

中山自然科學大辭典

第四冊

物理學

名譽總編輯 王雲五

編輯委員召集人 李熙謀 (常務) 鄧靜華 易希陶

本冊主編 林爾康

中山學術文化基金會董事會 出版授權與人

臺灣商務印書館 出版者

中山自然科學大辭典

第四冊

物 理 學

王 雲 輯 編 總 譽 名

陶希易 華靜鄧 (務常) 謀熙李 人集召會員委輯編

康 爾 林 編 主 冊 本

中山學術文化基金會董事會 出版授權與人

臺灣商務印書館 出版者

中華民國二十六年二月

員委輯編冊本

(序爲畫筆名姓以)

農 唯 王 沛 亢 王 蓀 漢 陳 丁

棣 郎 康 爾 林 嚴 怡 李

麟 振 黃 堂 鏡 蔡 陳 銓 伯 崔

進 亨 蔣 中 遠 劉 圳 銀 楊

人稿撰册本

(序爲畫筆名姓以)

建明王	沛亢王	蓀漢陳丁
煒家吳	成紀江	萬建王
玉元周	山君沈	堂燕呂
康爾林	瀛克林	章仁周
熙培曹	銓伯崔	棣郎
圳銀楊	麟振黃	鎮國陳
安吉蔡	昆伯鄭	中遠劉
	明瑞簡	寧謝

中山自然科學大辭典

第四冊 物理學

序 言

上年歲次辛亥，中山學術文化基金董事會為紀念 國父創立中華民國六十週年，倡議編纂中山自然科學大辭典，闡釋自然科學常用辭彙，供社會大眾參閱，藉以普及科學新知，推廣科學教育，進而促使對自然科學的重視，實現 國父迎頭趕上現代科學的遺教，故此舉意義甚為重大。尤其在本世紀中自然科學發展迅速，內容日新月異，而國內科學用書多係西文，中文參考書籍與教材均極缺乏，常使學習者咸感困難，編輯中山自然科學大辭典，誠為適應國內社會需要的措施。

中山基金會預定本辭典分為十科編撰，以百科全書形式，每科編印一鉅冊。各科分別成立編輯委員會，六十年初中山基金會責成本人為物理學編輯委員會召集人兼主編，因感職務艱巨，責任重大，確非個人棉力所能勝任，未敢貿然荷重。後經約請中央研究院、臺灣大學及清華大學十二位先生 任編輯委員，并商請清華大學王明建先生為助理主編，承諸位先生熱忱支持，慨允相助，始敢勉力應命，共襄盛舉。乃於六十年二月召開編輯會議，商定物理學辭典的編輯原則及計劃進度等事項。決定本冊辭典以闡明或解釋普通及常見的物理學名詞、重要定理及定律與現象等，參考美、英、日等國物理學名著，內容以表達物理概念為主。遵照中山基金會的規定，本冊辭典字數預計為八十至一百萬字。編輯時以分部門進行，就物理學中的古典物理、氣體運動論、統計力學、相對論、量子力學、原子與分子物理、原子核物理、基本粒子與高能物理及固態物理等各部門，分別由一至二位編輯委員主持，各部門擬編名詞，可自行撰寫或約請適當人士撰稿。并另邀請沈君山和吳家煒二位先生分別撰寫離子體物理(Plasma Physics 或譯為電漿物理)及低溫物理所屬的名詞。天文物理及宇宙學因另編印成冊，故不包括在物理學辭典之內。

至於辭典內容的程度，以供高中三年級學生與一般大學生及研究生閱讀為原則。其內容注重常識介紹、現象解釋、基本原理說明及理論發展經過，對於冗繁

的公式推導步驟和數學演算等儘量避免。少數名詞具有二種以上不同之意義者，均分別列目解釋之。較高深與太專門的名詞均略而不列，僅在附錄中列舉各門物理學若干重要參考書，以供有興趣的讀者進一步參閱之用。

各中文名詞以採用民國六十年國立編譯館新編訂之物理學名詞爲準，故部分名詞與往昔所用譯名稍有不同。若無標準譯名時，則採用其他書刊所常用的名詞，或新定譯名。不是常用的人名、地名、書籍等仍用原文，不加翻譯。

國際著名物理學家及歷年來所有諾貝爾物理學獎得主的生平簡單介紹，及其重要成就的敘述，均亦編入本冊之內，使讀者對物理學發展的歷史淵源，能有所瞭解，并希望藉以激發讀者對物理科學有研究的興趣及鑑賞能力。在主文之後另附刊各種常用物理標準和常數，單位換算因數表，基本粒子表，以及原子核類表等，所列數據均摘用最新資料編列，以供參考。

本冊辭典的撰稿人包括中央研究院、臺灣大學、清華大學、中山科學研究院及中正理工學院等二十三位先生，與兩位在美國的我國物理學者。他們都各有專職，需從事教學與研究工作，大多利用公餘之暇，如在週末例假，或在酷熱暑期，抽空編撰，成稿過程相當艱辛，本人謹致誠摯的謝意。對於諸位編輯委員的合作和支持，以及中央研究院與清華大學的物理研究所數位同仁的熱心襄贊，自開始籌劃以迄完稿後綜合彙編均承惠助，使本冊辭典能及時完成，深表謝忱。又蒙臺灣大學物理學系和清華大學物理中心圖書館及臺灣東華書局等惠借圖片，以供製版；商務印書館編審會編排校對，使之順利成書，特此誌謝。

物理學是一門範圍廣泛的基本科學，近六十年來發展急速，內容日趨繁複艱深。在國內以中文編輯物理學大辭典，尚係創舉，自策劃以迄完成，費時未及兩年，以有限人力和時間，難使全書內容完全達到理想；且篇幅有限，名詞搜羅未必詳盡，遺漏錯誤之處，在所難免。敬請海內外學者先進及讀者，對本冊辭典不吝指教，使再版時能予補充或修正，以期臻於至善是幸。

林 爾 康 謹 識

中央研究院物理研究所
國立清華大學物理研究所
中華民國六十一年十二月

中山自然科學大辭典 (第四冊)

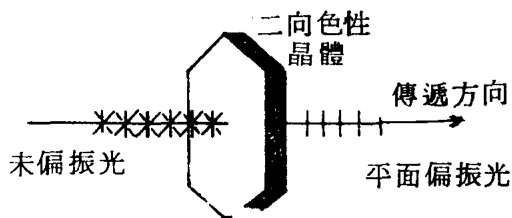
物 理 學

二分核分裂 (Binary Fissions)

原子核分裂成二碎片，其質量大約相等的分裂反應。重元素在二分核分裂時釋出能量在 120 至 240MeV 之間。重元素雖然都是不穩定的二分核元素，但存在天然界間的重元素具有這種型式的自然分裂率非常小。

二向色性 (Dichroism)

為某些物質 (如人造偏振片和若干天然晶體) 所具有的一種特性。這些物質只容許在某平面上振動的光波通過，稱為平面偏振光，見下圖。



尋常光線射向二向色性物質後，由於平面偏振的效應，致使透射光與反射光呈現不同的顏色。

二重態 (Doublet)

原子發射的能譜，有相距甚近的兩條譜線，即其能階可以分成相近的兩階，對應於原子的角動量向量 (自旋及軌角動量) 的兩個可能方向。凡原子只有一個外層電子者 (例如鹼金屬原子) 才能產生純二重態譜線，外層電子超過一個且為奇數的所有原子呈現混有高階的二重態結構。鹼金屬之有二重態結構係因自旋軌道交相互作用將能階劈裂為二之故。劈裂所生二能階的頻率 (厘米⁻¹) 間隔稱為二重態間隔 (doublet interval)，此間隔與對應能階之主量子數的立方成反比之變化。

下表列示鹼金屬原子的能態，軌角動量為零 ($l = 0$) 的 S 態不致劈裂，成為獨態，其餘均為二重態。

態別	l	s	j	能階
S	0	+ 1/2	+ 1/2	獨 態
P	1	± 1/2	1/2, 3/2	二重態
D	2	± 1/2	3/2, 5/2	二重態
F	3	± 1/2	5/2, 7/2	二重態

二項式分佈 (Binomial Distribution)

在一連串的 N 次試驗中，假若每次試驗成功的機率均為 p ，則在此試驗中有 r 次成功的機率為

$$P(r) = \frac{N!}{r!(N-r)!} p^r (1-p)^{N-r} .$$

此機率分佈式可由二項式展開式

$$\begin{aligned} 1 &= (p + (1-p))^N \\ &= \sum_{r=0}^N \frac{N!}{r!(N-r)!} p^r (1-p)^{N-r} \end{aligned}$$

得來，故稱二項式分佈。由上式得知所有可能之機率和 $\sum_{r=0}^N p(r)$ 為 1。

設每一試驗中有 M 種不同之機率 p_i ， $i = 1, 2, \dots, M$ ， $\sum_{i=1}^M p_i = 1$ 。又設 n_i ， $i = 1, 2, \dots, M$ ， $(N = \sum_{i=1}^M n_i)$ ，為第 i 個機率成功之次數，則此試驗的機率為

$$P(n_1, \dots, n_M) = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_M!} p_1^{n_1} p_2^{n_2} \dots p_M^{n_M},$$

此機率乃是多項式的展開項，

$$\begin{aligned} 1 &= (p_1 + p_2 + \dots + p_M)^N \\ &= \sum_{n_1, n_2, \dots, n_M} \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_M!} p_1^{n_1} p_2^{n_2} \dots p_M^{n_M}. \end{aligned}$$

此機率為馬克士威、波子曼統計的分佈式。 N 為一系統中分子的總數， M 為每一分子的能態數目。一分子在第 i 個能態的機率為 p_i ， n_i 為第 i 個能態中的分子數目。

二極管 (Diode)

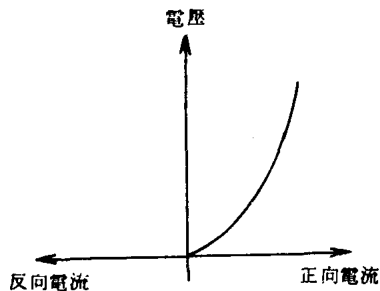
一種有兩個電極的裝置，一為陰極，一為陽極。當

通過電流的方向不同時，電壓隨電流變化的方式亦不相同，這是二極管的特徵。

二極管有真空管式和半導體式二種，另外還有含氣二極管。真空管式的二極管包含一個由加熱發射電子的陰極，和用以收集電子的陽極。因為電子帶負電，當陽極電壓較陰極為正時，電子受到吸引而大量朝陽極行進；反之，陽極電壓比陰極為負時，則電子受到斥力而使電流幾乎不能通過。於是“電流-電壓”曲線有不對稱性。因此，若交流電壓加於二極管兩端時，只有使陽極為正的半個週期內有電流通過，這便是二極管的整流作用。二極管有時還稱為整流管，原因即在此。

半導體式的二極管包含一半導體材料（鍺或矽）為一極，一端接上鬚狀細導線作為另一極。由於它的電容極低，可以用作整流等用途，稱為晶體二極管。

另一種半導體二極管是接合二極管（junction diode），是利用“n型”和“p型”的半導體材料相接合而產生電流的不對稱性。含氣二極管是利用所充氣體或蒸汽的氣壓造成整流的特性。



二極管的標準性質。

二體問題 (Two-Body Problem)

對於兩個物體在只受到相互作用力的情況下之運動的分析，稱為二體問題。即是在(1)該二物體以外的影響均不考慮，及(2)該二物體間的作用力的形式為已知或已設定的假設下，已知這二物體在某瞬間的相對位置、運動狀況、質量等，而欲求這二物體在以後任何瞬間的位置和運動。

人造元素 (Artificial Elements)

有些化學元素在自然界的產量甚為稀少，或根本不存在，因此為了需要，必須在實驗室中以人工方法製造。這些人造元素包括 鐳 ($_{43}\text{Te}$)，鉅 ($_{61}\text{Pm}$)，砷 ($_{85}\text{At}$)，釷 ($_{87}\text{Fr}$)，以及所有的超鈾元素。這些元素沒有一種是穩定者。假設他們在地球初成時期即存在（可

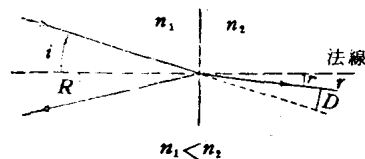
能有幾種如此），他們也早已衰變或分解為輕元素。人造元素是由高能裝置（如迴旋加速器）和反應器以電子、質子、中子和較大的核粒子撞擊或輕或重的元素，結果會結合成新元素，或分裂重元素而產生所需質量的原子核。例如，鐳是鉬 ($_{42}\text{Mo}$) 以氦（“重”氫核）撞擊而成。鉅是鈾的分裂產物，但也可以中子照射鈷 ($_{60}\text{Nd}$) 而得。以阿伏粒子（氦核）撞擊鉍 ($_{83}\text{Bi}$) 即產生砷，而釷則是鈾 ($_{90}\text{Th}$) 或鈾分裂後的產物。釷只有一種“天然”同位素，這是錒 ($_{89}\text{Ac}$) 經阿伏衰變而成，但此法所生產的釷量太少，因此元素87在天然元素中通常並不列入考慮。人造元素除了不穩定性和具有放射性外，其餘與自然元素無異。他們也有自然元素所擁有的化學和物理特性，並且與週期表上他們周圍的元素性質相仿。所以，鐳是一種金屬元素，化性則介於鋳與錒之間，相當於我們所熟悉的紫色高錳酸鹽，鐳亦有透明彩色的過錳酸鹽。鉅是錒系稀土元素的一員，在化學性質上與錒系其他元素難以分辨。同樣，砷屬於鹼族，由於正電性較碘稍微高一點，在週期表中其餘鹼素均位於其上。釷是一種鹼金屬，較鹼族金屬系列中最高的天然元素鉀的揮發性與游離性為高。有關超鈾元素的發現、製造、及有關特性，參閱「超鈾元素」。

人造偏振片 (Polaroid)

人造偏振片又簡稱起偏器，主要成分是塑膠，但其中碳水化合物的鏈狀結構，在製造時因拉伸而作同方向的排列，這些碳水化合物的鏈上並附有碘原子，以供傳導電子。起偏器可用以產生平面偏振光。

入射角 (Angle of Incidence)

入射光線和一表面相遇的點，稱為入射點 (point of incidence)。入射角是射向表面的光線與該面上入射點之法線間的夾角（見圖）；與此表面垂直的一平面，含有入射線和法線者，稱為入射面 (plane of incidence)。圖中 i 表入射角， R 表反射角 (angle of reflection)（參閱「反射」）， n_1 是光線射向表面時所在介質的折射率， n_2 是光線自界面射入後產生折射現象介質的折射率（參閱「折射」）。



八面體對稱 (Octahedral Symmetry)

這種對稱性在點群上的符號為 O ，屬於立方體或正八面體的對稱。有二十四個對稱元素：單位元；八個繞立方體對角線的三重軸 (C_3)；三個繞 x 、 y 、 z 軸的二重軸 (C_2)；六個繞 x 、 y 、 z 軸的四重軸 (C_4)；和六個繞經原點平行於面上對角線的軸之二重軸 (C_2)。

八〔音〕度 (Octave)

兩音的基本頻率之比為二時，這兩音之間的音程稱為八音度。兩音也包括在八音度的音程中。男人與女人合唱時，常有八音度的音程，八音度是最早最常用的音程標度。

力 (Force)

在動力學中，力是指生成動量變化的物理原因，以動量 p 的時變率 dp/dt 量之。當所討論的速度遠低於光速時，動量的時變率可以加速度和質量的乘積代之，即力 (F) 可以下式表之，

$$F = \frac{dp}{dt} = ma。$$

力是一種向量，需依向量法則運算。

一力可分解為二力或數力，分解後之數力稱為原來一力的分力，原來一力稱為其分力的合力 (resultant of force)。如數力同時作用一物體而不引起運動時，稱為力之平衡 (equilibrium of forces) (參閱「平衡」)。各力的作用線互相平行時，這些力稱為一組平行力 (parallel force)。二平行力依同方向作用於一物體的二點時，其合力必為大小等於二平行力之和，而方向與原來的方向相同。如相等二平行力依相反方向作用於物體上同一點時，則成為平衡，其合力為零。如這二平行力依相反方向作用於不相同之點，則成力偶，使物體發生轉動 (參閱「力偶」)。

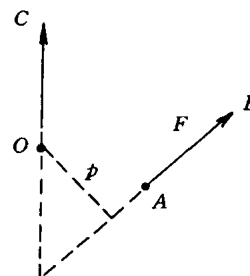
甲物體施力於乙物體時，稱為作用 (action)，乙物體同時以大小相同而方向相反的力施於甲物體，則稱為反作用 (reaction)。

力矩 (Moment of Force)

若施力 F 於 A ，力沿 AB 方向作用，取點 O ，由 O 至線 AB 的垂直距離為 p ，則定義力 F 對點 O 的力矩 L 為

$$L = p \times F。$$

上式所定義者也是對過點 O 垂直平面 OAB 的直線 OC 的力矩。若力 F 施於物體上，則此物體將繞此直線 OC 轉動。



力偶 (Couple)

同時作用於一物體上的二力，若大小相等，方向相反，但不在同一作用線上，即構成力偶。

由定義可知力偶的合力為零，所以它不影響移動；但它的合力矩等於任一力的大小乘以二力間的垂直距離，因而不為零，所以我們可以說力偶的效應即是使物體發生轉動。例如旋緊鐘錶彈簧，用鑰匙開鎖時，須用兩指夾住柄的兩面，用力旋轉，便是力偶作用的應用。此外，電偶極在均勻電場中，或磁偶極在均勻磁場中，也因兩極所受之力的方向相反，又不在同一作用線上，而形成力偶。

力程 (Range of Force)

力場作用的有效範圍稱為力程。以力程的大小可分為兩大類

一、短程力 (short range force) 即力的作用範圍很小，影響力隨距離的增加而急速減小。如核子間的核力，在 10^{-13} 厘米的距離內作用力甚強，超過該距離後則可忽略不計。

二、長程力 (long range force)：隨距離的增加而緩慢減少，如靜電力、萬有引力等平方反比力均是。

力場 (Field of Force)

電荷與電荷間的作用力，磁鐵與磁鐵間的作用力，以及物質與物質間的萬有引力等皆為超距作用，所有這些現象都可以一力源所生的力場描述之。每單位試驗質點 (如單位電荷、單位磁極、單位質量) 所受的力是該質點所在位置的向量函數。亦即每單位試驗質點所受的作用力在每一可能位置均有固定的大小及方向。所有這些力的向量，或位置的向量函數，稱為力場。

力學 (Mechanics)

物理學中，處理力對物體的影響的部份，稱為力學。

其中又依處理對象而分為(1)關於液體的水力學 (hydraulics)，流體動力學 (hydrodynamics)，流體靜力學 (hydrostatics)；(2)關於氣體的氣體力學 (pneumatics)；(3)討論剛體、彈性質點或彈性固體的部份。

平常所說的力學主要是指(3)所包括的部份。這其中又分為運動學、靜力學、動力學、(參閱「動力學、靜力學與運動學」)。

此外，流體力學 (fluid mechanics) 則研討各種流體所適用的基本原理。

力學穩度 (Mechanical Stability)

物體的位置或運動受到干擾時，該物體具有反抗該等干擾，以保持原狀態的傾向之大小稱為穩度。

通常將穩度分為：(1)正穩度——具有正穩度的物體在暫時性的擾動移去之後，能恢復原來狀態而平衡；(2)中穩度——這種物體有保持確定狀態的傾向，受到擾動即改變狀態，但干擾除去後便在新狀態平衡；(3)負穩度——受到擾動即以加速方式改變狀態而不能任意恢復平衡。舉例言之，受阻尼的單擺、球、豎立的細長柱體分別具有正、中、負穩度。(參閱「平衡」)。

卜諾霍諾夫 (Alexander Mikhailovich Prokhorov 1916 -)

蘇俄物理學家，生於澳洲之 Atherton，1946 年列寧格勒大學畢業，入莫斯科之 Lebedev 物理學研究所任研究員，1954 年任該所之振盪實驗室主任。因發展邁射與雷射，對量子電子學的貢獻，與白沙夫 (N. G. Basov) 及湯里士 (C. H. Townes) 同獲 1964 年諾貝爾物理學獎。

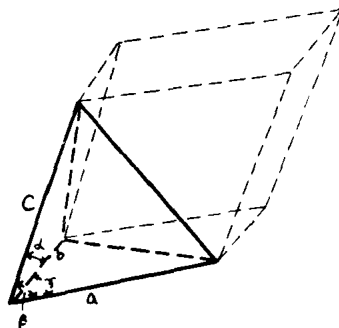
三分核分裂 (Ternary Fission)

原子核分裂成三碎片的反應。在分裂過程中，除分裂的二碎片外，還會發射一阿伐粒子 (${}^4\text{He}$)，這種三碎片分裂的機率約為 400 分之一。因為此阿伐粒子能量高 (平均為 15 MeV)，大約垂直於碎片的的方向射出，故可能與另兩塊重碎片同時分裂而成。另一種更為稀少的情形是發射甚輕的帶電粒子，如氘核 (${}^3\text{H}$)。至於同時分裂成三塊質量大約相等的碎片，亦有發現，約在十

萬次分裂過程中才有一次這種三分核分裂。

三角晶系 (Rhombohedral Trigonal System)

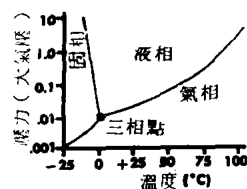
在晶體分類中三個軸長短相等，彼此間的夾角也相等，並且小於 120° 而不等於 90° 的晶系，稱之為三角晶系，即如圖中 $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma < 120^\circ$ 。



三相 (態) 點 (Triple Point)

各種化學性穩定的純物質在固態、液態、氣態三相彼此達到平衡時的溫度和壓力的狀況，如下圖所示。因為沸騰是液相與氣相間的平衡現象，結冰的初始是液相與固相間平衡的表徵，所以在三相點，理論上，物質可以完全結冰，可以沸騰，也可以冷凝為液體。

要供給能量以改變物質的相，必須選擇適當的方向以調節溫度和 (或) 壓力，使稍微偏離三相點即可。



水的壓力溫度圖 (相關)，圖中顯示水的三相點在 0.01°C 和 0.006 大氣壓。

三原色 (Three Primary Colors)

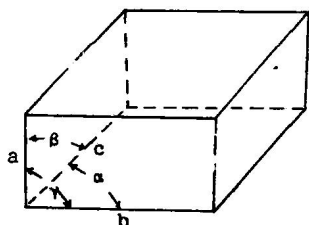
根據楊格、黑木合子 (Young-Helmholtz) 色覺學說，人眼的網膜上有三種神經，此三者各對紅、綠、紫三色的感覺特別敏銳。各種色光的感覺乃因此三原色對三神經的刺激不同而產生的，若三神經被刺激的程度相同，則感覺為白色。

畫家多認為紅、黃、藍為主要顏色，他們可以配成各種色彩。這與楊、黑學說所定的紅、綠、紫三原色雖

不相符，但不足為揚、黑學說之病。因為畫家所用的顏料所呈現的顏色乃顏料所不能吸收者，故混合顏料的結果與混合光譜中各單色光的結果並不相同。例如，藍色顏料除了藍色及一部分綠色外，幾乎可將射於其上的其他色完全吸收；黃色顏料是除了黃色及一部分綠色外能完全吸收其他各色。於是將藍色與黃色顏料混合，所未被吸收者乃是綠色。這種相減效應與色光的相加效應大不相同。因此，染色物體的色感常因照射光的光色而改變。

三斜晶系 (Triclinic System)

在晶體分類中凡三個軸長短不等，而且彼此間夾角也不相等的，如圖中 $a \neq b \neq c$ ， $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ ，稱之為三斜晶系。



三極管 (Triode)

將二極管的板極（或稱陽極）與陰極之間加上一層金屬網製的電極（柵極），就成為三極管。

柵極很靠近陰極，柵極與陰極間微量的電位變動，即可以使陰極至板極的電流發生很大的變化。

板極陰極間的電壓變動量與柵極陰極間電壓變動量的比 ($\Delta e_p / \Delta e_g$) 稱為放大因數 (amplification factor)。當柵極陰極間電壓變動 Δe_g 時，由放大因數可得知板極陰極間的電壓變化。

三極管是放大器、整流器和濾波器等的重要元件。

大氣壓 (Atmosphere)

壓力的單位。在重力加速度為 980.665 厘米/秒² 的地方，若使用的水銀之密度為 13.5951 克/(厘米)³，則 760 毫米高的水銀柱所代表的壓力，即定為一大氣壓。又稱為一標準大氣壓，常以英文縮寫 atm 表之。這相當於每平方厘米受 $1,013,250$ 達因的力。另一常用的壓力單位為托 (torr)，乃一大氣壓的 $1/760$ 。

大氣壓力 (Atmospheric Pressure)

由於自地球表面延伸至上空的空氣重量，地球表面附近的物體所受的力稱為大氣壓力。大氣壓的測量通常

以水銀氣壓計的水銀柱高 (mm-Hg) 表示之。絕對單位為毫巴，一毫巴等於 10^3 達因/厘米²。須要精密量度時應予以重力及溫度修正。

在靜止大氣中，高度在 z 和 $z+dz$ 之間的壓力增加 dp 為

$$dp = -g\rho dz,$$

g 為重力加速度， ρ 為密度。假設密度 ρ 和重力 g 均一定，則大氣的高度 H (氣壓為零的高度) 和地球表面上大氣壓 p_0 之間有

$$p_0 = g\rho H$$

之關係。在此式中若 ρ 、 g 取地球表面上的值，則 H 即稱為均勻大氣的高度，約等於 10 千米。設溫度與高度無關，則靜止大氣壓隨高度以對數函數而減少。在海平面上其比數約為 10 米減少 1.2 毫巴。

大圓 (Great Circle)

球體表面上兩點間最短的路程稱為大圓。

凡阿倫 (James Alfred Van Allen 1914-)

美國物理學家。1914年九月七日生於愛阿華州快樂山 (Mount Pleasant)。1935年愛阿華 Wesleyan 學院學士，1939年愛阿華州立大學博士，1951年起任愛



阿華州立大學物理學教授。研究原子核物理、宇宙射線及大氣物理，利用人造衛星研究外太空的輻射而發現「凡阿倫帶」。1958年五月宣佈發現離地面六百到三千哩有一條輻射帶，不久又發現離地六千到五萬哩另有一條輻射帶。

凡特何夫定律 (Van't Hoff's Law)

當溶液濃度不太大時，溶液的滲透壓與濃度及絕對溫度成正比，而幾乎與純粹溶劑的壓力無關。此關係初為皮非弗 (Pfeffer) 所發現，其後凡特何夫由熱力學導

出。按照凡特何夫的理论，滲透壓 P 在稀溶液時等於

$$P = RTc,$$

式中 R 為氣體常數， T 為絕對溫度， c 為單位體積中的溶質克分子數。溶液中有數種溶質時， c 取其克分子數之和。溶質為電解質時，即使是稀薄溶液，凡特何夫定律也不成立。

凡得瓦 (Johannes Diderik Van der Waals 1837-1923)

1837年十一月廿三日生於荷蘭，為著名之理論物理學家，以研究氣體和液體的行徑而馳名。由考慮氣體的分子間的作用力，發展而成凡得瓦物態方程式，因此獲1910年諾貝爾物理學獎，自1877年起任來登大學物理學教授，迄1907年退休時為止。

凡得瓦力 (Van der Waals' Force)

原子以及分子間的一種微弱短程的相互吸引力。此力使氣體凝結為液體，使液體凝固為固體，並表現物質的表面張力、粘滯性、內聚力、附着力等。此力乃由分子偶極矩相互作用而產生，二相距為 r 的分子，其凡得瓦力與 r^{-7} 成正比。二分子凡得瓦力交互作用的能量為

$$V = - \frac{\alpha}{(4\pi\epsilon_0)^2} (1 + 3 \cos^2 \theta) \frac{p^2}{r^6},$$

式中 α 為分子的極化率， p 為分子的電偶極矩。其凡得瓦力 F 等於 $-dV/dr$ ，故與 r^{-7} 成正比。

凡得瓦交互作用 (Van der Waals' Interaction)

這是一種原子之間的吸力，我們知道原子中的電子是圍繞着原子核不停的運動，這些運動會形成瞬時不為零的電雙極矩。由電磁學可知任一雙極矩會在另一原子的中心處產生電場，此電場會與這原子（也是瞬時電雙極）產生一為負的位能，這種位能有吸引作用，稱之為凡得瓦交互作用，若以 P_1 表第一個原子的雙極矩， R 為二原子間的距離， α 為電子的極化率，則兩個雙極矩之間的位能為

$$U(R) = - \frac{4\alpha P_1^2}{R^6},$$

即是凡得瓦交互作用與距離的六次方成反比，在較大距離時此作用極微弱，通常在惰性氣體及許多有機分子所形成的晶體中，這種作用才較為顯著。

凡得瓦、倫敦作用 (Van der Waals-London Interaction)

通常凡得瓦交互作用又稱為倫敦交互作用，或起伏雙極矩交互作用 (fluctuating dipole interaction)。故有時合稱為凡得瓦、倫敦交互作用。

凡得瓦物態方程式 (Van der Waals' Equation of State)

凡得瓦在1877年所提出的半理論性氣體物態式。設氣體壓力為 p ，一克分子的體積為 v ，則氣體狀態可用

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

表示。式中 R 為氣體常數， a 及 b 為由氣體分子間的力可決定的常數，並為溫度的函數，但可近似地視為各種氣體特有的常數。此式在某種程度內能說明真實氣體與理想氣體的偏差。凡得瓦根據此式研究由氣體至液體的轉變，並導出對應態的理論而闡明臨界狀態的意義。

么正矩陣 (Unitary Matrix)

若將矩陣 U 的行與列互相對調，並將矩陣各元素變為各元素的共軛複數，稱為矩陣 U 的厄米特共軛矩陣，以 U^+ 表示之。若

$$U^+ = U^{-1},$$

即 $UU^+ = U^+U = I$ ，

則 U 稱為么正矩陣。有限矩陣的么正矩陣必為正方形矩陣。

由向量空間中，基 (basis) 的變換可以用么正矩陣表示。設自基 e 經過 U 的變換而成基 e' ，則任何矩陣算符 A 應變換為 A' ，此時 A' 為

$$A' = UAU^{-1},$$

這種變換稱為么正變換。對矩陣方程式而言，經過么正變換後其方程式的形式不變。

么正變換的重要性質是：一矩陣算符的本徵值經過么正變換後，其本徵值仍然不變。用方程式的形式，可以用下式表之：

$$A|m\rangle = a|m\rangle,$$

$$\langle m|A|m\rangle = a.$$

因為 $UU^{-1} = U^{-1}U = I$ ，

且 $U|m\rangle = |m'\rangle$ ， $\langle m|U^{-1} = \langle m'|$ ，

故 $\langle m|A|m\rangle = \langle m|U^{-1}(UAU^{-1})U|m\rangle = \langle m'|A'|m'\rangle = a.$

干涉 (Interference)

一、兩列以上的波重疊時，產生波振幅隨距離或時間的變化，就是干涉現象，最常見者是指頻率相同或近乎相同的數波列的干涉。在干涉現象中，合成波振幅在各處呈現極大與極小。這是波動的特性，不能以幾何射線描述。自一波源發出的數波列，在空間經不同的路程傳遞到達同一點，各波列的相位 (phase) 關係保持一定，即可相互干涉。若要兩個以上的波源發出的波產生干涉，則各波源的相位關係應保持不變，這稱為同調波源 (coherent sources)。

波所傳送的能量，與波的振幅之平方成正比。當經不同路程的數波重疊時若不干涉，則合成波的能量為各成分波能量之和，在空間各處能量平均分佈，因此合成波的振幅 A 的平方，等於各成分波 A_i 的平方之和，即

$$A^2 = \sum_i A_i^2.$$

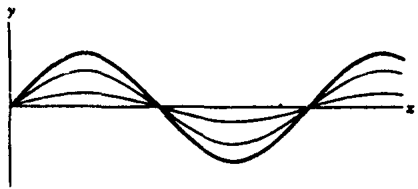
若生干涉時，若合成波與成分波之振幅的關係為

$$A^2 < \sum_i A_i^2,$$

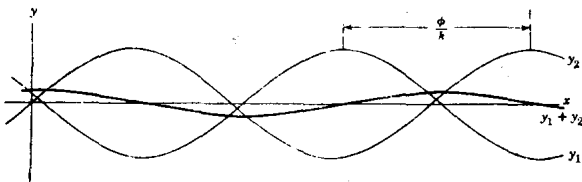
即在此處合成波的能量，比成分波的能量和少，這稱為相消干涉 (destructive interference)。反之，若重疊之處合成波的能量大於成分波的能量和，即

$$A^2 > \sum_i A_i^2,$$

這稱為相長干涉 (constructive interference)。有相長及相消干涉時，能量不再平均分佈，而有大小之別，但總能量仍然不變，故並不違背能量守恒原理。下圖是頻率和相位相同的兩列波 (細線)，其振幅不同，重疊的合成波 (粗線) 頻率和相位仍相同，這是相長干涉的情形。



下圖是兩列波頻率和振幅 (y_1, y_2) 相同，但相位差約 180° ，其合成波的振幅 ($y_1 + y_2$) 近乎零，這就是相消干涉。



若兩波列的頻率和振幅均相同，在絃上相反方向行進，干涉時生成駐波 (standing wave 參閱「駐波」)。

二、聲音以波動傳送，聲波也有干涉現象，當兩列聲波振幅相等而頻率近似相等，行經相同區域，則合成波的振幅隨時間而變，所聽到的聲音頻率大不相同，這種干涉現象稱為拍 (beats 參閱「拍」)。

三、光波生成光的干涉。自光源發出的光束分成兩部份，經不同路程再會合成一射束時，若相位不同，即可在某處生成相消干涉 (暗區)，別處又生相長干涉 (亮區)。由能量守恒原理，干涉不致損耗能量，在暗點失去的能量即位於亮點。干涉圖樣常是明暗相間的光帶，且間隔相等。能生干涉圖樣的光束稱為同調光束，即各光束的相位關係保持不變，不同調 (incoherent) 的光束不會產生干涉圖樣 (參閱「楊格實驗」)。

四、物質波也生干涉效應，這說明電子及中子等的繞射現象，是波動力學中的重要問題。

干涉計 (Interferometer)

干涉計是用干涉條紋以精確地測量長度或長度改變的光學儀器。干涉計有很多型式，如邁克生干涉計，法布立、拍若干涉計等。參閱「邁克生干涉計」及「法布立、拍若干涉計」。

不可逆性 (Irreversibility)

若一過程，其時間反轉過程 (time-reversed process) 在實際上幾乎不會發生，則稱此過程為不可逆過程。所有的非平衡巨觀熱力系統均有趨向平衡的動向，即趨向於最大亂度，故這些系統均呈現不可逆性。在達平衡的孤立系統中，並不能分辨出過程是不是具有時間反轉性。時間的方向只有當孤立巨觀熱力系統在某時刻時不太紊亂，而後趨向於最大亂度的過程正進行時才能察覺，故在非平衡的系統中才具有不可逆性。

更精確的說，若由許多孤立系統所形成的系集，最初受到某些限制。若將此限制除去，系集即經某過程而達另一狀態。若這時再將原先的限制加回系集，系集並不能恢復到原先的情況，這種過程是為不可逆者。假定 Ω_i 及 Ω_f 分別表示最初及除去限制後的容許物態數，則當 $\Omega_f > \Omega_i$ 時，其亂度增加而具有不可逆性。

不可壓縮流體 (Incompressible Fluid)

研究流體的平衡或運動時，若可免計密度變化，則這種流體稱為不可壓縮流體。若須考慮密度變化，則稱

為可壓縮流體。通常液體被視為不可壓縮流體，而氣體被視為可壓縮流體。又討論聲波傳播時，雖為液體，亦須當作可壓縮流體。

不相容原理 (Exclusion Principle)

分析原子光譜的結果，厄立在1924年發表不相容原理，述之如下：任何系統內不能有兩個相同的粒子佔據在同一量子數的狀態。這原理對自旋數為 $\frac{1}{2}$ 的粒子都成立，如電子、質子和中子等被稱為費子的粒子，他們遵循費米-狄悅克統計律，但對自旋數為零或整數的粒子如光子及 π 介子等就不受此原理的限制。

在原子、金屬和原子核等的最新解說上，不相容原理站著最基本的地位。原子核帶電量為 Z 的原子，在中性狀態下外圍有 Z 個電子，電子排列的方式是使整個系統能量愈低愈穩定。但所有的電子不能都在最低能階的 $1s$ 軌道，倘如此則所有電子的主量子數、角動量子數、磁量子數都是一樣，而第四量子數即磁自旋數祇能為 $\pm\frac{1}{2}$ 兩值，所以 $1s$ 軌道允許容納兩個電子。同樣的道理得 $2s$ 軌道的電子數最多為2，而 $2p$ 應為6，因磁量子數祇能是0、 ± 1 三值。上述的推論就是週期表的解釋。原子核組成方式的主要特徵，也可用類似方法解說。

金屬內電子的分佈情況用同樣的方法描述，可獲得結論以解說古典理論無法解釋的現象。金屬的比熱及磁化率比古典理論的預測值要小，因即使在低溫下，仍有些電子具有相當大的能量，最大值就是費米能量，而易被激發的電子是那些接近費米能的少數電子。

上述的不相容原理是以舊量子論的術語描述。在量子力學上是以某種條件加諸系統的波函數表示：同種粒子系統的波函數，就任一對粒子的坐標而言是反對稱性的，即兩粒子的位置及自旋方向交換，則波函數會變符號。

現考慮一箱內有兩個不相作用的粒子，則任何允許的波函數應為類似下述項的和：

$$\Psi = \varphi(x_1)\psi(x_2) - \psi(x_1)\varphi(x_2),$$

式中 φ 和 ψ 表單一粒子的波函數， x_1 、 x_2 表兩粒子的空間及自旋坐標。 x_1 和 x_2 互換改變 Ψ 的符號。當 $x_1 = x_2$ 時 $\Psi = 0$ ，所以同一位置上不允許兩粒子具有相同的自旋值。如 φ 和 ψ 相同，即兩粒子在同一狀態時 $\Psi = 0$ ，這就是不相容原理的最初形式。

推廣到多體系系統時，以行列式表示不相容原理最方便。三個粒子的系統，其波函數可寫成下式：

$$\Psi = \begin{vmatrix} \varphi(x_1) & \psi(x_1) & \chi(x_1) \\ \varphi(x_2) & \psi(x_2) & \chi(x_2) \\ \varphi(x_3) & \psi(x_3) & \chi(x_3) \end{vmatrix},$$

行列式的兩列互換則符號改變，所以上述波函數具有必需的反對稱性。行列式有任兩行或兩列相同則其值為零，所以如任兩組的粒子坐標或單粒子波函數相同則 $\Psi = 0$ 。這種表示方法可以推廣到更多粒子的系統。

不透明離子體 (Opaque Plasma)

電磁波無法在其中傳播而僅被吸收或反射的離子體。一般而論，對於頻率在離子體頻率以下的電磁波，離子體是不透明的。離子體在某頻率範圍內是不透明時會改變在該頻率範圍內的輻射性質。在離子體內發射的任何輻射被很快吸收，故在此不透明區域內，離子體只能從其表面輻射。

不對稱陀螺分子 (Asymmetric Top Molecules)

分子中三個主軸的慣性矩決定分子轉動結構。三個主軸慣性矩若全相等稱為球形陀螺；若僅二慣性矩相等稱為對稱陀螺；若三慣性矩全不相等則為不對稱陀螺。

不變性和變換定律 (Invariance and Transformation Law)

將坐標系平移或轉動，則坐標的變換都有其變換定律，這種變換律可以寫為

$$x'^i = \sum_j a^i_j x^j + b^i.$$

經過變換後不變的性質稱為不變性，這種不變性可以分成量與形式的不變兩種。經過變換後，不改變的物理量如光速、原時等稱為不變量。另一種不變性是形式上的不變，如物理定律，在一坐標系與另一坐標系所描述的物理定律的形式應該不變，這是相對論基本的相對原理。

自張量（包括純量及向量）的觀點看，坐標的變換如為

$$x'^i = \sum_j a^i_j x^j,$$

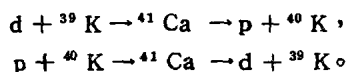
則一 n 秩張量的變換律為

$$T'^{i_1 i_2 \dots i_n} = \sum_{j_1 j_2 \dots j_n} a^{i_1}_{j_1} a^{i_2}_{j_2} \dots a^{i_n}_{j_n} T^{j_1 j_2 \dots j_n}.$$

在一坐標內，由張量方程式所描述的物理定律，經過變換後至另一坐標系，則其張量方程式的形式應不變，即物理定律所描述的語言應該相同。

互易原理 (Reciprocity Theorem)

在原子核反應中，不同核反應可形成同一複核 (compound nucleus)，例如

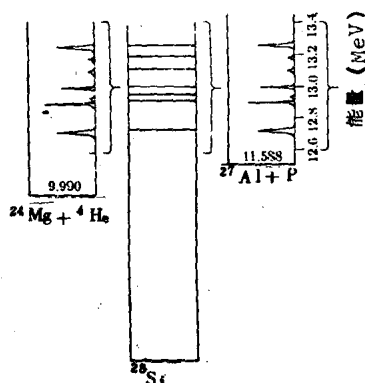


以上前者核反應為 ${}^{39}\text{K}(d, p){}^{40}\text{K}$ ，形成複核 ${}^{41}\text{Ca}$ 後放出質子；後者核反應為 ${}^{40}\text{K}(p, d){}^{39}\text{K}$ ，形成複核 ${}^{41}\text{Ca}$ 後放出氘子。兩種核反應都形成同一複核 ${}^{41}\text{Ca}$ ，並且其核反應前後物為互易者，前者(後者)核反應即為後者(前者)核反應的可逆過程。在此情形下，兩核反應的截面之關係如下：

$$k_d^2 \frac{\sigma_c(d)}{\Gamma_d} = k_p^2 \frac{\sigma_c(p)}{\Gamma_p},$$

式中 k_d 及 k_p 分別表示入射氘子及質子能量的波數 (wave number)，各形成複核的截面分別以 $\sigma_c(d)$ 及 $\sigma_c(p)$ 表示之， Γ_d 表示後者核反應在複核衰變過程中放出氘子的機率， Γ_p 表示前者核反應在複核衰變過程中放出質子的機率。上述兩核反應截面的關係式稱之為互易原理。

例如鋁二十七 (${}^{27}\text{Al}$) 及鎂二十四 (${}^{24}\text{Mg}$) 均為穩定元素，可供作實驗核靶用，以測得 ${}^{27}\text{Al}(p, \alpha){}^{24}\text{Mg}$ 核反應及 ${}^{24}\text{Mg}(\alpha, p){}^{27}\text{Al}$ 核反應的截面。兩核反應均形成同一複核 (${}^{28}\text{Si}$)，如調節入射質子及入射阿伐粒子的能量，可使兩核反應形成複核 ${}^{28}\text{Si}$ 並達到同一能階。兩者核反應截面隨入射能量的變化情形，可用以驗證上述的互易原理。1952年物理學家 Kaufmann 等人(註)曾完成上述核反應的實驗，發現以上兩核反應截面隨入射能量變化的情形完全一致，如圖所示。圖中數字 9.990 MeV 表示阿伐粒子在原子核 ${}^{28}\text{Si}$ 的結合能，11.588 MeV 表示最後一質子在原子核 ${}^{28}\text{Si}$ 的結合能，此兩數字上端的幾個尖峯表示形成複核 ${}^{28}\text{Si}$ 共振態的幾個能階。



註：Kaufmann et al, Physical Review 88, 675(1952).

互逆自生模型 (Reciprocal Bootstrap Model)

在 1962 年丘所提出的核子與三三共振態互生的模型，為粒子自生理論的先驅。丘將丘、婁模型 (Chew - Low model) 加以推廣，丘、婁模型僅考慮核子 N 與派子 π 的低能散射，解釋共振態 Δ 的存在。丘進一步考慮 Δ 與 π 的低能散射，他說明當他們交換一個虛 Δ 時，會在與核子的量子數相同的道中產生一束縛態，就是 N ，但在交換 N 時不產生束縛態。反過來說， N 和 π 交換 Δ 也不產生共振態，但交換 N 時則在與 Δ 量子數 (即同位旋 = 自旋 = $3/2$) 相同的道中產生共振態 Δ 。此模型又被推廣用以解釋其他基本粒子之間的關係，但迄今並未獲得有力的實驗證明。

互補色 (Complementary Colours)

混合後會產生白色的二純光譜色，如下表所示，橙、藍二色混合即成白色，乃是互補色。

顏色	波長 (埃)	互補色	波長 (埃)
紅	6562	綠藍	4921
橙	6077	藍	4897
金黃	5853	藍	4854
黃	5671	靛藍	4645
綠黃	5636	紫	4330

綠色沒有互補的光譜色。

互補原理 (Principle of Complementarity)

1928 年，丹麥物理學家波耳 (N. Bohr) 認為原子現象的描述，不能如同古典動力學一樣，能夠完整而確定地描述運動體系。例如，古典動力學可以完整地描述運動中粒子的位置與動量；而這對共軛變數 (或互補變數)，在原子現象中是無法同時作確定的描述——他們相互抵觸，却也相互補償；正如同是一物的兩面，雖然同時存在，但在同一時刻却不能同時出現；我們只能描述它的一面。這個原理稱為互補原理。

互補原理的出現，使我們對海森堡 (Heisenberg) 的測不準原理，以及量子力學的數學推演上的物理意義有更多一層的瞭解。尤其是對原子體系的量度 (measurement) 上，能作更滿意的解釋；使原子現象與古典描述上建立起關係。最著名的例子，應該是光的二象性。湯木生 (J. J. Thomson) 的陰極射線實驗證實電子具有粒子的性質，德維生 (Davission) 及革末 (Ger-

mer) 的電子繞射實驗又認定電子有波的性質。因此，粒子性與波動性實際上都是電子的性質，這兩者是互補的。電子可以用具有能量 E 與動量 p 的粒子描述，也可以用波長為 λ ，頻率為 ν 的無限波列描述，這種特性我們更可由德布各利 (de Broglie) 方程式得到連繫，即

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

$$E = h\nu,$$

式中 h 為浦郎克常數， p 是動量， λ 為波長， ν 為頻率。

互感 (Mutual Inductance)

互感是兩鄰近電路間的共同性質，它可以決定當某電路的電流變化時，另一電路所感應的電動勢，即

$$e_1 = M \frac{di_2}{dt},$$

和

$$e_2 = M \frac{di_1}{dt},$$

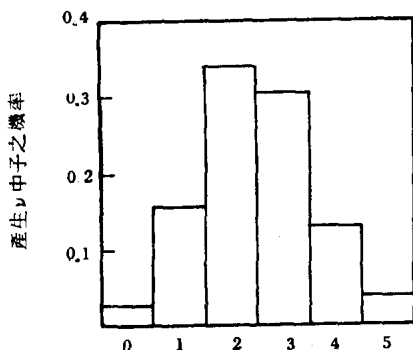
式中 e_1, i_1 是第一電路的感應電動勢與電流； e_2, i_2 是第二電路者； M 就是互感。

互感應 (Mutual Induction)

兩線圈相距甚近時，一線圈上的電流將在另一線圈內產生磁通量。若改變電流以改變磁通量，依照法拉第定律，則第二線圈上會產生感應電動勢，這種現象稱為互感應。

中子分裂產額 (Neutron Yield per Fission)

每次核分裂時所放出的中子可能為 0、1、2、3、4 或 5 個。下圖表示 ^{235}U 以熱中子引發分裂時放出中子數目



每次分裂所產生之中子數 ν 。

圖示分裂中子之分佈情形。

的分佈情形。由圖可知每次分裂時所放出的瞬發中子最可能在兩個至三個之間，其平均值為 2.432 ± 0.08 個。注意此平均值乃隨不同的分裂物質，及引發分裂的中子的不同能量而有很大的差異。如以 14 MeV 的中子引發 ^{235}U 分裂時所放出之中子數目平均達 4.4 個。

除了大部份的中子在分裂的當時即時放出外，尚有少部份遲緩放出，乃由部份分裂產物（如 ^{87}Ba ， ^{137}I 等）經貝他衰變後達一受激態，其高於基態的能量大於該核最後一個中子的結合能，則有放出中子的可能。此類中子可依其放出的先後而分為六組，如下表所示：

組別	半衰期 $\tau_{1/2}$ (秒)	所佔全部分裂中子的成份 (%)		
		^{235}U	^{239}Pu	^{233}U
1	55.6	0.052 ± 0.005	0.021 ± 0.006	0.057 ± 0.003
2	22.0	0.346 ± 0.018	0.182 ± 0.023	0.197 ± 0.009
3	6.0	0.310 ± 0.036	0.129 ± 0.030	0.166 ± 0.027
4	2.3	0.624 ± 0.026	0.199 ± 0.022	0.184 ± 0.016
5	0.61	0.182 ± 0.015	0.052 ± 0.018	0.034 ± 0.016
6	0.25	0.066 ± 0.008	0.027 ± 0.010	0.022 ± 0.009

此類緩發中子，雖然其所佔成份甚少，然對反應器的控制，有決定性之影響。

中子平均自由路程 (Mean Free Path of Neutrons)

設一平行單一能量的中子射束，其強度為 I (I 為單位時間內通過與中子運動方向垂直之單位面積上的中子數目)，射入一含 N 中子/立方厘米的物質中，則在單位時間內在 dx 長度內發生作用的數目（發生散射或吸收等作用）可表為

$$\nu = -dI = I \cdot N \cdot \sigma \cdot dx = I \cdot \Sigma \cdot dx \quad (\text{式中 } \sigma \text{ 為截面}).$$

即發生作用的數目等於中子射束強度減少 dI ，由此得

$$I = I_0 e^{-\Sigma x},$$

I_0 為 $x=0$ 時中子射束強度。兩次作用之間的平均距離稱之為平均自由路程 λ ，即

$$\lambda \equiv \frac{\int_0^\infty x dI}{I_0} = \frac{\int_0^\infty x I_0 e^{-\Sigma x} \Sigma dx}{I_0} = \frac{1}{\Sigma} \quad (\text{厘米}).$$

我們可稱散射作用的平均自由路程 $\lambda_s = \frac{1}{\Sigma_s}$ ，及吸收作用的平均自由路程 $\lambda_a = \frac{1}{\Sigma_a}$ 。

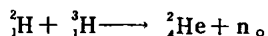
中子的遏止 (Stopping of Neutrons)

中子通過物質時，因中子不帶電，在物質中不與原子的束縛電子或原子核的庫倫場作用而產生游離。中子與物質的作用為與原子核的彈性散射、非彈性散射，及

原子核反應等。在此過程中，中子逐漸失去能量而被退止。例如利用如石蠟等含氫量大的物質，可使高速中子因彈性碰撞而減速。又如利用鋰 (${}^6\text{Li}$) 或硼 (${}^{10}\text{B}$) 等與中子引起原子核反應截面積大的物質，可使中子能量因原子核反應，轉換為帶電粒子的能量，而本身被物質吸收。

中子產生器 (Neutron Generator)

俗稱為中子加速器，為一種產生高速中子的裝置。實驗室中一般用之中子產生器為小型者，其主要部分為一高壓裝置和加速管。先使重氫 (deuterium) 加熱，令重氫的氣體通過離子源，形成一束帶電粒子，加速至數十萬電子伏特的能量後，使其聚焦並轟擊加速管內氚靶 (tritium) 上，而發生原子核反應，



在反應中所產生中子具有能量高達 14.7 MeV，此高能中子射束即可供以誘發原子核反應實驗之用。目前國立臺灣大學及清華大學物理研究所均有中子產生器之設備。

中子通量 (Neutron Flux)

設一中子在一立方厘米的物體中進行，其速度為 v 厘米/秒，則每秒中其所行的距離為 v 。今若有中子密度為 n 中子/厘米³ 的物體中，則其每秒中中子所行的總距離為

$$\phi = nv \left[\frac{\text{中子} \cdot \text{厘米}}{\text{厘米}^3 \cdot \text{秒}} \right] = nv \left[\frac{\text{中子}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{秒}} \right],$$

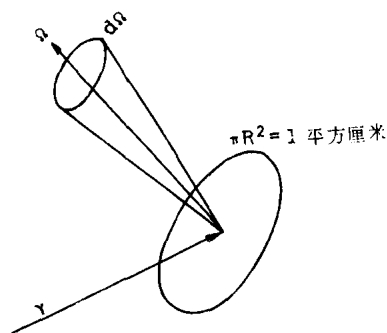
量 ϕ 即稱為中子通量。

中子通量為闡述中子場時極重要的數值，具有如下所述的物理意義。

考究一圓盤 (如圖) 其面積為 $\pi R^2 = 1$ 厘米²，其中心固定在 r 點， $F(r, \Omega) d\Omega$ 表穿過此圓盤沿 Ω 方向在立體角 $d\Omega$ 內中子的總數。現將此圓盤向各方向轉動而保持其中心位置不變，則轉動結果正好畫成一球。此球表面積為 $4\pi R^2 = 4$ 厘米²。由於

$$\phi(r) \equiv \int_{4\pi} F(r, \Omega) d\Omega,$$

而向各方向轉動正代表對 $d\Omega$ 的積分。故 $\phi(r)$ 可視為單位時間內中子向各方穿過球面的總數。因有 2ϕ 之中子於單位時間內經 4 厘米² 之球表面積 (每一中子自球面外至球面內再從球面內至球面外，故穿過球面兩次)，故在各方向中子均衡分佈的中子場中，單位時間內有 $\phi/2$ 的中子穿過 1 厘米² 之表面。

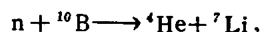


中子探測器 (Neutron Detector)

因中子為不帶電的中性粒子，故探測中子均需間接藉中子與物質發生核反應後產生的二次帶電粒子。此類核反應可大約分為兩類，一為藉核反應當時所放出的帶電粒子。例如 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ 及 ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 等核反應或中子與質子的散射反應。另一為先由中子與物質發生核反應而成為放射性物質，然後再自中子場中移出此物質而測量其放射性 (如貝他射線或加瑪射線)，後者在量度中子場較強時甚為重要。

常用中子探測器有以下數種：

一、硼計數器 (boron counter) 為利用硼的同位素 ${}^{10}\text{B}$ 與中子所引起核反應而製成一種中子探測器。在一圓筒形容器中裝入含濃縮 ${}^{10}\text{B}$ (達 96%) 之氟化硼 (BF_3) 低壓氣體，其中心為金屬細線之陰極。當中子射入時，中子與 ${}^{10}\text{B}$ 原子核起反應而產生阿伐粒子



所生之阿伐粒子具有相當的動能，立即引起電離並產生離子對，其作用與一般充氣計數器相同。(參閱「充氣計數器」)。

為求能有效地探測快中子，此硼計數器週圍常包以石蠟 (paraffin)，使先將快中子減速，因 ${}^{10}\text{B}$ 與慢中子的作用機率較高之故。

二、質子反衝探測器 (proton-recoil detector) 若能量為 E 的中子撞擊在靜止中的質子，則此質子所獲得之能量為

$$E_p = E \cos^2 \theta,$$

式中 θ 為散射後質子飛行的方向與原來中子入射方向所夾之角。由上式可知藉測量質子的最大能量以求出入射中子的能量。適用範圍約自 10 keV 至 10 MeV 的中子能量。

質子反衝探測器中有充氫氣或甲烷氣體者，其壓力