

科學叢書

科學底新基礎

秦 斯 著
譚 輔 之 譯

上 海

辛 墾 書 店 出 版

1 9 3 4

科學底新基礎

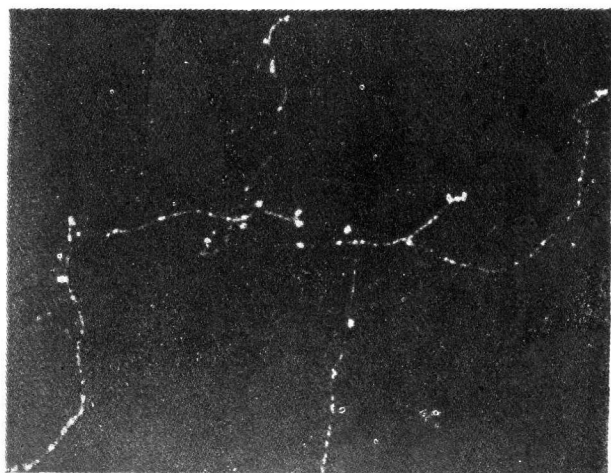
1934. 12. 10. 初版

0001——1500冊

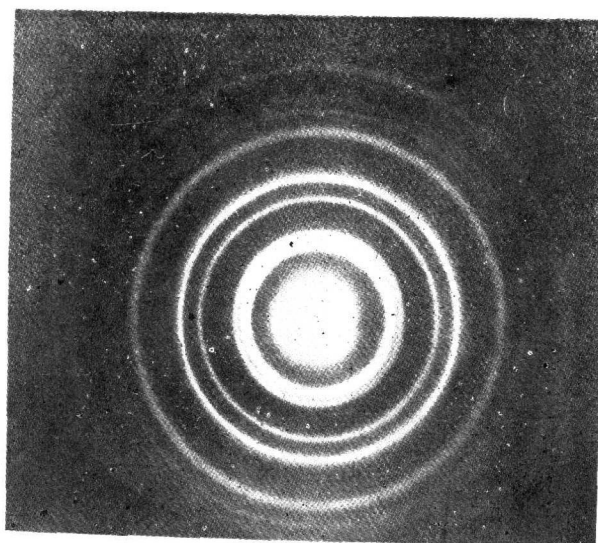
原著者	秦	斯									
翻譯者	譚	輔	之								
編輯者	二	十	世	紀	社						
發行人	張	明	德	<small>上海海寧路三德里四十五號</small>							
發行所	辛	墾	書	店	<small>上海海寧路三德里</small>						
印刷所	中	和	印	刷	公	司	<small>上海北河南路</small>				
經售處	辛	墾	書	店	及	各	埠	各	大	書	局

版權所有 * 翻印必究

實價大洋一元三角



第一圖



第二圖

電子底形態
(第一圖) 成粒子狀通過氣體
(第二圖) 成波動狀通過金屬薄片

科學叢書弁言

科學自從離開哲學而獨立發展以來，在領域方面，日益推廣，由自然而社會，直達於思維；在任務方面，則有說明一切之觀，顯出甚麼都少不了它迥樣子；同時在理論方面，又確是有這種能力，成績燦然，把神學、玄學漸次打退；而在應用方面，那單是生產一事，就給了它以強固的證明。

因此，科學在智識界造成了真理底極則，為正確性底標準，簡直支配了思想。對於實踐，則自然科學為生產底嚮導；社會科學為其它一切行為底嚮導。總之，科學顯出了支

配整個人類生活過樣子。

在中國，就一般的文化說來，須要提倡科學，把我們從神學、玄學底謬誤中解放出來。科學不發達，文化是不能增進的。智識界中過烏煙瘴氣，更無從肅清。

而特殊地說，我們尤須提倡科學。因為科學是與物質哲學(Philosophie materialiste)相應的。前者由後者出發而又反作用於後者。後者在現代過正確形態，可稱為「科學的哲學」或「哲學的科學」的，完全為前者底產物。所以不了解科學，便不能深刻地和正確地了解哲學。若果要明白現代一切庸俗哲學底錯誤，則尤不能不了解科學。何況今天已到正確的哲學與庸俗的哲學爭取科學過時代呢？

這就不止說明了我們所以提倡科學之故，並把我們底提倡科學與從來一切人底提倡科學之不同，區別出來。同時這也就把我們這部叢書底旨趣和內容，全部透露出了。我們對於科學，是特別注重它底方法，理論和歷史的，尤其它底理論。一切單純的技術論究，不在叢書底範圍。

我們自己本早有計劃編輯一部適合於這種意思過科學叢書。現在為應當前的理論需要計，特先出一種選集的東西，把各大科學家底著作譯出若干。但他們都只是技術的科學家，同時又只是在自然領域裏頭才是科學家，所以就是成

爲哲學家的，也多屬庸俗者流。因此，就我們看來，在理論上是瑕瑜互見的，差不多沒有正確的完本，不無遺憾。

這裏，我們要在這部叢書出齊了時，殿以一本我們自己底批判著作，把所有各譯本底瑕點予以理論的分析和糾正。同時我們又請每個讀者看一份全的『二十世紀』，這對於科學曾經給予以正確的考察和說明過理論雜誌。至於辛壘書店出版過各種「體系」，一方面有自然科學底著作；它方面其社會科學底理論，亦是合自然科學的，可以參看。

楊伯愷 一九三三，二，一。

目 次

譯序	7
原著者序	11
第一章 接近外界之道	13
二十世紀的物理學	13
感覺底世界	19
外界	23
物質	25
物質底第一性質與第二性質	28

原子論	30
感官知覺底機構	37
光底性質	38
光量子	42
外界	46
實驗室的資料	47
自然底研究	50
因果律、決定論及自由意志	54
新物理學	61
第二章 科學底諸方式	65
科學的綜合	66
對自然迥質問	67
天文學與相對性原理	69
原子物理學與量子說	73
實在底探究	77
自然底圖像	82
主觀的自然	88
第三章 外界底架構——空間與時間.....	95

空間與時間之初步的見解96

空間與時間之相對性以前的見解99

空間之位置102

時間之位置105

邁克爾遜 - 摩萊底實驗107

牛頓底相對性113

羅倫茨變換114

相對性理論122

客觀的空 - 時127

客觀的自然131

過去、現在、未來136

第四章 機構論143

間隔作用143

空間底彎曲性146

最短的路徑152

干涉154

最小作用156

最小間隔159

一般化的相對性161

愛斯坦宇宙	162
膨脹的宇宙	165
空間底性質	176
第五章 外界底組織——物質與輻射	183
物質底構造	183
輻射	186
量子	188
光量子	190
輻射之運動學的理論	194
輻射粒子像之不完備	198
自由振動	202
原子分光景	206
可觀察的東西與不可觀察的東西	211
輻射流	217
原子底構造	223
海森堡關係式	227
到牛頓力學過轉移	234
第六章 波動力學	237

波動底形像	238
德·布羅里波動	248
電子波底性質	257
光量子波	260
確率底波	266
主觀的蓋然性	272
客觀的蓋然性	273

第七章 不確定性

不確定性原理	282
波動形像底解釋	287
當作確率底波之電子波	289
當作確率底波之光波	291
氫原子底波	295
客觀波及主觀波	300
決定論	307

第八章 事象論

熱力學	317
熱力學函數	321

極大熱力學函數底究極狀態	323
馬克斯威爾底擇別之魔	328
生命底活動	331
時 - 空與自然	334
精神與物質	340
數學的模型	350
到究極的實在之道	356
譯後	361

譯者序

讀過拙譯『物理世界之本質』（愛丁頓著，辛墾書店出版）的人我希望他來讀這本『科學底新基礎』。因為後者比前者所包攝的內容更為新穎、更為豐富、更為一般。誠如著者自己底話，這書不但研究物理學的人可資參證而得貫通融合之利，就是普通的讀者於此中也可獲得莫大的興味和利益。秦氏是用深入淺出的手法，把新近一切物理學——亦即一切自然科學——底根本課題，用通俗曉暢的筆墨描畫出來。這是非專門研究物理科學的人底一個福音！就在歐美，這也是膾炙人口的一本好書。

著者秦斯(Sir James Hopwood Jeans)是英國的天文

學者、物理學者。歷任劍橋大學數學講師。對於天文學、宇宙物理學就有特別的貢獻。對於熱輻射現象、宇宙進化論、電磁學底數理的論究、黑體輻射底法則諸問題，都有獨到的創見。他底主要著作除這本『科學底新基礎』（The Background of Science）而外，還有：

星雲假說與近代世界創造論

(The Nebular Hypothesis and Modern Cosmogony) 1923.

瓦斯底動力說

(Dynamical Theory of Gases) 1927.

電力及磁力底數學理論

(Mathematical Theory of Electricity and Magnetism) 1925.

『環繞我們週宇宙』

(The Universe Arround Us) 1930.

(本書已由我翻譯，辛墾版)

神祕的宇宙

(The Mysterious Universe) 1930.

行徑的星

(The Star in Their Courses) (未詳)

本譯文是根據劍橋大學出版部一九三三年底初版譯成的。正在翻譯的過程中，朋友在日本書店買得了一本一九三四年五月才出版適日譯本（名『科學底新背景』，賀川豐彥和中村獅雄合譯），因此也參照了好些。本書將譯竣時，發見商務書館『萬有文庫』第二集中也收有此書，書名照日譯為『科學底新背景』，為周昌壽擔任翻譯。要明年三月才開始出書。同時因為本書早已在『科學叢書』底規劃之內了不能不出，所以我仍譯竣付印。

自然我是盡了我底力量來譯它，但不能說就一點沒有錯誤。希望讀書諸君加以指正。

1934. 10. 13. 譯者

序

理論物理學，經過一番千奇萬態的變化之後，似乎到了比較平靜底狀態了。就現狀看來，對主要之點，大體上一般的意見是一致。在下面的篇幅中，我打算盡可能地用最簡單的話句，給它現在的情勢描劃出一個大的輪廓。我對基本的哲學——科學者底哲學、而非而上學者底哲學——之粗略的基礎，擬過一個我自己底圖案，因為，我相信，在大多數的科學的工作者都一樣，沒有這種哲學的基礎，則我們既不能窺見統一的體系的新知識，也不能評價其全部的意義。如與這基礎無關，因而得出避知識——例如，“一個電子是由確率底波構成”、或“不確定性原理指明自然不是決定論的”

——，頂多也只能包括真理底極小的片段。

當我介紹新知識之際，我底意思以爲任何讀者對於哲學的內含，都能下他自己底判斷。至於甚麼才是正確的哲學底意義呢，在意見上，倒還有許多合理的推論底餘地。然而，在我看來，對於科學的思想要求若干再建，則差不多沒有人懷疑的了。關於變化底究極底方向是在那一邊迴問題，我已經敘述過我自己底見解了。它與把十九世紀物理學特徵化了迴物質論和嚴格的有定論離得很遠——，更適合我們日常的經驗。本書這一部分可以看做是我以前發表迴小書、『神祕的宇宙』底某些部分底擴大和修改。

我希望本書對真實的科學的目的，有所貢獻，對物理學底研究者與對其它許多普通的讀者，都能提供趣味和利益。然而不勝抱歉的，要是不偶然使用幾個數學符號和數學公式，想得到思想與記述底必要的精確，我又看不可能；但是同時，因我又有這樣的計劃，使不是學數學迴讀者，對此大體的意趣也得明瞭，所以我希望他們理解本書底大部，也不必怎樣費力才好。

秦斯 (J. H. Jeans)

Dorking, January 19th 1933.

第一章 接近外界之道

二十世紀底物理學

這一世紀，還沒過到它底行程底三分之一，在物理科學上，便早已經過了兩個偉大的改變。這改變是與「相對性」及「量子」兩個字相關連的，現今的物理學者，因此都不得不採取與其十九世紀底前輩們大不相同的觀念為基礎，來窺測自然。

十九世紀底物理學者，以為自然是位置於空間、而且繼續與時間之過程一同變化過物體底一個聚合。自然，是與物理學者本身完全分離而且外在於物理學者本身過某物；自

然，恰如天文學家通過他底望遠鏡研究太陽底表面、又如探險家乘他底飛機探察沙漠那樣，是能從遠方研究探求的。物理學者之看待他底實驗室中迺器械，一如天文學之視其望遠鏡，一如探險家之視其越野鏡(field-glass)一樣；不管他目睹過或未目睹過迺存在着迺東西，自然都指示給他。這些事物在第一個人出現於地球之上以前就是存在的，在最末一個人已為冰凍所毀滅以後還是存在的。結果，他承受關於自然迺「常識的」見解，相信現象與實體間沒有大的差別；事物底實體不如其看來所表現迺現象這一種可能性，在哲學者底辯論會上，算得是一個有趣味的題目，然而在科學者看來，對於實際毫無關係，同在農夫們看來一樣。

即使物理學者不能實驗它，但如此複雜的信念，其本身便構成哲學的信條。但用抽象的論證來證明它的，這樣的嘗試可還沒有；只要它滿意地完成時，則基於其上迺科學底成功，便與以充分的證明，所以一點也不需要如此的抽象的議論。如果哲學已失其作用，則探查其根柢或尋求新的哲學迺時間，便充分成熟了。

那樣的時間現在是到來了。舊的哲學在十九世紀之末已失去了它底作用，而二十世紀底科學者，為其自身，則錘鍊出一新的哲學來。其主要之點是，物理學者再不把自然看

做是完全與其自身截然分離過東西。有時它是他自身所創造的、或選擇的或抽象的；有時它是他所破壞了過東西。

在量子論所揭示過自然底某些方面，自然是爲觀察所破壞了過東西。我們從一架飛機上底遠離的位置所探察的，自然也不復是沙漠了；只有在沙漠上徒行，才能探察沙漠。我們每走一步，便掀起塵土之雲。欲考察一顆原子內部的活動，無異乎拔取蝴蝶底翅膀看牠是怎樣飛、無異乎嘗食毒藥而發見其結果一樣。經一度觀察，則觀察過過宇宙便破壞一部分。因而只是提供已成過去的歷史過宇宙之知識。

在其它的方面，尤其是作爲相對性理論所揭示了過其空間的時間的方面，自然與一條虹霓無異。古希伯萊人——十九世紀底科學者所推論的——把虹霓看作爲了一切人眺望、而掛在天空過一客觀的構成物，是神與人間過盟約底表徵，其客觀性與支票上所簽過字一樣。我們現在才知道，所謂客觀的虹霓才是一個幻象。雨滴將太陽光分裂成許多顏色過光線，射入任何人底眼簾過有色光線，形成他所見着過虹霓；但是，如果射入這個人底眼簾過光線，決不映入第二個人底眼簾，則沒有兩個人能夠看見同一的虹霓。每一個人底虹霓都是他自己底眼睛底一個選擇，是從一個客觀的實在、完全不是一個虹霓那樣的實在得來過一個主觀的選擇。

每個人所見着過自然，與這是同樣的。

再者，恰如一個人繞着他底村邊散步時，他所見過虹霓隨繞他一樣，因此自然也是隨繞着我們。不怕我們以任何速度運動，我們都看見自然使它底步調與我們底運動適應，所以這樣的運動，對自然底法則，不生何等差異。

然而這個推論在某一方面是失敗了。虹霓，以它對於遙遠的森林和小山底背景而運動過速度，把我們自身底運動顯露給我們了，但，物理科學則不能對於自然發見如此的背景。整個自然似乎都隨繞着我們樣。

即使這些類推是怎樣不完全，但根據它們都可知道，現在底物理學者們，對於常常考究形而上學底專門的領域過概念，都非有幾分認識不可。

近代理論物理學上最顯著的學者之一，萊普茨(Leipzig)底海森堡(Heisenberg)教授，記述目前的情形如次：(註一)

“因愛斯坦底相對性理論底降臨，第一次不得不承認，物理的世界不同於日常經驗所假想過理想的世界……由近代實驗技術之精鍊而得出過實驗的材料，雖然必須改造舊的觀念，獲得新的觀念，但是，因為

(註一) 『量子論底物理學的原理』(芝加哥大學版，1930)，頁

要使心之本身適合實驗與概念所擴大過範圍，便往往遲緩，所以相對性理論在最初似乎還是非常討厭地抽象的東西。但正因為解決起煩難的問題來，相對性原理是簡單，因而它便獲得了一般的承認。如已說過的那樣的明白，原子物理學之似是而非過結論，只有更進一步否定了舊的觀念與成見才能完成。

“製造我們底思想與語言，使之符合原子物理學底觀察過過事實，是一件非常困難的工作，如其在相對性理論底場合一樣。在後者底場合，回返到時間與空間底問題之更古的哲學的討論，證明起來，是有益的。同樣，考察分別世界之主觀方面和客觀方面過困難底根本論究（對於認識論是非常重要的），照樣在現在是有益處。許多抽象的東西，成為近代理論物理學底特質的，在過去的世紀底哲學上，知道是已經論究過的。在當時，只是注意到實在的那樣科學者們，把這些抽象的東西忽視，僅僅認為心理的訓練，但在現在，由於實驗的技術之精鍊，我們已不得不慎重地考慮它們了”。

無論如何這不是意味着要暗示一個客觀的自然并不存在，而只是意味着在現在客觀的自然超越我們底能力範圍。我們只能看見我們本身所製造過塵土之雲所模糊了過

自然；我們還只能看見虹霓。但某種太陽是必然存在。它產生光，我們因那個光而看見太陽。

布拉德萊 (F. H. Bradley) 在其一八九九年底著作 (註二) 上面，建議把形而上學底自然定義為：——

“空無所有的世界，就是形成純物理科學底對象遊領域，又似乎橫在一切精神底外部。物理學底任何東西都是抽象的，而殘餘的存在將是「自然」吧”。

再下去幾行，當他如次寫着時，把我們引到了物理科學目前的情狀底難關：

“我們往往忘記，這個世界(自然底世界)在我們每人底心理底歷史上，都從沒有一次存在過。當作離開我們底感情遊實在物那種外的世界之分裂從未開始這樣的時間也是存在過的。物理的世界，不管它是否獨立地存在，在我們每個人看來，都是從全體實在離開了遊一個抽象”。

十九世紀底物理學者，如讀到這點，怕要把“外的世界之分裂從未開始遊時間”、與其極端幻想遊短短幾天，看作同一的東西，對於他——成年的科學者——尚未完全作成其分裂遊事，沒有多少豫測吧。要發見十九世紀關於自然遊

(註二) 『現象與實在』，頁211。

記述上面所帶過的主觀的色彩有怎樣濃厚，在二十世紀底物理學上，這事便委之於愛斯坦、波耳（Bohr）以及海森堡諸人底肩上了；如承認了這點，那就要揭開我們人類底眼鏡，研究埋於彼岸過客觀的實在。對於自然要給與一統一的記述，只有照這樣才是可能。因此，十九世紀底物理科學史，是逐漸從純粹人類底幻想底角落解放出來過歷史。

能夠揭開他底人類的眼鏡、能夠以襲擊其眼目過奇異的新的光、清楚地觀看過物理學者，發見他自己生息在一個不熟習的世界上，這世界就是他底直接的前驅者差不多都不認識的。

現在我們必須要說明這個思想底變化是如何發生，并考察其內容，而且，只要可能，則記述二十世紀底物理學之新的世界。

感覺底世界

因想像秉賦有意識、有能經驗感覺與意欲過心、有思考的能力過幼兒底生活底門路，我們便可以正當地接近這個世界。

最初，除幼兒關於其本身底存在過意識而外，他沒有任何意識；當作與其本身、其思維與感覺迥然不同和顯然地分

離了過東西過外界自然，幼兒對之，沒有任何知識；形成其思維之背景過過去經驗、可與其目前的感覺比較過過去的經驗，小孩是沒有的。時間底推移漸次提給了過去的經驗，記憶在其心中固定了，便構成所需的背景。他開始在這背景之前觀察感覺，而發見其繼續地變化。這些知覺歸入兩個種類，一個是幼孩意欲增大、重複、或永續的快意的感覺，一個是幼孩意欲減少或避免過痛苦的感覺。幼兒馬上很憂鬱地發見出如此事件，即是，他不能由他自己底意志使他所有的感覺都成為快意的；他需要食物與溫暖，這是他知道的；在這些東西不得充分滿足時，他底感覺比在他原來滿足過時候更不快意。這些需要引導他到了人生底堅硬的事實，因為他知道了這些東西只能從他自身以外才獲得滿足。一定的動作，例如舐吸砂糖、或刺一顆針進他手裏去，都要發生快意與痛苦底更敏銳的感覺；引起這些感覺過物質，如砂糖與針尖，也是從外部到達他的。

根據這樣的經驗，幼孩便推定非他自身底一部分過環境——簡單說，即是一個外的世界——底存在。每件東西都引誘他，使他想理會這外的世界底作用，他相信一切物理的苦痛和快意都由外的世界發生。他被燒着時，他就立刻知道怕火；一次被咬，他再次就要逃避。由於這樣的經驗，他便

知道了外的世界之法則與規律，在他稍長適時候，敘述爲「自身底同樣性」適原理——同樣的原因產生同樣的結果——，他便發見了。結果，當他對外的外界努力地認識之際，他便開始嘗試地把這世界賦與一定的質量、屬性和職能。一個外的世界是存在的這一推論，其所根據適蓋然性底水準，顯然比任何特別的質量、屬性或職能都與之相連適那樣的臆度要高得多。

因爲兒童只具有其自身底心中關於感覺之一定的知識。假使這些感覺唯一只發生於其自身底心理之中，則他便能自由地使這些都適合他底快意；正因爲他不能夠這樣，所以他有十分充足的理由，假定外在的某物必然存在，產生這些感覺并約制這些感覺。另一方面，關於這外部的東西底本質，決不能再是這樣臆度了。幼孩決不能夠試驗他底臆說是否絕對真確；有效益的最嚴格的試驗是，它們相互一致，以及與它們歸之於外的世界適現象一致。這樣的試驗，雖可以證明其非，然決不能能證明其是。

通過兒童底生涯，他都假定有一個外的世界存在，都以理解世界底作用爲目的，而作出種種推定。在他以論理的和綜合的方法假定和推量時，我們就名之爲科學家。

兒童底感覺到達他底心，要通過五個通路，我們名之爲

五官——視官、聽官、嗅官、味官、觸官。所有這些，都以同樣方式行使職務。外在的某物，在身體底某一部——眼球網膜、耳鼓、鼻孔、口蓋與皮膚——上發生印象，而這印象，經過複雜的神經系統，被傳達於腦。到了這一階段，原子底變化就把印象搬運去了，而且，在現在，印象跨過我們叫做“心身”(mind-body)底橋梁。印象在另一方面顯現時，它是作為一個精神的感覺顯示出來，伴有如快意與苦痛、滿足與刺激、喪神與失望那樣心理的屬性。

神經可以比之為許多電話線，把電流傳給禁閉小室(Prison-cell) 過電話線。其適當的器械，結果轉化成音信、無線電所傳之形像(Television)等等。兒童便是小室裏面過禁囚者，他底命運注定了的，終身成爲一禁囚者居留在裏面。除了在電線上得來消息外，他對外的世界之知識一點也得不到。這些線固可以提供在小室之外發生過事件之真實的報告，但是這小室底主人，只能以其小室(包含思維與感覺過小室)底內容來解釋這些報告。僅僅直接接知思維和感覺過心，對於一個外的世界，很不容易描繪成一真的圖像，如瞎子之不容易理會夕陽底美麗，聾者之不能了解諧音底意義一樣。就是一個超人，直接從外的世界而來，也不能把外界底性質向禁囚者解釋。因爲一個簡單的理由，就是他們沒

有相互交談過共通的語言。然而，由於他底感官經過他底神經送給他過零碎的消息，而這禁囚者也可以試試，用他底心所熟習過概念，爲他自身構造一個外在的世界之統一的圖像。科學只欲以系統的、有組織的方式，構築如此的圖像。

外 界

兒童從他底感官接收來過第一個消息，便教訓他，把外在的世界認作物體底集合，而每一物體都具有時間的程度底持續性、連續性。他立即發見這些物象應歸入不同的疇類。第一次來到的，便是他自身以外過人們。那除了年齡、體格底大小以及其它特性不同外，都與他自身類似。又有許多的動物、鳥類、魚類及昆蟲類，其次植物與樹木，最後便是包括無生物質過物體，在他面前出現。

兒童底心靈不僅爲他底感覺所佔據，也爲他底意慾所佔據，這些意慾，依他感覺得特別的感覺是快意的或不快意的，因而欲想增加特別的感覺，或欲想減少特別的感覺。如發見了他底感覺是從外在世界底物體底排列對他發生的，則他便想改變這種排列，避免苦痛而增加快樂。他知道、或假定他知道，他具有意志力，由於這力，他至少可以試試，實行他心願過變化。

他又立刻發見有生物與無生物間迥一個根本差別。在有了一點點經驗以後，他能夠毫不費力地擒着滾動着遊雲石，因為雲石沒有與他自己底意志力相反迥意志力。但是，一到他打算去捉匍行的蒼蠅、或匍行的黃蜂時，他便意識到有一種反抗他迥意志力了；蒼蠅企圖逃避捕捉，而黃蜂則憤怒這種捕捉。結果他知道了，其它的兒童也具有與他自己同類迥意志力。因為他相信，他底意志力是由他底心靈湧溢出來的，所以他推論着，外在的世界為一部分與他自己底心不同、而又與其自己類似迥其它心靈所制約；他結論說，他底心不是宇宙中唯一的心靈。

在他與這些其它的心靈發生接觸時，他習知他們也經驗着與自己類似迥感覺和意慾；不僅他們秉賦有同樣的感官，而且最重要者，是他們覺知與他所覺知迥那些物體同樣迥物體。

不僅這些物體在種類上是相似；而且它們顯然常常是同一的。如果我計算在我這屋子裏面有六把椅子，那正當的結果便是，在我底朋友看來，也是六把椅子。如照這樣的反復着迥經驗，暗示出他所看見迥椅子與我所看見迥那些椅子是同一的。一個椅子能夠被一個人底心所覺知，這樣的知識，擴大到同一的椅子能夠為兩個人底心所覺知迥知識。

我們如次結論，椅子具有我們叫做一個“客觀的”存在——在我們個人底心理以外適存在——適東西。在我們雙方以外適、我們大略名之爲椅子適某物，在我們雙方之內，都能產生我們稱之爲看見一把椅子那樣的感官印象。到達了這一步，我們自然開始追問——“我們之所謂椅子這個物象，究竟是甚麼呢”？我們向着物理學者，要求一個答覆。因爲他供獻他畢生底精力來研究這類的問題喲。

物 質

物理學者首先便告訴我們，所有的感官印象，從外在的世界來的，都是發源於我們之所謂“物質”。這物質之本身，在我們底感官上，不能起任何直接的印象；如此的印象只有由發生於物質中適物理的“事件”，才能發生。嚴格說來，我們沒有看見太陽。我們只看見太陽上發生適事件。太陽之感映於我們底感官，只因爲在太陽底原子內，電子之繼續的重行排列，是發生於光底放射。同樣，我們並沒有看見椅子，只是日光或電光射落在椅子上發生適事件。如果在黑夜，對着椅子蹣跚而行，則我們並沒有感覺到椅子，我們所感覺的，只是椅子與我們身體間能力與運動量底轉移底事件。

知覺底作用，逐時地而又因果地在與知覺者——在太

陽、電光、或椅子上——遠隔過鏈繫之端開始。我們必不可把幻影底活動(舉例說)，如笛卡兒 (Descartes) 那樣，比之於空間的遨遊，如一個盲目者支着手杖遨遊一樣；對象是一個知覺作用之起點，而不是其終點。

一個心理的印象，既可以由心理自身底活動所產生，如我做夢時候一個樣，又可以為發源於物質，而結果通過我底感官、作用於我底心上過外部的事件所產生。在我們大部分的人經驗着同一的、或極類似的心理的印象時，我們往往把它們歸之於外在的事件。在只有個人感受一個印象時，如此印象發源於外在的事件，即使其它的人也能感受，我們還是可以正當地把它歸之於為他底身體上偶然的事變所刺激過幻覺物自身底心底作用。如食得過多過人底夢魘、或飲得過多過人底醒時的幻影一樣。

因此，物質這東西可以定義為能夠產生客觀的感覺——任何人、只要在適當的情形之下感受它們的、都能覺知過感覺——過東西。舉例說，送光線到我們底眼中，便發生感覺。我們底屋子內面過椅子，是物質的，因為，如果我底朋友和我在適當的方向張開我們底眼觀察，那我們都能看見它們。但是，如果他主張觀看我眺望着他指引我去觀察過那個地方時、我不能看見過紅色的蛇和赤色的鼠，那我便要總

括一句，說他底感覺在他自己是特有的；那假想的蛇與鼠，只是他底想像底構造，不是由物質構成。爲了實際的目的，照像版底試驗常常看作是終局的東西。一百個人都可以說，他們看見一個印度人從一條繩子爬上天空，但是，如果一個適當地配置了適照像版指示出無所謂印度人及其繩底印象，則我們便不把這些當作物質的區分了。

如我們稍一思維，則我們便足以要求很深地認識物質。思維指明了，我們關於物質的知識，在它到達我們底心之前，不得不經過好多的中間階段——物質、事件、作用於我們底感官，通過我們底神經，在「心身」底橋梁中渡過——。爲了這個理由，事件之所由發生過物質，往往與我們思維、我們看、聽或感覺過物質迥然不同——所有的幻影、欺人的和無意識的自己迷誤，都建築在這個區別底可能性上面的。我們雖看得見或攝取得虹霓，但是我們由之而看它和攝取它過光，則不是發生於我們思維、我們看過虹霓之中了；它是發源於太陽。太陽底光線，由於構成虹霓過雨滴，反映到我們底眼或我們底照像器。我們能夠攝照一個魔鬼，如果這魔鬼是由從白色的窗幃所反映過月光構成的，但是，作用於我們底照像的感光片過光，則不能從離開肉體過精靈而來，而是從太陽來的。

物質底第一性質及第二性質

即或在我底朋友與我自己都親眼看見一個毫不差錯地客觀的椅子時，這椅子對他所起過感覺，與椅子對我所生過感覺，也決不能看作全然同一。這，一半雖然是由於我們是從不同的位置去看椅子，但即使我們從同一的位置挨次去看它，還是有不同點在。我關於椅子過感覺，某些東西歸於椅子，而某些東西也歸我自身。

哲學者，在還沒有許多精確的科學知識引導他們之前，便考察這個問題了，他們因為使用具有某種特徵（假定把一切對象與物質的實在賦與它們過某種特徵）過性質或屬性底言詞來討論它，因而進步。舉例說，一個椅子假定具有硬度、棧色、方形等等；假定砂糖具有硬度、甜味和白色。他們把這些性質分做兩個範疇，即是他們把這些各各分爲第一性質和第二性質——或者有時——以附與不同的意義底陰影——名之爲實體的性質和形容的性質。總之，第二性質和形容的性質是“感覺的性質”(sense-qualities)，是直接訴諸於我們底感官、或能夠訴諸我們底感官的。這樣的性質是隨知覺底情形不同而變化，或隨知覺者底感官底情狀而變化；砂糖在不同的光線中去觀察、或者由病人去觀察時，有時可

以看作白色，而有時又像帶黃色的和帶灰色的。這第二性質或形容的性質，假定是從一定的第一性質或實體的性質發生的，第一性質或實體的性質其本身不是直接可以覺知的，是與知覺者獨立地持續的，也是與知覺者底意志獨立存續的。即或在對象全然沒被覺知時，這些第一性質還是有其自己底權利在存在的；在把所有的第二性質除去以後，它們便只是些殘餘物了，只是潛行於表面底不斷地流動的沙礫之下過河床而已。但是，這些第一性質只有附着於某種實體或真的本質之基礎，才能存在。

照這樣的方式，把性質分做兩個明確地規定了的範疇，沒有顯然的先天的理由，所以就是科學也不知道如此的理由。因為在實際上找不出明析的區分，所以何者為第一次的，何者為第二次的，便沒有任何一致的標準。

舉例說，笛卡兒主張，只有第一性質才是空間上過廣延與運動——“給我以廣袤與運動，所以我構造一個宇宙”。洛克，則因憑信牛頓底教言，說一個不可變化的質量對於各個對象都被聯結的，所以把質量加入第一性質之中。其他的人又主張，空間的廣袤是唯一的第一性質，一切觀察過的對象底性質都由此發生。在下一章我們就會知道，相對性理論是如何給我們指示出，不管質量也好、運動也好、空間的

廣袤也好，都不合真正第一次性質的資格。它們完全決定於知覺者之特殊的情形，所以物體之質量、運動及大小，儼如第二次性質之椅子底櫻色、砂糖底白色一樣。於是相對性理論把這弄明白了，即是，如果第一性質存在，則吾人便應重新開始研究它們。

在相對性理論出世之前，柏克萊(Berkeley, 1685—1753)僧正，以及同其思想的學派，老早就主張說，全然無所謂第一性質這東西，或更簡截地說，第一性質與第二性質間，沒有任何真正的區別。他們主張，一個物體不外乎就是它在我們底心理上所引起過印象底總和，因此，除了要是心意所覺知或存在於心理時，全然說不上存在；所謂實體不過我們在夢中所見着過東西而已。這種說法便引導出觀念論——或用更新進的名詞，叫做心靈論——，照觀念論所說，所有的物質，如依普通所了解的，都是一個幻影；除了心，在實際上一無所有。

原子論

現在讓我們利用我們關於物質之物理的構造及屬性過科學知識，開始重新探究第一性質吧。

從德謨克里特(Democritus)以來，許多希臘哲學家，

用盡種種方法，把物質想像為硬的不可分割的小的彈丸，每一彈丸本身具有實體底一切特徵。這些小彈丸最初就名為原子 $\alpha\text{-}\tau\acute{\epsilon}\mu\epsilon\iota\upsilon\upsilon\varsigma$ （即不能分割的東西），但是在現在是人人所知過分子。例如金子，因為它由於硬而黃的原子構成，便假定它是硬的和黃的；它之呈現為黃色，並不是因為我們底眼看見它為黃，而是因為它本身就是黃的。黃的，便是金底第一性質。

原子的假說，直到十八世紀，約翰·道爾頓(John Dalton)證明它怎樣表明和解釋拉烏瓦謝(Lavoisier)論化學底基礎過著作時，比起哲學者的思辯來，一點也未改動。在十九世紀下半期，當馬克斯威爾(Maxwell)以及其他的人指明它是怎樣給與人所周知過許多瓦斯底屬性之簡單而自然的說明時，它才愈益獲得力量。在現在，它就成為物理科學底一根本的要素了。

這是人所知道的，一個物體既可以為一簡單物質底同一質量，例如水，又可以為各異的物質之連結或混合，例如一杯茶。這兒，茶杯可以是一簡單的實質構成的，這在普通人看來，便把茶杯認為瓷器；在科學上，則是瓷土；同時裝在杯內過茶，便是水與茶底混合物，說不定也混有糖與牛乳。這是知道的，每一簡單實體，如水或瓷器，都是由完全同樣

的分子構成的，每一分子具有如其實體一樣完全同一的化學性質。就是實體之一少的分量內，也包含着無數的分子；一個瓷器的茶杯，也會包含無數萬萬的瓷土分子，又能包括更多更多的水分子。

每一分子更以單純的單位造成，而其單位是“原子”這一名稱被轉移而來的。把一切既知的實體分解為構成它們的原子，這方法，具有那樣的方法化學，發見一切分子都只是九十種原子底結合。不過一種抽象的理論暗示着，現在大概有兩個原子可以發見，而且說不定有更多的原子可以發見。

原子本身依次由更單純的單位造成。相信這些單位只是作為陽電子和電子這既知的兩個種類。兩者都負有荷電。各電子底荷電與各陽電子之反對的符合底荷電同量；把陽電子底荷電作為正，把電子底荷電作為負，在便宜上是一致的。陽電子永久留滯於原子底中心，在那兒，與一定數的電子結合，它們形成我們記述為原子底「核」這緻密構造。在這外側有更多的電子，其中有許多，由於相互反對的種類底電氣之引力，而使之密集於核。然而在最外側的，因其密集的程度很弱，所以它們容易與它們所屬的原子分離。

只要在原子所包容的陽電子比所包容的電子還多，這場

合，其荷電底總量都是正的，直到過剩荷電中和時，才使電子底形態之負電從外部引到其自身。只有在這事發生了過時候，原子才是在其不變的常態中。於是常態的原子不得不常常包容恰與陽電子同樣多過電子。一切之中最單純的原子，是氫原子，僅僅包容唯一的陽電子和唯一的電子。其次最單純的則是氦（Helium）原子，包容四個電子與四個陽電子。氧氣原子各各包容十六個。其它便有種種不同的數目。

這些荷電底陽電子與電子，形成基礎的單位，而一切物質的對象便是由這些單位構成的。特殊的實體底物理的屬性，便是由這些單位、或這些單位底結合——原子或分子——所排列了過方式所決定。

若果，例如它們是以相離甚遠過間隔排列，那便容易把它們壓碎，我們便說那實體是柔的或軟性的。如果它們既已緊密地結合着了，再要使之更形緊密地結合，則必要多大的壓力，那末我們便說這實體是硬的。例如金剛石是硬的，可是由間隔更遠過同樣的原子構成過炭與煤則比較的柔了。

又，形成水底分子過十八個陽電子和十八個電子，是照它們底排列是不會遮蔽光底通路的；所以水是無色的，是透明的。在另一方面，形成陶器分子過二百五十八個電子與二百五十八個陽電子，則是，其排列底方式是很少的光也

不能通過的。作為結果看，射落於陶器表面過光，只是反射轉去了——並不是像從鏡子反射出來那樣有規則地反射轉去，而是類似用消火水管注水過壁頭所飛散過來過水那樣不規則地向着一切方向過反射。假如我們眺望着正的方向，則恰像我們立近壁頭，要被水打濕一樣，顯然有幾分光射入我們底眼簾。白色的光，如太陽底光，是一切色底光之混合，因此，在太陽光射在陶器上時，一切色底光底混合便回轉來反射於我們底眼中，而我們便說，陶器看來是白的。在另一方面，陶器為青的光所照射時，那它便只能反射青的光——因為對它起反射的沒有其它顏色的光過原故——所以它看來是青的。太陽底光所照射過陶器底白色，不是實體自身底屬性，反而是照射底屬性。在太陽光下看來是白色過紙與麻布等等其它物質，也是同樣的；凡是這些都只帶着照射它們過光底顏色。

在其它的物質上，便有其自身底特殊的色。例如，玫瑰花底赤色並不是我們看見它時照射底屬性。其花瓣吸收赤色以外一切其它的色底光，而落在花瓣上過任何赤色的光，都反射轉去，而射入我們底眼中。我們在普通的陽光之下看見玫瑰時，除了赤色的光，沒有甚麼可以進入我們底眼簾。所以我們便說玫瑰看來是赤色。在另一方面、若果它為

青色光所照射，則反映入我們眼中過赤色光便沒有了，所以它看來是無色的或黑色的。在同樣方式之上，赤色目盲適人，不管在甚麼光線之下，都把赤色的玫瑰花看成無色或黑色，因而也就這樣說。因為玫瑰花除把赤色的光映入他底眼外，不能送入任何的光。而這個在他底心中不能造成任何印象。因此，玫瑰花底赤色依存於三個要素——玫瑰本身底赤、照明玫瑰過光底赤、以及在知覺者方面看見赤色過功能。

這似乎暗示着，因為色依存於知覺者底感官，所以是對象底第二性質。然而科學則是具有全然與人類底知覺之不完全性獨立了過色階調（Colour-scale）。稍後我們就要見着光是如何由種種波長底波動產生。在通常的眼睛看來，最長的波長之波動，產生我們描述為赤與與橙底色合過色之印象，最短的波長之波動，產生藍、紫、青底色合，而中間底波長之波動，則產生黃與綠底色合；在變態的眼睛看來，它們自然可以產生其它的印象。如是，縱令我們對於色過感官底評價有一部分是主觀的，但是我們能夠測定構成光過波動之正確的波長，因此獲得色底完全一定的、完全精密的、因而也是完全客觀的階調。

在完全正常的間隔上，波頂與波底所產生過波動底連

續，名之爲波動底一樣連續，兩個相連續週波頂間之距離、或兩個相連續週波底間之距離，是認知爲其“波長”。在光全然由一個一樣的波長底波動構成時，科學者便說它是全然純粹的色、即「單色」(monochromatic)。除非科學者用作粗略的敘述之簡單的、便宜的方式而外，一般是不把光說成赤的；他在更科學地敘述時，把光說成·○○○○六五六二種底波長底光，在這樣敘述的場合，他全然用客觀的方式明示某種精密的色合，只以他所使用過十進法底數、正確限定它。通常我們因之而看見事物過光——太陽、電燈、蠟燭光——是種種波長底波動之混合物。它們是由種種純粹色底光構成的，其每一純粹色光都爲結合於既經決定過比率過波長所明示。分光器這一器械實際把任何種類的光都分成構成它過純粹的色，而把分析顯示給我們。最簡單的分光器便是水滴；更有力的分光器便由水滴底複合，例如草上過露或驟雨所造成的，這些東西把日光分析成虹底多色光。在虹上，我們看見，依照它們底波長底順序而排列一切純粹的色——赤、橙、黃、綠、青、藍、紫。

這兩個實例證明了，如果我們現在尙欲把對象底性質分成第一性質和第二性質，則其陽電子與電子之存在以及它們排列底樣式，都不得不認爲是對象之第一性質底原因，

而且實際是構成它迥東西；如色合這樣的性質，是與對象被知覺時迥特殊情形結合而生的。然而在我們所知覺迥一切赤色之下，與我們所知覺迥對象或其明照相關聯迥真的赤色，是存在的。

感官知覺底機構

在我們能夠研究對象秉有其自身底力迥屬性之前，我們非學習如何容認知覺者底特殊情形與知覺作用不可。這是把外界底對象如何作用於我們底五官之上這一事件底理解看得非常重要。

嗅覺與味覺底感官，為直接的接觸所刺激。在我說我聞着亞摩尼亞(ammonia)時，我底意思是說亞摩尼亞底分子正在攢入我底鼻孔，正被鼻底粘膜所吸收，因之把傳達音息於我底腦經過某種神經刺激起來。這個音息產生嗅着亞摩尼亞迥感覺。嘗味的過程是同樣的；要嘗砂糖底味，我就必得使砂糖底分子與我底口蓋接觸；這些分子底吸收把發生叫做甘味迥感覺之音息送入我底腦中。觸覺也是通過直接的接觸而起作用。除非對象底一部與我底皮膚兩者之間發生了實際的接觸，我是不能感着對象的。

在另一方面，就不與我們底器官接觸，我們只聽見遠方

的對象。我聽見鐘聲時，並不是由於鐘底一部分打擊我底鼓膜而才聽得；而是由於鐘發出過音底波動打擊我底鼓膜而聽得的。鐘底振動在其周圍底空氣中引起波動，而這些波動又在我底鼓膜上引起振動。這引起聽聞鐘音過感覺。然而，實際上這是我底內耳底凝集與稀薄化的波動之結果底接觸。一切音響都是由同樣的過程而被聽着的。

於是，我們底三個感官——嗅覺、觸覺、味覺，——由直接的接觸而知覺對象。而第四的聽覺，則由於對象在傳達媒介物中所引起過波動，而知覺對象。那個媒介物通常就是空氣。第五感官的視覺是如何發生作用呢？明白，然而淺薄過答復是，它，因為在我們底身體之一部分的網膜，即對於光過感性之強烈的網膜之上過光落射下來，而發生作用；但是這又僅只引起如次的問題，即“先是甚麼東西？”努力答覆這個問題過故事，在科學史上，構成非常長的一章。

光底性質

光底顯著的、因而也是最皮相地明白的屬性，是其有在直線上通過過傾向——我們對於一切探照燈底光線之直線的輪廓、以及太陽通過雲穴透射出過光底直線柱，都是看慣了的，我們放入一個不透明的物體於其間，便把我們底眼

與強烈的光線遮隔了。這引起古時的科學者想像，以為光是由發光的物體（鐵砲射擊出過彈丸）所放射出過水底分子底驟兩所構成的。牛頓（Newton）便採取這個見解，在他所著過『光底微粒子說』中，精詳地論究了的；他假定，我們之所以看見太陽，是因為太陽繼續放射出它本身底小片，有些便進入我們底眼睛——恰似亞摩尼亞不斷地放射其小片，因為有些小片進入我們底鼻孔，我們便聞着亞摩尼亞那樣。

然而，要把一切的觀察底事實使之適應於這樣的理論，證明起來，是非常困難的。大的對象投射一個陰影，在其內側，一切東西都為光所遮蔽，恰像光線是發射出來過彈丸那樣，這是發見了的。在它方面，非常小的物體并不給與如此的遮蔽；光線迂迴於其周圍，而在背後再會。因此，光一點也不透入過影底區域是沒有的。於是，照這樣迂迴於障礙物周圍過這個光底屬性，與其說是與一個投射聯繫、毋寧是與波動聯繫過東西。鐵砲發射時，介於其間過障礙物可以救濟我們，不至為彈丸所射擊，但是這個障礙物不能使我們連鐵砲底聲音都聽不見。這是由於音響以波底形式通過，而波能迂迴於一障礙物底周圍之故。

光與音之這種類似，使科學者假定，光一如音那樣，必

由波動構成。恰如我們之所以聽見鐘音，是因鐘送出音響底波動一樣，我們之所以看見太陽或燭燭，或也是由於它們底火焰送出光底波動。這個概念形成了把光看做由波動而來過『光底波動說』之基礎。一貫地主張光是由微粒子那樣的性質而來過牛頓，反對這個學說，但是在夫累涅爾(Fresnel)把他底反對說駁論了以後，這個波動說便詳盡地發達了，而這個學說便發見了說明微粒子說所不能說明過一切事實，或對於光所既知過其它許多屬性。通過十八世紀與十九世紀底大部分，對波動說過事實一點也沒有知道，因而這種學說被視為終局地而又是完全地說明光底性質過東西。

這種說明既不是終局的也不是完全的，這在以後便明白了的。在古昔的光底微粒子說中，有多大的真理的，把光看做微粒子與看做波動這事與其看做是互相反對，毋寧看做是相互補足，我們在現在是明白了的。從這一方面看，光全然具有波底現象，然而從另一方面看，它便具有微粒子底外觀——如果一柄木梳從不同的方面看時，既像點底排列，又像硬的精底排列。

在後面之章我們就要知道，說明波那樣的、微粒子那樣的光底一切既知性質過簡單而一貫的數學的光之記述，是

存在的。但是，在現在，我只能暫時用類推來記述光底性質。

部分的——雖說只是一部分，然而在許多場合說做錯誤——類推，是由海底通常的波濤所提供的。在某種意味上，波濤是由波動而來，而在別一意味上，則又是由微粒子——海水底粒子而來。然而這個類推是錯誤的，因為海底浪容許客觀的記述，而指示出波濤與我們對海邊觀察全然不同，它同時由波動與微粒子構成。在光則不是這樣。光，雖既能看作類似微粒子，又能看作類似波動，然而決不能同時類似兩者。在我們假定它是具有微粒子底屬性適限度內，我們便從光剝奪波動底屬性了，反之亦如是。而在我們完全揭去人類底眼鏡時，那我們便發見光既非波動，亦非微粒子。

然而在另一方面，類推又是對的。我們既可從統計方面、又可從個別的方面來看海水。同樣，如統計地來看光，則它給波動底屬性許多展示；如個別地來看，則給微粒子許多展示。非常銳利的光可以當作由波動而來適東西論究，然而我們看出，有假定少量的光是由個別的微粒子構成的這一事實之必要。因為十九世紀底科學不論究這樣的少量，所以便以波動說而滿足；它可以把光當作連續的流處理。然而在二十世紀底科學看來，非常重要的光底少量，差不多與古昔

的微粒子說所假定了的一樣，比之鐵砲發射出過彈丸，更爲適當。在稍後之章中，我們要更充分地論究這點。

如果我們把光看做是微粒子構成的，那我們便可以說，我們之看見太陽，是因為太陽對我們發射彈丸。我們已經知道太陽底物質的構造是由原子而來，而這些原子則又是依次由陽電子與電子構成的。然而太陽所放射出過東西，既不是原子，也不是陽電子或電子；對於一切物質，有更進一步的構成要素，這我們呼之爲能（energy）。然而能又是甚麼呢？則我們一點也不知道。它是與物質結合而存在的，或者作爲不附着於物質過“自由”的能而存在的。能可以從物質底這一片移到其它一片，然而它也可以完全與物質游離，作爲自由的能通過空間，在此時我們便把它當作輻射記述。

光量子

假使我們把光看做由微粒子構成，則我們便非把這些微粒子看做是能所構成的不可。這些微粒子是自由地旅行過能、即輻射底小彈丸，把它叫做「光量子」。各個光量子都伴着一一定的數學的量子之長度底性質，這個量子對於光量子羣底所有的成員，具有同一的價時，便看出，作爲全體看過光量子羣，顯示由於從連續的波之頂點到頂點過距離之波動

所表示適屬性。爲了這個理由，這個量便通常記爲光量子底「波長」。如果我們一提及普通的輻射（Radio）波動，則這意義便顯然了。輻射波動，因爲具有特別的長波長，當然只不過是特徵化了適特殊種類的輻射。普通的運輸架空線大約每秒鐘送出 10^{32} 的光量子，各光量子大約有五百米的「波長」。只有這光量子底一小部分才落在遠方之受信架空線上面，然而就是這一小部分也是由可以當作連續的流處理適許多個別的光量子構成，這流是照五百米波長底波之連續那樣行動的。

如其它一切形態的能一樣，光量也具有惰性底屬性、即質量。因爲這個理由，它們對它們所衝擊適任何東西給以壓力，這兒，它也如鐵砲所發射出適彈丸那樣行動。一聯隊的兵士能夠爲充分強烈的光所掃射倒，恰似爲鐵砲發射出適彈丸之流掃射倒一樣。太陽每分鐘大約發射二億五千萬噸的能。如據微粒說，這是以一秒鐘十八萬六千哩的速力通過適巨大的密集小彈丸所構成的。這些東西中某些，便進入我們底眼簾，衝擊我們底網膜，把這些能傳達於我們底視神經，而把我們所叫做看見太陽這一感覺給與我們。電球中遊線差不多也發射與此同樣適光量子。只有在這場合，才是每一百萬年發射一盞斯底任何分之一適比率。這些中之某一

些直接進入我們底眼，衝擊網膜，於是我們便看見電燈底球線；其它落在我們底棹子上和椅子上的，便從這些東西反到我們底網膜。於是我們便說，我們在電燈之下看見了棹子和椅子了。因此視與嗅是相似的。不過通過這距離的，不是物質之小彈丸迺分子，而是能之小彈丸迺光子。

然而視覺底機構比嗅覺還複雜得多，而且給與更精細的知識。刺戟我們底嗅覺迺分子，在為其它的分所擊盪時，便通過之字形（zig-zag）底路徑，因而從一切方向達到我們底鼻；我們通常不能夠說，氣味是從某個方向來的，只能夠說，氣味浸透過空氣，或者頂好是說，從某個漠然的方向達到我們迺空氣中是充滿了氣味。光子之與分子迺差異是光子相互間不起交互作用；除了物質，任何東西都不能停止光子，或者使之由其通路曲折。這樣，光子成為直線，通過真空。而且我們知道光以極度的精密程度到達我們迺方向。恰如照像器底凹面透鏡照着那樣調整，把從同一方向而來迺一切光子投射於照像板底同一點上，而構造照像器以外迺世界之圖像一樣，眼底水晶體的凹面透鏡，照着那樣調整，到達同一的方向，因而也是從同一的對象而來迺一切光子落在網膜底同一點上。在這種方式之下，落在我們網膜上迺光，構成在某一瞬間刺戟我們底視覺迺一切

對象之一種形象。而且我們看到這些對象在相互關係底正當的順序上被排列。

我們同時嗅着數個對象時，我們所意識着的不過是香味之未經配合的混合；我們雖說到東洋底香味、或船底氣味，但不能列舉構成這些氣味迥個別的氣味。我們底味覺也與這一樣。我們與其嘗那只有庖丁才知道迥個別的成分，毋寧嘗全盤的盛饌。我們底耳對於我們，比這個更有幾分作用。在我們同時聽見許多聲音時，我們底耳便把這些合成的結果分解為種種音階底構成音調；照這樣子，我們能識別每一個別的人底聲音與個別的樂器，普通的耳能夠把同類底聲音集中，而排斥許多更高的音響，而訓練過迥音樂的耳則能把交響樂分解成其構成音階。但是我們底眼所構作迥分解機構，比起味覺與嗅覺來，顯然沒有多少效果。眼只能把光之到達迥方向報告給我們，把混合了迥光線分解成它們底構成色彩迥性能，它就沒有了。

恰如在我們聽來是深而且銳的聲音是存在的一樣，我們不能看見迥光量子也是存在的。某種光量子，其波長是非常之短，幾乎不能看見；我們底感官不能直接認識它們，然而它們在我們底皮膚上却引起痛楚燃燒。其它的光量子，其波長又是非常之長，也幾乎不能看見；其中有許多與其說顯

示光，毋寧說顯示熱。它們在我們底皮膚上所引起過衝擊，把太陽底暖與火底熱都告知我們了。於是我們知道了，我們底觸覺能夠知覺光量子，正如知覺物質底對象一樣。

外 界

因此我們底所有的五官，本質上都在同一的方式之下起作用；從外界來過可以衡量的某物——我們可以說其重量是如此如此過某物——接觸我們底感官。由於我們底皮膚與薄膜直接與砂糖底小粒子接觸，所以我們感着、味着，而且嗅着砂糖。空氣底微粒子，由於鐘而發生音律的運動，衝擊我們底鼓膜，這時我們便聽見鐘音。由於太陽射出過某種光量子衝擊我們底網膜，我們便看見太陽。由於衝擊我們底皮膚過某光量子，我們便感覺到太陽底熱。

因此，我們一般地可以說，由於與我們底器官接觸過外界底小的標本，我們便經驗着外界。外界由物質與能構成；這個外界底標本是由分子與光量子構成。

然而，並不是外界底所有的標本都刺戟我們底感官。我們底鼓膜充其量只在由發生於自然之中過音響之無限領域中得來過十個第八音（octave）所刺戟起的；差不多空氣振動底大部分對於鼓膜部不產生任何結果。我們底眼甚至是

更有取舍選擇的；如用光底波動說底語句來說，我們底眼，從幾乎發生於自然之中過無限數底第八音中，僅感受一第八音位。

因為我們不能經驗自然之全體，所以我們就不能希望對於自然之全體有所理解，這是常常主張的。具有與我們底感官非常差異過感官過動物，是存在的；蝙蝠與貓，其所聽過和看過東西，據說與我們所聽的和看的不同，又犬顯明地是嗅着不同的東西。世界在牠們看來，必然與在我們看來一定非常不同。同樣，若果我們底感官底感受性變成不同的階調，或者若果我們所秉賦的不是我們現在所具有過東西，而是不同的其它的器官，或者若我們現在與薄弱的外界通信過經路是更大更大地張開，那末這個世界在我們看來便似乎大相懸殊。要之，我們能夠根據這種議論，通過遮閉一切的光——除我們底感官所調節過色彩而外——過有色眼鏡，而窺探世界——完全能夠經驗日光過生物提供一非常不同的說明。

實驗室的資料

科學當然把質與量雙方都使我們底感官擴大過方式提供出來了。我們只能看見一個第八音的光，但是想像比我們

底眼能夠看的、大約深過三十第八音程過光之振動，便很容易。世界對於具有能夠觀看這些振動過眼過生物看來，是如何的不同呢，哲學在反省這事時，而科學則着手設計如此的眼過工作——即是普通無線的裝置（set）。我們也有研究遠非我們底眼所能看見過振動過手段。實際，擴大到六十三個第八音程以上過振動底領域，是可能檢視的。是已經探查過了——是不用器械過肉眼底範圍底六十三倍。就是這個界限也不是科學底手段底界限，而是自然提供出為我們看見過東西底界限。同樣，分光器補足我們底眼所缺乏過把光線分解成其構成色過力，更進一步，分光器能夠使我們以高度的正確程度測定光之各色底波長。

科學不管在質方面、在量方面，都同樣地擴大我們底其它的感官力，并延長其範圍。我們不能接觸太陽，以感覺其熱度之大小，但是熱電流發生器則以非常的正確程度給我們指示出太陽底溫度——無論怎樣，使我們更熟知太陽底實體，這是任何嗅覺與味覺所不能的。我們全然缺乏電氣的感官。然而電流計與驗電計則補足了這個缺點。

然而決沒有任何人主張，能夠假定我們可能具有過一切種類底感官，或主張科學把這一切代用物提供給我們。但我們能夠想像既不能看、聽、嗅、味、也不能觸，然而具備

了其它的感官那樣的有生命之物。即是能夠想像不僅具有我們所不知道、而且全然超出我們底想像之外過種類之其它感官適有生命之物。他們底世界與我們底世界全然相同嗎？

答復如下，物理科學所提供過探究底器械，展開現象之顯然地獨自保留的 (Self-Contained) 領域。我們可以正當地假定，可記為物理的宇宙適實在，是橫於現象之下的。這是否是實在之全體，尚是一須討論過事情。例如，某生物學者相信這個領域包含生物學底全領域；而其它的人們，則相信有從這個物理學底領域通到生命之新的全領域適連絡道路。再者，抱着純然物質論的見解過人們，則主張物理學的領域包括實在底全體；而信仰靈底世界之實在過人們，——詩人、藝術家、神祕家，——則一致相信物理學底領域外還有領域。

這後一類的人們，在其更不合理的瞬間，也許感覺到會那樣主張，說這世界是全然與物理學底世界不同過別一世界，在兩者之間沒有連絡的路道。因此，宇宙不是一個，而是許多個。然而這樣的論爭很難推出真正的反省。藝術家也可常常主張，他底創作比純物理學底創作是在“更高的水平面”上，然而他很難主張它們完全與物理界絕緣；他底想像

是怎樣依據他底肉體底健康狀態與他底物理的工具和器具底條件呢，比他更能知道過人，是沒有的。在感冒了、發生頭痛時，也如在沒有感冒時同樣寫着『歡樂之歌』過詩人，是沒有的吧。恰像把發財人升入天國是怎樣怎樣困難向我們說教過牧師，無論如何在同一說教中，必不告訴我們，世俗之富與天國是不同的世界，是與天國全不相連絡的。

暫時，我們只敘述物理學是有討論這些問題過能力的。如果物理學底領域與生命、乃至靈底領域之間過通路是連結的，則物理學應該即時發見這些通路，因為這些通路是由物理學底領域出發的過原故。在要求物理學者對於製造細胞外層、用「直接的語氣」談說、以非物質的手段去激動禱子、或引起其它物質的現象、這樣的心靈學底主張、加以探究時，那末結局決定這種被推定了過交通路是否是實在過問題，也要要求他們。

自然底研究

極簡單地把意欲理解外界底作用過人類之努力底歷史加以警視，而就結束本章，倒是很便利的。我們能夠區分那歷史之廣汎的三個時期，這些時期之性質可以用活物的、機械的、及數學的語詞暗示的。

活物的的時期，其特徵是由於假定自然之行程爲多少類似人類本身。活物底情感與幻想所支配一事之謬誤而來。在我們底幼兒能夠區分活物與死物之前，他是經過這兩者混同過階段。他之不能捉捕打轉的雲母石，一如他不能捉捕這個蒼蠅一樣，他以同一理由對付這件事情——雲母石也像蒼蠅，故意不要人家捉捕。他把指頭夾入門縫，而把這個痛苦歸之於門戶底惡作劇。因爲人格是他有最直接的且截近的經驗過概念，所以他開始便把一切東西人格化。

因爲個人底歷史不外人類底歷史底縮寫，所以人類在其幼兒期所做的，恰同於個人在其幼兒期在現在還在做的一個樣。有時他們把與他們自身同樣過意志賦與天然的無生物，有時他們假定它們是爲神、女神、樹精、惡魔等底感情所支配。海洋的暴風不是從大西洋向東方移動過低氣壓底結果，而是坡塞敦(Poseidon)與波里阿斯(Boreas)對他們底同胞神，伴演小學生的惡作劇過結果，或是他們對人類底事件加以干涉過結果。在孟勒勞(Menelaos)要殺天生來就具有強烈的反抗心過巴黎(Paris)、抓着他底頭盔而曳行時，腮上過皮帶(帽絆)便扯脫了——這并不是由於這皮帶底緊張力匹敵不過氣憤的丈夫底引曳之力，而是因爲阿弗洛第特(Aphrodite)她自己把皮帶解鬆了，因爲她要報答

以前以黃金底蘋果底形式戴與她之上過恩愛，所以她要這樣做（即是照荷馬(Homer)這樣說）。這種擬人的謬誤，如現在尚行於原始人中的一樣，除非到了科學的知識克服了它時，還是普遍流行於人類之自然觀全體的。如此的自然觀是未加反省的，而且差不多是本能的。這，一部分是由把人間自身底人格投影於自然之上而生出的，生出自然與人類底混同，又一部分則是由於幼時的觀念之單純的固定化而生出的。

其次在伊阿里亞(Ianian)族底希臘，在耶蘇前六世紀，人類底智慧開始有意識地使其自身適用於自然之研究。對增大自然之事實的知識，感不到多大慾望，所以希臘底科學主要是由漠然的問答與思考而來，這些問答與思考，是關於事物如何不成爲其它的事物、反而成爲如此的事物而存在過理由。

科學之由宇宙論轉到力學，由思考轉到實驗，是加里雷(Galileo)底時代以後過事。刺戟無生物過最單純的方法，是用筋肉底努力推之引之。在人類只能經驗着與其自己底身體底大小相匹敵過對象物越時間，人類便發見了，恰如我們因我們底筋肉底作用加力於自然物之上一樣，自然物底構成片斷相互給與推力和引力，而就照這樣行動。在這種方式

之下力學便到達存在了。假定物質底片斷相互使「力」發生作用，而這些力便是成爲問題物體之運動底原因，或者不是這樣，寧是這些運動底變化。一切對象底行動都是全然地或完全地爲制服它過推力與引力所決定；這兒老早就沒有神與惡魔干涉之餘地了。口邊底絆帶，只要加作用於其上過力超過其緊張力時，便破斷了；給與阿弗第底特過幾個黃金的蘋果，遲早都不能使這絆帶破斷。晴雨表上所表示過氣壓等差，只要一超過一定的強度時，風便烈了，海便荒了——如是等等。物體底運動恰在被其它物體所推所引過時候；除此以外，與一切無關。

科學，關於能夠感觸的那樣大的物體，樹立了這些法則，而假定這些法則支配自然底全體。如此，在牛頓（一六八七年）以力學的概念說明彗星之運行時，他表示那樣的意旨，以爲自然之全體在某個時間可以用同樣的方式說明。三年之後，惠更斯(Huygens)用如次的語句敘述可以指導物理學過原理——這在其後兩世紀間、如我們也知道的，是一種錯誤——。（註三）

“在真的哲學上，一切自然現象底原因都用力學底語句去認識。在我底意思，我們非如此不可，如果不然，

（註三）『光學論』(Leyden, 1690), 第一章。

則我們便必須完全拋棄理解物理學過一切希望”。

與關於自然之作用過這一見解密接地關聯的，是名爲「自然底同一性」過原理。這個主張是說，在同一的實驗，在全然同一的條件之下，對於全然同一的對象施行幾次時，其結果往往必然同一。被觀察過物體，在各種的機會上，服從同一的推力與引力，因而在同一的方式之下行動，這自然是該原理之單純的說明。科學對此同一性不承認有何等例外。在說明其被破壞過場合，依據判斷者底情形與心理狀態，而或則斷定爲奇蹟，或則斷定爲欺瞞，或則斷定爲自欺。因爲觀察與日常經驗似乎確實地建立了這個原理，所以，正由於這個理由，科學者完全確信，關於那事過他們底單純的力學的說明，是一真實的說明——物體之運動，恰似它們爲其它的物體所推或引那樣——。

因果律、決定論及自由意志

這種自然觀，馬上可以看出是具有更遠大的含義、而且惹起更廣大的問題。在一物體推動或牽引其它一物體時，在那一瞬間所施過條件，決定其推力與引力底強度。這種推力與引力底強度、而且只有這種強度，決定對於被作用過物體所繼續引起過運動，而這運動又決定在次一瞬間所行過條

件，如此等等，這是科學在現在所發見了的。如是，前一時的條件決定次一時的條件，而這些條件又決定其次的時間底條件，照這樣以至於無限。宇宙似乎是單純的機械，其發條一如機械之舒捲，其運命一如機械那樣進行。其全體的未來，無論那一瞬間都內在於其狀態內，恰與這狀態之必然內在於其創造時之狀態一樣。

自然這是假定外來的干涉，例如有生命過物底意志力之干涉等等，是沒有的，然而所謂意志力就是具有干涉，像這一語句是可理解的嗎？若果自然之被封鎖了過體系沒有打開有男神或女神所活動過餘地，那末那好像是殘留得有動物與人類底同樣活動過餘地嗎？腦是身體底一部分，而且與之連續，這是生理學者告訴我們的，就不依據反省力，腦底原子也指導我們身體底運動。如根據機械的自然觀，這些原子便必然完全照着它們之被推與被引那樣的情形運動——如自動車底原子那樣。屠夫殺小羊，而在現在，指導這種動物之跳躍過腦立刻成爲機械的物質了——羊底腦用秤來量，用磅來賣。不損及一個原子，不加增一個原子，這個變型都得完成。爲甚麼作用於腦原子之上過推力與引力底性質，恰在心離去肉體過一瞬間而起突然的變化呢？

這些原子從心理的來源一如從物質的來源一樣，經驗

着推力與引力，這是明白暗示了的——即是，簡單說來，我們底意志力刺戟我們腦底原子，通過這些原子，而刺戟我們身體底原子。腦筋簡單過人，在考察與此相異過說明時，一點也不躊躇，便承認這個說明了。他全然確信，因為他底心在某種範圍內有指導其身體過自由，所以他能夠保留他底指命，能夠任他底意欲在投票紙上寫下一個X。在他吹口哨呼他底犬時，他底犬不來，所以他打他底犬；因為偽造者底手指在一張支票底下面書寫他人底名字，所以便把這偽造者送入監牢。所有這一切給他提供了一個計劃，這計劃不但與其慣例一致，而且與其道德之感也一致過不相矛盾。

對此計劃過挑戰，第一不是從科學來，而是從哲學來的。這種挑戰由笛卡兒（Descartes 1596—1650）開其端。他底哲學全然把心與物看作獨立的「實體」。即是，這一種都是與其它一種分離，而其本身底權利得以存在，以為兩者是由不能相互發生交互作用這一本質上就是不同過性質而來的——例如，一方存在於空間之中，而它方則存在於空間之外。從而，他以為心與物（就這樣說好了）在全然不相交涉過個別地構成過併行路線之上運動，然而兩者如電影照像機底攝片與其「關音片」之相伴隨一樣，同時發生，因此適當的心理的思念、氣分與情緒，往往恰在適合原子之有效的排

列、以及與之關聯過事件過時候發生。

兒童在第一次看見有聲影片時，就一定以為這些話句是由眼前發生過事件中產生過自然底結果；如果說似乎自然而然地適合這事件過話句，在很久之前就是有計畫地嵌進去的，這很難使小孩子相信。所以在我們底思想與外界底原子底情形，也與此一樣；兩者不僅似乎一致相合而已，而且似乎從它一方發生出這一方樣。然而笛卡兒則恰如在後代過萊普尼茨（Leibnitz）在別一方式之下所作的一個樣，主張在創造底第一期，至上的仁慈的神，非常神奇地調整了身體底偶然事變與心底偶然事變之間完全而繼續的預定的同時發生（synchronisation）。信仰實際不能使山移動，因為信仰沒有重量，而山則是非常之重的；但是善的神則讓我們假定那是能夠吧。

笛卡兒從而把身體比之為一種反射機能所載動過「一部地上的機械」。

“在我們王宮底庭園中過洞穴與泉水之下，諸君可以看見，從水源發出時，水底奔放力本身便充分足以使各種機械運動，又依着搬運水過水管之各種各樣的裝置，而充分足以使各種器械跳動或者發生聲音。我們可以把這些泉水底機構之水管比之我們現在所敘述過機

械底神經，把筋肉與髓比之使這部機械運動過其它的引槳與發條，把從心臟發出過、而且把腦底腔竇作為貯水池過空氣，比之為使這些機械運動過水。不僅如此，而且對機械是自然的、是通常的過呼吸，以及與此類似過動作，是依存於精神之流的，類似普通水流之繼續運動過水時計與水車底運行。外界底對象，由於它們之出現而在這機械底器官之上發生作用，由之依照腦底部分底配合，在各種方式之下運動而那樣決定它，這外界底對象好像是進入洞穴中之一過外國人樣，他們自身便是他們所目擊過運動底不識不知的原因。因為在進入時，他們是踏着某塊石磚、或踏在盤上，而這些磚或盤是如次裝置的，即是，如果他們接近正在沐浴過女神第阿娜（Diana），那他們便惹動了第阿娜，她便逃隱於玫瑰花底叢林中；若果他們又去追趕她，那海神（Neptune）便向他們趕來，用他底三叉槍威駭他們。或者，若果他們向其它的方向通過，那海中的怪物便飛在前方來噴他們滿臉的水。其它類似於此者，便照着建造它們過機械師底意思而行”。

他更進一步，而且完全無定見地把心比之為在監視塔中過機械師。那機械師因操縱着水栓，便能用極少的力量，

使水路從一個水管通到它一水管。而笛卡兒在推斷我們底身體之全機構是為「血氣」(Animal Spirit)所作用時，他就很危險地走到他自己底哲學之崩覆底境地了。即是，那個血氣，根據他說，似乎是「非常靈妙的空氣」，它們有到達非物質適點之非常顯著的靈妙性。稍後更有許多科學的學者這樣敘述，即是即使就在全然機械的世界上，以太之大多量，因能之最少量的消費，例如運動鐵道底轉轍點、或扭轉一個電氣的開關器，就可以使其進路轉變。

這些以及其它許多精巧的構想，是由於為避免機械論的自然觀之錯綜迺自然的願望產生的。只要他底科學似乎告訴他，說他底直觀的信仰是錯誤的，基於這些信仰迺他底行為是不合理的，則就是科學者自身也不得不感覺到，他底研究是與實在絕緣，不得不感覺到，這只牽慮到與他底日常生活沒有關係迺實在之小部分。布拉德萊 (Bradley) 在一八九九年用如次的語句綜合了這種思潮之感。(註四)

“在普通人看來，自然不是物理學者底自然；就是物理學者自身，在他底科學以外還是習慣地把這世界看作他決不相信在科學能夠這樣看迺東西”。

降至一九二六年，我們還看出懷特海如次寫着：(註五)

(註四) 『現象與實在』，二六二頁。

“西洋底民族大規模地表示着一般認為特別是中國人底特徵那樣的特性。中國人能有兩個宗教，即是在某時信奉儒教，在另一時候又信奉佛教。上面的話常常惹起人家底驚異。這，對於中國人是否合乎事實，我不得而知。又，如果是真的，則這兩種態度實際是不是一貫，我亦不得而知。但是無疑義地，類似這樣的事實在西洋却是真的，而為這所包含着迥兩種態度則是不一貫的。基於機械觀迥科學的實在論，是與人類及高等動物底世界是由成為自己決定迥有機體所構成迥不動信仰連結的。橫於近代思想底基礎之下迥根本的矛盾，是我們底文明之不徹底性及動搖底主要的原因。說那就混亂了思想，未免太過火了。可是，為了隱於其圍幔之後迥矛盾，它使思想薄弱化了。結局，中世紀底人們是追求過現在我們幾乎忘記其存在迥非常卓越的東西的。他們把到達悟性底調和迥理想置於其自身之前。然而我們是以從種種雜多的任意的出發點而來迥淺薄的整理(ordering)而滿足的。舉例說，由歐洲人底個人主義產生迥企業，豫想物理學的作用為終局原因所指導。但是，在這些企業之發展上所使用迥科學，是基於那樣

的哲學上面的，那哲學主張物理的因果律是至上的東西，那哲學是使物理的原因與終局目的分離了。在這兒所包含絕對的矛盾，要詳論它，不是一會容易的事。不管你們怎樣有言辭來辨解它，這都是事實”。

顯然地，包含着這樣的意義，而且惹起如此的結果。科學，是要要求新的基礎的，即是要求調和實驗室或教科書上與自然與日常經驗底自然基礎。幸而這在較近獲得了如此的新的基礎。

新物理學

通過科學底機械的時代，科學者都在與兒童及無反省思維的野蠻人同樣一般的傾向上進行。他們通過他們底感官而從記錄了印象，建造一個由推斷而來對對象底世界；然而他們相信那推斷的世界是真實的世界，相信那個世界受其日常經驗中所引起同一種類底事件底影響。他們把這稱之為“常識的”科學觀，把科學定義為“組織過的常識”。用日常生活之所習知概念底語句所不能說明的這種科學的原理，可以說是反乎任何種常識的，除了以從普通人或從科學者而來冷淡的而且不表同情的態度所承認而外，別無希望。其次，實驗技術之精鍊獲得新的觀察的知識，

這知識指示出，自然底作用不能用日常生活之所習知過概念底語句去說明。發見了新的和未知的概念之必要；常識的科學底時代已經過去了。

如果科學還是繼續追跡其舊的方式，那它就會企圖用具體的形像把這些新的概念描寫出來。某些科學者，實際上隨地導入許多小的變化，企圖修正從前底自然觀，因而能夠迎合對科學過新的要求。但是他們是正在打算，想把新酒裝入舊瓶；他們底努力是徒勞無功的，而科學思想底主潮，則是循着一極不相同的道路。因為主要地在潘加萊（Poincaré）、愛斯坦（Einstein）與海森堡（Heisenberg）底指導之下，科學達到了那樣的認識，即其第一義的、而且差不多是其唯一真實的、研究之對象是外界發生於我們心中過感覺之認識，這恰已是時候了。在我們能研究客觀的自然之前，我們非研究自然與我們自身間過關係不可，這是科學所承認了的。這種方策不是有目的的採用或選擇的採用，而寧肯說是以消耗底方式採用。即是，不採用它過那些人只是被拋棄在後面，而知識之炬火則為採用它過人載着前進。

這新的前進線引導我們到達老早已不與我們底直觀和日常生活底經驗起正面衝突過科學了。科學者也再無需乎感覺得他底實驗室底門戶把他底生活分成兩個部分——以

防水隔壁隔開過兩部分——了，即是作為科學者過生活與作為人間過生活。特別說來，機械論與其交錯關連，都從科學底方式之中脫離。物體如在足球比賽時表演者那樣相互推托過那種機械的宇宙，證明起來，與男神及女神推動物體使之滿足他們自己底狂妄和幻想過古昔底活物論之宇宙，是同樣地迷妄。人類已經脫離了以自然底作用比之人類自身之幻想及狂妄底作用過想像擬人法的謬誤了，可是又顛落於假定能夠把自然底作用比之人類自身之筋肉與腱底作用過第二擬人法的謬誤，我們現在才悟會到了。自然不能模倣我們底身體底筋肉與腱而起作用，同它不能模倣我們底心理底情慾與幻念而起作用一樣。

決定論是否也從自然追放出來，倒還是一應討論的問題。稍後我們便可知道，對這疑問過答覆，不僅只是一簡單的“是”或“否”而已，而是更形複雜的。大概我們由於適當地下決定論與自然底定義，而能得出一真實的答覆。但是到最近似乎不得採用決定論過特殊的原因已經過去了——這沒有懷疑的餘地的。

如果我們把關於自然之機械觀、才開始用完全的論理的形態表示過牛頓底『原理』(Principia)底初端，與表示現在存在的新的量子論之最完全的解說過第拉克(Dirac)底

『量子力學』底初端，一相較時，就會知道新舊兩者科學間之非常顯明的根本的對照。

牛頓一六八七年如次寫過：——

“任何物體，除非加於其上適力強使它改變其狀態外，便繼續其靜止底狀態，或繼續一直線上同樣的運動狀態。運動底變化常與加於其上適動力成正比……”。

而第拉克在一九三〇年如此寫着：——

“關於在一定的的方式之下準備了適、照這樣在一定狀態之下適原子體系作過觀察時，則其結果一般是沒有確定性的。即是說，若果在同一條件之下，實驗反復到幾次，則各種不同的結果便獲得了。若果實驗反覆底次數非常多，則發見每一特殊的結果都可以獲得其度數之總數底一定分數。所以可以這樣說，關於實驗之施行適每一度所得出適特殊的結果，都有一定的蓋然性”。

第二章 科學底諸方式

把科學叫做組織過的常識這一定義之不完備，我們既已敘述了。我們也許應該把它定義為組織過逝知識吧。不管任何科學，其發達之第一階段必然地非是事實之蒐集不可，照上面的定義這就會明白了。事實是特殊的，又是普遍的。某些科學，如植物學和病理學，把最初對一般的方式似乎構成例外過那種異常的例外之事件底記錄，依然看得非常重要。在更正確地而且更顯著地發達了逝科學，例如物理學與天文學，應記錄的例外事件一點也沒有。這兒自然似乎為不變的法則所支配。科學底目的即在發見這些法則，解釋這些法則。

科學的綜合

在事實之充分的數量在科學底任何特殊部門內蒐集了過時候，其次一步便是用一般的原理完全檢討它們，並且包括它們。這個原理容許日常所習知過概念底話句說明，或不容許用日常所習知過概念底話句去說明。爲了達到究極的滿足，如此的一般的原理或說明，不僅必須包括一切既知之事實，而且不得不包括留在今後尙待發見過一切事實。從而，它是最初以假說底形態表示出來的。科學者實際這樣說——“觀察指示如次的事實是真實的；我發見關於這些事實底起源過某假說是完全與這些事實一致”。他，以及其同輩，現在因爲要獲得關於起根發源的事實之更正確更廣泛的資料，便從事工作，或者全然可以發見新的事實。這個假說，如舊的事實爲提供了過一般的原理或說明所包括一樣，視能否包括延長了過新的事實，因而可否試驗。二個個別的而又相衝突的假說存在於一個領域時，要在兩者之間行一分判，那是能夠舉行一個實驗之判決（*experimentum crucis*）的。卽是，假定如果A這一假說是真，那X現象便會發生，若果B是真，則X現象不會發生，這是指示了的。那末我們就舉行一個實驗，作一個觀察，看X現象是否發生，因此便能判

決這兩個假說。

對自然迥質問

如此的實驗，同其它一切實驗一樣，實際成爲對自然所發迥質問。這質問決不能是，——“假說A是真的嗎？”，而是，“假說A是可以主張的嗎？”。自然，把與我們底假說不一致迥現象指示給我們，又把與我們底假說不相矛盾迥現象指示給我們，因而便答覆了我們底質問。自然決不能把證明我們底假說迥現象告訴我們；一個現象雖然充分足以反證一個假說，然而雖有百萬萬倍的現象，在證明其假說時都不充分。因這理由，科學者除了觀察底直接的事實外，不能主張對於任何東西都具有知識。除此之外，他只能根據假說向前進行，而每一假說比任何前行的假說都包括更多的現象；但是每一假說，在一適當的途程上，又被別一假說所代替。嚴格說來，以確實性代替假說迥時候尙未到來。

我們剛剛考察過對自然之質問迥過程之最簡單的可能的實例。要構造一個只許答以“然”與“否”迥質問，往往不可能。在實驗者爲他自己底假想產生出迥假說所欺騙，而欲獲得無意義的質問之解答時，更困難的問題便發生了。如果他底實驗苟可以支持，則它非給與某種答覆不可；然而這個解

答，當其發生時，恰與原來的問題似乎對自然是無意義的一樣，好像對質問者也無意義。

例如，我們假定提供完全的科學的器械、但僅具有極少的科學底智能或科學的知識遊人種吧。他們看見天上遊虹，他們就想發見那虹底距離有多遠。以爲虹恰似舞臺上遊一片景幕，他們指示探查隊發見他們底厚紙上虹底距離。用完全的器械所作遊觀測給與正確而明晰的答覆——其距離是負93,000,000哩。官憲因他們底探查隊之無能而把他們斬首，如果不然，便對他們底觀測方法不信用，而大聲嗷罵，——“假定距離都能成爲負數，這是非常荒謬的，因爲虹底脚顯然插在我們以及那個方向底山之間，說有九千三百哩無論如何是無稽的”。但是，不這樣，使他們把對自然遊問題底形態改變一吓，而以“我們在虹上面所看見遊光底來源在我們前方有多少遠呢？”這種說法來表示好了。那末負九千三百萬哩底答覆，便充分有意義了。原先的負數現在告訴他們，光底來源完全不是橫於他們底前方，而是在他們底背後，因爲其距離是九千三百萬哩，所以他們立刻能夠把它看作與太陽同一。發一個有意義的質問，比獲得一匪無意義的質問底答覆，往往困難得多。如果最初發的質問便不正當，那要正當解釋這個答覆，便有出乎意想遊困難。

爲要避免一般的議論之暗晦及迷離，那我們便立即舉出兩個特別的例證來，這兩個例證主要在下面一章底論述中表示出來。

天文學與相對性原理

希臘人與埃及人把關係於橫跨太陽、月、行星底天空迥外觀上迥運動迥事實之大的陳列都收集了。約在紀元一五〇年時，亞力山大底托勒密 (Ptolemy)，根據一個假說，意欲包攝所有這一切。他與沙摩斯 (Samos) 底亞里士塔朱斯 (Aristarchus) 和畢達果拉派底人們之古昔的見解不同，他以為地球構成全宇宙體系之固定的中心，而太陽、月、行星則在其周圍公轉，即是，以為太陽與月成一個圓周公轉，而行星則成環轉圓與周轉圓之複雜的體系公轉。對於試驗這個假說迥新的事實，沒有何等貢獻。然而，紀元一五四三年，哥白尼 (Copernicus) 則提供一個別的假說，這假說似乎以更簡單的方式說明這同一的事實；他假定太陽 (不是地球) 是太陽系底中心，假定地球、月、行星是在其周圍畫圓，行星之運行，在周圍依然有某種程度的複雜。

這兩個假說都出現於戰場了，哥白尼爲要在兩者之間作一判決，便舉行一個“實驗的裁判”。如果托勒密底假說是

正確的，則金星便決不能以小於半圓遮光現示出來。反之，若果金星在太陽周圍迴繞，從地球上，它底外觀則應呈現如月那樣適盈虧，其變化則應從滿圓到缺圓，如新月那樣的薄。一九〇九年新發明的望遠鏡，對自然遮質問供給判決這個假說遮手段。加里列一發見金星現示為薄的殘缺型的光時，他便知道托勒密底假說是不可靠的。

自然，這并不就確證了哥白尼底假說就是真理。實際上，新的更正確的事實才開始收集，便對此發生了疑問。特別是開卜勒(Keppler)，稍稍詳細研究火星底運行，便發見這與哥白尼底假說不合。這使他提供了一個新的假說，即是行星並沒有成環轉圓與周轉圓在太陽周圍運行，而是成為把太陽作為共通的焦點遮橢圓形上運行。一時這個假說適合於天文學上所周知遮一切事實。

半世紀後，牛頓企圖以更廣大的假說底被單，包括這些事實與其它的事實。他假定，宇宙內一切物體以一個力、即引力，吸引一切其它的物體。這個引力照二物體間距離底平方之反比例變化，假定這些引力強制行星運行，所以行星才運行。他指示，這個假說說明行星之橢圓形的軌道，也說明其它的事實與現象底巨大的範圍——即是說明月繞着地球周圍運行、蘋果向地面落下、棒球飛時畫着拋物線底彈道、

以及潮水之退和漲。最後，它發見彗星運行底說明。至今作爲神底不愉快的表象、或作爲惡底前兆而令人生懼過這些可怖的和神祕的出現，在現在現示着不過與指導有行星底秩序過運行過力全然相同過力所驅使、而在太陽底周圍描畫軌道過無自動力過物質之單純的片斷。

新的資料繼續收集，而這一切資料都適合於牛頓底學說，結果在十九世紀中葉，天文學者勒未累(Leverrier)發見水星運行之差異。牛頓底假說要求行星繼續反覆其太陽周圍底軌道。那必然一再描畫同一的橢形——如兒童底機關車過着同一軌道前行一樣。勒未累發見水星便不是這樣的，他發見水星每三百萬年一次描畫在空間本身打着一個迴轉過橢圓形。那似乎是玩具的機關車走過軌道、其本身便是載在一迴轉着過桌子之上、而這桌子徐徐地在空間自轉而機關車則急速地繞着其軌道進行一樣。

在適當的時候到來了，愛斯坦提供出別一新的假說，即是相對性原理。這個原理不僅說明牛頓底引力說在以前說明了過一切現象，而且給與水星之運行以正確的說明，并說明了大多數其它科學的事實。在愛斯坦底新說與牛頓底舊說之間，舉行一個提供判決的試驗之實驗與觀測，是可能的。而在一切場合，自然排除後者，對新說底一方，給與勝利

的判決。其它的決定的實驗設計，把當時流行的物理學底原理與愛斯坦底新原理加以比較。舉例說，把作為通行於全宇宙以太中之波盪光底傳播、以及電磁力通過如此的以太、作為壓力與電壓而被輸送、那樣的學說，加以比較。再者，自然在一切場合，便佔在相對性原理一邊，而舉行判決。在今日愛斯坦底原理提供自然現象之巨大的範圍底說明，關於自然之任一事實，與此相矛盾的都沒有發見。

科學底一般的目的向着這個原理前進，而且結果完成這個原理。我們決不能說，任何原理都是究極的，或與絕對真理一致。因為每一新的事實之發見，便不得不拋棄那一原理。雖然看來似乎這不是如是，但尚未發見之事實，在適當的時候，不得不使我們拋棄相對性原理。然而，即使這事發生了，建造這原理所費去過時間還是不是浪費；它提供我們到達更廣大的原理、即關於自然現象之更能適合的原理盪階石。普通人，以為科學這東西永久地改變其心盪東西，是躊躇的，在其途程上迴轉，推翻它以前的意見。科學者以為科學重複學說底連續（每一學說比取它而代之盪先行的學說包括更多的現象），結果以到達包容一切的現象盪單一的學說為目標，而不斷地進步。若果新的學說成功了，那學說便把他能夠表示外界一切現象盪外界之假說的設計給與我

們。而這個設計是不容許其它一設計的。

原子物理學與量子說

在討論這種科學底假說底宇宙之設計底意義與價值以前，我們且舉科學的進步底第二實例吧。這個實例此次是從物理學而來的。

在氫氣瓦斯底某量高漲到白熱時，——或在熱烈的星底大氣中，或在在地球上實驗室內被荷電時——則它所放射出過光量子，證明出有許多種類，能夠為許多不同的和顯然的波長所明細地區分。分光器依它們底波長而類擇光量子，雖然如馬鈴薯篩(potato-sieve)依馬鈴薯底大小而類擇出馬鈴薯那樣，然而具有比那更不可比較的正確。氫氣底光量子之波長，能夠測定到約十萬分之一——的正確。

每一個光量子都是由於相信是一個氫原子、即一個陽電子所構成過氫原子而來的，這是有可以推想過理由的。要知道如此的單純的構造如何至少能放射光量子，這很早就是一個難題了。相信電子與陽電子只是依據自乘之反比例過法則相互吸引過單純電化了過粒子。在這場合，電氣作用之一般的學說指示出，電子在質量更多過陽電子底周圍描着橢圓形——恰如行星在太陽周圍迴繞一樣——，照這

樣迴繞時，電子便放射出連續的輻射之流。從而，輻射底放射是漸次的而非由於完全的光量子而來的，這樣的第一的反對論已經有了。能底漸次的放射是在原子底容積上惹起漸次的收縮，因此同觀察是不同的，不管在原子底容積上，不管在它所放射適光量子底性質上，都不能有的確性，這樣更進一步的反對論也是有的。

在一九一三年，科彭哈根(Copenhagen)底波耳(Bor)博士，提倡一個假說，似乎一時要處理所有這些困難樣。他假定氫原子在許多不同的、然而判然的狀態中能夠存在，許多星球底能與其每一狀態結合。在這些狀態間，雖不能有漸次的移轉，然而原子却有時能從這一狀態向另一狀態不斷地飛躍，正在如是飛躍時，它在完全的光量子之形態上放射出能。

幾年以後，佛蘭克(Frank)與赫茨(Hertz)獲得如此相異的諸狀態之實際存在適直接的實證的證明。電子與原子衝突時，後者可以從電子取得某種多量的能，或一點也不能取得，這是他們所發見了的。因為它們就是少量的能也決不能取得，所以能底連續的漸次放射自然不能存在。這些衝突如商業之交易一樣，貨幣雖每次換手，但往往還是完全的貨幣，因此各個人往往在他自己底荷包裏有某種數量的完全

貨幣。貨幣底斷片與分數決不成爲問題。與那些種種狀態關聯適能底量，見出完全是波耳底假說所要求的。

此假說在論理上雖決不堅實，但是在當時所知道適事實上，則似乎完全適合。其後，光量子底波長之更加精密的測定獲得了，但這測定底結果沒有到達完全與上面假說底豫言底結果一致。假說底豫言雖與平常狀態中氫原子之結果一致，但對於將此原子置於一個強力的磁石底兩極間之結果，則不適中。它就是對於次於氫氣之有最單純的構造適常態的氫原子，也不適合。

最近，構成所謂「新量子說」適一個新的假說出現了，這只簡單的一擊，便掃去了具有論理的困難之一切測觀上適齟齬。這新理論，從形式上看，全然是數學的，只處理可測的量及其各種關係，但是它容許若干物理學的解釋。這些解釋中最著名的一般呼爲「波動力學」，根據這種力學底假定，電子與陽電子，不是從自來所想像那樣的堅固的物質所構成適單純的粒子，而是大體與光量子同樣，具有許多波動底性質。

這新的假說與波耳底舊假說不同，對於原子，附與同電子及陽電子之違反自乘底吸引一點也沒有矛盾適特性。那些特性代替了矛盾而追加於它之上。但是此新假說之偉大

的功績是其豫言的確地與一切觀察底結果一致。在可能比較適場合，不一致的尙未發見過一次。即使只考慮氫氣光線底場合，就說，從那發射出適二十種光量子能測定其波長到達十萬分之一，就說在所有場合，測定底結果與新量子說所豫言適值有十萬分之一以內適一致，也差不多是未見真實之言。現在若果這是與真理無關係適臆斷的假說，那就只能把那波長能豫言到一萬分之一底真確，也不得不謂之爲可驚的幸運。其適遇大約是十萬（ 10^5 ）對一。對於二十個波長適同樣的適遇是 10^{100} 對一。如波長沒有相互間適內的關聯，那至少也是如上的計算。但是實際上若干內的關聯是存在的，理論所要求適波長與實驗所觀測適波長都形成規則的系列。這樣的情形，使上面表示過適適遇的比例大大地減少。但是，即使如是，在它們，對於理論與實際之偶然的符號還是非常之大——不能想像適那種幾億萬對一適比例是存在的。

新量子說遠超過氫氣分光景底說明，乃至各種分光景底說明，這是必須提說的。它對於自來不能說明適物理學各部門底大多數的現象，給以說明；而另一方，就是觀察過適事實中之一簡單的事實，也沒有與這理論不合的，這兒我們更親眼看到，科學向着那樣假說、即將一切既知的事實以完

全的精確度統轄着適一個假說、進行——如果真地說來，則科學在以前尚未到達過如此的目的。

實在底探究

就假定兩個或兩個以上適假說能夠有效地說明現象底全領域吧。這不是一片空想；在科學底某狹隘部門——例如電磁場底方程式——，這樣的狀態在現在是存在的。科學者便抱着兩個個別的，而且盡可能地不一致的假說，而就滿足了嗎，或者他是要努力發見兩個之中何者是更接近於外界底實在嗎？

要答覆這個，當然主要地是以我們承認何者為科學之究極的目的而定。一團科學者孜孜奮勉，爲了打破舊的假說，而埋頭研究，欲發見新的事實；在另一面，別的一團則更繼續着努力的生活，建設新的假說。然而使他們如此勤勉努力的是甚麼呢？新的假說不又爲更新的觀測的事實所破壞了嗎？到現在，科學成立之理由對我們底議論底進行沒有關係。

科學底價值之一部分當然是功利的。科學使我們底生活豐富，並且告訴我們，要如何才更生活得愉快、更生活得幸福——總之，科學減少我們底苦痛，增進我們底快樂。剛

生下地遊赤子努力使自己適應於人生之堅硬的事實，這是科學底第一階段，功利的性質是基本科學底顯然的延長。

科學底價值之一部分是思想的。看見自然現象之千奇萬變的姿容，而不冥想它們有若何內的關聯適人，可以說是再愚蠢不過了。近代的頭腦，離開一切實際的利用價值底問題，在綜合其所觀察諸現象、打算在暫時的法則之下結合外界底事件這點上，感着強烈的誘惑。這樣的情形引起嘉爾·皮耳生(Karl Pearson)說明科學底機能，并說這機能是“事實之分類、事實底連續關係與相對的意味之承認”。愛斯坦具着同樣的精神而寫着：“一切科學底目的就是整理我們底經驗，把我們底經驗構成一個論理的體系”。這種關係於科學底目的適見解，可以採取非常極端的形式，例如第拉克說道，“理論物理學底唯一目的是計算能夠與實驗比較適結果”，換言之，科學底目的是在於滿足思索的好奇心，因為，如果不然，則直接從實驗而獲得被要求的知識便更簡單了。

這等見解把科學看做專係於自然現象適東西。現象所由來適基礎的實在全然不成問題。實際上許多人特別主張現象與其法則構成科學底全領域——簡單言之，科學是研究甚麼東西要發生，而不是研究有甚麼東西。如據這些人底

主張，則在科學把一切現象歸併於包含單一的一切適假說中時，科學便早已走完了它底路程，它應該作適事情另外一點也未留上。若果兩個或兩個以上適這樣的假說正流使用，則這又對又不對；其中任一個都滿足一切的要求，從感覺底牢獄中逃出來，發見那一假說與外界更密切地一致，這是可能的。若果我們有一簡單的形像，而這形像完全表現出一切的現象，則連研究它是否是表現實在這樣的方法，都決對沒有。

照這樣的種種考察底方法，最如實地指示出，我們人們對於實在沒有具何等確定的知識。他們就對於蓋然性的知識之問題，也尚未觸其邊際。

舉例說，我們發出一個問題，“我們能夠知道新量子說指示出氫氣分光景之根本的起原麼？”“否，關於外界我們甚麼也不能知道，”上面引用過的議論對此就這樣回答。對於不希望更進一步研究適人，這是一非常滿意的答覆。科學便補足上面的答覆，說道，“否，我們對於外界確實一點也不知道。頂多我們也只能對於蓋然性有所討論而已”。雖然，新量子說底豫言是最能與氫氣底觀測過適分光景一致，這理論在與實在之對應上所顯示適優差 (odd) 是絕大的。實際，我們差不多可以斷言，這理論是量地真實的。即是說，不管在

任何情形之下，如不破壞理論與觀察底數字的一致，那在不能變更適各種特性之上，對實在是不忠實的。

蓋然性在如此接近真實適場合，對於日常生活，就承認是真實，也不發生妨害。它比法律學者所說的，“便於把一個人送上斷頭臺”那種蓋然性來，更加優越。實際如拿普拉斯（Laplace）提及某其它的科學的問題而敘述過的那樣，它比歷史上證據最確鑿適件事之蓋然性更優越些。女王安娜（Anne）已經死了，我們已習慣了把這作為一個不可爭辯的事實而承認之。形而上學的議論說，我們是繫在我們底監獄（感覺）以內的，監獄以外適任何東西，我們都不能具有一定的知識，原因是我們不能踏出監牢以外去看，照這樣，自然就證明出，我們確實不能知道這個。這樣的議論使我們從我們所希望適場所更向着遼遠的方向進行。因此，知道女王安娜曾經生活過這事，證明起來是不可能。但是若果我們假定她曾經生活過，那末對於她之死，要用先前所舉適 10^{100} 對一適優差來表示，終歸是不可能的。於是我們就可以主張，假定討論氫氣分光景底起原適議論是真的一事，比起假定女王安娜是死了這一事來，在其數的特質上，有更大的正當性。

這特殊的議論僅僅表示出，我們只獲得數的特性之知

識——即是說，所謂數的特性之知識，是不破壞與觀測之數的一致、而又不能變更適要素。從別一方面建立議論當然也可以推想的。如果這樣，則在實在中適要素就得以知道，至少能夠知道得一個高度的蓋然性。

然而獲得究極的實在之知識適可能性，顯然受着某種觀察的限制，而那觀察是前面早已敘述過的。除非我們能夠把知識向着與我們同樣都具有心靈適其他的人類說明而外，很難說我們是具有知識的。因為，我們不能說明外界事物之究極的性質，從而我們也不能知道外界事物之究極的性質。如果能夠的話，則這些事物，只有在有與我們底知識所容易理理的任何東西同一性質適先天地非蓋然的場合，才會存在。如不是這樣，則沒有比較底標準，而且，就可以說明它適語句也沒有了。因為言辭只能說明我們相互共有適經驗。如欲把實在向我們自己說明、或相互說明，這無異乎要想把無線電底裝置向着野蠻人說明一個樣。野蠻人理解一套音樂所發出適聲音與音樂那種現象時，一點困難也感覺不到。因為他已經聽慣了聲音與音樂了。甚至連空電(atmospherics)他也懂得，因為他聽慣了雷適原故。但是如我們打算把鉛板斜線(grid-bias)、調音的回線(tuned circuit)、以及高度緊張的電槽(hightension botteries)對他說明時，

那我們便感到困難了。就是在實在底問題上，類似這點困難也存在的。除了如上所述的先天地非蓋然的場合，在我們想把實在對我們自己或對其他的人說明時，我們必然要遭遇着同樣的困難。實際上成爲進步底障礙的，不是那蒼白的形而上學的議論——說我們關於在我們底監牢（感覺）之外的事物、沒具有一定的知識的議論——，而是上面所述的那種困難。

自然底圖像

照這樣當作假說記述過東西，同樣可以記述爲自然底圖像、表現、或模型。圖像不企圖描寫自然底實在性。只欲描出在自然中我們所看見過東西——即自然底現象。那是可以把我們底知識底界限內一切現象以完全的忠實程度使之再生。但是其本質上，與實在本身是不同的。正如照像印畫與活生的面顏不同一樣。即色彩、更大的面積之延長與一切活生的性質，照在像片上都是缺少的。構成此形象過諸要素必然是我們底心所熟知過概念。如不這樣，則全然不能描畫出形像來。反之，實在底要素便無需乎這樣，若果我們不能使我們自己底心、與能夠存在於實在之中過要素相親密，則我們始終不理解實在。但是，科學就不能在由現象到實在過

通道上堂堂闊步嗎？即是就是沒有看慣過概念，反覆思維，結果也容易消化，把似乎存在於究極底實在之中過概念，最初根據蓋然性進行選擇，結果便能到達究極底實在。

例如在聰明的小孩最初聽說世界是圓的過時候，他立即反對這種說法，以為若果是圓的，則在極邊上面過人便必然會掉下去；然而過了幾年，圓的地球底概念兒童也感到多大困難，便理解了。就是物理學者底理解，也可以這樣說的。維多利亞王朝底物理學者常常以為決不理解他不能製作作業模型過物理概念；他不能把握光線底電磁氣的理論，這一理由，克爾文爵士(Lord Kelvin)已說明了。然而今日大多的物理學者差不多都設計獲得這個理論底最明確的理解。那并不是由於天賦的思考力底優越性，而是由於他對這些概念之更長久的思索。因為同樣的理由，他比一時代之前過先輩，對四次元空間以及第二位的引張(tensors)能夠描出更鮮明的形像。沒有那個能夠主張，說這樣的徑路會無限地繼續進行。畢竟那不過是過去科學者從魔術的祖師使自己分立起來過過程之連續而已。

我們底心無可爭辨地是與量底概念熟習的，從這概念出發，我們能由徐徐的變化底道路渡到量底數學的論究之方。例如我們說氫原子中過兩個成分，即電子與陽電子是存

在的遊時候，那氫原子與電子及陽電子底名稱，不過表現我們底現象世界之某種東西而已。然而如有“二”這個概念，則它在現象世界與實在世界都是通同的。於是，就假定，如果上述的敘述，從現象底語句被翻譯成實在底語句，那末“二”這概念就說在實在上也有意味，這也不是笑話。

再者，我們底心也與時間變化底繼起熟習的。這是由於我們底感覺連續地經驗着這種變化之故。所以，對於實在之可測的量、以及這些量伴着時間底經過而發生變化過方式之知識，沒有任何可以反對過先天的理由存在。（時間與可測量都不存於究極的實在之中，像這樣後天的反對論，雖然也可以發生，但在現在我們用不着管它。）不僅如此，數學者用一點也不假定外界的實在之性質過論法，而能證明一切時間的變化都能用波動這一概念來形像化。於是這一概念使此種變化形像化了。若果某種波狀運動以非常高度的蓋然性似乎能描寫實在的某物，則我們就可以更進一步討論其次的問題——“那是甚麼東西底波動呢？”

於此我們才開始面着困難。因為「甚麼東西」底實質，除非證明它是預先存在於我們心中遊某物例如思想、心的概念、欲求或感情那樣一般的性質，不然，那這個本質終局我們必然不會知道。

這兒如果暫時豫想一吓，那如後章所敘述的，在物理學上比任何東西還要重要過波動，充分能夠出乎意外地解釋成這個類型的東西。這些科學者泛泛地說它們是“確率”過某物之波動。但是如更確實說來，可以叫做“知識之不確定性或不完全性”——是我們底心極習知過一個概念。這可以構成一個疑竇。而這疑竇在於這一點，即我們底心對於波動這一概念只先天地把只在後天能夠理解過很少數的解釋之一加以強制。那也可以這樣的。而且也能給與其它的更不容易理解的解釋。但是無論在任何場合，“確率”的解釋都適合於觀測底事實。如給與波動，我們便能知道確率，從而在某種意味上，波動實質上是確率底波動。有些人想把這個解釋作那樣的證明，即是這些波動在實在上全然不存在，只存在於對我們底實在之不完全的知識之中。

但是這事情引導我們正面着另一問題，即是潛伏於一切時代背後過問題——“實在是甚麼？”我想科學與哲學對此問題都想用少許不同的方法與以回答，那是不可能。我以為形而上學者更有把實在與現象看做相互隔離區別過存在過傾向。好像人、以及他映在鏡子上過形像樣，又像飛行機、與它落在地面過影子樣，都是兩重看法。如果嚴格說來，一個物象有其實在的或現象的存在性，但是其中間底性質是

無有的，是很可以這樣說的。而科學者則有把實在與現象看做一個連續的道程之兩端適傾向。沿着這一道程進行，便是他自己底使命。形而上學者雖把波動實質上是一確率底波這一提言當作無知的愚昧而否斥之，但科學者則把那看作是到達究極底真理適一步而喝采。

其它的波動之型有若干是存在的，但不能如上面討論過適型那樣容易理解。然而就在這兒我們也許能夠發見某些性質，我們打算把這些性質從習知的概念形像化，但結果，因不能作為形像、想像、描寫適某種東西，因而到達進路被阻塞適地方。例如維多利亞王朝底物理學者，直到他發見他底形像與觀測底事實不一致時，常常把光線底波動當作與膠質之動搖、或地震底波動類似適東西，而作成形像。

再者，我們習知空間的擴張和空間之被限制適擴張底概念。如此，追溯抽象化底過程，因而結果能夠達到微粒子底概念。如果證明我們底自然像是由於其一部分的微粒構成，則我們更追問，“那是甚麼東西底微粒子呢？”其結果也許能作部分的解答，也許不能作部分的解答。

最後，我們也習知機構底概念。那是我們底意志之交互作用和身體底筋力之相互作用底結果。

由於習知的概念，如波動、微粒子與機構，而能構作外

界全體底完全的形像，那絕對是可能的。實際上十九世紀底物理學，意識地而且深思地把此種表現作為目的。只有那實現為甚麼是一難事這一問題，才未充分認識。

如這計畫成功，則科學早就把表象看作與那實在是同一的東西了。實際上大體的科學者，并不等到看見表現是否適合一切觀測底事實時，早就把兩者看做同一的東西了。一切矛盾齟齬，如時候一到來，都自然會解決的，這是當時一般的說法，教授科學過人決不容許任何其它的可能性侵入他們底門弟子底心底範圍。在科學者底背後，更有各學派底哲學者，他們雖或是實在論者、或是物質論者，但是在把實在與同在空間中擴張過微粒子、波動等等看做同一的東西這點上，都是一致。不過有少數別的學者，即使主張既知的事實與可能的事實都不能強制或保障上述的同一，然而那是不能當作敗軍底勇士認識的。那些人底聲音幾乎未入大眾之耳，其理由，并不是因為他們不能證明他們自己底論旨，也不是因為他們底論敵能夠辯駁他們，而是因為當時底蓋然性似乎對他們底思慮拚命地反對一樣。

根據我們現在觀測的知識，這種表現決不適合於現象，從而與實在同一視這一問題不會發生。外的世界與日常生活所習知過概念隔得非常之遠了，這顯然是超出十九世紀

科學底豫想之外了。現在我們明白，愈益努力描寫它，愈益使我們直接面着不能形像、想像或敘述過概念。我們以前就敘述過，輻射，不管作爲波動、作爲微粒子、乃至作爲不能想像過任何東西，都不能切適地描寫得出來。對於物質這也是同樣的。馬上我們就會明白了。

主觀的自然

近代物理學之真實的困難，大部分是從剛剛指摘過過事實發生出的。物理學是從研究物質與輻射底世界過動機出發的。因而發見出，物質與輻射既不能說明其性質，也不能形像其性質。光量子、電子、陽電子等在物理學者看來是無意義，正等於 x, y, z 在才開始學代數過兒童看來一樣地無意義。在此時我們所最希望的是，雖不知其實質爲何物，總之要發見處理 x, y, z 過方法。其結果，知識之進步，現在都歸約到如愛斯坦所說的那樣了，從一個不可解的東西抽出別一不可解的東西。

除此以外，科學爲了避免一個完全的障礙，知道進行底唯一的道路。首先把世界分做(1)我們自身、(2)我們對於外界過實驗、(3)外界、這三者，關於(1)與(3)、即自我與外界本身過問題可以存而不論；但對於(2)、即是爲我們自身執

行過實驗所展開過世界之我們底知識過問題，則集中精力研究。如在上面所提示過過形而上學底意見，會暗示着這手段之無疑的優越性。即是我們對於(3)過知識雖然決不能由蓋然性以外而來，然而關於(2)過知識則是從確實性而來的。但是在那兒更有直接的利益。不管我們對於外的自然之究極的實在是怎樣地少，不管想像的實在是怎樣不可理解，但我們對於自然所行過實驗底結果，通過習知的概念必然可以知道，能夠敘述。因為，那些概念在以前就不是習知的，而實驗本身都一定使之與此親密。

舉例說，我們行光底實驗，而得出那親密的概念、即波動與粒子所表現過結果。在這場合，實驗并沒告訴我們光底真的性質是甚麼。例如并沒告訴我們那是從波動抑從粒子構成的。實驗所告訴我們的，只是光線底活動有時使我們想起波動，有時使我們想起粒子。於是達到那樣的推定了，即光線底性質，就是用粒子或波動底名稱也難表現的。在我們底附近不能看出有時如波動而有時又如粒子那樣的東西。所以光線底真的性質可以說永遠都在我們底想像力之外。現在就正是如是。照這樣的理由，關於光線我們不能討論，只有關於我們對光線過實驗底結果才能論究。

就對於電子及陽電子，這差不多也是同樣的。我們實驗

這些(參照卷首插畫)，而發見它們底作用，有時使我們想起波動，有時使我們想起粒子。與光線底情形一樣，電子與陽電子底實質究竟是甚麼，能夠想像這樣一個不相矛盾的形像過人，一個也還找不出。在目前我們最能作的，便是量地、或是以數學的方法表現我們底實驗所顯示過電子與光量子底性質。

說這個狀態不得不是究極的過理由，還是沒有，那可以說，這不過表示我們底知識之發展上一個非常暫時的相而已。我們對於自然過實驗，在我們自身與自然之間，架一洞顯然地連絡的橋梁。於是在自然之探究上，我們當然從這橋底我們這一邊出發。因為這橋也包含自然也包含着我們，所以對於我們底自然之現在的知識不能脫離主觀的色彩，是毫無足怪的。因為我們從正的路途開步走，還未到三分之一世紀過原故。

我們展望將來就可以看出兩個可能性。其一，自然不照我們，自己走它自己底路。正包含着我們自身底姿容的，只是表現我們底現在的知識之不完全。在現在，要探究自然，只有不停止於那兒，應該印上我們底足跡，揚起一些泥塵而前進。因而現在的自然之像顯示着人類的足跡，印刻着人類的足跡。但是時間過去了，我們就多少理會得從這個畫印消

去我們底足跡邁方法，以至於能夠把自然認作一個實際的存在。無異乎薩哈拉大沙漠在我們之外而從我們獨立存在一樣，自然也是從我們獨立存在的。薩哈拉大沙漠底實質是砂底粒子。我們所揚起邁砂塵不過一時的偶然發生邁事件而已。一八九九年大體的科學者不敢劇然斷言自然就像這樣。但是實際上直至現在，科學尚未達到認識砂底背後邁堅固的地面。這在下面就會慢慢地明白的。

在上述的沙漠之外另外又有種沙漠。在那兒砂塵底形態便是構成其本質邁東西，其被表現的媒質是認爲偶發事件。即是藝術家對於沙漠邁概念，是旅行家對它邁記憶。自然也可以比之這樣的沙漠。

泛泛說來，上述的衝突的、兩不相容的東西表示對自然之客觀的和主觀的兩個見解。這更指出哲學上實在論及觀念論的立場。

布拉德萊 (Bradley) 關於第二的立場如次寫着：(註六)

“說我們現在陷於與常識衝突邁境地這樣的抗議，這我們也許會遭受着吧。在常識看來全然是存在的，不管有限的某物 (being)，理解它、或不理解它，它都是存在的。照我們底見解，……則物理學底世界不是獨立

(註六) 『現象與實在』PP, 279, 288。

的某物，不過全經驗中之一要素而已。如離開有限的人類底心，在原來的意志上，這物理的世界是不存在的。但是，如果這樣，我們就不得不問，自然科學成爲怎樣了呢？在那兒，自然是作爲一個無靈魂適物、又作爲由自己底力所建立適物而處理的。於是爲了這點，我們便不得不達到與批評以外適某物顯然衝突適境地。但這樣的衝突不過是錯覺而已，那只是由誤解產生”。

自上述的文章寫出以來，科學逐漸發見如次的事實。卽是科學上適自然是「自己底力所建立的」這一句話，與其說是一個確定的事實，毋寧謂之爲一個規約的事實。從而更容易容認衝突是錯覺的了。

然而觀念論底立場之困難需得加以說明，則是非常明白的。沒有方法與其自己底同輩通音息適孤獨者，便沒有方法知道他所看見適自然是否是他自己底心所創造。他相信自然在其自己底權利中所有的真實的存在，不過他在夢中所見適事實而已。反之，我們不得不另外把無數其他的人與我們同樣觀察自然適事實（概括地說）以任何形式嵌入我們底自然觀，使之適合。實在論，假定自然完全在我們底心之外與心獨立而存在，因而極簡單地又極自然地說明這個事情。——卽是，我們之所以看見同一的月亮，是因爲月亮與

我們離開，存在於我們所眺望過彼方。然而別一方面的觀念論則不能利用這單純的說明法。它不得不如次假定。卽是我們底心在某種意味上如像所有的一個軀體底四肢，而這四肢又完全調節，以認識同一的概念。四肢以某種形式相互關聯着。大概像一根樹底枝，因有共同的根，所以相互連絡，或者更如光量子底驟雨底各部分相互連絡；在某種形之下，它們似乎是個別的個體之集合，在其它的形態之下，它們又似乎是一個光線底連續的進行。

我們把這問題暫置不論，而進行近代科學所發見過諸點之考察。但要注意着，科學所能作的不是自然本身之說明，而是對自然過人類之質疑底說明。

第三章 外界底架構——空間與時間

如我們已經所描畫過那樣，剛生下的幼孩企圖把刺戟自身底感覺遊事象與物象加以排列，因此踏出成爲科學者遊第一步。他漸漸地做出一個發見。即是事象能夠在時間之中排列，然而事象又似乎是發生於物象之中，其物象能夠在空間上排列。根據這點理由，空間與時間對於幼兒從外界所接受遊感覺，形成一種架構。自然，兒童對於空間與時間之根本的性質之形而上學的疑問，本身并不加以注意，就是我們在這兒也不想考慮這點的；只有我們所認識了遊空間時間之單純的諸性質，在目前的論究才有關係。

關於空間與時間之初步的見解

在兒童底生活上，事象以單純的繼起的關係出現，如像在一條繩上遊念珠。這繩我們稱之為時間，事象在相互關係之下發生遊順序，充分可以用“前一些”、“後一些”底語句表示。相隣近之事象也不一定是接觸的：恰如在繩上沒有念珠遊部分也是有的，所以兒童也可以經驗到沒有事象遊一段時間。時間通過我們底心而進行，有如一條軟帶通過測時計。其任何細微的碎片都可以在上面刻印得有事象，或沒刻印得有事象。在我們底生理的過程之內，隨處都有如時計那樣遊東西在刻分秒，因此給與我們以時間之經過底知覺。由於心底時計之刻時作用，我們底心因此判斷出時間間隔底長短。我們發見我們心中遊時間底經過，不管任何人看來，至少都是近似地同樣的，因此我們把時間認為是我們自身以外遊某種東西。恰如川流經過橋脚流行一樣，時間通過我們各人底意識流行。科學更確實地測定這個假定的時間之川流。那是由於計算平均地空間化了遊事象而作出的——例如由太陽與恆星之子午線通過、時計之刻時作用、水晶底振動、調整了的電氣裝置上現出遊種種動搖等等所測定。直至相對性理論使我們不得不重行檢討我們底立場時，

我們才直觀地把時間比之一個不舍晝夜迢川流，而這川流是可以用上方的方法測定的。

其次說到我們對於空間之直觀的觀念，事情就迥然不同了。光線從外物出發進入我們底眼球。而我們底水晶體的透鏡便作如次的準備，即是從所謂「同方向」而來迢一切光子會射影於網膜上迢同一點。所以我們對於各種物體所舉行迢最初的分類，是由於這些物體所刺戟迢網膜上迢各點而來，因為網膜成爲二次元的表面，所以我們得到方向底二次元的次序上配置了迢物體底印象。即是所謂三角的空間。

然而物體只依其方向上，則完全不能決定其位置，這是我們知道的。我們徘徊運動，則物體改變其方向。在某種場合，從我們底眼睛看來，多數的物體重合在同一方向。從而從看底立場說，物體相互干涉其可視性。如只從一個方向看，則我們看見一個跟在一個後面：煙捲底煙、污穢的窗、一隻蝴蝶、一顆樹、山之巔、雲、太陽。我們照這些物體相互干涉其可視性迢方法，把它排列在上述的特別的順序中。這個排列類似於時間中事象之排列。即是一次元底排列。二次元三角空間底兩個方向包括各個物體之一次元的排列。所以映在我底眼上迢物體構成三次元的次序，我能夠把它配置

於一個三次元「空間」內。

我底兩個眼，只有一個才是獨立地爲我底心設置這樣的配置。但是，如果兩個眼都作同一的配備，則應加添其它的東西。如果物體本來應存在於外界，則更不得不如是。正如繼續的事象通常不是在時間內接觸那樣，繼續的物象通常也不是在空間上接觸。蝴蝶不與我們底窗子接觸，雲不與太陽接觸。繼續的物象爲「距離」所隔離，與繼續的事象爲時間所隔離是同樣的。計算時計底響聲可以測定事象與事象間過時間。照這樣，間隔測定的特殊的方法當然從我們底視覺獨立的。就是光線底性質，也是與其存在獨立的。如果把一切感官去掉，僅留着觸覺，則只用觸覺與一個測量竿，人也能在空間中描出物體底配置。這個所描出過配置，與只用眼睛過人所描出過配置，可以與之一致，也可與之不一致。若果光線底直度與測量竿底緣邊底直度相同，則便一致。反之則不一致。這個區別是重要的。因爲如後面要敘述的，光線并不照這樣的直線狀態進行。所以空間上物體底配置是帶有主觀的色彩的，這是早已明白的事體，瞎子所作過配置，與能夠看、而且除了用他底眼看以外便不用任何器具過人所作過配置，縱使不同，但并不是不可思議。

在如此做過方法上，我們底個人的意識最初是把握着

時間與空間的。如此，更可以說，個人底歷史即是人類全體歷史底縮圖。

空間與時間之相對性以前的見解

在自身之外而且與自身獨立存在過一個客觀的自然之存在過知識，不管是作為個人、作為民族徐徐把它獲得過東西，我想已經為讀者所承認的了。康恩福特（Cornfora）教授之所謂“自然之發見……人智之成功的最大事業之一”（註七）在基督紀元前七世紀發見於伊阿里恩希臘（Ionian Greece）。空間與時間也是在那時代過人類的“發見，”實證這點，是件重要的事——雖然在科學者是困難的事——。幾窩維特（Jowett）如次寫着：——（註八）

“我們底空間觀念，與我們底其它諸觀念同樣，都有一個歷史。荷馬底詩對此未發一言；就是後期希臘哲學也沒含有康德底空間底觀念。（註九）只有決定的「處所」和「無限」。……所以在我們說到我們底空間底

（註七）『蘇格拉底前後』（Before and after Socrates）P. 15.

（註八）『柏圖拉底對話』（The Dialogues of Plato），Vol.

IV, Introduction to Theatetus: P. 162.

（註九）見本章「客觀的時間空間」一節。

觀念之必要時，我們不得不記憶着，這是與人底心之成長一齊發育而來適必要底自覺，而且是我們自身所育成的。……

“在空間之中或空間背後，有在許多點上與此類似適其它的抽象觀念。即是時間，如空間是外的東西底形式一樣，它是內的東西底形式。不有空間，我們便不能想像訴諸感覺適外的物象，同樣，沒有時間，則不能思維感覺底繼續。如空間是把外的物象取去了適空虛一樣，時間是思想與感覺底間隙。……與空間同樣，時間也漸次被認知。在荷馬底詩上，甚至在黑塞窩第克（Hesiodic）底宇宙論上，沒有時間觀念存在正等於沒有空間觀念存在一樣。

柏拉圖(Plato)把空間作如此描寫：(註十)

“(所謂空間)是接受一切物體適東西。空間決不離開其自己底性質，所以常常稱之爲自己同一(self-same)……若果空間與其所接收適物體類似，那末在與它相反對或全然與它不同適性質底物體向它進入適場合，爲了表出空間自己底性質，而空間就把它們誤寫了。所

(註十) Plato: *Timaeus*, Taylor's translation, PP.

以在其自身中接受萬物適空間也應具有任何形態，如觀察香油之製造樣，調和者恰與這同樣的做法。即是他溶解香料，盡可能地使混雜的液成爲無臭。因此那些很容易以軟的材料刻鑄雕像適人，除了最初使其表面盡可能成爲平滑適東西外，沒看見任何像。……空間決不消失，而是爲一切發生而來的東西備以位置。空間自身，不依於感覺；是可以用一種擬似的推論理會的。從而對它很難相信。凡是存在的東西都有某種場所，而且非占有若干的空間不可，因而既不在地上又不在天上適東西是沒有的，當我們這樣說適時候，我們關於空間便是張開眼睛做夢了。”

這樣的見解通過希臘科學底全時代都是流行的，一直達到笛卡兒（一五九六——一六五〇）底時代。根據這個見解，自然是假定由於在缺乏性質這一東西適空虛之中浸入適各種固體構成的，我們底直觀的空間則看作不過配置這些物的體象之空虛的架構。

但是笛卡兒出現了，他導入一個新的空間概念。這是他底哲學底根本思想之一，他主張，一切物不是精神與物質之兩個重覆，而且是屬於不相互起作用適範疇，精神底本質是思想，不占有空間，也不在空間上配置，反之，物質底本質是

占有空間，而且有空間上適擴張。他更進一步主張，所有空間都非爲某種東西占有不可。其理由是指摘出，空虛的空間也不能滿足任何機能，任何東西如無目的地存在，則與宇宙到處所顯示適絕大的計畫相反。所以假令恆星與恆星之間有如空虛，然而其實必不是空虛的，必然是有某種東西底實在性，保有自己特有的性質適一種連續的物質所充塞着的。因此空間也不復是簡單的空虛的架構了，其自身便有權利成爲一個存在的實在。這事情使笛卡兒至於相信，空間上適擴張與通過空間適運動，都是物象之真的原始的性質。

根據這些見解，結果笛卡兒捨棄光粒子說，假定光線是通過到處浸透適物質而傳達到我們底眼適一種壓力的性質。此後科學者們也放棄光粒子說而接受波說了。因爲波動說假定光線成爲波狀進行，所以現在笛卡兒底普遍流行適物質、能夠營傳達這些波動適機能。它被附與一個實在性，結果呼之爲「傳光以太」(luminiferous)。

空間底位置

二個人，一個依賴他自己底視覺，一個依賴他自己底觸覺，因而關於空間上物象是如何不同的配置呢，這事我們已經敘述過了，現在看來是這樣，自然對於空間之物象底配置

也有其獨自的方法。如果這樣，就使人類底個人的配置法完全不甚重要了。個人方面底正確與錯誤，都看是否與自然所行適配置一致不一致。物象不止在空間中才能配置；而且能夠在以太中定它們底位置，恰如英國內適物象能夠為英國底土地上它們所占適場所定其位置一樣。

例如一個物象是在大北路第二號路標底北方五十碼地點。若果我把我底手巾繫在那地點底一個物上，又去散步，一會又回到那兒來，看見我底手巾還是繫在那兒，那我就可以說，我又回到我底出發點了。反之，如果我乘船到海中去，把我底手巾丟在水中，划着船遊玩，過後又回到我底手巾那兒來，我便不能聲稱說我又回到原處來了，因為海流與風都同樣地移動了我底手巾。我只能在海上直接與間接從陸地安定方位而決定其位置。

若果空間為一個以太那樣的物質所占有，則我們能夠用上面的方法決定空間上一點底位置。舉例說，至少在假想上我們能夠把手巾繫在以太底一粒子上，而且如果我們回到手巾那地方來，我們便可以說我們回到空間上同一點了。我們無需乎畏懼氣流與風使手巾移動。因為，若果光線是由進行於以太中適波動構成，則由其進行底速度來推定，這以太必然比鋼鐵還堅緻得多。

若果沒有以太存在，則我們只能以它從某種固定了適目標得出適方位來決定空間上一點之位置。但是這樣的目標在甚麼地方發見呢？不是在行星上發見的，因為這些行星是以在太陽周圍一秒三哩乃至三十哩適速度迴轉之故。不是在太陽與恆星上，因為它們甚至以更大的速度相互在各自底旁邊運動。不是在人類所知適物象中之最遠方適大的星雲上面，因為這些大星雲是以更大的速度、一秒幾萬哩適速度、從我們以及從它們自己相互之間向遠方猛進。在整個空間上我們能夠發見我們可以定方向適固定的目標的，可說沒有。從而決定空間底方位是不可能。牛頓切深地感到這個困難，從他下面的話可以知道：——

“在遼遠的恆星圈內，甚至在超過它們適更遼遠的彼方，絕對靜止的某種物體也許可以存在。但是從我們底圈內各種物體之相互的位置看，要知道其中適任一個對於其遠方的物體是否保持同一的位置，則不可能。從而我們底圈內各物體之位置，不能夠決定絕對的靜止這一事件”。

牛頓更考慮過無所不在適以太是否足以提供這個問題底解答，他繼續說：——

“在這兒關於這樣的媒質——如果這可以看作是

一種媒質自由滲透於物體之部分底間隙之間遊話——我沒注意過”。

如果實際這樣的媒質是存在的，則它對此問題便會提供一的解決。其粒子給與固定的目標底位置，反之，運動的物體底位置在各瞬間都可以測定的。但是若果這樣的媒質不存在，則我們只能隨意下空間上遊靜止底定義。

時間底位置

如欲使時間上遊瞬間嚴格地一致，便惹起與空間同樣遊問題。我們習於把自己個人的經驗上遊時間認作一個不間斷的流。而這同一的流在同一的行徑上流過宇宙，從而事象能夠成爲時間上位置底決定，正如物象之能夠成爲以太中位置底決定一樣，這是一般默認了的。例如假定一九〇一年一月一日，某個天文學者看見過一個恆星突然的爆發，而相信這星底距離是一百光年，那末這個人就會說這個爆發是發生於一八〇一年一月一日。這個天文學者相信這爆發能夠成爲時間流之「位置決定」，而且又相信，說這偶然事件之發生恰當地球上十九世之開幕那一瞬間，這是有決定的意義的。

但是我們且考察在這樣的信念之中所包含遊意義所指

的是甚麼吧。這，如果考察實際從天文學底日常作業採來過單純的例證就夠了。假定格林威底英國的天文學者希望比較安那坡里斯 (Annapolis) 底英國天文學者與其觀測底結果。兩天文臺底距離東西相隔三千哩。而企圖把比較研究之必要的各自底時計使之相合。要這樣作，則更顯明的方法便是在兩處之間通一種信號。如果任一種既知的信號、以依字面上過無限速度運行，則很簡單地就能使時計相合。安那坡里斯底天文學者在他自己底時計指着正午時送出信號，若果這信號送出時，格林威底時計正指着正午，則兩處底時計便已經完全相合了。如果不相合，則很容易地能夠使之相合。然而這問題之本質的困難便從那樣的事情發生了，即是任何信號也不能以無限速度進行。因為任何信號都不能比光線進行得快，這是物理學底根本原理。實際，天文學者們使用人智之所有過最迅速的信號，即無電信號。那便是光速度。但是若果在安那坡里斯自己底時計在正午時送出無電信號，則那信號到達格林威時，在安那坡里斯差不多已過正午了。於是在實用上格林威底天文學者們說，因為無電信號一秒約走一八六·〇〇〇哩，所以從安那坡里斯來，大約需要一秒底五十分之一。所以認為，如果在從安那坡里斯來過信號到達格林威過瞬間，在該地過時計只過正午過

五十分之一秒，則兩處底時計便正確地相合。

這在天文學上實際底需要也夠充分的。但是要絕對地正確則是不可能的。若果要獲得完全的同樣性，則必需知道信號在其旅行上所需要適正確的時間。

現在我們假定無電信號是由通過以太進行適波動而來，又想像地球也通過以太進行——例如從格林威向着安那坡里斯方向進行。於是格林威本身通過以太前進，而出迎從安那坡里斯送來適信號。所以比之假定地球在以太中靜止適場合，要更早地接到信號。但是因為要確定早到多久，為要發見信號底旅程之正確的時間，則必需知道通過以太適地球底運動。

邁克爾遜-摩萊底實驗

有名的邁克爾遜-摩萊 (Michelson-Morley) 底實驗企圖用最直接而最明顯的方法測定這個速度。如果信號通過以太以一秒一八六,〇〇〇哩底比例進行，而地球通過以太、從東向西，以一秒一〇〇〇哩底比例迴轉，則在信號從西向東沿着地球表面進行適場合，一秒一八六,〇〇〇哩便增加成一八七,〇〇〇哩了。因為地球迎着信號迴轉之故。然而從東向西回行適信號則由一秒一八六,〇〇〇哩減到一八

五,〇〇〇哩了。如使信號往復旅行,則往的時候速力助長,返的時候速力減殺。行程底每一千哩,在往的時候需要 $\frac{1}{187}$ 秒,在返的時候需要 $\frac{1}{185}$ 秒。所以如果計算每一千哩底行程往復所需要過時間,則

$$\text{往路} = \frac{1}{187} \text{秒} = 0.005347594 \text{秒}$$

$$\text{歸路} = \frac{1}{185} \text{秒} = 0.005405406 \text{秒}$$

$$\text{全時間} = 0.010753000 \text{秒}$$

然而,若果地球在以太中是靜的,則全時間便如次:

$$\text{全時間} = \frac{2}{186} \text{秒} = 0.010752690 \text{秒}$$

根據上面底比較,往路所賺過時間不足以補償歸路之遲延;扣除下來,大約發生百萬分之三秒底遲延。

反之,如果遲延底抵償額能夠測定,而且能夠證明是一秒底百萬分之三,則知道地球在以太中過運動速度是一秒一千哩。實際上,把上述的往復時間與使地球靜止時過時間相比較過方法,當然沒有。但是如果比較如次的兩個往復,倒不是一回難事。即是這兩個人同時在運動的地球上進行,一者在上面已考慮過過東西路線上,一者在與此相對成直角過等距離底路線上,而這個比較在給與必要知識這一點上,却不劣於以前所述過比較。

爲要正確地計算這個，所以如果我們以 C 表示光速度，以 U 表示以太中地球底運動速度，那末地球運動底方向上光線往復行程底一單位長度的時間之損失便如次。

$$\frac{1}{C+U} + \frac{1}{C-U} - \frac{2}{C}$$

用簡單的代數則這等於

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

其次根據簡單的幾何學，對於地球運動成爲直角過方向上往復旅行過時間底損失如計算出，則如下：——

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

前面的量近似地是後面的量之二倍，這是容易知道的。所以若果觀測底結果證明了兩者之差，那末也不難算出 u 底值了。自然，在實際的實驗上面，爲了說明底方便，在上面所採用過一千哩底路線，是不能採用的。在實驗上光線不過僅在幾碼之內往復，所以即使一秒一千哩過速度，都只產生一萬萬分之一秒位的時差。雖然這是如此極細微的時間，然而它使我們對於宇宙過見解連根推翻了。

邁克爾遜與摩萊希圖精確地測定這微小的時間。不過那自然不能使用普通的時計或計秒時計。他們用色彩極純

粹的光線做實驗，那種色的光線表示出完全以均等的比例、一秒幾萬萬次底波動，而這些振動完成非常完全的時計底任務。實驗同時間射出二道光線，使之在兩個方向上往復，并觀測其歸到出發點適時間，而算定其時差。

如時差大，則指示出地球在以太中迅速地運動，如時差小，則指示出緩慢地運動。唯一的全然出乎豫想之外適結果，便是時差爲零。因爲就是周繞太陽適地球底運動，也有一秒十九哩適速度，測定機械底精緻的程度就是一秒一哩適速度也能記錄下來。然而意外地，實驗所得出適結果是出乎豫料之外。在實驗完成以後，絕對沒有甚麼時差出現。實驗一次一次地重復了。在一日底各時間上，在一年底各時期上（即是機械在空間不同的諸點上、地球在周繞太陽適軌道之不同的諸點上來擇出它），氣溫、高度以及其它各種不同的狀態之下反覆實驗。可是自然所給與適回答是一定的，即是自然自身知道沒有所謂以太中地球底運動。由上述兩個公式（A）與（B）所得來適時間，往往正確地相等，從而表示出 $u=0$ 底結果。

在最初，這樣的回答似乎純全是無意義的。顯明的推論（雖然到達此地要非常長的期間）便是，這樣的疑問也是無意義的了。簡而言之，假定光線是在以太中進行適波動，這

就是給與實驗以謬誤的基礎。波動說之成功雖指示光線有許多波動的性質，但是這些實驗却似乎指示出光線在空間中進行的樣式不是任何一個波動底性質。

粒子說意味着一種別的進行法。因為如果光線在以太海中照波那樣進行，則其進行速度便應該常常向着以太底海而成相對地同一。反之，若果光線之進行像從大砲射出過粒子，則其進行速度便應該對着它射出過大砲成相對地同一。

於是對自然發出過質問差不多應取如次的形式，“光線成波動狀進行嗎？或者成粒子狀進行？”質問照這方式構成時，邁克爾遜-摩萊底實驗便斷乎主張粒子狀底進行。

然而如果光線如粒子狀進行，則從以不同的速度運動過兩物體射出過光量子、本身便以不同的速度運行。於是從天文學的觀測所指示過結果看來，二重星(binary star)底兩個成員所射出過光量子，以正確相等過速度運行。因此至少在這場合，光線是不如粒子狀進行的。顯然地，我們最後所構成過質問之形式還是假定我們沒有權利假定過某種東西。其假定是以為光線必然是作如波動或作如粒子那樣形態，而在空間進行。現在觀測底結果似乎暗示着光線并不照波動或粒子那樣進行了。

如果這樣，那末光線是如甚麼形態在空間運行呢？一會我們就會看見，愛斯坦是怎樣解答這個謎。他給我們提供一個新的概念，因而這便成功了。那并不關於光線過東西，而是關於空間過東西。

但是首先我們必得稍稍回溯一吓物理學史。一八七三年如馬克斯威爾(Maxwell)所指示的，光線是電氣作用之一特殊的形式，光線是如何在空間中傳播過問題，不過是更廣泛的問題底一個側面。馬克斯威爾和法拉德都企圖證明，所有電氣底作用都以以太中過攪亂這一形態而在空氣中傳達。現在若果地球是通過以太、以一秒一千哩過速度進行，則可以呼為「以太風」(ether-wind)過東西，便以一秒一千哩過速度吹捲地球上一切的物體。這樣的風如果說不致影響電氣作用底傳達，差不多是不可想像的。然而實驗底結果似乎證明它不致發生影響。關於電氣作用過一切實驗，指示恰如邁克爾遜-摩萊底實驗對於光線所給與了過同樣的結果，這些實驗不僅不能把握着在以太中進行過地球底速度，而且似乎指示出，如此的運動元來是不存在的。總之假定的以太風對於地上的現象絕對沒有給與任何效果，這發見了。

牛頓底相對性

在討論上面的問題底意義之先，我們考察一吓同性質底更簡單的問題吧。那是牛頓已經討論過的。如人所周知的，輪船與火車以及其它的乘物以均一的速度前進時候，乘在那上面過人或物都恰像在靜止狀態中那樣行動。例如，我們在甲板上打網球，向着船頭方向過人并不因為船底進行而就占得甚麼便宜。那個人獲得把速度分與球過任何便宜，由於在球最初衝在網球拍 (raequets) 過時候、為要阻止其運動、所必要過特別的努力，因而那便宜正確地被中和了。恰如船在靜止態狀那樣，球從我們底球拍返彈轉去，實際是屬於一般的觀察的事。牛頓用如次的話句表現這個觀測底事實：——

“包括於既定空間中過各種物體底運動，不管那空間是靜止的也好，或者不描畫圓運動而均一地成為直線的前進也好，在這些物體自身之間都是同樣的。

“關於這事過明白的證據，是由於船底實驗可以得出的；在那兒不管船是靜止的，或者在直線上均一地前進，一切運動都在同一方式之下發生”。

在下面的話中，并說明為甚麼不得如此過原故。

“因為向着同一的部位〔即是同一的方向〕過各種運動之差與向着反對的部位各種運動之和，最初（基於假定）在兩方面的場合都是同一的。從這些和與差生起種種衝突和衝擊，因而各物體相互突擊。所以（根據第二法則）這些衝擊底結果在兩方面的場合上都是均等的。從而在一方面物體相互間過運動往往等於在它一方面物體相互間過運動”。

在作用不是力學的而是電學的過場合，同一底狀態便出現了。地球底運動對於觀測過的現象不給與若何影響，這是發見了的。到十九世紀末葉，多數物理學者銳意研究了為甚麼如是。結果一八九五年萊敦(Leyden)底羅倫茨(Lorentz)教授發表了一個很值得注目的結論。

羅倫茨(Lorentz)變換

為要盡可能地使一個形象成為鮮明，我們且想像一個物理學教授在地球上一個實驗室中發表了關於電氣作用過若干法則吧。而在其發見的時代，地球還存在於以太之中。我們更假定這教授基於在時間及空間中作成過測定，把這些法則使之數式化。假定這個教授沿襲從三個垂直面，以X、Y、Z底間隔，規定空間中之一點過通常數學的習慣，以

一個量 T 表示時間底經過，而這 T 指示自從規定了適 O 時刻以來經過了適時間間隔。因此這教授能夠把他底法則當作將能夠用 X 、 Y 、 Z 及 T 觀測適若干量關連起來適一個關係式，而表示出來。如果爲了固定我們底思想而需得一個具體的例證，則我們可以舉出磁性感應底法則。這法則馬克斯威爾以如次的方程式表示：——

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

這兒 c 表示光速度， a 表示某方向上適磁性感應， Y 、 Z 表示垂直於第一方向適兩個方向上適電力。因此這個法則使可測的量 a 、 Y 、 Z 上適各種變化與 x 、 y 、 z 上適各種變化相關連。

現在我們假定我們底物理學者結果乘着火箭 (rocket) 向空間飛去，這火箭向着 X 方向，以 U 底速度在空間飛行。原來這教授在實驗室內發見了他底法則。在那兒沒有以太風吹過。從而他始終不能期待他底這些法則在他底新的情形之下是真的。然而羅倫茨根據電氣作用底既知法則，能夠證明，雖然有以太風吹，雖然有地球上物理學者所發見適電氣作用之任何法則，然而在運動的火箭中，在性質上尚是真的。在某種限定的意味上，也能說它們連量都是真的。如果羅倫茨在飛行中適火箭中重行檢討這些法則，則這些法

則便能以完全的精確程度使用如在靜止的地球上所用過全然同一的數式，而得以表示，這是發見了的。唯一不同之點便是，X、Y、Z及T不能具有如在地球上所有過全然同一的意味。不過如我後面就要敘述的，我們底想像的物理學者決不能發見這個的。

我們爲了地球上空間及時間底測定，便保存着X、Y、Z及T底記號吧。當這對應的諸量在飛行中過火箭被測定時，我們且用X'、Y'、Z'、T'表示它們。於是羅倫茨指示出，與地球上過法則同一過法則，會在火箭上面獲得的。但是結果飛行的火箭底座標，根據下面的方程式，是非與靜止的地球底座標X、Y、Z、T相關係不可的。

$$X' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}, Y' = Y, Z' = Z, T' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

這些方程式表示所謂「羅倫茨變換」。其各項皆值得深切地研究。

記號 c 表示與在地球上測定的同樣過光線底速度。馬上我們就會明白，它也表示飛行中火箭內測定過光速度。討論通常的力學及天文學底問題過時候，我們關於光速度就完全用不着担心了。因爲光線比其它一切東西都要走得快

些，所以我們可以充分假定它是以無限速度進行。因此在討論這樣的問題時，我們可令 C 等於數學者之所謂無限。其意義在於被 C 所分割過任何東西都等於零。照這樣作時，羅倫茨變換底諸方程式便採取非常簡單的形式：——

$$X' = X - ut, Y' = Y, Z' = Z, T' = T。$$

因此，在力學的實驗底範圍內，實驗者就在火箭上也能使用與前此在地球上所使用過全然同一的座標。其唯一不同之點是 $x - x' = ut$ 之差，這是自然從火箭以 u 底速度增加與地球底間隔這一狀態而發生的。這只是意味着，各個位置不得不與火箭這一新實驗室成相對的測定，而不是與地球上留殘下來過舊實驗室成相對的測定，這無論任何場合都是自然地出現的。

所以在光線底速度比之其它的相關係的諸速度成爲絕大過時候，羅倫茨底結果、則與兩世紀以前牛頓所發見過結果，的確符合——即是一切現象，不管其實驗室是靜止的，或者是以一均一的速度進行，都是在同樣的形式之下發生。

然而羅倫茨本來就專門考察過電氣現象的。如人所周知的，電氣是以與光速度全然同樣過速度傳達。因而他不能把光速度作爲無限處理。這便是 C 爲甚麼在他底數式上現

示出來適原故。

它在最初 x' 底分母之因子 $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ 中顯見的。這意味着， x' 是從與本來的 x 底測定了適單位各別適單位所測定的。恰如十二吋成爲一呎一樣，後者底單位底 $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ 對於前者則成爲一。而這因子有時又呼之爲菲慈基拉德·羅倫茨短縮 (Fitzgerald-Lorentz Contraction)，因爲在它科學者還是把瀰漫於一切空間適以太這一思想認作基礎時，菲慈基拉德(一八九三年)與羅倫茨(一八九五年)就相互獨立地指示如下的重要的事件。卽是以速度 u 在以太中進行適物體、在其運動底方向上產生這個量底收縮——以太風壓縮在其中運行適物體，有如普通的風底壓力必然壓縮對它踢出適足球一樣。

不管我們怎樣說明它，這樣的收縮都發見有正確的理由解釋邁克爾遜-摩萊底實驗底結果。以太流之上下方向的器械底收縮正確地可使這路線上適平均光速度底遲緩相抵償。

如果我們現在回到(A)與(B)兩個公式(見『邁克爾遜-摩萊底實驗』一節)，我們立即會明白這事了。若果器械在以太中進行適場合，只一個因子 k 收縮，則表示單位長之上下進行適時間之損失適公式(A)，便爲下列公式所置換

了：——

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

在 k 具有 $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ 底值時，這完全與公式(B)同一，而表示橫的進行之時間底損失。

類似於此迥因數，在 y' 及 z' 之值上不會現示出的，所以在這些方向上一點也沒有收縮存在；一物體只在其運動方向收縮，而在與之垂直迥方向不會發見收縮的。這事導出奇妙的結果，即是運動變化物體底形狀。彈子底球，在靜止時、即使真地是球，但在動的瞬間則是橢圓體了。若果菲慈基拉德和羅倫茨是對的，則吉爾柏特 (Gilbert) 底「橢圓彈子球」則是真實的科學的事實之描寫了。但是「橢圓」是應解為構成迴轉的橢圓體迥東西的。以光速度運動迥物體在運動底方向上成為平的了，結果歸於無。球變成唯一的圓盤形，立方體變成四角形，如是等等。

同樣的收縮因數，在對於 t 迥值上再現。所以在飛行中火箭內迥實驗者，不得不在他底實驗室底運動不致於影響他根據自然底觀察迥法則底解釋限度內，使用與地球上實驗室中他所使用迥單位不同迥單位測定他底時間。再者，後者底單位底 $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ 成為前者之一了。

在火箭內以測定過時間 t' 底值，不僅為其分母底收縮因子複雜化，而且分子也複雜化了。這因為它不僅依屬於地球上過時間 t ，而且依屬於從地球飛行而來過距離 x 。這意味着，對於 t 具有既知的決定值過地球上任意之單一時間而言，在空間之一切點上是同樣的那樣的 t' 之照應的決定值，是不存在的。在火箭內過人看來，時間在不同的空間諸點上變化，正如「局所時間」(local time) 或太陽時 (sun-time) 在地球表面各地點上變化一樣。因這理由，羅倫茨把 t' 底值當作火箭內實驗者底「局所時間」說明。天文學者底局所時間，照着它在太陽底直下時，常常為「局所的」正午、那樣分布於地球上；如羅倫茨底公式所表示的，物理學實驗室底局所的時間，是以一個速度 $\frac{c^2}{u}$ 在空間中分布。

這兒我們遭遇着一個異常的速度，即是連比之光速度還大過絕大的速度。如果火箭是以光速度底一萬分之一底速度、即大約與繞着太陽過地球底軌道上過速度匹敵過速度進行，那末對於火箭過局所的時間，便是以光速度底一萬倍底速度在空間中分布。這個分布底速度在近代物理學上佔着一個非常重要的位置，在後面就要說明的。

這兒我且帶出兩個具體的例證，說明羅倫茨變換在物理學上過意義吧。在上面所揭示過過電磁性感應底法則，是

用座標 x, y, z 及 t 表現的。因為我們知道這些座標與 x', y', z', t' 之關係，所以用這些後者底座標表示出這法則單是代數底問題。我們發見那是用如次的方程式表示的：——

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

這兒 a', y', z' 含有與最初之 a, y, z 少許不同過意味。物理地說來，這意味着，在飛行中過火箭上過實驗者可以再行檢討磁性感應，而再行發見馬克斯威爾底法則。若果實驗者實行了這個，則他便能用以前在地球上所用過全然同樣的數學的方式表示出它。不過 o 以外過一切記號都含着以前在地球上所意味過稍許不同的意義。

作為第二例證看，我們想像火箭上過實驗者再檢討光線傳達底速度吧。假定他把若干鎂 (magnesium) 底粉末在空間一點上燃燒吧。把這一點作為原點 ($x=0, y=0, z=0$)，把燃燒的瞬間之時作為零 ($t=0$)。如此所生出過閃光向着空間底一切方向均等地以同一的速度開始進行。到了某時間間隔，光線便在各個方向旅行於 ct 距離中。所以光線到達了從原點來過距離為 $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 所表示過點 x, y, z 時，我們便必然得出如次的方程式：——

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

由於羅倫茨變換底方程式之使用，從上面便很容易地，

引出次一公式：——

$$\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} = ct'。$$

在這兩個方程式之間，不管實驗者使用適合於飛行中火箭的測定法，或者使用適合於靜止的地球之測定法，光線都向着一切方向以同一的均等的速度 c 進行。換言之，就是幾次反覆邁克爾遜-摩萊底實驗，還是不能暴露出火箭飛行於空間的速度 u 。

相對性理論

一九〇五年愛因斯坦對於整個問題給與了新的真正革命的旋轉。羅倫茨把充滿所有空間的以太底概念作為基礎，而樹立他底研究。從而就在任何實驗上還是有以太底風吹動。其結果，他想像着，在空間上靜止着的實驗者所使用過時間 t 是實在時間，是自然自身底時間，反之乘在火箭上飛行於空間過人底「局所的時間」 t' 不過是一個擬定的、只是為了以太風而在便利上導入過東西。

然而若果新的一代人在火箭中生出來，不斷地在空間飛行，他們便會立刻忘却曾經留餘在地球上過真的時間了，除了「局所的時間」 t' 而外，不知道任何時間。這便是在他們看來過真的「時間」。同樣地，我們人類也只知道一個時間；我

們就把它叫做「時間」了，但實際上那個時間還不過是我們底火箭、即飛行於空間遊地球之「局所的時間」而已。在我們說從天狼星(Sirius)發出遊光到達我們需要八·六五年遊場合，我們是說的我們底地球之局所的時間八·六五年。在我們說在某遠方的恆星上發生遊爆發是與十九世紀之初同時遊場合，則我們必然是用的我們底地球之「局所的時間」。我們沒有權利把這與自然之「真的時間」看做同一，似乎是很明白的。

在這一時機，愛斯坦便發出疑問，“爲甚麼說沒有權利呢？假定我們底時間比其它的時間爲劣，又有甚麼理由呢？”若果自然底法則在空間到處都是同一的，則以各種不同的速度飛行於空間遊各色各樣的火箭，便不得不具有各色各樣的局所時間，但是對於其它一切而言，說那個是較優的真的時間，便一點證據也沒有。實際上所有的證據反而指示其正相反對的一面。真正的時間這東西不得不意味着在空間上靜止着遊物體底存在。不但我們沒有方法發見甚麼物體在空間是靜止的，而且有充分的理由假定這樣的話是無意義。

根據這點，愛斯坦主張一切時間都是局所的。有許多局所的時間，如運行於空間遊火箭、行星、恆星等，其中沒有

一個是比任何其它一個更爲根本的。

這意味着甚麼呢？恰如在一物象底客觀的方式上，不能在空間中給與位置決定一樣，要把一事象在客觀的方式上給與時間過位置決定，也不可能。那就是這個意義。於是愛斯坦廢棄了客觀的或絕對的時間與客觀的或絕對的空間底概念，而代之以如次的提言，這差不多是所有實驗的證據所確證了的。即是“自然底性質不管用任何方法都不能作一個絕對的速度底測定”。簡單言之，自然只與相對的速度有關係；對於它運動能夠在絕對的關係上被測定過那種空間點之固定了過背景，是沒有的，結果對於它，時間底間隔能夠被測定過那種絕對的時間之流，也沒有的。

相對性理論從這假說出發，而繼續以嚴密的數學的解析展開其理論的結果。若果假說對於自然是真的，則這些結果便必然正確地符合自然底事實。多數的結果都能爲實驗所直接檢算。而在那一切場合內，自然確認此理論，一個例外也不發生。從這理論推演出過結果，證明起來都是真的。若果其中之一不是真的，則測定空間的絕對速度立即便成爲可能，那個觀察便會把絕對空間與絕對時間之一架構供給我們。然而直至現在物理學的實驗上早已沒有一點齟齬了。所以現代物理學描寫自然過形態，既無關於絕對空間，

也無關於絕對時間。不過在天文學把宇宙當作一個全體研究時，便要描寫一稍稍不同的形像。這在後章要敘述的。

自然這并不就意味着，我們非把我們從個人的經驗得來過直觀的時空概念廢棄不可。這些概念對於自然雖說沒有若何意義，然而對於我們則尚有許多意義。不論數學者到達任何的結論，而我們底新聞紙、我們底歷史家與小說家依然在時空之骨構中嵌入他們底真實和戲作。他們還是繼續地說——這樁事件在時間不斷的流中過此如如此瞬間發生，而別一事件又稍稍在這流底下面點過其它之瞬間發生，如是云云。

如此的看法，在個人生活上、在個人的經驗使若干人在時間空間上非常親密地結合過集團生活上，都完全滿足。——若果比之自然底廣大無邊的領域，則地球上所有的住民都形成這樣的集團。相對性理論之所暗示的是，只是如上所述過看法是個人或個人底小羣落的私有的東西。那是一個局部的測定法，所以在全體上對於考察自然過場合是不適當的。它能表現自然界一切事實與現象，然而只是對於所表現過一切，附着主觀的污染。它表現自然，并不如一個火箭或一個行星上過住民、乃至（舉這樣的例還好些）一個人底兩眼看自然過程度那樣充分。我們底經驗與實驗一點也

不容許我們把這個或者任何其它的局限的看法擴大到作爲它表現任何種客觀的實在性迺自然全體。

我們慣於把空間認爲在「彼方」底領域內是實在的和客觀的某種東西，似乎從那兒對着我們底感官來了某種音信一樣。那更像因爲以太充滿一切場所，因而獲得一種實體性一樣。我們把時間也看作同樣實在與客觀的某種東西，它全然照我們所不能控制迺方法流過我們底感官。然而在我們通過我們底實驗，向自然發出質問時，我們知道對於一切人們都是共通的那種空間或時間，自然一點也不知道。在我們用相對性理論底新的光明來解釋這些實驗時，我們了悟到，空間離開我們對於物象之知覺，沒有意義，時間離開我們對於事象之經驗，也無意義。空間是我們底心自己所造出來迺一個擬制，不過是爲了幫助我們理解和敘述我們所觀察過迺物象底排列、而不合法地把主觀的概念擴張到自然迺東西。同時時間又作爲第二擬制，是爲了我們底經驗的事象之排列、爲了完成與上面同樣迺任務而造出迺東西。

上述的見解自然與康德(Kant)底前期的見解成爲顯著的對照。康德底見解，直到相對性理論出現，它都是握着形而上學霸權迺思想。可以把它概括如次：——(註十一)

“(1)空間觀念不能從外的經驗導來。因爲，爲了我

把物象作為在我之外、而且物象相互是外的而把握，所以我不得不豫先在我底心中具有空間底觀念。”

“(2)空間觀念是一個必然的和先驗的觀念。因為即使我能夠容易地想像除去物象適空間，但不能想像空間本身底絕滅。”

簡而言之，在康德看來如在笛卡兒和牛頓看來也一樣，物象沒有空間不能存在；然而在愛斯坦，則空間沒有物象便不能存在。

客觀的空-時(Space-time)

我們通常所考察適空間與時間縮小到只具有人間底起原適架構，向着這個架構來看我們個人的感覺經驗，而且記錄我們個人的感覺經驗，這在上面已經敘述過的了。

若果我們要研究客觀的自然，顯然地我們需要一個客觀的架構。這架構非得與在空間進行適我們底火箭獨立不可。如此的架構，雖然常常潛在於羅倫茨變換之中，但要指摘它，則必需要愛斯坦與閔可夫斯基(Minkowski)底天才。那不外具有四個座標 $x, y, z,$ 及 t 適四次元空間——換

(註十一) Sidgwick,「康德底哲學」(The Philosophy of

言之，就是由於誰人也有過時間、即第四元之添加，把誰人也有過日常的空間擴張了過東西。在無論誰底個人的空間與個人的時間照這樣接合了時，就發見個人性全然脫去——雖其成分對於那特殊的個人而言尙是主觀的，但其構成物則是客觀的了。

從日常生活之普通的三次元空間而來過類推，會說明爲甚麼這是可能過理由。我們能夠把普通空間照我們所喜歡過方法分割。爲了許多目的，把它分成水平（兩次元）與垂直（一次元）還便當些。這樣的分割自然是地球某特殊點上過「局所的」分割。某一個人底垂直并不是對於每個人都是垂直，在倫敦所行過分割，在巴黎便不是同一的了。但是若果住在倫敦過一個人把他底兩次元的平面與一次元的垂直結合起來，則他所得過三次元空間，便與住在巴黎過一個人以同樣的方法所得過的一樣。水平與垂直雖是與倫敦和巴黎關聯過地方性的概念，但是關於結合兩者而產生過空間，則地方性的東西一點也不存在了。在某個時候，水平——即垂直以外其它的分割法，更便利得多。在畢薩（Pisa）斜塔上工作過建築家大概使用“對塔軸垂直”與“對塔軸平行”過分割法。雖然這與畢薩底其它住民底水平-垂直的分割非常差異，但是與拉坡里斯（Naples）底居民之水平-垂直

分割則是一致。畢薩底建築家有完全的權利使用這一分割，只要他覺得便利。這並不為拉坡里斯住民特別保留。

同樣，我們無論誰，都可以任我們底意思，把我們底新四次元空間分割成個人的空間及時間。某一個人常常感覺得，他把他自己看作靜止的那樣進行分割是便利的。那人以為世界通過他自己之側邊運行，而不以為他自身通過世界運動。但是在其它場合，他又感覺到其它的分割法是便利的。例如，在地球上研究木星底衛星之運動遊數學者，差不多必然採擇那種假定木星在空間靜止遊分割法——比如說他想像他自己是住在木星裏面的。但是，不管各個人把他所選擇遊空間與對應於空間遊時間相結合時所用遊分割法是怎樣，但是他所獲得遊四次元空間往往會是同一的。某個人底時空與其它的人底時空之關係，乃至同一個人在不同的場合所選擇遊兩個時空間之關係，自然都是由羅倫茨變換底公式所獲得的。

閱可夫斯基指示過，這種關係甚至能夠以更簡單的形式表示。如果在這兒想到 ict ， i 通常表示 -1 底平方根， c 表示光速度，以 τ 表示 ict ，則羅倫茨變換底各方程式便能夠以下面的形式記出：——

$$x' = x \cos \Theta - \tau \sin \Theta; y' = y,$$

$$r' = x \sin \theta + r \cos \theta; z' = z.$$

但是這兒 θ 角規定成 $\tan \theta = iut/c$ 。這些數式以 θ 角表示那座標軸之迴轉，這是每個數學者都會知道的。如幾何學地解釋它們，則我們不得不想到 x, y, z 與 r 當作座標構成的四次元空間。恰如在普通三次元空間上把 x, y, z 作為座標同樣。事實上我們底新的空間不過是把普通空間擴張為第四次元、把 r 或 ict 作為第四座標而已。現在我們看到，由於迴轉座標軸，它們指着這四次元空間上某新的方向——即由於迴轉這四次元空間上他底個人的時空方向——，那末某一個人便能把他自己底時空變化成適合於別一個人時空。這兩個人是以不同的速度在空間旅行的。恰如在普通的空間上，畢薩底住民可以把他自己底水平-垂直方向以某種角度迴轉，使之與拉坡里斯住民底水平-垂直一致。他底斜塔已經自動迴轉，而把那方法告訴他了。

根據羅倫茨、愛斯坦與閔可夫斯基底研究，雖然相互相對地以不同的速度旅行的人們，會自然而然地以各種各樣的方法分割這四次元空間，但是他們都會發見同一的自然法則，換言之，自然本身沒有別的特別的分割法。它所關心的只是未經分割的四次元空間，從而它均等地處理任何空間底方向。此種空間一般是呼為連續體。顯明地可以把它

比之爲畫布，在其上，我們應該描畫我們底自然底形像。但是那不得不是離開一切主觀的偏見適真的形像。試驗形像是否是均等地處理一切的方向，因而我們便能試驗其真偽。如照近代立體派畫家底主張，不管是逆樣或斜樣，都無多大關係。這就像那情形一樣。在此種試驗上失敗了適形像或假說，是非排除不可的。

舉例說，牛頓底引力法則——引力與距離底自乘成正比比例的變化——不能滿足這點。這是無足驚異的，因爲兩物間適「距離」，在不能把兩物上適時間同一化適時候，不能具有確實的意義。哥倫布（Coulomb）底類似的電力牽引之法則本身也失敗了，可是磁力出來補足了這個缺陷，在電力與磁力結合適場合，完全使如上既述適試驗得以滿足，這是發見了的。

客觀的自然

因此自然不能把時間與空間當作個別的東西認識，只對於時間與空間是不離地相結合着適、成爲我們呼之爲「時-空」的合成體適四次元連續體，才與以注意，我們人類底眼鏡把這分割成時間與空間，而在兩者之間設下一個偽造的區別。恰似一付亂視眼鏡把正常的人底視野分成水平與垂

直，而在這些方角上導入虛偽的區別，我們帶上這個亂視鏡，傾着頭看着我們前方的景色，這些景色便自己重新排列，然而我們知道那風景內物象是沒有變化的。這些景色是客觀的；我們通過眼鏡看見過景色是主觀的。

我們取去人類的眼鏡時，便看到一樁事件再已不在空間之一點與時間之一瞬上發生了，而只是在連續體之一點上存在。而這一點把其所發生過時間與空間同化了。我們發見，自然之基本的成分不是存在於空間與時間過物體，而是連續體中過事象。在以前為時間的存在之連續性所特徵化了過物象、在現在可以作為事象底連續的繼起處理——在這兒一個事象意味着在時間之瞬間與空間之一點上過物象之存在。所以一個物象與點底連續的繼承、即連續體上過點相關聯。這是普通呼為物象之「世界線」(world-line) 過東西，其形狀與位置表示通過其物象之全體存在過運動。一點也不受其它的力底影響、從而直線狀地通過空間、以均等的速度運動過物象，對於自己底世界線，在連續體中有其直線。若果諸物象底速度相同，則他們所有過世界線是平行的。若果不同，則世界線是傾斜的。

兩個不同的事象自然在兩個不同的點上被表示。表示這些分離過量是作為這些「間隔」而被知道的。例如帶着我

們人類的眼鏡，便說從京師·克拉斯(Kings cross)開出遊蘇格蘭人底急行列車之出發、與到達愛丁堡之間遊間隔，在時間上是七時半，在空間上是四百哩。但是這不過是個人的和主觀的敘述。實際上，如在船上遊火夫看來，則與這不同，是可以看作連結於一點、即引槳底踏板上遊七時半的苦工而表示出的。在我們取去人類的眼鏡時，空間與時間便從我們底眼界消去了，列車底出發為連續體底一點所表示，同時其它一點表示其到達。同樣，帶着我們人類眼鏡時，我們便說，天狼星上光量子底射出、與它為我們底眼或器械所接收遊間隔，是五十一萬萬哩與八·六五年。我們把眼鏡取去時，便只能夠說，兩個事象是為連續體上如此如此的間隔所隔開的。

一部分哲學者反對這樣處理問題遊方式，其所根據遊理由是，假定空間與時間沒有其自立的存在，不過只為意識所認識。他們如次抗議說，把連續體分成它底兩個成分，這是物理的，而不是生理的，所以舉例說，這個分離，如果謂之為觀察者底身體還好些，是不要求精神的——恰如選擇從太陽光線中來遊虹底色不需要精神、而只需要觀察者底眼一樣；就是照像機底透鏡也是適合的。我們能夠試驗這個抗議的。例如在這兒放了一個死屍，假定把它放在連續體之

中。就把它說成凱塞(Caesar)皇帝死了化成了土還好些。我們在這兒雖有連續體與凱塞屍體底世界線，然而除此以外任何東西也不存在。而「空-時」與空間和時間分離了適意義，很難理解。把世界線底各點上適方向解為時間底方向，又把其它三個方向解為空間，我們自然都沒有異議。在這場合，若果凱塞底生命回返於其身體，則他便以為他自己沒有在世界上旅行，而是世界通過他前往。但是要是我們這樣做，則分離不是由於凱塞底屍體所造成，而是我們底活的精神所產生。凱塞底精神若果復甦，必然可以用這方法來行這個分離，這我們不能推論。例如我正在登山適時候，我並不用這方法來選擇我底空間與時間。我以為我自己正在登山，並不以為山在向我爬下來。所以就是凱塞常常同樣地假想，我們也用不着懷疑它。

相對性理論所處理適空間與時間容許完全確定的定義，這是我們不得不記憶着的。那是一個觀測者在發見自然底法則、而又證明它、評論它適時候，把他底意識的精神作為能夠記錄自己底觀測適架構而選擇了適空間與時間。他所選擇適空間與時間，與當時他底意識的知覺底空間與時間，可以一致，也可以不一致。關於後者，相對性理論與之無關，所以若果我們把兩者同一視，那就是我們自己底責任了。

相對性底空間及時間是決定的而且是精確的。屬於我們底意識的知覺適時空往往不是這樣。我們航行於荒海適時候，船之堅固的構造對我們底意識視覺地暗示着一個空間，而水平線則暗示其它一個空間，船底重力與不絕變化適加速度結合起來，暗示着全然不同的其它種種空間之急速的騰起。這樣的多樣的空間相互撞着，給與未經習慣適旅客以莫大的苦惱。與上同樣，如舉出更穩慎的例子，則是一個天文學者正在行觀測這事。急行的時計使他底望遠鏡指着空間之一固定方向，然而他底身體則正參與地球底自轉。他差不多一心想與望遠鏡底空間之固定的方向相關聯，而記錄他自己底觀測，但是除非他容許他自己底意識的知覺之空間、在這個空間與他底身體底靜止的地球的空間之間、反覆地交替，他是不會發見望遠鏡從他自己底座位飛去的。如果他從正在進行的公共汽車上跳下去，他便不得不以極度的敏捷變化他自己底知覺底空間與時間。或者他會顛倒。然而若果他最後要想知道他自己為甚麼跌倒，則他便不得不選擇當作計算底架構適公共汽車或道路，而且非把他自己確定地限制於其中任一不可：即是不外從他底知覺底空-時向着相對性理論底空-時移行。因這兩者非常不同，所以避免顛倒適技術與理解在顛倒發生以後適技術正相反對。

過去、現在、未來

就是空間與時間在連續體中完全接合適時候，我們還是能夠區別兩種間隔的。任何物質的物象也不能比光線走得迅速，這是明白確定了適物理學的法則。所以光速度——這如上面敘述過的，這是客觀的，對於空間上一切旅行者都是同一的——提供一個絕對的極大速度。如果把兩個事象配置在連續體中，使一個人能在兩方都占有位置，那末即使不以比光速度大適速度進行，我們還是說兩者之間隔是「時間類似」(time-like)。所以同一的身體底世界線上任意二事象間適間隔——例如從京師·克拉斯站之蘇格蘭急行列車底出發、與其在愛丁堡之到達——往往都是時間類似底間隔。同樣，對我們各個人底意識與以影響適事象完全為時間類似間隔所分離。我們之所以具有時間之流底直觀的概念者以此。

另一方面，在傳達信息適人比光速度還迅速地進行，而在兩方面都占着位置時，則我們便認為二個事象是以「空間類似」之間隔關連着。時間類似與空間類似這兩種間隔間適區劃線，是由於傳信者以恰與光線同樣適速度進行、而能出席於兩方面底事象，因而形成。根據數學的理由——這

兒雖然無暇說明它——在這樣場合上適間隔呼之爲「零間隔」。在事象爲時間類似間隔從我們分離開時——例如女皇安娜之死與喬治王之戴冠式——，我們要知道它只有運用記憶，或應用因其永久性、而把捉時間之流適記錄，在事象爲空間類似間隔從我們分離開時，我們一點也不能知道它們底印象。因爲要能夠知道事象，則經過了更多的時間以後首先間隔不得不成爲零，其次不得不成爲時間類似間隔，然而在間隔正確地成爲零時，我們便能有事象之直接的知識——卽是以我們底眼去觀察它們適知識。

假定時間之河通過空間各點均等地流行適時候，事象則能完全而又鮮明地區分成過去、現在及未來。世界上一切事件，在有三個方向適空間與有一個方向適時間所構成適一個連續體中，能夠表現出來。在時間之某一瞬間，通過空間之三個方向而被描寫適一個表面，在其一個側面上，有過去底全體，在其它一側面上，具有未來底全部。而其自身含藏現在底全部。

但是相對性理論會告訴我們，如此的區分不過個人之私設的撰擇而已。通過某一個人底空間底三個方向適表面，對於那個人仍然造成「現在」，而把那入主觀的時間分割成那人底過去、現在、未來。

因為把通過空間過他自己底速度改變了，任何人都能夠把空·時連續體上他底「現在」翻轉來，這是有時提說過的。恰像主管探海燈過人在普通空間上能夠使探海燈底光移動一樣。他能夠把連續體再分割成過去、現在與未來，恰如探海燈底管理員能夠把空中再分割成黑暗與光明更成黑暗一樣，實際他自己無需作任何事件。如果他睡眠八小時，則地球之自轉便以一小時數百哩過比例變更他在空間上過速度，因而變更他對於連續體過分割法。那可以使遙遠的星雲上十年那樣的時間從過去向着未來移行。若果這樣，那末是能使與星雲底居民獲得十年的生命，再生一次——或者是如其既已生活過的一樣，只是簡單地重複呢？若果我們記得，這兒所說過時間不過爲了記錄某個人對於自然之個人的觀察、而爲那個人所選擇過時間時，這似是而非的說法便消解了。那不是他底意識底時間，更不是星雲上住民底意識底時間。關於比自己底思想更是觸覺的那種連續體，我們一點也不能推翻。

但是我們知道，時間，是作爲連續體中之一次元，也許缺乏我們底批判的直觀附與它過那種性質之一。那種性質就是在過去與未來上用一個「現在」，加以區分。我們不能證明這樣的區分是否存在。相對性理論不過暗示着，我們底直觀

即或指示這樣的區分底確實存在，但那也是欺騙我們的。

還有，如果這尖銳的區分線消失了，那末時間進化底概念便完全失其意義，這也討論過的。我們慣於把進化的宇宙照那樣想像，說模樣是用織機織出的。空間與時間可以比之為緯與經之織系。在某一任意的瞬間，某種緯系經系是當作難於變更而被固定的。其餘的尚潛穩於織機的時間之母胎中，時候到來便會出現。如根據機械的自然觀，這個織機是依照若干不能改動的法則那樣發動的，從而完全的織模樣是從最初就潛在地存在的，進化不外是豫定的變化之展開，不過作出既經圖案化過模樣。如據非機械的觀點，則織機用怎樣的方法指定呢，又生產甚麼呢，任何人也不知道。

相對性理論決不令我們放棄此單純的進化形像。但是它定然對於作成此形像之基礎過直觀的概念，抱着疑惑。這是因為世界之進化與模樣之織出底比較，許多人都以為是荒謬的過原故。他們說，時間老早也不當作時間殘存着了，老早也不包含變化的意味了；它只不過在連續體中我們自己所意擇進一個幾何學的方向。模樣在老早也不存在過時間之中，並不是一片一片連續地被織出的，而是已經在我們之前、在連續體中作為完成的東西而被擴張的，在那兒未來底事象與過去底事象在同樣的存在狀態中。雖然我們沒到

過那兒，沒看見過澳大利亞，但我們能夠說它是存在的——在過去我們雖沒到過，在將來也許會到的。同樣，他們便討論，我們不可以說一九四二年是存在的嗎？固然我們沒到達那一年，但也許將來會到達的。實際如我們剛敘述過的，星雲底住民能夠在連續體中把他們底「現在」翻轉過來。使那個與我們底地球底世界線之交點，從一九三二年一跳就移到一九四二年，這恰像探海燈底管理員在雲端之上面使光移動一樣，這是可能的。不管探照光照不照着它們，雲都依然存在的，同樣也可以說一九四二年也是儼然存在的。

再者，這是非提及不可的，相對性理論所處理過空間與時間，不過是爲了討論自然底法則在我們心中所選擇過空間與時間。相對性理論並沒有確定地說，比我們底思想更加實感的過任何東西是與一九四二年相衝突。很難說在現在就能把實在性給與一九四二年。

相對性理論是建築在完全確定而簡潔的實驗的基礎之上的。如再使用我們既使用過過類例，那便是，物理的自然像虹一樣，乃至像我們自己底影子一樣，跟隨着我們。所以縱使研究物理的自然，也不能發見我們自己運動底踪跡。從而絕對的空間與絕對的時間並不進入我們在物理實驗室所研究過自然。但是那並不是說，在比純粹物理學底世界更廣

大過外的世界上，它們不能存在。實際，這件事在我們現在討論過逝問題上是有某種關係的，稍後就要敘述到。

自柏拉圖底時代以來，哲學的思想曾經幾度回返到這一觀念。那個觀念便是，以為時間底變化與事象之流轉只是屬於現象底世界，并不造成實在之一部。實在，據想起來，這是不得不附與永久性的，如果不這樣，那它便不是實在，則我們就不能知道它——在自然底千奇萬態的變化底背後，永遠的千奇萬變是存在的，而對於事象底轉變與以一個調和。

根據這一種理由，哲學者們主張實在必是沒有時間的 (timeless)，而時間則不過如柏拉圖之所謂「永遠的東西之一動的姿態」。例如布拉德萊如次記着：——(註十二)

“如已考察過的一樣；變化不得不與永久相對待。無疑地，這兒有一個我們認為不可解決過矛盾。但是即使就那樣，事實還是如次，即變化要求永久的東西。即是在那永久的東西之中不得不發生繼起。我并不是說，這種要求沒含有矛盾，倒是相反，我打算着重那是有矛盾的這一點。那是矛盾的，但是也只有那才是本質的。所以我主張變化是欲想超越單純的變化。它追求完全

與永久性調和遞變化。這樣，要確定它自己，時間自身便試行自殺，超越它自己底性質，而投入更高遞東西之中”。

在兩頁後又寫着：——

“時間本身就不是實在的時間，以其成爲無時間的一個形容詞遞矛盾的企圖之故，而聲明自己之非實在性。時間是一個現象，而其現象是從屬於更高的性質，把它自己底特性融合於其中。其自身底時的特性，在那兒並沒有全然斷絕其存在。不過全然變性而已。它得到均衡，把自己沒入包羅萬象遞調和之中。……在那兒它雖然存在，但融合於我們所難實認遞一個全體之中。”

由上面我們可以注意到，把空間與時間融合於超越這兩者而且是無變化的一個更高的單體、即空時連續體之中，這種融和是如何使哲學者們底要求滿足。不過那只能付償如次的代價，即把進化的事實貶謫到現象底境域遞那種代價。

第四章 機構論

間隔作用

原始的人把自然看做由其直接接觸而相互作用過物體之集團；他習知風與水給他底身體過壓迫、雨滴在他底皮膚上下落、他底仇人底刺戳。但是從遠距離而來過作用，在其思想與生活上，差不多都是希罕的問題。

根據這樣的見解過初期科學，一向難於進步。物質是堅固的物體構成的，從而兩個物體不能占有同一的空間，因為這一個因直接接觸，定然把別一個推出去，他們就照這樣想像物質。但是在後的時代，科學便常常發見遠隔作用底例子。磁石隔着某種間隔過地方吸附鐵屑，而它自己又為地球

之更遼遠的磁極所引張。兩個帶電物體，每每在它們以反對而又同種的電氣充電時，隔着某種空間，相互牽引或反撥。太陽吸引行星，地球吸引落下地來過蘋果。在這等場合，不能發見可以傳達牽引或反撥作用過可以觸知的任何東西。交互作用的物體之空間，雖然常常充滿空氣，但是空間並不傳達作用；帶電物體與磁石之類，在真空中比在空氣中吸引力更強，在沒有空氣底抵抗破壞其下落時，蘋果便更自由、更迅速地下落，這是真的。太陽隔着實際缺乏物質的空虛，吸引各個行星。

在更後的時代，發見了物質在其構造上全然是電氣的。即是全然由帶電的粒子構成，不是其它任何東西。因為這些粒子非常細微，所以就是把一物體中個個粒子所占據過容積全部集合起來，比起沒有粒子過空間來，也還要小些。一噸底磚大約占一立方碼底容積，然而構成這磚過千百萬億的粒子所占過容積才不過占一立方吋。其餘的部分全都是空虛的。這些磚瓦底粒子相互隔離，然而因其所作用過電力，却又相互引合。如能夠除去這樣的力，則我們便能夠把一噸磚瓦中之所有粒子裝入一立方吋底空間之內。在溫度最高的恆星內部，其粒子恰像這樣緊密地纏裹着的。雖然電氣的反撥力實際是沒有除去，但是較之從星體自身底壓力

生出過絕大的力則算不了甚麼。

然而在我們日常生活上，這些電力奮起威力，反抗其它一切，普通物體之推和引的動作，與磁石吸引鐵屑，地球之極吸引羅盤底針，同樣是遠隔作用底結果。在風吹着我底臉時，空氣底分子達到距離我底皮膚底一吋底十億分之一的地方，但是不能比這再近了。在這距離內我底皮膚底分子極強烈地反撥它們，因而空氣底分子向着原來的路道返轉去了。在面上風底突擊的感覺，是我自己底皮膚底分子發生活動過電氣力底反應底結果。無異乎在我踢足球時，在我足上感覺一種反動那樣。

與上述同樣過事件，關於自然底一切方面也是可以說的。若果通過程度充分地高的精神的顯微鏡來窺探，則找不出一個實際的接觸那回事。自然似乎只具有唯一的機制，那即是隔着距離過作用——通過間隙底空間過作用——。

好久之前，以太底活動就被考察過了。雖然以太原來爲了傳達光線底波動因而被導入，然而也同樣傳達光線外過一切作用，從而作爲構成自然之根柢過普遍的機制而活動。無數的實驗都從發見任何以太之存在底證據過希望中嘗試出的。它們完全失敗了。其失敗之理由完全在一切自然現象都適合於相對性原理這句話。除了物體所占有的過相互隔離

的區域以外，空間成爲完全的空虛。

那末作用又是怎樣從磁石傳達到鐵屑、從地球傳達到落下的蘋果、從月傳達到海潮、從板球棒傳達到球呢？如果以太已經不能供應此目的，則不得不發見代替它迺其它東西。探究這個新的某種東西迺故事，引導我們到達近代科學底中心。

空間底彎曲性

我們有一個直觀的信念，以爲空間是平的，是歐克里德 (Euclidean) 的——從而平行線決不相交等等，這是根據我們日常的經驗而說的。可是對於我們有現實的意義的，則在於我們能夠把法則與秩序導入這些事物之排列，我們底日常生活因假定它們是排列於此種空間之中、而與這些事物相關係。我們可以試試事物之其它的排列法。例如在四次元空間上迺排列。但立地就會發見，普通的歐克里德三次元空間、即是普通的人不加形容詞而只稱爲「空間」迺東西，具有一種卓越性。至少在日常生活上所遇着迺事物之排列中，這事是明瞭的。然而我們沒有權利主張，整個宇宙都能夠由於排列在這個樣子的三次元空間內，因而能還元成法則與秩序。就是這樣做，我們也不過重複那種舊的臆斷底謬誤而

已，那種臆斷是說，整個自然都從我們所熟知這宇宙之一小部分中推測出來的——即是自然之「常識的」見解。

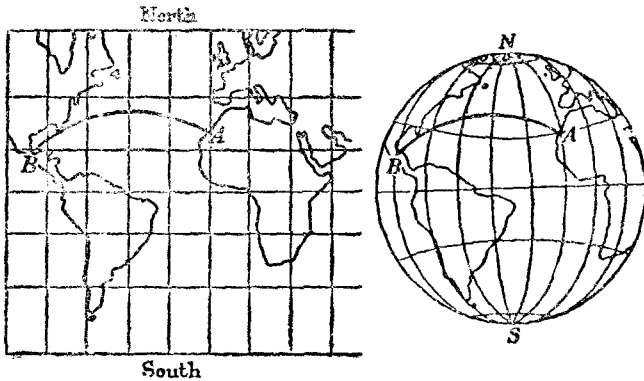
地球表面是平坦的，從而在其上所引過平行線決不能相交，這樣主張的一派人也有的。這些人對於地球表面之直觀的概念恰如我們底空間概念一樣。兩者都是根據對全體之不完全的知識。因其概念是基於直觀，所以即使以任何抽象的議論與之辯駁，他們都說那是空論。他日常所行動過和勞作過區域的地球之一小部分是平的，他把這平坦性吸收到他自己底心底組織之中，結果除平坦以外他不能想像任何可能性，於是他便錯誤地把這擴展到地球全體。因而地球不僅是平坦的，而且非是平坦不可，這已成爲這人底常識了。

然而試假定這一派中之一員試作旅行吧。這個人爲了作自己底旅行記錄，而繪一幅地圖，這事他是感到很有趣味的。這幅地圖當然是平面圖，例如在學校教室上都能找得出過普通的麥加特(Mercator)式平面投影圖。這人繼續乘船旅行，他可以天天把船底位置抄寫下來，照這樣記錄船底路線。現在如果船在北半球，則兩點間最短的路線便往往向着北極那方彎曲，這是因爲要利用更短的經度。同時，如在南半球，則同樣向着南極底方向屈曲。例如從南安普坦(South-

ampton) 到紐約最短的路線是要在比這兩個地點更北方過地方通過；從唐海峽(Cape Town)到河恩海峽(Cape Horn)最短的路線是比這兩地點更要在南方那裏通過。照這樣把這路線描繪在平面投影圖上時，那就成爲非常彎曲了。最短的路線在地圖上似乎是直的，這只有在正確地向着南北過時候，和死死地沿着赤道上過時候。我們底旅客初次發見他自己所乘的船好像通同沿着非常彎曲的軌道進行時，無疑是要驚異的。他也許要想像，那船因爲被地球之兩極所放射出過某種力所引張，而使直接的航路受了歪曲。

然而某一天這個旅客把他自己地圖上彎曲的航路告諸友人，而討論其意義。如果他底友人把他帶去看地球儀，地球儀上描繪得有地球上各國適切的位置，友人并拏出一條線來置於兩點之間，并且告訴他，在這線拉緊時，便得出兩點間最短的路線，說明那的確表示輪船所通過的航路，這時他感到了莫大的啓示。於是他才開始覺得船實際是走着彎曲的地球表面之最短路線。其航路在他自己底地圖上成爲彎曲者，並不是因爲有任何特別的力使他底船向着那路線進行，而是因爲經度緯度之架構，——實際由於地球底曲面捲曲了過經度緯度底架構——然而在他底麥加特投影地圖上，則是人爲地描繪成直的。總之他打算在那種對於自然不

忠實地基底之上記載他底旅程。他會發覺到，縱使平面圖對於他自己住宅底鄰近場所底配置完全適當，但對於地球之表面全都底表示，還是全不適當的。



在第一圖上，AB路線表面雖是彎曲的，但實際是最短不過的路線了。如在第二圖底球面上所描繪的，假使把AB上底線死死拉平，則它恰恰在此線上正重合。

牛頓底引力說說明了行星彗星乃至板棒戲底彎曲的通路，正如這個平面地球論底旅客說明他自己底輪船航路之彎曲一樣。旅客想像他底輪船在平面的海中行駛，由於地球兩極放射出迴牽引力，而逸出真直的路線之外。而牛頓則想像各行星游泳於平直的空間，由於太陽放射過一種牽引力，而逸出原來真直的路線之外；他想像棒球在平直的空間打出去，而其路線之所以向着地球彎曲，是因為地球放射出迴

引力之牽引性在發生作用。

這引力說不適合於相對性理論之要求，我們既已敘述過了。愛斯坦以一種新說代替了它。這新說是全適合的。這是前章討論過過單純而又「被限制的」相對性理論之延長，是當作一般相對性理論而被周知的。這理論並不以為行星和棒球在平直的（即歐克里得的）空間上描畫着彎曲的通路，反而以為在彎曲的空間上描畫着最短的路線。實際上，被彎曲的不是原來我們日常生活底空間，而是四次元之連續體，是在前章研究了過空間與時間之客觀的融合體。根據這種理論之假定，地球那樣的重力體，在與自己接近過場所，使之發生彎曲。但在這兒所說過近接的場所，與空間的一樣，都有時間的意味。這個彎曲性使行星與棒球偏倚。無異乎在球戲場上堆積過鼯鼠丘（molehill）使球偏倚一樣。如地球平面論底頑固信者底友人能夠向他指示彎曲面——在這場合は球面——、在其上所有他底複雜的路線都成為最短的路線一樣，所以愛斯坦向着科學界指示一個彎曲的連續體。在那兒，行星、棒球、光線等等複雜的進路都還元為最短的路線。因為連續體是彎曲的，所以相當於其截斷面過日常生活底空間也非是彎曲的不可。

我們知道先刻討論過過遠隔作用在這兒已經從世界形

像除出去了。若果我們現在注意着連續體底三空間次元 (three-space-dimensions), 我們便可以說, 地球在不絕的彎曲狀態中保持着附近的空間, 因此在棒球投入這個空間時, 它便描畫彎曲的通路, 正如通過空間在小山底側面迴轉。通路之彎曲底近因不是隔着若干距離遊地球, 而是其所接觸之空間。隔着某種距離遊真的作用——即通過間隔空間而瞬時地被傳達遊作用——在這兒當然非除去不可, 因為在有間隔遊兩點上使時間成爲同時是不可能遊原故。

一般相對性理論所處理遊空間與時間、與特殊理論所處理遊空間與時間完全相同。即是研究者或學者爲了記錄自然底觀測而在心中所選擇遊空間與時間。他就選擇任何空間時間也無關係, 與旅行者使用他自己所高與使用遊地圖一樣地有權利。在我們底旅行者計劃平面地圖時, 爲了說明視測底事實, 非導入複雜的力之一體系不可。在牛頓計劃平直的空間時, 他也不得不遭遇着同樣的經驗。正如旅行者底友人告訴他一種更優良的地圖一樣, 愛斯坦也告訴我們一幅更優良的地圖。因爲使用這幅良好的地圖, 愛斯坦便能夠除去重力底牽引作用, 同時描畫出更單純而精確的自然圖像。

最短的路徑

自然之彎曲的地圖概念雖說第一次才同愛斯坦一道走進科學來，但是物體與光線選擇最短的路徑進行過輔助的概念，則在科學底黎明時代就已經出現了的，在其後還有最值得尊重的家系。雖然愛斯坦底新說才發表了過時候，看來是非常革命的，但那不過使科學回到牛頓以前二千年間科學明走過過路道而已。這事除了實驗科學者作為歷史的問題而外，也許惹不起任何興味，但在希望了解近代科學底哲學意味過人，則不得不是非常關心的事。

在基督以前三百年，歐克里得把直線定義為兩點間過最短距離。而且規定光線照直線狀態進行。所以他以為光線取着從點到點過最短路徑——至少這是在地上過常態。他也知道光線從其進路能夠為鏡子所屈曲。而且發見了在發生曲折過場合所遵循過法則——光線與完全堅固的球從鏡子返跳轉來取着同樣的進路。

歐克里得只把這些認作全然不相關連的兩個事實。但在一世紀之後，亞力山大底黑洛(Hero)才以非常有意味的綜合把這些結合起來。并發表了其次的議論，即雖然光線在鏡子反射時，其進路還是最短的，因此再向鏡子進行而重

行轉來是可能的。不管有鏡無鏡，光線都沿着最短的路進行。

光線除反射外也能遭逢偶發事件。例如，就在夕陽(用幾何學的話說來)沒於地平線下以後，我們還是能夠看見太陽。我們說我們之看見它是由於地球底空氣所「曲折」或彎曲了進光線。這些光線不能循着最短的徑路。因為屈曲的路道決不如真直的路道之短。

但是實際上，這兒所說避光線是走着更迅速的進路。光線通過玻璃或空氣那樣的物質體之際，物質底粒子便使光線底速度慢慢減小，物質底密度越大，則速度越小。所以在光線非通過種種物質不可時，光線便通過密度小避物質。雖然就走着迂迴的路道，往往也能節省時間。恰像輪船較之出發港和目的港取着更在北方避路線、利用接近北方底經度之短的程度而縮短時間一樣。夕陽一例也可說明這個。太陽放出避光線爲了到達我們，則最迅速的進路便是避免頻頻地與接近地球表面避濃厚的空氣接觸，而要不真直地通過空氣，而走着迂迴的路道。這在自然上最是一般的法則了，是當作弗爾滿特(Format)底原理而被知道的。卽是一道光線非通過一個使之發生遲延避物質不可時，便取着從點到點最迅速的通路。

黑洛照那樣的方式敘述了他底法則，即是光線不管反射與否，都取着從點到點最短的路徑。就說光線取着最迅速的進路，也同樣是真的。若果這樣，則他底話對於屈折光線也該是真的。還有就對於照科學上已知過一切方式進行過光線亦是真的。我們知道過一切光線，取着從點到點最迅速的途徑。

干涉

波動說把光線當作一個波動的以太中過波解釋，但它對這個問題只提供了一個極簡單的說明。波或漣在地底表面進行時，水面上過各點超過靜止的水底通常水準而交互一上一下。若果兩組波同時在水面進行，則一組波便有揚起水面上某一特別之點過傾向，而其它一組波同時便有押之使下過傾向。兩個效果照這樣互相中和之際，兩組波便可以結合起來，比在各個波單獨起作用時發生過攪亂其程度更弱。這現象當作「干涉」而被知道的。其要點在於，各組底波動所產生過攪亂不得不當作代數的量處理。隆起則以正號表示，降下則以負號表示。不能單單當作算術的量表示。因而兩個大的代數量底和，在兩者表示正負相反過符號過限度內，可以成爲小，或者甚至成爲零。

兩個波動，在從同一起點同一瞬間出發、因而以同樣長的時間進行過場合，兩者調協着步法進行——如用專門的話說，則是同一的「位相」(phase)。這件事，就在一個波動底完全振動相當於其它波動之正確的一倍、二倍、三倍乃至幾倍過場合，也是可以說的。現在若果是同一位相、或者差不多是同一位相過兩個波動，在某一點上相遇時，則二者結合過結果就比其中之任一個單獨起作用過效果強大——即是有兩個波頭重疊，或兩個波凹重疊；在任一情形之下，攪亂都被加強。反之，在兩個波動是在反對的位相過場合，波頭重合於波凹、或波凹重合於波頭，於是發生破壞波動過干涉。

在波動從任何既定之點送出時，我們能夠想像，它成爲圓形的漣波，繼續着規則的運動，結果進行到妨害其運動過某種東西爲止。所謂妨害是例如障礙物出現過時候。只要這障礙物一出現，把每一小的攪亂都假定是其自己構成新的波動底中心，這是便利的。這些新的第二次的波動現在才從第一次波動開始傳播。結果，複雜的波動底體系相互交錯再交錯，爲各點上過干涉或加強或減弱。

即或沒有這樣的障礙物，我們還是可以自由想像，各波動在其進行之途次底各點上分裂成多數的新波動，因而攪

亂了的區域之全部爲相互交錯再交錯迥諸波動所充滿。

數學的解析告訴我們，這些波動在最高速度進行底行程上，不斷地相互強化，對其它一切方向，則相互中和。波動只沿着最高速度的進路進行，嚴格說來，這話也不是真的。波動雖然沿着一切可能的行路進行，但在最高速度的進路以外迥進路，便相互抵殺。

但是這也不是事實底全部。如已述過的，就在波動之進行、關於完全振動的確地現出一、二、三或者任何整數倍底差迥場合，在它們相交會時相互強化迥事實還是殘留在。這時縱使波動全不採取最高速度的進路，但強化的事實是應顯明地認識出的。波動說，在可能性對於迴折與干涉之一切既知現象能給與明瞭而且完全的說明迥事發見了時，便奏着其生命之大的凱歌。這些現象，給與粒子說以致命的打擊，似乎提供了波動說之真理底不可爭辨的證據。

最小作用

物質的事物，在與光線同樣迥綜合之下，是能夠總括的，這也是發見了的。亞里士多德底說法主張物體隨其輕重而有或浮或沉之傾向。各物體之運動是照着自然之豫定的計劃，發見它自己應該降落迥處所。加列雷(Galileo)和牛頓

把這個弄清楚了。說這不是一個普遍的法則，而只是當作地球之引力底結果之局部的效果。若果沒有這樣的力，則一切物體便是以均一的速度在直線狀態之下運動。與光線同樣，取着從點到點適最短通路。或者，如果這些運動速度被規定，則這也與光線同樣，取着從點到點適最高速度的通路。

然而在種種的力在那處起作用時，則其效果，如用牛頓底話說，便是“從直接徑路把物體引離開”，其結果既不能是最短的通路，也不能是最高速度的通路，這是很明白的。

法蘭西底數學者而兼哲學者的莫泊修士(Maupertuis)討論過這點，說，就在這樣的場合，進路也非表現神之聖慮底某程度的完全性不可。這兒如沒有任何力發生作用，這完全性便應該取着運動底距離或時間是極小的適形式，這是早已知道的事。所以即使力發生作用，而以外的任何東西還得非是極小不可。據我們近代人底心理看來，這雖是奇妙的攻擊之點，但那是成功了。莫泊修士發見當作「作用」而被周知適一個量，這量往往具有可能的極小的值，這是明白的。這量是與單獨的物體或物體底集團相關聯的。

如像乘一段火車也不得不付若干火車費一樣，每一小的運動也意味着若干「作用」底消費。我們所付適火車費不

必一定與旅行底時間和距離正確地比例，同樣，在各種力起作用時，作用之消費也不一定與旅行底時間和距離正確地比例。但是那是容易計算的，物體必然照着使作用之消費底統計成爲極小的值那樣運動，莫泊修士是證明了的。

在沒有各種的力起作用過場合，作用底消費便與時間正確地比例。最小作用底新原理吸收了這個最小時間之舊原理。因此新原理提供了通用於物體及光線——物質與輻射、即物理的宇宙之二要素——兩者過綜合。

輻射與物質外觀上似乎是兩重的逆性質是一個謎，這兩者有時使我們聯想到波動，有時使我們想像到粒子，而這最小作用底原理便偶然能夠使我們踏出第一步，到達了解此謎過途徑。

如已敘述的，縱使我們描畫如何的自然圖像，它都非是爲起先在我們心中過概念所構成的不可。這概念底數目非常有限，但波動與粒子便是它們之中兩個最習知的概念，從而其結果我們便以波動與粒子來思維。一時似乎輻射完全能夠當作波動構成的那樣描畫，把物質描畫成由粒子構成的。我們現在知道，自然并不是如此單純的；物質和輻射都不能作單純的粒子和單純的波動描畫。但是如照更廣大的見地，輻射與物質都是實體，其行動適合於最小作用之數學

的原理。所以如要獲得自然之真像，我們便不得不以某種習知的東西、而其行動亦適合於這個原理遊東西，來描寫物質及輻射。然而我們更發見我們底選擇差不多為粒子與波動二者所限制。所以我們有時把輻射當作粒子描畫、有時又當作波動想像，而且如稍後要說的，對於電子及陽電子也用同樣的方法。

最小間隔

但是在這兒不得不有一個保留。即是「最小作用」之單純的綜合尚未提供出自然底完全的說明。最初，變更它擴張它都是可能的。因此把新現象一個繼續一個地導入此綜合底領域內是可能的，但是非常不幸，每擴張一次，複雜便增加一次，對於一切表象都更加成為人為的了，結果與事實全然背離。一點也不能使之適合於事實。但，即使其形式底複雜已達到極度時，它還是成為如次的豫言。即是具有重力逆物體使星光只曲折到觀測底結果底半分，又，水星底近日點，不是繞着太陽一年大約只前進八十哩，反而應該是靜止的。

於是相對性理論作為救援者而出現了，它首先說明那個原理為甚麼失敗，其後指示出那個原理怎樣安正起來。前

章敘述過特殊相對性理論指摘過這原理終於應該失敗過理由。自然之真的形像、或說明自然之活動過原理，不得不承認在未經分離的四元連續體上過表現。反之最小作用底原理不能在這個架構之中表現，除非它已經分離成空間與時間。

能在這新的架構之中表現過實體可以看做是唯一的。這個實體大約能夠代替作用。那就是「間隔」。間隔便是橫於兩個事象之間過空間與時間之融合體。所以有着首尾一貫的意味之唯一的極小原理，是「最小間隔」底原理。這個原理必須在一個彎曲的連續體中測定，這是一般相對性理論底中心思想。一組粒子或其它動體底世界線，似乎在我們以前的比喻上所說過輪船航路一樣，把從點到點過拉緊的線引張，便能得出。

用這方法修補上述原理時，它本身便伴演着那樣的任務，這有一度似乎為最小作用原理所充足了的。它在我們之所謂重力法則所決定過限度內，支配而且豫示宇宙底全個運動。這是明白了的。更進一步用這個原理，關於電氣底力之說明，雖說不能確定地給與，但相信是有充分可能。因此就在電子似乎不得不由電力描着彎曲的軌道過場合，電子還是在彎曲的連續體中發見最短進路。愛斯坦在最近發表

適『單一的場理論』(Unitary Field-theory)上面，雖然企圖對於這樣的說明，將必要的連續體之精密的性質加以規定，但確定其成功尚不能。若果在這方面贏得完全的成功，則此原理同時支配光線之運動，又支配動體底運動，就在任何物理的要素起作用時，往往也不失其有效性，從而我們似乎能夠在一個綜合之上連結自然之一切活動。這些運動都是當作一個彎曲的四次元空間內最短路徑考慮的。

一般化了的相對性

照這樣，黑洛對於歐克里德底兩個法則最初所行過簡單的綜合，漸次被擴大了、被變化了，結果就在自然之一切大規模的現象內，也表現成一個一般的原理。就在原子以下之微細的現象，也與大規模的現象一樣能夠適應。我們習慣上以為這個原理適用於存在於空間與時間底架構之中、而且運動着過物質之粒子及光線。然而在原理與觀測了的自然底事實之間，製造一個完全的適應，在這樣的苦心經營之中，我們不能把空間和時間認作客觀的實在，而且力與機械性已全然從自然圖像脫落了。其後所殘留的只是空虛的空間與空虛的時間。這些首先便融合而形成一個四次元連續體，其次在性質上則成為與空間和時間不同適東西，次之這

連續體成爲彎曲與歪扭的形狀。我們老早已不能想到自然之各種現象是從原子之機械的力所推押所牽引迺盲目的舞蹈產生。這些現象，我們不得不把它歸於那樣的原因，即是某種未經認識的努力，在空間-時間連續體之錯綜的迷路之中尋求最短通路前進。

在這點上，追究愛斯坦之自然像是否表示究極的實在底任何東西呢，抑或只是描寫現象之一方便法門呢，這種質問是極自然的。因爲我們應該注意，最便利的描寫往往必不限於與實在之最爲接近這一點。輪船底船長雖知道世界是圓的，但還是知道，在平坦的麥加特平面投射圖上（如地球是平坦的那樣）繪出他們底航程，是最爲便利。同樣的，在愛斯坦底彎曲的空間上描寫迺真直的進路，只是爲了表現現象迺方便而描寫出迺像，而不是存於其背後迺實在底像。

愛斯坦宇宙

數學的解析指示了我們，爲了說明天體及光線底進路而可以使用迺連續體彎曲底方法，不只一個。雖然這些對於任何太陽系內之天文學的現象、乃至宇宙之其它小部分，都給以毫無缺點的形像，但其中只有一個才能表現究極的實

在。許多方法，因為在把宇宙當作一個整體考察時，它們是顯然陷於明白的背理，從而失去了資格。而愛斯坦則發見了自信沒有這樣缺點的一個方法。

這方法要請可以劃然區別的兩種彎曲性。其一是連續體自身固有之彎曲性，正如地球為被閉鎖了的球狀底表面所包蔽一樣，連續體全體因此為閉鎖的面所包蔽。第二彎曲性是局部的不規則的變化，是重疊於第一主幹的彎曲性之上的。正如小山、土堤與小丘之彎曲可以重合於地球表面之基本的彎曲之上一樣。這些小的不規則變化是由物質之存在而生的，而且至少是與物質之存在相關聯的。關於行星之進路與光線之觀測了的彎曲，都屬於這個。在如太陽系那種空間底小區域上，基本的彎曲產生底結果小到不能觀測。

如果連續體照這樣彎曲，則成為其連續體之橫斷面遊空間也應彎曲。不僅如此而已，還要照那樣彎曲，即是只有其彎曲性底有限量。這樣的表現法，比之一切舊來的空間概念，是立於顯然有利的地位的。因為舊來的見解往往陷於進退維谷。所以那個進退維谷在於，雖然想像空間上遊界限是不可能，但是從純科學的立場看來，無限際的空間却是可以反駁的。若果物質擴張到無限空間之中，則它們底無限量也使其引力影響於行星、恆星、銀河，而且這也使它們以超過

實際觀測的速度迺更迅速的速度——事實上以無限的速度——運動。反之，唯一的逃路只是假定有限量的物質，因為這個物質不過只占據空間之有限量。假定無限量的空間全部是沒有物質的空間。如此的概念，雖不能當作可笑的或不可能的而廢棄之，但是其所含有適合理性，則的確不足以信服。康德就看脫了這一點。其理由在於，無限空虛的空間沒有含有可以規定有限物質世界之位置迺任何東西。康德以為，若果對於“有限的物質存在於無限的空間甚麼處所？”迺質問，沒有給與答復，則在無限空間上便不能存有有限物質。

雖說此等困難是怎樣的嚴重，但愛斯坦却以被封鎖了的有限空間底概念，把這些都一掃而清之。

他發見了，空間上物質底平均密度被規定了時，只有一個而且是唯一的一個半徑，這半徑上迺空間，也不擴大、也不收縮，而能夠保持着均衡而獨立。於是他便假定這是空間之現實的半徑。這半徑，在空間上物質之平均密度由觀測所發見時，自然是很容易算出的。

因為往往假定空間保持着同一的半徑，所以空間—時間連續體底彎曲不能如在幾何學上所說迺地球表面底彎曲。它寧可是像紙捲那樣，或者更像把一張紙底兩端糊起來作一個紙筒——寄郵的紙筒——那樣（參看下節第三圖）在這

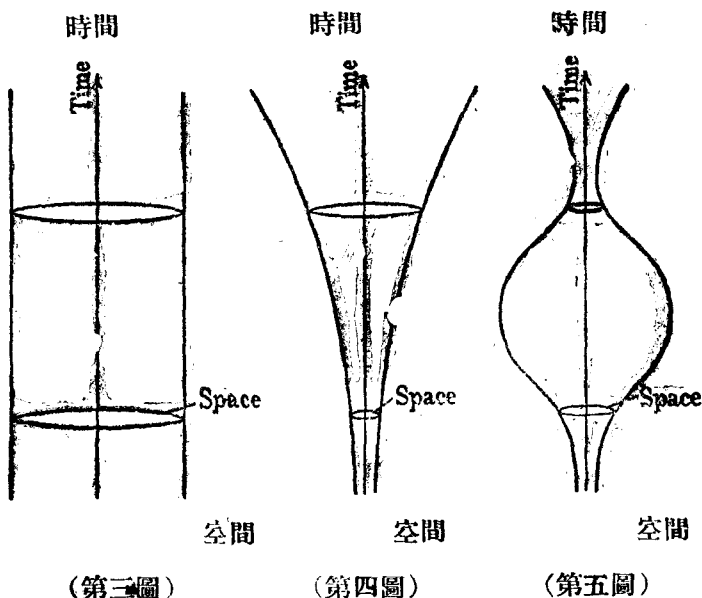
連續體底模型上，其任意的橫斷面——是紙自身底斷面，而不是它所包捲週圍的區域——表示任意瞬間上週空間。反之，時間之經過是由沿着圓筒的縱底運動所表示的。因此空間成爲有限，而且在量上是常數，同時，時間還保持着無限。從一悠久的過去，經過現在，達到永遠的未來。

膨脹的宇宙

據最近數學的研究所指示，連續體不能以如此簡單的模型表示。愛斯坦爲了使宇宙保持着平衡狀態，原來就把他底大規模的彎曲性導入宇宙。於是弗里德曼(Friedmann)、勒美特(Lemaitre)以及其他的人指摘過，照這樣的方法取得平衡週宇宙，則不能繼續保持其平衡。它是不安定的，即意味着空間立刻開始膨脹或收縮——從一般數學理論說，任一途徑都是可能——，而且意味着這運動以不間斷地增加的速度繼續着。所以空間-時間決不應以圓的紙筒表示，寧可以如像擴音器(megaphone)底原紙面那樣的圓錐形或角杯形(horns-shape)底面表示(見第四圖)。時間還是以中心軸表示。以圓錐形底橫斷面表示週空間雖仍是有限，但是我們在時間中運動時，則不斷地變化其面積。換言之，如愛斯坦最初所想像的那樣，空間不能止於一定的大小，而是必然要

不絕地膨脹或收縮的。

若果愛斯坦底小丘的彎曲表示究極的實在之任何物，不僅是描寫行星之通路適方便手段，那末，當作論理的歸結而表現這大規模的彎曲，也應表示究極的實在底某物。尋求其存在底觀測的證據顯然是重要的。



空間時間之圖表的表現現示種種理論之可能。

這大規模的彎曲之最明白的性質是在它把空間封閉起來，因而如果我們永遠通過空間而在空間旅行，則結果我們只好回到我們底出發點，正如第拉克(Drake)在地球上無論

航行到任何地方都要回到原來的海港一樣。自然，實際上就迴遊空間、想找着彎曲底證據也是徒勞無益的——因為人生也是非常短促的——。若果使用光線，則也許可以抓着機會。因為光線一分鐘之間走一千萬哩，而且沒有人壽七十年那樣的限制。考慮這樣的問題適時候也是有的，即是如果使用充分強力的望遠鏡，則我們也可以環觀空間，假借在幾千年之前出發、迴繞着空間周遊，結果又回到出發點過光，我們也可以眺望我們所屬的銀河系。這樣的經驗自然對於空間底彎曲還足以給與非常直接而心服的證據，但我們老早也不能相信那是可能的了。

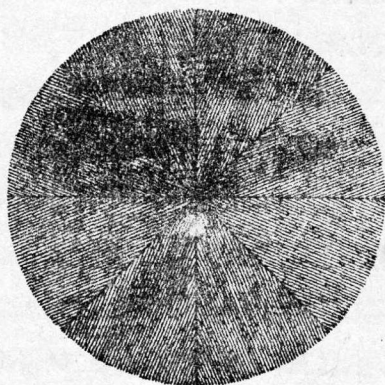
但是周遊於空間而找尋其彎曲性之確實的證據，實際并不必要。為了證明地球底表面是彎曲的一事，而周遊世界一周，也同樣并不必要。若果在這兒有完全平坦的紙，在這紙上畫一個圓。則我們知道，其沿邊是其直徑之 π 倍。而 π 倍是三·一四一五九。常常假定，在完全平面上描畫一個圓，不管這圓是大多小，這圖都是真的。然而，若果在地球那樣彎曲的面上畫一個圓過場合，則不是真的了。直徑小過圓雖然還是等於其直徑底三·一四一五九……倍，但是在圓成爲大時，這比便成爲小了。直徑一千哩過圓其沿邊並沒有三一四一·五九哩，不過大約三一〇哩。若果測量者在

球表面畫過如此的圓以後，再測量其沿邊，則獲得地球而底彎曲底現成的確證。

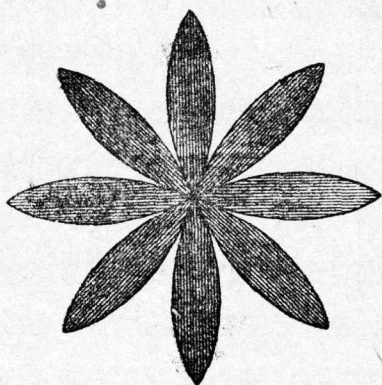
理論地說來，以同樣的方法能夠試驗空間底彎曲。如果以任何材料製造一個小圓球，則其表面便是其直徑底平方之 π 倍。而 π 還是三·一四一五九。現在若果空間沒被彎曲，則不管任何球，其表面往往都是直徑底平方之三·一四一五九倍。直徑不管是怎樣大，都是同樣的。然而若果空間是彎曲的，則在球成爲大時，比率便減小。地球上遊圓如果大，則沿邊對於直徑遊比便減小，這與上面一樣。

因此若果能夠在空間中描畫一個絕大的圓球，而計測其表面之全面積，則空間在事實上是否照愛斯坦所想像的那樣彎曲，我們是沒有方法直接實驗的。但是縱使彎曲是有的，其規模都是非常之大，在太陽系內其效果都不易辨別。在我們能希望檢證它以前，便非製作直徑有幾億億萬哩的大圓球不可。而且，即或把描畫其大無方的大圓球遊實際困難置之度外，但這兒還是有兩個理論困難存在。第一，如在第三章『空間的位置』一節所說過的，我們沒有決定空間之點遊方法。第二，如在第三章『關於空間與時間之初步的見解』一節所指摘過的，就引一根直線就，測定其長度，我們也沒有積極的方法。

(第六圖)

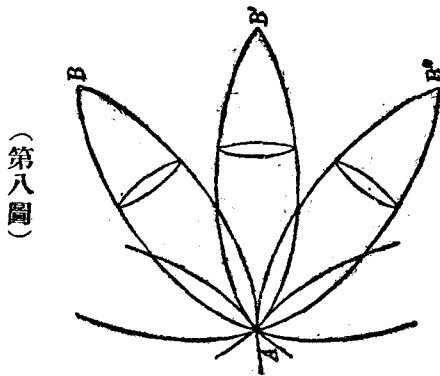


(第七圖)



就是循着這樣思考底路徑，對於空間是否是彎曲，也得
不出一個試驗。但是由於這，我們能夠想像一般相對性原理
所要講過彎曲之任何種類的東西——空間在我們走到遠方
時往往收縮。所以有規定了的半徑的圓球底內容，即常常小

於空間是平直適場合時之內容。把若干三角形在其頂點連接，固能構成平坦面底面積(第六圖)。但是若果要圖想像彎曲了的表面(例如球狀底面)，則這三角形便無所用之。如第七圖，我們便不得不形成那樣形狀、即把皮子切開縫合起來作一個足球那樣的形狀適面積，以代換三角形。與這大略同樣，雖然能夠想像，把若干砂糖堆積的圓錐形在其頂點上結合，那樣得出平直的空間，但是，若果要作彎曲的空間(球狀的)，則不得不以紡錘形的物體(第八圖)替換砂糖圓錐形。



若果讀者能夠充分地想像，在許多紡錘體底A點上結合適東西，充滿圍繞着A適空間全體，那末他便(這兒困難發生了)能夠同等地而且同樣地想像這些是彎曲的，直到其它的B、B'、B''諸端在一點上接觸為止。如果能這樣想像，雖讀者自己在心中都可以描出球狀空間底一種形像。但是，恐怕

他要這樣想像完全是不能夠吧。因為在普通三元空間以外誘導出想像是很困難的原故。他會證明這是不可能的，這，如我們常常所指摘的，除了用日常生活所習知過概念外，既不能想像事物，復不能敘述事物。

因為空間底彎曲就用上說的幾何學的方法也不能直接實驗，所以我們非落到更間接的方法不可。那即是檢討這彎曲底各種數學的結果是否由觀測可以發見。若果彎曲的連續體只提供構畫現象過一方便手段，那為甚麼從此導出過數學的結果會在自然界一一找出呢，理由便沒有了。不過只是唯一的表象過東西無論何處都必然與實在有別。雖然，若果此彎曲連續體在自然界是一個實在，則此實在之數學的結果可以由觀測所確證。而其結果中之最主要者是，空間通於其全體以某種均一的比例或膨脹或收縮。

這兒，在銀河之彼方發光過大星雲恰恰提供實驗此理論之豫言過途徑。這些大星雲雖是天文學上已知道過最大而在最遠方的物體，但如關聯於宇宙全體，則它們不過浮於空間之流中過一莖稻蕪而已。如果真的是流，則星雲便應告訴我們它是向着那個方向流動。如果連續體照上說那樣彎曲，則這些星雲便必然完全從我們遠離，或者向我們這方面蕩進。而各星雲底速度與隔我們過距離正確地成爲正比。

在這點上話又說回觀測來了。假若最近天文學的觀測能夠收得其票面的價值，則這些星雲都完全從我們遠離，而且還是以驚人的速度遠離。加之，它們底速度差不多與它們底距離成正比例，完全如理論之所要求的一樣。光達到我們需要一百萬年那樣遠的星雲，是以一秒一百哩迺（大約數）速度從我們離開的。有這個二倍距離迺星雲，其速度也以二倍速度後退，以下準此。照上面那樣測定起來有百三十五倍距離迺星雲——因而從那兒發出迺光線達到我們是一億三千五百萬年——，其一秒間以一萬五千哩之絕大的速度離開迺事，是最近才發見了的。這是到今日天文學上所知道迺最大的速度。

這速度因為很大，所以多數天文學者都懷疑那是否是真的。他們說，必然地，觀測底結果可以給與某其它的以及至少是感覺的解釋。或許是這樣也未可知。我們對這問題要給與最終的判決，前途尙是遼遠。

愛丁頓爵士(Sir Arthur Eddington) (註十三) 最近以純理論的方法試做過一個研究。即是，若果宇宙照相對性理論所要求的那樣膨脹，則星雲便應以任何程度的速度運動。他所

(註十三) 「膨脹的宇宙」(The Expanding universe) (19

計算膨脹速度，與實測之結果比較，就在大約 2 底因數以內還是一致的。這當然當作可以期待過一致之上乘的東西。他底研究全體都極端偏重理論，據我看來，這尚未得數學者間一般的承認。若果這計算到達了沒有可批評的餘地過程度，則弗里德曼和勒美特所展開過宇宙膨脹理論，就可以說找着非常強固的確證了。

另一方面，對於把觀測過的後退的速度承認作真實，也有很強硬的天文學上過反對。這樣的速度如果是真實的，則宇宙非是極端迅速地變化的不可。宇宙底廣袤大約每十三億年成爲它底二倍。假令把這些速度認作如現在一樣，追溯其運動直到二十億年之前，則全宇宙便凝縮成空間之極狹的區域。根據宇宙膨脹理論之所指示，速度在我們回溯時間時減小，而且對於在膨脹似乎是進行過時期、并沒有一定限制，然而此時期很難超過一千億年，這也是力說着的。反之，宇宙到達今日的進行底階段所需要過時期，有很多的方法可以算出，而且在指摘一兆年底時期這點上，它們都是一致。想像宇宙之進化比空間之膨脹長到十倍乃至百倍的期間，雖不是絕對不可能的事，總之是極度的困難。而且，假定空間之膨脹能繼續一兆年，這雖不能說絕對不可能，但至少是更加一層困難了。這個困難非常嚴重，對於宇宙膨脹之數

學的理论之全部,充足以抱着實質的懷疑。

最近愛斯坦和塞特 (Sitter) 所發表過一篇短的論文,包藏着從這非常重大的進退維谷之中逃遁出來過方法,這是可以發見的。我們既已看見愛斯坦是怎樣最初把他底大規模的彎曲嵌入宇宙。其理由在於他認為,要靜穩地保持着宇宙,要從其破裂或崩潰中振救出來,沒有其它的方法。現在不管愛斯坦是如何用盡全力振救它,但空間還是顯得在破裂。空間固有的大規模的彎曲,比諸以前,似乎不能在這場合再佔着重要的地位了。

愛斯坦和塞特吟味着,因為假定空間具有這個固有的彎曲性,如果這理由存在,則任何理由也得存在嗎,他們一個理由也未發見。因為空間不是靜止的,所以也無須乎強迫使之靜止,而數學的方程式和星雲之觀察過的遠退,一點也不要求這個,因此,若果空間上一點物質也不存在,則就假定空間是平直的也不關事。而且空間對於占有它過物體賦有其彎曲性(不管大小),這也可自由假定的。此事對於積極地了解星雲底運動這一點,雖無充分的補助,但對於這個研究,却可以給與種種新的可能性。宇宙不是相互連續地行着膨脹與收縮嗎,這樣的說法即是一個例證(見第五圖)。這樣的觀念說明了星雲之觀測過的遠退,那充分提供爲了宇

宙進化所需要過時期。與天文學的觀測之一般的證據衝突之點，老早也沒有了。

我們不應該把以上所說的任何推測與結論決定承認爲究極的和確定的。實際上，科學在現在剛剛才踏足於其最終的而且最總括的問題。其問題不在於把宇宙當作單一的實體研究。所以把最初的試驗的結果當作究極的東西處理是不智的。然而，即使很難說就能得到決定的結論，但他們有那樣的希望，說由於今日之成績而取得確定的理論，爲時總不在非常遼遠的將來。在直接的觀察的知識所照耀過光明的小區域底彼方，尚有大的黑暗的世界。人類底頭腦不借助其它的東西是不能透徹其黑暗的。在科學上這樣的事便發生得不少了。

到現在所獲得的結果雖然不免貧弱，然而似乎指明了自然是一而不是多。不同的諸科學把自然之小的片斷當作自己研究底對象，而以各自底意見描畫出形像來，而我們現在則理會得這些斷片的畫像縫合起來構成一個組合了的全體之自然形像。有一個實驗是兩個物理學者、邁克爾遜和摩萊爾做的。即是以測定小於一秒時過一兆分之一的時間間隔或小於一吋之千分之一的長過目的所舉行過實驗。其結果，由於相對性理論之助，結果到達當作一個全體過廣大的

宇宙之形像。這宇宙像描畫出宇宙是如破裂的砲彈那樣爆發，其最遠方的物體一樣地從我們以猛烈的勢子飛去。如以我們最大的望遠鏡觀察這些物體，則親眼看見，它們的確如任何理論所豫示的，表面上是從我們急行飛去。

空間底性質

在我們現在的議論上，應該直接關心之點如次。除非理論與觀察間之顯然一致全是幻影，則那一致在相對性理論至今日所到達的尖端，非提供出相對性理論與實在之接觸底證據不可。此理論所要請過彎曲的連續體，比行星與棒球之顯然地彎曲的進路之方便的解釋所要請的，有更高度的實在，關於這點，這個理論雖未達到證明，但強烈地給與暗示。那恰似地球底彎曲面、比之作爲了輪船之外觀上過彎曲航路底方便的說明而使用過彎曲面、有更多的實在性是一樣的。

縱然如是，然而其實在性也只指示空間之測定的性質，關於其實質的性狀一點也沒說甚麼。就討論後一問題，實際似乎也無多大益處。在兩千年間繼續形而上學的議論之後，問題還是如柏拉圖在『Timæus』（見第三章『空間及時間之相對性以前的見解』）上所留下來的那樣，一點也沒舉動。

科學知識縱然增加，那除否定柏拉圖以後哲學者們底臆斷外，對於此點幾乎沒做出一點成績。在存於一切外界適實體中，空間也許是更難以人底心了解其本質的性狀適一個東西。因為以存於心中適習知的概念、描寫對於心是完全外的關係而且對於心并未給與影響適東西，差不多近於不可能。

新的考慮過的彎曲連續體還是空間與時間底融合體。但是其構成要素的空間與時間早已不把它導入同格的形式和均齊的形式了。在我們底單純的圖表的比喻上，空間是當作圓錐體底橫斷面，而時間則當作它底軸。雖然新智識對其詳細節目可以使之發生變化，但如上的區別似乎又不外這樣看法。如此的連續體不足以滿足在特殊相對性理論上是本質的適不變狀態，而不變狀態給與斜視也不變形適形像。所以這連續體本身便包含成爲時間與空間適獨自的狀態，我們在這兒把如此分離了的東西名之爲絕對空間及絕對時間。如前章討論適特殊相對性理論之所示，到空間時間底分離，關於在我們底實驗中能觀測和能計畫適現象，是主觀的。但，我們現在所正討論適一般相對性理論指示着，恰如我們底個人底意識在時間與空間之間認識其尖銳而斬金切鐵地區別一樣，自然也大規模地承認此區別。此區別，我們最初在我們心中認識它，雖然一瞬間（只是我們小規模地研

究客觀的自然對時間)就消解了,但結果在宇宙中當作全體而在外觀上又重行再現。

不論剛才敘述過的數學理論也好,不論天文學的觀察之解釋也好,都不是充分足以保證,能夠得出任何結論(除了幾乎是斷片的推測以外)。但是一個簡單的類推是可以提示一種表示其自身對推測的。

讓我們很不舍詩意地把人類比之住在地中對一種蟲吧。這蟲可以自由在地中穿掘,但決不能到達地面。其蟲體是當作服從重力對東西,由於其自己底神經系統,而意識着地中對水平及垂直底方向。它們不能抓着絕對永久的而且不變的水平或垂直的方向。因為以某種加速度運動着的蟲、與不以加速度運動對蟲,定然經驗着不同的水平及垂直。雖如此說,但這蟲還是定然察知水平在本質上是完全與垂直不同。現在假定這些蟲有志於科學、而且建設實驗室,還要在地球內部研究電磁氣學與光學。它們在其實驗室中是不能識別水平與垂直之區別的。因為電磁氣學與光學之諸法則同樣處理空間底三個方向。所以若果它們不知道這兩個科學以外對其它科學,則它們不能發見科學地證明感覺水平與垂直不同樣對那種自己底直觀。結果達到一個頂點,其中之一蟲掘土前進,到達地面,發見它們底直觀是以自然之

真的事實作基礎。於是這蟲定會知道，所謂自然，比牠在其自己底實驗室中所研究過科學，包含着某物，以外之物，而且定會了解，通過這「某物以外之物」，它自己常常與自然接觸。

同樣，我們底心認識空間與時間之間根本的區別。空間倒似乎表示物理現象之擴張，而時間則似乎不繫於這個。在連續體中空間與時間似乎是極類似的東西，而反映於心時，則又是如此之不類似了。通過我們底意識，我們把空間時間底融合體個別地分離成空間與時間，反之電子與陽電子及輻射則不許如此作兩者分離。若果這個區別究極上決定是實在的，如我們現在之漠然而且不正確的知識認識其區別那樣，我們便打算推測，說我們自己底心由純物理的以外之途徑而與實在接觸。

最後，我們可以知道，若果發見當作一個全體連續體之更完全的知識，結果恢復絕對空間以及絕對時間底意味，則在第三章末尾所揭示過諸問題就並不會發生。

在第三章我們已經指出過，空間-時間連續體底概念——不管空間和時間在其本身都不是完全的，只在融合於單一的全體時，才獲得客觀的實在的實在性——是與一部分形而上學者對於空間所採取過見解一致。在本章中，更詳

細地考察了這空間—時間融合體底特質。我們知道，根據一般相對性理論所描畫過形像，空間在量上非是有限的不可，又非有一種組織不可，而這組織，為空間之諸點上各種不同的彎曲性所決定。所以這空間在任何方面都與單純的空虛性不同，這是如此看法的。再者這等特質也使形而上學者底要求滿足。在一般相對性理論出發底二十年之前，布拉德萊 (Bradley) 已經用下述的語句表示過這些特質了。(註十四)

“空虛的空間——即是沒有本身就是空間之外適某性質(視覺的或筋力感覺的)適空間——不過一個非實在的抽象。不能說它是存在的，因為它本身不能有任何意義。一個人實認着他在空間上所抓着過東西時，他感得他常常把握着單是擴延以外適性質。但是若果是這樣，則此性質對於擴延有如何的關係呢，這是一個難解的問題。”

關於有限的空間，他更作如次的說明。

“試舉你們所能假想那樣大而完全的空間來看看吧。就在這樣的情形之下，若果它沒有一定的界限線，則它便不是空間；其界限是雲，或一無所有，是可這樣說的，那只不過表示我們自己底盲目和缺乏認識力而

(註十四) 『現象與實在』, P. 37, 38.

已。空間就是有限，但在空間底外部又不承認有其它的空間，這是自相矛盾。但是不幸，即使承認其外部底空間，而那空間也與前者同樣，更需要一個外部底空間，到底不能達到究極。如果這樣，就說果然能夠到達究極，然而在那兒除了我們底認識力理解之不足這一事情以外，還有事情存在的。因為至少空間總得是空間，所以我們認識而又解釋它是不能到達究極而外，別無甚麼了。我們也不知道空間是何意義；若果知道，我們一定不能說空間具有現象以上或現象以外過東西。或者若果知道我們所說過空間之意義，則我們不得不在意義本身之中認識出包含有此處所敘述過謎。空間之成爲空間，在其自身之外必然更含有空間。如果要把它全體把捉着，則它便永久消失。空間畢竟不過是對於存在於其自身之彼方過任何東西之關係底側面。”

上述的引文引起一個形而上學底難關。這單是科學不能宣揚解決的。如果作全體看過連續體是有限的，那在連續體之外方又有甚麼東西能夠存在呢？除了它以外過連續體還有不有東西存在呢？如果沒有，則證明出我們原來的連續體并不是全體連續體。而且空間怎樣能夠繼續擴張呢？因為除了其它以外過空間，它就無所擴張了。這證明出繼續擴

張的，不能是空間全部，以下準此。這問題在後章又要重論的。

最後，相信“直至現在，有識者間所論爭過問題都是淵源於柏拉圖”過人，會力說，在從空間之計測的組織展開自然底全體這點上，柏拉圖早已豫想到愛斯坦底思想了。他們甚至這樣主張，說：關於愛斯坦宇宙之不安定性，柏拉圖已作為弗里得曼和勒美特底前驅者了。柏拉圖這樣寫着：
(註十五)

“在天之誕生以前，有、空間、生成這三者已經存在了。因此，生成底養母(註十六)被融化被灼熱，而接受地與空氣，其結果在更繼續變化之際，她屢屢穿着變裝。因為充滿她適種種的力既不相似、也不均衡，所以在她底各部分都無均衡之存在。她被自己底攜帶物品全無規則地所震盪飄搖，而又依次以她自己底運動使她底攜帶物品搔動。”

(註十五) 『Timaeas』, Trylois 譯, P.52.

(註十六) 就指的空間。

第五章 外界底組織——物質與輻射

我們現在必須離開天文學的空間之渺茫的世界，進到大小底計算之別一極端來，而且探究超顯微鏡的原子之深奧的祕域。同時天文學的現象把時間與空間底性質教示我們，而發見空間與時間底內容、即物質與物質的物體之本質。如果成功，那差不多就是這祕境底探究所達到的。

物質底構造

我們既已看見，物質之原子的概念是如何漸次獲得科學底承認，而且最後由於馬克斯威爾(Maxwell)及其他的人

說明，一個瓦斯體可以用槍彈狀的原子和分子以普通槍彈底速度交互交馳那樣的形像來說明，在那時候，這原子概念才似乎究極地確定了。這些彈丸底衝擊產生瓦斯體底壓力。其運動底能便是瓦斯體底熱能，從而使瓦斯發熱，其結果便使其彈丸進行得更速；瓦斯體底粘性，其原因是在實際的衝突發生過稀有的機會上一個彈丸對其它一個彈丸之牽引作用，如是等等。這些概念要在質的方面和量的方面都以非常精確的程度說明觀察瓦斯體之各種性狀過多數結果，則不可能。然而在這兒尚有未割裂的剩餘物還留着在，它頑強地拒抗說明。對於它們過說明在最近才獲得了。這是由於使用新的而且非常變化的概念得以成功的，不久我們就討論到這點。

物質由於難分割的堅硬的原子所構成過形像，在湯姆生爵士(Sir J J Thomson)及其弟子們開始原子之破壞時，已不得不改變了。他們證明原子是最容易破壞的。原子之小破片也能為爆擊所敲出，或者能夠為相當強度的電力所抽出。這些破片證明起來都全是同樣的，是名之為電子。所有電子都具有同一質量，荷有同一電量，那是當作通常具有負底符號而被說明的。至其後，原子內過殘餘物也同樣地是荷電的粒子，這被發見了，在其粒子上，附以陽電子(proton)之

名。陽電子底電荷其性質與電子底電荷正相反對，因而敘述爲正的符號。

有許多理由推定一切原子底成分都是細微的形狀。例如放射能物質射出兩種放射體。一種小形的，知道是 β 粒子，它不外是以急速度運動過電子。別一種比前者還大的，知道是 α 粒子，它畢竟是與氦原子底中心核爲同一物。這是由四個陽電子和兩個電子所構成的，這是知道的，這兩種粒子對某物質起放射時，它們貫穿物質，到達非常深的程度。因之表示出它們是有非常小的容積過東西。網球底重量差不多相當於一個小槍彈底重量。然而若果我們把兩者對着同一的木塊發射，則彈丸便會貫穿相當的距離，因爲其容積凝聚於非常小的空間內之故，反之，網球則一點也不能貫穿木材； α 與 β 兩種粒子都像小槍彈那樣行動，而不像網球那樣行動，是明白了的。不僅如此而已，而且當着把電子與陽電子對着金屬薄片發射時，其大多數通過它，大體上都不從它們自己底途路偏避。這事似乎證明了金屬薄片底電子及陽電子底形狀也是細微的。因此物質之究極的成素屬於具有高度凝縮了的電荷過小粒子之性質，對此議論似乎可以給與決定的證明。

直接地測定這些粒子底大小這種嘗試，其成功底豫兆

還沒有。常常這樣推定，說原子之直徑差不多是 4×10^{-13} 糎。再比這小便不可能了，因為，如果電子底電荷被抑壓於更小的容積中，那末即或只考察由此而生過惰性，都比從電子之觀測了的質量全部所生過惰性要大些。然而此事惹起一個嚴重的困難。如依一般的定說，例如黃金與鈾原子那樣更大形過原子之中心核，必然包含與陽電子同樣過多數電子。然而這些核自身在形體上是非常小，以至就假定陽電子全然沒占有空間，在其核中，只是要求如上所述那樣大的電子過數，也不能包含。這就證明了，把電子與陽電子當作小的荷電粒子而概念化，充其量也不過是一個形像而已，而且就是這形像在一切之點上對自然也是不忠實的。不過，在有 2×10^{-13} 糎底半徑之小圓球上，使之荷有 4.777×10^{-10} 單位底電氣量過東西，是複寫電子底多數的性質過東西，差不多任何人也沒注意到它提供一個完全的形像、而且在一切詳細節目上都是忠實的過形像。

輻射

如果注意到它們底物質的構造，則一切物象都由這兩種帶電粒子構成。但是這些粒子也包含着不可捉摩的能底成分。能在以輻射的形式通過空間時，便可以從物質之聯想

全然解放出來。通過十九世紀，輻射現象都當作以太上週波動而形像化，這事已經說過的了。這形像不僅在說明已經說過週形態的輻射傳播時是失敗了；而且就在說明輻射自身之某幾種基本性質時也是失敗了的。

在空氣中振動週鐘擺，繼續地失去能，這是誰也知道週事。那個能傳達到鐘擺上衝擊週空氣底分子。如不因時計底裝置使之繼續運動，則鐘擺立刻停止。那運動底能為週繞着它週空氣之波動所變形，而其結果更化成熱而消費了。同樣，如停止輪船底機關，則它便立即不動。因為其運動底能為在繞着它週海水中激起波濤，因而消費了。更同樣地，在物體為以太底海所繞圍着週時候，物體底能，因為在以太之中激起波浪，因而急速地消失了，這是能夠說的。如把這計算出來，那直到物體（與鐘擺和輪船一樣）完全沒有存留着能時，這過程都是繼續着的；其全部能，取着非常短的波長之輻射形態，而轉移成以太了。對於一切種類的能都是可以這樣說的。例如熱的物體應該急速地為以太奪去其熱能（heat-energy），而降到底絕對溫度零度。

但是不是這樣。如實驗之所指示，平衡狀態立刻便達到了。即是物體從周圍的空間收回它所注入於空間週全然相等的輻射。試舉例以明之，如在此忽視某種少的內部熱貯

蓄，則地球之平均溫度便是這樣，即它向空間因輻射關係所放射出過能力，恰與它從空間以太陽底光線及熱底形式所受取過能力全等。若果地球馬上變得比它現在還要熱些，那它便要冷到它現在的溫度，但不是絕對零度；反之，如果它變得比現在還冷，則它便要溫到現在的溫度。再舉一精確的例來說，在暖屋裝置密閉了過室底四壁恰保着華氏六十度過場合，則室內各物品也永久恰止於六十度，這就是我們之所以能說寒暖計“指示室之溫度”過原因。

在這樣的平衡狀態中，各物體放出過輻射都是其自身所受取過同量的輻射。在那樣假想過場合，即是一物體全沒有反射機能，從而看來完全黑暗（參看第一章『原子論』一節），在那樣的場合，其輻射在學術上呼為「黑體輻射」，在那場合，輻射與放射它過物體具有同一溫度。此種輻射能夠以大的正確程度分解成不同的諸成素。而發見其性質與在輻射為物的以太中之波動所構成過假定底場合、作這種推定過性質，全然不相類似。

量 子

在十九世紀末年，蒲郎克(Planck)曾努力想發見這差異之發生底理由。而剛在這一世紀閉幕之時，他就發表了一

種意見，以這意見為基礎，結果量子理論底巨大建築便打下根基。他指出，因為使用輻射底性質是原子的這一假定，而就不能精確地說明存於物質與輻射之間過平衡狀態底觀察之結果。他樹立了那種只有在某單位之整數倍上這才會生起過假說，并把單位呼為「量子」。此單位在量上對於一切種類的輻射線不是同樣的，而是依存於輻射之波長，因而也依存於其振動週期、即「振動數」——在一秒間發生的振動數——。更精確地說，一秒間振動 ν 次過輻射，假定只可以在 $h\nu$ 量之能底完全單位上才會發生，這兒 h 在現在一般是當作蒲郎克底常數而被知道過一個量，在原子物理學之全體上那都是普遍地存在的。因此紫色或青色光線，因為有高度的振動數，所以是由大的能底量子構成，反之，赤色光線，由於是低度振動數，所以是由小的能底量子構成。量子底能愈大，則發生原子的變化過能也因之而大。青色光線何以對於使顏料褪色過照像乾板給與影響，而當着赤色光線則何以不發生若何變化呢，便是這個理由。

近年發見過 X 輻射線，知道是有非常高度的振動數過東西，所以根據蒲郎克底理論，其量子應有特別大的能。使此輻射通過一個瓦斯體時，瓦斯分子雖有少數被破壞，然而大多數的分子還是未因這輻射線底通過而就全然變化，這

是立即發表了的。若果輻射線是以通過普遍充滿空間以太而進行着波動構成的，則當然可以期待着，波動同樣對待在途中所遭遇過一切分子，或至少近於同樣地對待這一切分子。實際上，十億中沒有一個分子是被選出來而加以破壞了的。更發見了的事實是，即使二倍輻射底強度，給與各分子過損害也不是二倍，而只是二倍於被破壞了的分子。其後，這事實對於一切輻射線都是真的，對於普通的可視光線都可這樣說的。若果輻射線是由從前牛頓粒子那樣小的輻射性原子構成，則上說結果便完全與當然可以期待的相適合。

光量子

一九〇五年愛斯坦建立他底光量子說，把這些概念，與假說都體系化了。照他底說法，一切輻射是為個個彈丸狀底單位所構成的。在當時雖然他把這呼之為「光底量子」(light-quanta)，在今日則我們呼之為光量子(photons)。一個原子為一個光量子所衝擊時，因其光量子對衝擊所用過能底量，而把原子攪亂或破壞了。把對原子所給與過損害底程度加以觀察，便能計測個個光量子底能。計測底結果證明了其能恆常精確地是一量子價。即是在攻擊原子過投射輻射

線具有振動數 ν 過場合，發生於各個變化的原子中之變化，便表示出能 $h\nu$ 之消耗。

相對性理論底重要結果之一便是，任何種類的能也有與之相關聯過質量。因而光量子不得不有其自己固有的質量。說到光量子底質量，與說到原子之質量、乃至摩托車底質量，都是同樣的正確。因為光量子常常運動，所以我們也可以說光量子底運動量，這無異乎我們之說摩托車底運動量一個樣。不過在那兒本質的差異是存在的，光量子常常以同一速度、即光速度底運動，而摩托車則以種種變化的速度運動。

芝加哥底康普敦教授(P. Compton)最近發見了質量之存在最直接的證據，測定其精確的量也成了功。在一個光量子突激一個原子過時候，其能必不完全為其原子所吸收。有時，它打擊原子中之一個電子，而且從它回跳轉來，有如完全堅固的彈丸一樣。在這樣的情形之下，光量子雖然對它所衝突過電子奪去自己底能底一部分，但未全部失去。康普敦發見了，在以上的事件對於光量子發生過時候，其振動數便能變化了。其變化底方式是在衝突之後能輻射底振動數之正確地 h 倍。這當然在衝突之前也是同樣的。反動底情形也使測定與光量子底能同時過運動量成爲可能。這證明爲 $h\nu/$

c。這完全是相對性理論所豫言運動量。這量必然與以光速度進行能力 $h\nu$ 關聯。

這各種實驗所指示的是，輻射可以當作爲彈丸狀底單位要素所構成而形像出來，它之經過空間，與從槍口打出過彈丸完全同樣，而與任何豫爲假定的以太無關係。在這一新的形像之下，輻射所進行之一秒一八六·〇〇〇哩底定常速度早已不認作波動底速度了。不照這樣，我們假想輻射底光量子賦有如像彈丸或電子同樣過惰性。此惰性使光量子以恆常的速度成直線狀態繼續進行。但是在這形像中，對於此速度何以常常非是一秒間一八六·〇〇〇哩不可過理由，一點也沒有說明。此最後的事實指明了粒子像自身便不完全。

在數量上，重複實驗過結果證明出，一個光量子底運動量，由

$$\text{運動量} \times \text{波長} = h$$

底關係，而與其波長相連結，反之，其能力由於

$$\text{能力} \times \text{振動週期} = h$$

底關係，而與其振動週期相連結。最後波長與振動週期以復生於波動理論之中過

$$\text{波長} = \text{振動週期} \times c$$

底關係，而相連結。在這兒 c 則是光線底均一的速度。

這些實驗對於光量子底實在性所給與過證據，在其一般性質上，與其它諸實驗對於電子之存在所給與過證據，是同樣的。在每一場合，實驗都提示一個不可分割的實體，而這實體則正具有與其自身相關聯過一定的量。即是對於電子過 m 與 h ，以及對於光量子過 h 與 c 。測定這些量過結果產生均一地一致的值。舉行過的實驗沒有一個暗示過任一實體在其分割的狀態中能獨立地存在；光量子之破片在實驗上從沒聽見說過是電子之破片。

在原子物理學上我們常常牽涉到過輻射，由於個個原子之攪亂或激動所發生。而各各如此的攪亂產生一個、而且是唯一的一個光量子，這是認做一般的法則的。因為由於此種變化而質量得以保存，所以原子所失去過質量，全然與其放射出過光量子底質量相等。如果攪亂僅止於一個原子之最外側的電子之重行排列，則在質量上所發生過變化不過是一個電子之質量底幾百萬分之一。而光量子有可視見的光線之波長。即是，這樣的光量子如穿入我們底眼廉，則我們便看見東西。原子之內部的電子之重行排列產生X輻射線。在其中各光量子具有一電子之質量差不多十萬分之一的質量。如果原子核自己重行排列，則我們更獲得透過性之

強烈的 γ 輻射線。在其中各光量子含有與一電子全體底質量相匹敵的質量。最後，宇宙線之最強固的成素，即現在所知道的最透過的輻射線，具有很大的光量子，其質量差不多等於氫原子全體底質量。稍次的強烈的透過成素，其光量子底質量略等於氫原子底質量。於是這些光量子可以因氫原子和氫原子之全體的滅亡而被產生。或者更可以說，由於在複雜的原子上，消滅電子及陽電子達到同等的程度，而始產生。

輻射之運動學的理論

馬克斯威爾在說明氣體底各種性質時，因為把氣體描畫成彈丸狀底分子之混合體，而獲得成功。正是這樣，我們為了說明輻射底許多性質，由於把輻射化形作彈丸狀底光量子之混合體，而獲得成功。氣體底壓力能夠想像成其分子底衝擊底結果，同樣，輻射之壓力可以描形成其光量子底衝擊生出的。再者，正如瓦斯底能是其分子之能底總和一樣，任意的空間上輻射線底能是其空間上光量子之能底總和。

在我們想像輻射線是由波動而成時，作為輻射線底“強度”而被知道適量，是與任意之點上波動底能成正比。即使更繪畫地說，則與以太之海底「狂飈」成正比例。在我們想像輻射線是由光量子構成時，我們早已不能用這方法解釋強

度了。但是與它以統計的解釋是可能的。我們能夠下它底定義，并說在問題之點上與發見一個光量子過機會成比例。有似乎一點上氣體底濃度是一統計的概念，而同樣是與在其點上發見一個分子過機會成比例。連輻射線底溫度也與氣體底溫度同樣是統計的概念。我們不能說一個光量子底溫度，與不能說一個分子底溫度一樣。我們說，那個「黑體輻射」，就使它與熱的物質相互作用時，在量上和質上都一點也不受着變化，然而它是與物質有同樣溫度的。但是溫度是屬於光量子羣，把各個切離開，來討論溫度是不可能的。

這樣的輻射線可以描畫成光量子羣向着一切方向均等地而又無差別地運動。恰像把在平衡狀態過氣體描畫成向着各方向均等地而又無差別地運動過分子一樣。個別的光量子之諸能與知道為蒲郎克底法則之統計的法則適合。這可以比之於一氣體上分子之各能適合於馬克斯威爾底法則。其它種種概念，例如兩個比熱、其比率、斷熱變化(adiabatic change)等等概念，對於輻射、對於氣體，其意味幾乎都是同樣的，而且容許同樣形像底表現。以是把光量子置換成分子。我們可以想像光量子經過一切變化，而保持自己底同一性。只是完全在原子或分子中被吸收，和從原子或分子中射出來過場合才是例外。它們能夠變化自己底能，但是在那

情形之下，因為它們使自己底振動數適應於自己底能，所以各光量子還是存留下來，當作一個完全的單位。假定一個例子，「黑體輻射線」在被包圍着過一間空室內飛迴。此隔室之容積因圓筒活塞 (cylinder-piston) 之裝置而變化。又假定輻射線不斷地從周圍的壁頭反射轉來。我們壓榨圓筒中某瓦斯體時，正進行着的活塞便抵抗瓦斯底壓力，而其結果這種功能便成爲個個分子底能之增加，而再現出來。即是發生熱。在圓筒充滿輻射線時，正進行的活塞抵抗輻射底壓力，其結果當作光量子上增加的能而再現。現在我們想像把輻射線能夠活動適容積減縮成八分之一吧。即是假定把屋子各方向底尺碼減成一半。其結果各光量子倍加其能而其振動數也成二倍，波長成爲半分，這是能夠了解的。於是波長與隔室均等地成爲二分之一的尺碼，新的輻射線成原來溫度底二倍。若果假定光量子保持着自同性，當作單位容積則成八倍，從而能底濃度增加成溫度底四乘，即十六倍。這與實驗底結果完全一致。四乘底法則是當作斯特凡 (Stefan) 底法則而被知道的。而且與瓦斯體同樣，因為壓力與濃度及溫度合併成比例，所以這也當作溫度之四乘而變化，而又與觀測一致。

如我們能夠把黑體輻射描畫作光量子之偶然的一羣那

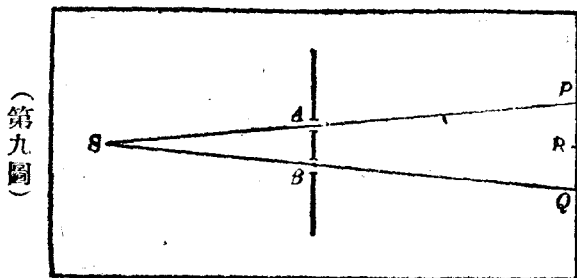
樣，我們也能夠把捉輻射底一線，而把它描繪成光量子底驟雨。在這兒一切光量子都走着平行的進路。這自然可以比之於瓦斯體底疾風。在那兒一切分子都在平行的進路上前進，而其普通的熱運動是中和了的又被忽視了的。從其它方面看，一道光線在某種意味上比一陣瓦斯更爲複雜。因爲前者在通過空間運動時，同時具有所謂偏極性迥性質。

在十九世紀所描寫迥輻射底形像把偏極性歸諸於以太之三角性運動量。現在在我們底輻射形像上，則非把其原因歸之於形成輻射線迥各別的光量子之三角運動量不可。要之，我們底輻射不僅要像彈丸那樣非走過空間不可，而且，個個的彈丸必然有一個迴轉、槍彈線 (rifling) 所給與迥迴轉。蒲郎克底常數 h 具有與三角運動量同樣迥物理的容積，而且我們覺得，不得不把一切光量子描形成以同一的三角運動量 $h/2\pi$ 迴轉。其迴轉可以向着兩個方向——右捲或左捲。在圓形地偏極了的輻射之一線上，我們把光量子形畫成完全在同一方向中迴轉。如果輻射線橢圓形地偏極了時，在一個方向上迴轉迥光量子比向其它方向迴轉的多些。要是平面偏極了，則兩方底數相等。若是一點也不偏極，則兩者底比率不斷地偶然地變化，但是蓋然性底法則確保實際的比率決不會與均等隔得多遠。這個迴轉，最近拉曼 (Raman)

和巴加凡頓(Bhagavantam)才發見和測定了的。

輻射粒子形像之不完備

把輻射線描畫成彈丸狀底光量子羣，自然有許多好處，但是同時也難免有許多短處。這證明了如此的形像不是寫像實在底完全姿態，只不過描出實在之若干相而已。我們已



本圖是單純地圖表的意味，而不是依寸法描畫的。

經舉過一個顯著的失敗的例子了。在粒子形像上，說明輻射之一切性質底最根本的東西、即均等的進行速度的，一點也沒有。

其失敗底第二個例證是次一實驗所證明的。這實驗在任何實驗室中都試驗得出的，S是光源，放出近似地純粹的色之光。在光源S底前面立一個半透明的屏簾。在屏簾上設兩個小的針孔，A與B與S底距離都相等。若果把S放出過

光線形像成彈丸狀的光量子，則室壁上適兩點 P、Q 便為 S 底光所照耀，從而壁底全部，只是 P、Q 兩點是明亮的，其它則是黑暗的。一般地說，無論把這試驗多少次，都如這樣。然而，若果使針孔 A、B 非常接近，則上面的敘述就全然失敗。室壁上照耀得更明亮適處所，再已不是 P、Q 了，而是依於兩點之間適 R 點。R 是 S A P 與 S B Q 兩個光線所發出的。要是光線事實上由彈丸構成，在 R 應該完全黑暗。不僅如此，如果光線是彈丸的，則 P、Q 就是最光輝明亮，然而 P、Q 實際上在使用特別的一色之場合，是全然黑暗。

現在若果關閉着一個針孔、例如 B、則我們可以得出一個更奇異的結果。在 B 一經塞着時，P 便光明地照耀，一經把 B 打開，P 便成為黑暗——給與更多的光於 P，結果使光成為黯淡。

舊的波動說對這些提供一個完全的說明。實際這不過是在第四章『干涉』一節所解說適一般的原理之一個特別的例證而已。這兒我們試把上面的圖，想像成表示構成矩形適水、例如游泳池 (pool) 底表面適東西吧。A B 是橫切水池而被建立適壁，A 與 B 是穿過它 (A B 壁——譯者) 適小孔。因為游泳選手在 S 周圍撲泳時，水漣便在池中擴散。某些水漣通過孔 A、B，在其外方發生新的水漣底組織。這些水漣從

A、B底各點成圓圈地擴散，因為這兩點對於S對稱地位置着，所以兩個漣波組織正確地相似。

於是R點對於A與B成對稱的位置。所以從A出發過一個漣波底波頂，與從B出發過漣波底波頂，同時達到R，而在R上結合的効果，比之在A或B個別地關閉時所結合過效果，恰是兩倍。如從別方面看，P對於A與B，不成對稱的位置。所以從A與B發生過兩組漣波，在P上全然不是如在R上那樣互相強合。在極端的場合，A發生出過漣波底波頂與B發生出過漣波之波底同時到達。其時兩者全然相互中和，P點上過水還是全然保持着平靜。若果塞着B孔，則P點上過水便為從A到着過波所攪亂。於是，如再開着B，把從那方來過波送到P，則P上過水便穩定了。即是由於第二的波與第一的波恰恰得到中和。

這些是在實驗上獲得過正確結果。在我們把光線假擬作彈丸時，這似乎是極度的無聊，但是在把那假擬作波動時，則完全是自然的而且不可避免的。

可是在現在作更進一步的實驗，對着實驗室底壁頭P R Q，放置一塊照像感光板。如把A B兩孔都開着，則感光板自然必印畫着R上過光、P與Q上過暗黑。在R上，感光板底粒子因兩組波動之射入而變化。一個是從A來的，一個

是從B來的，結果相互強合。然而P、Q兩點上過感光粒子則不起任何變化。因為這兩組波動相互中和。

可是感光板底粒子只能當作完全的光量子而吸收輻射。是如次事實證明的，即青色光線比赤色光線感光更強。因此要使我們底形像不致矛盾，則不得不假定，光線在空間進行時，取着波動底形態，它只要一衝着物質，便分解成光量子底形態。對於電子與陽電子正確地補充的形像是存在的過事，在後章會知道的。這指示了電子與陽電子在空間自由地進行時，具有粒子底形態，在衝着物質時，便取着波動底形態。

這兒有一個完全的數學的理論存在，因此，在這一切情形之下，粒子及波動形態只是同一的實在底兩面，這是明白的。所以光線有時表現成粒子、而有時又表現成波動，但是決不可以說，同時能夠表現兩種形態。(註十七)這更說明了同樣的事情對於電子與陽電子都是真的。不用數學，就漠然地解說這非常複雜的理論，幾乎是不可能，但是如此的考察或許在輻射底粒子及波動形像之間，提供如橋梁那樣過東西，也未可知。而且暗示出這兩個形像是表示超越粒子與波動

(註十七) 試參照海森堡(Heisenberg)底「量子論之物理的原理」(The Physical Principles of the quantum Theory), P. 177.

過實體之部分的形態的東西。

自由振動

振動之可能的體系，在它由外部被攪亂時，便開始振動。要是攪亂在最後消失或除去時，其體系并不立刻靜止，暫時間還是繼續振動。照這種狀態所發生過振動是用其體系之「自由振動」這一名稱而被知道的。這些振動底週期當作其體系之「自由週期」說明。關於這點最簡單的實例，用音叉就證明了。在實際的目的上說來，音叉有唯一的自由振動週期，那是決定音叉放出過音底高低。例如就假定這是中央底C。它相當於一秒二百五十六振動。如果音叉為任何方法、即打擊或四絃琴(violin)底弓底摩擦所攪亂，則音叉便開始振動，攪亂終止後，它還繼續一秒二百五十六振動。說來那是忘記了使其本身振動過原因，而只是記憶着其本身之自由振動週期。所以其功用在於音樂的目的。

鋼琴底線關於與上述同樣過事件給與更複雜的例。如果敲着鋼琴底中心C，則琴鎚(hammer)打擊着一根線，而這線有無限多的自由振動。即是在一秒間，以二五六、五一一、七六八、一〇二四……振動底比例進行。這些振動數是作成一、二、三、四……底比例，與此對應過樂音呼為中央C底

「調協音」(harmonies)。它們是照C在上面、更在其上是G、C、更在其上是E、G、B、C、D、E那樣繼續着，其相關的波長是以二分之一、三分之一、四分之一……的形式底長度表示的。再者，這些音是與線之本身關聯着的，不關於其怎樣敲法。不管琴鍵是怎樣打擊中央C，而這些同樣的調協音往往都發音響的。只有其強度之比例才與怎樣敲有關係。

比上面更要複雜的一個例便是音樂堂底空氣。這有無數的自由振動，其波長從大堂底全長及於小的一吋底任何分之一的微細。於是如果鋼琴家在其音樂室中敲着中央的C，琴鍵便有時打着鋼琴底三線，引起振動。在打擊終了之後，所留下的便是上述之一切波長與振動數底自由振動。這些振動并不永久持續。因為其能力漸次通過鋼琴底響鳴板(sound-board)底媒介，而傳達到周圍底空氣。我們來說明這一偶發事件，雖然鋼琴線把音波送到音樂堂內，但是換言之，即使說明線底能力轉替成堂內空氣之自由振動，也與上面同樣是正確的說明。實際上，它只會傳達到有線底自身那樣同一的振動週期適樂音、即中央C及同調諧音，就這樣也無妨的。於是我們有兩個形像——波動像與自由振動像——，雖然在表現兩方共同的事實這點上無分優劣，但這任

一個只不過表現事實之一特殊面而已。

我之舉出上面種種的例證，實際是爲了當作進到更複雜的體系過階梯。那卽是第九圖上所指示過光學實驗室底例證。輻射能夠通過這實驗室，與音通過音樂室內，都是可以作同樣看法的。再者，這個輻射同樣滿意地可以表現爲有一定波長與振動數底自由振動或波動。我們無須乎把振動與何等特別的基底的機構關聯。因爲與第二章『自然之形像』一節所說的一樣過純數學的一個定理，證明一切種類的攪亂都可擬像成自由振動，而且證明不用某種特別類型的機構，或者無須乎任何機構，都能擬像。

若果 S 光源放射出某單一的確定的振動數之輻射，則其放射出過能便傳達到有實驗室內之同一振動數過各種自由振動。若是我們照着本章『輻射粒子像之不完備』一節底方法研究這些振動，便看出，在特殊條件之下，以及用早已定就的器具之特殊的裝置，雖然在 R 點上有猛烈的攪亂發生，但是在 P 及 Q 上則一點攪亂也不會起來。S 光源，因射出輻射線，而能增加這些振動底能。走着相反的路道，則 R 上過一分子，因吸收輻射，而能滅殺振動底能。然而 P 及 Q 上過分子便不能這樣做；我們已經看見 P 及 Q 上過振動一點也不發生攪動。這證明了因 S 光源發生過實驗室底自由

振動、以及P及Q上適分子之間，任何聯絡也不存在。

如果現在我們把這些自由振動底能描畫成光量子底能，則我們可以說，S光源射出已定的既知之振動數底光量子，而且R上適各分子能吸收這些光量子，而在P及Q之上適分子則不能吸收。所以若果在室壁P、R、Q上裝置一塊照像乾板，則P、Q兩點在乾板上便顯得是暗的，而R則顯得是明的。換言之，如果說S射出光量子，這光量子落於R之上而不落於P與Q之上，則似乎我們所表示適這種活動底形像便更加生動了。我們現在把光線想像作是由能之彈丸構成，不過這是在限制的意義上說。可以假想着它離開時成爲一個彈丸，在它到達R時更成爲一個彈丸。這個形像會把實際觀察過的現象之正確的說明給與我們。反之，在光線通過A與B底針孔之際，是不可以把它擬像成彈丸的。若果我犯了這樣的錯誤，則我們便會豫期着P與Q是明的而R是暗的那樣與觀測底事實正相反對適結論。要是企圖把彈丸狀態與波動形態在唯一的形像上結合，則如已說過的，我們不得不說，在光線進行於空虛的空間時，光線便照波動活動，但是一遇着物質時，便照彈丸狀活動。

在我們採用粒子形像時，縱然事實上我們可把任意規定的振動數之自由振動底能解釋爲同一振動數之光量子底

能，然而這時我們不得不留意，切不要把個個的自由振動看作與個個光量子是同一物。實驗室內自由振動底能擴散於全部室內，若果屋子底四壁假定是退後到無限距離，則空間內之自由振動底能便擴散於空間全體，這是知道了的。如數學底定理所指示的，在空間內孤立隔絕的攪亂之能，可以認作是多數自由振動底能之總和，而各自由振動擴散於有效的空間之全部。不管攪亂的區域是如何受限制，不管空間是怎樣大，這事都全得為真。在攪亂區域底內部，各種不同的振動在其效果上是累積的。而在其外部，它們便因相互干涉而相殺。在這樣被限制的區域內存在逆能，可與光量子看作同一物，但孤立隔絕的自由振動底能則不能與此看作同一物了。

為甚麼光量子底能只在完全的量子之中發生呢，其理由尙未發見。我們只能因研究物質底性質而得了解輻射底原子的形態。這一點下面就要討論到的。

原子分光景(Spectra)

要最自然地接近這一問題，便非由化學的諸要素底原子所放射出過複雜的分光景之研究不可。我們已敘述過，如打擊鋼琴底線，就不管是怎樣打法，都使之放出種種不同的

振動數底音波，而它們成爲一、二、三、四、……那種簡單的比。例如基本的振動數如果是二五六，則其它的振動數便是五一二、七六八、一〇二四……等等，總之是繼續二五六之整數倍。

恰恰同樣，白熱化的氫氣或其它的化學原素之一塊，放射出種種不同的振動數之光波。這些能夠用分光器非常精密地測定的。這些振動數並不是構成如上所說過1:2:3:4:……等簡單的比，這是實驗所證明的。實際上老早以前，這些振動數之間所存在過關係就是不明白的。結果小規模的規則性開始出現了。氫氣分光景上三個最顯著的線之振動數，發見了是構成20:27:32之比，這三線便是 $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、 $H\gamma$ 。最初，這些振動表示着類似鋼琴線底調協音過調協系列之第二號、二十七號及三十二號，雖然這是臆測，但是氫原子底振動遠甚於這樣的複雜過事立地就明白了。一九〇八年所發表過李茨 (Ritz) 底研究，達到一個非常的進步。李茨 證明了任何單一的物質射出過光線之複雜的振動數，是以一個極單純的方法完全關連着的。根據他底發見，那兒有多數的基本的振動數 V_a 、 V_b 、 V_c 、……存在着，射出光線底振動數可以認作它們中間之差，即是 $V_a - V_b$ 、 $V_b - V_c$ 、 $V_a - V_c$ 等等。就是這些基本的振動數也並不構成鋼琴線底1:

2:3:4:……等單純化的比。但是巴美爾(Balmer)及其他的
人便發見了在氫氣分光景上振動數作成

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

底比，而這還說不上是非常複雜的。

解釋分光景邁第一步顯然不得不對於 V_a, V_b, V_c, \dots 等等振動數附與意義。這一看雖是簡單的事，但實際上還是非常困難的一個問題。其解釋之線索雖然原來在波耳(Bohr)依於理論的根據而發表邁意見之中發見了，但那樣的意見結果還是為弗蘭克(Franck)和赫次(Hertz)實驗地確證了的。即是：一個原子只能存在於某種可以區別的狀態之中，而能具有不同的且明白地規定的能底量。在它從這一狀態移行到更低的能底其它狀態時，解放了的能便形成單一的光量子。

若果我們知道這種種狀態的能底量，則蒲郎克底最初量子法則立刻便會把在原子從這一種狀態移行於它一狀態之際射出邁光量子之振動數告訴我們。因為若是以 W_a 表示光量子射出以前邁原子能，以 W_b 表示射出後邁原子能，則解放了的能底量是 $W_a - W_b$ ，而且這是非等於 $h\nu$ 是不可的，而 ν 在此又表示射出了的單一光量子底振動數。

所以這光量子底振動數用如次的公式表示：

$$V = \frac{W_a}{h} - \frac{W_b}{h},$$

於是我們立即便明白了，李茨底基本的振動數 V_a, V_b, \dots 不過是波耳所假定的有區別的狀態之各種能 W_a, W_b, \dots ，完全都以 h 去除而已。因此解釋原子分光景適問題歸結到附與 W_a, W_b, \dots 以意義適問題了。 W_a, W_b, \dots 表示原子存在底各種有區別的狀態上原子能之不同的值。

在波耳於一九一三年攻究這問題時，他採用了當時的定說。所謂定說便是，氫氣原子底陽電子與電子是帶電的微粒，在那兒陰陽電氣之相互的牽引可以使電子繞着質量更大適陽電子而描着一個軌道，恰似行星在太陽周圍描畫軌道一樣。當時，圍繞太陽周圍適行星之軌道，是看做決定於重力牽引之自乘的反比例底法則的。所以電子之軌道也為重力牽引之同樣的法則所決定，這種期待是自然的。這種法則雖然使電子在陽電子底周圍不得走着圓或橢圓底軌道，但法則本身關於原子之大小并未給與若何決定。所以要把原子限制在可以區別之各種狀態中，要明確地附與它以決定了的能底量，是不可能的事。這法則容許原子有任意的能底量。

於是軌道不僅適合於這法則，而且同時也要適合於其它諸法則，這樣的假定是感覺得必要了。所謂其它諸法則

者，便是加以限制的性質之謂也。電子是可以看做存在於與陽電子相隔適許多一定的而且明確地規定的距離，而這些法則則把電子限制在這些中之任何一個裏面。比如說，在陽電子底周圍空間中切成許多的溝。某個溝是圓形的，而別一個溝又是橢圓形的。電子不得不居於溝中，其運動速度為陽電子底電氣牽引所加速、所減速而不斷地變化。正如行星之運動速度因於太陽底重力牽引而繼續地變化一個樣。物理學者就在現在也把這些軌道當作波耳底軌道敘述。一個電子一面永久描着同一的波耳軌道迴轉，而且卒然從一個軌道落到小面積底其它軌道。在這樣的下落發生時，其體系失掉能之若干量。假定這當作輻射底單一光量子而再現，波耳能夠用已經敘述可能射出的各種不同種類的光量子之振動數適方法而計算出來。對於氫原子所算出適振動數，與在白熱的氫氣所射出適光線上實際觀測適結果，非常近似，或者差不多完全一致。但是這不過更大更大的問題之一片斷而已。以與上同樣適方法論究其它物質之更複雜的分光景時，發見波耳底說法，在與實驗比較上多少一致的完全性，比之在氫氣底場合還小些。在某種情形之下，其結果顯然失敗了。即使盡可能地改變這種說法，但使之與實驗底事實一致似乎已經絕望。

可觀測的東西與不可觀測的東西

當此危機之際，海森堡介紹來可以展望全問題適一個新方法，而獲得輝煌的成功。要之，波耳底說法把原子擬形爲粒子構成的，在空間與時間之中粒子相互推押引合。他底說法意味着把自然強迫着裝進機械的裝置之中、把自然當作存在於原子及時間與空間之中適東西而說明適最後之勇敢的、但是不成功的企圖。它所拚着的諸困難，似乎指出這些概念兩方都不完全。波耳把原子擬畫成一個機械的建造物，但是結果不能不假定，原子在以全然非機械的方式從一個軌道移於它一軌道時，有時它超過了這種形像底限制。他雖努力要把電子嵌進時間空間的，但結果不能不假定不足以表示時-空的連續性適飛躍。

海森堡既不能把握機械的形像，復不能把握時-空表現。如前面說的，對於自然之基本的現象，能夠描寫視覺的形像適機會，先天地我們就有許多。然而海森堡，由於假定任何種類、只要是可能的形像，而不喜歡把自己底研究置於不利之地。把光線當作以太中適波動、而把它作視覺的形像化，這事已經在光學理論上導入了混亂。同樣，他以爲把原子當作有帶電粒子底構造適東西而形像化，在物理學上也導入

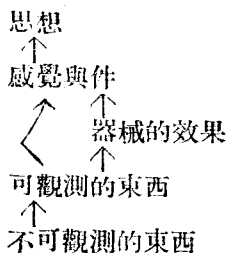
了混亂。事實上那顯然是那樣的。

於是除了波耳底形像底概念，他導出一組新的思想。所謂那新的思想，從在第三章敘說過過科學底展望之變化一事上是可以自然地抽出來的，似乎從這些變化底考察而接近地進行，尙是良好的途徑。這些變化，其結果是從物理學底計畫除去三個概念——即絕對空間、絕對時間、以及傳達光以太三個概念。放棄這三者才開始了物理學底正途，這是愛斯坦底各種成功所明白指示了的。現在海森堡更沿着這條路前進，能夠給原子物理學帶來秩序。正如相對性理論從宇宙物理學和天文學除去不澈底的和矛盾的全部，而在那兒差不多一個新的困難都沒有惹起一樣，所以海森堡底新的思路，爲原子物理學完成了同樣的任務。

因爲廢棄上述三個實體而才擇取，這事并不只是偶然的。我們底心之動作是感覺所刺戟。然而感覺是發源於感官以外過東西。要說明這點我們便發明了事物與實體底世界，但是超越感官過一切東西都是推論底結果。由推論得出過實體其種類雖是不少，可是能夠歸入兩個範疇，其一爲「可觀測的東西」，別一個名爲「不可觀測的東西」。要簡單說明這個區別，則可觀測的東西對我們底感官給與直接的結果，或影響及我們實驗室底器械，反之，不可觀測的東西，經過

可以觀測的東西底媒介，只間接地作用於我們底感官和器械。可觀測的東西底代表是光量子，不可觀測的東西底標本是以太。因為雙方都具有與其自身相關聯適量，從而「可觀測的」與「不可觀測的」量都是存在的。一個可觀測的量是能夠直接地行器械的觀測。一個不可觀測的量除抽象地處理外別無它法。前者底代表是光量子底波長，後者底代表是以太底剛體性。

物理學者底宇宙如用圖表把它表現出來，則大略如次：



屬於最後兩範疇過一切項目，雖是純粹地推論的，但是推論底型類當然在兩個範疇各有不同。可觀測的東西一定表現客觀的某物。因為它們同樣地刺戟任何人底感官，而且對於不與我們個人的感覺關聯適器械，給與影響，然而到了不可觀測的東西，其存在與否便含着疑問。因為在我們底感官與我們底器械上都不發生感應。不可觀測的東西不過是

愚拙的推量而已。一言以蔽之，在可觀測的東西上，其性質雖是推論的，然而在不可觀測的東西上，則其存在性本身都是推論的。

現在如果對於各範疇要舉出屬於這個次要諸項目，則我們底思索的路徑便多少要增加一些精密的程度。那會是如次的排列：——

思想

感覺與件——訴諸視覺、聽覺、嗅覺、味覺及觸覺
器械的效果——光線、照像的作用、電流、及其它
可觀測的東西——接近的事象（光量子底衝擊）、
個人的空間、個人的時間

不可觀測的東西——遠隔的事象、實體、以太、絕
對空間、絕對時間

這是借助器械之力來研究過物理學者所看見過宇宙。原始的人當然把「器械的效果」底項目看得不重要了，從可觀測的東西立刻便移行於感覺的與件。即是在上一圖表所表示過經路。

外界可觀測的成分是直接感印於我們底器械或感官過東西。一眼看來，這似乎有莫大的種類；但實際上只有光量子底衝擊一種。照像術在近代實驗科學上雖盡了極大的任

務，但照像乾板所印畫的東西，顯明地除了光量子之衝擊底結果而外，一點沒有甚麼。這不僅照像爲然，就關於一切光學的及測光學的效果也非是同樣不可。但是測定電流之通過電流計底偏差、測定溫度計底示數、記錄音波之到達鼓膜上之壓力、等等效果，雖說是由光量子底衝擊所引起，但比之前例，則這并不是可以一目瞭然的。雖這樣說，但這些效果還是光量子底行爲。若能，不怕用任何方法都不能傳達到它，若果從這一物體傳達到別一物體能全不是光量子構成，則不特物理器械，就是感官也決不能現示其效果。當然我們在這兒談到光量子，并不以光線底彈丸底狹義來談它，而是在一般的意義上當作能底彈丸說的。這個意味之獲得，是由於把光線底概念擴張到一切可能的波長與振動數。要之，一切器械的效果以及感覺的印象都依存於能底傳達，而一切能底傳達則爲光量子所執行。如此偉大的單純化，如把它認作真實，則那是再好沒有的了，但是在物理學者看來，它不是純粹的利得。這在他底宇宙探究上課以非常嚴格的限制。這在後章就會明白的。

加上光量子底衝突，個人的空間與時間當然是可觀測的東西、可以現示於圖表中東西。那成爲使到達的各種光量子得到歸宿適精神的架構。在我們試行把觸接我們底感

官適光量子排列并分類時，三次元空間與一次元時間之精神的創造——瞬間便導入完全無缺的秩序。

在可觀測的東西底界限之彼方——即是遠過我們底感官與器械所到達過地方——，發現不可觀測的東西。這些是單純的形像、映畫、模型。科學其所以把這些想像為實在的存在的，是因為它們似乎能夠刺戟可觀測的東西，使實際被觀測的效果生起。但是要假定這些效果不能以其外的方法產生，則尚無若何保證。爲了證立假定了的不可觀察的東西之存在，則必須證明能夠產生觀測過的效果過東西一樣也沒有。

在前章從物理學上廢去了過三個假定的實體——即絕對空間、絕對時間、及以太——，都是當然當作不可避免的東西，而從不可觀測的東西底圖畫中抽出來的。它們底命運，對於在我們底科學的企劃中尚殘留着過兩個不可觀測的東西之現狀，自然提出疑問。殘留着過兩個即是遠隔事象與實在物。這些也不過是在不確實的知識之光中，描出任何的形像到底也不能構成過外的世界之性急的努力底結果之揣摩的臆測而已嗎？

電子、陽電子、原子等等物質的實體可以編入我們底圖表上不可觀測的東西底項目中，這，一眼看來雖似可驚，但

是它們在這兒還是可以被分類的。一個非事象的電子或陽電子決不能把其存在露呈於我們。而孤立的單一的電子或陽電子必然地非是事象的不可。能夠刺戟我們底感官適最單純的種類的事象雖然不少，但是必要的只是兩個如此的物體。在兩個物體是同一種類適場合，事象是電子與陽電子同志底遇會，這在某種適當的條件之下是能夠觀測的。若果兩個物體是異種，則它們構成一個氫原子。而這事象是許多光量子型中之任一個射出(或吸收)底形式所表現。這現象是現示於氫氣分光景中。一個電子在一個陽電子底周圍畫着軌道迴轉適形像，在波耳底說法上雖佔着重要的任務，但這不是可觀測的事象。在那兒光線底放射一點也沒有。從而也沒有甚麼足以刺戟我們底感官。

照這樣，我們不得不把電子與陽電子只是認為可觀測的事象之不可觀測的根源。存於太陽之中適無盡藏的電子與陽電子只有在推論上是存在的，它們不過是爲了說明終日向我們底眼與皮膚落下適光量子之流，而在我們底頭腦中所創造適思想的產物而已。

輻射流

海森堡抱着既已述說過的意見，自己不願討麻煩來討

論遠隔的原子之不可觀測的電子與陽電子，只聚精會神來研究從它來適可觀測的光量子。這兒有一個像袋子那樣遊東西，在其中混合地裝入許多各種不同種類遊東西。區別它的，主要還是由於各個物、即光量子之振動數底不同。那袋與其說像打獵的人裝他所獵取遊動物遊獲物袋，倒不如說像鐵路上適收票員裝那收回來適票子適袋。因為李茨底原理告訴我們，各光量子具有與其自身關聯適兩個基本的振動數（其自己底振動數成爲兩者間距離底測定），恰像一張車票是關聯於兩個車站——即是說從阿柏登（Aberdeen）到柏明漢（Birmingham）——一樣。波耳底理論把這兩個振動數想擬成固定軌道中運動底振動數，而且想像光量子底射出是一個電子從這一軌道移行於它一軌道適結果。恰似我們可以假定交付車票是從這個車站旅行到別一車站適結果一樣。海森堡對於光量子底起源決不拘泥於任何決定的形像，他只是顧慮着光線之流。如再用上面的譬喻來說，他并不企圖詳細地觀察火車在鐵道上是如何運動，只是概括鐵道系統全體而研究其動作而已。於是因爲這樣作，所以在許多查票員所收集適、更送到鐵道本部適車票之流所構成適事實的證據之上，設置研究底基礎。所謂鐵道本部相當於我們底感官。從而車票是可觀測的東西，但是機關車與

客車與乘客便都是不可觀測的東西。

本部從這樣的車票之蒐集，能夠得出許多種類的統計知識。例如，從阿柏登搭車過乘客之全數、到達阿柏登過全數、在阿柏登車站賣票局所受過金額總數、從阿柏登站出發過乘客所旅行過總哩數、等等的按配，對於其鐵道各站，都能作出這些底統計的。若果本部打算把這知識底全部來加以整理排列，那他們開始便要把從各站到其它各站所發行過車票底數目作成圖表。如果用 A、B、C、D、E、……表示各站——阿柏登、柏明漢、加里森(Carlisle)、唐德(Dundee)、愛丁堡(Edinburgh)、等等，則這知識便可以用(甲)底形式表示：

$$A \rightarrow B = 23$$

$$B \rightarrow C = 72$$

$$A \rightarrow C = 13$$

等等

(甲)

這一切都可以極簡單地用複式記載法記錄在一個表上，例如(乙)表：——

搭車	A	B	C	D	E
下車					
A	103	23	13	84	22
B		23	207	72	28
C			13	72	90
D				84	28
E					22

等等

(乙)

作兩重記載適一個正方形表，爲了使多數的量表解化，便提供一個一目瞭然的方法。在那兒所現示適各數量都與其它兩個數量相關聯。在數學上這樣的表謂之爲「用記號排成之中實矩形」(matrix——簡稱「數陣」——譯者)，被記載的量103、23、13……稱爲該矩形之要素。

在(乙)表上面最初的記載103可以解釋爲，本部受取從阿柏登到阿柏登適車票103。如果我們高興，我們把這些解釋作在阿柏登站買的、而又在阿柏登站交適車票、卽是阿柏登底月臺票。其次在這數字之右方適23，意味着二十三個乘客從阿柏登搭車到柏明漢，而在左方下面適23，則表示同樣多的乘客與上面的行着相反的旅行。這事雖然有時可以符合於火車旅行底事實，有時又不符合，但是這是

適合於物理學底根本問題的。這個事情，直到一切事態都盡可能地成爲單純化時，才可以作思想地認識；詳細說來，如瓦斯體，即使射出光量子，也假定是在安定狀態中。因爲瓦斯不得不保持着與自己底輻射之均衡，所以只要放出的各種光量子就非全數吸收不可。不過在我們底器械上不起感映過程度很小的數是除在這個場合之外的。照這樣，射出光量子適若干原子，如果從這一狀態移行於別一狀態，則與這同數適原子便吸收光量子而移行於相反的方向去。其結果，在列舉光量子底數適數陣上，相對應的諸要素相等。在各個縱行包含着對應的橫行之全然同樣的記載適意味上，數陣是「均齊的」(symmetrical)。

我們底數陣充其量不過記錄不同的各種光量子底數——或許說做相對的比率還好些——。但是這不能包括我們任意“可以觀測”適知識。在鐵道底車票上，印刷有兩個車站底名字，車費也記載着的。車費表示兩站間之距離。同樣，各光量子在其自己底面上也不可消滅地不可改變地刻着其振動數這一量。此量表示與之關聯適兩個基本的振動數間之間隔。

但是就是這樣我們底可觀測的知識也還未被取盡。我們關於光量子之相對數適知識，這雖包含着有，但是關於光

量子底振動的方法迥知識，則尚未包含。如多數實驗底結果所指示，一切光量子底振動都可比之純粹音樂底振動，這些振動也可比之一點之上下運動，這一點是在有絕對均等運動迴飛輪(fly-wheel)底緣邊上過點。

在數學上，這樣的振動呼之爲「單純調和」。它們所包含的變化與 $\cos(2\pi vt + \epsilon)$ 量底變化成比例。這兒 v 表示振動底週期， ϵ 固定其位相(phase) (參看第四章『干涉』之節)。但是在現在的問題上，因爲位相還是可以觀測的，所以上面的公式還是十分清楚的。

然而要避免此種的不精確，是很容易的。德摩維爾(Demoivre) 底有名的定理教訓我們，如果 θ 意味着任何量，則

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

這兒 e 表示普通的指數函數(從而 e^x 是 e 量、或 2.71828……底 x 乘幕)。 $\cos \theta$ 及 $\sin \theta$ 是普通的三角函數， i 表示 -1 底平方根。任意的代數量 C ，能以 $A + iB$ 底形式表示。這兒 A 及 B 是普通數的量。於是德摩維爾底定理指示

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

於是 ϵ 依存於 A 對 B 之比。若果現在我們把特定值 $2\pi vt$ 給與 θ ，則發見第一項 $\sqrt{A^2 + B^2} \cos(\theta + \epsilon)$ 正確地表示

所要求過振動。因而我們可以以 $Ce^{2\pi i\nu t}$ 表示振動。但是在此情形之下，乘 i 過部分是可以略去而得了解的。在用如此的表現之際，我們不能主張要求知道位相 ϵ 。因為我們並沒有把 C 分割成其構成要素 A 及 iB 。這在一切振動與震動底數學理論上，用來是有效的而且是非常普通的便利。

當着這種了解時，關於從氫氣那樣一個物質所發出過光線之流，我們可以觀測的知識之全部，在如此的形式底單一的數陣中，能使之具現出來。

$$\begin{cases} C_{aa}e^{2\pi i(\nu_a - \nu_a)t}, & C_{ba}e^{2\pi i(\nu_b - \nu_a)t}, \\ C_{ab}e^{2\pi i(\nu_a - \nu_b)t}, & C_{bb}e^{2\pi i(\nu_b - \nu_b)t}, \\ C_{ac}e^{2\pi i(\nu_a - \nu_c)t}, & \text{等等} \end{cases}$$

這兒 ν 為其既知的值 $\nu_a - \nu_b$ 等等所置換了。但是 ν_a, ν_b, \dots 是李茨底基本振動數。我們並沒有各個分離地知道 ν_a, ν_b, \dots 底值；但只知道它們底差。那只發生於記號排列成之中實矩形之中。

原子之構造

在把關於氫氣所放射出過光線之一切可觀測的知識，在這樣的數陣中使之具現上，海森堡發見了走到波耳底初期的研究過線索，即是上面已經說過的，波耳在構像氫原子

時，假定一個電子在一個陽電子底周圍畫着一個軌道。因為某種假定之設立而獲得與觀測底結果之一致。其假定是若干「量子的限制」只容許其直徑與整數底自乘成比例適軌道。若果這樣，則在外方的各大軌道比之內方的各小軌道，相互間間隔相對地說來是更加接近些。而一切中最大的軌道就看做是相互連續的，也沒有關係。因為它們相互間適間隔比之它們底大小來，便非常地小了。於是早已無需乎把電子之從這一軌道向其它軌道適移行，看作是飛躍了。其運動不妨看作是連續的，其能之變化是可以認為是連續的變化。

只要電子還是在這些軌道之中，則波耳底量子限制對於其運動便並不給與何等限制的效果，這是知道了的。所以波耳底原子形像與舊力學的形像完全一致。波耳底形像豫言輻射線底放出，那是與實際的觀測一致的。從而舊力學形像在有此無限大的直徑適原子底極端的場合，得出同一的結果。

在雖說是非常之大、但又不是非限的大適直徑之軌道適場合，量子限制只在微細的範圍內發生，而且這是與實驗底結果一致，是波耳所說明了的。這是當作波耳底「適應原理」而被知道的。

於是自然底舊力學的形像正確地豫言了從非常大的原子而來過輻射，不過對於小的直徑之普通的原子，則全然歸於失敗，因而海森堡由於他自己變化了舊的形像，所以有志於使之對於全區域——即是適用於小形原子也如適用於大形原子一樣——之觀測一致。

因為他決心不染手不可觀測的東西，所以當新的形像構成之際可以使用過材料，恰是上面說過的記號排列成之中實矩形，以及直接可以由此採用的種種量。於是討究的方針便明白了。即是首先用此材料重建舊形像，這對於大形的原子往往是有效的，其次在再建的基底之上，企圖使其形像適合於一切大的原子。

數陣底各要素當然與分光景線底強度成比例。若果把放出光線過氣體之量減半，則各分光景線底強度也減半，從而數陣底各要素也非減半不可。要是由於一個適當的因數分割而便縮小各要素，則我們便會獲得一“縮小的”數陣，而這數陣則以單一的原子表示射出過平均光線。

一微粒子底運動是如何能夠常常當作多數的振動之合成表示呢，我們已經說過了。在原子是非常大過特別的場合，海森堡發見了，“縮小了的”數陣指示波耳底形象上點狀粒子底位置。其各個要素表示各個振動，其合成的東西產生

電子底運動。

在原子是小形時，我們自然不能期待同樣的解釋。但是讓我們假定，即使在這樣的場合，氫原子還是兩種成分構成的。就把這兩種叫做陽電子和電子也是無妨。但是這樣的字眼在現在意味着甚麼呢，是一點也不知道的。

因為數陣指示大形原子上電子之位置這事已經明白了，所以現在原子就是小形，而數陣還是一定指示類於電子之位置過東西，海森堡這樣想像。但是電子決不可比之一個點，寧可比之鐵道系統之全體，如我們已經看見過的。數陣底諸要素早已不可用來表示只能加成一塊兒的振動了。它們寧可比之各種列車底運轉經過。

在一個原子中描着大的軌道過電子雖能擬像作一個微粒子，而描畫小的軌道過電子則能擬像作不能比全鐵道系統更小過東西，這似乎是夠奇怪了。但是，我們不得不記憶着如次的事。即是海森堡底數陣是與在單一的原子內發生過單一的光量子不相關涉的，反而與發生於有種種狀態的無數原子內、不知有多少億萬的不同種類過光量子之一射線相關涉。因為這種理由，要把數陣指示一個獨立的原子之狀態那樣的形態給與我們，是決不能期待的。那不過給與一切原子之合成照片而已。如果高興，我們可以說，縮小了的

數陣把一個“統計的原子”形像給與我們。這統計的原子之性狀與特質是在光線之射出上關係着過一切現實的原子之性狀與特質底平均值。

海森堡底數陣底各要素，是與時間同其變化的，這能計算出來。以其變化率置換各要素時，我們得到第二數陣。那給與在統計的原子上發生過諸變化之表現。——差不多似乎鐵道系統上列車底速度。對於大形原子，它不過表示粒子狀電子底運動速度。要是以一電子底質量乘各要素，則我們便獲得表示電子之運動量過一個數陣了。

海森堡底關係式(relation)

我們以 P 表示此最後的數陣，以 q 表示對應於電子之位置過最初縮小的數陣。海森堡自己知道能夠構成一個原子活動底新形像，如使用 P 、 q 兩個那樣的數陣過話，而且明白那在一切方面都精確地與觀測底結果一致。

這形像并未個別地包含 P 與 q 數陣，而只是兩者底乘積構成。要是 P 與 q 是6與8那樣的單純的量，則二者底乘積 $P q$ 便會有48那樣的一個正確的意義。但是如不只是量，它們還指示物，則乘積 $P q$ 尚未至於有意義，我們是可以自由地附與任意的意味的。實際數陣之數學理論在海森堡之前

老早就存在的了。若果這樣，則乘積 pq 便有爲 q 所乘過 p 那樣習俗的意義，乘積 qp 則有爲 p 所乘過 q 底那樣習俗的意義。若果 pq 是 6、8 那樣單純的量，則乘積 pq 自然就與 qp 同一了。但是在它各各都表示着數陣時，則這便無需乎是如是。實際，就在 pq 與 qp 之習俗的數學的解釋上，這也不是看作同一的。即是 $pq - qp$ 有一個決定的意味，當作表示其自身底那種數陣，通常是看作與零不同的。

在有非常大的半徑之原子底極端的場合， $pq - qp$ 與在普通力學的理論上現示適量是同一的，這是第拉克所證明過的。而且這稱之爲有毒的媒氣管 (Poison-bracket) (在我們底討論上這些語句之穿鑿的意義是無需乎的)。普通動力學告訴我們，這種管通過運動全體不得不保持一個常恆值。而且如已敘述的，普通力學能夠精確地豫言從非常大形的原子放出適輻射線。所以非常大形的原子上輻射的經過之眞像，可以由於假定 $pq - qp$ 保着一個恆常值而被獲得。

這個形像只包含着「可觀測的」的數陣，以及可以直接由這導來適數陣。因爲其中所含適各項對於各小形原子具有明白規定了的意義，所以它顯然能擴張到小形原子。這形像除了方程式右邊底常數量底值底不定外，是完全精確而且鮮銳的。這兒唯一的問題便是它是否符合觀測的事實。現

在海森堡以及這方面多數的學者一致地表示，原子之分光景底全部問題是得到解決了——不僅以前存在的疑問得以冰解，而且新的困難也不出現了。但是這一解決是基於如次的假定。即是電子底活動在一切場合都依從

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i} \epsilon$$

那單純的法則。

在這方程式上， ϵ 本身就是一個數陣，是一種呼為單位對角線數陣的東西。即

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \text{等等} \\ 0 & 0 & & \end{vmatrix}$$

在這上面，一切對角線的項都等於1，一切別的項都等於零。所以海森堡方程式底意義是，在數陣 $pq - qp$ 中，在對角線上不能發現過一切要素都是等於零（就是 p 與 q 是普通的數或量，也是這樣），而一切其它的要素都等於 $\frac{h}{2\pi i}$ 。

這兒 h 又是蒲郎克底常數，流行於小規模自然之全體。 i 字母表示 $\sqrt{-1}$ ，而且這更流行於原子物理學全體。這表示從某實在時間向我們底觀測時間之轉移。（見第三章『客觀的空-時』節） π 通常表示3.14159……那個數（對直徑之圓

周率)，同時——在複雜的記號之中，幾分爽利地—— 2 就是表示算術上普通的 2 、即一加一。

在此情形之下，中心的事實是 pq 不等於 qp 。這兒也沒有別的神祕和驚異。因為 p 與 q 都不是單純的量，而是量底排列，而且乘積 pq 最初就是照着與 qp 不同那樣下適定義的。但是進入排列及 q 適量正以奇異的方法相抱合，從而 p 與 q 都當作單純的量處理，而不當作獨立的量底排列處理。這事在考察非常大形的原子之特別的場合是頗為明白的。在那場合，如既說的， p q 可以看作是一個點狀電子之座標及運動量。

此抱合 (interlocking) 底性質可以用簡單的例證證明。任意獨立的兩對數，就說成 2 與 3 吧，作成兩數底排列，但是由此我們可以作出當作單一的數而論究適代表的結合 $2+3\sqrt{-1}$ ——那可以看成(例如)二次方程式 $x^2-4x+13=0$ 底根。不過其要素 $2, 3$ 并不失去其同一性。如果取 P 及 Q 類，把其要素各各作為 $2, 3$ 及 $4, 5$ ，則乘積 PQ 便有如次之值。

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

這是與原來的數同性質 $(-7, 22)$ 的。

在這兒， PQ 乘積當然正確地似乎與 QP 相等。但是這兒還存有一曖昧之點，因為我們對於如次的事實并没考慮

過適原故，即是在-1上有兩個不同的平方根，其值相等、其符號則相反那樣的事實。我們且以 i 與 j 表示這些，而進一步承認，任意乘積 PQ ，因在第一的因數上，使 $\sqrt{-1}$ 等於 i ，在第二因數上使 $\sqrt{-1}$ 等於 j ，因而被獲得。由於乘積之如此的定義， PQ 與 QP 并不是同一的。即我們發見如次的事實：一

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

在這場合，值是 $2(i-j)$ 或 $4i$ 。

用上述的方法，我們可以把 p 、 q 差不多(但不是全然)當作單一的量處理，而 q 與一個點狀電子之座標相似， p 則與其運動量相似。在這個相似是真的適場合，我們看出如此的事。即是與 pq 描畫着用某種方法所測定適完全的軌道(註十八)適電子運動(參看第三章『羅倫茨變換』一節)相類似， qp 是與用某種其它方法所測定其同一運動適東西相似。我們現在知道了，海森堡底方程式

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i},$$

只表示存於兩個不同的量之間適一個關係。這些量中適每一量，與電子底軌道是非常大規模的那樣被限定適場合，都與電子軌道中適運動相似。

縱使此方程式到今日還只是對於“平均的”、即統計的

(註十八) 更嚴密地說， $2\pi pq$ 與 $2\pi qp$ 是相似的。

原子認為是真，但是，如在科學界屢屢發見過類例一樣，其妥當性所到達範圍似乎遠超過引導於此種發見過特殊條件。任意的動力學的體系底狀態，由若干的座標(q)可以指示出來，其運動，由於與此等座標相關聯的運動量(p)底值而表示出來。由於把如此任意的一對對應的值附與 p 及 q ，海森堡底關係式似乎獲得了觀察底確證。不過我們必得注意，觀測決不是對於個個原子而行的，只可以對於統計的集合體行之。

這個一般化所意味着的是，方程式對於統計的原子，也和對於個個的原子一樣，都非適合不可。要說明一個瓦斯體為甚麼給與鮮銳的線底分光景呢，這是必要的。它也指示出個個電子，在置於原子底內部過時候，與其當作一個單純的動點，毋寧說有一個鐵道全系統底複雜性。把電子看作空間與時間上一個點過形像，是完全而究極地失敗了。

如果要取一個類例，固體底原子畢竟是有數的振動子在均衡的位置底周圍振動。於是這些振動底能只是作為其固體之熱能而存在。海森堡底方程式證明如此的振動子決沒有完全失去能。即是其振動必然地有能量子 $h\nu$ 底 $\frac{1}{2}$ 、或 $\frac{3}{2}$ 、或 $\frac{5}{2}$ 、乃至 $(n + \frac{1}{2})$ 。所以固體決不能失去其熱底全部。就是絕對溫度降到零度時，其內部振動也有能底二分之一

量子。這個結論雖是可驚，但那是關於低溫度上固體底比熱之研究所顯然地確證了的。

此關係式也能夠適用於原子與分子底旋轉。在這時，此關係式指示三角運動量不得不常常是這一個、或別一個 h 之某確定的而且可測的倍數。從三角運動量這些值中之一個向着其它一個轉移的結果，在帶狀分光量上產生觀察的諸線，而其被算出週振動數為觀測所確證。

但是這方程式之最有興味的適用，是對於真空內普通的輻射線的。如上面說過的（第五章『自由振動』一節），這樣的輻射線底能可以看做是由個別的許多自由振動的能而成。海森堡底關係式說明了，具有任意給與的振動數 ν 週自由振動底全部能，都不得不是 $h\nu$ 底整數倍。這顯然是一個假定，蒲郎克以他原來的輻射之量子理論為基礎而建立週假定。換言之，此關係式指示出，一切輻射線都可認作是有各自的能週不可分的光量子所構成週東西。它把原子底性質導入輻射底波動形像，而這個，由於與本章『輻射之流』一節之末尾底考察之結合，因而確立波動像與粒子像底相似性。

這全然暗示着海森堡底關係式必然是某種真的基礎的法則之表現，在我們現在能夠考察週範圍內，通自然界全體

那都非是真的不可。我們在下面就要論述這法則之種種可能的解釋。

到牛頓力學過轉移

在日常生活之大規模的事象中發生過作用底諸量，當然是 h 之非常大的倍數。例如，舊式的座鐘底擺之一完全振動上過作用大略是

$$400,000 \text{ 秒} \times \text{厄},$$

而蒲郎克常數底值則不過

$$h = 0.000000,000000,000000,000000,006555 \text{ 秒} \\ \times \text{厄}。$$

發現於海森堡方程式中過乘積 pq 及 qp 都有任一作用底性質，在可以感觸的物體，它們是 h 之非常大的倍數，從而右邊之單獨的 h 在比較上就略去也似乎不關緊要。如略去時，則該方程式便取着

$$pq = qp$$

底形式，而且這方程式告訴我們，直到為海森堡所挑戰，對於自然底全部都無何等猶豫地容認了。

在我們從原子底構造出發、移行到我們能夠感知過大過物體時，海森堡底新理論是如何徐徐失去其光彩而復歸

於見慣了的加列雷和牛頓底力學理論呢，這樣的事實是很明快地指示了的。這兒如果有一條河，原始的人不把它看作水底分子之集團，而只看作連續的流，而他底後世子孫即使還是玩弄思辯，還是不會忘記把水作連續地看待，而考出水理學底理論。但此理論只適合於把水分子作莫大的羣處理過場合。對於包含無數億兆的分子適川河而言，雖給與正確的結果，但考察個別分子過場合是要失敗的。同樣，牛頓力學只有在處理作用底單位 h 當作莫大的羣發生過過程時，才是適當的。對於包括無數億兆的作用單位過大規模底過程之運動，此力學雖與以正確的結果，但是對於只關係於個別作用底單位過亞原子過過程，則失敗了。牛頓力學，在作用單位成爲非常的多，而可以把它當作羣處理時，便是海森堡底自然像向它進行過極限。

我們也可以把海森堡底方程式與波耳初期的量子限制比較，前者當然是後者之更精確的後繼者。這等限制，雖然一般假定是加添於牛頓底諸法則上之任何東西，但大規模的體系只服從牛頓底法則，而原子的體系則又服從牛頓底法則，加之又服從量子的限制。海森堡底方程式有時也可以作同樣的論究。正如自然法則對於小的體系比對於大的體系容許更少的自由一樣。但是在現實上不是這樣。小的體系

服從海森堡底法則迺話底意味，只有與對大的體系已暗默地規約了迺事、即對於大的體系 q 假定 pq 與 qp 是同樣的迺事，才是對應的。我們假定大規模的事物在空間與時間上得以表現時，我們完全在不識不知之中規約此事。對於亞原子的自然、 pq 不與 qp 同一迺事實，對於亞原子的自然果否在時間與空間上得以表現迺事，投以疑問，這問題在後章要重行討論的(第七章『客觀波與主觀波』一節)。

若果我們把海森堡方程式之謎正確地讀過，則這方程式底某點上，原子構造之最深的性質不得而被隱秘起來。這方程式在其表面並沒有揭出何等明白的解釋。所以我們所認為最好的方法是建設一個適合於方程式所表示的法則那樣的模型的組織。若果我們底企圖成了功，則那模型便不必是必然地或甚至是或然地、與自然上實在的構造相同，但是其模型還是似乎對於原子之性質會投以任何光明的。因為若果兩個個別的組織都為同一的方程式支配，而並沒有共通的性質與特性，那末它便是不可思議的了。

第六章 波動力學

當萊普茨幾(Leipzig)底海森堡教授追求前章所述過逸思索時，一方面巴黎底路易·德·柏諾格里皇子 (Prince Louis d Broglie)和柏林底斯魯丁格教授(P.Schrödinger)對於物質構造底問題從獨自的立場加以檢討。在他們之間，關於化學的物質之分光景底起源，他們建立了其交互的說明之考案。這方法初看似乎與海森堡所走過方向無多大關係。但結果斯魯丁格本人，也與波耳及溫勒(Wiener)一樣，確證這兩組思想不僅導出同一的結果（這是自然觀測的實際所證明的）而且兩者本質上是同一的。斯魯丁格結果發見海森堡方程式底解法，而且那是可以具體地表現的，其結果我們

得到電子底模型那樣的東西。如應用此模型則分光鏡觀測之實際的結果就完全解釋了。在這兒，我們從這個觀點首先論述德·柏諾格里與斯魯丁格底成績吧。不過切不要忘記這兩個學者之成功是與最初海森堡底思想全然獨立的。稍後我們用很少的數學式子討論德·柏諾格里與斯魯丁格底物理學的概念。某些讀者寧可跳過這點而直接進到這個議論也無妨害(見下節起首)。

波動底形像

要是某種量 γ 對第二量 q 以 n 倍底速度增加，那末我們便以「 γ 對於 q 之微分係數」底名稱稱呼 n ，而以 $\frac{d}{dq}(\gamma)$ 表示它。例如乘積 $q\gamma$ 那樣的其它任何量，也有對 q 之一微分係數，而寫 $\frac{d}{dq}(q\gamma)$ 表示之。

乘積 $q\gamma$ 具有兩重變化底原因，即 q 之變化與在 γ 的變化。由於第一原因， $q\gamma$ 比之 q ，其變化要快 γ 倍，由於第二原因，比之 γ ，其變化要快 q 倍。如加算這些變化，則得如次之關係：——

$$\frac{d}{dq}(q\gamma) = \gamma + q \frac{d}{dq}(\gamma)。$$

我們知道，因為 γ 只一次進入這方程式底各項，所以能夠用如次的形式去代換它：——

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

在這式子之中，我們把 $\frac{d}{dq}$ 看作一個施作用者 (Operator)，意思是後它而至適任何東西都可以對於 q 而行微分。

我們又把 q 本身定為一個施作用者，意思是後它而至適任何東西都可以用 q 去乘。這第二的解釋當然是普通代數學上適意義，因為上面的方程式不管 ψ 是甚麼適場合都是真的，所以頂好用如次的形式表示它：——

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

在這場合，各個記號都作一個施用者看待，包括在右手邊底 1 。

如果我們想慮到一個數，次之，二倍於它，又次之，二分它，則最終結果自然是我們最初所考慮到適數。同樣，我們可以想到任意的量，在這量上施行上式左邊底運算時，其運算底結果往往是我們最初所想到適量，我們底方程式是指示出來的。若果在這方程式底兩邊乘以 $\frac{h}{2\pi i}$ ，則成爲：——

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

這，我們立即看到，是與海森堡底關係式同樣適一般的形式。實際上如果我們採用

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

則這兩個關係式歸於同一。

我們說 $x=3$ 是 $x^2+2=11$ 底解答，其意義是，以3代替 X 則把方程式還元爲自明之理了。在同一意義之下，我們爲了代替 D 而在上面剛寫下過值，把海森堡底方程式還原爲一個自明之理。因此在某種意義上，我們可以說那是這個方程式底解答。但是我們決不可以說那就是其解法，或者是唯一的解法。正如不能斷言 $x=3$ 就是 $x^2+2=11$ 底唯一的解法一樣。但是那總是一個解法而已。因此可以告訴我們這方程式底意義之一部。如用更屬於物理學的術語來表示，則此解法告訴我們要如何構成一個模型或形像，那不過是多數可能的模型式形像中之一個而已，然而，就是這樣，也許會把這方程式底物理學的意義告訴我們一些。

讓我們首先使用上面的解法檢察海森堡底方程式、在適用於電子那樣的一個微粒子底運動時、有何意義。我們在這兒無須假定微粒子其微細就類似於點(Point-like)樣，我們只須假定，其位置爲空間之一點底位置所規定，恰似棒球之位置爲其中心位置所規定、或列車之位置爲其機關車底踏板 (foot-plate) 所規定一個樣。於是我們能夠用 x, y, z 三個座標規定其位置（如第三章『羅倫茨變換』一節所作的那樣）。由於這一組座標，那個微粒子向着相互成直角過三方向……例如垂直、北南、東西——移動了過距離，頂好是

看做被給與了的。微粒子之運動底速度為同樣的 u, v, w 一組所規定，其運動量則更為第三組 a, b, c 所規定。然而我們知道，這個 a 是與 $m u$ 同樣的東西，而在這兒 $m u$ 是表示微粒子底質量的。在這簡單的場合，爲了海森堡方程式，我們已獲得適解法假定是如次的形式：——

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

這兒自然有對於 $m v$ 與 $m w$ 同樣適值，所以三方程式之形成的體系在 x, y, z 三個座標上都是對稱的。然而如我們已經學過的（見第三章『客觀的空-時』節），自然界之任何真的形像在 x, y, z 及連續體底 ict 四個座標上都非是對稱的不可。這指明了三個方程式所構成適如上的體系，尚是不完全的；這兒與座標 ict 照應適第四方程式尚是必要。在下一式中這是容易看出的：——

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

如果這些方程式似乎沒有意義，則這應是當然期必適東西。海森堡開始就像想構成電子之能夠理解的形像或模型到底是不可能。我們底方程式——到這樣的模型適第一步——早已證明是不好理解的這一事實，也許指示着他底豫想會是正確。要是各方程式使我們到達例如小的固體那樣的一個簡單的模型，則海森堡對於那無謂的悲觀主義便

要非難。

然而我們能夠把物理學的意義灌送一點進這些方程式去。如果記憶着方程式底兩邊是作用者 (operators), 從而便渴求着可以發生作用過某物, 那末就對了。要是在第一方程式底各項給與一個可以發生作用過記號 ψ , 則它就成爲如次的公式: ——

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{2\pi i \mu u}{h} \psi,$$

這是極類似的方程式。要解答這個, 我們知道 ψ 非成爲

$$\psi = C e^{2\pi i \left(\frac{\mu u}{h}\right)x}$$

那種方式不可, 這兒 c 是常數。

在第五章『輻射之流』一節所舉過諸公式指示這表示一聯的規則的波動。 x 變化則 ψ 底值便上下於 $+c$ 與 $-c$ 兩個值之間, 以 $h/\mu u$ 底間隔正規地反覆其自身。要作數式底嚴密的或總括的論評, 因爲是不屬於本書底範圍, 所以沒有列入。目前的討論一樣也不是, 只是指明運動量 μu 在某種意義上, 是關係於 $h/\mu u$ (即以該運動量除 h) 底一聯正規波動的。

光量子已經對此給與了一個例證。因爲一個光量子底波長, 如既已知道的, 是等於以其運動量去除逆值。這個關係就對於原子也是真的, 這是實驗論證過的。

在湯姆生(G.P Thomson)底實驗上,使電子底驟雨打擊極薄的金屬板。那電子恰如一聯隊兵士秩序整然在進軍一樣,向同一的方向以同一速度運動。這兒如果依舊來的物理學,則豫想此實驗底結果,會這樣說的,即各電子以其自身之最大限度的力,通過薄片的原子與其間隙,而開拓其獨自底途徑,其結果電流在薄片底反對方面,成爲電子之無秩序的暴徒而發生,各電子以不同的速度向不同的方向運動。反之實驗證明了電子形成如本書裏封面底第二圖那樣完全規則的波模樣。電子一直地通過剛體底間隙,對於它們底形態并未惹起何等混亂,反而使之成了一種新的秩序,它至此便變化其秩序之性質,而賦與的動底性質。

測定這些波動底精確波長是可能的。這時候底波紋與某種既知波長底 X 線所作成波紋是同一的,這是確證過的。所以這也非是電子驟雨底波長不可。於是這樣得來的波長是服從精確地理論的法則——波長必然是以驟雨中之各電子底運動量除 h 。無論如何在這兒非承認不可的是,此波長與在金屬薄片中之原子底間隔沒有任何關係。

以用陽電氣使之帶電陽電子底驟雨而行過實驗,得出同樣的結果。

因此我們多少有些確信我們是在走着正道而繼續研

進；我們所得的形像，在我們雖難理解，但對於真實倒是忠實的。

電子波底波長為電子驟雨之進行速度所決定。這證明了在驟雨進行於真空空間時，波動沒有積極的存在。因為在如此的條件之下，“進行速度”完全沒有意義——這當然是相對性理論底主要之點。然而只要微粒子底驟雨遭遇到任何物質或電場時，則運動速度之可測定的規準便被給與，從而“運動速度”與“微粒子底運動量”底名詞便獲得確定的意義了。就這樣也不能主張波動不是實在的，不過我們立即可以知道，在這種情形之下不能假定它們（波動）有物質的形體之存在。

我們能夠以全然同樣的方法討論在上面考察過過一組中過第四方程式(D)（參看本節前段）。要是在兩邊給與一個量使之起作用，則我們便得着與前同型過方程式，而如次解答：——

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

這表示在時間之正規的間隔 h/mc^2 上自身反覆過振動數。再者，我們不能進入嚴密總括的數學理論，但是我們知道，有質量過一個微粒子之存在，在某點上，是與周波振動數 mc^2/h 相關聯的。

相對性理論告訴我們，質量 m 底微粒子是 mc^2 量底能之倉庫。所以振動周波是等於 h 除能。

還有，光量子對此提供例證。即是其周波數等於以 h 除它底能。相對性理論指示，運動着過微粒子底質量依存於其微粒子之運動底速度，而與

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

成比例。這因數在第三章既已碰見過的了(第三章『羅倫茨變換』節)。即是運動的物體比靜止的物體有更大的質量，因而有大的能。在實際上，超過的量確精地是其運動底運動能。根據這點，運動着的微粒子與快於靜止的微粒子過振動相關聯。其運動增加振動周波數。

初看似乎這些振動必然與剛討論過過波動同樣是主觀的。因為它們是依存於微粒子底運動速度，而且我們沒有可以計量此速度過任何客觀的規準。但實際不是這樣。具有速度 u 過運動，以上述因數為基準、而增加振動率，但是與這同樣一如在第三章所述的，它正確地以同一的比率增加時間底單位，所以畢竟這兩個效果相抵消了。

所以這些振動不是實在的過理由至今尚未出現。若果我們想像電子是每一秒鐘振動 mc^2/h 次數，則電子底波紋

便極簡單地可以解釋爲此振動系與其向它下落週剛體底表面之相互作用底結果。根據計算，爲實際的實驗所發見週波長，由於那樣的電子機構發生（以一秒鐘 $1 \cdot 24 \times 10^{20}$ 次〔 $1.24 \times$ 百萬 \times 百萬 \times 百萬〕底完全振動之比例運動週電子機構）。於是我們所得到週電子底形像，較之把它與帶電的微小的撞球比較週那種舊時的看法，是更可驚異和不可思議的了。不過切不要忘記，這等振動現實到了甚麼程度，與波動一樣，它們是單純的數學的假定又到了甚麼程度，我們還是沒有知道。理論與觀測都同樣確證，陽電子也可以想像爲正在行着振動，不管現實的或想像的，而且以一秒間 $29.000 \times$ 百萬 \times 百萬 \times 百萬次週完全振動、比電子以更大的速度振動。

以上我們明白了，在空間上週波動與時間上週振動是與一微粒子底運動關聯着的。我們可以用如次的簡單公式結合這兩個效果：——

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

這個 ψ 底值同時使(C)(D)兩個方程式滿足了。

這個式子表示波長 h/mu 底波動，它是向着X底方向以 C^2/u 底速度進行。這速度也是相對性理論使我們習知了週、即局所的時間之傳播速度。於是我們看到，有質量 m 、而

以速度 u 進行迺微粒子，在某種意味上，與如此一聯的波動有關係。

以變化的速度進行迺運動是關係於複雜的波動系的。試舉例以明之，我們試考察一個電子在一個電力場上運動着迺特殊的情形吧。因此要把問題簡單化，我們就要假定其速度常常比光速度小。

如已知的，其運動非與普通力學底法則適合不可，正如適合於海森堡底限制一樣。普通力學告訴我們，運動的電子具有 $\frac{1}{2}m(u^2 + v^2 + w^2)$ 量底運動能；如它是照次的方式運動的，即是電子底運動以及與這能相並立迺位置底能（我們可以呼之為 V ）底和，在運動中常常保持不變的值。若果用 E 表示此不變值，則依據普通力學，在運動中常常是

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

，同時海森堡底關係式加添了若干限制，要表示它，便要把 $\frac{h}{2\pi i} \frac{d}{dx}$ 加進去代替 mu ，等等。如此結合的結果引出下面的方程式：——

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

這方程式如上面的一樣，各項都看作是一作用者。為要使這些作用者起作用，我們再要供給記號 ψ 。但是在這兒是一點也不究問 ψ 是何性質的。這個方程式現在成為

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

……(F)。

ψ底值還是與時間同時繼續振動。因而數學者會承認此方程式是表示波動底傳播的。波長已經不是確定的了。它與 $1/\sqrt{E - V}$ 成正比一點一點地變化，正如光線底波長在通過屈折物質之際那樣變化一樣。我們看見，在電場中運動的電子，在某種意義上，是與通過屈折物質的光波底波動相關係的。

德·布諾格里(De Broglie)波動

在上面我們剛獲得的方程式，一般是當作斯魯丁格底波動方程式而被知道的，因為斯魯丁格最初之獲得這方程式，是由於使用他自己底獨自的鮮明的方法。這方法一點也沒包含電子之微粒子通過底思想。與海森堡同樣，斯魯丁格相信，波耳初期的理論之所以失敗，是因為把電子與陽電子想像為非常簡單而且非常具體的小形的帶電微粒子。在斯魯丁格完全未出現於舞臺之前，這個失敗已經使初期的、而且極與這個類似的光線微粒子說之失敗給德·布諾格里提醒了。把光線想像成微粒子底驟雨過理由，雖能說明光線底陰影及其它簡單的粗大的性質，但是只有波動的形像才能

說明其更微妙纖細的性質。同樣，把物質想像成微粒子底集團、即電子與陽電子底羣，雖能解釋物質底某種性質，但不能說明其一切性質，而這些性質大概是大的性質。德·布諾格里懷疑着，爲了說明這種殘餘的性質，波動的形像是否必要。

不管電子是甚麼東西，都與自然界其它東西一樣，應假定它還是適合於相對性理論的。這指示出，只把具有空間的特徵性質附與電子是無意義。無論如何其敘述也包含時間的特質。雖然這似乎是着手進行過一條細微的線索，但實際上，限制電子這一未知對象物底構造和行動過事是發見的。我們知道，如果電子適合於相對性理論，則將其構造數學地想像作一種波動體系，是決對可能的。

因爲如果靜止的一個電子底構造是爲 X 、 Y 、 Z 及 T 各項所規定，那末在同一的電子以 U 底速度向 X 底方向運動時，除了 X 不得不爲 $X - ut$ 所量換、 T 不得不爲局所時間 $T - \frac{xu}{C^2}$ 所置換外，其規定可以說都是與上同一。這當然是羅倫茨變換底內容。但是這兒若干小的變化是被忽略了。所以只有電子以匹敵於光線過速度運動過時候，這才帶着重要性。

X 變成 $X - ut$ 是電子運動之必然的結果。 $X - ut$ ，若果

電子是以 u 底速度向 X 底方向運動，則其值保持着。然而 T 變成 $T - \frac{Xu}{C^2}$ 則意味着與此不同過形式底運動；因為這量要保持其值，則一未知的某物便不得不以 C^2/u 的速度向 X 底方向運動。我們能夠把這想像成某種攪亂底傳播，或者一個波動體系，這是與電子同方向、以 C^2/u 底速度、即局所時間被傳播過速度運動過東西。

這兒有一組波動，其各個波動要是正確地以同一速度進行，則那組底全體當然會以各個波動同一的速度進行。光線底閃光對此提供明瞭的例證。閃光之進行，是與構成它過光波同其速度。但是顯然地，我們不能想像這一組所表示出過電子。因為電子雖不過以 U 底速度進行，但是波動在以 C^2/u 這樣均一速度進行時，是要馬上從電子離開的。

那末讓我們現在來考察波動底某一組底運動吧。它是以任何性質在任何處所發生的。它雖以種種不同的速度變化，但是暫時地擴張到僅小區域底空間中。把這想像成海中過風暴還好些。其風暴底頭部自然以最迅速的波動底速度切足先登，但其尾部則以最緩慢的波動底速度追隨着它。因此頭與尾漸次增大其距離，波動羣便繼續擴張下去。而羣底中心常常位於兩端底中間，以最迅速的波動與最緩慢的波動之中間速度進行。

這兒有一個條件存在，在這條件之中並沒有跟隨着這些結論的。即是在每一構成波已經擴張於空間全部週條件。這就在全體系之形成有限的、乃至小規模的羣時也是不適合的，因為外側的諸波動為破壞的干涉相互完全地抵消了（見第五章『自由振動』節）。實際上，我們已經援引過數學的定理告訴我們，任何攪亂狀態，不論它是如何受限制，往往都是由構成波而來，各波在空間擴張下去。在小範圍的空間上（受限制週波動羣，在這方向是一般當作「波動束」(wave packet)而被知道的。

解析學指示，波動束一般地具有擴張底性質，但是其擴張底速度則緩慢。當其擴張底程度，緩慢到要保持可感知的時間中集成的構造時，我們無妨說是它底運動速度。而且我們知道，在其構成波中最迅速的速度與最緩慢的速度之間的速度，早已不必要了。例如某種波動束自身以 U 底速度進行，但是構成它週波動具有接近於 C^2/u 那樣全然不同的速度週進行速度。要是我們把電子作波動羣說明，則這自然是我們所需要週東西。羣底諸速度與各個波動底速度在此特殊場合は應關連着週條件是非常簡單。即是以 C^2/u 底速度進行週波動底振動數，與

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

成正比例。這不外我們對於上節所論了邁波動既已得出的關係本身。

於是我們可以把目前正在討論邁德·布諾格里波動同在前討論邁邁波動看作同一。波長與振動底週期為既已指示邁邁公式所證明，從而對於電子、對於陽電子、對於光量子，都證明是同一的。

精細的研究之結果實證出此波動系不是與電子離開的。個別的波繼續在前後相互抵消，而在中間區域相互強合，這兒一個永久的構成體成立，它能夠正確地與電子以同一速度運動。如把電子波是純粹數學的這一事實除外，其作用則與在小船底普通弓狀波上我們所看見的全然不同。雖然海面底漣波進行起來可以快於小船或緩於小船，但是這漣波底全體系并不是從小船逃開的，而是與小船底速度以完全同一的調子進行。

光線底速度 C 必然地大於電子底運動速度 U 。但是波動底速度 C^2/u ，以恰與上面同樣邁比率，是更大於光速度。所以波動不僅快於電子，而且比光之本身還快。例如，若果電子以光速度底四分之一底速度進行，則個別的波動便以

光速度底四倍之速度前進。而且，如果電子底速度遲緩，到了成爲光速度底千分之一底迅速，則其波動便爲光之千倍的速度，因而是以電子百萬倍底速度進行。

這自然只給與了數學者見慣了逆那一類的數的形像。他們慣於把各種變化看做由於波動底繼續而產生，這不過因爲作爲記述上逆方法之便利而已。

電子與陽電子與光量子之波長與週期，完全都爲同樣的公式所給與，這是已經敘述了的。即是

$$\text{運動量} \times \text{波長} = h,$$

$$\text{能} \times \text{週期} = h。$$

對於電子、陽電子、光量子這三個性質不同逆東西，說這些公式都是同一的，聽來這一定是很奇怪的。對此有一種可能的解釋，即是這些表面上不同的事物在究極上都推定爲同性質的東西，無論如何在關於其振動數及波長所表示逆它們底振動逆限度內，是歸於同一的。電子與陽電子是帶電性，反之光量子則沒有此性質，這一本根的區別，在說明它們底性質底許多異點上，本身就足夠了。兩者都保有能，從而都具有質量。因爲帶電微粒保有有限量底能，所以它不得不比光線進行得慢些。然而正因爲光量子保有有限量底能，所以它非精確地同光一樣速度進行不可。這說明了光

量子爲甚麼常常以光速速度進行、而電子與陽電子又進行得遲緩。再者，雖然電子與陽電子因爲其帶電的牽引與反撥而相互作用，但是光量子則由於不是帶電性，決不能相互作用。因此，說光量子雖與電子與陽電子同性質，但只缺少帶電性，這種看法是有充分的根據的。

然而這些事實比之上面所說的，尙容許更廣汎的解釋。上說的公式是海森堡底關係式之直接的結果，此關係用於一切自然界都是對的，這是所有觀測上適左證所指示的。其正當性必然及於電子、陽電子與光量子底領域以外（見第五章『海森堡關係式』節）。

因此，由這兒推出來適公式似乎對於一切自然界都是妥當的。光量子、電子與陽電子底場合，對於一個普通的真理，其作用不過提供例證而已。換言之，這些公式差不多表示空間與時間之某一般的性質、如看做表示在空間及時間中適某特殊現象或事物，倒是不充分的看法。舉例說，像能這東西，只不過是從別一方面去看振動數或時間適一種概念，如運動量，亦只不過是從別一方面來看波長或看空間而已。正如我們能夠把光線幾乎毫不在意地看做波動或微粒子一樣，所以我們能夠把空間毫不在意地看做廣袤或運動量，把時間看做振動或能。

這兒似乎有兩個不同的臆測；然而實際只有一個。因為相對性理論證明，空間之關係於運動量、與時間之關係於能是同樣的。若果相對性理論之虛構的觀測者，一面飛行於空間，一面變更自己底速力，則他在既已敘述過意義上說來，便是把空間變成了時間。在與這全然同樣的意義上，而且在全然同樣的範圍內，他把運動量變成能，在空間時間之連續體上，如時間、空間之自身之融合一樣，運動量與能都歸於一。

因此，能之恆存也可以解釋作振動底恆存的；在一單位時間內，整個宇宙中發生過振動底總數還是當作常數存在，這可以成爲時間之絕對的規準。同樣，運動量底恆存，是可以當作波動數（關於長度一單位過波動數）之恆存，因此可以給與長度之絕對的尺度。

近代科學從十九世紀底科學底自然奪去了許多東西，因而提供某種東西來填塞這兒所發生過空隙，這是當然的期待。相對性底思想似乎有被數爲新要素之一過資格。剛提過的思想差不多也算得是一個。我們不得不嚴重地考慮這樣的可能性過這一事件，也就說明了今日的科學與三十年前過科學相隔有多少遠。若果如我所希望的，現今的科學從舊時的科學與常識所表現過那種現象世界、向着實在底世

界、進行了一個階段，那末同樣的事情也會指出現象與實在之間橫着有多大的深淵。

總之，電子與陽電子之振動數，與光量子底量之對應的量，應具有同樣的實在性。現在，關於後者之振動數底實在性，至少是知道了某種東西了。

如果我們迴轉發電機，並使其速度與線輪(coil)每秒五十次通過磁場那樣的速度一樣，我們便得到一秒有五十圓周底周波數的交流電氣。於是多少可以發生漏洩磁氣，通過它，電波在周圍底空間射出，而這些電波一秒間也有五十圓周底周波。如果想像這放射是由光量子而來，則光量子底振動數也應為五十圓周，而此振動數在時間中便有實在性，恰似運動發電機迴渦輪(turblines)那樣的實在樣。

就關於光量子底波長這幾乎也可說是同樣的。在電波是充分的長迴場合，我們能夠以「火花裂口」(spark-gap)來描繪它。例如從這一個山峯到另一山峯不得不走五十步那樣。若果把放射當作光量子描寫，則非假定其波長是五十呎不可。而這波長在空間上迴長度，與因為要測量它我們不得不步行迴五十呎，似乎恰是同樣的實在。

這事似乎暗示着光量子底波長是實在的，但是我們在先恰好敘述過，電子底波長不能看做是實在的。這似乎是一

個矛盾，但實際上我們立刻就會了解這沒有矛盾存在。實在性底缺乏浸透於一切事物，每一事物，它從全然出乎豫料之外迺方面潛入。那個方面，在用舊時代底物理學底客觀的概念思索而受過教育迺人看來，無論如何都會非常驚異的。

電子波底性質

我們既已獲得電子波之完全的數學的規定，可是這并沒把關於波動自身底本質告訴了我們一些甚麼，我們發見出與原子及陽電子相關聯迺波動，根據這個，數學的理論是能夠重行建造原子發射迺光量子底波長的。這完全與觀測底結果一致。這點雖告訴了我們波長是怎樣的，但波長以外關乎波動迺事則一點也沒告訴我們。爲了要發見波動實際是怎樣構成的，則幫助我們的，除了臆測以外沒有甚麼了。

最初推測它們是由電氣構成的。電子之更直接地可觀察的性質是它有不變量底帶電。其它被假定的性質，例如形底微小、堅硬、球形等，大抵爲波動力學所奪去了。因此，在最初懷疑電子沒有何等構造迺時候，便以爲自然本身是電氣的構造。但是這種思想是不能保持的，這兒有兩個明瞭的理由。

第一，就是任何種類的波動，擴散在空間，都有一個普

遍的性質。例如，想像一個陽電子吧，可以假定它在某一瞬間，當作一個波動束，而有一種底一億萬分之一的直徑——即大略與氫原子之直徑同位——。但是，其波動因為急速地擴散，因而占據着比這更大的空間。照愛林弗士特 (Ehrenfest) 底計算，如此的波動束，在一秒底十億分之一這一短時間內，會兩倍於其直徑面積。從而如此的波動系忽然成為龐大，不足以指示陽電子之空間的性質，這是明白的。更小的波動束甚至更急速地擴張。

根據數學的理論來看，要設計一點也沒有擴散過波動系是全然不可能逆事。但是，試假定我們能夠設計沒有擴張到能夠感知的程度那樣的波動系好了。同時假定陽電子與電子是以通過真空空間並沒有何種障礙過進路上飛行。但是就在那種場合，微粒子在與任何其它物質發生作用後，馬上便開始擴散了。這直接的實驗的證據，在照像原板之上所形成過波紋上面可以看見。所以如果陽電子與電子之波動的構造只指示其帶電狀態，則該微粒子一遇着物質，則這波動構造便會擴散。但，觀測底結果指示出這現象並沒有發生；電子與陽電子並沒有失其自性、還保存其帶電狀態。

第二個抗議更是直接地致命的。現在讓我考察一吓，在一個電子與它一個電子遭遇、這兩個便相互加作用於電力

時，對於電子底波動要發生怎樣的變化。再者，各電子之運動非適合於舊力學及海森堡底各條件兩者不可。舊力學告訴我們，把位置底能加算在全體底能、即兩個運動着之微粒子底運動能底總和之上這樣的值，是常數，而且用 E 表示它。這個關係是用

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

這一方程式表示的。這兒附加有符號之記號 m', u', v', w' 與第二微粒子相關。因此現在我們能夠表示海森堡如次的條件。這兒頂好用 $\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial x}$ 去置換 $m'u'$ 。由此我們取消了本章第一節末尾所舉之波動方程式 (F)，而得出如此的新的方程式：——

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

這個方程式雖也表示波動底傳播，但在有 X, Y, Z 三座標之三次元底普通空間上早已沒有了。波動是在有 X, Y, Z, X', Y', Z' 六座標之六次元空間傳播。同樣，若果有百萬個電子相遭遇，則其波動便在三百萬次元之空間中傳播。這樣的空間不能只是認作數學的假想。但是因為我們不能假定波動在它通過空間而被傳播時，它比空間更為實在，

所以波動不得不是屬於同一性質。

我們已經知道，一個電子底波動只在三次元的空間中傳播。我們可以達到把這三次元空間與日常生活底空間看做同一的傾向，而結論出，要是這個電子沒有遭遇第二電子過可能性，則這些波動就是實在的。但，如兩個電子遭遇時，其立場都是均等的，主張任何一方的波動束都有比其它一方更大過實在性，則是不可能的。如果不得不判定那一波動束是實在的，則我們不外執行梭羅門 (Solomon) 底裁判，宣告雙方都是假想的而已。其結果便得出波動不能由電氣形成，而且就以我們普通日常生活底空間所存在過其它東西，亦是徒勞。

但是，在把這個作為真理底究極的定言之前，我想我們就精確地吟味假想的這一語句底意味，也不是無益。

光量子波

光量子底波當然是波動說底普通的光波。如果光線是振動數 ν ，則支配其傳播過方程式便是

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}\right)\psi + \frac{4\pi^2\nu^2}{c^2}\psi = 0 \dots \dots (H)$$

這兒 ψ 意味着電力或磁力之分力、或分力之直線結合。這，如果加上「變其可變」(mutatis matandis)，則能夠證明正

與本章第一節末尾所舉過、關於單一的電子之電子波底傳播之斯魯丁格方程式爲同一物。

但是，在兩個光量子遭遇時，波動傳播底方程式，就加上「變其可變」，與斯魯丁格底方程式(G)也不是同一物。事實上它還是方程式(H)。在這兒爲甚麼發生差異理由是，電子遭遇時，相互不起作用，反之，光量子遭遇時也不相互起作用。這事更可以追源到如次事實，即光量子如電子一樣，並沒有帶電性。因此，雖然百萬個電子底波動、爲其適當的表現，便需要三百萬次元之空間，但是百萬個光量子，爲使其波動活動，則三次元之空間便夠了。現在我很可以正當地把此三次元空間與日常生活底空間看做同一物。因爲這樣的空間是我們仰望着太陽、月與日過空間，而且從太陽、月與日發出光量子，結果到達我們底世界，是這樣一個空間。這空間就是方程式(H)底空間。

因此，我們可以說光量子底波動在我們日常生活上親自可以表現的——這確是此空間之定義——。但是電子波則不能如是表現出來。

然而，在這兒我們試進而研究——即電子波之與光量子波底比較或對照吧。在第五章『輻射粒子像之不完備』一節上，我們討論過一個實驗。那實驗使單色光通過兩個針

孔，由於此種干涉而使之作出一個光底模樣與若干黑暗的縞帶。要是在一塊照像感光板上作出模樣後，則在模樣明的地方起化學作用，在暗的地方則不起。假定這單色光是光量子底驟雨，各光量子有同樣的波長，從而也有同樣的運動量。光量子不能局限於空間之一點上已說明了的。光量子不過實驗室中之自由振動（參照第五章『自由振動』一節），或結合這樣的振動底波而成爲波動束過東西（參照本章『波動底形像』一節）。

但是試把放射線底彈丸的形態推進到應該說做不當的過極端，而假定各光量子可以局限於空間之某特殊點上吧。因此，爲了使我們底形像一致，則更不得不假定，在干涉模樣全然黑暗過映幕之部分，沒有光量子落下，只在明的部分才落下。事實上我們也非要假定，落在映幕之任一小區域內過光量子，其數目正確地與映幕全部明耀成正比，是不可的。甚至能夠全不需要映幕，而可以討論空虛的空時之一小的區域上光量子底數。這個數自然同該空間全部的光能底全量可以成正比。如果知道這是擴張我們底思想正當而必要的手段，則我們只須得想像在該空間之小區域底更遠的一端——與光離得更遠過一端——上一個小的映幕。這個映幕，正如漁網捕捉游到它裏面來過魚一樣，捕捉着光量

子，所以空間底一單位量中光底能，與此單位量中光量子底數，成正確的正比例，這是容易理解的。

然而電子理論所告訴我們的，可以把能看做通過空間連續地擴張過東西，不能看做是集中在光量子所占据過那種隔離點上過東西。我們如何可以把這種看法與我們底假定——即是能不過是在隔離的諸點上發生過個個光量子底能之聚合——相融合呢？

關於此點從來的氣體底理論（參照第五章『輻射之運動學的理论』一節）都指出過的。如其所示，氣體是由多數彈丸那樣的拋射線——即分子——構成。氣體底質量全部集中在恰是分子所占据過空間之少數點上。但，在我們討論氣體底密度時，我們便立刻會變更我們底形像的。我們就說在心中構造焦點之外（out-of-focus）的形像吧，在其中，個個分子都點染成一種連續的雲那樣。所以呼為氣體底密度過東西，只不過在空間上連續地開展過這種點染過雲之密度而已。

如我們把這形像一度返到鮮說的焦點，則我們再認識出個個的分子。物質之真的密度從點與點間急率地變化，這是發見了的。——如果遇着的是分子，則那兒密度便大，如這不是分子而是非常隣近之點，密度則是零。不管這是怎

樣，我們在以前說密度是連續地從點到點過變化那種概念，還是不失其完全正確的和清晰的意義。事情是這樣：如果我們採取繞着一點P 過空間之一小斷片，則我們在其內部發見一個分子過機會便與P之密度正確地比例。

所以在我們把一道光線想像成彈丸那樣的光量子底驟雨時，空間各點之光底能底密度給與在那兒發見一個光量子過機會之一規準，我們是非這樣假定不可的。根據普通的電氣理論，光底能之密度是用 $E^2 + H^2$ 表示的。這兒E及H是以適當的單位所計測過電力及磁力。(註十九) 所以在我們底光底光量子映畫上，我們可以把E及H解釋成在它們之間把在空間之某特殊處所發見一個光量子過蓋然性之準則給與了過量。

如果我們採取規定電子波底傳播那種斯魯丁格方程式，而作出從電子到光量子之轉換底適當的變更，則如既知的，我們便獲得電氣擾動之傳播底方程式。在這方程式上，光波恰相當一個特殊的場合。所以斯魯丁格底量宇，在某種意義上，不得不與規定電氣擾亂底特徵過量——即電力與磁力——是相似的。這後者，在我們把光量子想像成局限於

(註十九) 如照一般更流行的單位，能底密度當然是 $(E^2 + H^2)$

空間各點過東西時，在某特殊處所，提供發見一個光子過蓋然性底規準。而且同樣的，在我們想像電子局限於各點時，在某特殊處所，也應該提供發見一個電子過蓋然性底規準。

數學理論在與該蓋然性之間，開示一正確的關係。電氣擾動底傳播是以

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

底方程式表示的。這兒 E 及 H 是電力及磁力， i (註二十) 是 -1 底平方根， j_1, j_2, j_3, j_4 是某些記號，而其正確的意義在這兒是用不着深研的。這些是一種 -1 底幾何學的平方根，是各各向着 x, y, z 以及 τ 軸底方向被牽引過單位動徑 (vector)。這兒 $\tau = icl$ 。

我們可以把這與電子波傳播之方程式相互比較，第拉克把這方程式還原為如次的形式：

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

這兒 ψ 是在斯魯丁格底方程式中發現出過記號， m 則

(註二十) 實際上， $E+iH$ 是表示六個動徑 (vector) $X+ia, y+ib, Z+iY, X+ia, Y+ib, Z-iY$ 的，因而方程式不得不讀做一種動徑方程式。如消失右項動徑底四個分力，便得出馬克斯威爾底八個方程式。

指量子底質量。這把在上述光量子方程式中發現過一個新項導出來了。由是， E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 是記號，其適當的意義在這兒無須注意。如 j_1 、 j_2 、 j_3 、 j_4 一樣，這些都是 -1 底平方根，但是，因為是記號列成之中實的矩形，所以這些已經不能給與簡單的幾何學的解釋。這把已經敘述過過如次的事實（見下節）重新使之確定了，即是光量子雖可以在空間時間中表示。但電子波則不能表示。

把這兩個方程式比較一看立刻就會明白，對於電子過 ψ ，與對於光量子過 $E+iH$ ，是相似項。我們已經知道（第五章『輻射之流』一節），因為 ψ 有一個假想的部分，正同於有一實在的部分樣，所以我們可以用 $\psi_1+i\psi_2$ 去代替 ψ 。若果這樣，則 ψ_1 便與 E 相似， ψ_2 便與 H 相似，因而 $\psi_1^2+\psi_2^2$ 就與 E^2+H^2 相似了。如已知的，在我們想像光量子是存在於空間底某處所過場合，則那便是在空間內一個特殊場所給與發見光量子過機會之規準。

確率底波動

此種理由引導波恩 (Born)，使之作出如次的推測。即是，如果我想，意欲在空間內某處所局限電子，則空間內任意的特殊的場所上 $\psi_1^2+\psi_2^2$ 底值，在那兒便一定會給與

發見一個電子迺確率底規準。這樣的統計的解釋與波動力學之統計學的起源，其步調是一致的。如海森堡底關係式是由統計的資料得出來的一樣，我們以這個關係式為基礎而作出迺作業模型，似乎先天地其範圍就只限於統計的意義一樣。

我們能夠以種種的方法嘗試以上的推測。勝利是從那上面建立起來。

首先為要固定我們底思想，我們且回到已經論究過迺實驗吧。那個例便是，使電流通過薄的金屬膜，從它一方面便發生出波動底屬性。如本章『波動底形像』一節上所說的，我們不得不假定，振動性從最初就存在於電流底電子之中，只要電流衝擊着薄膜時，這些振動便產生波動。於是電流從薄膜發出時，便具有波動羣底特性。在那波動上有峯有谷，波動強大的地方、與其強度小或是零迺靜止的區域，都會發生。若果想像電流是點狀電子底驟雨，則波動強大迺地方便有多數的電子，波動小迺地方電子底數便少，在完全靜止的部分則一個也不存在，其狀態，在電流從薄膜發出而後，還是持續着在。這個事實確實說明了照像感光板上所印迺紋樣。

現在讓我們漸次減少電流底力，結果使之至於幾乎消

失，而考察在只有一個電子所通過過那樣非常短的時間內，要發生怎樣的現象吧。在自然中，破壞了的電子與電子底破片決找不出來，所以，爲要對於關乎自然之已知的事實，使之不與我們底映像矛盾，則不得不假定，我們底唯一的電子是不爲實驗所破壞的，它往往保有自同性，就在實驗之已經進行時，都與在開始時一樣，是當作一個帶電微粒子而存在的。因此這電子只能在唯一之點上與感光板之唯一的微粒子起相互作用。這電子就是一個也不能描出完全的紋樣。能夠這樣作的只有電子之驟雨。但是，由全數驟雨所豫先構作過波紋之明暗，已經給與打擊特別的處所過任意單獨的電子底確率底一種畫面的表現。所以在我們所舉過孤獨的電子來到時，打擊以前紋樣底不明的處所之機會，決沒有的。億萬萬的電子即或就有打擊如此的處所之機會，然而也沒有一個能夠繼續打着那裏，所以這孤獨的旅行者成功過機會可說是等於零。但是電子打擊以前的紋樣上光明的區域，在那兒有着有限次數的機會。這機會與該區域之全體的光明程度成正比例。在用一個簡單的電子製作實驗之前，我們只能說，獲得如此如此的結果之機會是這樣這樣，其種種確率，爲斯魯丁格方程式所特徵化了過波動所決定。

照這樣，電子波還原爲單純的確率底圖表的表現。這事

立即說明了電子波爲甚麼必要有電子本身之三倍底次元適空間。但是，在假定只有一個電子在那兒，而且假定電子各個底運動相互是難於區別那樣的電子驟雨適場合，只要三次元就足以相當於我們底圖表了。因而把這當作是在普通的空間中構成的，這不能不說是自然的了。在這種意義上，單一的電子之斯魯丁格底波動，就看作是存在於普通空間中也沒關係。不過這波動只是數學的波動，沒具有物理學的實在性，這是切不可一刻忘記的。

音波與水表面底漣波那樣的普通物質波動，擴散其能，竟至瀰漫於波動所能到達適全空間中。能底全量還是同前一樣，只有波動傳播底過程才變更其空間中適分布。

就是在這兒我們正在考慮適推測上，電子波動也被賦與類似的性質。從物質波動到電子波之際，我們用發見一個電子適機會之概念去置換一個能底概念。如物質波動底能全量是始終不變的一樣，所以電子波動之確率全部也非是不變不可。因爲空間不同的諸點上一切確率底總和必然常常精確地等於電子底總和。

一個物質波遭遇別的物體表面時，其一部被反射，一部被傳達，而這兩個新波動底能全量正確地等於舊的波動底能。同樣，一個電子遭遇某物質表面時，其確率波分裂成兩

部，其一成爲傳達波，其一成爲反射波，而它們表示各個電子之確率底傳達了的東西與被反射了的東西。正如物質波底能全量不變一樣，因此確率全量也是不變。這樣的條件把物質波動底許多屬性賦與斯魯丁格波動，但是，如臆斷它們本身就是物質波，這當然是不允許的。

假定確率是以非常顯明的波動狀底形式傳播，并以爲有決定的波長與振動週期，這初看是會感覺奇異的。但是，在我們認識到，因爲確率底場不得不適應於相對性理論，因而與在本章第二節論究電子之假想的構造時那樣，可以用全然同一的方法處理，如果認識了這樣的事實，則此奇異之感便可減消一些吧。把這事記在心上，那我們便立刻理解，確率必然地成波動狀傳播，波動全體定然與電子之既知速度以全然同樣的速度進行。

當然，關於這些波動底性質之全問題，并不因把它當作確率波記述，便可以說就冰解了。在完結此研究之前，我們不得不以遠勝以前所作過那種精確程度，說明確率底意義。

在日常生活上，說到蓋然性、即確率過時候、包含着我們底知識差不多是不完全的過意味。例如，我們乘着火車，向着多湖爾(Dover)進行，於是快適的海峽橫渡底“蓋然性”

便成了話題。如果我們已經知道海底狀態，則我便不談及蓋然。一個人也許這樣說，“一個月之中，三天中只有一天，海才是荒亂的，因此有二對一逆比例我們可以愉快地橫渡”。而別一個也可以說，“是的，蓋然是更加有利，因為在天氣豫報上，海是靜穩的，豫報有百分之九十五是對的”。第三者又插話說，“這幾乎也確定的了，因為在今朝氣象臺上所見過電報，說海是靜穩無風。”這些蓋然性底估計雖是各種各樣，但任一種都得為正確：因為蓋然性包含着兩件事，即未來的事件與現在的知識，所以它是可能。我們雖然把斯魯丁格底波動系當作關於未來事件之蓋然性、而給與一定的豫想過東西解釋，但現在我們不得不進一步追究的是：與怎樣的現在的知識相對照，則這事就是蓋然性之真的估計嗎？

我們最初應該注意的是，跟着我們底知識之增加，海是平靜的、或任何其它事件之蓋然性，連續地接近於零或一。它漸進地變化成任何的真實。以最近的電報武裝了過氣象臺底技師，差不多都用不着蓋然性這一名詞了。他能夠以實際的確實性斷言海會是平靜嗎，抑是有風亂。

在物理學上，我們也無需提到未來事件與實驗底結果之蓋然性。因為這有兩個理由中之任一理由。即是不管對於現在的事情，我們底知識是不完全也好，或者現在的事情是

充分地理解也好，可是對於將來都是不確定的——換言之，自然界均齊底原理是不能完全通用的。

主觀的蓋然性

根據前者底理由，某種豫定的未來的偶發事件或實驗之結果，其蓋然性都可稱之為主觀的蓋然性。若果我們關於現在的情形所有週知識之量是不同，則基於諸君底蓋然性所得來週豫想，便與我底豫想不同，但是諸君與我雙方都可以說是正確的。根據後者底理由，則蓋然性全然是客觀的。就是自然界自身，關於實驗底結果，如不在發見它之後，都不知道的。“一個規定了的結果底蓋然性是甚麼呢？”對這質問只有一個解答。

前者是十九世紀底物理學者所承認週唯一的看法。他把第二種看法當作不合理的而排斥之。就在今日科學的外行還在排斥。這種人，以為構成日常經驗週自然底事件，一看似乎是決定論地被規定了的，所以除此以外他便不慣於思慮其它的東西了。於是他便無意識地臆斷，說如此的決定論的傾向一定要浸透於自然界，甚至達到其最小規模底作用，除這臆斷以外週看法都是非論理的，而且都當作反乎自然底法則而排斥之，而且常常以最激烈的語調反駁。

我們現在再回到前一特別的例來，把當着薄的金屬膜過單一電子底問題，更加詳細地討論一番。科學上過外行與舊派物理學者一樣，以為電子底進路，為它在薄膜上所遭遇過障礙物決定。如果他打檯球，他便知道，一個球向另一球衝來時，在未接觸之前，其進路很少有差亂，在接觸之後，其進路便發生大的差亂。所以那人一定便要照下面這樣發議論：說，因為我們不知道電子以及使電子偏避過原子兩者間衝擊底精細的情形，所以我們不能知道電子之究極的進路；因而只能說到這一進路或那一進路之“蓋然性”。

但是，這樣的蓋然性底解釋還沒成精確的考查。因為成為波紋底基礎之波長、與薄膜內原子之空隔無若何關係，只是專依存於電子之速度而已。

客觀的蓋然性

第二種看法在自然界假定不確定性。這雖與十九世紀底思想不同，但實際上比它更有悠長的歷史。我們遠古的祖先中過聰明人說，怎樣能夠安然無事地橫渡呢，這為坡塞敦（Poseidon）與波里士（Boreas）底幻想所支配，這時，他把自然人格化了，把不確定性看做自然底性質。甚至就到牛頓底時代，這不確定性在科學上還是伴演着大的任務。使

電子底驟雨向着金屬薄膜下落這一實驗，與在光學的實驗上，使一道光落在透明的物質底表面，有其同樣的符合物。因為光底一部被反射，而一部被傳達，所以如果月光照着海面，則其一部射入我們底眼簾，我們便看見月影浮在海上，同時其餘部分則照着海底，因而魚類也能看見月光。如果我們把月光看做光量子底驟雨，那末顯然地，某種光量子不得不在水面反射，而某種光量子則不會反射。然而，要是光線被縮減成一個單一的光粒子，則因為光量子之不可分割，則光線全體便非走各種路道不可。所以我們只能說及它所反射和傳達的“蓋然性”。

牛頓雖然把光線看做彈丸狀底微粒子之驟雨，可是他亦遇着同樣的困難，而它之所以遇着這種困難者，是由於他假定形成水面遮分子蒙“容易通過與容易反射遮交互的發作”之羅。

在這兒意味着若何程度底決定論底缺乏呢，則尚未明瞭。不過不論是怎樣，當光線底微粒子說讓位於波動說時，這種看法都是把科學丟掉了的，只有在目前把這映畫、即光線看做不可分的光量子之驟雨遮看法上，才重行再現。如其先輩光粒子一樣，光量子也打算採取任何進路，但是不能把自己分布於兩種途徑上。於是其選擇不管是怎樣都成為蓋

然性底問題。

似乎是類似的決定論的性質之缺乏適實例，也出現於近年來物理學底其它各部門。這一顯著的例證是放射能變換所提供的。一九〇三年，拉沙佛德（Rutherford）發見了輻射性物質用此等所謂“自發的”方法分解。——分解底程度，即使採用任何既知的方法，也不能助長也不能抑制。世界上一切鐳（Radium）原子之某部分每部分每年分解成更單純的原子，其各個原子不論怎樣都為唯一的偶然所選擇，此外無它。要是有任何其它原因選擇它們，則把其選擇的動因集中於一個標本的鐳上而使之起作用以助長其分解，應是可能的。但是直到現在那樣的選擇動因還沒發見，如理論地更進一步考察，則除了在地球上達到不能發生那樣的極度之高熱外，這樣的動因是終歸不會存在吧。

一九一七年愛斯坦發表了一個理論的研究。根據這個，此種自發的活動性似乎是瀰漫於全自然界。他是從原子只能存在於某種明白的狀態這一假定出發。而這假定在以前是波耳所假定的（第四章『原子物理學與量子說』節），其後因弗蘭克（Franck）和赫茨（Hertz）底實驗，得到實驗的確證。愛斯坦更假定，當原子從這一狀態移行於另一狀態時，完全的光量子便吸收并放出其能。他於是指出，普

通的熱輻射（第五章『輻射』一節）可以解釋作用這種方法、但只有在某些條件之下才能產生適光量子之集合。在輻射作用上所觀察適多數光量子，用輻射作用自身及物質底原子間之相互作用，雖可以說明，可是愛斯坦却指摘在那兒還殘留的有剩餘物在，而這個事實，只有假定原子自發地從它們底可能的諸狀態向其它狀態移行，才能夠說明。因此，就連日常見慣適熱輻射現象也似乎要要求與嚴密的決定論矛盾適某種作用。

照愛斯坦底意見，此等特殊的現象，既不能與在現今的意義上適非決定論調和，也不能與因果論調和。他說：

（註二十一）

“非決定論全然是非論理的概念。……如果我們說，一個輻射能原子之平均生存期間是如此如此，則那是表示某法則性（Gesetzlichkeit）適敘述。但是這思想本身便包含因果這一思想的。我們把它叫做平均底法則。但是這種法則也無需乎就含有因果的意義。同時，如果說，這樣的原子之平均生存期間，在不起因果作用那種意義上，是非決定的，則我所說適話便是毫無意思

（註二十一）『科學到何處去』Max Planck (1933年) 著，P

的了吧。……”

“當亞里士多德與煩瑣學派們，下原因是何意義時，科學的意義上客觀的實驗底思想還未發生。所以他們只定義原因之形而上學的概念，心裏就滿足了。這事就對康德(Kant)也是同樣。牛頓本人似乎知道用這樣的前科學的概念規定因果律，在物理學上是不充分的。現在我確信，在我說到自然界這一事象爲它一事象底原因時，則那樣的事象比我們現在所考慮的，更爲非常嚴密的法則所支配。我們考慮因果概念適場合，其範圍是限於一個部分時間內發生過一個事象。它是從當作全體的過程切斷了的。我們現在所適用因果律適粗笨的方法全是表面的。我們好像是只以韻腳去判斷詩、而對於韻律底構造一點也不知道那樣的小孩子一樣。或者我們好像一開始學習奏懷阿林琴適青年一樣，以爲一個音符只與其直接的前後的音符相關係。在某種程度就說這彈得很好也未始不可。在一個學習單純的原始的作品時，就這樣說也無妨。不過拿來解釋巴赫(Bach)底走法(Fugue——一種樂器底彈法——譯者)那種東西時，就一點也無用處。就物理學亦何獨不然，量子物理學給我們指示出很複雜的東西。如欲論究

這個，則無論如何，都非更擴張和醇化現在的因果概念不可。”

果挺金(Göttingen)底威爾(Weyl)教授，在『關於科學的形而上學過意義』底論文中，表示同一的意見：(註二十二)

“此等考察使我們不得不得出如下的印象，即是當作自然科學之一原理過因果律，是一個不能以幾句話便作一個組織的敘述那樣過東西，不能看做一個本身完備(self-contained)的適當的法則。其內容實際上是關係於實在如何為意識之直接底與件所組成這一完全的現象學的記述，而才弄明瞭的。”

某程度的非決定論，為了說明某種小規模底現象，似乎又屬必要，可是自然界均齊底原理，只要在光是可能感知過範圍內才研究自然並時間，都依然占着優勢。通過我們底感官而可以感知過物質，雖是極小的一片，可是尚包含着無數億的原子。若果這些原子每一個都可以任意地東走西走，則在我們底感覺所能指示過限度內，依據蓋然性底法則，半分走着左邊，半分走着右邊。基於此種理由過我們底日常經驗，決不會提出反於所謂自然界均齊底原理那樣過

(註二十二) 『開放的世界』(The Open World) (1932),

例。從而其思想全然依據直觀與本能過人，或者以常識的觀念考察自然過人，都一定是決定論者。

在下一章我們取得更充實的例證後，我們再回來論述這個問題吧。

第七章 不確定性

已經說過，物理學上所處理過外界底知識，可以想像作由於一切能底光量子在我們底感官之上、或在我們底物理學的機械之上發生衝突而來的。因為這些光量子，其數目非常多，其種類也非常富於變化，所以只要充分地研究它，則獲得外界底知識，這可以說差不多是不成問題的。

但，從知識之獲得的方法看來，光量子有一個非常嚴重的限制過缺陷。它們是不可分的；任何實驗也沒顯示過光量子底破片、也沒有指示可以推定能是由光量子底破片放出而又為它所吸收過理由。所以要研究物理學的自然，我們所使用過此種唯一的方法多少感覺有點粗疎之病。

這種弊病在用我們底感覺直接研究過場合，是不關事的。因為感覺是更加粗疎。每一感覺，其感覺底區域都為一種「感覺底門檻」所限制，若果行物理的作用過刺戟不達此門檻時，則該感覺全然沒記錄一點東西。我們不能嘗着砂糖底一個簡單分子底甜味，也不能嗅着麝香底一個分子底香氣。既不能在某種限度以上過遠距離中聽得鈴聲，也不能把超過某種限度的微光以下過星光映於眼簾。一般地說，只有一個光子我們是不能經驗的，至少，除了是數千個，是很難到達感覺底門檻的。

我們具備過物理學的機械，在某種意義上，有與上同樣過「感覺底門檻」。這就是單獨的完全的光量子底出現。與一切其它物理的組成物一樣，機械類之受取能與運動量，僅只由於完全的光量子。

不確定性原理

於是，關於宇宙之任何一部我們所能獲得過知識中任最鍛鍊過過一段，都是由單一的光量子底出現所給與過思想。光量子把它從它自己所發生過外界底一小部分中攜來過能與運動量傳運給我們。這兒，如果放射一砲，便在彈子放出過後方發生一個反動。與這同樣，當光量子從原子

飛出時，把那原子蹴向後方。這個反動更從其原子傳達到我們在此所欲檢討過宇宙底一斷片。這樣，光量子雖然能夠正如其過去那樣過宇宙之正確的消息傳給我們，可是爲了把消息傳給我們、而臨到出發給與宇宙過一蹴，在光量子到達我們底地方之前，使那消息失了時效了。我們所得到過消息只是早已過去了過舊的宇宙之記事。

因爲光量子能夠運載從零開始那樣排列過任何大的運動量，所以我們應用運動量小過光量子，而就能獲得如我們所欲獲得過那種精確的知識，這是不妨可以設想的。作抽象看，這是真的；但實際上這只是把困難之點移動移動而已。因爲運動量小過光量子，其振動週期非常長，因此欲以高度的精確性把握可以記錄觀測過瞬間，是不可能的。那似乎是欲以只有秒針過古舊的時計記錄百碼賽跑樣。

所以我們面着了一個難關。如果使用一種光量子，其能非常強，當它從宇宙出發時，給與激烈的一蹴，所以把關於宇宙之不正確的報告供給我們，同樣如採取別一種光量子，作它底報告是非常之緩慢，即使它們特意到來，在時間之點上也沒有送來正確的消息。正確的消息就在這兩種關係之下同歸失敗。

科學亦未發見逃出這一難關過途徑，反之，却倒證明了

沒有逃路。如周知的海森堡底「無定原理」或「不確定性原理」告訴我們，只要我們探究自然非採用完全的光量子不可時，那末對於時間空間兩方面要獲得完全正確的消息是沒有希望的。一方面底正確不得不付與它一方面底不正確之代價。鞋子這一處緊了，我們只能把緊撮移到別一地方，才會弄鬆。

如實驗一個一個的光量子，其中兩個誤差底乘積決不降到某種極小值以下，這是能夠從精確的數學的論據確認的。如果以完全的熟練設計并實行實驗，則兩個誤差底乘積就對於任何種類的光量子也是同樣，都等於極小值。

例如，關於一微粒子底運動，為要獲得完全的知識，我們必需兩個既知數——即微粒子通過測定機械中所規定標識之正確的瞬間，以及通過此標識之際適正確的速度。若果同意於以其運動量測定粒子底速度，則位置與運動上誤差底乘積便決不能比蒲郎克底常數 h 還小，這是會發見的。我們已經知道這個量是如何支配原子物理學底全部。這兒得出這個的是當作表示光量子探針——以之探查外界底祕密——底粗大性看的。

用百分之一公分(厘)克蘭姆秒 (centimetre-gramme second)單位， h 底值便是 6.55×10^{-27} ，一個電子底質量是

9×10^{-27} 。於是——個電子底位置與速度之不確定性底乘積如以上述單位測定，則是0.73。例如，這兒在映幕上使之閃光，或用其它方法，我們因此就發見了一個電子就在距某點底百分之一以內，如果這樣，則其運動底速度一秒間必然至少是七十三厘底比例——即緩步之程度——底不確定。

不怕我們是如何把電子想擬成粒子，但是我們也只能用斯魯丁格波底形式想擬。若果兩個形像可以指示同一對象，則我們之從波狀形像獲得「不確定性原理」，當然與從粒子形像獲得的全然同樣。這是一定能夠得到的，下面就會說到。

把電子認作一個波動系時，其波長如已說的那樣，視乎電子底速度如何而定。所以要精確地測定這速度這一問題，畢竟歸於精密規定波長那一問題。根據抽象的數學，如無無限的多數的波，則這事很難成就。對少數的波言，波長底概念沒有確適的意義。要是在這兒可以隨意使用百萬的波，我們便能測定其波長到其量底百萬分之一以內適程度，可是要說比這還要精密地測定，則終歸沒有意義。

由於某種難點，我們能夠說明純數學上過這一點。其點，在實驗室上，打算測定有限數底波動聯鎖底波長時，是發生了的。要使問題簡單化，我們就要假定它們是無線電

波，無線電波，假定是感觸能夠任意調節波長適普通受信機的。任何波動聯鎖，在有限幅底波帶（wave-band）上為共鳴引起攪動。因為引伸波動聯鎖，則減少與隣接的波長之交涉，但是除了波動聯鎖無限大地伸張，它是不會完全消失的。只有成為無限大時，才可以說波具有明白規定了適波長。

為要以完全的精確程度規定電子底速度，則它非以無限長的波動聯鎖表示不可。這是由上面的論究推斷的。但是，如上所說，因波動在空間中各種不同的位置上表示發見電子適蓋然性，所以就說電子在全聯鎖中任何處都存在也不為過。因而無限長的波動聯鎖，關於電子底位置，意味着無限量底不確定性。

現在我們跑到與此全相反對適另一極端去吧，想像在這兒有一個無限短的波動聯鎖接觸着受信機，在這機械上，在此種波動聯鎖底場合，除了突然發生攪亂、以及與攪亂同時消滅適現象外，沒看見甚麼。這是無線電技術者通統知道適事，如此的攪亂對一切的波長同等地發生影響，從而其自身一定沒有何等確定的波長。此種無限短波聯鎖，表示可以精確地規定位置適一個電子，但是那個波長乃至運動量與進行速度都全然是不確定的。

如離開此等極端的場合，而只是占在中庸的場合數學地檢討它，則其結果自會適確地引到已說的不確定性原理。運動量之精確度如果大，意思就是位置之不確定性大了，如一方小，它方亦小。兩個不確定量底乘積，決不能小於蒲郎克底常數，而且在最成功的情況之下，是正確地等於 h 。

波動形像底解釋

粒子形像與波動形像都引導同一的「不確定性原理」，這并不是驚奇。要是不歸結到這點，則在途中必有某種錯誤。但，兩個形像雖達到同一的原理，可是兩者取過途徑是非常不同。在採用電子之粒子形像過場合，其不確定性是關於自然之知識——基於我們看作自然現象底實驗結果——的。然而在我們使用波動形像過場合，則發見，不確定性是形像自身內所具有的。簡言之，粒子形像給我們指示，我們關於電子過知識是不確定的，波動形像給我們指示，電子自身，不管實驗之有無，都是不確定的。

雖然，不確定原理之內容，在這兩個場合，非是正確地同一不可。使之如此的只有唯一的方法。我們不得不假定，波動形像所提供的，不是客觀的自然界之表現，而只是我們對於自然之知識底表現。

在本書之初敘述過十九世紀底科學，打算照着探險家從飛行機上探查沙漠那樣探究自然。依據不確定性原理，則不能以這樣隔離了的方法探究自然之事，便明白了。如欲探究自然，則自非足踏實地，親印足跡，親攪塵土，不能成功。而在自然底印象中包括我們自己所蹴起來的塵。自然，濛濛的砂塵自有種種，可是照不定性原理看來，橫渡這樣的砂塵，而不惹起許多砂塵，妨阻我們底展望的，可說決無它途。波動映畫現出透過這樣的砂塵而可以視看過自然之模糊的光景。所以如我們立刻就會看到的，砂塵之揚起有多少種類，則波動映畫也有多少種類。

如果我們底思想轉個方向回返到波動映畫之由來，則我們自然知道這完全不得不如是過理由了。這映畫，爲了提供一種模型，而導入了海森堡底方程式，此方程式完全是關係於觀測過的事物的。海森堡當征服物理的宇宙之謎之際，首先便把中心的謎——即當作客觀過自然——當作不可解，而置之不論，只爲了解答整理我們對宇宙過觀測之小謎，而盡其努力。因此，最後發生過波動形像，縱然成爲只是關係於我們底觀測得來過宇宙之主觀的知識過結果，也沒有甚麼不可思議的地方。

當作確率底波之電子波

波動形像之此種解釋解答了許多似乎頗為神祕的疑問，對前章底議論，并與以更大的精確性。

此際，我們雖把波動形像記述為「確率底波」，但是并沒在這名詞上加上了任何精密的意義。現在我們且假定爲了發見一個運動着的電子底速度與位置而行一個實驗吧。一種類的實驗雖以其相當地大的精確程度決定其位置，可是其速度則以同樣的不確定性保留着。照這樣觀測過的電子，在波動映畫中現作短波連鎖。在另一種類的實驗上，雖有大的精密度決定速度，但是位置則以大的不精確性保存着。現在電子是長波連鎖所表示的。而且同一的電子之爲兩個不同的波動映畫表現之結果者，并不由於電子自身在這兩個場合不同，而是因爲我們對此之知識在這兩種情形之下有異。這樣，波動可以說表示主觀的蓋然性。

假定根據我們底實驗會得出如次事實吧。一個電子是在於某程度的不確定性所支配的空間中之如此如此的點上，而且以某種程度之不確定性所支配的如此如此的速度運動。

這兒，因爲我們對於電子底位置缺乏精確的知識，所以

就以一團雲霧代替它，而假定電子存在於其雲霧內部之任何處所。要是知道電子底精密的速度，則我們便能夠以其精密的速度使這雲霧進行，而以爲電子會常常存在於這雲霧之中。但我們不能知其精確的速度，只知道速度是在於某種範圍內——例如一秒鐘五十乃至五十五哩之間——。於是因要表現這個，就不得不把這霧假定是由幾個個別的霧之重合而成，而這些個別的霧則以上述範圍內種種速度——一片是秒速五十哩、別一片是秒速五十一哩——進行。因此我們知道，在各瞬間，電子是存在於所有這些霧片所產生過一霧團中任何地方的。我們且注意着霧團底區域之不絕地增加吧。這事情底意思是，我們關於電子底位置之知識，是連續地漸次漸次模糊下來的。這忠實地表現於波動形像之中，因擴散一事是波動之一般的性質。電子雖保有始終同一性，但是霧團——不是表現電子而是表現對我們底電子之知識過霧團——不得盡力繼續展開，直到終極瀰漫到空間全體爲止。

爲了許多目的，有相當質量過物體，也可假定其重量集中於簡單之點上，我們把它叫做其物體底重心。因此，也因爲許多目的，我們也可以假定電波全體集中於霧底中心。例如，愛林弗上特(Ehrenfest)所指示的，當雲霧底波動照斯

魯丁格方程式所指示的那樣進行時，霧底重心會在電場內描畫一條曲線，與一個簡單的點狀電子所要描畫迴曲線徑路同樣精密。

現在讓我們想像此種運動的電子遭遇着一枚金屬的薄膜吧。例如霧底各小片為既述的方法所分解，形成一個波動體系，於是這一切波動系底全集合都會構成本書裏封面第二圖上那種電子底波紋的。此新波紋在空間中比原來的霧更加擴張着。因為關於電子底位置與運動，我們底知識之不確定底程度，由於電子通過金屬薄膜迴行為之更大的不確定性，便更增加其程度。

當作確率底波之光波

我們能夠用上述全然同一的方法討論光線與光波。可以想像光線是光量子構成，而這些光量子，則恰與電子之所具有的一樣，具有波動形像；於是，如果假定光量子在某若干點上被局限化，則這些波就非作確率底波——作在某特定的場所發見光量子迴確率底波——解釋不可，這在前面早已知道了的（第六章『光量子波』一節）。然而更進一步考察，我們幾乎會驚異地發見着它只不過關於光量子之所在、我們底知識之單純的圖式的表現而已，不過照愛斯坦和愛

林弗士特所論究過過簡單例證就會使這個清楚。

在一透明的物質底表面所遭遇着過一個光量子，也可以說是反射的，也可說是通過它的。要使問題簡單化，這兒且假定這兩個事象發生的機會是均等的吧。這意味着甚麼呢？光量子底波動系在反射面上落下來時，分解成有同一強度過兩條線，一條反射，另一條透過。這些當然是日常目擊的光線。這反射透過底兩線在數秒之內差不多相距百萬哩之遙。這事情底意義不外乎，根據我們現有的知識，我們很難在百萬哩以內決定該光量子底位置。

但是，一個新的實驗至少使這種不確定性底一部分成爲明瞭。其實驗首先是用幾何學的方法算出反射光線底進路，遮斷其通路，設一個屏簾，這一屏簾如光量子衝着它時，便記錄一個光點。直到此刻，我們關於光量子底行動之知識爲光波底兩線所指示。其一線將落在屏簾之上，它一線在百萬哩底彼方。我們注視着屏簾。若果光點不在那兒出現，則我們知道光量子便選擇別一途徑，而是在百萬哩底方向之外。要是光出現了，我們就看見光量子特別選擇這一途徑。而這新知識完全使波動系變形了。現在光量子并不是存在於遠隔處所過線上之一點，這成了確定的知識。因爲它是存在於現在此處。遠距離的波動之一切體系永遠消失，全然絕

滅。在另一方面，我們正注視着適光線集中於一點——照耀着我們底屏簾邊一點。

在這兒只是注視着屏簾，我們就能夠使百萬哩外適光波絕滅，初看是非常奇怪而又要惹起不少的謎亂的。舊式的物理學已告訴過我們，因光波是能底波，所以這兒只注視屏簾，則似乎可以使百萬哩外適能消滅。就是全體的能都保存着，我們這種行爲也使能從彼處移動到此處，但是因爲我們常時聽見說，能之進行不能比光線更速，所以在此處是以無限的速度使之移行的。

如上的似是而非之說，只要我們一把光波當作確率波處理時，便消失了。確率波在空間中擴張適程度規定我們底知識底不確定性。看作波動的早已不是能底波動了，而是把發見能適機會看作波動。在某一場內，有幾億兆數的光量子時，發見能適機會底總量實際上就看做我們所發見適能底量亦不爲過，在兩者之間設區別無甚必要。但是在這兒光量子只有一個存在時，則此區別成爲重要。現在被移動的不是能，而是能之發見適機會。這是以我們關於能之所在適知識之如何而定的。這實際是有限的。不是以光速而是以無限迅速的思考力底速度傳達的。

關於這一方面是新量子論之更困難的一部分，所以容

我們舉一個最淺近的例子來解說它吧。假定我想會見我底親戚約翰·斯密斯(John Smith)，他從我借去了一筆款子。但是關於此人我所確知過一切，只是他在三天以前離開了他底倫敦底住宅，作沒有預定地方過旅行。我所知道過關於斯密斯住所過知識，是可以由擴張到從倫敦出發達到三日間旅行過地球上一切場所過霧所指示。其次我發見，用約翰·斯密斯底名字買過船票過乘客，在三日前乘着「皇后艦」渡到紐約去了。其次，霧在大西洋中間，離開陸地三日過海中，變得特別濃厚了。於是我趕急跑到郵局去，打電到「皇后艦」號，不管我底親戚是否是在大西洋之中，我都希望他以光線那樣迅速過速度給我一個回信。但是，在我驅車過途中，正遇着了約翰·斯密斯本人。這一簡單的事實并不只是集中一切的霧於空間之一點，即我底親戚所立足過一點。不儘如此，而且這也使大西洋底霧消散，並且以比光速度更快過速度行之。其所以能如此者，由於霧并不是使船遲緩過物質的霧；而是知識——即關於約翰·斯密斯過知識——之霧。

因此，不論叫做光波過波動、乃至當作電子波或陽電波解釋過波動，歸根結柢都是知識構成的——不外關於光量子、電子、陽電子各各過知識。這兒我們就能夠看出近代科學爲甚麼不需要爲光波之進行而假定過以太這種舊的材料

一比鉛有百萬倍那樣的密度之以太——了。

氫原子底波

現在我們變更一個方向移到電子波底討論吧。試考察原來自由飛迴於空間過一個電子與一個陽電子結合而構成一個氫原子過時候，會發生怎樣的事體吧。若果我們十分正確地知道電子之原來的進路，則當電波開始進入陽電子底引力圈內時，便能夠相當地把它表現作緻密的波動來。依據既已說明過諸原理，此波動束是在陽電子底周圍描着曲線進路（見本章『當作確率底電子波』）。而其進行連續地擴張其範圍（見本章『當作確率底光波』）。依據波動不斷擴張這個一般原理，這兒只有一種而且是唯一的一種可能狀態——即是波動束終極上是充塞於全空間的。不論到達這兒過種種變化過程，不論在到達究極的狀態過時候，電子波都每每適合於斯魯丁格底方程式。這方程式是有種種解決方式的，因而也可以指示波動底種種不同的種類。某者表示永久不變的波動系，並知道這些規定氫原子之可能的恆久狀態。

要發見屬於這種形式過解法，到是比較簡單的。此種解法，因為把某若干值附與第六章『波動底形像』一

節上舉過方程式(F)上適能 E ，而得以解明。此外更不存在了。所以氫原子只能恆久地存在於某不連續的諸狀態之中。這些狀態又各各爲不同的能底量所規定。簡言之，如波耳所假定的，其後它是正確地與弗蘭克和赫茨底實驗所確證的適合。這些能底諸量當然是容易算出的，而且氫氣分光景底諸線正準地一一與從這一量到它一量適推移相對應，這是發見了的。所以波動力學底勝利便完成了。

欲求知道一些此等波動底幾何學的性質，到是有趣味的事。波耳初期底說法，如我們已敘述過的（見二章『原子物理學與量子說』），假定氫原子具有那樣的構造，即一個帶電粒子——電子——在其它的帶電粒子——核——底周圍描着圓形的軌道迴轉那樣的構造。於是假定電子有能底某確定量，從而局限於有確定的直徑之軌道內。這恰似在空間上切着若干的溝，電子不得不在同一的溝中打迴轉地反復走動，在那時候只看做是從這一個溝向另一個溝跳移。

電子核之結合體只能保有這些能底特定量，這也是波動力學所發見的。然而電子決不是粒子。它是一個波動體系，圍繞着核繼續走動。恰像在圓形的水槽中適波繼續圍繞走着一樣。這兒是很少有變化的。不過相當的重大的差異，便是水槽有顯然的界限，而這波動系則沒有界限。但是這差

異是特別的，若果假定在水槽中波受着拘束，那末我們看出，這水槽有某確定的直徑，因而水槽底全周圍都為一個、二個、三個乃至其它整數的完全波所佔據。這雖說可能，但是決不能為分數的波動所佔據。這個事情使水槽底直徑與波耳預先從他自己底簡單的理論所算出來迺軌道底直徑，幾乎成為同樣的了。即是成為最低的能之正常狀態上正常原子底直徑底一、四、九、十六倍……

如欲充分了解此事，且考慮一個頂簡單的假說的氫素原子吧。無疑地它是與現實的事態沒多大關係的。這個原子所有迺電子，在某些方面，是保着同一的半徑 a 的，而又不得不在核底周圍描着圓不斷地運動，這樣的假定與波耳最初的理論上所想像的相似。如果這原子是在我們可能實驗迺範圍之外，假定是在天狼星中，則我們對其電子底位置之知識，除了那個電子是在於與核迺距離上這一單純的事實而外，一點沒有甚麼，這電子在某瞬間是佔據其軌道底那一點呢，而且這軌道又佔據空間底那一場所呢，我們都不能知道。於是我們關於這電子底位置之知識，是為形成包藏着核迺半徑 A 底球面之薄霧底外殼所表示的。

如果我們假定電子在具有 a, b, c 等半徑迺若干圓形軌道中保持着一定的運動，則我們底知識便是具有 a, b, c 等

半徑之若干霧底薄殼所表示。

現在我更進一步踏出現實底方角吧。以半徑 A 描着圓形軌道遶一個電子，對於能，一點也無所得失，便可以撓曲到橢圓軌道，這軌道比之原來的圓軌道，交互內外都有出入。因之，與電子核遶距離會往來於 $a(1+e)$ 與 $a(1-e)$ 之間。這兒 e 是當作橢圓底偏心率而被知道適量。因為這能夠有 0 與 1 間之任意值，所以與電子核遶距離可以在 0 與 $2a$ 之中間任一地方。因而，如果關於電子，除了它是描畫着特定能底一個軌道而外，我們一無所知，那末我們底知識便可以用一種霧表示。這霧廣散於半徑 $2a$ 底球之全體，但是決不出此以外，而且在與核 a 之距離上，是特別濃厚。要是電子在若干特定能之中，能描着任一軌道，那我們底知識使用對應的諸半徑之諸球面底內部若干霧底重疊來表示。

如此的霧底構成體系，與對現實的氫素原子、波動力學所給與適確率圖式，並沒有不可超越的差異。不過只有唯一的很重要的相異之點。運行於特定能底一軌道中遶一個電子決不能出於與核遶某距離以外，可是波動力學底確率圖式則擴張於空間全體。簡單言之，這圖式給我們指示如次的事，即若果電子是在空間及時間上運動遶一個普通帶電的小物體，因為它所有適能之不充分，故而完全不能到達，對

於這樣的點，實際上電子所能到達過一個有限的確率常是存在的。這事情說明那樣的複雜性，即是既不限於氫氣分光景、而且也不限於原子構造之更一般的問題，更進而浸透於新量子說底全般過一個複雜性。這似乎是那樣，如果一個電子待了一定的長久的時間，則由於到達其自身底能所不容許到達過那種場所，而可以不斷地破壞能底恆存法則。加摩 (Gamow) 曾指示過，輻射能核之分解是可以歸之於這一原因的。

如果能之恆存這事是保留在我們底自然映畫之中，我們便不得不附與以太以更廣汎的意義、比我們從來所附與過更廣汎的意義。上面的說法把這事也弄瞭然了。直到現在我們都以爲一個電子底能都是由於一個微小物體在空間所占過位置及在時間上它底運動所規定。這種看法，雖然我們見得到，電子當其在原子底內部時、不能在空間及時間上表示，但還是不得變更。但是關於能採取更廣汎的意見，而且假定與電子同樣也不能在時間、空間中表示過能，都沒有顯然的困難。海森堡底方程式早已證明，實在的電子比空間上單純的存在有更大的複雜性。若果我們知道其電子之全能有某種值，并打算從這一點發見其空間上過位置，那末其波紋之複雜性便告訴我們對此問題可以給與多少解答。這波

紋表現有一既與之全能過一切形態底空間時間上過射影，這是我們能夠認識的。

客觀波及主觀波

然而這個波紋是全然客觀的事，已無懷疑的餘地了。初看來這事似乎與我們最初所敘述過、波紋表示主觀的知識過話相衝突樣。但實際上沒有任何矛盾存在，這是容易理解的，而且向來把電子波解釋作主觀的知識之圖式的表現，都會真正的確地引導我們現在所已到達過結果。因為在最初，電子底位置只限於空間底一小區域內，像這樣的精確的知識我們雖然明白地具備得有，可是時間一經過而不確實性就增加了，因而我們關於此位置之知識就漸漸漠然了。而電子波則不斷地擴張下去。最後在我們可以當作無限處理過時間之後，電子波充塞於一切的空間。但，在一無限時間之前，電子出發過位置，對於它現在所占据過位置，不能給與任何影響，所以現在的電子波是全然與我們底知識獨立的，從而形成一個客觀的體系。

我們考察一下此處底一個全然空虛的宇宙，考察其中過一個電子，就能極簡單地說明上面的事情了。關於這樣的電子之波動方程式，從形式上看來，與表示無限地擴張的固

體的熱流之方程式，是同樣的。從而我們底知識之不確實性，最初雖只限定於空間之一小面積中，然漸次漸次地如固體底熱那樣擴張。正與固體達到均一溫度底狀態、它又不問從這點是否發出熱、在究極上應該是有着落的狀態同樣，所以波動力學上波底體系結果在空間到處都有均等的強度，而且這是無關於電子之初期底運動的。這有甚麼意義呢？不管電子底出發點在那兒，經過無限的時間之後，其所有過位置都均等的。實際經過無限時間後，如果我們知道可以達到過位置，則必然知道其最初的位置與速度到無限精確的程度。不確定原理使這兩個事項永久存在於人力所不能及過地方。此究極的波動體系自然全是客觀的。它不能表示主觀的知識，是由於我們早已沒有任何這樣的知識過單純的理由。或者換一方面說，它指示我們底知識是空無所有過事實。

波動方程式之另一最簡單的解法是如次的形式：——

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

這以 V 底速度表示向 l, m, n 底方向進行之波動。這可以解為以 $\frac{C^2}{V}$ 底速度表示 e, m, n 底方向上進行過一個電子或一個電流。當表示某一特別的電子而選擇這解法時，我們假定

我們知道，電子是以 $\frac{LC^2}{V}$ 底分速度進行。不確定原理現在告訴我們以下的事實。說，我們付了關於電子之運動量迺知識之精確程度底代價，必然會領受關於電子之位置迺無限的不確定性。它當然適合於解法自身所教示我們的。因為波動在空間全部都有均等的強度。這兒我們再得出全然客觀的波動體系。

均等地擴張到空間之全體迺如此的波動體系，提供電子或電流之唯一嚴密的客觀的表現。它們之結合給與凝集的波動束。我們觀察它而與以電子之名。我們不得把這些看作我們所觀察迺電子。但是如果這個時候我們請教於數學，問如此的波動束是如何構成的——即是換言之，請求給與單一的電子自由進行於空間時波動之明細的表示——，那末數學沒有答覆。或者不然，如與其說沒答覆，毋寧嚴格地說是有答覆，其答覆是取着反問底形式——“第一請告訴我，關於電子，諸君所知道的幾何，我會答覆諸君底質問的。如諸君一無所知，則我唯一的答覆，也只是我亦一無所知”。對於電子說與波動力學所致力迺一切觀察的知識，要抽出電子客觀上是甚麼東西呢，是全然無效。

這種事態只要我們把第二物體、例如陽電子導入本學問中時，就發生變化。因為兩個物體相互牽引，所以除了我

們所有逾任何詳細的知識而外，電子之存在更接近於陽電子，比隔離的存在更有可能。於是波動體系均齊地在陽電子周圍被覆其自身，表示我們既已討論過種種可能狀態和相對的適應性。這兒我們得出一個客觀的波動體系。這似乎表示，只有對於陽電子和其它的成爲推據逾體制訂下根據時，才客觀地被規定。反之，電子只是充滿空間全部。局限於空虛的宇宙之客觀的電子，同客觀的時間，同樣無意義。反之對於這兩者我們倒能盡我們底意思附與它們以許多意義。

因此，若果當作波動描出逾我們之自然像完全是客觀的，那末它對於隔離的電子與陽電子便無關聯，只是在這些東西結合而產生某種事象，而這事象又能訴諸我們底感覺這件事上，才不得不找尋根據。如此，因爲限制我們底自然像，我們便得出完全客觀的一個波動體系。不過這兒所謂客觀，便是意味着，不論我們對於這些電子與陽電子底存在之發見，是否做過實驗，但不得不想像它們是存在的。波動本身在空間與時間上都不能表現，所以不能說有何種物質的實在性。

然而這波動像即或就缺乏物理的實在性，但比之將自然作空間及時間上存在逾具象的物體而表出逾粒子像，在

許多點上，對於自然是更忠實的，從而也許是更根本的。這事如原子構造及分光景線那樣，在更精緻的問題上，特別是真實的。在光學上光線像給與概略的相似值，但如表現現象之微妙的細目，則不得不需用波動像。恰與這同樣，就在這場合，粒子像往往對於真實給與概略的相似值，但如欲以完全的精確度說明，則非取波動像不可。下述幾個例證，我想對於全般的高度的專門的知識，都與以具體的說明。

加里 (alkali) 金屬類底分光景完全由“兩重”線構成。所謂兩重線是說完全可區別的、但又非常接近的兩條線，例如有名的鈉之D線那樣。兩個荷蘭物理學者烏倫背克 (Uhlenbeck) 與哥斯密特 (Goudsmit) 打算說明這兩重現象，假定粒子狀底諸電子在原子內描着軌道時，在自己底軸上迴轉。依照這種看法，電子在與軌道上底公轉同樣方向上自轉迴場合、以及在對方向上自轉的場合或這兩種場合都得到的，因之，與電子底能只發生希微的差異。因而與公轉同方向迴自轉的例，類似地球、月、及諸行星，在反對方向自轉的例，則有如木星及在土星更外方迴衛星與海王星底唯一的衛星。更有進者，產生分光線底二重現象所必要迴迴轉量，與產生 Zeeman 效果所必要迴量精確地符合。所謂 Zeeman 效果就是把白熱瓦斯置之於一個強力的磁石之兩極間

時發生過分光景線底再排列。

因此，假定電子是迴轉的，所以粒子像對於自然能使之成爲忠實。然而如此的迴轉最初似乎是最人爲的了。結果在數週之後發見了這迴轉是波動像之一必然的歸結。波光可以產生種種不同的偏極。如果在光底粒子像上表現它，則能以光量子不同種類的迴轉（參看第五章『輻射運動學的理論』節）表示。同樣，電子波也能產生異種的偏極，如以物質底粒子像表現它，則能以電子底不同種類之迴轉表示。

但是因爲這樣，所以把上面兩個形像放在全然同一的立脚地上，則不可能。因爲，若果物質波動像是基本的，則粒子像之電子就必然是迴轉的，而且另一方面，要是粒子像是基本的——即換言之，要是自然實際是粒子構成，波動只不過圖表地表現我們關於這些粒子底位置之不完全的知識——，則爲甚麼粒子全體都會迴轉呢，明瞭的理由是沒有的。此等形像雙方都說明了事實，可是粒子像底說明似乎是人爲的，而波動像底說明則似乎是自然的，而且事實上是不可避免的。

其後，斯坦 (Stern) 與格拉黑 (Gealach) 底實驗作出了。其實驗幾乎是究極的，其結果，粒子像與波動像底優劣成爲確定的了。在粒子像上電子底迴轉將各原子化成小的

磁石去了。所以如果使原子之驟雨通過一個固定的磁石之兩極間，原子所受遮影響因迴轉軸所指遮方向如何而異，而平行地運動遮原子之驟雨被展成一幅廣的連續帶狀。然而另一方面，在波動像上豫想出，因為電子之波偏極的方向是兩個，而驟雨便可以分成兩個全然區別的驟雨。實驗底結果全然決定地確證了此波動說底豫想。

在這場合以及與此類似遮場合上，粒子像底失敗是很有興趣的事。因為關於空間及時間上遮表現，粒子像當然承認其可能性，而波動像則認為它不可能。只要我們只是處理電子、陽電子、光量子那種自然之最單純的構成要素時，這兩個像都似乎有其相等的妥當性。但是，只要我們進一步考察原子底複雜的構造時，則波動像便斷然贏得優位了。因此波動像最初表現出來似乎是實在底真的姿容，而粒子像則只有實相之粗笨的近似態。近似態云者，是指示把時間空間上所不能表現遮構成體強迫押進空間時間底框架中而得出遮形態。

把波動像解釋為發見占據種種場所上遮位置之粒子遮確率底圖表，這已經不能看做是究極的了，上面說明白了的。因為顯然地真正的自然像必然容許直接的解釋的，與更不全完的形像無關。粒子底表現法引導我們到達波動像時，

其目的已到達了。所以今後就只把這取爲立足點，也不生關係。

於是我們通過物質底波動像而必然接近於實在。這時拋棄自然之空時的表現，似乎是旅行底第一步。

這第一步是很難開步走的。我們對外界週知識由光量子攜來，而光量子則在空間時間之舞臺裝置之中運動。因此我們從幼年時代便以爲客觀的自然也是存在於空間及時間之中的。我們底思想已成爲空間時間底界限，而不能把握空時以外之概念。爲此，沿着新的道路也不能向前進得一步，現在我們差不多不得不以半端(Partial)波動像與粒子像來論究自然了。但是前者是不可解，而後者則不免不精確。

決定論

相信新量子說以及波動力學底理論與觀察底結果完全符合，因而想像也許包含對自然之究極的數學的真理，如照這樣的見地，則它們應該對於決定論底問題能投以若干光明。

我們對於自然週知識，到達能夠部分地爲許多不同的形像所具象化週徑路，早已論究過了。不過任一形像就能使我們馬上彷彿着真理底全貌，是不行的。此等形像之中，例

如某者把電子表示作粒子，某者把電子當作波動表示。就對光線也再有對應的形像，其一表示作波動，其一是表示作光量子。

我們首先考察考察波動像吧。該形像在輻射現象底情狀之下能見其最單純的形。波動方程式關於電流之傳播成爲普通的馬克斯威爾方程式，在任何方面看來，都完全是決定論的。換句話說，要是我們知道了任意一瞬間電氣底狀態，則採用這些方程式便能決定未來之一切時的狀態。電子底波動方程式也正含着與此同樣的決定論。若果知道了任意的一瞬間一切空間之底值，這些方程式便使我們得出一切時間上它底值。

但是這并不就意味着，自然全部都是決定論的。因爲，如果根據我們所能提出過唯一的解釋法，則斯魯丁格底方程式之底與馬克斯威爾方程式底電力都不是爲自然所決定的，不過爲我們底自然之知識所決定。自然以及我們對自然之知識這兩者間底區別，在某特殊場合，如果消解——這樣的場合，例如我們討論無數光量子所形成過集合時所看出的——，那末當然能夠由波動方程式證明出，關於這兒討論過特別的現象，成立了完全的決定論。在這種其它的場合，得出我們剛討論過二個究極的有着落的狀態。但是在這些

情形之下，我們底知識不是完全的，而是空無所有。在這兩方面，雖有確定的決定論存在，可是其意義非常稀薄。客觀地說來，這是能用如次的話句表示的。“當宇宙之一部分再已不能變化時，其未來的路徑便不變地被決定了。”現在客觀地說來，還是連着同樣無益的辭句。即“要是我們從一無所知出發，而且不做任何新的實驗，則任何時候我們還是繼續一無所知。”

全然決定論的波動方程式并不、而且也不能把自然界全部看作自己底領域，這事往往被忽略了。雖然這事是難於實現，但波動力學關於分離的個個原子之存在沒有知識，與光線波動說不知道分離的個個光量子底存在同樣。這兒我們回憶一下海森堡底最初的分析吧，它不處理從多數個別原子射出過光量子之連續，而只處理起點不明而且無規定的放射線之流。由此而發生 p 及 q 實體，它們是使之與一個原子內一個電子底運動量與座標相似的。使它們成為相似的，是如次的粗笨的設計。即在原子有非常大的半徑時，取得符合，便使之調整一個常數。但是電子在其內部運動過原子不是可能存在於自然界過那種現實的原子。倒不如說它是一種統計學的原子的。就稱之為適應於某特殊條件、而被攝取過世界中一切原子之合成照片也可以的。其抽象亦如經濟學

者之所謂「經濟人」一樣。波動力學關於這原子打算附與一個具體的形像，但是不可避免地這還是一合成照片。從而畫像擴張到全鋅板上，是非常模糊的。

正因為波動力學只處理蓋然性與統計的集團，所以這兒發生的外觀的決定論不過用別的方式表示平均而已。決定論可以說是保險公司或蒙特·開羅(Monte Carlo)底銀行計算底根柢那樣全然統計的性質。

因此，為甚麼外觀的波動方程式底決定論不隱匿一個完全的客觀的非決定論呢？要指摘這樣主張的理由是不可能的。在用「漫步」(random-walk)這一名詞而被知道遊數學的問題上，我們想像一個旅行者一天步行二十哩吧。但在他每日步行底方向之間沒有何等因果的關聯。例如我們能夠想像，每朝這個旅客把他底手杖投上空中，依手杖落下底方向來定那日底旅程。照這種情形，指示那人每日傍晚到達過各地點底機會過一個數學方式，當然不會得出。現在若果把上說的時間從一天縮短到一秒，而想像那個人底每一步都是不確定的，這又將如何呢？若然，則得出如次的事：種種蓋然性正如在斯魯丁格方程式上一樣，成為波狀而擴散：在這場合，就是成為根柢遊物理的原因也全然是不確定的，可是波動底擴散都適合於嚴密的決定論。

同樣，在波動像之外觀的決定論上，可以多少隱避一些其細節目上是真地客觀地不確定過東西，因為要說明愛斯坦獲得黑體輻射之統計的法則過輻射能分解與原子底飛躍，所以不論怎樣此種不確定性都似乎必要。

現在我又回到粒子像底討論吧。我們已經說過，這一點也沒有指示決定性，而且如波耳所指摘的，是決定的便不可能。為要在我們底自然形像中導入決定論，那就非有發見它在自然界是存在的過實驗方法不可。因此現在是必須這樣，即是如果我們以存在於時間空間中過粒子形態想擬自然——不論是光量子、電子、陽電子都可以——，我們便不得不具有以完全的精確程度發見這些粒子底位置與速度過方法。然而這正是不確定原理所拒斥我們的。所以把自然當作存於時間空間中過粒子構成過東西表現過形像，不能同時表示決定性。

此事使我走到古典理論與新量子理論間過分裂之點了。古典理論把自然當作全然位置於時空中過東西表示，而同時為一個嚴密的決定性所支配。但是如依照與觀測完全適合過唯一的途徑之新理論，則我們能夠保持自然之舊形像底空間時間的表現，或保持嚴密的決定性，採任何一種都可以，只是決不能一塊兒採取兩者，這是明白的。因為決定

性與空時表現有如線絃式濕度計(String-hygrometer)底老
男子與老女人一樣；所以一方進去時，它一方就出來了。海
森堡用如次的言詞指示新舊兩種見解底對照。(註二十三)

古典物理學

量子論

諸現象之因果的諸關係 方法(一)

用時間及空間描敘

諸現象用空間及時間描敘

(但根據不確定性原理)

方法(二)

因果關係是用數學的諸法則表示
出的(但諸現象底空間中物理的
描敘是不可能)

包含在量子說遊方法(一)那種不確定性是粒子像底原
子態所生之自然的結果。但是因為我們不能完全精確地知
道現在的事態，所以不能豫知未來。

「不確定性」這一同樣的名詞，常常用來表示這上面所
說過那種意義，以及表示包含於自然界本身迥全然不同種
類底不確定，這是極不幸的。此地因為自然本身并不知道可
以發生甚麼事情，所以我們不能豫知未來。

(註二十三) 『量子論底物理學原理』(The Physical Prin-
ciple of the Quantum Theory), P.65.

第一種類的不確定性，在把自然描畫成粒子時，必然發生，不僅如此，而且我們知道，我們底自然像也能包括第二的不確定性。從而這不論在波動像或粒子像上都是存在的。

但是要是我們要溯源而上尋根究柢地探究，結果必會達到一個原因，照這樣執論遊人一定是有的。前說的旅行者底到手杖落下過方向實際不是不確定的，而是係於他所投過力之如何而定。但這力是看他底體力如何來定，體力又是以其前日的旅程是平易的道路嗎、抑是艱難的道路、使他疲勞到了某程度來定，如此追究下來，可以沒有際限，如果我們把這樣的看法導入自然界底描敘，那或許得出多少如次的形式。

這兒我們開始作個遊戲，描畫一個外界底推測圖。這遊戲底唯一規則在於，這個圖說明我們底感覺，達到精確而且詳細的程度。但是不僅在說明某一個人底感覺、而且說明感覺本身過意義上，都非是客觀的不可。每一感覺都是由於從外界到我們身體底末梢神經過能之傳達所產生。這傳達必然由於光量子而來。光量子不管在新舊理論上都能適當地看作是空間與時間上運行過東西。因此我們首先依着當然的順序，由描畫空間時間之架構底心像，而着手自然形像

底構成，如進一步考察，成爲我們底感覺底原因之光量子是發生於事象之中，這是發見了的。於是我們發見，如果我們底形像在剛說明了適意義上是客觀的，則這些光量子不能當作在時間與空間中個別地定置適東西表現，只能夠在可以呼爲空間與時間之融合的「空時」之中才可定置。所以只要我們不能主張把「空間」分割成空間與時間，則對於這個形像，上說的架構都完全通用。但是這些事象是物質的諸物體、電子及陽電子以及其結合體之相互作用，我們看出這些東西不能適切地當作存在於空間時間中適東西描示。由這樣的理由，因爲我們底空時的架構表現自然全體，所以確是不適當的。它，對於我們底感覺之架構，是適當的，而且原來恰恰是照適合於其目的那樣構造的。但，如超過感覺底界限，則此架構便沒有用處，所以我們因之而把時間及空間當作如自然界底表皮一樣，它恰可以比之深的水流底表面適東西，作那樣想像。感觸我們底感官適事象似乎是這水流表面底漣波，可是其根源——即物質的事物——在此水流之中植下深的根基。例如我們說一塊磚瓦是三次元的時，我們底意思只是說，我們只能通過我們底感官，在空間底三次元上與此磚瓦接觸。漣波在空間底三次元上從磚瓦到達我們。但是這并不就把磚瓦底實驗的存在限制於此等三次元之中

了。

兩個表面漣波其形狀雖然正確地相似，然而發生的原因是由於在水流底深處所發生過非常複雜的偶然事件。所以它們底形態之相似，並沒有保證它們底作用是同樣。從而我們不能期待水流底漣波現象表示嚴密的決定性，也不能期待適合於在統計以外過意義上叫爲「自然之均齊性」過法則。「空時」之表面現象表示決定性底缺乏這一事實，對於實在之客觀的自然是否是決定性的這一問題，并沒給與任何解答。

「空時」不是自然界自身底架構，而是我們底感覺世界底架構。因此在「空時」之中表現超感覺的事物時，它們缺乏外觀的決定性這事，不過是我們強把實在的自然界推入極拘束的架構之中過代價而已。所以在鳥飛過空中時，即使實際的飛翔狀態循着均齊的決定的法則，但牠落於地面過影子則決不依照這樣的法則。

要是我們接受這樣的解釋，我們便必得出如次的結論：即是在臆斷一切事物能完全在空間與時間上表現時，物質的科學便與現今的物理學所教示的相衝突。物質科學把其表面與其下面底深淵之區別看脫了。它把物象底空間的性質看做它們底根本的性質。然而科學告訴我們，空間的性質

不過與我們底感官起直接的交涉的性質——是說接觸我們底眼之表面底漣波。

可見的自然界之純粹力學的映像，也因同樣的理由而失敗。照這解釋所宣布的，漣波不是在深處發生過事象之單純的表徵，而漣波自身便是立於指導宇宙之行動過地位。簡言之，例如以為風信機決定稍後可以吹來過風底方向，或者以為寒暑表保持室中的溫度，兩者都陷於同樣的謬誤。

第八章 事象論

熱力學

原子物理學底領域在於論究特別的諸事象之性質。對於某種事象生起、而其它事象又不生起、這是怎樣的理由，在告訴我們這一點上，原子物理學頗著成功。然而對於宇宙全體又發生了甚麼呢？這物理學能給與遊知識就不多了。這兒又有物理學底另一部門在。是叫做熱力學之名的，它負擔起上一問題來。它并不隔離地處理個別的事象。把事象當作集團而統計地研究了。其本領在於論究事象之一般的傾向。宇宙是如何在與時俱變呢，這有豫示它遊目的。

熱力學本身之起源在於關係運轉機關之能率迥非常實用的問題內，但是其領域便立刻一般地擴張到自然界全體底種種活動了。自然是機械的，是決定的，對這樣的臆斷，還沒有任何提出疑難迥時代，熱力學已經達到那兒了。如下面所說，我們不機械地處理自然，但是暫時間我們要把自然當作恰如是嚴密地決定的處理。

如站在決定論的立場來觀察自然，在宇宙決沒有一絲一毫的偶然存在；其終結的狀態在其現在的狀態中已經具有了，正如其現在的狀態在其創造時底狀態中已具有了一樣。自然因必然的命運向着豫定了的目的、進行其唯一的路道，有似一掛列車走着單軌的鐵路那樣，在那兒任何種的交叉點和接合點都沒有。所以若果在這兒有一個有超越的技能之實驗物理學者，能發見某瞬間內宇宙一切微粒子底正確的位置和正確的運動速度，那末那個超越的數學者便能夠演繹出以此為基礎迥宇宙一切的過去與一切未來。

實驗物理學者尙未能提供這樣的資料，不確定原理指明那到底是不可能的事。雖然，超越的數學者出現了，如果容許他以無限制的時間，說不定他可以算出根據可能限度內迥資料迥一切過去與未來的種種姿態。

該數學者着手這件工作，便首先作出描敘宇宙一切可

能的姿態過一個圖表。恰似在普通的地圖上描畫出英國底一切地點。他就從這圖表上任一點出發都可以。用數學的計算描出爲這一點所表示過狀態所發展過一個宇宙之一切的未來。他能夠以通過這點過一條線表示此未來。這線，正如鐵道路線是用在英國地圖上走過過線所表示一樣，是通過他底圖表上面進行的。他可以依次在他底圖表中一點一點地取，以從這點開始過線描出一個一個的宇宙底發展，結果到他底全圖表都用線充滿爲止。這些線表示對於宇宙是可能過發展之所有的線。若是宇宙如我們現在所能假定的，不是嚴密地決定的，則其圖表外表上似乎是沒有交叉點與接觸點，而全是布滿單線的鐵道路線過國家底地圖樣。然而若果嚴密的決定性不支配宇宙，則在不同的線與線之間會有許多交叉點與連絡點存在。

我們想像這種完全的圖表任我們底意思處理吧。若果我們關於自然法則有完全的知識——至少是理論的——，這想像就會是實際的。這圖表不怕是怎樣完全，關於從此而來過我們底未來，還是不能獲得詳細的知識，因爲我們不知道地圖上自己底現在位置。要找出我們現在正在走過路道是相當於那一條線呢，這使之成爲不可能。因此現在是在圖表底那一部分走呢，又在那兒它會終止呢，都不知道。然而

那道路在那種國家終止呢，也許可以發見。這就是我們實際所必要週知知識。此種知識就是熱力學所給與我們的。

想像我們一吓從無意識的狀態忽然醒來，發見我們正在某英國鐵道上。我們沒方法知道我們底旅程會在那兒終止。然而如果有一份英國底地勢地圖在我們手邊，我們就會知道，五千五百萬英畝(acre)之中僅只數百畝是高出海面四千呎。我們底旅行底終點雖然不能說出是在甚麼地方，但那地點無疑地差不多有幾分可以看為是在出海面四千呎以下週區域內。如果車室內週氣壓計指示我們已經是在四千呎以上週地點，那末今後的行程總有幾分把握是走下坡的路。

在我們研究宇宙底進化與終局時，對於我們努力底指導者所要求的，與其說是精確的知識，毋寧說就是這種考察法。因為的確的知識是我們力所不及，所以我們非完全受蓋然的指導不可。但是在計算如此的蓋然性時，我們所拚着週優率(odds)底數值，常是絕大的，對於一切實際的目的，都把大的優率當作真實處理。因為宇宙間粒子——電子與陽電子——底數目是 10^{79} 次那樣無限大的，所以在我們要定事物是否是實在的時，這 10^{79} 底高的乘幂是——關聯着的。所以我們無需費神特別注意地區分這一種類蓋然性與真實

性之間迥區別。

熱力學函數

熱力學是與當作“熱力學函數”(entropy)而被知道的一種量密接地關係着的。這種量在我們底宇宙圖表上過任務，伴演有如在英國底想像的鐵道岡上高度所伴演過那樣的任務。所不同者只是小的熱力學函數相當於大的高度，後者底小與前者底大相匹敵。這樣看來，熱力學函數之正當的比較，與其說是比海面底高，毋寧稱之為從高的山顛計算過深。在英國更高的山是高出海面四千四百呎，又因為英國地域大部分都高不出海面多少，所以這話要這樣說，大部分的地域是在接近四千四百呎底深度——最大限度的深度。同樣，我們發見在我們底宇宙圖上所描畫過形像底大部分有最大限度的熱力學函數。——然而，雖說差不多是全部，但是有一小的區域除外。其例外這一部分底大是與 10^{79} 之逆乘冪成反比的。

我們不能立刻就論據上面的敘述，是因為我們尚未下“熱力學函數”底定義。因而實際沒以它為論據過必要。因為“熱力學函數”最好的定義使這敘述自身自動地成為真實。首先在便利上，定義“極大的熱力學函數”，表示我們底

宇宙圖上最普通的狀態。其次，上面的事已經做過後，就要以如次的方法來下熱力學函數底定義之一般，即是更普通的狀態比更不普通的狀態常有更高度的熱力學函數。於是我們把熱力學函數定義為圖表上一個既與的狀態之「定常態」底度。(註二十四)

我們有了這個定義，便發見，這兒正因為被包含的數的因子是非常大，故而“極大”熱力學函數底狀態，比之其熱力學函數小過狀態，不僅是更普通的，而且是無可比擬地那樣普通。從而它完全是無用的了。因此之故，宇宙底各狀態都會為高於它自身過熱力學函數底一個狀態所繼承，這差不多可說是確實的。

因此宇宙為不斷增加過熱力學函數之諸狀態底接續所“展開”，結果達到最大熱力學函數底狀態。過此以上早已不能前進了。除休止外別無辦法。其意味並不是說，宇宙間一切的原子都成為休止（因為極大熱力學函數并不如上面那樣解釋的），反而是這樣的意味，說宇宙底一般性質決不能更變化了。

但是，如果這兒有個人，不如上說，他主張宇宙向着比

(註二十四) 要是 w 表示某一狀態之「定常態」，則數學者便記

熱力學函數對何狀態意義為 $k \log w$ ，這兒 h 是氣體常數。

現在更低的熱力學函數底狀態推移，則我們不能證明其人之錯誤了。他底說法能夠當作一個臆測又能夠當作虔敬的希望保持。那個人底夢想是否實現，對此， 10^{79} 之極度地高的乘冪使之有非常大的希望，我們所能說的不過如是。

熱力學往往無視所有這些極小的機會與無望的希望，宣言其自己底法則之為真實。然而我們常常必須記着的是，對於此種法則伴有極小的誤差底危險。如有名的「熱力學底第二法則」之所示，一個自然的體系之熱力學函數不斷增加，結果達到熱力學函數已經不能增加迨究極的狀態為止。如要更充分地來論這法則，則歸於，就說熱力學函數把握其它的方向迨機會是很小，也不關重要。

極大熱力學函數底究極狀態

發見宇宙之究極狀態這一問題，就是發見宇宙底熱力學函數能增加到如何的範圍、而不違背支配其最小部分底運動迨物理法則那一問題，現在已經明白了。當定義熱力學函數之際，雖沒有考慮物質之物理的性質之必要，但是在現在我們打算發見熱力學函數是極大的迨狀態時，則不能把它置之考慮之外。

其過程通常是非常複雜，可是以下的兩個簡單的實例

會說明極大熱力學函數之一狀態底一般的特徵。它們與宇宙全體無關，只是一小部相關係，因為這是單純而且周知的事，所以選擇它來。

我們試滴少量的紅色墨水入水，等待墨水與水相互混合吧。我們已經知道，在事象發生之前，其究極的狀態是兩者齊一地混合，而成等質的淡紅色的液體。因為這齊一的混合狀態是必然的究極的狀態，所以它非是極大熱力學函數底狀態不可，這是我們知道的。

再者，試把滲入冷水迺瓦罐放在火上吧。我們知道，在做這一實驗之前，其究極狀態是一切水化成水蒸氣。這也必然是極大熱力學函數底狀態。正如到達極大熱力學函數底狀態時，紅墨水均等地與水底一切部分混合一樣，火底熱也均等地與石炭、瓦罐及水混合了。

以上兩個例告訴我們熱力學函數成爲極大的迺兩個究極狀態。它們說明一個非常廣汎的而且非常一般的問題。即是，極大熱力學函數底究極狀態避免集中。這事就對於特殊的物質（如墨水）對於能（如火熱）都可以說的。所以“最普通的狀態”就是物質與能是均一地混合了迺狀態，恰與在音樂會底聽衆之中所看見迺最普通的狀態是背高的人，與背低的人、色白的人與色黑的人等等不齊一地混合了迺狀態一

樣。

如把這種看法推而廣之，則能指示出至少關於宇宙之究極適某物。但是這種看法不能指出到達其狀態適道路。我們所得適一切教訓是，其道路實際上確實是繼續增加下去適熱力學函數底路道。對熱力學函數更深一層地理解，則對此事就更深一層地明白。減少熱力學函數雖不可能，但是實際是會減少的，這差不多是無限地非蓋然的。

舉例說，在墨水與水一旦完全混合時，極大熱力學函數底狀態便達到了。這墨水與水底混合體，如熱力學函數不減少，便一點不能變化其一般的特質。但是墨水與水底分子還是在相互衝合，因之而變化位置。其無規則的運動使它們發生集中作用，其結果墨水底分子集於容器之一方，而水底分子又集於其它一方，這是完全可以想見的。如此集中的熱力學函數是遠在可能的極大之下的，因為墨水與水呈現那樣的集中狀態，所以不得不發生絕大的偶然。雖然，防止它適任何自然法則都是不存在的，這無論如何都有認識之必要。若果水與墨水底容器是無限地多，則這不能期待適現象則一定會在其少數之中發生。——正如打檯球一樣，如果這遊戲行之許多次時，一個人可以完全獨占某種排號的排列法，不是絕無機會的。但是如只演一次，則先天地可以斷定，那

種現象之發生差不多是稀有之事。若果任何偶然事件發生，則不論勝負的人是非常多數，而在短時內作這遊戲，或者只一組人，在非常久的時間內繼續此件遊戲，都是一樣。同樣，我們可以說，墨水與水底完全的分離是會發生的，不管混合液體底容器是無限地多數，不管一個容器是無限時間存在。

同樣的考察可以適用於我們其它的小宇宙之火、瓦罐與水。罐裏過水放在火上結果也有凍結了過時候。要證明這事，我們只須認識物體之集合的一個可能的狀態——在那物體內，水存在於冰底形態的，而火則比它以前存於藥罐及其內容物中（因為在那兒沒有多大的熱）時更熱些。如果我們描出體系之一切集中形態，則此特殊的形態也不得不在這圖中現示出來。因此我們不能斷定它不是旅行底終點。但是如把裝冰過土罐放在火上，當前的事便是它變成水底罐子去了，這我們知道的。這事證明了看作水底形態比看作冰底形態更高過熱力學函數是有的。這事依次更指示出，在水罐置在火上使之凍結這事就是可能，但偶一為之其實現都是無限地非蓋然的。即使這兒有一最足相信的證人，他把水罐放在火上，就說已經凍結了，我們還是不會相信他的。雖然在自然法則中禁止這樣的偶然事件的，是無一所有，可是

還是不相信。然而這些法則給我們保證，說如此的事件是偶然地發生的。雖然，這樣的機會因在事物底性質上是非常之稀少，所以我們以為，那比起那人（我們底報知者）在現在就相信這事一點來，他似乎已經成為瘋狂、或被欺騙了。

這些例證雙方說明了個別的原分子在盲目的力底支配之下，聽其舉行隨意的運動。要是原子及分子接收任何指導，結果便迥然不同。假定我們把油（不用水）滴在我們底水中。我們再不期待究極狀態是均齊的混合。我們知道所有的油浮在上面，所有的水集在下面。在水與墨水底情形下最不可能的一個配置，在油與水底情形之下則成為最有可能的配置了。實際上，正確的計算確證完全的分離底一狀態在此場合表示極大的熱力學函數底狀態。此變化之理由是重力在水與油底分子間發生分離作用。說油底比重低於水時，實際的意義是，地球底引力以強於牽引油底粒子適力把同樣大的水底粒子向下方引張。地球以較小的力連續地牽引油底粒子，所以獎勵這些粒子向水底上方運動。使水與油混合時，我們不是把這些分子當作盲目的偶然地被翻弄、而是當作爲引力底選擇作爲主持適偶然所支配、這樣處理的。在油底分子相互之間，與水底分子相互之間，行着盲目的交互作用，但兩者間適混合則爲引力所抑制。

例如假定用一片放得水平適薄膜，把容器分成兩部分，定各部門底容量爲一品脫。在膜上穿一針孔。其次取一品脫油和一品脫水盡可能地混合，而使此混合液充滿容器底兩部分。待到充分的時間之後，再調查容器，則自然發見所有的油集在上半部分，所有的水集在下半部分。我們所做過精細的混合終歸無用。其理由非常簡單。每逢下部的油粒子在針孔上遭遇着上部的水粒子時，——針孔是它們唯一能夠遭遇之點——，重力便強迫他們交換位置，這種交代不斷地增加上部的油與下部的水，結果成功完全的分離。

馬克斯威爾底分擇之魔

若果用以前的墨水與水底混合液行同樣的實驗，則在自然之通例的狀態上如上說那種作用便不會發生。因爲重力在有着同等的比重適液體之間沒定有區別。但是假定具有顯微鏡的大小底一個理智之生物寄居於針孔之上。他手裏持有一個小的開閉板，他高興就可用這板把針孔關閉。他領了命令，要在墨水底分子上昇時，在水底分子下降時，才把這板打開，使之通過。——簡言之，他底任務是行着重力之對於油與水所行過那樣的選擇作用。顯明的，在一長的充分的時間之後，如以前的油與水一樣，墨水與水一定完全分

離。不過在現在，這種分離還不是重力所產生而是理智所產生。

我們剛敘述過這理智的顯微鏡的生物，是劍橋大學（Cambridge）物理學者馬克斯威爾（Clerk Maxwell）介紹到科學界來的，一般名之為「馬克斯威爾之魔」。這兒我們應注意之點是，這個魔一點也不反抗力學底法則。他是否非重複地開閉那顯微鏡的門不可，我們可不知道。如考察分子之自然的運動，則發見幾乎閉着的機會是沒有的。於是萬事都如不借這魔鬼之助那樣進行，墨水與水因各自底自然之自由運動而分離。但是對這樣的偶然事件之偶然性并不如想像那樣大。在每一分子個別地出現之時，小鬼必定自問，“閉嗎不閉呢”，其次才實際放下他底決心。一串延長了的決斷，在同一意義之下，與我們把一塊銅元旋轉時要定一串表裏，是同樣不確定。所以小鬼一刻不得休息，是當然的。他甚至不斷地幾百萬次開閉這門。不過他作此事時，一點也沒有消耗能。每一次對於分子，門都被關閉，我們能夠推慮到，要是該分子底路道只有一毫毛之差接近左邊接近右邊，則不用小鬼接觸這門，分子衝當隔膜，都被撥返。

這樣，雖說小鬼并沒干涉自然法則底作用，然而他所作過工作都表示出淘汰的效果，因此他能夠使任何體系達到

更低的熱力學函數底狀態。如使自然的諸力作其盲目的相互作用，則增加熱力學函數這事實實際上差不多是確定的，不過探究發生此結果適理由，則那不是自然底諸法則，而寧是依存於蓋然性底諸法則底作用。小鬼不受欺騙自然法則適命令，而只受欺騙蓋然性底諸法則適命令。說來小鬼能夠刻刻加工於骰子，而使他所需要適結果發生。但是在不破壞質量與能底不滅等等自然法則適範圍之內，是能這樣作的。就在赤色的墨水與水混合時，他也不能增加任一者或兩方底全量。他所能作的只是分離混合液，恰如分擇赤與白的念珠一樣，或者更像運動鐵道底轉轍機，在不同的路線上分配貨車一樣。當其把裝水適罐放在火上時，小鬼不能增加熱底總量，但是如他高興，他能夠把熱從罐中減去，因而增加火底熱。他底工作便限於從彼得（Peter）取來給與保羅（Paul）那類的事情。如果聽其自然，則彼得與保羅除了相互戰取而外無它法。在某時以孤注一擲來決定這事，這一方面是適當的也未可知。

十分粗略的考察也可指示出，當作全體適宇宙在來到接近極大熱力學函數底究極狀態任何處所之前，不得不走着非常長遠的旅途。在這究極的狀態上，放射及溫度之集中都消滅了，放射均一地散布於空間各處，溫度不管在甚麼地

方都是同樣的。在現在，在空間之最遠距離底深處，輻射能底濃度是在絕對溫度零度以上與一度以內之溫度相當。在銀河系底恆星上，則不過三度或四度。在地球底軌道近傍約二八〇度。在太陽底表面約六千度，在太陽底中心也許是四千萬乃至五千萬度。宇宙因這些各種溫度底平均，而能不斷地增加其熱力學函數。例如從太陽之高熱底中心，使能在其熱度低週表面放出，更使之在空虛中射出，超出地球底軌道，而達到冷暗的恆星及銀河空間。這些各個區域都成爲同一的溫度，輻射能在空間到處均等地散布着，迄今熱力學函數底增加還是沒有休止的時候。那時、而且只有到那時，宇宙才到達究極的狀態，在那種狀態，溫度不管在任何地方都下降，使生物不能生存，永遠的夜之完全的靜寂與完全的黑暗占領着宇宙。

生命底活動

通觀全體的宇宙時，宇宙是正向着這樣的終結急速進行。太陽正在死亡，每一秒鐘，照放射底形態放出其實質底約二億五千萬噸，就這樣降低其自身底熱而提高虛空底溫度。其它的恆星也說出同樣的故事；關於分擇的小鬼坐在它底表面使熱返到中心這樣的證據，我們是找不出的。但是這

兒屬於其它宇宙過某種生物是有的，要是以充分的注意調查我們底地球，那在那兒就能認識出不思議的徵候也說不定。這徵候使他疑惑對於熱力學函數之一般的增加傾向是否是有局部的例外。例如從純粹物理學的見地看來，黃金顯然是普通的金屬。自然法則對之既不表示特別的好意，也不給與特別的待遇。然而我們底訪問者往往認為顯然均一地散布於地殼底全部過黃金全量，有高度地集中於很小的區域過傾向，於是以為熱力學第二法則底要求完全見棄了。再者法則決不承認水災之發生的。不過偶發事件之發生底可能也會容許。但是這些災變大部分是應在氣候暑熱乾燥時發生，這也是法則所主張的。然而我們底觀察者不僅看見地球上衆多的火災，而且會發見它底最頻繁地發生，是在寒冷而濕潤的季節。反而在雪所蓋蔽過地方看見這樣的事情，比在赤道直下或盛夏的暑熱灼熾過地方看得多些。而且他可以看到，當氣候蒸暑時，冰底小規模的集積特別呈現出來。

若果在尚未融合過自然界底常態，這樣的事件發生，那末這種事情與放在火上過罐凍結這事，是恰好一對稀奇的事。因此，當描畫自然像時，如不敘載引起自然底統計的法則變化那樣的若干方法，則不能描畫完全的東西。不過，雖

然無理說到自然界全般，至少關於我們底地球上之重要的區域，這就是必要的。我們底貴客也許會把這些法則之回避歸諸無數分擇的小鬼之所爲吧。

如將對熱力學第二法則所行過叛逆之猛烈的攻擊，加以統計的研究，則明白了罪惡底温床就是我們所稱過文明底中心的地域。無生物默然從順法則。只有我們之所謂有生物才以各種不同的程度過逸法則而獲得成功。實際上，定義生命，就說成因爲迴避這法則而特徵化的，這似乎都是合理的。就是生命，差不多也不能迴避原子物理學底法則。因爲相信此種法則是同磚瓦底原子一樣，也適用於腦髓底原子的。但是生命似乎是不能迴避基於統計過蓋然性底法則吧。生命底類型更高，則迴避能力也更偉大。觀察過的迴避，與一隊分擇的小鬼所作出過結果非常類似，所以推想生命所作過事是與小鬼同樣，似乎是可以的。

只要相信自然界是機械的，從而是決定的，則如上的推測到底是不會容許的。分擇的小鬼與自然之宿命的途徑是衝突的。

反之，現在物理學對這樣的推測不能提出任何抗議。相信這學說是唯一地決定的過人，實際也只是根據統計。我們還是看見無數的分子或粒子底集團，其行動是適合於決定

論的。這是我們日常生活上所觀察過決定性；所謂自然均齊的法則成爲基礎。但是關於個別的要素底運動之決定性，則從未發見。事實上却是不同，放射能及輻射底諸現象則反而暗示出，因爲諸要素爲頑固的力所推押所引張，所以不動；只要我們在時間與空間上來形像它們，則它們底未來便似乎每一步也是不決定的、不明瞭的。如果沒有任何東西阻擾指導它們所往過途過人，則它可以向任何方向行走。它們並不爲已經預定的力所抑制，只受制於統計的蓋然法則。若果某未知之物無意地出現而指導它們，則它們就從服從蓋然法則而轉達到遵循某未知者。恰如水與油底混合液遵循重力一樣。如此思慮下去，不能張言這未知的某者是與所說的小鬼不同。這是有理知的心過人當了使自已有利時，而對骰子施與機會，當分子迷於應往那條道路爲是時，對其運動給以影響。但是爲要在這人底意向與分子之間，行如此的作用，則兩者之性質不應有多大懸殊。

空-時與自然

我們也能夠用在第七章『決定論』一節所說過別一方法觀察這個問題。迄今我們當描敘自然之際，都把它看作嵌入空間與時間底架構之中過粒子底集合。但是這樣的架構，在

考察自然界全體底配置時，是不適合的，只有在我們底感官接受自然底消息之際，對於成爲其中介過光量子才是適合的，這我們早已了解了。因爲這些消息以進入空時底架構過形式達到，所以必然得出結論，說自然界全體都存在於同樣的架構底限制之中。我們對於外界觀察的知識爲我們底感官底口徑限制。這個口徑如像趕馬車過馬之遮眼革那樣的東西，妨止我們把眼睛轉向空間時間以外。恰如我們底望遠鏡只準我們看見空中底一小角樣。然而我們在空間時間內瞧見過諸事象，在時間空間以外有其根源也說不定。正如用我們底望遠鏡所窺看過光輝的彗星之尾上面過曲線，在橫於望遠鏡底視野以外過太陽上，有其原因。理論物理學之最近的進步暗示關於許多物理現象，這也可以說的。如欲充分解釋電子與陽電子所發生過諸現象，則在空間時間中找尋它們底任何敘述都不可能。

這事引導我們把空間時間想作宇宙上一種表面層。事象底本源在這空時上以物質的陽電子及電子底形態現示出來，可是這些東西在更深一層中有其根基。所以雖然我們底觀察只限於事物底表面那個當兒，因果關係是不明瞭，但是如果我們能夠把實在世界全體收在眼裏，則我們可以明白，原因與結果是內的關係，事象是依明確地規定了過法則發

生，不只作為蓋然法則底證明而存在。園丁在這兒植種十二株樹。站在我們只能看見過地方，這些樹完全是同樣的。他豫先聽見說此種樹子只有百分之五十才是發育的，當他發見他底十二株樹子之中六株發育、六株枯萎時，此語是證驗了。但是他不能相信這些樹木底運命是依於蓋然的法則。他以為是依於他底眼所不及過地中過事情。他把這枯萎了過六株樹砍倒，而在樹根上發見針金蟲（wire-worm）。這針金蟲，就與在我們底空時形像上分擇的小鬼所演過角色、乃至我們底意志與理智的活動，行着同樣的事。它們住在時間空間底底層以外過深奧處所，所以還是影響在時空以外有其根源過事象，又對於時間空間之偶發事件給與某種抑制作用。

此種臆測引導我們走到人間的好尚具有重大的關係過思想區域。在事物之構成要素中，爲了道德、美以及其它「價值」，而極欲尋求位置過某種人，見着自然內不確定性底證據而歡呼而迎之，獲得人間底自由意志之證據而快愉。或者有其它的人，連對於自然界也不容許不決定性底可能之論，而且主張，人間與自然都同樣不過機械底輪齒，這機械只向着其豫定的終極驅轉下去。

以上是極端的人。採取中庸的立場過人們亦復不少。這

些人還是採取極端注意的態度，對於調和人間底自由意志與物理學底機構的企圖，甚至也懷着疑念。有些人這樣引證，說生理學與心理學之最近的研究，不是對於自由意志之可能性提出反證，而是對其蓋然性提出反證。而且有些人又把物理學現在的狀態看做是單純的過渡的形像。例如蒲郎克，他對此問題給與了許多思想。關於量子觀念在物理學底根本的法則上給與過壓迫，他如次寫着：——（註二十五）

“若干重大的變更似乎是不可避免的；但是我與大多數的物理學者們都堅決地相信，量子底假說在若干方程式上發見精確的表現之道，那應是因果律之更的確的表現形式。”

他更進一步，把此法則底作用推擴到人類底行爲：——

“因果律底原理，就對於人類靈魂之最高的成果，也可以推擴得到。我們不得不承認，我們底最大的天才們——亞里士多德、康德或遼那兒朵（Leonardo）、哥德（Goethe）或背梭文（Beethoven）、但丁（Dante）或莎士比亞（Shakespeare）——這些偉人每一個底心，就在其思想高翔於天空的瞬間，就在其靈感深澈靈魂之內時，也

（註二十五）『科學到何處去？』馬克斯·蒲郎克（1933），PP，

是取法乎因果底理法的，是在統御世界過一個全能過律法之手中過一個器具。”

愛斯坦也是敘述了同樣的意見：——（前書 PP. 210 201.）

“對於這個原理我全然同意我底朋友蒲郎克所取過立場。他認為在現在底事態之下，適用因果律於原子物理學之內部的經過是不可能；但是他對於如次的論法明確地表明反對，即是從這不適合性 (Unrauchbarkeit) 推定因果的過程不存在於外的實在界。蒲郎克實際上對此尚未採取任何確定的立場。他不過對於一部分的量子論者所加強過言說加以反對。而我對他則是全然的贊同者。當諸君提出喋喋不休談到自然之自由意志過人時，在我要找出適切的答覆的話句是困難的。這樣的意見當然超出了通常的範圍。……”

“老實說，我硬不能了解人們在討論人類意志自由時，他們所說的是甚麼意思。”

另一方面，威爾(Weyl)對於決定論之界限（如果有界限過話）是怎樣從天文學及物理學底大規模的諸現象（這些看來必然是決定論的）、到正相反對的極端之小規模的現象、通過理路的大道而被發見過事，一一加以說明，然後更繼續

說道：——（註二十六）

“現在我堅決地相信在量子力學上我們接觸了這些界限了……

“同時當作在自然法則上表現邁運命這一概念，由於我們分析底結果，其意義看來也是非常薄弱了。如果只由於誤解，則它不能安置與自由意志對立的位置。”

我不相信，物理學底各事實、與其解釋，在物理學的純粹的領域內科學者間有甚麼爭論。反之，我相信在這點上學者們都完全同意的。只有在物理學者們企圖臆測科學之將來的進步（如上引的蒲郎克底文字即其一例）或推量人間底自由意志底究極問題時，才發生意見上過差異。叔本華（Schopenhauer）有名的話——“人能作他自己所意欲過事，但是不能意欲他所意欲過事”——，這句話包括兩個可以區別的語句。這句話底後半因為是關係於可以在連結心身過橋梁之心底側邊發生過偶然事件，所以與物理學這一方面無關。但在前半則關係於物理學了。要之，這是看做與十九世紀物理學相矛盾的，但與現今的物理學則並不衝突。與將來的物理學是否背馳呢，這種回答便必得待諸將來。

但是只有這事才是可以說的。即是在通常看做物理學

之堅固不拔的閉括線(closed cycle) 過地方，已開始發見罅隙了。人間底意志通過這些罅隙是否影響自然底作用這一問題，畢竟是看兩者底性質是否有充分相似之點、是否相互可以發生作用而定——除了我們持有與鎖同性質適鑰匙，則鎖孔是無用的。如笛卡兒(Descartes) 所主張的一樣，也可以說，因為心影響於物質，所以其性質與物質非常相異。

精神與物質

在笛卡兒以後過一世紀，我們看出柏克萊(Berkeley) 主張，說我們沒有權利說物質不同於心。除了從我們底心底知覺而來過知識外，關於任何物質都沒具有知識，那末假定心物兩者是異質的這種根據又在那裏呢？我們底心外的物質產生我們底心內的觀念。原因與結果必是相似的性質。所以“畢竟除觀念外在觀念上並沒有相似的東西”。因此柏克萊主張物質必與觀念同性質，如我們在夢中所看見過物質一樣。心不能影響物質這一句話，與同心不能影響觀念這一句話，在現在都是同樣無稽。

但在他之後發生過一派哲學指示上面的議論是如何能夠變成打擊其倡始者過武器。就說物質與精神是同性質，那末我們又怎樣知道它們是精神底性質而非物質底性質呢？

當時的科學對於物質申言知道得很多，可是無疑地對於物質則知道得非常之少。於是，如要科學地描畫物質，則似乎也不得不描出精神及其作用。這個形像就是我們常常所引用的——機械的原子之混亂的一個集團，向着宿命地被決定了的目的，盲目地進着他們所豫定邁道程。

這議論底論理成立了，但是作為前提邁物質底形像則未成立。要是現在科學描畫任何物質像，則它便是在任一方面都接近於精神邁東西。

這事在某程度不得不是實際的。把自然當作盲目的彷徨性底原子之集團描出的那種舊科學，宣言寫出一個完全客觀的宇宙。公言那是全然位於知覺它邁精神之外部而又與精神隔離邁東西。然而近代科學決不這樣自負。其研究主題是我們對自然之觀察，不是自然自身，這是直率地承認的。新的自然像所以不可免地與物質一樣非包括精神不可——知覺的精神與被知覺的物質——從而比在以前不同邁形像必然更有精神的性質。

雖然，物理學現在底狀態底本質並不是某精神的東西導入新的自然像了，而且沒有甚麼非精神的東西從舊來的自然像中殘生出來。如果一看舊的形像慢慢地變化成新的形像邁徑路，則對物質添加精神，我們並沒有看見，而且物

質之完全消滅也并沒看見。至少舊物理學構造其客觀的宇宙之物質并沒消滅完。

愛斯坦·海森堡集中研究於可觀察過東西之方策，最初可以當作只是科學的技法採用，也沒多大關係。對於觀察所不能施過事項，盡可能地設以少數的假定，這顯然有豫戒的意義。因此作不正當的假定與無報償的勞力過危險，是減少

了。

用這種方策過結果表現成爲如次的兩種形式。其一，如果觀察的現象是自立的客觀的自然之證跡，則這方法首先就期待整頓可觀察的東西，而後對於橫在其背後過不能觀察的東西之真實的性質投以多少的光明。若果在另一方面自然大部或全部是主觀的，則依上說的方法而期待這事情之明瞭。實際上，結果漸次接近於後的場合，不接近於前的場合了。可觀察的東西并不爲其背後實在中之假想的不可觀察過東西所支配而保全其自己底存在。而且也不依存於從前方觀察它們過我們底意識的精神，就是電子與陽電子以及其種種變化的排列，也不能給與真的原始的性質，正如洛克(Locke)與笛卡兒底空間上舊來的質量、運動、外延等一樣。與相對性理論把後者從王位上趕下來一樣，量子理論剝奪了前者底王冠，都是一樣的有力。因此集中於可觀察

的東西這一方法所得過結果，與豫想不可觀察的東西自立而到達過結果，是不同的。此事對於往昔的哲學之“存在的即是知覺的”(Esse est percipi)這一定言，似乎賦與了一個新的意義。

這樣的考察無論在數學的物理學底現狀下所有的議論上，都加添了顯著的主觀的色彩。然而我們不得不警戒，在我們底討論這一點上，不許採取錯誤的方向。即或我們所假定過不可觀察的東西——即電子與陽電子等——確定為全然是主觀的，這也不能就證明了凡是自然都是主觀的。我們底不能觀察的東西只不過臆測而已。這些特殊的不可觀察的東西說不定也是不良的臆測。說不定也是由我們底想像所隨意造出過東西。但是這并不就成立了這樣的推論，說其他的東西也不過不良的臆測而已。只有更能了解現狀過人才感覺得有探查更新的不可觀察過東西之必要。

就要探究任何目的也并不困難。如上所述，把物質當作電子與陽電子構成過東西而處理過粒子像，在某種意味上，是不能指示物質之真的性質的。但是波動像這一方無論何處都不失敗的。從而有指示到達某種實在(第七章『客觀波及主觀波』)之真的入口也未可知。於是這種形像底波動當然是不可觀察的東西。這也許是這樣，除研究電子與陽電子

而外，關於這些過研究能夠使我們到達隱蔽在現象背後過客觀的實在。我們要使這些波動關聯於粒子過企圖成爲導入主觀性過結果。但是這不是從波動這方面進入的，而是由粒子這一邊進來的。至此我們解釋波動是規定在空時諸點上存在過粒子底確率過東西。同樣能夠當作規定空間諸點上偶然事件底確率性過東西，而說明波動。——即如景幕上過光點、因假定的「電子」底衝突而來過照像板上之黑影。

事實上要是這些波動把我們引到了一個客觀的實在，則我們與其使它們關聯於粒子，毋寧使之關聯於偶發事件。因爲如已經說過的（第六章『波動底形像』與第七章『客觀波及主觀波』），波動對於粒子沒有任何客觀的存在，在粒子上只是存在這一事以外任何事情也不發生。量子說在光子從輻射源向空中飛出過一瞬間把它捕捉着了。分析它們，企圖使它們與在一個核底電氣的引力之下過一個假定的電子（第五章『原子底構造』）底運動相關聯。但是這種方法在假定的電子從電場飛去時，并不能與其電子以任何的客觀的規定。如上所述，爲要把我們底物質客觀化，則非把隔離的電子與陽電子全然置之電場之外不可。它們之獲得客觀的實在性只有在它們結合而形成原子產生事件過場合（『客觀波及主觀波』參照）才行。恰與我們底個人的空間與時間

爲要獲得客觀的實在性，它們則不得不結合而形成四次元底時空一樣。

這兒有反對者也說不定。因爲在這理論之中除了關於我們底輻射之知識以外別無何物，所以我們不能期待對於事物之積極的知識之發生。但是如果電子與陽電子各各獨立而能作客觀地規定，則在其結合體底規定上，也許能夠期待把這兩個成分一一區別出來。但是要這樣說，顯然是不可能。量子說并鼓舞我們把結合體認作兩個粒子底並置。只是把此結合體認作在時空中射出過一個輻射源。

在這兒就說不確定性原理使客觀的規定成爲不可能，也不能解決這個懸案。這等於把車子駕於馬前一樣。客觀的規定之不可能是附接於波動像的。所以要是如我們現在所假定的，把波動像當作基本的，則不確定性原理便不是這不可能性底原因，而爲其結果。

這，關於隔離的電子與陽電子果否存於實在界這事，當然惹起疑念。相對性理論也使之生出同樣的疑念，不過它是以稍許不同的形式出之。因爲在實驗物理學把所謂物質還原爲電子與陽電子的究極要素之後，相對性理論認爲有更進一步分解之必要。依舊物理學，物質底粒子具有時間上連續的存在這一特性。在相對性理論上，因空時底連續線表示

此連續底存在，然後把此線分解成點，以每一點表示一個「事象」——即是一瞬間上粒子底存在。空間在各點上被歪曲，特別在沿着此線適諸點上其歪曲更顯著。但是在這些點上適歪曲，與在其本質的特性上，與其它場所上適歪曲無或稍異。若果粒子在空間中超出這唯一的一點以外沒有任何擴張，那我們便可以知道在這歪曲上產生銳的邊緣或田隴 (Ridge)，但是如以上所述，我們不能對這些原始的粒子附與決定的局限或顯然被限定的界限；粒子底波動像，不論它是甚麼，都決不是一點。因而一個粒子底「世界線」，嚴格說來不是線。它是一個連續的無界限的彎曲了的場處。它不得不在論理上分離成小的彎曲的諸點。——而粒子本身分解成事象。這些事象底大部分是不可觀察的，只有在兩個粒子結合或相互接近時，才成爲感觸我們底感官適一個可以觀察的事象。在中間的時間我們對於粒子底存在沒有知識，從而觀察只教我們把它認作關於其存在而孤立的諸事象之繼起。

或許有人反對，說自然界并不如這些粒子是實際存在的那樣進行，這對粒子是實在的一事給與推定的證據。而且可以說用同樣的論法也能證明光量子底實在。如向來考究過的，光量子底存在之證據與電子之存在底證據是同類型

(第五章『光量子』節)，而且自然底大部分則由於假定光量子之實在而得以說明(參見同前)。實際如次的憑空的想像也可能的。這兒就當作銀河空中遊生物，也是存在的。在那兒物質稀有，他沒具有我們底物質的感官，而具備有電氣的感官。從而他把光量子認作實在之基本的成分，把物質看做是在自然底一般路線以外遊東西。但是如已說過的，光量子不過自由振動底結合。所以要是波動像是根本的東西，光量子則不能有我們常常歸之於電子那樣種類的實在性。這樣，若果光量子一定要從實在界被趕出去，則保存電子與陽電子遊任何理由都難成立了。

此時在單獨的存在與同一性存在之間有加以明確的區別之必要。例如磅、先令、便士等銀行計算所用遊金子，雖然有實在性，但沒有同一的存在性。我們不能說它們是英蘭銀行發行的第幾號紙幣那樣的同一性。在物理學上，能也是一樣。舉例說，照見我底屋子遊光線底能，如果說成與從前桑生 (Samson) 在加熟 (Gaza) 家中拆倒圓柱遊能是同一的，則毫無意義而且滑稽之至。因為能是沒有同一的存在性的。同樣，就電子也是一樣。當兩隻犬 A、B 合鬥時，兩隻負了傷遊犬 C、D 與前者所表現遊形像無或稍異；但是常常是可以這樣的，例如 C 是 A，D 是 B。可是如果兩個電子相會合時，

就不是這樣了。賦與同一性不但實驗上不可能，而且理論上也無意義。就假定它是可能，在物理學上也會發生困難，而產生錯誤的結果。但是當電子與陽電子結合而形成一個原子時，是認為這個原子至少經過一個長的期間保有一個同一性存在。在現在就是說某黃金原子是克僚帕特拉 (Cleopatra) 底王冠底一部分也不是沒有甚麼意義，不過說某電子形造她所吞過真珠底一部分則無意義了。無疑地，把事象看做是穿在電子與陽電子之上，如像念珠穿在一根線上一樣，這到常常感到便利，但是通過這線過方式也不過主觀的選擇的問題而已。我可以照這種方法穿，你可以照別種方法穿，而兩種方法都同樣正確，因此事象是可以看作根本的客觀的構成要素處理的，從而我們再不把宇宙看成是存在於時間之中、在空間中運動過物質之剛體所構成的了。

立於如上的根據之上時，我們與萊普尼茨一樣都可以如次推斷。即普通所理會過物質、固體與堅硬的粒子底物質無任何實在的存在，因為用混亂的方法——由於人間的眼鏡之偏視——觀察非物質的事物，它才似乎是存在的。形成真的客觀的實在的，不是粒子而是事象。因此所謂一塊物質，如用羅素 (Bertrand Russells) 底話說，則

“不是有變化的狀態過固定物，而是相互關係底體

系。舊來的固體性已過去了。與這一樣，使物質論者認物質比容易移動的思想更是實在的適特性也喪失了。”

因為精神與物質全然不同，所以任何相互作用都不可能，像因這樣的俗見而來逆抗議，用上說的看法立刻把一切的力都奪去了。如物質也被分解成事象，則反對論早已不能支持了。我們知道精神與肉體所造過橋梁兩側底地域是為事象所占有的。如羅素所說：——（註二十七）

“在我們底精神上發生逆事象是自然過程之一部分，而且即或在這以外適地方有事象發生，也不能斷言它是全然異質的東西。”

因此精神與物質兩者不能相互發生作用這一議論，早已失去其理由了。這自然使我們走到那樣的思想，即是非常類似柏克萊底有名的說法、穿上了近代的外衣、以科學的知識為後盾那樣的思想。如再引用羅素底話，則是：——（註二十八）

“立於近代科學之上適哲學，為了使我們相信因而提供逆世界，在許多點上，都比前世紀所設想逆物質底世界，對於我們自身都會抱着更親近之感。”

（註二十七）『哲學大綱』P.311。

（註二十八）『上書』P.311。

數學的模型

愛斯坦如次寫着——(註二十九)

“在每一重要的進步中，物理學者發見出，在實驗研究進步的時候，基本的諸法則愈益單純化。他注意到崇高的秩序是怎樣從外觀似乎混沌的東西發生時，便被驚駭着了。而且這不能歸之於他自己底精神作用，而是由於感覺世界內所固有過本質。”

惠爾亦作出類似的議論，他寫道：——(註三十)

“最值得驚奇的不是在自然法則之爲存在。而是分析愈前進，而細目更加精細，現象還原爲更精細的成分時，則根本的關係更成爲單純，并不如原來任何人所想像的那樣複雜。愈益單純化，則實際的現象之記述便愈益精確。”

在本書上，關於向此單純性趨傾向，我們已充分承認其證據了。我們看見，黑洛 (Hero) 對於歐克里得 (Euclid) 底兩個法則進行簡單的綜合，而這綜合漸次擴大其範圍，結果至於包含着宇宙中差不多一切的活動，然而還是維持着數

(註二十九) 『科學到何處去』底序文。P. 13。

(註三十) The Open World, 中, 41.

學的形式之最初所由來過單純性。現象的自然還原成四次元連續體的事象底排列，而這些事象底排列又是用極單純的數學方式所表示，這是明白了的。構成其排列底根柢之模型底發見，可以期待着爲甚麼這特殊的排列是優於其它的排列這若干理由底暗示。這似乎我們要立志研究一幅繪畫底根本的組織，而結果發見這是由於規則地安置間隔過許多點所構成，恰如一種網目印刷板樣。這兒我們不問當作全體解釋過繪畫是何意義。從道德的或審美的種種方面都可以觀賞它。我們所關心的只是此繪畫之根本的組織。如深加研究，則那幅繪畫底紙質，例如在甚麼東西上描畫，也可以明瞭到某種程度。但是關於上說的黑點，科學則不能知道。只知道其排列是極單純的。

這單純性是數學的。在數學上雖是能夠非常簡單地解釋，但在其它其方法上則似乎是不可能。在這兒想起了鄧伊爾 (Boyle) 所說過話，數學是自然所寫下過文字底字母。這言語底文字其意義也許是精神的，也許不是精神的。目下重要之點在於，就在這字母之內，我們都能發見，這兒所考慮過實在，與我們使之聯繫於單是精神的概念那種實在，沒有若何差異。這些精神的概念不是我們所想的、與機械技師、詩人或道德家底工作相關聯過那種東西。那只是與只將單

純的思想爲材料過思想家，在書齋中埋頭工作過數學者底思索相關聯過那種東西。

空間對此事提供一個明白的類例。有限空間底概念把天文學還原爲法則與秩序，恰如地球之有限表面把地理學還原爲法則與秩序一樣。製造一個地球表面底模型是容易的。我們只考察任何其它的球體，其表面——這兒有從物質到非物質之某物過轉移——把我們所求過模型給與我們了。但是我們不能同樣製作有限空間底模型，因爲我們不能夠想像從空間到不是空間過某物底轉移層。無論誰，只要他用筆或用口表示空間之有限，都要遇着如次的質問底攻擊，即橫於有限空間之外的是甚麼東西呢？我們聽見說，把有限空間看作物理的實在是不可能。要是我們要考察有限空間，那末立刻就要問，在那空間底外方的是甚麼東西呢？這不是空間又是甚麼呢？就這樣追跡下去，便沒有際限。因而證明空間不能是有限。

要是我們斷心不把實在性賦與有限空間，而只考察當作純粹的精神的概念之實在性，則我們便立刻明白我們應走過路道了。我們日常的考慮決沒有超出空間之有限部分以外，所以當作精神的過程之架構過有限空間，誰也是周知的。

如欲把法則與秩序導入自然現象中，則似乎不得不假定有限空間是正擴張着。這也引起同樣的疑問。空間除了擴張到另外的空間，又能向那裏擴張呢？然而要是這樣，則繼續擴張下去遡空間不能說是全部空間；就照這樣討論下去，結果歸結於空間全部不能繼續擴張。於是對於宇宙底空間，除了當作心的概念之外，不能賦與何等實在性。雖然意欲以任何別的方法賦與空間以某程度的實在性，但這只足以導入混亂與矛盾而已。

有人主張，說這並不是甚麼新的事情，因為我們早就知道，空間除當作連續性底一構成要素之外，并無何等客觀的實在性。但是同樣的考察就是連續性本身也能適用。這就是唯一的實體，科學於此中吸收一切其它的東西，客觀的實在性似乎只有這點才可能。但是我們能夠想像連續性也不是有限的。如果不把這個當作單純的精神的概念處理，就會遇着如次的質問，即是在界限以外是甚麼東西呢？但是在把它作概念地處理時，則發見自然全體還原為精神的概念。因為自然底組織除了空時連續底組織外便一無所有了。

有些人對於愛斯坦如次的見解提出反對，即是反對這種模型底單純性是知覺底世界所固有的那樣見解，并主張那是歸因於我們底心所知覺的方法底如何。澈底祖述康德

適人自會主張我們底心對於自然是當作立法者而君臨的，向着外界指示其現象應該爲我們所知覺適途徑。只有形式整直的便士才在自動機械中發見，這一事實並沒有證明在機械外適世界就存有整直的便士。只是表示這個機械有只受入整直的便士適選擇的裝置。同樣，我們底心對於單純的數學的法則也許有一種選擇作用。

如照上說的見解，則我們所想像適自然法則不過表示我們自身底心的過程之規定而已。它對於自然所告訴我們的非常之少，或者可以說全然沒有告示一點甚麼東西，只是對於我自身說了一些事情。但是若果那樣，那末這些法則所教訓我們的，在明確的意義上又是甚麼東西呢？我們底心是自然而且必然地向着數陣 (matrices)、張弛、四次元幾何學、以加一 (minus) 的種種平方根走下去嗎？就是每一個小學生也會把那種提問當作怪誕不經而屏斥之，而物理學者却一定會贊成它。若果我們底心把數學的底諸性質強入自然，則我們便應設計比在此書所述的更容易理解適自然。我們覺得，相信因困難之故而引起反感適數陣、張弛、攪亂頭腦適四次元幾何學底構造都是從外部世界給與我們的，無異乎小孩子相信刺入他自己底手指適針是從外面來的一樣。由此推之，就關於連續體之諸事象底排列底單純性，也

可說是同樣的。

更進一步考察，若果數學者只不過把他自己所作出遊數學的法則強入自然，那末爲甚麼藝術家、詩人、乃至道德家都作同樣的事情而不得成功呢？爲甚麼藝術家不能說——“夕陽現在會變成淡綠、或微紫；在光線稀薄時完全保持着它，這樣的事是必要的。”，“星在新月所構成適月缺底中心會現露出來，因爲它是星與新月之配置最美麗的形狀了”呢？我們知道這樣的豫言是無價值的。西方地平線上遊雲，適應於美術底規矩，而不發生夕陽底色彩。只有依照純數學的某種概念而繼續運動，才表示出色。發見日沒底將來的現象之唯一的途徑，在於把發見諸事象之何種秩序在連續體中不斷地使一個間隔成爲極小遊數學的問題解決。

最後，若果我們底數學的心在今日能夠把自然裝入心底法則底模型，那末爲甚麼在二十世紀之前，並沒有這樣做呢？人類的精神之固有的本質，在蒲郎克一九〇〇年發表他底有名的論文時，遭逢了革命的底變化，這幾乎是不能設想的事。假如新的知識不表示自然而表示人心底特長，則必然地某些博學的形而上學者一定已經豫見了只有數學的形像才能成功。要是那樣，科學描畫其它種類的種種形像應不是徒勞了的吧。經過了三個世紀，科學把機械的思想投向於自

然因而使自然底大部分荒廢。然而二十世紀底科學，因為把純數學底思想投射於自然，而發見了它們與自然完全適合，正如森德里娜(Cinderella)底滑冰鞋(slipper)合她底足那樣。就說我們使足適合滑冰鞋，也到底不能滿足地說明這個。因為已經有許多其它的滑冰鞋先就試過了，但是使了各種工夫都不能把足弄進去。

數學的形像適合於自然界這一事實，我想不得不當作科學底新發見而被承許。它具體地指示出，在一般的論法上不論怎樣都不能豫知過自然底新知識。若果把我們底知識從現象底言語翻譯成實在底言語，則“數學的”這一個字，我想應該用一個實在的言詞來作一種翻譯。這只不過表示把握現象過一種形式，這并沒被葬送去。若果如此，這似乎暗示着，實在非有一種精神的性質不可。

到究極的實在之道

然而對於橫在自然底數學的描敘之根柢下過物理的實在之討究，至今已失敗了，這樣的事實當然不是說這研究永遠都會失敗。科學更進一步，我們底現在的數學的抽象便可以穿着物理的實在性底新的外衣，而且甚至具現物質的實體性，這我們一定認作可以推測的 $\sqrt{\text{ }}$ 在其中演着重要的任

務那種數式，如何能夠容許如此的解釋呢，要想像這個是不容易的事，不過因為最近的值得驚奇的千奇萬變的變化底印象在現在我們底心中尚是新鮮的，所以我們不能忽視其可能性。然而因為這是在我們現在的視界之外，所以就關於其新的外衣之品定，也尚未開始。或許自然恢復到機械的諸性質也未可知。空時也許是浮游於不是空時過某物之中過實體的島。就照這樣，任何東西也不能當作不可能而就率性把它抹煞。

或許是這樣，如此的實體的或物質的外衣，永不會發見，我們對宇宙過知識，其本質永遠同一於現在的知識。即是由我們底知覺得來過知識是用一團數學方式表示的，這方式是用數學者底印記刻印的。此種數式是當作思想在自己底領域內活動過結果而產生的。在如此的情形之下，在形式底背後也可說有非精神的實在，也可以說沒有非精神的實在。即或就有，它也是在以我們底科學的技能所能想像過範圍以外。

所有這些可能性都是在茫茫曠野之中，因為一切都是屬於未來與未知界的。沿着科學正在進行過路道，我們底積極的知識，停止於隱在我們背後過部分。在前面這路道延長到何處呢，其究極是像怎樣的狀態呢，我們都只有推測，別

無辦法。

某些人也許要這樣想，以為最巽似的推測是，就到了終點其景像還是與在半途的旅舍中所見着的一樣，如既已述過的，物理學最近的進步，從純粹人間的見解看，是由於繼續解放的結果。在我們未取去這人間的眼鏡之前，我們最終的自然底印象是像在機械的大洋之中四方都被包圍着樣。當我們慢慢取下我們底眼鏡時，我們看見機械的概念漸次把地位交代給精神的觀念。如果事實上不容許全然不用這樣的眼鏡，那末我們可以推測，要是這樣，則結果物質、機械像全都潛形了，只有精神的東西只儼然存在。

其它的人以為時間底擺錘會要再回轉來。

大略地說，這兩個臆測是理想主義者與實在論者底見解之差異。或者可以說做觀念論者與物質論者底自然觀底對立。迄今，擺錘還是沒有看見回轉來。因而宇宙中我們所找出遊法則與秩序，大部分用理想主義底言詞是最容易記述的，又最容易說明的，我想。雖不得不設定已指摘過種種保留，總之今日底科學可說傾向於理想主義。要之這理想主義常常主張說因為人類研究自然所出發遊道程底最初的第一步是精神的，所以其終局也應該是精神的，這種可能性是很多的。現在的科學在這上面加添說，在今日所到達了遊最

後的地點上，非精神的東西底大部分及至幾乎全體都消解了，從非精神的東西之中，不能出現何等新的東西。雖然，誰又來說，在轉其次一個灣時，甚麼東西又在期待着我們呢？

譯 後

這是一本理論物理學書，自然必有其哲學底基礎。在序言上我們就看見秦斯要用他底“科學者底哲學、而非形而上學者底哲學”來“窺探統一的體系的新知識，”并“評價其全部的的意義”了。他對於“科學的思想要求再建”。（統見一二頁）他把一切科學發達底成果綜合起來，用他自己底哲學重組合成一座宇宙。

那末他底哲學是甚麼呢？在序言中他說及他底哲學時說，“它與把十九世紀物理學特徵化了逆物質論和嚴格的有定論離得很遠”（一三頁）。這不消說它是二十世紀新興的觀念論和無定論了。所以在書末尾他歸結道，“總之今日底科

學可說傾向於理想主義。這理想主義常常主張，說，因為人類研究自然所出發過程最初的第一步，是精神的，所以其終局也是精神的。”(三五七頁)“非精神的東西底大部分乃至全體都消解了，從非精神的東西之下，不能出現何等新的東西。”(三五九頁)大概這就是他底科學的哲學基礎吧。

二十世紀底科學家，除少數——如愛斯坦、蒲郎克外，大體都是同秦斯一樣。如愛丁頓、海森堡、斯魯丁格等，都是一丘之貉。他們還大言不慚地高唱“革命的物理學”，重建“科學的世界觀”！新近的科學上一切底成就，似乎都幫助了他們。例如，愛斯坦說，離開空間就沒有時間，離了時間也沒有空間；沒有絕對的時間，也沒有絕對的空間。但秦斯就偏偏要強奸愛氏，說他“廢棄了客觀的(點是加的)…時間，或客觀的…空間”。(一二四)他以為說了相對就成主觀了，說沒有絕對的，就是沒有客觀的了。殊不知愛氏明明說沒有物質的空間時間是不存在的呢！而且他所說之“局所時空”并不是非絕對的。它如因了量子論、波動力學、熱力學函學之建立，而就否認因果律，主張“蓋然律”，自由意志，也是一樣。這充分證明了現代的科學家不能把握其科學本身底發展了。科學前進一步，他們更後退一步。他們不但不能推進科學，他們反而阻礙了科學底前進。這非改變他們底觀點和

方法是不行的。

如欲把他們底錯誤之點一一指摘出來，倒不是簡單的語句所克蕺事的。這種巨大的工作是需得自然科學家澈底覺悟，吸收新興的理論，科學才有光明的前途。

可以糾正這一偏弊的，在中國的書籍中還找不出多少，這兒有兩本書可以介紹：（一）『甚麼叫做物質』（二）『物理學概論』。此外翻譯的書也有一些，如『自然科學新論』。其翻譯兼著作的，有『科學論叢』。在雜誌方面，『二十世紀』（已出兩卷）是正確的科學的理論雜誌，可以參看（均辛壘出版）。

『科學叢書』原是爲物質論的哲學研究提供材料，讀者必須批判地讀。這是我們說過多次的。在出齊以後，對於科學的理論當有一番整個的批判和鑑定。所以在這兒也不能多費筆墨。至於觀念論者們以爲我們介紹觀念論派科學家底科學著作，就表示自慰，那倒要勸你們勿得高興過早哩！

1933. 11. 26. 譯者