

電子的行爲

(上) 經過一種氣體時像質點

(下) 經過一種金屬薄片時像波浪

科學的新背景

琴斯 著
邵光謨 譯

開明
書店

原序

理論物理學歷次經過多少變化以後，現在好像已經到達一種比較安靜的狀況，裏面主要各點，差不多全有了相當一致的意見。我在這本書裏，曾經企圖用可能範圍內最簡單的辭句，以描寫現在這種情勢的綱要。我把我的圖形，畫在一種粗淺哲學的簡單背景上面——一個科學家的哲學，並不是一個玄學家的哲學——因為我和多數科學工作者一樣，以為如果沒有這樣一個背景，我們既不能把我們的新知識看成一個諧和的整體，也不能辨識他的全部價值。凡是不提到這種背景的陳述——例如說：「一個電子含有或然性的波浪，」或者說：「不能決定性的原理證明自然不能夠決定」——至多祇能表示出真理的一小部分。

我曾經設法臚列這種新知識，務使所具形式，能夠使每個讀者判斷他所有的哲學涵義。至於這些涵義究竟是什麼，很有若干正當分歧意見的餘地；不過據我想，要對於科學思想有重新確定方向表示懷疑的，一定很少。我不會抑制我自己的主張，以為變化最終所取的方向，或者要離開為十九世紀物理學特點的物質論和嚴格決定論所趨向的，大抵要比較諧和於我們的日常經驗。我的這部分工作，可以視為我以前一本小書——神祕的宇宙（The Mysterious Universe）——裏幾部分的推

論和解釋。

我曾經希望現在這本書，能達到一種鄭重的科學目的，對於物理學者和對於其他比較不專門的讀者，全一樣發生興趣和價值，不幸我覺得有時必須引用若干算學的符號和公式，纔能夠達到思想和敘述的必要精確。可是同時我曾經注意排比，使他們的一般目的，能得到非算學的讀者的認識，結果我希望他們覺得這本書的大部分，還可以瞭解。

一九三三年一月十九日，琴斯序於道爾京 (Dorking)。

譯者序

去年冬天，看見英國琴斯爵士 (Sir James Jeans) 所作神祕的宇宙 (The Mysterious Universe) 一書，覺得他文筆顯豁，便抽暇把他翻譯出來。後來又看見他所作的科學的新背景 (The New Background of Science)，性質和前書一樣，但是內容比較豐富，文筆一樣顯豁，雖然可以本身獨立，卻又能算是前書的補充或擴大，不覺又隨筆翻譯出來，便是現在這一本書。

近年以來，提倡科學的呼聲，似乎已經很高。不過一般人所謂科學，大抵是指着電燈、電話、汽機、鎗炮，或其他科學成就。這一類的東西，當然全是科學，在現今的中國，當然也全有迫切的需要。可是從根本上看，這並不是科學的精華。科學的精華，祇是若干定律和理論，祇是證明這些定律理論的若干實驗，要再進一步，祇是研究科學的方法或精神。所以現在一般人的提倡科學，頗有若干舍本逐末的嫌疑，恐怕要得到疲於奔命和事倍功半的結果。

現在最適當的方法，似乎是應當雙管齊下。一方面努力學習別人已有的造詣，以便應付目前的實際需要；一方面更要努力研究科學的基本原理，以期將來自己能獨創的發明。經過相當時期，自能有滿意的結果。

這本書所講的，絲毫不關於科學的實用，現在把他翻譯出來，目的祇在使國人略知現代科學理論研究的概況，或許能引起對於科學研究的興趣，如果再進而真正從事於研究科學，那更是譯者所切盼的了。

中華民國二十三年九月一日，光謨 自記於天津。

目 錄

第一章 接近外部的世界	一
二十世紀的物理學	一
感覺印象的世界	六
外部的世界	八
物質	一〇
物質的主要和次要性質	一二
原子論	一四
感覺印象的機械論	一九
光的本性	二〇
光子	二三
外面的世界	二六
實驗的資料	二七
自然的研究	二九

因果性決定和自由意志·····	三
新物理學·····	七
第二章 科學的方法·····	四一
科學的綜合·····	四一
對於自然的詰問·····	四二
天文學和相對論·····	四四
原子物理學和量子論·····	四七
對於實體的追求·····	五〇
自然的圖景·····	五四
主觀的自然·····	五六
第三章 外部世界的骨幹——空間和時間·····	六三
對於空間和時間的粗淺主張·····	六三
相對論以前空間和時間的主張·····	六五
空間的位置·····	六八

時間的位置.....七〇

邁克爾遜莫萊實驗.....七二

牛頓派的相對論.....七七

勞倫慈變式.....七八

相對論.....八四

客觀的空時.....八八

客觀的自然.....九一

過去現在將來.....九四

第四章 機械論.....一〇〇

 隔開一距離的動作.....一〇〇

 空間的曲度.....一〇一

 最短的途徑.....一〇六

 接觸作用.....一〇八

 最小的動作.....一一〇

 最小的間隔.....一一三

普通相對論..... 一三三

愛因斯坦的宇宙..... 一三四

擴大的宇宙..... 一六六

空間的性質..... 二二四

第五章 外部世界的組織——物質和放射..... 二二九

物質的構造..... 二二九

放射..... 一三一

量子..... 一三三

光子..... 一三四

放射的運動理論..... 一三七

質點放射圖景的不適當..... 一三九

自由振動..... 一四二

原子的光譜..... 一四六

能觀察的和不能觀察的..... 一四九

放射的川流..... 一五四

原子的構造.....一五六

海森堡的關係.....一六一

到達牛頓派力學的過渡.....一六六

第六章 波動力學.....一六九

波浪的圖景.....一六九

佈羅格利的波浪.....一七六

電子波浪的性質.....一八五

光子的波浪.....一八七

或然性的波浪.....一九二

主觀的或然性.....一九六

客觀的或然性.....一九七

第七章 不能決定性.....二〇一

不確定性原理.....二〇二

波浪圖景的解釋.....二〇五

電子波浪和或然性波浪	106
光波和或然性波浪	106
氫原子的波浪	111
客觀和主觀的波浪	115
決定論	110
第八章 事件	117
熱力學	117
熵	119
最大熵的最後狀況	131
馬克斯威爾的選擇精靈	135
生命的活動	137
空時和自然	139
心和物	143
算學的模型	151
到達最終實體的道路	156

第一章 接近外部的世界

二十世紀的物理學

一個世紀還不會走過他全部途程的三分之一，竟自得見物理科學上兩個重大的起伏。這種起伏關聯着，「相對性」和「量子」兩個名詞，並且更強迫現代物理學家在觀察自然時，不得不選用一種新的觀念背景，與十九世紀物理學家所用的，迥不相同。

十九世紀的物理學家，以為自然是佔據在空間的一堆物體，隨着時間的經過，在繼續不已的變化。所謂自然，完全在他本身以外，絲毫不相聯屬。他能夠隔開相當的距離，從事於研究，從事於探索。正如同天文學家從望遠鏡裏研究太陽的表面，或探險家從飛機上探索一片沙漠。他以為實驗室裏的器械，可以比成天文學家或探險家的望遠鏡；所指示出的事物，無論他看他們不看，一樣有在那裏；從地面上第一個人出現以前，直到最末一個人凍結消滅以後，他們總在那裏。最後，他對於自然，更採取一種「常識」的主張，以為外表和實體總沒有多大的差異。至於事物實體和外表不同的可能性，在一個哲學家的辯論會裏，或許是個可稱贊的題目，但是對於科學家說，和對於一個農夫一樣，卻沒有半點實際的關係。

那時的物理學家也許不會覺出，這些信仰的本身，實在就組成一種哲學的信條。誰也不會打算用抽象的論證，去證明這種說法的不錯；因為既然他能夠發生滿意的作用，就沒有這種抽象的論證的必要；科學以他為基礎所得到的成功，就是很好的證明。等到他果真有時停止作用，那時不妨再從容探究他的基礎，或是另外尋求一種新的哲學。

那種時候現在已經來到。舊哲學到了十九世紀的末尾，即行停止作用；二十世紀的物理學家，現在正自己創製一種新哲學，裏面的精華，是他不再把自然看成和他自己完全分離。有的時候，自然是他自己所製造，選擇，或抽取的；有的時候，自然是他自己所破壞的。

在幾種現象之下，據新量子理論的指示，自然就是被觀察所破壞的什麼東西。我們從飛機上遠遠的探索得來的已不能再是一片沙漠了。我們要探索，必須直接在上面踐踏過去，並且每行一步全帶起多少灰塵。要觀察一個原子的內部作用，就如同把蝴蝶的翅膀採下來藉以看他如何飛翔，如同把毒藥喫下肚去看他有什麼結果。每一個觀察，就破壞了被觀察的一部分宇宙；所以能貢獻的知識，祇是已成過去歷史的宇宙。

在其他幾種現象之下，尤其是相對理論所指示的空間時間現象，自然又好像虹霓。古代的猶太人——比喻十九世紀的物理學家——把虹霓看成一種客觀的構造，挂在天空給萬人觀看，是神人間契約的表徵，和支票上簽字具有相同的客觀性。我們現在知道這種客觀的虹霓，是一種幻覺。雨點

把日光分成多少種顏色的光綫，顏色光綫進入一個人的眼，便成爲這個人所見的虹霓。但是進入這個人眼的光綫，既是不能進入第二個人的眼，所以任何兩個人，永遠不能看見同一個虹霓。每個人的虹霓，是他自己兩眼的選擇，是從一種完全不是虹霓的客觀物體裏一種主觀的選擇。每個人所見的自然，也就與此相同。

再者，恰如一個人在村落的四周行走的時候，他所見的虹霓總是跟隨着他，因此自然也一樣跟隨着我們。我們無論以什麼樣的速度運動，總見自然使他自己恰好適合我們的運動，所以這種運動，對於自然的法則，並不生什麼差異。

不過這種比喻，於某點不大適宜。一道虹霓，藉着遙遠的山樹背景而運動的速度，把我們運動的速度也顯示給我們了。但是物理科學卻不能替自然也找出這樣一個背景。自然的全部，好像處處全跟隨着我們。

這些比喻雖然還不完善，他們已竟可以證明，有幾種觀念，以前認爲玄學所獨佔的，現今的物理學家也有相當認識的必要了。

萊佈資 (Leibzig) 的海森堡教授 (Pro. Heisenberg) 是近代理論物理學研究裏一位先輩，曾經用下面兩段話來說明現今的情勢：

「自從愛因斯坦 (Einstein) 的相對理論發表成立以後，這纔必須開始承認物理世界大異於

用日常經驗所想像的理想世界……因為近代實驗技術的精密，所得實驗結果，頓使舊觀念不得不加修改，新觀念不得不有成立；不過人類心理，對於範圍擴大的經驗和觀念，適應的總是很慢，所以相對理論在起初似乎討厭的抽象。可是他對於一種疑難的問題，既然能很簡單的加以解決，終久獲得舉世一致的承認。根據以上所述，顯然可見要解決原子物理學上的疑似各點，必須對於長久保持的舊觀念，再加進一步的放棄，纔能夠達到成功的境地……

「要使我們的思想和言語，全可以適應原子物理學的觀察，是一件很困難的工作，正如同對於相對理論的情形。關於相對理論，曾經證明最好是回到過去對於空間和時間問題的哲學理論。同樣，我們應當追述區分世界成主觀和客觀兩方面，所經困難的基本討論。有許多抽象理論，在近代理論物理學裏例證特性的，在過去的哲學裏曾經加以討論。不過那時這種抽象理論，據祇顧實體的科學家看來，僅當智力的操練，因之加以擯棄。可是到了現在，由於實驗技術的精巧，卻不得不加以鄭重的論述了。」——（見所著 *The Physical Principles of the Quantum Theory* 一書第六二頁，一九三〇年支加哥大學出版部印行。）

這種說法，絕不是提示否認一種客觀自然的存在，祇是說這種自然我們還不會能夠看見。我們祇於能見在自己所揚起灰塵裏的自然；我們祇能看見虹霓，但是產生光綫使我們藉以看見虹霓的，勢必另外有一種什麼太陽的存在。

西曆一八九九年，佈萊德利 (E. H. Bradley) 曾提議用下列的辭句，界說玄學的性質（見所著 *Appearance and Reality* 第二六一頁）：

「那一無裝點的物理世界，正是純粹物理科學的目標，並且好像是在一切心理以外，把屬於心理的完全抽出，其餘存在的便是自然。」

又過了幾行，他竟對我們說出現代物理科學情勢的難點，他說：

「我們有時忘記這個（自然的）世界，在我們每個人的心理史上，曾經有一個並不存在的時期。在那時候外部世界的分離，即把外部世界認為是我們感覺以外真實存在的東西，還不會開始。物理世界無論是否獨立存在，對於我們每個人說，總是從全部實體裏的一種抽象的觀念。」

一個十九世紀的物理學家，看了這個以後，必要把「與外部世界的分離還不會開始的時期」看成他極幼小時期的幾天，絕不想他自己雖是一個成年的科學家，卻還不會完成這種分離作用。一直到了二十世紀，纔在愛因斯坦，鮑爾 (Bohr) 和海森堡諸氏領導以下，發現十九世紀對於自然的敘述，帶有幾何主觀的彩色。認清了這點以後，他就打算舍棄了我們的人性眼鏡，專研究在外的客觀實體。他證明惟有用這種方法，纔可以獲得自然的一致敘述。因此，二十世紀物理科學的歷史，祇是逐漸舍棄純粹的人性觀點的記錄罷了。

一個物理學家如果能舍棄了他的人性眼鏡，再能看清那時進入他兩眼的新奇光綫，就會覺出

自己生活所在，是一個很不熟悉的世界，就是恰在他以前的，或者也未必能夠認識。我們現在必須設法說明這種思想變化的如何經過，並且在可能範圍內，敘述二十世紀物理學的新世界。

感覺印象的世界

我們要正當的接近這個世界，可以想像一個初生的孩童，有相當的意識，有經驗感覺和欲求的心理，並且有思想的能力。

在一起初，他除去自己本身以外沒有別的意識，也不知道一個外部的自然世界和他自身，他的思想，他的感想，顯然不同而隔離；也沒有過去的經驗作為他的思想背景，或藉以比較他現在的感覺。因為時間的經過，逐漸有了過去的經驗，心裏存留的記憶就作成了必須的背景。他開始用這種背景衡量他的感覺，發現他們常在變化。他們又可以分成兩類，一類是快樂的感覺，他願意重複或延長，一類是痛苦的感覺，他願意減少或避免。不久他又有一個可愁的發現，就是用他自己的意志，並不能使他的感覺全成為快樂的感覺。他發見他有種種需要，例如對於食物和溫暖的需要，如果不得着適當的滿足，他的感覺就不如需要滿足時快樂。這些需要，使他知道了生活裏的嚴酷事實，因為他發覺必須用他自身以外的東西，纔可以滿足。固定的動作，像吸吮糖漿或用針刺手，更產生深刻的快樂或痛苦感覺；而引起這些感覺的材料，糖和針，也是來自他本身以外。

這個孩童根據這些經驗便推論出一種環境的存在，並不是他自己的一部分——簡單說就是一種外部世界的存在。他以為一切身體的快樂和痛苦，全導源於這個外部的世界，所以他有種種引誘去企圖明瞭他的作用。他挨了燒，就知道了怕火，挨了咬，就知道了膽怯。因為這種經驗，使他發見外部世界的秩序和公律，成了一種原理，後來就叫做「自然界的一致性」——相類的原因產生相類的結果。最後，在他瞭解外部世界的努力中間，他更開始暫時賦予這個世界以種種性質，特性和佔有者。要說一種外部世界存在的推論，較諸猜想什麼特殊性質，特性，或佔有者和他相聯，顯然有較大的可能性。

因為這個孩童所確知的，祇有他心裏的感覺。假使這些感覺完全是從他心裏產生，他必願意使他們完全可喜，他既然不能夠這樣做，為安全起見，自然是假設必須有一種外部什麼的存在，以產生並且支配這些感覺。在另一方面，這種什麼的性質，永遠不能出猜想的範圍以外。這個孩童將永遠不能試驗他所猜想的絕對是非；最嚴密的試驗，祇是試驗他們相互間，或與所指定的現象間，彼此是否一致。這種試驗，祇於能夠反證，永遠不能證明。

這個孩童，在他全部生活裏，將假定一種外部世界的存在，並且造成種種猜想，以期瞭解他的作用。如果他用一種邏輯而系統的方法，來從事這種工作，我們就把他叫做一個科學家。

這孩童的感覺，是沿着五種途徑，達到他的心，通常我們叫做五官——視覺，聽覺，嗅覺，味覺，觸覺。

他們的職務，彼此全相類似。外界的什麼東西，感觸了身體的什麼部分——眼膜，耳鼓，鼻孔，舌尖，皮膚——這種印象，便沿着一種複雜的神經系統，傳到了腦筋。直到這個時期，印象的傳導，全是藉着原子的變化，但是在這時他卻過着我們所謂「心體」(Mind Body)的渡橋，到那一方面出現，他就是一種心的感覺，同時附以心的附屬物，像快樂或痛苦，滿意或發怒，狂喜或失望等等。

各種神經可以比做若干電話綫，傳導電流到一種牢獄室，然後再有適當的器械，改變成聲音，照像等等消息。這孩童是室內的囚犯，並且預定有終身監禁的命運。他除非藉着電綫所送來的消息，不能有關於外部世界的任何知識。這些消息也許是獄室外所生事件的真正報告，但是住在室裏的，將祇能用室內的含有物——思想和感覺——加以解釋。一個祇能直接認識思想和感覺的心，要想組成外部世界的真實圖景，其不可能，正如同一個盲人要瞭解日落的美景，或一個聾人要獲得一曲音樂的意義。就是一個超人的生物，直接從外部世界前來，仍舊不能對於這個獄囚說明外部世界的性質，祇因為他們彼此間將得不到互通的共用言語。不過這個獄囚，根據他的感覺藉着他的神經所送給他的零碎消息，仍舊可以自己企圖造成一種外部世界的譜和圖景，祇應用他的心所熟知的概念。科學便是一種系統而有組織的方法以造成這樣一個圖景的種種企圖。

外部的世界

這個孩童從他的感覺，所得到的最初消息，是把外部世界看成一堆物體，各個帶有程度不同的

持續性或時間上的連續性。不久他看出這些物體可以區分成若干特殊的類別。第一類是人類，和他自己大概相似，不同的祇在年齡、體積及其他特性。此外更有獸類、鳥類、魚類、蟲類，再有草類和樹類，最後還有無生物造成的物體。

日文、意志堅強、若此一、光學、參考。此

這孩童的心裏，不祇有感覺，並且還有意志。願意增加或減少某種特別感覺，以對於他是否快樂為轉移。既然發見他的感覺是來自外部世界物體的根性，他就要改變這種根性，以期避免痛苦，增加快樂。他發見，或是自覺着發現他有一種意志能力，藉着這種意志能力至少也可以希望促成他所欲求的變化。

不久他又發現有生物體和無生物體間一種主要的差異。經過些微的經驗，他能夠捉住一塊旋轉的石塊，沒有什麼困難，因為石塊並沒有意志能力來反對他的意志能力；等到他打算捉獲一隻爬行的蒼蠅或黃蜂。他立刻便覺出一種反對的意志能力，蒼蠅是趨向避免捉獲，黃蜂是趨向報復捉獲。最後，他發見別的孩童，也有意志能力和他自己的一樣。他既然相信他的意志能力是從他的心裏產生，因之推論外部世界的一部分，是受他自己以外的心所支配，但是也和他的心類似；他的結論是宇宙間並不祇有他一個心。

等到他和這些別的心發生接觸，知道他們也經受感覺和欲求，和他自己一樣。他們還不祇賦有和他類似的感覺，但是最重要的，是他們所見的物體也類似他自己所見的物體。

這些物體還不祇種類相似，時常更是顯然完全相同。假使我數我屋裏的椅子是六把，那時通常的事件，我的同伴也數是六把。因為屢次有這一類的經驗，就表明他所看見的椅子正是我所看見的椅子。於是從一把椅子可以被一個心看見的知識，推廣到一把椅子可以被兩個心看見的知識，我們便據以推斷椅子有一種我們所謂「客觀的」存在——一個在我們各個心以外的存在。一種在我們兩個以外的什麼東西，我們泛泛的說他是一把椅子，可以使我們兩個全發生一種感覺印象，說是看見一把椅子。在這個時期，我們自然可以問道：「這種叫做椅子的是什麼呢？」我們去到物理學家那裏去尋求答案，因為他生平專從事於研究這一類的問題。

物質

他首先告訴我們，一切從外部世界所得到的感覺印象，全是由他所說的「物質而來」。這種「物質」的自身，不能對於我們的感覺直接發生印象，這種印象，只有藉着物質裏所發生的物理事件。精確的說，我們並不會看見太陽，看見的祇是太陽裏發生的事件。太陽影響我們的感覺，祇因為太陽原子裏的電子，繼續重新配置，結果纔有光的發出。同樣，我們並不會看見椅子，看見的祇是日光或電光落到椅子上的事件，假使我們在黑暗中碰着椅子，並不是感覺這把椅子，感覺的祇是椅子和我們身體間能力和動量轉移的事件。

在時間先後和因果順序上說，認識的活動，總是起源於距認識較遠的一端——在太陽，電光，或

椅子。例如，我們必須不像笛卡兒（Descartes）似的把視覺的活動竟自比成在空間摸索如同一個盲人的用手杖摸索。物體是認識活動的起點，並不是終點。

一種心印象的產生，或者由於心的自身活動，例如我在睡夢中，或者由於外部的事件，先從物質發生，然後再從我們的感覺達到我們的心。當我們許多人全經受相同或極相似的心印象，通常我們把他們認為外界的事件。當祇有一個人經受一個印象時，即使他生自一個外部事件，別人也一樣能夠獲得，我們為安全起見，可以說是認識者自己心的活動，也許由於受了他自己身體裏事件的刺激，有如食物過多而引起夢囈，或飲酒過量所引起的胡說。

所以物質可以界說成能夠發生客觀印象的東西——這種印象誰全可以認識，祇須位置適當去接受他們——例如把一道光送進我們的兩眼。我屋裏的椅子是物質，因為我和我的同伴如果睜開眼向那裏看去，全能夠看見他們。但是他要說看見紅色的蛇或粉紅的鼠，等我向他所指示的方向去看，卻不能看見。我就推論他的感覺是他自己所獨有。那假設的蛇和鼠，完全是他的想像創造，並不含有物質。在實際上，通常以照像底版作為最後的試驗。也許有一百個人說，他們看見一個印度人順着繩子上了天；但是在照洗適當的像片板上並沒有這印度人和繩索的影像，我們就拒絕把他們列入物質的範圍。

當我們不甚思索的時候，很容易把一個常見的現象當做物質。要是略加思索，就發見我們對於

他的知識，必須經過許多中間的時期——物質，事件，對於我們感覺的影響，在我們神經上的經行，在心體橋上的過渡——然後纔達到我們的心。因此，事件發生所在的物質，也許與我們自以為所見，所聽，或所覺的物質，彼此大不相同——一切魔術，法術，以及自欺的不自覺，完全有賴於這種區分的可能性。我們可以看見或照射一道虹霓，但是我們藉以看照成功的光綫，卻不是發自我們自己以為看見的虹霓，他們是發自太陽，藉着造成虹霓的兩點，把光綫反射到我們的兩眼或照像箱。一個鬼如果是一塊白幕上反射的月光，我們也能夠照出他的像來；但是影響照像底板的光綫，卻不是來自無形體的鬼，而是來自太陽。

物質的主要和次要性質

就是我自己和我的同伴，全毫無錯誤的看見一把客觀的椅子，這把椅子對於他所生的感覺，和對於我所生的，永遠不能十分相同。這一部分由於我們在不同的位置去看這把椅子，不過即使我們相繼從同一位置去看他，彼此仍舊不能相同。我對於這把椅子的認識，一部分取自這把椅子，還有一部分是取自我自己本身。

哲學家在沒有許多精確科學知識來輔助他們以前，早就把這種問題提出，便進而假設物體和一切物質各有種種特殊的性質，從事於討論。例如一把椅子，他們假設他有硬性，稜性，方性等，糖有硬性，甜性，白性等。他們把這些特性區分成兩類，一類叫做主要的性質，一類叫做次要的性質；也有

時——意義微有不同——區分成實質的性質和形容的性質，簡單說，那些次要或形容的性質，全是「感覺的性質」，可以直接達到我們的感覺。這些性質，可以因認識的狀況不同而發生變化，也可以因認識者感覺的狀況不同而發生變化。例如糖，一時看着是白色，但是另一時在不同的光線下或一個病人，看着又是黃色或灰色。這些次要或形容的性質，假設是發生自某種主要或實質的性質；後者的自身雖然不被直接認識，但是他卻不願認識者自身和癖性，一樣獨立存在。即使物體未被認識，這些性質照舊自己存在，他們是一切次要性質去掉後所剩的殘餘，是表面一切常變散沙以下的基石。這些主要性質的存在，必須附於真實物質的什麼基礎上面。

這樣嚴格區分兩類不同的性質，並沒有很好的理由，科學對於他也毫無所知。並且在事實上也沒有清楚的分界，對於那些是主要性質那些是次要性質，始終不會有一致的意見。

例如笛卡兒主張，僅有的主要性質便是在空間延展和運動。他說：「如果把延展和運動給我，我就把宇宙建造起來。」洛克 (Locke) 相信牛頓 (Newton) 的學說，認為每個物體全有不可變化的質量，因之把質量也加到裏面去。別的學者更有的主張在空間延展是唯一的主要性質，所有物體的可觀察性質，全是由此發生。在後面一章裏，我們將說到相對理論證明；所謂質量，所謂運動，所謂在空間延展，全不能被認為主要的性質。他們全有賴於認識者的種種特殊環境；所以一個物體的質量，運動，體積，全是他的次要性質，正如同同一把椅子的棕色或一堆糖的白色。因此根據相對理論說，如果有

主要性質的存在，顯然尚等候着我們的重新追求。

在相對理論成立許久以前，巴克萊 (Bishop Berkeley, 1685-1753) 和他領導的思想學派，主張完全沒有所謂主要性質，或者再精確一點，主要和次要性質間並沒有真正的區分。他們主張，物體祇是在我們心裏所生印象的總和，所以他要不被一個心認識或不在一個心裏存在，簡直就完全不存在。無論什麼東西的實質，也不多於我們在夢中所見東西的實質。因此纔引起哲學上的理想論——或者近代所說的唯心論——按照這種說法，通常所謂物質，完全是一種幻覺，實際上除了心以外什麼也不存在。

原子論

現在我們利用對於物質物理構造和特質的科學知識，重新開始追求那些主要的性質。

許多希臘的哲學家，從德毛克利塔斯 (Democritus) 以後，曾經想像物質所含，最後是若干不可分裂的硬粒，每個各有此物體全部所具的特質。這些微粒，最初叫做「原子」(原文爲 *α-τέλειον*，意義是不可分裂)，但是現在已經改成「分子」。例如說金，假設他質硬色黃是因為他含有質硬色黃的原子。他的黃色，並不是我們眼把他看成黃色，是因為他自身本來就是黃色。黃色便是金的一種主要性質。

原子論的假設，一向祇是一種哲學的思想，直到十八世紀達爾頓 (Dalton) 纔指出他如何能發

揮和解釋拉瓦錫爾(Lavoisier)在化學基礎方面的工作。到了十九世紀的後半，馬克斯威爾(Maxwell)及其他學者指明他可以簡單的，自然的，解釋了許多已知的氣體特質，於他的活動能力，又增進一步。到了現在，他已經是物理科學裏一種主要成分了。

通常知道：一個物體，或許是一種物質的勻淨整塊，例如水，或許是幾種物質的混合，例如一杯茶水。在這裏，茶杯或許是叫做磁土的一種物質所造成；裏面的茶水，卻是茶和水的混合，或許還有牛奶和白糖。我們發見，每種簡單的物質，例如水或磁，各以完全相同的分子所造成，每個分子的化學特質，完全同於整個的物質。極小一塊物質，就含有數目極大的分子；普通一個磁茶杯，大約含有一千億兆（萬萬爲億，萬億爲兆）個磁土分子，而裏面所能盛的水分子，數目還要較大。

每個分子，更造成以較小的單位，現在把他叫做「原子」。化學有方法把一切物質，全化成他們所含的原子，結果發見所有的分子，全祇是九十種的原子所合成。不過根據一種抽象的推理，預料還有兩種原子，將來可以發見，或者還有少數幾種的可能。

各原子的本身，又依次含有再簡單些的單位。據一般相信，他們共分兩種，叫做質子和電子。兩種全有電荷，每個電子的電荷和每個質子的電荷，數量相等符號相反。通常說質子所荷的是正電，電子所荷的是負電。質子全固定的停止在原子的中心，再加上若干電子，便共同組成一種密合的構造，我們叫做原子的「核」(Nucleus)。原子核以外，還有多少電子，他們大多數受異電相吸的引力，常在「
學

子核的附近，但是在最外層的卻附的不甚固結，往往可以容易離開他所屬的原子。

遇着一個原子所含質子，多於電子，他的全部電荷，便是正電，仍舊從外面吸取電子式的負電，主到過多的正電完全中和纔罷。到了這種狀況，原子纔達到他的平常穩固狀況。所以一個平常的原體必須含有彼此數目相同的電子和質子。最簡單的原子，是氫的原子，祇含有一個質子和一個電子；至於他的是氮的原子，含有四個電子和四個質子；再如氧的原子，就每種各含十六個；餘不遍舉。

這些荷電的質子和電子，是造成一切物體的基本單位。一種特別物質的物理特性，完全在這些單位，或是他們組合——原子或分子——的如何排列，完全確定。

例如，假使這些單位的中間，空隙很大，很容易把他們擠到一起，我們就說這種物質柔軟。假使他們彼此已經很密合，必須很大的壓力，纔可以使他們再加密合，我們就說這種物質堅硬。所以說鑽石堅硬，而炭和燈灰含有排列較鬆的類似原子，就比較柔軟。

再說，十八個質子和十八個電子合成一個水的分子，排列方法不阻止光線的通過，所以水是無色透明。在另一方面，二百五十八個電子和二百五十八個質子合成一個磁土分子，排列方法祇能經過極少光線。結果，落在磁土面上的光線，祇好轉回——並且沒有什麼規則，如同在鏡面上的反射，卻毫無規則的向各方面反射，如同一個水龍頭向牆面上噴的水，向四面飛濺。假使我們看向適當方向，當然這光線有一部分射進我們的眼，正如同我們站在牆的附近，必被濺溼。白色的光，像太陽光似的，

是各色光線的混合，所以太陽光線落到磁土上面，便有一種各色光線的混合光線，反射到我們的眼，我們就說磁土看着是白色。在另一方面，假使用藍色的光去照磁土，他就祇能反射藍色光線——因為沒有別色的光線可被反射——所以看着是藍色。我們知道磁器的白色，是一種照射的特質，並不是物質本身的特質。其他物質，像紙和棉布，在日光下看着色白，也是一樣；所有這些，全不過顯出他們被照的光線顏色罷了。

別的物質，有的有他們自具的顏色。例如說，一枝玫瑰花的紅色，並不祇是我們藉以看見他的光線性質。他的花瓣，除去紅色光線外，把所有別色光線完全吸收，但是落到那上面的紅色光線無不反射回來，可以進我們的眼。我們在通常日光下看玫瑰花，進我們眼的祇有紅色光線，我們就說玫瑰花看着是紅色。在另一方面，如果用藍色光線去照，那時就沒有紅色的光線反射進我們的眼來，所以看着他是無色或黑色。同樣，一個對於紅色色盲的人，要看一枝紅色的玫瑰花，無論在何色光線下，總是說他是無色或黑色。因為玫瑰花祇能送紅色光線進他眼，所以在他心裏成不了什麼印象。由此可見玫瑰花的紅色，有賴於以下三種因素——玫瑰花本身的紅色，所受照射光線的紅色，以及認識者看紅色的能力。

這樣一說，或許好像提示顏色是物體的一種次要性質，因為他有賴於認識者的感覺。不過科學上有一種顏色尺度，可以完全不受人類認識能力缺憾的影響。我們後來就要看出，光線是若干波長

不同的波浪。在平常人眼能見的，最長光波所生顏色印象，我們叫做紅色和橙色；最短光波所生，是紫色，藍色，青色；長短居中的光波所生，是黃色和綠色。要在反常的人眼裏，自然可以產生其他不同的印象。這樣，我們對於顏色的感覺估量，雖然一部分屬於主觀；但是我們能夠精確量出造成光的波浪的長短，因此獲得一種完全固定，完全精確，並且完全客觀的顏色尺度。

一列波浪裏，波頂和波槽的發現，總依照完全有規則的時間發見，通常叫做均勻波浪；兩個鄰近波頂或波槽間的距離，叫做他的「波長」一種光線，如果祇含有一種波長均勻的波浪，科學家把他叫做純粹顏色的光。通常他要不為說着簡便，總不肯說一種光是紅色；他要比較合於科學，總是說一種波長約 0.00006562 公分的光，並且這樣說就確指出一種確定的顏色，方式完全屬於客觀，精確程度祇受他所用小數位數的限制。我們平常藉以看東西的光——日光，電光，燭光——全是各種不同波長的波浪合成。他們可以說是含有光的各種純粹顏色，每種各有特殊的波長，依照比例混合組成。有一種叫做「分光鏡」(Spectroscope) 的機械，確乎能替我們造成這種分析，把任何種光分析成所含的幾種純粹顏色。最簡單的分光鏡，便是一滴清水，再比較有力的分光鏡，便有多少滴清水，例如草上的露珠或一陣雨的水點，全可以把日光分析成多少種顏色光線的虹霓。在這裏，我們看見一切純粹顏色的光線，依照他們波長排列成的順序——紅色，橙色，黃色，綠色，青色，藍色，紫色。這兩個實例指明，如果我們依舊要把一個物體的性質，分成主要次要，那時他的質子和電子，如

何存在及排列形式就得認為一個物體的主要性質例如顏色的性質就是由此發生再加以這件物體被認識時的特殊環境。不過在我們所見每種紅色之下，另外總有一種客觀的紅色，聯合於所見的物體或是照射物體的光線。

感覺印象的機械論

在我們能研究各種物體自己所有特質以前，我們必須能夠辨認什麼是認識者和認識活動所附屬的特殊環境。因此，外界物體如何對於我們五種感覺發生作用，便有加以明瞭的重要了。

嗅覺和味覺，全須直接接觸，纔能發生作用。當我說嗅着阿摩尼亞，那是說阿摩尼亞的分子怎樣進了我的鼻孔，怎樣被裏面的薄膜所吸收，因此怎樣影響了某種神經，結果纔傳達一種消息到了我的大腦。這個消息產生了一種感覺，我說是嗅着阿摩尼亞。味覺的作用，大致相類；我要嘗糖味，必須使糖直接接觸我的舌，因為這些微子被吸收，纔把一種消息送到我的腦，產生一種感覺，我說是一種甜味。觸覺也是直接接觸的作用；我要覺出一個物體，必須是這個物體的一部分怎樣實際接觸了我的皮膚。

在另一方面，我們聽見隔離物體的聲音，他們並不會接觸着我們的感覺器官。當我聽見了鈴聲，並不是由於鈴的某部分打擊了我的耳鼓，是由於鈴發出了聲波打擊我的耳鼓。鈴的震動，使四周空氣震動，空氣的震動，再使我的耳鼓，也隨着震動。這種震動纔產生一種感覺，我說是聽見一陣鈴的聲

音。而事實上所感受的，祇是耳內空氣或濃或稀的波浪影響。一切聲音的聽得，全是藉着與此大致類似的作用。

這樣，我們有三種感覺——嗅覺，觸覺，味覺——係藉直接接觸以認識一種物體；而第四種感覺，聽覺，是藉着物體在一種交通媒介（通常是空氣）裏所激動的波浪，以認識一種物體。至於視覺是怎樣發生作用呢？最明顯而又最膚淺的答案，是說他的作用，由於光線落到我們身體的一部分，叫做網膜，能夠覺察光線；但是這種答案，重新又引起一個問題，光是什麼？關於答復這個問題的努力經過，在科學歷史上，組成很冗長的一章。

光的本性

光的特性，最明顯易見的便是他有按直線前進的趨向——我們全熟知一道探照燈光的直線邊緣，以及日光在雲孔中透過後的形如直柱，而我們又時常用不透明物體遮住強烈光線的照射。凡此種種，全足使早日的科學家，以為光是發光體放出的一陣陣微子，有如鎗的放出子彈。牛頓採取了這種主張，作成他的「光之微粒說」(Corpuscular Theory of Light)。他假設我們所以看見太陽，是因為太陽時時放出他自身的小塊，其中有的進了我們的眼；正如同我們所以嗅着阿摩尼亞，是因為阿摩尼亞時時放出他自身的小塊，其中有的進了我們的鼻孔。

不過要把全部觀察事實，全放進這樣一個理論，證明有十分的困難。一個巨大的物體，所生陰影，

裏面任何物體可不受光的影響，正好像光線有如鎗彈。在另一方面，一個渺小物體，就沒有這種避護能力，光線從他的四周繞過，然後又重新聯合起來，結果並沒有完全的陰影，絲毫不受光線的透射。這種繞過阻礙物的特性，本是我們認為波浪的一種特性，並不認為投射物的一種特性。例如向着我們放鎗，中間的阻礙物或許使我們不致被擊，但是他不能使我們聽不見鎗聲。這是因為聲音是按着波浪形式前進，而波浪又能夠繞過一種阻礙物。

光和聲的這種相似性，又使科學家想像，光和聲一樣，也必須是波浪造成。正如同我們聽見鈴聲，是由於鈴的向外送音波，所以想像我們看見太陽或蠟燭，是由於他們向外送光波。以這種概念為基礎，纔產生了「光之波動說」(Undulatory Theory of Light)，把光看作波浪。牛頓既是始終主張光有質點的性質，對於這種理論表示反對；但是自從福瑞斯納(Fresnel)把他反對意見解除後，這種理論逐漸有很詳密的發展，結果看出他不祇能解釋微粒說所不能解釋的一切事實，並且能夠解釋光的其他許多已知特性。經過十八和十九世紀的大部分時間，總沒有發見一件事實，和波動說相反對；因此被認為對於光的本性的一種最後並且最完全的解釋。

不過那時以後，就發現這種解釋，既不足認為最後，也未嘗真正完善。我們現在知道，舊日的微粒說，實在含有大量的真理；因之微粒說和波動說，必須視為彼此相輔，不能說是彼此相反。從一方面看，光的現象極像波浪；但是從另一方面看，光又極像質點——有些像一把櫛梳可以看着像一系列小點，

也可以看着像一根直棍，祇須從不同的方向去看。

在後面一章（第五章）裏，我們就要說到，對於光有一個自身完整的算學敘述，可以說明光的一切已知性質，無論是像波浪或是像質點。但是在現在，我們祇能用比喻去敘述光的本性。

例如海裏的一個隆起，便是一個部分的比喻——不過祇是一種部分的比喻，並且時常引起誤會。在一種意義下，這種隆起是若干波浪所合成；但是在另一種意義下，他又是若干質點（海的分子）所合成。至於引起誤會的地方，是因為海浪容許客觀的敘述，完全不關於我們對於他們的觀察，證明他們確乎同時含有波浪和質點。對於光卻不是這樣。我們看他們或是像質點，或是像波浪，但是永遠不能同時像兩樣。祇要我們使他具有質點的特性，我們就使他掩蓋着波浪的特性；反過來也是一樣。如果我們把自己的人性眼鏡完全取消，就發見光也不是波浪，也不是質點。

不過在另外一點，這的確是一個好比喻。我們對於海水，可以看他的統計方面，也可以看他的個體方面。在統計方面，他含有若干波浪；在個體方面，他含有若干分子。同樣，從統計方面看光，他顯示出許多波浪的特性，從個體方面看光，他又顯出許多質點的特性。很濃的光可以當做若干波浪，但是我們對於極細微的光，卻必須當做若干不相連的質點。十九世紀的科學，因為不曾注意這樣細微的光，所以對於波動說表示滿意，他把光當做一道繼續的川流。但是這樣細微的光，在二十世紀的科學上既是非常重要的，乃致把光比成鎗裏射出的子彈，幾乎正同於舊日微粒說的假設。在後面另一章裏

(第六章) 我們對於這些將一一加以比較詳密的論述。

假使我們把光當做若干質點，那時我們所以看見太陽，是因為太陽用光子向着我們射擊。我們已經知道，太陽的物質構造是若干原子，而原子又是質子和電子所合成。不過太陽所放出的，既不是原子，又不是質子，也不是電子；物質裏還有一種成分，我們叫做「能」。但是是一些不知道他到底是什麼。他的存在，或許與物質聯合，或許不與物質聯合，成所謂「自由」的能。能可以從一塊物質轉到另一塊物質，但是他也可以完全跳開了物質，變成了自由的能在空間經行，我們把他叫做放射。

光子

假使我們把光看成質點，我們一定得說他是能的質點。這些自由經行的能質點，或說放射的子彈，通常叫做「光子」(Photons)。每一個光子，各帶有固定的算學量，性質有如長度；一羣光子裏每個光子的這種量，如果彼此價值全同，那時這羣光子全部所顯示的特性，就有許多類似若干波長與此量相等的波浪所顯示的特性。因為這個原故，通常纔把這個量叫做光子的「波長」。我們要明瞭他的意義，可以想像平常的無線電波，他無疑的祇是特殊一種放射，特點在全有特別長的波長。平常一架放送機，每秒鐘可放出光子 10^{23} 個，●例如說每個光子的波長是五百公尺。等他們到了一個距離

● 10^{23} 這個數目，寫出來就是 10000……(後面共有三十二個零。而 10^{-23} 就是一被 10^{23} 除所得的商數。例如

$$10^{-9} = 0.000001$$

遠的收電機上，祇是其很微小的一部分；而就是這樣微小一部分，所含光子的數目，還是很多，可以仍舊看成一道繼續的川流，這道川流的性質，就如同一列波長五百公尺的波浪。

光子和其各式能力一樣，有惰性或質量的特性。因此，他們對於所射到的東西發生壓力，在這裏又像鎗彈所發子彈的行爲。光的強烈程度如果夠高，一樣能打倒了一排人，不殊於機關鎗的一陣子彈。太陽所放出的能，每分鐘大約有二萬五千萬噸。按照微粒說的主張，這裏面含有質量極微的子彈，經行速度是每秒鐘十八萬六千英里。其中一部分射進我們的眼，刺激我們網膜，把能力移轉到我們的感光神經，給我們一種感覺，我們說是看見了太陽。一個電燈泡的燈絲，放出與此類似的光子，不過速度是每一百萬年還不到一英兩。其中一部分射進我們的眼，打擊我們的網膜，我們就看見了這個燈絲；另一部分落到我們的桌子和椅子上面，再從那裏反到我們的網膜，我們就說藉着電燈光看見了我們的桌子和椅子。這樣說來，視覺和嗅覺互相類似；祇是視覺的距離需要光子經過，是若干能力的子彈，嗅覺的距離需分子的經過，是若干物質的子彈。

不過視覺的機械論，較諸嗅覺的機械論，所給予我們的知識，既多一層複雜，又加一層詳密。影響我們嗅覺的分子，因為受其他分子的擠打，所取途徑是迴旋曲折，所以從各方面來到我們的鼻孔，我們平常不能說一種氣味確從何方飛來，祇能說空氣中佈滿一種氣味，至多也不過說大概從某方來的空氣是含有這種氣味。光子與分子不同的一點，就是他們彼此間並不發生作用，惟有物質纔能阻

止一個光子，或變更他的途徑。所以光子在空洞空間裏，是按直線方向前進，並且我們可以確知光是從何方來到我們。正如同照像機的鏡頭，可以使同一方向來的光子，全射到照像底板的同一部分，結果可以照成外部世界的圖景，我們人眼的結晶體，也可以使同一方向也就是從同一物體前來的光子，全射到網膜的同一部分。照此，落到我們網膜上的光，纔隨時做成影響我們視覺各種物體的圖景，而我們所見他們彼此間的相對秩序，也沒有錯誤。

如果我們同時嗅着幾種物體，我們幾乎祇能覺出一種無法區分的雜味。我們說東方的氣味，或一隻船的氣味，並不能列舉他們所含的各種氣味。對於我們的味覺，大體也相類似；我們所嘗的祇是菜味，並不是廚役所造成菜味的幾種原料味。我們的聽覺，作用似乎比較略好。我們要同時聽見幾種聲音，我們的兩耳能夠從結果聲音裏，分析成原來各種高低不同的聲音；就用這種辦法，我們纔能認出個人的聲音以及不同的樂器，平常的聽覺纔能在較高聲音裏集中聽一個同伴的較低聲音，訓練過的聽覺纔能把一隊音樂分析成一個個的曲譜。但是我們的兩眼，在分析能力方面，有遠低於此的程度。他們祇能指出光線所來的方向，完成不能把一道混合光分析成原來含有的各種不同顏色的。

過粗或過高的聲音，我們既是全不能聽，同樣我們也有看不見的光子。有的光子因為波長太短，我們不能看見；我們的感覺器官，對於他們雖然全不直接認識，他們或許把我們的皮膚灼痛。還有的光子，因為波長過長，我們也不能看見；其中有許多不代表光而代表熱；因為他們接觸我們的皮膚，纔

外面的世界

使我們知道太陽或火的溫熱。因此我們知道我們的皮膚，不祇能認識物質，並且能認識光子。

這樣說來，我們的五種感覺，作用大體相同；由於外界什麼可稱的東西——我們可以說他們有重量若干的東西——直接接觸着我們的感覺器官。我們對於糖的觸，嘗，嗅，是藉着我們的皮膚和薄膜直接接觸糖的微粒。我們聽見鈴聲，是由於空氣質點被鈴聲引起共動，因而打擊着我們的耳鼓。我們看見太陽，是因為太陽放出的光子，一部分打擊着我們眼的網膜。我們覺出他的熱度，是因為他的別種光子，怎樣衝擊着我們的皮膚。

所以普遍說來，我們說自己對於外部世界的經驗，是由於他的微細樣品，接觸了我們的感覺器官。外部世界含有物質和能力；外部世界的樣品是分子和光子。

不過外部世界的樣品，並不完全影響我們的感覺器官。我們的耳鼓，至多祇能感受十個音程，而自然界裏簡直有無數的音程；所以空氣有很多數震動，毫不影響我們的耳鼓。至於我們的眼，似乎選擇的更苛，按照波動說的說法，自然界的光波，可以有無數階段，而人眼能見的，祇是其中的一個階段。時常有人主張，我們既不能經驗自然的全部，所以永遠不能希望瞭解自然。有些動物的感覺，顯然與我們不同；例如蝙蝠和貓，據說所聽所見的便與我們不同，而犬類所嗅更明顯是不同的事物。世界對於他們，一定很不相同。同樣，我們的感覺器官如果改變了他們的靈敏程度，或是把我們現有的

感覺換成別種的感覺，或是把我們現有與外部世界的交通途徑加寬，這個世界對於我們一定全要大不相同。據這種主張說，我們觀察世界，至多祇能通過一種帶色的眼鏡，除去我們感覺所能諧和的幾種顏色以外，把所有其餘的顏色，完全加以拒絕摺斥——要使一個能看見全部光線的生物去看，勢必做成一種迥乎不同的敘述。

實驗的資料

科學上的方法，當然使我們的感覺，無論在性質方面和數量方面，全有相當的擴張。我們眼所能見的，祇是光的一個階段，但是我們能想像光的震動，低到不為任何人眼所見的，至少有三十個階段。在哲學上正考慮世界對於能看見這些震動的生物，是如何的不同，科學上便從事於製造這一類的眼——他們是我們通常所見的無線電機。我們也有方法研究，高於人眼所能見的震動。在事實上，曾經發見並且加以研究的震動範圍，已經括有大約六十三個階段——是平常人眼所見範圍的六十三倍。但是就祇這個限度，並不是科學的一種創製，還是自然界預備好在那裏等候着我們去看。同樣，分光鏡補救我們人眼的缺憾，把一道光可以分析成他所含的幾種顏色，並且使我們能夠測量各色光的波長，達到極高的精確程度。

科學對於我們的別種感覺，也用類似方法，同時在性質和數量方面，增加了他們的範圍和能力。我們不能摩一摩太陽，看他究竟熱到什麼程度；但是我們的「熱電偶」(Thermocouples)可以替

我們很精確的估計出他的溫度。我們不能嘗太陽的滋味，也不能嗅太陽的氣味，但是我們的分光鏡，可以全替我們去作——或者說他們給予我們關於太陽所含物質的認識，遠佳於任何多寡的嗅或嘗。我們完全沒有電的感覺，但是我們的電流計（Galvanometers）和驗電器（Electroscopes）卻補足了這種缺憾。

不過雖是這樣說，誰也不能說想像出我們所可有的各種感覺全部，也不能主張科學已經給予我們所有他們的代替物。我們想像中能有一種生物，完全不能看，聽，嗅，嘗，觸，但是另外有別種感覺不祇是我們所不知，並且是我們所不能想像。那時他們的世界，究竟是否類似我們的世界呢？

對於這一點的回答，是說物理科學所預備的研究器具，所發現的是一組頗能自成完整系統的現象。我們很可以正當的說，在他下面有一種實體，叫做物理的宇宙。至於這是否就是實體的全部，那就成了可辯論的問題。例如：有些生物學家主張，這個範圍括有生物學的全部範圍；還有的便想像用一種聯絡道路，把這個物理的範圍通到生命的全部新範圍。再有一般採取純粹物質觀點的，就主張物理學的範圍，已括有實體的全部，至於那些人相信的精神世界的實在——詩人，藝術家，法術家——全是相信在物理學的範圍以外，更有若干其他的範圍。

這些人，在他們比較不合理的心理狀況下面，頗有意主張這些其他的範圍，完全無關於物理學的範圍，他們彼此間也沒有什麼溝通的途徑，因此宇宙並不是一個而是許多個。這種論辯決不能經

受鄭重的考慮。藝術家或許時常自認他的創造，是在純粹物理平面以上的「較高平面」但是他不能以為和物理平面完全不聯；並且他的想像，究竟如何有賴於他的身體健康，如何有賴於所用的工具，那祇有他自己知道的最為親切。一個詩人在他傷風時寫出的詩，也不能十分類似在他不傷風時所寫出的詩。一個傳教師，剛向我們說完了富人要進「天國」是如何的困難，至少也不能繼續着就說世上的財富和「天國」既不同在一平面，並且彼此毫不關聯。

在這時，我們且祇說物理科學很適於討論這些問題。如果有路聯通物理學的範圍和精神的範圍，物理學就應當有發見這些路的時候，因為他們是從他自己的領域裏開始。物理學家要從事研究心理科學所自負的產生「生機外包」(Ectoplasm)，用所謂「直接聲音」(Direct Voice)談話，以及用非物質的方法以震動桌子或產生其他物質的現象，那在事實上就正是從事判斷這一類的溝通道路，是否實在。

自然的研究

自方便起見，在本章的結尾，最好略述人類對於瞭解外部世界作用的努力歷史。我們可以區分成三個重要的時期，他們的性質，分別用「生物的」(Animistic)，「力學的」(Mechanical)，和「算學的」(Mathematical)三個名詞代表。

生物的時期，特點是誤以為有若干大體和人自己相似的生物，用各種意念和情緒，便支配了自

然的途徑。我們的嬰孩，在能夠區分有生和無生物體以前，必須經過一種把他們兩種亂認的時期。他的不能捉到旋轉石子，正如同他的不能捉到爬行蒼蠅，結果乃指定相同的理由——石子和蒼蠅一樣，也是不願被捉。他被門夾傷了手指，他就把他愁痛的原因，委於門的玩皮。因為「人格」的概念，對於他有最密切和最直接的經驗，所以在起初纔使一切事物完全化成了人。

一個人的歷史，可以說是人類歷史的縮寫，所以人類在遠古的行爲，就是孩童在現今的行爲。有時他們以爲自然界的無生物，各具特殊的意志；有時假設他們是受制於各項神鬼精靈的意念。例如海上的風浪，並不是大西洋上氣壓降低漸向東移的結果，卻是海神佈賽頓 (Poseidon) 風神鮑拉 (Boreas) 向其他神靈玩戲的結果，或者更許爲干涉人類的事件。再如梅納勞 (Menelaos) 拉着當然不甚樂意的巴利 (Paris) 就死，被拉的頭盔帶忽然斷開，這不是因爲盔帶的引力抵不住那發怒丈夫的拉力，卻因爲——或者荷馬 (Homer) 這樣告訴我們——愛美女神 (Aphrodite) 自己替他弄斷，專報答以前所受金蘋果的好處。這種把任何事物全當做人的錯誤，遍佈於以前人類對於自然的全部主張，直到現在未開化的民族還未去掉，後來科學知識發生纔逐漸把他勝過。這種對於自然的主張，既是毫無考慮，並且幾乎出自本能，一部分由於人類把自己的形狀投射到自然，結果致使人與自然混淆，一部分由於把幼稚觀念祇加以固定的形式。

後來到了西曆紀元前第六世紀，古代希臘的時候，人類開始把智慧應用到自然的研究。他自覺

着很不必增加對於自然事實的知識，因此希臘的科學，大抵祇是些空洞的問題和想像，關於事物如何起源，而不及其他。

一直到了伽利略(Galileo)的時代，科學纔從宇宙發生學移轉到力學，並且從想像移轉到實驗。要影響無生物質，最簡單的方法便是用筋肉的力量去推他或拉他。人類實驗所用的物體，如果祇限於大小和人體相當的，那時所見的無生自然界，就好像含有若干彼此互相推拉的碎塊。就如同我們用筋力對於他們的推拉。因此，纔發生了力學的科學。一塊塊的物質，假設彼此互相發生「動力」這些動力便是物體運動或變化運動的原因。那時發見每種物體所受的推拉如果盡知，他的行為便因之全部完全決定，更沒有什麼神聖或魔鬼前來干涉的餘地。一條盜帶，所受拉力如果過了他的引力立刻斷開，無論給愛美女神多少金蘋果，也不能使他斷的早些或晚些。氣壓變化坡度如果超過一定的程度，海上立刻就起風浪——餘類推。物體的運動，完全以所受其他物體的推拉為轉移，不與其他任何事物相關。

科學對於大小適中的物體，既然建立下這些公律，更進而想像他們支配了自然的全部。於是當牛頓在一六八七年用力學概念解釋了彗星的運動以後，便表示希望自然界的全部，到了相當時期，也將加以類似的解釋。又過了三年，惠根斯(Huygens)用下列言語，說明了這種原理，一直支配了以後兩世紀的物理科學（我們現在纔知道他陷於錯誤）他說：●

「在真正的哲學裏，一切自然現象全須有力學的認識。照我的意見，我們必須這樣作，要不然就得含棄瞭解物理學上任何事物的一切希望了。」

對於自然界作用的這種主張，尚有一種密切相聯的原理，叫做「自然界的一致性。」這種原理斷言：如果對於完全相同的物體，在完全相同的情勢下面，要是作同一個試驗，無論作多少次，結果必須永遠完全相同。這裏最簡單的解釋，自然是所觀察的物體，既然受到相同的拉和推，所以必須有相同的行爲。科學對於這種一致性，並不容許任何例外；如果有了什麼證實了的抵觸，那就依照判斷者的情形和智力，斷爲神異，詐騙，或自欺。並且正因爲實際觀察和日常經驗，似乎全很穩固的建立了這種原理，乃致使一般科學家，覺得他們對於他的簡單機械解釋，正完全是真正的解釋——物體的動作，正如同他們受其他物體的推或拉。

因果性決定性和自由意志

對於自然的這種主張，不久就顯出了遠大的含義，並且能引起遠大的問題。當一個物體推或拉另一個物體的時候，當時的一般情況，便決定了推或拉的密度。並且因此也決定了受影響物體的以後運動，乃至繼此而生的一般狀況，等等。從此可知，這時的情況可以決定次一時的情況，次一時的情況又可轉而決定又次一時的情況；如此推衍，以至於無限。宇宙的全部，看起來祇像一架機器，他的因

操縱而運行，最終歸於破舊，也全像一架機器。他的全部將來，正合於他的任何一時狀況，也如同這個狀況，必須已含於他在初造成一剎那的狀況。

在這裏自然不會計及任何外部的干涉，例如說各生物的意志能力等等。不過所謂意志能力的干涉，究竟能不能想到呢？如果自然界的嚴密系統，不會預備一切神靈活動的餘地，他果竟留出人類和動物從事類似活動的空隙麼？生理學家告訴我們，腦筋是身體的一部分並且與身體相連。除去反射行動以外，指揮我們身體動作的，就是我們腦筋的原子依照對於自然界的機械觀點，這些原子的動作，也一樣得服從他們所受的推或拉——正如同同一輛汽車的原子屠夫殺了一隻羊，原來指揮這動物跳躍的腦筋，立時就變成了機械的物質——羊腦，放在秤上，論磅出售。這種變化的完成，並不會含有一個原子的損失或增益。那麼推和拉對於這些腦原子的性質，為什麼在心從身體離去的一剎那，竟自有這樣急劇的變化？

這些最明顯的提示，自然是說這些原子所經受的推和拉，本同時有心和物兩個來源。簡單說，就是我們的意志能夠影響我們的腦原子，藉着腦原子又影響我們的身體原子。一般普通人，對於這種說法，立即承認，更不思及其他。他的確知道他的心，在相當限度以內，可以自由領導他的身體；例如他能隨意赴約，能在選舉紙上隨意畫一×號。他發聲叫狗不來，就可以鞭狗；遇見在支票上冒寫別人簽字的，就可以送進牢獄所有這些，全足以使他有一種自身一致的計劃，不祇合於他的直覺，並且合於

他的道德意識。

對於這種計劃的挑戰，最初不是來自科學，而是來自哲學，挑戰人是笛卡兒（Descartes, 1596-1650）。他的哲學把心和物看成兩種完全獨立的「東西」，每種各能自己獨立存在，並且彼此性質相差過遠，乃至不能互相發生作用——例如說一種是在空間以內存在，一種是在空間以外存在。因此，他想像心和物是在兩種平行而絕不相同的途徑上活動，彼此完全不能相互作用，但是卻能彼此諧和，有如有聲電影裏影與聲的諧和，所以每種心裏的思想，狀況和情緒，發生時總能適應當時原子的排列以及相聯的事件。

一個幼年童子，在第一次看見有聲電影的時候，很容易以為聲音是他眼前所見事件的自然產物，絕難相信與事件那樣自然相合的語聲，竟自是許久以前的配合。對於我們的思想以及我們世界的原子，情形也是這樣。他們彼此不祇很像互相適合，並且很像能互相發生。不過根據笛卡兒的主張，（後來萊佈尼茲也有這種主張，祇是方式略異）卻以為在創造的第一個早晨，就有至高無上的慈愛上帝，把身心兩方面的事件，很神奇的排列成完全而且連續的諧和狀況。信仰實際上不能夠移動山嶽，因為一個不可以秤衡，一個又很可以秤衡，不過這慈愛的上帝，卻使我們以為他可能。

因此，笛卡兒把身體比成「一架在地上的機械」，受着一種反射性機械的鼓動。他說：

「你或許看見我們皇家花園裏的洞穴和泉源，知道隨着水從來源流出的動力，自身就能夠轉

動種種的機器，也能夠使各種器具運動或發聲完全依照送水管的各種排佈方式我們可以把我所說這架機器的神經，比較各泉源機器的水管；把他的筋肉比較推動那些機器的別種機器和水泉，他如所具的精神，以心爲來源，以腦間小孔爲倉庫，可以比較使機器轉動的水。此外，這種機器更有呼吸及其他類似極自然而平常的動作，完全有賴於精神的運轉，又可以比較水鐘或水磨，祇須平常的水流，即使其動轉不息。外界的物體，因其存在而影響這架機器的感覺器官，於是依照腦內各部的特性，就決定他從事種種的動作，又好似闖進一個洞穴的生客，他們無意中正是所見各種動作的原因。因爲他們在走進的時候，怎樣踏着排列好了的瓦或板，結果如果走近一位洗浴着的女神（Diana），他們就會使他藏在玫瑰叢裏，如果他們再去追他，他們就會引起一位海神（Nephtune）用他的三叉戟來恐嚇他們。他們或者向另一方向前進，也許會使一個海怪跳出，向他們面上噴水，或者遇到其他類似的事件，完全依照建築他們的工程師，原來會有什麼意念。」

他以下又自相矛盾的，把心比成一個指揮塔上的工程師，祇費很少的手續，把水門開關，就能變更了水流的道路；後來他又猜想我們身體的全部機械，係受制於所謂「動物精神」，他說這種精神很像「一種極稀薄的空氣」，稀薄的程度，簡直就到了不是物質的邊際，這樣幾乎有駁斥他自己哲學的危險。到後來比較科學化的作者，又說就是在一個完全機械的世界裏，也可以消費極少的能力，變更了大量的能力的途徑，例如火車在電力轉轍器上的旋轉方向，就是這樣。

這種以及其他許多精妙的說法，全是生於一種自然的希冀，要避免機械自然觀的種種錯雜含義。祇要他的科學好像告訴他的直覺信仰陷於錯誤，或他根據這種信仰而生的動作不合道理，就在科學家的自身，也不免覺得自己的研究離開實際，或至多也僅限於實體的一小部分，少有關於他的日常生活。佈萊德利在西曆一八九九年，曾用下列語句，敘述當時一般的感覺，他說：

「一般平常人的自然，並不是物理學家的自然；而物理學家自身，到了他的科學範圍以外，仍舊時常用他必須信為不可能的觀點，去看世界。」●

直到最近，懷特黑（Whitehead）在一九二六年，還有下面一段文字：

「西方的民族，大多數表現出一種特性，通常被認為中國人所獨有。通常很驚奇中國人竟能同時信仰兩種宗教，有時是一個孔教教徒，又有時是個佛教教徒。我不知道中國是否果真有這種情形，並且如果真是這樣，也不知道這兩種態度是否果真不能彼此相容。但是在西方卻有一種無疑的類似事實，並且其中所含的兩種態度，還真是彼此不能相容。一種科學的唯實論，以機械論為根據，同時更有一種堅定不搖的信仰，以為世界上的人類和高等動物，全是些自決的機體。在近代思想底面這種根本的衝突，可以大部分說明現代西方文化的沒落和動搖。要說他足以使思想困擾，那也未免太遠。不過因為這種衝突時常在後面隱匿，卻可使思想懦弱無力。所有中世紀人士所努力追求的美德，

到現今已爲我們所將遺忘。他們要達到的理想，是一種瞭解的諧和。我們對於從幾個分歧任意出發點而生的表面秩序，即行表示滿意，例如：歐洲人民用個人主義精力所產生的事業，全預先假設物理動作傾向於最終的原因。不過他們所利用發展的科學，卻又根據一種哲學，以爲物理的因果關係至極重要，並且把物理原因與最終的目的分開。這裏面所含的絕對衝突，現在已不時興，不必討論。不過，無論如何文飾辭句，這到底是一宗事實。」●

一種科學，既然有這樣錯綜的含義，並且發生了這樣的結果，顯然需要一種新的背景，以調和試驗室和教科書裏的自然以及日常經驗裏的自然。幸而在最近幾年裏，已經獲得了一個這樣的背景。

新 物 理 學

在科學的機械時期，科學家前進所取的一般途徑，很像幼童和不能深思的野人。他們從自己感覺所記載的印象，建造成一種推斷的物體世界，信他就是真實，並且和在日常經驗裏所遇大體類似的事件，對他發生影響。他們說這是科學的「常識」主張，並且界說科學爲「有組織的常識。」無論什麼科學理論，如果不能釋以日常生活的熟悉概念，就說是抵觸常識，無論從平常人或科學家方面，祇能希望得到冷酷和不同情的接受。後來因爲試驗技術的新近精巧方法，獲得了新的觀察知識，證明自然的作用不能釋以日常生活的熟悉概念。不熟悉的新概念，已經被認有相當需要，常識科學的

時代已經過去了。

如果科學依然採用他以前的舊方法，他很可以設法造成新的具體圖景以包括這些新概念。可是也真有若干科學家在這一方面努力，引用多少細微的變化，修正舊日的自然主張，以應付對於他的新要求。不過他們是想把新酒放在舊瓶子裏面，費去多少精力，沒有遇到什麼成功。科學思想的主要潮流，實在取了一個很不相同的途徑。因為大約正在這個時期，科學受了潘嘉萊 (Poincaré)，愛因斯坦，海森堡諸氏的領導，逐漸承認他的主要研究對象，或者說他的唯一研究對象，便是外部世界各物體在我們心裏所產生的感覺；在我們能夠從事研究客觀自然以前，必須先研究自然和我們自己的關係。這種新政策的採用，並不是由於有意的選擇，實是情勢所迫，不得不然。至於那些不曾採用的，簡直就是落伍；知識的燈籠，已經被肯攜帶的人帶着向前面走下去了。

這種新的前進方向，引着我們達到一種科學，已經不再正面衝突我們的直覺和日常生活的經驗；物理學家也不再覺着他的實驗室門把他的生活分成不可互通的兩部——一方面作科學家，一方面作人。特別是機械主義，以他所附帶的含義，已經被擠到科學的範圍以外。要說一個機械的宇宙，各物體互相推拉，有如在場上的足球隊員，證明完全屬於幻想；正好像早日生物學觀點的宇宙，說男神靈推拉各物體以滿足他們自己的情感。我們現在開始看出人類既然能脫離了以前的錯誤，不再把自然作用比擬成他自己的情感想像作用；如果再陷入第二種錯誤，說他們可以比擬他自己的

肌肉作用，那就不免輕率魯莽。自然界的行爲，既不會仿照我們的心思欲望，也一般不會仿照我們的身體肌肉。

至於決定論是否也已經被擯到自然的範圍以外，還是一個可辯論的問題。我們到後面就要看出，這裏的答案，或許不祇是一個簡單的「是」或「否」。我們祇須把決定論和自然的界說，略加改變，就可使其中任何一個答案無誤。不過以前有許多理由，似乎強迫我們不得不承認決定論的，到了最近卻已完全消滅——這幾乎沒有任何理由。

我們就要看出，打算明瞭舊科學和新科學的對較，最好先看牛頓所著原理 (Principia) 一書的開端，在那裏機械論的自然主張纔第一次獲得完善的邏輯形式；然後再看狄萊克 (Dirac) 所著量子力學 (Quantum Mechanics) 一書的開端，在那裏可以代表現存新量子理論的完整說明。

牛頓在西曆一六八七年寫出下面一段文字：

「每個物體總保持着他的靜止狀況，或是按直線方向的運動狀況，除非他受了外界的動力，強迫他變更那種狀況。運動的變更總和所受動力的大小，或爲正比例……」

狄萊克在西曆一九三〇年又寫出下面一段文字：

「如果觀察任一種原子的系統，其造成曾經依照固定方法，因之自然在一種固定的狀況，其結果通常不能決定。那就是說，如果這實驗在相同狀況下重複若干次，就可以獲得若干不相同的結果。」

如果這實驗重複的次數很多，更可以看出每種特別的結果，總是佔總次數的一個固定分數。因此一個人可以說這種結果，在任何次實驗裏，將有獲得的一個固定的可能性。」

我們已經說過，要把科學界說成有組織的常識，不能認為適當。適當的科學界說，或者應該是有組織的知識。根據這種界說，顯然可以看出，一種科學的發展，在初期必須是事實的累積。事實的性質，也許特殊，也許普遍。有幾種科學，例如植物學和病理學，現今仍舊遇許多特殊和反常的事件，最初一看，好像是自然普遍計劃的例外，時時有加以記載的必要。至於比較精確，發展較高的科學，例如物理學和天文學，就沒有這樣的記載，在這裏，自然好像受支配於多少不能改變的公律。科學的目標，就在發現和解釋這些公律。

科學的綜合

在任何一種特殊的科學裏面，所搜集的事實，如果達到了相當的數目，第二步便是設法找一種普遍的原理，把他們完全包括在裏面。這種普遍原理，也許能用習知的概念解釋，也許不能。要達到最後的滿意程度，這樣一個普遍原理或解釋，必須不祇能盡包已知的事實，並且能盡包一切尙待發見的事實。因此，他最初公表的時候，通常是一種假設的形式。一個科學家事實上是說：「根據觀察指明下列的事實無誤，我發見一種關於他們起源的假設，和他們全部完全諧和一致。」他和他的同志進

而再從事於工作，獲得性質比較精確範圍比較加廣的材料，也許支持原來的事實，也許發見特殊的新事實。要試驗假設能不能成立，可以檢視範圍加廣的新事實，是不是和舊事實一樣，也完全包括在所提出的普遍原理或解釋以內。遇着有兩種不同而互相衝突的假設，同時存在，往往可以想出一種實驗方法，決定他們的取舍。例如說，如果假設A不錯，就會有X現象發生，假設B要不錯，就不會有X現象發生。於是我們就可以從事一種實驗或觀測，看一看有沒有X現象發生，因之就判斷了兩種假設的取舍了。

對於自然的詰問

這樣一個實驗和其他每個實驗一樣，事實上就是對於自然詰問一個問題。這個問題，永遠不能是：「A假設究竟對不對？」總得是：「A假設可不可以容許存在？」自然答復我們的問題，是指示出一種現象，和我們的假設，也許正相抵觸，也許不相抵觸。他永遠不能指出一種現象，證明一個假設。因為一種現象，便能夠否認一個假設，無論多少萬萬種現象，也不足證明一個假設。根據這個理由。科學家永遠不能自負確知任何事物，除非是觀察所得的直接事實。此外，他的前進，祇有陸續建造假設，後一個假設比前一個假設，總包括較多的現象，但是每個假設，到了相當時機，終久必須讓位於另一個假設。精確說來，永遠到不了一個時候，用一個必對的主張，去代替一個假設。

我們剛纔提到的，是詰問自然手續的最簡單可能實例。通常不總能組成一個問題，祇容許「是」

「否」兩個答復。遇着實驗者受欺於他自己想像的假設，乃致對於一個無意義的問題，要求答復，於是就會發生比較困難的情形。如果他的實驗竟自能夠作成，勢必獲得什麼答案，不過等答案出來以後，在詰問者看着或許毫無意義，正如同我們想像原來問題對於自然，也必是一樣的毫無意義。

例如，我們且設想一羣人，有完善的科學器械，但是少有科學的智慧或知識。他們看見天上有一道虹霓，想要發見他的距離遠近。他們便把他當做舞台上的一塊佈景，派遣一隊測量人員，去發見這種紙板上虹霓的距離。用完善器械所做成的觀察，獲得一種毫不含混的精確答案——距離是「負」九千三百萬英里。負責當局或許認為測量人員不稱職加以罷免，或許宣言反對觀察方法的不足信賴。他們說：「要說一個距離竟自成爲負數，自是荒謬絕倫，即九千三百萬英里也一樣毫無意義，因爲虹霓的一端，顯然正在我們和那邊一座山的中間。」但是他們如果把詰問自然的問題形式改換，變成：「我們在虹霓裏所見光線來源，距離我們前面幾何遠呢？」那時「負」九千三百萬英里的答案，便有了完整的意義。所謂「負」是告訴他們光源並不在他們的面前，卻在他們的背後。而九千三百萬英里的距離，立時能夠認出是太陽。要組成一個有意義的問題，往往比獲得一個無意義問題的答案，還較困難。並且如果最先不把問題組織正確，以後再要解釋答案無誤，或許遇着意想不到的困難。爲避免普遍討論的枯燥和含混起見，我們且提出兩個特殊的實例，他們對於以後的討論，全大體有相當的關聯。

古代的希臘人和埃及人，關於太陽、月亮、羣星在天空運動的狀況，曾收集數量很大的事實。大概在西曆紀元後一百五十年，亞歷山大城 (Alexandria) 的陶林密 (Ptolemy) 打算用簡單一個假設，把他們完全包括。他否認薩毛 (Samos) 的亞利士達嘉 (Aristarchus) 和開塔果拉斯 派學者 (Pythagoreans) 的主張，他想像地是全部系統的固定中心，日月星全圍繞着他旋轉；日和月的軌道是圓形，行星的軌道是一組圓形和擺線形所成的複雜系統。以後許久沒有發現什麼新事實來試驗這種假設。到了西曆一五四三年，哥白尼 (Copernicus) 另外提出了一種假設，也解釋相同的事實，似乎方法簡單了許多。他設想太陽系的中心，不是地球是太陽；至於地球、月亮、行星，全是圍繞着太陽運行，不過行星的軌道，依舊含有若干擺線成分，存留着相當的複雜程度。

這時既然有兩種假設同時存在，哥白尼就想出一種實驗去決定他們的取舍。如果陶林密的假設不錯，金星的發光面就永遠不能比半圓形再小。在另一方面，如果金星是圍繞着太陽運行，那時他的形狀，據在地面上所見，就應當顯示月亮般的變化，從滿月的正圓形直到新月的月牙形。到了一六〇九年，新發明的望遠鏡製造成功，於是纔藉以詰問自然，決定兩種假設的取舍。等到伽利略看見金星好像新月一樣的發光，他知道陶林密的假設終久不能成立了。

這自然並不證明哥白尼假設的確定無誤。其實，比較精確的新事實，已經開始聚集，對於他表示

懷疑。最顯著的，凱普勒（Kepler）對於火星的運動，加以相當詳密的研究，發覺與哥白尼的假設，互相抵觸。因此使他再提出一種新的假設，以為行星繞日的軌道，並不是圓形和擺線形，卻是些橢圓形，全以太陽為共同的中點。於是這種假設，有一個時期，完全適合於天文學上所知的事實。

又過了半個世紀，牛頓打算把這些以及其他事實，用一種再廣大的假設，完全包括起來。他想像宇宙裏每個物體，各有一種力量牽引其他一切物體，這種力量叫做引力，大小與兩物體間距離的平方成反比例；並且假設行星的運動，就是這些引力強迫的結果。他證明這種假設，可以解釋行星的橢圓形軌道以及其他範圍極廣的事實和現象——例如月亮的繞地運行，蘋果的墜落地面，棒球在空間的拋物線路，乃至於海洋的潮汐漲落。最後又發覺他能解釋彗星的運動。這種可怕而神祕的現象，原先總視為罪惡的預兆或神怒的象徵，現在知道不過是一列列的死物，一樣繞日運行，支配他們的正是促成行星有規律運動的同種動力。

新材料陸續增加，無不適合於牛頓的理論，直到十九世紀中葉，天文學家勒福萊（Leverrier）纔發覺水星的運動，有了抵觸情形。牛頓的假設，需要一個行星的繞日運行，始終在同一軌道上重複，永遠不能離開原來的橢圓形——正如同孩童的火車玩具，始終在同一軌道上行動。勒福萊發覺水星並不這樣。他的橢圓形軌道本身，也在空間旋轉，大概每周需時三百萬年左右。說起來，就好像玩具火車所經行的軌道，自身也在一種旋轉器上面，當火車迅速前進的時候，也在空間慢慢的旋轉。

過了相當時間，愛因斯坦另外提出一種新的假設，叫做相對理論，不祇能解釋牛頓引力理論以前所解釋的一切現象，並且能精確敘述水星的運動，更解釋了其他許多科學上的事實。此外還可以設計若干種實驗和觀察，以決定愛因斯坦新理論和牛頓舊理論間的取舍，結果每次總是擯棄舊理論贊助新理論。另外還有幾種取舍實驗，以對較新理論和當時通行的幾種物理學理論，例如說光的傳佈是一種無所不在的能媒波浪，以及電力磁力的傳達也是這種能媒裏的壓力和張力。這時自然的判決，仍舊是每次贊助着相對理論。到了現今，愛因斯坦的理論，能夠解釋範圍極廣的自然現象，還不會發見任何自然事件和他互相衝突。

科學的普遍目標，是向前進步趨向於，並且最終達到這一類的理論。我們永遠不能說任何理論是最後的理論，或臆合於絕對真理，因為時時可以發現新事實，乃致強迫着我們把他舍去。現在雖然沒有這種情形，將來發現的事實，或許終久強迫我們舍去了相對理論。就使這種事件發生，我們建設他所用的時間，也不能認為空耗；因為他替我們預備了一種階梯，以達到範圍更廣的理論，適應於更多的自然現象。一般普通人看科學，好像總在自己改變心理，遲疑不前，往復不定，永遠在責難以前的主張。科學家看科學，卻以為他在一組連續不斷的理論裏，依次進步，每一種理論比他所代替的前一種理論，總包括較多的現象，直向最後的目標，是用一個理論包括盡了全部自然現象。如果能夠獲得這樣一個理論，他就能給予我們外部世界的一種假設計劃，藉以產生外部世界的一切現象，絲毫

不差。

原子物理學和量子論

在進而討論這樣一種計劃的意義以前，我們且再舉一個科學進步的實例。這次是採自物理科學。

當一團氫氣的溫度升高到白熱發光狀況——無論是在一個熱星球的大氣裏面，或是在地面實驗室裏的放電 (Electric discharge) 裏面——他所放出的光子，證明有許多種類，可以列舉出許多不相同的波長。用一種分光器具，可以把這些光子，依照波長一一區分，正好似用薯篩把一堆蕃薯，依照體積大小一一區分，不過具有不可比擬的較高精確程度，因為測量氫氣光子的波長，可以達到十萬分之一的精確程度。

有若干理由可以想像每單個光子，是發自一單個氫原子；而一個氫原子，相信是一個質子和一個電子所合成。經過許久時間，總難看出爲什麼這樣簡單的構造，竟還能放出光子。所謂質子和電子，相信祇於是荷電的質點，依照反平方的公律，彼此互相吸引。在這個情形裏，那時關於電作用的通行理論，證明電子勢將依照橢圓形的軌道，圍繞着質量大的多的質子運行——正像一個行星的繞日運行——因此纔繼續送出一道放射。所以那時所遇的頭一種反對，便是說照此而生的放射，應當是逐漸的而不能是一個個完整的光子。再進一步的反對，便是說一種能的逐漸放出，應當引起原子的

逐漸縮小，因此不與實際觀察相合，所有原子的體積和放出光子的性質，全無從具有任何種固定性質了。

在西曆一九一三年，哥本哈根（Copenhagen）的鮑爾博士（Dr. Bohr）提出了一種假設，似乎一時把所有這些困難完全解除。他假設氫原子可以在許多種互不相同的狀況下存在，各帶有多寡不同的能。這些狀況，不能逐漸互相衍變。原子祇能不連續的偶然從一個狀況跳到另一個狀況，這樣一作便放送出一個完整的光子。

幾年以後，葛亭根（Göttingen）的福蘭克（Frank）和赫茲（Hertz）二氏又獲得直接的實驗證據，指出確有這種不同的狀況。他們發覺，當電子和原子相撞，原子或許從電子吸取某種大量的能力，也許毫不吸取。他們永遠不會吸取小量的能，所以不能有點滴能的續流。他們相遇好像是一組商業交易，銀錢互相過手，但總是若干完整的錢幣，所以各個衣袋裏，總有固定數目的完整錢幣，一切零頭，絲毫不成問題。至於各個狀況所帶能的多寡，恰好符合鮑爾假設的需要。

這個假設，雖然在邏輯上永遠不會十分合適，但是對於當時所知的事實，似乎已能完全應付。後來對於光子波長的測量，愈益精密，發覺他們和假設的預測，並不完全一致。這假設對於氫原子在普通狀況下的預測，結果可以無誤，但是把氫原子放在強力磁鐵的兩極中間，預測就要錯誤。再說氦（Helium）是次於氫的最簡單原子，這個假設對於平常氦原子的預測，結果也是錯誤。

近年以來，又發生一個新假設，叫做「新量子論」，把以前邏輯上和觀察上所有困難抵觸，完全一掃無餘。這個新理論純粹是算學的形式，祇論及可測量的數量和他們彼此間的關係，但是也容許幾種物理的解釋。其中最爲人所熟知的，通常叫做「波動力學」(Wave-Mechanics)，以爲電子和質子並不祇是硬物質的質點，如同早先所想像，他們實在很像光子，也帶有很多的波浪性質。

這個新假設，不與鮑爾假設相同，他所賦予原子的特質，沒有一處抵觸裏面電子和質子間的反平方引力，在另一方面更有若干附益。不過新假設的重要好處，還在於他的預測，無論在何種情形之下，祇要可以比較，無不與實際觀察正相脗合。專就氫質的光說，裏面所含光子的波長，至少或者也有二十種可以測量到十萬分之一，而每次測量的結果，和新量子論的預測數值，彼此相合，總在十萬分之一以內。這個理論如果完全是一種任意的假設，絲毫無關於真理，那時他必須有可驚的幸運，纔可以使他祇於預測一種波長，達到十萬分之一的精確程度，實則他的機會祇能有十萬(10⁵)分之一。要是對於二十種波長說，他的幸運機會祇能有10¹⁰⁰⁰分之一。如果各種波長互相關聯，情形至少也要這樣。不過事實上他們彼此間有某種關聯，因爲理論所需要的波長和實際觀察的波長，全正成爲有規則的一個系統。這種情形對於上面所說幸運比例的反對方面，顯然要大加折減，不過就是這樣，他們仍舊非常的巨大——仍舊是不能想像那些萬分之一的機會，說他是一種偶然的脗合。

現在還應當提及，新量子論不只能解釋氫光譜，並且不只能解釋任何光譜；在物理學的各方面，

有許多以前不容許解釋的現象，他也一一加以解釋；更沒有一件觀察的事實，與他發生衝突，所以我又看見科學是走向一種假設，能夠完全精確的包括了一切已知事實——如果現在他不是已經達到這樣一個目標的話。

對於實體的追求

不過假若有兩個以上的假設，也許證明能同時解釋某一類現象的全部。這並不是一種任意的想像，在幾種範圍有限的科學分部裏——例如說電磁場的方程式——現今的確有這種情形的存在。那時的科學家究竟是滿意於兩種不同並且有互相衝突可能的假設呢，還是設法發現他們兩個是誰比較接近自然的實體呢？

這裏的答案，當然大部分要看我們拿什麼當做科學的最終目的。究竟是個什麼動機，竟自使一羣科學家，去消磨着勤苦的生活，以發現新事實，破壞舊假設呢？竟自使另一羣科學家，或者消磨着更勤苦的生活，以組成新假設，將來也一樣要受更新事實的破壞呢？直到現在，科學所以存在的理由，總不大適切於我們的討論。

科學的價值，當然有一部分是在功利方面；他使我們的生活豐富，指示我們如何生活着比較舒適和快樂——總之，他減少我們的痛苦，並且增加我們的快樂。有一日生命的孩童，用以適應自身於生活裏嚴酷事實的粗淺科學，當然這是很明顯的擴大範圍。

科學的價值，還有一部分是在知識方面。一個人看見自然現象的豐富種類，要不能驚奇他們是如何的相互關聯，那真成了冥頑不靈。所以近代的人心，除去任何功利問題以外，仍舊有一種強烈的感覺，努力把他所見的現象加以綜合，把外部世界發生的事件，聯合在若干普遍公律的下面，因此，使皮爾生(Karl Pearson)把科學的職務，界說成「對於事實的分類，辨識出他們的階段以及他們相互的關係。」愛因斯坦也用相同的精神說道：「一切科學的目標，是全聯合我們的經驗，並且把他們放在一種邏輯系統裏面。」這一方面的科學目的，可以說成很極端的形式。例如狄萊克說：「理論物理學的唯一目的，就是計算出種種結果，能夠用以對較實驗。」——換句話，就是為滿足知識方面的好奇因為要不是這樣，倒不如直接用實驗以獲得所需要的知識，或者還比較簡單一些。

這些主張，全以為科學祇涉及自然的現象，至於在背後產生這些現象的實體，卻完全不在問題以內。其實，更有許多人特別主張，科學的全部領域，祇是這些現象和他們的公律——總之，科學所涉及的，惟在什麼發生，不在什麼存在。他們主張，科學如果能夠用一個無所不包的假說，包括盡了所有的現象，他就算走完了他的途程，更沒有什麼事可做。假若同時有兩個或更多的這種假設，全一樣好，全一樣能滿足所有的需要，我們絕不能逃出生感覺的桎梏，去發見其中那一個最接近外部世界。假使我們祇有一個圖像，可以完善代表所有的現象，我們也沒有方法研究他，是不是代表實體。

這一類的討論，可以十分顯豁的證明，我們對於實體不能確定的知識，不過他們並不會提到或

能性的問題。

例如我們提出一個問題，說：「我們能知道新量子論是的確說出了氫光譜的真正原因麼？」上面的論辯就給予答案，「不能，我們關於外部世界，什麼也不能知道。」這對於一個不再求更進一步的人，也是一個很好的答案。不過科學的答案，範圍比較擴大，他說：「我們關於外部世界，什麼也不能確定知道。至多我們祇能用或能性去說。不過新量子論的預測，非常適合於實際觀察的氫光譜，乃至使這種計劃佔有數額極高的優勢，可以說與實體相合。其實，我們可以說在定量關係上，這種計劃幾乎就是確定無誤，那就是說，他與實體相合的幾點，全不能用任何方法變化，如果定要變化，那就要破壞了理論與實驗在數目方面的諧和了。」

一個或能性，如果達到了這樣密邇確定的程度，在日常事件上大體已經很能夠適用。較諸律師們所用的或能性，認為「很可以據以判定一個死罪的」已經好的多多。實則拉普拉斯 (Laplace) 在論述另外一個科學問題說過，他比贊助歷史證據最確事件的或能性，也是好的多多。例如，我們通常把安娜皇后 (Queen Anne) 已死，當作一件無可爭辯的事實。哲學上的論證，說我們對於在自己獄室以外的任何事物，全不能有確定知識，因為我們不能出去觀看，自然可以證明我們不能確知這件事實。其實，如果我們高興，他還可以使我從此再進幾步；他能夠證明確知安娜皇后曾經活着過的，不可能。但是如果我們假設他曾經活着，那時就想不出什麼計算方法，能夠使認為他的死了的說法，

佔有我們前面提到 1000 比一的優勢。所以我們可以主張，在數字的重點上，要假設前面所說計劃足以解釋氫光譜的起源，較諸假設安娜皇后的死亡，更有較好的理由了。

這個特別的論證，祇於指明，我們能夠獲得數字因素的知識——這種因素如果一加變更便要破壞了對於觀察的數目譜和關係。別的論證，也一樣可以想出，指明能夠知道實體的其他因素，至少也達到極高的或能程度。

不過要想獲得關於最終實體的知識，根據前面所說種種情形，顯然有種種限制。如果我們說自己已有知識，就應當能夠把他解釋給和我們有一樣心的生物。我們對於外界事物的終極本性，既是祇能不確定的說他們與我們心所熟知的事物，證明本性相同，不能加以解釋，所以也不能算有知識。因為除去這種辦法以外，也沒有比較的標準，也沒有敘述他的言語，言語所敘述的，祇能是我們共同有的經驗。要打算對我們自己或對別人解釋實體，就如同打算對於一個野人解釋無線電器具。他不難明瞭這種現象，從裏面發出來的聲音或音樂，因為他早已熟知聲音和音樂，他甚至還能明瞭什麼是天電 (Atmospherics) 因為他早已熟知雷聲。但是我們再要對他解釋柵偏電壓 (Grid-bias) 配音電路 (Tuned Circuits) 以及高壓電池 (High-tension Batteries) 就不免開始發覺困難。所以我們要向我們自己或別人解釋實體，要不用上面所說的不確實辦法外，也必須遇到類似的困難。說起來，對於進步的真正阻礙，並不是純粹玄學論辨，以為我們對於我們獄室以外的什麼，不能夠有任何確定

的知識，實在就是這一類的困難。

自然的圖景

直到現在，我們所說的一個個假設，很可以一樣說他是自然的圖景，代表，或模型。他並不打算圖摹自然的實體，祇想圖摹我們所見的自然——自然的現象。他或許能把我們所見的現象，用完全忠實的方法描畫出來；而與實體的精華依舊互不相同，正好似一張像片和活人面貌的互不相同——像色澤，體積，及其他一切生動性質的或許缺乏。這張圖景的成分，必須是一些我們心所熟知的概念，要不然的話，我們也就不能把這種圖景組成。在另一方面，實體的成分，卻未必也是這樣；並且假使我們不能使自己的心熟悉實體的成分，我們就永遠也明瞭不了實體。但是科學好像應當沿着從現象到實體的途程前進，時常思考不熟悉的觀念，逐漸使他熟悉。並且在一起初，概念的選擇，祇依照或能的理由，務使他最近似在終極實體裏所具的形式。

例如一個聰明的孩童，最初聽說世界是圓形，他立時就要反對說在下面的居民必將掉出去；等到他年紀略長，這種地圓的觀念就不再有多少困難。依照同樣的精神，維多利亞時代的物理學家時常說，他所明瞭的物理概念，他全能作成一個代表的模型；凱爾溫爵士 (Lord Kelvin) 曾說就因為這個理由，他纔不能明瞭光的電磁論 (Electromagnetic Theory of Light)。但是現今的一般物理學家，對於這種概念，已經能夠相當清楚的明瞭，並不是因為天生的智力優越，卻因他們思考這些概

念時間比較長些同樣他對於四度空間 (Fourdimensional space) 和第一級張量 (Tensors of the Second Rank) 所組成的圖景，也遠優於他的三十年前先輩。我們更沒有理由說這種作用為什麼不能無限的繼續。其實，早先的科學家把自己從一般術士裏區分出來，也就是這種作用的開始罷了。

我們的心，對於量的概念，是毫不遲疑的熟悉；我們從此很容易略加衍變，就達到算學上對於量的看法。當我們說氫原子含有兩個成分，就是電子和質子；所謂「氫原子」、「電子」、「質子」幾個名辭，祇代表我們現象世界裏的什麼事物。不過「兩個」的概念，在這個世界裏和在實體世界裏，總是彼此相同。所以要吧上面的現象語言改換成實體語言，仍舊假設「兩個」的概念，一樣應用於實體，總不能被認糊塗不明了。

再說，我們的心，熟悉在時間上幾種變化的順序，因為我們的感覺不斷有這種變化的經驗。所以並沒有什麼演繹的理由，來反對我們獲得知識，關於實體可測的量以及他們因時間前進發生變化的方式。（至於可能的歸納的反對理由，說所謂時間和可測的量，在最終實體裏或許證明全不存在，我們在這裏還不必加以論述。）再說，算學能夠用一種不假設外界任何本性的論證，證明一切對於時間的變化，全可以用波動的方式圖摹；所以這種概念可以幫助我們圖摹這一類的變化。假使有一種波動形式，似乎有極高的或能性，可以說明實體裏的什麼事物，我們就可以從事討論進一步的問題——「什麼的波浪呢？」

到了這裏，我們這纔第一次遇到了困難。因為這個「什麼」除非能證明他的性質，也類似我們心裏已經有的事物，像一個思想或心理概念，一種願望或一樣情緒，那麼他的精華將依舊為我們所不知。

我們且暫時作一種預言，在後面就要看出，物理學上最重要的波浪，十分想不到竟自能解釋成這一類的形式。這種波浪，科學家祇含混的叫做「或然性」，但是再明顯一些，不如說是「知識的不確定性或缺憾」——這是我們心理上很熟悉的一個概念。這裏或許要引起一種懷疑，說我們的心，對於這些波浪，祇演繹的強加上很少數解釋中的一種解釋，如果加以歸納，也許終久能夠明瞭。果真就是這樣，也許能夠有其他並且較不容易瞭解的解釋；不過無論如何，這種「或然性」的解釋總能切合於觀察的事實。知道了波浪，我們就知道或然性，所以就一種意義說，這些波浪就真正是或然性的波浪。或許有人願意解釋這種說法，祇是明指這些波浪在實際上全不存在，僅存在於我們對於實際的不完全知識裏面。

不過這樣一說，卻把我們正引到一個時常隱在後面的問題——「實體是什麼呢？」我覺得科學和哲學答復這個問題，可有不甚相同的方式。我以為哲學家的看法，大半傾向於把實體和現象，當做彼此分離獨立，有如一個人和他在鏡子裏面的影，或如一架飛機和他在地面上的影；要再用一種奇怪的說法，就是一個真物的存在，或是實體，或屬現象，但是不能介乎二者之間。在另一方面，科學家

卻傾向於把實體和現象當做一條連續道路的兩端他的職務便是在這條道路上面進行，哲學家對於說波浪真正是或然性波浪的說法，或許認為愚昧的胡說，而加以棄絕；但是科學家卻肯稱贊他，說是趨向最後真理的一個前進步驟。

別種形式的波浪，或許不能證明也像我們方纔所論波浪那樣容易瞭解。不過就是這裏，我們或者也可以發現幾種特質，然後再用我們所熟悉的概念，企圖做成圖景，直到最後，我們遇着的，竟不能夠圖摹，想像，或敘述，終久不得不停止前進。例如，維多利亞時代的物理學家，時常把光的波浪，圖摹像一種膠質的動搖，像地震的波浪，直到後來纔覺出他們的圖景，並不脛合於觀察的事實。

再說，我們所熟知的概念，還有空間，空間的延展，空間的有限延展，照此用一種抽象的作用，就達到一個質點的概念。假使我們的自然圖景，證明有一部分含有質點，又要進而問是「什麼的質點呢？」那時也許能也許不能達到一個部分的回答了。

最後，我們還熟悉因為自己意志和身體肌肉間相互作用而發生的機械概念。

我們可以想到：祇用波浪，質點，機械一類的熟悉概念，把外部世界完全無疵的圖摹出來，而十九世紀的物理學，卻正是顯然有意以這種圖摹為目的，並不曾充分覺出反對這種可能性的，究竟有何重大的困難。

如果這種企圖成功，科學全已預備好了用圖像以認識實體。而許多科學家更提前這樣辦理，不

會候着看這種圖像能不能融合於全部觀察事實。在這個時候，通常是斷定一切的抵觸，到了相當時機，必能全部消滅。而教授科學的，更少有叫其他的可能性，進入他學生的知識範圍。在科學家的後面，還有許多哲學家，唯實論者，唯物論者，真個把實體當做質點，波浪等等，就在空間存在。至於其他學者，要堅持已知或任何可能的事實，全不足保證這種說法的成立，就被認為所堅持的是一種失了效的主張。他們的言論，幾乎沒有人肯加注意。並不是因為他們沒有充分的理由，也不是因為反對方面有足以推翻他們的證明。祇是因為在那個時候，反對他們的可能性，似乎有極大的壓迫力量。

我們現今所得的觀察知識，證明沒有這一類圖摹，可以融合於現象，所以與實體相符的問題，並不發生。外部世界與日常生活裏的熟悉概念，相距確乎很遠，不像十九世紀科學的預測。我們現在覺出，每次要想加以圖摹，立刻便遇着種種概念，既不能圖摹，想像，也不能敘述。我們已經說明，放射現象不能適當的圖摹成波浪或質點，也不能釋以我們想像所及的任何事物。以下就要說明，對於物質，也是有與此類似的情況。

主觀的自然

近代物理科學的真正困難，大部分發生於上面所引述的事實。物理科學從事於研究一個物質和放射的世界，發覺就是對於他自己也無法敘述或圖摹他們的性質。對於一個物理學家，所謂光子，電子，質子，其不能有何意義，如同一個初學代數的童子，覺得 x ， y ， z 不能有何意義。我們現在所能希

望的，祇是配置 x, y, z 的方法，同時不問他們真正代表何物，結果現在知識的進步，乃減縮成愛因斯坦所謂從另一個不能明瞭的抽取出一個不能明瞭的。

此外，科學祇於知道一個前進的方法，以避免遇到什麼完全的阻礙。把全世界分成（甲）我們自己，（乙）我們對於外部世界的試驗，和（丙）外部世界。他把（丙）項拋開，能夠專注意（乙）項，我們對於外部世界的知識，就是來自我們自己所作的若干試驗。根據前面所說的哲學論證，可見這種進行的方法，顯然有一種長處，那就是：我們對於（丙）項的知識，祇能含有或能性，而對於（乙）項的知識，卻能含有確定性。但是此外還有一種更近的獲益。我們對於外界自然的最終實在，所能知道的無論少到什麼程度，並且想像中的實體，無論如何難解，而我們對於自然所作實驗的結果，卻必須能夠知道，也夠釋以習知的概念，因為這些概念如果原來並不熟知，就祇實驗的本身也必能把他們變成成熟了。

例如，我們從事光的實驗，所得結果，便可釋以熟知的概念，波浪和質點。這種實驗並不告訴我們，究竟什麼是光的真正性質；例如他不能說光是波浪造成還是質點造成。他祇能指示我們，光的行為，有時使我們想到波浪的行為，有時使我們想到質點的行為。我們推論光的全部性質，將不能釋為若干質點，也不能釋為若干波浪。並且我們既不知道有什麼平常物體。有時像波浪有時像質點，所以光的真正性質，或許將永遠在我們的想像能力以外；到了現在，這種情形，已是十分確定。因此，我們不能

夠推想光的本身，能夠推想的，祇是我們對於光所作實驗的結果。

對於電子和質子，情形也大概相似。我們對於他們的實驗，覺得他們的行為，有時使我們想起波浪的行為，有時使我們想起質點的行為，也和光一樣，還沒有誰能想像什麼是電子和質子的真正圖景。就現今說，我們所能的，祇是把實驗所知電子和質子的特性，用算學方法定量的表現出來。

並沒有什麼堅強的理由，可以說這種時期已是到了最後，在我們知識的發展途徑上面，他或許祇代表一種過渡的狀態。我們對於自然的實驗，顯然是聯絡我們自身和自然中間的渡橋。並且在我們探索自然的時候，我們當然到從這渡橋的我們自己一端開始。因為這個橋所含的，除去自然以外，既是還有我們自己，那無怪乎我們現今對於自然的知識，仍舊含有若干主觀的色彩。可是要知道我們走上正當的途徑，僅僅不過一世紀的三分之一罷了。

我們要向將來看去，可以看出兩種不同的可能性。或許自然自己照常前進，絲毫不顧我們，因之祇能有包括我們自己在內的不完全知識。我們要探索自然，仍舊必須把自己的足跡印在上面，揚起陣陣的灰塵，所以我們現在對於自然的圖景，總帶着人類在上面的全部足跡。經過相當時期，或許我們能夠學會怎樣取消圖景上的足跡，那時將看出自然的實在本像，在我們以外獨立存在，有如撒哈拉大沙漠一樣。撒哈拉大沙漠的基本，是所含的沙子，而我們所揚起的灰塵，卻是過渡的偶然事件。在西曆一八九九年，要說自然竟像這樣，多數的科學家，一定毫不遲疑的加以擯棄。不過我們以後就要

說到，直到現今的科學，還不會在陣陣塵土以後，發現出什麼堅固的土地。

此外還有一種沙漠，也以灰塵形式為基本，而以表現他們的媒介為偶然——例如藝術家對於沙漠的概念，旅行家對於沙漠的回憶。自然也或許就是這樣。

大體說來，這兩種互相衝突的說法，可以代表對於自然的客觀觀點和主觀觀點，也可以代表哲學上唯實學說和唯心學說。

佈萊德利對於後一個說法，曾有下列的言語：●

「或許有人反對，說我們現在已經和常識發生衝突。對於常識說，自然的全部存在，並且實在就是那樣，不論什麼固定的生物對於他是否瞭解。在另一方面，依照我們的主張，……物理科學的世界並不能自己獨立，祇於是一種整個經驗裏面的一種成分。並且離開了固定的靈魂，這個物理世界依照正當的意義也就不能存在。但是如果這樣，我們又可以問自然科學將變成了什麼呢？在那裏面，把自然當做一種沒有靈魂而自己獨力存在的東西。可見我們竟自促成了一種衝突，出於批評範圍以外。不過這種衝突，實是假想的衝突，因為有所誤解，他纔發生出來。」

自從這段文字發表以後，科學逐漸發現，所謂自然「獨立存在」祇是一種假設，而不是一種有確證的事實，所以更容易承認這種衝突是一種假想的衝突了。

●見所著 Appearance and Reality 一書，第二七九及第二八三頁。

不過唯心學派所處地位的困難，也至極明顯，幾乎不必再加說明。一個人如果沒有什麼資具和他的同輩相交際，將無法知道他所見的自然，是否就是他自己心的創造；他所能賦予他的真實獨立存在性，將不異於他對於在夢中所見的物體。在另一方面，我們必須使我們的自然體系，合於一種事實，那就是說，有無數別的心全看見和我們所見大體類似的同一自然。這在唯實學派，可以有很簡單自然的解釋，因為他假設自然在我們以外獨立存在——我們所以能看見同一個月亮，是因為月亮在我們身體以外獨自在那裏，為我們大家去看。而唯心學派卻不能利用這種簡單的解釋。他必須假設我們的心，全是同一個體的分部，所以全能看見彼此相同的概念。他們彼此間必須如何聯絡——或許像一顆樹上各小枝的互相聯絡，同屬於一個總根——也或許像一陣光子的互相聯絡，有時好似一羣單獨的個體，有時又是一道連續不斷的光線。

我們把問題就放在這裏，進而討論近代科學的種種發現，不過總要記住他們所敘述的，並不是自然的本身，而是人類對於自然的種種詢問。

第三章 外部世界的骨幹——空間和時間

我們曾經圖摹一個新生的幼童，努力聯絡影響他感覺的各種事件和物體，那便是傾向於成爲一個科學家的最初步驟。他逐漸發覺我們所謂事件可以用時間排列，而物體所在可以用空間排列。於是空間和時間，對於這幼童從外部世界所接受的感覺印象，好像是成了一種骨幹。這幼童自然不會想到什麼哲學問題，關於空間和時間的基本性質；就是我們在這裏，也將一概不加涉及。現在我們所要討論的，祇是我們所見空間和時間的幾種最簡單特質。

對於空間和時間的粗淺主張

這幼童覺得當時事件的前來，是依照簡單的間隔，有如一條線上的素珠。這條線就是我們所說的時間，而各個事件的相對關係，可以用「較早」和「較遲」兩個名詞完全表示出來。鄰近的事件，不一定就得彼此連接，例如線的一段或許不會爲素珠所佔，因此這幼童可以經驗若干沒有事件的時間。時間在我們心裏經過，好像帶條在時計裏經過，他的各個小部分，或許印着事件，或許不會印着事件。在我們生理作用裏，有什麼地方也如同時計一樣的測量時間，所以使我們獲得一種時間經過的感覺。藉着這種知識的時計，我們可以判斷時間間隔的或長或短。我們覺得時間在我們心裏經過，

對於我們全體，至少也大體相同。因此使我們想像，時間是我們以外的東西，流過我們每個人的意識，正似河水流過一座橋的橋柱。科學為比較精確測量這種假設時間河流的流過，時常計算一種時間間隔分配均勻的事件——像太陽和羣星的經過子午線，時計的聲響，石英結晶的震動，或一種配合電系的搖擺。在相對理論強迫我們重新考慮所處地位以前，我們的直覺，總是把時間當做一種永遠前進的川流，可以用上述方法測量他的流過。

我們對於空間的直覺概念，便很不相同。光線從外界物體進了我們的眼，眼的結晶鏡片，總使從我們所謂「同一方向」前來的光子，投射到裏面網膜的同位置。我們對於物體的最初分類，便是依照他們所影響網膜上的各點，而網膜既是一種兩度的面積，我們對於物體的印像，便是一種兩度排列的方向——角度空間 (Angular space)。

不過我們知道，要祇有方向並不能完全確定物體的位置。我們一經移動，他們便改換了方向；有時多少物體，照我們的眼看去，全是在同一方向，因之彼此乃互相遮蔽。例如我向某一方看去，或許前後依次看見烟草的烟，污穢的窗，一隻蝴蝶，一棵小樹，一座山峯，一片雲，太陽。我所以特別把他們排成這種秩序，是因為他們這樣彼此遮蔽。這種排列，正好似事件在時間上的排列——一度的排列。一種兩度的角度空間，各含有這樣的一度物體排列；因此我所見的物體，成爲一種三度的排列，我可以排成一種三度的「空間」。

我的每一隻眼，可以不顧我的心，獨立造成這樣一種排列，但是如果兩隻眼要造成同一個排列，卻有另外的需要……這在外界物體完全獨立存在時，更屬必須。我們知道，鄰近的事件，通常在時間上不必相聯，所以鄰近的物體，通常在空間也不相聯。例如，蝴蝶並不和我的窗相聯，雲也不和太陽相聯。鄰近物體中間可以用「距離」分開；正如同鄰近事件中間可以用時間分開。計算時計的滴嗒聲，可以測量事件中間的時間；同樣，計算一量尺首尾相銜輾轉排比的次數；也可以測量物體中間的距離。這種測量距離的特別方法，自然無關於我們的視覺，也無關於光的性質，或竟至無關於光的存在。祇有觸覺而沒有其他任何感覺的生物，依舊能夠畫出物體在空間的排列，祇須借助於他自己的觸覺和一個測尺。他們的排列，和其他祇用兩眼的生物所得排列，也許相合，也許不相合。如果光線的直度，同於測尺邊緣的直度，他們就相合；要是不同，他們就不相合。這種區分所以重要，是因為（後面就要說到）光線並不永遠依照這種直向前進。因此，可以清楚看出物體在空間的排列，多少總帶些主觀的色彩。一個盲人所造成的排列，或許大異於另一個有視覺祇用視覺不用任何器具的人所成排列。

我們各個人的意識，大概就是依照這種方式，瞭解了時間和空間。所以一個人的歷史，又是全體人類的歷史縮影。

我們已經說過，人類個人和人類全體，祇是逐漸地警覺到一種客觀自燃的存在，這種存在意識自身以外，並且無關於他的自身。康福特教授 (Prof. Cornford) 所謂的「自然的發現……人類商理的一種最偉大的成就」^①是在西曆紀元前第六世紀的愛奧尼亞希臘。大概同在這個時期，人類又「發現」了空間和時間，這一點在科學家雖然覺得難解，但是確乎關係重要。約維特 (Jowett) 曾經說過：^②

「我們的空間觀念，和其他觀念一樣，有他自己的歷史。在荷馬的史詩裏，並沒有代表他的字句。就是在以後的希臘哲學裏面，也不會含有康德 (Kant) 派的空間觀念^③，祇有固定的『地方』或『無限』等。所以我們要說到空間觀念的必要，我們必須記住這種必要的發生是由於人類心理的生長，是由於人類自己所造成……」

「在空間裏面或後面，還有一種抽象的觀念，和他有許多點相類似——時間，一種內向的形式，也如同空間是一種外向的形式。我們離開空間既不能想像外向的物體感覺或感覺，所以我們離開時間也不能想像一組依次發生的感覺。時間是思想或感覺中間的空隙，正如同空間是外向物體間

①見所作 Before and After Socrates 一書，第十五頁。

②見所譯 The Dialogues of Plato 一書，第四冊，Introduction to Theaetetus 第一六二頁。

③見本章後中。

的空隙……時間和空間一樣，全是逐漸被人所認識，在荷馬的史詩裏，或甚至在希叟的宇宙開闢論（*Hesiodic Cosmogony*）裏，所含時間觀念，全不多於所含空間觀念。」

柏拉圖在 *Timaeus* 一書裏，界說空間說：●

「容納所有物體的是空間。他的名稱必須永遠相同，因為他永遠不離開他自己的性質……如果他類似進到他裏面的什麼東西，遇到性質相反或者完全不同的東西前來，並且在裏面也被容納，他必定把他們加以變更，務使他的特性照澈了全部。所以凡是能容納一切種類東西的，本身必須不具任何形式；正如一位藝術家要製造各種香油膏，在開始也必要利用此點；他努力把容納各種香料的液體，本身不具任何氣味。再如有人打算在什麼軟實物上繪製圖形，必不使那裏原來已經顯出什麼圖形；第一步是把表面弄平，達到最大可能的光滑限度……空間永遠沒有死亡，但是替一切生長的預備出一種位置；他自己不藉感覺而被瞭解，祇藉着一種不甚完全的推論，所以不易令人置信。其實，就是根據這種觀念，我們開着兩眼做夢，說一切東西必須在某處佔有若干空間，並且上不在天下不在地的，便任什麼東西也不是了。」

這種觀念一直通行，從希臘科學時期直到了笛卡兒（1596-1650）的時期，始終把自然當做若干固體，中間有若干毫無特性的空隙，而我們直覺所想像的空間，就視為一種空洞的骨幹，專為排列

●見 *Taylor* 譯本第四九五至五一頁。

這些實質的物體。

笛卡兒創始了一種新的空間概念。他的哲學基礎，是說一切物質要分隸於兩種不互相聯屬，互相影響的種類；一類是心，一類是物。心的精華是思想，既不佔有空間，也不在空間排列。而物的精華卻是在空間佔有，在空間延展。他更主張，全部空間必須被什麼東西所佔有，以爲空洞的空間毫無任務，根據全部宇宙設計的完善，竟有沒有目標的東西存在，很覺不合。所以各星中間的空間，雖然似乎空洞無物，實在不能那樣，其中必須佔有一種什麼連續的物體，確實存在並且有獨具的特質。因此，空間不再是一種空洞的骨幹，變成了一種客觀的實體，可以自身獨立存在。笛卡兒據此乃更主張，物體的基本性質，便是在空間延展，在空間運動。

笛卡兒依照這些觀念，更舍棄了光之微粒說，想像光的性質，就是一種壓力，藉着這種無所不在的物質，傳到我們的眼。又過了不久，科學家也舍棄了光之微粒說，另外採用了波動說，想像光的性質，好像波浪。笛卡兒所說的無所不在物質，便負了傳播這種波浪的任務，通常也承認他有真正的實體，起名叫做「以太」(Luminiferous ether)。

空間的位置

我們已經說過，兩個人一個專用視覺一個專用觸覺，如何可以在空間造成物體的兩種不同排列。現在好像自然自己，更有一種特殊在空間排列物體的方式，因之使一切個人的排列方法完全不

關重要。他們是否錯誤，祇看能不能聯合於自然自己的排列。物體還不祇在空間能夠排列並且能夠依照他們在以太裏的位置決定他們在空間的位置；正如同在英國的物體，可依照他們在英國土地的位置以決定他們的位置。

例如：我可以說一個物體，正在大北路上第十二個計程石的以北五十碼。假使我把手巾繫在這裏一個物體上；散了一回步，然後回來看見我的手巾仍舊聯在同一物體上，我能說我已經回到原來的出發地點。在另一方面，我在船上把手巾投到海裏，把船搖了一時，然後再回到我的手巾那裏，我就不能說已經回到原來一點，因為風和浪或許把我的手巾已經移動。我要決定海面上的位置，祇可直接間接利用陸地上的位置。

假使空間是被一種以太所佔有，我們可以用前一個方法，決定空間某一點的位置。至少在想像上，我們能夠把手巾繫在以太的一個質點上，並且如果我們又回到手巾，我們可以說是回到空間的同一個點。我們不必怕有什麼風浪把手巾移動。因為如果光是在一種以太裏經過的波浪，他的經過速度，就足可證明這種以太必須比鋼堅硬的多了。

如果並沒有以太，我們再要在空間決定位置，祇好說對於什麼固定標誌的關係。但是到那裏去找這種固定標誌呢？他們不在行星上面，因為行星繞日運行，速度從每分鐘三英里到三十英里。也不在太陽和羣星上面，因為他們相互運動，速度更高。也不在迄今所知距離最遠的物體，各大星雲上。

因為他們正從地球向更遠方向退去，並且彼此也正在四散，速度尤高，每秒鐘總在若干千英里。在全部空間，我們找不到固定的標誌，據以說明關係，所以在空間也無從決定一個位置。牛頓很明瞭這種困難，因為他說過：

「在各恆星或他們以外的渺遠地帶，或許有絕對靜止的物體，不過我們無法知道，各物體在我們地帶內的相互位置，有沒有一個同於那個渺遠的物體。因此，祇根據我們地帶內各物體的位置，不能夠決定出絕對的靜止狀況。」

他也知道一種無所不在的以太，可以造成一種解決的方法，因為他以下又接續着說：

「我在這裏並不會注意到一種媒介，如果有的話，竟自能自由遍佈在各個物體的部分空隙。」而這樣一種媒介，更似乎是這個問題的唯一解決方法；他的各個質點便是固定的標準位置，藉着他可以決定運動物體在任何時的速度。如果這種媒介並不存在，我們就祇能隨意用任何方法界說在空間的靜止了。

時間的位置

要精確決定時間上的某固定點，也發生與此大體類似的問題。

我們不久學會，把個人經驗的時間，看成一道常流不息的河流。通常更無意中假設，同這一道河流，也依照這種方式流過全部宇宙。所以在時間上能夠決定事件的位置，正像在以太裏能夠決定物

體的位置。例如在西曆一九〇一年一月一日，一個天文學家看見一個星球的突然破裂他以為這星球距地正是一百光年，他就說這個破裂，發生於西曆一八〇一年一月一日。他相信這個破裂，在時間河流上能有固定的「位置」並且說他的發生正當地面上十九世紀開始的一刹那，也有固定的意義。

不過且讓我們來一研究這種信仰的涵義罷。我們祇須研究一個簡單的實例。在應用天文學上是日常使用的手續。假設格林威（Greenwich）的英國天文學家，想把他們的天文觀測，對較安那普利（Annapolis）美國天文學家的天文觀測，東西相距約三千英里。第一步工作，必須把兩地的時計對準。最明顯的辦法，自然是兩地間相互送出一種什麼信號。在各種已知的信號裏，如果有一種具無限的速度，這種手續乃至極簡單——安那普利的天文學家，當他們的時計恰在正午十二時放出一種信號，在格林威接到這種信號時，時間也恰是正午，那時兩地時計就已對準，要不然也很容易設法對準。這個問題的主要困難，是由於沒有信號能依照無限的速度進行；因為在物理學上有一個基本原理，那便是沒有比光再快的信號。事實上天文學家所用，正是可能範圍內的最快信號，和光速度相同的無線電信號。不過假使安那普利當時計恰到正午放出無線電信號；等到信號到了格林威，安那普利的時計當然已經略過正午。事實上格林威的天文學家說無線電信號每分鐘約行一八六、〇〇〇英里，所以從安那普利到達，約需時五十分之一秒。所以當安那普利的信號到時，他們的時計要恰

是正午過後五十分之一秒，就認為已經適當對準了。

這對於天文學的實際需要，自己足夠近似，但不能說是絕對精確。要獲得完善的諧和對較，必須確知信號在途中所用的時間。

現在我們且假設無線電信號，是在以太裏進行的一種波浪。再想像地球也同在這種以太裏進行，譬如說方向是從格林威向安那普利。那時格林威恰好在以太裏前進，去迎接安那普利的信號，所以所用時間，較諸地球在以太裏靜止，要略行減短。但是要想知道究竟減短幾何，藉以發現信號經行所需的精確時間，那勢須知道地球在以太裏進行的速度了。

邁克爾遜莫萊實驗

著名的邁克爾遜莫萊實驗 (The Michelson-Morley Experiment) 是想用最直接最明顯的方式，以測量這種速度。假設信號在以太裏經行是每秒鐘一八六〇〇〇英里，而地球在以太裏經行，從東向西，是每秒鐘一〇〇〇英里。所以從西向東的信號，在地面上進行，將從每秒鐘一八六〇〇英里增加到每秒鐘一八七〇〇英里，這因為地球正迎着信號前進。但是當信號向回走的時候，自然要從每秒鐘一八六〇〇英里減少到每秒鐘一八五〇〇英里。一個往返雙程的信號，去程的速度因之較高，而回程的速度則因之較低。在每千英里的途中，去時需時一八七分之一秒，回時需一八五分之一秒。所以我們要求每千英里途程往返共需時間：

$$\text{去程的時間} = \frac{1}{187} \text{秒} = 0.005347594 \text{秒}$$

$$\text{回程的時間} = \frac{1}{185} \text{秒} = 0.005405406 \text{秒}$$

$$\text{時間總計} = 0.010753000 \text{秒}$$

在另一方面，如果地球是在以太裏靜止，雙程所需時間就是：

$$\text{時間總計} = \frac{2}{185} \text{秒} = 0.010752690 \text{秒}$$

可見去程所省的時間，並不能完全補足回程所多費的時間。其純粹耽擱，還大概有三百萬分之一秒。在反對方面，如果能夠測量出純粹的耽擱，證明確是三百萬分之一秒，我們就知道地球在以太裏經行的速度，真是每秒鐘一〇〇〇英里了。

在事實上當然沒有方法將往返雙程所需的時間，對較使地球靜止時所需的時間。不過可以有方法比較兩個雙程所需的時間，同時在運動的地球上往返，一個是我們已經說過的東西向往返，另一個是長短與前一個相等，祇是方向與前一個成正直角。這種比較所得的結果，證明一樣是我們所需要的知識。

為精確起見，如果我們用 c 代表光的速度，用 u 代表地球在以太裏面運動的速度；要求在地球運動方向內，每單位長短距離往返雙程的時間損失，將為

$$\frac{1}{c+u} + \frac{1}{c-u} - \frac{2}{c}$$

應用簡單的代數學，可證明前式等於

$$\frac{2}{c} \left[\frac{1}{1 - \frac{u^2}{c^2}} - 1 \right] \dots \dots \dots (A)$$

再利用簡單的幾何學，要求在與地球運動方向成直角的方向內，往返同一距離的時間損失，將為

$$\frac{2}{c} \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - 1 \right] \dots \dots \dots (B)$$

很容易看出：前一個數量極近似後一個數量的兩倍；如果實際觀察能夠看出他們的差異，自然不難求出 u 的數值。在實際實驗裏，光線所行途徑，當然不能達到我們用為說明的一千英里，僅能用若干碼的遠近，所以就是每秒鐘一千英里的速度，結果所生時間差異，也不過一兆分之一秒左右。而就因為這樣簡短的時間，終久改變了我們對於宇宙的全部觀念。

邁克爾遜和莫萊想要精確測定這種細微的時間差異，不過當然不能用普通的時計或馬錶。他們實驗所用，是一種顏色極純的光，其波浪震動，每秒鐘有若干兆次，並且很勻，所以這些震動便是一架很完好的時計。這實驗的要點，是把兩道光同時送出，循着不同的方向往返，看一看他們誰回來的

快些，並且快了幾多時間。

如果結果所得差異很大，那證明地球在以太裏運行很快；如果很小，那證明地球在以太裏運行很慢。始終不會想到的結果，便是時間差異，或許竟等於零。因為地球祇就繞日運行一事，他已經有每秒鐘十九英里的速度。而儀器的靈巧程度，卻能發覺每秒鐘一英里左右的速度。不過後來所得，正是不會想到的結果。每次作這種實驗，絕對不能發見任何時間差異。重複的次數很多，在一年中各天的各時，（以期儀器所指為空間的不同方向，並且使地球在他繞日軌道上的各種位置）並且變化溫度，及高度等種種情形。但是自然所給予的答復，終久是他不知道地球在能媒裏面的運動。前面（A）式和（B）式所得的結果，總是彼此相等。因此 u 正等零。

這樣一個答復，乍一看似乎是一種純粹的荒謬。最明顯的推論，（不過經過很久的時間纔達到），當然是這問題本來就荒謬。簡單說，就是用光為在一種以太裏的波浪概念，實是這實驗所根據的錯誤背景。波動說的成就，證明光有很多像波浪的特質，不過這種實驗又似乎證明他的行動，並不是一種波浪的形式。

在光子理論裏，是說另一種不同的行動方式。因為如果光的行動，有如一種以太裏的波浪，他的速度，對於以太海說，將永遠相同。在另一方面，他的行動，如果像鎗裏射出的質點，那時他的速度，對於他發生所自的鎗說，將永遠相同。

這樣對於自然所提出的問題形式，或許應當是：「光的行動，究竟像波浪呢，還是像質點呢？」問題的組織果真這樣，那邁克爾遜莫萊實驗顯然要贊助後一種說法，毫無疑義了。

不過假使光的行動像質點，從兩個速度不同的物體所發光子，自然速度也不相同。根據天文學的觀察，知道從一個雙星系統裏兩星所發出的光子，行動速度彼此完全相同。所以至少在這裏，光的行動並不像質點。顯然我們上面所組織的問題，仍舊含有假設我們無權假設的成分。他假設光在空間經行，不是像波浪便是像質點。現在的觀察，似乎是說光的行動，既不像波浪，也不像質點。

這樣，光究竟在空間如何進行呢？我們不久就要看出愛因斯坦解決這個困難，是利用一種新觀念，並且不是光的新觀念，而是空間的新觀念。

不過在一開始，我們必須先略回溯科學的歷史。在西曆一八七三年，馬克斯威爾 (Maxwell) 證明光是電作用的一種特別形式，因此光在空間如何傳佈的問題，乃變成一個更廣問題的一部分。馬克斯威爾和法拉第 (Faraday) 二人，全曾企圖證明一切電作用在空間傳佈，全是以以太裏擾動的形式。由此顯然可見，假使地球在以太裏按每秒鐘一千英里的速度經行，那時可以說有一種「以太風」，依照每秒鐘一千英里的速度，經過地球上的一切物體。要說這樣一種風，竟自不影響電作用的傳佈，似乎不可思議，而根據實驗結果，他又確無影響。關於電作用有很多實驗，通常的結果，全同於邁克爾遜莫萊對於光的實驗結果。他們不祇不能發現地球在以太裏的運動速度，更似乎指明這種運動並

不存在。無論如何，也已經證明這種以太風對於地上的現象絕對不發生影響。

牛頓派的相對論

在說明這一點的含義以前，我們且討論一個性質相同，比較簡單，而又為牛頓所討論過的問題。通常知道，輪船火車等依照一致的速度前進，裏面的物體行為，正同於他們靜止不動。假使我們在船上打網球，面向着船首的球手，並不因為船的前進獲得利益。他在給予球速度時所得任何利益，全和在接球時用球拍擋球所費額外力量，互相抵消。在實際通常所見，球從球拍跳起，總和船靜止時一樣。牛頓用下面一段話，表示這宗觀察的事實：

「在某一空間的物體運動，在他們自身間總是一樣，不論這空間是靜止不動，還是依直線方向按等速前進而沒有任何圓形的運動。

「我們在一隻船上的實驗，便是這一點的清楚證明。無論船是靜止，還是依直線方向等速前進，裏面一切運動，總不因之變更方式。」他又用下面一段話，說明所以然的道理：

「因為趨於相同部分（即相同方向）的運動差異，以及趨於相反部分的運動總和，在一起初（假定）是彼此相同。並且就由於那些總和及差異，纔發生了各物體彼此間的衝突及打擊。不過（根據第二公律）那些衝擊在兩種情形下相同。所以各物體自身間的相互運動，在兩種情形下也相同。」

如果把作用從機械性變成電性，將發生相同的情勢；發覺地球的運動並不影響所觀察的現象。

直到十九世紀的末尾，有許多物理學家從事於探索這種情勢可能的所以然，後來在一八九五年萊頓 (Leyden) 的勞倫慈教授 (Prof. Lorentz) 乃公表出一種很奇特的結論。

勞倫慈變式

爲使圖景在可能範圍內盡力生動起見，我們姑且想像一位物理學教授，在地面上一個實驗室裏，發現了若干關於電作用的公律，那時的地球，又恰值在以太裏靜止不動。我們假設他組成這些公律，是利用在時間和空間的測量。我們還假設他也依照通常的算學習慣，在空間指定一點，是他距三個互相垂直平面的距離， x, y, z ；用 t 代表時間的經過，表示從一指定零時的時間間隔。這樣，他把他的公律說成把若干可觀察測量的數量聯絡於 x, y, z, t 的一種關係。假使我們爲思想確定，需要一個具體的實例，可以引用磁感定律 (Law of Magnetic Induction)，馬克斯威爾用下式代表：

$$\frac{1}{c} \frac{da}{dt} = \frac{dY}{dz} - \frac{dZ}{dy}$$

式裏的 c 代表光的速度； a 代表某一方向的磁感； Y 和 Z 代表與第一方向垂直其餘兩方向的電力。所以這個定律，是把 a, Y, Z 幾個可測量的數量變化，聯絡於 x, y, z, t 的變化。

現在我們再假設這位物理學家，後來坐在火箭裏被射往空間，方向是 x ，速度是 u 。他發現公律所在的實驗室，原沒有「以太風」的吹過，所以那些定律在他的新情形下很難說仍舊不錯。不過勞倫慈能夠證明，根據已知的電動作定律，不問什麼以太風，物理學家在地上發現的任何電動作定律，

到了運動的火箭上，性質依然不錯。並且在某種限制意義下，數量也還不錯。假使他在運動的火箭裏，重新研究這些定律，就覺出他們依舊可用以前的算學公式，和在靜止地球上一樣的精確。不同的點，祇是 x, y, z, t 各數的含義，和在地面上不十分相同，可是不久我們就要看出，物理學家將永遠不能發見這種差異。

我們且把 x, y, z, t 留着代表在地面上對於空間和時間的測量，另用 x', y', z', t' 代表在運動火箭上的相同測量。於是勞倫茲證明，在火箭上要獲得同於在地上所獲得的公律，必須使運動火箭上的坐標 x', y', z', t' 和靜止地球上的坐標 x, y, z, t 有下列方程式所代表的關係：

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

這些方程式，代表通常所謂「勞倫茲變式」(Lorentz Transformation)。裏面的每一項，全需要慎密的研究。

代表在地面所量光的速度，我們不久就要看出他也代表在運動火箭上所量光的速度。如果我們要討論力學上和天文學上的平常問題，我們很不必顧及光的速度，因為光的速度遠高於其他物體的速度，所以可以把他當做無限的速度，並且有十分正當的理由。所以在這些問題裏，我們把

等於無窮大，那就是說凡被 c 除的全等於零。這樣辦理以後，勞倫茲變式的方程式，就化簡為下列各方程式：

$$x' = x - ut, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t.$$

所以祇就機械實驗而論，在火箭裏所用坐標，正在地面上所用坐標，不同的祇是 $x' - x, t' - t$ ，這裏的原因，當然是由於火箭依 u 的速度，逐漸遠離地面。這祇是說一切位置，必須從新實驗室測量起，而不從留在後面的地球測量起，免得引起任何情形下的錯誤。

所以如果光的速度，遠過於其他有關的速度，勞倫茲的結果，便正同於二百年前牛頓所發現的結果——無論實驗室是否運動，一切現象總不隨之改變。

不過勞倫茲所注意的，原來本在電的現象；電的傳播速度，通常知道正同於光的速度，所以光的速度，這裏不能認為無限；也就因為這個緣故，公式裏面纔含有 c 。

他第一步是在代表 x 的公式分母裏 $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ 裏發現。那是說測量 x 的單位，不同於測量原來 x 所用的單位。正如同十二英寸做成一英尺，所以 $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ 個後一種單位等於一個前一種單位。這個乘數，有時被稱為「費茲格拉勞倫茲縮數」(Fitzgerald-Lorentz Contraction)，因為那時的科學家還全想像一種無所不在的以太，費茲格拉（一八九三年）和勞倫茲（一八九五年）二人，曾各自獨立提示，一個物體依照速度 u 在以太裏運動，將依照運動的方向，發生這樣多的縮小。

以太風對於在裏面運動的物體可以壓縮，正如同平常風的壓力，必須壓縮踢到裏面的足球。無論我們如何解釋，這樣一種縮小卻正可說明邁克爾遜莫萊實驗的結果。儀器在往返方向的縮短，恰好能補足光線在這途徑中較低的平均速度。

我們現在把前面所說的(A)(B)兩式一看，立刻可以明瞭此點。如果儀器在能媒裏運動時，長短方向縮短k倍，那麼爲求一單位距離順逆往返方向所多廢時間的公式(A)，就必須變成下式：

$$\frac{k}{c+u} + \frac{k}{c-u} - \frac{2}{c}, \text{ 或 } \frac{2}{c} \left[\frac{k}{1-\frac{u^2}{c^2}} - 1 \right]$$

如果k的數值是 $\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$ 這個公式就和爲求跨流往返方向所多廢時間的公式(B)彼此完全相同了。

在y和z的數值裏，並沒有類似的乘數，所以在那兩個方向裏，全沒有縮小。可見一個物體祇在他運動的方向縮小，並不在和他運動方向成直角的方向縮小。因此引起一個奇特的結論，就是一個物體因爲運動而變更形式；一個檯球在靜止時或許是正圓形，等到打的時候，卻變成了橢圓形。如果費茲格拉和勞倫茲不曾錯誤，那時吉爾勃(Gilbert)所謂「橢圓檯球」(Elliptical billiard balls)便是表現一種鄭重的科學事實，不過「橢圓」須是指着用橢圓形旋轉而成的橢圓體 (Ellipsoid)

of revolution) 一個物體的運動速度，如果同於光的速度，他在運動方向的縮小，將使他等於零；那就是說一個圓球體變成一個圓面，一個立方體變成一個方面等等。

在 t' 的數值裏，也發現類似的縮小乘數。所以在運動火箭上的實驗者，測量時間所用單位，也必須異於在地上實驗室裏所用單位，那時實驗室的運動，纔不致影響各項觀察自然定律的敘述。同樣，還是後種單位的 $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 倍做成前種單位的一個單位。

在火箭裏所測時間 t' 的數值，不祇因分母含有縮短乘數而增加複雜，而分子不祇有賴於地上的時間 t ，也有賴於離地的遠近 x ，因之複雜更甚。這裏的意義，是說在地面的某一時 t 是一個已知的固定數值，同時 t' 更沒有一個在空間各點全同的固定數值。對於火箭裏的人，時間依空間各點而變更，正如同地面上的「局部時間」(Local time) 或「日光時」(Sun time) 依地面各點而變更。因此，勞倫茲把 t' 的數值，叫做火箭裏實驗者的「局部時間」。天文學家的局部時間，在地面上傳播的速度，恰好使正在日光直射下的永遠是「局部」正午。勞倫茲公式證明，物理實驗者的局部時間，在空間傳播的速度是 $\frac{c^2}{v}$ 。

我們在這裏所遇着的速度，就是和光的速度相較，也還異常巨大。假使火箭的運動速度，是光速的一萬分之一，和地球在繞日運行軌道上的速度約略相等，那時火箭上「局部時間」在空間的傳播速度，就是光速的一萬倍。我們就要看出，這種傳播速度，在近代物理學上佔有一種極重要的

位置。

我們且引兩種具體實例，以說明勞倫茲變式的物理含義。我們前面所說的磁感定律，是利用 x, y, z, t 等坐標。我們既知道這些和 x', y', z', t' 的相互關係，祇需用代數原理，即可用後種坐標表示同一定律。改變結果，乃成爲下列的方程式：

$$\frac{1}{c} \frac{da'}{dt'} = \frac{dY'}{dz'} - \frac{dZ'}{dy'}$$

裏面的 a', Y', Z' 和原來的 a, Y, Z 含義微有不同。這裏的物理學含義，是說在運動火箭裏的實驗者，可以重新探索磁感現象，並且可以重新發現馬克斯威爾定律。假使他發現了以後，他仍舊能用在地面上所用的算學形式去代表，不過除去 c 以外，其餘一切符號的含義，較諸在地面上微有不同。

再舉第二個實例：我們想像火箭裏的實驗家重新探索光線傳播的速度。先假設他在空間的一點，我們就叫他做原點 ($x=0, y=0, z=0$)，在某一個時間，我們就叫他做零時 ($t=0$)，燃燒若干鎂粉。這樣發出的光，將一致向空間各方面散佈，速度全是 c 。經過 t 時以後，各方向所達到的距離，全是 ct ，所以他如果達到一點，坐標爲 x, y, z ，距原點爲 $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 必須有下列一式的關係發生：

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = ct$$

我們據此再用勞倫茲變式的方程式，又不難獲得下列一式：

$$\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} = ct'$$

從上面兩個方程式，可見實驗者所用測量單位，無論是適於運動火箭上的，還是適於靜止地球上的，光的速度總是各方面一致的。換句話說，邁克爾遜莫萊實驗，無論作幾次，也不能發覺火箭在空間運動速度 u 的數值。

相對論

西曆一九〇五年，愛因斯坦對於全部問題，給予一種既新而又極富於革命性的變化。勞倫茲研究所據的概念，是一種充滿空間的以太，所以在每一實驗裏，必有以太風的吹過。因此他想像，觀察者在空間靜止的時間 t ，是真正的時間，而在空間運動的火箭裏面人的「局部時間」 t' ，祇是一種專為顧及以太風的方便假說。

不過當火箭在空間運動的時候，假使另有一輩新人在裏面降生，他們不久就會忘掉留在地面上的真正時間 t ，祇知道他們的「局部時間」 t' ；他們就直叫他做「時間」。同樣，我們人類祇於知道一種時間，叫他做「時間」；但是其實這必須祇是我們所居火箭（地球）在空間運動時的「局部時間」。我們說天狼星的光到達我們須經八·六五年，那是說我們地球上局部時間的八·六五年。我們說一個遠星的爆裂，恰好和十九世紀的開始同時，我們也必須用我們地球上的「局部時間」。我們似乎顯然沒有權利說他同於自然的「真正時間」。

愛因斯坦在這個時期就問道：「爲什麼沒有有什麼理由竟使我們假設我們的時間較低於其

他任何時間呢？」假使自然定律在全部空間總是一致不變，所有按不同速度在空間運動的火箭，必須各有不同的局部時間；並找不出什麼證據：指明另外還有高於一切的真正時間，而在事實上所有證據，卻正指着相反的一方向。所謂真正時間，即含有一個在空間靜止的物體。我們不祇沒有方法發現，什麼時候一個物體在空間靜止，並且有種理由可以假定這種詞句毫無意義。

愛因斯坦根據這些理由，便主張所有的時間，全是「局部的時間」。在空間運動的有幾多火箭，或行星，或星球，便有幾多「局部的時間」，誰也不比誰含有較多的基本性。

這裏的含義，是說在時間上不能用客觀方法決定一事件的位置，正如同在空間不能用客觀方法決定一物體的位置。因此，愛因斯坦建議捨棄了客觀或絕對的時間和空間概念。同時用一種所有實驗全像加以實證的假設代替。這種假設說：「所謂自然，使我們不能用任何方法以測量一種絕對的速度。」簡單說：自然所注意的，祇是相對的速度，在空間沒有什麼固定點作為背景，可據以測量絕對的運動；也沒有什麼絕對的時間流動，可據以測量絕對的時間。

相對論利用這個假說為出發點，進而藉精密的算學分析，以求他在邏輯上的種種結果。如果假說和自然相脗合，這些結果也必全脗合於自然事實。其中有許多可以用實驗證明；而每一個實驗總是證明這種理論，沒有一個例外——所推論出的結果，證明沒有錯誤。如果其中有一個證明錯誤，立刻便有方法在空間測量出一種絕對的速度，而這種觀察就足以使我們獲得一種絕對空間和絕對

時間的骨幹。直到現在爲止，還沒有一個物理實驗能夠做到這種地步，所以現代科學所做成的自然圖景，並不含有絕對空間或絕對時間。不過我們就要看出，等到天文科學研究全部宇宙，所取圖景又自微有不同。

不過在這裏並不是說我們從個人經驗所得關於空間和時間的直覺概念，必須完全舍棄。這些概念對於自然或許不關輕重，對於我們卻非常重要。算學家所得的無論是什麼結論，我們的新聞家，歷史家，小說家，仍舊把他們的事實和小說，放在一種空間和時間的骨幹裏面。他們仍舊要說——這種事件的發生，在永流的時間河流上某一點；另一種事件的發生，在這河流的較下游一點。

對於某一個人，對於經驗上使他們在空間和時間相互接近的一羣人——要就自然的廣博範圍而論，地面上的人類便共成一羣——這樣一種計劃，已經可以十分完滿。相對論所提示的，祇是說這樣一種計劃，專屬於一個人，或一小羣人的私用；他是一種褊狹的測量方法，所以不適用於自然的全部。他也能代表自然的一切事實和一切現象，但是必須使他們全帶有若干主觀的色彩；他所代表的自然，祇是一個火箭上，或一個行星上居民，或更不如說一對人眼所見的自然。在我們經驗或實驗裏，全不使我們對於這種或其他任何種偏狹計劃，以爲他能代表任何種客觀的實體，竟加擴張應用於自然的全部了。

我們時常想像空間是在「彼方」這領域裏的一種真實而客觀的東西，各種消息就從那東西

傳到我們的感覺裏來並且因為我們想像以太佔有他的每一點他好像更獲得若干實質，我們想像時間也是一樣的真實而客觀，他通過我們的感覺完全不能被我們控制。但是如果我們藉實驗來詢問自然，就覺得爲一切人所公有的空間或時間，自然是全不知道的。假使我們利用相對論去解釋這些實驗，覺得空間要離開了我們對於物體的識覺，就沒有什麼意義，時間要離開我們對於事件的經驗，也就沒有什麼意義。空間好像是我們心所創造的一種虛說，把一種主觀的概念擴張到自然上面，幫助我們明瞭和敘述所看見的各種物體；而時間又祇像另一種虛說，對於我們所經各種事件的排列，也有類似的用途。

這對於早先康德的主張，在相對論前支配了哲學全部，當然正相反對。康德的主張要點，可綜述如下：

「(一)空間的觀念，不能發生於外界的經驗；因為我要明瞭我自己以外並且相互各在以外的事物，我必須在心裏已經有了空間的觀念。

「(二)空間的觀念，必須是一種先有的觀念，因為我祇能想像空間空無所有，卻不能想像空間消滅。」●

簡單說，對於康德以至對於笛卡兒和牛頓，總是沒有空間物體就不能存在；而對於愛因斯坦，卻

是沒有物體空間就不能存在。

客觀的空時

我們已經明瞭，平常的空間和時間，逐漸變成了兩種人造的骨幹，我們藉以觀看和記載我們自己的感覺經驗。

假使我們要研究客觀的自然，顯然需要一種客觀的骨幹，完全無關於我們所在的火箭的運動。這樣一種骨幹，久已隱伏在勞倫茲變式裏面，不過直到遇着愛因斯坦和敏果斯基(Minkowski)——人的天才，纔把他指示出來。這種骨幹，不多不少正是一個四度的空間，用 x, y, z, t 代表他的四個坐標——換句話，就是把任何一個人的普通空間，加上一個第四度，就是這個人的平常時間。當一個人的空間和時間，照這樣黏合起來以後，立時覺出原來這個人全被去掉——成分雖屬於個人的主觀，而結果卻屬於客觀。

從日常生活的三度空間，試取一類似的比喻，將證明何以有這種可能性。我們可以任意把空間區分；為多數用途便利起見，把他分成橫平的（兩度）和豎直的（一度）。這樣的區分，自然隨地上各點而各屬於「局部」。一個人的直線，不能是每個人的直線，在倫敦的區分，不能同於在巴黎的區分。不過倫敦一個人，如果把他的兩度橫面和他的一度豎線黏合起來，他所得的三度空間，將同於巴黎另一個人用同種方法所得的三度空間。對於倫敦或巴黎說，所謂橫豎，全是局部的概念，但是結果

所得空間卻毫不含局部性質。有時候別種區分方法或許較便利於橫豎區分方法。在皮薩 (Pisa) 斜塔上工作的建築師，或許用「與塔軸垂直」和「與塔軸並行」的區分方法。這和皮薩其他居民所用的橫豎區分，即大體不同；但是和納普斯 (Naples) 居民的橫豎區分，又互相符合。皮薩的建築師，依照他自己的便利，可以隨時有用這種區分的完全自由；這種區分，並不是納普斯居民所能單獨保持。同樣，我們每一個人，也可以把這新四度空間，任意按種種方法，區分成個人的空間和時間。一個人為方便起見，往往願意在區分的時候，當他自己靜止不動，想像世界的一切在他身旁經過，不願意想像他自己在世界裏經行。在別的時候，他也許覺得別種區分方法比較方便。例如一個地上的天文學家，要研究木星的運動，幾乎所必採的區分方法，就是假設木星在空間不動。這樣說，他就是想像自己在木星上居住。不過，無論如何區分，一個人如果把他所選定的空間和相符合的時間聯合起來，結果所得的四度空間，終久總是同一個四度空間。一個人的空間和時間，和另一個人的空間和時間，乃至一個人在兩種時機所選的兩種不同空間和時間，其彼此相互關係，當然包括在勞倫茲變式的公式以內。

敏果斯基曾經證明，這種關係還能用一種更簡單的形式代表。因為我們如果用 τ 代表 ic ，裏面的 i 像平常一樣代表負一的平方根， c 代表光的速度，勞倫茲變式裏各方程式，就可改用下式寫出：

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \theta - r \sin \theta; & y' &= y \\r' &= x \sin \theta + r \cos \theta; & z' &= z\end{aligned}$$

裏面的角度 θ ，恰好使 $\tan \theta = u/c$ 。每個算學家將能看出這些公式正代表把坐標軸旋轉一個角度 θ 。要從事幾何學的解釋，我們必須想像一個四度空間，裏面的坐標是 x, y, z, r ，正好似在平常空間的 x, y, z 。其實，我們的新空間，正是把這平常的空間擴張到第四度，把 r 或 $rcos$ 當做第四個坐標。現在我們知道，把坐標軸旋轉，使他在這四度空間裏指一新方向——就是在這四度空間裏旋轉他個人的空間和時間方向——一個人可以改變他自己的空間和時間，適合於在空間按另一速度經行別一個人的空間和時間。正如同在平常空間裏，把個人的橫豎方向旋轉某一角度，皮薩人可以把他自己的橫豎方向，改變成納普斯人的橫豎方向，至於改變的方法，皮薩斜塔便是一個明白的實例。

勞倫慈，愛因斯坦，敏果斯基諸人的工作，事實上證明，各人間雖依照不同的相對速度經行，因之把這四度空間各有不同的區分，他們卻能發見總相同的自然公律。換句話，自然的本身，並沒有自己特別的區分方法。他所注意的，祇是不會區分的完整四度空間，對於裏面的一切方向，他總是一樣看待。這樣一個空間，通常叫做「連續體」(Continuum)。如果我們要造成一種自然的真正圖景，不含一切主觀的偏見，顯然要用他當做幃布，把圖景畫在上面。其實，我們更可以檢查他們對於各種方向，是否同等待遇，藉以試驗他們是否真實。把他們倒過來或斜過去，必須毫無影響。每一種圖景或假說，

如果不能滿足這種試驗，必須立加舍棄。

例如，牛頓的引力定律——引力和距離的平方值成反比例——就不能滿足這種試驗。這也不足驚奇，因為兩個物體間的「距離」在我們不能對準這兩物體所在的時間以前，直沒有什麼精確的意義。庫侖(Coulomb)關於電引力的類似定律，也就自身宣告失敗，但是磁力走了進來把缺憾補足；於是電力和磁力合在一起，恰好能完全滿足這種試驗，這在前面已經說過。

客觀的自然

這樣，自然並不知道分離開的空間和時間，祇注意於四度的連續體，裏面的空間和時間，不可分的黏合在一起，我們可以叫做「空時」(Space-time)。我們的人性眼鏡，把他區分為空間和時間，並且把他們中間加上偽造的歧異，正如同一付散光的眼鏡，把一個人的平常視象，區分成橫豎方向，並且在其中加上偽造的歧異。我們把散光眼鏡帶上，再一俯首，便發見面前的景物，改換了排列。但是我們知道那些景物並未真變。這景物的性質是客觀，而從我們眼鏡裏所見的景物，卻是主觀。

等我們把我們的人性眼鏡去掉，就看出了一事件的發生，並不在空間的一點和時間的一時，祇在這連續體裏的一點存在。這一點同時限定了發現的時間和地點。我們知道自然的主要成分，並不是在空間和時間存在的物體，而是連續體裏的事件。一個物體，以前說他的特點是在時間上延續存在；但是現在可以看成若干事件的連續——每個事件是在時間一點和空間一點存在。所以一個物體，

就是一組若干點的聯合，也就是連續體裏一道線。通常把這道線，叫做物體的「世界線」(World-line)，他的形狀和位置，便代表了這物體生存全部的運動。不受外力的物體，在空間永遠按直線等速運動，他們在連續體裏的「世界線」全是直線。如果他們的速度相同，他們的「世界線」相平行，如果他們的速度不相同，他們的「世界線」就不平行。

兩個不相同的事件，當然在不相同的兩點代表；中間分離的多寡，通常叫做他們的「間隔」(Interval)。我們帶上了人性的眼鏡，說火車從甲地開行到乙地停止的間隔，在時間是七·五小時，在空間是四〇〇英里；不過祇是一種私人的主觀敘述——例如火車上的火夫，就許說是七·五小時的勞苦工作，集中在一個地點上面——機器的腳踏板上。等到我們把人性的眼鏡去掉，立時看不出空間和時間，所見的祇是火車出發在連續體裏用一點代表，火車停止用另一點代表。同樣，我們帶上人性眼鏡，說一個光子從天狼星出發到我們兩眼和儀器接受，中間的間隔，空間是五十一兆英里，時間是八·六五年。等到我們把眼鏡去掉，我們祇能說這兩個事件，在連續體裏有如許間隔。

有些哲學家，反對用這種方式應付這個問題，理由是說這種方式預先假設空間和時間不能自己獨立存在，祇能被一種有意識的心理所見。他們斷言把連續體區分成他的兩個成分，是物理的區分，不是心理的區分；所以他需要的，不是觀察者的心，祇是觀察者的眼——正如同從太陽光線選成虹霓，也不需要觀察者的心，祇需要他的眼，即使用照像機的鏡頭，也未嘗不可。這種說法，我們可以試

驗例如把一個死人身體，凱撒大帝 (Imperial Caesar) 的已成灰塵尸體，放在這連續體裏。這時所有的祇是連續體和凱撒身體的世界線，別的什麼也沒有；很難找出什麼感覺，竟自把「空時」區分成空間和時間。我們當然可以共同同意，把世界線上每個點的方向，當做時間的方向，把其餘三個方向當做空間；所以等到凱撒回了生，他將不覺得他自己在世界裏經行，將以為世界在他身旁經過。不過如果這樣一辦，這種區分的促成，並不是凱撒的死體，而是我們活人的心理。我們不能堅持，如果凱撒活轉以後，他必也用這種方式區分。當我走上一座山時，我就不按這種方式選擇我的空間和時間。我覺得我自己是向山上行走，並不以為山在我們下面經過。至於凱撒必也時常這樣做，那更無可疑。

我們必須記住，相對論所說的空間和時間，全容許完全精確的界說；他們就是一個觀察者，當發現，實證，或討論自然定律的時候，用他的意識心理 (Conscious mind) 所選定的空間和時間，當作記載他一切觀察所據的骨幹。他所選定的空間和時間，對於當時他意識知覺 (Conscious perception) 的空間和時間，也許相合，也許不相合。相對理論對於後者完全不顧；所以我們要使他們二者相同，祇可說是我們自己冒險了。

相對論的空間和時間，至極固定精確。而我們知覺的空間和時間，則往往不能。當我們在波濤洶湧的海上航行，船的固定構造使我們的意識看出一種空間，地平面又是一種空間，地心吸力和船速變化相合，又發生許多種不同的空間；因為屢次的衝突，乃致不熟慣的旅客，增加了不少的痛苦。再取

一個更明瞭的實例，一個天文學家在那裏從事觀測，有鐘表式的機械，轉動他的望遠鏡，總指着空間的一個固定方向，但是他的身體依舊隨着地球的旋轉運動。他記載所得的觀測，幾乎必定根據望遠鏡在空間所指的方向；但是除非他使自己意識知覺的空間，繼續改變，以適應這種空間和他身體靜止所在的地面空間，他一定覺得望遠鏡從他的座前向遠處飛去。當他從一輛行動着的公共汽車上跳下，他的知覺空間和時間，必須迅加變化，不然他就得跌倒。不過事後他要明瞭跌倒的原因，他計算所用的骨幹，不是公共汽車便是道路，所以他自己必須堅守其中的一個；事實上他必須從自己知覺的空時，轉換到相對論的空時。因為這兩種既是這樣完全互不相同，所以避免跌倒的技術，和跌倒以後瞭解原因的技術，彼此正相反對。

過去現在將來

即使空間和時間，在連續體裏彼此完全融合，我們仍舊可以辨出兩種不同的間隔。物理學上有一個清楚成立的定律，說任何物質物體的進行，絕不能再快過一道光線，所以光的速度——前面已經說過是一種客觀的速度，對於空間的任何旅客無不相同——正是一種絕對的最高速度。假使兩個事件在連續體裏的位置，可使同一物體在雙方發現，不過經行速度又不大於光的速度，我們說他們中間的間隔「類似時間」(Time-like)。這樣，在同一物體的世界線上，任何兩事件的間隔——例如一輛火車從甲地的開行和到乙地的停止——必須永遠是類似時間的間隔。同樣，影響我們任何

個人意識的一切事件，必須彼此間各有時間的間隔。因此，我們纔獲得了時間流動的直覺概念。

在另一方面，兩個事件裏要有同一物體存在，此物體經行速度如必須高於光的速度，我們就說這兩個事件間有「類似空間」(Space-like)的間隔。在這兩種間隔的中間，有一種界線，在那裏一個物體的速度如同正等於光的速度，就能在兩個事件裏發現。因為算學上的各種理由，這裏無須提及，把這種間隔叫做「零間隔」(Zero-interval)。如果事件和我們中間是類似時間的間隔——例如安娜皇后的死亡或喬治皇帝的登基——我們要知道他們，惟有用記憶能力，或利用記載，因為記載有持久性，可以阻住時間的前流。如果事件和我們中間是一種「類似空間」的間隔，我們就完全不能知道他們，必須再過些時間，等間隔先變成「零」，再變成「類似時間」，然後我們纔能知道這些事件。但是間隔恰好正等於零時，我們對於各事件就能得着直接的密切知識——那便是我們用眼看他們所得的知識。

時間的河流，祇要假設在空間各點相等流過，各種事件很可以嚴格的區分成過去，現在，將來。世界上一切事件，在一個用客觀空間三方向和客觀時間一方向造成的連續體裏，無不可以代表。在時間的某一點，通過空間的三方向作成一面，一邊是過去的全部，一邊是將來的全部。面的本身，又含有現在的全部。

相對論已經證明，這樣一種區分，祇是特別某一個人的私自選擇。通過任何一個人所有空間的

三方向，做成一面，仍舊是那個人獨有的「現在」，並且把那個人的主觀時間，區分成他的過去，他的現在，他的將來。

往往有人提到，一個人變換他在空間的速度，可以搖動他在空時連續體裏的「現在」；正如同一個管理探照燈的人，在平常空間可以搖動他的燈光；他可以把連續體重新分成過去，現在，將來；正如同管理探照燈的人，可以重新分配黑暗，光亮，黑暗。在他自己，誠然不費絲毫力量。假使他睡了八小時的覺，地球的轉動已經變更了他的速度，每小時有幾百英里，因之也重新分配了他對於連續體的區分。這時或許把一個渺遠星雲上的時間，從過去到將來，移動了十年，因此使那上面的居民，重新又過渡了過去的十年，無論是好是壞——或者他們把已過去的十年生活，又完全重複一過呢？這種矛盾的發生，是因為我們忘記，這裏所謂時間，祇是一個人為記載他對於自然觀察所選用的時間。並不是他的意識知覺時間，更不是星雲居民的意識知覺時間。我們在連續體裏所能搖動的，除去我們自己的思想以外，再沒有什麼更確實的東西了。

不過我們知道，把時間當做連續體的一度，我們的直覺，不加批評，賦予他種種特質，他或許竟自缺乏其一，那便是用一個「現在」把他嚴格區分成過去和將來。我們既不能證明這種區分存在，也不能證明他不存在。相對論所提示的，祇是我們的直覺既然以為他一定存在，那就許已經引導我們進了錯誤的途徑。

這裏又有人說過，如果這種嚴格的界線消滅，所謂時間上進化的概念，就要完全失去他的意義。我們時常以爲宇宙的化生，很像織機所產出的花樣。空間和時間，正是織成宇宙的經緯。在某一個時間，固定成立的祇有那些，其餘的還存在織機裏面，爲時間所含孕，到了相當時機纔產生出來。根據自然的機械觀點，織機的工作，是依照若干不可變更的定律，所謂花樣，已經全部預先決定，而進化亦祇代表若干預定變化的展開，預定花樣的出現。要根據非機械的觀點，則織機的作用，誰也不知道如何指導；所產生的，誰也不知道是什麼東西。

相對論原來不會強迫我們舍棄這種進化的簡單圖景，不過對於他所根據的直覺概念，確已表示懷疑。有許多人以爲，就因爲這個緣故，把世界的進化，比成花樣的織造，簡直全部陷於錯誤。他們說，所謂時間，已經不是時間，也不含有變化，他們祇是我們在連續體裏所選定的一種幾何方向。這個花樣，並不是在已不存留的時間裏面，一塊塊的陸續織成，卻是全部在我們面前展佈着，在一種連續體裏，將來的事件，和過去的事件一樣存在。我們雖然沒有到過澳大利亞，但是說澳大利亞存在——以前雖然沒到過，可是將來或許到那裏去。同樣，他們主張，我們不可以說一九四二年也存在麼？我們現在還不會到那裏，但是或許總有一天能到。其實，我們前面所說星雲的一個居民，能夠搖動他的「現在」，在連續體裏，使他和我們地球的世界線相交，從一九三二年立刻到一九四二年，正如同一個管理探照燈的人，把燈光搖動，照射各塊雲彩。無論燈光是否照射，雲彩總是在那裏，所以說一九四二年

也是早在那裏。

這裏又須提到，相對論所說的空間和時間，祇是我們心理所選擇的一種時間和空間，專為討論自然公律。相對理論對於一九四二年所斷言的確實性，並不多於我們思想所能斷言的，所以不能說現在就賦予一九四二年一種真實的存在。

相對論的成立，是根據一種完全固定和精確的實驗基礎。再用以前的比喻，他是說全部物理自然，總跟隨着我們，有如虹霓，或我們自己的陰影。結果，要祇問物理自然，我們不能找到自己運動的任何證據，所以我們在物理實驗室裏所研究的自然，並不含有絕對的空間和絕對的時間。不過這並不是說，他們在純粹物理世界以外的更大世界裏，就不能夠存在。其實，後面我們就要說到，天文學的自然，已經找到絕對空間和絕對時間的若干證據，並且對於我們剛討論的問題，發生相當關係。所以在次一章裏，還要重新提及。

從柏拉圖以後，哲學思想屢次提起一種觀念，說時間的變化和事件的流動，全祇屬於外表的世界 (World of appearances)，並不是實體的一部。所謂實體，被認為必須含有恆久性，要不然就不能真實，我們也就無從獲得關於他的知識。在自然萬象的變化後面，必須另有一種恆久的萬象，使事件的流動因之獲得一種一致性。

因為這一類的理由，哲學家曾經主張，實體必須沒有時間，而所謂時間，要用柏拉圖的話，祇是

「恆久的一種運動圖像」(A moving image of eternity)。例如佈萊德利曾經說過：「照我們所見的變化，必須與恆久相對。無疑的，我們在這裏遇着一種不能解決的衝突。不過，雖是這樣，變化依然需要若干恆久，以便在裏面發生連續作用 (Succession)。我並不是說這種需要始終一致，而在相反方面，我所注意的更是他的不一致。他固然不一致，但不因以減少他的重要性。所以我堅決主張，變化是要超過簡單變化以上。他所要變成的變化，是與恆久多少能互相一致。所以時間在確定自己時，一面要取消他的本身，一面更把他的特性提高，以便被吸取在什麼較高的裏面。」●以後過了兩頁，他又說道：

「時間像這樣並不真實，而他宣佈他的不真實性，更在他不一致的企圖作成『沒有時間』的形容詞。他是一種外表，屬於一種較高的性質，便在那裏露出他的特別性質。他自己的時間本性，並不就此完全停止存在，但更通體傳過。恰能互相勻稱，這樣，他纔消失在一種無所不包的諧和裏面。……他就在那裏，但是已經混合成一個整體，我們無法瞭解。」●

現在我們可以注意，把空間和時間吸收成一種較高的單體，空時的連續體，超出他們倆以上，並且沒有變化，恰好能滿足哲學家的需要；不過同時須把進化降到屬於外表的範圍裏面。

●見所著 Appearance and Reality 一書第二〇七頁。

●見前書第二〇九頁。

第四章 機械論

隔開一距離的動作

原始的人類，把自然當做若干物體的集合，他們相互間如果有什麼動作，便是由於直接接觸。他熟知空氣和水對於他身體的壓力，雨點落到他的皮膚上面，敵人用兵器的刺擊，至於隔開一距離的動作，卻是他所罕遇的事實。

早期的科學，根據這種見解，幾乎沒有什麼進步，把物質圖摹成堅硬的物體，任何兩個不能共佔同一空間，因為其中一個必定按直接接觸的方式，把其餘一個推開。不過到了後來的科學，就看見隔開一距離動作的許多實例。一塊磁石把隔離開的鐵末引到本身，他本身又受着距離更遠的地球磁極所影響。兩個荷電的物體，跨過中間隔離的空間，或是互吸，或是互拒，完全看他們的電荷是相反或是相同。太陽吸引行星，地球又吸引降落的地球。在這些情形裏，絕不能找出什麼確實的東西，來傳導這種吸拒。各物體的中間，固然往往全有空氣的存在，不過空氣並不能傳導所說的這種動作，荷電體和磁石的吸力，在真空裏還要強大於在空氣裏，而一個蘋果的降落，如果沒有空氣的阻力，將更自由加快。至於太陽吸引羣星，中間所跨空間，事實上更沒有任何物質了。

又過了些時，人類發現一切物質的構造，完全屬於電性，祇含有若干荷電的質點，此外更沒有別的什麼。這些質點全很細微，乃致一個物體所佔據的空間，遠大於其所含各個質點所佔空間的總和。約略估計，每一噸磚，可佔一立方碼；而做成這噸磚的若干萬個質點，祇能共佔一立方英寸，所有其餘的，全是空洞的空間。磚的質點，彼此間各留有相當距離，是由於相互間所發生的電力。如果能夠把這種電力取消，我們就能把一噸磚所含質點，完全裝在一立方英寸的空間裏面。在質量最密的星球內部，各質點的裝擺，就是這種緊密的情況；並不是因為電拒力已經完全取消，是因為星球自身壓力所生的巨大動力，已經把電力比的不能發生任何影響了。

不過在日常生活裏面，這些電動力仍舊保持着超過其他一切動力的優越地位，而一切普通物體的推或拉，仍舊全是隔開一距離的動作，有如磁石的吸鐵粉，或磁極的吸磁針。當風向我面上直吹的時候，風的分子趨近我的皮膚，距離能到十億分之一英寸左右，但是不能再近。就在這個距離，我的皮膚分子，便加強烈抗拒，使他們仍取原途歸去。我面上受風撞擊的感覺，是由於我自己皮膚分子所生電動力的反應結果——正如同我踢球時，足上所感覺的反應。

自然的全部，總是與此相同。假使我們用一個強度充分的知識顯微鏡去看，我們找不到一個直接接觸的實例，自然似乎祇有一種機械，便是隔開一距離的動作——跨過一段空間的動作。

經過很久的時間，人類以為原來為傳導光波而引用的以太，或許一樣能傳導這些別種動作；所

以把他當做自然的基本機械。曾有無數的實驗，企圖發見一種以太存在的任何徵象。他們無不一一失敗，結果自然無異於聲言，一切自然現象全正脗合於相對原理。全部空間，除去被物體所佔據的隔離幾部分以外，似乎全是空空洞洞。

既是這樣，從磁石到鐵粉，從地球到降落的蘋果，從月亮到海潮，以及從球棒到棒球種種動作，究竟是如何傳播的呢？如果不能再用以太去達到這種目的，那必須有別的什麼去代替他。我們要述說尋求這種新東西的始末情形，便可以被引到現代科學的正中心地帶了。

空間的曲度

我們有一種直覺的信仰，以為空間是扁平，或歐幾里式——平行線永遠不能相遇等等。這裏的根據，就是我們日常的經驗。不過所有這些說法，事實上祇是告訴我們說：我們能夠想像日常生活接觸的物體，排佈在這樣一個空間裏面，使他們的排佈合於定律和秩序。我們也可以試驗物體的別種排佈方法，例如說排佈在四度的空間裏面，立刻可以發見平常歐幾里式的三度空間，就是一般人不加任何形容詞所說的「空間」——至少對於我們日常生活所遇物體的排佈，有一種特殊的優勢。不過我們沒有權力假設，全部宇宙全放在這樣一種空間裏面，也能合於定律和秩序，如果我們這樣假設，那無異於又犯一種舊錯誤，以為自然界全部，完全像我們所熟悉的若干零碎部分——正是「常識」的自然見解。

有個奇異的學派裏面的人主張地面扁平，所以在上面所畫的平行線永遠不能相遇，他們對於地面的直覺概念，正如同我們對於空間的直覺概念，全是由於缺乏全部的認識。並且就因為概念是從直覺獲得，所以更沒有多少抽象的論辨，可以說服主張的人，承認概念錯誤。他日常散步或日常工作所在的地面，自是扁平，他就把這種扁平性吸收在他的知識裏面，乃致他簡直不能想像扁平性以外的可能性，於是更錯誤的把他推展到地球全體。根據他的常識，地面不祇是扁平，並且必須是扁平。

不過且假設這個學派的一個人，從事旅行。他也許有意畫出一張地圖，在上面記載他的行程——那當然是一張扁平的地圖，例如說一張商業地圖，在任何學校地圖裏全看的見。當他在海上航行的時候，也許把船的位置逐日記載下來，這樣地圖上就有了船的行程。原來在北半球上，兩點間的最短途徑，總是曲向北極，以便一利用距離較短的經度；因之在南半球的途徑，也總曲向南極。例如從南桑頓 (Southampton) 到紐約 (New York) 的最短途徑，必要遠過兩地以北；而從唐恩角 (Cape Town) 到郝恩角 (Cape Horn) 的最短途徑，也必超過那兩地以南。這一類的路線，要畫在商業地圖上面，看着似乎很曲折，要使一道最短途徑平直，必須恰好遇到正北行，或正南行，或正在赤道線上的東西行。我們這位旅行家，在一起初，看他所坐的航船，全似乎走很曲折的途徑，不免表示驚奇，便想像南極和北極，各有什麼力量，把航船拉開了直接的途徑。

不過有一天，他或許把他在地圖上所記的曲折途徑，給一個友人參看，並且和他討論他們的含義。那位友人如果拿一個球形的地球儀給他看，地面各國各佔相當位置，再用線繩扯過各個點，指給他說，如果把線繩扯緊，以代表各點間的最短距離，那將正脗合於航行船舶所取的途徑。那對於他真是一個絕大的啓示。那時他纔明瞭，航船在一個曲折的地面上實在已經取最短的途徑。他們在他的地圖上所以現出曲折，並不是因為受什麼動力的牽引，離開了原來的途徑，卻因為經緯度的構造，本來受地球的曲度而扭曲，在地圖上已經人爲的伸成平直。簡單說：他企圖敘述旅途所根據的背景，並不合於自然的實際。他那時就要發現，一張扁平的地圖，用以排佈自己住家附近的各地，固然完全合適；但是要用以代表全部地面，卻不能完全合適了。

牛頓的萬有引力理論，曾經解釋了行星，彗星，及棒球的曲折軌道，正好似我們那位扁平地球旅行家，解釋了航船路線的曲折。這位旅客，想像他的航船在扁平海面上航行，因為從兩極發出了引力，所以離開了直道。牛頓想像各行星在一個扁平空間裏游行，因為從太陽發出了引力，纔使他們離開了直線的途徑。他更想像棒球是投在一個扁平的空間，他的途徑所以彎曲向地，是因為地裏發生出一種引力的關係。

我們已經說過，這種引力理論，並不能適合於相對論的需要。愛因斯坦用一種新理論去代替，那就是我們前章所論簡單或「有限」相對理論的擴大，通常叫做「普遍相對論」(Generalised

theory of relativity) 他並未說行星和棒球是在一個平直(或歐幾里)空間裏畫出曲折的途徑,祇說在曲折空間的最短途徑。事實上所曲折的,並不是我們平常生活的空間,而是四度的連續體,就是上章所說空間和時間的客觀混合。這種理論假定,各個引力物體,例如地球,把他們鄰近的空間曲折,而所謂鄰近,不祇空間上鄰近,並且在時間上也鄰近。這種曲度曲折行星和棒球的方向,正如同滾球場上的小丘,可以曲折滾球的方向。又如同主張扁平地球者的友人,能夠指予他一種曲面——在這裏是圓球——使上面一切複雜曲線全變成最短的途徑,愛因斯坦也把一種曲折的連續體,指予一般科學界,乃使行星,棒球,光線等等的複雜途徑,全變成了最短的途徑。因為連續體既然曲折,我們日常生活的空間,原是其中一個斷面,所以必須也曲折。

我們可見,隔開一距離的動作,已經不在範圍以內。假使我們把注意集中在連續體的空間三度,

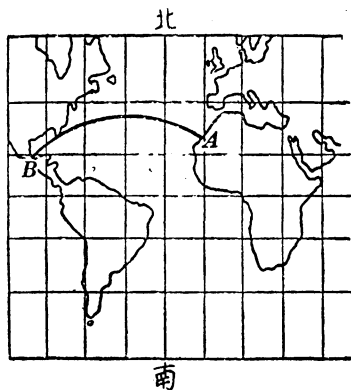


圖 一

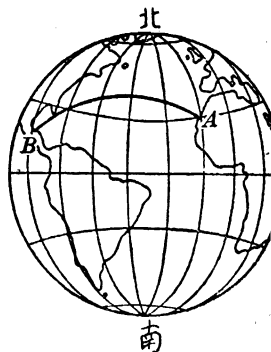


圖 二

在圖一裏,AB線看着雖然彎曲,卻代表從A到B的可能最短途徑。如果把牠畫在圖二所代表的圓球上一段扯緊的繩,必能恰好把他掩上。

就可以說，地球使他四周空間繼續曲折，所以棒球要投進這個空間，他要走一個曲折途徑，就如同在山邊滾走一樣。這軌道曲折的最近原因，並不用渺遠的地球，而是附近的空間。真正隔開一距離的動作——立時傳達跨過中間空間的動作——自然必須立即捨棄，因為在兩個遠離的地點，沒有方法對準了時間。

普遍相對論所論的空間和時間，和有限相對論所論的相同，那就是一個科學家，為記載他對於自然的觀察，用他意識心理所選擇的空間和時間。他和我們的旅行家一樣，可以把這些任意記在什麼地圖上面。如果我們的旅行家打算用一幅扁平的地圖，他必須引用若干很複雜的動力系統，以解釋他的觀察事實。在牛頓打算用一個扁平空間時，他也得費這些手續。正如同旅行家的朋友，指予他一種較佳的地圖，愛因斯坦也指予我們一種較佳的地圖。愛因斯坦用這種新地圖，已經能夠舍棄了萬有引力，同時並且造成一種簡單精確遠過以前的自然圖景。

最短的途徑

自然的曲折圖景，雖然是和愛因斯坦第一次進入科學的一種概念，但是相輔助的概念，說物體和光線總取可能的最短途徑，卻可回溯到很早的科學時期，並且在後面有一種很可崇敬的譜系。愛因斯坦的新理論，在剛公佈的時候，雖然看着很富於革命性，不過把科學放在牛頓以前走過兩千多年的途徑上面罷了。這對於實用科學家，因為屬於歷史的範圍，或許不發生多少興趣，但是一個人要

明瞭近代科學的哲學涵義卻有極重要的關係

在西曆紀元前三百年，歐幾里(Enclid)曾界說直線的定義，說是兩點間的最短距離，並且宣稱光是按直線前進。所以他知道光從一點到一點，總取最短的途徑。至少在地面上的情形是這樣。他更知道用一面鏡子可以反折光的途徑，並且發現了這種現象所依照的公律——正如同一個完全硬球從鏡面上跳起所取的途徑。

歐幾里祇知道這是兩件完全不相聯屬的事實。又過了一百年左右，亞利山城(Alexandria)的希羅(Hero)用一種很重要的綜合方法，把他們聯在一起，證明就是光從鏡面反折，仍舊是從光到鏡面再反回的最短途徑。所以無論有沒有鏡子，光總是取最短的途徑。

光除去反射以外，還有別的現象。例如，當太陽落到幾何學地平線以下，我們依然可以看見太陽。我們說所以能看見，是由於他的光線受地球大氣的折射作用，彎曲過來。可見這些光線未嘗取最短途徑，因為彎曲的途徑永遠不能和直線途徑一樣長短。

其實，他們所取的是最迅速的途徑。當光線經過任何物質，例如玻璃或空氣，物質的質點便減少他的運動速度，物質愈緻密，減慢的也愈甚。所以光線遇到必須經過若干種物質，他往往選取其中一個比較不密的物質，寧自在裏面多繞一些距離，結果還能省些時間——正如同一隻航船，寧願走過始點和終點以北，以利用北部經度縮小而減少所用時間。為例證此點，從太陽到我們的光線，最迅

速的途徑，是避免經過太多的地面濃密空氣，所以光線寧可繞過，而不肯直接通過。已經證明的一種十分普遍自然定律——通常叫做福邁特原理 (Fermat's principle)——說光線遇着必須經行阻礙時，他們在各點間總取最迅速的途徑。

希羅敘述他的定律，是說光線無論折射與否，在各點間總取最短的途徑。他其實不如說，光線總取最迅速的途徑，也一樣不錯；如果他要這樣說，他的公律可就包括了折射的光線。其實，他更可盡括科學上所知光的一切運動；所有已知的光，總是在各點間取最迅速的途徑。

交 觸 作 用

光之波動說解釋光的現象，說是一種波動以太裏的波浪，對於這一點，很是一種簡單的解釋。當波浪在池面經行的時候，水面各點，依次高出低下靜止水面的高度。如果有兩組波浪，同時在水面經行；對於特別某一點，這組或許傾向把他升高，而那組或許傾向把他降低。如果兩組影響，竟自這樣互相抵消，那時他們聯合所生擾動，將較小於他們各自所生擾動。這種現象，通常叫做「交觸」(Interference)；他的精義，是說：幾組波浪所共生的擾動，必須看成代數的數值——升高（正數值）和降低（負數值）——不能祇看成算術的數值；那時兩個代數數值相加，如果他們符號正負相反，和數就許很小，也許竟等於零。

很容易證明，兩個波浪，從同一來源在同一時間出發，並且經行了相同的時間彼此將始終步法

一致——或者用專名術語，就是彼此在同一「姿態」(Phase)。如果他們經行時間的相差，要正是一個，兩個，三個，或任何數目的完全震動，情形也正相同。再說，兩個波浪如果正在，或近於在同一姿態，無論在何點相交，他們聯合所生影響，一定大於單個所生影響——例如，可以是兩個浪尖相加，也可以說兩個浪槽相加，無論如何擾動總已加大。在另一方面，兩個波浪如果在相反姿態，浪尖就許和浪槽相加，浪槽也許和浪尖相加，結果便成了破壞的接觸了。

波浪從某點發出以後，我們可以想像他們是依照圓形浪圈，向四周前進，除非遇到什麼阻礙物一類的東西，纔改變動向。這事發生以後，爲方便起見，最好想像每個小擾動自身，便是一組新波浪的中心。這些新波浪，或「次等」波浪，從原來波浪的每一點向四周散開，全部成了一種很複雜的波浪系統，彼此互相接觸，或是相加，或是相減。

即使遇不着什麼阻礙，我們仍舊可以自由想像，每個波浪在他行程的每個點上，分裂成若干新波浪，所以受擾動的全部，可以想成若干互相跨越的波浪。根據算學的分析，可以指明這些波浪，依照最迅速的途徑，互相增益，而在所有其餘途徑上，全是互相抵消。要精確的說，波浪並不是祇沿着最迅速的途徑前進，他們實在遍走一切可能的途徑，不過除去在最迅速的途徑以外，他們全互相破壞抵消罷了。

可是說到這裏，並不是全部已完；因爲我們說過，凡是進行時間相差，恰好是完整震動的一倍，兩

倍，三倍，或任何整數倍數時的波浪，也是互相增加力量，就是他們不會走最迅速的途徑，也應當能夠看出。因為有了這種可能性，頓使科學所知一切折射和交觸現象，無不得有正確完滿的解釋，因之波動說得到了始終未有的偉大勝利。這些現象，全是微粒說的致命打擊，似乎全成了光波動說無誤的強硬證據了。

最小的動作

更有人發見，一切物質物體，也全可加以像對於光線的一樣綜合。亞里斯多德 (Aristotle) 的學說，斷言一切物體，依照他們的或輕或重，各有上升或下降的趨勢；每個物體各自運動，以達到他們在固定自然計劃裏的相當位置。伽利略和牛頓更明白說出，這並不是一個普遍的公律，祇是地球所生萬有引力的局部結果。如果沒有這種引力，一切物體將全按一致速度，依直線方向運動。和光一樣，他們總取各點間最短的途徑，或者在他們運動速度確定以後，他們總取各點間最迅速的途徑——也是和光一樣。

在動力發生作用的時候，他們的影響，依照牛頓的說法，是「引導物體離開他們的直線方向途徑」，那時他們的途徑，顯然不是可能最短或最迅速的途徑了。

法國有一位算學家兼哲學家，叫做毛柏度 (Maupeituis)，主張即使在這種情形之下，所取途徑也必須有什麼完善處，纔不負上帝的心思。在沒有動力作用的時候，已經知道這種完善的形式，是使

運動的距離或時間達到最小限度，所以在有動力作用的時候，必須另外有什麼也達到最小限度。我們現代的心理，必定覺得這是一種很奇特的研究方法，但是結果他竟自獲得成功。毛柏度發見一種數量，通常叫做「動作」(Action)，證明他永遠達到最小的限度。這個數量，常聯於一單個或一羣物體的運動；正如同在鐵路上旅行，每一點途程必須消耗若干用費，所以每一點運動，也必須消耗若干「動作」。我們鐵路用費的消耗，通常不比例於所經行的時間或距離，同樣，在動力發生作用的時候，動作的消耗，也不比例於途徑的時間或距離。不過要想計算，也並不困難，毛柏度證明，物體的運動，總使所消耗的動作總量，達到最小限度。

在沒有動力作用的時候，動作的消耗，與時間恰成正比，因此，最小動作的新原理，乃吸收了最少時間的較舊原理。於是新原理的綜合，包括盡了物體和光線的運動——也就是物質和放射，代表物理宇宙的兩個成分。

這個原理，更附帶使我們，至少能初步瞭解，物質和放射各有雙重性質的疑難；因為他們全有時使我們想起波浪，有時使我們想起質點。

我們已經說過，我們要造成自然的任何圖景，所用概念，必須全早已存在我們的心裏。這一類的概念，為數很少；而波浪和質點，實在是其中最熟悉的兩個，所以我們總趨向用波浪和質點，去從事想像。有一個時期，似乎可以十分完善的，把放射圖摹成若干波浪，把物質圖摹成若干質點。現在我們纔

知道，自然並不是這樣簡單；無論物質或放射，全不能圖摹成純粹的波，或圖摹成純粹的波。要就放射和物質的全體而論，他們的行為，全脗合於最小動作的算學原理。所以要獲得自然的真正圖景，我們圖摹物質和放射所用的熟悉物事，必須也能脗合於這種原理；而我們選擇所及，幾乎又祇限於質點和波浪。所以我們圖摹放射，說他有時候像質點，有時候像波浪。到後面講到電子和質子的時候，我們就要看出，也是免不了利用這種說法。

最小的間隔

不過在這裏，還必須加以保留——「最小動作」的簡單綜合，並不能給予自然一種完滿的解釋。在一起初，還覺得能夠把他變更擴張，以便使陸續發現的新現象，全進入他的範圍。但是最不幸的，他每經一次擴張，即增加一次複雜，並且從各方面看，總增加一層造作，直到最後，終久和事實分離，無法再使他適合了。即使在他的最複雜形式，他依舊預測引力物體曲折星光的程度，祇及實際觀察的一半，而水星的近日點，也應當靜止不動，其實卻依照約每年八十英里的速度繞日運行。

於是相對論出現，加以補救；一方面解釋這種原理失敗的原因，一方面更說出如何纔能改對。本書前章所述的有限相對論，證明這種理論必須失敗。因為任何真正的自然圖景，或任何企圖解釋自然的原理，必須能在未加區分的四度連續體裏表現。而最小動作的原理，並不容許在這骨幹裏表現，除非在把他區分成空間和時間以後。

能夠代替動作，並且在這新骨幹裏表現的，祇找到了一種實體。那就是兩個事件中間所隔空間和時間的混合——「間隔」，而所有最小的原理，並且含有獨立意義的，祇好是「最小間隔」的原理。依照普遍相對理論的精義，這種間隔必須在曲折的空間裏測量。要獲得一個微子或其他運動物體的世界線——如同前面所用火車路線的比喻——就得用線在各點間扯緊。

這個原理這樣修正以後，立時就負起最先最小動作原理所負的一切任務；對於宇宙的全部運動，凡是前此我們習慣認為被萬有引力所決定的，他全能包括預測。關於電動力的現象，似乎也有用這個原理解釋的可能，不過還不能十分一定，那時一個電子，因為受電動力而取一個曲折的途徑，也將是在一個曲折連續體裏，尋求一個最短的途徑。愛因斯坦最近從事的「單一場理論」(Unitary field-theory)，企圖確舉這種解釋所需連續體的性質，但是還不會得到固定的成功。如果這一方面有了完滿的成功，這種原理將能同時支配一道光線和一個運動物體的運動，那時將不顧一切物理作用，始終發生效力，因此，我們就能夠把所有自然作用，包括在一個簡單的綜合以內，他們將全成爲一個曲折四度空間裏面的最短途徑。

普通相對論

這樣，從希羅把歐幾里的兩個公律，初步簡單綜合以後，逐漸擴張，逐漸變更，直到最後，纔成了一個普遍的原理，盡括一切大規模的自然現象，並且還許能括一切小於原子的現象。我們習慣以爲這

個原理，係應用於物質的原子和光的放射線，全在空間和時間的骨幹裏存在和進行。但是爲使原理和自然觀察事實，彼此完全適合起見，我們必須把空間和時間完全舍棄，不當作客觀的實體，所謂動力和機械，已經全部失去他們的地位，剩下的祇有空洞的空間和空洞的時間，第一步合成一個四度的連續體，性質不同於空間或時間，然後再曲折扭歪。我們不能再想像，若干原子因爲受機械動力的推拉，胡亂跳躍，結果就發生了各種自然現象；我們必須說他們是由於不知什麼的努力，在空時連續體的紛亂迷宮裏面，尋求最短的途徑。

在這個時候，當然要問：愛因斯坦的圖像，究竟能不能代表最終實體的什麼，或者祇是敘述現象的一種方便方法。因爲我們必須記住，最方便的敘述方法，並不一定就最鄰近於實體。例如：船長雖然知道地是圓形，而爲方便起見，仍舊把航程畫在扁平地圖上面，好像地是扁平一般。同樣，愛因斯坦所謂曲折空間裏的直線途徑，也可想成祇代表現象的方便方法，後面並沒有什麼實體。

愛因斯坦的宇宙

相據算學的分析，知道連續體有種種曲折的方法，以解釋天體和光線的途徑。他們圖摹太陽系以及宇宙其他任何小部分的天文現象，全是一樣的良好無誤，但是能代表最終實體的。至多祇有一個。其中有許多，因爲就全部宇宙說，將引起顯然的謬誤，所以一一失去這種資格。愛因斯坦找着其中一個，他認爲可以避免這一類的反對。

這種方法，假設有兩種不同的曲度。第一種是連續體本身所原有的曲度，使連續體成爲一個密合的表面，正如同地球的全面是一種密合的表面。第二種曲度，是若干局部的曲折，重複在主要曲度以上，正如同大小山峯的曲度，也可以重複在地球表面主要曲度以上。這些較小曲度，是物質存在所引起，或至少和動質存在相聯絡，實際所見行星和光線軌道的曲折，便由此而生。在一小部分空間，例如太陽系所佔，主要曲度所生影響極小，不能容許觀測。

如果連續體依照這種方法曲折，空間既是連續體的斷面，當然也要曲折。再說曲折的方法，還使空間有定量。這種代表方法，較諸以前各種對於空間的主張，有若干固定的優點。因爲舊日的主張，總不免遇到兩難的地方；一方面既難想像空間有什麼限制，而無限的空間，根據純粹的科學立場，又可加責難。如果物質散佈在無限的空間裏面，那時就有無限的物質，對於行星、星球、星系，發生引力，那時將使他們的運動速度，遠大於觀察所見——其實，他們就將有無限的速度。唯一的救濟辦法，便是假設有定量的物質；不過定量的物質祇能佔有定量的空間，結果必剩下無限的空間，完全不含物質。這樣一種概念，不能就認爲不可能或可笑，即行加以擯棄，但是專就他本身所具的合理性，實在不易被人明瞭。康德取消這種概念所據理由，是說一個無限的空洞空間，沒有什麼可以確定一個有限物質世界的位置。據他的說法，如果「有限物質在無限空間的何處？」一問題，不能獲得答復，就不能說有限物質能存在於無限的空間。

這些困難，性質無論如何嚴重，愛因斯坦利用他的密合有限空間概念，把他們全部一掃而空。他以為空間的物質密度，一經確定，空間祇能有一種半徑，可以使他靜止不動，不擴大，也不縮小。因此，他假設這便是空間的真正半徑；等到空間物質的平均密度藉觀察發現以後，這個半徑當然可以計算出來。

既然假設空間永久保持着同一個半徑，可見空時連續體的曲度，不能和地球表面的曲度，在幾何學上相類似；相類似的，倒是一捲紙的曲度，或者再好一些，說是用一張紙糊成圓筒狀的曲度（見圖三）。在這個連續體的模型上面，任何一個橫斷面——紙的本身，並不是所包括的圓面積——就代表一個時間的空間，而時間的經過，就是沿着紙筒長度的運動。這樣，空間的大小乃有限而固定，時間依舊無限，從無限的過去，經過現在，直到無限的將來。

擴大的宇宙

最近的算學研究，證明連續體並不能用這樣簡單的模型代表。愛因斯坦原來引用一種大規模的曲度，到宇宙裏面，以使他平衡不變。福利曼 (Friedman) 和拉邁特 (Lemaître) 等人，則證明這樣獲得平衡的宇宙，並不能止於平衡。他的意義，就是說空間將立時開始擴大或縮小——普遍的算學理論，同時容許這兩種方式——而這種作用的進行速度，更是逐漸增加，持續無已。所以我們圖摹空時，必須不用圓柱形的紙筒，改用圓錐形或角形的曲面（見圖四）代表時間的，仍舊是中心軸。角形

橫斷面所代表的空間，仍舊有限，但是他的大小卻依時間改變。換句話，就是空間的體積，不能像愛因

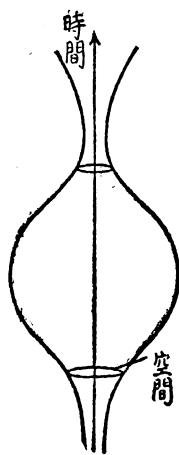


圖 三

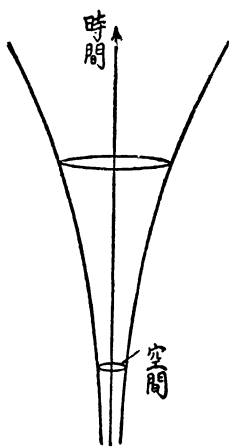


圖 四

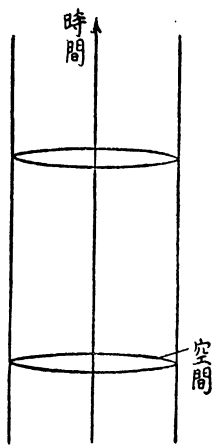


圖 五

三圖代表理論上各種空時的可能性

愛因斯坦的曲度，如果能代表什麼最終的實體，不僅是圖摹行星軌道的一種較便方法，於是幾乎由此可按邏輯方法推定的大規模曲度，也應當能代表什麼最終的實體。所以藉實際觀察以尋求他的在存，顯然是很重要的了。

斯坦原來所想的永久不變，必須是繼續無已的擴大或縮小。

這種大規模曲度的最明顯特質，便是他自身密合無間；所以我們如果在空間繼續前進無已，就應當回到原來的出發點，正如同德萊克 (Drake) 航行地球一周一樣。不過我們要真個航行空間一周，以求空間的曲度，當然不是一種好辦法——一個原因，就是人生的時間過於短促。一道光線，或許有較好機會，因為他每一分鐘可以走一千萬英里，而他的生命，又不限於七十年左右。所以有一個時

期，覺得祇要用一架強度足夠的望遠鏡，藉着若干萬年以前出發的光線，繞行空間一周以後，最後仍舊回到他的出發點，可以使我們看見自己所屬的星羣。這樣一種經驗，自然是空間曲度的直接易解證明，不過我們現在已經不再相信他有可能性。

不過我們要清楚證明空間的曲度，並不必繞行空間一周，正如同要證明地面曲折，也不必繞行地面一周。假使我們在一塊十分平的紙上畫一個圓形，我們知道他的周界正是他的直徑的 π 倍， π 的數值是三·一四一五九……這種說法，不論圓形如何大小，祇要畫在十分平的紙上，總不會錯誤。不過對於在曲折地面上所畫的圓形，這種說法卻不能用。較小的圓形，圓周依舊是半徑的三·一四一五九倍；但是圓形愈大，這種比例便愈小。一個直徑一千英里的圓形，直徑並不正是三一四一·五九英里，實在祇有三一一〇英里左右。如果有測量家在地面上畫出這麼大一個圓形，然後再測量他的圓周，他立刻便證明了地面的曲度。

在理論上，也可以用類似的方法，試驗空間的曲度。如果我們用任何物質造成一個圓球，他的表面面積，將爲他直徑平方的 π 倍， π 的數值，仍舊是三·一四一五九。如果空間沒有曲折，任何圓球的表面面積，將永遠是他直徑平方的三·一四一五九倍，不論直徑是如何大小。不過如果空間有曲折，那時圓球的體積愈大，這種比例將愈小；正如同地面上所畫的圓形愈大，周圍和直徑所成的比例將愈小。

所以如果我們能在空間畫出一個絕大的圓球，並且測量出他的表面面積，我們立刻就試驗出來，空間是不是依照愛因斯坦所想像的方式曲折。不過即使這種曲度果真存在，因為他的規模過大，在太陽系裏面也不能發見出他的影響。我們必須能夠造成一個直徑過於太陽系直徑若干萬萬倍的圓球，纔能夠有發見空間曲度的希望。可是要畫成這樣一個大球，除去實際上的困難以外，還有理論上的兩種困難——第一，我們無法確定空間各點的位置；第二，我們沒有客觀的方法去畫直線或測量他們的長短（已於第三章論及）。

這種思想方式，雖然不能幫助我們試驗空間是不是曲折，可是他相當幫助我們想像，普遍相對論所假設的，是什麼一種曲度——我們離家愈遠，空間愈縮小，所以半徑固定的圓球，容量總較空間遍平時為小。我們在想像裏可以造成一塊扁平的面積，祇須把若干三角形的頂點相對互相聯合起來，例如圖六。但是如果我們要想像一塊曲的面積，我們就得用縫成足球所用的皮條形式，去代替那些三角形，例如圖七，依照類似的方法，我們可以想像一個扁平的空間係用若干棱錐體在各頂點聯合造成。但是我們要造成一個曲折

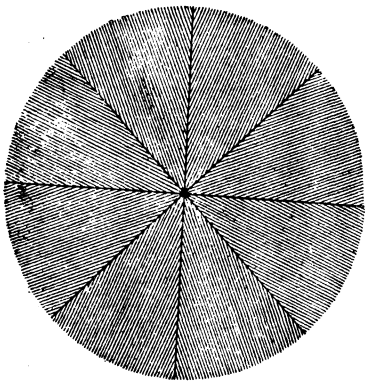


圖 六

(圓形)的空間,就必須用螺狀體去代替稜錐體,如圖八。讀者要能夠想像若干螺狀體,在A點彼此相聯,佈滿了A點的周圍的空間,並且(困難點從這裏來了)想像他們各自曲折,多寡相同,狀況也相

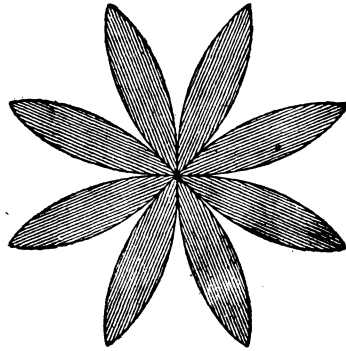


圖 七

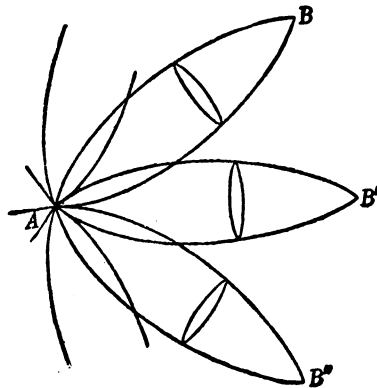


圖 八

同,直到他們的另端, B, B', B'' 等,完全彼此相聯,那時他便可造成圓形空間的一種心理圖景。不過他大半不能這樣想像,因為他難把他的想像引到平常的三度空間以外;從此更可證明,我們以前屢次提到,要圖摹或敘述任何物事,除非利用日常生活所熟慣的概念以外,就屬不可能了。

空間的曲度,既然不能利用我們剛說過的任何一種幾何學方法證明,我們惟有退後一步,用間接的方法,檢查這種曲度的各種算學推論,是不是可以實際觀察。如果曲折的連續體,祇是圖摹現象

的一種方便方法，那就沒有什麼理由，他的一切算學推論，也竟全在自然裏發見，純粹的代表，想着必有什麼地方和實體分離。在另一方面，這種曲折的連續體，如果在自然裏真正存在，所有他的算學推論，就必須能用觀察證實。而這些推論的主要點，便是空間在全部範圍裏，總按一致的速度，或是擴大，或是縮小。

在銀河以外的偉大星雲，正可以用以試驗理論的這種預測。這些星雲，照天文學所知，是最大並且最遠的物體；不過要就宇宙全體來說，他們祇是在空間潮流裏，若干漂浮的草葉，如果潮流運動，他們應當能指示流動的方向。空間如果依照我們所說的方式曲折，這些星雲，應當全從我們後退，或全向我們前進，每個星雲的速度，還要和離開我們的遠近，成正比例。

到了這裏，實驗工作即行開始。近年以來的天文學觀察，如果可加信賴，這些星雲全是從我們後退，並且各有驚人的速度。再說，這些速度，幾乎和他們的距離成正比例，恰好符合理論的需要。距離一百萬光年的星雲，退後速度（祇取整數），是每秒鐘一千英里；距離當此兩倍的星雲，速度也當此兩倍；餘類推。有一塊星雲，距離當此一百三十五倍——他們的光線達到我們，需要一億三千五百萬年——從我們退後的速度，正是每秒鐘一萬五千英里，是天文學上迄今所知的最大速度。

這些速度，因為太大，直使許多天文學家懷疑他們是否真實。他們說，這些觀察必須容許其他比較冷靜的解釋。實際或許就是這樣，我們必須再過許久的時間，纔能從事宜佈一種最後的判決。

愛丁頓爵士(Sir Arthur Eddington)最近曾用純粹理論的方式，從事研究，如果宇宙真個依照相對理論需要的狀況擴張，這些星雲究竟應當有什麼樣的運動速度。●他計算所得的速度，和實際觀察所得，約有二以內的因數，這種符合的程度，已經是很在情理所許的範圍以內。全部研究屬於極端的想像性質，據作者看，還不會得到多數算學家的承認。如果這種計算能夠脫離了批評的範圍，那時福利曼和拉邁特所演成的擴大宇宙全部理論，必將獲得一種極強有力的實際證明了。

在另一方面，天文學上更有許多理由，嚴重反對承認這些觀察退後速度的真實。如果他們確屬實在，宇宙的變化，一定得很快，大約每經十三億年，就要擴大一倍。如果我們假設速度總同於現在，再回溯二十億年，我們就知道全部宇宙，全集中在很小的一部分空間。在事實上，擴大宇宙的理論，告訴我們，愈回溯時間，這些速度愈小，究竟擴大作用從何時起，不能有固定時限，但是同時又很強的暗示，這個時間：不能很多於一千億年。同時，宇宙進化到現在狀況所需要的時間，可以用很多的方法估計，所得結果，全是若干兆年。要想像宇宙的進化，竟早於宇宙擴大十倍至一百倍的時間，雖然未必絕對不可能，但也十分困難。要想像宇宙已經擴大了若干兆年，雖然也未必絕對不可能，可是更要加一等的困難。這種困難的嚴重程度，簡直能有推翻擴大宇宙全部算學理論的趨勢。

最近愛因斯坦和德賽特(de Sitter)共同發表一篇論文，似乎含有一種避免這種困難的辦法。

我們曾經說過，愛因斯坦原來使宇宙有一種大規模的曲度，因為他沒有別的方法使他不變，並且阻止他爆裂或散碎。但是現在宇宙不顧愛因斯坦的補救辦法，好像依舊要爆裂，可見原來的大規模曲度，在事物計劃裏，已經沒有原先那樣重要的任務了。

愛因斯坦和德賽特，因此便從事檢討，究竟還有沒有什麼理由，依舊假設空間有這種原來的曲度。結果他們不曾找到任何理由。再不需要他保持空間的安靜，因為空間並不安靜，他如算學方程式和星雲的退後，對於他也全不需要。所以我們可以自由想像，當物質完全不存在時，空間就是扁平；所有空間的曲度，無論粗大或細小，完全由於物質的存在。這樣一作，固然不能積極幫助我們瞭解星雲的運動，但是因之卻引進了不少的可能性。例如，曾有人提示，宇宙或許依次相間的擴大和縮小（參閱圖五），這樣可以解釋所見的星雲退後，同時還可以使我們有任何長久時間，以應付宇宙進化的需要，對於天文學上一切觀察證據全沒有一些衝突了。

我們對於上面所說的想像或結論，必須別認為已到最後或成立。其實，科學不過剛走進他的最近而性質最廣的問題——把宇宙當做一個實體研究——如果把他最初嘗試的結果，就認為最後，那未免太傻。不過直到現在這些想像雖然不會引到什麼固定的結論，可是他們所生的希望，好像結論也不十分渺遠。並且他們又重複說明，在科學上所遇的，通常為始料所不及的結果——至於不加幫助的人心，對於在直接觀察知識所成渺小光明範圍以外的黑暗，很少有刺探許遠距離的能力。

就是迄今已得的微細結果，似乎已經證明自然祇有一個，並沒有許多。各種科學，各從事圖摹自然的細微部分，以充他們研究的特別目標，我們現在看出，這些細碎的圖景合在一起，就組成一個諸和的整體。有兩個物理學家，邁克爾遜和莫萊曾共作一種實驗，企圖測量小於一兆分之一秒的時間間隔，或小於一千分之一英寸的長度；因為相對理論的發生，竟引起對於全部偉大宇宙的一種圖景，把他圖摹成爆炸一般的爆炸，並且他的渺遠物體，一致從我們退去。我們用我們最大的望遠鏡去看這些物體，看見他們的種種情形，全是向外退走，正符合理論所預測的方式。

空間的性質

對於我們目前討論，最發生直接關係的，為下述一點。所有理論和觀察的符合，除非完全屬於幻覺，這便能證明相對論在他迄今推演所到的最遠點，已與實體發生一種接觸。他曾很強的主張——當然不會證明——這個理論所假設的曲折連續體，並不祇是對於行星和棒球曲折途徑的方便解釋，正如同說地面曲折，並不祇是對於航船曲折路線的方便解釋。

就是這樣，他所告訴我們的，也祇是空間的度量方面特質，毫沒有空間的主要特質。其實，要討論後一個問題，似乎更沒有什麼利益。自從柏拉圖在 *Timaeus* 一書提出以後（參見前章及本章結尾所引），經過了兩千年的討論，問題依然不會改變。所有科學知識的進步，似乎祇作了否認以後哲學家種種玄想的消極工作。在一切外部實體裏，空間似乎是最不容易使人心瞭解他主要特質的一種；

因爲完全在人心以外的，對人心不發生影響的，要想用人心以內的熟悉概念去圖摹，幾乎難說是一件可能的事。

這種新曲折連續體，雖然仍舊是空間和時間所混合，但是他們進入這連續體，卻不再依照類似或對稱的形式。在我們前面的簡單比喻裏，空間是圓錐面的斷面，時間是圓錐面的中軸，新知識對於枝節方面，無論有多少變化，終久不能不有這樣一類的區分。這樣一個連續體，對於有限相對論的要點所說，能夠給予一種圖景，不因傾斜改觀的條件，並不能夠滿足。所以他自己必有區分空間和時間的特殊方式，結果我們可以叫做絕對的空間和絕對的時間。我們前章所討論的有限相對論，指明關於在我們實驗室裏所能觀察測量的現象，任何種空間和時間的區分，總是主觀的性質。現在所討論的普遍相對論，則以爲我們個人的意識，既然承認空間和時間有一種清晰的區分，自然本身也必有一種大規模的區分。這種區分，我們最初在自己心裏發現，一經從事研究小規模的客觀自然，即行消滅，但是在宇宙全部裏，卻依舊重現。

就我們剛說過的算學理論，或就對於天文觀察的解釋，全不能十分確定，以保證推斷任何結論，幾乎僅能說是任意的猜測。但是利用一個簡單的比喻，也可看出是怎樣一種猜測。

我們且很無詩意的，把人類成一種生活在地裏的蠕蟲，能夠向周圍任意開掘，但是總到不了地面。他們的身體既然要受到了地心吸力的影響，他們的意識，藉着他們的神經系統，也能覺出地裏

橫豎方向的一種區分。他們將不能檢出一種絕對固定不變的橫豎方向，因為一個加速度運動的蠕蟲和其他不加速度運動的蠕蟲，將感覺互不相同的橫豎方向。雖然這樣，蠕蟲或許依舊覺出橫方向到底不同於豎方向。假設他們在地下，從事於科學，建造了實驗室，在裏面研究電磁學和光學。他們在實驗室裏，將不能發見橫豎方向的區別，因為電磁學和光學的公律，對於空間的三個方向，全是相等對待。假使他們舍此以外更不知道其他科學，那時他們所有橫豎確不相同的直覺感覺，將不能尋獲任何科學的根據。最後，其中一個蠕蟲，或許竟自掘通了道路，直到地面以上，發現他們的直覺感覺，實在根據真正的自然事實。那時他們纔知道，自然所含，除去他們在實驗室裏所研究的科學以外，尚有其他事物，並且他們時時藉以接觸自然的，就是這些其他事物。

同樣，我們心裏，覺出空間和時間有一種根本的區別，但在物理現象裏不會表現出來。他們在連續體裏，彼此非常相似；在我們心裏，又非常不相似。我們藉自己的意識，可以突破了空時之積直到空間和時間，而電子，質子，放射，卻全不能。這種區分，倘能依照我們目前恍惚不定知識所彷彿暗示的，得到最後的證實，我們就不免要猜測，我們心裏所藉以接觸實體的，並不是純粹屬於物理的一類途徑。最後，我們可以注意，對於連續體的全部，如果能夠得到比較完善的知識，並且藉此使絕對的空間和絕對的時間，各恢復一種意義，那時在第三章末尾所提出的問題，就不會發生了。

在那一章裏，我們指出空時連續體的概念——空間和時間全不能自身完全，必須互相混合為

一、纔能得到客觀的實體——曾昭合於某種哲學家對於空間的主張在本章裏我們對於空間和時間這種混的特質，又加以比較詳盡的論述。我們已經知道，依照普遍相對理論的圖景，空間必須有定量，並且必須有一種組織，依照各點的曲度而造成，可見他多少總異於單純的空洞。這種性質，又能滿足哲學家的需要。佈萊德利在普遍相對論出現以前二十年，曾寫過下面一段文字：

「空洞的空間——沒有什麼超越空間性質（可見或可觸）的空間——是一種不真實的概念。不能夠說這種空間存在，因為他自身並不能有任何意義。當一個人覺出進入以後，就發現他總在延展以外更有其他性質。但如果這樣，這樣性質究竟和延展成什麼關係，還是個不能解決的問題。」

關於有限空間，他也寫過一段話：

「因為你可盡自己的能力，把宇宙當做任何大任何完全。如果他沒有固定的界限，仍舊不是空間；要使他終止在雲裏或虛無裏，更是盲目的說法，祇由於我們不能認識。一個有限的空間，而外面更沒有空間，本身就是一種矛盾的說法。而所謂外面，不幸還必須跨過，結果總到不了終點。這並不祇是我們不能認識或瞭解，這個怎樣就可以不這樣。照我們所認識和瞭解的，並不能再有其他方式，至少空間如果還要是空間。我們也不知道什麼是空間的意義，並且，如果這樣，更不能說他越過表面形態（Appearance）的範圍以外。要不然，我們知道了他的意義，就看出在他的意義裏，原來已有我們所

說的困難。空間要是空間，他自身以外必須還有空間。他總要消失在一個整體裏面，證明總不外是一個對於外面什麼的一種關係的一面。」●

上面所引，引起一種哲學的問題，不是科學所能單獨解決。如果全部連續體是有限的，那麼在連續體以外，除去再有連續體，還能有什麼呢？那又證明原來的連續體，並不是全部。並且空間要是擴大，除去再擴大到另外的空間裏面，怎樣還能夠擴大呢？那又證明擴大的並不是全部空間。我們在後面另一章裏，還要回到這一點。

最後，有些人主張：「柏拉圖所說的事物，是現在一般學者辯論题目的總源，」或許也要宣稱，柏拉圖已經預料到愛因斯坦，將以空間的度量組織，推測到自然的全部。他們或許更以為：柏拉圖也預料到福利德曼和拉邁特，所有說愛因斯坦宇宙不穩固的主張。因為柏拉圖說過：

「即使在天的產生以前，就有了這三種——存在 (Being)，空間，和變化 (Becoming)。於是當變化的母親（原註：指空間）變成了液體，經過了燃燒，獲得了土和氣的形式，並且此後又受了若干撫愛，他有許多不同的外表。因為他裏面所有的動力，彼此既不相類，又不平衡，所以他的各部分，沒有一部分平衡；他被含有物依照極不規則的方式支配而震動，他自己的運動，又震動了他的含有物。」●

●見前書第三八頁。

●見 Taylor 所譯 Timaeus 一書，第五二頁。

第五章 外部世界的組織——物質和放射

我們現在必須離開天文學空間的偉大，轉到體積比例的另一個極端，並且探索顯微鏡範圍以外的原子，直達最內部的隱密地方。天文學的現象，可以告訴我們空間和時間的性質；在這裏，我們希望發見空間和時間所含物質和物質物體的真正性質。

物質的構造

我們已經說過，原子的物質概念，如何逐漸得到科學的承認，後來馬克斯威爾和其他學者，證明把一種氣體可以圖摹成一羣鎗彈般的硬原子或分子，依照和平常鎗彈相仿的速度，沒有目標的飛動，這種概念，好像已經安穩成立。這些鎗彈的衝擊，產成了氣體的壓力；他們運動的能力，便是氣體的「熱能」(Heat-energy)，所以增加氣體的溫度，就增加這些鎗彈的運動速度；而氣體的「膠性」(Viscosity)，便由於各鎗彈彼此偶然的相遇和相拉；餘仿此。利用這些概念，解釋了氣體的許多實際特質，在定性和定量方面，全很精確。但是有一小部分殘餘，始終不容解釋；直到最近，纔根據很不相同的概念，替他們尋到一種解釋。這些概念，後面不久就要提到。

129

湯姆遜爵士 (Sir. J. J. Thomson) 和他一派的學者，想出方法能夠把一個原子打破，頓使把

物質當做若干不可分硬原子的圖景，不得不加以變更。他們證明原子並不是不可分，可以設法用轟炸敲下若干小塊，或用高電力扯下若干小塊。這些小塊，證明全彼此相類——叫做「電子」(Electrons)。他們的質量相等，電荷也相同，通常叫做負號的電。後來又發見原子所含的其餘成分，也是荷電相同的微子——叫做「質子」(Protons)。他們所荷的電，和電子所荷的電，種類相反，所以叫做正號的電。

有許多理由，假設原子的成分，全是很小的體積。例如，放射性物質，送出兩種不同的放射物；一種質量較小，叫做 β 質點，證明是運動很快的電子。另一種質量較大，叫做 α 質點，證明完全同於氦質的原子核。這種原子核，知道是含有四個質子和兩個電子。這兩種質點，射擊到物質上，全能透過很大的深度，這可見他們的體積很小。一個網球和一個鎗彈，重量約略相等；不過我們要把他們射到同一塊木頭上面，鎗彈將陷入很深，因為他的質量全集中在一小部分空間；而網球卻完全不能陷入。 α 和 β 兩種質點的行爲，全像鎗彈，不像網球。還不祇這樣，當他們射向一塊金屬薄片，大部分通過以後，並不怎樣變更他們的行程方向。這好像證明金屬片的電子和質子，自身也是很小的體積。從此可見物質的最終成分，幾乎可以斷定是性質近乎若干很小的質點，帶有密度極高的電荷。

始終沒有什麼方法，去直接測量這些質點的體積。時常有人假設電子的直徑，必須約近十兆分之四公分 (4×10^{-10} cm.)，他不能再小，因為把電子的電荷，要擠到較此再小的體積裏面，從此而生

的惰力就已經大於現時所測電子質量的全部，不過這裏更引起一種嚴重的困難，依照普通承認的理論，像金質和鎢質一類重原子的中核，必須含有數目很多的電子和質子。不過這些原子核的本身，體積也很小，即使質子並不佔有任何空間，要按前面所說的電子的大小，裏面仍舊盛不了必須數目的電子。這可見把電子和質子當做荷電質點的概念，至多祇能算是一種圖景，並且不然全部合於自然的圖景。不過一個半徑十兆之二公分的圓球，帶着一百億分之四·七七七 (4.777×10^{-10}) 單位的電荷，可以產生出電子的很多特質，或者還沒有誰拿他當做一種完全的圖景，照合於一切情形。

放 射

一切物體的物質構造，說是由於這兩種荷電的質點，不過他們另含有若干不可捉摸的能成分，可以和物質完全脫去聯絡，依照放射的形式，在空間進行。我們已經說過，在十九世紀裏，如何把放射圖幕成以太裏的波浪。這種圖景，不祇對於前面所說放射散播的幾種方式，不能說明，並且對於放射本身的幾種基本特質，也無法解釋。

我們知道，一個擺錘在空氣中擺動，要逐漸把能力消失在四周接觸的空氣分子上面；如果沒有鐘表機器的推動，他不久就會完全靜止；他的運動能完全變成四周空氣的波浪，最後成爲熱度四散。同樣，一隻汽船，在裏面的機器停止以後，也要停止他的運動能完全用以產生四周水面的波浪。同樣，如果物質物體的周圍是以太，那很容易證明他們的能，必將散佈用以產生以太裏的波浪。根據計算

知道這種作用將繼續進行，直到物體和鐘擺汽船一樣，不剩下些微的能；他們的全部能將完全移轉到以太，成了波長很短的放射形式。這種說法，可應用於一切形式不同的能；所以一個熱體應當把他的熱能迅速的消失於以太，自身直降到絕對零度的溫度。

而實驗的結果，並不是這樣，證明不久就達到了一種平衡狀況，一個物體從周圍空間所接受的放射，正等於他向周圍空間送出去的放射。例如地球，除去他內部存儲的少許熱度不計以外，他的平均溫度大體不變，他向空間放射失去的能，總是依照太陽光熱的形式，如數收回。如果能使地球的溫度，突然較現在略高，他立刻便冷到現在的溫度，但是不到絕對的零度；如果突然使他的溫度較低，他也立時熱到現在的溫度。再取一個比較精確的實例，如果暖氣設備使一間密閉屋子的牆，全保持着華氏表正六十度的溫度，那時屋裏各物的溫度，也便一律長久是華氏表正六十度——就因為這個原故，我們可以說寒暑表指明一間屋裏的溫度。

在這樣一種平衡狀況裏面，每種物體送出的放射，正等於他吸收的放射。在理想上一個完全沒有反射能力的物體，他的顏色必須是完全的黑色（參閱第一章），這種放射的專門名稱通常叫做「黑體放射」(Black-body radiation)，說他的溫度正等於放射物體的溫度。這一類的放射，可以很精確的加以分析，以知他的各種不同成分，而他的性質，和假設是具體以太波浪的放射，實在迥然不同。

在十九世紀的最後幾年，蒲郎克 (Planck) 企圖發現這種分歧的理由，並且到了那世紀正在結束的時候，他發表了幾種觀念，後來纔產生了量子論的偉大構造。他證明觀察所見物質和放射間的平衡狀況，恰好可藉着放射是原子性質的假設，獲得說明。他假設放射的發現，總是一種單位叫做「量子」的完整倍數。這個單位的大小，並不是對於各種放射完全一致，而以放射的波長為轉移。因之也有賴於放射的「振動週期」(Period of oscillation) 或「頻率」(Frequency)——在一秒鐘裏震動的次數。要精確的說，一種每秒鐘震動 ν 次的放射，他的發現假定總是依照能單位 $h\nu$ 的完整倍數，裏面的 h 是一個恆數，現在通常叫做蒲郎克常數 (Planck's Constant)，在原子物理學裏，幾乎隨處發現。所以藍色或紫色光線，因為頻率很高，乃含有能很大的量子，至於紅色光線，因為頻率很低，乃含有能很小的量子。量子的能愈大，產生原子變化的能也愈大。就因為這個緣故，藍光可以消退顏色並且感應照像底片，紅光卻一概不生效力了。

近年發現的 X 放射，已知有特高的頻率，所以依照蒲郎克 的理論，他的量子應當有特大的能。不久發覺，把這種放射經過一種氣體，氣體裏的分子便有少數幾個破裂，但是其餘大多數，並完全不受放射經過的影響。如果這些放射線，竟是一種無所不在的以太裏的一種波浪，很可推測他們對於所遇到的分子，應當完全一律待遇，或至少也要約略一律待遇。而在實際上，差不多在一兆個分子裏選

出一個來破壞。又發現，如果把放射的密度加倍，並不使一個分子的損毀程度加倍，卻使受毀分子的數目加倍。後來發現一切放射情形全是這樣，就是平常的光線，也包括在內。如果放射真個是若干細微的放射光子，好似舊日牛頓的微粒說所說，這些情形，正全在預料所及的範圍以內。

光 子

西曆一九〇五年，愛因斯坦擷取這些概念和假設的精華，形成他的光量子論 (Theory of light-quanta)，說一切放射所含，全是若干互不相聯像鎗彈一般的單位，他叫他們作「光量子」 (Light-quanta)，不過現在我們已經改稱為「光子」 (Photons)。一個原子受了一個光子的打擊，依照光子打擊所附能的大小，原子或是破裂，或是擾動。並且觀察原子所受損毀的程度，可以計算個個光子的能。結果證明這總正等於一個量子——如果射入打擊原子的放射，頻率是 ν ，每個受擊原子所生變化，總代表 $h\nu$ 那樣多能的消費。

相對論的基本結果，有一種是說能必有相聯的質量。所以光子必須有他本身的質量，要說一個光子的質量，和說一個原子或一輛汽車的質量，正是同樣的精確。因為光子常在運動，所以也可以說一個光子的動量，也如同說一輛汽車的動量；不過彼此間有主要的差異，那就是光子的運動速度永遠相同，總是光的速度，而汽車的運動速度，則當變化不相同。

芝加哥的康普頓教授 (Prof. Compton) 最近找到這種質量的很直接證明，並且能夠測定他

的精確大小一個光子打擊着一個原子以後他的能並不完全被原子所吸收他偶然或許擊到特別一個電子，就從那裏反彈回來，如同一個完全硬的鎗彈。在這種情形，光子的能，有一部分（但非全部）消失在所撞擊的電子。康普頓發見，一個光子遇着這種情形，他的頻率變化，總是撞擊以後的能，恰好是放射頻率的 λ 倍，在撞擊以前當然也是這種關係。根據跳回的種種情形，可以計算出光子的動量和能，結果知道動量正是 $h\lambda/c$ 。依照相對論的預測，按光速度運動的能 $h\nu$ ，必須附有這樣多少的動量。

這些種不同的實驗，全指明放射可以圖摹成含有若干鎗彈般的單位體，在空間進行，很像鎗裏放出的子彈，並無關於什麼假設的以太。在這新圖景裏，放射進行所依照的固定速度，每秒鐘十八萬六千英里，不再被看成波浪的速度；我們想像放射的光子，如同鎗彈和電子，自身賦有一種惰力。這種惰力使他們依照直線方向一致的速度運動，不過這個圖景裏不會說明，為什麼速度永遠是每秒鐘十八萬六千英里。就此最後一點，證明光子說法的自身，也是不完全的圖景。

各實驗的定量方面。證明光子的動量和他的波長間，有下列一種關係：

$$\text{動量} \times \text{波長} = h$$

他的能和他的振動週期，又有下列一種關係：

$$\text{能} \times \text{振動週期} = h$$

最後，波長和振動時間，還有從波動說留下的一種關係

$$\text{波長} = \text{振動週期} \times c$$

裏面的 c ，是光的一致速度。

這些實驗爲光子真正存在所預備的證據，和其他實驗爲電子存在所預備的證據，性質大體相同。在兩方面，實驗全暗示一種不可分裂的整體，附帶着固定的數量——電子是 c 和 m ，光子是 h 和 c ——要將這些數量加以測量，結果總獲得平均一致的數值。就迄今作過的實驗，還沒有一個暗示這種整體的分數，可以獨立存在；光子的分數和電子的分數，全一樣爲人所未知。

我們在原子物理學裏所遇到的放射，通常是各個原子的擾動所產生；而每一個這種擾動，能夠產生一個並且祇於一個完整的光子，已經發見是一條普遍的定律。在這種變化裏，質量並不破滅，所以原子所失去的質量，必須等於他所送出的光子質量。如果這種擾動，祇是原子最外面各電子的重新排列，結果所促成的質量變化，將祇等於一個電子質量的幾十萬分之一，送出的光子便爲能見光線的波長——因爲這種光子進入我們的眼，我們纔能看見什麼東西。原子內部電子的重新排列，可以產生 α 放射，裏面的每個光子，或許有一個電子質量的一萬分之一。如果原子中核的自身重新排列，就會產生透射力更大的 γ 放射，裏面每個光子的質量，就可以和整個的電子質量相比擬。最後，宇宙放射的最堅硬成分，爲迄今所知透射力最強的放射，裏面所含光子的質量，大約等於一個整個氦

原子的質量次一種最堅硬的成分所含光子約有等於一個氫原子的質量，所以這些光子的產生，或許由於氫原子和氫原子的完全毀滅，更許是由於較複雜雜原子裏相當數目電子和質子的毀滅。

放射的運動理論

馬克斯威爾既然能夠把氣體圖摹成若干鎗彈般分子的混合，因之解釋了氣體的許多特質，我們仿效他也把放射圖摹成若干鎗彈般的光子混合，以解釋他的許多特質。氣體的壓力，可以說是由於他的分子撞擊；同樣，放射的壓力，可以說是由於他的光子撞擊。再說，正如同氣體的能力是他所各個分子能的總和；所以一塊空間放射的能，也便是那塊空間個個光子能的總和。

我們如果把放射圖摹成波浪，所謂放射的「強度」(Intensity)，便和波浪在一點的能成正比，或者再明白一點，和那裏以太海的「騷動狀況」(Storminess) 成正比例。我們如果把放射圖摹成光子，就不能再用這種方法解釋強度。不過我們可以給他一種統計的解釋，說他比例於在那一點尋得一個光子的機會。正如同氣體在一點的密度也是一種統計的概念，並且比例於在那裏尋得一個分子的機會。放射的溫度，和氣體的溫度一樣，也是一種統計的概念。我們不能說單一個光子的溫度，正如同不能說單一個分子的溫度。我們說「黑體放射」和放射物體同一溫度，故與此熱物質接觸時，質和量全無變化，但是這種溫度係屬於這一羣光子，並不屬於個個光子。

這一類放射，可以圖摹成一羣光子，向一切方向沒有選擇的平均運動；正如同平衡狀況的氣體，

可以說是一羣分子，向一切方向沒有選擇的平均運動。個個光子的能，照合於一種統計的定律，叫做蒲郎克公律 (Planck's law)；正如同氣體分子的能，照合於馬克斯威爾定律 (Maxwell's law)。其他各種概念，如同兩種比熱，他們的比例，壓力變化等，對於放射和對於氣體，意義全約略相同，並且全容許類似的圖景代表，不過分子當然要用光子代替罷了。

我們可以說，光子將永久保存着他們的本象，無論經歷何種變化，除非他們被原子或分子所完全吸收，或從原子或分子放送出來。他們或許變更他們的能，但是他們立刻把頻率改換適應，以使每個光子仍舊是一個完整的單體。例如假設一種「黑體放射」，在一種密合的空間裏面，空間的體積可以用活塞的設備變化，放射在裏面不斷的從周圍反射回來。如果我們壓迫一個圓筒裏的氣體，活塞前進時對於氣體的壓力發生工作，這種工作便重新出現於個個分子能力的增加——就是熱度。如果圓筒裏滿裝着放射，前進的活塞，對於放射壓力發生工作，這種工作便重現於個個光子能力的增加。我們試想像放射所及的體積，縮小到原來的八分之一，那等於把各方面的長度全縮短一半。可以證明每個光子的能，將較前增加一倍，因之他的頻率也加倍，波長卻減半。所以波長和密合空間，比例一律減半，而新放射的溫度，較前加了一倍。如果我們假設各光子，依舊保持他們的本像，則每一單位體積裏的數目，將成爲原來的八倍，而能的密度，則增加到十六倍——正是溫度的四次乘方。這和實際觀察完全相符，通常把這四次定律叫做斯忒藩定律 (Stefan's law)。再說，氣體的壓力，和密

度溫度共同成爲比例放射的壓力也一樣比例於溫度的四乘方這裏和觀察還是互相符合

我們把「黑體放射」既然能圖摹成任意一羣光陣，那麼一道光線也可以說是有規則的一陣光子，全依照平行的路線運動前進。這自然類似一陣氣體，所有分子全依照平行路線前進，至於平常因溫度發生的運動，或是抵消，或是不計，不過在另一方面，一道光線和一陣氣體，還有一點不同，那便是放射除去在空間進行以外，還有一種特質，我們叫做「偏極」(Polarisation)。

十九世紀的放射圖景，把偏極性委於以太的角度動量；在我們現在的放射圖景裏，我們必須說他由於做成放射各光子的角度動量。簡單說，我們的放射在空間運動，不祇類似鎗彈，並且每一鎗彈，必須因被射而自身旋轉。蒲郎克常數 h ，和角度動量一樣大小，我們看出必須說一切光子完全旋轉，角度動量是 $h/2\pi$ ，方向是可以右也可以左。在一道圓形偏極的放射，我們說裏面的光子全按同一方向旋轉。如果橢圓形歸極，那是由於多數光子向一方向旋轉，少數光子向相反方向旋轉。如果平面形偏極，那是兩方向的光子數目相等。如果並不偏極，那是由於兩種光子數目的比例，隨意變更，但是根據或能性的定律，知道實際的比例值，總離着一不很遠。這種旋轉，最近曾經拉曼 (Raman) 和巴嘉宛達 (Bhagavantam) 二人發見，並且加以測量。

質點放射圖景的不適當

這種放射圖景，把放射當做一羣鎗彈似的光子，有許多種長處，但是也有許多種限制，證明他並

不是代表實體的完全圖景，至多祇是代表某一部分實體的圖景。我們已經提到他的一個重要失敗實例——在光子圖景裏，不曾解釋了放射的一種最基本特質——那便是他的一致進行速度。

他的第二個失敗實例，便是在任何實驗室全能作的一種實驗。試以 S 為光源，放出差不多純粹顏色的光線，再用一個不透明的幕，上面刺着兩個小孔， A 和 B ，放在 S 的前面，使 A 和 B 距 S 彼此相等。假使我們說 S 所發出的光，是鎗彈一般的光子，那時實驗室牆上的兩點， P 和 Q ，將正受 S 的照射，所以我們預料，牆上 P Q 兩點必亮，其餘全黑。普遍說，這確是常見的現象，不過我們要使 A B 兩孔彼此接近到相當程度，這種說法，將完全失敗。牆上最亮的地方，將不是 P Q 兩點，而是正在他們中間的一點 R ，不在 S A P 線上，也不在 S B Q 線上。如果光線真是光子合成，我們應當預料 R 點完全黑暗。不祇這樣，要用純一顏色的光線，如果光線真是光子做成， P 點和 Q 點，本應特別光亮，或許竟自完全黑暗。

我們如果把兩孔之一，例如說 B ，時開時閉，簡直還能獲得更可驚奇的結果。當 B 孔閉時， P 點極亮，但將 B 孔一開， P 點立刻黑暗——多加進一些光線到 P ，反將明亮變成黑暗了。

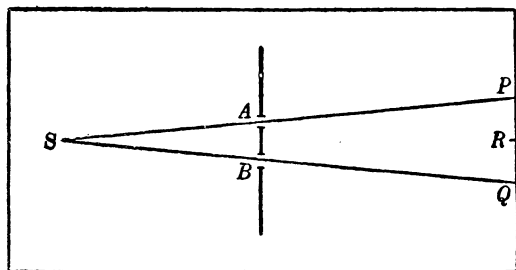


圖 九

舊日的波動說，對於這些，全有很完善的解釋。實際說來，他祇是前章所說普遍原理的一種特殊情形。我們暫時且把前面的圖代表一長方塊水的表面，例如說是一個游泳池， A 、 B 是池中的一堵橫牆， A 和 B 是牆上的兩個孔。當一個游泳者在 S 點濺水，他就會引起波浪，佈滿全池。有的波浪，通過 A 、 B 兩孔，便另在牆外一部分池面，產生了新波浪系統。這種波浪，將從 A 、 B 兩點，依圓形向外散佈，而 A 、 B 兩點，對於 S 說，既是彼此對稱，所以這兩組波浪，將彼此完全相同。

再說 R 點的位置，正和 A 、 B 兩點相對稱。所以從 A 點發生的波浪尖，將和從 B 點發生的波浪尖，將同時到達 R 點，所以他們在 R 點的共同影響，較諸祇開 A 孔或 B 孔時，將增加一倍。在另一方面， P 點的位置，並不和 A 、 B 兩點相對稱，所以從 A 、 B 兩點出發的波浪，在 P 點將不如在 R 點那樣彼此正相補充。要是到了極端的情形，從 A 點出發的波浪浪尖，或竟和從 B 點出發的波浪浪槽，正相同時，以致彼此正相抵消，因此， P 點的水面，乃毫不振動。如果把 B 孔閉住， P 點的水面，便因 A 點出發的波浪到達而振動。這時再把 B 孔重新放開，又另外有波浪進入到達 P 點， P 點的水面反而變成安靜，這因為我們所放進的第二種波浪，恰好能抵消了第一種波浪。

在實驗裏所得到的結果，與此正相符合。要依照光子的說法，簡直毫無理由；但是依照光波的說法，卻是理所當然。

不過，我們要使實驗再進一步，把一塊感光的照像底片，放在實驗室的牆面 PRQ 。在 A 、 B 兩孔

全開時，自然可以獲得 R 點明亮和 P、Q 兩點黑暗的固定記載。在照像底片的 R 點，因為受 A、B 兩孔所來互助兩組波浪的影響，藥皮已生變化。而在另一方面，P 點和 Q 點的藥皮，因為所受兩組光波互相抵消，所以毫無影響。

不過照像底片的吸收放射，祇能以完整的光子為單位，這從藍色光在上面的印象，較深於紅色光在上面的印象可見。所以為免得我們的圖景自身抵觸起見，必須假設放射在空間進行，是波浪的形式，但是一遇着了物質，便立刻分裂成為光子。後面就要看出，這種電子質子的圖景正相反對。電子和質子的行為，在空間自由進行時很像質點，但是遇到了物質，立刻便像波浪。

有一種完全的算學理論證明所有這些情形，質點和波浪圖景，如何祇是同一實體的兩種不同狀態。所以光線可以有時像質點，有時像波浪，但絕對不能同時又像質點又像波浪。他又證明，電子和質子，為什麼也是這樣。要打算不用算學的名辭，以說明這種極複雜的理論，即使不避含糊，也是幾乎不可能。但是以下的論述，或許可以當做質點和波浪兩種放射圖景中間的渡橋。並且指明兩種圖景，為什麼能代表一種超出質點和波浪以上的實體的兩種不完全姿態。

自由振動

凡是一個能夠振動的系統，遇到了外界的擾動，便要發生振動。如果後來擾動消失或撤去，這個

●例如，可以參閱 Heisenberg 所著 *The Physical Principles of the Quantum Theory* 一書第一七七頁。

系統並不立時靜止，仍舊繼續振動一個時間。這時的振動，通常叫做這個系統的「自由振動」(Free vibrations)，這些振動的時間，叫做這個系統的「自由振動時間」(Free periods)。這裏最簡單的實例，便是一個音叉。實際上應用的音叉，大抵每個祇有一種自由振動的時間，藉以決定音叉所發音調的高低。例如一個中C調的音叉，恰好是每秒鐘振動二百五十六次。這個音叉無論受着什麼的擾動，或是棍棒的打擊，或是琴絃的磨擦，立即開始振動，等到擾動終了，音叉便獨自每秒鐘振動二百五十六次。這樣，可以說他忘記了什麼引起他的振動，祇記住他自己的自由振動時間——因此纔有了音樂上的用途。

至於洋琴絃，又是這裏一個比較複雜的實例。我們要使這洋琴發中C調，用琴錘所打擊的絃，有無限數的自由振動，每秒鐘二五六次，五一二次，七六八次，一〇二四次……這些頻率的比例，是一比二比三比四比……，他們所發出的音調，叫做中C調的「諧音」(Harmonics)。他們是上面C，再上面的G和C，又依次為E，G，B \flat ，C，D，E等等。他們的波長，依次為本絃的二分之一，三分之一，四分之一等等。這些音調，仍舊祇和絃的本身相連，無關於打擊。無論如何打擊中C調的絃，總是發生相同的諧和音調；惟有他們彼此間的強度比例，纔以琴錘打擊本絃的方式為轉移。

再一個更加複雜的實例，便是一間音樂廳裏的空氣。空氣有無數的自由振動，波長的範圍，從廳的全長直到不及一英寸。洋琴家在廳裏奏中C調的時候，先後用錘打擊三根琴絃，使他們發生振動，

以後便任他們自由振動，含有前面所說的一切波長和頻率。這些振動並不是永遠持續無已，因為他們的能，藉着洋琴的音板，逐漸轉移到周圍的空氣。我們可以說這些發生的情形，是琴絃送音波到音樂廳裏，但是一樣可以說琴絃的能移轉於廳內空氣的自由振動。事實上所移轉的，幾乎專限於和琴絃本身有一樣的振動頻率，那就是中C和他的諧音，所以我們有兩種圖景——波浪圖景和自由振動圖景——彼此一樣能代表事實，但是僅各代表事實的一種特別狀態。

我們提到這些情形，專為藉以達到一種尤其複雜的系統，那便是前面圖九所代表的光學實驗室。放射能夠在這實驗室裏進行，正如同聲音能夠在一間音樂廳裏經行。而這種放射，也一樣可以說是波浪，可以說是固定波長和頻率的自由振動。我們不必把這種振動，聯絡於什麼特殊的機械，因為有一種純粹算學的理論，和前面第二章所提到的類似，證明不要任何特殊方式的機械，或不要任何機械，可以把一切擾動，全圖摹成自由振動。

如果光源 S 祇發出一種固定頻率的放射，他所送出的能，便移轉到實驗室裏同頻率的各種自由振動。假使我們用前面圖九的方式，研究這些振動，就看出在特殊狀況之下，並且用那種特別排列的器械， R 點有強烈的擾動，但是 P 點和 Q 點完全沒有擾動。 S 點的光源，可以送出放射，以增加這些振動的能，而把這個作用反過來， R 點分子，就可以吸收放射，以減少他們的能。不過在 P 點和 Q 點的分子，就不能這樣作；我們已經看出，這些振動在 P 點和 Q 點並不發生擾動，這可見光源 S 所引起

實驗室的自由振動，和 PQ 兩點的分子，彼此間並沒有對偶。

假使我們把這些自由振動的能，圖摹成光子的能，就可以說，光源 S 送出固定已知頻率的光子， R 點分子能夠吸收這些光子，而 PQ 兩點分子，不能吸收這些光子。所以我們 PRQ 牆上放置一塊照像底片， P 點和 Q 點全現黑色， R 點卻現明亮。我們還可以把這種作用，圖摹的更生動一些，說 S 所放出的光子，祇落到 R 點，並不落到 P 點和 Q 點。我們現在是說光線是能的鎗彈，但是意義有相當限制。我們可以說，他離開 S 時像鎗彈，到達 R 時也像鎗彈，這種圖景便正符合於實際觀察的現象。在另一方面，在他經過 AB 兩孔時，卻必不能說他像鎗彈。如果我們犯了這種錯誤，就應當預料 PQ 兩點明亮， R 點黑暗，恰好反對觀察的事實。假使我們要把鎗彈和波浪兩種態，合成一個圖景，就必須和以前一樣，說光線在空洞空間裏進行像波浪，但是遇到了物質就像鎗彈。

當我們採用了質點的圖景，事實上無異把一種頻率固定的自由振動的能，解釋成頻率相同的光子的能。但是各個自由振動，卻不能和各個光子，互相混淆。一種自由振動的能，可以延展到實驗室的全部，如果想像實驗室的牆，各自無限後退，可見在空間的自由振動能，將佈滿了全部空間。一種算學理論，指明空間任何隔離擾動的能，全能看成若干自由振動的能的總和，每種全延展到可到空間的全部。無論擾動的面積如何小，無論空間如何大，這種說法總不錯誤。在擾動的範圍以內，各種振動的影響，互相累積，到了範圍以外，便藉着交觸作用 (Interference) 互相抵消。能夠和光子相比擬的。

祇是這種有限範圍以內的能，並不是各個自由振動的能。

我們現在還不會找出什麼理由，說明光子的能，果何以必須是若干完整的量子。我們要明瞭放射的原子方面，必須先從事於研究物質的特質。以下便轉到這一方面。

原子的光譜

要研究各種化學原質原子所放出的複雜光譜，很自然的便達到了這種問題。我們已經說過，無論用什麼方式，去打擊一條洋琴的絃，就使他放出各種頻率分明的音波，他們彼此成爲一種簡單的比例：一比二比三比四比……例如說，基本的頻率是二五六，其餘的頻率，便是五——二，七——六，八——一〇——二等等——依次是二五六的整數的倍數。

依照正相同的方式，一塊白熱的氫質，或其他任何種化學原質，也發出各種頻率分明的光波，可以利用分光鏡加以極精確的測量。這些頻率，彼此間並沒有像一比二比三比四比……一類的簡單比值，其實，經過許久時間，竟不會找出他們有任何相互關係。最後，忽然開始現出很輕微的規則。氫光譜裏的三種最特殊放射線， H_{α} H_{β} H_{γ} ，他們頻率的相互比例，是二〇比二七比三二。最初覺得，這些振動，或許是一種諧和級數的第二十，第二十七，和第三十二數，和洋琴絃的諧和級數相類似，但是不久看出氫原子的振動，有遠過於此的複雜程度。利資(Ritz)在一九〇八年，促成一種偉大的進步，他指出任何一種簡單物質所發光線的一切複雜頻率，彼此間有一種很簡單的聯絡方式。他找出了若干

基本的頻率 $\nu_a, \nu_b, \nu_c, \dots$ 恰好使放出光線的頻率，是他們彼此間的差數，例如 $\nu_a - \nu_b, \nu_b - \nu_c, \nu_c - \nu_d, \dots$ 等等。即使這些基本的頻率，也沒有像洋琴絃所有一比二比三比四比……一類的簡單比例，可是巴爾麥 (Balmer) 及其他學者，已經找出氫光譜裏，他們成以下的比例：

$$\frac{1}{1^2} : \frac{1}{2^2} : \frac{1}{3^2} : \frac{1}{4^2} : \dots$$

看着似乎還不曾複雜了許多。

要解釋光譜，第一步顯然是替這些基本頻率 ν_a, ν_b, ν_c 等，指定意義。這似乎是一件簡單的事，但在實際上，他卻是困難極大的一個問題。他的解決線索，原來是鮑爾以理論見地的一種提示，後來福蘭克和赫茲又加以實驗的證明。這種提示說：「一個原子祇能存在於若干界限分明的狀況，各有多寡明確不同的能。假使他從一個狀況降到另一個能較低的狀況，所放出的能，便造成一個光子。」

假使我們知道這些不同狀況的能力多寡，蒲郎克原來的量子定律立時能告訴我們，原子從一狀況到另一狀況所放出的光子，是如何大小的頻率。因為假使用 W_a 代表原子在放出光子以前的能，用 W_b 代表原子放出光子以後的能，放出的能是 $W_a - W_b$ ，這個數必須正等於 $h\nu$ ，裏面的 ν ，便是放出單個光子的頻率。

因此，這個光子的頻率，可以用下式算出：

$$v = \frac{W_a}{h} - \frac{W_b}{h}$$

我們可以看出利資的基本頻率， v_a, v_b, \dots 祇是鮑爾假設各個狀況的能， W_a, W_b, \dots 再各自被 h 除即得。所以解釋光譜的問題，又縮到指定 W_a, W_b, \dots 等的意義問題。所有 W_a, W_b, \dots 等，便是一個原子在他能夠存在的各個不同狀況裏的能的值。

鮑爾在一九一三年解決這個問題的時候，他採用那時通行的主張，說氫原子的電子和質子，全是荷電的質點，因為荷電種類相反，互相吸引，乃使電子依照軌道圍繞質量較大的質子運行，正如同行星依照軌道繞日運行。在那時行星繞日運行的軌道，假定是依照萬有引力的反平方定律而決定。所以電子的軌道，將依照電引力的相同定律而決定，自然也為預料所及。這種定律，強迫電子在質子周圍的軌道，是一個圓形或橢圓形。但是定律的自身，不會限定原子體積的大小，所以不能限制原子有若干清楚的狀況，各附多寡固定的能，他允許原子含有任何多寡的能。

因此鮑爾覺得，電子的軌道，不祇要符合這個定律，必須同時更符合其他定律。所謂這些其他定律，性質全屬於限制。他們使電子限於在和質子有若干種固定距離裏的某一種。就如同在質子四周的空間，刻出若干個小槽，有的是圓形，有的是橢圓形。電子必須總在他的槽裏，但是因為受質子電引力的加速或減速作用，速度常有變化，正如同行星運動的速度，常受太陽引力的影響而變化。物理學

家說到這些軌道，還是叫做鮑爾軌道 (Bohr orbits)。一個電子，可以永遠在一個鮑爾軌道上面，也可以從一個軌道上突然跳到另一個較小的軌道。這種降落發生時，全部系統勢須失掉了一部分能。鮑爾假定這一部分能重新出現，成一個放射的光子，他能夠算出依照前述方式放出的各種光子，各有什麼頻率。對於氫原子所放光子頻率的計算，和氫光所實際放出的光子，很相近似，或許竟完全符合。不過這祇是全部問題的一小碎塊。等到其他物質比較複雜的光譜，也用這種方法討論，鮑爾的理論，便不能和實驗那樣適合。在某種情形下，更顯然發生錯誤的結果，並且不能想到什麼更正的方法，使他照合於觀察的事實。

能觀察的和不能觀察的

在這個時期，海森堡引用一種新的方法，去看全部問題，結果已經有很燦爛的成功。鮑爾的理論，簡單說，是把原子圖摹成含有若干質點，在空間和時間裏互相推引。他可以代表一種最後的勇敢努力，想把自然強放在機械的組織裏面，並且圖摹原子在空間和時間裏存在，但是沒有成功。他所遇到的困難，似乎可以證明這兩種觀念，全不完善。鮑爾會把原子圖摹成機械構造，但是後來被事實所迫，又假設他有時軼出這種圖景的限制，從一種軌道，依照完全非機械的方式，跳到另一個軌道。他曾想把電子迫進空間和時間，但是後來又不得不假設在空時裏沒有連續的跳躍。

海森堡並不自縛於機械圖景，也不自縛於空時圖景。我們已經說過，把自然的基本作用組成任

何種可見的圖景，本來就有極重大的困難。所以鮑爾在一起初，並不假定任何種圖景的可能，以免阻礙他的研究。他以為，把光圖摹成一種以太裏的波浪，既然使光學理論增加了不少的混亂，所以把原子圖摹成荷電的質點構造，也必使原子物理學增加混亂過去的情形，顯然正是這樣。

他舍棄了鮑爾的圖景概念，另外引用了一組新觀念，可以說是前面第三章所述科學觀點改變的天然結果，所以最好是先從這些變化說起。這些變化的主體，是從科學裏取消三種概念——絕對的空間，絕對的時間，和傳光的以太。愛因斯坦的成功，可證明這三樣取消已經使科學走上了正途。海森堡在這途徑上又前進了一步，因之使原子物理學也獲得相當秩序。正如同相對論在大規模的物理學和天文學裏，剷除了許多種混亂駁雜，同時幾乎不會產生任何種新困難，海森堡的新思想方向，對於原子物理學，也有了類似的功績。

把上述三個概念取消，並不祇是一種偶然的事件。我們的知識活動，係根據來自感覺以外的感覺印象。為解釋他們，我們纔發明了一種物體的外部世界。但是凡在我們感覺以外的，完全是純粹的推論。推論的實體種類很多。但是可以分成顯然不同的兩大類，我們叫做「能觀察的」和「不能觀察的」。他們的區分，簡單說，是「能觀察的」直接影響我們的感覺，或實驗室裏的器械，而「不能觀察的」祇能藉着「能觀察的」的插入，間接影響我們的感覺和器械。前者的實例是光子，後者的實例是以太。兩者全可以有附帶的數量，所以我們有「能觀察的」數量和「不能觀察的」數量。能觀

察的數量可以用器械直接測量，不能觀察的數量祇可以抽象計算。前者的實例是光子的波長，後者的實例是以太的硬度。

科學家的宇宙，可以用下圖約略代表：



以上兩類裏面的細目，純粹屬於推論，不過推論的方式，當然彼此不同。能觀察的一定是代表客觀的東西，因為他們對於每個人的感覺，總是一樣的影響。至於不能觀察的，他們究竟是否存在，也還可疑，因為他們完全不影響我們的感覺或器械，他們或許祇代表我們的拙劣猜想。簡單說：「能觀察的」的特質，是由於推論，而「不能觀察的」的本身存在，就由於推論。

我們可以使計劃精密一些，把每類所屬的主要細目，分別排列起來，便成爲下面的表：

思想

感覺資料——景緻，聲音，氣味，滋味，觸覺。

器械影響——光線，照像作用，電流，等。

能觀察的——近前事件（光子的撞擊），個人空間，個人時間。

不能觀察的——遠離事件，物體，能媒，絕對空間，絕對時間。

這裏所代表的，是科學家利用器械以探索所見的宇宙。要是古代人類，自然要越過「器械影響」一項，從能觀察的一直到感覺資料，如同前圖折線所示的途徑。

外部世界能觀察的成分，能夠直接影響我們的器械，或我們的感覺。最初一看，好像他們的類別很多，而事實上祇有一種——光子的撞擊。要說照像底板上的影像，在近代實驗科學裏佔有極要位置，顯然祇是光子撞擊的結果；而其他光學上及照像上一切影響，顯然也全相同。可是像電流計的轉動，用以測計電流，氣溫計的升降，用以測計溫度，耳鼓上的壓力，藉以記載聲浪的來到，也全說是光子撞擊所引起，那便不很顯然。不過卻是這樣。須知一種物理器械或感覺器官，要表現一種影響，勢必能依照什麼方式傳到那裏，而一切能在各物體間的傳達，完全是用光子。我們所謂光子，自然不是狹義的限於可見光線光子；是指着廣義的能的鎗彈，把光以概念推廣，盡括可能的一切波長和頻率。簡單說，一切器械影響和感覺印象，全有賴於能的傳達，而一切能的傳達，全須藉助的光子。這樣重大的簡單化，很像好的幾乎不能令人相信，但是對於科學家說，並不是一種純粹的利益。後面就要說到（第七章）當他探索宇宙的時候，這種說法替他加上了許多嚴重的限制。

除去光子的撞擊以外，還有個人的空間和個人的時間，全很可以正當的列入我們所謂「能觀察的」的範圍以內，把他們當做知識的骨幹，以安置各種光子的到達。當我們想把刺激感覺的光子，加以排列分類，立時覺出在知識上創造一種三度的空間和一種一度的時間，可以促成極完備的秩

序。

在「能觀察的」以外——那便是離着我們的感覺和器具還很遠——便是「不能觀察的」。他們祇是圖景，影像，模型之類，科學所以想像他們實際存在，祇因為他們似乎能感應「能觀察的」以產生實際所見的結果。不過我們並不能保證這些結果，一定不能依照其他方式產生。要想使假設的「不能觀察的」確實成立，必須證明沒有別的東西可以產生所見的結果。

前章所述，從科學裏取消的三種假設實體——絕對空間，絕對時間，和以太——全是在「不能觀察的」一項以內，並且當然是不可避免。他們的運命，自然要引起一個問題，便是我們科學計劃內所餘兩個細目——遠隔的事件和物體——究竟如何。他們是否也祇是拙劣的猜想，由於我們知識不充分，想替沒有圖摹任何可能性的外部世界，匆忙的加以圖摹，因而發生出來呢？

最初一看，像電子，質子，原子一類的物質物體，竟自放在我們所謂「不能觀察的」範圍以內，似乎奇特可驚，而他們卻必須佔有那種位置。一個沒有事件的電子和質子，永遠不能使我們知道他的存在，而一個單個的電子和質子，又必是毫無事件，能夠影響我們感覺的最簡單事件，至少要兩個這種物體放在一起。如同兩個物體種類相同，那事件便是電子或質子的相遇，在適當情況下，可以看見。如果種類不同，他們便組成一個氫質原子，事件便是氫光譜所有多種光子形式中，一種光子的送出（或吸入）。至於鮑爾理論所謂，一個電子在一個質子的周圍依照軌道運行，那是不能觀察的事件。他

並不發光，所以不能影響我們的感覺。

所以我們必須把電子和質子當做事件的不能觀察的來源。而事件的本身，卻能夠觀察。太陽裏所含的若干億萬千個電子和質子，祇是在推論裏存在，用以解釋日日落在我們眼裏和皮上的光子川流。

放射的川流

海森堡根據上面所述的主張，拒絕承認遠離原子裏不能觀察的電子和質子，祇注意從他放出可觀察的光子。這些光子，有許多不同的種類，合成一袋，要以他們的頻率為識別。這一袋的內容，不很像獵人所殺的獸袋，比較像鐵路上收票員的票袋。因為依照利資 (Ritz) 的原理，每個光子，各有兩種基本的頻率（他自己的頻率，是距離這兩種頻率遠近的結果。）這很像每個火車票，各有兩個相聯的車站——例如說從亞柏頓 (Aberdeen) 到伯明罕 (Birmingham)。鮑爾的理論曾把這兩種頻率，圖摹成在固定軌道上運動的頻率，並且想像一個光子的放出，是由於一個電子從一個軌道移到另一個軌道的結果。正如同我們可以圖摹一張車票的舍棄，是從一個鐵路車站旅行到另一個車站的結果。海森堡對於光子的來源，並不自縛於什麼固定的圖景，他祇注意於光的川流。要再用我們的比喻，他不想圖摹車輛在途中運動的詳細情形，祇就收票員向總局送達的車票川流，以研究全部系統的作用。所謂總局，是比喻我們的感覺，所以車票便是「能觀察的」，至於機器，車輛，旅客等，全是「不

能觀察的。」

總局根據這一堆車票，可以獲得很多種統計的知識。例如，他們可以發見離開亞柏頓的旅客總數，到達亞柏頓的旅客總數，亞柏頓售票處所得的金錢的總數，從亞柏頓出發的旅客所行里程總數。對於鐵路上其餘各站，也可以一樣統計。如果他們要把這些知識聯合起來，第一步或許是把每站所發向其餘各站的車票總數，一一排列出來。假使我們把這些車站——亞柏頓，伯明罕，嘉利爾（Carlisle），頓地（Dundee），愛丁堡（Edinburgh）等等，用 A, B, C, D, E …… 代表，可將所得知識，列成下表：

$$A \rightarrow B = 23$$

$$B \rightarrow C = 72$$

$$A \rightarrow C = 13$$

餘類推。

要用複式的辦法，更可以很精確的記載下來，略如下式（見一五六頁）

要排列各與其他兩個數量相連的若干數量，最明顯的方法是用複式的方表。在算學上，這樣一個表，叫做「方陣」（Matrix），裏面的數量，像 103, 23, 13 等，叫做方陣的「元素」（Elements）。

在下面表裏的第一個數，103，意思是說總局裏收到一百零三張從亞柏頓到亞柏頓的票，如果我們願意，可以說他們是月臺票，在亞柏頓所購，並且在亞柏頓終了。右邊的 23，是說有二十三個人從

	A	B	C	D	E
A	103	23	13	84	22
B	23	207	72	28	43
C	13	72	90		
D	84	28			
E	22	43			(餘類推)

亞伯頓旅行到伯明罕，而下邊的 ^{238}U 是說有數目相同的人從伯明罕到亞伯頓。這對於鐵路旅行的事實，也許相符，也許不相符，但是對於原來所比喻的物理學問題，卻正相符合。因為我們把情形理想化了，使他在可能範圍內極力簡單，特別對於放出光子的氣體，假定是在一種穩定的狀況。這裏需要他對於他自己的放射達到一種平衡狀況，所以他吸收每種光子的數目，正等於他放出那種光子的數目，祇有少數的幾個逃出來影響我們的器械。所以從一個狀況到另一個狀況因而放出光子的原子數目，正

等於變換狀況方向相反因而吸收光子的原子數目。結果在記載光子數目的方陣裏面，位置相當的元素，彼此相等。這叫做對稱的方陣，意義是豎行所列的數目，和相當橫行所列的數目，彼此完全相同。

我們的方陣，僅僅把各種光子的數目——或者不如說他們彼此相對多寡——指示出來，但是並不能盡括我們可用「能觀察的」知識的全部。一張鐵路車票，上面印着兩個地方的名稱，還有價格，足以表示他們中間的距離遠近。同樣，每個光子也各有一個固定不變的數量，他的頻率，告訴我們他對於相聯兩種基本頻率的距離。

就是這樣，還不是我們所有能觀察的知識的全部。他含有我們對於各種光子相對多寡的知識，但是沒有關於他們振動情形的知識。有多量的實驗證據，指明一切光子的振動，全很像一種純粹音

調的振動，可以把他們比成一個飛輪邊上的一點，當輪子依照絕對勻靜速度轉動時那一點的上下運動。

在算學上，這種振動叫做「簡單諧和」(Simple harmonic)。他們所包括的變化，和 $\cos(2\pi\nu t + \epsilon)$ 一式所括的變化成爲比例。式中的 ν 是振動的頻率， ϵ 是用以確定他的「形態」(Phase) (見前章)。不過在現在的問題裏，頻率並不容許觀察，所以這樣一個公式，未免過甚明顯。

可是要避免這一類的過甚精確，也很容易。德摩渥爾 (De Moivre) 有一個很著名的理論，告訴我們，如果 θ 是任何一數量，則

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

裏面的 e 是普通的指數函數 (Exponential function) (所以 e^2 便是 e 或 2.71828……的 e 次方) $\cos \theta$ 和 $\sin \theta$ 是普通的三角函數，而 i 是代表 (-1) 的平方根。任何一個代數數量 (Algebraic quantity) C 可以用 $A + iB$ 的形式代表， A 和 B 全是普通的數目，於是德摩渥爾的理論，指明下列一種關係：

$$C e^{i\theta} = \sqrt{A^2 + B^2} [\cos(\theta + \epsilon) + i \sin(\theta + \epsilon)]$$

裏面的 ϵ ，以 A 和 B 的比值爲轉移。假使我們把 θ 的數值，特別指定爲 $2\pi\nu t$ ，立刻看出他的第一項 $\sqrt{A^2 + B^2} \cos(\theta + \epsilon)$ 恰好能夠代表所需要的振動。由此我可以把這個振動用 $C e^{2\pi\nu t}$ 代表，但

是須記住尚有被 i 乘的一部分略去不顧。在用這個算式的時候，我們並不說知道代表形態的 ϵ ，因為我們不會把 C 分成他所含 A 和 B 兩部。這對於一切振動的算學理論，是一種很普通的方便辦法。

在這種諒解以下，關於從一種質量，例如說氫質，所來的光線川流，我們所有能觀察的知識全部，可以盡括於下式的方陣裏面：

$$\begin{array}{cc}
 C_{aa}e^{2\pi i(v_a-v_a)t}, & C_{ba}e^{2\pi i(v_b-v_a)t}, \\
 C_{ab}e^{2\pi i(v_a-v_b)t}, & C_{bb}e^{2\pi i(v_b-v_b)t}, \\
 \hline
 C_{ac}e^{2\pi i(v_a-v_c)t}, & \text{餘類推}
 \end{array}$$

裏面的 v ，全代以他的已知數值 v_a, v_b, \dots 等等，裏面的 v_a, v_b, \dots 全是利資的基本頻率。我們不知道 v_a, v_b, \dots 的單個數值，祇知道他們的差數，式裏所用的也祇是他們的差數。

原子的構造

關於例如說氫所發出的光線，我們所有一切能觀察的知識，既然全放在這樣一個方陣以內，海森堡根據我們所說鮑爾前此的研究，想出了第二步辦法。鮑爾曾經把氫原子圖摹成一個電子依照軌道圍繞一個質子運行，並且假設了若干「量子的限制」，使軌道的直徑必和整數的平方值成正比，結果已與觀察相符。較大的外面軌道，比較小的內部軌道，彼此比較接近，而在最大的軌道，更可

視爲彼此相接，因爲他們中間的距離，較諸他們的全部大小，已經不足輕重。所以一個電子從一個軌道到另一個軌道，我們不必再想像是跳躍。我們可以想像他的運動，是連續的運動，他的能變化，是連續的變化。

當電子在這些軌道裏面時，鮑爾的量子限制，對於電子的運動，並沒有任何種限制的影響，所以鮑爾的原子圖景，恰好脗合於舊日的機械圖景。鮑爾的圖景，既能預測放射的實際情形，可見舊日的機械圖景，對於直徑無限的原子，也能一樣預測。

要值軌道的直徑很大，但還不到無限的地步，鮑爾證明量子的限制，也還很小，所以仍舊能夠脗合於實際。這叫做鮑爾的「適合原理」(Correspondence principle)。

所以自然的機械圖景，要預測很大原子的放射，可以相當精確，不過對於平常直徑小的原子，卻不免陷於謬誤。海森堡想要設法修正舊日的圖景，使他始終脗合於實際觀察——無論是小原子或是大原子。

他既然決定不問不能觀察的，要造成新圖景僅有的資料，便是上面所說的方陣，或直接從那方陣推出的數量。所以進行的路線，非常明顯——第一步是利用這種資料，把祇能有效應用於大原子的舊圖景，加以改造，然後再把圖景擴張，以盡括所有體積大小的原子。

方陣的每一個元素，自然以相當的光譜線強弱爲轉移。假使我們把發光的氣體多寡減半，每種

光譜線的強度也必減半，因之方陣的每個元素也必減半。假使我們把每個元素，全用同一個相當的因數約縮，結果便獲得一種縮小的方陣，正代表一個原子平均放出的光線。

我們已經說過，一個質點的運動，如何永遠可以用很多的振動集合代表。在原子很大的特殊情形以下，海森堡覺得，「縮小的方陣」正指出鮑爾所圖摹的點電子的位置，他的個個元素便代表個個擺動，加在一起，便是電子的運動。

在原子很小時，我們當然不能希望類似的解釋。不過我們且假設，即使在這種情形之下，氫原子含有兩個成分，我們仍舊叫做質子和電子，但是一點也不知道這兩個名辭在這時的意義。

對於大原子說，方陣既然知道是指定電子的位置，海森堡覺得，當原子小時，雖然我們知道不能把電子比成一點，須比成一道完整的鐵路系統，方陣依舊必須能指定電子的什麼位置。方陣的元素不能再看成代表一個個的擺動，能夠簡單相加，他們實很像鐵路上一列列車輛的旅程。

要說一個電子在原子周圍一個大軌道上運行，就能圖摹成一個質點，而在較小軌道上的電子，竟自要圖摹成一個完整的鐵路系統，或許有些奇怪。不過我們必須記住，海森堡的方陣，對象並不是一個原子所放出的一个光子，實在是無數原子在種種狀況下所放出種類不同的億萬個光子。因為這個緣故，不能希望他是一個原子狀況的圖景，祇能希望他是所有原子的組合圖景。假使我們樂意，也可以說縮小的方陣，正代表一個「統計的原子」(Statistical atom)，他的性質是真正發光各原

子的性質的平均。

海森堡方陣的每個元素，在時間上的變化，可以有法算出。假使用元素的變化率代替元素的本身，結果又成爲一種方陣，約略代表這統計原子的種種變化——有些像鐵路上各列車輛的速度，要對於大原子說，他簡直代表點電子的運動速度。假使我們用一個電子的質量，去乘每一個元素，結果也成一個方陣，正代表電子的動量。

海森堡關係

我們把最後一個方陣用 p 代表，原來符合電子位置的縮小方陣用 q 代表。海森堡覺得，用 p 和 q 兩個方陣，做成一個代表原子作用的新圖景，結果和實際的觀察完全相符。

這個圖景，並不含有 p 和 q 的本身，祇含有他們的積數。假使 p 和 q 全祇是簡單的數量，例如 6 和 8，那時他們的積數 pq 便有一種精確的意義，例如 48。不過事實上 pq 一積數，迄今還沒有意義，我們可以任意指定他什麼意義。而算學上關於方陣，在海森堡以前，早有一種理論，替用 q 乘 p 的積數 pq 指定一種意義，又替用 p 乘 q 的積數 qp 指定一種意義。如果 p 和 q 全是簡單的數，像 6 和 8，那時 pq 一定正是 qp ，不過他們如果是方陣，就未必這樣。而算學上對於 pq 和 qp 通常解釋，確乎不是這樣。所謂 $pq \neq qp$ ，另有固定的意義，自身也是一個方陣，通常並不等於零。

在極端情形裏，對於一個半徑很大的原子，狄萊克曾經證明 $pq = qp$ 正等於平常動力學理論裏

裏面對角線上各項全等於一，其餘各項全等於零。所以海森堡方程式的意義，便是在 $pq-1$ 一方陣裏，不在對角線上的各元素，全等於零（正如同 p 和 q 是平常的數量一樣），而其餘在對角線上的各元素，卻全等於 $h/2\pi i$ 。

這裏的 h ，仍舊是蒲郎克常數，遍佈於小規模的自然。 i 字代表 $\sqrt{-1}$ 也遍佈於原子物理學，或許是代表從一種什麼真正時間達到我們所見時間的中間過渡（參閱第三章）， π 仍照常是代表 3.14159……（一個圓形周界和直徑所成的比例）。至於裏面的 2，似乎比別的符號順眼一些，祇是算學上的一個數，代表一的兩倍。

這種情勢裏的中心事實，祇是 pq 並不等於 qp 。這決不神祕也不奇怪，因為 p 和 q 全不是單獨的數量，而是一排一排的數量。當最初界說 pq 時，已經預定使他和 qp 不相同。不過在 p 和 q 裏排列的各數量，彼此很特別的互相關聯，乃致 p 和 q 幾乎被看成單個的數目，不看成若干獨立數目的排列。這在大原子的極端情形裏，尤為明顯，因為我們已經說過，那時的 p 和 q 簡直可以當做一個「點電子」(Point-electron) 的位置坐標和動量。

試取一簡單的實例，或許能說明這種相互關聯的性質。任何一對獨立的數目，例如 2 和 3，便能合成兩個數的一排，但是我們更可能據以造成代數的聯合， $2+3 < 1$ 把他當做單獨一個數——例如他是二次方程式 $x^2 - 4x + 13 = 0$ 的一個根數——不過裏面的成分，2 和 3，並不會失掉他們的

本象。假設 P 是以 2 和 3 為成分的一個數， Q 是以 4 和 5 為成分的一個數，那時 PQ 積數，便如下式所列：

$$PQ = (2+3\sqrt{-1})(4+5\sqrt{-1}) = -7+22\sqrt{-1}$$

他們的性質 $(-7, 22)$ 和原來的數目相同。

在這裏 PQ 和 QP 兩個積數，顯然彼此恰好相等。不過其中還有一點含糊，因為我們不曾顧及 (-1) 的平方根，實有量相同號相反的兩個。我們且用 i 和 j 兩個字母代表他們，並且同意在求 PQ 一積數時，總使前一項的 $\sqrt{-1}$ 等於 i ，後一項的 $\sqrt{-1}$ 等於 j 。有了這種積數的定義以後， PQ 便不和 QP 相同。實際的算式如下：

$$PQ - QP = (2+3i)(4+5j) - (4+5i)(2+3j)$$

結果所得的數值，是 $2(i-j)$ 或 $4i$ 。

就依照類似這樣的方式，我們把 p 和 q 幾乎當做，但不完全當做單個的數量， q 彷彿是點電子的位置坐標， p 彷彿是點電子的動量。在這種比喻所及的範圍以內，我們覺得， pq 所比喻的，是用一種方法測量電子在軌道運行一周的全部活動，而 qp 所比喻的，是用另一種方法測量電子的同樣活動。●現在我們可以看出，海森堡的方程式

$$p_1 - q_1 p = \frac{h}{2\pi a}$$

祇於是表示兩個不同數量間的一種關係，每個數量，各比喻電子軌道很大的極端限制下，這軌道上的活動。

這個方程式，雖然已知能用於一個「平均的」或統計的原子無誤（見前），不過依照科學上習見的情形，他的效力，似乎不限於引起他的發見的特殊情形。任何一個動力系統，可以用若干坐標（ q ）確定他的狀況，另用與這些坐標相聯的若干動量（ p ）確定他的運動。海森堡的關係，對於使 p 和 q 有任何一對這樣相符的數值，似乎總能得到觀察的證明。不過我們必須記住，能觀察的永遠不是單個的原子，總是統計的一羣羣原子。

這種普遍的推論，有意說這個方程式，不僅能應用於統計的原子，並且能用於單個的原子。這對於解釋一塊氣體的光譜，何以能是若干道界限分明的線，也屬必要。他更指明每一個電子，當他在一個原子裏時，其複雜何以像一個完整的鐵路系統，不像一個簡單的運動微點。於是把電子當做空間和時間一點的圖景，乃達到最後的全部的失敗。

再舉一個例，一個固體的原子，事實上祇是若干擺動者，圍繞着平衡的位置振動，他們的擺動的能，祇是這固體的熱能。海森堡的關係，指明這樣一個擺動者，永遠不能完全消失他的能。他的擺動，必須有量子能 $h\nu$ 的 $\frac{1}{2}$ ， $\frac{3}{2}$ 或其他像 $(n + \frac{1}{2})$ 一類數目的倍數。所以一個固體物體，永遠不能把

他的熱度全部失掉，即使在絕對零度時，他的內部擺動，仍舊有半個量子的能。這種結論，看着雖然不免奇怪，而實際上對於固體在低溫度時的比熱研究，卻全有明顯的證明。

這種關係，也能應用於原子和分子的旋轉運動，他證明角度動量，必須永遠是 \hbar 的某種固定倍數，可以加以計算。從這些數值裏的一個數值，移轉到另一個數值，便產生分光帶上所見的各線，而計算所得的頻率，亦為實際觀察所證明。

不過最有興趣的應用，或者還是對於在空洞空間裏的放射。我們在本章曾經說過，這種放射的能，何以能當做若干自由振動能的相加。海森堡的關係，證明自由振動的全部能，無論頻率 ν 是如何大小，必須是 $\hbar\nu$ 的一個整數倍數，這正是蒲郎克放射量子論所原取的假設。換一句話，這個關係證明，把所有的放射，全可以看成含有若干不能分裂的光子，各有能 $\hbar\nu$ ；因之把放射的波浪圖景引進了原子性。這種說法，再加上本章前面自由振動一節的討論，便成立了波浪圖景和質點圖景彼此完全相同。

所有這些全是提示海森堡的關係，必能表示一種非常基本的定律，照我們現在所能見，必能應用於自然的全部。在下一章裏，我們再提到這種定律的種種可能解釋。

到達牛頓派力學的過渡

在日常生活裏，大規模事件所含的動作量，自然要是 \hbar 的極大倍數，例如一個舊式的鐘擺，完全

擺動一次的動作，約爲

$$400,000 \text{ 秒} \times \sqrt{E} \text{ (erg)}$$

而蒲郎克常數 h 卻祇有

$$h = 0.000000,000000,000000,000000,006555 \text{ 秒} \times \sqrt{E}$$

海森堡方程式裏的 pq 和 qp 兩個積數，全是動作的性質，對於可觸知的較大物體，一定是 h 的極大倍數，乃致右邊的一個 h ，比較起來簡直可以忽略不要。這樣一做，方程式便變成下式：

$$pq = qp$$

正是我們早先沒有問題的加以承認，覺得能應用於自然全部，直到海森堡纔提起正式的反對。

這可以很清楚的說明，當我們從原子構造換到大小可觸的物體時，海森堡的新理論，何以就逐漸變成了伽利略和牛頓的通常力學理論。古代的人並不把河當做水的分子集合，祇當做一道連續的川流。後來知識比較進步，仍舊以爲水的性質連續，發展成了水力科學。不過他祇適應於成羣的分子。他對於含有億萬個分子的河水，能獲得精確的結果。但對於單個的分子，便立時宣告失敗。同樣，牛頓派的力學，祇能適用於含有動作單位 h 數目極大的作用，他對於大規模作用的運動，裏面含有億萬個動作單位，能給予精確的結果，但對於原子以內的作用，祇含有單個的單位，便立即宣告失敗。牛頓派的力學，可以說是海森堡自然圖景所趨的一種限度，那時動作單位的數目已經很大，能夠把

他們當做一羣了。

我們也可以把海森堡的方程式，比做以前鮑爾的量子限制，不過精確的程度，當然較高。習慣上往往以爲這些限制，是如何附加於牛頓的定律。大系統祇於依照牛頓的定律，而小系統除去依照這些定律以外，還須依照量子限制。海森堡的方程式，也時常受到類似的討論，好像自然定律對於小系統比較對於大系統賦予略少的自由。事實上並不是這樣。所謂小系統依照海森堡的定律，祇等於說，我們對於大系統暗中假設 ψ_1 就是 ψ_2 。要因此以爲大物體能夠在時間和空間裏代表，我們的假設，就不免完全沒有意識。對於原子內的自然， ψ_1 不是 ψ_2 的事實，已經懷疑原子內的自然究竟是否能夠表現於時間和空間。後面我們還要重新提起這個問題（參閱第七章）。

在海森堡的方程式裏，如果我們能夠加以正當的解釋，一定隱藏着原子構造的最高祕密性質。這個方程式的表面，既然沒有什麼明顯的解釋，所以我們最好的進行方法，便是創造一種模型系統，能夠合於這個方程式所表示的定律。如果我們的企圖成功，這個模型將不必同於或竟不同於自然的任何真正構造。但他對於原子的性質，卻終能給予若干解釋。因爲同受一個方程式支配的兩個系統，彼此間要不有若干相同的特質，那真未免奇特驚人了。

第六章 波動力學

海森堡教授正在依照前章方向從事思考的時候，另有巴黎的佈羅格利皇子 (Prince Louis de Broglie) 和柏林的施魯丁格教授 (Prof. Schrödinger) 二人各自獨立研究物質構造的問題。研究的結果，對於化學物質光譜的起源，他們想出另外一種解釋，乍一看，似乎和海森堡的解釋，沒有什麼關係。後來施魯丁格自己，還有鮑恩 (Born) 和魏納 (Wiener) 等，指明這兩組觀念，不祇達到相同的結果，脗合於實際的觀察，並且基本上也完全相同。施魯丁格更獲得海森堡方程式的一種解決，容許物理的代表，所以替我們預備下一種電子的模型。這種模型，對於光譜學者所得的結果，已經證明能夠全部加以解釋。我們第一步便根據這種立場，先解釋佈羅格利和施魯丁格的工作，不過要記住他的創始者完全不會涉及海森堡的觀念。以後再用比較少用算學的方式，去討論佈羅格利和施魯丁格的比較具體觀念。有的讀者，或許願意一直就去看看那種討論（見「佈羅格利的波浪」一節）。

波 浪 的 圖 景

假使任何一個數量 r ，其增加速度，恰好是第二個數量 q 的 n 倍，我們說 n 是「 r 對於 q 說的

微分系數，「寫出來便是 $\frac{d}{dq}(q^r)$ 」。另外任何一個數量，例如 q^r 一積數，也全有對於 q 說的一個微分系數，寫出來便是 $\frac{d}{dq}(q^r)$ 。

積數 q^r 有雙重的變化原因，一個是 q 的變化，一個是 r 的變化。根據第一個原因， q^r 的變化速度，正當 q 的 r 倍。根據第二個原因，正當 r 的 q 倍。把這兩個變化加在一起，我們便獲得下列一種關係。

$$\frac{d}{dq}(q^r) = r + q \frac{d}{dq}(q^r)$$

我們看出這個方程式的每一項，各有一個 r ，所以可以另外寫成下式：

$$\left(\frac{d}{dq} q - q \frac{d}{dq} - 1 \right) q^r = 0$$

我們把式裏的 $\frac{d}{dq}$ 當做一種「演算號」(Operator)，那便是說，凡在他後面的，全須經過對於 q 的微分手續 (Differentiation)。我們把 q 也當做一種演算號，那便是說，凡在他後面的，全須用 q 乘——這當然是平常代數學上的意義。照這個方程式說， r 無論是什麼，總無錯誤，所以把我們所知，又可寫成下式：

$$\frac{d}{dq} q - q \frac{d}{dq} = 1$$

式裏的每個符號，全當做演算號，右面的一也包括在內。

假使我們想一個數，先把他倍起來，然後再分成兩半，最後所得的數目，一定還是原來想到的數目。同樣，我們想一個數量，經過前述方程式左邊所指示的一切演算手續，照我們方程式的意義，結果永遠是原來想到的數量。假使我們把方程式的兩邊全用 $\frac{h}{2\pi i}$ 去乘，結果即成下式：

$$\frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dq} q - q \frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dq} = \frac{h}{2\pi i}$$

立時可看出，這和海森堡的關係，一般形式相仿。如我們要假設下列一關係，這兩個關係便完全相同：

$$p = \frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dq}$$

我們要說 $x=3$ 是 $x^2+2=11$ 的一種解決，我們的意思是說用 3 代替 x ，可以把這方程式變成不解自明的真理。同樣，我們上面替 p 寫下的數值，也把海森堡方程式變成不解自明的真理，所以在某種意義下，他便是這方程式的一種解決。我們不說他是唯一的解決，正如同我們不說 $x=3$ 就是 $x^2+2=11$ 的唯一解決。但他既是一種解決，就可以告訴我們這個方程式的若干意義。要用比較具體的言語，就是指予我們如何構造一種模型或圖景，或許祇是許多種可能模型或圖景的一種，但是或許能告訴我們這個方程式的若干具體意義。

第一步我們且用以檢查海森堡的方程式，當他應用於一個質點，像電子的運動時，是什麼意義。我們不必假設質點竟自像「點」那樣小，祇須假設他的位置能夠藉空間一點的位置而確定，例如說一根棒的位置，可定於他的中心的位置，一輛車的位置，可定於他的機器腳板。於是我們要確定他

的位置，可以用一組三個坐標（參閱第三章）， x, y, z ，我們可以看成這個點在三個互相垂直的方向上，所經行的距離——例如說，垂直向，北南向，東西向。這個微子的速度，可定以另一組類似的數， u, v, w ；他的動量，用第三組數， a, b, c 。不過我們知道， a 就是 mv_x ， m 是質點的質量。在這種簡單的情形裏，我們上面替海森堡方程式所得的「解決」便成爲下面的形式

$$m\psi = \frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dx} \dots \dots \dots (C)$$

對於 m_x 和 m_y ，自然也有類似的數值，結果所得的三個方程式，乃與 x, y, z 三個坐標相對稱。不過我們已經說過（見第三章），任何真正的自然圖景，必須對稱於連續體裏的四個坐標， x, y, z 和 z_4 ，這是說我們三個方程式的系統不會完全。必須另外有一個適合於 z_4 坐標的第四個方程式。這並不難找出，列式如下：

$$m\psi^2 = -\frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dt} \dots \dots \dots (D)$$

如果這些方程式好像沒有什麼意義，那正在原來的預料以內。海森堡起初便猜想，替電子造成一種可解的圖景或模型，將證明不可能。我們的方程式——是造成這種模型的第一步——既然已經證明爲不可解，這好像他的猜想並不錯誤。如果這些方程式使我們達到一種簡單的模型，例如說一個小硬圓球，海森堡就是犯了毫無根據的悲觀主義了。

不過我們知道，方程式的兩邊全是演算號，所以全急於要些什麼加以演算，所以能夠替他們加

進些具體的意義。假使把方程式C的兩邊，各加上一個符號 ψ ，以備演算，就變成下式：

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{2\pi imv}{h} \psi$$

這是一個很習見的方程式。簡化以後，我們可以知道， ψ 必有下列的形式：

$$\psi = Ce^{2\pi i \left(\frac{mv}{h} \right) x}$$

裏面的C，是一個常數。

根據前面的第三章「放射川流」一節的公式，可見上式是代表一道有規則的波浪。 x 變化的時候， ψ 的數值，總在 $+C$ 和 $-C$ 兩值間變換，中間有固定的間隔，是 h/mv 。這本書的範圍，並不合對於算學公式加以精確或明晰的討論。現在也不是這一類的討論，祇是要指明一種動量 mv ，是依照「某種方式」關連於一組有規則的波浪，其波長為 h/mv ，或是 h 被本動量所除得的商數。

光子已是這點的一個實例，因為我們已經知道一個光子的波長，等於 h 被他的動量所除得的商數。現在更有實驗證明，這種關係對於電子也是一樣存在。

在湯姆生(G. P. Thomson)所作的實驗裏，一陣電子，全依照同一速度向同一方向前進，就像一隊兵士操演那樣整齊，結果打擊在一塊金屬薄片上面。依照舊日物理學的說法，必定預測每個電子，各自向薄片的原子和孔隙間，獨力奮鬪前進，所以電流到了那一面，就成了一羣雜亂無序的電子，各有不同的方向，各有不同的速度。而實驗所見，並不是這樣，結果竟自成了一種有規則的波浪模型。

(參閱本書卷首插圖) 他們在團體的孔隙中擠過，並未雜亂，更促成了一種新的秩序。他把以前所有秩序的性質改變，另外成了波浪的特性了。

這些波浪的波長，不能加以精確的測量。他們的波浪形式，和某種波長固定的X光的波浪形式，證明完全相同。所以這必須也是這一陣電子的波長。而這樣獲得的波長，證明正符合理論定律的需要——波長總是 h 被這陣電子裏每個電子的動量所除得的數。可是還要知道，這種波長和金屬片裏原子排列的方式，彼此並無關係。

對於荷着正電的質子，加以實驗，也獲得相類似的結果。

所以我們向前進步，似乎已有若干不會走錯途徑的自信心理。我們的圖景，無論對於我們如何難解，總是合於實際。

電子波浪的波長，以電子進行的速度為轉移，這可見電子在空洞空間進行的時候，這種波浪不能有什麼客觀性的存在。因為在這種情形之下，所謂「進行速度」絲毫沒有意義——這當然正是相對論的主要使命。等到一陣質點遇着任何種物質或電力場，即可用為根據，藉以測量運動的速度，而所謂「運動速度」和「一個質點的動量」也全有了固定的意義。這時似乎再沒有什麼理由，說這些波浪不真；不過我們就要說到，即使在這種情形下，也必不能假設他們有什麼物質的存在。

我們可用完全相同的方法，去討論前面的第四個方程式D。假使我們預備一個數量 ψ ，放在兩

邊，預備加以演算，我們也獲和前相同的一個方程式，他的解決，將為下式：

$$\psi = Ce^{-2\pi i \left(\frac{mc^2}{h} \right) t}$$

這代表一種振動，依照一定的時間間隔 h/mc^2 ，自身重複。在這裏我們還是不能夠從事於一種精嚴的或明晰的算學討論，但是我們看出，一個質量微子的存在，在某種方式下，總有關於頻率 mc^2/h 的振動。

相對論告訴我們，一個質量 m 的質點，是能 mc^2 的儲藏室。所以振動的頻率，正是能被 h 所除得的數值。

在這裏，光子又是一個實例。他們的頻率，也是他們的能被 h 除得的數值。

相對論指明一個運動質點的質量，有賴於這個質點的運動速度，與下式成正比例：

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

這個因數，我們在第三章「勞倫茲變式」一節內，早已看見過。所以一個運動質點的質量，較大於一個靜止質點的質量，能也較大。事實上過多的，正是他因運動而生的運動能。因此一個運動的質點，其所附帶的振動，實較快於一個靜止的質點；他的運動，加快了他的振動頻率。

最初一看，這些振動好像必須是主觀的性質，和剛說過的波浪相同，因為他們以質點的運動速

度爲轉移，而我們更沒有客觀的骨幹，以估定這種速度。事實上並不是這樣。速度 u 的運動，其增加振動的速度，大小依照上面所列的因數，但是照我們在第三章「勞倫茲變式」一節所述，他增加時間的單位，也正依照這個比值，所以兩個影響，彼此正相抵消。因此，我們還找不出什麼理由，說這些振動不真實。假使我們圖摹電子，說是每秒鐘振動 mc^2/h 次，一個電子的波浪模型，也可以很簡單的解釋，說是由於這個振動系統對於降落所及硬面彼此反應的結果。根據計算，知道產生實驗所見波長的電子構造，其振動速度，應當是每秒鐘完全擺動 1.24×10^{20} 次（或一萬二千四百萬兆次）。於是我們所得的電子圖景，較諸說他是荷電的小硬球，更爲奇特可驚，不過必要記住，我們還完全不知道，這些振動究竟真實到什麼程度，或許像波浪似的，他們祇是算學假說到什麼程度。理論和實驗，更共同指明，質子也可以說是從事震動，也許真實，也許假說，速度還較大，每秒鐘要完全擺動二千二百九十九萬萬兆次。

我們已經知道，空間的波浪和時間的振動，全有關於一個質點的運動。把這兩種影響加在一起，就成了下列的公式：

$$\psi = Ce^{2\pi i \left(\frac{mu}{h} \right) \left(x - \frac{ct^2}{u} \right)}$$

ψ 的這個數值，可以同時滿足 C 和 D 兩個方程式。

他代表一組波浪，波長是 h/mu ，依照 x 的方向經行，速度是 c^2/u 。這個速度，又是相對論早已使

我們熟知，他正是局部時間傳播的速度（見第三章，「勞倫茲變式」一節。）因此我們知道，一個質量 m 依照速度 v 運動的粒子，在某種方式下，總有關於這樣一組波浪。

至於速度常變的運動，所關聯的波浪，當然要比較複雜。為說明起見，我們且舉一個特殊的實例，說一個電子在一個電力場裏運動。為使問題簡單，假設他的速度，永遠較低於光的速度。

我們已經知道，他的運動，必須符合平常力學的定律，也必須符合海森堡的限制。平常的力學說，一個運動的電子，有運動能，其大小為 $\frac{1}{2}m(v^2 + v^2 + v^2)$ ；而他的運動，總使他的這種能和他的位置能 (Potential energy)，我們叫做 V ，相加起來，始終不變。假使我們用 E 代表這個不變的和數，根據平常的力學，可得下式：

$$\frac{1}{2} m (v^2 + v^2 + v^2) = E - V \dots\dots\dots (E)$$

在運動期間，始終是這樣，而海森堡關係所另外加上的限制，要在這模型裏代表，可以用 $\frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dx}$ 去代表 mv ，餘類推。兩種知識合起來以後，可得下面的方程式：

$$-\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} \right) = E - V$$

這方程式裏的各項，和以前一樣，必須全當做演算號。我們再加上一個 ψ ，預備他們演算一些也。不問 ψ 究竟是什麼。上面的方程式就變成下式：

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} \right) \psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0 \dots \dots \dots (F)$$

ψ 的數值，仍舊是隨着時間擺動，所以算學家認識這個方程式是代表波浪的傳播。波長並不像以前的固定，而是隨點變化，與 $\sqrt{E - V}$ 成正比例。正如同光的波長，遇着一種折光的物質，即生變化。我們看出一個電子，在電力場裏運動，在某種方式下，總有關於波浪，正如同運動經過折光物質的光波。

佈羅格利的波浪

我們剛獲得的方程式，通常叫做施魯丁格的波浪方程式 (Schrödinger's wave equation) 因為施魯丁格利用他自己獨創的特殊方法，是第一個獲得這方程式的人。他的方法，完全不經過質點的電子概念。他和海森堡一樣，覺出早日鮑爾理論的所以失敗，是由於把電子當做荷電的質點，形式過於確定具體。在施魯丁格從事這種研究以前，這種失敗已經使佈羅格利想到以前光之微粒說的類似失敗。把光線圖摹成一陣質點的理論，可以解釋陰影及光線其他簡單的大規模特質，但他的比較玄妙的小規模特質，卻必用波浪的圖景，纔能加以解釋。同樣，把物質圖摹成若干質點，電子和質子，也祇能解釋物質特質的一部，而不是全部。所解釋的一部，也大抵是大規模的特質。佈羅格利覺得，要解釋其餘一部，也許需要一種波浪的圖景。

電子無論是什麼，必須假設和其餘的自然一樣，也依照相對論。從此可見，要說一個電子的特質，祇用空間就能夠確定，勢將毫無意義。要敘述他們，必須也含有時間。這似乎是一個很微細的線索，但在事實上，他對於這未知物體的構造和行為，卻有相當強烈的限制。我們知道，如果電子真依照相對論，也必能用算學圖摹他的構造，成爲一組波浪。

因爲一個電子的構造，如果在靜止的時候，可以用 x, y, z, t 去決定，那麼這個電子要向 x 方向，依照 v 的速度運動，仍舊可以一樣決定，祇須用 $x - vt$ 去代替 x ，用局部時間 $t - \frac{vx}{c^2}$ 去代替 t 。這當然是勞倫茲變式的含義，不過祇忽略了若干微細的變化，必待電子運動的速度，能和光的速度約略相比時，纔具有重要的性質。

把 x 變成 $x - vt$ 是電子運動的必然結果；祇要電子依照 v 的速度，向着 x 方向前進， $x - vt$ 便可保留他的數值。但是把 t 變成了 $t - \frac{vx}{c^2}$ 卻含有另一種運動。要使這個數量不變，必須有一種未知的什麼東西，依照 c^2/v 的速度，向着 x 方向前進。我們可以把這圖摹成一種擾動的傳佈，或者說是一組波浪，依照 c^2/v 的速度，向着電子所趨的方向前進，這正是局部時間的傳播速度。

一組波浪，各按相同的速度前進，總速度一定正等於每個波浪的速度。一道光線正是這裏的明顯實例：他的進行速度，正同於組成他的每個光波的速度。但是我們顯然不能想像電子也用這種波浪羣代表，因爲依照等速度 c^2/v 經行的波浪，立時可以把電子趕過去遠離，電子的速度祇有較低

的 u 罷了。

我們現在且討論一組波浪的運動，無論在什麼地方，也無論什麼種類，進行的速度各不相同，但祇瞬息的延展到一小部分空間——可用海上的一陣風浪，以確定我們的觀念。這擾動的前方，自然是依照他的最快波浪的速度前進，但是他的尾部，卻祇能有他的最慢波浪的速度。因此前後兩端間的距離，將逐漸增加，全組波浪逐漸散開，而全組波浪的中心，既永遠在兩端的中心，所以他的速度，也將是最快和最慢波浪速度的中間值。

有一種情形，這些結論不能適合，那便是當每一個波浪，已經全佈滿了全部空間。這對於全部系統做成一組有限或竟自很小的範圍，也並不是不能相容，因為在範圍以外的波浪，或許由於破壞的「交觸作用」已經完全相互抵消（參閱第五章，「自由振動」一節）。而我們所提到的算學理論，更明說任何擾動，無論如何限制，永遠可以看成一組波浪，每個波浪各延展到全部空間。一組波浪，這樣限制在一小部分空間，通常叫做「波浪包」(Wave packet)。

分析的結果，知道一個波浪包通常總要散佈，但也許散佈的很慢。遇着他的散佈慢度，能夠經過相當時間，還是一個緊密的構造，我們很可以正當的說到他的運動速度，並且我們知道這種速度，也不必是組成他的波浪最快和最慢兩種速度的中間值。例如一個波浪包本身的速度，或許是 u ，而其所含每個波浪，卻許近於其他絕不相同的速度，例如說 c^2/u 。如果我們要把電子解釋成一組波浪，

這當然恰好適應我們的需要。至於全組波浪的速度，和所含單個波浪的速度，彼此間能有這種關係所需的條件，也很簡單。祇需速度為 c^2/u 的波浪，能有和下式成正比的頻率：

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

我們在前節討論波浪時所得，也正是這種關係。

所以我們可以知道佈羅格利的波浪，正是前面所討論的波浪，其波長和振動時間，可以用前面的公式，分別求出；結果證明對於電子，質子，光子，全是一樣。

經過詳細的研究，知道這一組波浪，將不致跑離了電子。單個的波浪，無論是在前或在後，全互相抵消，祇在中間一段，互相助力，結果恰好成一種堅固的構造，運動速度恰好和電子相同。電子的波浪，除去純粹屬於算學性質一事實外，他們的動作證明極像我們所見船尾的波浪。海面上的水紋進行，或許比船快，或許比船慢，而其全部系統並不跑離開船，總依照和船一樣的速度，向前進行。

光線的速度 c ，必須較大於電子的運動速度 u 。波浪的速度 c^2/u ，正依照相同的比例，較大於光的速度。所以這些波浪的進行，不祇較快於電子，並且較快於光的本身。例如電子的速度如果是光的速度四分之一，單個波浪的速度，當是光的速度四倍。假使電子的速度很慢，祇有光的速度的一千分之一，他的波浪速度，將千倍於光的速度，因之當電子速度的一百萬倍。

這當然祇是一種算學家所熟知的算學圖景，他們時常把一切變化全看成一組波浪所產生，完全是一種方便的敘述方法。

我們已經說過，電子，質子，光子的波長和振動時間，完全用相同的公式，如下：

$$\text{動量} \times \text{波長} = h$$

$$\text{能} \times \text{振動時間} = h$$

這種公式，竟自能一樣應用於三種不同的東西，電子，質子，光子，當然很是特別。有一個可能的解釋，便是這三種東西，表面雖各不相同，但在基本上實是同一性質；至少就他們的振動說，全用他們的頻率和波長代表，已經是這樣。他們的根本區別，電子和質子有電荷，而光子沒有電荷，就很可能說明他們的許多不同性質。他們全有能，所以全有質量。荷電質點要有定量的能，必須運動較慢於光；而光子要有定量的能，卻必須正按光的速度運動。這可以解釋，光子的進行，為什麼總按光的速度，而電子和質子的進行，為什麼總要較慢。再說，電子和質子，因為他們電荷的相吸相拒，所以互相發生作用，而光子既沒有電荷，所以彼此間完全沒有相互作用。因此，很有理由說光子的性質，同於電子和質子，祇是沒有電荷罷了。

不過這些事實，還能容許範圍更廣的解釋。有關的公式，全是海森堡關係的直接結果，就現今已有的實際觀察，證明這種關係實遍及自然的全部。他的效力，確不僅限於電子，光子，質子（參閱第五

章「海森堡的關係」一節。

從此可見推衍出的公式，似乎也能有效應用於自然的全部。至於光子，電子，質子的情形，或許祇是一種很普遍真理的特殊實例。換句話，這些公式所表示的，或許是空間和時間的普遍特質，而不是空間或時間特殊現象或物體的特質。例如說能，也許祇是對於頻率或時間的另一種看法，而動量也許祇是對於波長或空間的看法。正如同我們可以隨意把光當做以太波浪或質點，幾乎毫無關係，所以我們或許也可以隨意把空間當做延展或動量，把時間當做振動或能，幾乎毫無關係了。

在這裏似乎有兩種不同的猜想，其實祇有一個。相對論指明，空間對於動量的關係，正同於時間對於能的關係。一個想像上相對論上的觀察人，如果變化他在空間運動的速度，他便是依照前面所說的意義，把空間變成時間，並且正依照這種意義，依照這種限度，把動量變成能。在空時連續體裏，動量和能已經合而為一，正如同空間和時間自身的合而為一。

所以能的不滅，也許能解釋成振動的不滅，宇宙全部在單位時間裏的震動，總數永久不變，這或許是時間的一種絕對測量。同樣，動量的不滅，或許能解釋成波浪數目（單位長度上的波浪數目）的不滅，這或許是長度的一種絕對比尺。

現代科學，從十九世紀科學的自然，取走了很多的東西，預料也應當供給些什麼東西，去補足他所創造的缺憾相對的概念，似乎是這種新因子的一個，而我們剛提到的概念，或許是另外一個。試就

現今所有情勢，使我們必須鄭重的討論這種可能性，就證明現今的科學和三十年前的科學，中間果有如何遠的距離。假使照我們的希望，說舊日科學和「常識」的自然主張，是代表外形的世界，而現在的科學是趨向實體的世界，這裏也可證明外表和實體中間，有如何寬的鴻溝。

無論如何，電子和質子的頻率，其真實程度，總應當同於光子的相當數量。現在我們至少對於後一種頻率，已經有相當的知識。

假使我們旋轉一個電動機，使他的線輪每秒鐘經過磁場五十次，結果將獲得一種交流電，有每秒鐘五十週期的頻率。因為磁場的如何漏出，電波將向周圍的空間進行，這些波浪也將有每秒鐘五十週期的頻率。假使我們圖摹放射是光子做成，那時光子的頻率，也將是五十，而這種頻率在時期上的真實程度，必須同於推動電動機的機輪頻率。

對於光子的波長，大體也是一樣。電子的波長，達到相當程度，我們可以用火花裂口(Spark Gap)獲得他的圖景。例如，結果或許是從一個浪尖到次一個浪尖，中間須走五十英尺。假使我們把放射圖摹成光子，我們必須假設他們的波長是五十英尺。而這種波長，在空間是一種長度的真實程度，必須同於我們為測量他所走的五十英尺的真實程度。

這或者似乎提示光子的波長真實，而我們剛說過電子的波長不能夠真實。不久就要看出，這並沒有真正的衝突。在一切事物裏，完全含有真實性的缺乏，從一種預料所不及的方向，暗暗爬進。這種

方向，對於一個向來習於用舊物理學客觀概念思想的人，至少也必覺得很可驚異。

電子波瀾的性質

我們對於電子波浪，已經獲得一種完全的算學說明，不過他關於這種波浪本身的性質，並不會提及。算學理論，根據我們所知和原子內電子和質子相連的波浪，能夠算出原子所放光子的應有波長，結果恰好符合於實際觀察。這是告訴我們波長的情形，但是除去波長以外，更沒有別的可知。關於波浪的真正內容，我們祇能藉助於猜想了。

最初以為他們含有電。電子的特質，最直接可見的，便是他帶有多寡固定的電荷——他的其他假定特質，像微小性，堅硬性，圓形性，似乎已經大半被波動力學所取消。所以最初想到電子有一種構造，自然要想他是一種電的構造。不過有兩種明顯的理由，使這種猜想不能始終成立。

第一是各種波浪的普遍特質，是向空間散佈。例如我們可以把某一時的質子，圖摹成一個波浪包，其直徑為一公分的一億分之一，約略等於氫原子的直徑，但這些波浪當迅即散佈，佔據較多的空間。據愛倫費斯 (Ehrenfest) 的計算，這樣一束波浪，經過十兆分之一秒，便將他的直線長度加倍，可見這樣一組波浪，增加體積太快，不足表示一個質子的空間特質。而較小的一束的波浪，其增加速度，還要比較快些。

算學理論證明，要想造成一組完全不散佈的波浪，很沒有可能性。不過假設我們能夠造出一組

波浪，並不如何散佈，以代表電子或質子在空洞空間進行，途徑上沒有擾動。即使這樣，質點要是遇着物質，波浪也是必須散佈。這看他們在照像版上的波浪模型，便是實驗的證明。所以假使質子或電子的波浪構造，祇代表他的電荷，那在這質點遇着物質時，必須散佈於周圍。而實驗上並沒有這種現象發生，電子和質子的本身並不改變，他們的電荷，更不增減。

第二個反對，更能直接致命。我們且討論一個電子的波浪，遇着第二個電子，他們互相發生電子作用，究竟將有何種現象。這時每個電子的運動，必須同時合於舊力學和海森堡的條件。舊力學告訴我們，全部的能，一部分是兩個運動質點的運動能的總和，一部分是他們的位置能，始終沒有變化，我們還用 E 代表。這種關係，可用下列的方程式代表：

$$\frac{1}{2} m (u^2 + v^2 + w^2) + \frac{1}{2} m' (u'^2 + v'^2 + w'^2) = E - V$$

式裏的 m, u, v, w 是指着第二個質點。我們要代表海森堡的另外條件，可以用 $\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta x}$ 代替 $m, u,$

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} + \frac{d^2}{dx'^2} + \frac{d^2}{dy'^2} + \frac{d^2}{dz'^2} \right) \psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0 \dots (G)$$

餘類推。於是前節的 F 式，便另外成了一種新方程式。這個方程式還是代表波浪的傳播，但是傳播所在，並不是以 x, y, z 為坐標的平常三度空間，而是一個六度的空間，以 x, y, z, x', y', z' 為坐標。同樣，如果一百萬個電子相遇，他們的波浪，便要傳播於一個

三百萬度的空間。這樣一種空間，祇能看成一種算學的假說，我們不能假設波浪的真實程度，還過於他傳播所在空間的真實程度，所以波浪的性質，也必和假說一樣。

我們已經知道，一單個電子的波浪，將傳播於祇有三度的空間。我們很容易把他當做日常生活的空間，要不是因為這個電子有遇着另一個電子的可能，簡直就承認波浪是真實的波浪。兩個電子相遇時，他們的地位相等，誰的波浪也不能說比較真實。假使叫我們判斷，那一組波浪真實，我們祇好不分軒輊，說他們全不真實。因此這種波浪，既不能是電，也不能是我們日常生活裏所有的任何東西了。

不過在我們把這種說法當做最終真理的陳述以前，最好把我們所謂「不真實」先定出他的精確意義。

光子的波浪

光子的波浪，自然就是波動說所說的平常光波。假使光的頻率是 ν ，下面便是支配他的傳播的方程式：

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \psi + \frac{4\pi^2\nu^2}{c^2} \psi = 0 \dots\dots\dots (H)$$

裏面的 ψ ，是電力或磁力的任何成分，或幾個成分的任何單線聯合。除去必須改的以外，這個方程式可以證明完全相同於施魯丁格為一個電子電波傳播的方程式（見本章「波浪圖景」一節，方程

式F.)

但是兩個光子相遇，波浪傳播的公式，卻不能把必改的改了以後也同於施魯丁格的方程式G，因為實際上仍舊是方程式H。至於這裏所以分歧的原因，當然是由於光子相遇沒有相互作用，而電子相遇則有相互作用，要再追溯一步，還是因為光子沒有電荷，而電子有電荷。所以一百萬個電子的波浪，雖然必須有三百萬度的空間，纔能加以適當代表，但是一百萬個光子的波浪，卻祇須三度的空間，就能足用。我們很可以把這種空間，就當做日常生活的空間。因為我們看見太陽，月亮，羣星，是在這個空間，而從太陽，月亮，羣星所放出的光子進行和最後達到我們，也是在這個空間。這正是方程式H所代表的空間。

——所以我們可以說，光子的波浪，能夠表現於我們日常的空间——其實這正是這個空間的定義——而電子的波浪，卻不能這樣代表。

不過我們對於電子波浪和光子波浪，還可作進一步的比較。在第五章「質點放射圖景的不適當」一節裏，我們曾經說過一個實驗，把單色的光線，經過兩個小孔，因為交觸作用，做成一種明帶暗帶相間的模型。假使把這種模型照在照像版上，光亮的地方，就發生化學作用，黑暗地方就沒有化學作用。現在我們把這單色的光當做一陣光子，全有一樣的波長，因之全有一樣的動量。我們已經知道，光子並不能集中在空間的一點，他們祇是實驗室裏的自由振動（見第五章「自由振動」一節）或

是這種振動的波浪，聯合成波浪包（見本章「佈羅格利波浪」一節）。

不過假說我們把放射的彈丸景象，極力推展，直到不合理的極端，假設每個光子能夠集中在空間的特別一點。並且爲使圖景一致起見，更須假設幕上模型的絕對黑暗地方，沒有光子降落，光子完全降落在明亮的地方。其實我們更須假設，幕上任何小面積所降落的光子數目，總和幕上全部照射成正比例。我們更可把幕完全去掉，祇說空洞空間一小體積裏的光子數目，這個數目自須和有關全體積裏的全部光的能，成正比例。要明瞭這是我們觀念的一種合理和必要延展，祇須想像一個小幕放在這小塊空間的遠端——距光遠的一端。幕上一定有光子降落，正如同漁網一定能捉住游向裏面的魚。很容易看出空間單位體積裏的光的能，和這單位體積裏的光子數目，恰好成正比例。

不過電學理論告訴我們，必須把能看成在空間連續地散佈着，並非集中在爲光子所佔的隔離的各點上。這種情形，和我們假定能祇是在隔離的各點上的個別光子能的總和的說法，如何能互相融合呢？

平常的氣體理論（參閱第五章「放射的運動理論」一節）即指示出一種方向。他告訴我們氣體是若干鎗彈般的放射物——他的分子。氣體的質量，完全集中在空間爲分子所佔的幾點。不過說到氣體的密度，立時把圖景改換，另外用一種圖景，各個分子全模糊放大，成爲連續的一片烟雲，所謂氣體的密度，便是說這種在空間迷漫的烟雲的密度。

假使把這種圖景變清楚（有如照像的對光），立時又看見一個個的分子。我們知道物質的眞正密度，隨點不同——遇着分子所在的一點便大，遇着沒有分子的一點便是零。可是我們以前隨點變化的密度觀念，仍舊有一種精確清楚的意義。這種意義是：假使我們在 P 點周圍取一小塊空間，在裏面遇着一個分子的機會，和 P 點的密度，恰好成正比例。

所以我們要把一道光圖摹成一陣彈丸般的光子，必須假設空間每點的光能的密度，就代表我們在那裏遇着一個光子的機會。在平常的電學理論裏，光能力的密度說是 $E^2 + H^2$ ，裏面的 E 和 H 是電力和磁力，各用適當的測量單位。所以在光的光子圖景裏，我們可以把 E 和 H 解釋成兩種數量，在他們中間，可以表示我們在空間特別一點找得一個光子的或能性。

假使把施魯丁格支配電子波浪傳播的方程式，加以適當改變，以使他的對象從電子變到光子，結果所得，我們已經知道，是一個電擾動傳播的方程式（光波祇是電擾動的一種特殊情形）。於是施魯丁格的數量 ψ ，必須依照什麼方式，類似於說明電擾動的數量——類似於電動力和磁動力。這兩種動力，當我們把光子圖摹成集中在空間各點時，既能使我們測量在某點遇着一個光子的或能性，同樣，我們要把電子圖摹成集中在各點時， ψ 也必能使我們測量在某點找着一電子的或能性。

這種或能性和 ψ 間的精確關係，可以用算學理論發見。電擾動的傳播，係決定於下面的方程式：

●要用比較平常一些的單位，能的密度當然是 $(E^2 + H^2)/8\pi$ 。

$$\left(j_1 \frac{d}{dx} + j_2 \frac{d}{dy} + j_3 \frac{d}{dz} + j_4 \frac{d}{dr} \right) (E + iH) = 0$$

裏面的 E 和 H 是電動力和磁動力。 i 是 (-1) 的平方根， j_1, j_2, j_3, j_4 四個符號，現在不必問他們的精確意義。他們是幾何學上一種 (-1) 的平方根，全是單位向量 (Unit vectors)，其方向為 x, y, z, r 各坐標軸， r 等於 ict 。

我們可以把上面的方程式，對較電子波浪傳播的方程式。狄萊克曾將後式變成下面的形式：

$$\left(E_1 \frac{d}{dx} + E_2 \frac{d}{dy} + E_3 \frac{d}{dz} + E_4 \frac{d}{dr} - m \right) \psi = 0$$

這裏的 ψ ，便是海森堡方程式裏的符號， m 是電子的質量，是光子方程式裏所沒有一個新項目。至於 E_1, E_2, E_3, E_4 四個符號，我們現在也不必問他們的精確意義。他們和 j_1, j_2, j_3, j_4 一樣，也是 (-1) 的平方根，不過他們本身是方陣，不容許簡單的幾何學解釋。這裏又證實前面說過的一種結論（參閱本章「佈羅格利的波浪」一節）——光子波浪能夠在空間和時間裏面代表，而電子波浪則不能在空間和時間裏面代表。

把兩個方程式加以比較後，立時可以看出， ψ 對於一個電子正彷彿 $E + iH$ 對於一個光子。我

實際上 $E + iH$ 代表六個向量， $X + iz, Y + i\beta, Z + i\gamma, X + iz, Y + i\beta, Z + i\gamma$ 。所以這個方程式，必須看成一個向量的方程式。如果把左邊向量的四個成分等於零，結果便正是馬克威爾的八個方程式了。

們已經知道（參閱第五章「放射的川流」一節）， ψ 有一部分實數還有一部分虛數，所以我們可以
用 $\psi_1 + \psi_2$ 去代替 ψ 。於是 ψ_1 和 E 相彷彿， ψ_2 和 H 相彷彿，而 $\psi_1 + \psi_2$ 也就相彷彿於 $E + H$ ，而我們已經
知道，如果把光子圖摹成集中於空間各點時， $E^2 + H^2$ 正可以使我們用以測量在空間某點遇着一
光子的機會。

或然性的波瀾

這一類的理由，乃使鮑恩猜想，如果我們想在空間各點找尋電子， $\psi_1 + \psi_2$ 在特別某點的數
值，就代表在那點遇着一個電子的或能性。這樣一個統計性質的解釋，正符合波動力學的統計性質
來源。海森堡關係的獲得，既是根據統計性質的資料，我們所有這種關係的應用模型，大抵也僅能有
統計性質的價值。

上面的猜想，可以用種種方法試驗，結果總是得到勝利的成功。

爲使觀念確定起見，我們還說前面討論過的實驗，把一道電流通過一塊金屬薄片，後面便現出
了波浪的性質。我們和在本章「波浪的圖景」一節裏一樣，必須假設，電流裏的電子，原來就有振動
的特性，並且等到電流碰着薄片，這些振動便引起了波浪。因此電流經過薄片以後，纔具有一組波浪
的特質。更因爲浪槽和浪尖的關係，所以纔有的地方波浪密度很高，有的地方波浪密度很低，或等於
零，比較安靜。假使我們把電流圖摹成一陣點電子，那時在波浪密度很高的地方，電子數目必多，波浪

密度較低的地方，電子數目必少，完全安靜的地方，必無電子，等到電流經過薄片以後，情形將還一樣。這對於照像底版上的模型，恰好能夠解釋。

現在我們把電流的力量逐漸減低，一直到幾乎完全消滅，並且假設在一個很短的時間裏，祇有一個電子經過。破裂的電子和電子的分數，永遠不會在自然界發現，所以爲使圖景符合於已知的自然事實起見，必須假設這個電子，不被實驗破碎，永遠保留他的本象，離開實驗以後，和進入實驗時一樣，總是帶着電荷的一單個質點。所以他在照像版上，祇能在一點和一個質點發生相互作用。他不能做成一個完整的模型，因爲祇有一羣電子纔能那樣做。不過以前用一陣電子所做成的明暗相間模型，可以表示任何單個電子射擊某特別幾點的或能性。所以當這單個電子前進時，他絕沒有機會打擊以前模型的黑暗地方，以前曾有若干萬萬電子，想有打擊這種地方的機會，但是結果沒有一個成功，所以這單個電子這樣做的機會，可以說是等於零。但是這電子要打擊以前模型的明亮地方，卻各有固定的機會，而這種機會又以當地全部的明亮程度爲轉移。在從事實驗以前，我們可以說某種結果的機會，是如何如何，各種或然性的決定，全是依照施魯丁格方程式所代表的波浪。

於是電子的波浪，僅僅變成各種或然性的代表圖形，更可見他們爲什麼必須要三倍於他們數目的度數的空間。不過要祇有一個電子，或一羣電子，其運動已不能各個識別，便祇需一種三度的圖景，這很可想像是在平常空間所造成。依照這種意義，我們可以想施魯丁格的一個電子波浪，存在於

平常的空間，不過我們必須永遠記住，他們祇是算學的圖景，並沒有實質的存在。

平常的物質波浪，像音波和水面波紋，使他們的能四散，直到最後佈滿了波浪所能及的空間。能的總量，始終沒有改變，波浪傳播的作用，不過改換他在空間的分配狀況罷了。

我們現在所討論的猜想，使電子波浪也有了類似的性質。從物質波浪變成電子波浪，祇須把能換成找得一電子的機會。物質波浪的能總量始終不變，電子波浪的或然性總量，當然也是始終不變，因為空間各點的或然性，加在一起，必須永遠等於電子的總數。

物質波浪遇着其他物質的表面，可以有一部分反射，有一部分傳入，兩種新波浪的能總量，正等於原來舊波浪的能總量。同樣，一個電子遇着物質表面，他的或然性波浪也分成兩部，一部分是傳入波浪，代表電子的傳入可能性，一部分是反射波浪，代表電子的反射可能性。物質波浪的能總量，既是始終不受影響，這裏的或然性總量，也是始終不變。這種情形，使施魯丁格的波浪，具有物質波浪的許多特質，但是絕不能據以假設他們也成了物質的波浪。

要說一種或然性的傳播，竟自有這樣清楚的波浪形式，還有固定的波長和振動時間，最初一看，或許覺得奇怪。不過我們要注意，一個或然性的場，必須膾合於相對論，所以論述他的方式，可以正同於論述一個電子的假設構造（參閱本章「佈羅格利的波浪」一節），就未必再那樣奇怪。心裏存着這一點，立時可以看出，或然性的傳播，必須依照波浪的形式，而全組波浪的進行速度，必須正等於

電子的已知速度。

我們把這些波浪當做或然性的波浪，當然不會解決他們所有性質的全部問題；在我們的工作完成以前，必須說出或然性的意義，並且比前面所用的還要加一層的精確。

在日常生活裏，要說到了或然性，總含有知識的如何不完全。例如我們坐在一輛去都渥爾(Dover)的火車裏面，也許說到平靜過海峽的「或然性」，但是如果我們知道了海的狀況，也許就不這樣說。有一個人或許說道：「這個月的海面，三天裏祇有一天風浪，所以我們平靜渡過的機會，是二比一。」另一個人或許說道：「機會還不祇此，因為天氣預報已經預測海面平靜，這種預測的不錯程度，總是九十五比一百。」第三個人或許說道：「那事實上簡直不錯，因為我看見氣象局今天早晨的電報，說海面平靜無風。」這些對於或然性的估計，各不相同，但是全可以不錯。這所以可能，是因或然性裏面含有兩種成分，一是未來的事件，一是現在的知識。我們已說過，施魯丁格的波浪，可確定估計一種未來事件的可能性，現在必須進一步再問：對於什麼現在的知識說，這纔是真正的或然性估計呢？

第一我們先要注意，我們的知識增加以後，海面平靜或其他事件的或然性，將陸續接近於零或一。他逐漸變成一種確定的知識，方向或正或反。氣象學專家，得到了最近的電報，幾乎不必用或然性，他事實上可以確定的說出，海面或是平靜，或將有風浪。

在物理學者，我們對於未來的事件，或實驗的結果，或許要說到或然性。這有兩種不同的原因：一

種是我們對於現在狀況，沒有適當的知識；一種是現在狀況完全知道以後，關於將來還是不能確定——換句話，就是自然界一致性的定律，或許失敗。

主觀的或然性

根據第一種原因，將來事件或實驗結果的或然性，是主觀的或然性，假使我們對於現在狀況的知識，彼此不同，你的或然性估計，也許不同於我的或然性估計，可是結果也許我們彼此全對。根據第二種原因，或然性完全屬於客觀；就是自然的本身，除非等到實驗結束以後，也不能預先知道他的結果。對於「某種特殊結果將有何種可能性？」一問題，祇容許一個答案。

在十九世紀的物理學家，祇承認第一種原因。他們不承認第二種原因的存在，說他荒謬無理，直到現在初習科學的人，也還有這種主張。他的思想，總習於日常經驗所有自然事件的明顯決定性質，便不知不覺間，假定類似的決定性質，必須遍佈於自然，一直到他的最小規模作用，對另外別的說法，不斥為不合邏輯，便斥為違反自然定律——時常還加上熱烈的感情。

我們且仍就前面所舉單個電子打擊金屬薄片的實例討論。普通的科學家，和舊日的物理學家一樣，或許說電子的途徑，可決定於他在薄片上所遇的阻礙。假使他打過檯球，他知道一球打擊另一球以前所取途徑，祇須些微差異，對於擊中以後的途徑，就許有很大的差異。所以他可以說：我們既不知道這個電子和所遇原子相撞的精確情形，我們無從知道電子的最後途徑，所以祇能說某種或他

種途徑的種種「或然性」了。

這樣解釋或能性，將不能受仔細的檢查，因為結果所得模型的波長，並不關於薄片上原子的彼此距離，祇有關於電子的速度。

客觀的或然性

第二種原因，假設自然的不能決定性，雖然不屬於十九世紀的思想，但是具有更長久的歷史。古代比較聰明的人，認為平靜渡海的機會，有賴於海神和風神的意向，他們不過是把自然看成了人，給他加上一種不能決定性。一直到了牛頓的時代，不能決定性的概念，也還在科學上佔有相當的位置。使一陣電子落到金屬薄片上的實驗，在光學上也有一種類似的實驗，那便是使一道光線落在透明物面上。光線的一部分反射回來，一部分傳播過去。所以月光落到海面，一部分反射到我們的眼，我們看見海裏有反光的月影，其餘一部分把海水照亮，使海裏的魚也能看見月亮。假使我們把月光圖摹成一陣光子，顯然是有一部分光子受到水面的反射，其餘一部分不會受到。不過假使把這道光線縮減到一個光子，因為光子既不能分裂，這道光線將祇能選擇兩種路線裏的一種，所以我們祇能說他被反射或被傳導的「或然性」了。

牛頓把光線看成一陣像彈丸般的微粒，曾經遇着這種類似的困難，他的應付方法，是想像做成水面的分子有「容易傳導和容易反射兩種相間的狀況。」

現在不能說出這裏缺乏決定性質的精確程度，無論如何，等到波動說代替微粒說通行以後，這種成分也就脫離了科學。直到最近，又把一道光線常做一陣不能分裂的光子，他纔重新出現。現代的光子，和牛頓的微粒一樣，也祇能選擇兩個路線中的一個，但不能同時分佈到兩個路線，於是他的路線選擇，祇好說是屬於或然性的範圍了。

最近幾年，物理學的其他部分裏，也發現缺乏決定性質的類似實例。其中最明顯的，要算是放射性活動的變化。在一九〇三年，魯則福（Rutherford）和蘇狄（Soddy）發現放射性物質的分解方式，他們叫做「自然的分解」（Spontaneous disintegration）——他的速度，不能用已知物理方法去增減。全世界的鐳質原子，在每一年裏，總有若干數目分解成較簡單的原子，至於這些原子的選擇，從各方面去看，全由於純粹的機會，更無其他原因。假使什麼能選擇他們，就應當能集中這種選擇作用，祇到特殊一塊鐳質，以加快他的分解。直到現今，還不曾發見這一類的作用，所以在理論上很可以說，除去地面上所不能產生的高熱以外，並沒有這一類的作用。

在一九一七年，愛因斯坦更有一種理論的研究，指明這一類的自然作用，必須遍及自然全部。他第一步先假設原子祇能存在於某種固定的狀況——即鮑爾以前的假設（參閱第二章「原子物理學和量子論」一節），後來又經福蘭克和赫茲的實驗證明——並且他們從一個狀況換到另一個狀況，吸收或放出能，全以完整光子為單位。他更指明普通的溫度放射（參閱第五章「放射」一

節)便可釋爲由於這樣產生的一羣羣光子,不過須合於某種固定的條件。放射裏的光子,有許多可以說是由於放射本身和物質原子的相互作用,但是愛因斯坦指明,還剩下若干殘餘的光子,要加解釋,必須假設原子從一個可能狀況自然的跌進另一個可能狀況。可見就是日常習見的溫度放射現象,似乎也需要一種動作,不合於嚴格的決定性質。

愛因斯坦主張,這些特殊的現象,並不合於現在所瞭解的不能決定性,也不合於現在所瞭解的因果性。他說:

「不能決定性是一種十分不合邏輯的概念……假使我說一個放射性原子的生命長短,是如
何如何,那是表示某種秩序 (Gesetz Hohenheit) 的敘述。但是這觀念的本身,並不含有因果的觀念。我
們把他叫做平均的定律,但是不一定每個這種定律必含有因果的意義。同時假使我說這樣一個原
子的生命長短,因爲沒有原因這纔不能決定,那便也是胡說……」

「當亞里士多德和繁瑣學派界說原因的意義,那時還沒有科學意義的客觀實驗觀念。所以他
們祇說到原因的哲學涵義,便已滿足。對於康德,也是這樣。牛頓自己似乎已經覺得,科學成立以前因
果原理,將不足應付當代的物理學……現在我相信,支配自然事件的定律,當我們說到一事件是另
一事件的原因,其精確及拘束程度,遠過於我們現在的猜想。我們這裏的概念,祇限於一個時間裏的
一件事。和全部作用,互相隔離。我們現在應用因果定律的粗疏方式,十分膚淺。正如同一個不知韻律

的小童，卻用韻以判斷詩歌。又如同一個初學鋼琴的人，祇能把一個音調和他前後鄰近的音調相連。這對於一個簡單的歌曲，在一種範圍內，或許有用，但對於一個巴赫（Bach）的追逸曲，卻無從解釋了。量子物理學已告訴我們很複雜的作用，必須把我們的因果概念，再加擴張精鍊，纔能應付裕如。^①

葛亭根（Göttingen）的魏爾教授（Prof. Weyl）關於科學的哲學涵義，也有類似的主張。他說：「這些論點，使我們得着一種印象，當做自然科學原理的因果定律，不能祇用少數幾個字界說明瞭，並且不是一種完整精確的定律。事實上要使他的內容清楚，必須對於實體如何由目前意識資料組成，先獲得一種完滿的現象敘述。」^②

要解釋某種小規模的現象，雖然必含有相當的不能決定成分，而比較大規模的研究自然，仍舊可用自然界一致性的原理。在我們感覺的範圍以內，最微小的物質，也還含有若干億萬個原子，如果每個可以任便向左或向右，那時或能性的定律，照我們感覺所及，將使他們平分於兩方。因為這個理由，我們日常經驗，將永遠不能指出所謂自然界一致性的定律的失敗。而以直覺或本能指導思想的人，或以常識觀點觀察自然的人，必然要是一個決定論的主持者。

等到次一章裏再提出些明證以後，我們對於這個問題，將重新提出討論。

①參閱 Max Planck 所著 Where is Science going? 一書，一九三三年版，第二〇二及二〇三頁。

②見所著 The Open World 一書，一九三二年版，第四三頁。

第七章 不能決定性

我們已經知道，我們對於外部物理世界的全部知識，可以說全是由於能的光子，或是打擊我們的感覺器官，或是打擊我們的物理器械。這些光子的發現，數目既多，種類又雜，似乎很可以希望他們，能夠給我們關於外部世界的全部知識。

不過把他們當做一種獲得知識的媒介，實在有一種極嚴重的限制。他們不能夠分裂，沒有實驗，曾經發現一個光子的分數，也找不出什麼理由，說能的放出或吸收，可以是光子的分數。所以我們研究物理自然能用的唯一資具，便有相當限度的粗疏缺憾。

假使我們用感覺從事於直接的研究，這並沒有什麼關係，因為感覺器官比較起來更要粗疏。每種感覺，各有認識的限度，叫做「感覺的門限」(Threshold of sensation)，如果一種物理的刺激落在這種限度以下，有關的器官，便毫無記載。我們不能經驗一個糖分子的甜味，或一個麝香分子的香氣，也不能在相當距離外聽見一種鈴聲，也不能看見在某種光明程度以下的星光。通常說，我們不能經驗一個光子，至少得幾千個光子，纔能進這種感覺的門限。

我們的物理器械，在一種意義下，也有一種「感覺的門限」，那便是一單個光子的到達。他和其

他物理構造一樣，接受能和動量時，祇是以完整的光子為單位。

不確定性原理

所以我們關於宇宙的任何部分，能夠得到的最精細知識，祇是一單個光子到達所附帶的知識。這個光子，從他產生所在的一部分外部世界，帶着能和動量，移轉到我們的器械。不過鎗彈放出時，對於放他的鎗，總有一種回擊，所以光子對於放出他的原子，也必有一種回擊，並且藉着這個原子，也就擊着我們想要研究的一部分宇宙。所以他給予我們的，可說是過去宇宙的精確消息，但是他為給予我們消息離開那部分宇宙時所生的回擊，已經使他所帶的消息，在達到我們以前，便成了舊消息。我們收到的消息，祇是已經過去的宇宙的消息。

或許有人以為光子所帶的動量，可括有一切能想到的範圍，從零起逐漸增加，所以我們可以用很小動量的光子，獲得隨便如何精確的知識。這種說法，在理論上並無錯誤。不過在事實上，他祇是把困難移轉。因為動量很小的光子，振動時間必定很長，乃致我們對於他所帶消息的關係時間，不能精確判定。這好似用一隻祇能計秒的舊錶，去記載百碼賽跑的時間，當然精確有限了。

於是我們來到一種進退兩難的情勢。一種光子能力太大，他在離去一部分宇宙以前，要發生回擊，所以他關於宇宙現狀不能給我們精確的知識。還有一種光子，因為進行到達的過慢，他們的知識，在時間上不能精確。而在中間的光子，更兼有兩種缺憾。

科學在這種進退兩難的情勢裏，並不曾找得一種出路。在相反方面，他更證明並沒有什麼出路。所謂海森堡的「不能決定性的原理」(Principle of indeterminacy) 或「不確定性的原理」(Uncertainty principle) 證明我們探索自然，如果祇能用整個的光子，就沒有希望獲得對於時間空間一樣完全精確的知識。要獲得一方面的精確，就須犧牲其餘一方面的精確。正如同要避免鞋的一方面擠腳，必須使他的另一方面擠腳。

根據精確的算學討論，知道我們依次試驗各種光子，這兩種錯誤相乘的積數，永遠不能小於一個最低的數值。如果實驗的方法和實際全無一些缺憾，這兩種錯誤的積數，對於各種光子，全是一樣，那便正等於這個最低的數值。

例如要對於一質點的運動，獲得完全的知識，我們必須有兩種資料——一種是這質點經過器械上一點的精確時間，一種是這質點經過那點時的精確速度。假使我們要用這質點的動量，測量這質點的速度，結果位置和動量兩種錯誤的積數，永遠不能小於蒲郎克常數 h 。我們已經說過，這個數量如何支配了原子物理學的全部。在這裏我們以光子為探索外部世界的探針，又遇着這個數量表示這探針的粗疏程度。

在萬國公度量衡單位裏， h 的數值是 6.55×10^{-27} ，一個電子的質量是 9×10^{-27} 那時一個電子的位置和速度，用同種單位測量，其錯誤相乘，將為 0.73。例如使他在幕前一閃，或用其他辦

法，我發現一個電子距離一點在百分之一公分以內，那時他的速度錯誤，至少要有每分鐘七十三公分——差不多是人類慢步的速度了。

直到現在，我們總把電子當做質點，但是我們也可以把他當做施魯丁格的波浪。假使這兩個圖景所指的是同一件東西，我們從波浪圖景裏也必能求出「不確定性原理」和從質點圖景裏所求出的一樣。現在就要說明，這種工作實在可能。

如果我們把電子當做一組波浪，他們的波長，便依照前述的方式，以電子的速度為轉移。於是精確測量這種速度的問題，便是精確說定波長的問題。根據抽象的算學，證明要確定波長，必須有數目無限的波浪，如果波浪數目減少，波長就沒有精確的意義。假使我們有一百萬個波浪，再測量波長，差不多就可以達到每一波長的一百萬分之一，要說測量較此再加精確，那就無何種意義了。

我們要說明純粹算學的這一點，可以先提出在實驗室裏測驗數目固定一組波浪的波長，因而引起的困難。為簡單起見，假定波浪是無線電波浪，使他們直接落到無線電收報機，收報機能夠配合接收任何波長。任何一組波浪，可以由交感作用，使寬度固定的波帶（Wave band）發生擾動。我們把波浪組的長度增加，便減少了鄰近波長的交觸作用，但除非把波浪組延展到無限的長度，這種作用總不能完全消滅。所以必須在那時，我們纔能說這些波浪有界說清楚的波長。

由此可見，我們要完全精確說定一個電子的速度，必須代表他的是一組無限長的波浪。但是我

們已經知道，波浪祇代表在空間各部找得一電子的或然性，電子可以在這組波浪的全長上任何一點，而無限長的一組波浪，便表示電子的位置有無限多的不確定性。

我們現在再到其他一極端，想像一組無限短的波浪，經過收報機。收報機對於這種波浪，祇能記載一陣突然的擾動，在初現時立即消滅。凡是無線電專家全知道，這種擾動，將無選擇的影響一切波長，不能說他的本身有什麼固定的波長。這樣一組無限短的波浪，所代表的電子，可以精確說定他的位置，但是我們知道他的波長，乃致他的動量和他的運動速度，又是完全不能限定。

利用算學討論居間的各種情形，結果正獲得前面所說的「不能決定性原理」。動量的精確程度增加，即含有位置的精確程度減少，反過來也是一樣。而兩種不確定性相乘的積數，永遠不能小於蒲郎克常數 h ，遇着最適當的情形，祇能彼此恰好相等。

波浪圖景的解釋

質點圖景和波浪圖景全是引到同一個「不確定性原理」，並不足奇，因為他們要是不這樣，那必是有了什麼錯誤。不過他們達到這個原理所取的途徑，彼此卻不相同。當我們用一個電子的質點圖景時，這種不確定性，是指着我們對於自然作實驗因而獲得的自然知識。當我們用波浪圖景時，這種不確定性，就在圖景的本身。簡單說，質點圖景告訴我們，是我們對於電子的知識不能夠決定；而波浪圖景告訴我們，是電子的本身不能夠決定，初不問是否對他做實驗。

不過不確定性原理的內容，雙方必須彼此一致。要使他們這樣，祇有一個方法；我們必須假設波浪圖景所代表的，並不是客觀的自然，祇是我們對於自然的知識。

本書前面曾經說到，十九世紀科學的探索自然，有如探險家坐在飛機上面探索一地。根據不確定性的原理，知道不能用這種隔開的方法去探索自然。我們要探索自然，必須真個踏在上面，並且實際去擾動他，我們所見的自然景緻，必須含有我們自己所踢起的灰塵。這種灰塵，也有不同的種類，不過不確定性的原理指明，我們決不能跨過一片地，絲毫不起任何種灰塵，以阻礙我們的視線。波浪圖景所圖摹的，便是我們經過這種灰塵所見的模糊自然圖景，所以下面就要說到，有多少種揚起灰塵的方法，就可以有多少種波浪圖景。

假使我們把思想回溯到波浪圖景的起源，就可以看出一切爲什麼必是這樣。這種圖景的引用，是爲替海森堡方程式獲得一種應用模型。而這種方程式，原來祇有關於「能觀察的」——那就是說，不關係客觀的自然，祇有關於我們對於自然的觀察。海森堡解決宇宙之謎，是把主要的謎——客觀宇宙的性質——舍去，認爲不可解。祇想把我們對於宇宙的觀察，如何設法聯合起來。這可見最後現出的波浪圖景，證明祇有關於由觀察而獲得的宇宙知識，一些並不奇怪了。

電子波浪和或然性波浪

這樣解釋波浪圖景，一方面可免去用其他方法所帶的神祕，一方面還使前章的討論，增加精確

程度。

在前章我們把波浪圖景的波浪，當做或然性的波浪，但是未能提出什麼精確的界說，去說明這個名辭。現在我們假定做一個實驗，要決定一個運動電子的速度和位置。一種辦法，是極精確的決定他的位置，但極不確定的決定他的速度；這樣一個電子，在波浪圖景裏是極短的一組波浪。還有一種辦法，是極精確的決定他的速度，但極不精確的決定他的位置，這時代表電子的，是極長的一組波浪。代表同一個電子，可以有兩種不相同的波浪圖景。並不是因為電子的本身有變，是因為我們對於他的知識不同。所以波浪所代表的是主觀的或然性。

假使實驗告訴我們，一個電子是在空間的某點，並且有某種限度的不確定性，他的速度若干，也有某種限度的不確定性。

我們要代表對於電子位置的不確定知識，可以把電子看成一團霧，我們的知識是這個電子必總在這團霧裏。假使我們知道電子的精確速度，我們就可以使這團霧依照這個速度運動。電子仍舊不能出這團霧的範圍。可是我們並不能知道精確的速度，祇知道這種速度必在某種限度以內，例如說是每秒鐘從五十英里到五十五英里。要代表這種情形，我們必須使這種霧團更含有若干單個的霧團，每個霧團，各按限度內的種種速度運動——一個每秒鐘五十英里，一個每秒鐘五十一英里，餘類推。於是我們時時可知電子必在這些團霧所合成之陣霧以內。可是我們要注意，這陣霧的範圍，逐

漸增加，這是說我們對於電子位置的知識，逐漸模糊。這在波浪圖景裏，很能夠忠實的表現出來。因為散佈本來是一般波浪的普遍性質。電子的本身，始終沒有改變，但是這霧團——代表的不是電子的本身，而是我們對於電子的知識——卻必須繼續散佈，直到最後遍及宇宙的全部。

在許多種情形之下，一個龐大物體的重量，可以說，是集中在一點，我們叫做那個物體的「重心」(Center of gravity)。所以在許多情形之下，我們也可以說，整個的電子集中在這霧團的重心。例如愛倫費斯曾經證明，這霧團的波浪進行，如果依照施魯丁格的方程式，則霧團的重心在一電力場裏所取的曲折途徑，正如同一個點電子。

現在想像這個運動的電子，遇着一金屬薄片。這團霧的細碎成分，將分裂成一組波浪。其方式正如以前所述。而這些波浪的總合，便是這電子的波浪模型。略如本書卷首片照(2)所示。這個新波浪模型，在空間延展，更廣於原來的霧團，因為我們對於電子位置和運動的不確定性，更加上對於他經過金片時行爲的不確定性。

光波和或然性波浪

我們可以用完全相同的方式，去討論光和光波。我們也能說光是光子做成，這些光子和電子一樣，也有波浪圖景，並且他們正是光波理論的平常波浪。當我們把光子看成集中各點時，前面已經說過(見第六章「電子波浪的性質」一節)，這些波浪，必須解釋成或然性的波浪——在一點找到

一個光子的或然性。可是又發現，我們必須把他們當做我們對於光子踪跡所有知識的圖景代表，好像有些可驚，不過照愛因斯坦和愛倫費斯所討論的一個簡單實例，卻證明情形確是這樣。

一個光子遇着一個透明物體面，可以反射，也可以傳達。為簡單起見，假設這兩種事件的機會，彼此相等。這就是說，光子波浪落到一個反射面上，將分成密度相同的兩道，一道反射，一道傳達。他們當然就是日常所遇的光。經過幾秒鐘的間隔，這兩道光相距，或許有一百萬英里，那就是說，根據我們現在的知識，不能夠在一百萬英里以內確定這個光子的位置。

不過用一個新試驗，可以把我們的不確定性，至少也減去一部。我們且用幾何學的方法，算出反射光線的途徑，並且把一個幕橫放在中間，如果光子到達，上面就有一點發亮。直到這時，我們對於光子的知識，仍舊用兩道光波代表，一道是正要落到幕上，一道是已走了一百萬英里。我們注視這幕。假使他要是不亮，就知道光子已選擇他一個途徑，走出去了一百萬英里。如果幕上發亮，就知道光子已選擇這個途徑，而這種新知識，完全改變了這波浪系統。現在我們確知光子並不在距離遠的一道光波，因為他正在這裏，而距離遠的一道光波，竟自永遠消滅，完全被毀。在另一方面，我們所注視的一道光波，卻集中在一點——幕上發亮的一點。

要說對幕注視的行爲，竟自毀滅了距離一百萬英里的光波，最初不免覺得奇特難解，舊日的物理學說，光的波浪就是能的浪波，所以在這裏對幕注視的行爲，顯然要破壞一百萬英里的能。即使全

部的能不滅，我們的行動已經把能移轉地方，並且有無限的速度，而通常卻又常說能的進行，不能夠再快於光的進行。

等到我們把光波當做或然性波浪，他們在空間的延展，祇說明我們知識的不確定性，這種矛盾立刻消失。這種波浪並不是能的波浪，祇是找得能的機會波浪。假使場裏有億萬個光子，則找得能的全部機會，在事實上，就是所找得的全部能，所以我們不必自尋煩惱，使他們區分。但是祇有一個光子時，這種區別，立即重要。這時所移轉的，並不是能的本身，而是找得能的機會，可是後者又有關於我們對於能的踪跡的知識。他的傳達，很可以不依照光的有限速度，而依照思想的無限速度。

這在新量子論裏，是比較最難的一部分，我們且用一個最平凡的實例，去加以說明。假使我很急切要見我的一個親戚，叫做斯密約翰。他欠我一筆錢，而我關於他的準確知識，祇是他在三天以前離開他在倫敦的家，去到一個未說明的地方。我對於斯密約翰踪跡的知識，可用一團霧代表，凡是從倫敦三天可到的地方，全包括在內。後來我又知道有一個叫做斯密約翰的旅客，三天以前坐着邁捷斯特號航船向紐約出發，於是距陸地三日航程的大西洋面，霧團特別加濃。我急忙走向一個電報局，去和邁捷斯特號航船通電，希望得到回電，依照光的速度，告訴我這位親戚是否在那船上。可是我在路途上忽然遇到了斯密約翰本人。這個簡單的動作，不祇把所有的霧集中在空間的一點，那便是我親戚站立的地方，並且把大西洋上的霧立刻取消，並且取消的速度，還快於和光同速的無線電。所以

能這樣，是因為這種霧並不是阻礙航行的物質霧，他的內容祇有知識——關於斯密約翰的知識。所以我們所謂光波，以及其他波浪，說是電子和質子的波浪，最後的內容全是知識——關於光子，電子或質子的知識。現在可以看出現代的科學，為什麼不要舊日的物質以太，較密於鉛質百千萬倍，以備光波在裏面進行了。

氫原子的波浪

現在且還回到電子的波浪，看看一個原來在空間自由運動的電子，遇着質子合成一個氫原子，將有何種現象發生。假使我們相當精確知道他的原來途徑，電子當最初受到質子的引力時，很可用一相當緊湊的波浪包代表。依照前面所說的原理，這個波浪包，將在質子的周圍，畫出一種曲折的軌道（見本章「電子波浪和或然性的波浪」一節），並且同時更要逐漸增加範圍。根據波浪逐漸散佈的普遍原理，可見祇有一種可能的結果——這波浪包最後必要佈滿了空間。在所有這些變化裏，以及在達到最後狀況時，電子波浪總要合於施魯丁格的方程式。這個方程式有很多種解決，當然是代表很多種不同的波浪。其中有若干是代表固定不變的波浪系統，這正可說明氫原子的可能持久狀況。

要發見這一類的所有解決，是一個比較簡單的問題。這一類的解決，祇限於第六章「波浪的圖景」一節方程式F裏E的某種數值，此外便全沒有。所以氫原子祇能固定存在於某種狀況——依

照他們所能有的能——正如同鮑爾最初的假設，後來又經過福蘭克和赫茲的實驗證明。這些能的多寡，當然全很容易計算，而氫光譜的各線，證明確合於這些狀況的互相移轉。於是波動力學，乃得到完全的勝利。

關於這些波浪的幾何性質，要是略加說明，也許有相當的興趣。我們前面已經說過（見第二章「原子物理學和量子論」一節），鮑爾的早期理論，曾假設氫原子含有一個荷電質點——電子——依照圓形軌道，圍着另一個荷電質點——原子核——運行。電子的軌道，假定是限於有定量的能，所以也有固定的直徑；就好似空間早已刻下若干小槽，電子被迫必須在一個槽裏繼續運行，除非在很罕有的時機，他可以從一個槽跳到另一個槽。

波動力學也說這種電子和原子核的聯合，必須有這樣多寡的能。但是這時的電子，已經不是一個質點，而是一組波浪，圍繞着原子核運行，有些像圓形水槽裏的波浪運行，不過有十分重要的差異，就是水槽有清楚界限，而這些波浪沒有清楚界限。可是我們要不顧這種差異，仍舊願意想像波浪是禁錮在槽裏，於是這些水槽就必須有固定的直徑，而一個水槽的全部周界，必須能容納一個，兩個，三個，或任何數目的整個波浪，永遠沒有波浪的分數。這種條件乃使水槽的直徑，很接近於鮑爾以前用他的較簡理論所算出的軌道直徑，那便是一個平常原子在他最低能的平常狀況，所有直徑的一，四，九，十六……倍。

要瞭解這一點，我們且討論一個假想的氫原子，預先承認不甚有關於實際的事實。我們想像他的電子，受着某種的禁制——很像鮑爾第一理論的假設——永久依照一個半徑固定是 a 的圓形軌道，圍繞着原子核運行。假使這原子是在我們實驗所及的範圍以外，例是說是天狼星上的一個原子，那時我們關於他的電子位置，將祇能知道他和原子核間有 a 的距離。我們不能知道，在某時他必須在這軌道上的某一點，也不能知道這軌道在空間是什麼方向。所以我們對於電子位置的知識，將用一層薄霧代表，在原子核的周圍，作成半徑是 a 的一個空圓球。

如果我們假設電子的軌道，不止一個，其半徑各為 a, b, c, \dots ，他祇被禁在其中一個軌道上運行，那時我們的知識代表，便成了若干個薄霧圓殼，其半徑為 a, b, c, \dots 。

現在我們且向實體再走近一步。一個在圓形軌道上運行的電子，可使他半徑的圓形，變成橢圓形，同時並不增減能，於是電子在新軌道上運行時，自將有時走進有時走出原來的圓形軌道。他和原子核中間的距離，將不出於 $a(1+e)$ 和 $a(1-e)$ 兩個限度，裏面的 e ，通常叫做「橢圓形的偏心性」(Eccentricity of the ellipse)。這個數祇能在零和一的中間，所以電子和原子核間的距離，必不能出零和 $2a$ 的限度。因此，我們關於這個電子，如果祇知道他是在一個能的固定的軌道上面，那時代表我們知識的，將是一團霧，成一個半徑正 $2a$ 的圓球，但是不能再遠，並且在距離原子核 a 處將特別濃厚。假使電子的軌道，能有若干，各附定量的能，那時我們知識的代表，將為若干互相重疊的霧團，

在各個半徑所成的圓球以內。

這樣一組霧團，和波動力學替實在氫原子造成的或然性圖景，彼此相去，並不甚遠，不過祇有一種重要的差異。一個電子，在定量能的軌道上運行，永遠出不了原子核外一個固定的距離，而波動力學的或然性圖景，卻一直佈滿了宇宙。簡單說，這個圖景告訴我們，總有一種固定的或然性，使沒有充分的能的電子達到他原來不能達到的若干點，如果他祇是一個在空間時間裏運動的平常荷電質點。這裏所說明的複雜情形，並不特屬於氫光譜，也不專屬於性質比較普遍的原子構造問題，簡直屬於新量子論的全部。就好像一個電子，如果等了相當的時期，他總可以達到他自身的能所不夠達到的地點，因之破壞了能力不滅的定律。嘉姆（Gamow）曾經提示，放射性原子核的分解，或許就是這個原因。

由此顯然可見，假使能的不滅仍舊保持在我們的自然圖景，我們對於能必須指定較廣於以前的意義。直到現在，我們所謂一個電子的能，是由於一個質點在空間的位置和運動，可是我們已經知道，電子在原子裏面，並不能表示於時間和空間。並沒有什麼顯著的困難，阻礙我們把能的意義推廣，想像他所招引的能，也不能表示於時間和空間。海森堡的方程式已經指明，實在的電子，遠複雜於祇在空間的位置。假使我們知道他的全部能，是如何一個數值，然後要據以推斷他在空間的位置，就看出他的波浪模型如何複雜，就知道我們的問題，能有多少種不同的答案。我們可以把這種波浪模型，

當做代表一切有固定全部能的形狀，在空間和時間的投射。

客觀和主觀的波浪

不過這種波浪模型，顯然完全是客觀的性質，這和我們前面所說，一個波浪模型代表主觀的知識，最初一看，似乎不相符合。不過很容易看出，他們彼此間並不互相衝突。我們以前把電子波浪，解釋成代表主觀知識的圖景，也正能引到這裏剛獲得的結果。因為我們對於電子位置的限制，最初在一小部分空間裏，雖然能有相當精確的知識，但是裏面的不確定性，與時間俱增，所以我們對於這個位置的知識，逐漸增加模糊，電子的波浪，逐漸散開。直到最後，可以說是經過無限的時間，他們乃遍佈於全部宇宙。一個電子在以前無限時間所居的位置，對於他現在所居的位置，既然沒有什麼可能的影響，可見現在的電子波浪，完全無關於我們的主觀知識，所以是一種客觀性質的系統。

我們要很簡單的解釋這一點，可以討論一個電子在其他什麼也沒有的宇宙。這樣一個電子的波浪方程式，和支配熱在無限固體裏流散的方程式，形式上大致相同。所以我們知識的不確定性，原來集中在一小部分空間裏，將逐漸散佈，有如熱在固體裏散佈。這固體的温度，最後必達到全體一致的狀況，初不問原來熱自何點出發；波動力學的波浪，在空間散佈最後也必達到處處密度一致的狀況，初不問電子原來的運動。這祇是說，電子無論在什麼地方開始，經過無限的時間以後，一切位置對於他全是一樣的機會。其實，我們要預言他在無限時間以後的位置，必須對於他原來的位置和速度，

先有無限精確的知識，而根據不確定性的原理，這種資料卻永遠在我們所能獲得的範圍以外。這最後的波浪系統，當然完全是客觀的性質；他所以不能代表主觀的知識，祇因為他不含有任何主觀知識。或者另外換一種說法，他所代表的事實，就是我們的知識等於零。

波浪方程式還有一種很簡單的解決，略如下式：

$$\frac{2\pi i}{e\lambda} (lx + my + nz - vt)$$

他所代表的波浪，是依照 v 的速度，向着 l, m, n 方向前進。這可以說他代表一個電子，或一道電流，向着 l, m, n 方向前進，速度是 c/e 。我們要選定這個解決，去代表任何特殊的電子，那是假定已經知道這個電子的速度成分，正是 lc^2/v 等等。可是不確定性的原理告訴我們，要對於電子的動量，獲得這種精確性，必須對於電子的位置，承認無限的不確定性，這當然正是這解決本身的含義，因為這些波浪在全部空間有一致的密度。於是我們又獲得一組完全客觀性質的波浪。

這一組組的波浪，均勻的分佈在全部空間，是電子或電流的惟一嚴格客觀代表。他們連合起來，成了集中的波浪包，便是我們所見而名之為電子——我們觀察的電子。但是如果問算學，告訴我們如何建造這樣一個波浪包——便是替一個在空間自由運動的電子，造成一種波浪的說明——並沒有答案。或者再精確一些的說，答案或許更形成一個問題——你先告訴我，對於電子你已經知道若干，我就回答你的問題。假使你什麼也不知道，我祇有的答案，便是我一樣什麼也不知道。」一

切實際觀察的知識，曾經放進量子論和波動力學的，證明全不足用以說明一個電子，在客觀上究竟是什麼東西。

不過等我們把另一個物體，例如說一個質子，放進這個空間，全部情勢，立即改換。因為這兩個微子互相吸引，就電子說，初不必我們有什麼詳盡的知識，他大半總在質子的鄰近，而不在別處。於是這波浪系統，在質子的周圍，勻稱包圍，表現出前面所討論的種種可能性和相對的或然性。現在我們有客觀的一組波浪，並且可見要客觀的說明一個電子，必須這電子固附於一個質子或其他物質骨幹，要不然他就均勻的散佈於全部宇宙。一個客觀的電子，集中在一個空洞空間，其毫無意義，正如同客觀的時間——或者也可以說，我們能任意給他們多少意義。

因此，假使我們的自然圖景，要完全屬於客觀的性質，他必須不提到隔離開的電子或質子，祇提到他們的組合，能夠產生影響我們感覺的事件。我們的圖景，有了這種限制以後，我們就獲得完全客觀性質的一組波浪，意義是我們必須想像，無論我們是否作實驗去發現他們是否存在，他們總是一樣存在。這些波浪並不容許在空間和時間代表，所以不能說他們有什麼物理的實體。

不過這種波浪圖景，雖然這樣缺乏物理的實體，而較諸質點圖景，把自然圖摹成實質的物體，存在於空間和時間，從許多方面看，全似乎更接近於自然，因之性質也更加基本。這對於原子構造和分光線的比較精細問題，尤其明顯易見。在光學上面，直線的圖景祇能夠約略的估計，必須用波浪圖景，

纔能顯示現象的比較精細部分。在這裏說，質點圖景也祇能給予一種約略的估計，必用波浪圖景，纔能有完全精確的解釋。下面的說明，可以例證全部分極專門的知識。

鹼性金屬的光譜，完全是「複線」——一對對的線，雖然能清楚區別，但相距極近——例如鈉 (Sodium) 的著名的 D 線。有兩個荷蘭物理學家，烏倫貝克 (Uhlenbeck) 和龐資密 (Goudsmit)，為解釋這種複線，曾假設質點圖景的電子，當在原子內軌道上運行時，也在他們本身的中軸上旋轉。這使電子所有的能，因其自轉方向與在軌道上運行的方向相同（有如地球、月亮、行星）或相反（有如木星和土星的最外衛星，海王星的單個衛星），而微有不同。再說，為解釋光譜中的複線所需要的自轉，其數量又恰好能說明「季曼效應」(Zeeman effect)——當發光氣體放在強烈磁石兩極中間，因而發生的光譜線重新排列現象。

因此，要假設電子自身旋轉，就可以使質點圖景，符合於自然。不過這種旋轉，究竟看着過於造做，直到後來過了幾個禮拜，又發見他是波浪圖景的必然結果，這纔略覺相宜。正如同光波所容許的幾種極化作用 (Polarisation)，我們在光子圖景裏可以用光子的幾種旋轉來代表（見第五章「放射的運動理論」一節），所以電子也容許幾種極化作用，我們在物質的質點圖景裏，也可以用電子的幾種旋轉來代表。

不過這並不能把這兩個圖景，放在彼此完全平等的地位。因為我們知道，如果物質的波浪圖景

性質基本，那時質點圖景裏的電子，全必須旋轉。在另一方面，如果質點圖景性質基本——那就是說，自然果真是若干質點，那些波浪不過是我們對於他們位置的不完全知識的圖景代表——那就看不出有什麼明顯的理由，為什麼電子竟自要旋轉。兩個圖景全能解釋事實，不過質點圖景的解釋，似乎性質造作，而波浪圖景的解釋，性質似乎天然，並且幾乎是一種不可避免的解釋。

以後過了不久，斯特恩 (Stern) 和 格爾拉 (Gerlach) 二人的實驗，似乎是一種判決，使我們能夠在質點圖景和波浪圖景中間，選定一個。在質點圖景裏，電子的自轉，使每個原子全變成一個小磁石，所以一陣原子，如果經過一個固定磁石的兩極中間，各原子應當依照自轉軸的不同方向，各受不同的影響，而一陣平行運動的原子，應當散開成一寬條。在另一方面，波浪圖景卻預測這一陣原子，將區分成極清楚的兩陣原子，以符合電子波浪極化作用的兩個方向。實驗的結果，很確定的證實了波動說的預測。

質點圖景在此及其他情形下的失敗，很有重要的意義。因為質點圖景含有在空間時間表示的可能性，而波浪圖景則含有在空間時間表示的不可能性。我們所注意的，如果祇限於自然的最簡單成分，像電子，質子，光子，這兩種圖景，似乎有彼此相同的效力。但是我們一進而研究原子的比較複雜構造。波浪圖景立刻現出確定的超越性質。波浪圖景逐漸現出是自然的真正圖景，而質點圖景祇成了對於真象的粗笨近似，這種近似的獲得，是由於把一種不能在空間和時間代表的構造，硬放在空

間和時間的骨幹以內。

這裏面的含義，是說我們把波浪圖景解釋成在各點找得質點的或能性圖景，並不能算是最後的解釋。因為自然的真正圖景，顯然必須容許一種直接的解釋，決不必提到另一種不完善的圖景。質點圖景既然引導我們到了波浪圖景，他的任務就算終了，以後簡直可以把他當做一種走過階梯，完全加以舍棄。

由此可見，我們要接近實體，必須是藉着物質的波浪圖景。而在這一方面的第一步，似乎就是放棄在空間時間裏代表自然。

這是很困難的一步。我們對於外部世界的知識，是由於在空間時間背景裏進行的光子，纔達到我們，結果從我們的最早時間，就以爲客觀自然的本身，也存在於空間和時間。我們的思想，已經被空間時間所束縛，對於空間和時間以外的概念，無從加以領略。所以在這新途徑上還沒有得到什麼進步。而我們討論自然，仍舊不得不用波浪的部分圖景（不能瞭解）和質點的部分圖景（不能精確）。

決定論

新量子論和波動力學的理論，既然被認爲正好適合於觀察，因之或許也含有關於自然的最後算學真理，他們對於決定論問題，應當能加以相當的解釋。

我們已經說過，關於自然的知識，可以用幾種不同的圖景，分部表現，不過不能用一個圖景，代表

了真理的全部。在這些部分圖景裏，例如說，有的是把電子圖摹成質點，有的是把電子圖摹成波浪。對於光也有兩種圖景，一種把他圖摹成波浪，一種把他圖摹成光子。

我們且先說波浪圖景。他對於放射現象，形式最爲簡單。波浪方程式變成平常爲電動力傳播的馬克斯威爾方程式，從各方面去看，完全是決定的性質。那就是說，如果我們知道某一時電的狀況，就能夠利用這種方程式，決定了將來的一切狀況。一個電子的波浪方程式，也有正相似的決定性質。假使我們知道在某一時間，全部空間的 ψ 的數值，就可以藉着這種方程式，算出他將來的一切數值。

不過這並不是說，自然本身也有完全決定的性質。因爲依照我們現在所能想出的唯一解釋，所有施魯丁格方程式裏的 ψ 以及馬克斯威爾方程式裏的電動力，其決定全不在自然的本身，而在我們對於自然的知識。假使自然本身和我們對於自然的知識，在某種特殊情形之下，彼此沒有區分，例如所討論的是數目極大的光子，那時波浪方程式對於當前的特殊現象，當然要表示完全的決定性質。其他這一類的情形，便是剛講過的兩種最後固定情形，但是在這兩種情形裏，我們的知識，並不是完善，而是完全沒有。這兩個實例，雖然全有不可誤認的決定性質，不過性質卻全不足輕重。在客觀上祇是這樣一句話：「當一塊宇宙不能再變化時，他的將來途徑，就可以不變的決定。」在主觀上也是一樣沒用的一句話：「如果我們在一開始什麼也不知道，並且不做什麼新實驗，我們在將來將永遠什麼也不知道。」

人們時常不肯注意，完全決定性質的波浪方程式，並不，而且也不能包括盡了自然的全部。雖然這一點很難想到，波動力學並不知道單個原子的存在，正如同光之波動說並不知道單個光子的存在。我們知道，海森堡原來的分析，對象並不是各個原子所發出的一陣光子，而是來源未經說明的一道放射。從此又發生了 p 和 q 兩個數值，藉着很粗疏的方法，用一個恆量配合，以適應半徑很大的原子，使他們約略相似原子裏一個電子的動量和坐標。但是這個電子運動所在的原子，並不是真可存在於自然的原子，祇是一種統計性質的原子——便是世界上一切原子在某種確定狀況下的組合圖景——其性質的抽象，有如政治經濟學家的一「經濟人」。波動力學想要替這個原子造成一個具體的圖景，但終久祇是一種組合的圖景，因此他佈滿照片的全部，本身乃極端模糊。

正因為波動力學所論述的，祇限於或然性和統計羣，他表面的決定性質，或許就是代表平均數定律的另一種方式。這種決定性質，純粹屬於統計學的範圍，如同保險公司和銀行所根據的定律。由此可見，並沒有什麼理由說波浪方程式的表面決定性質，竟自不能夠隱藏着一種完全客觀的不決定性質。在所謂「隨意步行」的算學問題裏，我們想像一個旅行家，每天走二十英里，但是他各天所取的方向，並不彼此發生因果關係——例如我們可以想像他每天早晨向空投一小棍，以棍子落下的方向，決定他當日步行所取的方向。用一種算學的公式，自然可以表示他每天晚上能到各地點的種種機會。但是如果我們把他的時間單位，從一天縮短到一秒，那時他的每一步全不決定，而

或然性便如波浪一樣的散開，很像施魯丁格的方程式。波浪的散佈，雖合於嚴格的決定性質，而根本的物理原因，卻是完全的不決定性質。

同樣，波浪圖景的表面決定性質，或許隱藏着任何多寡的真正客觀不決定性質，以使用以解釋像放射性的分解現象，以及原子的跳躍現象。愛因斯坦曾據以獲得黑體放射的統計定律。

現在我們轉而論述質點圖景。我們已經說過，這種圖景並不含有決定性質，而鮑爾更指出他沒有含有決定性的可能。除非我們有實驗方法，發見自然裏有決定性質的存在，就不能把決定性質放在我們的自然圖景裏面。如果我們圖摹自然是若干質點——無論是光子或電子和質子——在時間和空間存在，為達到這種目的，我們就必須有法發現這些質點的位置和速度，並且有完全精確的程度。而不確定性的原理，卻正反對着這一點。因此，把自然圖摹成在空間時間存在的質點的圖景，決不能同時現出決定的性質。

這樣使我們達到舊正統派的理論和新量子論的分界點。正統派理論代表自然，完全在時間和空間以內，並且同時受支配於嚴格的決定論。而新的理論，既能完全適合於實際觀察，則證明我們或是能保留舊圖景的空時代表，或是能保留嚴格的決定論，但決不能二者一併保留。決定論和空時代表，有如串繩溼度計 (String-hyrometer) 的老人和老婦，必得一個進來，那一個纔出去。海森堡曾把新舊兩種主張，列成下面一個比較表式：●

用空間和時間敘述現象的因果關係。

或是用空間和時間敘述現象（但是還有不確定性原理）

或是用算學定律敘述因果關係（但是在空間時間現象的

物理敘述不可能）

量子論第一種說法所包括的不能決定性，係質點圖景所具原子性的自然結果。因為我們永遠不能完全確定的知道現在，所以不能夠預測將來。

最不幸的，同一個「不能決定性」，有時是指着這一類，有時是指着另外一類，完全由於自然本身的不能決定性。這時我們所以不能預測將來，就是因為自然本身也不知道有什麼事將發現了。

除去前一種不能決定性，當我們把自然圖摹成質點時必須發現外，我們已經說過我們的自然圖景，無論把自然圖摹成波浪或質點，總還要含有第二種不能決定性。

不過也許有人反駁，說我們如果回溯到相當的遠近，最後必要達到一種原因。旅行家小棍降落的方向，並非是真正不能決定，確有賴於他上投所用的動力，這種動力又賴於他自覺着是否疲乏，而這種疲乏程度又有賴於他前一日所行路程的是否費力，如可向前無限推衍。如果我們想把這種回溯方法，引用到對於自然的敘述，其形式或將略如下述：

我們第一步是造成外部世界的想像圖景，惟一的規則，祇要這圖景恰能說明我們的感覺印象，極端正確詳密，直到最細微的部分，但是更須有相當的客觀性質，以不祇解釋一單個人的感覺印象爲度。每一個感覺印象的發生，是由於外部世界的一部分能，移轉到我們身體的神經末梢。這種移轉，當然是借助於光子。無論在新科學或舊科學裏，光子全可以適當的說是在空間和時間進行。所以我們在造成自然的想像圖景以前，當然要先造成空間和時間的知識骨幹，以便在那裏放置圖景。再進一步，我們發見引起感覺印象的光子，係發生於事件。現在我們知道，假使這圖景要含有前述的客觀意義，就不能說這些事件分別集中於空間和時間，但是他們仍舊集中於空間和時間的混合，我們叫做空時的裏面。所以祇要我們不堅持把空時分開成爲空間和時間，這骨幹還能適合於圖景。但是這些事件，全由於物質物體，電子，質子，以及其組合的相互作用，並且我們知道後者不能適當的說是存在於空間和時間。所以我們的空時骨幹，不適於代表全部自然，他祇能是我們感覺印象的一種骨幹，可是原來造成他時，也正是爲這種目的。因此使我們猜想，空間和時間祇是自然的一種外表，正如同一道深河的表面。影響我們感覺的事件，就如同這河面的水泡，但是他們的起源——物質物體——卻在河的深水以下。我們說磚是三度，那祇是說，用我們的感覺，僅能在三度空間裏和他們接觸。磚的水泡是從三度空間裏達到我們，但這並不能限制磚的真正存在，也限在這三度裏面。

水面兩個水泡，彼此或許正相類似，但是引起他們的，卻許是水下兩種極不相同的事件。所以他

們外表的類似，並不足保證他們的行爲也相類似。因爲這個理由，我們對於水面的水泡現象，不能希望他表現嚴格的決定論，或者對於我們所謂「自然的一致性」定律除去統計性質的符合外，還有什麼符合。空時表面現象的缺乏決定性質，對於真正客觀自然是否有決定性質，不發生任何限制。

空時並不是自然世界的骨幹，祇是我們印象世界的骨幹。如果我們要代表我們空時感覺以外的物體，他們所以缺乏決定性質，或許就是因爲我們把真正的自然世界，強迫進一個過甚畸形的骨幹。所以空中的飛鳥，即使依照一致或決定的定律飛翔，而地面上的投影，也將不合於這種定律。

假使我們承認這種解釋，就必須斷言物質觀的科學，衝突了現代的物理學說，因爲他假設一切物體能在空間和時間代表，他不會區分開表面和內部。他把物體的表面特質，就當做他們的主要特質。不過科學指明表面的特質，便是我們感覺能直接接觸的特質——正如同我們眼所見的水面水泡。

可見自然的純粹機械圖景，也因爲相似的理由失敗。他宣稱水泡的本身便指揮了宇宙的作用，並非祇是內部事件的符號。總之，他所犯的錯誤，是以爲風向器指揮了風吹的方向或寒暑表保持着室內的溫度。

第八章 事件

熱力學

原子物理學是研究特殊事件的本性，他已經很成功的指示出來，爲什麼某種事件發生，爲什麼他種事件不發生。但是對於宇宙全部有什麼事件發生，他卻不能告訴我們。研究這個問題的，是另外一支物理學，叫做熱力學。他不注意單個的事件，祇用統計方法研究成羣的事件。他的範圍，是研究事件的一般趨勢，以期預測宇宙全部，當時間經過時，將有何種變化。

熱力學的起源，由於研究機器效率的極端實際問題，但是成立不久，便將範圍擴大，包括了全部自然的作用。那時所謂自然，還全沒有問題的承認是機械性質和決定性質。以下所論，將不把自然當做機械性質，但是暫時且說他有嚴格的決定性質。

根據決定性質的自然觀點，宇宙永遠沒有選擇；他的最後狀況，已經含於他的現在狀況，正如同他的現在狀況，已經含於他最初創造時的狀況。他必須沿着惟一的途徑前進，以達到一個預定的結果，正如同一輛車在一道無叉的單軌道上前進。所以如果有一個超人的實驗家，能夠發現在某一時間全宇宙每個質點的精確位置和精確運動速度，另一個超人的算學家，就能根據這種資料，算出宇

宙的全部過去和全部將來。

實驗物理學現在還不能預備這種資料，可是不確定性的原理更證明他永遠沒有這種能力。但是一個超人的算學家，有無限可用的時間，仍可根據一切能想到的資料——那便是一切能想到的現在狀況——算出一切不同的過去狀況和將來狀況。

他的開始工作，或許是畫出一張圖，代表一切可能的宇宙狀況，正如同英國的一切點全可以畫在一張普通的地圖上面。他可以從這圖上的任何一點，利用算學的計算，踪跡出一個宇宙，從此點所代表的狀況開始，能夠得到的全部將來。他可以在這圖上，通過這一點，畫一道線，以代表這種將來。正如同在地圖上，用一道線代表一道鐵路。他可以在圖上依次從各點起始，各畫一道線，代表一個宇宙的發展，直到全部圖上全畫成了線。這些道線，將代表宇宙一切的可能發展方向。如果宇宙真是依照我們的假設，有嚴格的決定性質，這張圖將像一張地圖，上面有若干單軌的鐵道，但是彼此並不互相溝通。如果在另一方面，宇宙並不受支配於嚴格的決定論，那時各線就可有任何數目的聯絡，以便彼此溝通。

現在我們假設已經有了這樣一張圖，因為如果我們有了對於自然定律的完全知識，這至少在理論上是可能的。這張圖無論如何完全，我們仍舊不能據以獲得關於將來的詳細知識，因為我們不知道我們現在是在圖上的什麼位置。所以無從知道我們是在那一道上進行，也無從知道以後要走

到圖的什麼部分，或最後終止在什麼部分。但是或許能知道他最後達到的，是那一類的地方，這是我們真正要知道的知識。而熱力學所能供給的，也正是這一類的知識。

試想像我們從一種無知覺的狀況，突然覺醒過來，發現自己是在英國的火車上面。我們無從知道這旅程，將到什麼地方終結。但是如果帶着一張英國的地文地圖，卻可發見全國五千五百萬英畝裏，祇有幾百英畝高出海面上達四千英尺。我們雖然不能說我們的旅程將在什麼地方終結，可以終結地方的高度，卻大半要不到海面上四千英尺。如果車裏擺着一架氣壓計，表示我們的高度，已經在海面上四千英尺，那時我們旅程的一般趨勢，將大半是自高趨低。

我們要研究宇宙的進化和最終結果，所能借助的，便是這一類的考慮，並不是精確的知識。確定的知識既然在我們能達到的範圍以外，我們惟有完全依賴或然性的指導。但是當我們計算這或然性時，卻遇着極高程度的優勢，所以事實上，總可以把他們當做確定的敘述。因為宇宙間所含質點電子和質子——總數要在 10^{23} 的階級，所以我們的優勢，總在 10^{23} 倍左右。既是這樣，我們對和這一類的或然性和確定敘述，也不必過甚謹慎的區分了。

嫡

熱力學有時常提到的一個數量，通常叫做「嫡」(Entropy)。他在我們宇宙全圖裏的位置，很類似高度在想像英國鐵路全圖裏的位置，不過小的嫡符合於高的高度，而大的嫡卻符合於低的高

度，所以熵並不符合於海平上的高度，卻較合於最高山峯下的深度。英國最高的山峯是海面上四千四百英尺，而英國大部分的面積，卻祇略高於海面，所以按照這種意義說，大部分全有四千四百英尺的深度——可能的最大深度。同樣，我們發現，宇宙全圖所畫的各部，幾乎全在可能的最大熵，不這樣的祇有若干極小的部分，其體積總在全部 10^{23} 之幾的階級。

這時我們還不能確認這種說法的意義，因為我們還不會把「熵」一辭，界說明白。但是也沒有這種必要，「熵」的最好界說，便祇使這種說法本身自動的無誤。為方便起見，把「最大熵」界說成說明宇宙圖上最常見部分的狀況，於是再界說「熵」的本身，總使比較常見的狀況，總比較少見的狀況，含有較高的「熵」。所以我們把熵界說成代表我們圖上某一狀況的「常見性」(Commonness)。

根據這種界說，我們發見，正因為所含數目成分的異常巨大，所以「最大」熵的狀況，較諸熵略小的狀況，不祇比較常見，並且是無可比擬的比較常見，乃至完全在階梯的最下一層。因此，事實上幾乎可以確定的說，宇宙的每一個狀況以後，總繼以一個熵較高的狀況，於是宇宙的進化，是歷經若干熵繼長增高的狀況，直到最後乃達到最大的熵。他不能向外再走一步，他必須靜止不動——這並不是說裏面的每一個原子靜止不動（因為最大熵並不含有這種意義），祇是說他的一般特質不能

●假使 W 是某一狀況的「常見性」，算學家便說這一狀況的熵是 $k \log W$ ，裏面的 k 叫做「氣體常數」(Gas constant)。

再生變化。

不過如果有人斷言這種情形並不發生，宇宙的動向，或將趨於較低於現在的熵狀況，我們也不能證明他錯誤。他這種意見，或是算做一種想像，或是算做一種信仰，我們所能說的，祇是他這種夢想的實現機會，總有 10^{29} 倍的反對成分。

熱力學對於這樣小的機會和極空洞的希望，完全不顧，就把所得定律，當做確定的敘述。不過我們總要記住，每一個這樣的定律，總有些微失敗的機會。著名的「熱學第二定律」斷言，一個自然系統的熵，永遠增加，直到最後達到一種狀況，熵不能再加；要把這定律再完滿一些的說，應當是熵向其他方向前進的機會，直微細的可以忽略不計了。

最大熵的最後狀況

現在我們知道，發見宇宙最後狀況的問題，祇是發見宇宙熵的增加，能達到什麼限度，同時還不抵觸支配他最小部分運動的定律。在界說熵的時候，並不必顧及物質的物理性質，但是我們要發見熵最大的狀況，卻不能不加討論了。

這種手續，通常很是複雜。但是用兩個簡單的實例，或許能說明最大熵狀況的一般特質。他們的對象，並不是宇宙的全部，祇是為簡單熟慣而選擇的若干細小部分。

我們把一些紅墨水倒在水裏，一任墨水和水互相混合。在事件發生以前，我們知道最後的狀況，

是他們均勻混合成一種粉紅顏色的液體，這種均勻混合的狀況，既然必定是最後的狀況，所以我們知道他必是熵最大的狀況。

我們再把一壺冷水放在熱火上面。在實驗以前，我們知道最後的狀況是全部的水化成蒸汽。這必也是一種熵的最大的狀況。正如同紅墨水使自身均勻散佈到水的各部，纔達到一種熵的最大的狀況，所以火的熱度，也傾向使自身均勻散佈於煤，壺和水的裏面。

這兩個實例，告訴我們兩種熵的最大狀況。他們更說明範圍很大性質很普通的原理——熵的最大的最後狀況，總免去集中現象，無論是特殊的物質（像墨水），也無論是能（像火的熱度）。最「常見的」狀況是物質和能全均勻散佈的狀況，正如同音樂會裏最常見的聽眾狀況，是高低、黑白等等人士均勻配佈的狀況。

這一類的普遍討論，對於宇宙的最終結果，至少也能有些微指示，但是他們不能說明是從什麼途徑以達到這種結果。他們所能說的，祇是這種途徑的性質，幾乎必是熵的繼續增加。我們對於熵的性質愈加明瞭，這種說法的意義，便愈加豐富。並不是熵絕對不能減少，但是他減少的可能性，卻幾乎達到無限的細微程度。

例如墨水和水均勻混合以後，已經達到了最大的熵狀況，如果熵沒有減少，這種墨水和水的混合液體，就不能再變化他的一般特性。不過墨水和水的分子，還是彼此亂動，並且因之改變了若干地

方當然可以想到，他們這種任意的運動，竟自使他們成一種特殊的形狀，結果墨水分子集到器具的一端，而水分子又集到器具的另一端。這樣一個形狀的熵，遠低於可能的最大限度，所以阻止墨水分子和水分子促成這種形狀的機會，有極大的倍數。不過應當注意的，就是並沒有自然定律加以禁止。其實，如果我們有無限數目器具的墨水和水，總有幾個發生這種想不到的狀況——正如同無量數人玩牌，總有若干人獲得金色的牌，初不問在單個狀況下，這種事件有何種不能發生的程度。這種情形必要發生，或是無量數人玩牌一回，或祇一場牌玩過無限長的時間。同樣，我們可以說，如果有無量數器具這種混合物，或祇有一器具而經過無限長的時間，必能發生墨水和水彼此完全分離的狀況。

對於其餘一個實例，火壺，水等，也可以類似討論。水在壺裏因為熱火的結果，或許竟自凍結。要證明這一點，祇須注意這三個物體有一種可能的狀況，那時水結成冰，而火的熱度更要加高，因為壺和裏面的水，所含熱度已經減少。假使要畫出這個系統的一切狀況，這種特殊狀況必然也在圖上，所以我們不能確知他一定不是途程的終點。不過我們知道，如果把一壺冰放在火上，最平常的事件，是變成了一壺水。這證明水式的熵，較高於冰式的熵，這也證明一壺水放在熱火上面，雖然也能夠變成冰，但是在某種情形下，卻有幾乎無限少的或然性。即使有最可信的證明人，告訴我們他把一壺水放在火上變成了冰，我們也不肯置信，可是自然定律並不禁止這種事件的發生，並且還斷定必要偶然發生。不過因為發生的機會極少，所以我們寧自說這位報告者發了瘋，受了騙，或打誑語，也不肯相信他。

竟自看見了這種事件。

這兩個實例所說明的情形，全是單個原子和分子受着盲目動力的支配，以從事於自由的運動。如果原子和分子另外受着什麼指導，結果就許大不相同。假使我們不把墨水而把油倒在水裏，我們就不會預料結果是一種勻致的混合物，我們知道油全在上層，水全在下層。對於墨水和水本是一種極端想不到的排列，對於油和水卻是一種最平常的排列。根據精確的計算，證明這種實際上完全分離的情形，便是嫡最高的狀況。至於改變的理由，是因為引力把油分子和水分子區分。當我們說油的比重較低於水的比重，事實上是說，地球對於水質點所生的向下引力，較大於對同體積油質點所生的向下引力。因為牽引油質點總用較小的動力，便足使他們有通過水向上運動的趨勢。當我們將油和水混合時，並不是把他們的分子，交予盲目的機會支配，卻是使他們的支配機會，另受引力的一種選擇動作。在油分子的自身中間，在水分子的自身中間，全各有任意的運動，但是他們彼此中間，卻須受制於引力。

例如我們把器具分成上下相等的兩部，每部各有半升的容量，中間橫膜上有一細孔。再把半升水和半升油盡力混合均勻，然後再把這一升液體倒在這器具的兩部。經過相當的時間，一定可以發見油全在上半部，水全在下半部，原來的仔細混合，已經消滅，並且還是用很簡單的方法。當下部一個油質點在細孔遇到一個上部的水質點——細孔是他們相遇的惟一地方——地球引力便強迫他

們互換位置，而這種互換位置的作用繼續進行，逐漸增加上部的油量和下部的水量，直到最後油和水完全分離。

馬克斯威爾的選擇精靈

假使我們用前面的墨水和水混合液體，也作上面的類似實驗，依照平常的自然途徑，就不發生這種作用，因為地球引力對於比重相同的液體，並不加以區分。不過假使用一種有智慧的精靈，放在細孔那裏，有一種細小的活門，他可用以隨意把細孔關閉，並且預先告訴他遇着上行的墨水分子或下行的水分子，纔可將細孔打開——簡單說，他的職務，正類似地球引力對於油和水的選擇作用。可見經過相當長久時間以後，墨水和水也要彼此完全分離，正如同以前油和水的彼此完全分離。不過這時促成分離的，並不是地球引力，而是智慧罷了。

剛說過的微細智慧精靈，最初引用到科學裏面的，是英國劍橋大學的一位物理學家馬克斯威爾，因之通常叫做馬克斯威爾的精靈 (Maxwell's Demon)。我們必須注意，這個精靈決不會違反了力學上的定律。我們不知道他曾多少次有將細孔關閉的必要。各分子的自然運動，或許竟使他沒有關閉細孔的任何機會，也是能想到的情形。於是一切情事的進行，或許一如不曾借助於這個精靈，墨和水竟自由於本身的任意運動而互相分離。不過對於這種事件的發生，祇有幾乎無限小的機會。這個精靈看見一個分子，便得自己問自己道：「要不要動作呢？」然後再把他的決議實行。在長時間

裏這種決議的正反兩面情形，正如同在長時間裏旋轉一個錢幣的正反兩面情形一樣的不能確定。所以這個精靈，很不至於一次一次的總覺着沒有動作的必要，最平常的事件，是他將開關細孔千百萬次。就是這樣，他並不因之消費什麼能，當他每次關閉細孔以阻止一分子時，我們可以想像，這個分子的途徑，僅需些微左右移動，這分子行即從薄膜上跳回，不必這精靈觸動孔門了。

這精靈雖不干涉自然定律的作用，但是他產生一種選擇的影響，他就利用這種影響，能夠使一個系統降到較低的熵。自然的動力，如果一任他們盲目的活動，實際上幾乎必定增加熵，但是這樣結果的產生，係由於或然性的定律，而不由於自然定律。並沒有誰告訴這個精靈，去戰勝自然定律，他所戰勝的祇是或然性定律，所以他可以任便翻弄花樣，但須不抵觸自然定律——質量、能等等不滅定律。當紅墨水和水混合時，他不能增加其中一種或兩種的總量。他所能做的，祇是把他們區分開，正如同從一堆紅白色珠子裏揀出紅珠和白珠，或同用轉轍器區分一列貨車到不同的軌道。把一壺水放在火上時，他不能增加熱的總量，但是他如果樂意，他能夠減少壺裏的熱以增加火的熱。他的成就，祇限於從某甲搶些東西給某乙，而不加助力的自然，卻一任他們自己奮鬪——或是反復的擺弄他們。

根據很普遍的討論，知道全部宇宙，還遠不到他的最後最大熵的狀況。在這種最後狀況裏，所有放射和能力的集中，完全消滅，放射將勻散於全部空間，溫度也將處處一致。就現在說，空間最深處所送出的放射密度，其適合溫度，尚不到絕對零點上一度，在天河系各星的空間，祇有三度或四度，在地

球軌道附近，約有二百八十度，太陽的表面，約有六千度，而在太陽的中心，則約至四千萬度或五千萬度。宇宙永遠能均勻這些種溫度以增加他的熵，例如使能從太陽的熱心，流到較冷的太陽表面，再流到空間，出了地球的軌道，直到各星系間的黑冷空間。這種熵的增加，繼續無已，直到最後，這些地方全有相同的溫度，放射能也勻布於全部空間。必到那時，宇宙纔達到他的最終狀況，那時處處的溫度，將全低至不能使生命存在的限度。這正是完全安靜，完全黑暗的永久黑夜了。

生命的活動

就宇宙全部觀察，指明他是很快的動向這樣一個結果。太陽正在逐漸死亡，他依照放射的形式，每分鐘把他的物質注出二億五千萬噸左右。因此降低他自己的溫度，提高空洞空間的溫度。其他各星的情形，也是一樣，我們在他們表面看不見「選擇精靈」一類的東西，使熱度重新返回他們的內部。不過如果有另外一個宇宙的一個生物，來仔細觀察我們的地球，他或許看見若干現象，使他覺得熵的普遍增加是不是已有若干局部的例外。例如根據純粹的物理觀點，黃金本是一種平常的金屬，自然定律對於他並不特別顧惜，也不特別對待。但是這位觀察者，或許注意這世界的全部黃金，原來很均勻的散佈在地殼的幾部，竟自有集中在很少幾小部分的趨勢，這似乎正反對熱學第二定律的要求。再說這定律雖然承認偶然事件的發生，但是不曾正式承認火的發生。不過他堅持這種偶然的例外，最多發生於特別乾熱的天氣。可是這位觀察者，在地面上不祇發現多數的火，並且火的發現，往

往多在冷潮的地方，他在地面滿佈冬雪的地方見火較多，他在暑熱薰蒸的地方，見火反較少。在另一方面，他在天氣特別炎熱的地方，最常看見少量冰塊的集中。

在平常未受打擊的自然途徑上面，反對這些事件發生的機會，和對於一壺水在熱火上結冰，是一樣的程度。所以一個完善的自然圖景，必須含有某種能避免自然統計定律的資具——如果不是遍及全部自然，至少也在我們地球上面的若干部分。我們的觀察者對於這些閃避，或許要猜想是無數選擇精靈的活動。

如果把對於熟學第二定律的強烈衝突，加以普遍的統計，立時看出他們的大本營，正是我們所謂文化的中心。無生物質，祇靜默的服從這種定律，而我們所謂生命，則可有種種程度的閃避。其實要界說生命的特性，很可以有理由的說是閃避這個定律的能力。他或許不能閃避原子物理學的定律，因為那些定律，對於磚的原子和對於腦的原子，相信是一樣的應用。但是他似乎能閃避或能性的統計定律。生命的形式愈高，這種閃避的能力也愈大。而所見的閃避，極類似一隊選擇精靈所生的結果，似乎很可以猜想生命正有類似的作用。

如果把自然當做機械的性質，因之也就是決定的性質，絕不容許這樣的猜想——這些選擇精靈，勢將干涉自然的預定途徑。

在另一方面，現代物理學對於這種猜想並不表示反對，他所能斷言的決定性質，僅是統計的性

質。我們現在還能看見，成大羣的分子和質點，符合於決定論——這當然是日常生活裏所見的決定論。也就是所謂自然一致性定律的基礎。但是對於各單體的運動，卻還不會能發見決定性質，在另一方面，放射性活動和放射的現象，更指明他們不受各種無情動力的推或拉；祇要我們圖摹他們在空間和時間裏面，他們的將來，似乎是每一步全不能決定確定。假使中間沒有什麼指揮他們的途徑，他們將任取一途，不受預定動力的支配，祇受或然性統計定律的支配。遇着有未知的什麼前來幫助他們，他們就許把對於或然性定律的順從，移轉到對於這種輔助物的順從，例如油水混合體的分子，便順從地球的引力。這似乎沒有什麼理由，說這種東西不類似選擇精靈的動作，有智慧心理的意志，擺弄與自己有利的花樣，因此乃影響對於選擇途徑遲疑不決的分子運動——不過意志和分子不能相差過遠，以致不能發生相互的作用。

空時和自然

我們也可以依照前章末節「決定論」所述，對於這事用另外一種方法去看。我們剛把自然圖摹成若干質點的集合，放於空間和時間的骨幹。但我們在別處已經說過，這樣一個骨幹，並不適於全體外部世界，祇適於送消息到我們感覺的光子。因為這些消息是從一種空時的骨幹到來，我們必須不要推斷全體外部世界，也要在這骨幹的限制以內。我們對於外部世界的觀察知識，祇限於我們的感覺開口，這些感覺就如同一種眼罩，使我們看不到空時以外——正如同我們的望遠鏡祇許我們

看見天空的一角。但是我們在空間和時間以內所見的事件，來源也許在空間和時間以外——正如同我們在望遠鏡裏所見大彗星尾部的曲折，或許來自望遠鏡範圍以外的太陽。最近理論物理學的發展，提示物理學上的現象，有許多或者就是這樣。他更證明，絕不能找出電子和質子在空間和時間的任何敘述，以完全解釋他們所發生的現象。

因此使我們猜想，空時是宇宙的表層，事件的泉源，流到空時的表面，形式是物質的質子和電子，但是他們的根源，卻在較深的下層。所以當我們的視線限於事物表面時，雖然看不出因果關係，不過如果我們能看見實體的全部，也許就能看出因果的互相關聯，事件全服從確定的定律，並不祇是或然性定律的說明。園夫種了二十棵樹，據他看彼此完全相同，他曾聽人說，這種樹祇有百分之五十能活，而結果在他所種的十二棵裏，果然是六棵活六棵死，於是這種說法證實。但是他並不把他們不同的命運，歸於或然性的定律，卻歸於他所不能見的土壤內部情形。他掘開死樹的根，六棵全發現了絲蟲。這種絲蟲的任務，正如同我們想像選擇精靈在空時圖景的任務，或如同我們猜想意志和智慧所能有的任務。他們在空間和時間層以外，能夠影響根源也在空間和時間以外的事件，因之能夠多少支配了空間和時間以內發生的事件。

這一類的猜想，使我們達到一種和人類預測關係最密切的思想範圍。有的人亟願替「道德」、「美麗」及其他「價值」(Values)在事物計劃裏尋得一種位置，遇着自然界有什麼不決定性的

證據，立即加以稱贊，好像就可拿他算人類自由意志的證明。還有一部分人，就是在自然界裏也不承認有不決定性的可能，並且堅持人類祇是一架機器的齒輪，勢將走向他的預定結果。

在兩種極端派的中間，還有一種溫和派的人，他們對於調和人類自由意志和物理科學計劃的任何企圖，仍舊採取極端慎重或竟至懷疑的態度。許多人引證最近生理學和心理學上的研究，說他們並不反對自由意志的可能性，祇反對他們的或然性。還有一般人把物理學的目的情勢，當做一種過渡的狀態。例如蒲郎克，對於這個問題，用過很多的思考，說到量子觀念對於物理學基本定律的衝突，曾表示下面的意見：

「若干重要的變化，似乎是不可避免；但是我和多數的物理學家一樣，堅決相信量子的假設，終將精確表現於某種方程式，結果成一種比較精確的因果定律。」

他更想把這定律的作用，一直推展到人類的活動，他說：

「因果性原理必須再加推展，應用於人類靈魂的最高造詣。我們必須承認，一般最偉大天才者的心理——像亞里士多德、康德或梁納度 (Leonardo)，歌德 (Goethe) 或貝多芬 (Beethoven) 但丁 (Dante) 或莎士比亞 (Shakespeare)——即使在他思想活躍最高的時候，或靈魂內部工作最豐富的時候，他們依舊受支配於因果的命令，並且祇是支配全世界一個全能定律的一種工具罷了。」

愛因斯坦據說也表示類似的意見，他說：●

「我們的朋友蒲郎克，對於這種原理所取的立場，和我完全一致。他承認在現今狀況下，因果原理不能應用於原子物理學的內部作用，但是他堅決反對因此便推斷因果作用，竟自不能存在於最終的實體。其實，蒲郎克在這裏並沒有固定的立場。他祇是反對若干量子論者的偏重說法，我和他完全一致。如果你提到了誰曾說過自然裏的什麼自由意志，我很難找一個適當的回答。這種觀念，當然是不合理的……」

「人們要說到人類意志的自由，老實說，我並不能明瞭他們所指的意義。」

在另一方面，魏爾先解釋，從天文學和物理學的大規模現象，其性質必須屬於決定（參閱第六章「客觀的或然性」一節），以到另一極端的小規模現象，中間如何能發見決定論的限制（如果他真有限制），然後又說：●

「我們現在堅決相信，在量子力學裏，我們已和這些限制發生接觸」……

「同時自然定律裏所謂運命，經過我們的分析以後，其勢已弱，除非由於誤解，再也不能和自由意志相對峙了。」

●見 Max Planck 所著 Where Is Science Going 一書，一九三三年版，第二一〇頁及第二〇一頁所引。

●見所著 The Open World 一書，第三五及第四三頁。

我並不以為物理科學的事實，或物理科學正當範圍以內對於這些事實的解釋，各科學家中間已經發生爭辯。在另一方面，我相信我們彼此間實在完全一致。歧異的發生，是由於物理學家從事於想像，或關於科學的將來進步（例如上面蒲郎克的引文裏），或關於人類自由意志的最終問題，當然全不在物理學的範圍以內。叔本華（Schopenhauer）的著名格言——人類能實行他的意志，但是不能指揮他的意志（Man can do what he wills, but cannot will what he wills）——含有兩種不同的敘述。後一半有關「心體渡橋」（Mind-body bridge）的心一方面，所以無關於物理學。物理學所注意的，是他前一半敘述。簡單說，他所衝突的，是十九世紀的物理學，並不是現今的物理學，至於他和將來的物理學是否衝突，那就祇好期待着了。

不過我們所能說的，至多是物理科學的循環，早先認為穩固密合的，現在已經開始發現裂隙。至於人類的意志，究竟是否能經過這些裂隙，以影響自然的作用，最後必須有賴於他們彼此是否相似而發生相互作用——因為我們要沒有和鎖適合的鑰匙，祇看見鎖孔也是沒有用。或許仍就像笛卡兒所說，心和物差的太多，終久不能夠影響他了。

心和物

在笛卡兒以後一個世紀，更有巴克萊主張，我們不能說物質和心不同。我們對於物質的知識，完全是由於心的認識，有什麼保證可以假設他們性質不同？在心以外的物質，產生在心以內的觀念，原

因必須和結果同其性質，而「類似觀念的，究竟必須是另外一個觀念。」因此巴克萊主張，物質的普遍性質，必須同於觀念，正如同在夢中所見的物質。這時要再說心不能影響物質，其荒謬絕倫，正如同說心不能影響觀念了。

後來又有一派哲學家，指出這種辯證，正可用以推翻他的原作者。即使心和物質彼此同性，但是我們如何能知道他們必像心的性質而不像物的性質呢？那時的科學，自認對於物質所知已多，但承認沒有多少關於心的知識，因此以為物質的科學圖景，必須也圖摹心和心的作用。這個圖景便是我們在前面屢次提到的圖景——一堆機械的原子，盲目的運動，沿着預定的途徑，以達到預定的目的。這種辯證的邏輯，可以成立，但是用為前提的物質圖景，卻不能成立。就現在科學對於物質所有的任何圖景，似乎處處全和心比較接近一些。

在相當範圍以內，情勢必須是這樣。舊日的科學，把自然圖摹成一羣盲目運動的原子，自以為是圖摹一個完全客觀的宇宙，和認識宇宙的心，完全隔離，並且在他以外。現代的科學並沒有這種主張，坦白承認他所研究的，是我們對於自然的觀察，不是自然的本身。所以自然的新圖景，必須盡含心和物質——認識物質的心和被認識的物質——所以較諸以前的錯誤圖景，必須含有略多的心理特質。

不過物理學上目前情勢的精華，並不是有什麼心的成分，已經加進了自然的新圖景，倒許是從

舊圖景裏，取出一切非屬於心的成分，我們試注意從舊圖景到新圖景的逐漸變化，我們不會看見把心的成分加到物質，倒是物質的完全消滅，至少是舊物理學用以造成客觀宇宙的物质，完全歸於消滅。

愛因斯坦和海森堡的政策，把注意力完全集中在「能觀察的」，很可以最先採用，作為一種科學的技術，他顯然能預防對於「不能觀察的」任意從事假設，以使他達到最少的數目，因之可避免若干不充分的假設和虛耗的工作。

這樣一種政策，可以得到兩種不同的結果。假使觀察的現象，是證明有另外獨立存在的客觀自然，這種進行方法，可以希望把一切「能觀察的」互相聯合，然後再發見他們後面一切「不能觀察的」有什麼真正性質。如果在另一方面，自然的大部分或全部，竟是主觀的性質，這種進行的方法，也有發見這種事實的希望。在實際上所得的結果，已經距後一種略近，距前一種稍遠。一切「能觀察的」所以能夠存在，似乎並不是由於他們後面另有假設的「不能觀察的」實體，倒由於他們前面我們觀察他們的意識心理。電子，質子及其一切排列，全不足稱為基本的性質，正如同洛克和笛卡兒早日所提出的舊質量運動和在空間延展。量子論的推翻前者，和相對論的推翻後者，似乎是有同樣的效力。所以注意「能觀察的」的進行方法，所得結果，似乎和假定「不能觀察的」自身獨立存在所預測的結果，並不相同，而他對於早期哲學的一句格言“*Esse est percipi*”（他被認識）似乎也給予一

種新的意義。

這一類的討論，當然使對於現今算理物理學情勢的一切研究，全帶着很重的主觀色彩。不過我們在這裏，卻要特加注意，不要轉錯了方向。即使我們假設的「不能觀察的」——電子和質子——真個證明了全是主觀性質，也不能就此證明自然全部也是主觀性質。我們所謂「不能觀察的」，至多祇是猜想。現在這幾種「不能觀察的」也許祇是不好的猜想，祇是我們自己想像的創造，但是這並未指明不能有其他好的猜想。對於現在情勢的正當解釋，或許祇是我們必須另外找尋新「不能觀察的」罷了。

至於到什麼地方去找，也不難知道。我們已經知道，質點圖景把物質當做若干電子和質子，有時不能代表物質的真正特質，而波浪圖景卻還不會遇到任何失敗，所以他或許正是進入實體的大門（參閱第七章「客觀和主觀的波浪」一節）。這種圖景的波浪，當然要算一種「不能觀察的」，所以要達到表面以下的真正客觀實體，大抵須由於研究這些波浪，而不由於研究電子和質子。我們把這些波浪連絡於質點的企圖，引進了若干主觀成分。但是主觀成分的進入這種關係，或許是由於質點方面，而不由於波浪方面，我們迄今解釋波浪，總是當他說明質點存在於空時各點的或然性，但是我們一樣能當他說明事件發生於空時各點的或然性——幕上的光亮，由假設「電子」撞擊而使照像片的變黑。

如果這些波浪真能引我們到客觀的實體，我們必須使他們聯絡於事件的發生，不聯絡於實點，因為我們已經知道（參閱第六章「波浪的圖景」一節，及第七章「客觀和主觀的波浪」一節），祇有存在並無事件發生的實點，並沒有客觀的存在。量子論捉住了從放射來源剛進入空時的光子，把他們加以分析，並且企圖使他們比擬一個假設電子受原子核引力而生的運動（參閱第五章「原子的構造」一節）。但是這種進行方法，對於一個假設的電子，當他離開一個電子場時，並沒有客觀的說明。我們已經知道，要使物質圖景有客觀性質，必須使他完全不包括隔離開的電子和質子。他們要獲得客觀的實體，似乎必須聯合起來，組成一個原子，因之也就產生了事件（參閱第七章「客觀和主觀的波浪」一節）。正如同單獨的空間和時間，要獲得客觀的實體，必須聯合起來，以組成四度的「空時」。

或許有人反對，以為放進理論去的，既是祇有我們對於放射的知識，絕不能希望關於物體的正面知識，發生出來。不過如果電子和質子容許隔離的客觀說明，我們在說明他們的聯合時，或許有能夠區分這兩種成分的希望。但是這樣去做，並沒有證明可能，量子論也不會使我們把這種聯合，看成兩個質點的合併，祇使我們把他當做送進空時的放射的來源。

我們要應付這個情勢，不能祇說不確定性原理不容許客觀的說明，那無異於把車放在馬的面前。客觀說明的不可能，就含在波浪圖景以內，所以如果假設波浪圖景是基本的圖景，所謂不確定性

原理，並不是這種不可能性的原因，而是他的結果。

由此必要引起一種疑問，就是隔離的電子和質子，究竟有沒有實體的存在。相對論也曾提到這種疑點，祇是形式略異。因為當實驗物理學把假設的物質，區分成他的最終成分，電子和質子，而相對論覺得仍有再分析的必要。依照舊日的物理學的說法，物質質點的特點，是時間上的繼續存在。相對論代表這種繼續存在，是用空時裏一道連續的線，然後把這線分成若干點，每點代表一「事件」——這個點在某一時的的存在。空時的每一點本來彎曲，而在這線上的各點，彎曲更甚。不過這些點的彎曲，較諸別處的彎曲，並沒有主要性質的差異。假使質點不向一點以外的空間延展，那時就得發見直邊的彎曲。但是我們已經知道，對於原始的質點，既不能指定位置，也不能確定界線。一個質點的圖景，無論是什麼，永遠不能是一點。所以一個質點的「世界線」，精確說來，並不是一道線，祇是一種連續無邊的曲折區域，在邏輯上當然可以分成若干小曲折點——質點的自身分成若干事件。這些事件，多數是不能觀察；必待兩個質點相遇，或互相接近，那時纔有能影響我們感覺的一個能觀察事件。我們對於質點在兩時中間的存在，並無所知，所以實際觀察，祇能保證我們，把他們的存在，當做若干隔離事件的組合。

或許有人反對，以為自然的演進，全好似這些質點真正存在，就可以當他們真正存在的假定證據。用類似的論證，當然也可證明光子的真正存在，因為我們已經知道，對於光子存在的證明，其一般

形式，正同於電子存在的證明（參閱第五章「光子」一節），而假定光子真正存在，更可以解釋一大部分自然（參閱第五章「放射的運動理論」一節）。其實，很容易想像在星系中間空間存在的生物，因為那裏物質極少，天賦的感覺，就許是電性的感覺，而不是我們的物質感覺，他們將把光子當做實體的基本成分，物質乃出於自然的平常途徑以外。不過我們已經知道，光子祇是自由振動的組合，所以如果波浪圖景是基本的圖景，光子的真正存在，不能說是平常我們賦予電子的真正存在。並且如果光子必須被擯於實體範圍以外，就很難找出理由仍舊保留着電子和質子了。

到了這個時期，很應當清楚區分，什麼是「存在」(Existence)，什麼是「能辨認的存在」(Identifiable existence)。例如銀行賬上的金鎊，先令，辨士，各有真實的存在，但是沒有能辨認的存在，我們不能說他們是英國銀行第若干號的錢幣。在物理學上，對於能也是一樣。要說把我屋子裏照亮的能，就是某甲用以拉倒某地房柱的能力，既無意義，也不免拙笨。能也沒有能辨認的存在。對於電子，還是一樣。例如甲乙兩狗相咬，結果出現丙丁兩隻受傷形式略異的狗，但是我們總可以說丙狗就是甲狗，丁狗就是乙狗。不過兩個電子相遇，情形便不是這樣，要想強加辨認，不獨事實上不可能，理論上更毫無意義。就祇假設他可能，已足引起物理學上的困難和謬誤結果。不過等電子和質子合成一個原子，這原子似就有能辨認的存在，至少也經過長久的時間。現在要說，若干金原子曾是克瞭培楚 (Cléo-patra) 皇冕的一部，並不是毫無意義。但是要說，若干電子會是他所飲珠汁的一部，那就毫無意義了。

當然爲方便起見，往往把事件看成聯於電子和質子，有如一條線上的碎珠，但是穿珠的方式，卻完全是主觀的選擇。我許用這種穿法，你許用那種穿法，而兩種穿法是一樣的有效。所以必須把事件當做基本的客觀成分，絕不能再以爲宇宙含有若干固定的物質塊，在時間上永存，在空間裏運動。

根據這一類的理由，就可以像萊佈尼慈一樣猜想，通常所謂物質，說是若干固定物體和堅硬質點，並不真實存在；其所以好像存在，係由於我們用雜亂的方法去看非物質的東西——由於我們所戴人性眼鏡的偏見。真正客觀實體的成分，是事件而不是質點。所以一塊物質，依照羅素（Bertrand Russell）的說法，就變成：

「不是在各種狀況下永存的東西，祇是一組互關的事件系統。早先的固定性已經消滅，因之使唯物派學者藉以使物質好像比思想真實的特性，也就一律消滅。」

由此通常所謂心和物相差太遠，不能互相作用的意見，立時失掉了一切力量。物質既然化成了事件，這種反對意見，再也不能提出。我們看見「心體渡橋」兩方面的領域，完全被事件所佔據。羅素又說：

「我們心裏發生的事件，是自然歷程的一部分，我們不知道別處發生的事件，竟自有完全不同

① 見所著 *Outline of Philosophy* 一書，第三一一頁。

② 見所著 *Outline of Philosophy* 一書，第三一〇頁。

的種類。」

因此，再沒有什麼理由，說他們雙方不能發生相互作用。這樣使我們達到的，當然有些像巴克萊的著名論證，祇是穿了現代的外衣，並且有科學知識的贊助。因此，顯然又引到下面羅素所說的一段話：

「根據現代科學的哲學，提出一種世界，使我們相信，從許多方面去看，較諸舊日所想像的物質世界，全更接近於我們的本身。」

算學的模型

愛因斯坦曾說：

「在每次重要的進步裏，物理學家總可以看出，實驗的研究愈有進步，基本的定律益加簡單。他很驚奇的發現，從表面上混亂裏，如何竟自出現了齊整的秩序。而這種情形，並不能說是他自己心的工作結果，實在是認識世界裏所原有的一種性質。」

魏爾也曾表示類似的意見，他說：

①見所著 *Outline of Philosophy* 一書，第三一一頁。

②見 *Where Is Science Going* 一書的引論，第一三頁。

③見所著 *The Open World* 一書，第四一頁。

「驚奇的事實，並不是有自然定律的存在，卻是分析愈向前進行，細目愈加詳密，現象所含的成分也愈詳細，而基本關係也愈簡單——並不像原來想像的愈加複雜——對於事實的融合，也愈加精確。」

在我們這本書裏，已經有很豐富的證明，說明這種傾向於簡單的趨勢。我們說過，希羅對於歐幾里德兩種定律的綜合，逐漸擴張範圍，直到最後，幾乎完全包括了宇宙間的一切活動，但是他原來所有算學形式的簡單性，卻又始終保持。現象的自然，歸納成四度連續體裏一組事件的排列，而事件的排列形式，又證明是一種十分簡單的算學性質。要能發現排列所具的模型，也許能提示出什麼理由，說明所以特別通行這種排列的原因。就如同我們從事於研究一幅圖畫的基本組織，發現他含有距離固定的微點，好像銅版印出的圖。我們並不問這全幅圖的意義，也許是道德的，美術的，或其他任何性質，這並不在科學的範圍以內。我們祇注意這幅圖的基本構造，結果大抵能略述他們的物理性質，例如說這幅圖是印在什麼物質上面。但是科學迄今祇能發見這些點的排列簡單，此外更無所知。

這種簡單性是一種算學的簡單性，並且似乎祇容許一種算學的簡單解釋，就好像用勃愛爾 (Boyle) 的說法，算學是書寫自然所用的語文字母。這種語文的辭句，或許是或許不是心理性質的含義。當前的要點，就是這些字母，照我們已發見的相聯實體，並不殊於一種心理概念的相聯實體。這些心理概念所連的，並不是我們平常以為工程家，詩人或道德家的工作，而是以純粹思想為唯一工

作原料的思想家，例如正在研究室從事於工作的算學家。

空間可是這一點的明顯實例。有限空間的概念，使天文科學獲得齊整的秩序，正如同地面有限的概念，使地理科學獲得齊整的秩序。很容易製造地球表面的模型。我們祇須取一個球狀物體，他的表面——從物質到達非物質的中間過渡——便是所需要的模型。但是我們不能用同樣方法，製造一個有限空間的模型。一個人要在著作裏或演講裏，提到了空間的有限，便會聽見有限空間以外是什麼的問題。我們聽說，有限空間並不能被想成一種物理的實體。如果我們要這樣想，立刻便有人問空間以外是什麼。除非也是空間，還能是什麼？——這樣繼續不已，便證明空間不能有限了。

如果我們不使有限空間聯於任何實體，祇把他當做一種純粹的心理概念，前途立刻清楚。我們的日常思想，永遠是關於有限的一部分空間，所以把有限空間當做心理作用的骨幹，卻是盡人所認為熟慣。

為使自然現象整齊有序起見，似乎我們更須假設有限的空間繼續擴大，這也將引起類似的問題。空間的擴大，要不是擴大到另外的空間裏，還能到什麼裏去呢？但是如果到空間裏去，可見擴大的並不是全部空間，這樣推衍不已，便證明全部空間不能擴大。從此可見我們對於宇宙的空間，不能賦予任何實體，仍祇好當做一種心理的概念，此外要賦予空間任何程度的實體，結果將祇能引起混亂和矛盾。

或許有人詰問，這並不證明什麼新的東西，因為我們已經知道，空間本身並沒有什麼實體，除非當他做連續體的一個成分。但是這種說法，更可應用於連續體的本身。科學使連續體吸收盡了其他一切單體，結果成一種單體，似乎僅能有客觀的實體。可是我們覺得必須也把他圖摹成有限，因此要不把他看成一種心理的概念，也要遇着在他限度以外是什麼的問題。不過我們如果採用這種看法，結果竟使全部自然變成一種心理的概念。因為自然全部的組織，也不過就是空時連續體的組織罷了。

或許有人不承認愛因斯坦的主張，以為這種模型的簡單性，並不是認識世界所原有，或許是由於我們心理所用的認識方法。一個澈底的懷疑論者，或許以為我們的心，好像是自然的立法者，替外部世界所劃的方策，祇限於使他的現象為我們所認識。例如一架自動機器祇製出扁平的銅幣，並不足證明外部世界完全是扁平的銅幣，不過因為這機器有一種選擇的機構，祇容受扁平的銅幣罷了。同樣，我們心理對於簡單的算學定律，也許具有一種選取的動作。

根據這種主張，我們假設的自然定律，變成祇是我們本身心理作用的說明。他們所告訴我們的，在自然方面，或許很少，或竟沒有，但在我們本身方面，定有若干。不過，即使這樣，他們所告訴我們的，究竟是什麼呢？是不是我們的心理，自然的並且不可避免的，傾向於方陣、張量 (Tensors)、四度幾何學，以及負一的種種平方根呢？每個學校的學生，對於這種提示，將認為奇特而加以拒絕，而物理學家當

然也表示同意。假使我們的心理，果然是將算學的特質，壓進自然，那時所計劃的自然，較諸本書所述，一定比較容易明瞭。我們覺得困難的方陣和張量以及折磨腦筋的四度幾何學構造，必是來自外部世界，正如同一個幼童覺得，刺他手指的針，必是來自外部世界。並且如果這一點是這樣，連續體裏事件排列的簡單，當然也是來自外界了。

再說，如果算學家祇是把他們自己的算學定律，向自然上印刻，爲什麼藝術家，詩人，或道德家，不能也這樣做，也遇到一樣的成功？爲什麼藝術家不能夠說——「日落處將逐漸變成綠色，或紫色；因爲當光線漸淡時，這樣纔能保持完美」；或「星將發現於彎形新月的中心，因爲那樣纔是新月和星的最完美排列」？我們知道，這一類的預測，毫無價值。西方地平線上的雲彩，當日落時的色澤，並不依照美術的規律，祇依照某種算學概念而運動，要預測一回日落的將來，惟有解答一種算學問題，找出何種事件秩序，能使在連續體裏的間隔，繼續總是最小。

最後，如果我們的算學心理，是把他們自己的定律，以鑄造自然，爲什麼在二十世紀以前他們不這樣做呢？幾乎不能假設，當蒲郎克於西曆一九〇〇年發表他的著名論文時，人類心理的本來特質，已經經過了一種改革罷。假使新知識所表現的特質，祇是人類心理的一種特質，而不是自然本身的一種特質。那時一定有博學的哲學家，早已看出惟有算學的圖景，纔能成功，因此就救濟了科學，不致向錯誤方向努力，從事於造成他種圖景了。一直有三個世紀，科學曾經努力把機械的觀念，印於自然，

因以蹂躪了大部分自然。而二十世紀的科學，把純粹算學的觀念印於自然，結果發現他們異常適合，有如脚上穿上一雙適合的鞋。我們幾乎不能解釋這種情形，說是脚被剝削，纔能適合，因為以前早已試過了許多別的鞋，用盡了巧妙的方法，也不會穿到脚上。

所以算學圖景對於自然的適合，我以為必須被認為科學的一種新發現，所包括的自然新知識，為任何種普通論辯所不能預測。假使我們能夠翻譯我們的知識，從現象的語文，變成實體的語文，我覺得「算學的」一辭，在後種語文裏，定要另加轉譯，將不能視為祇是瞭解現象的一種形式而棄去。並且如果是這樣，就似乎提示，實體必須有若干心理性質的什麼，去適合他了。

到達最終實體的道路

不過從自然的算學敘述下面，以尋求物理實體的努力，雖然迄今沒有成功，當然不能說這種尋求就永遠不能成功。我們必須承認，未來的科學的進步，或許在現今算學抽象理論以外，新覆一層物理的實體，或竟至一層物質，全在可想到的範圍以內。要說那些「 \llcorner 」佔重要位置的公式，竟自容許這一類的解釋，當然很難想像，不過近年以來各種驚人奇特變化，我們的記憶尙新，簡直不能否認這種可能性。可是就現今說，他還遠在我們的視線範圍以外，所以要想像這種新外衣是什麼，未免無聊。或許使自然又恢復了機械的特質，而空時也許證明是真正有實質的島，飄浮在不是空時的什麼裏等等……無論什麼，也不能認為不可能而加以擯棄。

或許將來永遠找不到實質或物質的外衣，我們對於宇宙的知識，在種類上永遠相似現在的知識，那便是我們意識的知識，表現以一組算學的公式，總標出純粹算學家的標誌——那些公式，祇是思想在自身範圍以內的活動結果。如果是這樣，在形式後面，也許有非心理的實體，也許沒有；如果要，也是在我們科學的能力以外，不能夠想像了。

這些可能性，全在我們面前，因為他們所指的，全是未知的將來。我們對於科學所取途徑的正面知識，祇限於他的過去。他的前面如果還有路，我們不能說還有若干遠近，也不能說到了盡端是什麼樣；至多我們僅能從事猜想。

有些人或許以為，最可稱讚的猜想，是說這路途的盡端，許像半途上的屋宇，或還不止此。我們已經說過，近期的物理科學發展，是由於純粹人性觀點的逐漸展開。在取下人性眼鏡以前，我們對於自然的最後印象，是周圍盡是一種機械的海洋。等到把眼鏡逐漸去掉，就看出機械的概念逐漸讓步於心理的概念。假使因為事物的本性，我們永遠不能把他們完全去掉，不過仍舊可以想像去掉的結果，將為物質和機械的完全消滅，祇有心得到無上的威權。

還有些人以為，有如鐘的擺錘，到了相當時期，勢將擺動回來。

廣義說來，這兩種猜想，代表對於自然的理想派主張和實在派主張——假使我們情願，也可以說是唯心派和唯物派。直到現在，擺錘還沒有回旋的徵象，而用理想派的語文，卻能最容易敘述——

我並且以爲最容易解釋——宇宙間的一切定律和秩序。所以除去上面所說的保留各點外，可以說現今的科學，正贊助着理想派的主張。簡單說，理想派永遠主張，我們開始探索自然的途徑，既是心的性質，所以到了最後的途徑，大抵還是心的性質。而現代的科學，更進一步的說，他迄今所達到的最遠點，凡不屬於心的成分，已經大部或全部消滅，而新加入的成分，更無一不是心性質的成分。可是誰能說到了前面的轉角，能看見什麼在那裏等候着我們呢？

民國廿四年十月初版發行

實價大洋六角
(外埠酌加寄費)

“景背新的學科”

*

印翻准不權作著有

著者 琴 斯

譯者 邵 光 謨

發行者 章 錫 琛

印刷者 美成印刷公司

總發行所 上海福州路七〇二五八號 開明書店

分發行所 廣州惠愛東路漢口交通路
南京太平路長沙南陽街
北平楊梅竹斜街 開明書店分店

本書已照著作權法呈請內政部註冊

開明
青年叢書
神祕的宇宙

劍姆司·瓊司著 周煦良譯 實價五角

本書作者是英國天文學和物理學界的權威。他是現今很少數能用新興物理學題材寫成輕快文字的人。這部神祕的宇宙是他近年來用通俗文字所寫書中銷行最廣的一部，寫來如科學的童話，使我們如同阿麗絲一樣，身歷相對論和量子論所揭示的宇宙的奇境，同時很愉快地把握着物理學在哲學上引起的許多重要問題。茲依照原書第二版第二次改正本譯成，是原書最近的形式。

開明書店印行

