

由於流體是構成整個宇宙的主要物質形態，因此只有少數中的少數自然現象能逃離流體物理的環宇。由於其複雜且廣泛的運動性質，我們只能對其中的一小部分有系統化的了解與控制。雖然次核子，核子及原子粒子的定律一般咸認也能適用於這些粒子的集合體，然而這些具有流體性質的集合體卻有許多不能解釋的現象。

我們能藉著對週圍世界作巨觀的流體動力方面的了解而對它有更進一步的瞭解嗎？也許廿年後等計算儀對非線性的難題能有更好的解答時才能回答這問題；當然也可能在我們放棄對微觀現象的努力而對較大的組織系統下工夫之後。無論何種情形，這個問題都值得加以深究。

# 粒子

翁上林譯

作者簡介：亞伯拉罕·派斯(Abraham Pais)

現任洛克斐勒(Rockefeller)大學教授。1941年得到荷蘭烏特勒克(Utrecht)大學的博士學位並在該校與李恩·洛森非共同研究，其後又在哥本哈根與波爾(Niele Bohr)共同在理論物理研究所研究。1946年加入普林斯頓高等研究所並在1963年至1930年間在該處担任教授之職。

## 序 言

熱對冷；乾對濕；這些是在古代和中古世紀人們所臆測的「四種元素」中的性質成對的二種價值類型，一切的物體皆從其所產生：熱，乾火；熱，濕空氣；冷，濕水；冷，乾土。

電子，光子，質子和中子：這些是物質和輻射的四種基本原素，亦是在1930年初期一亦即在粒子物理開始發展之前一由實驗所證實的「早期的」粒子。微中子已被假設為第五種原素。質量，自轉和電荷也被公認為基本的性質。萬有引力，電磁力，核力和貝他衰變力也顯現出來；後二者是否同一，仍存在著臆測。同時相對量子場論的某些主要的「病症」已被診斷出來，而且只有一部分的治療為人所發現。

粒子物理是由探究物質的構造所發展出來的。這門新學問是年輕又具活力的典型，其主要的努力乃是朝向正確觀念的建立。當然，沒有一個正確的答案可回答此一問題：粒子物理有多久了？然而，如果我必須說出某一事件以標明粒子物理開始發展的一刻的話，我會選擇此一事件：1947年 $\mu$ 介子的發現！

「早期的」粒子是被非常充分的(sufficiently

)用來描述分子、原子、核子構造和輻射的現象。因此探究自然的「最終完密性」就有一種即將來臨的意味，我們可以想像我們已經有了構成物質的最基本的建築材料。然而 $\mu$ 介子的發現卻給予這種美夢一個嚴重的打擊。我們現在確信「早期的」粒子僅僅代表瞭解物質的構造和基本力所必需的成分的一小部而已，許多新的粒子特性，或者我們現在所稱的量子數，已被發現是必須的。新的力的性質，特別是它們的轉換性質和對稱性卻一直未被發現。

這些在過去四十年間的發展主要是由實驗上所得到的。有關粒子的寶貴的知識不單是由於新的加速器的建成，同時更是由於檢查和資料處理的重要而新的技巧所得來的。我們不應忘記我們所欠給「宇宙線研究」的一筆大債，它給予粒子物理發展的第一個衝力。在1930年中期，宇宙射線首先供給我們正子(positron)，然後是荷電介子，大部分是 $\mu$ 介子( $\mu$  mesons)，這些並非在1935年所假設的核子力， $\pi$ 介子的粒子乃是在1947年發現的宇宙線中 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ 衰變的內容。這個事實，以及在1940年末發現宇宙線中的「V粒子」，超粒子(hyperons)和 $\Lambda$ 介子，奠定了粒子物理發展的根基。很可能宇宙線的實驗研究將會導致基本上的變革。

## 四種力，二種微中子

基本力

現在我們知道有四種最原始的基本力，最古老的一種是萬有引力，關於它粒子物理到目前已沒什麼可說的了。雖然重力在物質間的作用佔有很重要的角色，然而在目前我們所研究的有關能量和距離的範圍內對於其他的粒子力來講，又顯得遜色多了。因此，我以下就不談它了。其次就是電磁力；強

作用力，包括核子力；最後則是弱作用力，它對於原子核的  $\beta$ -衰變， $\pi$ - $\mu$  衰變和許多的衰變過程有甚大的影響。

曾經有一段時期庫倫定律，安培定律，貝伐一沙拔特定律和其他定律都已知道，卻沒有力學上的方法將其彼此聯結起來。現在這四種基本力仍給人們一種迫切的希望：在最後能成爲一個更爲統一的理論的一部分，然而目前這條道路仍顯得十分黯淡。

電磁力和核子力都伴隨著場和量子，對於弱作用力是否也具有類似的性質仍是一個疑問。「弱場」的存在(W場)已被提出，而它的量子，W介子，也被尋求著，然而到目前爲止仍未成功。如果有W介子的存在，它們將甚可能重於  $2 \text{ GeV}/c^2$ 。W介子應該有多重並沒有先天上的線索可尋。不像  $\pi$  介子可由核力作用範圍來探求，在高能物理上關於弱作用的研究實驗，尤其是W介子的尋求構成了未來最重要的問題的一部分。高能量的微中子束在這方面是一個基本的工具，因爲微中子除了微弱的作用外沒有其他的影響。這個事實引起了一些巨大的問題。一個緩慢的微中子在每一光年厚的鉛塊中將造成一次的作用。而對於一個  $1 \text{ GeV}$  的微中子可得  $10^5$  的因素。我們需要一股極大的通量和巨大的防禦物來非常精確地濾出足以影響實驗的其他中性粒子。在布魯克海文所作的第一個微中子束的實驗中，其濾過器乃是密蘇里號戰艦的鋼板，而其主要的發現是有二種的微中子， $\nu/e$  (電子微中子) 和  $\nu/\mu$  ( $\mu$ 介子微中子)。

早期的和新的微中子

在我們未談到它之前，讓我們先來回憶一下「第一個微中子」的發現。這個粒子在  $\beta$ 衰變中被假設爲遵守能量，動量和角動量的守恆定律。守恆定律在目前並不像以前所想像的不被破壞，然而這三條守恆律仍被人相信是完全正確的。在微中子被人提出時，關於  $\beta$ 衰變中的守恆也被人表示了一些懷疑，這種懷疑只有當人們能夠看到這假設中的放射出來的微中子具有某些作用時才得以解除。於是在1956年由核子加速器發出的強烈的反電子微中子 ( $\bar{\nu}/e^*$ )就作了這樣的實驗。我們發現了這樣的作用： $\bar{\nu}/e^* + \text{質子} \rightarrow \text{中子} + e^+$ ，同時在較重的原子核中的  $\bar{\nu}/e$  吸收也被檢驗出來。

現在再來看二微中子的實驗。在  $\mu^+$  衰變中， $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}^*$ ，一個微中子對形成了。但是這樣一對粒子可能會消滅。若是這樣則在某處可造出一

個光子來： $\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$ ；然而這樣的衰變卻從未發現，即使它並不比  $e^+ + \nu + \bar{\nu}^*$  衰變包含更多的弱作用。因此正確的解釋應該是在這個衰變中  $\nu$  和  $\bar{\nu}^*$  並不是彼此互爲反粒子。我們現在把這一衰變寫成  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu/e + \nu/\mu^*$ 。

那麼  $\nu/e$  和  $\nu/\mu$  有什麼不同呢？不論何時當一個  $\mu^+$  造出時必伴隨著一個  $\nu/\mu$  就像在  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu/\mu$ 。一個  $\nu/e$  總是跟著一個  $e^+$  如同在  $\beta^+$  衰變中一樣。此可由證明一束  $\nu/\mu$  只能再造  $\mu^+$  而非  $e^+$  檢查出來。簡而言之，這就是二微中子的實驗，而也是我們現在所全都知道的關於  $\nu/e$  和  $\nu/\mu$  二者之間僅僅的不同而已，具有這種成對性似乎是大自然的狂妄的藝術品之一。它對應一對守恆定律：一個是有關  $\mu$  數目 ( $=1$ ，對於  $\mu^-$ ， $\nu/\mu$ ； $-1$ ，對於  $\mu^+$ ， $\bar{\nu}/\mu^*$ ；0其他)，另一個是關於  $e$  數目 ( $=1$ ，對於  $e^*$ ， $\nu/e$ ； $-1$ ，對於  $e^+$ ， $\bar{\nu}/e^*$ ；0其他)。  $\mu$  數目 +  $e$  數目 = 輕子數的守恆已被知道一段不算短的時期。

這個全部的  $\mu, e, \nu/e, \nu/\mu$  輕子族是非常奇怪的。它們和我們現在所知道的有關強作用粒子 (或者自1962年起稱爲 Hadrons) 的對稱性全然不同。然而大自然必有它的理由，而我們還未澈底明瞭。這就是爲什麼高能弱作用的研究成爲我們科學進步最大的希望之一的原由。

## 對 稱 (Hadron Symmetries)

同位自旋 (Isospin)：

這個發展起源於同位自旋 (isospin)，我們常願認爲質子和中子是屬於 degenerate doublet 的核子 (N)，如果電磁作用忽略的話。同樣， $\pi^+$  和  $\pi^0$  形成三位一體 triplet，第一個粒子在1950年由加速器發現。從量物理的許多例子中我們知道，"degeneracy" 自然地伴隨著「不變性」(invariance) 而不變性又伴隨著守恆律，在這種情形下一個新的守恆律就出現了，即同位自旋， $T$ 。對核子而言， $T = \frac{1}{2}$  並「沿一較優的方向量子化」，我們令  $T_3 = \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ ，分別對應於質子和中子。同樣地， $\pi$  具有  $T = 1$ ，而  $\pi^+, \pi^0, \pi^-$  分別爲  $T_3 = 1, 0, -1$ 。較優的方向是從這事實來的，即粒子可由它們的電荷  $Q = T_3 + \frac{N}{2}$  ( $N$  爲核子數) 當然地加以分別。這  $Q$  的形式對於核子和  $\pi$  介子都可應用。我們已知在強作用中，全部的  $T$  和  $T_3$  是守恆的一而在電磁作用中， $T_3$  守恆， $T$  卻不守恆。這是不是「在某種空間中一較優的一方向」呢？目前我們所知道的並不比我們說  $T$ 「表現得像

是「一個角動量更多，以數學的清確性更絕對地來說，我們處理 T 分量為一個不變羣 SU (2) 的產生者。」

關於同位自旋的理論如何供給更迅速的洞察力的廣泛的知識乃是開始於1952年羅徹斯特會議。第一個  $\pi$  核子共振 ( $3, 3$ -共振) 已被發現。在共振區域內， $(\pi^+ + P \rightarrow \pi^+ + P) : (\pi^- + P \rightarrow \pi^- + P) : (\pi^- + P \rightarrow \pi^0 + n)$  的截面積 (cross-section) 比率是  $9 : 1 : 2$ 。這將相當於  $N^*$  粒子的產生 (帶適量的電荷， $\pi + N \rightarrow N^*$  假使  $N^*$  具有  $T = 3/2$ ， $N^*$  又很快的衰變成  $N + \pi$ 。

自從  $N^*$  日子以來許多更高的核子共振已被證為同一。大部分的工作仍在進步；特別是因為非彈性碰撞的過程使得共振的孤立和證明更形複雜。然而所有這些共振只不過代表過去二十年來所揭露的構造豐富的一面而已！

新光譜學 (a new spectroscopy)

上面所提到的共振具有一特定的半生期  $10^{-23}$  秒，然而，自從 1940 年末與 1950 年初，我們已知道例如在  $\pi$  核子碰撞中，其他的粒子，能同時產生，它們和核子類似，但是相對地來講其生存期卻有天文數字一般，大約  $10^{-10}$  秒。這些是超粒子。例如  $\Lambda$ 。

這個長的半衰期呈現了一個困惑：如同  $\pi + N \rightarrow N^*$  這些粒子在強作用中產生；同時也像  $N^*$  一樣，它們重得足以衰變回返成核子  $+ \pi$ 。然而很明顯地這種衰變被強烈地抑制著，而全然不像  $N^*$  衰變。這個過程由這結合的生成機械作用來解釋：例如， $\Lambda$  的產生經由強作用： $\pi + N \rightarrow \Lambda + K$ ，(K 是一個新的介子)，而我們可證明在這情形下，強生成和弱衰變  $\Lambda \rightarrow N + \pi$  (weak decoupled)。

超粒子和核子間的關係乃是所有的超粒子最後衰變成爲核子。因此核子的守恆變成核子 + 超粒子守恆或者重子 (baryon) 守恆，(自 1953 年起所說的)。這個守恆律我們相信是絕對的：所有的基本力都遵守這條定律。同時也有一些較不普遍性的守恆原理；例如，結合的生成作用可由新的守恆律，奇異性或者超電荷 (hypercharge) Y 來解釋。 $T^3, T_3$  和 Y 在強作用中守恆；只有  $T_3$  和 Y 在電磁上守恆； $T_3$  和 Y 在弱作用上不守恆；但電荷  $Q = T_3 + \frac{Y}{2}$  是絕對地守恆。這個 Q 的公式現在將以前的公式  $Q = T_3 + N/2$  衍伸而包含新的超電荷的自由度。

所有的重子的光譜可由如下來特定之。對每一個 Y 值，許多共振被發現具有不同的 T 和其他量子數。它們以強作用的形式，使 Y 守恆，向它們的「

Y 基層狀態」(ground state) 衰變，然後向重子的基層狀態——核子以弱作用的形式衰變。它和介子的過程非常的相似。這個新的光譜——這時代最重要的實驗之一，——已由分析多粒子作用的靈敏的技巧變得可能。

守恆律和違反律

首先，我們發現即使一個力並不遵守守恆律，它的違反的途徑也有著某種的法則系統，這就是違反律。因此弱作用力違反 Y，遵守這樣的違反規則：Y 的跳躍 (jump)  $\Delta Y$  只 =  $\pm 1$ ，這相同的力違反 T 則為  $\Delta T = 1/2$ 。

其次從更高度的對稱性來研究，吾人試圖找出 Y 和 T 與其 SU (2) 羣 (group) 之間更密切的關係。最後吾人發現 Y 和 T 插入 SU (3) 羣中時會導致一個非常有用而且更有規則性的 (hadrons)，這樣一個較大的稱稱，如果它是完全的話會導致較大的分化 (degeneracies)。然而我們只假設這羣是近似的而且跟著它又產生特殊的違反律，例如就像 SU (3) multiplets 分裂一樣。這樣子，同步自轉多重化 (multiplet) 就可被看出其與破裂的 SU (3) multiplets 之間的關聯。 $\Omega^-$  粒子——爲了滿足一種在其他方面完全的 SU (3) multiplet 所預測的一種粒子——的發現乃是對於 SU (3) 用處的一種非常漂亮的證據。

我們不知道在這些 hadron 對稱性和空時對稱性之間是否有某種的關聯。在這方面這些新的對稱性和物理學的某些其他部分的近似對稱性頗爲不同。例如，LS 耦合 (Russell-Sounders coupling) 在原子中是一種近似的「靜態」對稱 (Static Symmetry)，只有對具有很低的平均動量的狀態才耦合。這種「動力的對稱 (dynamical symmetries)」也出現在粒子物理中。SU (6) 是屬於這類靜態的。它使我們得以認識不同自轉的 SU (3) multiplet 之間的關聯。它最有趣的預測之一是質子和中子的磁矩比率  $-3/2$ 。

動力對稱可以產生對粒子動力學非常重要的線索。因此我們也許會懷疑是否像同步自轉這類的對稱在最後能夠在原始上成爲動力的。這些以及其他的研究，像「共線」，「共面對稱」和「非緊密羣對稱」等在未來的發展上將有其重要的角色。

Hadron 物理並不只是研究共振而已。共振區域現已知已超過  $2 \text{ GeV}/c^2$ 。但是有一個超共振區 (transresonance region) 較不岐嶇。在那兒，有關能量和動量的轉移依賴性之新而又重要的規則已被

發現。其他而且主要的有關強作用力的知識的來源獲致於 hadron 的電磁性和輕子性的研究，從這些研究我們已知許多有關原子散射的因素（又稱 Form Factors）1950 年後核子的發現（和以後其他反重子的發現）增加了許多知識。

### Hadrodynamics

我們不知道是否 hadrodynamics 和電力學中 Maxwell-Lorentz 方程式有何種的類似。在電力學中我們有一小參數，精細結構（fine structure）常數 $\alpha$ ，所有關於量子電力學的具體的知識乃繫於 $\alpha$ 的微小性。就目前我們所知道 hadrodynamics 並沒有相當於這樣的一個小 $\alpha$ 常數。因此當我們能夠對強作用現象假設場方程式時，我們仍不知道任何可靠的近似解；因此我們不能證明這些方程式是否正確。

如此 hadrodynamics 就不像電力學那樣進步。不顧這種場論的令人不齒的無窮性一種稱為「再常態化」（renormalization）的新的工具已導致對 $X$ 的較高次方的更有意義的有限答案的提出：在電磁現象中，有關強作用力的微小的回授效應，將很快的在實驗中指出。也許對於純粹的電磁性有其他的限制，高度精確的測量就像 $\mu$ 介子 $g-2$ 實驗對於這個問題有著決定性的重要性。

Hadrodynamics 也在向前進展。第一、有關場論的普遍公理內容的研究在進步中。第二、研究以完全普遍的假設人們能夠進展多遠的努力正不斷的貢獻出來，就像因果律和一元論，它不需要假設一種基本場論的存在。

這個進展過程普通被視為「色散理論」（dispersion theory）。它以早先的 $\pi$ 核子的色散關係開始於1955年左右，從嚴厲和有用與否的混合眼光來看，它們伊然是這個事業的最好者。其次，非早先的關係（nonforward relations）被推測而且部分已得到證明。雙色散關係，（double dispersion）包括在能量和動量的轉移，同時也被推測著。

這種關係的基本內涵乃是「振幅」（amplitude）的解析性質。在這方面的研究大致落入二個相關的範圍：一個試圖證明充分的解析性；以及一個假設它成立而尋求它的結果。因此稱為“crossing symmetry”的解析性質聯結著有關  $a+b \rightarrow c+d$ （s channel S 途徑）， $a+c^* \rightarrow b^*+d$ （t 途徑）和  $a+d^* \rightarrow b^*+c$ （U途徑）的振幅，（ $b^*$ 為反 $b$ ）。擾動（perturbation）擴展——在這方面有力的前導者之一，使吾人相信這解析的延續是可實現的。當

還未有普遍的證明時，這性質依然被使用著。這是人們如何試圖去同時推展幾個疆界的一個典型例子。

一個重要的例子是 Regge-hypothesis，根據這假設，一組具有相同的「內量子數」而不同的自轉的共振族被以動力學的方法聯結起來。由“crossing”性質，在 S channel 中的高能量行為在最簡單的情況下，以指數律出現，其指數與在 t 和 u channel 中的這種共振族所產生的有相互的關係。

動力學有多少可以用這些不同的解析性和推測來固定仍是一個問題。各種意見強烈地變化著，但是某些有趣而普遍的結果確是被這樣子得到。

## C, P, T: 弱動力學

### (Weak Dynamics)

分立的對稱 (Discrete symmetries)

我們可以說在這段時期裏對於弱交互作用結構的透視已經歷了一主要的發展。最先是它們的行為對於空間反射（P 不變性），時間的逆轉（T 不變性）和電荷的共軛（C 不變性）的發現。概略地講，C 不變性是說一個物理定律其所有的內稟多極矩（intrinsic multiple moment）（電荷、磁矩等）如果改變符號，其仍然保持不變。弱交互作用卻違反 P 不變性。對於這個發展的刺激是來自“ $\theta$ - $\tau$  矛盾（ $\theta$ - $\tau$  puzzle”），這是說：一個不自轉的粒子不能衰變成二個，或者，衰變成三個假純量（pseudoscalar）粒子，除非 P 被違反。P 違反的確實發現是在 1956 年  $\beta$  衰變的研究和緊接著的在  $\pi \rightarrow \mu$  衰變中一種相同效應的發現中所得到的。同時這些交互作用也被發現違反 C。然而一些秩序度 degree of order 從對這些不變性的了解，至相當的精確性，在聯合起來的倒置 CP 下，得以恢復。

乍看之下這些發展似乎預示著對於空時描述的新觀點；是否如此讓吾人拭目以待。事實上這些不變性隱含著微妙的量子力學上的相位關係。所發生的是例如這些力可被分成幾部份，分別適合 P 不變性。然而這些部分並不凝結成總體的 P 不變性；一個不適當的配合或衝突產生了。一個非常重要且對於純粹空時性質關係最為密切的不變性是 CPT 不變性（CPT invariance），我們嚴格地相信它是真實的。

和 CP 不變性有關的，以及和所謂的「 $\gamma_5$  不變性」有關的乃是微中子的二分量理論（two component theory），它說微中子只與它們的兩個可能的 helicity states 之一成對配合，同時，CP 也產

生了許多關於粒子物理的最微妙的系統 ( $K^0, K^*$ ) 的知識。這是一對粒子，其質量差約為它的平均質量的  $10^{-13}$ ，這種差別確實被從精細的干涉現象中觀測出來。

然後在1964年如下的事又產生了。CP 不變性又變成不完全了，如同從中性的 K 系統中的小的違反所顯示出來。這時候沒有一種新的秩序被建立起來，也許去尋求繼續下去是什麼將是今天最大的挑戰。這個現象破壞了我們美好而單一的意識，它的解釋也許將非常的深奧。

#### Currents currents everywhere

其他有關弱動力學的知識已被搜集。吾人發現大部分的弱交互作用，它們有效地是 hadrons 和 leptons (輕子) 的四維向量流 (Four-vector currents)。hadron currents 具有一個向量部分  $V_\lambda$  和一個軸向量部分  $A_\lambda$ 。這個  $V-A$  理論從1930年起就建立了一個構造問題。

我們已學得有關  $V_\lambda$  和  $A_\lambda$  的知識。第一， $V_\lambda$  已被發現和電磁流之一部分有關。因此某些弱作用效應可以用電磁學上的參數 (弱磁性) 表示出來。第二，我們已知道  $A_\lambda$  的分離 (divergence) 和  $\pi$  場成正比。以這種方法吾人可以其他已知的參數來預測  $\pi-\mu$  衰變率。第三， $V_\lambda$  和  $A_\lambda$  在量子力學上是屬於 "current operators"。最後，關於這些和其他的 "current operators"——稱為 current algebra，——的交換關係也被精密的研究著。雖然這兒大部分仍存著疑問，但是也有某種程度的成功，特別是以  $\pi$  核子的散射知識去計算 Gamow-Teller 和  $\beta$  衰變的 Fermi 常數的絕對比率已成為可能。而且，許多有趣的 "soft pion" 的結果也被得到。

## 結 論

# 聲 學

R. Bruce Lindsay 原著

葉 伯 琦

聲學這門科學實際上接觸到人類經驗的各方面；因此由基本的物理，化學以及大多數的工程學到生命的科學它都是走在廣大的前端，在過去20年中它發展的程度可由『美國聲學協會』會員人數的增加由1300人 (1947) 到 4150 人 (1967) 來估計。在這段期間每年出版的會刊的頁數由少於 1000 頁

這幾頁乃是試圖給予非專家者有關粒子物理狀態的一些意識。這種狀態正如同一個人在演奏開始前片刻坐在交響樂大廳中一樣。在台上他將看到但並非全部的音樂師，他們在調整樂器。他聽到某件樂器奏出某一段短而明亮的章節；又聽到其他樂器奏出一段即興曲；也聽到一些錯誤的曲調。在這交響樂開始前的片刻令他有一種參與其事的感覺。

當第二次世界大戰結束時，能使用的最高的質子能量是 20 MeV——現在我們能夠得到 75 GeV，在這之間又有以下的：400—600 MeV 同步加速器；3 GeV 的布魯克海文核子加速器，柏克萊的貝他加速器 (Betatron)，Linais, Dubna, Saclay, DESY 和 Rutherford；以及布魯克海文和 CERN 30 GeV 機器等等。

法拉第和安德生；拉瑟福和凱依；他們的時代已過去了。這是一個集體努力 (team effort) 的時代。悲嘆這事猶如悲嘆熱力學第二定律。然而它並不表示高度個人主義科學家的結束，它改變了自然但並不改變各個大學對於物理界發展貢獻的價值。它強調了國家間和國際間合作的需要。CERN 在粒子物理的領導地位是戰後歐洲復甦最顯著的證明。

在這活躍的年代其收穫是相當豐富的：新的粒子，新的光譜學；新的從力到力的對稱結構；有關 C, P, T, 神聖觀念的推翻；新的動力學的開始；所有這些都是近二十年來的大豐收！

至於其後如何——誰能預測？我們所急切需要的是是一個更大的綜合。也許將會有某些所謂的「矛盾」(Paradoxes) 而使我們改正最基本的觀念。也許我們將會明瞭這些矛盾早已跟隨我們了。就像我們的知識是如此的不完全，我們學了許多，也發現了許多新奇而異常的問題。在這二十年來，我們非常開心地度過這一偉大而新奇的冒險生涯的先鋒，我們將能碰到更多，更新奇的事物，讓我們拭目以待吧！

(1947) 增至4150頁 (1967) 這是人類在聲學上的一大進步。

聲學的希臘原文意為『聽』，我們聲音在耳朵中的傳送的基本力學了解的穩定進步到了 Georg von Bekesy 在1961年得到生理學諾貝爾獎時達最高潮。在聽覺心理學 (psychology of hearing)