

萬 有 文 庫

第二集七百種

王 雲 五 主 編

物 理 認 識 之 途 徑

(下)

著 克 朗 蒲
譯 墳 先 楊

商 務 印 書 館 發 行



物 理 認 識 之 途 徑

(下)

著 克 期 蒲

譯 培 先 楊

自 然 科 學 小 叢 書

編主五雲王
庫文有萬
種百七集二第

徑途之識認理物
册二

Wege zur physikalischen
Erkenntnis

究必印翻有所權版

中華民國二十六年三月初版

原著者

Max Planck

譯述者

楊先培

發行人

王雲五
上海河南路

印刷所

商務印書館
上海河南路

發行所

商務印書館
上海及各埠

密

中一六一

(本書校對者曹鈞石)

萬有文庫

第二集七種

總編 董 著

王雲五

商務印書館發行

物理的法則

(一九二六年二月十四日在狄索多夫 (Dieseldorf) 學院演講)

我底高貴的女士們和先生們！在經艱苦試練我們的祖國現在所忍受的嚴重空乏和深刻屈辱的時期，每個德國人都必須感到是光榮底責任去愉快地認識其民族，而在其影響範圍，盡其最好力量，協力於殘破之再建。在文化財產底區域，我們也遭受沉重損失，值得加倍努力以逐漸贏回德國在各民族中曩時保持的光榮和繼長成功的地位。若我們看見現在還有大稱國際的科學組織彰明地拒絕德國學者參加其會議，這必得是這些學者加強的刺激，以他們底工作之廣袤與牢固，來給與德國科學尚在活着，不能忽視它而無損於一般科學進步的證明。若各個人只能對全般工作供給一卑微的部份，但他於國際科學底寶藏所貢獻的價值，也盡了相應其力量的全付責任。爲要對這種感想作證，我樂於對此榮幸的邀請，在這裏，狄索多夫，這所道地德國文化作坊，它

也全然生受大戰後艱難的現象，報告關於我底特別科學的區域一個題目，而請諸君今天容我可以新研究之光底下，在諸君之前，展開幾個關於物理法則的考察。

一

什麼叫做物理法則呢？一個物理法則是每一命題它說出可量的物理大小之間固定，不可損犯地有效的關繫，若其餘的由測量是已知的，便能以計算的關繫。物理法則可能地完滿的認識，是每一物理家最高的熱望的目標，他可以從利用底立場去估量它，以為由它會節省我們耗費很貴的測量，他也可以更遠到地，尋求內在深沉的求知慾之滿足與其自然觀底堅固基礎。

我們怎樣達到各個物理法則之確立，而它們之外現又怎樣呢？首先我們全然不可認一般地說一種物理法則之存在或它直到現在存在而將來也一樣存在，先天地是自明的。這是全然可思的，而我們毫不能作什麼若自然好好一天以一種完全出乎意外的事件之到來而玩弄我們，儘管一切努力都不克使發生的混亂到任何有法則的秩序。於是科學不剩旁的，只有宣告破產。從這個

理由，科學必須以一個一般法則底存在爲先決條件，爲立在其底發展之尖端的要則，或如康德所說，因果概念（先天所給的範疇也計算在內）沒有它將不能得任何認識。

從那裏必然隨着物理法則之本質與物理法則之內容不能由純粹思考而得，乃是沒有其他的路，除了首先依賴自然，從它之中蒐集可能地豐富的多方面的經驗，將它們互相比較而可能地一般化到簡單和遠包的命題，一句話：歸納底方法。

爲之基礎的測量愈精確，一種經驗底內容也愈豐富，於是一切物理認識底進步，緊連着物理器械與測量技術之精細化是不言而喻了。這正在最近物理史提供了動目的佐證。但單是測量還作不了它。每種測量都與個別的首要只限於自己的事件，和以這樣的事件，在一定地域一定時間與夫一定測量器械和一定的觀察者相連，即使在許多情形，獲得的一般化，瞭如指掌，自己便貢獻出來，可也有其他的情形要在當前各種測量找到共同的法則是非常困難的——或是像是簡直沒有可能，或是當前一般化底可能太多，也很能有不滿足的影響。

在這樣的情形，沒有旁的方法前進，除了以試練的方式介紹某種假定，所謂工作底假設，而看

同着它可走到多遠。假若假設在不是它預先劃歸的區域也得證實，便是其可用特別好的記號。蓋即可斷定它所說出的法則關繫，有深入的意義而開了基本新的認識。

若這樣適宜的工作假設，顯為每一歸納研究者不可少的補助手段，便來了重要的問題，怎樣開始使最可能地有用的假設可以找出。但此毫無一般的章程。蓋這裏單是邏輯的思維，是決不夠的，即使有豐富而多方面的經驗，也一樣不夠。此處毋寧單賴直覺，幸運的靈感，常初似很猛的思想飛躍，這只能是生動的自立的以既存事實之精確認識而正軌地相連的幻想與強烈的創造形成力才能實現它。

在最多數的情形，這是關於某種想像與相似底引入，它連到另一區域已知的法則關繫，因而對物理世間相底統一化更進一步。

但正在這樣大著成效的一點，常也埋伏着嚴重的危險。蓋即勇敢的步趨真是幸運的，所引進的假設證明了它底效能，還得往前完成，剝出其特有的核心，以實質的式列明立其對的內容而肅清一切不重要的附件。這可不是像或者起初看來能以那樣簡單的事。蓋在幸運的思想飛騰所建

立的橋樑，它爲傳達新的認識的過道，在更切近的檢視，很常常只是暫時的而後來必須以耐久的能禁受批評的邏輯底重礮者來代替。我們一樣必須考慮每一假設皆是可感觸的幻想而幻想以觀念工作。但觀念在物理中，儘管在假設之構成很少能免，對於合理的理論之完成，即邏輯的立證，是極端可疑的補助手段；蓋對某種在一定的方向證明爲很有用的觀念的想像和思想途徑那種很可理會的信賴，易引到其意義之過高估計和不可持的一般化。還要附加上恰恰是那個有新效能的理論的創造者，或是出於方便，或是出於對引他到成功的特殊理想化合某種懷恩之感，照例少有適於從事根本的變更，而他常以其獲得全副權威，能維持他原來所取的立場，如此便很可了解那理論底健全往前發展常遇重大的困難。這種關係的例子，我們在物理科學底歷史步步碰見，以迄於今。諸君讓我此地說幾個最重要的。

物理法則最早的認識，自然在最初可能精確測量的區域：空間和時間，即力學底區域。這也容易了解那法則的關聯之陳立，最先剛在那些獨立於外面伴隨的環境之偶然和干涉的運動：天體底運動。千年前東方底文化民族已了解從他們底觀察，推演可以很準計算太陽和行星周年運動

的公式。每一測量確度之提高，公式都隨之改善。其併列與比較在較晚的發展引到浦脫勒毛（Ptolemaeus）、哥白尼、克布勒之理論，每個在簡單與精確上都越過其先行者。一切這些理論都同是對天體，如行星，底位置與這些位置所取的時間點之間法則的關繫。這個問題的回答當然，每一行星底這種法則關係都另是一樣，儘管在行星運動可以證明許多共同的性質。

超出這種問題提法而作了決定的一步，是牛頓，他將關於各種行星的公式，統括到一個唯一的對一切行星，一般地說對全般天體皆同樣適用的運動法則。這樣一個成功所以能達到，是因他以時間微分代替時間點，使運動法則從所應用的特殊時間點獨立。牛頓行星運動底理論不是說出一個行星底位置與時間之間一定的法則關繫，而是行星底加速率與其從太陽的距離間之關繫，而此法則，一種向量（Vector）微分方程，於一切行星都精確地同樣。於是只要知道在任何個別的時間點行星底速度和位置，便可明白算出它在一切時間的運動。

牛頓運動法則底把握，不僅意義着一種描寫自然的新形式，而且也是實質關繫之認識真的進步，這在其更遠實現所供的結果，更爲明白。它不僅在精確上超過克布勒公式，例如地球繞日的

橢圓運動有時以靠近木星而被攪亂，牛頓法則與測量完全一致，而且它也說明克布勒法則所不能把捉的別種天體之運動，如彗星、雙星等。但助牛頓理論到最直接全徹的成功的，是其對地球運動之應用，直接引到自由墜落和加利略由其測量所確立的鐘擺運動，與夫更遠說明某些觸目的否則全不可解的現象如潮汐，鐘擺平面底旋轉，螺旋運動底推進和相類的數目的法則。

可是牛頓怎樣達到其爲一行星底運動的微分方程呢？這是我們現在首要感覺興趣的問題。他達到其方程不是以一行星底加速率無保留地與其對太陽的距離生關係而去求它們之間一定的數目的關繫，而是在其思維中首先建一座橋樑，從行星底位置概念渡到加速率概念，這座橋叫做力。他想像一方面由一個行星對太陽的位置而定對向太陽的吸力，另一方面此吸力在行星底運動大小中爲一定變化之原因。如是遂發生一方面引力法則，另一方面惰性法則。力之概念自身，無疑地如力字已經說過的，淵源於提舉重量，或滾擲一個球時那種筋肉感覺之想像，而比想像更一般地應用到每種運動變化，即使此種運動變化大到爲人類筋力遠不能夠達到的程度。

牛頓這個力之概念，幫助他到如此根本的成功而給與決定的意義，儘管這概念（當然也很

可注意的)並非本來的運動法則,而他在這概念去找每一運動變化底首要原因,是無足驚異的。這樣,牛頓的力,不單在力學即在整個物理也當作主要基本概念,而人們日漸習慣在一切物理過程都第一追問爲其原因的力。

這裏立着與我們物理底新發現所供的圖案某種對立。可以安然說牛頓的力在今日對理論物理已失其基本的重要。在近代力學建築,它顯得只是次要的大小,人們以較高的較統括的概念,工作或位能底概念代替了它,將力一般地界說成電位降落或負的電位梯度。

但是——人能這樣責難——若工作之發生總必先有力在而領引出工作,如何可能視工作爲首要的呢?誰如此說,誰便不是物理地想法而是生理地想法。當然在高舉重量所施的工作,肌肉之收縮與伴隨它的感覺是首要的而構成發生運動底原因。但這種生理的過程在概念上是要與此地所談地球對重量所施的物理的吸力(而它又單由首要的現存引力位而定)嚴厲分開。

位對力不僅因物理法則由其引入而採了更簡單的形式,應居前列,也因位之概念較力之概念所達更遠,即超過力學區域直到牛頓的力不能再談到的化學化論底區域。當然必須承認

位之概念未具有力之概念其關係能在筋力感官中那樣直接明顯的好處，因而力之概念底撤廢，物理法則底明豁性要感受重要的損害。但這種發展在自然中是事實。物理法則不是向人類的感官及與之相應的觀念能力，而是向事物自身。

總之，據我底意見，對於教力學導論，還必要首先從牛頓的力出發，如在光學首先從視覺出發，在熱動力學首先從熱底感覺出發一樣，儘管這種基礎後來將由較精確的代替。我們也不可忘記一切物理概念及命題底意義最後還是涉及其對人類感官的關係。這正是物理研究特有程序之特徵。爲要能構成可用的物理概念與假設，我們首先必須回去把握直接適應觀念能力的特別感官感覺。單從這種能力，我們創造我們一切的理想。但若我們願達到物理法則，我們必須盡可能地將引入的觀念圖象抽象了去，將提出的定義從一切不與測量有邏輯地必然關繫的附件和想像解放出來。夫然而式列了物理法則，將它由算學的道路引到了決定的斷案，至終爲要所得結果於我們有價值，必須將它重又譯成我們感官世界底言語。這在某種意義是一個繞圈子的道路，但是全然必須的。蓋物理法則之簡直與一般，常由自一切擬人的附量抽象之後而出現。

這樣思想橋梁和明豁的補充概念，如我嘗試以牛頓的力爲例所描寫的，在理論物理中有很大的數目。我願在這種關係只再舉一個，它爲范霍夫 (Van't Hoff) 介紹的，而變爲於物理的化學如此有益的滲透 (Osmotisch) 壓力概念，以使物理溶解法則，即冰點與汽壓底法則能明豁地式列。滲透壓力之實現與測量，只可相對地不完全，因必須甚複雜的器械，所謂半滲漏壁。這偉大的研究家根據簡直殘缺的觀察材料而引到以他而得名的法則之式列，人們必更驚異其直覺的銳視。在這個法則今日的把握，滲透壓力亦如牛頓的力於運動法則少被需要了。

還有另外的高度明豁的思想橋梁之種類，於有益的工作假設之構成很有價值，但在更往前發展中，證明了爲進步之障礙。這種事值得在此地特別舉出。如人慣於在自然中一切變化後面，猜測一種爲原因的動作的力，相應地人也容易慣於將一種不變的恆在的大小想像作一種實質。實質概念，在物理中始終演重要的，但在更切近的觀察，不永是無條件必用的腳色。第一容易看見的是每種所謂保持法則 (註一) 意義着實質的，而這種想像確乎適於使命題底內容明瞭，因而其

(註一) 如普通物質不滅，能不滅法則等。——譯者。

使用也。以之輕易。可是我們想像一種大小，雖經一切變化，仍恆持其量，除了想它是在一運動的物體中，頗難更爲明瞭。這兒確連到以一切自然中的過程都歸到實質量底運動，即歸到力學那種努力。這樣，光底產生和傳播，以一實質的光以太之波動，使得明瞭，事實上，由這條道推演的光學最重要的法則與經驗一致，直到一朝來到力學的實質理論不允爲用而論入無益的玄想中的時候爲止。

在熱底區域，實質概念也有一時施行過很高超的東西。量熱學 (Kalorimetrie) 在前世紀所經驗的縝密的完成，根本由於假定從較熱的到較冷物體之通流，熱之實質留着不變這種觀點。當引到證明熱量也能增加時，例如摩擦過程，實質理論便碰了釘子而圖恢復創傷於補加假設，此但可一時不能長久。

在電學，只膚淺的觀察已指出可慮的結果，爲實質的想像過度擴張所帶來的。這裏，電量不變底命題，連着電流概念，和荷電與傳電體交互作用底法則，由想像一種電的實質，它是很細的，輕輕動着的，賦有某種力之表現這樣想像而異常顯豁。這比擬之所以不可通，在人們必須承許一種正

的和一種負的實質，它們在彼此連合時便完全中性化——這一種過程，總之在通常的實質，是不可思議的，正如兩種對立的實質從虛無產生一樣。

這樣我們看見，怎樣想像底圖像與由之而生的觀念爲物理研究所不可少而曾無次數供給開認識新軌的鑰匙，但必須以異常小心去應付，即使它一時間是證實了的。在更遠發展底道上，唯一可靠的領導者還總是測量與由邏輯方法從與它直接相連的概念所能推斷的。一切其他斷語，恰恰是那些由某種直接的所謂自明著稱的，永遠得用某種懷疑去看。蓋關於界定了的概念，證明確否，決定的不是觀念，而是理解。

二

我底女士們和先生們！直到現在我們主要注意的是由何種道路可達物理認識這個問題；現在我們願更轉到切近點把握物理法則底內容及本質。

一個物理法則通常表現在一個算學公式，以計算在一定已知的條件下的任何物體，所經過

程之時序。從此點觀察，則一切物理法則，皆可依其內容，無條件地分爲兩大類。

第一類法則，當人們將時間前面符號顛倒或另外表示，其有效性不變；每種能滿足此種法則之要求的過程，能倒向後走而不與這些法則相矛盾。此種法則之例，如力學法則與電動力學法則。在不管熱與化學影響程度之內。每種純力學或電動力學的過程都也能在倒轉的方向經過。一個無摩擦的下落的物體將依同樣法則加速如一上飛的無摩擦的物體之加緩，一個鐘擺在同樣條件下向左亦如向右之振動，一種波能向一方亦如向另一方傳播，向外亦如向內一樣，一個行星能在一種意義亦如在另一種意義一樣地繞日運動。是否和怎樣這種運動之顛轉真能實現，完全是另一問題，爲我們此地所不需深入的。此地只管法則本身而非其應用所在的特殊事件。

第二類法則，特徵是在時間底前面符號演重要的腳色。因此屬於此種法則的過程，是向單方面的，不自返的。屬於這些過程的，爲一切那些熱和化學化合演有腳色的過程。在摩擦，相對速度不斷減小，永不提高；在傳熱，較冷的物體不斷加熱，較熱的不斷變涼；在溶合，兩種相混和的實質之混和，永在更加複雜的意義，永不在變純底意義前進。因此不可逆過程總引到一定的終的：摩擦到

相對的靜止狀態，傳熱到溫度平均，溶合到混合完全均勻。而可逆過程反之，在無外面干涉之限度內，不知有始，不知有終，而留在永恆的往復。

怎樣能將這兩種完全對立的法則加上一頂帽子如物理世間相統一化底利益爲無條件必要的呢？前一代人在理論物理中，有一甚出風頭的派別，所謂唯能論，它這樣工作以揚棄這種對立，例如以從較高的溫度到較低的溫度與一重量或一懸擺從較高的地位下沉到較低的地位完全相似。但留着一根本點未顧到，即一重量也能上飛，一懸擺若達其最低點，亦具有其最大速度，以均衡地位之惰性結果，向反對方面走去，而從一較熱的到一較冷的物體傳熱反之，溫度之差異愈小，傳熱愈弛緩，毫談不到藉一種惰性而越過溫度平等狀態的。

隨使人怎樣轉，自返與不自返過程間之對立總在，只能找出一完全新的觀點，從各種法則某種關係彼此可以認識，可能的話，使一類法則怎樣歸到另一類去。兩種那一種應視爲更簡單的更基本的，自返的抑不自返的過程呢？

這在表面形式的觀察，已有幾許說明。每一物理公式於個別情形，特殊測量所取的可變大小

之外，還持有一定永定的某種恆在大小，它給與可變大小間在公式中表示的函數關係，以特徵的標記。若更切近地視察恆數，便容易尋得在可逆溯過程的恆數，總是一樣的，它們在不同的外面條件下都永轉回來，例如物質質量、引力恆數、電荷、光速，而不可逆溯過程底恆數如傳熱能力、摩擦係數、溶合恆數則反之，而多少依賴外面環境例如溫度、壓力等。

這種事實的關係，自然引到以第一類恆數爲更簡單的和與之相連的法則亦爲基本的不可更分解的，反之，第二類恆數及與之相應的法則要記上一種錯雜的性質。爲覆按這種臆度之當否，必須將觀察方式更精細一度，必須將這些過程，姑如是說，放在顯微鏡下。若不可逆溯過程真是綜合的種類，則統治它的法則只能（姑如此說）粗疏有效，它必然具有統計的性質，只有粗大的簡要觀察，即從許多各個不同過程所得的中值的意義。構成中值所取的個別過程數目愈有限，從粗大的法則偶然的偏差也愈明白可見。換言之：若上述觀念真合事實的話，則不可逆溯過程，磨擦、傳熱、溶合之法則，細微觀察起來，必全般不精確，它必須容許例外，而觀察愈精細，例外亦愈多。

這種結論正與時俱進可靠地由經驗在一切方向證實了，這自然只有藉測量方法異常改良

之助始能達到。不可逆溯過程底法則之巨大近似在於這些法則所綜合的非常多的個別過程。例如一種到處都是同等溫度的液體，由傳熱之大概的法則，在此液體內便沒有熱流。但精確說來，並不如此。蓋熱由液體分子精微迅速的運動而定，因而傳熱由衝撞時速度之交換而定。溫度平均不即意義着一切速度之平等，而只是等於每種量的液體（它包涵很大數目的分子）速度之中值。取一含分子較少的量，其速度中值經過些時便見動搖，所選之量愈小，搖動也愈強。這個命題，我們今日能視爲實驗上完全可靠的事實。此種最觸目的例證之一是所謂布朗分子運動，它能由顯微鏡對懸在一液體中的微粒觀察到，這些微粒由看不見的液體分子對它衝擊而往復推動，所擇之溫度愈高，其推動也愈活躍。若我們假定（這種假定，沒有什麼可以根本阻礙它的，）每一衝擊都是一自返過程，基本的嚴格的動力法則對它有效，則我們能說由引入細微觀察方式將不可逆溯過程之法則，或統計的粗略近似的法則歸到了動力的精細絕對的法則。

在最近時間，以統計法則介紹到許多物理研究區域而達到的偉大成功，成熟了物理家觀念可注目的轉變。

不像從前唯能論那樣否認有不可逆溯過程或至少以爲可疑，現在多方嘗試將統計法則放在前列，將一切迄今仍被視爲動力的法則，甚至引力都歸到統計的，換言之：將絕對法則除於自然之外。事實上必須瞭解下列的事：我們在自然中所能覆按和測量的，永不容以完全決定的數字表示，而永遠涵一定的由測量時不可避免的錯誤根源而定的不決定性。結果我們永不能達到以測量來決定自然中一種法則是否絕對精確有效。從一般認識論底立場，我們對此問題之覆按，也不能到別的結果。若我們（如一開始我們便對着的）一次也不能證明自然中是否有法則，則我們更難先天地證明這法則是絕對的。

於是必須從邏輯立場承許自然中只有統計法則這個假設，先天地有完全的權利。另外一問題是這個假定是否對於研究可以推薦，對此問題，我想決定地否定。第一要考慮，只有嚴格的動力法則才完全滿足我們底認識衝動之要求，而統計法則反之，根本上是不滿足的，簡單地因爲它非精確適用在個別情形容許有例外，而總遇着這個問題，這些情形是什麼，在什麼情形會有這樣的例外。

正是這樣的問題構成研究方法之擴大與精微化最強的推動。若以統計法則即為最後的最深刻的，則原則上毫無理由追問任何當前統計法則搖動現象底原因，而實際上卻正是在每種統計法則後面去求嚴格因果的動力法則這種努力，把我們帶到原子式的過程研究最重要的進步。

另一方面，還有一種法則，它直到現在，在測量錯誤之內，總證明為精確適用的，於是確乎得承認，由測量永不能終極確立它是否還帶統計性質。但此與由理論的思考視之為統計的抑動力的有根本的區別。蓋在前者，將由測量方法之不斷的精細化以求其適用之界限，在後者則此努力被認為無益因而可節省一些無用的工作。在物理中當人們可以持這樣的思考認其無意義時，用到表面問題之解決的力量已太多了。

因此，據我底意見，為向前發展利益計，不但一般地有一種法則性之存在，而且須算上此法則之嚴格因果性為物理科學之擬準，實在也常常如此，如不將統計法則之觀察分解到一個或多個的動力法則時，研究目的，便不能視為已經達到。但並不因此貶損從事統計法則很高的實際意義。如氣象學、地理學、社會科學一樣，物理也多方面以統計法則工作。但一樣也沒有人懷疑到，氣候曲

線、人口統計、死亡率表中所謂的偶然搖動，在每一個別情景，都爲嚴格因果所制約，所以對物理家爲什麼兩個毗鄰的鈾原子一個比另一個早爆炸多少百萬年這個問題，亦很有道理。

一個嚴格因果底前提，精神生活之科學亦永不能免。這種觀點，常因人類意志自由這一事實，而引起駁難。此處全無矛盾，毋寧人類意志自由與嚴格因果普遍的主宰是全然可以親睦的，這我在早有一次已詳盡陳說過。因我底敷陳，隻文片義曾被很糟的誤解，而此對象還具有某種有意義的興味，所以我請允許在此處對於此點也再說幾句話。

因果法則要求每人底行爲和精神過程，特別是意志動機，由其在前一瞬間全般內在的世界之狀態，與周圍世界所加的影響，在任一瞬間都是完全決定的。我們毫無理由懷疑此命題之正當。蓋意志自由問題不在這種決定的關繫是否有，而在這種關係於所涉的人自身是否可知的。唯一而單獨要決定的一點是，人是否自己能感覺着自由。若有人能單以因果法則底根據預見自己的將來，他便必被褫奪意志自由底意識。這樣一種情景因其包涵一個邏輯的矛盾而不可能。蓋每種完全的認識皆以認識的客體不隨認識的主體內在的過程而變更爲前提，若主體與客體同一時，

則這前提便異常脆弱。或具體點說：任一意志自由底認識都是自己內在中的實生活，從它又能發生一新的意志動機，這樣由它而增加可能的意志動機之數目。這種確立帶來一新的認識，它再能成熟一新的意志動機，如此，結論底連環再往前走，而不能達到確立為將來一個自己的行爲的終極展開了的動機，就是說到一種不再從它的方面放出一新的意志動機。若人回顧到一完成了的，終結當前的行爲，便完全兩樣。此地，意志不再被認識影響，因此意志動機底嚴格因果的觀察至少原則是可實現的。

誰懷疑這種思考底意義而不能理會為什麼一個夠聰明的精神不能圓滿把握其現在自我底因果條件，他本來亦不能理會為什麼一個這樣大俯視每個人的巨人不能俯視自己。（註一）不是的，單是從因果法則，即最伶俐的人也永不能推度自己的意識的行爲之決定動機；他還需要另一個準繩，即倫常法則底準繩，那怕是最高的智力與最精微的自我分析也不能代替的。

（註一）即力舉千鈞而不能自舉其身之意，不過著者舉例特笨——譯者。

再回到物理，在那裏，上面所說的那種糾紛照例不演任何腳色。我此地還要對諸君，我底可敬的女士們和先生們，描寫那最重要的特徵的標記，它印上現在物理世界那種將一切物理過程都由描寫的方法帶到嚴格因果關繫的努力。稍一之瀏覽已見此世界相比本世紀初底狀態有巨大變化。可以說自加利略和牛頓之日以來，未曾有這樣湧潮式的發展，我們對這次發展德國科學占一重要部份很以為榮。它以技術之進步與測量方法異常精細化最緊密連繫着而引到新事實之確立，因而也引到理論之修正和擴充，這自然給了這種推進。尤其兩種新理念給了今日物理特徵的印記。它們一方面放在相對論，另一方面在量底假設；每種都是同樣革命的，有果實的，但彼此卻完全秦越而在某一意味甚至對立的。諸君讓我在容允我支配的時間以內，再報告幾點。

相對論有一時間可說是騰播衆口。贊成及反對它的辨論影響到最寬廣的範圍，直到日報，也由職業者和更多的非職業者繞着它爭辨。今日已稍靜，關於它，沒有人可比此理論底創始者自己

感覺更正當的滿足。公衆興趣像是已有些厭足，而現時已轉到別的時髦題目。有人或許慣於這樣抽出斷語，說現在相對論在科學中頗已演完了它底腳色。如我所能判斷的，則情形恰恰相反。相對論在今日變成物理世間相這樣牢固的一個組成部份，使人對它如對一切自明的不更特別提出。事實上，乍一看特殊和一般相對理念之進入，於整個物理世界，影響得如此新樣和革命：根本上其主張及攻擊並毫不向已承認和證實的大物理法則，而只對某種根深蒂固但只是習慣的觀念，這種觀念，如我上面嘗試着去描畫的，爲物理關繫之初步了解是很有用的，但若必須使這些關繫一般化和深刻化時，便必被推翻。

作爲特別富於教訓的例子，我只願此地舉出同時概念。沒有對一個不偏的觀察者更爲自明，如在一定的意義說兩件在互相遠離的地方發生的事，比方說一在地球，另一在火星，是同時的了。蓋每件事可以由思想在隨意大的距離完全沒有時間地飛馳，而在內在的觀念將兩件事件直接並列起來，必須加重說相對論也未變更這真理。相信它，每人都能夠，只要他支配得有夠精確的測量器械，完全無疑地確立這些事實是否同時，若他以各種互相拮制的儀器，在不同方式，正確實施

時間測量，他將永得着同樣的結果。於是在這種程度內，一切還都是舊的。

但是據相對論，他不可預定別一個，對着他是在動着的觀察者亦必想此兩件事爲同時的，是自明的。蓋一個人底思想和觀念不永是另一人底思想和觀念。若兩觀察者互相辨難其思想和觀念底內容，則均引證其測量而得出其測量之解釋，全以不同的前提出發。那一個前提是對的，其很難決定亦如一個在運動中的事件爲兩個在靜止中的觀察所得的測量差別一樣。在這一點，根本的是若一個鐘錶從其地點移動，其步調會感受一種變化是並不足爲奇的，而結果到兩觀察者底鐘錶走得不同。於是結果是兩個中每人都能有同等理由主張他自己是在靜中，其時間測量是對的，可是一個觀察者以兩件事爲同時的，而據另一個則並不是如此。這種的思想途徑於我們底想像力，確是很困難的要求。但此對明豁所要求的犧牲，比起物理世界相偉大的一般化與簡單化不可估計的利益，是微不足道的。

誰還不能擺脫以相對論至終總感受一種內在的矛盾的見解，誰可以考慮下一種理論其全般內容可以算學公式去把握，其難有矛盾，亦如兩種出自同一公式的不同結論難有矛盾一樣。

我們底觀念，必須依公式底結果來校正，而不是倒轉來。

關於相對論之可用與意義着最後的決定，當然在於經驗，正是對經驗覆按可能的環境，必須認為是理論之豐饒最重要的證據。迄今還未確立任何與經驗矛盾的事實（指相對論——譯者）。這是我願對某些輓近的而達到廣大公衆的報告，特別加重說的。即是那以任一種根據認一種與經驗之矛盾是可能的，或，或然的人，從他底立場除與相對論之建設共同工作更推動其效果，不能做更好的事。蓋這是以經驗推翻它唯一的手段。這樣的工作，將越加容易，因為相對論之立說明瞭而較可透視又能優異地嵌入古典物理之故。

若非以歷史式的考慮，我不會一刻滯留着將相對論還和古典物理算在一起。蓋它以時間和空間之銜合，便也將物質質量與能之概念和引力與慣性之概念都在更高的觀點聯合了，而給物理在某些程度內加上了王冠。這種新見解底果實，是無瑕的對稱形式，它承許『能』與『衝動』之不滅法則都是出自最小動作原理同等價值的結果，這統括一切的物理法則（指最少作用量原理——譯者）在同樣的程度統制着力學和電動力學。

對此可驚的諧和與美麗的感人建築，立着一個陌生樣的威脅的爆炸物，量底假說，它在今日已將整個建築從頂到底弄了一個深淵似的裂口。量底假說，不和相對論一樣，爲一簡單的，在自成體系的思想，可透視的內容如一道噴水，透出平面上，以改變迄今物理所知的概念和關聯，由一種原則上有很高意義但實際上最多情景都幾乎看不出的干涉，而是初始對一完全特別的區域，爲古典理論陷於十分狼狽的熱輻射法則之說明，提供唯一的救濟的出路。但當它指出它對許多完全別樣的問題，如光電作用、比熱、伊洪化、化學反應，致古典理論於某些困難的，都或是立即遊戲般地解決了，或是至少觸目地促進了時，它便決定了不再只是工作假設，而估價成一新的基本的物理原則，對關於精微迅速的過程，其重要隨處可見。

但可考慮者是量底假說不僅與迄今的觀念矛盾——這就以上所說過的，還較可輕易承當——，而且它，如時間所越加明顯得出的，對一些於古典理論底建築完全必須的基本前提，正要否認。量底假說之介紹因此不像相對論，意義着一種改變，而是古典理論之破裂。

自然，若量底假說對古典理論在一切點都真或是優越或是至少有同等價值，便毫無阻礙甚

至必須判定完全犧牲古典的理論。但情形又全然不是如此。蓋也有物理底區域，尤其是振幅現象底廣大區域，古典理論直到一切個別的情形，都保證有精微的測量，而量底假設，至少在其今日的形式，在那兒簡直不通，不僅是在其不能應用的意義，而且它給了一定的與經驗不一致的結果。

於是來到今日兩者都有其自己能覺得不可犯的領域，而在立於中間的區域，例如在分光及散光現象演出某種往復波動的競爭奮鬥，和在兩種理論都引致相近的結果的區域，所以物理家依其個人的位置，而有時用這個有時用另一個理論工作——確乎這對每個嚴正勢力求真實關係的人是一個最高度不愉快，甚至長久下去簡直受不了的狀況。

這種特有關係較近的例證，諸君讓我從實驗和理論研究工作存在的無限豐富的材料，在此地只提出全然特別的一塊，我把它聯到兩件簡單的事實。我們想想兩個薄的紫色光帶，以一點形的光源對着帶兩個小孔的不透明罩子而發生。若從兩孔出來的光帶，藉適當反射，能在一遠距的白牆上遇着，則它們在牆上共同產生的光片不是同等的光亮，而是穿插着黝闇的狹長帶。這是一件事實。另一件是任何感光的金屬，將它放在一條光帶的路中，不斷從自己以一個完全決定的，獨

立於光之強度的強度，投擲着電子。

使光源強度永遠變弱，則據一切迄今的經驗，在第一種情景狹長帶的映相全然不變，只是照耀強度相應地減少。在另一種情景，被投出的電子底速度亦全然不變，只是這種投擲變少罷了。

對這兩種事實，理論怎樣打算呢？前者由古典理論以白牆上兩光帶同時照耀的每一點，在那裏遇着的兩道光依相應的光波經過之不同而或是變弱或是加強，優異地解釋了。第二種事實，由量論以輻射能不是在不斷的流中，而是衝撞式以一定的，多多少少的同樣的不可分的量在感光金屬上遇着，每一觸目的量都從金屬中拔出一個電子，一樣優異地解釋了。反之，直到現在，一切想以量論說明振幅線條或以古典理論說明光電的影響的嘗試，都歸失敗。蓋若輻射能真只在不可分的量中飛騰，則一個從光源所放射的量只能或是由不透明的罩子這一個或是另一個孔飛出，於是在光底強度夠小時，兩個不同的光不可能在白牆上的一點同時遇着，而振幅便無從說起。事實上若將兩條光之一完全遮暗，這些線條總是全然消滅的。

但另一方面若從一點形光源所放射的輻射能向一切方向不斷傳播到更大的空間時，則它

必感相應地變為稀薄，這不是要了解作很弱的輻射亦能和很強的一樣分與電子以同等大的脫離速度。自然人們作過了各種消除這種困難的嘗試。其最靠近的是假定射出電子底能並不出於輻射而生於金屬內面，於是輻射只在某些限度對金屬施了解散的作用如一顆火花對一個火藥桶一樣。但並未達到證明甚或僅於使得可以同意的起作用的能源。依另一假定，電子底運動能是應生自投下的輻射，但只在輻射經了這樣久直到一定速度所要的能產生完全時，才有影響。這要在多少分鐘和點鐘的環境才行，而事實上這種影響常很早便有了。

在此地當前深深的嚴重困難，從最專門家方面，甚至提議犧牲能量不滅原理精確有效底假定，——一個出路，很有理由可以叫做絕望的出路而不久便也能由特殊試驗證其不通。

當迄今一切從古典理論底立場去把握電子放射法則的嘗試，都失敗了時，上面和一些其他關於輻射與物質交互作用的法則，便立即可以了解甚至必要假定光量為個別的微小體在空間自立地漫飛，而於與物質衝盪時，其行為真如實質的原子一般。

但是我們必須決定一唯一的見解，於是整個問題明顯地根本上便提到是否從光源所放射

的輻射能，在離開光源時，自己分裂，而一部份穿過不透明罩子底一孔，另一部份穿過另一孔，抑或能在不可分的量中輪流地經兩孔之一飛出的問題。這問題在量底每種理論都存在，而每一理論都必要對它無論如何取一種態度；可是直到而今，還沒有物理家能對它滿足答覆。

一般說來自由輻射底能可以當作或種真的東西嗎，而一切測量又永只關於物質的物體過程？——若我們真願堅持能底原理精確有效性，這又正是由新近經驗所解明的，便不能懷疑在每一輻射場，必須有一完全決定的多少可精確計算的能底數目，以輻射之吸收而減，以放射而增。問題只是這能是怎樣行爲的。這也一樣少可懷疑那我們爲要從這難題找得出路，必須決定對我們在物理中習慣了以爲出發點的前提，而爲至今所信賴的，作某種擴大和一般化——一種結果，於我們底認識慾起初確乎有或種的不滿足。可是它也給與一些慰安，至少在人們明見任何解謎底可能時，所以我亦不願反對對這問題嘗試用幾句話，再看它能在何種方向，或許找得出路。

避去一切困難最激進的手段，無疑是委棄平常以輻射能是定了地方的，即是說在一定的電磁場每空間部份在一定時間都有一定的能底數目這個假設。蓋若讓這前提倒坍，整個問題便以

一光量是經過不透明罩子這一孔或另一孔飛出的問題，毫無決定的物理意義而簡單了結。據我底意見，這難題最後的出路至少暫時代表走得太遠了的捨棄。蓋輻射能全般說來具有一完全決定的可紀錄的價值，而電磁向量場 (Vectorfield)，由一條光所構成的，同着它全般時空的關係，由古典電動力學，可以表明直到一切光學的細件與真實精確一致，而終於『能』與『場』同時發生和消滅，所以『能』怎樣個別地由『場』個別地決定的問題，不易立即指明。

若我們對問題盡可能地追隨，則為避去上面提出的機擇 (Alternative) 底拮制，明顯着保持這種思想——在一條光，或更明白點說，在一電磁波與連着它的『能』間法則的關繫，但不像古典理論作的那樣簡單和狹隘罷了。據古典理論，一電磁波底每部分，即使是最小的，也有一相應的與其大小為比例的數目的能，與它一同傳播。若鬆弛這堅固的關繫，即是說容許『能』不是在這樣直接的方式直到最細微的部份都與波相連，便創出一種可能，從光源送出的波隨意分裂成許多部分，在古典理論底意義，而波底『能』在一定地位集中，在量論底意義。第一種情形使振幅現象底解釋可能，因即最弱的波也一部份穿過不透明罩子底一孔，一部份穿過另一孔，第二種情形，

使光電作用的解釋可能，因波永只容其『能』在整數的量對電子衝盪。但怎樣設想一光波底部份會沒有與其大小相應的能呢？這確是很困難的要求，但據我底意見，這與想一物體底部份沒有與其密度相應的物質，根本上並不算難。對後者假定，我們由事實必須承認，物質在繼續的空間的分割時，失其簡單的特性，其物質量不再與其所取的空間成比例，而分解成一些一定大小的分子。在電磁能和其安排的衝動，也與之相似。

直到現今，人們慣於獨在無窮小去找電動力過程底基本法則。依時間和空間，分一切電磁場爲無窮小的部份，而以時空的微分方程代表其全般的法則關係。在這種關係，我們必須公開地根本另學。蓋這種簡單法則被指出在某種分割底界限是有終盡的，而在更精細的過程，便進到某種複雜化，到時空的動作大小原子化底形式，即到動作原質或動作原子底假定。

在上舉的方向中，所謂量底力學之成立，如輓近在哥廷根 (Göttingen) 底物理家海升伯 (Heisenberg)、波恩和學爾丹 (Jordan) 手中已成熟的美麗的成功，標出意味深長的進步。但更遠的發展必須指出我們由量底力學所開的道路對我們問題之解決能近到何種程度。蓋即最

美麗的算學的玄想，在未由決定的經驗事實給與它堅固的立足之所時，還是在空中飄蕩，我們必須希望而且信托實驗物理家底藝術，它已對有些麻煩的問題帶來了無疑的決定，會對上列的困難情景，也使黑暗變為光明。由量底假設之突進而炸裂的古典物理建築底一部份將如無價值的廢物委地，而由一較合宜的更堅固的增築來代替，是無可致疑的。

我底可敬的女士們和先生們！我們看見物理在前一代人還能算做最老的最成熟透的自然科學怎樣進到一個洶湧熱烈的時期，它將是一切迄今最有趣的時期。它底克服，不僅將我們引到新的自然過程更遠的發現，而準也引到對認識論底祕密嶄新的理解。或許在後者區域還有些驚奇在等候我們，而很能發生這樣的事，即某種老的現在被忘卻的觀念復活而開始贏得新的意義。因此，對我們底大哲學家之觀念和理想一個注意的研究，在這方向，也能很有用地起作用。

曾有些時，哲學與自然科學陌生而不睦地對立着。這些時間早成過去。哲學家理解了為自然研究者作章程，叫他們應依何種方法和目的去工作之非，自然研究者也明白了他們底研究出發點不單在感官知覺而自然科學沒有一份玄學也不成功。正是新物理給我們重新以一切鋒鏘印

上這舊的真理：獨立於我們底感官感覺的真實，是有的，也有問題和衝突，在它們中這些真實比我們底全般感官世界最豐富的寶藏還具有更高的價值。

新物理之世界相

(一九二九年二月十八在萊頓大學物理學院講演)

一

我底高貴底女士們和先生們！我曾有榮幸和愉快在此地萊頓講關於物理世界相之統一，至今冬便二十年了。當時我是應大學學生團體自然科學院傳達的邀請；這邀請由我底同僚，亨利、安童、羅衡慈先生底信有效地扶持，他在其謝客的寓所給我友誼的接待，容我第一次感到他底人格之魔力。那使我當日萊頓之拜訪爲我生平最大事件之一，而給與我那一種的感謝之忱，迄後爲我忠實保存的不可失的寶藏。

當今日我底同僚盛誼隆情許我在諸君之前再談同樣的題目，我不能不追懷當時而深深感到酸楚。在這團體中，缺了最可敬的宗師（指羅衡慈——譯者，）缺了翁勒斯（Kamerlingh On-

Bohr) 還缺了當時在座的幾位。但科學不停留在個別的人物上；即使最活動最成功的研究者終亦必須將自他開始的工作傳給較年青者去推進，他們每人都有在其所賦的力量範圍內對這工作協力的責任。

所以我敢於嘗試在今天描寫自那時以來物理世界相底發展，儘管我明知我底陳說比當日二十年前還更不能副圓滿和精鍊底要求。但我很可在某些程度內以這樣想法自慰，即自那時以後，任務更變成無比的困難了。蓋其間發生些問題，深深牽涉我們底整個物理思想，或許遠過前人所以爲可能的。因此在我底陳述開始，爲明白起見，像是得遠溯一下，儘管有不中用地搬來早已周知的東西，而後來須捨棄一些本身很值得描述的東西這種危險，蓋我必須顧慮不要占諸君底時間和注意太久。

總之我將甚感謝諸君對我底陳述批評的判斷。那最鋒利的事實的批評能與私人的善意相連，羅衡慈本人已給了我們光輝的例子。

二

物理科學底建設，完全在測量底基礎上，而每種測量都與一感官的知覺相聯，所以一切物理概念均出自感官世界。因此每種物理法則根本上都與感官世界底事件有關。顧到這種情形，有些自然研究者和哲學家便偏向這種見解以物理最後簡直只與感官世界（自然是人類的感官世界）有關，於是例如在物理的眼光，所謂『對象』不過是各種遇合着的感官感覺底結。這必須重復申言，這樣一種見解永不能以邏輯的理由駁倒。蓋單是邏輯不足以將任何人引出其自己的感官世界；它一次也不能強迫他承認與他同樣的人類之自立的存在。

但在物理，亦如在每種別的科學，統治的不單是理解（Verstand, intelligence），還有理性（Vernunft, reason）。不見有邏輯矛盾的，不即盡是理性的。理性告訴我們若我們背轉一個所謂的對象而離開它，它總還有點東西在那兒；它再告訴我們，各個人，我們人類同着我們全般的感官世界，甚至同着我們底整個星球在不可把捉的高舉而浩瀚的自然，只意義着太倉之稊米，自然法則，

並不管小小人腦如何轉的，而在地上有生命之前便已存在，即最後一個物理家在它之前消滅時，還要繼續存在。

由這樣的思維，不是由邏輯的結論，逼得我們承認在感官世界後面還有一個第二的真實的世界，自立的，獨立於人類而存在，一個世界，我們永不能直接而只不斷由感官世界底媒介，藉感官世界所傳達給我們的某些符號去知覺；正如我們對我們感到興趣的對象，只能穿過眼鏡去觀察，其光學的特性我們完全茫然一樣。

誰不能跟隨這種思想途徑而視一個根本不可知的真實世界之引進爲不可越的困難，我們就可以告訴他說：一個完成的物理理論，其內容可精確分析，重新認定，對其式列，感官世界底概念已完全足夠，對這種理論，要作的事，與對一種物理理論正要許多個別測量來構成的，是全然兩樣的。物理史在每一方面都指示我們這種無比困難的任務只有以假定一個真實的從人類感官獨立的世界爲根據纔告解決，而將來情景還是這樣，亦是不必懷疑的。

對這兩個世界，感官世界和真實世界，還加第三個，它與前兩個很要分別：物理科學底世界或

物理世界相。這個世界，與前兩者每個都對立着，是一個有意識的，供一定目的之用的人類精神底創造物，自身可以轉變而付與某種發展去主宰。物理世界相底任務，可以雙重地式列，依其與真實世界或感官世界生關係而定。在前者，任務在於盡可能地完全認識真實的世界，在後者，在於盡可能地簡單描寫感官世界。要在兩種把握間有一決定，是頗無謂的。毋寧是它們每一個單獨地都爲片面而不滿足的。蓋在一方面，真實世界之直接認識簡直不可能，另一方面多種連繫的感官知覺何種描寫最簡單這一問題毫不容基本地回答。在物理發展之經過，曾有多次，兩種描寫，有一個一時間被認作是較複雜的，嗣後反被發現爲較簡單。

主要的是所舉的任務底兩種式列在其實際影響並不相矛盾反而幸運地相補充。前者幫助研究者前進摸索的幻想到，爲其工作完全不可少的有益的理想，後者把牢他在事實底可靠的立足地方。與此情形相應的是各個物理家各就其偏於玄學或實證主義的思想方向，而將其工作列到就這一邊或那一邊的世界相。

在玄學者和實證主義者之外還有第三種物理世界相工作者羣。他們之特徵，是他們底主要

興趣既非向着物理世界相對真實世界的關係，又非對感官世界的關係，而毋寧是對物理世界相內在的完整和邏輯的建設。這是公理家 (Axiomatiker)。其活動亦是有用而必須的，但也蒙伏着一種褊狹性可慮的危險，它損害了物理世界相底意義而將它退化到一種空無內容的形式主義。蓋若解除與真實的連繫，物理法則便不再是互相獨立測量得的大小間之關係，而是一種定義，由這定義，這些大小之一，可以歸到其餘的去。這樣一種旁解之所以特別能誘惑人，因一物理大小由方程式較由測量來界定要精確得多；但它代表這大小原來意義之捨棄，尤其糟糕的，是由名字底保持，易引起不明瞭和誤解。

這樣我們看見物理世界相怎樣從不同的方面就不同的觀點而形成，它總向着一個目的，將感官世界底過程互相法則地聯繫起和與真實世界底過程也法則地連繫起來。自然在歷史發展底各種時期，一會兒此一方向，一會兒另一方向位列前茅。在物理世界相較穩定的時間如前世紀後半期，玄學的方面較受重視，人們相信去真實世界底執着已比較地近；反之如我們現在所生活的變化與不安底時期，實證主義較出風頭，誠實的研究者偏於自己退到唯一堅固的出發點，感官

世界底過程。

若我們俯瞰物理世界相各種與時變化互相分離的形式歷史的連續而求其轉變之特徵標識，則兩件事實最先映入眼簾。第一件要確立的，是物理世界相之一切轉變，整個看來，不是一個有韻律的往復的鐘擺，而是在一完全決定的方向多少恆常向上進步的發展，它底標誌，是我們底感官世界底內容，總是愈加豐富，我們對它的知識總是愈加深入，我們對它的統治總是愈加牢固。這對物理科學底實際效果一瞥，便已最觸目。那我們今日對很遠的距離，都識得耳聞目見，我們支配着前一代人遠不能及的力和速度，便是最狡猾的懷疑主義者也不能提出反駁，一樣難於致疑這種進步意義着我們知識定住的增加，它不會在後來被指為錯路和重被否認。

第二件最值得注意的，是儘管物理世界相對每一改善和簡單化之推進，都永由新樣的觀察，即是由感官世界底過程供給，而物理世界相其構造總與感官世界愈加遠離，它總愈損失其瞭然的，原來全帶礙人色彩的性質，感官感覺愈加從它排出，——只須想想物理的光學，在那裏全再談不到人的眼睛——，其本質愈益消失在抽象裏，純形式的算學手術，總愈演更重要的腳色，而質底

差別總愈歸到量底差別。

將第二件事實，與上列的第一件，物理世界相不斷完成於感官世界的意義齊觀，則此種目的，乍看是刺謬地稱心的現象，據我底意見只有一個有理的解釋，物理世界相底向前完成與不斷背轉感官世界，不意義着別的，除了對真實世界之向前接近。這種意見談不到邏輯上的成立，真實世界底存在不能純理解地推演。但它由邏輯的根據去推翻亦同樣少有可能。對它的決定毋寧是理性的世界觀的事，它仍留在那舊的真理，帶有最豐富的果實的，便是最好的世界觀。物理會構成一切科學底例外，若它不也證實那研究之最遠到最值價的結果恆只在向真實底認識這一原則上不可躋及的目標的道上而獲得這個法則時。

三

物理世界相在最近二十年曾怎樣改變呢？我們每人都知道那其間發生的轉變，屬科學發展史所有的轉變之最澈底者，改建過程現在尙未完結。但總之在今日，從發展底奔流，新世界相底構

造，已顯得要結晶成某些特徵的形式而確乎值得努力去描寫它，即使那僅僅爲引起這種試驗之改善。

若我們將新舊世界相並列，便又指示了將一切質底差別歸到量底差別，進了重要的一步。這樣，錯雜的化學現象，也顯得是不停地歸到數字的空間的關係。據今日的見解，簡直只有兩種原料：正電與負電。兩者皆出於有相反的同等電荷的許多同樣的微粒：荷正電的叫質子（Proton），荷負電的叫電子。每一中性（電）的化學原子出自某一數目的質子，彼此牢牢聯繫着和同樣多的電子，一部份緊緊繫於質子而共同構成原子核，而其餘則繞核而旋轉。

這樣，最小的原子，氫，以一唯一的質子爲核和一個電子繞核而動，而最大的原子，鈾，有二三八質子和同樣多的電子，但這些電子只有九十二個繞核而動其餘的則在核中。在其間立着其他一切可能的配合的原質。一種原質底化學性質不由質子和相連的電子底總數決定，而由其動的電子底數目，它被稱爲原質底次第數（Ordnungszahl）。

姑不管這種重要的進步，它根本只代表舊已百年的思想成功的實現，在今日的世界相，顯著

了兩種嶄新的理念，而與昔者有別：相對性原理與量底原理。這兩種理念是根本上給新世界相以對舊的相其特徵的印記。那它們幾乎在科學中同時出現，在某種意義，必得認為是偶然。蓋就其內容和其對物理世界相底構造整個的實際效果，彼此是全然各異的。

相對論，它初始像是要對傳下的時空想像釀成某種紊亂，終於事實上證明了為古典物理建築之集大成。——為要一言而明特別相對論底正面內容，或許能稱之為時間和空間鎔化到一個統一的概念。不是說時間和空間完全同樣，而是像一個真數和一個想像數連成一個複數 (Komplexe Zahl) 這個統一的概念。從這點觀察，愛因斯坦底工作於物理，其意義亦猶前世紀哥斯 (Gauss) 於算學所實現的。若我們還願再行比較，則我們能說從特別到一般相對論之過渡，其意義與算學中從直線函數到一般函數理論之過渡相似。

縱使此比較，亦如每種別的比較，有點蹩腳，但總對相對論之進入物理世界相，意義着世界相統一化與完成最重要進步之一這件事實，給一適當的想像。這在其所抽出的結果，尤其是『衝動』與『能』之鎔合，質量概念之歸到能之概念，慣性的及有重量的質量之同一化，引力法則之歸到

利曼 (Riemann) (註1) 幾何。

這撮言雖短，其內容卻不可忽視地豐富。其意義伸張到一切大小自然底過程，從輻射波與微粒的輻射原子起直至相隔成百萬光年距離的天體底運動。

關於相對論底終結，現在還不可說最後的話。此地總還能有驚異臨頭，若人們考慮到電動力學與力學銜合的問題，暫時還未了結的話。即相對論普遍的結果，也像是尙未全然明白，因為一切皆賴公開待考的問題。即在世界空間的物質是否具有一有盡的空間的物質量密度。但這些問題之如何決定，並毫不變更那由相對原理，把古典理論帶到了其完成底最高階段，其物理世界相即使形式的關係也經驗了非常滿意的精鍊這件事實。

相對論這種情形與夫目前許多適合一切教育程度的讀者的陳述之指證，我希望可以看作足夠的成立，不必再逗留於它底考察。

(註1) 德國前世紀上半期非歐几里得幾何家。著作有論假設 (Über Hypothesen) 見一八五四年哥廷根皇家學會報，時稱後幾何 (Metageometrie)——譯者。

四

此地所描寫的調諧的世界相像是使其任務近乎理想地合宜，不料闖進量底假設一道眩目的光。若我們也再嘗試用一句話標出這假設特徵理想底核心，我們能在一新的普遍恆數找到它：初步動作量。這恆數是從真實世界來的新的祕密使者，他強入各種測量中而永是強項要求他自己的地位，但另一方面在迄今物理世界相底範圍又很難合式，終於引到了太狹範圍之爆裂。

有一時間，甚至古典物理一個完全的崩潰，也不像是不可能；但對每一相信科學不斷進步的人，它都指出這最後並非一種破壞工作而是一真正深入的改造，一個一般化，逐漸成爲自明的了。蓋若以動作量是無窮小爲前提，量底物理便轉到古典物理。即對一般情形，古典物理建築底基石不僅顛不倒，而經新來理念之合體更得堅固和威望。因此我們將後者先考察一下，它是值得推薦的。

首先要舉的是這工事本來的基石：普遍的恆數，如引力恆數，光底速度，物質量及電子與質子

底電荷，這些真實世界可把捉的記號，其意義並不改變而收用在新世間相裏；此外，能與衝動之貯存大原理，儘管一時間受嚴重的懷疑，迄今仍在一切個件都維持住了這又值得明白提出那並不如有些公理論者所信，它光只代表一種定義。熱力學底定律，特別是第二定律，它由熵絕對價值之介紹，能經驗比古典物理更尖銳的把握。末了，相對原理，在量底物理這塊新土地也證明為可靠的和雄辨的引路者。

人要問：若古典物理一切基礎都還未觸動，那嗎新物理究竟改變了什麼？我們能很簡單地找到回答，若我們較近察看初步作用量意義着什麼。它意義着一個能與一振動數之等價： $E \parallel h\nu$ 。

古典理論對此等價全然無了解。首先因為能與振動數具有不同的空間。能是一動力的 (Dynamisch)，而振動數是動能的 (Kinematisch) 大小。但這情形並非決定的，蓋若量底要則像是把動力學直接連到動能學，使能底單位和同着它物質質量底單位歸到長度和時間底單位，則本身並不構成矛盾，而毋寧是使古典理論底內容，更完善更豐富。但與古典理論直接矛盾而全然難並立的是下列的考慮所指示的。振動數是一地域的大小，它具有對一個地域一定的意義，不管它關於一個

力學的或電的或磁的振動；只需觀察該地域有够長的時間。能是一附加的大小。要談『能』在一定的地域，據古典理論是毫無意義的；毋寧必須先給出所見的『能』底物體，全如爲要能談在一定意義的速度，必給出其連系一樣。而物體又是可先天地或大或小隨意選擇，於是在能底價值總伏着某種人意的強制。這種直到某一程度的人爲強制的能應等於一地域的振動數！人們識見這兩種概念間所顯露的深淵。爲渡過這深淵，必要有根本的一步，一步，事實上它意義着與古典物理所常視爲自明的和利用的觀念一種破裂。

直到現在，物理世界——我用物理世界這名詞，永是作物理世界相去了解而不是作真實的世界——中一切過程都可代表成從各個不同的無窮小空間原質之地域過程所綜合，而這些初步過程，每個在其有法則的經過，都不管其餘一切而明白由在直接的時空毗鄰的地域過程決定；這是每種因果的物理思維之前提。我們舉一具體的够一般的情景爲例。所觀察的物體出自一物質點底體系，這些物質點在一保守底力場同着恆常的總數的能運動着。據古典物理，每點每時都在一定的狀態中，即是說它具有一定的地位和一定的速度，其運動可由其起點及其運動所經的

空間處所的力場地域的特性完全精確計算的。若這些已知，便毫不需知道所觀察點底體系另外的特性。

在新力學完全兩樣。據它，對運動法則之式列，純地域關係若顯微鏡式去研究其一切個別過程，與用它去了解一張畫底意義一樣難滿足，而毋寧要把物體當作整個來觀察時，才能達可用的法則陳述。這樣在新力學中，每一個體系底物質點，在某種意義每時都是對供此體系支配的整個空間底全般各處所，不僅是同它所傳播的力場，而也同着它自己的物質量和它自己的電荷。

人們看見此地正涉及物質點底概念，古典力學初步的概念。這概念迄今的中心意義必須根本犧牲；只在特殊界限的情景它還能存在。在一般的情景，對這處所要安上什麼，從上面已開的思想途徑更遠的追隨我們便能推演出來。

若量底擬準能與振動數之等價，應有一個明白的，即是說從連系而獨立的意義，則據相對原理，一衝動向量 (Impulsvektor) 也必與波數向量 (Wellenzahlvektor) 等值，即是說衝動之絕對數值必須與其法線 (Normal) 與衝動方向重合的波相互的長等價。但這波不是要想它在

慣常的三因次的空間，而是在所謂轉形空間 (Konfigurationsraum) 其容積由自由度體系之數目而得，其物質質量決定由雙重的動能的能或由全般衝動底方代表，都是一樣。如此，波長便顯得是歸到了動能的能，即是說歸到恆常的能之總數與位能之差，它被認作一個已知的地域函數。

振動數與波長歸結於彼此倍增某種在轉形空間中的波，所謂物質波底傳播速度或變象速度 (Phasen-geschwindigkeit)，而古典力學著名的波方程式中該項價值之代替，引到席霍丁 (Schrödinger) 提出的直線的調諧的部份的微分方程，它供給今日量底力學明豁的基礎，像是與古典力學中牛頓的或拉格蘭 (Lagrange) 或漢彌兒頓 (Hamilton) 的方程，在量底力學中演同樣的腳色。其與這些方程嚴別者，最是在這些方程中，轉形點底坐標 (Koordinaten) 不是時間底函數而是獨立的變數。與此相應，爲一定的體系，與古典的運動方程或多或少相應於體系自由度的數目對照着，只有一個唯一的量底方程。當古典理論底轉形點在時間底經過，描寫了一完全決定的曲線，物質波底轉形點在每一時間都成功完全無限的空間，甚至那些位能比能之總數大的空間處所，據古典理論，那兒的動能應得負數而衝動是想像的。這與所謂光之全體反射，只據

輻射光學，光才真完全反射，因折角是想像的，而據波動光學，光也侵入第二種媒介，即使非以同一的波這種情景，完全相似。

總之，在轉形空間有位能超過能之總數的處所，這種情景，於量底力學也具有犀利的意義。蓋在每種這樣的情景，如計算所指示的，一有盡的波不相應於能之恆數每種隨意給的價值，而只是能底某些完全決定的價值所謂特值 (Eigenwert)，它由波動方程式去計算而以已知的位能之性質而異。

從能底明劃的特值，據量底擬準，得出振動週期明劃的決定的特值，和一條兩端緊繃着的弦一樣，只是在後者的量化 (Quantisierung) 經一外面的環境即經弦之長度，而此地則由自身包函在微分方程中的動作用而定。

每種特有振動都相應一特別波底函數 ψ 為波動方程之解答，一切這些不同的函數都構成描寫任何依波動力學的運動過程的原質。

結果是這樣：當古典物理將所觀察的物體空間上剖分成最小的部份，而將任何物質的物體

運動歸到假定爲不變的物質點底運動卽是說歸到質點力學，而量底物理則將每種運動過程剖分成個別的週期的物質波，與該物體底特有振動和特有函數相應而引到波動力學。因此，據古典力學，最簡單的運動是那些個別物質點底運動，據量底力學，是簡單週期的波底運動，如據前者，一物體最一般的運動，是當作其各個點底運動總數去把握，據後者，則這運動是出於一切可能種類的週期的物質波之協動。這種觀察方式之不同，可以一條緊張的弦之振動作例而明。一方面能將弦之各點運動看作過程底原質。每一弦底物質的小部份，獨立於一切其餘的，依其加於這一部份的定量由弦之地域的曲折而定的力而動。另一方面也能將弦底下層振動和上層振動看作運動過程底原質，每一振動都涉及整個的弦，而其協動同樣代表最一般的弦之運動。

從波動力學亦能直接了解一至今還像謎一般的情形。據波爾果實特豐的理論，一原子底電子繞核運動依行星繞日完全相似的法則。在引力底地位，代之以核與電子所荷相反的電之相吸。一個特殊的區別在於電子永只能繞完全決定的，彼此劃明的不同的軌道，而在行星，無一條軌道先天地比另一條顯得優特。

這種最初不可把握的情形，據電子波動說找到很顯豁的說明。若一電子軌道往倒退則它必包括一整數目的波長，正如一全然封成圈的連環，由許多等長的環節作成，這些長只能等一整數環節之長一樣。據此，一電子不大像一行星之繞日運動，而較等於一到處對稱的圈自己之旋轉，所以這圈當作整個看，在空間總取同樣的位置，而要談一瞬間電子所在的地方，是毫無物理意義的。

若我們將問題，依波動力學的描寫，轉向一個決定的物質點底運動，它便立刻指出這樣一種描寫在精確意義上，簡直不可能。蓋要界定物質點底地位，或一般說來，一定點在轉形空間的地位，在波動力學，只有一種手段，即將此點一大堆特有的波，使其波底函數在轉形空間中到處由振幅而相銷，只在相遇點加強。即如其餘轉形點底或然性等於零而只在標出之點等於一。要完全尖銳地舉出這一點，就必須波長為無窮大即是衝動無限大。於是為能得到至少是近似的可要的結果，必須代尖銳的轉形點以一有盡的，即使很小的轉形空間底區域，一個所謂波束之奠定，表示一轉形點地位之決定據波動說總不安全。

若願將所觀察的物質點體系，在一定的轉形之外也紀上衝動之一定的大小，則據量底擬準，

嚴格講來，只可描述一條有一定波長的波，而這種描寫又是不可能。但即在衝動底大小也留下了某種很小的不決定性，而所欲的目的，在某種環境下，利用在狹隘的振數範圍以內的波也至少可達某種的接近。

於是一物質點體系底地位也和其衝動一樣，據波動力學，總只以某種不安全而界定，從簡單的考慮，在這兩種的不安全間，有一定的關係，所用的波，若在很小的轉形區域之外，應由振幅而彼此相銷，在此區域對立的兩端，儘管其振數區別很小，而途程區別必顯而易見。據量底擬準，代途程區別以衝動區別，便隨着來了海森伯所式列的命題，地位之不安全與衝動之不安全底乘積至少是作用量大小秩序之產物。轉形點地位愈是嚴密地決定，衝動底數目也愈不嚴密，倒過來亦是如此。這兩種不安全，在某種意義上，有一種互補的關係，因而受一種限制，即一衝動據波動力學在某種環境下，容絕對尖銳地決定，當一轉形點地位在一有盡的區域內，總還是不確定時。

這種海森伯的測不準關係，對古典力學，整個是聞所未聞。是的，每一測量都帶有一種不確定，是盡人皆知的；但假定由測量方法適當的精細化，精確性能以無限提高。現在則測量之精確性應

受一原則的限制，而奇異的是這限制不是關於個別的大小：地位或速度，而是其配合。每種大小本身，原則上能隨意精確測定，但總只以其他的大小底精確性為代價才行。

這種主張像是如此罕見，而由各種事實證實得如此明白。祇需一例。一物質點地位最直接最精細的測量，是由光學的方法，或是由肉眼或配置有武器的眼睛底直接參驗或由照相的照片。那必須用光燃照那一點。使用的光波愈短，反映愈鋒利，測量所得愈精確。在這種限度，能隨意昇高精確程度。但它亦有其負面：速度測量。在較大的物質量，光加於被照的對象的作用，可以忽視。但若擇一很小的質量，例如一個電子為對象，便兩樣了。蓋每條遇着電子而又被它擲回的光線，分與它可注目的衝撞，光波愈短，衝撞也愈強。因此同着光波之短，生長着地域決定底尖銳，卻也在相應的比列，生長了速度決定底不尖銳。在相似的情景亦復如此。

在這種觀念底光芒下，以不變的，可嚴密測量的，同着一定速度而運動的物質點為出發的古典力學，只構成一種理想的界格。其實現在所觀察的物體具有比較大的能時，然後能底判然的特徵很近地彼此並列，一比較狹小的能底區宇包括許多高度波振數即很短的波長，而由其重合，有

一定的衝動的小波束，在轉形空間中容相對地尖銳界定。於是波動力學過渡到質點力學，席霍丁微分方程變成古典的漢彌兒頓——雅各伯微分方程，而波束在轉形空間之傳播，依古典力學所規定的物質點體運動同樣的法則。這一般地只能綿延一定時間。蓋個別的物質波不是永以同樣方式相爲振幅，波束將多少迅速地彼此流開，相應的轉形點地位將總是愈不尖銳，至終精確界定的大小，只賸下波底函數 ψ 。

一切這些結語與經驗一致嗎？這問題之驗證，以動作量之小，只能在原子物理範圍內着手，而因此需異常精細的輔助資料。暫時只容說直到現在還不知有事實，使對一切這結語底物理意義起根本的懷疑。

正自波動方程提出以後，帶進了理論如潮的發展和改建。在這演講底範圍內不可能去追想它在近年所經驗的一切擴大和應用。從前者（指理論之擴大——譯者）我此地只願舉所謂電子與質子底旋條之介紹，與夫量底力學相對論的式列，從後者，對分子問題與所謂多體問題之討論的應用，即是說對一有多個或很多的物質點的物體之應用，在那兒發生統計式底特殊問題，涉

及在一分離的物體中以所給的能可能地各種狀態底數目，而於物體之能力函數計算也有意義。末了我在此地不能詳述特別關於光量底物理，它在某種意義，經驗了與物質點物理正相反的發展。蓋在這區域，原統治着古典物理中馬克威兒電磁波底理論，較晚又得出判然的光點假設之不可免，即電磁波亦如物質波都要當或然性底波去說明。

對於這樣的事實，那純粹的波動說亦如純粹的質點說少能應新物理底要求，是並無頗移人的證據。兩種理論毋寧皆代表極端的界格。古典力學中標準的質點說，適於物體底轉形而於決定其能與衝動底特值便不行，反之，於古典電動力學為特徵的波動說，能代表能與衝動，但對光點底地域這概念則陌生。中間區域代表一般情景，在這區域中，兩種理論皆有實際同等價值的任務，或從此一邊，或從另一邊，暫時總只能一點點地接近。此地還有些朦朧的問題佇待啓明，它須等看企圖解決它們的各種方法：海森伯、波恩和約但原來設計的方陣計算 (Matrizenrechnung, matrix calcul) (註1) 或由伯羅格利 (Broglie) 和席霍丁所建立的波動說，或是第拉克 (Dirac) 介紹的「數字底算法」，那一種是引到目的之最好的。

若我們嘗試從以上的描寫得一統括的結果和對新世界相底特徵的標識得一鳥瞰，我們最初的印象準是真不滿意的。尤其必會使人錯愕的，是在波動力學，它與古典力學明白地對立，卻事前無保留地採用古典質點說底概念，如一物質點底坐標 (Koordinaten) 與衝動概念與夫一點體系底位能及動能概念；而事後又弄出說毫不可能同時精確決定一點底地位和衝動。可是這些概念於波動力學是完全必須的；蓋無之則轉形空間及其量定簡直不容界劃。

對於波動力學了解之另一困難，像在於那物質波準未具有同樣明豁性如聲或電磁波，因它

(註一) 海氏以電子原子，皆非感官能接的真實，很難使原子底模型如在平常空間的想像，一定要保持質點說，只好不指定原子或電子每一時在空間一定之點，而以一羣已定的物理量，代表電子從前的地位。它們是可觀察的輻射量，每一個集合着兩『項』(“Term”)，於是便得出一方陣 (Matrix)。請參看羅素物之分析，四三至四六頁。海森伯異常詳盡的數學討論，見其所著量論之物理原理 (Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie) 一九三〇年，七九頁至九二頁。——譯者。

不在慣常的空間而在轉形空間經過，而其振動週期賴於它所屬的物體之選擇。此構成愈擴張，其能與能的振動數也愈大。

這種思考確乎不易與。但它所可慰者，一來新理論內容未見有內在的矛盾，二來在其應用，有明白而於測量甚有意義的結果。但即這種要求在量底力學是否會實現及實現多少，現在意見也還各岐。因此讓我對這基本之點還作幾許深入。

常特別加重指明的，是量底力學只管原則上可觀察的大小，和物理上有意義的問題。這確乎是對的，但不可特別以量論先天地就比其他理論特別優越。一種物理大小原則上是否可觀察的或某一問題是否有物理的意義之決定，永不容是先天地而永是從一定理論底立場。各種理論之區別即在於據一種理論，某一大小原則上是可觀察的，某一問題是物理上有意義的，據另一理論則否。這樣，地球底絕對速度，據弗雷納 (Fresnel) —— 羅衡慈 的靜止的光以太底理論，原則上是可觀察的，據相對論則否，或又如一物體底絕對加速率，據牛頓 力學原則上是可觀察的，據相對論的力學則否。同樣，恆動機底建造問題，在能量不滅原理介紹之前，物理上是有意義的，但以後則不復

然。這些對立間之決定，不在於各理論本身的性質，而在於經驗。因此，說它只管原則上可觀察的大小，並不足特標量底力學對古典力學之超越——古典力學在它底意義上，也是如此（即只管可觀察的大小——譯者）——，而必須指明特定的大小，據它，原則上可觀察及不可觀察，而後引證其與經驗一致。

這種證明，例如關於上說的海森伯不安全關係，事實上引到了，直到現在像是可能的程度內，而且也能看作波動力學優越之成立。

儘管這種顯眼的勝利，量底物理特徵的不安全關係激起廣大範圍的思慮，明明因為由它而人們不斷計算的大小底定義，在某種意義，原則上是不精確的。這種不愉快，如我們上面看見的，以或然概念，介紹入量底力學的方程底解釋，而更增高。蓋此地像是放棄了嚴格因果底要求以利某種不定論（Indeterminismus）。現在事實上有些卓拔的物理家，顧到這種關係之強制而慣於在物理世間相中犧牲嚴格因果底原則。

若這樣一步真證明為必要的時，則物理研究之目的，為要昇高，先向後倒，其害將不可勝言。據

我底意見，如要選擇，有定論在一切環境都比不定論可欲些，簡單根據是決定的回答對一問題總比一不決定的有價值些。

如我所見到的，一時還毫無動機，要完成這種退讓底行動。總還留有可可能，對這不可能底原因，給與決定的回答，不是在理論底性質而是在提的問題底性質去看。對一物理上式列不足的問題，即使最圓滿的物理理論也不能給與決定的回答。這在古典統計底範圍內，已是周知而多方詮釋了的真理。例如兩個在一平面的相碰的彈性的彈子，在碰撞前彈子底速度與碰撞底法則，即使皆一一備細知道，還是不能給出碰撞後的速度。事實上對相碰後兩彈子四個未知的速度組成份子，只有能量不減與兩衝動組成份子三個方程可供支配。但我們並不說在碰撞過程，沒有因果，而說對完全的決定，還缺乏重要的材料。

為能將這種思考也應用到前列的問題，我們現在必須重轉到發端時所討論的思想途徑。

若物理世界相底構造，在其不斷變化中，總與感官世界相離愈遠，而在相應的程度，與那原則上不可認識的真實的世界，永更接近，是真的話，則進步的世界相，必將掃清一切礙人的原質，是自

明了。於是在物理世界中採用與人類測量技術任何相聯的概念，是完全不成的了。海森伯的測不準關係，也毫與人類測量無關。它無條件地發生於這種思考，以新世界相底原質，不是質點，而是簡單地週期的與所觀察的物體相應的物質波，據算學的命題，不能由簡單週期有盡長的波之重合，以界定有一定衝動的一定點。這命題毫與測量無關。而物質波在彼一方面，由與所討論的情景相應的算學邊值問題 (Randwertproblem) 明白決定。那也談不到不定論。

另一問題是物質波與傳達我們對物理過程的知識的感官世界的關係。蓋從一完全與外面隔絕的物體我們會毫不經驗出什麼。

這個問題初看像不全屬物理底區域，它一部涉及生理甚至心理。從這種考慮，並未生原則的困難。蓋總能想以適當建造的物理測量器具自紀儀器，代替人類的感覺官能，例如一感光片，它保持自周圍所生的印象，因而給供在周圍的過程之紀載。若我們將這種測量器具併入所觀察的物體之內，使不受其他影響，我們便有一與外隔絕的物體而又能由測量從它經驗幾許，只須顧到測量器底構造和反作用，在彼方面，可能地實現要測量的過程。

若我們具有一測量器，它對一簡單週期的物質波之反應，亦如一共振器之對一音波，於是我們能測量一個個的物質波而分析整個波底過程。自然，情形不是如此而毋寧測量器底紀錄，例如一照片底變黑，並不容對所研究的過程一個個有明晰的結語。但是我們卻不可因此主張物質波底法則是不定的。

對不定論底假設直接的奠定，能在這樣環境去求，據波動力學，在一與外隔絕的物質點體系中的過程，毫不由體系底起點，即是說由起始的轉形和起始的衝動而定，甚至不能近似地決定；蓋相應於起點的波束一般地同着時間各自流開而分解為一個個或然底波。

但較近考察，便知不定論只由問題底提法而起。這在質點力學，事實上起點明白確定一切時間的過程；但它不適用於波動力學，因為不安全關係，已黏上有盡數原則的不精確了。

反之在古典力學自萊布尼茲以來，已知另一問題提法，它一樣引到決定的答案。一種過程完全決定，而且在一切時間皆決定，若除了在一定時間點的轉形外，已知的不是衝動而是在另一時間點同一體系底轉形時。對過程底計算，用一變異原理，最小動作原理。於是在上舉兩個彈子平面

彈力的撞碰的例，在彈子起始地位和終結地位與已知的其間時間，是三個未知的，即兩地域底坐標及相撞底時間點，由三個貯存方程全然決定了。

這變更的問題式列，與從前的對立，也能直接轉移到波動力學。自然，如我們看見的，一定的轉形，永不容由波動說完全精確界定，但原則上能把這不安全降到每種所欲的界限之下，而決定這過程直到每種隨意的精確程度。波束底彼此流開，並不即是為不定論的證明。蓋一波束也能一樣流合。時間底前面符號，在波動說亦如在質點說中，不演何種腳色。每種運動過程都能向恰恰倒過的方面經過。

自然，在所給的問題式列，一般說來，一定的波束只在兩個已把捉着的時間點才存在。在當中的時間，亦如在較早或較晚的時間，個別的初步的波，都分開行動。儘可稱它為物質波或或然底波，它總是全然決定的。在這種方式，說明了那貌似悖謬的主張，即當一定的時間，一物體由一完全決定的過程，從一定的轉形，過渡到另一轉形，問當中時間的轉形，一般說來，是毫無物理的意義的；同樣，依這種見解，問一光量底軌道，亦是無意義的，它由一光源放射出而在一定的觀察罩子底地方

被吸收。

必須提出的，是在這種的觀察，有定論底意義，較之從前在古典物理中所習見的，有點別樣。在那裏，轉形是已決定的，這兒在量底物理，是物質波被決定，這區別是因轉形較物質波與感官世界相聯直接得多而有意義。在這種程度，新物理中物理世界相對感官世界的關係，像是更加鬆懈。

這當然是一種害處；但爲保持世界相底有定論，這是必須付的代價。此外，這種步伐，如我重複申言過的，像是在事實上科學發展特徵的方向，物理世界相，在其前進的完成中總與感官世界愈加遠離而採取更抽象的形式。從相對原理底立場，甚至像是直接提供這種見解；蓋據此原理，時間並未具有對空間優先的地位，於是必然地接着若對一種物理過程因果的描寫，一有盡空間區域之考察是必要的時，則一有盡的時間間歇，於它已是一樣必須的。

或許此地提議的問題提法還太片面，太着礙人色彩，爲要能於用到新物理世界相滿意的建設的話，而人必須向另一個去找。總之，此地還有些麻煩問題要解決，有些黑暗之點待啓明。

至於現在理論物理的研究所陷的特殊困難的地位，確乎不容無保留地拒絕對挾着激進帶

來的革新的理論，是否真在正當的道路上這種疑感。此命定的問題之決定，祇繫於對物理世界相不斷進步的工作，是否還充分保持了與感官世界必要的接觸。沒有這種接觸，即形式最完整的世界相亦不啻肥皂泡，風一吹便破。

幸而我們今日在這種關係，能全然放心。我們可以誇大地主張，在物理史，還沒有一個時間如現在理論與經驗如此緊密地攜手同行。實驗的事實正是那些使古典理論搖動而崩頹的。每種新理念，新步武，都由測量結果提起甚或強迫前進摸索的研究。如密琪孫 (Michelson) 光學干涉試驗，在相對論底門口，則魯默與卜亨漢，露本與庫爾堡關於分光帶的能之分配，列納關於光電作用，佛蘭克與赫芝關於電子撞衝的測量，亦似乎立在量論底門口。若我此地要提到一切繁多而一部份全然使人驚詫的試驗結果，它總將理論愈從古典的立場推開而指示完全決定的軌跡，那會引得太遠了。

我們只能希冀地上一切國度在和平的競賽熱忱中所分擔的一致的協勞，永勿變改。實驗的與理論的研究間不斷交互的作用，同時是推動力又是約制者，也是將來物理科學蓬勃的進步最

可靠的唯一保障。

它將我們引到何處去呢？我在導言中已有機會加重說過研究底兩重目的：一方面感官世界之完全統制，另一方面真實世界之完全認識，真正說來是根本上不能躋及的。但沒有比對這種環境取爲沮喪底理由，更舛錯的了。對於它，我們已具有太多的實際的和理論的種類可把握的成功——每日俱增的成功。或許我們有一切根據，認這種對高不可近招邀的棕櫚樹無盡的連續格力，是人類研究精神特殊的福祉。它不停地注意使人類精神保持而永遠從新煽起其兩種最高貴的推動力：興奮和敬畏。

實證主義與真實外界

(一九三〇年十一月十二日在威廉皇帝科學促進社哈納克室 Harnack-Haus 講)

我底很尊貴的女士們和先生們！我們所生活的是一個希有的世界。我們一看一切精神的與物質的文化區域，我們都陷於一沉重危機底時代，它將我們全般的公私生活，都印上徬徨不安各色的記號。有人願看它作瑰偉向上發展底開始，另些人則解釋作不可逃的覆滅底先兆。如在宗教和藝術很久以來一樣，科學現在也幾乎沒有一個基本命題不被有人懷疑，幾乎沒有一種荒唐言，不會被有人相信，這便起了問題，是否還有真理，能作一般地不可爭辨的而對一切懷疑底洶湧波濤，供給固牢的停泊所。單是邏輯，如它在算學中對我們的純粹形式，不能幫助我們。它自身固然要認作不可攻擊的，卻也只不過各相連紐；爲要在內容有意義，它需要一堅固的支點。蓋卽最牢固的連環也無可靠的停宿若它非釘在一安全之點時。

何處我們尋得堅固的根據，使我們能作我們底自然及世界觀底出發點？在此問題，目光自落在自然科學之精確者，物理上。這個也自然不能獨免於一般的危機。在它底區域，也發生了某種不安，在認識論的問題，一部分意見亦甚相歧。其至今一般公認的原則甚至因果本身，也有的處所被棄擲於地。正是在物理中能有這樣的事，有時可認為是一切人類知識不可靠之徵候。讓我以物理家資格，從我底科學所給的立場，對諸君關於物理對上列問題所處的地位，作幾許陳述。或許從而得出某些支點，對人類精神活動其他的區域之結語，也能有益處。

一

每種知識底源泉亦即每一科學底起源皆在於個人的生活。這是直接已知的，真的，人所能想的，而為思想途徑之連結，作出科學底最初支點。蓋這些材料，每種科學所藉以工作的，我們或直接或我們底感官知覺或間接由他方報告，由我們底教師，著作，書籍而接受它們。別的知識源泉，是沒有的。

在物理中，我們有事於那些在無生自然中由我們底感官傳達與我們的生活經歷，而在多少精確的觀察和測量中尋得其表現。我們所看，所聞，所感的它們之內容，是直接所給的即不可搖撼的真實。這裏起了問題：物理以此基礎便足嗎？若說將各種當前的觀察之內容帶到可能地精確，簡單，法則的連繫，便已竭盡物理科學底任務了嗎？我們願將那種是定這問題的認識論底方向，它正以顧到現在一般時勢之不安，為許多著名的物理家和哲學家堅決地代表，以後稱之為『實證主義』。這個字自孔德以來有時用於各種的意義。雖然，為以下談話所要的清楚計，我們將這個字連到完全決定的意義，而總使它屬於最多數所用的意義。

為驗證此問題，是否實證主義所供呈的底基，足夠負載物理底整個建築，除了我們看我們先完全信賴它而承認其為物理底唯一基礎，會引我們到何處去，不能找到更好的方法。用這種方法，我今天延請諸君作一試驗。我們願意起初完全站在實證主義底立場。當然我們必須努力嚴格合理地進行，即不與習慣的和情感的判斷以任何地位。我們將碰到一些特質的結果；但我們能保險不會遇着邏輯的矛盾。蓋我們總留在生活底圈子內，而兩件生活經歷，總不能邏輯地相矛盾。而另

一方面，我們也一樣安全，沒有一種成形的生活經驗會在我們觀察之外，我們確乎不會遺漏任何人類認識底源泉。這是實證主義底強處。它從事一切能由觀察找得回答的問題，倒過來，它承許爲有意義的問題，都能由觀察去回答。於是，爲實證主義，沒有根本的啞謎，沒有黑暗的問題，一切，在它看來，都立在輝燦的陽光裏。

當然要到處一一徹行這種見解，並不全然簡單。在日常用語，我們已不斷與之離過。當我們談一個對象，例如一張桌子，我們意味着某種與我們對這桌子所作的觀察之內容不同的東西。我們能看這桌子，我們能摸觸它，我們感出其堅實，其硬度，若我們撞着它，便感到痛覺等等，但在一切這些感官感覺之外或之後，還有什麼獨立的存在，我們毫無從知道。因此就實證主義言，桌子無非是那些我們用之與桌子這個字相連的感官感覺之結。我們拿走一切感官感覺，便再沒有東西剩下。什麼是『在真實中』的桌子這問題，毫無意義。一般地，一切物理的概念，亦復如此。環繞着我們的整個世界無非是我們從它所得的生活經歷之總體。沒有它，周圍世界便無意義。若一問題，涉及周圍世界，而不容以任何方式歸於一種生活經歷，一種觀察，便是無意義而不容許的。因此每種玄學

在實證主義中皆沒有位置。

我們再瞧瞧繁星的天空。它保留給我們無數光粒或光片底像，這些光點或光片，在某種多少精確可量的方式於天空運行，而其輻射我們也一樣能依強度和顏色去測量。這些測量，實證主義地看來，不但構成天文學和天文物理底基礎，而且也是原來和唯一的實質的內容。我們對測量結果底了解所設想的，是人類之附加品，自由之發明。抑或我們例如同着拖勒茅（Ptolemäus）說：

（註一）地球是世界底靜止的中心點，太陽同一切星斗都繞着它運動，或我們同着哥白尼說：地球在全體中是一粒微不足道的塵點，每日自轉一次，而每年繞日行一周，這於實證主義只是觀察式列之不同。這些都構成唯一的實事，哥白尼說之優越，在於其式列之種類，證明為較簡單而較一般可用的，而拖勒茅表現方式，在天文法則底把握，必然有更多的繁紊。據此，哥白尼不是當作開路的發現者而是當作天才的發明者去估價。對偉大精神所喚起的教訓之變革，對為它而起激烈的鬭爭，實證主義之少有注目，亦如其少有淵穆的敬畏之感，這種敬畏之感，甦醒於一個虔忱的觀察者，

（註一）希臘天文家，生於埃及。（公元後二世紀）——譯者。

當他仰瞻繁星的天空，心摹每一顆在銀河中的星，都大如我們底太陽，而每片星雲，又代表一條銀河，光從彼到達我們，也需多少百萬年，同着整個人類世代的地球，低降到不可捉摸的無足輕重在這世界建築中。

但這些思維，已涉及審美及倫理的區域。我們在討論認識論的問題的場合，不能保留給它活動之所。廣續我們邏輯的思想途程吧。

據實證論，感官感覺，意義着首要的已知，直接的真實，所以談錯覺，原則上便不對。在某些環境，使我們迷錯的，不是感官感覺自身，而是我們有時自它們所抽取的結論。當我們斜持一棍入水，而見其沉水部份是彎的，這種彎曲不是以折光來騙我們，乃是事實上有光學的知覺在；它只是另一種而為有些應用較適當的說法，當我們如此式列它，謂儻這棍是直的，而儻從其浸水的部分而達我們底眼睛的光線，透過水面而經了轉折時。

對這個和一切相似的考察，根本的是從實證主義底立場看來，這兩種說法，根本上全一般對，在它們之間，除了以方便之觀點，例如觸覺之可應用性，而欲以另外的觀點去決定，是毫無意義的。

在實際，嚴正徹行這種『儻不』理論的嘗試，正會引到希有而不方便的結果。但它固仍不能由純邏輯的立場而有所傷損。我們再往前走，看至終我們到什麼地方。

對有生的自然底對象，同樣的思考已適足，也是不成問題的。就實證主義言，一顆樹，比方說，無非一感官感覺底結：我們能見它生長，聽其葉之颯颯聲，嗅其花之香氣。但若我們略去一切感覺，便不剩下我們能稱爲『樹自身』的東西。

對植物世界適用的，對動物世界亦必有意義，要談一自立的存在，及此存在自己的生命，我們終於要想到適當之根據。一條被踐踏的蟲自由，人能看見。但要問那蟲儻亦覺痛，是沒有意義的。只有自己的痛，纔會感到，一個動物底痛之認其存在，只因這假定代表各種伴隨現象適當的統括，如痙攣，扭曲，叫聲等伴隨現象，在我們自己痛時也將發出。至終我們從獸到人。在這裏，實證主義也要求自己的感覺與別人底感覺純然判分。只有自己的生活經歷是真的，別人底只是間接推度，原則上是不同的，而終結也必須歸到適當的發明。

這種見解確容澈底施行而不須畏邏輯的矛盾，可是對物理，卻引到致命的結果。蓋若除感官

的生活經歷可能地簡單描寫，更無所事，則嚴格說來，它只能以自己的生活經歷為對象。只有自己的生活經歷是首要已知的。只就自己的生活經歷，即使一個多才多藝的人，也不能建設完全的科學，這是明如指掌的，於是只有兩種機擇，或是乾脆否棄統括的科學，這即使是極端的實證主義者也難以同意的，或是走到妥協，而也採取別人的生活經歷以成立科學，儘管嚴格說來，這把原來只容許首要的已知的立場放棄了，蓋別人的生活經歷只是次要的由關於它的報告而得的。於是這裏轉出一新的因素：在科學底定義，口頭和書面的報告之可信和可靠，而實證主義原來的基礎，科學材料之直接所得，已於此處邏輯地破裂了。

我們姑且不管這種困難，假定一切關於物理的生活經歷都可靠，或人至少具有不可欺的手段以剔出不可靠者，則現在及過去全般的被認為可敬而可靠的物理家，當然可要求顧其生活經歷，而沒有理由要排除一些這樣的生活經歷。那會得完全不對，對一研究者較少顧及，當別的研究者未有與他相似的生活經歷時。

在這種觀點，便不能了解和解辨何以例如在一九〇三年為法國物理家白龍得羅 (Blon-

(Plot) 所尋見而當時被多方研究的所謂 N 光線，今天全被遺忘。白氏爲朗西 (Nancy) 大學教授，當然是一個特出而可靠的實驗者，其發現對於他亦是一生活經歷如其他物理家底任何經歷一樣。我們不可說他陷於錯覺的犧牲；蓋如我們所見的，在實證主義的物理沒有錯覺。N 光線勿寧要當作首要的已知的真實去看待。若自白氏及其學派以後，已長年沒有人達到再生產它，人也永不能知道（實證主義地看來）儻或一天在特殊的環境下，它不可再現一次。

人必須承認其生活經歷於物理科學有價值的人物，只能是一個很小的數目。只有特別對這門科學有貢獻的人，才算在內，其他的人在這區域的生活經歷自然是也多少有用。此外，先天地也把一切理論家除外；蓋其生活經歷根本限於紙墨腦汁之消耗而不含對科學建設任何新材料。如此，只剩下實驗的物理家，尤其是那些爲特別研究支配得有特殊易感的器具。這樣爲物理科學進步可算的生活經歷，根本只限於少數人。

怎樣了解一個阿什特 (Oersted) 底生活經歷，他觀察電流對其羅盤針的影響，或者一個法拉第底第一次發露電磁感應底效力，或一個赫芝，在其拋物線的鏡子底焦點，求那細微的電火星，

這些生活經歷，在國際物理家底世界喚起這樣的驚視和這樣的變革呢？實證主義對這問題，只能給殘破的高度不滿足的回答。它必須援引這種開關展望的理論之可信，即這些個別的本身並不重要的生活經歷，可從而抽出別人許多重要而富有結果的生活經歷。但另一方面，實證論卻以不願給其他的除了事實具在的生活經歷之描寫便無足取而特著，那嗎某一個物理家底一定生活經歷，即使是完全樸陋的描寫，也對全世界一切其餘的物理家具有意義，這樣問題怎樣來的，從實證論底立場，仍然未得研究而必須視為在物理上無意義而否認之。

這種觸目的現象是容易明白的。實證主義，澈底實行，便否認客觀的，即是說從研究者個人獨立的物理底概念和必要。它被強逼着這樣幹，因為它除了個別的物理家底生活經歷不承認其他的真實。我不須再說用這種問題底提法實證主義是否足以建設物理科學，是可不含糊地回答的；蓋一種科學而原則上自身否認客觀底賓詞，便已宣告了自己的判決。實證主義給物理的基礎，誠然是堅固地建立了的，但太狹而必須補充。這補充底意義在於使科學可能由各個人所帶它的偶然底關係而解放。這是由一原則的，非形式邏輯而是由健全的理知到玄學去提供的步驟，即非由

我們底生活經歷本身作出物理的世界，而毋寧是生活經歷僅爲從立在我們之後而獨立於我們的另一世界給與我們的消息，這個假設，換句話說，有一真實的外面世界之存在。

於此我們便勾消了實證主義的『儻不』而在我們上面所說的一些特殊例子，所謂適當的發明旁邊，列着比無間隔的感官印象直接的描寫更高度的真實。物理底任務，使自推移：它不是要描寫生活經歷而是要認識真實外界。

這又現出認識論的新的困難。蓋除感官感覺無其他認識源泉，這一點實證主義總是有理。『有一個真實的，從我們獨立的外面世界，』和『真實外界不能直接認識』這兩個命題，共同構成整個物理科學底要點。但它們處於某種對立，而立即赤露在物理亦如每種其他科學所黏附的不合理的原質，它影響在於一種科學永不能完全解決其任務。科學工作代表着一種不停的格鬥，向着—永不會達到而根本上也永不能達到的目標。蓋這目標是玄學的種類，它在每種經驗底後面。

但若認這只是追逐空虛的幻影，不是說一切科學都是無意義的嗎？一毫不然。正是從這不斷

的格鬪，生長不停膨脹有價值的果實，給我們是在對的路上而長是對不可躋及的遼遠的閃爍的目標愈益推進以可把握而亦是唯一的證明。不是真理底佔有，而是對它富有結果的追尋，使研究者獲益而幸福。這是洞察的思想家，諸君底勒辛（Lessing）（註1）在其名言中所給與的古典的鑄詞之先，久已知曉的認識。

二

對物理家，這樣理想的目標，是真實外界的認識；但其唯一的研究資料，其測量，永不告訴他某種真實外界直接的東西，而永只是某種多少難靠的信使，或如赫門霍茲所嘗表示的，一種真實外界所傳達與他的記號，而從這記號，他想要抽出結語，如一語言研究者，要從對他完全茫然的文化所生的典冊去猜謎一樣。若他底工作要能有成功，他事先假定而必須假定的，是這典籍要具某種有理性的意義。如此，物理家亦必假定真實外界順從某種對我們是可把握的法則，即使他完全把

據這些法則，或只於事前以十分的安全確立其性質都是無望的話。

在對真實外界之法則性的信賴中，他形成概念和命題底體系，所謂物理世界相，他據最好的所知和所能而配置以代真實世界底地位，而送給他以盡可能與真實世界一樣的信使。達到此種程度，他便可不必畏實質的駁詰而提出主張謂已真認識真實世界底一面，儘管這樣一種主張自然永不能直接證明。無須誇張，人也可對亞里士多德以來，人類研究精神曾了解去形成物理世界相到如何高度，表示愕詫和驚異。從實證主義立場看來，一個物理世界相底理想與向真實之認識不斷的格鬪，自然是某種陌生的，無意識的。蓋在並無對象的地方，不能反映出什麼東西來。

物理世界相底任務，特徵是應在真實世界與感官的生活經歷底世界間建立最可能地緊密的聯繫。後者首先是供給材料的，而材料底編纂根本上超過，物理的生活經歷底結，與一切那些由個別情景底特殊性即是由人類感官與夫所用的測量器具底性質而制約的東西，就可能性而分離。

另外，物理世界相事先只要完足一個條件，即其一切部份皆免於邏輯的矛盾。否則造相者完

全自由可進行無限制的自主，而不受任何卅制地用他底想像力。這當然也夾有够多量的隨意和不安，相應地也指出這任務底性質，起初或像天真的觀察，實則困難得多。在將個別現有的測量結果，總括到統一的法則這最初的一步，已必須進到自由的玄想，而研究者即刻被迫着超出經驗中的已知材料。他立在這種任務之前，如他要將一些離開的點由一曲線聯合起來一樣。不管這些點彼此立得如何近，而這樣的曲線總是有無限多的。即使用一常在動中的紀錄器，自立地劃出一條完滿的曲線，例如一溫度曲線，這曲線也永不是鋒銳的，而多少有厚薄，包函了無窮多的鋒銳曲線。

要從此不安全而達一定的決定，並無一般可用的規條。此地只有特殊思維才能爲助，一種思維，以某種特別的理念聯繫底根據而引入一種假設，事先規定所要找的曲線一定的特性而使之在無窮多的曲線中分離出一條完全決定的來。這樣一個新的思維，其根源在一切邏輯之外；爲要能把捉它，物理家必具有兩種特性：實質的知識與創造的幻想。即是他必須第一即用別種的測量也靠得住，第二他必須有使兩種不同的測量經歷帶到共同的觀點的靈感。每種有效能的假設，都歸回到兩種不同經歷想像幸運的配合。這在歷史上多少情景也可備細尋到，自亞基米德始，他將

自己的身體在水中所失重量，與西哈古（Syrakus）底暴君沉浸在水中的金冕所失重量配合，經牛頓他把一個蘋果自樹之墜落與月球對地球之運動配合，直到愛因斯坦他把一受引力的物體在靜止的箱子的狀態與一不受引力的物體在向上加速的箱子的狀態配合，或到波爾他把電子繞原子核的旋轉與行星繞日的旋轉配合。把可能地多的物理假設，一一搜求其根源所自的理念聯合，確乎是有興味的作業，儘管這樣一個任務有其巨大的困難。蓋創造的大師們，以某些個人的理由，總不愛將其致力的假設所用的最精細的思維（它們常也包函不重要的）放棄與公衆。

關於一個提出來的假設是否有用，只能由其推衍的結果而證驗。這是由一純邏輯的，主要是算學的程序，它爲這假設用來作出發點從而發展到盡可能地完滿的理論。理論之特別陳述，是能與測量相連的，而依這種關聯之是否滿意獲得，作對這出發的假設有利或不利的結語。

在這種事件，首先出現可注意的事實，物理科學底進步不是相應於我們底知識逐漸的深刻化與精微化而完成不斷向前的發展，而是退後與爆發式的。每種新發生的假設，都代表一種突然的火山崩裂，到黑暗中一跳，不能邏輯地說明的。然後震響着新理論底誕辰，它一見陽光之後，多少

被強制地不斷向前發展而至終由測量經驗其命運之裁判。只要它得有利地落成，這假設便漸得重視而理論之發展也擴大了圈子。只要在測量經歷底解釋一發生任何困難時，便立即出現懷疑、惶惑與危險的陣痛。這是舊假設凋喪新者成熟的徵象，其任務是解決危機而引導另一理論，它保有舊者底優長而改善其缺憾。這樣，在經常的代謝中，物理認識底發展，時大時小地在其對真實外界研究的道上而完成。這在物理史上，到處皆可追跡的。只有那一——追隨過羅衡慈動的物體電動力學底妙論所陷與測量的困難和衝突的人，才會真正估價相對性假設之建立所帶來的輕鬆被救之感。在量底假設，也能觀察到完全相似的情形，只是我們還未全然移去此危機而已。

關於一個假設之把握，要事先與其創造者全副自由，使其能在概念和命題底選擇時，不犯邏輯的矛盾而有完全的主權以相連結，在物理家圈子中也有時主張建立一物理假設，只可用其意義是先天地由測量，即是說獨立於每種理論，十分尖銳地確立了的；這是不對的。蓋第一，每種假設，都是物理世界相底組成部份，完全是自由玄想的人類精神底產物，第二，就設有一種可直接測量的物理大小，一種測量領受的物理意義，毋寧是由一種理論貸與它的解釋。每一知曉精確實驗室

的人，都能見證即最直接和最精細的測量，例如一重量或電流強弱之測量，要在物理上可用，也需要一些糾正，而這些糾正只能從理論亦即從假設推衍而出。

這樣，一個假設底創造者，支配着純然無限的可能性和補助資料，他藉助於其感官生理的效能之微，一如於物理測量器械底使用。用他底心眼透視和制裁在一物體中所演的最精微的過程，他追隨每一電子底運動，他知道每一條波底振數和變象，他甚至由自由的人為意志創造他底幾何。用他底精神的器具，他底理想的精確底工具，他隨意干涉一切物理的所現，以實施最大膽的思維試驗，而從其結果，抽出遠到的結語。一切這樣的結語，當然與真的測量無關。因此一個假設本身也永不能直接由測量證明為正確或錯誤，它只能當作多有或少有適宜性。

這樣我們來到了事物底陰面。關於物理世界中一切過程，心眼底理想的慧光，在這世界只是自造的真實世界底圖像，因此對它完滿的知識與無限的統治根本上是自明的。每種假設之有對真實的意義與夫自己的價值，由它將其流動的理論帶進了與測量經歷的聯繫。當然一種測量，如我們所見的，直接教給我們關於物理世界相之少，一如關於真實世界，每一測量毋寧意義着在測

量的物理家感官中與夫在他所用的測量器具中的某種過程，從它可確定的，只是它與要測量的真實過程有聯繫。於是一種測量底物理意義，不是直接給的，而是其確立可以是科學底任務也一樣可以是任一其他過程有法則的經過之研究。而研究底方法也是一樣的，即是說必須將測量過程底一切個件排列在物理世界相中，於是必須將測量的物理家底感官與夫其測量器具及在那裏所演的過程也用理想的慧光底心眼去透視。單由這種方式，便能達到測量經歷與所測量的過程底本質有法則的關繫，更切近之成立。理論物理輓近由量底假設之發展所陷的認識論的困難，像是根本上由於人們在可慮的但非對的方式將測量的物理家底肉眼與玄想的物理家底心眼等一起來，而卻是前者構成後者底對象。每一測量都連到對要測量的過程經過或多或少可看出的因果的干涉，所以原則上將物理過程底法則從其測量底方法完全分開是毫不可能的。在物略的過程，如那些包攬許多原子的過程，測量方法在較寬的廣袤中是不關重要的，因此在曩日的，現在所謂古典時期底理論物理中，逐漸地假設同化了，使測量能在真實過程中有一直接的洞見。但在這前提中，如我們在上面已詳細解說過的，有一原則的錯誤，一個正與實證主義所犯的相反的

錯誤，當它（實證主義）單顧測量經歷，而完全忽略真實過程時。完全除去測量與侵入真實過程自身，其難容許一如其難可能。在不可分的動作量底存在中，甚至可確立一完全決定的能用數字紀錄的界限，超過此界限，即最精微的物理測量方法也不能供給真實過程一切問題以詳盡的解說。因此只賸下這種結論，即這樣的問題毫無物理的意義。此點是爲要可能地琢磨物理世界相與夫更近真實世界底認識，測量結果必須經身由玄想來補充的。

在回顧中，我們能說物理科學有內容的進步，第一靠測量方法之完善。在這種程度我們完全分了實證主義底立場。但分別是，據實證觀，測量經歷構成首要不可分的原質，在它們上面，建築着整個科學，而在真的物理中，與此相反，測量被認爲是外面世界底過程與測量器具和感官中的過程間交互作用而多少紊亂地綜合成的結果，其晰明及解說構成科學研究一個主要任務。因此首先必須合式地安排這種測量；蓋每種試驗之安排代表對自然某種問題特殊的式列。

但要達到一有理性的問題只能藉有理性的理論。即不可相信不用理論，便能關於一問題底物理意義得到判斷。毋寧够常常地，某一問題依此一理論有物理的意義，依另一理論則否，因此它

底意義與理論立即相混。

我們試舉一例，如一不貴的金屬，若水銀，變金的問題。這問題在鍊金師底時有深刻的意義，無數研究者為解此謎犧牲了他們底財產和健康。在原子不變說介紹之後，此問題失其意義，再要追問它，一般地被當作傻子。今天，自波爾的原子模型介紹以後，金原子與汞原子之差只少一個電子，這問題遂重復當時，其勞作從新以最新式的研究手段繼續。人在此處也見在最後，嘗試也過渡到研究。甚至無結果的嘗試，若正確解釋過也能供給最重要的認識。

這樣，多少無計劃的鍊金嘗試，立下了科學的化學之基礎，這樣，不可解的恆動機問題萌生了能量不滅原理，這樣，測量地球絕對運動徒然的嘗試，給與建立相對論之機。實驗的與理論的研究恆互相為用。兩者之中缺一，則另一個亦不能前進。

當然，當一新認識戰勝之後，有時會走入歧路，與之相連的問題，不單被宣告為無意義而且要想先天地證明這種無意義。但這是一種謬誤。就本身說，地球底絕對運動，即是說地球對光以太的運動，與牛頓的絕對空間都不是如在有些相對論通俗的敘述所讀到的那樣物理地無意義。前者

只在特別相對論，後者只在一般相對論進入時才如此。

如此，可以到處追隨，怎樣某種本身完全有理的，亘世紀根深蒂固因而多方面被視為自明的科學的觀念，經新發生的更有效能的理論而動搖而至終被摒除。

三

即是在一切迄今科學研究底基本，因果法則之前，意見之鬭爭亦未停止。因果法則是如人迄今不斷承許的，嚴格適用於每一物理過程直到一切個件，抑或在應用到原子中最精微的過程它只具概括的統計的意義呢？這問題也先天地既不容由純認識論的路又不容由測量來決定。它毋寧先天地在於玄想的和構成假設的物理家底意旨，看他高興用嚴格動力的抑統計的因果以配置其世界相。決定的只是他在那兒到了多遠。其驗證的方式，只能嘗試地以決定此兩種立場，看從它達到什麼結果，完全如我們在今天觀察之起頭。對實證主義效能之研究所作的一樣。先選兩種立場底那一種，原則上是無足輕重，實際上則人們喜歡那先天地保有更多滿足的一種；在我一方

面我願斷然相信一嚴格因果底假定是較可欲的，簡單地因為動力法則所把握的，比先天地引到某種認識價值之否棄的統計法則，遠為深遠。蓋在統計的物理中只有涉及事件之多方面這樣的法則。個別事件誠然是彰明地當作個別事件介紹而承認，但問其法則的經過的問題先天地被宣告為無意義。這於我顯得是高度的不能滿足。我至今亦未見最低度的理由要被逼得放棄在物理的和精神的世界相中嚴格的法則底假定。當然嚴格的因果法則不能直接應用到生活經歷底連續。在生活經歷之間，總只能建立統計的聯繫。即最嚴密的測量也總包函偶然的不能約束的錯誤。但一件生活經歷，如我們所曾見的，客觀地看來，是從各種不同的原質歸結成的一種過程，即使每一個別的原質都與所隨經歷底另一個別原質，依嚴格的因果法則相連，從一完全決定的被視為原因的生活經歷，也可以其基本的綜合種類之不同而發生完全相異的經歷結果。

這兒又擠出一問題，它像是對嚴格因果底前提，至少在精神的區域，立着一原則上不可超越的限制，因其於人類關係至大，在臨末我請求還可在這問題停留一下：自由意志底問題。意志底自由是由我們自己的意識，它（意識——譯者）代表我們認識能力最後的最高的例案（Instanz），

而直接保證的。

人類意志真是自由的抑或嚴格因果所決定？這兩種機擇 (Alternative) 顯得是全然互相排斥，而在被處，前者必須是定，於是嚴格因果底假定像是至少引到一種荒謬 (Ad absurdum) 的境地。

許多解決這個難題的嘗試，嘗是致力於確立一因果法則不可越過的界限。在物理學近代的發展，引出估價意志自由直接為終結的統計因果底假定之支柱。我不能，如我曾有機會在別的場合所申言的，分擔這樣一種觀念。若它是適當的，則人類的意志會貶降到一種盲目偶然底官能。據我底意見，意志自由問題與因果的和統計的物理間對立無關，其意義遠為深刻，它全然獨立於任何物理的或生物的假設。

上舉難題底解決，我相信與名哲學家根本一致，完全在另一方面。較近的參驗，便見上列的機擇，人類意志是自由的抑或受嚴格因果決定，寄托在邏輯地不可靠的割裂上面。這兩相對立的情景並不彼此排斥。蓋什麼叫做人類意志是因果決定的？這只在每一人類意志行為與其一動機都

能被先見和預言，才能有意義，那只能由一種人，他絕對正確地透視所涉的人們一切身心的特性，意識和潛意識，即是他具一絕對慧光的心眼，我們不妨稱之爲神眼。這我們能够而且必須無異議地承認。在上帝面前，一切人類，即使最完成的最天才的，如哥德，如莫差（Mozart）（註一）都只是原始的生物，其最祕密的思維與最細膩的情感在他眼底，排列得像整齊的一串珠環那樣清晰。這並無傷於這些偉人底榮先。只是必須顧到若人願根據這種思考而嘗試與神眼所作的一樣作，與神心底思維一樣想，則這種僭妄會是一種荒唐。慣常的人類智力毫不能，即使僅於了解最深刻的思維，甚至當這些思維傳達給他時；在這種程度，精神過程之可決定性這個命題在許多情景，避去每種參驗，它是玄學的種類，如有真實外界這命題一樣。但它是邏輯地無可爭議的，而它之具有甚高的意義，在它事實上奠定精神過程聯繫之每種科學研究，這一簡單事實，便已證明。沒有一行傳家，將其英雄動目行爲底動機問題歸諸偶然而視爲已了的，它毋寧總以滿意說明之缺乏或是由現存材料源泉之不足，或是，若他够明白的話，與他自己的把捉力底界限有關，同樣，我們在實際

（註一）奧國大音樂家，一七五六年生於沙池堡（Salzburg），一七九一年肺病終於維也納。——譯者。

生活中，對同儕所採取的行爲，總以他們底言語和行動都由或在自身或在環境完全決定的原因決定爲前提，即使這些原因，於我們常是不能說明的。

但另一方面什麼叫做人類意志是自由的呢？那只是一個人有可能在要取的兩種行動，自覺有力量，能依自己的準度隨意決定此一個或另一個行動。這與我們前此的確立毫不矛盾。矛盾只在人能透視自身如神眼一樣才是的。蓋他便能根據因果法則先見自己的意志行動，而其意志便不復自由。這種情景便在純邏輯已不可通。蓋即使最精細的眼睛，其難能透視自身，一如任何工具之難能工作自己一樣。認識活動底對象與主體永不能同一，因只在要認識的對象不爲認識的主體中的過程所影響時，纔能談到認識。因此因果法則底有效性應用到自己的意志行動這種問題先天地已無意義，如問有人能由必要的攀高高過自身或在賽跑中追過自己的影子一樣地先天地無意義。

原則上每人都能依其智力底程度，應用因果法則於其身心的周圍世界一切過程。但不過要這些過程不爲此應用所影響，即是非對自己現在和將來的思維和意志行動。這便是那唯一的對

象，它可把握地原則上避去因果法則底限制，當然正是那個對象，它作成最貴的最自己的佔有，人底和平與幸福端賴其正當的處理。因果法則因此不能保證他以行為底準繩，它不能解免他倫常的責任，這種責任，是由另一種法則課與的，與因果法則無關，它是載在每人底良知中，人若願意了解它，亦未始不明白易曉。

若人嘗試以不可應用的自然法則，免除不方便的倫常戒條，是危險的自欺。一個人類幼童看他自己的將來為命運強制地前定了的，或一民族恕宥預言它自然法則地確定的沒落這種信念，實際上不過表示其不能將真正意志帶到上昇之路罷了。

我底女士們和先生們，我們此處到了一點，科學自己宣告不在行而超入宗教，它們是避去科學的觀察的。科學之能施行這種自謙，如我所見，應使我們對它在自己的範圍內所得的那些結果之可靠，浸潤着更多的信托。但另一方面，我們卻也立即看見人們精神活動的各種區域不是全然互相隔絕而毋寧是最親密地連繫着。我們從一個別的專門科學出發，由純物理種類的問題，超過感覺世界而到真的玄學的世界，以其直接認識之不可能，對我們如或種神祕的不可把握的高華，

卻又在我們反映它的嘗試中，容許領略其內在深刻的和諧和美妙。終於我們到了最高的問題，它對每個願一嚴正思索其生命意義者，都必不可免。

這樣，我希望即諸君中與物理學立得較遠者也得這種印像，即一特殊的專門科學，若只是基本而誠實地作去，亦能促進審美的和倫理的有價值的寶藏，更有進者，正是我們開始時想到而連帶觀察到的精神文化底大危機，至終不過是供連結到一新的，更高的統一之預備。

自然中的因果

(一九三二年六月十七在倫敦物理學社所古特雷講義 Guthrie Lecture 之擴充)

物理底新發展教給那一時間對物理研究加深自然認識眩目的成功，有相當理由的甚高期望，必須在根本幾點加以限制，特別是因果法則在其迄今平常的古典式列不能一般推行；蓋其對原子世界的應用終極地被拒絕。因此每個對自然科學研究底意義和重要有興趣的人，都立在這迫切的任務之前，即從新參驗自然法則底本質尤其是對因果概念比迄今的作更深的根本探討。

今日已不復如康德所作的，以因果法則為乾脆與範疇 (Kategorie) 合計的適用於一切所現的不可毀損的規則底表詞，為一種沒有它我們便不能收集經驗的觀念形式。蓋縱使康德命題，某些範疇先天奠定一切我們底經驗，是在一切時間都不能撼動，也還並未就說出個別範疇底特別意義，而康德算做範疇之內的歐幾里得幾何公理，輒近不僅被認為能擴充而且甚至被認為需

要擴充這件事實使物理家特別謹慎我們不願先入為主將我們束縛於任何危險的前提而必須對因果概念之引入，找尋一經久可靠的出發點。

若談到兩個相續的事件間因果的聯繫，則無疑地意指兩事件某種法則的連環，較早的事件爲因，較遲的事件爲果。但問題是此特種連環何自來呢？有否不欺的記號爲某種自然中事件因果地爲另一事件所約制呢？

這問題之舊一如自然科學乃至如一般的科學，而它總重被提出這一情形，已證明它直到今日尙未被終極回答過。對這樣事實的不滿足會大爲減殺，若人想到其祇能如此的話。以爲能達到先天地完全尖銳地式列因果概念，而以這個定義成立自然中因果法則底有效性底研究這種期待，在曩時必被稱爲天真，而今日以精確自然研究所取的發展，亦只能叫做傻氣。在自然科學亦如在每種別的科學，並非我們從固定的基本概念出發而在環繞我們的世界中找尋它底實現，而是正剛相反。我們人類全是一經誕生，便無預先的準備或僅被之通知而進入生活中，爲要我們能在這幅湊的生活中不致迷惘，我們求之於整理我們底生活經歷，藉我們與生俱來的精神能力，好去

構成某些概念，適於應用到我們經歷過或要經歷的事件。

此種手續之混入了許多人爲意旨與不決定性，是瞭如指掌，而由一切科學區域無數的事實所反復證實的。此地我只指出這種情形，即一切科學底最精確者，算學，關於基本概念底起源及意義，今日的爭辨還較從來爲烈。若算學的概念已是如此，會無人期待確定自然中因果概念以一切時間與文化都承認的終極方式是那樣容易達到。

正是那永不灰墮而現在甚至強度增高的人類對因果法則底本質及適用性問題的興趣，使我們忖度因果概念究竟是或種完全基本的東西，一種概念，它根本上獨立於人類感官與人類智力，其最深的根蒂，透入真實的，直接科學參驗所不達的世界。蓋少有人懷疑到若一旦我們底地球同着其居民沒落，宇宙過程仍照舊皈依其因果的法則，儘管沒有人能參驗這樣一種意見底意義與正當。

儘管如此，我們所具有踪跡因果底本質唯一的手段，仍在於我們由一次所給（便成定局）的事實底世界，即是由我們底生活經歷出發，而以其必要的勞作與一般化，和盡可能剔除一切所

雜糅的謎人的原則，我們便逐漸觸摸著因果底客觀概念。

從許多迄今關於這問題發生的研究，我們會最安全地接近因果概念，若我們將日常經驗中所得的磨練過的能力以預言將來的事件。事實上，任何兩件過程因果聯繫之證明，除了指出一過程之出現，總預先能說另一過程能隨着出現，沒有無可非難的方法。這在那個地主（註一）對不信的農民擊目地（*Ad oculos*）指陳人工肥料與土地肥沃因果的連繫時，他已知道了。農民不願相信這地主底田畝上繁茂的苜蓿是由人工肥料的緣故，而去求另外的理由。這位便在他底田上讓某些狹長的形成字母的溝畦，加以強烈施肥，其餘的土地則留着不施肥。當年初禾苗挺出，每人都能在清晰的苜蓿書讀過樣的句子：『此畦用石灰施過肥的。』

因此我願用下列簡單而一般的命題，作一切以後思考底出發點：一件事若能被安全地預言時，便是因果地制約了的。自然，這應只是說對將來作合式的預言這種構成因果關係不欺的準則，而非與此關係同義。我們只須想晝與夜著名的例。人很能在白晝安全地預言黑夜之到來，而抽出

（註一）指富蘭克林，同樣故事見因果法則與意志自由章——譯者。

結語謂夜是因果地制約了的。但人並不因此而認晝爲夜底原因。另一方面，也常有我們承認一些情景有因果關係之存在而談不到一合式的預言底可能。我們只須想天氣預告。天氣預言家之不可靠已成口頭語，卻沒有有素養的氣象學家不認大氣圈中的過程爲因果地決定了的。我們看見所選的出發命題只具暫時的性質。爲到因果概念底本質真正的軌跡，我們還必須更深地探掘。

在天氣預告，能考慮的是其不可靠僅由當前對象，大氣圈底大與複雜而定的。我們取出它一小部份，如一里脫(Liter)空氣，則我們，其對外面的影響，如壓力，加熱，潮濕等等的行爲，已很可作適當的預言。我們知道一定的物理法則，它們使我們能多少安全地預先給出所作的相應的測量底結果，如壓力加高，溫度上昇，凝縮等等。

但較切近看，立即達到一很值注意的事實。即使我們選擇如此簡單的關係，即使我們利用如此精細的工具，也永不會達到絕對精確的測量結果，就是預先計算一切十進位都與所量之數一致。它總留着某種不安全的剩餘，與算學種類底計算，如二底方根能隨意精確地給出多少十進位，恰相對立。對力學與熱學的過程有效的，也適用於物理底一切區域，電與光學的過程亦然。

因此據一切當前的經驗我們被逼迫着承認下列命題爲已知的堅定的事實沒有任何情景是可能精確預言一種物理事件的。

我們將此事實與先前作爲出發點提出的命題（一件事若能安全地被預言，便是因果地制約了的）對照，我們便覺得碰到不方便但是不可避免的難題。或是我們堅持出發命題底說法，則自然中無一種情景能維持因果聯繫，或者是我們先天地要求爲嚴格因果底適用性有一席之地，則我們被迫得將出發命題投諸某種修改之下。

現在有一般物理家和哲學家，決定取第一種機擇，我願叫他們爲不決定論者。據他們，則自然中就沒有純真的因果，沒有嚴格的法則。它只是由某些常是很大近似但永非精確終極的規則而亂真。根本上，不決定論者在每種物理法則，在引力，在電的吸力，找尋統計式的根蒂；對於他這些法則盡都是或然法則，只涉及許多同樣觀察底中值，對於個別的觀察只具近似的適用性而時時容許有例外。

這種統計法則的好例，是一種氣體施於密封的物器底牆壁的壓力，依賴氣體之密度和溫度。

一氣體底壓力發生於異常衆多以很大速度不規則地向一切方向亂飛的氣體分子對器物牆壁不斷的衝撞。經衝撞而施出的全般力之動作概略的計算，結果是對器物牆壁的壓力，近於與氣體密度和分子速度底中項平方爲比例，而與測量有滿意的一致，在將溫度看作分子速度底一種量這種程度以內。

對壓力時時搖擺的研究，供給這種理論直接的證實，這種搖擺於觀察壓力在器物牆壁很小一部份時發生。我們若觀察這牆壁很小一部份，如一方糝十萬萬分之一，則能經長時間直到恰巧一個分子在這小塊面上。也許偶然再添上兩個甚至三個分子前後不久出現。在這種環境，自然談不到恆在的同等的壓力，而是壓力感到不規則的搖擺。簡單的壓力法則只適用於許多許多分子衝擊的大塊牆壁，因爲在那兒，不規則性自己平均了。

這樣由不規則的分子衝擊所致的搖擺現象，到處可以觀察，動得快的分子與動得輕微的物體接觸時，便首先表現白朗所描寫的，懸在液體中微細粉粒爲液體分子往復衝擊的以他（白朗譯者）而得名的戰顫運動，和很易感的天秤永不全然靜止而不停地繞其均衡地位行不規

則的擺動這種事實，皆是。

輻射現象更供給統計法則的例子。一種輻射的實質隨其原子底自發的崩裂，不斷放射一些荷正電或負電的小粒。在較大的時間，能說是同等的放射。但在較小的時間即是說它超過兩相續的放射間中項時間很微，則存在着完全不規則性。

在同樣的方式如氣體法則與輻射法則，不決定論者將每種別的物理法則都最後歸到偶然。對於他們，自然中只統計獨自統制着，他們底目的，是將物理建築在或然計算上面。

事實上迄今物理科學在相反的基本上發展。它選擇了前揭兩種機擇底第二種，即是說它爲要能正持因果法則一切嚴格，將出發點（一件事若能被安全地預言便是因果地制約了的）改變了。這是由『事件』這個字用於或種改變了的意義。理論物理認作事件的不是個別的測量過程，它永遠包函偶然的和不重要的原質，而是某一種只是思想中的過程，在感官世界底地位，如它由我們底感官與夫由當作尖銳化了的感官之用的測量工具直接所給的，代以另一世界，所謂『物理世界相』它直到表示某種程度的人爲的思維構造，一種範型的理想化，創造它的目的，是爲了

要使每一測量，都從那種不安全解脫，使鋒利的界說決定，成爲可能。

夫然，則物理中每種可量的大小，每種長度，每種時間，每種物質，每種電荷，都具兩面的意義，各依人視它爲經任一測量直接給的，抑想將它轉移到我們所稱物理世界相的模型而定。在前者的意義，它總是不尖銳地界定，因此也永不能由一完全決定的數字表示，但在物理世界相中，它意義着一定的算學表號，用這表號能依精確的章程的施行。若我們談一塔底高度，對其計算，使用一三角方程，則我們意指或種完全決定的，一種甚是界定了的大小。但高度底真測量，毫不給我們決定的大小。於是要精確測量的理想的高度，永與所量的高度有點兩樣。這也正適用於一鐘擺底振動期間或一白熱燈底光度。同樣，每種普遍的恆數，例如真空中的光速度或一電子底電荷，在物理世界相也較在一真的測量有點不同。在前者的意義，它是絕對鋒銳地，在後者只是不鋒銳地界定了的。感官世界底大小與世界相同名的大小間明白澈底的區分，於概念之明晰完全是不可避免的。沒有它，人會在關於這些問題的討論常致混淆。

因此物理世界相絕非如人有時聽說的，只含或可含直接可觀察的大小。正相反，直接可觀察

的大小毫不到世界相中而只是標號。世界相甚至常含對於感官世界只是很間接或甚至毫無意義的組成部份，如以太波，部份振動，連系等。這樣的組成部份，起初作用殆如贅物，但它之所以值得採取者，因為世界相底介紹提供決定的利益，使一嚴格的決定論之實施成爲可能。

當然世界相永只是一種輔助手段。至終當然還是來到感官世界底事件，來到其最可能的近似的預計。這在古典理論是如下完成的：取自感官世界的對象，比如一個物質的物體底體系，象徵於任一已測量的情形中，即是說轉移到世界相。這樣，一定的物體保持在一定的起點中。同樣，這對象在隨後的時間所經的外來影響，也由在世界相底範圍內的象徵所代替。這供給了影響這物體的外力與夫邊沿的條件。由這些材料，於是此物體底行爲在一切時間皆爲因果決定的而能絕對精確由理論底微分方程計算。如此，這物體一切物質點底坐標及速度，便爲完全決定的時間函數。若我們在任一較晚的時間將爲世界相所用的象徵重納入感官世界，則結果殆如一較晚的感官世界底事實與一較早的感官世界之相連，而能估計到較遲事件近似的預言。

概括起來，我們能說：當在感官世界中一事件底預言，總附着某種不安全，而在物理世界相，

則一切事件皆依一定的可給出的法則而經過，它們是嚴格因果地決定了的。因此，由物理世界相底介紹——這也便是它底條件——預言一件感官世界事件的不安全，歸到事件從感官世界轉移到世界相與夫從世界相再回到感官世界的不安全。

古典理論很少顧及這種不安全。它主要注意在世界相中過程底因果觀察方式，而在那裏獲致偉大的成功。它尤其達到了爲上面所說的不規則的搖擺過程，一種氣體底壓力或白朗分子運動，找到一種滿意的解說，根據嚴格因果底假定。對於不決定論者，這裏並無什麼問題。蓋他們在每種規則背後都要找無規則性，統計法則是直接滿足的東西。因此他們以兩個分子底衝撞與一個分子碰向器物底牆壁皆依統計法則的假定自足。在這裏，對於這種假定，難以有確鑿的理由，亦如自這種事實，在一導電體，電子聚於面上，難以抽出結語謂個別電子底電荷亦在這面上一樣。決定論者反之，他們倒轉來在每種無規則性背後找尋規則，而引到以兩個分子衝撞是嚴格因果約制了的這種前提建設一種氣體法則底理論的任務。這任務底解決，構成大物理學家波爾茲曼畢生工作，它代表理論研究最美妙的勝利之一。蓋它不僅引到經測量而證實的命題，繞着均衡狀態的搖

擺中項的能與絕對溫度爲比例，而且它也容從這些搖擺底測量，例如在一高度易感的旋轉秤，動人地精確計算衝撞分子底絕對數目及質量。

據這樣的和它的成功，像是有這樣不無理由的希望，即古典物理底世界根本上其任務是對的，而留在出自感官世界又復入感官世界這種繙譯之不安全，以測量方法不斷精細化而愈失其重要。這種希望，由初步作用量底出現，一下子而永歸消滅。

量底理論原自光及熱輻射出發，所以首先便與輻射過程相連。它由許多事實認爲是確立了的，在一定顏色的光線中，能不是在一均等連續的流中傳播，而是在個別的微粒，所謂光子 (Photon) 中傳播，其大小只靠光底顏色，而以光底速度從光源向一切方向各自飛散，完全如曩日牛頓傳光理論底意義。在較強的光底強度，光子很密地前後相隨，實際上作用殆如一均等連續的流；但若輻射密度以逐漸的對光源的距離而漸變微弱，光子即各自分離，類如一漸變稀薄的水線，終於分解爲一定大小個別的水滴。此處特徵是在輻射能逐漸變弱時，光子或說能不是不斷變小，而是同樣大小永遠變稀地相續。

這容易看見因果觀察方式應用在這樣的過程，引到嚴重的困難。我們且舉一例，如一定顏色的光線，在一定的方向，落到一磨得很平的玻璃片上。一部份將被反射，另一部份，姑且說是較前一部分多三倍將被放過。這種比例之適用，經驗地完全獨立於光底強度即所出現的光子數目。若在這片上，遇着甚多的光子，如一百萬，則不難給出被反射和被放過光子底數目：一百萬之四分之一將被反射，一百萬之四分之三將被放過。但若在一很稀薄的光線，玻璃片上只有一個光子，則它應被反射抑通過的問題，至少會帶來糟心的狼狽。蓋對它最好想的四分，已毫不可能了。

還更糟糕的，若在前面的例，或許能假定在這漂浮不定中，或許有為我們迄今未知的環境同着起作用，在一定的意義，影響光子底決定，而在下列的格式，則像是全然無望的。這是一定的顏色擅於被反射，別的颜色擅於被放過這件事實。若白光降落，則玻璃片無論在被反射或被放過的光中，都是有色的。這在古典的光底波動說會完全滿意說明如次，在玻璃片前面反射的光干涉在背面反射的光，就是說這兩個反射的光互加強或變弱，各依一條光線底波山之與另一光線底波山或波谷相遇而定。不同顏色底波長也不同，所以為不同顏色自有區別，而這樣計算的區別與

測量精確一致。這種現象，即在最弱的光底強度，也可觀察到。

若一單個光子在玻璃片上又如何呢？光子必須與它自己干涉，否則其波長不能施影響。它必須自己分開，但這是不可能的。可見此整個觀察方式之不可持。

在量論中，光學如此，力學亦非兩樣。蓋即最小的物質點電子，行爲亦如光子，與自己干涉。一具一定速度的電子，在這種關係，正與具一定顏色的光子相應，它（光子——譯者）在一定方向中，出現在一結晶體底片上，每依其速度而定其被反射或被放過，而一切個件完全的說明，出於與其能相應的波長。因此，電子出現於結晶片時真實上取的那條軌道，這問題一如在光子，不僅代表一未曾解決的而且是不能解決的問題。

決定以一定速度運動的電子底地域，基本的困難，表現在於量底物理爲特徵，海森伯式列的所謂測不準關係，它謂一電子空間的地位測量愈精確，速度底測量便愈不精確，倒過來亦如此。這在下列可明。我們只在看見它時，才能一飛動的電子底地位，我們要看它，必須照它，即是說我們必須讓光落在它上面。下落的光線給與電子一種衝擊，因而使其速度，變得無法可以測定。若電子

之地位愈加精密決定，則我們所用以照它的光波，亦必須更短，衝擊會更強，而速度之決定也愈不可靠。

根據這種體驗，很明白地，要把古典物理世界相底中心點——物質點之坐標和速度同時的價值，精確地移植到感覺世界來，原則上不可能，因而嚴格因果之實現，便很困難；這種困難，使有些不決定論者，謂物理中因果法則至此終於推翻。但詳加觀察，則這種結論，實由於將世界相與感覺世界混同，最低限度，亦屬過於輕躁。蓋這種困難，還另有一出路，曾經在相似情形，作過很好的貢獻，它認為一物質點底坐標和速度同時的價值問題，一如一定顏色底光子之軌跡問題，毫無物理的意義。對一無意義的問題給與回答之不可能，自不當累及因果法則本身，而只涉及立此問題所引的前提，在前面的情形，也只應涉及物理世界相所假定的結構。古典世界相既齟齬難通，便須取一另外者以代之。

事實上亦復如此，量子物理底新世界相，正由在作用量也要使嚴格的決定論之實現成爲可能這種需要而生。爲此目的，迄今世界相底原來組成部分——物質點——必須剝喪其元始的性

質，它消解爲物質波底體系。這種物質波構成新世界相底原素。

量子物理底世界相與古典物理世界相之關係，殆如惠更斯波動光學之於牛頓微粒或光線光學。後者在許多地方可以夠用，在有些地方便不可通，古典或微粒力學也是如此，它不過較爲一般的波動力學之一特殊情形而已。古典的物質點，代替以無窮狹的波束，即一許多波之體系，這些波彼此干涉，致在空間中到處互相消滅，只有物質點所在的地方，爲唯一例外。

自然，波動力學底法則與古典的物質點力學底法則，根本相異，但重要的是：對物質波爲特徵的大小，波之函數，由開始條件和邊沿條件在一切地點和時間都依一定的計算法而完全決定，不論是用席霍丁算子 (Operator) 或海森伯方陣 (Matrix) 抑或第拉克數。

用波之函數，也解決了上面問題之困難，一個電子在一結晶片上出現，行爲如何的問題，它是反射呢抑或鑽進片裏去呢。出現的電子雖不能分，但落於其上的每條波卻儘可分，於是在片之前面與背面反射的波干涉便可能，這在早先是全然不可解，而現在則是依照完全信而有徵的法則了。

我們看見在量子物理底世界相中，決定論底統制，與在古典物理底世界相，同其嚴格，只是所用的符號不同，計算規程不同。據此則量子物理亦如從前古典物理，把預言感覺世界底事件的這種不準定，歸到世界相與感覺世界間關係之不準定，亦即是說把世界相底符號移植到感覺世界或把感覺世界底事件譯爲世界相底符號之不準定。但竟擔代此雙重不準定而不辭，是亦世界相中首須正持決定論爲重要任務之深刻證明。

爲極救嚴格因果而付的這樣代價，於不輕信的評判者，一定像是太高了。蓋即浮泛觀察，已知在量子物理中世界相與感覺世界相距之遠，而自世界相移植一事入感覺世界或自感覺世界移植一事入世界相，於量子物理較之從前古典物理困難多少。在後者，每種符號之意義，都甚可明瞭：地位，速度，一物質點底能，都多少容直接測定，看不出有什麼理由，不應假定留下的不準定，可由測量方法之精進而減低其限度。反之，量子力學底波動函數，於感覺世界毫無直接解釋。所擇波之一字雖如此適宜而易曉，但不可爲其迷誤，此字之意義在量子物理中與早先在古典物理中迥然各別。在古典物理中，波謂一定物理過程，一可以感覺知的運動或一爲直接測量所及的電流場。在

量子物理中它只是一定情景之存在或種程度的或然。蓋一電子或光子在一結晶片上出現，爲了要發生干涉現象，所分的不是電子或光子本身，而只是對於不可分的光子或電子底現在之或然。只有在非常多的光子或電子出現時，這個大小才代表光子或電子之全然一定的數目。

這樣的考慮，使不決定論者重新向因果法則進攻。這一次的攻擊，好像事實上允許有正面的成功；蓋從一切測量，均只能導引出統計的意義。在這一次，供與嚴格因果論者的救濟的出路，亦如從前，即假定追問量子物理世界相一定符號底意義，例如物質波，如不同時說出所用的特殊測量器具是在何種情形，則欲體認其意義，將這符號移植到感覺世界來，是毫無一定意義的。被測量的數，在某種規則的方式中，依賴其測量之樣式，而不決定性至少由此而部分地被約制，此即所謂所用測量器具底因果作用。

事實上每種測量，不論依何種方法，總帶給要測量的過程以多少的攪亂，我們於前舉飛動電子之例已見照它的光愈強其軌跡亦愈被攪亂，而爲了測量，用光又不可避免。若一定的物質波，一次符合於感覺世界之此一過程，另一次符合別一過程，則物質波感覺的意義問題，不單由物質波之

觀察，而只可由物質波與測量器具間交互關係之連帶觀察去回答。

用這種補助假設，整個問題便推到一將來發展尙屬模糊的軌道上去。蓋現在不決定論者便可理直氣壯地發問，想像一種測量器具對所測量的過程之因果影響，究竟能否有合理的意義。我們只能經測量以知過程，而每一新測量，即生一新干涉，也就是對該過程一種新的攪亂，因此使「過程本身」與測量它的器具分離原則上必然似全不可能。

但是這種責難，也尙未了事。蓋如每個物理家都知道的，於直接的驗證方法之外，還有間接的方法，在許多場合，雖前者齟齬難通，而後者可收良效。我自己尤其反對目前流行甚廣，甚囂塵上的見解，謂一物理問題須事先已確立，能有決定的回答時，始值得覆按。設物理家總皈依這種章程，則邁克爾孫與摩黎測量所謂地球絕對速度的著名實驗，便永不會成立，而我們或許在今日也還沒有相對論。若現在致力一個通常頗認爲無意義的問題，如地球絕對速度問題，已曾大有補於科學，則追求嚴格因果之實現一問題，其意義之深刻，毫末窮盡，其有益於研究，遠勝其他問題，更應值得我們多少努力耶。

然則應由什麼道路取得決定耶？顯然不外於兩相對立的立場，自由選擇一個，而探究從此立足點出發是達到有價值的或是不堪用的結果。在這種限度內，物理家對這題目感到密切興味，而分裂成決定論和不決定論兩個陣營，只有是可慶幸的。我所見到的，是後者居多數，這很難體會而也易於隨時而變。其間自然亦有第三者的地方，在某種意義上，他是取調和的地位，對某種概念，如電的吸力或萬有引力，認為有直接的意義和嚴格的法則性，而對別的概念如光波或物質波則認為於感覺世界只有統計的意義。這種見解，以缺乏統一性之故，像是很難令人滿意。因此我想略去它而只稍稍詮釋這兩個完全澈底的立場。

不決定論者一經體認量子物理底波之函數只是一個或然底大小，其知識慾已感到滿足，不更牽連到其他問題。於放射過程，他亦以這樣的體認自足，例如從任何一鐳化合物，每秒鐘分裂出一定的平均數目底原子，他不再追問為什麼一個原子恰恰現在分裂，而另一緊鄰的原子或許在千年以後。反之，一個決定的自然法則，如庫侖(Coulomb)電之吸收法則，在他看來，是尙未解決的問題；他不能以庫侖電位一辭為滿足而必要尋覓例外，在達到體認出電力底庫侖值於任何前定

的數目均有偏差時方始滿意。

決定論者於這一切，所想的正相反。他謂庫侖底電之吸收法則已告一段落，可以滿意，而反認波之函數之爲或然底大小，只在略去產生，分析此波的特殊器械時才是如此，他在與波有交互作用的物體中，追尋波之函數底特性與過程間之嚴格法則關係。爲此目的，他自必將一切這些物體和波之函數一樣作爲研究對象，他於是不僅必須將全般試驗底裝置，這些裝置，是用以產生物質波的，如高壓電池組，白熾電線，放射器等，而且也要將測量器具，如照像片，游離室，計數針和在那裏發生的全數過程都移植到他底物理世界相中去。他必須將一切這些東西，當作一個單一的區域，當作一個完成的整體去處理。

便如此問題亦未就了。正相反，它是更其混雜的。蓋這個全般的組織，既不可割斷開來，又不能除外來影響，假若其本性不應喪失的話。這樣，則直接驗證毫不可能。但關於內部過程之建立與其結果後來之驗證，現在有些新樣的假設，使這個成爲可能。至於由這條路是否真能發展下去，只有將來才能知道；暫時還不能明白看到這種進步向何種方向會得完成。根據我們敘述過的，我們只

可認定經基本作用量子所作的客觀限制，是確定了的，超乎此則爲我們所具的物理測量器具效能所不逮，而這限制隨時都阻礙我們對最精細的物理過程「本身」即是說獨立於其來源與結果的過程，完全因果地去了解。

到現在我們就以上思考，已昭示我們，一種嚴格因果的觀察方式之實現——「因果」一字取上面所詮釋的改變過的意義——即從近代物理底立場而言，亦非不可能，儘管它底必要事前事後均無從證明。這就令信仰甚堅的決定論者，而且恰恰是他們，有了考慮，礙難視此地所引的因果之解釋，已完全滿意。蓋即令因果概念仍照上述途徑向前發展，而在此處所用的表詞還附有基本重要的缺憾。我們只有以物理世界相代替直接已知的感覺世界，始能強使決定論的觀察方式實現，這是一種帶暫時而可轉變的性質之人類想像力底創造品。這不過是應急之方，不宜於爲一個基本的物理概念。這裏便起了問題，即是否有法使因果概念不附麗於人工產物，不附麗於物理世界相，而直接從感覺世界之經驗，得有更直接與深刻的意義。自然，對我們出發底命題，一件事情若能準確預言時，是爲因果所制約的這個命題，我們必須堅持，否則我們對我們從實際經驗出發這

個原則，將不忠實。但第二命題謂精確預言一件事物，在任何情形下均不可能，我們也必須承認這是已知的事實。於是也與從前一樣，若要談在自然中的因果，則必須改變第一個命題。在這種限度以內，一切還與從前一樣。不過我們所取改變底樣式，不是前面所取的，而能以完全另外一種，在某種意義上，還是正相反的樣式來代替。

我們在前面所改變的，是預言底對象——事件。我們不把事件屬諸直接已知的世界，而以之屬於人爲虛構的世界相，因以取得精確決定事件之可能。除了對象，我們也能改變預言底主體——預言的人。蓋每個預言，都隸屬於作此預言的人。我們在下面要將我們底注意只放到預言的主體上去，而視感覺世界底直接已知的事件爲預言底對象，不引用人爲的世界相。

預言底準確程度所依賴於預言者底個人至大，是很易見的。我們可以再把天氣測候爲例，預言明天的天氣，一個對今天主要的氣壓，風向，空氣溫度濕度完全不知的外行，一個重視一切這些材料而又具豐富經驗的實際農家，或一個有過科學訓練除地域材料外還有許多畫得很精確的遠近天氣圖表的氣象學家，便大不相同。每個順着這秩序排的預言家，其預言之不準確性，總逐漸

減少。若假定有一理想的精神，他透視今天一切最小地方全般的物理過程，能以十分詳盡準確地預言明日的天氣，這總是一種近似的想法，對每種別的物理事件之預言，這個亦可適用。

這個假定，意義着一種外推法 (Extrapolation)，一種不能由邏輯結論來奠定亦不能前定地推翻的一般化，因此不可依其所涵之真理而應依其所涵之價值來判斷。照這種見解，則不論從古典物理或量子物理底立場，精確預言任一事件，事實上均不可能，似為我們所處環境自然之結果。此種環境為何，即有感官的人及其測量器具本身亦為自然底一部分，服依其法則而莫能外；至於理想的精神則這樣的牽連並不存在。

謂這樣理想的精神自身亦僅是我們思想底產物，而我們底思維的腦究亦出自原子，這樣的責難，並不能禁較切近的覆按。蓋我們底思想能將我們引出我們所知的每條自然法則之外，而我們亦能描繪與物理無關的關繫，是無可懷疑的。誰主張這種理想的人只能在人類思想中存在而會與思想者同時澌滅，其結果勢必亦主張太陽和環繞我們的整個世界亦只在當作科學知識唯一源泉的我們底感覺中能存在，而每個有理性的人都堅信太陽即在全人世均死滅，亦不因之稍

損其照耀之力。我們相信一真實外界之存在，不管它是不能直接研究的。不因其不能為科學研討之對象而阻礙對一理想的精神之存在的信念，亦正復與此相同。

我們必須顧到不要在某種程度上把理想的精神，看成與我們底是同等的，而問他怎樣獲取知識使他克以精確預言將來的事件。對這樣好奇的問者很容易回答：「你把握了這種精神，你便與他同等，但不是我。」若發問者還是那樣執拗而謂這種理想精神之想像，即非不邏輯，也是無內容而多餘的，則可答以並非一切不能邏輯地成立的命題皆是在科學上無價值的，這種短視的形式主義，恰恰窒塞了伽利略、刻卜勒、牛頓這樣人物及許多其他大物理家所藉以滋養其科學研究慾的源泉。對這些人，有意識地或無意識地，其獻身科學，是信仰底事情，一種對合理的世界秩序不惑的信仰。

當然，這種信仰之不能強迫任何人，亦猶人之不能命令真理，禁止謬誤。但我們至少在某種程度能於使將來的自然事件屈伏於我們底思維，依我們底意志去操縱，單這一簡單事實，若外在世界和人類精神間不容豫覺最低有某種諧和存在，則必然會是不可解之謎了。人們欲想此諧和直

至何種深度，就邏輯言，這僅是次要問題。最完全的諧和亦即最嚴格的因果，以理想精神這一假定而登峯造極，這種精神，透視在現在、過去、未來中直到最詳盡的精微的自然力底主持和人類精神生活底過程。

人類底意志自由又如何呢？它不以上面描寫的觀念而消除，致人降格到一副無血的機械嗎？這問題太可慮太重要了。儘管會經常有使我對這問題表示態度的動機，而我此地甚願避免這個，但仍不能不談到幾句。據鄙意則嚴格因果之主宰與此地所討論的意義中的人類意志自由間，毫無矛盾。蓋因果法則與意志自由，各系於完全不同的問題。如我們所看見過的，爲了解世界所現有的嚴格因果，需要假定一種理想的全知的精神，而意志是否自由的問題，畢竟爲自己意識底事，只能由「自己」來決定。人類意志自由這個概念，只在人自身內在地感到自由時，始有意義，至於情意究否如此，只有他自己纔能知道。謂他底意志動機能被一理想的精神，完全透視，這話並無矛盾。誰要感到他底倫理的榮譽由此而受損，他是忘記了這理想的精神比他自己的智力超出天高

自己意志之獨立於因果法則，在人們嘗試自我認識之提高，而只用因果法則之助來預定自己的意志動機和行爲時，更可得動人的證明。這種嘗試是先天地該遭失敗的，因為對自己意志之每種因果法則底應用和每種這樣得到的知識，本身亦作爲意志動機在起作用，因而所求的結果，永遠從新改變。因此認純因果地預定自己行爲之不可能，是由於解悟缺乏，或者能以智力之提高而掃除，是全然錯誤的。這會和人們要把同時精確決定一電子底地位和速度之不可能，歸諸測量方法不完滿，是一樣的。否，否，純因果地探究自己將來行爲之不可能，不是由於解悟之缺乏，而是由於若研討一對象，所用的方法根本改變了這對象，則此方法毫無用處這一簡單的命題。因此，思維的人類永不能從因果法則，取得其意志行爲標準的決定，而總從完全另一法則倫理法則取得之。這種法則在一特殊的土壤生長出來，毫不能單用科學方法去把握的。

科學的思維，恆要求思維的主體與被思維的對象嚴厲隔開，有很遠的距離，這種距離最好由一理想的精神之假設來保證，他永遠只能當作主體，不能當作對象的。

但是禁止以理想的精神爲思維底對象，不就也是一種不鑒人意的退卻嗎？爲嚴格因果之實

現，不就花了太貴的代價嗎？要之，這比不決定論者爲了他們底世界觀之實現而必須付的代價，遠不爲貴。他們被逼得將他們底知識慾還要停在更早得多的階段，因爲他們放棄決定的於個件適用的法則——一種可驚的退讓程度，使人要問不決定論，何以現在物理家中能收如許信徒到它底陣營裏去。假如我沒有弄錯，則這樣情形之說明，是在心理學的範圍。每個科學中一偉大新理想出現時，它必向一切方向去試驗，其已證明爲有結果者，人們必將它作爲一盡可能地廣包遠涵而本身完備的思想體系底基礎。相對論如此，量子論現在亦復如此。量子論底成效，就現在的情形言，以波之函數成立而達最高峰，於是人們想給與波之函數以終極的意義；因爲波之函數本身只有或然性大小底意義，於是人們努力把或然性問題，列作最終最高的任務，而或以或然性概念爲整個物理底終極基礎。

我不信在將來人們仍會滿意問題這樣的提法。蓋若在精神的範圍，其法則尙具更多的或然性質，已沒有一件事克以當作科學地完全研究過的；若因果來源未明，則因果問題逐漸消除，在自然科學中，所獲將更其微少。

總之因果法則，既不能邏輯地證明，亦一樣不能邏輯地推翻，它既不是對，亦不是不對，而是一啓發的原理，一個路標，一個我認爲我們所具有的最有價值的路標，它使我們在事機叢脞中不致迷失，指示科學研究必須走的方向，以達有益的結果。因果法則於幼童已攫住了他甦醒的靈魂，使他「爲什麼」一問題不斷在口；同樣地，它伴隨研究者畢生，不斷對他提出新問題。科學不是意味着得有準確知識後瞑視的恬靜，而是意味着向一種目標的不休的勞作和恆進的發展，這種目標，我們只能詩意地去預感，永不能理知地完全把握。

科學理想之起源及影響

(一九三三年二月十七於柏林德國工程師協會講)

我應貴董事會之邀，對科學觀念之起源及影響作幾許談話，在入本題之先，關於我對所選題目之見解，還欠對諸君較切近的說明。乍聽起來，這是頗為普通而又有點奢望。對於我，若僅是談自然科學的觀念，或許更適合點。我在諸君面前要展開的思想，是先天地有了限制的，而這限制，我以為是有用而不自然的事實上，科學構成一個內部緊密的單位。其分離為各部門，不是基於事物之本性，只是出於人類識別能力之限制而暫時分工。事實上這一條連續的紐帶，從物理、化學、越生物學、人類學，直扯到社會和精神科學。這是一條無論何處，若無人為意旨皆不容剪斷的紐帶。即用以研究各個範圍的諸方法，在較切的觀察下，亦是緊相啣接的，只因適應臨時所討論的對象，而作用有異。這正在近時越表顯得明白而帶給全般科學以內部和外部的利益。因此我相信一般的觀察

本可涉及全部科學，這自然不把在過渡時對特殊的應用而偏於所鄰近的範圍這樣的事情除外。若我們問科學的觀念何自而成，何者爲其特徵。這問題不能把研究者底思想世界中大部份在下意識中所演的精微的心理過程，個別地去分析，來作答案。那是上帝的祕密，毫不容或僅是某一程度的洩漏，要去觸動它底核心，是瘋狂而又大膽的事。我們只能就顯而易見者出發，檢閱一科學中於其發展實有影響的理想，覆按它們以何種形式出現，發生具何種內容。

在這樣的覆按，最初的結果，我們找到下列的規則：每一出自研究者腦中的科學觀念，恆與一具體經驗相連，一件發現，一種觀察，任何一種體認，不論它是一種物理或天文的測量，一件化學或生物學的觀察，一種檔案底尋獲抑或是一種發掘出的文化豐碑，而觀念之內容，在於將這經驗，與某些別樣既存的事實的經驗相聯相較，它是溝通彼此的橋梁，而將鬆散互立的事實由一種固定關繫，而互相緊連。於是觀念底效果——亦即其對科學的意義——在於一串另外的隣接的事實這樣成立起來的連繫之一般化。連繫創出秩序也就創出科學世界相底簡易化與完成，其任務尤其引到新觀念之完全實現，引到新的問題和新研究新成功。此其適用於物理家之假設構成，不下

於爲言語學家之註釋工夫。

我還要將所述的意義說得更詳盡些，我希望我可以物理家底資格，在上述圈子內自限於我較近的範圍。在那裏，觀察底視角似適當一些，而給我可能更嚴密點說明。

對於一個偉大的科學觀念之閃光，牛頓底美麗故事，構成古典的例，當他坐在一株蘋果樹下時見蘋果落地，想到月繞地球之運動而把蘋果底加速率連到月亮上去。兩種加速率之關係如月球軌道半徑之方對地球半徑之方這種情形，使他想到兩種加速率有共同的原因，因而供他以他底萬有引力論之基礎。

馬克士威比較已量的電磁流強度與已量的靜電強度，由此兩數目與光底傳播速度比例一致，而引到電磁波與光波同是一類的理想，而將這種一致作爲其電磁的光論底出發點，亦復相似。這樣，我們找到科學中每種新出現的觀念，均以兩組不同的事實之創見的配合爲其特徵。這在到處均一一可見，儘管內容和式列容有不同，而這也相應地使各個科學觀念之命運和影響多少有差異。有些觀念，在或長或短的時間後，變成那樣的科學公產，終於人們以爲自明的事而並不特別

提到。我曾提到的兩種觀念，亦屬此類：牛頓的月球加速度與地重加速度同樣的理想，和馬克士威光之電磁性的理想。當然，後者曾經很長時間始獲貫徹；即在德國起初亦未被注意，因為德國那時以一個直接超距作用底假設為基礎的韋白（Wilhelm Weber）底理論正占上風。只在赫芝關於很快的電振動天才的試驗後，始對這觀念，開闢了它應得的承認的道路。

其他現在屬於科學恆產的理想，如音波底力學性質或光線與熱線之同一。若人在物理學教科於這些觀念一言即了的話，可也不應忘記其內容並非向來是不言而喻的，尤其是後者，光線與熱線之同一曾引起長年乃至尖銳的鬭爭。引人奇異的，是恰恰是其實驗於這觀念之成功貢獻最多的研究者，意大利的物理家梅龍李（Macedonio Melloni），原來還是這觀念底反對者——這於精確試驗科學的價值並不附麗於其理論的解釋，實為一很富教訓的例。

與迄今所舉的觀念相反——那些觀念皆直接便以完成的形式出現而不變通用——科學中的觀念，大部份都有很富變化的歷史；它常是逐漸地採取一定的形式，在一時期內幫助了研究而終於死亡或經多少改造。它常是起初對其改造施以反抗，而它早先曾有的成功愈多，則反抗亦

愈頑強，有時甚至阻礙科學之進步。這在物理中也有很富於教訓的例，值得詳細一點討論。

我以熱之本質這個觀念來開始。熱學發展之最初步構成量熱學。它建築在一種假設的上面，以熱之行爲與細微物質一樣，它在兩不同溫度的物體相接觸時，從較熱的流到較冷的物體，而其量不變。這個假設若無力學作用摻入時，亦很可維持。但解釋由摩擦或壓縮而產生熱，便有困難。人們想以熱容量可變性之假設來征服這困難，想像由一壓縮了的物體擠出的熱，與壓縮一濕的海棉致水流出一樣，其量並未改變。當從熱產生力學工作之法則問題，以熱力機器之發明而更熱烈時，噶爾諾企圖把從熱得工作與從重力得工作加以完全可感覺到的比擬。與從高處到低處重量之下降一樣，說較高到較低的溫度，熱之過渡，也能利用其產生之工作。從萬有引力所得的工作與重量底大小及降落的高度之差爲比例，亦和從熱產生的工作與過渡之熱及溫度之差爲比例一樣。

這種熱底物質論，遭了由經驗所確立的事實之打擊，一物體之熱容量既不會由壓縮亦不會由摩擦而有根本的改變，這理論經力學的熱當量 (*Wärmeäquivalent*) 之發現而被決定地推翻。

了。據熱當量則摩擦失熱，在壓縮時熱又新生。於此則迄今對熱之本質的觀念，皆成乖謬，而熱學之建設，必須重新着手。克勞修司自己擔起了這任務，在一串古典的工作中，以熱力學第二定律之建立而解決它，對這個定律，不可逆溯的過程是根本的前提。不可逆溯的過程者，即不能以任何手段使之倒轉的過程之謂也，傳熱、摩擦、擴散等屬之。

這其間噶爾諾以熱從較高到較低的溫度之過渡與一重量從較高到較低的水平之降落一樣的觀念，不容很快地排除。曾經有許多物理家，以為克勞修司底想法是無用地複雜而且又欠明瞭。特別因為熱之不可逆溯性這一概念之介紹，於各種能之類別，皆需取一特殊立場，於是更拒絕這種想法。他們創出與克氏熱力學對抗的東西，所謂「唯能說」，其第一法則，與克氏無別，也是述能量不減原理，但對應指出一切所現之方向的第二定律，卻完全比擬之為一個重量從高處到低度的下降或一電量從較高到較低的位能之過渡。於是不可逆溯性之假設，於第二定律之證明，被認為不重要，而於溫度中絕對零點之存在，也有爭論，以為和高度水平及位能水平一樣，在溫度方向，我們亦只能測量其差異。一鐘擺在下落復起向平衡狀態時，會擺過其平衡地位，兩相反電荷間

爆發火花時會作振動，至於兩物體間熱之交換時，斷乎沒有兩物體間熱之擺動，這種基本差別，自唯能者看來是次要的而沉默過之。

我自己在前世紀八十及九十年代曾親身經驗到一個研究者，能具實際上深思熟慮的理念，不蔽於自己已得的成見，其所得的鼓勵爲何如。一言以蔽之，他自己的聲音，若要在科學界中取得所需的聽衆，是太微弱了。在當時要反對阿什華德，赫爾姆（Georg Helm），馬赫那樣人物底權威，是沒有辦法的。

這種劇變，是由完全另一方面——即原子論而來。原子的觀念，本爲邃古所已有，但其可用的式列，始於氣體動力論，它發生於力學的熱當量發現之時，初遭唯能者之嚴厲攻擊，一時只有很微弱的存在，終藉前世紀末實驗研究之進步，得以迅速貫徹。據原子論的觀念，則自一較熱的到一較冷的物體之熱底過渡，不等於一重量之下降，而爲一混合過程，有如兩種在同一器皿的細粉初本上下相隔而以經不斷播動此器皿之故而漸次摻合。此粉不是在完全混合又完全變純之狀態間往後擺動，而是向一定方向完成，即是至全然混合時止，與過程之不可逆溯性相應。以這樣觀察，則

熱力學之第二定律，似是統計的，或然的命題，誰要在前月能聽到我底同事勞君關於熱力學動搖現象的講演，他便必曾有強烈的印象，知道主張這種見解的理由，有多少重量而祛除一切懷疑。

這裏所描寫的歷史發展途徑，亦可作一個一般的而乍見似是稀有的事實底例子。一個新的偉大的科學觀念，不是以說服和轉向其反對者這種方式來貫徹——屠戶而成生佛，原是曠古罕見的事——，而是其反對者逐漸死去，而使生長的一代事先使相信這種觀念。這又是一句老話：「誰有青年，誰便有將來。」因此，學校教科實際的構成，屬於科學最重要的條件。對於這點，我不能已於一言。

學校裏學什麼，遠不如怎樣學來得重要。一個學生，若真正懂得一個算學命題，比他學十個公式，知道照章應用而不懂其本來意義，要有價值得多。學校所傳播的，不應是專門學科底陳規，而是首尾一貫的方法的思維。請不要非難這種教授法，究其極是重「知」而不重「能」。固然一種「知」如沒有「能」是無價值的，猶之乎每種理論只在其特殊應用時，才能得其意義。但是一種理論卻永不能僅僅由陳規來代替，因為任何陳規，在非常狀態下，總是完全無能的。所以達到有精練成效

的第一要求，是一種基本的初步的修養，這種修養不在材料之繁多，而在如何去處理這些材料的方式。如其這種修養不在學校內已經養成，則追補是很難的；因為後來的專門學校和高等學校，有別的任务要完成。復次，教育之最後最高的任务，既不在知亦不在能，而在處理。但知和理解為能之不可免的前提，亦猶能之於處理一樣。我們生活在這一切加快的時代，一切新的，對外起直接聳動視聽的作用的，都能博得一般人特殊的興趣，因而科學教育，也很有將一些新的括目的結果，不待其真正成熟，便活剝生吞的傾向。若一中學教程把科學研究底時髦問題包羅進出，於公眾反倒有良好的印象。但這卻是很可慮的事情，因為對這些問題之根本處理無辦法，於是學生易流於思想不切實而所知的也空洞而模糊。我以為例如在中學裏講授相對論和量子論，是很可慮的事情。天資卓越的學生總是例外，而教程不是為他們而定的。儘管能量不滅原理，現在物理界在嚴重討論，但若把這原理普遍適用與否的問題，對一個尚不知此原理底內容更無論其能正確了解此原理之影響的學生公開提出，那簡直可稱為是胡鬧。

這樣「立在近代研究高峯」的教育，所能造就的，是我們現在公眾中聽到有時說精確科學

之崩潰，那種說法，說時可怕的肯定。不少有發明天才的頭腦，現正重行努力建造能無限取得能量的東西，或最近成了時髦的對神祕的地球射線之攫取，這些成了現在主要混亂底特徵的標識；更可驚的，是多少補助金從善信的人們流到這樣的發明家底荷包去，而別一方面，有價值有前途的科學研究，卻以乏資而必得限縮或中斷。這不單在那些發明家們，即是在資助者，也只有根本的學校教育，纔能糾正。

在關於教育的閒談以後，諸君容我略談一談另一物理觀念，其曲折的命運，對於我們底觀察，或許比熱之理論底變化，還更富於教訓：我底意思是說光底本質這個觀念。

光之性質研究，始於光之傳播速度底測量。這個觀念，牛頓以之成其放射說，是將一條光線比一條水線，將光之速度比水點直線飛動的速度。但此假設不能說明光之干涉這樣的事實，即是說兩種光線相遇一地，在有的環境下能產生黑暗這樣的事實。因此放射說由惠更斯之波動說而解體而被放棄。惠更斯以爲光之傳播等於水波，自發生處以一種速度，同心地向一切方向傳播，這種速度，自然與水點速度毫不相干。此說很能解釋干涉現象，緣兩種相遇的波若一波底峰遇一波底

谷便能互相消滅。波動說底統制，亦未長過百年，因它不能說明短波長的光線對遠距離的作用。光之強度既依距離之平方而減，則於光向一切方向傳播時，於很遠地方亦能產生能量，這種能量之產生不繫於光線之強度，而於 γ 射線或 α 射線這樣的短，還會有比較很大的能——這件事情便不能了解了。在最弱的強度而有猛烈的作用，這只有把「光能」想作是集中在釐然不判的微粒或量子上才能了解，這在某種意義上，意味着回轉到牛頓之光點假設上去。

這樣便造成了現今最不愜人意的狀態。兩種關於光的假設，對立着如勢均力敵的鬪者。兩個均有淬厲鋒銳的武器，兩個亦均有要害可傷之處。鬪爭結果將如何呢？今日所可確言的，是兩種假設均不會單獨致勝，而毋寧是要從較高的立足點，始能綜覽此兩種假設之正確與偏狹處而獲決定。

這樣一個立足點，要我們對我們底一切經驗所自生的源泉，更切近地追跡，始可得到。於是我們在上述情形，須注意光學現象測量之過程，將測量器具也牽入探究範圍之內。此一步原則上異常重大，可以稱爲將「整體概念」介紹入了物理。據此，則一光學現象底法則之完全了解，不只是

對光之發生和傳播地方物理現象之觀察，而且還要研究測量過程之特性。光學測量器具，不單是被動的接受者，而也是在測量過程能動地參加，於其結果，施以因果的影響。唯有與它（指測量器具——譯者）共同，被觀察的物理體系，始構成一有法則的整體。

由這條路如何走到前去，是一個很難的將來問題。爲了覆按此問題底意義，讓我們更擴大一點範圍，走出光學這個特殊個案之外，而從較一般的立場來着手這問題。

我們究竟能否對任何一個科學觀念底將來轉變，有相當把握地預言呢？我們能否於科學觀念之發展論列其法則性及強制性，即使所說的，僅僅是某種近似呢？若回顧事物歷史之迹，幾乎要說有些偉大的觀念，起初是隱伏着在，不被了解，最多爲幾個降世太早的研究者所預感，而當人類對這些理想相當成熟以後，一下子同時在各地獨立出現而公諸大衆。這樣，能量不滅原理底痕跡，可以追溯到幾世紀以前；但前世紀中葉，此原理由四個至六個各不相關的研究者幾乎同時地作出其科學上可用的式列；即主張縱令不曾有過邁耶，焦耳，柯耳丁（Ludwig August Colding），赫爾姆霍斯，能量不滅原理亦不久會見天日，也不算太大膽。若我不必顧忌這樣事後的先知是很廉

價的，可招致明白的非難時，則我對近代相對論或量子論之發生，亦很願意說與此相似的話。這種發展底強制性，我視為由實驗技術之傳播與測量方法之變精密使理論的研究在某種程度內機械地逼向一定的方向之故。

雖然如此，若視產生底法則和科學觀念底效果是可依精確的對將來亦可適用的公式，則更沒有比這種想像更錯誤的了。蓋一新的觀念，究其極仍是出生自其創造者底想像世界中，而在這種程度以內，即使最精確的科學——算學中的研究，亦恆有其不合理性質之性，此種不合理的元質是包涵在精神人格之概念中。若我們記起每一觀念都與一生活經歷相連，則於我們底現在，新的交關的事件如此其多的現在，供新觀念之提出和張揚以特別便利的條件，只是自然而易曉的事了。假如我們更考慮到一觀念之式列，恆因於兩不同事件前後相關，則從併合算法形式的規則，已可知對一大小秩序可能的觀念底數目比供選擇的事件底數目要更多。

對現在科學觀念過於豐富的生產，下列情形亦可用作說明。在廣播的失業中，有些在精神上有興趣的人們，感到生產活動底需要，把從事於一般理論的和哲學的問題當作其日常生活底荒

漠中救濟的廉價的出路。可惜有價值的結果，只在極稀少的情形才有。若我說未過一星期我收得有一切職業的人們教員，官吏，文學家，法學家，醫生，工程師，建築師一次屢次長長短短徵求意見的信札，其澈底覆按，便把我全部自由工作時間都費在上面還不夠，亦非過言。這些書札依其內容可分兩類。一類包括完全幼稚的作文，其作者全不想新的科學觀念如其可用必與一定的事實相連，對於它底式列，某種專門知識無論如何是必要的。他們捨此不圖，以爲由某種天才的瞥視，便能直接宣洩真理，全不曉一切偉大發現，恆先有一辛苦勞作底時期，妄意所期果實能偶然碰好運氣得到，像從前悠然坐在蘋果樹下的牛頓得到萬有引力底觀念一樣。這裏糟糕的是這些幻想家們，浮游於一切水面上，無一處深入，因其缺乏科學修養，幾乎是再不能教好的材料。我們不可輕視自他們而發的危險。恰恰因爲今日青年中，對一般問題對獲得恆心貴當的世界觀之興味，可幸地顯見增加，必須反復指明若一世界觀不建在真實底堅固基礎上，是全然懸在空中，一經風暴便會不可救藥破滅的。因此每個願意建設一科學的世界觀的人，必須首先熟知事實底範圍。當然，僅僅相當完全地直接綜覽科學底一切範圍，於個別研究者，在今日已不復可能。他在大多數情形，都只能依

據間接材料。但這必更緊迫地要求他至少真有一門專長而具有自立的判斷。因此我以哲學院會員資格，曾要求過欲在哲學院取博士學位者，至少必證明其於任一專科有特別知識。主要的僅僅是要他由自己的研讀，能於如何科學地有方法地去工作，得一概念。

若在上述一類書札，其無價值照例可以很快發見，而另一類則要有較多的重視，其作者常須鄭重看待，他們在其特殊範圍內，亦曾有優越成績。由今日科學作業之必要，各個工作範圍愈加深細，較深稟賦的研究者，把視線移出其專科界限之外，使其在彼處所獲的知識於其他科學也有用的這樣的需要亦愈加強烈。他樂於以對他看來是明瞭的觀念來聯接兩種離得很遠的範圍，用這些觀念作橋梁，把他自己的範圍中所信托的法則與方法移置到別的範圍去，以解決那裏的問題。在算學家，物理家和化學家中，常有以他們底精確方法去說明生物，心理或社會學的問題的傾向。但可慮者，這樣新創的觀念橋梁之載重能力，單是一根柱子安放得穩固是不夠的。其他的柱子，也得在堅固的基礎上，否則不能完成它們底目的。或更具體的說：一個觀念鴻富的研究者單諳知其原來的專門範圍，這是不夠的。如其他底廣覽的思維要有用的話，他必須對與其工作有關範圍

之事實和問題，也同樣有某種程度的諳練。每一研究者於其自己的特殊範圍工作愈久所經困難愈多，其對自己的專門範圍評價亦愈高，因為容易有此傾向，所以這種要求必須加重地說。他若會幸運地解決了一問題，便易於轉而過高估計此種解決之效力而無保留地應用到關係或許全然別樣的情形去。感到有在科學中要取得比其狹隘專門可提供的更高立足點之需要的人，不應忘記在別的科學範圍，也有研究者以同樣的細心，在並不較小的困難下工作，儘管所用的方法許有不同。這項條規之如何常被忽視，從每種科學底歷史，均可看到。若我再選幾個例子的話，我將周到一點仍然選物理底，以免陷我剛剛斥責過的錯誤。

沒有一個物理底一般概念，不曾藉概念之聯繫而多少敏妙地移植到別的範圍去，這種聯繫，常只由外面的情境刺激而成，譬如由名詞之偶然。於是「能」之一字，容易引到把相應的物理概念和能量不滅之物理命題，也應用到心理學上去，甚至在這種聯繫中會很嚴正地嘗試將人類幸福底根源和程度，也投置於一定的算學地式的法則之下。在同等的階段上，有人努力利用相對性原理於物理以外，例如在美學甚至於倫理。但是更沒比「一切相對」這種不思的命題之誤人

了。在物理中這話亦已不對。一切所謂普遍恆數，如質量或一電子一質子底電荷或基本的作用量子，都是絕對的大小；它們用作原子論底基石。自然，一起初視爲絕對的大小，後來確定其相對的，亦是常見的事，但這總只在這種意義中才出現，即它仍可以歸到另一更深的絕對大小上去。無絕對大小之前提，則任何概念不得規定，任何理論，不得建設。

熱力學之第二定律，熵之增加原理，亦曾於物理之外，得到多方面的詮釋。人們願意把一切物理過程之運行都向單方面這個命題也利用到生物學中的發展思想上去。這是一種全然特別不幸的嘗試，至少在人把發展一字，連到向上的進步即是完滿化，高貴化底概念上去的時候。蓋熵之原理依其內容是一或然命題，它根本上只是說在一先天地不或然的情境，於其中項，總隨着一較或然的情境。欲將此法則生物地解釋，則退化無論如何比高貴化更切近些。蓋不規則的，平常的，流俗的總是比規則的，優越的，高超的更或然些。

與誤人的觀念（這些觀念，我們在此地考察過幾個）相結合的，還有另一類觀念——即精確講來毫無意義的觀念。它們在物理中，也演了不小的腳色。如一電子繞原子核之運動與一行星

繞日運動之比較，引起電子之位置和速度的問題，而後來研究指出了此項問題並不同時回答。在這個例子，我們又復看見在一個科學部門證實過的概念和命題移置到別的部門，是如何可慮，而因此於一新觀念之式列和覆按必須如何小心。

但此亦有其主要的陰面，現在言之正當其時。若我們必得已經極證明其合法，或僅要求其本有明瞭可見的意義後，始容納一新的科學觀念，則我們在有些情形下會與科學進步以很重的損害。我們不可忘記科學正是常常從並無明白意義的觀念，接收了使其向前發展最強的動機。從回生藥與煉金底觀念，產生了化學；從恆動機底觀念，生長了於能之概念的了解；從地球絕對速度底觀念，激起了相對論之建立；從電子底行星運動之觀念，萌生了原子論。這都是不容置辨而令人長思的事實；它明明指出「只有膽大者有獲勝的希望」這句話在科學中也適用。要有成功，須將目標比終極可達的放得高一點，這已是普遍的真理。在這種觀察下，科學觀念顯給我們完全新的一面。我們看見一科學觀念之意義，常不在其真理內函而毋寧在價值內函。這例如於外界底真實之觀念或因果觀念，亦可適用。在此兩觀念亦不是說：真或假，而是說：有價值或無價值？我們考慮到價

值概念對一種這樣客觀的科學如物理恰恰全然是本質相異的，於是這種情形，必然顯得更特別動目，而發生何以了解一物理觀念之意義要顧及其價值內函始能透徹這樣的問題。

我以爲此處只重又現出我們於前面在光學問題之特例所走的路——這不僅適用於物理，也同樣適用於每種別的科學——卽是我們追溯一切科學所自生的源泉，考慮到屬於每種科學，總有「人」，他建設科學而傳佈科學與別人。這重又意味着「整體」概念之介紹。

一物理過程原則上之不容與測量器具或知覺它的感官隔開，亦猶一科學之原則上之不容與從事科學的研究者隔開一樣。同樣，物理家實驗地探究一原子的過程，其於此過程之個件愈深入，則其過程之經過及實驗器械所受影響亦愈強，生理學家割裂一活的有機體爲最細的部份，便傷殘甚至致死了此有機體，哲學家於一新科學觀念只覆按其意義事先能顯豁至何處程度，恰恰是這樣，窒礙了科學向前發展的動力。因此，拒絕每個先驗觀念的實證主義，其片面並不亞於輕視各個經驗的玄學。兩種觀察方式各有其理由，均可澈底實行。但若造成極端，兩者皆足影響科學進步使其萎弱不前，因爲它們都先天地禁止某些原則的問題，當然這禁止是出於相反的理由：實證

主義是因爲這些問題沒有意義，玄學是因爲這些問題已回答過了。這兩種趨向競爭決定永不會完利於一方面，而事實上是時時往復動搖。百年前玄學要求獨霸，直到招致可悲的崩潰。今日實證主義要奪王冠，還是一樣達不到。

沒有人比哥德更深深感覺這恆常的對立了，他畢生負荷着這種對立，在各種形式給它無比的表詞。他希圖升到整體概念來克服這種對立，使兩種見解均能兼容共抱。當然就是哥德那樣廣博的精神，也爲時代限制，他不相信在外面空間的光線之與在意識中的光感分離，致不克正當評價當時物理光學輝煌的進步。但在今日他能以整體觀念之排列到物理中，解釋爲他底物理思維方式原則的證實。

這樣，如我們前面時時所遇着的，科學指給我們在最深的內面一個不合理的核心，它不以研究者之銳思敏慮而消失，亦不以現在常久試行的對科學任務適當限制而除去。誰以之爲可驚或不滿意，則可想想事情並不能是另一樣。因較切近之觀察，不觀洞見每一科學，不論是自然或精神科學，對其任務之着手，嚴格說來，並不在開始而在中間，它從那裏出發而多少辛勤地摸索向開始

的地方，然並無完全達到之希望。科學用以工作的概念，並不是已經完成了的，而必須人爲地去創造，然後逐漸求其完滿。它（指科學——譯者）之創造出於生活，復又影響到生活。它從統治它的理想中，接受其衝動，搏合與茁長。這些理想對研究者提出問題，驅使他不斷地工作，啓開他底眼睛以正確詮釋所獲結果。無理想則研究無計劃，所費之精力亦散雲煙。只有理想，才使實驗者成物理家，編年者成歷史學家，考據者成語言學家。這如我們已見的，問題並不單在一理想之真誤，是否有明確可言的意義，而在它能產生有益的工作。因爲工作——在文化進展之一切部門是，在科學這個部門也是個人生活及全體生活之健康，成功，唯一不欺的標準。只要我們德意志民族在工作，而且也唯有是在工作，則我們雖經現在的一切困窮，不必懷疑到一個較好的將來。因此我願把我們對於科學理想之起源及影響的觀察，併成一句話說出，這句話稱譽工作對科學的福祉，這句話，德國工程師協會，亦很有慧智地曾寫在該會底旗幟上作爲標語，以尊崇其原則的及實際的意義，這句話就是：「研究作成必需。」

物理與世界觀

(一九三五年三月六日在柏林哈納克室講)

諸位女士，諸位先生！

物理學與世界觀鬪爭何涉？諸君中若有人思索到今天我講演的題目底意義時，容易這樣發問。物理第從事於無生自然之對象及過程，而人之所求於世界觀者，必其綜攬肉體的及精神的生，活，對一切心靈問題乃至最高的倫理問題皆須取態度，始克滿意。

此種責難初看似甚明白，但並不能經較切的覆按。無生自然亦屬此世界，一世界觀欲廣包宏用，亦不能不顧及無生自然之法則，若與之陷於矛盾則將不能久持。此處正不需再舉大批教條，彼處皆以此故，而受物理科學致死的打擊。

但此種消極破壞的作用，毫未盡物理對世界觀的影響。正相反，它成功於積極建設者遠為過

之。形式方面，物理科學之方法，以其精確故，特著效益，因而於精神科學有時亦資借鏡，這已知周知的事。內容方面，每種科學皆源自生活，物理亦永不容完全與從事物理的研究者隔絕，研究者亦是一個人格，以其一切知識的及倫理的特性，因此研究者之世界觀恆影響其科學工作之方向，不言而喻的，反之，其研究結果亦不能對其世界觀無影響。將此點在物理區域詳述，是今天主要的任務。所以我希望若我主張物理在世界觀鬪爭中，能供作武器，還是很犀利的武器時，縱不得諸君即時的贊許，至少也無直接的駁難。

我們以一般的思考開始。每一科學觀察方式，都在其所研討的材料中存在着一定秩序為前提。只有以比較及規則的活動，才能對當前不斷增多的材料，得一鳥瞰，這綜括的看法，對於問題之式列與深研，是必要的。秩序是以部分而定，緣每一科學之開始，都以其全副材料依一定觀點而劃分為任務。但是依何種觀點呢？這由無數經驗所指示的，常是整個科學發展所取的決定的步驟。特別重要的，是確立一定的先天無疑地可印證的觀點，依此觀點，能獲一終極的適合一切情形的部分，任何科學在任何環境，都不能從事物本性自生，除去任何人為前提以建設一種科學。我

們必須首先明白這個。此所以特別重要者，因為由此則每種科學認識開始即必須決定觀察之立場，對其確定，僅具事物的忖度尚還不夠，必須加上價值之判斷這一件事，便至為明瞭。

試從一切科學之最成熟最精確者——算學中舉一簡單的例。它討論的是數目大小。為要對一切數目得一綜覽，則最便的，是按其大小位次之。兩數大小相差愈微，相位愈近。試舉兩個大小幾乎相等的數。一為 2 之平方根，一為一十二位數 $1,41421356237$ 。前者僅較後者大十億分之幾。此兩數因而在物理及天文之數計，可作為同一數算。但若列數目不依其大小而依其來歷，則兩者便判若天淵。蓋十進位數是合理數，能以兩整數之關係表示之，而這方根為不合理數，未具那種特性。

前兩數相立是否近？對這樣提的問題爭辨，能有多少意義，猶之乎兩個人對面立着，爭辨那邊是左那邊是右一樣。

我之所以引此簡單之例者，是因為我確信許多科學上的爭論，尤其是相關甚烈的，舉由兩邊常未明白說出其思路之安排，先天地已用不同的部分原則，而每種部分總帶有一點人為的強制。因此也帶有一點偏狹。

位序原則選擇之意義，在每種自然科學中比在算學，影響尤強。試想一想系統的植物學。爲不可避免的，名詞之利益計，一切植物依種類、族等等之分部，已是必要的，依分部原則之選擇，系統也因之而異，這些系統，在植物科學之演化中，時時苦苦相爭，而以每個皆感偏狹，故無能獨以爲是者。卽今日通用之植物底天然體系，縱比昔日人爲的體系遠爲優越，亦不就在一切部份，都是明定的終極的體系，卻帶某些游移的成份，這又是相應於研究者們對問題所取部分原則之不同而來的。

最觸目最重要的，是在精神科學，特別是歷史的觀察，必然和人爲，兩方並現。不論將歷史或縱或橫斷分，不管是依政治的，人種學的，言語的，社會的，經濟的觀點劃分，總必得採用界線與區別，而這些界線與區別在較精確之觀察下，又是流動而不完善的，蓋其近屬者，不能在任何觀察中絕離。於是每一科學在其構造中已自有入爲易逝之跡，這又永不容更變，蓋它是在事性之本性。

至於物理，科學研究，開始卽以排列所研究之過程於各羣爲務。一切物理過程皆在我們感官感覺之中，故其區分原則依個別人類感官而呈現，物理學曾分爲力學，光學，聲學，熱學各區域以資研究。但不同區域各部之內在聯繫，與時俱顯，若先忽視感官而注意感官外之過程，則以之建立物

理法則更佳，例如不以耳目去討究自發光及發聲的物體所發的音波及光波。這引到物理別樣的部分，各區域重行會聚，而感官遂以失勢。這樣，熱輻射從前以之為如從一燒熱的火爐送出者，完全從熱學提出，而加入到光學和光線一樣研究。當然，這樣全然忽略感覺的重行配置，有相當的偏狹和暴烈。對善感的人如哥德，將是一種醜惡。蓋在其遠矚全覽之炯眼，恆以直接感覺為第一義，因而永不能容許視覺之脫離光源。

若眼無日感，

何能見陽光？

可是百年後大約哥德亦高興書案上有一盞白熱燈底微光，儘管此燈光之建立，是由於他所熱烈鬪爭過的物理理論之基礎才達到的。

但這樣成功的理論，在其澈底的深造中，經不數十年而達相反的偏狹之命運，自非哥德及其偉大的科學對手，牛頓生時所能預料。但我在此不願更事敘述以後物理科學之發展。

剔除特定感覺於物理基本概念之外，自然是以適當的測量器具代替感官。照片代眼，顫膜

代耳，寒暑表代感熱的皮膚。自錄器之介紹，使主觀錯誤之源泉，遠為減少。但此發展之特徵，不在所用之測量器具，其精確與敏感逐漸增高，而毋寧在為理論基礎之一般前提，使測量對一物理過程之本質為直接的闡明，而過程獨立於測量它的器具，亦屬必要。於是在每個物理測量，要區分自己完成的客觀的或真實的過程與由該過程而消失並記載之的測量過程。物理科學有事於真實的過程，其目的為發現物理過程之法則性。

此問題建立之正當，於其無數成效見之，這些成效，古典物理亦由此觀念所指之路得有收穫，在實際生活以技術之媒介，與夫一切方向的毗隣科學，其影響亦皆顯而易見，我不必更事詞費。

為此種成功所鼓勵，依着『分而治之』(Divide et impera)這一命題所開的方向，研究更澈底前進，真實過程與測量工器之剖分，繼之以物體剖分為分子，分子分為原子，原子分為原子核及電子。與之平行者，有時空之分為無窮小的間隙。人們到處尋找而且找到嚴格法則性之主宰，其所取的形式又若是其簡單，愈加剖分，愈顯得物理的大千世界之法則，能於完全歸到適用於極微世界的時空微分方程式這種希望，是不會有什麼牴牾的。這些微分方程式給與任何被選為出

發點的自然情境以情境之改變，而經全項，又給與一切將來時間之情境，這是一個廣包和諧滿意的『物理所現』之圖案。

其觸目而又痛苦的，是丁本世紀初，始於熱輻射，繼於光線及電子力學呈現了，不論測量方法日加精細而多方，古典理論有了不可逾越的決定的客觀限制。一例以明之。一個電子底情境，如古典物理對其運動之計算所必需假定的，是包括電子底速度及位置。但一方法若精確測量一電子底位置便不可能精確測量其速度，而速度測量之不精確，正隨位置測量之精確以增，反之，依完全決定給出的由初步動作量大小而定的法則亦然，若絕對精確知道電子之位置，於是其速度便全然不定，反之亦復如此。

在這樣的事態，古典物理之微分方程失其基本意義，是不言可喻了。將物理真實過程完全發現這種任務，暫時必得認為是不可解決的。自然，這並不可立即抽出結論說法則性並不存在，而須將這種失敗推諸問題式列之不足與問題提出之缺欠。但所犯錯誤何在？如何能以改善它呢？

要着重說的，是不可謂迄今的一切皆非而將棄擲，宣說理論物理之崩潰。古典物理所達之成

功重量還太大，談不到什麼崩潰。不是理論之新建而是完成與擴充。而這也特別是對極微物理。在大千物理，即對較大的物體和較大的空間，古典理論總還保有其價值。錯誤顯然不是在理論之基礎去找，而只是在理論建築所用的假定，必有一是任失敗之咎者，銷除了它，便為擴充建築創下了空隙。

試一覆按當前的事件。在理論物理，奠定了真實的從感覺獨立的過程之存在這種假設。這假設必須在一切環境下維持着；即傾向實證主義的物理家亦實際上採用它。蓋若堅持感覺為物理底唯一基礎，則為避免非理性的唯我主義計，逼得要假定事實亦有個人的錯覺，夢游等，只有能隨時重行物理觀察，才可免除。這會說出了某種並非原來自明的東西，即感官感覺間依存關係包涵某些組成部份，獨立於觀察者個人，獨立於觀察之時空，正是這些組成部份，我們稱之為物理過程之真實，而要在其法則的制約性中去把握它。

如我們所看見的，古典物理，對真實過程之存在這一假設，總插入另外的假設，使過程之法則性由時空剖分逐漸進至無限小而得以完全了解。這是一個較切考察便甚有限制的前提。例如它

引到結論，說若將一過程完全離開那測量它的過程，便可全然了解其法則。這便來了下列的考慮——測量過程之能記錄真實過程者，惟因其與此過程有任何一種因果聯繫，既有此種聯繫，則此過程將（一般地說來）多少被影響或攪亂，而測量結果於以錯謬。這種聯絡真實對象與測量器具的因果結愈緊密，這種攪亂及因之而起的錯誤也愈大；若此因果結鬆弛，或者我們能說，若將對象與測量工具間因果距離加大，則這種攪亂將愈減少。此種攪亂，永不容完全避免；蓋如以因果距離為無限大，即使對象與測量工具全然隔離，則我們從真實過程，將絲毫經驗不出什麼。

正因原子及電子測量，需要最精細敏感的方法，即因果距離異常短窄；所以一電子位置之精確測量，其速度狀況便受較強干涉，反之，一電子速度之精確測量，亦需較長時間，在前者，電子之速度將被攪亂，在後者，電子之位置遁跡於空間。這於前言的不精確關係給了因果的說明。

這種考慮像是如此明瞭，但仍不能及我們問題之核心。蓋一物理過程以測量工具而攪亂這種情形，亦為古典物理所熟知，這毫不見得為什麼不能以測量方法之愈加精細，而一旦達到預計電子被攪亂之數。為明白古典物理何以不能用於極微世界計，必需更加深入。

量底力學或波動力學之建立對這問題帶前了重要的一步，從其方程式，可以依精確的章程，計算可觀察的原子過程，完全與經驗一致。要之，量底力學並不像古典力學供給在一定時間一個電子底地位，而只供給一種或然，即在一定時間而位置隨便取的電子，或亦能說它供給一大堆在一定時間隨便什麼位置的電子數目。

這是一種統計性質的法則。一方面由一切當前測量優異的證實，另一方面由不精確關係之事實，使一些物理家認為統計法則是一切法則的關係，尤其是在原子物理範圍內，唯一的終極的基礎，而謂個別事情之因果問題是無物理意義的。

這裏我們碰到一點，其切近詮釋，特別重要，它深深引入物理任務及效能這個基本的問題。若視發現自然中過程間法則關係為物理科學底任務時，則因果是屬於物理之本質，其根本剔除至少必須甚加考慮。

首先要注意的是統計法則之適用與嚴格因果之主宰是可相容的。古典物理已不乏其例。如一氣體在密封的容器牆壁的壓力由許多向一方向交飛的氣體分子不規則的衝盪，找到說明；則

一個分子對牆或另一分子的撞碰，是隨一定的法則，因而亦是因果地完全決定了的，並無牴牾。現在難之者可說嚴格因果之在一過程，只有在過程之經歷能精確預言，才能認作不可推翻之證明，但並無人可以約束一個撞碰的分子底運動。應之曰，自然中一過程之真的精確預言，無一處可能，因此永談不到因果法則價值直接的精確的覆按。不論如何精確的測量都有不能免的觀察錯誤。所以不管測量結果也好，每個觀察錯誤也好，都要歸到特別的因果條件。如我們看海岸波濤之洶湧，並不阻我們確信每個水沫在其運動皆依嚴格因果的法則，儘管我們不能設想能逐一追隨其生滅，更遑論預先去計算。

現在談到『不精確關係』。只要古典物理還適用，還能一直希望不可避免的觀察錯誤可由測量精確性之提高而減少。這希望自初步動作量發現復而化爲烏有。蓋動作量爲可述的精確定下一定的客觀界限，在此界限內，不復有因果，而只有不安全和偶然。

對此責難之回答，我們已準備過了。原子物理中測量不精確的理由，不需是因果之難通，也是由於概念構成之錯誤及與之相連的問題提法。正因爲測量過程與真實過程間之交互影響，使

我們能因果地了解不精確關係至少到某種程度。我們之不能逐一追隨一電子底運動，亦猶我們之不能看見一個體積較其顏色波長還小的圖案。

當然，以物理測量之不安全能由測量工具之精細化，無限量地減少這種想法，我們必須認爲無意義而摺斥之。正因這樣客觀限制之存在，如初步動作量所陳示的，必須估計作某一新樣的方法則成爲主宰之徵，此法則又決不能歸諸統計。每種其他基本恆數，例如一電子底電荷或物質質量，亦猶初步動作量一樣，表示一個絕對的已知的真實大小，而否認因果的人，爲要澈底，使必得將這些普遍的恆數，也附上某種原則的不精確性，在我看來，似是全然乖謬的。

在原子物理的測量，有其原則的精確界限，也以這種的考慮而明，此考慮是即測量工具本身出於原子，每種測量工具，其界限在於其所需要的敏感性。用大秤不能測量精確到公分，理也。

若只有大秤可供使用，無望獲得較精細的秤呢？根本摒棄更精確的稱量之嘗試，而謂問各個公分的問題爲無意義，不能由直接測量來解決的任務，不更爲得計嗎？誰這樣說，誰便低視了理論底重要。蓋理論引我們於直接測量之外，不容輕視，藉所謂『思想試驗』使我們甚可獨立於真實

工具之缺乏。謂思想試驗只在隨時皆能由測量實現時，才有意義，是更沒有比這種見解更乖迂的了。這要是對的話，則不會有一個精確的幾何證明。蓋在紙上能畫的條線，並非真是線，只是多少窄狹條道，每畫的一點真實上說亦是一或小或大的斑點。雖然，我們並不懷疑幾何構造之嚴密證力。

同着思想試驗，研究者之精神，便超出真實測量工具世界之上，幫助他構成假設，式列問題，由實驗之參證，使他洞視新的法則連繫，甚至為直接測量所不逮的連繫。一個思想試驗不被縛於何種精確界限，因思想比原子電子為精細，又掃去測量工具對所測量過程有因果影響的危險。一思想試驗成功地實施所係的唯一條件，是以所觀察的過程間無矛盾的法則的關係之適用為前提。蓋所假定的既不以其為有，則並不可希望能找到它。

當然，思想試驗只是一種抽象。但此抽象於物理家，無論其為試驗者抑理論家，在其研究工作，一如真實外界那種抽象之不可避免。蓋我們觀察自然中每一過程，皆必假定有獨立於我們而行的東西，另一方面我們又必致力使我們從我們底感官及測量方法之缺陷盡可能地解放出來，而自一更高的瞭望臺透視過程之個件。這兩種抽象存有某種對立。真實外界為賓而觀察它的理

想精神爲主。兩者都不能邏輯地演繹，因此也不能將那些摒絕它的人引到邏輯的荒謬。但在物理科學之發展兩者都演決定的作用，是歷史每頁都供了佐證的事實。恰是物理底開路大師，如克布勒，牛頓，萊布尼茲，法雷第之所事，是一方面相信外界之真實另一方面相信在此外界中或在此外界上，統治着一個更高的理性。

永不要忘记一切創造的物理理念有雙面的源泉，大凡始則多少是暫時的，由個別研究者自己特獨的幻想所定而成，繼則探逐漸決定而自立的形式。當然，物理中也曾有一些騙人的觀念，糜費許多勞動於無用之地。但也有的問題始則遭嚴厲的批評家們擯斥爲無意義而終於證明是極重要的。五十年前，一切作實證主義想法的物理家還認決定一單個原子重量的問題爲無意義的假問題，因其爲科學研究所不能及。今日則一原子之重量，可以記到其數量萬分之一，儘管這爲我們直接測量精細的天秤所不能勝任，一如大秤之於公分測量一樣。因此必須警戒，不要在未看清楚問題之處理以前，便謂其爲假問題。先天決定一問題有否物理意義，是沒有這樣的根據的。此點甚爲實證主義者所忽視。爲得正確估計一問題，唯一的可能在於覆按其所引到的結果。因此我們爲

了嚴密法則之前提，對物理科學有基本的意義，不可遽謂將它應用到原子物理為無意義，而必須盡力追蹤此法則在這區域的痕跡。

古典物理在因果問題之不可通，若既非苦於物理過程被所用測量工具之攪亂，又不能以測量工具頗欠精確便為充足的理由，則其更深刻的原因何在呢？顯然，餘下的不外很激進的假定，謂古典物理底基本概念在原子物理已不復够用了。古典物理建築於物理法則完全顯露於無窮小中這個前提。蓋據此，則在世界任何處所的物理所現之行歷，全由該處所及其緊隣之狀態而定。因此一切物理狀態之大小，如位置，速度，電磁場強度等，皆具一純地域性質，在它們間適用的法則，全由這些大小間的時空微分方程來表示。這顯然在原子物理是不行的，上述概念必有待於補充和一般化。但是在什麼方向呢？我以為輓近日新的知識，似有了某種指示，時空微分方程式，即使是波動力學底，也未獨盡適用於物體過程的法則之全部內容，而也須顧及屬於所觀察的物體之邊沿條件。但邊沿又永是有盡的廣延，其於因果聯繫之直接作用，意義着因果觀察底一種新的於古典物理陌生的原質。

在這條路上能否前進及能前進多遠，只有俟將來研究之啓發。總之，不管將來結果如何，有一點是可確然主張的：即真實外界之無保留的把握，其難能亦如人類智力之克以提高到理想的精神一樣。它是而且將來還是在真實以外概念之抽象。這固不礙去假定我們能無限延長地以接近那不可躋及的目標，對此任務服役，在認為有展望的方向中不停前進，正是鍥而不舍，日新補闕的科學工作底意義。真的進步，不是無目的的徘徊，而是從每一新得的認識階段皆能完全綜覽以前一切的階段，儘管當前階段的眺覽尙被遮蔽，正如一個爬山者從新攀登到的峯巔下視而利用已得的鳥瞰從事更遠攀躋一樣。研究者底滿足與幸福，不在佔有底寧靜而在知識之不斷增加。

我底女士們和先生們。直到現在我們還只談到物理。但諸位定有這種印象，以所說的有較一般的意義，遠超物理科學界限之外。蓋科學，自然科學與精神科學無處是可以嚴別的。

它們毋寧是構成一個統一的緊湊的編織體。但動一端，則緊張狀態必然在一切方向繼續，而整個都陷入運動中。因果問題亦然，若在生物學和心理學並非一樣，則假定在物理學主宰着一個嚴格不搖的法則性，會得是毫無意義。

意志自由又是如何的呢？其爲首要者，是由於這爲我們底意識，即所能有的最直接的认识源泉所保證。人的意志也因果地被束縛抑或不是呢？這樣提出的問題，如我已反覆陳明的，是我們上述假問題之一種榜樣，精確說來，並無一定的意義的。在這種情形，這可免的困難，祇於問題式列之不完全。事實可略說如下。從一綜覽透視的理想的精神底立場看來，人類意志，亦如一切肉體及精神所現，全然是爲因果束縛的。但從『自我』立場看來，則在將來的自己意志，並不爲因果束縛，因爲自己意志之認識，本身總又因果地影響此意志，於是談不到固定因果關連之終極的認識。簡言之，從外面客觀看來，意志爲因果束縛，從內面主觀看來，意志是自由的。這兩句話之不相矛盾，亦猶前面講過的關於左右的相反的意見。誰不同意這個，誰便忽視了或忘記了自己的意欲永不完全隸屬於自己的認識，而對它總保留了最後的一句話。

這是說我們必須放棄那種嘗試，它要將我們自己的意志行爲之動機，由因果法則底根據，即由純粹科學認識之路來前定，亦就是說沒有理解，沒有科學夠答覆一切問題之最重要者，即到處浸入我們私人生活的問題：『我應當怎樣幹』嗎？那麼，在成倫理的問題的地方，科學即全失其用。

了嗎？一個簡單的考慮，便指出這是落了空。我們在開頭即已看見每一科學之最初建設，在適當部分底問題，已顯示認識判斷與價值判斷間有不可解的連繫，一種科學永不能全然與致力它的研究者個人隔離。恰恰是新物理更明白指出這種方向。它教給我們如將一物體之組成部份逐漸拆開，而個別研究，則物體之重要特性，常以此種程序而喪失，這樣便不能明晰其本質。勿寧是必須常常觀察全體，而注重其各部之關繫。

精神生活之生活亦不外於此。科學，宗教，藝術永不容完全離開。全體又常有異乎各部之總和。同樣的亦適用於全體人類。若欲由不論如何多各個的人之研究而得一其全體特性之概念，將會是可笑的蠢笨。蓋每個人都隸屬一種共同體，他底家庭，他底宗族，他底民族，一種共同體，爲他所必須列入而遵從，永不能不受懲罰便可離開的。因此每種科學，一如每種藝術和宗教是在民族的土地上生長出來的。有人一時曾忘卻了這個，在我們底民族中，受了夠辛辣的報復。

諸君可以說，這是人所熟知的事，不需迂曲先談物理然後能解。否否，正如物理科學在此並不取特殊立場，而也引到與出發點甚爲不同的別種科學同樣的結果和觀念。在我們思想以後的發

展，物理更指出了其地位之強固。蓋在物理學，最明確無疑地有這種趨勢，從其特殊根原擴張向一切方向，一如健康生長的樹，幹莖高舉，枝柯繁衍，而根仍深着於地。一種科學若不能或不願影響超於自己的民族之外，不配稱爲科學。在這種關係，物理決較其他科學爲易。蓋物理法則在地上一切國度都是一樣，是無人能爭辨的。因此物理不需爲其國際意義而鬪爭，像精神科學那樣，在精神科學甚至有人懷疑客觀歷史敘述這個理想的目標是否會有意義。倫理之超於個別民族之外，也如科學。否則不同民族間有教化的交通何以可能？在這個區域，物理底地位亦強而且定。其科學的無矛盾性直接函有誠實與信譽這種倫理的要求，這於一切文化民族及一切時間都有價值，而可躋最高尚德性之列。我相信我若說一種滅倫敗常的罪孽更無一種科學如物理之迅於揭發與嚴於定讞，也非過言。

與此作可怕的對照的，是在我們日常生活中，這些罪孽，何等受不思的姑容。我此地不是指所謂世法的說誑。這本無大礙而日常情形甚至不可避免。蓋沒有人會受騙於世法的說誑，因爲它是世法。不道德的，在於有意欺騙被說者使之有不正確的想像。不姑息地滌蕩此點，首要有責守者身

先作責。與誠實不可分離的是正義，它不外指對存意和行爲倫常判斷無矛盾之實施。如自然法則之強固適宜，無間大小，人之共同生活，也要求同等權利，無分高低貴賤。若在是非之爭，而顧及地位和族望，若無告者受強隣侵陵而不爲在上者所保護，若以彰明的私圖而枉法，尙有小丈夫焉，不力持正義，則嘍咤過之可矣。更沒有使腓得力王再得民望如無憂宮磨坊之傳說了。以此意識，普魯士和德國而偉大。我們民族，其永保此意識勿失！每個愛祖國的人，有保守而加深此意識之神聖義務。自然，我們必須首先明白一樁事。致力的結果，終極滿意的狀況，永不會也永不能完全達到的。最好的最成熟的倫理世界觀，也永不能引我們到目標理想的完成，它永只能指給我們要找的目標在何方向。誰不注意這個，便易陷入危險，或是降落於怯懦，或是正因他願意全然誠信，反而懷疑倫理底價值，甚至攻擊它。在倫理哲學家亦有其例。重要的不是固定的佔有，而是不停向理想目標之鬪爭，自強不息，日新又新。

最後我們必須問，這樣一個不斷的而又本來無望的自苦不是最使人缺望的嗎？一種世界觀，若對獻身它的人們，在生命中不能指出一單個堅固之點，使其在困苦顛沛中有一直接的歸宿，尙

有何價值呢？

我們很慶幸此問題容有一肯定的回答。它實有一堅固之點，一安全之佔有，在每一瞬間，即最卑微的人也能叫做他自己的不會喪失的珍寶，它保障有思有感的人類以最高的幸福，內在和平，因而可垂祚無窮：那就是——純潔意識與善良意志。這兩者給與生命之風濤中以堅定的停泊所，它們是誠然滿意的行爲之第一前提，亦就是蝕心的悔慟最有效的解藥。和它在每一真正科學活動之初一樣，它構成對每人底倫常價值不欺的標準。

「惟自救者，人始能救之。」