

序

居今日而欲致國家於富強之林，登斯民於康樂之境，其道無他，要在教育、文化、經濟諸方面力求進步而已。自然科學之研究與發展，屬於文化領域之一環，同時亦為國防建設之主動力，其在教育設施方面，實佔有甚大之比重，久為識者所共喻。

巴西華僑徐君銘信，身繫異邦，心繫祖國，鑒於自然科學之發展與夫建國前途所關之鉅，嘗思盡一己之力，為邦人士格物致知之助。比年以來，其慨捐於國內學術機構者，固已為數不貲，前歲之冬，復搜購德國著名函授學校之數學、物理、化學、生物等優良課本約五百萬言寄臺，經東海大學吳校長德耀與溫院長步頤之介紹，欲以逐譯刊行，嘉惠學子之任，委諸元吉，自維學殖荒落，本不敏敢，惟感於徐君所見者大，所志者遠，殊不宜過拂其意，爰勉受義務主編及統籌出版之命。嗣經先後約請江鴻（數學總執筆人）、宋滄、李煥榮、南登岐、孫廣年（物理學總執筆人）、張壽彭、陳喜棠、許巍文、黃友訓、傅貽椿、熊俊（生物學總執筆人）、廖可奇、劉泰庠、鍾恩龍、關德懋（以姓氏筆劃為序）諸君分任逐譯，其事遂舉。願以個人精力時間，均屬有限，一年以還，竭知盡能，時以能否符合信達雅之準則為慮，幸賴各方碩彥陳力就列，各自靖獻，得如預期出書，以餉讀者，實為元吉精神上莫大之收穫。今後倘蒙文教先進及讀者不吝匡翼，俾在吾國科學發展史上日呈緝熙光明之象，遂徐君之初願於萬一，並使其今後仍就此途邁進之志事，（徐君近復精選英文本初級科學百科全書，交由科學勵進中心* 譯印。）永感吾道不孤，邪許同聲，則尤元吉一瓣心香，朝夕禱祝者也。茲值本書出版伊始，謹誌涯略，並向協助譯印諸君子敬致感謝之忱。

中華民國五十一年元月湯元吉序於臺北

*該中心為一不以營利為目的之財團法人，其宗旨在於促進科學教育、發展科學研究及介紹科學新知。現任董事為李熙謀、錢思亮、趙連芳、林致平、徐銘信、李先聞、戴運軌、鄭堃厚、湯元吉等九人。

JYI/26/2123

編輯要旨

- 一、本叢書包括數學、物理、化學、生物等四種。
- 二、本叢書物理、化學、生物等三種，均係採用德國魯斯汀(Rustin)函授學校之課本；數學一種，則係採用德國馬特休斯(Mathesius)函授學校之課本，分別選請專家逐譯。
- 三、本叢書之供應對象，主要為中等以上學校之學生、自行進修人士及從事教授各該有關課業之教師，故其內容亦以適合上述各界人士之需要為主旨。
- 四、原書內於每一相當節段，均附有習題、複習題、試題及論文作業等，可使在學者增加反覆研討之機，自修者亦易得無師自通之樂。本叢書對於前三者均已予以保留，俾利讀者之研習。至於論文作業題目，本係該函授學校對於所屬學生之另一種教學措施，學生於作成論文後，校方尚需負修改之責，與本叢書旨趣未盡相同，故均於正文內予以省略，惟為存真起見，一俟本叢書出齊後，當彙印單行本，以供讀者參考。
- 五、本叢書因係依據原書格式譯輯而成，故未能於每一學科之首冊中編列總目，擬俟全書出齊後，另行編印專冊，以供讀者檢閱。
- 六、本叢書數學原文，每講約為六萬字，而其餘各書字數自二萬餘字至四萬餘字不等，且各講自成段落，不能分割，故為便利讀者及減輕讀者負擔，只能將其每二講或三講合印為一冊，字數遂在七萬餘字至九萬餘字之間。
- 七、本叢書所有各種科學名詞，一律採用國立編譯館輯譯，教育部審

定公布之名詞；但主編者認爲必要時，亦偶用其他譯名代替之；其爲上述公布名詞中所無者，則出於主編者或譯者之創擬。該項替代或創擬之名詞，是否妥善無疵，未敢自是，尙冀海內專家學者不吝賜教。

- 八·本叢書之逐譯工作係由多人執筆，行文屬辭，難免各具風格，主編者能力時間，均屬有限，故雖竭智盡慮，勉爲整理，亦僅能使其小異而大同，尙祈讀者諒之。
- 九·本叢書原文篇幅浩繁，約近五百萬字，出版須依一定進度，編者勢難將譯文與原文逐一核對，尙有未盡妥洽之處，亦請讀者隨時指教，俾於再版時更正，幸甚幸甚！

主編者謹識

序言及學習方法之說明

在近幾十年中，沒有一門自然科學，能像物理學那樣地顯示出這麼多的進步。從自然界的各種奇異變化中，物理學給我們指示出了許多新的規律，並且替我們大大地擴展了有關於各種自然現象間互相關聯的知識。這種結果，使物理學超越了自己的範圍，間接地充實了其他各門科學和工程技術的內容。在現代原子物理的影響之下，化學這門科學中的幾個基本概念，如元素及化合力本質之概念等，已非有一種根本改變不可；放射科研究之成功，使醫學上開闢了一個新天地；最後，我們今日之電氣和熱工技術，以及航空、電影與無線電等之驚人與迅速之進展，都應歸功於物理學家之辛勤建樹的研究工作。

我們現在的課題，是要使各位未曾或很少受過自然科學訓練的讀者，慢慢地步上這門自然科學的階梯。當各位踏上每一層更高的階梯時，我們就要將各種最重要的定律，介紹給各位；使各位對於與日常生活和國計民生有重要關係的各種技術應用，以及對於與物理學上的世界觀有基本關係的各種理論，獲得一般的認識。

我們所採取的表達方式，是着重於通俗而不枯燥，但却不違背嚴格的科學性，也不忽略各位所需準備之各部份課程的完整性。各位可以相信，我們是經常把各位能通過結業考試這個目的放在心上的！我們的這部函授講義，可以說是一部自修的書籍而不是教學的書籍。因此，我們對於大多數物理教科書所採用的那些刻板的傳統編排方式，並不加以欣賞。各位對於物理學所能得到的全貌，將於研讀這部函授講義時，從每一講至次一講，逐漸自動地加以完成。關於數學方面的應用，在我們這部講義裏，也盡量設法限制，這樣，才可以使不懂高深數學的讀者，也可以懂得我們所表達的意思。

在第一講中，我們將要廣泛地說明幾種簡單的關聯現象，使各位逐漸習慣於物理學上的思考。以後，我們即將逐步要求各位作更大的努力，並逐漸將更多的淺近數學，散佈於各章講義之中。最初，我們並不想責成各位，立刻習慣於有系統地吸收每一部份之全部內容，因

爲如果上進的坡度太陡，反而易於使各位初學者失去繼續學習的勇氣。一直要到較後幾章講義中，我們方始就各位進步的情形，在魯斯汀數學函授這一講中，加入數學方面的知識，但亦不超出簡單的代數運算範圍之外。如果各位讀者之中，要想知道如何以高等數學，來精確地說明各種物理學上的問題，那就要請各位參閱這部函授講義的最後一本小冊子，在這本小冊子的特殊幾章裏面，我們是就物理學上各部門的定律和課題，以微積分學的方法來處理的。

現在，在各位開始學習以前，我們要向各位說明一下學習的方法。各位要知道，各位正要從事學習的這門科學，其中心活動，乃是實驗與觀察。所有物理學上的知識，都是以實驗爲出發點。以一般情形而論，各位對於科學性的嚴格實驗，恐無自己實地去做的機會。至於自修講義，則必須依照規定之方法去學習。最先，請各位緩慢而仔細地閱讀“課程”這一部份的講義，這決不會使各位感到困難。我們也會利用豐富的圖表和照片，使各位不必化費額外的金錢，便可以在家中隨心所欲做些實驗，同時我們也將一再引起各位注意日常生活中所可看到的技術上的應用。

當各位讀過某一章講義的“課程”這一部份之後，我們就將急切地要求各位，將這一“課程”中的每一個小標題，抄寫在一張小條子上，然後按照每一個小標題的次序，將全部“課程”中的內容，高聲朗誦複習。請各位切勿低估我們這一建議的重要性。對於一種陌生的事物，各位一定需要在語言上仔細咀嚼，才會澈底明瞭其中的深義，而這種澈底的了解，是不可能由默讀複習中獲得的。請各位切勿因這一點額外的工作而有畏縮的意念。相反地，各位應該盡量努力，以不落後於一般高級專門學校學生的程度爲目標。此等高級專門學校學生，每天都有機會互相討論，並且磨礪他們的習慣用語，使能適合於枯燥的自然科學的教材。

一直到各位能有自信，將某一章講義中之內容，以期誦法重複溫習以後——當然我們不致於會要求各位去背誦——各位才可以開始致力於“問答”這一部份講義的研讀。在這裏，我們將要與各位以問答方式討論教材，加以深入的研究與整理，好像是生動的課室表演一樣

。還有一個建議，請各位也能衷心地接受！當各位在講義中找到了一個自己認為是正確的答覆時，那就請各位先讀出這一個答案，因為這些問答，能激起各位思考的進展。

在這些準備工作做完之後，各位對於“複習題”這一部份，便能輕鬆地完成解答的工作。這些問題，與每一章的講授內容都有密切的關聯，雖不一定按照着內容先後的次序而排列，但因其將課程的內容，凝縮成許多重要的結果，故可使各位得到一個清晰的全貌。

在每一章的末尾，我們還選擇了一連串的“習題”以供各位解答物理問題時，作為促進正確思考及求得確實數字之參考。解答方法與結果，總是印在次一講開始的地方。

現在，請各位開始學習。

本叢書物理部份，原係譯自德國魯斯汀
函授學校之課本。惟原課本尚缺第十六及二
十三兩冊，迄未出版。爲免讀者懸望過久起
見，爰請張壽彭、江紀成兩先生分別補撰印
行，以資銜接，而成全豹。特此聲明，並代
表本叢書資助人徐銘信先生向張、江兩先生
致誠摯之謝忱！

民國五十五年十一月主編者謹誌

物理第二十三冊目錄

第五部份第七講

頁數

第十六章	基本質點與質點加速器	1
	A. 課程	1
	B. 教材問答	12
	C. 內容摘要	13
	D. 複習題	14
第十七章	原子構造與原子核	15
	A. 課程	15
	B. 教材問答	49
	C. 內容摘要	52
	D. 複習題	55

第十六章

基本質點與質點加速器

A. 課 程

[136] 概說 本書第五冊已討論到各種物質均係由分子所構成，而原子又組成分子。這樣說來，似乎原子已是構成物質的最小質點了，實際上並非如此，原子固然已小得不能以普通物理或化學方法再加分割；然近數十年來，由於物理學家研究的結果，知道原子實是由幾種更微小之質點所構成，它們是電子 (Electron)、質子 (Proton) 與中子 (Neutron)。這些質點統稱為基本質點 (Fundamental Particles)。其實所謂基本質點，還應包括介子 (Mesons)、微中子 (Neutrino)、光子 (Photon)、超子 (Hyperons) 等等。此類質點都具有很高的能量 (動能)，故又稱為高能質點 (High Energy Particles)。本章僅就電子、中子與質子加以討論。

[137] 電子

A. 電子之發現與電子源

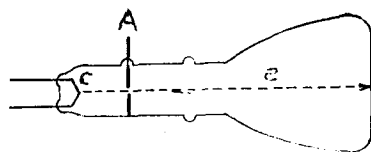
古希臘人曾經發現，琥珀與貓皮摩擦時，琥珀即能吸引輕微的物體 (見本書第十七冊)。直到義人伏打 (Alessandro Volta) 發明利用化學能以產生電能的裝置——電池，人們對電一直沒有一明確的概念。1879年英國物理學家克魯克斯 (William Crookes) 發現真空管放電時，陰極能放出一種目不能見的射線，稱為陰極射線 (Cathode Rays)。陰極射線循直線進行，撞擊管壁即生一黃綠色之螢光。1897年英國物理學家湯姆生 (J. J. Thomson) 於研究陰極射線在電場及磁場中發生偏折現象時，證明了所謂陰極射線是一束帶有負電荷之粒子流，此種粒子為電之基本單位，稱為電子，以 e 表之。

現在實驗室中所使用之電子源，為一種利用熱游子效應之電子槍 (Electron Gun)，其構造及作用一如陰極射線管，如圖99所示。另一

種電子源，則為能自行釋放電子之放射性同位素或放射性元素（關於放射性元素，將於下章中討論之）。

。此類放射性物質，具有放射電子或其他射線之能力；凡由放射性物質釋放之電子，稱為貝他粒子或貝他射線(Beta Particles or Beta Rays)。

由放射性物質釋放之貝他粒子，其能量頗不一致，與電子槍中放出之單能量之電子不同。



第99圖 電子槍：A為陽極，c為陰極，e為電子流。

B. 電子之形態與體積

到目前為止，尚無法確切量度電子之大小與形態。電子究竟為一個個獨立之球狀粒子？還是一種波動？抑或兼具有此二種性質？物理學家雖有不同之理論，然因本書範圍所限，故從略*。今若設電子為粒子，則以高能電子撞擊原子核之實驗中，可以粗略估計，其直徑不會超過 10^{-14} 米。如是則電子之體積非常微小，在一般情況下可以忽略。

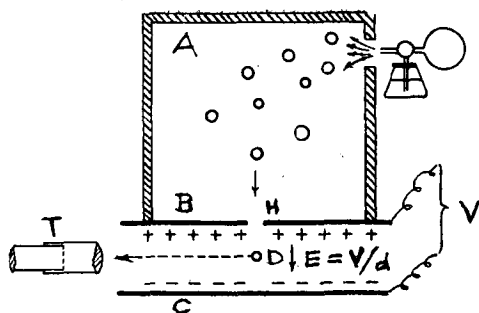
C. 電子之電荷，荷質比與質量

電子之體積非常微小，1897年英人湯姆生發現；電子在磁場或電場中有偏折之現象，證明電子帶有負電荷。若已知電場或磁場之強度及電子偏折角度之大小，則可求出電子之荷質比(Ratio of Charge and Mass) e/m 為 1.759×10^{11} 庫倫/仟克（見本書第十七冊）。並定出電子之質量為 9.11×10^{-31} 克；電荷為 1.602×10^{-19} 庫倫或 4.803×10^{-10} 靜電單位電荷(e.s.u.)。

1911年美國物理學家密立根(Robert A. Millikan)，在美國芝加哥大學，完成其著名之“密立根油滴實驗”(Millikan's Oil-Drop Experiment)精密測定電子之電荷為 1.602×10^{-19} 庫倫。密氏所用之儀器如100圖所示：B及C為兩平行之金屬片。油滴由噴霧器噴入A中時，

*電子有反射現象，亦即有彈性粒子之性質，故初被認為係一種球狀粒子。後發現其亦有繞射現象，遂又被認為係一種波動。法國物理學家得·布洛葉(de Broglie)創立物質波(Matter Wave)之理論，認為電子係以波動傳播之方式進行，但若與物質作用時，則具粒子之性質。

有部分之霧狀油滴由B上之小洞落入BC片間。在BC片間之油滴，因受本身之重量、空氣之浮力及黏滯力之影響而緩慢下降，其運動情形可由望遠鏡T以窺視之。密氏發現，若以某種方法（如以X射線照射等）使此油滴帶負



第100圖 密立根油滴實驗

電荷，並於BC片間加一適當之電場，則可使此油滴所受之重力，與向上之空氣浮力及電場力平衡，而靜止於BC片間，今設：B片帶正電，C片帶負電，BC間之電場強度為E，油滴之半徑為a，其密度為ρ，空氣之密度為ρ'，油滴所帶之電荷為q，則油滴所受之電場力F為：

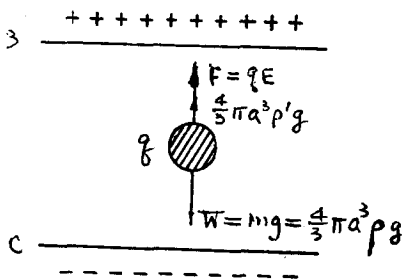
$$F = qE = \text{油滴之重力} - \text{空氣之浮力} \quad \text{+++++++}$$

$$\text{即： } qE = \frac{4}{3}\pi a^3 g(\rho - \rho') \quad (16-1)$$

油滴之電荷為：

$$q = \frac{1}{E} \cdot \frac{4}{3}\pi a^3 g(\rho - \rho')$$

(16-2) 第101圖 油滴在BC片間，受力之情形。



但油滴之半徑太小，難以作精確之測定，故(16-2)式仍不能求出油滴之電荷。現如將BC間之電場除去，油滴開始下降，由於空氣黏滯力之影響，油滴以等速v下降。由牛頓第一定律知：物體以等速直線運動時，其所受外力之和為零，即 $\Sigma F = 0$ 亦即：

$$\text{油滴之重力} + \text{空氣對油滴之浮力} + \text{空氣之黏滯力} = 0 \quad (16-3)$$

依斯托克斯定律 (Stokes' Law)，空氣對此油滴之黏滯力 f_1 為：

$$f_1 = 6\pi\eta av \quad (16-4)$$

(16-4)式中： η 為空氣之黏滯係數 (Viscosity)。將(16-4)式代入(16-3)式中，得：

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - 6\pi \eta a v = 0$$

上式中之負號，是因為空氣之浮力與黏滯力均與此油滴運動方向相反之故。上式又可寫成：

$$\frac{4}{3}\pi a^3 g(\rho - \rho') = 6\pi \eta a v \quad (16-5)$$

$$a = \sqrt{9\eta v / 2g(\rho - \rho')} \quad (16-6)$$

再將(16-6)式代入(16-2)式中。則可求出q之值為：

$$q = \frac{9\pi}{E} \sqrt{2\eta^3 v^3 / g(\rho - \rho')} \quad (16-7)$$

故由(16-7)式可算出油滴所帶電荷之量，密氏將此實驗反覆進行若干次，獲得一組q'值，發現此組q值恒為某一定數值e之整數倍，e即為電子之電荷。現今公認電子之電荷 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ 庫倫，即為密氏所測得者。

D. 能量單位與電子伏特

本章所討論之基本質點，以及下章原子物理部分，所討論之對象均十分微小，若仍沿用力學或電學中之能量單位（如爾格，牛頓一米等），俱失之過大，甚為不便。物理學家發現，電子由電子槍中放出時，其速度恒與其加速電壓之平方根成正比：

$$v = \sqrt{2eV/m} \quad (16-8)$$

即若電子之質量不變，電子之速度，隨eV之值而改變，於是一新能量單位乃由此導出，此一單位稱為電子伏特 (Electron Volt)。電子伏特為一電子受一伏特之加速電壓後，所具有之動能

$$1 \text{ 電子伏特} = 1 \text{ ev} = 1 \text{ 伏特} \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}$$

$$= 1.602 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}$$

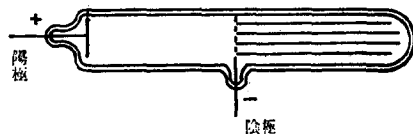
$$= 1.602 \times 10^{-12} \text{ 爾格}$$

電子伏特為討論微小質點及原子物理、核子物理中較適宜之能量單位，其千倍稱為仟電子伏特 (Kilo-Electron Volt) 以 Kev 表之；其百萬倍稱為百萬電子伏特 (Million Electron Volt) 以 Mev 表之。

〔138〕 質子

A. 簡 說

自1879年克魯克斯發現陰極射線後，很多科學家致力於此項現象之研究。1836年德國物理學家哥德斯坦 (E. Goldstein) 改裝陰極射線管，以多孔之金屬片替代原有之陰極，結果發現在放電時，陽極之對面，有閃光線條自金屬片之孔中射出，1895年皮倫 (J. Perrin) 研究這種射線。



第102圖 正極射線管

認為此射線帶有正電荷。1898年韋因 (W. Wien) 研究此種射線在磁場或電場中之偏折情形，證實了皮倫之理論，1907年湯姆生乃定其名為正射線或正極射線 (Positive Rays)。

正射線除電性與陰極射線不同外，其質量亦遠較電子為大，同時其質量亦隨放電管中之氣體而異 (陰極射線管中放出之電子，其質量與電荷均與管中之氣體無關)。故正射線為管中氣體游離後帶正電之原子或分子 (正游子) 組成。1914年英國物理學家羅德福 (Ernest Rutherford) 發現最小之正游子，其質量與氫原子相同，其帶電量與電子相等，唯電性相反，稱為質子。通常質子均以 p 或 ${}_1H^+$ 表之。

B. 質 子 源

質子實為帶正電荷之氫原子核，氫原子由一質子與一電子組成，當高速電子撞擊氫原子時，氫原子核外之電子被撞出，遂形成質子。實驗室中使用之質子，是利用氫氣放電所產生的。

C. 質 子 之 體 積

質子之體積非常微小，通常可以忽略不計。其有效半徑，可由一高速質子撞擊其他質子之實驗中予以定出。質子之半徑約為 3×10^{-16} 米。

D. 質子之荷質比與質子之質量

量度質子之荷質比，可用量度電子荷質比之方法 (本書第十七册)，但實驗室中之質子源所放出之質子，其能量並不一致，故結果難以精確。如欲測定質子之精確荷質比，可將質子於一迴旋加速器

(Cyclotron) 中加速，由其速度及所用電場磁場強度等資料以計算之。根據實驗結果，質子之荷質比為：

$$\frac{e}{m_p} = 9.58 \times 10^7 \quad \text{庫倫/仟克}$$

因質子帶有 1.602×10^{-19} 庫倫正電，故其質量即可由其荷質比以求得之。如此求得之質子質量為 $m_p = 1.672 \times 10^{-27}$ 仟克

[139] 中子

A. 中子之發現與中子源

中子乃核反應 (Nuclear Reaction) 之產物，不像電子或質子易於在實驗室中獲得。1930年德國物理學家貝斯(W. Bethe)與貝克(H. Becker)以天然放射性元素放出之 α 粒子，撞擊鈹 (Beryllium) 而得到一種穿透力甚強之射線，貝氏等乃認為此種射線為伽瑪射線 (Gamma Rays)。1932年居里夫人的女兒，萊麗奧居里夫婦 (Irene Curie and Frederic Joliot)，發現石臘 (Paraffin) 等含氫甚多之物質，受到此種射線之撞擊，即放出質子。並證明此種輻射並非如電磁波般之伽瑪射線。同年英國物理學家查德威 (James Chadwick) 重作貝斯、貝克與萊麗奧夫婦之實驗，認為鈹被 α 粒子撞擊後所生之輻射，實為一質量與質子相同之不帶電粒子流，此種粒子不帶電荷，故稱為中子 (Neutron) 以 n^1 表之。

中子既為核反應之產物，故現今實驗室中所需之中子均為利用 α 粒子或其他粒子撞擊某種元素之原子核，使其發生人工蛻變 (Artificial Disintegration) 而放出。核反應及人工蛻變將於下章中詳述之。

B. 中子之體積

一般認為中子為一質子與一電子之結合體，因電子之體積微至可以忽略，故中子之體積可視為與質子相同。

C. 電 荷

中子之電荷呈中和性，故在電場或磁場中，俱無偏折現象，亦無使氣體游離之性質，在雲室 (Cloud Chamber) 中無法看到其行進之軌跡，故無法以檢視電子或質子之方法檢視中子。又因其不帶電性，不受電磁場之影響，能自由進入核電場內，故穿透力特強。

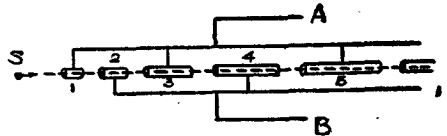
[140] 高能質點加速器

A. 概 說

自十九世紀末葉開始，物理學邁進一新時代，電子、質子、中子與放射性物質的相繼發現，有關原子結構之假說相繼建立，引起人們探究原子結構之雄心。更由於各種粒子撞擊不同之原子核能引起種種不同之核反應，高能量之粒子遂成爲擊破原子核不可或缺之工具，因此種種加速帶電質點之加速器發展成功了，如**直線型加速器** (Linear Accelerator)、**迴旋加速器** (Cyclotron)、**貝他加速器** (Betatron)、**同步加速器** (Synchrotron) 等等，加速器之形式雖多，然其原理則大同小異，所不同者，只是電場及磁場之使用不同，加速之方法有異而已。茲分述如下：

B. 直線型加速器與范氏加速器

1931年美國物理學家**史洛安** (D. H. Sloan)、**勞倫斯** (E. O. Lawrence) 首先發展成功直線型加速器，用以加速質子、氘子 (即重氫核)，或其他帶正電荷之質點，開加速器發展之先河。直線型加速器係由若干不同長度之金屬管所組成，如圖 103 所示。將空心之金屬管按其長短



第 103 圖 直線型加速器之構造。

之次序排成直線，其奇數之管接於一高週電源之一端 **A**，偶數之管則與高週交變電源之另一端 **B** 相連。亦即當奇數管之電壓爲最低值時，偶數管上之電壓爲最高值。故當帶有正電之粒子由 **S** 處發出後，若第一管之電壓恰爲負時，則此粒子因受到第一管之吸引而向管口加速前進，因加速而得到的能量，相當於行進路徑上兩點間的電位差 (即若 **A** **B** 兩點間之電位差爲 ΔV ，帶正電荷之粒子，由 **A** 行至 **B** 時，其所獲得之能量爲 $q\Delta V$)。入管以後，即不再受電場的影響，而以等速前進。

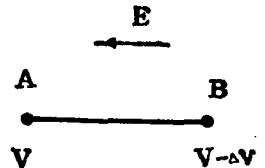


圖 104：設 **A** 點之電位爲 V ，**B** 點之電位爲 $V - \Delta V$ 。

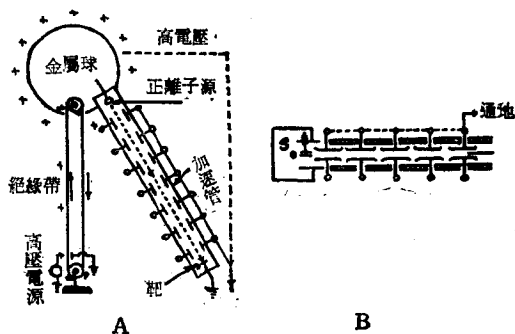
當粒子行至第一管尾時，第一管之電位已由負變正，而第二管之

電位則由正變為負。於是此粒子即在第一與第二管之間隙中又被加速一次，其動能即再次增加。高週交變電源的頻率與金屬管的長短，均經過精密的計算，恰可使粒子在兩管間的空隙中，獲得最大之加速度。如此則被加速之粒子於每經過一管後，其動能均獲增加。如此反覆進行，可使粒子之動能到達任意需要值。所用管子長度不等的原因，是因為粒子在管內的速度逐次增加，而行經每管的時間均需相同，以便配合高壓交變電壓的頻率的緣故。

在理論上，此種直線型加速器，可以任意改變電源交變的時間（週期）與電壓的高低，以獲得任意能量之帶電粒子，但由於離子源S所放出的帶電粒子，其本身的能量就不一致，速度亦不相同，同時粒子出管時又很難與電壓的改變完全配合，所以各粒子之能量仍然會參差不齊，不能達到理論上之設計值，故不適用於擊碎原子核，以研究核的變化。儘管如此，直線型加速器在核子物理的進展上仍具有不可忽視的功績。

另一型的直線型加速器，稱為范德高爾夫直線型加速器（Van de Graaff Linear Accelerator）又稱為范氏加速器，可以看作直線型加速器的改良型。范氏加速器廢棄直線型加速器所使用之交流電源，而以高壓直流電源代替。1933年，范氏設計成功范氏高壓靜電發電機（Van de Graaff Electrostatic Generator）（見本書第十九冊）利用此機所產生之高壓靜電場，以加速帶電粒子，范氏加速器之構造可由圖105以說明之。圖A顯示加速管之一端與高壓靜電發電機相連。圖B則為加速管之構造概略。

在分節抽成真空之玻璃管之一端，有離子源S，當S處有離子產生時，此等離子即被靜電聚斂管F聚成一小束，然後進入加速管中，由於加速管之兩端，有一高電位差存在，故離



第105圖 范氏加速器 A一般構造概況，B加速管。

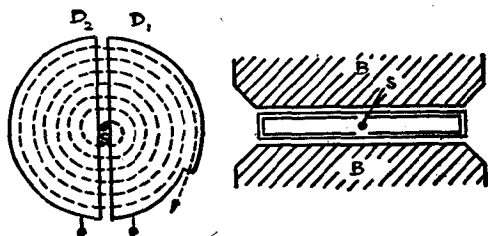
子在加速管中之速度，能不停增加，直到擊中靶子爲止。每兩節玻璃管間，均插入一金屬管。此管與地相接，以保持管內電位下降之均勻。

范氏加速器，採用靜電高壓電場，故其電壓易於控制，此爲其最大之優點，尤其晚近電子科學進步，自動控制裝置 (Automatic Control Device) 可將電壓穩定到幾乎不變之程度，故目前實驗室中有甚多使用范氏加速器者。

C. 迴旋加速器 (Cyclotron)

在理論上而言，直線型加速器與范氏加速器，固可加速帶陽電之粒子或陽離子至所需要之任何能量，但仍有許多不可彌補之缺點。例如：直線型加速器，所使用之一連串長短不同的金屬管，在理論上，其數目固無限制，但超過五十或六十，則全部儀器之體積即嫌過大。至於范氏加速器，則因受到絕緣材料之限制，其電壓若超過數百萬伏特，即感困難。1931年勞倫斯與李文斯敦 (M. S. Livingston) 二氏根據電子在磁場中運動時路徑發生偏折之原理，使電子在一磁場與一變動電場共同作用下運動，電子即循螺旋線進行，發展成一迴旋加速器，如第 106 圖所示：由氣體放電而產生之陽離子出現於兩大電極間之空隙內，此兩大電極爲中空之銅質半圓形體，各成“D”型，分別稱爲 D_1 及 D_2 ， D_1 與 D_2 分別與一高週交流電源之兩極相連，因此 D_1 與 D_2 之電位隨電源而交變。此兩 D 形盒又嵌於一巨型的兩磁極間，使一不變之磁場，垂直於 D_1 與 D_2 之平面。

若一陽離子由 S 發出，此時若 D_1 之電壓恰好爲負， D_2 爲正，則此陽離子即被加速而入 D_1 中，陽離子一入 D_1 內，即不再受電場之影響，而以等速 v (入 D_1 時之速度) 前進。但垂直於 D 形盒平面之不變磁場 H ，却對該運動中之陽離子施一不變之力 F 。若 q 爲陽離子之電荷，則 $F = Hqv$ 。依據右手定則， F 之方向與磁場及 v 之方向互相



第 106 圖 迴旋加速器構造概略。B 爲磁鐵之兩極，S 爲離子源。