

# 物理底理論是什麼？

……謝 寧……

在著手研究物理底理論之前，對於有關於它的種種，是有必要弄清楚的。物理理論是否就是一組方程式，可經由它們導出其它方程式呢？如果是的，那麼最先的方程式是從何而來？當我們處理古典的理論時，難道就註定是錯誤的？因為我們知道所謂古典物理是「錯的」，而量子物理是「對的」。又如，用古典的語辭來討論電子時，在怎樣一個程度內才有意義？像這種以及其它類似的問題明顯地指出了一個事實，就是：忽略了物理中的哲學就是不懂物理。因為沒有任何理論物理不牽涉到某些哲學，若不承認這個事實就是自欺。讓我們在理論物理底哲學中作一簡短的瀏覽。

## 1. 物理中的理論底本質和目標

誰都知道物理是一門實驗科學。它的理論，也至少被認為是有用的。但一般人卻不常體認到，一般說來理論是做有意義的實驗所必需的。我們可以談論定義理論物理為一種心智的事業，在其中，想藉著一個邏輯——數學的「型架」(scheme)，把變化無窮的物理現象納入秩序。但這個型架顯然是特殊的一種。如果我們經常只是模糊地說及「理論」而知之不詳，當我們研究某一課題而進展到足夠說「我們現在懂了」時，某些十分特別的事情就會發生。

一個物理理論，狹義地說，就是一個基於假設和定義的邏輯結構，它使我們能根據最少數的假設而預言最多數不同實驗的結果。我們通常要求假設（或公設）儘可能地是自明的，我們要求簡單、美甚至優雅。

所謂「最多數的不同實驗」說得更好一點應該是「最大的有效範圍」(The maximum domain of validity)。這當然得先承認一個理論底有效範圍是有限度的。對於那些熟知熱力學，幾何光學，牛頓力學或馬克士威爾電動力學的物理學家，這是很明顯的事實。

有效範圍極限底問題將在下節論文。現在假設

我們處於那些極限之內，並且我們有一個理論。我們因而可以解釋落於有效極限之內所有現象。這是說我們能夠藉著該理論底根本原理或假設說明任何這種問題。例如，當盛有相同氣體而處於不同溫度的兩容器適當地結合時，會自動達到一個平均溫度；而其反時過程 (time-reversed process) 却不會發生。這是以熱力學第二定律來解釋的。我們滿意這個解釋，而且不會對此第二定律追討，因為它是熱力學所以建立的公設。

下列兩個要點在這個關聯裏是很基本的。第一，有效極限底設立並非用來支持該理論的。當一個特殊的現象不能為此理論解釋時，我不能變更該理論底有效範圍來「救」那個理論。當理論發展到了某一程度，這些極限就岌岌如山地立定了，不能任加更移。這時，也就是它的涵蓋理論建立起來的時候，也就是包含第一個理論做為其近似值的第二個高層次的理論被發現的時候，我們在下一節會詳細地討論它。

第二個要點是要考察到，由此理論獲致的解釋在某方面的意味下是重言反復的 (tautological)。理論底起始之處是怎麼得來的呢？讓我們很粗略地重新建立它一次：實驗資料經過了研究與比較，規則找到了；新的實驗被提出了。最後我們發現了一個「自然律」。這是指我們發現了一個經印證而認可的命題，當有關的實驗做出來了而且無任何違反此定律的事實。這個定律是由觀察結果推論出來的。我們能由它反引出許多東西來，即把它置之於首並且解釋出物理系統應如何如何，此即為其有效性 (validity)。定律所預言的即由此獲得印證。在自然和以前一樣地持續其行為（這是深藏所有科學底下的沈默的假設）而且此定律確係有效底條件之下，這個過程才可能引出物理系統。

當我們陸續地發現自然律（如法拉第定律、安培定律），我們嘗試著在它們之間建立邏輯的關係（通常是以數學為工具）並且希望在最後能達到一個演繹的邏輯型架（如馬克士威爾底電磁理論），

在這裏，所有的特例皆可由少數基本假設（馬克士威爾方程式）導出。經由這樣的方法，一個理論可以建立起來。

在經歷了找尋「對」的定律和「對」的理論所必要的困擾之後，再也沒有人會對理論底預言確能與實驗相符，或因此之故所發生的現象能夠完全被理論解釋，而感到驚訝了。無論如何，我們說理論是「解釋」現象的。由此「科學的解釋」（scientific explanation）是循環的。所應強調、著重的是這個演繹系統的存在和正確與否，而不是它對現象的解釋。因為理論不是，同時也不能，從實驗導出。它是進入抽象和廣含的心靈的跨躍，它假定其對未來時間，對包括從前沒有做過的所有的實驗的有效性。因此，一個有效理論底「存在」是對科學的解釋至關緊要的一端。

我們現在可以定立理論物理底目標，不是企圖解釋現象，而是努力著建立更具包含性的物理理論和對它們各分枝的探討。

一個理論底公設化（axiomatization）通常是留給科學底哲學家（philosophers of science）去做。很少物理學家對這種超乎它底純粹數學的方面的手續感到興趣。無論如何，我們應瞭解，從邏輯的觀點來看，理論物理的最後產物是一個公設的、演繹的邏輯——數學的系統。

## 2. 理論的分階

任何理論多多少少是現象學的（phenomenological）。這是說任一理論總包括某些非該理論所能決定的量，而且這些量必然是基於適當的量度。在光學裏，折射率必須知道。在電動力學裏， $D$ 和 $E$ 以及 $B$ 和 $H$ 間的關係必須知道；如果這些關係是線型的，介電常數 $\epsilon$ 和滲入係數 $\mu$ 必須知道。在帶電粒子底理論裏，每個粒子底質量系電荷必須知道。

當我們對物理世界的知識愈增加，我們就能把理論構築得更精緻，而且所需要的觀察資料也更少。而理論也變得比較不是現象學的。例如，固態物理能使我們基於固體底化學組成和物理狀況計算出它的介電常數。因此，理論物理底進步明顯地指向一個包含一切的理論底最終結構，它是現象學地最少（phenomenologically minimal）。所謂最少是

指最少數的必需單位（因次）：長度、時間系質量，或其它任何三個由它們導出的獨立單位。因為一個理論只能給出無因次的數；同時這些數也必然是由置入該理論中的有因次的量構成的。

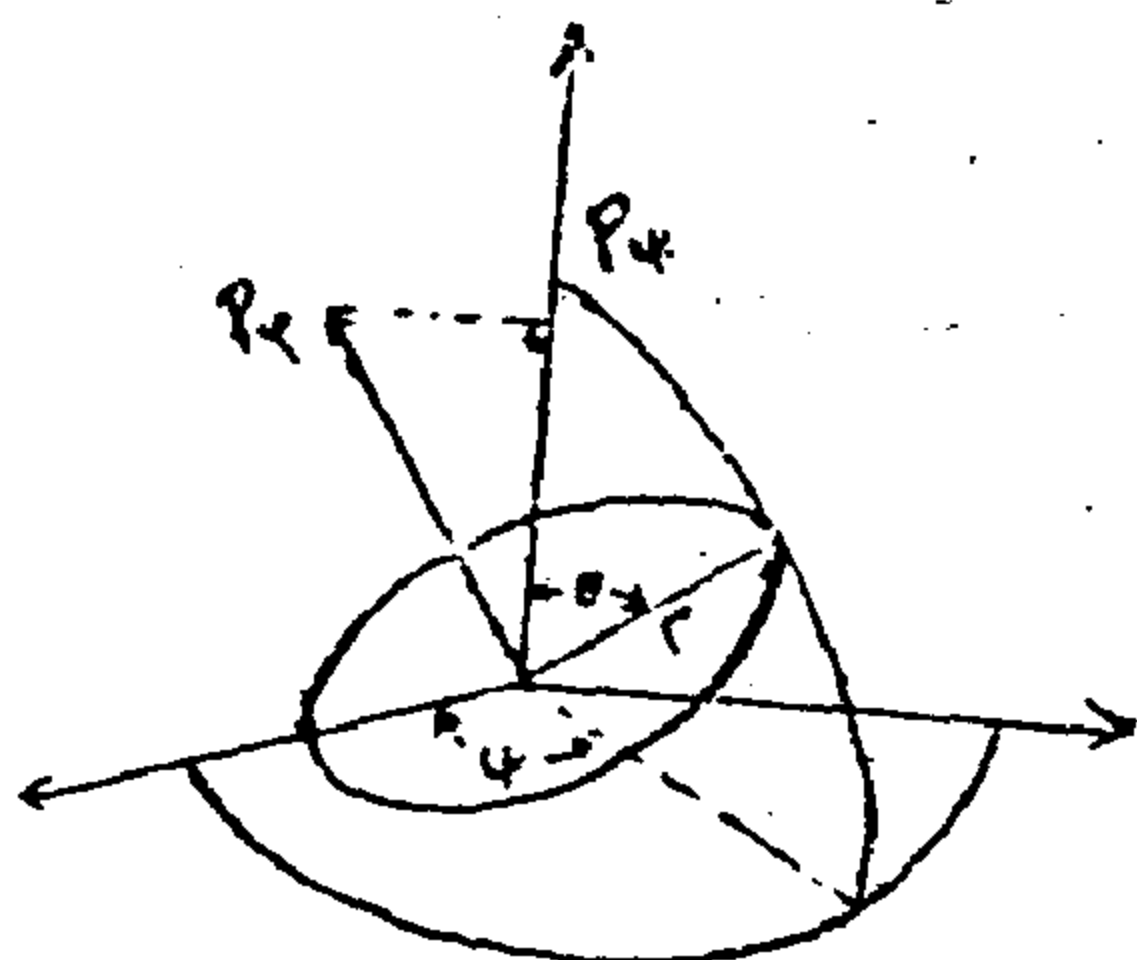
一個物理理論似乎只有限定的生命期。牛頓力學被相對論力學所取代，熱力學被統計力學所取代，古典力學被量子力學所取代。但是這些理論是否在很長的時期內被證明為「對的」之後，變為「錯的」？而實際上所發生的，是它們繼續提出正確的預言，只不過限定於一組有限的現象而已。例如牛頓力學被限定於速度甚小於光速的現象。它變成一個近似的理論。對於某一例子，它的近似性是否明顯完全依於實驗底精確程度。

因此，我們只道一個建立起來的理論在某個意味下是不會變為錯的；它只是被限制到一個有效範圍內。這個有效範圍可由不等式顯現其特性，例如 $(v/c \ll 1)$ 。這是說如果我們進行一項量度，其精確度為 $\delta$ ，則能被此理論正確描述的現象底範圍即可明白地決定。例如，所有那些 $(V/c)^2 < \delta$ 的現象。然而，增進的精確度可使理論的近似性變得更明顯。

但是理論有另外一個方面。在遠於所與量度的有效範圍之內，當一個理論底預測始終保持正確，該理論底根基，它的公設和底蘊的形象（模型）可能會被一個更廣的理論在根本上予以修正。如牛頓力學裏絕對時空的意念被特殊相對論所放棄。但是由於牛頓力學的預測（在它們的有效極限之內）也就是相對論的力學的預測，我們可以從兩者中任何一個觀念構架（conceptual framework）導出相同的結果。然而由於相對論的更為廣含因而被採取。它取代了牛頓力學。由此，任何理論的觀念構架是終必被取代的。

一個理論若能與另一個理論有效極限內的預測完全符合，我們可稱之為後者底涵蓋理論（covering theory）。特殊相對論是牛頓力學底涵蓋理論。廣義相對論是特殊相對論和牛頓力學、牛頓重力論底涵蓋理論。同樣地，馬克士威爾電動力學涵蓋住了幾何光學和物理光學；統計力學涵蓋住了熱力學和動力論；同時量子力學又是古典力學底涵蓋理論。

$\cos \alpha$  (如圖) =  $\frac{\text{在 } Z \text{ 方向的角動量}}{\text{總角動量}} = \frac{p_z}{p} = \frac{m}{k}$   
 $\alpha$  係  $p_z$  與  $p$  之間的夾角



$k$  是整數

所以  $m$  可為從  $-k$  到  $+k$  之間的正整數並非古典中  $m$  是連續的此稱為 Space Quantization。若場力是向心的，當然對各方向都有同樣的偏好，在這種情形下，空間的量子化不俱有任何意義。但如果原子處在一外在磁場或電場中那些電子的軌道面就是量子化的，也就是說只限制在  $(2k+1)$  個面上。這可由 Stern 及 Gerlach 的實驗證實。

上卷 46 頁 物理底理論是什麼

這就是為什麼一個理論的有效領域通常是無法知道的 (除了少數特殊實驗底徵示)，直到我們了解了它底涵義理論。微粒光學和波動光學之間的長期爭執，在一個很大的程度上，就是因為缺乏適當的有效極限底認識。

我們可看到理論存在着好幾個層次，一個理論各為其下一個底涵義理論。最高層理論是最為廣含的。物理理論的發展因此造就了一個理論的分階 (a hierarchy of theories)：牛頓力學——特殊相對論——廣義相對論，非相對論的古典力學——非相對論的量子力學——相對論的量子力學——相對論的量子場論。

### 3. 理論分階底另一意義

人類研究周遭世界是有其先天限制的，從這個觀點來看，理論底分階更有其特殊意義。我們被限制在一個巨觀的、非相對論的、古典的世界底小範圍之內，我們行為在其中。所有自然底觀察必須歸縮到這個自然底「近似化」以便我能去領受它：

最後談一談 Stern-Gerlach 的實驗：

整個過程是將一束原子通過 inhomogeneous 的磁場中因為原子中電子繞原子核轉有  $\vec{\mu} = \frac{eh}{4\pi mc} \vec{k}$  =  $\mu_B \vec{k}$  的磁矩 (magnetic moment) 因此在通過不規則的磁場時就受了  $F_z = (\vec{\mu} \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial z})$

=  $\mu_z (\frac{\partial \vec{H}}{\partial z})_z$  的力原子就會偏向再用 detector 來測

$$\mu = \mu_B k$$

$$\mu_z = \mu_B k \cos(\vec{k}, \vec{H}) = \mu_B k \frac{m}{k} = m \mu_B$$

所以對  $k=1$ ， $m$  有三種可能情形即  $-1, 0, 1$  原子束在通過磁場就分為三。此證實了 Space Quantization 的存在。

附註：

$$\frac{d\theta}{dt} = \theta, \quad \frac{d\phi}{dt} = \phi, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \varphi, \quad \frac{dx}{dt} = x$$

$$\frac{dy}{dt} = y, \quad \frac{dz}{dt} = z, \quad \frac{d^2x}{dt^2} = x, \quad \frac{dr}{dt} = r$$

譬如，核子結構底最複雜的研究必歸縮於量度儀器操作底巨觀運動，歸於人類可聞的滴答聲，或歸於我們看得到的光譜上窄窄的光亮。為了能從微觀的、相對論的、或量子力學的世界「轉移」到人類「巨觀」的世界裡，我們必須有上述理論各階層底交互關係。

量子力學是一個特殊重要的例子。除非它能付諸觀察和量度，這個理論是無意義的。但是任何量度都牽涉到量子力學系統與古典系統 (我們的量度工具) 間的交互作用。換言之，我們處在一個系統底古典的、非相對論的限度之內，而這個系統必須「部分地」用量子力學、「部分地」用古典力學來描述。這種情境使得量子力學若無它的古典近似值便不完備：低層理論必須包含在較高層理論中作為適當的近似值，以便使我們能執行對高層理論的量度。

恰恰是這種情況，容許我們人類去研究自然，儘管我們只是自然的一部分。

~ 節譯自 F. Rohrlich 之 Classical Charged Particle, Ch. I ~