

547581

3361

547581

7/4702

大學用書選譯

原子核物理學導論

David Halliday 著

劉燕溪 譯



中國科學院大學

教育部出版

基本物理

世界書局發行

大學用書選譯
原子核物理學導論

David Halliday 著

劉 燕 溪 譯

教 育 部 出 版
世 界 書 局 發 行

中華民國六十六年二月再版

大學用
書選譯

原子核物理學導論

平裝本全一冊 基本定價 叁圓陸角肆分整

版權

所有

禁止

翻印

著

者：David

Halliday

譯

者：劉

燕

溪

出

版

者：教

育

部

發

行

所：世

界

書

局

發

行

人：蕭

宗

謀

地

址：

臺北市

衡陽路

二十號

三樓

電話：

三一〇一

八三

本局登記證字號：行政院新聞局局版臺業字第〇九三一號

印

刷

者：世

界

書

局

序

在這次新版中，著者當然要將前版的材料換為最近的。另外也有一些次要的改變。添一章波力學綱要。其餘幾章的次序及範圍也予以重行編輯。馬虎增加篇幅，刪去一些邊際的問題。於附錄中增加幾個公式的實證，所有參考他人著作之處，也都標明於書內。這些改進的地方多由於用書人或評論者的建議，作者不勝感激。

如果將附錄及小體字的部分略去，則本書其他部分可望適用於初讀原子核物理學的大學生。這是假定學者對於原子物理學有概略的了解。此書又與第一版原子核物理學相同的，有比較寬濶的範疇，包含基本質點物理，宇宙射線，分子射柱及其他本來可以不必涉及的問題

大衛郝立德

皮 次 堡

一九五五年一月

INTRODUCTORY NUCLEAR PHYSICS

by
David Halliday

Copyright 1955 by
John Wiley & Sons, Inc.
New York, U. S. A.

Published in Chinese Translation
by
**COMMITTEE FOR TRANSLATION AND
COMPILATION OF COLLEGE TEXTBOOKS
MINISTRY OF EDUCATION**
Taipei, Taiwan, China
1959

本書係教育部從積存譯稿中選印，列爲大學用書之一。除教育部印製一千冊免費供應僑生閱讀外，由世界書局照約加印發行。

目 次

1. 基本的核觀念	1
2. 量子力學原理	21
3. 二核子體系	39
4. 放射性的衰變及 α 發射	61
5. γ 輻射及內轉變	87
6. β 衰變	115
7. 帶電質點及 γ 射線之貫穿物質	141
8. 帶電質點及光子之檢查	175
9. 中子	209
10. 核質量, 質量數及質量充量	239
11. 核構造	255
12. 帶電質點加速器	277
13. 核反應	305
14. 核對裂	343
15. 核旋轉及磁性	361
16. 宇宙射線及次核子質點	403
參考書	435
附 錄	463
索 引	487

1 基本的核觀念

1. 1. 緒 言

康耐爾大學的狄森 Dyson, 曾說(D52)我們對於物理世界的觀念可分別放入三箱中: 第一箱: 我們放置大的東西, 如宇宙的構造; 第二箱: 我們放置小物體, 如原子核及基本質點等觀念; 第三箱: 事實上, 我們放置其他各種觀念, 包括傳統力學, 電動力學, 特殊相對論和原子物理學等。只有在第三箱中, 我們的知識是依據一個首尾一貫的學說——即含義最廣, 高度發展形式的量子力學, 稱為量子電動力學(Quantum electrodynamics)。狄森真地說:

祇有在這個領域中, 我們能選擇一個假定的試驗, 並能預期其結果至小數第五位, 確信該學說能顧到一切所涉及的因素。

無疑地, 將量子電動力學, 會再有整理, 此項整理, 當隨之而獲有新的見識, 不過, 狄森所說的, 仍然是真實的。

在第二箱(或第一箱)中, 則沒有這樣幸運的情形。在一個事實沒有關連的海裏, 代替統一學說的, 是一些有關連首尾一貫的知識之島嶼。實在說, 核子物理的中心問題, 就是瞭解那使核子聚在一起的力之問題, 仍未解決。缺少統一的學說, 使核子物理教材的組織, 比有統一學說時, 更傾於隨意取捨。在這一章我們的計劃是討論介紹核子物理的重要概念。提供名詞用以便利敘述以後各章更詳細的資料。

1. 2. 歷 史

核子物理始於一八九六年, 是年亨利柏克勒爾(Henri Becquerel)發見鐳化合物之自然的放射性(B96)。當試驗鈾鹽發光時。

他敏銳已極注意到了一個新現象。他說(M35):

我深以為，下述事實於我似乎是極關重要的。它並不和所希望要觀查的事實一致；同樣包起來的結晶，放在照像感光板上的情形亦相同。經同一層幕，並使之不受投射光的刺激，雖放於暗處，仍然發生同樣的感光作用。

鈾鹽之放射性，自一八五二年，當斯特克(Stoke)初發現時，即為一週知的一件事實。倪普世(Niepc de Saint-Victor)於一八六七年實確曾作了柏克勒爾的試驗，但是他誤解其結果。表1列舉自柏克勒爾發現放射性以來，核子物理史中的一些劃時代的事件。

表 1
核物理之劃時代事件

年代	事 件	試 驗 者	事 件 發生國	參考
1896	放射性的發見*	H. A. Becquerel*	法 國	B 96
1898	鐳之游離	Pierre Curie* 及 Marie Curie*	法 國	C 98
1903	放射蛻變生原子種 類變化說之提出	Rutherford* 及 Soddy*	加拿大	R 03
1905	質能當量的聲明	Einstein*	瑞 士	E 03
1905	放射衰變統計性質 之認識	Von Schweidler	奧 國	S 05
1909	α 質點證明為氦核	Rutherford* 及 Royds	英 國	R 09
1911	原子核假說	Rutherford*	英 國	P. 11
1911	快速帶電質點於照像 乳劑中留證跡之發見	Reinganum	德 國	Re 11
1912	用雲室觀察核之證跡	Wilson*	英 國	W 12
1913	穩定同位素之發見	J.J. Thomson*	英 國	T 13
1913	宇宙射線之發見	Hess*	奧 國	H 13
1919	首次在試驗室內使 元素蛻變	Rutherford*	英 國	R 19

1919	質譜學之發展	Aston*	英 國	A19
1924	物質波性質之提出	de Broglie*	法 國	B24
1926	量子力學之發見	Schrödinger*	德 國	S26
		Born,* Heisenberg,*		H25
		及 Jordan		B26
1928	蓋革-繆勒計數器 之發見	Geiger 及 Müller	德 國	G28
1929	α 放射性之解釋	Gamow	德 國	Ga28
		Gurney 及 Condon	美 國	Gu28
1930	首次用人工加速質 點使核蛻變	Cockcroft 及 Walton	英 國	C32
1931	首次用靜電加速器	Van de Graaff	美 國	G33
1932	最初的迴旋加速器	Lawrence*	美 國	L32
1932	重氫之發見	Urey,* Brickwedde 及 Murphy	美 國	U32
1932	中子之發見	Chadwick*	英 國	Ch32
1932	正電子之發見	C.D.Anderson*	美 國	A 33
1932	核假定爲質子及中 子組成	Heisenberg*	德 國	H32
1933	分子射柱用於研究核	Stern* 及 Estermann	德 國	E33
1934	人造放射性之發見	F. Joliot* 及 Irene Curie*	法 國	J 34
1934	β 放射性理論之提出	Fermi*	意大利	F 34
1935	符合計數法用於研究 放射衰變	Bothe 及 von Baeyer	德 國	B35
1935	介子之理論預定	湯川*	日 本	Y35
1936	核構造之複核理論之 提出	N. Bohr*	丹 麥	B36
1937	在宇宙射線中U 介子 之發見	Neddermeyer, C. D. Anderson*	美 國	N37
		Stree 及 Sterenson		S37
1938	核磁性精確之測定	Rabi*	美 國	R39

4 原子核物理學專論

1939	核對裂之發見	Hahn* 及 Strassmann	德 國	H39
1941	最初的貝他加速器	Kerst	美 國	K41
1942	最初的反應器	Fermi* 等	美 國	K47
1944	同步加速器原理之 發見	Veksler McMillan*	蘇 聯 美 國	V44 M45
1946	在固體中核的磁共 振	Purcell* Bloch*	美 國	P 46 B46
1947	π 介子之發見	Lattes, Occhialini, 及 Powell*	英 國	L47
1947	V-質點之發見	Rochester 及 Butler	英 國	R47
1948	首次試驗室產生介子	Gardner 及 Lattes	美 國	G48
1949	核構造層說之發展	Mayer Haxel, Jensen, 及 Suess	美 國 德 國	Ma49 H49
1949	閃爍計數器之發展	Kallmann Coltman 及 Marshall	德 國 美 國	K49 C47
1952	用強聚焦原理設計 高能加速器	Courant, Livingston 及 Snyder	美 國	C52
1952	試驗室質子加速至 十億電子伏特範圍	Brookhaven 國立試驗所幹部	美 國	B53
1953	核反應器“孳生” (breeding) 試驗成 功之發表	Argonne 國立試驗所幹部	美 國	X53
1593	核構造集團一層模型 (Collective-shell model) 之發展	A. Bohr 及 Mottleson	丹 麥	Bo53

註：人名之右上角記有 * 號的，為諾貝爾獎金獲得者。

1. 3. 科學與哲學

核物理學和其他科學一樣，需要一個統一的觀點。一個為現在一些科學家（但決不為一切科學家）所認可的觀點，是論理的實證主義 (Positivism)。它的創始人為奧國物理學家馬和 (Ernst

Mach)。其能發展成爲近代的形式，多在乎維也納集團 (Vienna Circle) (K53)。他們並不是因爲看見相對論及量子說之發展而與之暗合，乃是單獨發展的。在美國對於它有重要供獻的爲哈佛大學之布利及曼 (P.W. Bridgman) (B27, Br 36)，此種觀點的特徵如下：

1. 一物體的電荷、溫度、質量、及長短不認爲是直覺所能了解的，它們是在試驗室中所從事的某些客觀操作之結果。“一棒之長”操作的觀點上是有意義的，抽象的“長”，比較少有意義。這操作的觀點 (*Operational point view*) 是哲學的基礎。

2. 物理定律表示經過動作而確定的諸量間之關係，於作某些試驗時即發生該項的關係。定律可用未經操作訂定的符號表示之，（例如：波函數 ψ ）。但是從這些符號中，必須能用論理的方法推證出可以由動作所確定的量。

3. 學說的任務是根據最少的假定，解釋最多的試驗。對於那些假說本身的最終的真理 (*ultimate truth*) 則不發生問題。

4. 在任何時期中，學說及假說均可以爲其他更有用的學說及假定所代替，也就是爲一個能解釋更多試驗的代替；或者爲一個能以更簡單之方法解釋者所代替。“原子”，“核子”，及“基本質點”一般地說，皆多少是有用的假說。單加福 (Dancoff) 對於此點，曾令人心悅誠服地說：

一個實證主義者自以爲是委身於動作論的，他一點也看不出某一學說或假定能否代表絕對真理。結果呢，他摒棄此種觀念。他的目的是簡潔地形容其經驗範圍內所得（或要得的）一些官覺之對象。顯然的，科學的工作永無止境，誰能說某一個學說已經是最簡單的，不會再發生與它不合的事實呢？

有一個時期，物理學家曾說：牛頓的運動定律於力學中可代表絕對的真理。我們現在知道，那些定律不包函近於光速的運動。在這個領域中，我們必須用特殊相對論。當我們給以“物體之長”及“兩事務之時間差”之動作的定義時，當然要發生相對論的問

題。實證主義者的觀點並非以為牛頓的定律不真實，或特殊相對論真實，但是後者可以包括牛頓力學作為一個特殊的情形，它是更進一步的理論，因為它聯接更多的官覺。

科學的哲學其本身並非更“科學”。譬如它缺少試驗證明的可能性。這帶來須取決於權威者的成分；現在已多為科學所擯棄。許多傑出的科學家曾寫出其哲學的觀點，其中如愛因斯坦 (Einstein) (E49)，海增柏 (Heisenberg) (H52)，外茲沙卡 (von Weizsacker) (W52) 司律定格 (Schrodinger) (S51) 艾丁頓 (Eddington) (Ed49) 蒲郎克 (Planck) (P49) 布利及曼 (Bridgman) (Br36) 及薄恩 (Born) (B49)。當我們發見這些偉人於哲學的觀念上並不完全一致時，似乎有些失望。雖則他們這般人，有極端的實證主義者不多；但是他們大部份的人，其思想上有實證主義的成分。

與實證哲學對照的是形而上哲學，它所要的是一些不容許試驗的東西，它的方法是如何尋求“真義” (meaning of reality)。形而上哲學傾向問這一類的問題：“既然是一個假定，（譬如：電子）在那麼多的上下文中循環使用，豈有此理？”“你想沒想到原子的假說，在將來可能更改？”“用不該問作為一個回答，解決了那麼多的問題，那算公平嗎？”哲學家威廉詹姆斯 (William James) 論擁護這兩種相反觀點的人，各為“粗心的”及“細心的”。許多學者，例如愛因斯坦，他承認在他們的思想中有形而上的成分。

1. 4. 核的大小

羅塞福 (Rutherford E.) 於一九一一年，從蓋革 (Geiger) 及馬士登 (Marsden) 的 α 散射試驗正確的推證核的半徑必小於 10^{-12} 厘米。自那時起，對於核半徑，曾提出許多經由動作得來的定義 (operational definitions)，它們多半是按：

$$r = r_0 A^{1/3}$$

r_0 爲一常數， A 爲核中之中子，與質子數之和（質量數）。圖 1 表明方程式(1)於特殊情形應用之範圍。

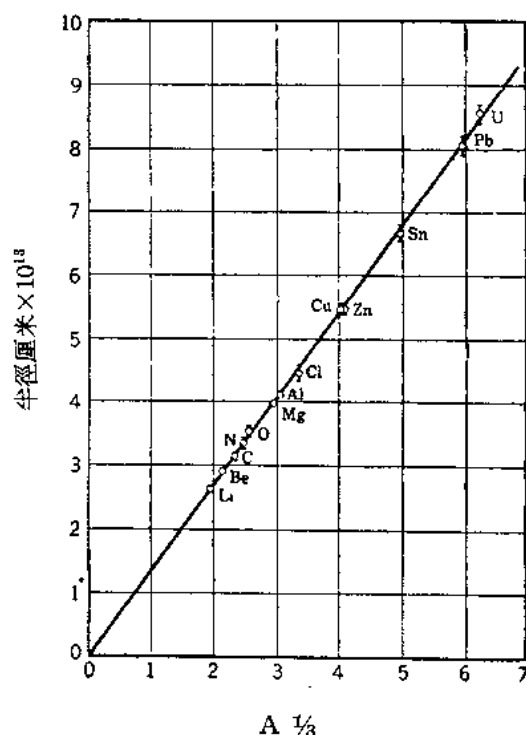


圖 1 將八千三百萬電子伏特的中子自核散射，所得的核半徑按方程式 1: $r_0 = 1.37 \times 10^{-13}$ 厘米，則得圖中的直線。(C 49; Fe49)。

表 2 以名稱列舉幾個量核半徑，也量 r_0 的方法。最後的四種結果，在乎核內電荷的分配。其他兩種方法考慮強而特殊的核力，與核物質的分布有關，而非爲帶電的核物質。倘若組成核的中子及質子之分配方法不同，（例如：見 J 54），當然以不同動作的方法所得的核半徑，也不能完全一致。

表 2
各種方法所得式 1 r_0 之值

方 法	A 之範圍	$r_0(\times 10^{-13}$ 厘米)	參 考
中子散射	7—238	1.37—1.45	Fe49; De50 第 13.8
α 發射	206—242	1.34 : 1.48	P50; BW52 節 4.12
鏡像核	3—41	~ 1.2	Coo 53 節 11.4
介子原子	40—210	~ 1.2	Fi 53
同位素效應	87—207	~ 1.1	Bi 53
電子散射	64—197	~ 1.1	Hi 54

麥科美克 (McCormick) 及庫韓 Cohen (M54) 曾提出另一個方法可能說明何以核半徑有此項之差異。此外，有許多關於核半徑的研究正在進行中。

電子散射法給一些電荷在核體內分佈的詳細資料。通行的圖是電荷的密度，其內部分配相當均勻，但向外漸小，至表面時則為零。即所謂（“漸淡的邊界模型” “fuzzy boundary model”）。其所量的半徑為一種平均值。

氦核的質量數為 40，自方程式 1，用 $r_0 \approx 1.2 \times 10^{-13}$ 厘米，可得： $r = 4.1 \times 10^{-13}$ 厘米。氫原子的半徑約為 1.5×10^{-8} 厘米，約大於其核 4×10^4 倍。核比原子這樣小的事實，其意義就核而論物質是無限的空闊。例如：千分之一吋厚的鋁箔，其核的射影面積為其實際面積的 10^4 分之一。物質既然有偌大的寬濶空間，則中子因為與電子少有互相作用的關係，能通過較厚的物質就不算為奇事。方程式 1（回想 A 與核質量有密切的比例關係）的含意是一切核物質的密度幾乎是一定的 其值可自下列的事實算出：質子的質量為 1.7×10^{-24} 克；自式 1 ($A=1$)，算得半徑約為 1.2×10^{-13} 厘米，則密度為 $\sim 10^5$ 噸/毫米³，

1. 5. 核的構造及命名法

於 1932 年查兌克 (Chadwick) 發見中子數月後，海增柏 (Heisenberg) (I132) 及依萬恩克 (Iwanenko) (I32) 不謀而同地作了很有用的假定，以為核是由中子及質子所組成的。各種不同的核可以由符號識別它們。例如： ${}_{18}A^{40}$ 及 ${}_{15}P^{32}$ ，寫於左下角者（通常略去）為核的質子數——原子序數 Z ，字母為化學符號；寫於上角者為核質點之總數，質量數，相減各得 22 及 17 即為此種核之中子數。

如果我們將中子及質子混雜地合成核，這種合併多半是不穩定的，他們可以自發地衰變；或對裂，分為兩個或更多的碎片；或發射一個 γ 射線，一個 α 質點，一個正電子，一個負電子，或一個中子；或自原子壳捕捉一負電子；或者把上述的幾種可能連合起來同時發作，這樣不穩定的原子核，叫作放射核。

表 3

幾個核名詞

一部分取自高曼 Kohman (K 47)

字	定	義	舉	例
核種	核的種類。		——	
放射核種	放射性的核種。		——	
同位元素	有相同質子數的幾個核種之一。			Ca^{40} , Ca^{42}
同調素	有相同中子數的幾個核種之一。			Ca^{40} , K^{39}
等質素	有相同質量數的幾個核種之一。			Ca^{40} , A^{40}
等盈素	有相同中子及質子差數的幾個核種之一。			Ca^{40} , K^{38}
同份素	有相同中子數及質子數兩核種之一，在可計量之時期中，能存於不同之能階中者。			節 5.5

核子或原核質點一質子或一中子。

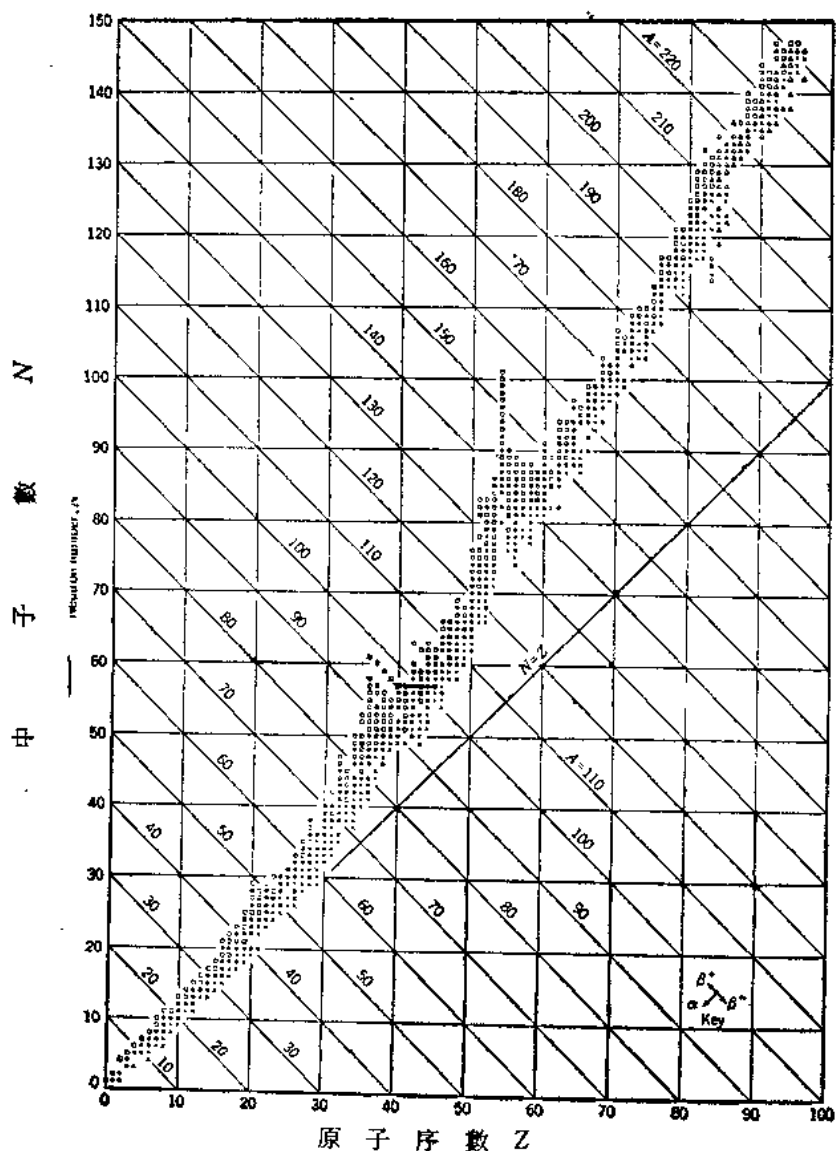


圖 2. 於 1949 年的核圖

- 穩定 × 正電子發射體 (或電子捕獲)
 □ 負電子發射體 △ α 發射體