利用熱能中子，引起分裂，方可放出大量之能。熱能中子使 $U-235$ 二分之機會與速度成反比，在普通氧化鈾中，熱能中子使 $U-235$ 二分之機會，比高速中子大二十倍，此種低速之熱能中子，可使高速中子經過低原子量之物質而得之，因一高速質點，與靜止質點，相碰擊時，二者之質量愈相近，則動者之失去動能愈多。故輕元素為最有效之緩速劑（但尚須考慮其吸收中子之能力大小，吸收能力愈小，吾人所損失之中子愈少，故以石墨為最相宜），當高速中子穿過 40 厘米或更厚之石墨塊後，即變為低速中子，若置一塊 $U-235$ 於此種低速中子之出現處，則 $U-235$ 即可吸收此低速中子，而發生分裂。

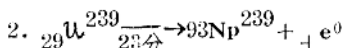
6. 鎔

U-235 吸收熱能中子後，便發生二分分裂，放出大量之能，U-238 吸收熱能中子後，不發生分裂亦不放出能。那麼 U-238 吸收了中子後，發生了什麼變化呢？U-235 爲量甚少，我們還要分離，U-238 這樣多，自然更值得研究了。研究的結果，知 U-238 吸收中子後，經過數步變化，乃變爲鏷。

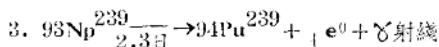
鏷的化學研究，正式開始於 1942 年四月，由加利佛尼亞大學的西保格博士 Seaborg，率領着一些科學家在芝加哥開始的。在同年九月十日，克富漢 Cunningham 和華納 Warner 稱了第一個純鏷的化合物，到了 1942 年底，美國利用鈾石墨自行維持之鏈狀反應堆，已裂成萬分之五克之純鏷鹽了，到了 1943 年一月，美國已決定設一製鏷廠。鏷的化學性質亦逐漸明瞭，知其原子序數爲 94，而其原子量爲 239，其由 U-238 變化之情形，可如下式放示：



U-238 吸收一個中子，變爲 U-239，同時放出 γ 綫。

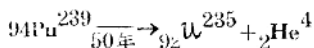


U-239 經過二十三分鐘，變爲第九十三號元素鏷，同時放出電子。



九十三號元素鏷，再經 2.3 日，變爲九十四號元素鏷，且放出電子及 γ 射綫。

鏷吸收熱速中子發生分裂之情形，與 U-235 相同，而鏷本身，經過五十年亦可變爲 U-235，而放出一個氦原子。



但 U-238 並不是全體變爲鏷，僅極少極少之一部份有此變化，既鏷有 U-235 分裂之性質，吾人自願設法提取之，據稱美國哈福廠之工作，即作製鍊該種元素者。

自 U-238 中提取鏷之方法，較提取 U-235 爲易，因其化學性質多有不同也。分離鏷之可能方法：計有(一)揮發法，(二)吸收法，(三)溶解析出法，及(四)沉澱法等。而哈福廠之工作，據稱即係利用沉澱法者。此法乃將鏷之四價氧化物及另一連帶劑同時沉澱，再溶解此沉澱，使四價之鏷氧化至六價之鏷，再將連帶劑沉澱，而留鏷於溶液中，凡未經連帶劑攜出之分裂產物，當六價鏷沉澱時，仍留於溶液中。凡經連帶劑攜去

者，則於六價鎘狀態時移去。故吾人可製得較純之鎘。至 1944 年二月一日，美國已製成 0.29 克之鎘，至同年三月一日，鎘之每日產量則已達數克矣。

目前原子彈之原料，殆僅有 $U-235$ 及鎘二種。觀乎加拿大於 1945 年設廠時，不取分離 $U-255$ 法，而取製鎘法，則鎘法之優良，可顯而易見，而鎘之重要，當與日俱增也。

7. 美國研究原子彈之里程碑

1938 年秋，德國之科學家漢恩及斯特拉斯曼二人，在威廉皇家學院，完成中子將鈾原子擊裂為大約相等之二部份，及發出大量能量之實驗，此一實驗之結果，後由被迫出走丹麥之梅特納 Meitner 女士，轉告丹麥物理學家波爾 Bohr，波爾於 1939 年一月十六日在美國，又將此消息轉告費爾密 Fermi 等。費爾密即感覺此種偉大之能量，頗有應用於軍事上之可能，並提出利用慢速中子，完成一可控制之反應；而利用快速中子，完成一爆炸反應之意見。待 1939 年秋，德國坦克衝入波蘭以後，愛因斯坦博士，即致函羅斯福總統，聲明鈾分裂能對軍事方面之影響。於是該年秋間，羅斯福總統即指定一鈾之指導委員會，負責該方面之研討；至 1940 年六月，該委員會又改組而成國防研究委員會之一組。

1941 年工作較有進展，該年夏，奈爾用质谱儀已可製出少量之純 $U-235$ ，勞倫斯用電磁分離法在一小時內亦可製出百萬分之一克純 $U-235$ ，而第一個鈾與石墨之格子堆，亦於七月間在哥倫比亞大學築成。石墨等較純淨之原料，亦可大量獲得。但純鈾則為量甚微。至該年十二月，又組成軍事策劃部。

1942 年之工作，最足稱述，本年度內，已可獲得純度甚佳之石墨，七月間勘定克林登廠 Clinton 之廠址，八月十三日設立曼哈頓研究機構，九月內組成軍事政策委員會。在本年五月時，每月輸入十五噸較純之鈾礦，至九月間，則增至每日一噸。待十二月二日，一自行維持之鏈狀反應堆，首次成功。而該日被認為原子彈之誕生日。至本年底又勘定哈羅徹廠址，及洛斯阿爾摩斯 Los Alamos 實驗室之地址，同時亦製出萬分之

五克之純鍍鹽。

1943 年之活動，似偏重鍍，一月間已決定建一製鍍廠，但用何法提取鍍及淨化鍍，似均尚未決定，至六月一日，方決定一製鍍之研究之方法，至本年底，鍍之化學性能方盡明瞭，知鍍之氧化物有三價，四價，五價，六價等數種。同時一月四日之克林登堆集，亦開始工作，由堆中取出之第一批金屬，於十二月卅日送入分離廠，至1944年二月一日，則製成 $O \cdot 29$ 克之鍍，至三月一日鍍之產量則已達數克矣。

1944 年工作，似為最忙碌之一年，哈福廠，克林登廠，及洛斯阿爾摩斯實驗室，均在積極趕建中，且若干重要單位，均告完成，工作在加速狀態下進行。

1945 年為原子彈正式與人見面之一年，哈福廠，克林登廠，洛斯阿爾摩斯實驗室，建築工作均告完成。而第一枚試驗之原子彈，於七月十六日在新墨西哥洲沙漠中舉行，八月六日，原子彈降落於廣島，此一震驚世界之武器，乃為世人所共知矣。

8. 與世人見面的五枚原子彈

第一枚原子彈係於 1945 年七月十六日五時三十分，由主持美國洛斯阿爾摩斯實驗室的渥本海姆博士 Dr. Oppenheimer，在新墨西哥荒野實驗的，彈懸於鋼架塔上，塔南一萬碼處（約三公里），為最近之觀察處，利用電鍵，以司彈之爆炸，距塔一萬七千碼處，為總觀察地，有關之科學家及軍政官員，均集於此，在原定之爆炸時刻，發生閃光，懸彈之處光度之強，數倍于中午之太陽，各種美麗金紫灰藍之光，炫耀天空，觀察家多伏臥於地上，均戴顯鏡，以凝視此火球之演變，約三十秒鐘後，聞爆炸聲，隨即巨風將立觀者推倒，繼聞雷吼之巨聲，令人驚怖，後即見火球演成彩色之雲，雲中又有兩次小爆炸，而原來之載彈鋼架，則全部化氣逸去，但見原處已成巨大彈坑，廣達三百尺，周圍焦黑的區域，直徑達二四〇〇呎，泥土也變成晶體，而顯出綠玉的顏色，當然更談不到草木的生存了。

第二枚原子彈係同年八月六日晨八時十五分，由美 B-29 型的意諾拉蓋 Enola Gay 機投於廣島上空的，據該機上航空員說，原子彈爆炸時，發生強烈的閃光，廣島

全城馬上就被籠罩在火燄和濃烟之中，龐大的烟峯，迅速上騰，直冲四萬呎以上的同溫層，爆炸時美機已飛到十英里以外，而閃光的強烈和爆炸聲的宏大，竟使機中人員，都不禁大聲喊叫。結果毀滅了廣島四四方里的市區，死亡了七至八萬人，而傷亡之人員或又過于此數。全市九萬棟房屋，震毀了七萬棟。

第三枚原子彈係于同月九日十一時二分，投擲在日本長崎的，也是由 B-29 型轟炸機帶去的，據投彈機老手稱 The great Artiste 的記者羅倫斯報稱，原子彈投發後，飛機立即改變飛行的方向，以免波及，且機上人員，都戴着特製的黑色眼鏡，來保護眼睛，但非常眩耀的閃光，仍使人目迷感，同時聽到四次緊接着的巨大爆炸聲，像巨炮怒吼衝上機身，而彩色的燄柱，倏即由北面升起，直至飛機所在的高度。燄柱底部有時闊到三里愈到上愈小，而頂闊仍在一里以上，不久這燄柱上生一蕈形體，而這蕈形體，倏即向上升騰，而冲向同溫層，隔了五天，到了八月十四日，日本就正式投降了。

第四枚原子彈係 1946 年七月一日上午引用的，乃美國為測驗原子彈對海軍的力量，動員數萬人，在太平洋中比基尼珊瑚環島 Bikini Atoll 公開表演的，由美國海軍中將勃蘭迪 W.H. Blandy 主持其事，有九十七艘艦船，參予工作，在這海的最深處，所用艦船，泊成一個直徑數英里之圓形，中、為長門號 (Nagato) 戰鬥艦，另有巡洋艦和航空母艦若干，直接參加之飛機，凡數十架，大部份担任指揮投彈照相等工作，中有數架由無線電控制，用以探測爆炸之雲烟，該彈于上午九時在空中引火，高離海面數百公尺，偏向目標中心之西面，約數百公尺，在距爆炸約數十英里處，初見一極強之閃光，頃刻擴大成一火球，其所顯之大小與光亮，均為太陽之數倍，此火球在數秒鐘內消失，即有銀色蕈狀之雲烟上升，高達一萬餘公尺，雲內陸續顯出各種光彩，十餘分鐘後，始逐漸成普通之雲。試驗結果，凡距落彈中心數百丈以外之船隻，大部受損傷，數百丈以內之船隻，或沉沒或損毀，其程度因距離之遠近及船隻之式樣而不同。在爆炸時一驅逐艦及二輸運艦，及從前日本輕型巡洋艦佐山續號 (Sakaua) 于數十小時內沉沒，輕型航空母艦獨立號 Independence 之艦面，着火烧盡，潛艇滑冰號 Skate 受重傷，此外距落彈中心幾英里以內之巨艦，雖艦身及炮台似損傷不大，其餘各部破壞則鉅，非大加修理不堪應用。至于船上士兵，事前均已離開，僅留他種動物，用作代替，結果當時傷亡一部

份，因受放射線之影響，以後繼續傷亡頗多。詳細情形，迄未公開，僅據探聽所得，在目標中心（非實際落準中心）長門號 Nagato 戰艦上，當時放有山羊數隻，事後尚活二隻，此與所放地位關係甚大，從各方推論，凡距爆炸中心數百丈以內，未有遮蔽之處，倘有士兵受烈燄焦灼而傷亡，在有遮蔽之處，雖可減少烈燄之攻擊，然仍受原子分裂時所發放射線之侵害，此種侵害多屬慢性。

第五枚原子彈係 1946 年七月廿五日引用者，試地仍在比基尼海中，試驗之目的在測量空炸原子彈對海軍之影響，靶艦亦有數十艘，其排列與第四彈略有不同，距目標中心數百公尺以內，不列船隻，參加的飛機，亦在數十架，任務與第四彈試驗時同，于七月廿五日上午八時卅分，此第五枚彈在水面下爆炸，深度大約在數百公尺下，該彈一經爆炸，立即引起巨大之水柱，直徑約五百公尺，高約二千公尺，上部展開，成為驟雨，下落海面，同時復有雲烟上升，數分鐘後，湧起之水浪前進至五千公尺之島邊，其高度減少甚快，在島邊時，僅三公尺左右。試驗結果，爆炸中心雖無船隻（繫彈之船除外），但登時沉沒戰艦阿干薩斯（Arkansas）及油船登陸艇各一艘，下午續沉航空母艦沙拉多加號（Saratoga），上述戰艦與母艦距爆炸中心，最近均在半英里以內，此外尚沉登陸艇十艘，（包括繫彈之船），潛艇數艘，本試驗因在水中爆炸，大部放射性物隨水柱上升，旋又降落海上故放射物之影響，較第四彈為大，倘此項爆炸在軍港內發生，軍港將暫時不堪運用，為害甚烈。

9. 美加製造原子彈之場所

美國歷七年之努力費二十萬萬美元之鉅金，于 1945 年八月六日一彈使倭寇喪膽，天下震驚，八月九日之第二彈，使日終屈膝，戰爭結束。原子彈之效力，可為大矣。除研究單位不予詳陳外，茲將美加兩國製造原子彈之場所列舉如下：

（1）華威頓州哈福 Hanford 廠，1942 年末在華威頓州中部柏士寇 Paeco 之北，勘定該廠所，在面積佔四十二萬英畝，1944 年工作人員達一萬七千名，居民達六萬人以上，於 1943 年六月七日建立第一座「鈾—石墨」反應堆，至 1944 年九月即可開

始運用，其後第二座第三座「鈾—石墨」反應堆，繼續建造，至 1945 年夏，共築成三座反應堆，並均開始通用，除外並建有分離鈾之工廠，至 1945 年夏，全廠完工。建築費用去美金三萬四千二百萬元，挖出泥土二五，〇〇〇，〇〇〇立方碼，建築了三八六英里公路，一五八英里鐵路，房屋用去混凝土七八〇，〇〇〇立方碼本來荒僻之區，而今頓然成了一個城市，為製鈾之中心。

(2)田納西州克林登 Clinton 廠該廠廠，址係 1942 年七月勘定，位于田納西州之橡嶺 Oak Ridge 在諾克斯維爾 Knox Uille 城西十八英里處，面積佔五十九萬英畝，工作人員亦有數萬人，內分(一)擴散廠，乃利用氣體擴散法，以分離 $U-238$ 及 $U-235$ 者，(二)電磁廠，于 1943 年三月建築，至十一月即行運用，乃利用電磁法，以分離 $U-238$ 及 $U-235$ 者，及(三)熱擴散廠，于 1944 年末築建，俾能供給電磁廠以增濃 $U-235$ 之原料者，除外更有各種之廠，至 1945 年克林登廠全部完工。

(3)新墨西哥州之洛斯阿爾摩斯 Los Alamos 實驗室，該室為實際從事原子彈之設計及試造工作之單位，于 1942 年十一月選定該地，位在距山塔府 Santa Fe 鐵路約二十英里之台地上，于 1943 年三月，該室主持人歐本海姆 Dr Oppenheimer 即到達該地，而同時所用之儀器，亦分自各地運來，至 1943 年秋各種工作多已開始，經年餘之努力，至 1945 年七月十六日即將做成之第一顆原子彈，于附近沙漠中試驗，結果效力甚著，至同年八月六日，原子彈投于日本廣島時為止，該室共用去費用五萬四千五百萬美金，有技術人員七八千名之多。

(4)加拿大皮提瓦瓦 Petawawa 製鈾廠，該廠終于 1945 年由英美加聯合政策委員會會同設立者，位于安大略州為一製鈾廠，由此亦可證明製鈾法，較分離 $U-235$ 法為良也。

10. 原子彈之構造

原子彈自 1945 年八月六日正式使用于廣島以來，迄今已一年有餘，但對該彈之構造，迄無正式之官方報告，一般關心人士，乃就各種有關之事實，予以推論，其最近情

理之各種說明，可如下述：

(一)原料：目前美國製原子彈原料之工廠，有哈福之製鍊廠，及克林登之分離廠，分離 $U-235$ 之方法，較鍊之製造時間為早，故若干人推定，炸廣島之原子彈，原料為 $U-235$ ，而炸長崎之原子彈，原料則為鍊，以目前情況推之，鍊之產量或比製純淨 $U-235$ 之產量為多，且威格爾在「大同或滅亡」一書中說過，製鍊所需之成本，比用同位分離法，製 $U-235$ 低廉，故目前所有之原子彈，恐多半係用鍊製成者。

(二)原子彈之重量及大小；推測原子彈之重量及大小，似為較難之工作，但吾人仍當努力研求之，其可參考者，可分述如下：

(a) 在史邁斯之報告書中，曾云，如以極限體積計算，可自行維持之鏈狀反應堆所需之純 $U-235$ ，應在 1-100 公斤之間，而「產生爆炸分裂所需之 $U-235$ 量決不能少于二公斤，但亦不至超過 100 公斤」云。又有人按照中子之數目，加以計算，知若 $U-235$ 球之體積為 138Cm^3 ，則中子外逃率，即可等于內生率，即照 2500 克(五五磅)之純 $U-235$ ，製成球形，其中子之外逃，恰可為其內生所抵消，鈾堆自能平衡支持，使體內之中子數不變，若用 2500 克以上之 $U-235$ 球，則內生多于外逃，分裂能加速進行，則使體內之中子數倍向無窮，故知五·五磅(即二公斤)之 $U-235$ ，為維持鏈狀反應最低之質量，而大于此數之 $U-235$ 堆，即可趨于爆裂一途也。

(b) 杜魯門總統曾稱，一枚原子彈可有大于一〇，〇〇〇噸 T.N.T. 之爆炸力，此即相當于七六，〇〇〇，〇〇〇 K.W.H. 之力，因一磅 $U-235$ 分裂時，有一一，四〇〇，〇〇〇 K.W.H. 之力，而其中約有 10% 于爆炸時放出，(史邁斯報告書第四章第三節)則此彈中最少似應含六六·五磅之 $U-235$ 。

(c) 康地 (Condon) 在「大同或滅亡」一書中說，「在一個小西瓜之體積內，可含有比 20,000 噸舊式高級炸藥更強之力量，」假定一小西瓜之體積，約為二立升，則此彈所含之 $U-235$ 或總數，為 82 磅。

(d) 在 1946 年四月廿九日，於巴法羅舉行之陶瓷學會第四十八週年會時，俄亥俄州立大學物理教授蒲爾 Pool 發表原子能之演說中，曾云 50 磅 $U-235$ 之

力量，足等於 15,000 噸 T.N.T. 之力量，故吾人似可估定彈中含鈾或鐳之重量為約六十六磅或比此數略重。

(e) 1946 年九月八日美國大學聯合會會長奈代萊「在美國小姐」競選決賽中，向觀眾兩萬人發表演說，稱去年在日所投之下之原子彈，僅重六十五磅云。

(f) 倫敦每日快報科學編輯平徹爾 (Chaplan Pincher) 氏，則稱該彈長約二五呎重約九, 〇〇〇磅，尾端有二降落傘，以減低降落速度，俾炸藥得準時爆發，彈體外包厚鉛板，以防輻射之逃出，彈體內容鎔質二塊，合重約 100 磅，分置彈腔兩端，當此二塊隔開時一切相安無事，如尾部一塊，向前擊中另一塊時，則立即引起爆炸，美國月產六枚云。

根據以上各點，故吾人可推定，原子彈內所含 U-235 或鐳之重，應在六〇——一〇〇磅之間。

按平徹爾之說法，為鎔外包有鉛殼，史邁氏報告書中，亦曾提及能用一層石墨包圍一鈾——石墨鏈狀反應堆，以減小其臨界體積至相當程度，蓋石墨套能將甚多之中子反射回堆中，吾人亦能用相似之套，以減少原子彈之臨界體積，此種彈殼之功用，即立將中子反射回彈中，並延緩彈之膨脹，以增加爆炸之效率，故鎔外包有彈壳，似為確定之事實。

康地在大同或滅亡一書中曾云，「吾人可確定此種構造之物品，重約一噸上下，」而平徹爾則云，重約九, 〇〇〇磅，故吾人可確定彈之全重應在一噸以上。

(三)彈之爆炸：目前原子彈最大之祕密，似即在於引起爆炸之方法，故真像如何，吾人不得而知，但吾人可推測，原子彈之引爆物質或為彈內之游離中子，或用鐳為起爆劑，銻為傳爆劑，以引起 U-235 或鐳之爆炸，但在未起炸前，U-235 或鐳分數塊排置彈中，以小于極限體積，爆炸前之短時間內，碰合一起，以大于極限體積一點似可確言無誤者。據瑞諾爾 (L.N.Ricard) 在「大同或滅亡」一書中所言，炸廣島及長崎之兩顆原子彈，其預定是在一千五百英尺之高空爆炸者，方法是把導火索線接連在普通氣壓計上，或雷達高度計上，雷達高度計的原理，是計算發出電波被地面或海面射回所需要之時間也。且威格爾在「大同或滅亡」一書中云，技巧中最重要者，莫過於緩和中性子

的速度，使從分裂時的高速度，變為低速度，故如何產生中子，如何使中子起爆炸，乃目前原子彈中之最大問題。

(四)彈之費用及產量：目前原子彈之產量，為秘密之一，但在對日作第二枚原子彈後不久，波爾博士曾稱，彼根據報紙之消息，可推定 U-235 及鈾之產量，約為十磅，吾人于談完史邁氏之報告後，亦認此數值大約相符，以每日十磅計，月得三〇〇磅，約可得彈六枚，與平德爾之推測，似亦相符，故吾人可知，美國目前原子彈之產量，每月在五枚上下。

原子彈之費用目前亦為秘密問題之一，但有人根據丁甯 (T.R Dunning) 于 1946 年四月八日在哥倫比亞大學之演說，推知 U-235 和鈾之價格，為每磅二〇,〇〇〇美元，在「大同或滅亡」一書中，龍格曼 (Langmuir) 亦曾論及「原子彈約為有同等效力之其他武器價格十分之一」，今吾人假定以 T.N.T 為其他武器之代表，並且假定投于日本之原子彈，含有 67—100 磅之分裂性物，則一磅分裂物之價格，約低於 30—50 噸 T.N.T 之價值，此即表示分裂物之價值，每磅約五,四〇〇—一三,〇〇〇美元之間也。更據合衆社普林斯頓電稱，據原子彈發明人之一烏萊博士稱，目前製造原子彈一枚，須費一百萬至二百萬美金云。

另在「大同或滅亡」一書中，歐本哈姆曾云，「在本次大戰中，美國投擲炸彈一磅之費用，是美金十元，依此計算，五萬噸炸彈投擲之費用，將是十萬萬元，破壞力和五萬噸普通炸彈相等之原子彈的成本是不詳，但至少比炸彈成本低數百倍，甚至低一千倍」。之語，若吾人以低五百倍計，則一枚原子彈，應為二百萬元，故吾人約可推定，一枚原子彈之費用，在美金二百萬元上下。

II. 原子彈之威力

1945 年 7 月 16 日，在新墨西哥州沙漠中試驗原子彈時，曾使百哩外之天生盲女，亦因光之強烈，而生驚喊。待 8 月 6 日，原子彈降落於廣島時，其威力之驚人，破壞之強烈，死亡之嚴重，曾使吾人不寒而慄，經事後之訊查，知廣島完全被毀區域在四、四