

陳永基譯

歐本海默原著

取材自 *Physics Today*, Nov., 1966

介子三十年

介子族的存在，曾被預言（1935年，湯川秀樹最先預言的 π 介子），被錯認（宇宙線中的 μ 介子），被發現（宇宙線中的 π 介子），以及陸續被發現但尚未能明瞭（K介子）。誠然更多介子的發現乃是預期中的事，但我們似乎不可能回到將其基本粒子視為構造單純的時代了。

且讓我揭示幾句話作為開端：時至今日，已有許多種介子（meson）被發現；命名；並分類；他們的部份性質已確定，並且在某一限度內被瞭解了。

如是，有三類介子，共計九種（亦可說有兩類，各包括八種，及另一種介子，的混合），即：赝純數介子（pseudoscalar mesons）其中包括湯川秀樹（Yukawa）三十年前預示的兩種；向量介子（vector mesons），以及另一種較不確定，其自轉（spin）為2的介子。此外尚有幾種到近日方被確認。現在要說我們是在這故事的開始或結尾之處，將是個冒險的猜測。

三大族質點

介子是三大族質點之一。這三大族質點，加上古典場中的光子（quanta），都是有價值而必須提到的。它們的特徵是具有或不具有任何符合某些尚未明瞭但卻非常嚴格的守恒律（conservation law）的量子數（quantum number）

三族中之一是輕子（leptons），為似電子的物體：電子， μ 介子，微中子（neutrinos），及其反質點（anti-particles）。輕子數（lepton number），即輕子之數目與反輕子（anti-leptons）數目之差，為一嚴密的守恒律，即使在長若宇宙生命之期間亦然。輕子間有電磁作用（electromagnetic interaction），以及與 β 衰變（ β -decay）中費米作用（Fermi-interaction）有關之弱作用（weak-interaction）。在目前所能達成的觀察情況下，這些作用從未很強。輕子間並無直接的或特有的強作用，後者正是其他二族質點，介子及重子（baryons）的特徵。

重子為似質子之物體：質子，中子， Y^* 質點，由費米及其同僚發現之3-3共振（3-3 resonance）及 r^- 。重子也有其反質點，及一特有之量子數——重子數——，其定義與輕子數相似。重子數在宇宙生命期中亦為一不變量。

介子並不具有此等量子數，它們可以單獨出現或消失。當然，須受到相對論之守恒律，同質點（identical particles）之對稱性，電荷對稱性（charge symmetry）（雖然這點以下的四點並不構成嚴格的

規則）、宇稱性（parity）及奇異性（strangeness）之守恒、電荷共軛（charge conjugation）及時間反轉（time-reversal）之不變性等規則之限制。但並無與輕子數或重子數相似者。

具壓服性的論點

當然在今日我們所處的情形與在1935年時大不相同，但仍有相似之處。在那年，湯川預言了向未被觀察到過的次核子（subnuclear）物體的存在。我的主要目的，是在提醒各位他的預示的本質與理由，並留意在這分隔今日與創說之初的三十年間的幾個插曲。今日，書本上也載有曾在實驗中加以探索但並未發現的物體，典型的是，根據實驗的記錄，它們在質量小於一相當高的值時並不存在。在這裡，我所指的並非磁極（magnetic poles），因為我覺得這屬於另一類理論的範疇，我所說的是兩類物體，它們在博識之士的銜飾下，被冠以性質迥異的名稱——schizons及quarks——前者由李·楊所研究並命名，是一具守稱性，奇異性及同位自轉（isotopic spin）尚未確定的向量波色子（vector boson），已由湯川預示在先；他的介子是不安定性的，由與輕子，及重子流之湯川耦合（Yukawa coupling）而導致 β 衰變。直至今日，schizons 仍未被發現，假若它們存在，本質上它們將比質子重得多。近來較高的微中子能量已被利用，故尋覓它們的工作無疑仍將繼續進行。quarks，在最簡單，最著目的形式下，具有分數電荷及重子數，也尚未被發現。

在所有的這些情況中——湯川的介子，schizons及quarks——，這些質點存在的推想，有時使得對一些在已知其存在的質點中已觀察到的規律的描述，顯得比較容易：三十年前的核粒子（nucleons）及湯川的介子，今日之重子，介子，及輕子。假若們我今日遭遇到此等臆測中之質點存在或否的問題，我們將面臨描述此等質點此一可畏的理論難題：無疑的，對quarks將比對schizons更可畏，而且都在我們知道如何著手的範圍之外。我們不能作有力的解釋，此等新物體如何對它們被創造出所用以解釋的規律性具有此種貢獻。事實上，這在介子理論上已發生了許多

年，並且已耗了許多年心血才得到部份的，近似的，而且是暫時性的解決。

導致 quarks 及 schizons 的創造的原因，雖然完全是非尋常的，卻不具有湯川當時理論中那種迫切的必須性。即令如此，它們在今日仍被提出並接受了。湯川有幾個粗略的，但卻明晰的實驗發現作為後盾，其理論中也有一些在今日看來是確實的，也是一般性的論點。因此雖然他所發表論文的期刊（日本物理及數學學會會議事錄）是相當偏僻的一個，而他的臆測又相當廣泛，它還是很快的受到日本及世界各地的學者所重視。我應當說，我們在加州如此重視它，是因為我們具有一些較歐洲的同行有利的條件，當然，也有其他顯著的欠缺之處。這點容我以後再談。

質點的預示

這可能是個很有教育意味的事，如果我們回憶一下過去三十年中的幾個插曲，並留意其他幾種被正確而且徹底的預知的介子，不論是由對稱性〔這在電荷對稱律（charge symmetry）及電荷無關律（charge independence）之後已成為相當重要的論點，而在吉爾曼（Gell-Mann）及挪門（Ne'eman）覺察到一元對稱律（unitary symmetry）後益形重要〕，抑或在另一方面，由相對論及量子論的深奧，廣義的原理所達成。這些都是遠在那些只偏愛 S 一矩陣（S-matrices），只相信公理化場論，以及愛用 Lagrangian Methods 及 Feynman Diagram 等理論家的爭論之外，非常廣義的原理。因為它們的創意便是要符合狹義相對論及量子力學的一般體制。

湯川的創意首次擴展，是在應用於電荷無關律的對稱性上。庫瑪（Kemmer）覺察到，在湯川的帶電質點外，尚須一種中性介子。雖然奇異性（strangeness）是個從未被預示過的發現，就在它被發現之際，奇異介子的存在就顯得很清楚了。 μ 介子是自由經驗而得的核粒子形式因子（form factor）上，而非由量子場論的廣義理論，而預示的。 η 介子係由一元對稱性所預示， Ω 介子亦然。 ρ 的互補粒子亦須被引入，以解釋等位向量（isovector）的核粒子形式因子。

若我們試著回溯到1935年，情形就有些不可思議了。許多我們今日知道並信以為真的事物，在當時卻顯得相當不確實或隱晦不明。但我以為湯川的理論，雖則很新奇，卻很動聽的原因，卻是顯然的。這點我們最好從1932年——我們對質點的認識的萌芽期——開始。在這以前，我們只知道電子，質子及古典場中的光子。這年，查德威（Chadwick）發現了中子，中子，就各位所知，並非是在1932年時所確知的背景上，而是在刺德福（Rutherford）1920年的貝克講座（Bakerian lecture）中被預示的。查德威，當然他對這些講座是有徹底瞭解的，有次曾問居里夫婦（Joliot-Curies），為何不會在他們所發現的穿透性輻射中尋找中子，而把這工作留給查德威去做。居里夫婦答道，對法國人而言，要在對大眾所作的講演中尋求新概念，是件不可想像的事。

在同一年，又有兩件與湯川的預言非常有關的發現：安德生（Anderson）在宇宙中發現了正子（positron）這對當時的物理學家造成一個很大的轉變：使他們對相討論，及量子論的此種組合，亦即量子電力學（quantum electrodynamics），或形同而意更廣的量子場論（quantum field theory）的一般正確性增加了信心。對我自己而言，這種信心更由玻里（Pauli）威斯克普（Weisskopf）的論文而更為增強。該論文中提出無自轉的質點，不具獨佔原理（exclusion principle），沒有由它們所「填滿」的海（filled sea），也沒有「孔穴」（holes），但卻包含成對產生（pair formation）及消滅（annihilation），表現電荷對稱性——電荷共軛不變性——，並且，除去用語的差異外，與關於電子及正子的理論非常相近，因此支持所有的帶電粒子都有質量相同的反粒子這種臆測。

遠在湯川的論文之前，費米已書下他聞名的札記並對量子電力學作了最受歡迎的簡化，這導致他對 β 衰變的描述。其中，電子及微中子的放射（emission）及吸收（absorption），都是用與光量子相似的方式處理的。這是另一種場：電子微中子場，亦即另一種場論。在日本、蘇聯、歐洲、此地及其他地方，人們注意到；費米的 β 衰變理論暗示了質子與中子間作生力的存在；因為中子能放出電子與微中子，而質子能吸收它們，而產生質點，動量及電荷的交換。雖然在預期中，電荷的交換是此種作用力的特性，但此種 β 感應力（ β -induced forces）在核距離內顯得很弱，且與核粒子間的距離有關。這兩點卻是不尋常的，因為實際觀察到的力相當強，並且與電磁力及重力迥異，具有極狹的作用範圍（ $\sim 10^{-13}\text{cm}$ ），此即原子特具的尺度。

作用力的範圍

就在這裏，湯川創造了他的理論。他曾就電子微中子理論提出過論文。仁科（Nishina）也曾表示對此深感興趣，但亦清楚的看出了其中的缺陷。於是湯川，靠著他較完美的理論，脫穎而出了。

湯川注意到，假若此種力場中的量子（quanta）具有有限的質量，那麼作用力範圍的存在此一事實便可瞭然。因此，他寫下的，不是鮑氏方程式（Poisson equation），而是

$$\nabla^2\phi + \left(-\frac{\mu c}{\hbar}\right)^2\phi = \rho$$

此處 ϕ 中為場之勢能（potential）， μ 為量子之質量， ρ 為核粒子之密度，亦即以 ϕ 為勢能的場的源源（source）。故，在遠大於 ρ 之大小的距離 r 處，可得

$$\phi \approx \frac{1}{r} e^{-\frac{\mu cr}{\hbar}}$$

這是對力的作用範圍的極佳說明。由此，湯川估計出，問題中出現的質量；較電子所有者大兩、三百倍。

湯川並以另一在邏輯上可完全分離的概念，來修飾他的提議：這些介子，既然它們並不明顯的存在於一般物質中，應當是放射性不安定（radioactively

unstable) 的，而且它們的放射性可解釋核粒子的 β 活性 (β -activity)——費米作用 (Fermi interaction)——。今日，有人提議這性質應屬於 schizons，它不具強作用，而強作用的質點，乃是由其共具的明顯特徵，顯示出它們是主要的放射性粒子，而有密切的相互關聯。

湯川理論天生所具的一般性應即被廣泛的察覺，並且，我想是，由威克 (Wick) 最先發表了。若各位先把介子看成比較輕的粒子——自然，這不是必須的，但在開始時很有助益的——，則當一個核粒子釋出一質量為 μ 的介子時，須耗去不少於 μc^2 的能量。由測不準關係 (uncertainty relation)，此狀態存在的時間遠長於 $\hbar/\mu c^2$ ；又因介子的運動不快於光子，它不能達到大於 $R \approx \hbar/\mu c$ 的範圍之外；這就是作用範圍與質量間的關係，它已成為物理中一個再三出現，並以許多形式一再被應用的基本論點，不僅限於在漫射論 (dispersion theory) 及對散射振幅 (scattering-amplitude) 與形式因子之解析形式 (analytic structure) 的近似處理上。

瀉雨 (Cascades) 及宇宙線

在這三十年中，我們在加州的地位是相當特殊的，因為安德生也在那裏，也爲了他及日後會與他共同實驗的一些人對宇宙線所作的研究。他經常給我們看那些不可思議的雲霧室照片，這些照片愈是完美與不可思議，他愈顯得悲哀。那個關於美人魚的故事——各位可能也聽說過——，便是在這裡開端的。一天我帶玻里到安德生的實驗室去看他最近的一些照片。安德生看來非常憂鬱，並且不住的搖頭，因為這些照片顯示的情況，是如此複雜而難以了解或解決。玻里被迷惑了，問道：「你爲什麼悲哀？你希望看到什麼？美人魚嗎？」。這句話，曾在不少文章中被重複過。

我們對於湯川論根本的正確性所具的信心，是我們覺得湯川的介子應當存在的一個理由。另一個理由，對我而言，究竟是動聽的。1932年以後，人們察覺， γ 射線在物質中被吸收，主要並非由康普吞效應 (Compton effect)，而是由成對產生 (pair production) 所致，其截面 (cross section) 在高能量時相當大並爲定值。這是由於在核電場中的成對產生之故。相似的公式，加上漸近線性的能量獨立關係，說明 γ 電子及正子通過此種場時釋出的 γ 輻射。這預示使得要將任何穿透性的輻射，不論帶電與否，與電子、正子及 γ 射線分辨此一工作變得十分困難。安德生的照片，顯示出無數的軌跡，穿透厚重的鉛板及金板，而未被吸收或產生可看出的作用。實際上，在海平面高度處，宇宙線中四分之三以上的射線都是如此，其中約有一半——但也不盡然——是帶負電荷的。而，人們所知中，只有電子帶有負電荷。

在 1935, 36 年時，我們像其他早已如此的人一般地說服了自己，量子電力學的公式，在應用到宇宙線中的 γ 輻射及成對產生方面時，錯的機會太少了。就

我們所信，這些現象中包含的四度動量 (four momentum) 的傳遞並不大，而且都是在此等公式已被證實的範圍之內。此外，其中牽涉到的電磁場也並非異乎尋常地強。因此，這些現象應當是一些已在實驗室中探討透徹的狀態的勞倫茲轉換 (Lorentz transforms)——因爲宇宙線所具的高能量。於是我們斷言，電子、正子及 γ 射線的穿透力都很弱，因爲它們很快就在一連串的碰撞及成對產生——此即當時我們稱之爲「倍增陣雨」 (multiplicative showers)，或不久之後更適當地稱之爲「瀉雨」——中轉變或退化了。關於這點，我和卡爾遜 (Carlson) 推出了一種理論，其中當然說明了羅西轉變 (Rossi transition) 及奧格 (Auger) 的大空氣陣雨 (great air shower) 這似乎澄清了這部份問題的性質。但；宇宙線粒子中，數量最多，帶有或正負電荷，比較具有高穿透力的其他一些卻又如何？

宇宙線中的介子

安德生以爲，這些具有穿透力的質點，不應全部，或大部份都如質子般重。因此，它們還是未被辨識的，也是未明瞭的。受到如此的激勵，沙伯 (Serber) 與我很快的寫下一篇短文，指出湯川的介子是存在的。而在這裡，宇宙射線中，它的確存在。在安德生及倪德梅 (Neddermeyer) 發表了他們的結果，而史屈特 (Street) 與史蒂文生 (Stevenson) 也有了大致相同的發現之後，我們才發表了那篇短文。一個月以後，湯川的那篇密切相關的論文也發表了。我們並沒有像最初所想像的那樣將介子具有放射性的證據包括在內，因爲波爾 (Bohr) 說服我們，在邏輯上這是完全可分開的一點。實際上也是這樣。但不及一年後，布萊卡特 (Blackett) 得到了較我們所發現者爲佳的證據，而發表了這一點。

很自然的，在歐洲，對湯川論文的回應會來得慢一些。在與宇宙線的關聯未被發表前，它似乎一直沒有受到注意。現在有一份關於這方面發展有趣的記錄，這是庫瑪爲去年在京都 (Kyoto) 舉行的介子發現三十週年慶典而寫的。庫瑪自己在這故事中擔任了一個很重要的角色。當然，最初時，在日本、歐洲及此地，人們注意著介子所可能具有的自轉及宇稱性；純數介子 (scalar mesons)，按最初的設想，是不太可能產生核子力的。在宇宙線介子中，我們可以顯示出，它們的自轉不能是 1，因爲假若如此，它們便會輻射出太多的 γ 射線，而不像我們所觀察到的般具有穿透力。我們想它是帶電的赝純數場 (psendoscalar fields)。我們懷著漸漸增大但仍被妥爲壓抑住的驚恐，注意到它們只顯示出很少的核互作用。它們除了多重的庫倫散射 (Coulomb scattering) 外不顯出任何可察覺的核散射 (nuclear scattering)，這些還不十分明顯的限制，卻不十分妙。我們試著發展出強耦合 (strong coupling) 理論來說明它。實際上，由這理論，我們確可得到大爲減少的核散射。

所有這些，在以後都被證明是無意義的。並沒有

人預示過「這些」宇宙線介子的存在。沒有人知道它們是什麼，在今天也沒有人能瞭解它們的存在。沒有人預期過這些，或對它們為何會存在，以及為何具有如許性質一事提出良好的說明。

庫瑪是在歐洲時注意到另一個問題的。它並非此等場的自轉及宇稱性的轉換性質，而是它的荷電性質，也就相當於所產生的核子力與電荷的關係。在貝律特(Breit)審慎的研究之後，質子與中子間的作用力應與質子與質子者間無異這點已是不容懷疑了。假若只存在有帶電的介子，這就很令人迷惑，因為表現出質子——中子作用力之交換特質的，是單一帶電粒子的交換，而這在質子與質子間是不可能發生的。於是庫瑪，不僅假定了中性介子的存在，也創出了一套說明介子與核粒子間的作用，具電荷無關性，電荷對稱性以及電荷共軛不變性的理論。這理論不僅具電荷對稱性，也可導出交換作用力。這些中性介子很快就被廣泛的觀察到是電荷自共軛(charge self-conjugate)的，而且表現出對 γ 衰變的不安定。它視描述此介子時空對稱性的量子數而定，蛻變為二或三個光子。

重重阻礙

在這時候，我們中的許多人，都以不同的方式參加了大戰。我們都有一個印象：即介子——核粒子強耦合將呈將理論上極難解決，也可能是超過我們能力以外的問題。我們不能理解宇宙線中那些微小的介子——核粒子散射。我們以為湯川的見解大致是正確的，而他的介子應可在海平面高度處的宇宙線中發現。在某些國家中，如我們在日本的同行，在英國，義大利等地，有價值的工作仍在進行。在普林斯頓研究所(Princeton Institute)，玻里與他的同事也導出了強耦合理論的幾種形式。這些進展在日後促成康瓦西(Conversi et al)自他在羅馬的實驗結果中導出的：對此問題量具決定澄清性的結果。它們顯示，宇宙線介子與原子核間的作用非常微弱，亦即如日後所確認地，它預期中的數量級(order)與費米的 β 衰變作用相若，而非如極強的核子力，或能產生此等力的場般大。實際的觀察，將負介子的輻射衰變率(decay rate)與它們自穩靜介子化原子態(mesic stationary atomic state)中被捕獲者相比，並發現對輕核子而言，二者是相若的。當所有這些論點都被弄清楚之後，它就成為遠比微核散射更具決定性的憑據，證實了這些宇宙線介子並不符合湯川構想的要求——與核粒子作用並成為核作用力的媒介——。費米與泰勒(Teller)分析了介子化原子(mesic atom)，並顯示，假若湯川構想的程序具有預料中的或合理的可能性，這些被如此束縛住的介子將具有壓倒性的機會，在衰變前即被捕獲。在1947年六月，戰後首次隆重而密切的會議中，這些問題，與藍伯位移(Lamb shift)，電子的異常磁矩(anomalous magnetic moment)，及量子電力學中的重正化(renormalization)一起被提出討論。那時貝西(Bethe)及馬歇克(Marshak)提議，這些在宇宙線中發現的質點，可能是湯川介

子較為惰性的一種蛻變產物。這由鮑威爾(Powell)與奧西里尼(Occhialini)，以他們最新的依福(Ilford)乳膠片加以證實了。至此，我們將這質點錯認了十年之久。這點，已經很顯然了。

強作用及奇異性

在 π 介子的發現，以及由直接的中子——質子散射實驗再證實了核子力的交換特性後，很自然的令人重新考慮到中性的介子。我們發現；它能由 γ 衰變而產生極大量宇宙線中較柔性的成分；這樣便能解釋奧格陣雨，而入射線中並不須含有任何可察覺的電子與 γ 射線。這時中性 π 介子也在柏克萊(Berkeley)被發現了。它蛻變為兩個 γ 射線，這與湯川的 π 介子應為一膺純數場的想法相符。

於是，我們便有一個實實在在的問題，即如何描述介子與核粒子的交互作用。有許多年之久，人們試著用與電力學中相似的攝動論(perturbation theory)，但即使在戰前，耦合的強度就已使得它看起來是一——實際上也是如此——一個最沒希望的方法。而在戰後，以與泰恩——鄧可夫(Tamm-Dancoff)法相似的程序所作的努力，也沒有得到什麼有用的結果，因為它的基礎不怎麼穩固。故在某些方面，強耦合近似法，至少它的起點是依托在把介子質量視為遠小於核粒子之質量這點上，倒還提供了一些較適切的結果。例如，它預示了一種存在量甚少，自轉為 $3/2$ ，同位自轉亦為 $3/2$ 的同量素(isobar)。當費米及他的實驗室開始研究湯川的介子——不是宇宙線中那種惰性介子——在核粒子上的散射時，此種同量素以很特出的外貌出現了。實際上，它在散射振幅(scattering amplitude)上造成一個共振(resonance)。就是這點，才激勵了用以解決強作用的，更適當，也略為更矯飾的方法的發展。最初是周恩(Chew)的工作(其探討與強作用理論相似)，然後是羅(Low)的方程式，交叉法(crossing)，及前漫射關係(forward dispersion relations)〔後由高德柏格(Goldberger)再度發現，並由他及其他許多人大為推廣〕，所有這些形成了一個體系，在其中——漫射關係(dispersion relations)及其所表示的解析性(crossing symmetry)，包括交叉對稱性，包括一元性——，我們又能描述強作用質點的性質了。在今日看來，這套方式一般而言，對提供正確預示的能力相當貧弱，然而由此卻能得到一種描述，在其中，得自經驗的知識，以及臆測中之理論應具的規律性均可被表達出並加以利用。周斯特(Jost)記述，以前與攝動論的關係，所以未被明瞭，乃是由於須對拉丁及希臘字母系統有相當充份的熟習，而與數學無關。

宇宙線對質點物理最近的貢獻，是奇異質點(strange particles)這個偉大的發現。這裏有個顯見的矛盾，即它們自非奇異(non-strange)物質中的產生量，若與其蛻變回此等物質的緩慢程度相較，顯得太大。顯然，在這裏， π 與 μ 介子的把戲不再

會出現了。但當一個奇異質點自非奇異物質中產生時，另一個奇異性相反的質點也將起出現。此種可能的過程將產生兩個質點，它們自己只能藉弱作用力——而且是緩慢的——蛻變為非奇異物質，因為各蛻變都包含了奇異性的變化，而不會迅速的進行。因此，很顯然，若一負 π 介子——質子碰撞產生一 λ 質點——此質點有三分之二的機會再變回一質子及一負介子時，一個奇異性與 λ 質點相反的奇異介子，應在初次碰撞中出現。

奇異介子的史話本身，實在就是一個故事。它以 τ 及 θ 介子為中心，它們各蛻變為三個及兩個 π 介子。我不準備告訴各位，直到這兩種介子被確認為同一種，及李、楊所提議的弱作用中宇稱性的不守恒被吳健雄及其同事所證實之前，這是如何的一個纏結及紛擾。進行至此，我們能肯定，這工作還沒完成，一點都沒有。我們不明白，生命很長的 K 介子成為兩個 π 介子這種稀有的蛻變，雖然關於此點有許多理論，其中包括大部由李氏所導出，由於將電荷與重子數共軛作不當的匹配，而將這個神秘變得更大、更深奧的幾個。

尚存的疑惑

加上 κ 與 π 我們一共有七種介子，都是由膠純數場所描述的。一個全然不同的知識來源，是對質子與中子電磁形式因子的分析。以攝動理論的術語來說，我們預期質子為局限的(localized)電荷，當它分解為中子及介子時，就被較廣布的一個所替代。這個構圖並沒有找到任何經驗為其支持，而且有一段時間我們不清楚何種物理反應決定電荷的其佈。寫出形式因子的漫射積分(dispersion integral)後，我們發現，相對論及互補論(complementarity)的論點再次的說明了一些事情，弗雷茲(Frager)及佛哥(Fulco)顯示，為瞭解這形式因子，一定存在有至少一個 π - π 複合粒子——一種自轉為1，同位自轉為1，束縛在一起但並不穩定的東西——，並估計出它應具的質量及其不穩定的程度。有人尋找這些介子，而且很快地發現了它。我恐怕到現在為止，沒有任何對它們的性質、質量及幅度(width)所作清楚的計算是可能的，當然也不需要作這種嘗試。顯然，形式因子尚需要另一種向量介子(vector meson)，這一種是等位純

數的(isoscalar) (事實上很可能是種 Ω 介子)。不用說，我們還沒完成形式因子這工作，尤其在高動量傳遞時。

由 κ 共振(K resonance)，四種自轉為一，同位自轉 $\frac{1}{2}$ 為的激動態介子，的發現，我們便有了八種向量介子。第八種膠純數介子已被臆測了許久，也在被尋找下在範圍狹小而生命期很長的 η 介子中發現。但這些，以及第九種同位純數膠純數(isoscalar pseudoscalar)及同位純數向量介子，都使吉爾曼(Gell-Mann)及其同事的信心，為了一元對稱性及八重方式(eightfold way)確有幾分接近事實，而大為增強。

一元對稱性並非僅有或最先的可嘗試的方法。但它遠較其他數種，例如 O_4 或 G_2 ，有效得多。在這次會議期間，會對較大研究集團(groups)的情形作詳細的討論。我探詢過關於最近的一些工作及想法的記錄，其中包括，戴生(Dashen)與吉爾曼，葛西(Gürsey)與雷迪卡蒂(Radicati)，艾德勒(Adler)，威斯柏格(Weissberger)，佛比尼(Fubini)與加畢柏(Gabbibo)。這些，使我預期到更多重子及介子的被發現，在最近的研究中已出現了不少此種跡象。然而我覺得我們應否期待更重得多，也較為不熟悉的要素，quarks，的存在，則是值得深懷懷疑的一件事。

從前，在化學，原子物理，核子物理的發展史中，我們經常可排出大而複雜的一列質點，這是由數目少得多而更基本的質點，以相當單純——或接近於單純——的定律相互作用，而構成的。今日，我們應回想，quarks，就像重子及介子般，應為強作用質點，且是其他質點，及其他質點的組合，的組合。因此我以為，我們即將回到，將基本質點視為如同氫及重氫原子般，由簡單的成分以簡單的規律所構成，此種簡單想法的時代這事，是十分不可能的。

我覺得我們似乎正遭到遠較「更基本的質點」的發現為甚的一件奇事。預言，並非高齡老人的特權，或特有的美德。我只作一個。我想我們已不能再活過一個像將 π 介子錯認為湯川的質點，此種長達十年的笑話了。我以為，這是不會發生的，若非為了二次大戰的緣故。而這點，我也希望，是不會再發生了。

(上接第23頁)

換使在 $(u-v)$ 平面上得到是我們熟悉的題目。當然，這題目是愈簡單愈好。

A. 若 $\phi_{uu} + \phi_{vv} = 0$ ，在 $V=0$ 上 $\phi = \phi_1$ 在 $V=h$ 上， $\phi = \phi_2$ 於是 $\phi = \phi_1 + \frac{V}{h}(\phi_2 - \phi_1) = \phi(u, v)$ [$V = \text{Const}$ 是等位線。]

於是，如果我們碰到一個題目：兩個導體各有一定電位，空間沒有電荷，解法就是「求一種轉換使導體1及導體2在 $U-V$ 平面上變成了 $V=0, V=h$ 那麼 $\phi(x, y) = \phi_1 + \frac{V(x, y)}{h}(\phi_2 - \phi_1)$ 這種例題一般

應用數學課本舉得最多，各位不妨參考 Pipes 的書，它的 Streamline 就是 $U = U(x, y) = \text{Constant}$

B. 若 $\begin{cases} V > 0 & \epsilon = \epsilon_1 \\ V < 0 & \epsilon = \epsilon_2 \end{cases}$ 在 $V > 0$ 處，有Source $\omega(U, V)$ 那麼在 $V > 0$ 區域的場的大小相當於由

$$\omega(U, V) - \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1} \omega(U, -V) \text{ 在 } \epsilon_1 \text{ 介質中產生的}$$

在 $V < 0$ 區域場的大小相當於由

$$\omega(U, V) \times \frac{2\epsilon_2}{\epsilon_2 + \epsilon_1} \text{ 在 } \epsilon_2 \text{ 介質中產生的。}$$

Jackor: Classical Electrodynamics Page 112.

這包含了兩個物例。