



厚美瑛

我們不認為已經認識一件事物，除非熟悉它的原始狀態或者首要原理，而且已經分析到它最基本的成分。

——亞里斯多德——

基本粒子物理，推其意，為一門與決定質能基本成分有關的學科。

研究工作分為實驗和理論兩方面。實驗觀察的範圍從粒子基本性質的精確測量到整體的定性行為觀察，包括高能衝撞下的物質特殊型式。理論工作包括

對實驗結果的解釋，指示新實驗方向來解答某些問題，同時建立理論模型，設計試驗這些模型的實驗，進而研究質能終極本性，並將自然定律予以推廣，以克服既有理論的矛盾與不足之處，然後再設計新的實驗來驗證這些推論。

做理論研究工作，我們需要的基本知識包括有古典理論，量子相對論等物理理論的應用和廣泛數學知識和技巧的運用。在實驗方面，所需要的粒子來源通常來自加速器，雖然某些實驗用宇宙綫也做的很成功。做為一個實驗者必須具有熟練的實驗技巧以鑑定速度趨近於光速的粒子或者精確地測量某些粒子特性。此外所需的大型電子計算機，加速器，檢測器和其他一些儀器則需要工程界的努力了。

基本粒子物理的發展可追溯到遠古時代原子的觀念，古希臘哲學家Democritus首先創造了「原子」這個字，意思為不可分割的質點。但直到十八、九世紀，物理的發展仍然着重於巨觀的物理性質。而為強調粒子的觀念，其後由於化學和光譜的進展才使得原子、分子、電子和離子成為物理研究中深具影響力的一環，直到一九二〇年量子理論的形成更使之達於高潮。

所謂基本粒子，必須將物質分割至不可再分割的成分。我們以燃燒熱（約數分之一電子伏特）就可以將分子分割成原子，如欲從原子中游離出電子則需更多的能量（約數個電子伏特）。這樣，我們越是細分下去，所需能量也越高，分離原子核所需的能量就為游離電子的一百萬倍。自然存在具有這麼高能量的粒子源祇有自然放射性原子核，宇宙輻射和一般恆星內部的輻射，早期實驗室用放射源作為粒子源，但受到很多限制，後來由於機械的發展，加速器可以直接加速粒子達數百萬伏特高的能量，在那個時期，一九三〇年代，物理學界以為已經達到決定質能基本組成的目標了：所有物質均由質子、電子和中子所組成，但是這個簡單的構想很快被一個來自量子輻射理論的觀念——光子或者說是量子——所擴展，質點不再祇是物質的一部分，同時也是物質由高能階到低能階能量轉換的一種表現形態，這個質能交換的特性來自於愛因斯坦的狹義相對論。

其後狄拉克將特殊相對論導入量子力學而引進了反粒子的觀念，這種預測於一九三二年被安德生實驗証實了，同年鮑立提出了微中子和反微中子的假設，以維持貝他衰變中能量與動量的守恆，這項假設，也由實驗直接証實了。在天文學上，太陽微中子的發現更是十分的重要，因為它可能成為「太陽由熱核

子產生動力」假說的最有力的證據。

一九三〇年代雖然對於物質的組成有了簡單而完整的描述，但對於核力卻一無所知，研究在這麼短距離內的核力的影響需要至少一億電子伏特以上的高能質子，因此在一九四〇年代末期和一九五〇年代初期，設計能量範圍在一億到六億電子伏特的加速器成爲最主要的工作，在這些工作的後面，人們不免會想到一個永無止盡的問題：在越來越高能量的衝擊下，到底物質的眞正行爲爲何？於一九三五年，湯川秀樹提出了它的核力場論。

他假設自然力場的作用範圍與場量子的質量成反比，這項假設與電磁場相吻合，由於光子量子的質量爲零，故電磁場的作用範圍可至無窮遠。同樣地，由於重力場亦與距離平方成反比，故可預測重力子（Graviton）——重力場量子——質量亦爲零。因此強核力的短作用範圍意味著它的場量子必定具有定質量——約爲質子的十分之一，我們稱之爲 π 介子，一度曾爲人們誤以爲是宇宙輻射中所發現的 μ 介子。這種「重電子」的發現至今仍是個謎，物理學家無法預測是否有更重的電子將被發現。

物理學家們將電子， μ 介子，兩種不同的微中子和它們的反粒子統稱爲輕子（Leptons），到目前爲止，他們不與任何物質起強交互作用，因此它們很可能是眞正的基本粒子，另外有些粒子像質子、中子和 π 介子，它們彼此間產生強交互作用，被稱爲重子（Hadrons），平常我們在雲霧室裏或是用感光乳劑經常可發現的重子有超子（Hyperons）和 Λ 介子。

近年來許多新的基本粒子在高能核反應中相繼被發現，世界上第一部可以產生十億電子伏特以上的質子加速器在美國布洛海文（Brookhaven）國家實驗所被使用以後，這些高能加速器供給物理學家完成了許多基本粒子的實驗，最明顯的例子爲反質子，反中子和許多奇異粒子的發現；類似於由原子推廣到核子時所加的量子數——同位旋，物理學家發現在基本粒子中，我們必須加入一個新的量子數，也就是粒子的奇異性（Strangeness）。

過去十五年以來，能量在一百億到七百億電子伏特的加速器不斷的被製造和運用，有不少新的發現引導人們對自然界物質的本質有新的認識，下面就是——一些最近的發現：

- (一)、弱交互作用不服從宇稱（Parity）守恒定律。
- (二)、發現兩種不同的微中子 ν_e 和 ν_μ 。

(三)、証實弱核子交互作用向量部分的產生與電磁作用相類似。（按電磁作用中有Scalarfield和Vectorfield）

(四)、發現物質世界與反物質世界的差異，縱使將後者由鏡像觀察亦不能除去。（也就是說，CP守恒的不成立）因此也發現了弱交互作用在某些方面與時間的方向性有關，故「守恒也被破壞了」。

(五)以內部電荷和電流密度闡明中子與質子的結構。

(六)質點的電磁特性不祇與無质量的光子有關，同時也受強作用力的重質量介子有關。

(七)將相對論量子電力學的探測極限推展到 10^{-14} CM的距離內。

(八)展開了重子光譜學的研究，並且發現SU(3)Group與重子的對稱關係。

(九)對於現象論在處理重子間相對論性的反應，和它們的解釋上有了新的瞭解。以上這些發現不祇是將人類推問對時空和控制自然基本定律的未知領域裏的過程之一，同時也是對人類窺視宇宙奧秘，作進一步探險的一項永無止盡的挑戰，它值得這個世代最有天賦的科學家的熱愛與專注，像五〇年代的薛丁格（Schrödinger），朝永振一郎（Tomonaga）斐曼（Feynman）和戴生（Dyson）等在量子電力學上已經有了很多很有價值的結果，下面我們將要討論一九六九年諾貝爾物理獎得主蓋爾曼（Gell-Mann）著名的SU(3)群的構想和其「夸克」（quark）的假設。

在重子光譜的規律性中，我們可以用幾個有限數值的參數將粒子很整齊的分類，這些參數稱之爲內量子數（internal quantum number）。在那些整齊的分類中，我們發現SU(3)群與化學中的週期表類似，因此由SU(3)群我們可以預測某些未知粒子的存在性和它們的性質，最明顯的二個例子是 Ω 和它的反粒子 $\bar{\Omega}$ 的發現， Ω 的發現填補了SU(3)群原有的空缺。

對於重子的SU(3)對稱最好的解釋是SU(3)所代表的重子結構爲三種不同的最終粒子所組成，這種粒子即稱爲夸克。所有介子均由一對夸克和反夸克粒子所組成，而類似質子和中子的重子則由三個夸克所組成，他們的電荷分別爲 $e/3$ ， $e/3$ 和 $2e/3$ ，而非電子電荷的整數倍。夸克的觀念很清晰的解釋了許多重子的特性，但是也產生了許多無法解答的問題。關鍵在於我們無法証實夸克是否眞實存在，它很可能不存在，但是可以肯定的是這個問題的研究將引導我們對一個更迷人世界的發現。