

## Chapter 1 曼哈頓計畫

因為物質科學的進展，導致人類的生活改變。如果要求各位說一個例子，相信應該不是一件困難的事，包括手機、半導體、電腦等等。儘管物質科學對人類的影響有這麼多的面向，但終究需要一個切入點。我所選擇的切入點就是美國在 1942 到 1945 年間製造原子彈的曼哈頓計畫。因為這個計畫相當有指標性，在人類的文化史中這是一個典範的例子。它牽涉的層面非常的大且廣，有科技層面、政治層面、倫理道德層面等等，可以討論的議題是相當豐富的。

在 1938 年底，德國科學家漢恩(Hahn)和史特拉斯曼(Strassmann)[註一]，利用中子[註二]撞擊鈾  $^{235}_{92}\text{U}$  [註三]使得鈾的原子核分裂成兩個子核[註四]，再加上數個中子。



由於產物(X+Y+中子)的質量比一開始反應物(中子+ $^{235}_{92}\text{U}$ )的質量小[註五]。少掉的質量，就透過愛因斯坦  $E=mc^2$  的公式，以能量的方式呈現出來，也就是說產物(X+Y+中子)會有相當大的動能，這種特殊的反應過程稱之為核分裂(nuclear fission)。我們可以注意到產物當中有數個中子，而這些中子又可以拿來撞擊鈾原子核，造成連鎖反應(chain reaction)。核分裂反應會產生巨大的能量，而這些能量是可以拿來使用的，包括核能發電和核子武器都是其中的例子。

當漢恩和史特拉斯曼發現了核分裂反應之後，科學家意識到核分裂反應有重大的應用價值，尤其是可以拿來製造威力強大的炸彈[註六]。在 1939 年的 8 月，因為納粹壓迫而流亡到美國的匈牙利科學家齊拉德(Szilard)寫了一封信給美國總統，信中說明「在去年(1938)年底，德國核子化學家發現核分裂反應，這個科學發現可能導致重大毀滅性武器的發展，督促美國必須要重視這個問題。」並且鼓動愛因斯坦(Einstein)上書美國總統羅斯福要求重視原子能研究。現今我們沒有辦法評論是否是因為愛因斯坦的原因導致整個曼哈頓計畫的產生，因為美國當時有很多一流的核子物理學家，例如費米(Fermi)等人存在，但是以愛因斯坦當時的地位(全世界最知名的科學家)應該是有幾分作用。從歷史的角度來看，美國確實回應了愛因斯坦的呼籲開始了原子能的研究。總之，在 1939 年美國開始了核分裂研究。到了 1942 年，因為二次世界大戰，美國決定不只是「做研究」，要加速(更確切地說，是要盡全力)進行核子武器的製造。

「二次大戰期間，英美陣營很擔心一件事，即希特勒手上有了原子彈。這並不是杞人憂天…在 1938 年發現核分裂現象地漢恩及史特拉斯曼就是德國化學家。所以同盟國陣營很怕得國會搶先一步利用核分裂來製造原子武器。愛因斯坦在 1939

年寫信給小羅斯福總統，就警告他這個潛在威脅。」---- 選自「歷史的審判」

「1942年9月，美國陸軍上校葛羅伏斯受命接掌曼哈頓計畫，此計畫的目標是盡快造出原子彈。」----選自「歐本海默」

以升官為誘因(或是說補償)，葛羅伏斯很快的進入狀況。或許葛羅伏斯本人是兵工方面的專家；但他對核物理卻是一竅不通，所以他聘任歐本海默(Oppenheimer)為實驗室主任，由他掌理原子彈製造的相關一切事物。曼哈頓計畫的專責實驗室設立於新墨西哥州的洛斯阿拉摩斯，當時非常多的一流科學家，各式各樣的背景，包括物理學家、化學家、土木工程師、機械工程師等等，都聚集到新墨西哥州，全力為美國打造原子彈。

「他(葛羅伏斯)在一個月內就做出了整個計畫最關鍵的決定 - 聘任歐本海默為實驗室主任。」----選自「歐本海默」

歐本海默可以說是一匹黑馬，因為他是理論物理學家。一般而言，以實驗和工程為主的計畫通常是找實驗物理學家會比較合理。理論物理學家來主持這種計畫是很奇怪的事。而且，以當時他對物理界的貢獻而言，恐怕分量還不夠；當時費米、羅倫斯(Lawrence)、康普頓(Compton)等人都是諾貝爾物理學獎得主，跟他們相比歐本海默的學術聲望明顯是差了一大截。

「曼哈頓計畫結束後，葛羅伏斯可以傲然地說：『但是我堅持要歐本海默，他的成功證明我是對的，沒有其他人挑得起這個任務。』」----選自「歐本海默」

「1945年7月，曼哈頓計畫在起步約三年之後終於成功 - 原子彈造出來了。」----選自「費米的自知之明」

在這個計劃完成時，德國也投降了；所以他們唯一可能投擲原子彈的對象就剩下日本了，日本那時候還沒有投降。這些原子彈該不該使用？原子彈的威力強大，可以造成巨大的傷亡。美國如果成為第一個使用原子武器的國家，在道德立場上恐怕受人非議。美國政府成立了一個臨時委員會來考慮是否該用上原子彈。成員包括軍方單位、知名大學校長(哈佛大學校長、麻省理工學院校長)、政府官員及科學顧問小組。科學顧問小組的成員有四位，分別是歐本海默、費米、羅倫斯和康普頓。

「臨時委員會最終建議杜魯門總統『應該盡快用原子彈對付日本。』」----選自「費米的自知之明」

當時有不少的科學家反對投擲原子彈，認為「不預警的對日本使用核子武器是不恰當的。」如果美國這麼做，她會失去全球的支持，而且促發軍備競賽(果不其然，在二戰之後，全球的核武競賽真的出現了)。

我們都知道這種毀滅性的原子武器，在美國做出來沒有多少年，俄國也做出來了。然後美國又更加緊地進展到用核融合來做原子武器(氫彈，核融合以後會介紹)。很快的英國、法國、中國等國家也都製造出原子彈，核子武器快速的蔓延到全球主要的軍事強權國家。其中，最重要的是美國和俄國兩個資源最豐富且領土最廣大的國家，他們持有核武器的歷史也最優久。核子武器的特性就是易攻難守；你沒辦法防守，除非這個轟炸機還沒到你領土上空，你就把它打掉了。後來因為飛彈載具的進步，而產生了洲際飛彈，已經不需要轟炸機了，可以直接在我的國土發射一個飛彈，走幾萬英里，去炸你的都市。最後產生了互相恐怖平衡的局面，最後大家就不斷累積核武彈藥庫。據說美國就累積了上萬個核子彈頭，俄國也是這樣，於是「冷戰」就開始了，誰也不敢輕易動手。我麼可以說「冷戰」是二次戰後，由於核子武器出現一個新的局面。「冷戰」的局面直接地和間接地影響台灣的前途；在「冷戰」期間，我們被列入站在美國這邊。所以核子武器不只在1945年丟在日本人頭上就沒事了，連帶影響20世紀後半葉人類文明的走向。

杜魯門總統拍板定案，爲了減少美國軍人的犧牲，不願意跟日本人打肉搏戰，終究還是用了原子彈。

「廣島長崎原爆之後，歐本海默與杜魯門總統見了面。歐對杜說：『我覺得我們手上有血。』杜回答說：『不用擔心，它會洗掉的。』」

----選自「費米的自知之明」

事實上，歐本海默走了之後，杜魯門總統對帶他(歐本海默)來的人說：「以後不要再帶他來見我了。他憑甚麼說他覺得內疚。老闆是我，是我決定使用原子彈的。」對杜魯門總統而言，歐本海默只不過是個幫他製造原子彈的工具罷了。這種歷史性或是道德議題上的尖銳呈現，製造原子彈的人該負怎麼樣的責任？仍是未解的題目。

以上是美國方面的介紹。相同的時間，德國那邊同樣有核分裂反應的研究。

「當時，德國的確有個核分裂研究計畫，領導者是海森堡，他可以說是二十世紀物理的金童，24歲不到就發現了量子力學，32歲獲諾貝爾獎，在理論物理中重要的貢獻比比皆是。如果海森堡是美國人，領導曼哈坦計畫的應該就是他了。」

----選自「歷史的審判」

事實上，因為海森堡對物理有極大的成就(量子力學的創始者之一)，所以他在年輕的時候就已經註定是歷史人物了。可以很確定地說，物理史一定會記錄他的貢獻；說得更大一些，人類文明史也會記錄他的貢獻。海森堡本人不是猶太人，他也不是納粹。對他而言，心裡是很為難的，他所心愛的祖國居然會做出這種很不人道的行爲 - 屠殺猶太人。由於他的科學地位，美國很多的研究單位都希望跟費米、愛因斯坦一樣流亡到美國，可是海森堡他覺得沒有辦法拋棄他在德國的家鄉和朋友。海森堡於 1939 年初夏還赴美一趟探望朋友，所以在正式開戰之前，海森堡還能到美國自由旅行。

「許多已經流亡在美的朋友都勸他留下來。他卻仍執意回德國。他的解釋是他不能背棄還在德國的同僚與學生，他需要留在德國撐住局面，設法掙得一些「淨地」，以便納粹時期度過之後，還能保有元氣重建德國物理。」----選自「歷史的審判」

「另一種說法是海森堡有意要幫納粹。認為海森堡其實還是懷抱著德國勝利的希望，尤其是他曾說過類似蘇聯共產主義危害尤勝於納粹之類的話。」  
----選自「歷史的審判」

這就是解讀的問題了，為什麼要回到德國，不留在美國，那時可有這個選擇的，海森堡沒有跟他仰慕的愛因斯坦一樣，跟他的好朋友費米一樣，可以流亡卻沒有流亡。他選擇回德國就是要貢獻一己之力。

海森堡在美國曾與費米見面深談，那時圈內人已經臆測到費米是要為美國做原子彈，海森堡要為德國做原子彈，所以他們那一次的見面是充滿了戲劇張力的。費米大概有意圖說服海森堡不要回國，但海森堡終究還是回去了。

「以海森堡的聲譽及德國的科技水準，任何敵手當然會擔心德國很快就能造出一顆原子彈。真相是德國雖然在 1939-1940 年間的確對原子彈興趣濃厚，爾後並沒有和美國一樣傾全力投注於製造原子彈，只維持了一小規模的純研究計畫。主因是海森堡在 1942 年說服主管經濟資源的史培爾[註七]放棄大規模發展原子武器計畫，因為『太大、太貴』，對戰時德國而吉『沒有把握』。事後看，很多人會『感激』海森堡這個判斷，否則難說歷史不會轉彎。在事過境遷之後，可以檢討、探究的事情很多，例如海森堡的決定從德國的角度來看是正確的嗎？雖然『太大、太貴』，美國不仍成功了嗎？這個決定所依據的科學理由何在？從大戰結束後至今，談論這些疑點的文章與書仍不斷湧現。」----選自「歷史的審判」

「有幾種講法。一是海森堡其實錯估了造彈的難度。因為他搞錯所謂『臨界質量』(critical mass) 的大小。什麼是『臨界質量』？基本上原子彈是利用鈾 235 核分裂的連鎖反應。而連鎖反應要成立，鈾 235 的量得要足夠，起碼要在『臨界

質量』以上。海森堡以爲此『臨界質量』是以噸計。其實正確的答案不會超過數十公斤。要提煉一噸以上的鈾 235 絕非德國（與美國）在短時間內可以達成的事。但若是幾十公斤就足夠造一顆原子彈，則德國或許會撐下去硬幹。所以海森堡的『無能』導致了德國計畫的失敗。」----選自「歷史的審判」

「另一種說法強調海森堡其實從來沒有認真仔細地計算過『臨界質量』，他只大概抓一個數量級，因爲他的確不願意讓希特勒手握原子彈，所以他真的還有良心，他有考慮這個問題，所以在初步的估算後就很『高興』地打住了。」  
----選自「歷史的審判」

「再一種講法是海森堡已經得到正確的結果，但是他故意對當局隱瞞，誇大難度。名記者作家包爾斯幾年前寫了一本《海森堡的戰爭》[註八]就是採這種看法。」  
----選自「歷史的審判」

「研究這一類的問題有一個極大的限制，就是拿不到很多列爲機密級的資料。幾年前終於見到一份重要的文件解密了。這份文件是包括海森堡與漢恩在內十位德國科學家的談話錄音。這十位科學家在大戰一停之後馬上被美軍送到英國一處名爲『農園大邸』（Farm Hall）的地方軟禁起來[註九]。」----選自「歷史的審判」

廣島原爆之後，故意透漏這些消息給他們知道，偷聽這些科學家對這件情的討論，判定德國的原子彈計畫的真相是什麼？這「農園大邸」爲英國情報單位所有，他們在整個屋子暗藏麥克風，把這十位德國人的談話都一一錄了起來。十位科學家後來說，因爲經歷過「蓋世太保」的監視，所以猜得到或許英國人也會來這一套。所以雖裝了麥克風，海森堡也沒有在怕的，不過他們覺得沒有什麼需要隱瞞，講話並沒有保留。

「從『農園大邸』錄音中，可以知道這些德國人在聽到廣島原爆之梭，最初不願相信，認爲美國人在唬人。隔了一個星期之後海森堡才理出頭緒，相信原子彈的存在。到那時他才正確估算出『臨界質量』來。不過在海森堡與漢恩的對話中也有部分可以解釋成海森堡早已約略地知道正確的臨界質量是多少。所以『農園大邸』錄音恐怕還不能完全消弭海森堡的角色爭議。」----選自「歷史的審判」

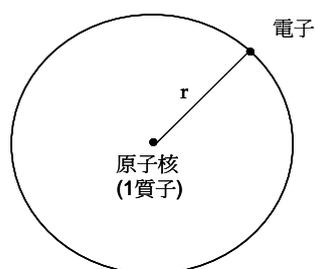
「歷史學家與識得海森堡的人都一致認爲海森堡絕非納粹的同情者。1930 年代納粹在剿伐『猶太物理』時，海森堡本人也是受害者之一。他也不熱中於政治，不過他算得上是一位愛國者。當國家被惡棍挾持時，他不能像非常少數勇敢的人，能以生命爲賭注堅持良知，當然德國有些人就起來反抗納粹，不過他卻也沒有逃避他國。德國量子大師普朗克[註十]曾對他說：『在這樣恐怖的德國，沒有人能保有尊嚴。』海森堡的良知在他過世三十多年之後仍然是大家很在意的問題，因

爲他是個天才，也曾站在可能改變歷史的關鍵點上，同時也因爲良知是每個人得面對的永恆問題。」----選自「歷史的審判」

從 20 世紀至今日，著名的哥本哈根會議有兩次，一次就是去年(2009)的哥本哈根[註十一]會議是在談論氣候暖化的問題(很多人認爲這次哥本哈根會議是一次失敗的會議)。可是早在 1941 年，有另外一次哥本哈根會議，那次的哥本哈根之會也是被歷史學家非常重視的一次會面，在 2008 年 3 月台大有表演舞台劇「哥本哈根」。(台大總圖應該可以借的到)。

「這場會面於 1998 年在英國被搬上舞臺，連演十八個月。十來年前也搬上了美國百老匯劇場，並獲東尼獎。以『哥本哈根』爲名的整齣劇只有三個角色，波爾及他太太和海森堡。導演不願輕易下定論、判是非。戲中充滿量子物理、哲學、道德的對(獨)白。這樣硬的戲能夠在英國受歡迎，不知道該不該覺得奇怪。」----選自「哥本哈根」

二十世紀物理第一人是愛因斯坦，這是大家公認的。第二人是波爾，這也是大家公認的。第三人則角逐者眾多，不容易明確講是哪一位；不過在群雄之中，海森堡以他發現量子力學之功，位居第三人。誰是波爾？波爾是丹麥人，在 1913 年提出他出名的半古典原子模型，波爾模型基本上是以氫原子結構爲例，有一個原子核，它剛好是一個質子，外層有一個電子，這是一個古典模型，叫做原子的太陽系模型，如圖一。



圖一 波爾模型

所謂半古典的意思是波爾假設這個半徑(電子和原子核之間的距離) $r$  不能夠任意的，要加上一個量子條件，從這限制他可以推得跟實驗觀察相符的結果。

「波爾的量子條件是全新的假設，無法從古典力學中推導出來。但是因爲他的模型依然用上了許多古典概念，所以稱之爲半古典模型。這個模型雖然成功，但大家都知道它還算不上是一個完整的理論。今日看來，波爾的工作有極重要的指標性意義。他就像燈塔，沒有他，人們只能在黑暗中瞎摸。要得到完備的量子力學理論，就得擺脫例如軌道這種在古典力學裡，再自然不過的核心概念。這個還要

等上十二年，直到 1925 年才由海森堡石破天驚地破除了通往量子力學的障礙。」  
----選自「哥本哈根」

海森堡在 1923 年夏天得到博士學位後，就前往哥廷根大學當另外一位德國重要的物理學家叫波恩(Max Born)的助手，相當於今天大學的博士後研究員。波恩在 1924-1925 年間到美國訪問，波恩安排海森堡在那段期間到哥本哈根跟隨波爾做研究並且進行學術交流。海森堡的確在那裡接觸到波爾與他助手最新的理論，進而他在 1925 年夏天敲開了量子力學大門。爾後的兩年，波爾在海森堡一起用功了於了解這個怪異的理論。在兩人不斷地辯論之後，海森堡提出了測不準原理，他們同意理論中的波函數描述的是一種機率波，也認為實體在我們做量測之前並沒有意義。這一套目前大家接受為理解量子力學的正統觀點就被稱為哥本哈根詮釋 Copenhagen interpretation，而兩人的歷史地位就確立了。兩人在學術合作上是有很緊密的合作關係，一起建構量子力學的哲學解釋。波爾與海森堡非常親密的公私情誼終於受到時代的無情考驗。

「1941 年當德國還在趾高氣揚，四處侵略的時候，海森堡到丹麥做『文化』之旅，也就是宣傳之旅。他特別到哥本哈根一趟，求見波爾。兩人再度一起散步，私談。這次見面是兩人情誼的分水嶺，從此再也不是推心置腹的朋友了。究竟兩人談了些什麼？海森堡在戰後回憶說，他想問波爾『科學家參與原子彈研究有沒有道德責任？』因為牽涉到機密而擔心蓋世太保竊聽，他不敢講的太明白，所以波爾誤解他的用意。而波爾從來沒有公開談論到 1941 年這次見面，不過可以從蛛絲馬跡可推得，他以為海森堡正為希特勒造原子彈。從丹麥人的觀點，這是助紂為虐，不可原諒。後來有論者認為正直如海森堡者對於受壓迫者太沒有同情心了。」----選自「哥本哈根」

當時，丹麥已經被德國佔領了，所以從波爾的角度，海森堡是我的後輩，甚至可以說是我的半個學生；在學術生涯中，我還拉過你一把。可是你現在是替德國做文化大使(隱含有炫耀的意味)，可以想像波爾心裡的感受。兩人從此再也不是朋友了。

「海森堡在戰後回憶說，問波爾是否相信『物理學家在道德上的權利可以參與原子能實際應用的研究』。波爾非常驚訝，反問海森堡是否相信原子能可以用於戰爭。海森堡回答：『是的，我知道。』不過他告訴波爾由於技術上的困難，戰爭結束前不可能做出原子彈。」----選自「波爾的信」

無論這場哥本哈根之會的真相如何，這場會面引我們真正關心的真正原因在於以下的問題。先想像一個情況，科學家 A 跟 B，兩個人拿了國家的補助做研究，透過相互的討論，發現世界科學極重要的奧秘。掌握這奧秘的人，可以獲得無盡的

能源，可以用來做好事，也可以做壞事。一旦將這個知識傳播出去，他們擔心有人拿它來做壞事，所以兩人協議毀掉這個知識。所以如果是你覺得這是可以不可以？你們覺得應不應該放任這兩個科學家銷毀這個知識？反過來說，如果你是科學家你會不會不信任公眾而想要自己做決定？這是一個很實際的問題，你們認為不能放任科學家？(有同學舉手，到前面來發言)

第一位同學說：「我覺得我們還是有義務要知道，因為不知道科學家心理怎麼想，雖然他們可能會認為我們知識不足，可是他們應該提供我們足夠的知識，不然會造成知識不對稱」。

所以你認為科學家沒有藏私的立場，應該公諸於眾，應該由公眾來決定知識應該如何來使用，有沒有不同意他的舉手？(有人沒舉手)

第二位同學說：「我覺得人有時候無知還是幸福的，我們把時間往前推四五百年，隨然他們不知道有這些知識，但他們還是很幸福很滿足的，所以當這些核子武器出來時，我們就不一定可以完全達到我們想要的目的。」

這也是有道理的，就說我是市井小民，你要我知道，要我說 Yes or No，我也無從判斷，我也沒有能力拿它做好做壞，那這樣我寧可不要知道，贊成的舉手!(有人贊成)，還有其他的觀點嗎？

第三位同學發言：「這知識關係到全人類的福祉，那全人類都應該有發言權，但前提是我們要知道，所以如果科學家不說，我們就不會知道，所以他們就掌握了一種知識的權利，所以關鍵是如何能夠知道這個知識的機制，才是重點。」

他大概是跟第一個觀點雷同，只是強調它是不是義務，也就是說世界局面演變到今天，你可能已經沒有這種餘地我要無知，無知事實上是一種罪惡，你知道是你的權利、義務你一定要知道，不管喜不喜歡，就是要投下去那張票。

假設海森堡與波爾在那場會面達成協議，物理學家要「封鎖」住他們找到的秘密，不讓人類「誤用」這些知識，那是可以的嗎？這就是我的問題。他們有權利這麼做嗎？人民如何「監督」科學家？誰來決定，又怎麼如何決定怎麼「正確」地應用科學知識？這些問題今天依然沒有答案。

註一 漢恩(Hahn)和史特拉斯曼(Strassmann)是核子化學家。在二次世界大戰後，漢恩獲得諾貝爾化學獎。

註二 原子(atom)由原子核(nucleus)和核外的電子(electron)所組成。其中原子核是由帶正電的質子(proton)和不帶電的中子(neutron)所構成。質子的質量約等於中子的質量且遠大於電子的質量。質子和電子所帶的電量相同但電性相反。

註三 鈾(uranium)在自然中就中有三種同位素，分別為 $^{238}_{92}\text{U}$ (99.284%)、 $^{235}_{92}\text{U}$ (0.711%)和 $^{234}_{92}\text{U}$ (0.0054%)。其中 92 代表的是原子序，即原子核內地質子數目；238、235和 234 代表的是質量數，即原子核內的質子數目加上中子數目。

註四 中子  $\xrightarrow{\text{撞擊}} ^{235}_{92}\text{U} \xrightarrow{\text{分裂}} \text{X} + \text{Y} + \text{中子}$ ；會其中 X 和 Y 是子核。常見的例子中，X 是鋇地原子核，Y 是氪地原子核(此方程式為高一基礎物理的內容)。

註五 質量守恆定律適用於一般的化學反應；但是核分裂不是一般的化學反應，其反應式遵守能量守衡，即反應前的總能量(包括質量所對應的能量)等於反應後的總能量。

註六 一般的炸彈是利用化學反應釋放化學能；而原子彈(atomic bomb 或稱核子彈)是利用核分裂反應，其釋放出來的能量遠遠大於一般的炸藥。

註七 史培爾，他是軍需部部長，算是希特勒心腹之一。

註八 《海森堡的戰爭》，台灣有翻譯，是將海森堡當成英雄，阻止希特勒握有原子彈。這是一個大的歷史題目，牽涉的層面太多了，包含科學知識的問題，技術能力的問題，海森堡良心的問題等。歷史學家到目前為止都還有在研究沒有定論。

註九 當時美國打贏了之後，馬上將這些重要的科學家帶走，怕被俄國搶去。當時許多先進的武器掌握在德國人手中，包括火箭技術等等。

註十 普朗克算是海森堡的前輩老師，海森堡跟普朗克談過許多人生重大的選擇。

註十一 在建立量子力學基礎的過程中，以波爾為所長的哥本哈根大學理論物理研究所是眾望所歸的一個重要基地。這個研究所成立於 1921 年，許多年輕的物理學家，特別是量子力學的創建者們紛紛應邀來到這裡，互相切磋，漸漸形成了

共同的觀點。在研究所成立的最初十年裡，來到哥本哈根訪問的物理學家共有來自於 17 個國家 63 位學者。後來獲得諾貝爾獎的有 10 位(物理獎 7 位，化學獎 3 位)。他們在學術思想上深受波爾的影響，使得量子力學的詮釋逐步得到了完善。人們把這一科學共同體稱之為哥本哈根學派。這個學派對 20 世紀物理學和哲學產生了重大影響。

註十二 課程和補充講義中出現的物理諾貝爾獎得主

獲獎年份 (西元)	主要內容	獲獎者 姓名	生卒年代	獲獎者姓名 (外文)
1918	能量子的發現	普朗克	1858-1947	Max Karl Ernst Ludwig Planck
1921	在理論物理學上的貢獻	愛因斯坦	1879-1955	Albert Einstein
1922	原子結構和原子光譜	波爾	1885-1962	Niels Bohr
1927	康普頓效應	康普頓	1892-1962	Arthur Holly Compton
1932	量子力學的創立	海森堡	1901-1976	Wemer Karl Heisenberg
1938	中子幅照產生新放射性 元素	費米	1901-1954	Enrico Fermi
1939	迴旋加速器的發明	羅倫斯	1901-1958	Ernest Orlando Lawrence
1945	包利不相容原理	包利	1900-1958	Wolfgang Pauli
1954	波函數的統計詮釋	波恩	1882-1970	Max Born
1957	宇稱守恆定律的破壞	楊振寧	1922-	C. N. Yang
1957	宇稱守恆定律的破壞	李政道	1926-	T. D. Lee
1965	量子電動力學的發展	費曼	1918-1988	Richard Phillips Feynman
1997	雷射冷卻和捕獲原子	朱棣文	1948-	Steven Chu