

(b)同步加速器：分電子同步加速器和質子同步加速器二種，合併迴旋加速器和電子加速器的原理，以加速電子或質子，利用可變的交流電場和可變的磁場使電子或質子依圓周運轉時不斷的加速。通常粒子先經柯氏加速器或直線加速器，加速達數百萬電子伏特的能量，然後射入同步加速器中，最後可使粒子能量高達數百億電子伏特以上。此加速器為今日世界上可增加粒子能量最大的一種加速器。

自1930年後，加速器的發展極為迅速，由低能至高能，許多不同種類的加速器，被物理學家研究設計而建造成功，在第二次世界大戰期間，加速器的發展停頓了一段時期，大戰結束後又迅速進行之。1946年一種可變共振週率的新迴旋加速器（Synchrocyclotron）設計成功，建造在美國加州大學，可加速質子超過一億電子伏特，至1950年初，已有五部此種加速器在美國建造完成。其他在瑞士和蘇俄也完成這種高能加速器。當這些加速器開始運轉後，高能的實驗即開始進行，過去用低能加速器無法做的實驗，這時可以做了，其中重要的實驗，為有關 π 介子的實驗，證實 π 介子的存在，對於 π 介子和核粒子的交互作用，也漸漸趨近明朗化了。此外，上述高能加速器可供物理學家們研究有關弱作用的許多問題，例如 π 介子和 μ 介子的衰變等，這項實驗在美國哥倫比亞大學利用高能加速器做了許多。第一次發現微中子的實驗，也是在一高能加速器（瑞士CERN 600 Mev加速器）上完成的。

自1950年後至今十餘年來，由於更高能量的加速器大量問世，供應高達數百億電子伏特的質子能源，用以破壞原子核以探究物質的內秘，許多新的基本粒子被發現了。世界第一部可產生十億電子伏特（1 Bev）以上的質子加速器是美國布洛海文（Brookhaven）國家實驗室的同步加速器，於1952

運轉產生質子的能量達 2.3Bev 其他美國各地、英國、法國和蘇俄等也都建造完成同步加速器，能量高達 10Bev。這些高能加速器可供物理學家完成許多基本粒子的實驗工作。例如確定了反質子，反中子和許多奇異粒子的存在，對於基本粒子物理有莫大的貢獻。

利用同步加速器產生高能的質子，引導核反應，不但可供物理學家發現新粒子，還可研究許多基本粒子的性質和作用。今日新型同步加速器可產生質子能量高達30Bev以上，此種同步加速器稱為交磁同步加速器（Alternating gradient synchrotron）。美國布洛海文國家實驗有一部交磁同步加速器，其最大能量 33Bev，瑞士CERN有一部，其最大能量為30Bev。蘇俄去年完成一部70Bev加速器，美國已計劃建造 300Bev 加速器。因為許多基本粒子，唯有在此巨大能量的作用中才能產生，故近年來，美蘇二國不惜重資，競建巨大能量的加速器以供研究之用。

自加速器發明至今約四十年，加速的能量不斷的被提高，今日我們可得到的質子能量，較最初第一部加速器的能量已增大50,000倍以上。許多大科學家耗費一生的時光，從事高能加速器的設計研究，其中三位科學家曾因為對加速器的卓越成就，贏得了世界最高學術榮譽獎——諾貝爾獎。高能加速器發展至今，確使許多原子核物理的問題獲得解決，但未得解決的問題還有許多。為了繼續探求對自然界物質的本質的瞭解，我們可以想像到高能加速器仍是最重要的工具，協助我們對原子核和基本粒子的研究。

林爾康博士，37歲，清華1960級校友，匹茲堡大學 ph. D. 主修原子核物理。

基本粒子觀念的演進

陳蔡鏡堂博士講稿

林留玉仁筆記

今天晚上，我想給各位簡單的介紹一門二十年來突飛猛進的新物理，叫做基本粒子物理或叫做高能物理。

基本粒子物理所研究的對象是構成物質最小基本單位。這些基本單位我們叫做基本粒子，研究基本粒子的目的是假定我們了解這些粒子的性質，就

可以了解宇宙所有物質的性質。當然，我們是假定所有物質是由這些粒子所構成。

其實，認為物質是由於最小的物質單位所構成的觀念並不是最近二十年內的事。早在人類有文化以來，這個觀念就一直的被討論到，到底物質是不是可以不斷的分割成更小物質？或者到某一個程度就不可以再分下去呢？這個問題的確傷了人類祖先不少的腦筋。

我國先聖先賢雖然沒有列下關於物質構造的教條。不過幾千年來民間不斷的流傳一種相命的理論。認為人本身及其一生的命運均由“五行”所構成。而由“五行”金、木、水、火、土再加上日、月便構成了金宇宙。在印度，兩千五百年前，釋迦摩尼對這問題講得比較玄些，嚴肅些。在佛教的理論裡，人體內有四種要素即是“四大”火大、風大、土大、水大。火大產生體內的溫度，風大產生人的各種運動，土大形成了肌肉、骨骼，而水大形成血汗。無論“五行”日月也好，“四大”也好，這些都是古代東方“基本粒子”的觀念。不過我國先民從沒有對這觀念仔細的推敲過，而佛門的人物又主張“四大皆空”。真正正視這個問題却是古希臘的哲人。

西元五百年前，希臘很多的哲學家認為一塊泥土繼續的切下去一定會達到最小的，不可再切的基本粒子。這種思想到西元 440 年左右，由原子之祖 Democritus 發揚光大。他認為物質的冷熱，甜辣紅白——等性質是由於最基本的物質單位構成。這些原子的種類有無窮多，而空間是無窮小。原子是由於不同的形狀，大小、位置、排列而區別。物質的各種性質是隨着由原子不同的數目、大小、安排而不同。

近代對原子的觀念是直接導源於這裡。不過，當時沒有人會做普通的物理實驗來證實這些假說，僅憑著智慧去猜想而已。所以，我們只能說這是屬於形而上學的。

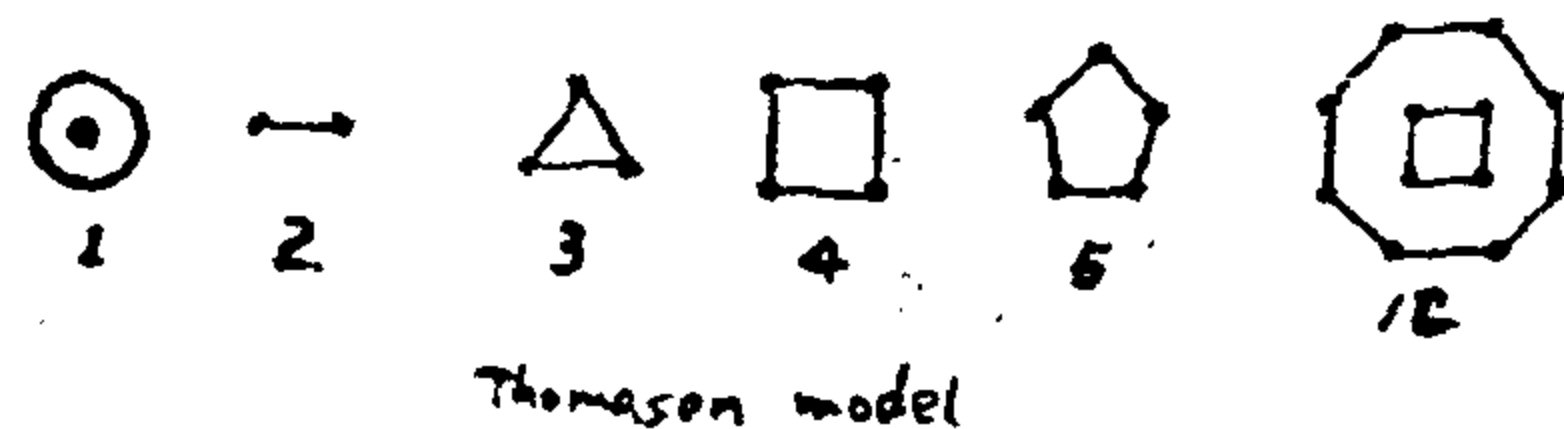
這種原子假說中間經過亞里斯多德打擊後竟一蹶不振。直到十八世紀末原子之父道爾敦 (Dalton) 誕生後才重新被提起。當時，化學方面的實驗已經有相當的進展，道爾敦在 1803 年發現了化學反應的定比定律及倍比定律。因而提出了原子假說來解釋實驗的結果。這是科學史上首次以實驗來證明物

質是原子構成的。

西元 1808 年 Gay-Lussac 發現了氣體反應定律，引用道爾敦的原子假說，認為同溫同壓下同體積的氣體必有相同數目的“原子”。這個假說後來 (1811) 由 Avogadro 提出“分子”的觀念，加以修正，就是大家都知道的 Avogadro 假說。

到了十九世紀，化學家發現了接近 100 種的原子，俗名“化學元素”。這些元素重量也可以定出來，同時也發現有規則性。在 1870 年 Mendeleef 根據原子量的大小及化學性質排出了一個週期表，在那個時候，人們所認為的基本粒子也就時這些元素了。

當代的基本粒子物理的發展是由英國物理學家 J. J. Thomson 所開始。而物理學家也正式地接了這個棒子。在 1897 年，Thomson 發現陰極射線是由電子束所構成。利用陰極射線管的實驗，他定出了電子的電荷與質量的比 e/m 。電子的發現動搖了 Democritus 和 Dalton 堅信原子不可分裂的觀念。電子既由原子所產生，則原子必有其本身的結構。J. J. Thomson 提出了一個原子模型，認為原子本身是由帶有正電荷的均勻球狀連續體加上電子的平衡狀態分佈，其直徑約 10^{-8} cm。

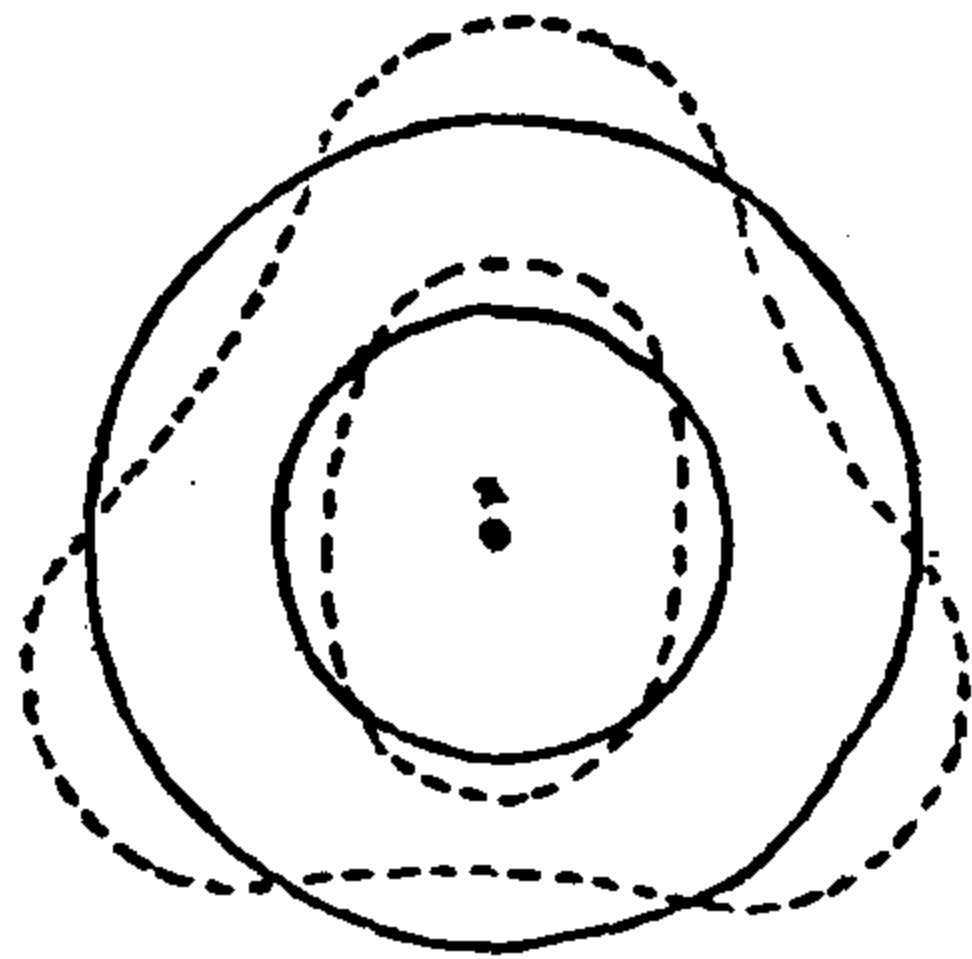


西元 1911 年英國物理學家 Rutherford 做 α 粒子散射的實驗。發現帶正電荷的質量並不是均勻的連續分佈而是集中在一直徑約為 10^{-13} cm 體積內。因此原子應有一個“核”帶著正電而且原子極大部分的質量集中在裡面。電子在外面繞核旋轉。這是有名的 Rutherford 模型。

Rutherford 的原子模型允許電子的軌道任意分佈。根據古典電磁理論，電子繞核而轉應該放出光來，原子光譜勢必是連續的，而且電子也將迅速地失去能量趨於死亡。事實上，從實驗的結果我們知道光譜是不連續的，並且電子非常的安定。這些缺點由 Bohr 加以改正。

西元 1913 年 Bohr 提出了他的氫原子模型。電子是一種波，有其波長。假定電子波在核外軌道上成為駐波的話，電子即在穩定狀態。這些形成駐波

的條件使電子的軌道，並不是連續的，而是跳越的。（這些電子波觀點並非由 Bohr 直接提出的，物質波的觀點由法國年輕物理學家 de. Broglie 在1924年提出）。波耳氫原子模型。



至於產生光的現象，我們可以認為是電子由高軌道跳到低軌道而發出的能量。因為軌道是不連續的，所以光譜也不是連續的。

談到光，我們知道在十九世紀大家都認為它是電磁波。但是，在1905年愛因斯坦從光電效應發現，光不是波而是粒子。這種光的粒子說早在十六世紀就為牛頓所主張。不過在當時因為光的波動說比較有實驗的根據而被人否決。應用於 Bohr 模型，電子所發的光即是一連串的光粒子，我們稱它為光子 (Photon)。

到此，我們的原子模型似乎完整的解釋所有我們周圍的光電現象。原子已不再認為是基本粒子，而是一種合成物猶如化學中的化合物。因此，在這個時候電子，核及光子是我們的基本粒子。

氫原子核早已知道是最小的原子核，早於1815年 Prout 就認為氫核是一個基本粒子，而其他的核即由其所講成。氫核就是今天我們叫做 Proton 質子的粒子。Prout 的說法也有相當的困難，因為依他的說法，核由質子所疊成，簡單的計算就可發現核帶着過多的電荷。曾有一段時間（1930年左右），很多人想也許核內也有電子存在以抵銷多餘的正電荷。但是電子在那麼小的空間內（ 10^{-13}cm ）是不可能存在。

這種困擾由於中子的發現而告解決。1932年 Curie-Joliot 和 Joliot 居禮（夫人的女兒及女婿）及英國的 Chadwick 發現了核內有中子存在。一種與質子質量相近而不帶電荷的粒子。這個發現使得我們對原子構造有更深入的了解。自此，原子核不再

被認為是基本粒子，它是由質子及中子所構成。這是 Heisenberg 模型。

核內既然有質子和中子，那麼它們是怎樣堅強的結合在極小的空間呢？尤其是為什麼質子與質子間的相斥力不致於使核分散呢？物理學家認為質子間，中子間以及質子中子間必存在某種力即所謂的核力 (Nuclear force)，不同於且遠大於電荷間的庫倫力。1935年日本物理學家湯川秀樹認為核力是由於有另一基本粒子叫做 (Meson)（以後，我們還發現別的介子，因此把這類的粒子命名為 π 一介子 Pion）核子與粒子間的作用是由於甲核子 (Nucleon 質子或中子) 放出一介子而由乙核子吸收而產生，就像庫倫力可以想像是由於傳遞光子而產生。

湯川所預測的介子於1947年才由 Powell 等人所發現。 π 介子有三種，帶正0，負三種。到此原子構造有一個完整的了解。其構成的基本粒子為 e^- 、P、n、 γ 、 $\pi^{\pm,0}$ 各個粒子都擔任著特有的任務，除了這些粒子以外，還有一些基本粒子在1947年以前就被預測或發現。

1930年 Dirac 由電子相對論量子方程式導出帶 v 電的電子即正電子 Positron 存在。因為相對論內能量與動量的關係 $E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m^2 c^4}$ ， E 為負值時即可認為反電子存在。正電子由 Anderson 於1933年發現。正電子在原子內並無其位置。到1956年質子和中子的反粒子， \bar{p} ， \bar{n} 也被發現。

1933年 Pauli 認為 $n \rightarrow p + e^-$ 的貝他蛻變違反了能量守恆定律。因此預測一種新的基本粒子叫做微子，現在叫做反微子 $\bar{\nu}$ ， $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ 其質量及電荷均為 0。微子直到1956年才由實驗發現。

1936年 Anderson 和 Meddermeger 在宇宙射線中發現另一種基本粒子叫 μ 一介子。這是第一個我們發現的無用粒子。他的質量是電子的兩百倍，有帶 +、- 兩種電荷的。

在1948年以前已知的基本粒子可仿照 Mendeleef 的週期表列表於下：

種類	粒子	反粒子	質量 (m _e)	穩定性	Spin (J)	I	I ₃	Y
光子	γ	γ	0	穩定	1			
輕子	ν	$\bar{\nu}$	0	穩定 穩定 π → e + ν + ν	$\frac{1}{2}$			
	e ⁻	e ⁺	1					
	μ ⁻	μ ⁺	200					
介子 π	π ⁺	π ⁻	280	π [±] → μ [±] + ν π ⁰ → 2γ	0	1	$\frac{1}{0}$	0
	π ⁰	π ⁰	280				-1	
重子 N	P	\bar{P}	1880	穩定 n → P + e ⁻ + ν	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	n	\bar{n}	1880				$-\frac{1}{2}$	

這些基本粒子是否真正基本呢？我們由表中看到 γ、ν、e⁻ 和 p 四種粒子穩定不變成其他粒子，故我們可以看做基本粒子。其他如 μ、π 和 n 則不然，μ 似乎由 e ν、 $\bar{\nu}$ 所構成。π 由 μ、ν，n 由 p、e、 $\bar{\nu}$ 所構成。但是仔細研究上面四種安定的粒子，我們發現他們很難說是最基本的。如 γ + p → n + π⁺，似乎 p 中存在着 π⁺ 和 n 由 γ-ray 打出

而已。我們基本粒子的觀念也開始動搖。

在我們還沒有確定已知的粒子是否最本時，另一批新粒子於 1948—1953 年間又被發現了，這些是由大加速器產生出來的人工粒子。在我們原子世界中並沒有插足的餘地。因為他們具有奇異的性質，所以我們叫做奇異粒子 (Strange Particle)。

種類	粒子	反粒子	質量	穩定性	Spin	I	I ₃	Y
介子 K	K ⁺	K ⁻	1000	K [±] → μ [±] + ν, π [±] + π ⁰	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	K ⁰	\bar{K}^0	1000				$-\frac{1}{2}$	
Λ	Λ	$\bar{\Lambda}$	2200	P Λ → P + π ⁻ , n + π ⁰	$\frac{1}{2}$	0	0	0
重子 Σ	Σ ⁺	$\bar{\Sigma}^+$	2400	P, π ⁰ , n, π, Λ, γ,		1	±1	0
	Σ ⁰	$\bar{\Sigma}^0$	2400			$\frac{1}{2}$	±2	-1

到了 1962 年以後一大批新的粒子又被實驗所發現。這些新粒子並不能用任何裝置所看到，而是用電子計算機算出來的。譬如說 ρ → π⁰ + π⁺ π⁺，π⁰ 可以由其軌跡看出。

但 p 之存在卻是由此 2 π 的能量分佈而定出，即當 2 π 的總能量在 1500 m_ec² 時即有很大的共鳴現象產生。因此這些粒子叫做共鳴粒子 (Resonance particle)。

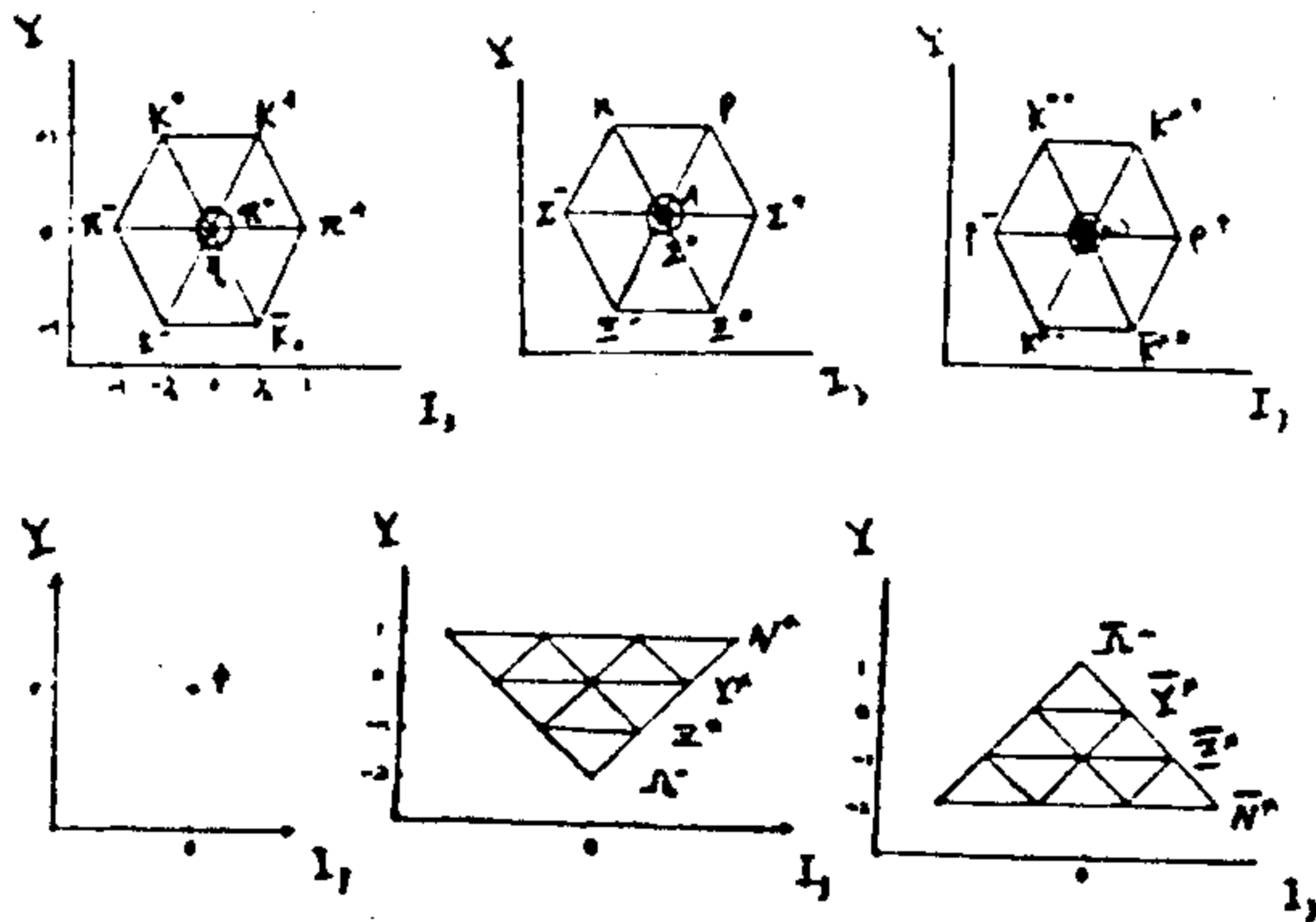
種類	粒子	反粒子	質量	穩定性	Spin (J)	I	I ₃	Y
介子 ρ	η		1100	2 π		1	±1	0
	ρ ⁺	ρ ⁻	1500				0	
	ρ ⁰	ρ ⁰					$\frac{1}{2}$	
K	K ⁺⁺	K ^{*-}	1800	K π	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	K ^{*0}	\bar{K}^*					$-\frac{1}{2}$	
ω	ω ⁰	ω ⁰	1600	3 π		0	0	0
φ	φ ⁰	φ ⁰	2400	2 K		0	0	0

種類	粒子	k 粒子	質量	穩定性	Spin	I	I ₃	Y	
重	N*	N* _{+2,+1} ^{0,-1}	N*	2600	N π	3/2	± 3/2	± 1/2	1
	Y*	Y* _{+1,0}	Y*	2800	Λ π, Σ π		1	± 1/2	0
子	Ξ*	Ξ* _{0,-1}	Ξ*	3000	Ξ, π		± 1/2	± 1/2	-1
	Ω	Ω ⁻	Ω ⁺	3400	Ξ π, Λ K		0	0	-2

這些將近一百種的所謂基本粒子，我們已經分為光子、輕子、介子、和重子。每個粒子我們發現有其內在的角動量叫做自旋(Spin)。讓我們再看看他們的質量，每一組介子和重子都有相當接近的質量。因此我們可以認為質量相似的粒子也許只是相同的粒子在不同的帶電狀態而已。這些在不同帶電狀態的粒子我們可以用兩個號碼(即所謂的量子數)表示 I、I₃ 其指定的數字如表。另一個號碼 Y 定義為 $Q = I_3 + \frac{Y}{2}$ (Q 為電量以一電子電量為單位)

由表，我們可以發現介子及重子相同自旋的粒子的質量也相差無幾。因此，我們進一步認為同自旋的粒子帶有不同的 Y 及 I₃，也可以看做同一粒子在不同的狀態。這些觀點都是近五年來才建立起來的。

我們根據這個觀點，將已知的這些基本粒子分類再造一個圖表如下：



上面的三個表，每容納八個粒子，是構成八正道 (Eight-fold Way) 的理論。由數學上的群論，這個基本 8 還可以造不同的表現 (Representation) 即 {1}、{8}、{10}、{10}、{27}。φ 屬於 {1}，N*、Y*、Ξ*、Ω 屬於 {10}、N*、Y*、Ξ*、Ω 屬於 {10}。

基本粒子歸類的問題現在還有許多人在努力中，目前有更複雜的歸類。至於這些粒子是否可以叫做基本粒子呢？這個問題到今天還沒有多大進展。也許我們會重陷 Dalton 原子假說的命運？所有這些粒子可能都是合成物。

那麼是否還有更基本的基本粒子存在就得再作進一步的探討。目前物理學家相信所有的這些粒子都是平等的。這是“粒子民主” (Nuclear Democracy)。每個粒子可以想像成由於所有的粒子構成(包括其本身)譬如說，質子是由，P、n、π⁺、Λ、K⁺、π⁰、……構成但是也有人提倡有更基本的粒子叫庫克 Quarks 共三種，其電量為 1/3 或 2/3 存在。是否有此種粒子存在呢？截至今天晚上尚未被發現。

陳蔡鏡堂博士，34歲，本校研究所1959級畢業，華盛頓大學 Ph. D., 德國麥士潘克研究院研究。

學物理不僅需要書本上的知識，還要吸取教授的經驗和見識，以作為自己努力的標的。物理系會鑑於此特舉辦一續列的專題演講，定名為“Series of Lecture on Introductory Physics”每月舉行一次，約請系內教授主講。此次出版系刊，亦多承諸教授熱心贊助，本人謹代表物理系全體同學，致十二萬分的謝意。又講稿係由同學紀錄，如有筆誤，尚祈見諒！

物理系會總幹事 陳力宇