

科學哲學的增智模式 ——以原子論為例

林崇安
中央大學太空所

一、前言

●總綱：科學哲學是以「科學方法」對各種「存在」追根究底，以增加智慧、減除疑惑的一門學問。此中針對「原子」的存在問題追根究底，出現了「原子論」，這是探究物質世界的一個實例。

我們身外的山河大地和我們身上的肉體，是不是由某些相同的基本粒子所組成？從古至今，所有探索這一奧秘的學說，統稱作「原子論」。探索的過程中，離不開科學與哲學的交織運作。

二、躍升型的增智模式

科學哲學的「增智模式」是由【前科學】到【科學】和【後科學】的增長智慧、去除疑惑的探索過程，也就是經歷了【前科學 1】→【科學 1】→【後科學 1=前科學 2】→【科學 2】→【後科學 2=前科學 3】→【科學 3】…此中每一過程都有存有論和認識論的問題與嘗試的解答（含假說）。開始時，存有論的問題是：「所探討的對象是否存在？其基本性質為何？」認識論的問題是：「以何種方法去獲得該對象的正確知識？」一旦所探索的問題的解答，能夠理論與事實相互符合時，該部分就進入科學的階段，接著又有其他哲學問題的提出與答案的追尋，因而在科學哲學的這種增智模式下，智慧不斷增長著。以下用科學哲學的「增智模式」來說明人們對「原子論」的理解過程，此中有「躍升型」和「應用型」的不同。

【前科學 1】

問：有不可分割的最小粒子嗎？

古代哲學家的一些看法：

(1) 塔勒斯 (Thales, 625-547B.C.) 主張萬物的質料因是「水」。

- (2) 安那克西曼德 (Anaximander, 600B.C.) 主張萬物的質料因不是水，而是無限、周遍的「原始實體」。
- (3) 安那克西曼尼 (Anaximenes, 585-524B.C.) 主張空氣是「原始實體」。
- (4) 畢達哥拉斯 (Pythagoras, 571B.C.) 主張「萬物是數」。
- (5) 赫拉克利特 (Heraclitus, 西元前五世紀) 主張萬物的實體是火。
- (6) 恩培多克勒 (Empedocles, 西元前五世紀) 主張萬物是由土、水、火和空氣四種基本元素組成的。由一元論轉向多元論。
- (7) 留基帕 (Leukippos, 478B.C.) 和德莫克利圖 (Democritus, 420B.C.) 主張有不可分割的最小粒子：提出【原子論】，在希臘文中原子的意義就是「不可分割」的意思，他們並認為所有的物質都是由不同種類的大量原子所組成。德莫克利圖又認為只有原子和虛空是真實的存在。
- (8) 柏拉圖 (Plato, 427-347B.C.) 主張沒有不可分割的最小粒子：認為物質是連續的，人們可以將物質無限地分割成越來越小，最終將遇到立體幾何正多面體的數學形式，這些又可以由三角形來合成。
- (9) 亞里斯多德 (Aristotle, 384-322 B.C.) 認為天體和地球是由不同的材料所組成的：月以下的一切物體是由土、水、火、氣四種元素所組成，但這四種元素還不是「最終實體」，更基本的是四種性質—冷、熱、乾、濕，它們兩兩結合形成這四種元素，例如，冷和濕結合形成了水。月以上的天體則是由一種純潔的第五元素「乙太」所組成。

◎略評：

此階段存有論的看法：有的認為有最小粒子，有的認為沒有。
此階段認識論的方法：以思辯的方式臆測原子的有無，爭論一直持續，都沒有實際的證據。〔由觀測的事實〕→〔找出可能的已知原理和初始條件〕→〔推出可供檢驗的結果〕→〔檢驗〕。

【科學 1】

1803 年，英國的道爾頓提出「原子論」，指出分子的單元是由原子組成，因為化合物總是以一定的比例結合而成。

道爾頓「原子論」的要點：

- (1) 原子是組成化學元素的不可再分割的物質微粒。在化學反應中原子保持其本來的性質。
- (2) 同一種元素的所有原子的質量和性質完全相同。不同元素的原子具有不同的質量和性質。原子的質量是每一種元素的原子的最根本特徵。
- (3) 具有簡單數值比的元素的原子結合時，原子之間就發生化學反應而生成化合物。
- (4) 一種元素的原子與另一種元素的原子化合時，他們之間形成簡單的數值比。

〔通過實驗的檢驗和推理得知原子的存在〕

◎略評：

此階段存有論的看法：有最小粒子，稱之為「原子」。

此階段認識論的方法：以實驗和推理間接確認原子的存在。

【後科學 1 = 前科學 2】

問：道爾頓所說的原子是不可分割的最小粒子嗎？

〔時代背景〕

1895 年，倫琴 Roentgen 發現 X 射線。（得 1901 年諾貝爾物理獎）

1897 年，湯姆生 J.J.Thomson 發現電子的存在。（得 1905 物理獎）

說明：湯姆遜利用紅熱的金屬細絲發射出帶負電的電子，經過一電場加速到塗有磷光物質的螢幕上，產生一束束的閃光，顯示電子存在的證據。

1898 年，居里夫人發現放射性元素 Radium 鐳。（得 1903 物理獎）

1909 年，盧瑟福 E.Rutherford 確認放射性元素所放出的 alpha 粒子是氦離子，以此作為撞擊實驗的利器。（得 1908 化學獎）

說明：盧瑟福等人利用從放射性原子釋放出的 alpha 粒子，射向原子，觀測到會在原子內部發生大角度的偏折，因此盧瑟福推知原子裡面有質量密集的原子的存在。

【科學 2】

1911 年，盧瑟福提出原子之中央為帶正電荷的原子核，而電子在外圍繞的模型。

1914 年，波爾 N. Bohr 提出氫原子模型，引進軌道量子化的概念。（得 1922 物理獎）

1919 年，盧瑟福以 alpha 粒子撞擊空氣中的氮 N，發現由原子核反應所產生的質子（氫的原子核），並認為所有元素的原子核中都有質子。

1920 年，盧瑟福提出原子核是由質子和中子所組成。

說明：[原子]=[原子核]+[電子]

[原子核]=[質子]+[中子]

1924 年，德布洛依 de Broglie 提出粒子（如電子）具有波的性質的假說。（得 1929 物理獎）

1927 年，戴維生 C.J.Davison 和結梅 L.A.Germer 以及湯姆生 G.P.Thomson 以干涉實驗確認電子的波動性質。（戴、湯得 1937 物理獎）

1932 年，查德威克 Chadwick 以 alpha 粒子撞擊 Be 鈹，測到中子。（得 1935 物理獎）

費米 Fermi 利用中子作為撞擊實驗的利器。（得 1938 物理獎）

〔通過實驗的檢驗確認電子、質子和中子的存在〕

◎略評：

此階段存有論的看法：原子是由電子、質子和中子所組成，對各成分也有定性和定量的初步瞭解。

此階段認識論的方法：以實驗和推理來確認原子的組成。

【後科學 2=前科學 3】

問：電子、質子和中子是不可分割的基本粒子嗎？還有其他基本粒子嗎？

1928 年，狄拉克 Dirac 提出正子的理論。（得 1933 物理獎）

說明：狄拉克提出符合相對論要求的電子方程式，但有負能量的解。1930 年，他提出有負能量的量子態存在，但是它們已被電子佔據，由於不相容原理，其他電子無法進駐。一旦某個負能量態「空」了出來，就會像一個帶正電的粒子，這「空洞」是電子的反粒子，稱之為「正子」。反粒子是相對論與量子力學結合後不可避免的結果，所以所有粒子都有其反粒子。

1931 年，泡利 Pauli 提出微子的理論。（得 1945 物理獎）

1932 年，安德生 C.D.Anderson 測到正子的存在。（得 1936 物理獎）

1935 年，湯川秀樹預測介子（指 pion）的存在。（得 1949 物理獎）

說明：二帶電粒子間的電磁作用力以光子作媒介；任何二核子（質子、中子）間的強作用力以介子（指 pion）作媒介。

1937 年，安德生又測到渺子。

1947 年，鮑威爾 C.F.Powell 測到 pion 粒子的存在。（得 1950 物理獎）

說明：pion 粒子有 pion⁺，pion⁻，pion⁰ 三種。pion⁺ 和 pion⁻，都蛻變成渺子。pion⁰ 蛻變成二個光子。

1956 年，考恩 Cowan 和瑞那斯 Reines 測到微子的存在。

（瑞那斯與佩爾共得 1995 物理獎）

說明：此段期間測到上百種粒子。

1961 年，蓋爾曼(M. Gell-Mann)提出命名為「八聖道」的數學群 SU(3)，

把多種基本粒子納入體系，並預測有 Omega 負粒子的存在。

〔猜出新假說〕→〔以推理得出預測〕→〔檢驗〕

說明：

The classification scheme is called the eightfold way because it involves the operation of eight quantum numbers and because it recalls an aphorism attributed to the Buddha about the appropriate path to Nirvana :

“Now this, O monks, is the noble truth that leads to the cessation of pain: this is the noble Eightfold Way: namely right views, right intention, right speech, right action, right living, right effort, right mindfulness, right concentration.”

1964 年，果然測到 Omega 負粒子。（蓋爾曼為此獲得 1969 物理獎）

〔假說通過檢驗，成為原理〕

說明：各種粒子粗分為輕子（lepton，如電子、微中子）與強子（hadron）。強子分為介子（meson，如 pion = π 介子 = 派子、K 介子）與重子（baryon，如質子、中子、Omega 負粒子）。此中，強子（參與強交互作用的粒子）是否可再分割呢？

1964 年，蓋爾曼進一步提出「夸克模型」（此時提出三種夸克：上夸克 u、下夸克 d、奇夸克 s），主張夸克攜帶「分數電荷」（例如 1/3 電子電荷），並認為所有強子（介子與重子）都是由夸克所組成。

說明：此處提出夸克帶有分數電荷，這個假設令人懷疑。

〔猜出統一而簡單的新假說〕

1968 年，弗利德曼（J. I. Friedman）、肯達爾（H.W. Kendall）與泰勒

（R.E. Taylor）等人，於美國史丹佛線型加速器中心（SLAC）做

「深度非彈性散射」（deep inelastic scattering）實驗：將高能電子射向質子，然後觀測散射出來的結果，發現高能電子（22GeV）

會在質子內部發生大角度的偏折。(弗利德曼、肯達爾與泰勒三人為此獲得 1990 年物理獎)

[以實驗檢驗質子的內部結構]

【科學 3】

1968 年，理論家布優肯 (J. D. Bjorken) 與費曼對深度非彈性散射實驗結果的解釋：質子裡面有質量密集的基本粒子(部分子=夸克)的存在。電子和質子的深度非彈性散射可以看成是電子與夸克的彈性碰撞，而這些夸克彼此沒有交互作用，是近乎自由的粒子。

[將實驗的結果以推理得知夸克的存在事實]

由深度非彈性散射的實驗結果，夸克才從「假設」變成「事實」。

[蓋爾曼的假說通過檢驗後成為原理]

1970 年，格拉肖等人認為有第四種的魅夸克 (c)。

1974 年，丁肇中等人意外發現 J 粒子 (由 cc 組成)，間接確認了魅夸克的存在。(丁肇中等人為此獲得 1976 物理獎)

1975 年，佩爾 (M.L.Perl) 等人發現淘子，也間接確認淘微子的存在。(佩爾與瑞那斯為此共得 1995 物理獎)

1976 年，費米國家加速器實驗室 (FNAL) 發現第五種的底夸克。

註：「標準模型」=電弱理論+量子色動力學。

量子色動力學=描寫強作用粒子(夸克、膠子)的理論。

1994 年，又由 FNAL 發現第六種的頂夸克。

[標準模型通過檢驗，成為更完備的原理]

○歷年由觀測而推知存在的夸克和輕子：

1968 上夸克、1968 下夸克 (SLAC 實驗)；1897 電子、1956 電微子。

1975 魅夸克、奇異夸克；1937 渺子、1962 渺微子。

1994 頂夸克、1976 底夸克；1975 淘子 (Perl 帕爾勒)、1987 淘微子。

◎略評：

此階段存有論的看法(依標準模型)：物質是由夸克和輕子所組成，對各成分也有定性和定量的瞭解：

(1) 有六種「味道」的夸克：上、下、魅、奇、頂和底夸克。每種味道都帶有三種「顏色」：紅、綠和藍(夸克比可見光的波長小得多，沒有顏色這些術語，只是代號)。

(2) 有六種輕子：電子、電微子、渺子、渺微子、淘子、淘微子。

(3) 存有論下的新分類：

基本粒子的家譜有三代，每代有二夸克、二輕子：

第一代：上夸克 u、下夸克 d；電子、電微子。

第二代：魅夸克 c、奇異夸克 s；渺子、渺微子。

第三代：頂夸克 t、底夸克 b；淘子、淘微子。

(所有粒子都有其反粒子，如，反上夸克是上夸克的反粒子)

(4) 存有論下的性質：

上夸克 u：質量 (0.3GeV=310MeV)，電荷單位 (+2/3)

下夸克 d：質量 (0.3GeV)，電荷單位 (-1/3)

魅夸克 c：質量 (1.5GeV)，電荷單位 (+2/3)

奇異夸克 s：質量 (0.5GeV)，電荷單位 (-1/3)

頂夸克 t：質量 (174GeV)，電荷單位 (-1/3)

底夸克 b：質量 (4.3GeV)，電荷單位 (+2/3)

電子：質量 (0.5MeV)，電荷單位 (-1)，壽命 (無限)

電微子：質量 (0?)，電荷單位 (0)，壽命 (無限)

渺子：質量 (106MeV)，電荷單位 (-1)，平均壽命 (2.2 □ □
×10E-6 sec)

渺微子：質量 (0?)，電荷單位 (0)，壽命 (無限)

淘子：質量 (1777MeV)，電荷單位 (-1)，平均壽命 (2.9×10E-23
sec)

淘微子：質量 (0?)，電荷單位 (0)，壽命 (無限)

(5) 質子、中子、介子等的組成

質子：uud 組成，一個質子包含兩個上夸克 u 和一個下夸克 d；
質量 (938.26MeV)，電荷單位 (+1)，壽命 (無限?)。

[質子]=[上夸克]+[上夸克]+[下夸克]

中子：ddu 組成，一個中子包含兩個下夸克 d 和一個上夸克 u；
質量 (939.55MeV)，電荷單位 (0)，平均壽命 (918sec)。 □

[中子]=[下夸克]+[下夸克]+[上夸克]

(6) 一些介子 meson 的組成：(d=反夸克 d，u=反夸克 u)

pion+：u d 組成。質量 (139.6MeV)，平均壽命 (2.6×10E-8sec)

pion-：d u 組成。質量 (139.6MeV)，平均壽命 (2.6×10E-8sec)

pion 0：u u 或 d d 組成。質量 (135MeV)，平均壽命 (8.4×10E-
17sec)

(7) 一般的物質都是由第一代的粒子構成的。第二、三代的渺子、淘子較重而極不穩定，很快就衰變為第一代的粒子。

○此階段認識論的方法：以實驗和推理確認夸克及輕子的存在。由上也可以看出用愈高的能量才愈能深入粒子的內層，相對地，實驗也就愈困難了。

【後科學 3=前科學 4】

問：粒子物理中非常成功的標準模型是否已夠完備？

問：從太陽內部核融合所發射出來的電微子（電子微中子），為什麼在地球上偵測到的電微子數量只是理論預測值的一半到三分之一？

初步答案：可能是標準模型並不完備，在這模型中的三種微子（電微子、緲微子、淘微子）是質量為零，也不會相互轉換。然而加拿大蘇柏瑞微子觀測台（Sudbury Neutrino Observatory）和日本超級神岡偵測器的偵測結果顯示，微子帶有質量而且三種微子能相互轉換。從太陽發射出來的電微子在往地球途中，有的就轉變成緲微子或淘微子，一部分還維持電微子以參與上述偵測器的反應。所以，被偵測到的電微子數目少於預期值。（Phys. Rev. Lett. 87, 071301）

問：夸克是不可分割的基本粒子嗎？如果我們用更高的能量時，是否會發現這些粒子是由更小的粒子所組成的呢？

答：有的人認為，六種夸克太多了，要進一步研究夸克是否是由更小的物質單位所構成。

有的人認為，物質的結構沒有比夸克更低的了，夸克約是原子核的 $1/10^{15}$ ，這離最終尺度不遠了；約在 $1/10^{20}$ 的尺度內，引力的量子效應使時空變成模糊不清，在這一尺度上說「更小」是無意義的。

小結：

以上是以「躍升型」的增智模式來解說歷代如何探索「原子」這一主題，此中除了採用觀測、實驗與推理外，並以直覺或靈感猜測出新的假說，再經由檢驗來確認，由此得出新的原理，這是一種知識的躍升，和「應用型」的增智模式有所不同。也可以注意到諾貝爾物理獎喜歡頒給對「躍升」有貢獻的理論家和實驗家。

三、應用型的增智模式

【前科學 5】

問：夸克既然擠在質子內很小的空間中，應該是被強烈地束縛著，它們彼此之間為何沒有什麼交互作用？它們的行為怎麼可能像是自由粒子呢？

〔時代背景〕

(1a) 1954 年，葛爾曼和婁 (F. Low) 最早提出重整化群的概念並列出重整化群方程式。

(1b) 1960 年代中期，威爾森 (K. G. Wilson) 將重整化群發展成重要的場論工具，並在 1970 年應用於臨界現象，解決了數十年來的難題。(威爾森為此獲得 1982 年物理獎)

(2a) 1954 年，楊振寧和密爾斯所提出的楊·密規範理論是馬克斯威爾理論的推廣。1960 年人們已看出楊·密規範場論的重要，可以用來描述各種基本交互作用。但是楊·密規範場論有量子化與重整化的問題，不好處理。

(2b) 1971 年，伊霍特 (G. 't Hooft) 解決了這些量子化與重整化的問題。(他和指導教授維特曼 M. J. G. Veltman 為此獲得 1999 物理獎)

○1970 年起，普林斯頓大學的葛羅斯 (D.J. Gross) 和所指導的研究生威爾切克 (F. Wilczek) 試用威爾森的「重整化群理論」和「楊·密規範場論」來解決問題。另一方面，哈佛大學物理系的研究生波利徹 (H. D. Politzer) 正找博士論文題目，決定把指導教授寇曼所教的「重整化群理論」，用於「楊·密規範場論」，以了解高能物理的行為。

〔選出適合的已知原理和猜出初始條件 (含邊界條件)〕→〔推出可供檢驗的結果〕→〔檢驗〕。

【科學 5】

1973 年，在《物理評論通訊》的同一期，葛羅斯和威爾切克發表一篇 3 頁的短文；波利徹獨自一人也登出只有 3 頁的計算結果。

說明：他們計算後就發現「漸近自由」的存在——當夸克彼此越靠近，交互作用就越小；當夸克越遠離，交互作用就越強，所以永遠綁在一起，而不能成為自由粒子。楊·密規範場論正好可以用來解釋史丹佛線型加速器的實驗。

〔通過檢驗後，歸入合乎科學的檔案、實例〕

(葛、威、波三人解決了謎題而獲得 2004 年諾貝爾物理獎。)
插曲：漸近自由的物理意義，葛、威、波三人原先並不十分了解，最了解楊·密理論的霍夫特，其實早已預知有漸近自由的特性，只是忙於其他研究，未進一步發表，霍夫特說：
如果從磁性的角度來看，屏蔽效應就等同「抗磁性」，反屏蔽效應就等同「順磁性」。既然楊·密粒子帶自旋又帶荷，就可能具有順磁性，不需要太困難的計算就可以確認這個性質。我們只要理解隱藏楊·密規範場論中順磁性的物理意義，就可以理解反屏蔽效應的理由，也就不會對於漸近自由這個性質感到那麼驚訝了。

◎略評：

此階段存有論的看法：有「漸近自由」的存在。

此階段認識論的方法：葛、威、波三人猜出適當的原理和初始條件，以推理解決強交互作用之謎，此屬於「偵探類」的增智模式。霍夫特則是透徹了解楊·密理論，由此預測會有「漸近自由」的存在（惜未早日寫出），此屬於「預測類」的增智模式。

小結：

以上是以「應用型」的增智模式來解說「漸近自由」這一謎題，採用已有的原理配合適當的初始條件，以推理來偵探，所以和「躍升型」的增智模式有所不同。

◎對實證論的大衝擊：

雖無法觀測到獨立的一個夸克，但不礙其被認為存在。

- (1) 在 1960 年代，葛爾曼和茲維格(George Zweig)各自嘗試降低當時所知之粒子家族的複雜性，所有這些粒子幾乎都是由夸克的簡單粒子所組成。夸克的概念應用至許多與中子、質子和介子(mesons)，以及所有其他假設由夸克所組成之粒子的物理學問題，通常有很好的效果。
- (2) 1960-1970 年初期，實驗物理學家盡其全力仍無法將夸克從假設包含夸克在內的粒子中單獨釋出。
- (3) 1970 年代初期出現有關強力的量子色動力學，它禁止一個自由夸克可被單獨釋出的任何過程。
- (4) 1973 年，普林斯頓的葛羅斯和維契克，以及哈佛的波利澤(David

Politzer)分別計算出，某些種類的量子場論具有所謂「漸近自由」(asymptotic freedom)的特殊屬性，此一現象早在 1967 年有關高能散射(high-energy scattering)的實驗中就被觀測到，此一成功很快引致有關夸克與膠子理論的量子色動力學被接受為強力的正確理論。

- (5) 在漸近自由後不久，一些理論家就提出膠子像光子一樣是無質量的說法。那麼膠子與夸克沒有被觀測到的原因，就是夸克和膠子間無質量的交換產生了一種長距離的力，使得欲將夸克或膠子彼此分開在原則上成為不可能。
- (6) 如果試將介子(由一個夸克和一個反夸克所組成的粒子)分開，則夸克和反夸克愈拉愈遠時所需的力就增加，直到最後必須加入許多的能量而有足夠能量創造一個新的夸克—反夸克對。然後，當一個夸克從真空併出並結合原先的反夸克時，一個反夸克也會從真空併出並結合原先的夸克，因此不是得到一個自由的夸克和一個自由的反夸克，而是兩組夸克—反夸克對，也就是兩個介子。
- (7) 夸克和膠子原則上無法被獨立觀測到的概念已被現代基本粒子物理學接受，但這並不礙於我們認為中子、質子和介子是由夸克組成。

◎化約論哲學的勝利：

從分子、原子往下到夸克，這種走向「化約」的哲學思想，是物質科學的主流，物理獎得主溫伯格說：

- (1) 所有正在從事研究的科學家們(以及或許大部分的一般人)實際上和我一樣都是化約論者。
- (2) 譬如，醫學研究由於係處理緊急、困難的問題，以至於新療法的提出經常必須基於醫學上的統計。即使一個新療法的提出係出於許多患者的經驗，若不能看出其如何能經由如生化學和細胞生物學等科學來化約式地解釋的話，它仍可能遭到許多的質疑。
- (3) 假設一份醫學刊物登載了兩篇以不同療法來治療腺病的文章：一為攝取雞湯，另一則為僅與國王接觸即可痊癒。即使這兩種療法所顯示的統計數據具有同等份量：
 - (a) 雞湯是一些所謂好東西的複雜混合物，所以誰知道它的什麼成分對導致腺病的細菌會有什麼效果？

- (b) 另一方面，無論提供了什麼樣的統計數據來支持一位國王的觸摸有助於治癒腺病，讀者們都會非常懷疑，因為他們無法看出這樣一種療法如何能被化約式地解釋出來。
- (4) 今日的生物學家如果抗議說這種療法毋須解釋，因為國王碰觸的力量係自然界中獨立的法則，與其他法則一樣基本而重要，那麼他將無法從同儕處得到許多鼓勵，因為他們都是處於一個化約世界觀的規範之下，其間並無此種獨立法則容身的空間。
- (5) 化約主義的態度提供了一個有效的過濾過程，使所有領域的科學家不用在不值得追求的概念上浪費他們的時光。就這層意義來看，我們現在都是化約論者。

四、結語

以上用科學哲學的「增智模式」來說明人們對「原子論」的探索過程，此中有「躍升型」和「應用型」的不同，也可看出整個過程離不開哲學的存有論和認識論。歷代的不斷增智過程中，由古代原先思辯下的「原子」，經由實驗而有道爾頓的「原子論」，而後才有盧瑟福的「原子模型」，最後深入到蓋爾曼的「夸克模型」或「標準模型」，此中透過不同的科學方法，人們對基本粒子的認知，與古代相比是不可同日而語的了。

依據今日粒子物理的「標準模型」，所有的物質是由夸克和輕子所構成。夸克這一基本粒子不能被「切割出來」，也就是說，沒有單獨存在的夸克，而是兩個或三個被拘束在一起，擠在很小的空間內，這已經不是古代所想的「切割出來」的孤獨粒子。輕子也是基本粒子，不是由夸克組成，可以單獨存在。有的輕子不帶電，有的只帶 1 個單位的電荷；而夸克則帶 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{2}{3}$ 單位的電荷。輕子感受到的是弱力，而夸克感受到的是強力。雖然夸克和輕子有差別，但存在著微妙的對稱而有三代的對應。第一代只有四種粒子：上夸克、下夸克、電子及電微子。普通的物質全是這四種粒子所構成。質子和中子是由 3 個夸克所構成。原子核是由質子和中子所構成。原子是由原子核和電子所構成。還有很多先前被認為是獨立的粒子，現在知道是由夸克所結合的受激狀態。電微子只是在宇宙裏跑，不參與物質的構成。基本粒子的這些存有論上的特性，透過認識論的不斷追根究底而越來越清楚了。

集團加集團
自然界不喜歡大集團
切割再切割
自然界也不喜歡被切割。
遠了太孤單，近了太衝突
這齣大自然的戲
實在夠熱鬧。
