

C B A 論 對 相

冊 下

森 剛 王

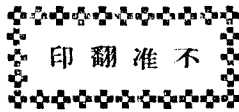
版 出 局 書 界 世

中華民國十九年一月出版

相對論 A B C 下 (全一冊)

〔平裝五角 精裝

(外埠酌加郵費匯費)



不准翻印

著者 Bertrand Russell
譯者 王剛 森
出版者 ABC 叢書社
發行者 世界書局

發行所 上海四馬路 世界書局

羅素小傳

羅素 (Hon. Bertrand Russell) 英國人，一八七二年五月十八生於英蒙茅慈縣 (Monmouth Shire) 之脫萊克 (Trelleck) 地方。他的世系是英國貴族，祖父是伯爵，在維多利亞時代，曾任兩



次首相，是一位有名的改進派政治家；父親是子爵，他自己是長兄羅素伯爵的假定承嗣，所以有榮譽 (Honorable) 的頭銜。少年時在劍橋大

學 (Cambridge University) 內三一書院 (

Trinity College) 讀算學和哲學。三一學院以算學聞名，許多有名的算學家都從這書院出身。羅素就在這大學裏得到碩士學

位。

他在求學時也涉獵社會、政治、心理各科，所以早已注意女權、自由貿易、競爭選舉諸問題。一九〇八年被選爲倫敦皇家學會會員 (F.R.S.)，又做過亞理士多德學會會長和算學會會員。一九一五年美國哥倫比亞大學因他對於邏輯有新貢獻，給與第一次巴特洛金獎章。歐戰前任母校邏輯和算學原理的講席，因反對德宣戰而罷免。

羅素是現代一位最著名的哲學家。他的最大貢獻是闡明「算理邏輯學」 (Mathematical Logic)，他要把算學公式構成一部邏輯。在這部邏輯裏，除了解釋符號須用文字外，完全只有算學的符號和公式，所以這種邏輯又稱「符號邏輯」 (Symbolic Logic)。他和這派學者的健將懷脫海特博士 (Dr. A. N. White-

head) 合著三大冊的算學原理 (Principia Mathematicae) ，不過所講的原理太艱深，非有高深邏輯和算學的知識，及清晰的思致，不易卒讀。他個人又做了一本算理哲學概論 (Introduction to Mathematical Philosophy) ，以供初讀者之研究。他的哲學主張「邏輯的原子論」(Logical Atomism) ，又名「絕對多元論」(Absolute Pluralism) 。一方面主張多元，一方面又主張多元不能成爲一個宇宙。承認在宇宙中有種種的個體和關係，而不承認有一個包括一切的宇宙根基。他的哲學實在太專門了，所以很難領悟。杜威說過：『有人說，世界上真能看懂算理哲學的人，至多不過二十人，我既不是二十人之一，我也不能懂的。』(見杜威講演錄)

羅素對於近代物理的新學說，像相對論、電子論、量子

論等無不有深切的研究。在他的哲學裏常常要應用這種新學說來解釋他的新宇宙觀。最可驚奇的是用了自己哲學裏的一種「邏輯和解析的方法」作心理學的新研究，結果可得和美國最新的「行為派心理學」的結論，有許多同點。羅素的學問非常淵博，就是關於社會或心理的研究，已足使其名傳不朽。前後出版的書籍論文，不勝枚舉。社會和心理名著有：到自由之路，游俄感想，社會改造原則，和心的分析等書。說到他的散文的天才，流利明暢，一時無兩。演講時措辭明晰透澈，莊諧雜作，令人久聽不倦。

羅素曾到過美國講演多次，也到過法國。歐戰時因良心主張和平，反對對德戰爭，致在劍橋大學之講席亦遭革斥，並不許赴美應哈佛大學演講之先約。後來他的主張平和言論

，更形強固，政府畏懼，遂加以數月禁錮之刑。歐戰後劍橋大學仍請其回任。一九二〇年到俄觀察新俄社會政治狀況，和女友伯拉克女士（Miss Dora W. Black）同著實行上與理論上的布爾什維克主義一書。

一九二〇年十月應我國北平學術講演會之約，和白拉克女士同到北平講學。在北京大學和他處演講「哲學問題」，「心的分析」，「物的分析」，「社會問題」等題，由趙元任博士繙釋，每次聽講者數千人，至會場不能容而羣集於窗外。我國學術界之思想，爲之一變。

羅素曾爲北大數理學會擔任演講其本身主張的「算理邏輯」。不幸於二講後忽罹肺炎，致講演中輟。譯者斯時適在北平，即任羅素演講錄筆記之職，記得當其病危時，謠傳不

救，北平各報都載有「大哲學家羅素逝世」消息。但幸經德國醫院名醫狄博爾等之診治，始轉危爲安，卽匆匆回國，致此項講演未能終結，常自引爲憾事。

羅素對於我國舊學，頗多讚美之辭，尤其是老莊哲學和古詩。所著書籍內常引吾國名著的句子。如到自由之路的卷首題引老子內「生而不有，爲而不持，長而不宰」的句子；在本書內亦引詩經內小雅十月之交一詩。爲人和藹可親，在北平講學時嘗爲譯者解釋疑難，娓娓不倦。曾受其教誨者，類能道其人格之高超，和殷勤教誨之真忱也。

一九二九年三月譯者作傳

目次

羅素小傳

第八章	愛因斯坦引力定律	一
第九章	愛因斯坦引力定律之證明	二一
第十章	質量、運動量、能力、作用	三四
第十一章	宇宙是否有限的	五四
第十二章	擬定的法則和自然定律	七〇
第十三章	『力』之廢棄	八五
第十四章	物質是什麼	九九

第十五章 哲學的結論……………一二二

附錄 重要相對論書籍目錄……………一二五

羅素所著的書籍目錄……………一二八

相對論 A B C 下

第八章 愛因斯坦引力定律

在從事討論愛因斯坦新定律以前，吾人最好能自信牛頓
引力定律，照邏輯的立場說，不能算作十分正確的。

牛頓說物質兩質點間皆有吸力，其大小和兩質點質量之
乘積成正比，而和其距離之平方成反比。質量問題現姑置而
不論，設以兩質點相距一哩時所生之吸力為標準，則此兩質
點相距二哩時，其吸力只有四分之一，相距三哩時，其吸力
只有九分之一，依此類推：距離漸增則吸力之遞減更速。牛
頓所謂之距離，當然指在某一時間的距離；他覺得時間的意

義是並不含混的。但是現在我們知道他的意見是不對的。某觀察者判斷某時對於地球及太陽上說適爲同時，他觀察者判斷之則覺非同時。『在某一時間的距離』已成爲主觀的概念，不能用以研究天體的定律。當然我們可以採用格林尼治天文台時作公共的標準，這樣所得的定律就不致於兩歧了。不過在地面上隨時發生的情況，都要受這般嚴密的規定，似乎也不便罷。就是說到計量距離，也依各觀察者的情形而有變易。所以牛頓引力定律之公式，吾人不能認爲十分正確，因爲各人採用都一樣是合理的習用量法，而所得之結果卻互異。這正和判決某人是否殺人囚犯，要看他所招認之姓名是否原名或外號而定，是一般的矛盾不通。物理的定律當然不依所用之量度爲哩或呎而有變易，這個原則也可以推論到我們

現在所討論的問題。

就是在特殊相對論裏所採用的量度，也還是根據吾人情况之便利而沿用的。但物體的實質之各種量度，卻應從物理的方法得來；其結果纔可作實驗的張本，而不會依吾人平常所選用的標準生變化。所以現在暫且不論怎樣假定去計量一樁事物。我們先假定有一種物理的量，叫作『間距』，是兩樁相距不遠的事情之一種關係；不過我們除了上一章裏表明間距是廣義的披他各拉司定理外，並沒有預先假定怎樣去計量。

我們卻已假定事情發生是有『次序』的，這種次序是指四度而言。就是說我們假定知道某樁事情和一樁事情比他樁事情要近些的意義，所以在作精密計量以前，可以先說一樁

事情的『隣近』之意義；我們又假定要定事情在時空中的位置，須用四個量（坐標）——像以前章的例子說飛機的爆裂時可用經度、緯度、高度和時間來定。但是我們並沒有假定用何種方法來定事情的坐標，不過只說過隣近的事情須用隣近的坐標來定而已。

用數量來定事物之坐標，其方法不能完全任意的，也是由於精密計量的結果——處於這兩種情況之間。在一連續之旅途中，每處所用的坐標不會間歇斷續的。如說在美國某處第十四條街和第十五條街間之房屋，可用一千四百和一千五百兩數間的數目來表示，第十五條街和第十六條街之房屋可用一千五百和一千六百兩數間的數目來表示，雖然不用一千四百以前的數目也沒有關係的。但是這個譬喻不足以說明

我們所討論的問題，因為從一家房屋到第二家房屋時是間歇斷續的。我們或許可以照下法來定時間坐標：如說把斯密司的相隣兩誕日中之過渡時間作標準；某椿事情發生於斯密司第三千年之誕日與第三千零一年之誕日間，則其坐標在三千和三千零一的兩數之間；表示這坐標的數目的分數一部，就是這事情發生於斯密司誕生三千年後的幾分之幾年。這種定時間坐標的方法是完全一定的，但是仍然不合於我們所討論的問題，因為一椿事情恰好發生於斯密司誕生以前和他椿事情恰好發生於斯密司誕生以後，其相隔時間仍是飛躍不連的，所以在連續的旅途中，這種時間坐標並不是連續變化。現在假定不用計量的方法，我們已知連續旅途的意義。在時空中之位置連續變更時，則其四個坐標也連續變更其數值。四

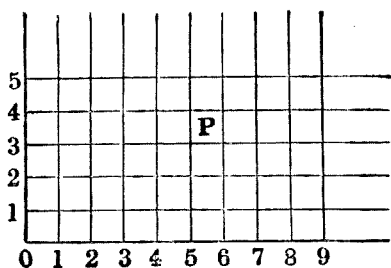


圖 A

值中之一值、二值、或三值或可保持原值不變；但無論如何變化，其情況必係平滑漸變，決不能飛躍的。所以上面所舉的例子不足以當作定坐標的方法。

要解釋坐標變化時之真相，可用一大張橡皮膜來說明。

在平正橡皮面上，畫許多小正方形，每格之長度為十分之一吋。在每方格四角各插一小釘。每釘所處位置之兩坐標，就是在牠左邊一列的釘數，和下面一行的釘數。在 A 圖，0 為出發點，求定 P 釘之坐標。P 處於第五列第三行，所以 P 平皮在橡面上的坐標為 5 和 3。

設將此橡皮膜任意引伸扭曲。各釘

距離。定坐標法除連續為必要條件外，任何方法都可以的，是連續的，其扭曲也是連續的，所以可以當作定坐標的單位

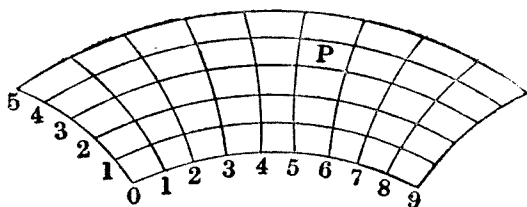


圖 B

所處之位置如B圖所示。則每格之距離不一，不像A圖齊整，但是一樣也可以定坐標的。p點的坐標在橡皮平面上仍然可以當作5和3；就是把這橡皮構成曲面，我們仍然可以當作平面看待。這樣連續的變形是沒有影響的。

下面再作一種說明：用一條活鱧代替鋼尺來定坐標，鱧之軀體是常常扭曲的。無論何時和其軀體之形狀若何，自尾至首之距離，常認作定坐標之單位。鱧之軀體

所以用活鱧和用鋼尺一樣都適當的。

人們總以為在實際精密計量時，用鋼尺總比用活鱧要好得多。這觀念都是錯誤的；並不是因為鋼尺能量的活鱧也都能量，實在是鋼尺能量的不見得比活鱧能量的多些。意思是，活鱧雖不見得實在是堅直的，而鋼尺卻實在是扭曲的。某觀察者在適宜的運動情況中，也許覺得活鱧是堅直，而鋼尺常常扭曲，如吾人習見之活鱧一般。另一人的運動如和吾人及某觀察者之運動都不一致時，則必覺活鱧與鋼尺同樣是扭曲的。照這樣說，所觀測得的情況，並不是絕對的物理性質，多少和觀察者的立場有關。距離和時間的量度並不足以直接代表所量事物之性質，不過表示事物與計量者的一種關係而已。所以吾人對於物理世界所得的觀察之結果，是很抽象

而不足深信的。

從希臘到現在學校裏所教授的幾何學，並不是一種獨立的科學，漸與物理學混合不清，這點是應注意的。初等幾何學裏的基本圖形爲直線和圓兩種。彼所見者爲連續的直路，而他人觀察之則如流星移動時的連續軌跡。圓形是和圓心等距離諸點所組成，故圓形也和距離的量度有關係。但距離之量度，以前曾說過，是主觀的現象，依觀察者運動之情形而變更。圓形不是客觀的普遍性質，是根據於麻可爾生摩萊試驗的結果，也就是全部相對論的發軔點。物理學裏的剛體，其各部分量度都不會變更的，但是現在曉得對於某觀察者是剛體的物體，對於其他觀察者看來，就覺得其量度是變更的。吾人依附於地球面上，因環境的關係，便把幾何與物理學

，認作不相關而可獨立的兩種科學了。

以前物理學裏所應用的坐標，必需用正確的距離量度來定；現在知道這種量度是根本靠不住的。在研究的順序裏，應當注意於結果的精確與否。起始定坐標時不過只能當作定事物的一種次序的方法而已。定坐標時雖然用了很隨意的方法，但是運用算學裏一種極深奧巧妙的引量 (tensor) 術，結果，只要用極精微的儀器的測量，就一樣可得極正確的結果。在起始用任意方法來定坐標，為的是可以免除擅定一種物理的假說，不使和吾人預先所假定坐標的幾種物理特性相衝突。

我們假定兩樁相近的事情，其間距就可用其坐標的差數來算出，這種公式在上章已經講過。就是用兩種坐標各標點

相差數的各平方和乘積，各乘以相當的常數（這要視情形而定其數值），再相加即得。相加之和，即其間距之平方。預先我們不能擅定所乘入之常數其數值爲若干；這種常數是在觀測物理現象後而求得之。不過我們應當承認幾種事實。就是選擇相當的坐標，舊牛頓的物理學也很近似真確。再選擇另一相當的坐標，特殊相對論更能近似真確。從這種事實，我們用了邏輯的演釋法，可以推論得下列幾條新學說裏的原則：

1 任何物體在「時空」裏，如果沒有電磁力作用，總沿着自然線進行。

2 光線進行時，其任何兩點間之間距爲零。

3 離開引力物質極遠的地方，我們可以用算學公式變

換所用的坐標式，使其間距和特殊相對論裏所求得の間距相合；而在引力不強的物質附近，則其間距與特殊相對論裏所求得的相近似。

每條原則須另說明。

在平面或曲面上的自然線，就是從一點到他點間的最短線；例如地面的自然線是地球的大圓弧。論到「時空」，其算學原理仍是一般，不過用文字釋明，則其情形卻不相同了。在普遍相對論裏，只有相鄰的事情纔有一定的間距，是不依所經不同的路線而變更的。在較遠的兩處事情的間距，要看從這樁事情到他樁事情進行的路線，計算時將這路線分成無數小段，再將這每小段的間距相加即得。如間距為空間性，則沒有物體能從這樁事情進行到他樁事情；所以要論到物

體運動的情形，須限止於時間性的間距。兩樁相鄰事情的間距如果是時間性，則其間距即為觀察者自一樁事情進行到他樁事情所需的時間。兩樁事情相隔的全間距就等於從這樁事情到他樁事情的觀察者，經過全路程時在他的時計上所指示的時間。但是因所經的路線不同，所須之時間亦有長短之差；前進的速度愈慢，則人們覺得在途中所過渡的時間亦愈長。這句話切不可認為平常的意義。卻含有很奇怪的事實。譬如說在上午十時從倫敦出發，到下午六時三十分到愛丁堡，都用格林尼治標準時，擇較近的路線，而用較慢的速度進行，則所過渡之時間更覺遲緩——照本人的時計所指示之時間說。這句話就與平常所想像的意義完全不同了。在地面旅客看起來，這段路程須八小時三十分。但若有光線一般的速度

，游行太陽系內，於上午十時自倫敦出發，至木星而反射至土星，以至其他諸行星，而於下午六時三十分仍回至愛丁堡，則此人必覺經此篤遠旅程而並未經過一些時間。又若有人自某處出發至外繞行一周，仍回原處，旅程遠近可以任意，惟必須於某一定時間回至原處，則所經之旅程愈遠者，必自覺其所費之時間愈短；速度漸增而近於光速，則自覺其所費之時間亦漸短而近於零。照相對論說，物體自由進行時，必擇始終兩點間所費最長時間之路線；如從一樁事情到他樁事情另擇一條路線，則在自己的時計上所指示的時間，必較前為短。換言之，物體自由運動時，必擇自覺所行之路線為最遲慢的一條；這也是天體惰性的一種定律。照算學上的說法來講，就是物體必沿自然線進行，在兩事情間的全間距，必

較任何他路線的間距爲大。（因爲此處說的是時間性，不是空間性，所以爲最大而不是最小。）例如有人能脫離地球而他去，於某時仍回至地球，則彼必自覺於其時計上所費之時間，必較地面上之時鐘所指示者爲短；而地球沿軌道繞行太陽時，即擇其時鐘上所費之時間爲最長之路線前進。這就是物體自由運動時，必沿「時空」中的自然線進行的意義。

以前所說的都假定物體沒有受着電磁力的影響。現在暫不討論電磁作用，先論萬有引力定律。電磁作用惠爾（weyl）在所著的空間、時間、物質（Space, time, Matter, Methuen, 1922）一書裏，認作普遍相對論裏重要的論件。這暫置而不論。就行星而論，大致全不受顯著的電磁力作用；只有太陽的引力，支配他們的運動，當於本章詳論之。

第二原則是光線經過兩點間，其全間距爲零，論到光線就不必限於極近的距離。光行極近的距離其間距爲零，故其全間距亦必爲零，就是相隔極遠的兩點如同在一條光線上，其間距亦爲零。照自然線的定義說，光線所經的路線就是自然線。根據經驗我們發見了時空中二種自然線，就是光線和自由運動之物體所經之路線。所謂自由運動之物體，就是不受電磁力作用的物體，像太陽、星球、行星、衛星等是，在地面下墜物體，如在真空中落下，也可以算作一種。但是吾人立於地面，則卻受了電磁力作用；因爲吾人足下接觸地面之電子和電核，對於吾人之足底發生阻力，適足抵抗地心引力所施於吾人之體重。這種力量足以阻止吾人陷落於地下，地面雖視若堅實無隙，實係電子構成之空架也。

第三原則是很重要，因為討論到普遍相對論問題。特殊相對論原理施用時，不必限於沒有引力作用的區域；只要引力的強度，在這區域裏是相等時都可以適用。並且在很小範圍的區域裏，特殊相對論原理也能適用。範圍的大小，要視其附近區域之情況而定。像地面的曲率很小，所以地面可以當作平面而無曲率。在行星間只有在很小的區域裏，纔可當作各部所受太陽和行星的引力是相等的。要在兩恆星間——如於兩恆星中點的空間——極廣大的空間裏，就認作同樣的情況，也沒有多大的錯誤。

在離開發生引力之物質極遠的地方，我們可以選擇適用於歐克利特空間的坐標來計算；換言之，即可施用特殊相對論的原理。在物質附近，吾人雖於極小範圍之區域內，可用

特殊相對論原理，但是對於引力變更之較大範圍裏，就不能適用了——如果要用特殊相對論來講，吾人至少要拋棄物體沿自然線運動的觀念。在物質附近的區域，正如時空中的山岡；山岡的斜度，愈近山頂而愈增，正和香檳酒瓶一般。山頂是直立的峭壁。照以前所說的天體惰性定律來講，物體行經山岡附近，應當不依直線進行，而沿曲線圍繞前進。這就是愛因斯坦引力新說的主要概念。物體受物質吸引的現象，只不過因為物質附近時空性質的變化，並不因為物質發生何種玄秘的引力的原故。

試舉一例以說明。設於黑夜有許多旅客各持一燈，自各方同時穿行一大平原，在平原內有一山岡，山頂有一燈臺。山岡之斜度如前所述，愈近山頂而愈增，而山頂為直立的峭

壁。在平原上有許多村莊散佈於四方，持燈的旅客各經諸村而前進。各人所經的路線各依其最近便者進行。各人的路線曲率不一，不過各人都想最便利地達到山頂；等到他們行近山頂時，其路線亦愈彎曲。斯時如有人能乘汽球下瞰，因黑夜不見地面，只見各人手中之燈光和燈臺之光。此人既不知有山岡，亦不知有燈臺。只見人們愈行近燈臺時，其路線愈彎曲。則此人必以為人們圍繞燈臺前進，必因受燈臺中發出之某種作用；或以為燈臺之熱度極高，人們不能逼近的緣故。到天明再觀察，此人必恍然大悟，知燈臺不過指示山岡之頂，對於旅客並無施絲毫的作用也。

在這譬喻內，燈臺可以代表太陽，持燈的諸旅客代表諸行星和彗星，所經路線代表軌道，天明表明愛因斯坦的新發

見。愛因斯坦說過，太陽是山岡的頂，不過是在時空裏的山岡，不是在空間裏的。（著者勸讀者不必過於想像，因時空的情狀，不能想像得的。）任何物體總是選擇最便利的路線進行，不過走上山時，最便利的路線就不是直線了。每一小塊物質就處於自己發生的小山岡頂上，正如雄鷄的肉冠生在牠自己的頂上一般。大塊的物質就處於大山岡頂上。這裏所謂山岡就是上面所譬喻的；完全為說明便利起見纔這般假設。

上面所講的完全屬於愛因斯坦引力新說的性質；要寫出正確數量的公式，非用高深算學不可，不是這本書裏所要討論的。最新奇的是否認引力定律由於隔距作用：太陽對於行星並不發生何種引力。正如幾何學可以變為物理學，物理學也可以變為幾何學。引力定律成為幾何定律，就是說任何物

體從一處到他處是沿最便利的路線進行，不過因爲山谷的影響便把路線的方向變更了。

第九章 愛因斯坦引力定律之證明

愛因斯坦引力定律比牛頓的定律要圓滿的理由，一半根據於實證，一半根據於理論。現在先講實證方面。

愛因斯坦引力定律應用於計算行星和衛星的軌道，很和用牛頓的定律所計算出的結果相近。如不相近，則此新定律決不能成立，因爲從牛頓的定律所推算之結果，都能和觀察之結果相合也。愛因斯坦於一九一五年發表其新定律時，當時只有一種實證，可以證明其學說比牛頓的學說爲優。就是水星軌道近日點之移動是。

水星和其他行星一般，以橢圓軌道圍繞太陽，而太陽居其焦點之一。在軌道上某點，和太陽之距離比其他各點爲近。這一點就叫作『近日點』。從觀察的結果，知道水星自最近太陽之一點圍繞太陽一周後，再到最近的一點，比計算得的要稍前移動。相差的數目卻是很小；每世紀相差不過四十二秒角度。換言之，水星從近日點圍繞太陽一年，其近日點的移動不及半秒角度。和牛頓的定律推算所相差纖微的角度，是天文家的懸謎。他行星對於水星固然可以發生擾動，不過這相差的角度已經把擾動所生的差誤除去。愛因斯坦說明這剩餘的相差，就是沒有其他行星存在，也是應有的。（其他行星也是應用些差誤，不過其數更小而不可以計算。）這一樁事實在新學說初發表時，是超勝牛頓學說的唯一證明。

第二椿證明更覺神奇。照以前的意見，光在真空中常依直線進行。光既非物質質點所組成，自不應受引力作用。就是假定光是物質質點所組成，則當行近太陽時，照舊觀念說，應當稍稍彎曲。不過照愛因斯坦引力定律說，則所彎曲的角度爲上述的兩倍。換言之，如有一星光極近太陽時，愛因斯坦算出星光應向太陽方面彎曲一秒又四分之三。而照牛頓的計算，則只有這度數的一半。但是經過太陽近旁的星光不是天天可以看見的。只有在全日蝕時，或許有機會可以看到，不過在那時候也許沒有明亮的星在太陽的附近。照愛亭登的意見，知道最適宜的日期在五月二十九號，因爲那天有好多個明亮的星在太陽附近。碰巧在一九一九年五月二十九號

有全日蝕現象，——在大戰結束的第一年，這是極難得的幸運。在日蝕時英國派了兩組的遠征隊攝到太陽近旁星光的照片，其結果完全和愛因斯坦的預言相合。幾位天文家起先懷疑着他的預測，後來看到自己觀察的結果完全和他所預測者相合，所以都信服了。愛因斯坦所推測光受引力所生的偏角，現在已經公認是真確的。註二

第三椿證明大體也合他的學說符合，不過因為所計算出的數量太小，恰恰只能量出，所以得到的結果還不甚可靠。但是繼續的研究，所得的極小變易，卻都和愛因斯坦所預測的符合。在說明這椿證明以前，先要解釋幾條基本的說明。每種原質當熾熱時其光透過三稜鏡後所生的光帶裏，總有幾條特別的景線。每種原質不論在地球上或太陽上其所舍的景

線都是一樣。（幾乎是相同的）每一條線有一定的顏色，也有一定的浪長。較長的浪長向光帶紅色方面，較短的向紫色方面。當光源向吾人進行時浪長似略變短，好像航海逆風時覺得海浪的前進速率要快些。同樣光源離開吾人前去時，則浪長似略變長。根據這種理由，就足以使吾人測出某恆星是否向吾人前進或後退。如向前進，則其原質光帶中之景線略移向紫色方面；如向後退，則景線略移向紅色方面。在音學裏也有同樣的情形。當快車自他處向車站行駛時，其汽笛聲音得比離站他去時要尖銳些。人們或者以為汽笛的音調『實在』是改變了，但是事實上人們所感覺着的變易，不過由於火車的先駛近而後離開所生的現象而已，在車中的旅客，卻不覺音調有何變易。但這種現象並不是愛因斯坦所要討論的

。地球和太陽的距離並沒有大變化；在現在所討論的範圍裏，可以認作不變的常數。愛因斯坦從他的引力定律裏，推算出太陽裏的原子（所受的引力很大）其周期運動，如果用地面上的時鐘來計算，一定比地面上同一原子的周期運動，其速率要稍為慢些。雖然在太陽裏和地面上的原子運動周期的間距是一樣，但同樣間距在不同的區域裏說，其時間就不能相同；因為不同的物質在時空中所生『山狀』的變化，亦各不相同。所以從太陽傳來的光線比地面發出的光線，其光帶內某條景線必略向紅色方面移動。所應生的移動極小——小至不易測出，至今還不能確切證實。不過現在大體承認是對的。

愛因斯坦和牛頓定律的區別點，除了上述的三種實證外

，現在還沒有尋另外的事實。但即就這三種實證說，已足使天文家深信討論天體運動時，愛因斯坦所推算的結果比牛頓的正確。即就此種實證而論，也足使新定律成立。即使不論新定律能否成立，雖說牛頓的定律不準確的度數也是非常的小，但愛因斯坦的定律總要比較逼近些。

愛因斯坦定律的發明，並非根據於這種零碎的事實。雖說水星近日點移動問題可以直接觀察而證明其定律，不過他的定律之成立，還從他的學說完成以後推演出來，所以這個問題不能認為發明新學說的基礎。發明的基礎還根據於抽象的邏輯性質。著者的意思不是說他的學說並不管觀察的事實是怎樣，也不是說他的學說就像以前哲學家信口的虛誕。是說他的學說是從某種物理實驗的普遍性質內推演出來，這種

實驗足以證明牛頓的學說「一定」是錯的，並且「一定」要用像愛因斯坦這一類的定律來代替的。

論到運動相對論的優點，在前面幾章已經說得很明白。照日常的情形，說到某物體在運動，都是指對於地球的相對運動而言。論到行星的運動，都是指對於太陽的相對運動，或是對於太陽系公共重心而言。如說太陽系本身的運動，是指對於其他恆星的相對運動而言。物理界所發生的運動，就沒有所謂『絕對運動』。所以物理的定律只能論到相對運動，因為只有這類運動是存在的。

從運動都是相對的，和從實驗的結果，知道光速對於任何相對運動之物體都是一樣的，就可以推論到距離和時間都是相對的。從這點再推知沒有一種客觀物理的事實是可以說

『在某時間兩物體的距離是多少』。

上節所論的足以證明牛頓的定律是不適用的，但是還沒有證明爲什麼應該用新定律來代替。現在再陳述幾種意見。先討論所謂『引力物質和惰性物質相等』的問題。試解釋於下：如施等力註¹於重物體上，則所發生之加速度必較施於輕物體所生之加速度爲小。所謂物體之『惰性』物質可用使之發生一定加速度所施之力來計量。在地面上某定點，物體之『質量』和其『重量』成正比。用天平秤量物體所得的是質量不是重量：地球吸引物體之力就是重量的定義。兩極的引力比赤道上的引力大些，因爲在赤道上因地球自轉運動，發生『離心力』，使引力略減。在地球表面的引力，比在天空或礦地深窟的引力爲大。這種變易用天平秤是量不出的：

但若用彈簧秤就能量出。當重量變易時質量總是不變的。

「引力」質量的定義卻不是這樣。另有兩種意義。(1) 引力質量相當於物體於所在地所發生的引力場之強度，如在地球表面或太陽表面是；(2) 物體所發生之引力，如太陽所發生者，其強度較地球所發生者為強是。牛頓說兩物體間之引力和其質量之相乘積成正比。設就同一物體對於不同兩物體所發生之引力而論，如太陽對於各物體之吸力。此各不同物體所受之引力和其物質成正比，故使此不同物體所發生之加速度必完全相同。

照(1)條意見，「引力質量」相當於物體所在地所發生的引力場之強度而論，把以前所謂「引力物質和惰性物質相等」的一句話，改作在同一引力區域裏，所有物體的物質，其

性質全相似。地球表面物體相似之性質，係噶萊理首先發見。亞理士多德以爲重物體下墜時比輕物體爲速；噶萊理證明如消去空氣之阻力後，亞氏的見解是不對的。在真空中，羽毛下墜時和鉛塊之加速度相同。對於行星的運動，牛頓證明這同一原理。在離太陽一定的地方，質量很小的彗星，對於太陽所發生的加速度，和在同地方的行星所生之加速度相等。所以施於物體的引力大小，須視此物體所生的地位而變，而和其本性無關。這就是愛因斯坦所說的，引力作用不過是空間地位的特性而已。

照(2)條的意見說，物體所發生力之強度，並不和其慣性質量成正比。解決這個問題須用高深的算學，不在本書所討論之範圍內。(見愛亭登所著算理相對論再版第一百二十八

現在討論假若引力是由於物質附近區域的一種特性，照上節所說的，則引力定律應當是怎樣的。所得的定律必不依所採用的不同坐標系而變。以前說過我們所用的坐標，不能表示物理的特性；不過有系統的代表時空中各部分之名稱而已。坐標可以任意轉換，而自然定律是確切不移的。所以某定律用這種坐標所得之公式，必和用他種所得的相同。或者嚴格說，用這種坐標所得之公式來表示某種定律，不論把這種坐標轉換到任何種坐標，其公式總是不變的。這種公式須用引量論來推算出來。用引量論方法可以證明有一個公式是很合理的代表引力定律。從這個公式所算得的結果很真確，有幾條實證。假如愛因斯坦的定律就使無法證實，我們也不

能仍認牛頓的定律是不錯的。我們也只能用邏輯方法再用引量來得定律，這種定律也和所採用的坐標系無關。要解釋引量論，非用算學不可；通俗研究的人們只要知道物理定律是從吾人的計量和所得之定律中消去習用的原素，所得之結果，纔能不依觀察者之情境而變。愛因斯坦的引力定律是一條很顯著的例子。

原註1「力」的概念現在已不認爲動力學裏基本的概念，不過當作一種簡便的記號，只要認明其真意，也還可以認作像「日出」「日沒」這類普通的意義。但是最好另用圓滿的解釋來代替「力」的名詞。

註一 天文學上觀察的結果，知道水星的軌道每一世紀所生的差數爲五百七十四秒，內中五百三十二秒之差數，知道因爲由於別個行星引力的結果，還有四十二秒之差數，終不知道是什麼緣故。現在用愛因斯坦的公式來計算，算出水星軌道每一世紀還應有四十三秒的差

數。所以理論和實證的結果，可謂相同。

註二 一九一九年五月廿九日的全日蝕，在巴西的沙勃拉爾(Solar)和南非州西岸一小島名普林西勃(Principe)兩處，都可以看見。英國皇家觀象台派兩隊觀察員分赴兩處：一隊由克朗曼林博士(Dr. Crannalline)和大衛特生(Davidson)率領到前處，一隊由愛亭登教授和哥丁亨(Gottingham)率領到後處。當日蝕時在普林西勃地方有雲，所以觀察得不甚清楚，所得光之曲度爲一·六秒左右，比愛因斯坦所預測的結果略小。(愛因斯坦所計算出的結果爲一·七五秒，而牛頓所計算出的只有·八七秒)沙勃拉爾當日蝕時也有微雲，但過一會雲散天清，觀察得很清楚。所得的結果爲一·九八秒，比愛因斯坦所預測的結果略大。

第十章 質量、運動量、能力、作用

測算物體精密之定量，其工作雖極勞苦而頗重要。物理

的計量都是非常的精確，因為如果稍不精確，則在相對論裏的實驗張本，本來差異很小，也就無從探求了。在相對論以前，算理物理學的一般概念，人們都以為和實驗物理同樣精確，現在也覺得在邏輯上有不完善處，其不完善之點由於所預測者和計算的結果所應得之結果，微有不同。在本章裏要說明相對論以前的物理學中之缺點，和其改正之方法。

以前也偶然說到過質量這個名詞。在日常生活應用上，質量的意義和重量相混；平常計量重量——像盎司、克、等——實在是計量質量。但是我們要精細計量時，就不得不區別質量和重量了。平常有兩種計量重量的方法，一種用天平秤，一種用彈簧秤。旅行時行李過磅，普通不放在天平秤上，往往放在彈簧板上；重量壓下彈簧多少重量，用指針指出

。有時量體重時也用同一原理的機械。彈簧秤所指示的是重量，而天平秤所指示的爲質量。只要在地面一處地方，用不同方法所稱得的結果是一樣的；但是在地面各處用各種的機械來計量，如果都很正確，則所得的結果，不會都一致了。天平秤所得的結果，到處都是一樣的，而彈簧秤就不一樣了。如果有一鉛塊，在這處用天平秤稱出是十磅，則在任何處用天平秤稱得出都是十磅。要是同一彈簧秤，則在倫敦爲十磅，在北極就要重些，在赤道上要輕些，在高處飛行機上要輕些，在煤礦井底內也要輕些。原因是這兩種秤所量出的量是不同的。兩種秤所量得的平常總稱爲『物質的量』，（不照我們現在所說的區別講）一磅羽毛和一磅鉛所含的『物質的量』是一樣的。標準『法碼』實在就是標準『質量』，用

法碼量出對面盤上的物體是牠的質量。所謂『重量』是因地球的引力而生的：就是地球吸引這個物體的力量。這種吸力到處不同。第一，在地球面上吸力和物體離地心距離之平方成反比例；所以離地面愈高則吸力亦愈小。第二，在礦井中，地球有一部分物質吸引物體向上，所以向下的剩餘吸力也要比在地面小些。第三，因為地球自轉的原故，發生一種『離心力』，和吸力的方向適相反。這種離心力在赤道最大，因為在赤道上其旋轉速率比他處為大也；兩極適在地軸上，所以不發生離心力。因為這許多理由，物體受地球的吸力到處不同。這種吸力可以用彈簧秤測出；所以用彈簧秤測出的結果；到處是不同的。天平秤所用標準『法碼』的重量，也和所稱的物體之重量同樣改變，所以天平秤所稱得的結果，

到處都一樣的；所稱得的實在是『質量』，不是『重量』。標準『法碼』的質量，到處都不會變更的；所以標準法碼是質量的單位，不是重量的單位。在理論方面而論，物體的永不變之質量，比較隨處改變之重量重要得多。開始我們說質量就是『物質的量』；這種見解不見得很確切，不過在開始時用這樣說法，要便利些。照理論方面說，施力於一物體上，使之發生一定之加速度，則所施力之大小，可以用來決定此物體之質量的：物體的質量愈密，則於一定時間中改變一定的速度所須之力亦愈大。使長列車於半分鐘之末得到每小時十哩之速度，較短列車於同樣情況時，其機關車所有之馬力亦必較強。又可用同力施於各種不同之物體而視其速度之變化；把各種物體所生之加速度比較，就可求得其質量之比；

質量愈大則發生之加速度必愈小。現在舉一個例子來說明，這個例子和相對論的學說很有關係。放射體都以極大的速度放射β質點（電子）。設於水蒸氣中放射，則質點射出時常使蒸氣成爲雲烟之狀。同時還可以一定之電力和磁力移近之，觀其受影響後自直線方向而彎曲之程度。這樣就可以比較出牠們的質量大小了。觀察的結果知道質點的運動愈速，則其質量亦愈增，這運動是對於靜止的觀察者而言；在運動方向受力的作用後，其質量之增加亦愈大。力如作用於其直角方向，則質量因速度而變化之量，和長度與時間所生之變化相同。如果沒有運動時，則所有電子的質量，都是一樣的。

這種事實在相對論沒有發明以前都發見了，也就知道一向以爲的質量概念，不能像以前所假想的那般確定。以前總

以爲質量就是『物質的量』，是一定而不變的。現在知道質量也和觀察者相對，正如長度與時間一般，因運動而生同樣比例的變化。這個理由卻也可以設法解釋的。和物體作同一運動時所量得的質量，叫作『專有質量』。這樣作任意運動物體之質量，都可以用推算長度與時間的方法來推算出來。

但是另外還有新奇的事實發生，就照上法把物體的質量改正，而計量同樣物體多次的結果，還不能完全一樣。物體吸收能力時——如加熱後——則其『專有質量』也稍增些。所增加的份量是極微小的，因爲這數目是從所增加之能力用光速之平方去除而求得的。反之如物體失去些能力，則其質量亦稍減。最顯著的例是四個氫原子合成一個氮原子，而氮原子的質量卻比四個氫原子要小些。

現在有兩種質量，都和舊觀念不合。和觀察者有相對運動之物體，所量得之質量是一種相對量，所以不能認為物體本身的物理性質。『專有質量』纔是物體本身的性質，因為和觀察者的情形是無關的；但是還不是一個不變的常數。下面就可以講到質量的意思可以包含於能力的意思內；質量所表示的不過是物體內部所蘊藏的能力，普通所謂的能力，不過表現於外部而已。

物質常住，運動量常住，和能力常住三大定律是舊力學裏的最大原則。現在講運動量常住定律。

在某方向運動物體的運動量，等於在這方向的速度乘其質量之積。重物體運動較慢時其運動量可以和輕物體運動較快時之運動量相等。幾個物體任何方法互相作用後，如衝擊

或相吸，只要沒有外擾的影響作用，則在各方向之物體所有之運動量相加必仍和前相等。這條定律在相對論裏也是對的。對於各觀察者所得之結果，則質量既不同，而速度亦互異；但是兩種相差的數目，互相消殺，而其結果，仍和此定律相合。

物體運動的方向不同，則其運動量亦不同。普通計算的方法是用在某方向的速度（照觀察者所量得的）乘其質量（照觀察者所量得的）。所謂在某方向的速度就等於單位時間在這方向所經的距離。現在如用物體於單位『間距』向這方向運動所經的距離來代替。（照普通的情形說，運動速度和光速相差甚遠，間距和所費之時間幾乎是相同的。）再用專有質量來代替觀察者所量得的質量。則此物體之速度比前稍

加，而質量則稍減，其變化之比例相同。故運動量仍然是一樣，不過把依觀察者而變的兩量，改作不依觀察者而變的兩量而已。

我們如果用時空來代時間，則所謂計量質量（區別於專有質量）和在某方向的運動量有同樣的意義；所以又稱時間方向的運動量。用不變的質量乘於單位間距所經之「時間」就是計量質量；用同一不變的質量乘於單位間距所經之「距離」就是運動量。在時空的立場，這兩種天然屬於一類的。

雖說物體的計量質量和觀察者的相對運動有關，但仍不失為重要之量。對於某觀察者講，全物理宇宙的計量物質是一定的。^{註1}在某一時間全宇宙的物體之專有質量，不一定要和他時間相同，照這點講，用計量質量比專有質量便利。計

量質量常住就等於能力常住。這句話似乎很奇怪，因為初看覺得能力和計量質量完全兩種東西。要說明其理由卻不很容易；現在姑且試試。

平常說『質量』和『能力』，並不是指一種東西。說到『質量』就聯想到坐在椅子上的胖子，行動極遲緩。而『能力』表示一伶俐活潑的人。人們說到『質量』也就聯想到『惰性』，不過他們所以爲的惰性是一方面的：實在所謂惰性果然是懶於開始運動，但是還含有懶於停止的意義。這幾個名詞在物理學裏都有專門的意義，不過和通俗的意義多少有些相仿而已。現在要論『能力』專門的意義。

在十九世紀下半葉，『能力常住』或如斯賓塞（Herbert Spencer）所說的『力常住』的問題，討論的人很多。這條原

則不容易簡單解釋，因為能力的形式很多；主要的原理是能力雖然可自一種轉換為他種，但決不會創生和消滅。這原則的成立根據於求爾 (Joule) 註一的『熱之工作當量』之發見，他證明要發生一定熱量所做的工作，和舉起一定重量至一定高度所做的工作，常成一定的比例：事實上利用機械，就可以用同一的工作應用於這兩種不同的情形上。熱由於分子運動的結果，所以熱也和別種能力是一類的。根據幾條學說，能力大體可以分爲兩種，叫作『動能』和『位能』。下節講牠們的定義：

質點的動能等於其質量和其速度平方之相乘積之半。註二許多質點之動能就等於各質點之動能之和。

要解釋位能的意義，比較困難些。位能是一種潛勢，須

有力之保持始能存在。用最明顯的例來說：如舉起重物於某高度而保持之，則此物體得到位能，因為放手後，物體自己一定要下墜。這時的位能就等於自由下落於原處時的動能。彗星繞日之軌道是狹長的橢圓形，當其行近太陽時比遠離太陽時，其速度大得多，所以行近太陽時其動能極大。但是離太陽很遠時，其位能極大，正如舉石於極高處一般。彗星所有動能和位能其總數卻不變易，除非有時因與他星衝擊或因有一部分物質變為彗尾。從一點到他點時其位能的「變化」是可以精確計算出來，但是要定全體位能的數目，卻不能一致，因為所取之標準計算的零點位置，可以任意的。例如在高處石塊的位能，可以當作自由落下至地面時之動能，又可以當作沿深井而至地心時之動能，或至任意點時之動能。但

是定標準零點的高低和所討論的問題無關。我們不過論到能力的增加或減小，這和所定的標準完全無關的。

一組物體的動能和位能，對於各個觀察者說，其結果各人都不同的。照舊動力學說，動能的數值要依觀察者運動之情形而變，不過所變易者有一定的數目；但是位能的數值卻全不改變。所以只有對於每一個觀察者說，則全體能力是一定的。在相對論動力學裏，這問題就變複雜了。在相對論裏不能很便易地沿用位能的舊觀念，嚴格說，能力常住定律是不能成立的。但是另外得到一個性質，很像常住定律，並且可以單獨通用於動能一種。愛亭登的意見是：動能不是完全常住的，所以舊學說裏必須補入一種物理量，叫作位能，這兩種合起來，纔是常住的。相對論學說則不然，先發見一個

公式，很和常住公式相像，卻能適用於動能一種。他說『相對論所討論的是依據於物理量而規範其定律；舊學說所討論的是依據於定律而規範其物理量』。他再說新公式可以算作『能力和運動量常住定律，雖然不算正式的常住定律，但所表示的確實是舊力學裏所論的常住現象。』（見算理相對論第一百三十五頁。）只有在這有規範而較狹小的區域裏，能力常住是對的。事實上所謂『常住』和理論上的意義並不完全一樣，理論上所謂某量是常住的，是指全世界的總量在任何時間都是一樣的。事實上我們不能測算全世界的總量，所以這意義便有些模糊了。設於一定區域內，所有的某種量如果改變，則必有些量從邊界上出入。如果人類不生不死，則人口是常住的。在這種情形之下，一國的人口只有從邊界上

移或遷入纔可以使之改變。中國和非洲中部的人口沒有精密的統計，所以全世界的人口數就無從計算。但若假定這兩處都有精密的統計，則吾人亦不難推想其人民若不從邊界出入，則人口的總數，也一定是不變的。事實上的人口自然不是常住的。著者有一位友人是生理學家，一天捕了四隻家鼠關在瓶內。過了幾小時放出來時，變了十一隻。全質量還是照舊：放出時十一隻的質量並不比關入時四隻的質量多些。

現在再回論到能力的問題。以前說過在相對論裏，計量質量和能力是認作同一的東西，現在要說明其理由。討論到這點，正和第六章末段一樣，要請未深習算學的讀者忽去本節不讀。

設以光之速度爲速度的單位；在相對論裏爲便利起見，

常有這般假定。設 m 代質點的專有質量， v 代和觀察者相對的速度。則其計量質量必為

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

照普通的公式，運動能力為

$$\frac{1}{2}mv^2$$

照前面所說的，定計算能力起點的高低，是和討論能力變化無關的，所以我們可以任意在這公式前面加一常數。所以上面能力公式可以寫作

$$m + \frac{1}{2}mv^2$$

設 v 比光速甚小，則 $m + \frac{1}{2}mv^2$ 幾和 $\frac{m}{\sqrt{1-v^2}}$ 相等。註三所以照普通的大物體所有之速度而論，則能力和計量質量之相差

過微，超過精密測量之範圍。實在最好更改能力的定義，而以 $\frac{1}{10^{10}}$ 代之，因為這個量適用於像常住的定律的公式裏的。要是物體的速度極大，則所計算出的能力遠比舊公式為合。所以舊公式只可認為逼近的，而新公式可得完全正確的結果。照這個理由，能力和計算質量是一樣的東西。

現在講到『作用』(Action)的意義，這卻沒有能力的意義那般通俗，但是在相對論物理學裏，和量子論學說裏，一樣是很重要的。註 2 『作用』這名詞是指能力乘時間而言。就是說有一單位的能力在一秒時，則發生一單位的作用，在一百秒時，則發生一百單位的作用；有一百單位的能力在一秒時，則發生一百單位的作用，在一百秒時，則發生一萬單位的作用。能力增強和工作時間增長都足以使『作用』加

增。在舊力學裏，大塊物質的『密度』就是以體積除其質量；如果知道小區域裏的密度，則此物質全體的質量，可用小區域裏的密度乘其全體積而求得之。在相對論力學裏總是用時空來代替空間；所謂『區域』的意義，也不止指其體積而言，是指其體積經過一些時間。所以知道了密度，在小區域裏所含的，照新的見解，不止是小質量，而是小質量乘以短時間，就是小量的『作用』。這是說明爲什麼在相對論力學裏要用『作用』當作基本要件。在事實上確是對的。

所有動力學的定律就可以歸納爲一條原則，叫作最小作用的原則（Principle of Least Action）。大意是從一種情境到他種情境時，物體必選擇所費作用最小的一條路線——這又是一條天體惰性定律！這條原則也只能適用於某種範圍，這點愛

亭登也論到，但是全部力學的公式之發展，卻都根據於這原則呢。至於說量子就是單位作用，則作用也是經驗世界的組織中重要分子。但是現在還沒有發見出溝通量子和相對論的路。

原註 1 這個原則下面就算作能力常住的原則的。

原註 2 關於這個問題見著者的原子論 ABC 第六章和第十三章。

註 1 求爾 (James Prescott Joule 1818—1889) 英國人，為十九世紀著名之物理學家，由

實驗求出「熱之工作當量」，即「加羅里」之熱量約等於四二七克糞之工作單位，為能力常住原理之根據。並發見電流的熱之定律及氣體之熱學性質。為用實驗證明各態之能力為同一之物的第一人。

註 2 動能的公式是 $\frac{1}{2}mv^2$ ，式內 m 表質量，v 表速度。設 m 之單位為克，v 之單位為秒徑，則能力之單位為「厄格」(Erg)。

註三

$\frac{m}{\sqrt{1-v^2}}$ 照代數中二項式定理展開之應為...

$$\begin{aligned} \frac{m}{\sqrt{1-v^2}} &= m(1-v^2)^{-\frac{1}{2}} = m \left[1 + \left(-\frac{1}{2}\right) \left(-v^2\right) + \frac{\left(-\frac{1}{2}\right)\left(-\frac{1}{2}-1\right)}{2} \left(-v^2\right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \frac{\left(-\frac{1}{2}\right)\left(-\frac{1}{2}-1\right)\left(-\frac{1}{2}-2\right)}{3 \cdot 2} \left(-v^2\right)^3 + \dots \right] \\ &= m \left[1 + \frac{1}{2}v^2 + \frac{3}{8}v^4 + \frac{5}{16}v^6 + \dots \right], \end{aligned}$$

設物體運動之速度 v 比光速為極小，則 v 四方以上各項都較最微小，可以略去不計。故

$$\frac{m}{\sqrt{1-v^2}} = m \left(1 + \frac{1}{2}v^2 \right) = m + \frac{1}{2}mv^2$$

第十一章 宇宙是否有限的

本章所論的都是根據於科學的結果——但是不是說已臻全善之境，正和牛頓定律需經愛因斯坦改善一般，也要研究

改善的。科學研究的結果，也不能建立不變的真理和永久的論斷；只能說能和真理逐步的逼近，而不能達到圓滿正確的地步。說到在研究步驟中所得可信之結果，和不見得一定能證明是成立的懸想，是有區別的。在相對論裏有許多極有趣味的懸想，本書裏也要講幾種。不過不要以為下面所講的學說和以前的一樣的確實。著者所引以為最玄奇的懸想是說宇宙的廣袤有一定限止的。研究出有兩種不同的宇宙，一種是愛因斯坦的主張，一種是譚雪探 (De Sitter) 的主張。現在先講這兩種的公同點，再講其異點。

現在先說以前以為在宇宙中物質的全量是有限的幾種理由。如果不是有限的，則因極遠處的物質引力影響所構成的世界，決不能是我們所處的世界。所以要假定全世界中的電

子和電核的總數是有限的。這些電子和電核都聚在一處有限的區域裏；在這區域外邊的空間，就像居宅內沒有人住的空室。這個見解不見得很對，不過以前的人們不能想像是有他種可能的。以前以爲不能想到空間的邊緣是怎樣的情形，所以就假定空間是無限的。

然而在非歐克利特幾何裏，卻可以證明有他種的可能。球面是無邊界的，但是不是無限。繞地球而行總走不到『世界的邊』，而地球卻不是無限的。地球的表面是包於三度空間內，依邏輯而論，我們沒有理由可以假定三度空間本身爲什麼不和地球的情形相同。那末我們以爲是直線，也許就像球面上的大圓弧一般：繼續延長後可以仍回至原點；歐克利特的直線也許是縹渺玄虛的理想圖形，在實在的世界裏是不

存在的。尤其是光線在真空中前進時，實在是沿大圓進行。如果我們能作極精微的測量，則就在空間的一小部分裏，也許可以推合到這種事實的，因為在這種空間裏，三角形三內角之和總比兩直角大，所大的角度正和三角形的大小成正比例。我們所研究得的空間情形正和球面的情形相似。

讀者不要誤會以為現在所說空間的非歐克利特特性，和以前講到引力所依附的非歐克利特特性相類。引力裏所講的不過是在很小的區域裏像太陽系是。因物質存在而使空間變為不平，正如地球表面的山谷，是一部分的不平坦，並不是地球本體的特性。現在所討論的是全宇宙有曲率的可能性，不是說到因為偶然有太陽或恆星的存在而發生高下的狀態。就平均情形和離開物質極遠的地方，宇宙不是完全平坦的，

有細微的曲率，好像二度球面的曲率一般，不過空間是三度而已。

第一點，照推理的結果說，我們沒有絲毫的理由可以說這種情形是不會有的，這個意見是很重要的。人們習熟於歐克利特幾何學，所以覺得就使在「邏輯」方面是可能的，但實在的世界「不能」像這般的奇怪罷。人們思想的傾向，都以爲世界的情形應當合於吾人的先見的。反對的意見雖然有理由，而人們多不願意深致而容納。但是宇宙是球狀的事實，人們雖都以爲不合於歐克利特的先見而覺奇怪，實在沒有理由說是不能成立的。沒有一條自然定律能證明學校裏所講授的功課一定是真確的。所以我們也不能昧然批評球形宇宙的假說是毫無價值而不值一論的。現在只要能回答這兩個問

題：(1)實在事實能和這假說相合嗎？(2)能和事實相合的假說是否只有這個假說？

照第一問題說，其答案是無疑義而肯定的。所有已知的事實都完全和球形宇宙的假說相合。把引力定律稍加變化——愛因斯坦自己所變化的——就能領到球形宇宙的觀念，在小區域像太陽系裏，沒有發見測量和推算的結果，有何相差之點。所以已知的恆星都在和吾人相隔某距離以內。在這已知的星系宇宙內，我們沒有方法可以證明這個空間是無限的。照吾人智識現狀而論，說到有限宇宙的假說「大致」是對的話，是毫無疑義的。

要問有限宇宙的假說是否「一定」是對的問題，其答案就不同了。從已知事物之情狀要推論到一切事物的全體是不

可能的，這是一般的見解。把牛頓引力公式稍加變化就可以說明在吾人能感覺之宇宙以外，如有物體存在，則亦毫無何種作用可言，這點就是打破吾人所謂物質有限的假定。討論到遠在吾人所能觀察之區域範圍以外的情形，須視合於世界一部分區域的定律能否推廣到別的地方，和假定這定律與觀察所及之區域裏的所不可測出的相差數，但是究竟不能推論到極篤遠的地方。所以我們不能說宇宙「一定」是有限的。我們只可說大概是對的，還可以這般說：對於和已知部分適合的定律說，假定宇宙是有限要比較圓滿些，而假定宇宙是無限的來修改定律要笨拙些。要選擇合於所已知的最相當的宇宙組織——最相當的意思是照邏輯的完美方面說——有限宇宙的假說要圓滿些，這是無疑義的。這就是著者贊成這種

假說的理由。

現在要看兩種不同的宇宙是怎樣的情形。在愛因斯坦的世界裏只有空間是奇怪的，而在譚雪探的世界裏，連時間也一樣的奇怪，這是兩者的區別點。所以愛因斯坦的世界比較還不很玄奧，現在先討論這一種。

在愛因斯坦的世界裏，光線圍繞全宇宙一周所費之時間，大約須十萬萬光年。最奇怪的事是光線從一處，如太陽，出發後，經過很長的路程，還會再回到原出發點的太陽所在處。這種情形很像有許多旅客，各乘同一速率的飛機，自倫敦出發，沿地球大圓向各方向進行。一人向北過北極再過南極，而回至原處，一人向南過南極再過北極，而回至原處。一人向西，不過不向正西方向，爲的要走大圓路線。一人向

東，另有多人向各方沿大圓進行。則他們必先在倫敦的地球對頂相遇，再到倫敦相遇。光線圍繞宇宙正和旅客圍繞地球的情狀相同：許多光線都先在出發點的宇宙對頂相遇，再回到出發點相遇。如果有人在這對頂附近觀察，則自太陽發光後五萬萬年後就能看見有一和太陽同樣明亮的影像發生（只有一小部光線被別種天體遮蔽，而不能傳來），其形狀大小也和太陽一樣。另有一人在十萬萬年太陽所在處的附近觀察，也可以看見他的影像正和十萬萬以前的太陽一般。同樣再過十五萬萬年在宇宙對頂又現出太陽影像，再過二十萬萬年，在原處又現出太陽影像，以此遞推，至於無窮。這一組的太陽是無終結的，只有原太陽發生時是其起點。

這許多的太陽不過是原太陽的鬼魂；就是可以隨意通過

其所佔有的區域而不受阻力，而他們自身也不發生引力。實在說就像鏡中的影像；只能使人發生視感覺而不生其他的感覺。這個學說要是對的，則令人聯想到我們所看到的天空中物體，也許都是物體的鬼魂了。這種鬼魂都有隔若干年後重返原處再覆演其過去生活的習慣。假若在某處有一恆星炸裂，這是天空中恆星常有的事。每隔十萬萬年這恆星的鬼魂仍回原處，再演其炸裂時的慘狀。不過也許回到原處的光線不會發生極明晰的影像。有幾條光線被途中的物質所遮蔽，有幾條光線走近巨大物體時發生彎曲，就像第九章所講的日蝕情形一般，有這許多理由，他的影像也許不會和原物全相似及永久的發生。

有許多理由足以懷疑愛因斯坦的宇宙是不错的。註 1 有

幾種理由是很煩複難懂的。但是有幾種很淺顯的理由確也不能反駁的：在愛因斯坦這個學說裏，又從新把絕對空間和時間的觀念加入。太陽的鬼魂過了十萬萬年仍在原「位置」出現。「位置」和十萬萬年周期時間都還是絕對的意義。在第一章裏，已經很早的說明「位置」是空泛而通俗的意義，不能當作合於科學的真實。要說以前經過很聰哲的研究而改正的錯誤觀念，再應用到結果所討論的學說，仍乎太不合理。

譚雪探的世界更比愛因斯坦的世界奇怪，因為時間也和空間一像的狂易。不用算學公式來解釋，很難把時間變幻的奇怪的特狀表示出，下面所講的不過是幾條簡明的情形。在譚雪探的世界裏，若有人觀察許多自己都準確的時鐘，則覺遠處之鐘比其鄰近之鐘要慢。愈遠則愈慢，到了宇宙周圍之

四分之一處，那處的時鐘看上去都覺停止不動。在那區域裏一切事物，照這人的觀察，都覺固著不動，沒有一些行動。再遠些的事物情形如何，就不得而知，因為光浪不會通過這四分之一周圍處的邊界。實際上並沒有真實的邊界：我們以為那地方的人物都是固著不動的，實在也和吾人一般的忙碌，而他們看到我們，也是一樣的固著不動。實在說我們也看不到他們，因為那處光線傳到我們眼裏，要費無限的光陰。比較稍近些的區域的情形，雖然能設想像，但也很不容易。這種世界裏沒有像愛因斯坦的世界裏的太陽鬼魂，因為光線不能再稍前進。

這種奇怪的情形只有用實驗證明是對的或者是錯的，事實上有些小小的證據是合於這種學說的。如果時鐘離開觀察

者愈遠時，則行走愈慢，同樣情形就可施諸於原子的周期運動，而使所發的光生變化。所以從遠處物體發來的光線看起來應當比原處的光線的紅色加深而紫色減淡。這可以用分光鏡來觀察的。用分光鏡來觀察天空中螺旋星雲的光帶中某景線，和在地面實驗室所發出光線的光帶中相當景線的位置比較，就可以察出。實測的結果知道大多數的螺旋星雲的景線都向紅色方面移動。螺旋星雲爲吾人視力所達的最遠物體：『愛亭登說其距離『約有一百萬光年』。』（光線一年所經的距離，叫作一光年。）景線向紅色方面移動的原故，普通用『杜勃拉效應』（Doppler's effect）註一來解釋，就是因爲發光體作和吾人反對方向運動的緣故。說到星雲在宇宙中運動，完全是任意的，照機會平等定律說，應當向吾人進行的和相反的反

機會是相等的。但照譚雪探的世界說，則螺旋星雲的景線移向紅色方面的緣故，由於在這般遠處的時鐘較慢，並不管他們運動方向是怎樣。這點很足以幫助解釋譚雪探的學說。

這個同一的事實還可以用另外的理由來解釋譚雪探的學說。如於某時間有一物體對於某觀察者是靜止的，但相隔頗遠，照譚雪探的學說講，則對於觀察者的自己立場看，這物體不是靜止，但向反對方向離開，（如果沒有他種阻力作用，）距離漸遠則速度亦漸增，到極遠的地方，速度的變化亦愈大。物體相互的距離不遠，則引力作用可以勝過物體離開的傾向；距離增加則其離開的傾向亦增加，同時力則減小，所以譚雪探的學說如真確，則極遠處的物體，應該都和吾人離開的。現在有了兩種理由來解釋螺旋星雲的景線之移位：

一，由於時間的變慢；二，由於在極遠地方的物體，感受不到引力，都和吾人離開而運動。不過這兩種的理由，都不是強有力的。愛亭登觀測過四十一個螺旋星雲，做一張表，內中有五個星雲的景線是向紫色方面移動，而不向紅色方面。這個統計材料既不豐富，而其結果也不能全符合。

愛因斯坦和譚雪探的假說並不能包括有限宇宙の種類；只不過是兩種最簡單形式的有限世界罷了。這兩種學說互相辯駁，但是結果總不能說那一種是對的。但是我們可以說兩種學說都和實在的宇宙有多少相像處。如果宇宙真是有限，在理論上總可以設法發見其真相的。物理學進步到極點，就能假把理想探求到世界組織的情形。從噶萊理起以後的時期是物理學的時期，希臘時代是幾何學的時期。等到物理學漸

臻完善，則人們研究的興趣亦漸喪失：如若物理學的基本定律都成立以後，人們的研究和努力，就要改換目標。也許就會把人類生活的組織充分改變，因為現在處於機械和工業發達的社會環境，這都是根據於理論家研究物理定律所得的結果。但是這類預測的見解，更比譚雪探的學說要虛渺，著者在本書裏不加討論。

原註——見愛亨登所著空間、時間、和引力第一百六十二頁

註一 杜勃拉效應可施於音學和光學兩部。運動之發音體行近觀察者時，其效應使所發出的

音調之浪長，似覺略微減短，遠離觀察者時，覺其浪長略微增長。同理當天體行近地球時，其所發的浪長，必較地面同一光源所發之相當浪長略短，故在天體所發光之景線，必略移向紅色方面；如背地面而運動，則其效應適相反，即景線略移向紫色方面。所以利用分光鏡之觀察，和推算的結果，便可知各天體之運動係向太陽系或背太陽系，並可知對於太

陽更相對運動速度之大小。

第十二章 擬定的法則和自然定律

區別文字所含的意義和其所表的事實，常常要引起重大的糾紛：理論上似乎沒有問題發生，但在實際情形則不然。物理學和別種科學，一樣都沒有例外的。在十七世紀說到『力』字，便發生繁複的辯論；就到現代，對於『力』字要怎樣去解釋，也有種種不同的意見，不過比較以前具體些。在相對論所用的算學裏，有一種引量論，用了裏面的方法而構成物理的定律，可以免去所謂純粹『語文』（照廣意說）的表示。事物的情形要靠所選坐標系而定的，都合有用『語文』表示的意義。船夫在船上撐篙時向船艙進行，在未拔起竹篙

時，對於河岸說，其位置是沒有改變。葛利佛游記中小人國人民討論那個人是否行動或靜止的問題：這個辯論是屬於文字上的，而不是事實的問題。如用和船是相對靜止的坐標系作標準，則此人為行動；如用和河岸是相對靜止的坐標系作標準，則此人為靜止。所為物理的定律是能施之於不同坐標的同一定律，不是說用了不同的兩個坐標，便需要兩種不同的定律。要尋出這同一的物理定律，要用引量論的方法。有許多定律對於某情狀是很適用的，但是不能適用於其他情狀；這種定律便不能算作自然界的定律。一種定律對於其坐標轉變到「任何」種坐標後，也一樣能說明的，必有某種特性：相對論之所以能成立，就靠這類特性之發見。聚集了各種物體運動的真相，我們就可以得到引力定律的正確之說明：

一半根據於邏輯，一半根據於實驗，而得到的說明。

但是要尋到自然界完美的定律，還不能只靠引量論的方法；另外還要種種精密的思致。有幾種已經發表，大部份是愛亭登所研究得的，其餘的一大部份至今還沒有探求出來。

試舉一簡單的例子：像費慈噶拉特收縮說的假說，物體的長度在運動方向常比他方向縮短些。假如一根量尺在南北方向時比在東西方向時要縮短一半，同時各種物體亦依同樣情狀而變化。照這樣的假說，究竟是什麼意思？若有一正指北方的釣竿長十五呎，當轉至指西方時，用量尺量之，卻仍為十五呎，因為量尺同時也一樣的縮短，所以量不出其區別。同時吾人也『看』不出牠縮短，因為吾人的肉眼也生同樣的變化。所以要想發見其變化情形，決不是用平常量法可以

測出的；要用像麻可爾生摩萊這種實驗，用光速來量長度始可。其次再要決定用長度的變化和光速的變化那種假說要簡單些。預料實驗的結果，知道光線在一方向進行量尺所量的某距離所需之時間，比在他方向量尺所量得之同一距離所需之時間長些——就像在麻可爾生摩萊的實驗裏，其所需之時間應當微有不同，而結果卻不然。這類的情形可以用各種不同的量法變化來解釋；不論所選用的是那種方法，都是一種擬定的原質。預先決定某一種量法而得之定律，因含有擬定的原質，總覺得飄渺而不確切。要消去定律中擬定的原質，事實上是十分的困難；研究愈精深則困難亦愈甚。

電子的大小和形狀的問題，是一個很重要的例子。實驗的結果知道所有的電子都是一般大小，並且各方向都是對稱

的。實驗所得結果的完美程度究竟是怎樣，和用擬定量度的結果究竟是怎樣的？下面有幾種不同的比較：(1) 一個電子在一定時間對於不同方向的情形；(2) 一個電子在不同時間的情形；(3) 二個電子在同一時間的情形。把(2)和(3)併起來，就可以比較兩個電子在不同時間的情形。關於所有的電子因某種情形而生同樣變化的假說，最好免去不論；例如我們不必假定在時空中某區域的物體都要同樣的增大。因為這種變化，同時使測量的器具和所量的物體受同等的增大，所以也不會發見何種現象。這就等於說不發生何種變化是一樣的。但是說到兩個電子的質量是一樣的，就不能當作是一種擬定的。用極微細和精密的計量，就能比較兩個不同電子對於第三個電子的作用；如於同樣情狀下是一樣的，則我們就可推論知

其相等性並不是純粹擬定的意義。論到電子所施之力是對稱的問題——就是說這種力只和電子之距離有關，而和其方向是無關的——是非常的複雜。愛亭登所得的結論說這種情形，也是一種擬定的事情。他的議論是很深奧的，著者還不能很領悟；不過著者卻很懷疑他的意見是否確切的。

愛亭登在相對論裏高深的一部分論到『世界的構造』情形。所造成的完全結構就是我們所認識的物理世界；最經濟的建築家只要用最少量的物料。這個計劃是邏輯和算學的問題。吾人對於這兩種方法愈能熟習，則所造成的建築物亦愈堅實，而所需用的石塊亦可愈少。在建築的起始前，必先把天然供給的石塊削成一定的形狀：這就是各種建築的一種手續。要照這樣辦法，則所用的原料必有「某種」組織（好比

木材都有纖維紋一般)。用了算學逐次的修正，結果就可減削成最少的組織。有了原料中的最少的組織，便可構成一個算學式，式內包含吾人所認識之世界裏的幾種性質——特別是常住的性質，說是運動量和能力（或物質）的一種特性。構成世界的原料只不過是各種事情（Event）；用這種原料構成的事物，照計量的結果，知道是不增不減的，所以我們相信一切『物體』也是這般情形。物體實在也是事情的集合，依算學的組織而構成的，不過因為物體是永存不滅，並且吾人的官覺（因為生物生存的需要而發展的）特別能感覺到，所以說到物體要比理論上認作是一種基本的連續事情之集合容易了解。從這點就，我們就覺到物理科學所能探知世界的真相何等狹小；吾人的知識不止受擬定的原素所限，並且還因受

感覺器官的天演束縛。

在第七章裏我們假定兩樁事情的間距之意義，但是沒有假定怎樣可以比較在不同兩區域中兩間距的長短。惠爾假定有一範圍，就是在同點出發的許多小間距是可以比較的；並且說在極短的路程裏，所用的量尺之長短，並不生大量的變化，所以用普通方法來量附近兩間距，其相差之數極微。惠爾照這樣來限止，就能把電磁學和引力當作同屬一系。惠爾學說所用之算學很繁難，著者不去解釋。現在討論他的學說所得之別種結論。在不同區域裏的長度如果不能直接比較，則在吾人實際所用之間接比較法中必含有擬定的原素。這種原素雖不合事實，但藉以解釋自然界的定律卻極簡易。特別是對稱的情形是根據於計量而生的一種擬定，在事實上卻沒

有理由可以用來代表實在世界的性質。照愛亭登的說法，就是引力定律本身，也只不過是一種擬定的計量。他說：『根據這種擬定的計量，在計量的空間裏便產生『均稱』（Isotropy）和『等質』』註 1（Homogeneity）的性質，實際在世界結構中不見得和這種性質符合的。在愛因斯坦引力定律裏，確是表明均稱和等質的性質的。』（見算理相對論第二百三十八頁。）

因吾人的感覺器官受天演的束縛，而使吾人之知識範圍狹小，這點可以從物質不滅的性質看出。這個性質經了實驗而漸發見，到現在都認為是自然界完善的經驗定律。但是從吾人所處的時空連續體來說，應當可以構成一條算學式含有不滅性質的。所以說到物質不滅定律不能認作是物理學的問題，只能算作屬於語言學和心理學的範圍：算作語言學的使命

題：則『物質』不過是這問題的算學式。算作心理學的命題：則不過是對於這問題的算學式大概的感覺，用了科學的觀察使吾人的鑒別力漸加明晰，則所生的感覺亦漸能相近。物理學家常自覺對於物質的觀念何等明瞭，實在也不過爾爾。讀者或許要問：物理學所研究的只有何物？物質世界的真相是怎樣？現在把物理學分成三部分。第一種可以包含在相對論裏的，相對論的範圍最好能推廣到極普遍。第二種是不在相對論範圍裏的諸定律。第三種就是屬於一種廣義的地理學。下面依次討論。

相對論裏說到事情在宇宙間的排列，是有四度的次序，沿此次序的相鄰兩樁事情中，有一種關係，叫作『間距』，可用嚴密方法計算。在相對論裏有一假定是論到短量尺圍繞

一會合圓路時的情狀。從這假定的結果，很能使人承認是對的。除此以外，在相對論裏沒有一樁可以當作物理的定律了。相對論裏有許多算學式，證明有某種算學所構成的量具有吾人所感覺之事物的性質；吾人五官所感覺得的就是這種算學所構成的量，這個意見使心理學和相對論裏的物理學講通。但是嚴格說，這兩種都不能算作是物理學所能包範的。

相對論裏在現在還不能包範的物理學一部，是很廣泛而重要。在相對論裏還不能證明應有電子和電核的存在；物質可以集成一塊的理由，也不能說明。這類問題都屬於原子結構的學說裏面。量子論學說也出於相對論範圍以外。相對論的最大利用，不過是一種較進善的方法。引力並不是由於太陽對於行星所發生的影響，只不過是行星所在區域裏的一種

特性。以前認為兩點間的距離，不論相隔多遠，總有一定之意義，到現在知道只有相鄰諸點纔有一定的距離。相隔極遠兩處的距離，倒依其路線而定。自然線距離誠然可以當作距離的定義，但是計算時只能先分作小段而後相加，和用微積分求曲線的長度一樣求法。平常說到距離是指兩點間直線之距離。不過在實在的世界裏根本就沒有理論所說的直線性質；最近的路程是光線的踪跡。直線的觀念要用自然線來代，其定義完全和歐克利特直線的定義不同。在惠爾的學說裏，量法也遭同樣的命運。用了量尺只能量出在一地方的長度；變換到別的區域裏面，就沒有方法可以知道應該怎樣改變的。但是我們可以假定這度的變換是漸漸的、連續的，不能跳躍的。這個假定也許不很對的。這種問題是屬於相對論大體

的意見，就是所謂連續的意見。爲了這種意見，所以相對論不能討論物理學裏的不連續事物，像量子、電子、電核是。相對論以後如能廢棄連續的假定，也許就是解決這類問題。最後一種叫作廣意的地理學，是包括歷史而言。歷史和地理的分別不過是時間和空間的分別；要把這兩種在時空中併合，所以只用一個名詞來表示。爲簡便利，著者用廣義的地理學來代。

廣義的地理學之範圍裏包含各種基本事實，時空的一部分和他部的區別，便在其所含的不同事實上。太陽佔據一部，地球佔據他部；兩部中間區域只充滿光浪，而無物質（除了稀零地佈些小物體外）。許多不同的地理之事實，理論上必有一定的相互關係；要建立這種關係，便是物理定律的目的。

。太陽系如永能和其他恆星相隔極遠，則就在極短的定時間內，對於太陽系的地理之事實，有了充分的知識，聰穎博學的物理學家就能預測太陽系之將來。關於太陽系的較大事實在過去和未來的寫遠時間裏之情形，現在已有人在計算。但是這一類的計算必根據於基本事實。一樁事實和他樁事實必有相互關係，而且計算一樁事實，必從他樁事實來推論，不能只從普遍的定律來推算。所以地理的事實在物理中另有相當之地位。不用別種事實作推論的張本，決不能從物理的定律中推出物理的事實。此處所論之「事實」，是指廣義的地理學裏所含的事實而言。

相對論所講的是『結構』(Structure)，不是講組成這結構的材料。地理學所講的卻是講這種材料的關聯。說到一處和

他處是有區別的，必定是一處的材料和他處的材料有區別，或是一處有材料而他處沒有。我們可以這般說：宇宙中有電子和電核，其餘是空虛的。但是在「空虛」區域裏，也含有光浪，所以也不能說是沒有事物。有人說光浪在以太中發生，有人只說有光浪發生；不過不論是怎樣說法，既有光浪，就有事情存在。物質也就是事情依算學方法而組合成的。所以我們可以說在時空中無論何處都有事情，不過含有電子，或含有電核，或普通認為空虛的區域，其性質是有區別的。對於這種事情的本質，吾人無從知曉，也沒有何種方法可以發見其本質的。

原註1 「均稱」的意義是在各方向都是相似的——譬如一根尺矩北向時的長度和東向時的長

度是一樣的。

第十三章 「力」之廢棄

照牛頓說，物體不受力之作用時，常向直線方向以等速運動進行；如物體不依這樣情形進行，則必有「力」之作用。有幾種力吾人卻很容易想像的，如拉繩時之力，或物體相衝之力，或推物拉物時所用之力等。早先已經說過，吾人理想已爲對的未必是真確的；吾人所認爲有的，不過因爲根據於過去的經驗，多少能預料到所應發生之事實，而無需算學的推算。論到引力所生之「力」和吾人不甚熟習之電力作用，似乎就覺對於吾人的理想，不很「自然」了。地球能穀浮懸於大空中，頗使人費解；普通人們都以爲應當要落下的。所以古代的傳說以爲地球居象背上，而象又居於龜背上。牛

頓的學說裏，除了設隔距作用外，還生出兩項新奇的論調。第一項是引力不一定是向『下方』的，就是不一定向地心的意義。第二項是物體以等速度作圓運動時，和物體不受力之作用時所生之『等速度』之意義，截然不同，圓運動時其方向離直線而向圓心彎曲，由於有力在圓心向這方向吸引的緣故。因此牛頓就想到行星一定被太陽所發之力吸引，就名之曰引力。

相對論裏把這全部的意見改變。沒有舊幾何學所說的『直線』存在。只有『最直線』或自然線，非但表明空間距離同時還表時間距離。光線經過太陽系時雖不沿和彗星軌道一般的路線進行；但是光線和彗星都是沿他們自己的自然線進行。吾人以前的理想，到現在已完全改變。詩人可以描寫河

流入海的原因由於受了海的吸力，但是物理學家和普通人說起來，水流就下是水的本性，由於河面比海面爲高的緣故，而不因海中有何種的魔力。像海水並沒有何種力量可以使河水流下，太陽也沒有吸力可以使行星繞之運動。行星繞太陽只由於沿其最便利的路線進行的緣故——照理論說就是『最小作用』的意義。所以行星繞太陽的現象，由於行星所處區域裏的自然性質，而不由於太陽所發出的影響所致。

行星受太陽的引『力』纔能發生繞太陽運動的假定，其目的不過要保持歐克利特幾何學的價值和地位。事實上空間不是歐克利特的，而強欲認爲是的，則吾人必定要在物理學裏設法彌補幾何的錯誤。當物體不依所謂直線方向進行時，我們便覺得這物體必受了外界的作用。愛亭登討論到這個問題

題，卻很明晰而中肯。他假設有一物理學家能了解特殊相對論裏的間距公式——這公式只能適用於假定觀察者所處的空間是歐克利特的。他再說：

「事情的間距可以用實驗方法比較求得，他不久便能發見所用的間距公式和觀察結果不能符合，而察覺其誤謬。但是他一時不能尋出其謬點。他大概不會懷疑到舊觀念或有錯誤，所以便將所生的差數歸之於所試驗之物體，受了外界作用的影響。他就另外很不自然的假定有一種外擾的動作，以致使他所得的結果微有差誤……使等速直線運動之物體改變其情狀時的動作，就是牛頓所解釋的「力」。所以這觀察者要解釋所得結果之錯誤，說是由於外界的動作，這動作叫作「力場」……力場不過表示自然界幾何坐標系和吾人假定而

任意應用的幾何所不符合之錯誤而已』註 1

人們如能容納世界的新觀念，而廢棄『力』的意義，則不止要改變物理的概念，或者還要改變他們對於道德和政治的意見。這種論調雖不見得合於邏輯，不過也許就會有的。在牛頓所說太陽系內，太陽好像是君王，而命令諸行星都要服從。在愛因斯坦的世界內，每種事物各行自己的意志，不像牛頓的世界那般專制。並且一切事物的行動，都是從容不迫：愛因斯坦宇宙的基本定律就是惰性。『動力』(Dynamic)的原文意義，在報紙上常常作『有能力』講，照新觀念要『舉例說明動力學的原則』，應當是熱帶的居民，坐在芭蕉樹下，等候葉實落到口中的懶惰情形。著者深願新聞記者用『Dynamic』原字來形容某人的性格時，是指只顧眼前便利，而

不顧將來的人們。能這樣則著者之申明爲不虛矣。

人們常常論到那種自然界定律我們應當照這般做的。照著者看起來，這種論調是誤謬的：去仿效自然太覺愚笨。如以愛因斯坦所描寫的自然界作吾人的模範，則對於無政府主義者多一層保障。物理世界所以有秩序的緣故，並不是因爲有一個中央政府，只不過由於每個個體都能盡其職務。物質中兩質點永不會密接的；如相距太近，則兩質點必相撞而遠離。所以有人將他人撞倒，他可以照科學原理正當辯護是沒有碰到別人。他人所以會傾跌，實在因爲在他鼻端附近的時空區域，忽生凸凹不平，以致使之陷於其中，而生傾跌之現象。

「力」的廢棄和第一章所說用視覺來代觸覺而得物理的

觀念，多少有些關聯。鏡中影像移動時，我們決不會想到是受了拉動的緣故。兩面大鏡正對放著後，則同一物體可生無數的影像。設有人戴禮帽而立於兩鏡間，則鏡中就生出二三十個禮帽的影像。另有一人以手杖擊落其帽；則此二三十頂禮帽亦同時下落。我們就想到『真』禮帽的下落，由於敲擊之力，而二三十頂禮帽的下落，只是一種影像本體所生的現象，或者可說是隨原形而變的模仿動作而已。現在再把這現象細細討論。

鏡中影像移動時，當然總發生出些影響。在視覺方面說，鏡中的事情正和不在鏡中之真物一般。但在觸覺和聽覺方面說，就覺毫無影響。『真』禮帽落地時，總要發出聲音；而二三十頂禮帽落下時，並沒有聲音。禮帽落到足趾上，一

定可以感覺着。但是我們相信在鏡中的二三十人決不會有些毫的感覺。天文的世界和這種現象正相同。天體沒有聲音發出，因為真空中不能傳播的。也沒有人能『感觸』着，因為總不會有人到那地方去『感觸』的。所以天文的世界看起來也不見得比鏡中的世界要『真』或『實』些，因此天體的運動，也無需於『力』之作用了。

讀者或許要說著者所講的是無謂之詭辯。並且還可以說，『無論如何，鏡中影像總是實物的影子，鏡中禮帽之下落，是由於力之施於真禮帽上的緣故。鏡中的禮帽並未具有何種特性；不過在模仿實物的動作。這就足證明影像和太陽行星的區別了，因為天體並沒有永久在模仿他的典型的。所以著者最好要放棄影像正和天體是一樣實在的意見。』

這種說法確有真理存於其間；現在要正確發見是「什麼」一種真理。第一步要說明影像不是『虛幻』的。我們看見影像時，確是有完全真的光浪達到吾人的眼裏；如在鏡面遮一布幕，則光浪就消滅而不發生。從這端說，『影像』和『實』物的區別，純粹屬於光學上的區別。光學的區別不過能阻止其模仿。如在鏡面遮一布幕，對於『實』物毫無關係；但是移去『實』物，則影像亦隨之而消滅。由此知道構成影像的光線只能在鏡面反射，並不是從鏡後某點發出，不過是從『實』物發出的。現在舉一普遍原則的重要例子。世界中多數事情並不會獨立發生的，但集成相似或不甚相似的事情的羣，每羣在時空中小區域裏附有相當的性質。使我們能看見的物體和其鏡中影像之光線，就是這般情形。這種光線都

以物體爲中心而四方射出。如於物體周圍用不透明球體奪住，則在球外必不能看見物體及其影像。說到引力現在雖然不認是隔距作用，但得也有中心：就是說在吾人看見這物體所在處，正和山頂一般，四方有山脈對稱的延出，我們就可以說在這物體四周，是附有引力場的性質的。普通常識常把許多事情集合爲一羣，正如所講的引力場一般。兩人看到同一物體，是兩種不同的事情，不過都屬於一羣，和附有同一的中心。兩人聽到同一聲音也是同樣情形。講到鏡中影像沒有原物『實在』的問題，就從光學方面說也能證明，因爲光線並不從影像所在處向『各』方射出，只從鏡面一方射出，並且只有物體在相當位置處，鏡中纔有影像。這就足以說明爲什麼要把事情集合成羣而各附有中心的說法了。

論到羣內事物的變化，可分爲兩種：一種是羣內只有一部分是受影響的，一種是羣的全部都聯帶變化的。鏡前置一燭火，再於鏡面遮一黑幕，則所改變的只是傳到眼中的燭火之回光。如閉目不視，則對於閉目者的外觀是改變了，而對於別人都沒有改變。如用一呎半徑之紅球以燭爲中心而圍繞之，則在一呎外的外觀全改變，而於一呎內則全未改變。上述兩種情形，對於燭火本身卻毫未改變；實在說這種改變是由於一個或幾個事情的羣之中心變化而生的。閉目者和別人所能觀察的區別，在於目之開閉而不由於燭火本身。這時閉目者之目，爲變化之中心。若息滅燭火，則「到處」的外觀全改變；這時變化者爲燭火本身。要是物體本身變化，則以此物體爲中心之事情的羣都受影響，上面所講的還都是普通

的解釋，設法來說明爲什麼燭火的『影像』要比燭火不『真在』些。在鏡中燭火之影像四周，沒有事情的羣附着，所變化的影像中心是燭火，不是鏡後的影像所在點。這種說法足以完全證明影像「只不過」是一種反射光。同時又足以使我們承認天體雖能見而不能觸，但是比較鏡中影像要『實在』些。

我們如能明瞭『力』之廢棄的真義，就可以進而解釋平常所謂一物體使他物體生出某種『效果』的意義。在暗室中開亮電燈：則室內各種事物的外觀都起變化。室內事物所以能使人看見，由於事物反射電光到人眼中的緣故，這情形正和鏡中影像相類；電燈光是發生變化的中心。事物能使人看見，就是電燈光所施的『效果』。如效果是動的則更明顯。

假若於鬧市中放虎出欄：則人衆必向四方奔散，虎就是人衆四方運動的中心。如有人只能見人衆而不能見虎，則必推想在那處必有發生拒力的東西。我們可以說虎使人衆發生運動的效果，而虎所施的動作正和發出拒力一般。我們也知道，人衆所以逃避由於「他們」感受某種感覺，不只因那處有虎在。他們因爲看見虎之形體和吼聲而逃避，或者說，因爲有某種浪傳到他們的眼和耳中。如實無虎，而能設法發出同樣的浪傳到他們眼和耳中，他們也一樣要快跑，因爲他們在近旁時也覺得一樣的恐怖。

現在把這同樣的思想施之於太陽的引力。太陽所生之「力」和虎所生的，其區別不過一個是相吸一個是相拒。虎的動作可生相當的光浪音浪，而太陽則具有使其四周的時空發

生變態的能力。和虎吼聲一般，距源愈近則愈強；漸遠則漸弱。要說太陽是時空變態的『因』，卻沒有多大意義。我們所能知道的是其變態時依照一定的定則，並且其變態在各方是對稱，羣聚於太陽，而以之為中心的。平常論到因果時常常加入許多不確切的名詞。我們所知道有引力物質區域的時空變態，只不過是一個相當的公式。正確的說：我們所能決定的不過有引力物質的時空「是」屬於那一種。在一區域的時空，如不是屬於真正歐克利特，愈近一中心其非歐克利特的性質亦愈甚，並且和歐克利特的性質不同的變化是依某條定律，而吾人為簡略計就把這種情形當作在中心有引力物質的存在。這不過是就吾人所知的一種簡略敘述。我們所能知道的是那地方本身的情形。不是因為那地方有了引力物質纔

生出的情形。所謂因果（『力』的應用，是一個例子）只不過爲解釋某種問題所用一種便利的速記；並不能代表真正物理世界的情形的。

那麼物質是怎樣的？物質是否也是一種便利的速記？這問題很大，要另用一章來討論。

原註 1

見算理相對論自三十七頁至三十八頁。末句是原書中的原文。

第十四章 物質是什麼

『物質是什麼？』的問題是玄學家所常發問的，而其答案都是含糊不清。但是著者所發問的不是玄學家所發問的問題：著者發問的目的爲欲求出現代物理學，特別是相對論學說的真理是什麼。學過相對論後就能明曉物質的意義完全不

是普通所謂物質之意義。現在可以約略講些新的概念。

物質有兩種舊傳的概念，自有科學思想以來，兩造各有贊成辯護的人。首先是原子論家，以為物質是從不可再分的微質所構成；同時假定這種微質在物質中互相撞擊不止。牛頓以後的學者假定微質永不會相接觸，止是相吸相拒，互相圍繞運動。後來又有許多學者假定無論何處都有一種物質充滿，真正的真空是沒有的。笛卡兒贊成這個見解，主張解釋行星的運動，是在以太中的渦動註一。牛頓的引力學說卻不主張真正真空是沒有的說法，因為牛頓和其信徒都主張光是光源所發射出的質點的假設。後來又證明這種光的學說不能成立，知道光是一個波浪，以太重認為顫動和傳播的媒介。到了電磁現象發見後，和光的傳播一般，也要靠以太來解

釋，以太的地位，更形重要。甚至有人主張原子也不過是以太運動的結果。在這時期，物質原子觀就全體說，到了最式微的地步。

現在暫且不講相對論，近世物理對於平常物質的原子結構有了證明，但同時也不否認以太的存在，和以太不是這般構成的論調。所得的結論能融合兩種見解，一種是適用於所謂『實體』物質，他種是適用於以太。論到電子和電核之存在已無疑義，雖然下面就要論到，也和古時對於原子的見解一般，是不中肯的。說到以太，其性質就很奇怪了：許多物理學家還主張保留著，如說不存在，則光和電磁浪的傳播，就無從解釋了，不過除了解釋這種兩現象外，以太實在沒有存在的必要。著者以為相對論裏改變『物質』的舊概念是對

的，物質的意義被玄學誤解爲『物體』，而所表的意義，實在沒有聯想到現象上。這點要討論的。

照舊見解，一個物質經永久時間也不會消滅的，而於同一時間內決不能佔兩處空間。事物照這樣看法，自然是把空間和時間完全分離，正如人們以前所信任的一般。要把時空來代空間與時間，我們當然就要想到構成物理世界的元素，在時間上有限止正和在空間有限止一般。這種元素就是吾人所謂的『事情』。事情不像舊物理中的一塊物質，是不會永存和運動的；不過存在於極短時間，隨即消去。一塊物質可以分解成許多串的事情，就像舊觀念所說，一個廣袤的物體由於無數質點所組成，所以在新學說裏每一質點，在時間方向延長，一定由於無數所謂『事情質點』所組成。無數全串的

事情做成這個質點的全部歷史，一個質點就可當作「是」自己的歷史，不像玄學裏所說的實體一般。這個見解所由產生，實在因為在相對論改變舊物理的觀念，把時間與空間平等看待所致。

抽象的需要必須和物理世界的已知事實是關聯的。那麼什麼是已知事實呢？我們姑且承認光是浪所組成，以公認的速率前進。我們並已詳悉在沒有物質存在的時空一部之情形；我們並且知道是有合於某定律的周期現象發生（光浪）。這種光浪從原子中發出，而現代原子結構之學說能詳細說明光浪發出時的情況為何，並且能說明決定浪長方法的理由。我們所知的非但是光浪怎樣的進行，並且知道光浪對於吾人的運動是怎樣。說到這點著者假定我們能認識相隔極微時間

的同一光源。這就是要研究的問題。

前章說過許多聯屬事情集合而成一羣，各事情的相互關係都合於一定律，而於時空中共組成一個中心。這個事情之羣藉閃光的光浪傳到各處。我們不用設定在中心處有何種事物特別發生；當然也不用假想所發生的事物是「什麼」。我們所知道的不過是時空中的幾何形狀，即以所論事情之羣圍著中心而排列成的，正像飛蠅觸到水面時所生的圓波一般。我們假設能發明一種現象，發生於此中心而生擾動，依某定律而傳播。這假設的現象照常識說，就是這擾動的『原因』。我們同時還要想到，信據擾動的中心的，只是物質質點的生命史（一串事情）中的一個事情。

我們還知道從中心依照某定律而發出的光浪，不止發生

一條後就停止，大概都隨即再發出相似的光浪。例如太陽外觀的形狀不會驟變的；就有強風吹來片雲，速度雖大，而遍蔽日輪時，還是漸次的。照這樣說，在時空中有以一點作中心的羣存在，必隨即生出以相鄰諸點爲中心的相似羣。在每一羣之中心，常識上假設都有一現象佔據，這許多假設的現象，聯成一串，就是說，用了這無數相似假設的現象所聯成之全串，就成了所謂假設的『質點』。這兩重假設實際是不必需的，不過用了牠們，纔可以表示出舊世界觀中的『物質』一個名辭。

如欲免去這兩重假設，可以說在某時間的電子就「是」其周圍媒質中的各種擾動，照平常說，這電子就是使媒質生擾動的『原因』。現在且不論擾動發生時，對於我們說在什

麼時間，因為這個情況是和觀察者有關係的；我們無需從電子所在處以光速前進而觀察其擾動，只要在吾人所經過的幾處的擾動來看。這種差不多是同一中心而極相似的擾動組合，只於時間先後稍有參差，為便利計，就認為「是」在時間方面先後稍有參差的電子。這樣則物理的定律仍能保持，不必依據於不必需的假設或實體存在的問題，並且還能合經濟學的重要原則，使相對論裏刪棄了多少無用的廢辭。

常識以為看見一張桌時實在是看見一張桌。這是很大的謬見。常識說看見一張桌，只是某種光浪傳到眼中，同時因以前的經驗，就聯想到某種觸覺感覺，還想到別人的證辭說也看見桌子的。但是桌子本體是什麼，我們都不知道。這種光浪先作用於我們的眼睛，再作用於視神經，再作用於腦筋

。有了這同樣的作用，就是沒有桌子，也足以使吾人感覺到『看見一張桌子』。（如果物質認為是現象之羣，則眼睛、視神經、腦筋也都不能例外的。）說到我們手指摸到桌子所生的觸覺，照現代物理說，是由於接近桌子的電子和電核所施的作用。如果沒有桌子存在，只要吾人的手指能感受到同樣的情形，也會發生桌子的感覺。至於說到別人的證辭，那更是間接了。在法庭上問到一位證人是否看見這情形，如果他說聽到別人都是這般說，所以我也這般說，這樣的證辭是不能成立的。別人的證辭只是一種聲浪，所以關於這個問題，非但要用物理的討論，還要用心理的討論；那末和物體的關係更形隔膜了。因為這種種原因，我們說到有人『看見一張桌子』的一句話，不過是一句極端簡略的表示，免去了

繁複和困難的推理，實在是很有詳細討論的餘地呢。

在研究過程中常有心理問題混入的危險，所以要想法免除之。現在只從純粹物理的立場來講。

著者所要講的就是下面一段。因為電子的存在而發生的事物，除了一種隱蔽的發生方法外，都可以用實驗探求的，至少也可以用理論探求的。但是問到電子內部所發生的（如果是有的話）是什麼，這是絕對不會曉得的：就是要窺測電子的器械都沒有。所知道的只是電子所生的『效果』。說到『效果』又屬於因果的見解，而不合於現代物理的，當然更不合於相對論了。我們只能說在牠附近時空的一部，有某種現象之羣聯合發生，這纔是正當的說法。某觀察者覺得在這羣內一分子比他分子要早些，而他觀察者也許覺得其時序適

相反。就說對於任何觀察者所覺之時序都相同，而先後兩樁事情的互相關係，也是對等的。說到用過去可以推測將來的意見，未必比用將來可以推測過去是對些；先後不同的外觀，由於吾人智識的不充分，因為吾人知道將來的情況比較過去要少。這個情形不過是偶然的機會；也許有一種生物能穀記憶將來而推論過去。這種生物的感覺正和吾人的感覺相逆，但是不能說他是荒誕不經的。

事實上吾人所知的電子不過是牠所發生的『效果』，所以就沒有理由可以假想除了『效果』以外，還有何種事物是存在的。『效果』既是光浪和電磁的擾動，則所謂『空虛空間』可以當作這種擾動可以自由傳播的區域所組成。就吾人所知，每種擾動各有其中心，吾人行近其中心時（雖然總要

保一定的距離不能太近），便覺到這擾動傳播之定律，就不能適合了。定律所不能施用的區域，就叫作『物質』，是電子還是電核依其情狀而定。這種區域和同類的區域常作相對的運動，其運動情形依據已知動力學的定律。這種學說只說到電磁現象和物質運動的情形；並且除了說『物質』不過是一種電磁現象外，沒有設想牠是什麼東西。要把這學說完全說明，自非引進許多繁複深奧的理論不可。但是我們討論到物理的事實和定律時，也只要假定『物質』不過是事情之羣就殼，每一事情就是我們普通認其發生『原因』是由於這物質所致。這樣說法並不會改變物理公式的符號，不過把這符號的意義改變而已。

以上種種解釋的範圍，都屬於算理物理學的特性。我們

所知的只是極抽象的邏輯關係，用算學公式表示出；我們又知所得到的結論有時可用實驗來證明。例如愛因斯坦的光生彎曲之學說，經日蝕的觀察而證實。用了照相機照到多張極精微的距離量度的照片而證實的。所證實的公式就是光線經過太陽近旁的路線之公式。能合於觀察結果的公式，有的雖然只有一種解釋，亦有可以有各種解釋。在愛因斯坦的學說和牛頓的學說裏，行星運動的公式幾乎是相同的，但是各人的公式之意義卻完全相異。一般的說，用算學討論自然界的結果，我們極容易決定所得公式逼近真確的程度，但是很難斷那一種解釋是完全真確的。本章所論的也都合於這種見解；至於電子和電核的性質之問題，在算理物理學中雖然說到其運動定律和其互相作用的定律，也無法可答。這問題的一

定不易的答案是沒有的，因為有許多不同的答案和算理物理學的真理都能符合。不過總有幾個答案比較圓滿些，因為其成立的可能性比較大些。在本章裏我們所探求得的是物質的定義，如果物理學的公式是真的，則物質「一定」要像這般的情形。要是我們仍然要保持舊觀念，把實質、堅硬、有大小的一塊來作物質質點的定義，則吾人決不能「確知」這種東西是可以存在的。從這點來看，就是知我們所擬的定義，看起來似乎是繁複，而從邏輯的經濟和科學的慎重之立場說，是很可採選的了。

註一 笛卡兒的筆蹟見第五章註一。渦動說 (Vortex motion) 的假設是他所創立的。他解

釋行星繞日之現象，由於太陽附近的以太發生一種旋渦運動，而行星都依此旋渦而運動。

第十五章 哲學的結論

相對論的哲學結論並沒有人們所想像那般驚奇。決不像歷來實在論和唯心論的辯論那般嚴重。有人以為所得之結論贊成康德 (Kant) 註一的主張，說空間和時間是『主觀的』是一種『直覺的形體』。這實在由於讀者誤解相對論著者所用『觀察者』這名辭。普通意見總以為觀察者是人類，至少也要說是心；事實上也可以算是照相片或時鐘的。說是說，以前所講的在某『立場點』和在他『立場點』所得不同的奇異結果，其意義不僅限於實地觀察的人們，也能適用於所應用的物理儀器。在相對論所論的『主觀性』是「物理」的主觀性，就是世界裏沒有所謂心意這類東西，這性質也一樣是有的。

這種主觀性並且有極嚴密的限度。相對論裏並沒有說「

一切事物」都是相對的；相對論亦僅能供給區別事物和其物理現象本身的相對情形之技能而已。如果說對於時間和空間，相對論是和康德的意見一致的；那末對於「時空」，相對論就和康德的意見衝突了。就著者的見解說，兩句話都不對的。著者覺得哲學家如果贊成第一句話，卻沒有理由可以否認第二句話的。關於這兩點見解以前沒有具體的討論，現在也沒有；要是承認任一句話是對的，就流於獨斷，而不合科學的態度。

愛因斯坦學說內所含的觀念如能熟習，能像在學校所授的功課一般，則吾人思想的習慣很容易變化的，到後來就會發生重大的結果。

我們現在和道物理學所探求到的物理世界情形，遠不及

吾人以爲應有的那般多。在舊物理學中所有的『重要原則』有的已變成像一種『重要定律』，像三呎爲一碼是；有的已經完全推翻了。質量常住觀念遭了兩重不幸的變遷，就是以表現『定律』的不可靠。質量的定義普通是『物質的量』，並且經實驗的證明，是不增不減的。但是用了近代極精密的測量，就發了奇異的結果。第一種，就是所謂計量質量常隨速度而增加；並且已經發見這種質量和能力是屬於一種的。這種質量在一定物體內也不是不變的，不過在全宇宙內質量的總量，纔是常住的，至少可以說合於和常住定律相似的一種定律。這種定律確是可以認爲真理，具有和三呎爲一碼的『定律』之性質；這種定律從吾人所用測量方法得到，所以不能表示物質的真正性質。另外一種質量叫作『專有質量』

，就是觀察者和物體同時運動時所測之質量。在地面的物體都有重量，不會自己飛去，所以是合於這個情形的。物體的『專有質量』差不多是一定的，不過不是完全不變的，而世界中『專有質量』的總量也不是完全一定的。人們都以為四個一磅重之物體同時稱之，必重四磅。這是習俗的謬見：全體的重實在要少些，雖然這相差數就用最精細的測量也不會發見的。然而四個氫原子結合成一氦原子後，其變易就能看出了；計量氦原子的重量，是比四個獨立的氫原子之重量輕些。

舊物理學大致可以分爲二部，真理和地理。另外還有較新的一部，像量子論學說的一類，却能供給對於實驗所得之定律許多充分知識。

相對論在吾人理想中所表示的世界是「事情」的世界，不是在「運動」的「事物」之世界。當然另外還有電子和電核的存在，但是這些（前章講過的）實在可以認為是相聯事情的一串，像歌曲中的接連之音符一般。只有「事情」是相對論物理學的材料。在相隔不甚遠的兩樁事情中，在普遍相對論和特殊相對論裏，有了一種可量的關係，叫作「間距」，這纔是物理的事實，而時間的過渡空間的距離兩者的表示，多少是不確切的。在相隔極遠的兩樁事情中，就沒有一定間距。但是從這事情到那事情的路程中，總有一條、其小段間距之和是最大的。這條路線叫作「自然線」，物體自由運動時，就沿這條路線進行。

相對論物理學不像以前的物理和幾何一般，只是一步一

步演進的。歐克利特的直線是用光線來代替，當光線行近太陽或極重的物體時就和歐克利特的直線性微有不同了。離開極遠的空虛空間之區域中，三角形三角之和仍等於兩直角，但是在物質的鄰近，就不等了。我們不能離開地球，所以不能到合於歐克利特特性的地方。用理解所證明的命題大半變爲擬定的法則，或者經觀察之證實，只是一種逼近的真理。

當理解力漸增，則能證明事實的能力亦漸弱——不止相對論一種——這是很可奇的。以前認邏輯是教我們怎樣去推理的，現在曉得邏輯是教吾人怎樣不去推理。人們在理解事物時，應當先要攷查所用的推理是否正確，這種推理在早年是不思索的推論出來。許多不合的哲學和不合的科學都從這種偏見得到的。『重要定律』，像『天然界的齊一』、『宇

宙因果定律』等等，都是想把吾人的信仰集中，就是說以爲以前總是這樣的，以後也必是這樣的，這個見解是不對的。不過要尋出一種原則來替代科學裏所有的假原則，是否容易的事；不過相對論學說或許能給與吾人所企圖的暗示。舊觀念中的因果，在理論物理學中是沒有地位的。當然另有代替的概念，不過所代替的比廢去的舊原則須有較強固的經驗根基。

我們平常總以爲在宇宙裏所發生的各種事情都能記載其時間，這個觀念廢棄後，則吾人所有原因、結果、進化和其他的見解，到底總要改變的。例如討論到宇宙全體是否進步的問題，也許要靠吾人所選擇的量的時間的方法。如果我們在同樣合用的時鐘內選擇一個做標準，則也許覺得宇宙的進步

極快，好像大多數樂觀派的美國人所感覺的情形；如果選擇另一個同樣合用的時鐘，則也許覺得宇宙的情形愈趨愈下，好像許多苦悶的斯拉夫人所想像的。悲觀主義合樂觀主義沒有正誤之可言，不過根據於所選擇的時鐘而定的。

廢棄這種觀念，可使某種情緒也受同樣的損毀。一首詩裏說：

遠處有一樁神意的事件，
全體造化都向之而運行。

但是這樁事件如果離開極遠，而造化的運行又極快，則在某部覺得這樁事件已經發生，而在他部則仍覺尚未發生。這首詩就要加以改正了。第二句應當改成：

造化的一部向之而運行，而他部則背之而運行。

這樣說法還不甚好。一種情緒用了一些算學就足以打破的，是不很確切也沒有多大價值的。論到這首詩還要批評到維多利亞時代，這是出於著者的論文以外的。

著者重言申明說，我們所知的物理世界，比以前所想像的要抽象得多。物體的中間只有現象，像光浪等；這種現象的「定律」我們確能知道些——只能用算學公式來表示——至於這種定律的「本質」我們完全不知道的。對於物體本身，照前章所講的，我們所知道太少，甚而不能知道物體究竟是什麼：物體「也許」只是在各處的事情之羣，這種事情就是平常認為物體所發生的效果的。我們所認識的世界不過是外表圖形；就是說，我們所想像的和所見的只是多少有些相似。這種相似性只是一種表示結構的形式邏輯之性質，而吾

人所能知的也只是結構變化時的某種普遍的特性而已。用一例子或許可以說明這句話的意義。音樂團所奏的歌曲和曲譜上所印的歌曲中，有一種相似性，可以說是結構的相似。我們只要知道音樂的法則，就可以從音樂推出曲譜，或從曲譜推出音樂。如有一先天的聾子，但與習音樂者長相處。如此人諳譜唇語，則亦能知曲譜與其所表示的，其結構雖相似，而其根本性質是完全不同的。註¹他對於音樂的價值完全不能領會的，不過能明瞭這兩種的算學特性，因為其特性是一樣的。我們對於自然界的認識，也不過如此。正如聾子一般，我們能殼讀自然界的曲譜，也能從曲譜推想到相應的音樂。但是我們還不能有像他可以廁身於音樂團內的權利。我們不能知道這曲譜所表示的音樂是優美的或粗俗的；經了最後

的分析，就許不能知道這曲譜除其本身外還可代表些什麼。但是許多物理學家有了專深的研究，卻不能容納這種意見，這是很費解的事。

就使物理的研究已臻極峯，也不會說明所變化的事物是什麼，或其各種狀態是什麼；只能說明這種事物依次作有周期的變化，或用一定的速率傳播。在現時期還未能把只是一種空想的觀念消去，而求得真正科學的要領。相對論正努力做這種工作，使吾人的觀念漸趨於純粹結構的研究，這種結構就是算學家的最後目標——因為算學家可以用公式來代表的。

吾人所論的物理知識之抽象性質，對於不習諳算學者的觀察者，是不滿意的。這個見解對於藝術或理論的立場說，

是有些遺憾，不過於實用的立場說，是沒有什麼要緊的。政治家所做的是抽象的工作，但是比『實際』工作人們的權力大得多。他做棉麥的交易不必親視貨物；所要知道的只是二種的市價漲落。他的知識至少對於農學家的知識，比較是抽象的算學知識。同樣物理家對於事物的認識只有幾條關於運動的定律，然而就足使之解決一切。物理學家求得全組的方程式，其中符號所代表事物的本性雖永不能知，而物理學家至少可以得到一個結果，合於吾人的理解，並可利用之以解決人生諸問題。吾人所知的物質雖然是抽象的，但是原則上已經足以告訴我們合於吾人理解和感覺的法則；根據這種法則便可以產生物理學的「實際」應用。

吾人所知的雖是很少，但是可異的是我們所知是很多，

更可異的是從這麼少的知識可以供給吾人這般大的權力，這是最後的結論。

原註1 『結構』的定義見著者所著的算理哲學概論。

註一 康德 (Immanuel Kant, 1724—1804) 德國之哲學家，他的學說很豐富，「批判論」

(Criticism) 哲學是他所首創。他所著純理批判書內論到我們對於經驗世界的認識不過

是「各種沒有系統是事物。我們的官覺感受了外界事物的印象，就組成知識的材料，這種

茫無頭緒的外界事物，要組成有系統有秩序的現象，一定要靠先天存在的一種「範疇」(

Category)。有了這種範疇，我們所受的感覺，就可組成有系統的知識。」

附錄

相對論書籍各國出版者極多，現由譯者舉其重要者多種於

下：

Angersbach, Das Relativitätsprinzip.

Brill, Das Relativitätsprinzip.

Brose, The Theory of Relativity.

Born, Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen.

Cassierer, Zur Einsteinschen Relativitätstheorie.

Cohn, Physikalisches über Raum und Zeit.

Cunningham, The Principle of Relativity.

Cunningham, Relativity and Electron Theory.

Eddington, Report on the Relativity Theory of Gravitation.

Eddington, Space, Time and Gravitation.

Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie.

Einstein, Aether und Relativitätstheorie

- Einstein, Geometrie und Erfahrung.
- Freundlich, Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie.
- Kirehberger, Was Kann Mann ohne Mathematik von der Relativitätstheorie
verstehen?
- Lämmel, Die Grundlagen der Relativitätstheorie.
- Lenard, Über Relativitätsprinzip Aether, Gravitation.
- Lorentz, Versuch einer Theorie der Elektrischen und Optischen.
- Lorentz, Einstein Minkowski Das Relativitätsprinzip.
- Lémeray, Theorie de Relativite.
- Lane, Die Relativitätstheorie
- Plüger, Relativitätstheorie
- Reichenbach, Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori

Schlick, Raum und Zeit in der gegenwertigen Physik.

Schmidt, Das Weltbild der Relativitätstheorie.

Schwassmann, Relativitätstheorie und Astronomie.

Silberstein, The Theory of Relativity.

Tolman, The Theory of Relativity of Motion.

★ ★ ★ ★ ★

羅素的著作很多，現在把幾部名著列下：

German Social Democracy.

An Essay on the Foundations of Geometry. (已絕版)

A critical Exposition of the Philosophy of Leibnitz.

Principles of Mathematics Vol. I. (已絕版)

Philosophical Essays (已絕版)

Principia Mathematica 3 Vol. (與 White head 合作)

Problems of Philosophy.

**Our Knowledge of the External World as a Field for Scientific Method in
Philosophy.**

Justice in War Time

Principles of Social Reconstruction.

Political Ideals.

Mysticism and Logic.

Roads To Freedom.

Introduction to Mathematical Philosophy.

Analysis of Mind.

Analysis of Matter.

聖

A. B. C. of Relativity.

A. B. C. of Atoms

Icarus, or the Future of Science.

What I believe.

嶽

