

中華科學叢書第一種

基本粒子

(一篇原子物理學簡史)

著者：楊振寧

譯者：錢林多相樑

52
63

臺灣中華書局印行

基本粒子

【一篇原子物理學簡史】

著者：楊振寧
譯者：錢林多 相樑

臺灣中華書局印行

中華民國六十四年六月四版

中華科學叢書第一種

基本粒子 (全一册)

基價：壹元正

原著者 楊振寧

譯者 林多

標相寧

中華科學叢書編輯委員 (以姓氏筆劃為序)

- 伍法岳 沈君山 沈慶春 李天培
- 林多探 吳京生 吳家璋 吳錦鏞
- 夏道師 浦大邦 許翼雲 趙曾珏
- 劉溁 劉全生 鄭伯昆 錢致榕
- 瞿樹元

發行人 熊純生

臺北市重慶南路一段九十四號

本公司登記證字號

行政院新聞局局版

印刷者 臺灣中華書局印刷廠

發行處 臺灣中華書局

臺北市重慶南路一段九十四號



甲書(8073)

(實)

“爲 振 復 弟 寫”

中華科學叢書序

近代物理學，可溯源於十九世紀末年之氣體導電，X光，放射性等之研究。六十餘年來，基本物理中劃時代之發展，如一九〇〇年之量子論，一九〇五年之相對論，一九一三年之原子結構理論，一九二四——一九二八年間之量子力學，一九三幾年之原子核物理，一九三九年之原子核分裂。一九四六年介子之發現，及近十餘年來之基本粒子物理及物理學中之對稱定律等。常言「一日千里」，實不足以形容物理學發展之迅速。即從事一部門物理研究工作之學者，對其他部門之新發展亦時感脫節。故各國各部門科學皆有專書及期刊，由各門專家著述，對各部門工作之結果及發展之情形，作綜合性之報告、檢討及分析。此類著作，不僅便利同儕而已。

年來國人對科學及技術於建國之重要，了解漸深，一般青年，對科學、工程技術之興趣亦日趨濃厚。然限於環境，時或有望洋興嘆之感。增強在臺學校中科學教程，固為一基本工作，但以中文著述，介紹科學之新發展，為學校課外之補充讀物實為一極重要、極有意義之事。

我國留美學者：伍法岳、沈君山、沈慶春、李天培、林多樑、吳京生、吳家瑋、吳錦猷、夏道師、浦大邦、劉葵、劉全生、錢致榕、瞿樹元諸先生有鑑於此，曾決定從事科學叢書之編譯，各就其專長，選定寫作部門，目前除計劃於近期內陸續出版關於基本粒子，天文漫談，量子電子學，液態氦，高能加速器等五種外，並擬擴大科學部門，廣邀各方面學者專家從事著述。

叢書編輯委員會諸君，皆年青學者，學有專長，茲能熱心從事著述，為我國科學教育及青年效勞；而中華書局亦以服務精神發行科學叢書。筆者年來對我國科學教育，未嘗忘懷，祇以力不從心，無善可述，茲聞此叢書行將陸續出版，謹向國人介紹，並致個人欽佩喜慰之感。

吳 大 猷

一九六六年十月

HW 6605/17

譯者序

本書在一九六二年出版以後，很快就被美國各大學及研究院有關課程列為指定參考書之一。我們以為原因之一是作者在敘述基本粒子物理學發展過程中，用很簡單的語言說明各種深奧的基本原理。

此外，讀者也不難發現全書中充滿着如何挖掘問題、研究問題的精神與態度。國內有興趣的讀者，如果能因閱讀本書而獲得些啓示，進而能對新的問題，有所思考、有所貢獻，則更是譯者所極端盼望的了。

本來我們計劃用純粹國語來翻譯這本書的，不幸我們的國文根基不够，非但未能把原文的優美詞句重寫出來，甚至譯文顯得不中不西，覺得十分歉疚。讀者如果有興趣與原版對照着讀，則不僅可避免譯文中可能有的辭不達意的地方，並可欣賞原書的優美文辭。

蒙楊振寧先生在百忙中抽空親自為譯稿校正，謹在此致最高謝意。

譯者

中華民國五十五年（一九六六年六月）

著者序

一九五九年十一月，作者應普林斯敦大學之邀爲范氏講座 (Vanuxem Lectures)，本書卽以此講稿稍經修改而成。當時演講對象爲大學中一般對科學有興趣之聽衆，作者乃以基本粒子的發現所涉及之簡單術語及概念爲聽衆描述六十年來關於物質結構之研究工作的輪廓。誠然，科學概念除非定義於其本身所由發展之背景知識，本無法具有完全意義，然作者雖未能對問題本身作充分討論，猶冀以歷史之敘述如本書者，或可使讀者對物理學家如何着手探討問題之精神略獲印象。

本書插圖取自不同書籍，其來源均列於書末，尤以圖卅九之騎士畫係艾雪 (Escher) 先生所作，蒙其允爲採用，至爲感謝。

原稿係先由內人閱讀一過，以證其清晰而易於了解，並蒙伊建議修改。此外，高爾曼夫人對本書出版之各項籌備工作協助殊多，普大印書館之魏爾遜君爲本書作圖，尤以圖卅六爲魏君所構想者，均於此一併誌謝。

楊 振 寧

一九六一年六月



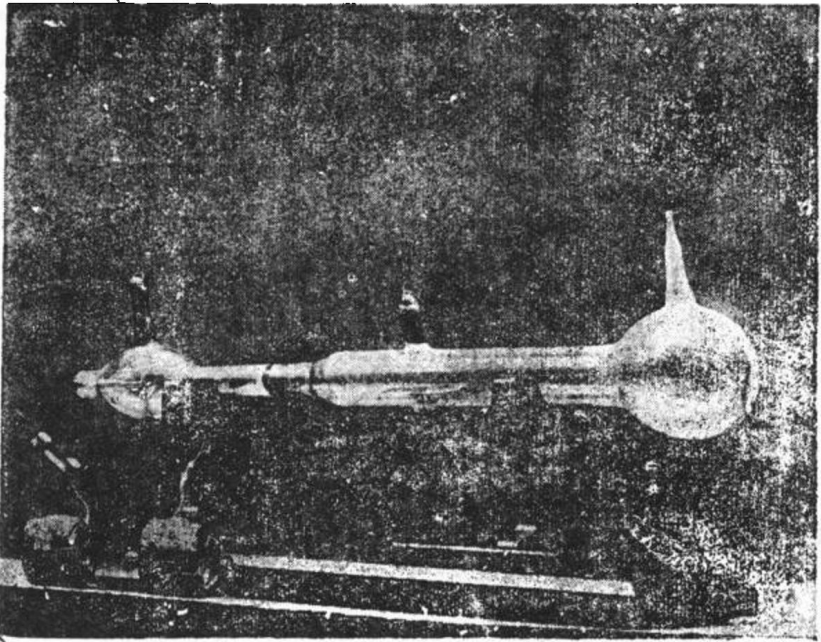
(圖一)

第一章

正當歷史快要進入二十世紀時，物理學也明顯地放射着一個新時代的曙光。不僅牛頓(Newton)力學與法拉第-馬克思威爾(Faraday-Maxwell)的電磁理論的輝煌成就把古典物理的時代很成功地告一結束，同時到處都已經瀰漫着新的現象，新的難題，新的興奮與新的推想。陰極射線(cathode ray)、光電效應(photoelectricity)、放射性(radioactivity)、齊曼效應(Zeeman effect)、X-光以及光譜線的雷德柏(Rydberg)定律等等都是剛剛發現的，但究竟這一新的時代蘊藏着些甚麼，當時自然是很難預料的！在許多問題中，人們對於電的原子結構的可能性有過很多的討論。我們應該承認“物質的原子構造”這一觀念，雖然很早已經被人思考過，但是這類的思考究竟不能被記入科學的書籍裏，因為一種抽象的哲學討論，如果不經過實驗在數量上的檢定，是不能被認為科學真理的。例如，十九世紀後半葉大物理學家柯爾文〔註一〕(Kelvin)在1897年還這樣寫着：“電是一種連續的純淨液體”(並沒有其原子的結構)的觀念是值得考驗的。

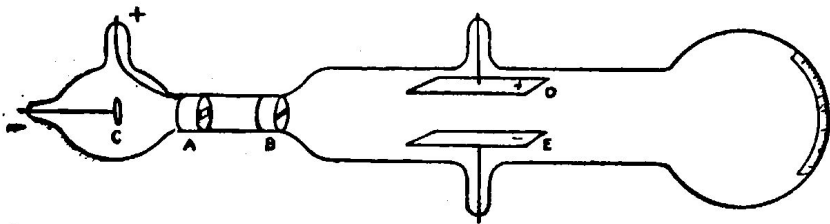
但是就在同一年，當湯姆生〔註二〕(Thomson)以他著名的實驗決定了陰極射線的電荷和質量的比值 e/m

時，上面的想法就變得完全不必要了。我們特別在第一圖* 中介紹這位第一個把物理學的基本粒子 (elementary particle) 之門打開的偉大人物。



(圖二)

圖二說明湯姆生所用的實驗儀器，它的作用原理則可由圖三來解釋。從陰極C出來的陰極射線經過狹縫A



(圖三)

* 取自其原著 *Recollections and Reflections*

和B，而成一束狹窄的射線，再被引導經過D、E之間的地帶，而到達右端刻度的螢光幕上。如果我們使D與E荷電，就可以使射線向上或向下偏轉。根據其偏轉的方向，我們知道這射線是帶負電的。然後再在D、E之間安置一個由線圈產生的磁場(如圖二)，它的方向和書面垂直。我們就發現這磁場也能使射線產生向上或向下的偏轉，正和其所荷負電相一致。藉調節電、磁場而使其對射線所產生的偏轉平衡，我們就能算出射線進行的速度。另外由電場或磁場所生偏轉的大小，可以量出 e/m ，也就是這種射線構成物的荷電量與質量的比值。

也許有人要問爲甚麼看來這麼簡單的實驗以前竟沒有人做過？湯姆生後來在他的回憶中〔註三〕自己給了一個答案：

“我的第一個嘗試是要使一束陰極射線，通過放電管內兩片平行的金屬板之間，同時在金屬板間產生電場。但是這實驗未能產生足可觀察到的偏轉。”

然後他也解釋他所懷疑的困難之所在。他這樣寫着：

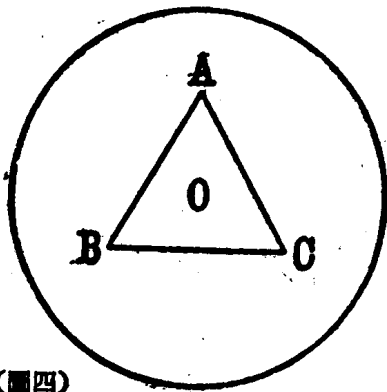
“不能產生偏轉的原因是由於氣體的存在，以致氣壓過高，所以補救的辦法是獲得高度的真空。可是當時產生高度真空的技術，仍在原始的階段，要想做到自然沒有說起來那麼簡單。”

事實上，發現電磁波的大物理學家赫茲(Hertz)早期也曾做過同樣的實驗，而且誤以爲陰極射線是不荷電的。這就很明顯地說明一個最基本的真理，就是說技術上的改進，是與實驗科學的進展並駕齊驅的。我們以後會

再遇到說明這一真理的實例。

湯姆生所測定的陰極射線 e/m 數值比起電解(electrolysis)中離子(ion)所具有的相當值要好幾千倍。因此湯姆生結論說陰極射線中粒子的質量要比離子的小許多，並且是荷負電的。他稱它們為“微粒子(corpuscle)”。並稱它們所荷之電為“電子(electron)”。在這兒電子是表示荷電量的一個基本單位。但是漸漸地它就變成這些粒子的專門名稱了。這樣人類所認識的第一個基本粒子就產生了。

在同時，湯姆生和他的學生們又在別的實驗裏近似地決定了離子的帶電量 $+e$ 的值。然後湯姆生開始思考原子構造的基本問題，並且提出下述模型：一個原子具有 Z 數目的電子，而每一個電子所荷之電為 $-e$ ，這些電子均勻分配於連續分佈的 Z 個正電荷之中，而構成一個平衡的中和性原子。原子的質量完全集中於正電的分佈中，受到外界干擾時，這些輕而易受擾亂的電子，就繞着它們的平衡位置擺動，因而放出輻射。圖四是1903年湯



(圖四)

姆生在耶魯大學的席里曼講座 (Silliman Lectures) 中所畫的圖，表示三個電子分佈的情形。湯姆生假設正電荷為均勻的球狀分佈，從而計算電子擺動的頻率。他假定這些頻率與分析光譜 (optical spectrum) 所測定的相契合，如此，他得到非常正確的結論，即原子的半徑是在 10^{-8} 公分左右。

1911年羅德福 (Rutherford) 使 α - 粒子穿過一層金屬薄片，這實驗帶來了基本粒子物理學上第二個重要的發展。 α - 粒子是在天然放射性裏被發現的。1911年人們已經知道這些粒子是帶兩個正電 $+2e$ ，而且質量是氫原子的四倍。湯姆生以前曾經指出， α - 粒子通過他的模型原子，一般說來應該循直線進行。其理由為：(1) 因為 α - 粒子較電子質量重許多，所以它不應該會因電子的影響而偏轉，(2) α - 粒子通過原子時，也不該受其中正電的影響，因為這些正電是分散在原子裏，所以力量是微弱的。因此，湯姆生的模型原子不能使 α - 粒子的路線產生大角度的偏轉。羅德福推想一個 α - 粒子通過一個金屬薄片時，大角度偏轉的產生也必定是很偶然的。因為金屬薄片含有很多原子，祇有每個原子使 α - 粒子的路線都向同一方向偏轉時，大角度的偏轉才會發生，這是一種統計上的擾動 (statistical fluctuation)，因此 (1) 偏轉角之分佈應當服從高斯誤差曲線 (gaussian error curve); (2) 偏轉角的均方根 (root mean square) 應當與遭遇次數的平方根成正比，或者與薄片厚度的平方根成正比。羅德福指出這兩個結論都不能與當時

所有的實驗資料相符合，所以他就提出下面的假設：原子內的正電都集中在一個極小的區域內。事實上，從實驗的資料可以斷定這一區域的直徑應該小於 10^{-12} 公分。這就是著名的羅德福原子模型。原子具有一個原子核(nucleus)，帶正電 $+Ze$ ，其周圍則被 Z 個電子包圍着。這推想一年以後，就由其學生蓋革(Geiger)和馬思登(Marsden)用實驗很確定地證實了。

羅德福的發現對於當日的物理學家和化學家的影響是非常驚人的。湯姆生那時是在劍橋的開文第實驗室(Cavendish Laboratory)，羅德福在曼徹斯特(Manchester)。1930年波爾(Bohr)在他的法拉第講座(Faraday Lecture)^(註四)說過：

“二十年前每一個和我一樣有機會拜訪劍橋和曼徹斯特，並得在這些偉大領導者指導之下工作的人，都能告訴你們那些忘不了的經驗。幾乎每一天對於隱藏着的自然現象都有新的發現，回想起來就像昨天的事一樣，我還清晰地記得，1912年春天，羅德福的學生們興奮地談論着由於原子核的發現，而給整個物理學和化學開闢了新的研究途徑。最重要的是我們發現原子的正電局限於無限小的範圍內，這一事實大大地簡化了我們對物性的區分法。事實上，它使我們能夠把原子的性質分成兩大類。一類是由整個原子核的總電荷和質量即可完全決定的；另一類則直接由原子核的內部構造決定。根據所有的實驗，我們知道放射性和外界物理的和化學的條件無關，所以它是後一類原子特性的標準例子。另一方面，物

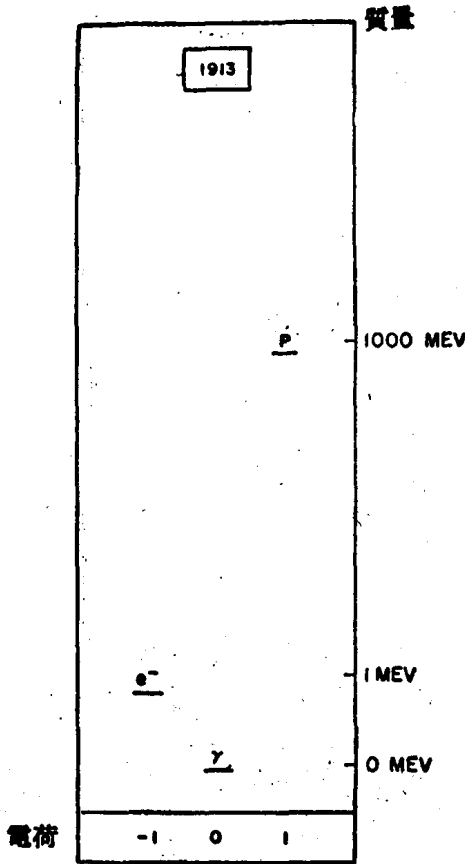
質的一般物理和化學性質，主要是由原子的總質量與電荷而定；同時也因環繞於原子核外的電子組態 (electronic configuration) 而異，因為這些電子組態決定了原子對於外界影響的反應。更有進者，一個孤立原子的核外電子組態應該完全由原子核總電荷而定，而甚少受核質量的影響。原子核質量比起核外電子質量來，實在太大，所以核運動比起電子運動來可以完全被忽略。這些由原子模型而得的簡單推論，立刻對下述事實提供明確的解釋：就是原子量不同，放射特性也不同的兩種元素，在其他性質方面可以非常地相像，以致於不能用化學方法分離它們。”

在同一個講座中，他又說：

“綜合上面所述，關於通盤了解物質的普通性質，我們可以說羅德福的原子模型促使我們追想哲學家們的舊夢：把自然之定律的解釋簡化為純粹的數字考慮。”

就在這樣一個充滿着新發明的刺激和企盼着更多基本而統一性的發現的氣氛中，波爾提出了他著名的氫原子理論。

羅德福和波爾的研究成果，供給我們有關基本粒子的知識如圖五，橫座標是電荷數，而縱座標則代表粒子質量(不照比例)。質子(proton)是氫原子核，沒有質量的光子(photon) γ 則代表電磁輻射的量子(quantum)。光子也有其自己的一番歷史，卜蘭克(Planck)在他的黑體輻射研究中發現了一個經驗公式，很符合實驗的結果，但是却與古典電磁輻射的觀念相衝突。為了解釋他



(縱座標質量僅示大意, 不按比例)

(圖五)

的公式，卜蘭克在1901年很大膽的假設說：除非以量子為單位，電磁輻射不能被發射或吸收。每一個量子都具有 $h\nu$ 的能量，其中 ν 是輻射的頻率而 h 是一個由卜蘭克引入的通用常數，後來就叫做“卜蘭克常數 (Planck's constant)。”

惟有卜蘭克這麼澈底和堅忍的研究，才能引進如此革命性的物質和輻射場 (radiation field) 之間能量轉變

• Mev 為百萬電子伏特的縮寫。