

萬 有 文 庫

第二集七百種

王 雲 五 主 編

物 理 學 之 基 礎 概 念

海 爾 著

潘 谷 神 譯

商 務 印 書 館 發 行

物 理 學 之 基 礎 概 念

著 爾 海
譯 神 谷 潘

自 然 科 學 小 叢 書

編主五雲王

庫文有萬

種百七集二第

念概礎基之學理物

Fundamental Concepts of Physics

究必印翻有所權版

中華民國二十四年九月初版

原 著 者

P. R. Hoyl

譯 述 者

潘 谷 神

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

序文

約三分之一世紀以前，當我等之大學行畢業式時，有畢業班中之一生起而致辭，從數方面論之，皆足令人注意。第一，因其措詞明白易曉，與布局有條不紊，一向罕見有初次登臺的演說能如是努力可誇者；第二，因其選擇題材之頭腦顯出少年老成；第三，因其活潑氣概歷久弗衰。

當時聽衆之中有一區區的下級生（即本書之著者），聆此一位前班輩所言，不覺一生銘記而欽佩之，其大致且留存至今日忽忘。此下級生所以報答之者誠薄，竟完全忘記此前班輩之大名矣。惟其名下所具之實爲何？則其重要的思想也；昔日此演說中所陳示的觀念，固猶留存於彼下級生心中，且博得彼之熟審的判斷，認爲值得宣告於他人焉。

異哉！以一人之知性而能出乎格外發生如此一種影響及於他人之知性也！因此一事，使人想起，邇來一種關乎我等此太陽系之起源（The origin of our solar system）的新理論（註）焉。

我等往常仰觀天文而思及我等所見各行星系所屬的衆星，曾推想其間或亦有有理智的生命如吾人者居焉。今則我等已傾向於如此一種思想矣，以爲我等枉費種種推想如彼，實則如我等之太陽系者，幾可完全確認其爲自然界中一種希罕之物也。Jeans 稱之爲突然變異的星系 (A freak system)，並提示僅能有一個與之相似者存在；蓋就現今的觀念論，我等之太陽系乃由如此一種偶然的經過而起者也，即是，常我等之太陽與其他一星十分相近時，因此兩星體中形成莫大的暴潮而互相衝突，以致一方或兩方之部分從本體分散，至經過此種衝突之後，遂安設而成一行星的體系焉。如此一種偶然的際遇乃有數者，百萬萬萬年中不過能期其偶逢一次而已。

(註) Chamberlain: *The Origin of the Earth*. University of Chicago Press, 1916. Jeans: Halley Lecture, 1922, See *Nature*, May 19, 1928. Eddington: *Nature*, January 6, 1922. Jeffrey: *Nature*, May 19, 1923. Russell: *Scientific American*, October, 1922, p. 268.

所以此次彼下級生偶然與彼初次登臺演說者相遇，其心遂處於一種紛亂不寧的狀態中，蓋因此演說者曾攻擊循特殊化 (Specialization) 之途徑以應接數量日增的所常學習的事物此

種理論也；所謂特殊化者，即謂集中於一二少數事物而拋開其餘一切事物此種辦法。從我等今日觀之，雖覺往日之進步較嫌遲緩，彼所當學習的事物堆積如此迅速，在時間上實趕不及一一學習之。然而有些事物固已學成矣，而且通常所推薦的解決法亦向為特殊化也。

彼演說者曾如此指示，謂此為一種必經多多服用方有效應的藥劑，且其邏輯的結果，必將逐漸縮小從事科學工作者之眼界，直至其無力產生甚且無力識別彼廣大的普遍化（Generalization）而循其途徑進行，因而結局非至自息其進行不可。「欲免此弊——據演說者云——我等必須力圖天才之急進。我等必須比照我等所認為需要者而增大我等之理解。我等必須多多摹想一些紛紜呈現於我等之眼界中的對象而學習之。」

「此乃對上天國者之十全的教導也——彼演說者接着又提出異議云——事不盡然。當思有曾經在成功之途上行之而不可能者。爬行動物學習飛行，由是而成為鳥。魚學習離水生活，由是而降為吾人。變成一人，未免不幸，以其祖傳如此，竟令其在某些需要上有不可能者。」

此等議論發表於一世代（即三分之一世紀，亦謂三十年）以前，而且出自一青年之口，未免

膽大；然我以為就後日之種種發展觀之，固顯示其本質上之健全也。尤其是我等物理科學者最深刻的覺其如此，蓋因近代思想所呈獻於我等的一些性質奇妙而混亂的概念，普遍化愈廣則愈使我等之眼界伸張而能包含其全體也。我等正在渴望之中，有如我等之祖先——肺魚在一乾燥節季中焉。然有若干心中曾產生此等概念而導出此等普遍化者，亦有許多雖不能產生而能追隨者。我等之中，非隨班即落伍，二者必居其一，別無通融餘地。特殊化不復可以供作庇身之所矣。然則我等將若何而獲有必要的通觀，獲有必要的心得乎？

以我觀之，其可以實行者唯有一途耳，即在其歷史的發展之光照下盡力放大範圍以考察此問題而就從先曾經有過的如此一類事情以研究其進化也；我想在近日之物理的種種概念之發展中，我等必將見其進化一方過於普通所想像者，而其革命一方則不及普通所想像者也。我等研究現今所有概念之種種先行概念，必須到處追尋其關聯、類推、相似之踪跡。首先必須考察此等概念之在哲學方面者；如果我等於此時時覺得引入哲學的領域，當有耐心，勿以其稍遠於需要而遽棄之。我想我等不久即將見有方法存於其中，雖然此種思想在外表上頗似愚狂也。我等所當行的

第一件事，即是盡力上溯至彼十八世紀的自然研究者之心態 (The mental attitude)。

目次

第一篇

十八世紀——唯物論者之世紀……………一

第二篇

十九世紀——關聯之世紀……………二五

第三篇

二十世紀——希望之世紀……………五一

物理學之基礎概念

第一篇 十八世紀——唯物論者之世紀

在物理科學之歷史上，十八世紀乃一無意義的、不結實的時期也。當時之從事科學工作者，對於自然之事實已知其一大部分；彼輩勤於探索未經開墾的荒野。彼輩所發見的事實雖有大多數遺留至我輩者，然其觀點固已變更矣。彼十八世紀科學者之心態，可認其特徵為極度唯物論者的，乃不易見於今日者也。

我等之大多數向曾受教，謂物理學為從事於物質 (Matter) 與能 (Energy) 之研究者。此在十九世紀之末固為正統教說，然十八世紀的態度 (Attitude) 則異乎是。彼時之自然哲學者專事研究物質。尙未識近來所謂能之概念 (Concept) 也。固亦知有重力的、機械的、電氣的、磁氣的

等力 (Forces)，惟概視爲物質之性質 (Properties of matter)，在其本質上均屬第二的、副位的、附從的焉。

我等能與此種觀點接近，其密接程度超過我等初料所能及者，蓋一向均視重力的力 (Gravitational force) 爲物質之一種性質，且在事實上亦以此作其概念之定義之構成部分，直至最近數年方見變更也。半世紀前，Lord Kelvin 曾提議廢棄所謂渦旋原子之假說 (The hypothesis of vortex atoms)，其主要理由在不能表示其(原子)受重力作用此一事實。Maxwell 云 (引自 Encyclopedia Britannica 第十九版之「原子」項下——原註)：「似難斷言一種幼稚理論必當說明重力 (Gravitation) 也。」事誠如此。直至 Einstein 降臨時，人尙視重力爲一種物質的性質 (A material property)；Einstein 起而反對之，且宣言重力爲一種空間的性質 (A space property) 焉。在我等之觀點中又有一種同樣的根本上之變更，則基於所謂電氣 (Electricity) 之概念今已倒轉其十八世紀的對物質之關係，反而主張物質僅爲一種電氣的現象 (An electrical phenomenon) 也。

在十八世紀及其前（十七）世紀視之，物質爲一種堅硬而有重量的原始實體，非常實在。依 Newton 之說（註二），則云：「以我觀之，大概如此；神在最初形成如此體格，如此形狀的物質，彼且依有資助於需要之標準，以如此的其他種種性質及如此的對空間之種種比例形成此等物質，而此等受形的質點悉爲固體，其堅固有非其所合成的一些疎鬆物體所能比擬者；誠然堅固，竟至絕不耗損或破裂而成碎片，通常決無一種之力能分割神在創造之初所造成者的。」

(註一) Newton: *Opticks*, Book III, Question 31 p. 375 (4th edition, 1700).

至視機械的力 (Mechanical force) 爲物質之一種性質，此乃容易說明者也。此一種力動作於一正在運動的物體衝擊在靜止中的別一物體時，一見卽知其爲不可入性 (Impenetrability) 及惰性 (Inertia) 之一種效果，人固熟知不可入性與惰性此兩者均爲物質之性質也。欲將其他各種之力還元於物質的性質雖不能輕便如是，然給以唯物論者的說明之傾向素來頗強，彼熱、光、電、磁等之現象；人固嘗導入所謂物質之不可權的種類 (Imponderable kinds of matter) —— 簡稱之爲「不可權物」(Imponderables, 亦可譯作無重物) —— 此種概念以說明之也，

不可權物，即想像其爲比重小至不可測定的物質之種類也。在十八世紀的意見，固以爲此中並無所謂背理。不過自其前（十七）世紀發明空氣唧筒之後，空氣變成有重可測之物；且有頗大的差存於空氣之重量與其最鄰近的較重實體之重量之間，於是自然引出的問題：「何以敢謂無一類物體具有遠遜於空氣的比重亦如空氣之比重遠遜於栓木之比重者？」此雖與近時的意見不合，然在十八世紀論之，固不以爲有所謂奇妙或不合論理也；且有今尙保守或前曾保守有所謂發光以太（The Luminiferous ether）存在的一種保念者，在彼之判斷中則甚寬大也。

以欲說明種種熱現象之故，於是要求於如此不可權的一種流體。此種流體稱之爲熱原（Caloric）。人信一切物體均含有熱原而吸收於其細孔中，如海綿之能存留水焉；而且全與海綿無異，表面即使乾燥，壓搾亦可出水。設想冷體受機械的處理——如壓迫、摩擦與打擊——而其保存熱原的受容性（Capacity）退減；結果，遂致此隱藏於其中的流體溢出若干於其表面，可藉觸覺以認識之，雖爲不可視並不可權者。

此種謂因機械的處理以致縮小其熱原受容性的機械論，當初雖覺有幾分不足信，然其至將

近此世紀之末時所裝出的一種形式則頗有趣味，蓋表示一種逐漸過渡至所謂機械的熱理論 (The mechanical theory of heat) 的形式也(註二)其所想像者如此：物質之各質點皆在震動中者，而其震動之震幅則依所用於此物體中的力之結果而增大焉。此乃因一質點所占有的有效空間之實際上增大所致，而其結果則使在各質點間的熱原擠出於外焉。現代的熱理論之異於此者，祇在其廢棄此所謂熱原的一點耳。

(註二) Nicholson: An Introduction to Natural Philosophy. London, 1782. Quotation from third edition, Philadelphia, 1788, p. 386.

然此尚非所謂近代理論之一世祖也。以前諸多哲學者之間，如 Francis Bacon, Boyle 及 Newton 等，亦曾傾向於此種觀點。既缺乏實驗上之證據以辨別此兩種觀點，而當年之對自然現象作唯物論者的說明之傾向又若是其強，宜乎此熱原論 (The Caloric theory) 至十九世紀而猶見得勢也。然因一七九九年 Davy 會行一種實驗(註三)，此種理論已受其論理上之致命的打擊矣。某日溫度降至冰點以下時，Davy 取其溫度在華氏二十九度的冰兩片用一種機械的裝置

摩擦之結果，冰化成水，其溫度在華氏三十五度。此乃既知者也，當此之時，冰必須吸收大量的熱，方能變化而成水。試問在此情境之下，其所吸收的熱果從何來？如云冰之溶解所需要的熱為從彼冰之本身壓搾而出者，此事未免令人難於想像；假使想像其熱為由周圍之各種物體所供給者，則又與事實相抵觸，蓋其時在鄰近的各物之溫度均在冰點以下數度也。其曾有所供給於彼在此過程中的冰者，唯一物——一定量的運動，而此運動即熱所從生處也。

(註三) Davy: Collected Works, vol. II. (Essay on Heat, Light, and Combinations of Light.)

固也，雖有此種實驗之種種結果，所謂熱原論尚自保其殘喘至半世紀之久。通俗傳說有之，蛇斷其首，尚將活至日落；信有如此，凡科學的理論一經普遍流傳，即顯出一種在時間之舞臺上遲留過冗的傾向，無一不然。

約在同時，Innmford亦會行一種實驗(註四)其性質無異乎此。彼將一銅礮浸於水中，用一製作異常之鈍的鑽孔器鑽之，彼於此實驗中見其能生熱，足以使水沸騰，並見其所產的一種金屬屑似不足額，竟少至不合乎理。彼之論理在兩項中均不完備。彼謂此金屬屑之熱受容性質與其未經

離開本金屬物以前相等，而依彼熱原論所要求的假定，則其熱受容性非縮減至擠出熱原之程度不可；然非待至此金屬屑得一冷卻機會，否則自（金屬屑）與其尋常條件適應時，不見得其熱受容性可以一舉而測定也；而且彼之論證從如此區區微額之屑出發，欲更引伸，亦嫌在分量上不足也。

(註E) Rumford: *Phil. Trans. Royal Society*, 1798.

十八世紀亦曾用一種物質的解釋以說明光之種種現象。曾想像光為從發光物體放射而出的渺小非凡的微分子（*Particles*，亦譯作質點）所構成者焉。此蓋普通的想像也。Newton曾攢斥 Huygens 所首唱的波動說（*The wave theory*），彼之著作多用普遍所通行的微粒子說（*The corpuscular theory*）焉。事非如此容易（註五）。當 Newton 反駁彼波動說時雖經大費躊躇，然在彼對薄版顏色之研究中，彼所給的一種實驗，則固應用一種混合波動與微粒子兩說的巧妙作法也（註六）。

(註五) Cajori: "The Growth of Legend about Sir Isaac Newton," *Popular Astronomy*, October,

1924, p. 486.

(註六) Newton: *Opticks*, Book II, Part. XII, p. 255, 4th edition, 1730.

在微粒子說之支持者，彼等固非盲從而不顧及其困難也。所謂光之速度 (The speed of light) 已經 Römer 及 Bradley 兩人決定矣，而光微分子之重量若大至百萬分之一克冷 (Grain)，則其壓力之超過我等所能堪的從一破口直射而來的一砂粒之負荷量者，我等即已不能負之，此亦向所已知者也。此說之通常的解釋，大都以光微分子之非思料所能及的渺小為基礎；而彼時之著作家所敘述者則頗奇異，謂如此一種微分子雖然渺小，而一種緻密的器官如目者固能作瞰臺以抵當之，始終不至為所穿破焉。我等思及不久以前所說，謂星之分解成光為能之惰性所生的一種結果；然已有一種與此相似的概念提出於十八世紀矣。十八世紀後期有一位創作家 (註七)，似有忍耐於必須發見各事各物之善良用途此種常情者，彼曾由此種觀點而導至一種推測彗星之尾之可能用途的理論。我等藉彼之偶然的表現，可以想見彼等在當日為何等膽大的推想家也。彼云：

「設若彗星適於居住，其必為種種大異於一些我等所會用以觀察與思考的創造物者所占

有也固可無疑。然尙可有其他種種用途或許爲彗星所能形成者。彼構成彗星之尾的物質在時間之經過中必不免落入太陽或其所當通過的最近的行星中，於此可以彌補其（太陽或通過的最行星）種種缺乏並適合其種種目的，以我等之完全不知此種物質之性質也，我等即欲推測殆亦不許。就其（彗星之尾之物質）在太陽中論，當能供太陽補充一種所消費的物質之用，而此種所消費的物質，即彼發光體（太陽）因光微分子之經常不斷的放射而損失者也。」

（註一） Nicholson: *Work Cited*, p. 144. —— 參看上面（註二）。

爲光微分子之大小未經確定此事所阻，不能對太陽之生命規定某種一定時期；然既知光爲太陽所放射而出者，則知太陽之體質必逐漸減小，其爲時雖遲緩而始終無間也。此種舊概念與今日之概念兩方之主要的差別，蓋在其哲學的觀點上。即是：十八世紀的概念有一種澈底的唯物論者的基礎；而今日之概念正反乎是。

別有一種十分新近的意念，則所謂光之運動量（The momentum of light）是也，此種意念會顯身於十八世紀哲學者之心意中。其從此種意念所產出的提示，則與彼光之傳播涉及光

微分子之大小時所有的觀念向有關聯焉。曾有一種實驗，實為欲發見此種運動量而施行者也。將太陽光線大行集中，使之投射於 Micholl 所發明而後來為 Cavendish 所應用的振秤之槓杆之一端；惟不能在真空中運用此種器械，蓋所觀察的種種效果皆當歸因於空氣對流之各流，此乃我等今日所知者也。

同樣，亦於用一種電氣的流體——或不若云兩種流體——以說明電之種種現象。所謂“Electric fluid”此一術語，如今尙蔓延於俗語中焉。讀一七八六年 Nicholson 論電之語，自可見此為一種若何澈底的唯物論者的概念矣。

「電乃實在的物質，不僅為一種性質已也，在外觀上因種種情況之變化而表現得頗為明確。當其通過各物體間時，既使空氣分開——此即其所屬的不可入性也——並使之構成何種音波。電以各種方向放射光線，如可承認光為物質，則非想像彼放射此光者同為物質的物，未免與推理與實驗不合。在其面前，其他感覺亦非不受其影響。電有強烈的磷味或磷類味，所以當房中之空氣攪入高度的電時，人人腦中必因此而感受一種殊常而且不快的痛苦。」

可以想像此一種或兩種電氣的流體爲與熱原同樣浸透於通常的物質中者，更可以想像物質因其所含的電氣流體有種種量額上之變化而有種種不同的電化 (Electrification) 現象產生。Franklin 之一流體說 (The one fluid theory) 曾想像流體有一種正規的量額，任何物體所含的流體等於此額時，均不能呈現何種電氣的性質。一有過此正額或不及此正額的流體，即發生正的或負的電化。然而對此可以有一種重大的異議發生。以其所含的流體之連續不斷的減少，一物體必愈變而愈成負的充電，且愈變而愈強。如此，必達到某種極限，即達到 “Absolute zero” (絕對零)，其時，所含的流體將完全遷出此一物體矣。在此種狀況之下的兩物體必有一爲最大可能的負的充電，且彼此必強烈的互相排斥。其時移去其所混合的某量的電氣流體的通常物質得有兩類，常在互相排斥之中；試問此時之所謂重力定律 (The law of gravitation, 即引力定律) 果爲何者？

Aepinus 企圖修補之 (註八)，於是設立一種假定，謂不電化的物質乃自己排斥者，而重力即其示異的一種效果云。惟因此種一流體說似乎尙需特加一種更善於此的大修補 (所推薦的修補

每見爲不佳者——原註）所以不久卽爲 Du Fay 與 Symmer 之兩流體說 (The two fluids theory) 所推翻矣。此種兩流體說，則想像物質所含的流體有性質相反的兩種，其量額相等時彼此互相中和。兩者中之任何一者稍有加減，卽將有一種符號與之相應的電荷產生。

(註八) Aepinus: Testamen Theoriae Electricitatis et Magnetismus, St. Petersburg, 1759. — See Kelvin: Aepinus Atomized, Phil. Mag., March 1902. p. 257.

假使我等將此種兩流體說化成原子而提去其物質的本質，則其與我等現時之概念之不同，我等實無以別之。此則頗有興味而堪注意者也。

別有一種不可權的流體或媒質 (Efluvium)，則想像其爲可以擔承磁氣吸引之種種現象者也。雖尙未知此種作用之機構，然可認此流出物在其構造上必甚靈巧而精細，因其能通過一片玻璃而感動彼方之磁針也。

如此等等唯物論者的觀點，蓋卽造成十八世紀之對種種自然現象的態度者也。有一種新自然現象爲所發見，定將發明一種新不可權物以說明之。

欲在當日之物理科學中發見其有此唯物論者的傾向的一種說明，並非難事。蓋彼時凡研究科學的人所表現的態度，無非當年所通行的唯物論之一種反映也。於此種傾向如是顯著時，竟有一位愛爾蘭教會之牧師——Berkeley主教——發表一書獨倡異議焉。彼於此書中所提出的一種觀點，完全與此不同（註九）。彼對所謂物之本性（The nature of things）若何提示，我等值得稍費時間以考察之。

（註九） Berkeley: *The Principles of Human Knowledge*, 1710.

與所謂十八世紀唯物論在根本上不同者莫如 Berkeley 之教說，蓋因彼曾如此提示，謂在有關係於我等的範圍內之物質，除一種心靈的感覺（Mental sensation）外，不能更有任何一種云。即使此種心靈的感覺之後果有某種現實，某種物自在（Thing-in-itself）存在，亦為彼所不關心的一種物質也；謂為可以否認者；謂為不能證明者。誠屬一種奇妙的教說，然常有人支持之，其支持者後來且以千數，中有大多數竟不明自己所當歸入的哲學上之類別焉。尤屬稀奇，我自己之觀察示我以一種特殊的手段，可將此種教說引入一種意料不及的區域——美國兒童之幼稚的

心中。

有一次，我給某高級學校（美國之第二級學校，為初級學校與專門學校之中間階級）一班兒童教授物理學。是日之課題為物質之原子的構造（The atomic structure of matter）。我道及向來持有兩說——其一謂物質正如其現於外表者然，乃連續的，其一則與前說相反，謂物質為顆粒狀的或原子的；我見彼等皆聽若罔聞。自停片刻，我又謂關於物質之本性尚有一第三說——謂實無其物。同時此一班昏睡者全數清醒，而且我受彼等之最大的注意。我並未提及 Berkeley 或唯心論（Idealism）之名，祇簡約的陳述其基礎的觀念。

我謂此非一種新觀念。我引證以 Shakespeare 之句：

吾人宛似夢中物，

完此微生祇一睡。

我更引證以 St. Paul 之語：「可見的物皆一時的，而不可見的物乃萬古的。」如若可能，彼等之注意當較前益甚。

於是我又如云：在詩人及哲學家固無不以此爲甚善，惟如我等科學之研究者，則不可不回歸我等之本題而對物質之原子的構造廣續作明確的考究，依舊循此課程前進。

不久之後，我更作一筆記的覆述，其所發的問題中有一爲：「何者爲物質構造之正當的理論，且因何故？」——然而彼等全體之中會無一人步 *St. Paul* 及 *Shakespeare* 之後塵者！

此種小小齟齬置入哲學中，我覺無用辯解。哲學家 *Kant* 有云：「有物兩種皆居於第一等級者；我以無限的尊崇視此兩種之物——彼有法則的天上之星與人類之感覺。」*Kant* 此語之意不難探索。其意即謂：有大而不可思議的自然，我等發見我等自己亦浸於其中；又有不可思議等於自然的理智，我等可用推理力以理解自然之種種現象，並立出法則與秩序而可用之以支配此等自然現象。人生蓋卽由此兩種之物所組成者也。

不必以十八世紀唯物論之責課諸十八世紀之本身。蓋因十八世紀之唯物論乃從以前諸世紀承繼而來者也，而在有關於物理科學的範圍內，且可遠遠追蹤至希臘時代之大哲學家 *Aristotle* (*Plato* 之弟子，*Alexander* 大帝之師——原文之插註語。) 遍察其間所歷許多世紀之

少數有興趣於研究自然現象者，其態度上所有的變更頗見微小。如果我等設想人能以如騎在快馬背上疾馳的此種最大速度越過自記錄的歷史之黎明期降至 Victoria 女皇之日此一場地，則將見其他多少事物條件均不進步，亦無足怪。

Aristotle 爲論理學之父，近世論理學者莫不依據於彼；然而，若以彼亦作一物理科學者論，則可云今已不見信用於人矣，雖然彼已知地爲圓形，並已切實的指明其體之大小。在彼之物理學中，彼實爲澈底的唯物論者。彼爲自然嫌惡真空 (Nature abhors a vacuum) 此種觀念（雖非此語——原註）之創立人。彼曾反駁運動爲場所之變更此語，且謂空間若無物足以識別不同的位置，則運動將不可能云。由此觀之，彼又略似相對論者。彼反駁云：在真空中無辨別此場所與彼場所之法；故真空之存在將致運動之不可能；而自有運動以來，無論何處亦不見有如真空者存在也（註十）。

(註十) See Rosenberger: *Geschichte der Physik*, vol. I, p. 17.

彼又曾教人，謂重體落下之速度比例於其重量。此說似覺奇妙，蓋無論何時彼亦能以一種簡

單的實驗反證此說之謬誤也；然未見彼施行此種考驗，蓋因演繹的推理較易於物理的實驗，且亦較能引動當時之人心也。在 Galileo 之時代——後於 Aristotle 之時代十八世紀——以前，我等亦未見有誰之記錄懷疑此教說者。唯有 Aristotle 之能如是及於後來諸世紀之思想的一種影響，堪與彼等創立大世界宗教者之影響並駕齊驅；因此之故，通乎全中世期，科學亦終感受 Aristotle 之餘威焉。

我等曾云，在十八世紀中，視一切形式的力均為物質之性質。對此敘述，我等現在不得不即速舉出一件例外。在當日所認識的各種力中，有一種獨立而成一類者。此一種稱爲生活力 (The vital force)，並視如感受超自然之使人敬畏的聖靈者。此一種力，可以想像其居留於生的或死的有機物質中，且一切有機的反應均占有位置於其影響之下。一種植物以有生活力而能由無機的種種物質如碳素、二氧化碳及水等合成其碳水化合物；在生活力指導之下，彼動物的生命之複雜的過程占有位置，即至死後尙占有位置，蓋可想像生活力支配其種種分解過程也。

此種概念或有幾分爲從實驗中得來的一種歸納。誠然，任其若何努力，當日之化學家曾無一

人能合成最簡單的有機體；在自然中，顯似劃有一道嚴格的界線於有機的與無機的兩者之間；然而以我思之，未嘗無別種補助的說明可以供獻於此。我想在彼歷史之光照下，我等能見其中有彼優美的異教徒之神學所餘存的一種殘滓，相信任何一種棲息於地、於空氣、於樹木、於海者，各有其所專有的寄宿身中的精神；我想當我等見此所謂生活力者在十九世紀若何變化時，即將使我等在此種信仰中益堅其信矣。

如此一種生活力之信仰，普遍的保存於十八世紀中，即如彼大名鼎鼎的 *Bernellius*，亦可歸入其信奉者之列焉。當此種理論未受論理的反駁以前，直至十九世紀亦尙無恙。*Wöhler* 於一八二八年以熱氰酸銨合成尿素，於是此種反駁起矣。於此，亦無異於他處，舊理論頗不易死。曾有引出種種論證以說明 *Wöhler* 之結果可打消者。或云尿素本屬一種介在有機界與無機界之中間的實體。或則巧爲反駁，謂氰酸鹽中之碳素本留存有生活力之踪跡或記憶，一經形成某種有機化合物之部分，即有此種生活力發動云。經過一長久時期，唯有此種合成獨自存立，然至結局，其他種種合成亦是繼告成，此等事跡，直堆積至足以完全在有機化學所關係的範圍內處理生活力，並且認

識有機化學無在不與無機化學扭結焉。

我等曾謂生活力，此種教說亦不易死。實則全然不死——移居外地。越出此進步的知識之國境外而入彼尙不甚知識的區域中，卽從有機化學所處理的領地退出而移入所謂生物科學中也。生物科學中所有的現象甚形複雜（如今猶然——原註），在此等現象之蔭下，當見生活力尙有一次退卻。今日之生物學者間，有活力論者與機械論者兩相對抗，非常劇烈。彼活力論者等反駁以化學的或物理學的原因說明甚爲錯雜的進化。彼等云：因何眼能進化？因何人可食人肉而不與消化人肉同時亦消化其自己之胃系列？對於此等問題，現時顯無答覆；然而昔日亦何嘗無如此無答覆的問題，譬如問因何糖能由碳、氫及氧造成是也。以彼等對如此一類過程之機械作用無知無識之故，當日之科學者於是託庇於生活力矣。

我敢云現時生物學中之活力論者與機械論者間之此種爭論，不過一種歷史之重演耳。時間尙將以一事告訴我等，卽是：生活力將來縱爲生物學所驅逐，或許暫時託庇於心理學，亦非不可能事也。

我意非謂機械論能究極的說明何等事物也。亦非謂活力論能之。我所指點者蓋在：我等不能劃一道貫通自然的界線而謂在此方的一干事物爲自然的，在彼方的一干事物爲超自然的，亦不能用物理學的與化學的原理以完全說明之。我最重視所謂「自然的」此一語。凡自然所呈獻於吾人的事物，即其最簡單者亦覺奇妙而不可解。僅就一石之落下言，其奇妙已非能以言語形容者矣。

天有美目四射其神光兮，

卽此光梢可窺見目美也；

目美自然而不容修飾兮，

濫事修飾亦大堪引嘲也。

我等曾云十八世紀之一種特徵的品性爲其唯物論。今於此生活力之教說中，我等又得見有一種第二的特徵矣；此種特徵即依賴於超自然的說明之傾向，乃顯然與前一種相矛盾者也。雖然矛盾，此亦未嘗不與當年之唯物論有關聯焉，彼時有許多科學書，竟較論自然哲學的論著更近似

從科學上作解釋的宗教上之說教。此種矛盾，其根蓋深植於人類之過去者也。至於推理與論理，則人類在進化過程中之晚近的收穫，且人亦不能長久保持而不疲勞，如 Cliford 所稱「持久不變而且正確的思想之勞動」者然。彼大類人猿之直立的姿勢亦有一種同樣的困難，不能不時時回復其四足爬行之故態焉。

我等尚可舉出一種因着力於定量上而遭逢的失敗以作十八世紀之一種第三的特徵；此種失敗，乃在定量上天然不能免者也。並非完全缺乏定量上之要素，不過有種種地方在十九世紀可以本能的應用彼形式最簡單的定量的推理者，而在十八世紀則同樣應用於此而失敗耳。

舉其一例，則有如人所熟知的燃素說 (The phlogiston theory)；此說乃互乎全十八世紀所通守的一種稀奇的燃燒理論也。如 Cavendish 如 Black 如 Scheele 如 Priestley 皆此教說之維持員也。依此說所云，則相信燃燒為由某種一定的神祕的實體所致者，此種實體稱作燃素，含於一切燃燒體中，其與空氣結合的傾向甚大，不能單獨說明之。當其寄身於物質中時，固可永不活動，然使物質熱至某種一定的程度，則此燃素有若干被熱偏出，而且即刻與空氣結合。由此所

生的熱更偏出燃素，直至此物質成爲完全「除去燃素的」(Dephlogisticated)，或者如我等今日所謂氧化的 (Oxidized) 乃止。

今日我輩已一律明白矣，有若干物體如鉛者，其燃燒成灰之後較重於其前，又有若干物體如木者，其燃燒成灰之後則較前甚輕。彼最簡單的定量的推理將引導至如此一種矛盾的結論：燃素在鉛中之重量爲負而在木中之重量爲正；然而此種結論似不能發生於彼舊燃素論者之心中也。在 Lavoisier 喚起彼等之注意以前，彼等似未嘗着力於如此等等考慮也。

誠然，Lavoisier 在彼恐怖時代 (The Reign of Terror 指一七九三年三月至次年七月此一期間言，爲法國第一次革命之最悲慘的時期) 已經上斷頭臺，並未及見十九世紀；然在其時之先進中，彼之意見固爲一典型者，堪與彼之節操相匹敵。因彼注意及燃燒以前，以後所有一切反應的實體均有列入計算之必要此一點，彼已表明凡有關係的物質之全重量前後不變矣。

此乃有益而值得注目的一點也，在此一點上，所謂燃素之概念實爲我等現時所謂位置能 (The potential energy 亦譯潛在能) 之概念之預示。燃素說之基礎的觀念爲物體經燃燒後

即有所失。今日我等亦云碳或鎂經燃燒後即有所失；不過所失者非物質的實體，乃位置能也。

十八世紀對種種自然現象，其心中之態度蓋有如是一種對最大多數現象的態度，乃極端唯物論者的，惟因人類之意志薄弱與無力維持一種未慣的姿勢，間亦回歸於超自然的；一種態度則屢屢阻礙向現代精神前進之路，因其應用簡單的定量推理已歸失敗也。然此世紀所傳於其後繼世紀者，有豐富的遺傳的事實，有一手之指不勝屈的獨立而各別的物理學概念，有半打不同種類的可權或不可權的物質，有僅屬初步的法則、秩序與關聯。再看十九世紀若何處理此等遺產？

第二篇 十九世紀——關聯之世紀

今先回顧十九世紀之全期而作一透視畫，則可云其所成就的事業乃以處理其所受自前（十八）世紀的遺產之關聯（Correlation）為主。當能記憶，此等遺產乃積下列數種獨立而各別的概念——物質、熱、光、電、磁及種種之力而成者；而此等一切之力（除生活力外——原註）則視爲可權的或不可權的數種物質之性質。十九世紀將此等概念約而爲二：物質與一種所謂能的新概念。

此乃一件大事業，所需要的年代不僅一百年，其兩端且互及前後兩世紀。Lavoisier也，Davy也，在科學上論雖當認爲屬於十九世紀，然兩人之生存與勞作均在未入十九世紀之前；而Einstein之完成最後所遺留的重力與惰性間及物質與能間之兩種關聯，則二十世紀之事也。

此等關聯中有一典型的事例，即我等之關乎所謂光之景帶（The spectrum of light）

——可視的與不可視的——的知識之進展是也。當十九世紀之最初，其關乎景帶的知識僅限於可視的此一部分，然而不過兩年，又發見有所謂紫外線 (Ultra violet ray) 與所謂紅外線 (Ultra red ray) 者矣。同時，此兩種不可視的光線之本性遂亦發生問題矣。景帶之此兩不可視的部分與彼可視的部分之異點果在種類上抑在程度上？對此問題，曾有兩派之思想流行於世，彼此互相對抗且垂三十年。當此之際，所蓄積的實驗上之證明為數頗有可觀，於是表明此兩種不可視的光線之種種行動，若反射也，若屈折（兼單屈折與複屈折——原註）也，若偏極也，甚至若受磁氣影響而迴旋也，無一不與彼可視的光線酷似，有如同胞兄弟然。因有此種證明，遂有所謂景帶之三位一體說流行於世，認此表面上各自為政的三種存在不可不一視同仁，所異者祇在其波之長度與波之次數耳，而其結果，則顯出一種性質上之等差焉。

尙有一點缺乏證明，即是此兩種不可視的光線果用何種速度進行？如果能發見不可視的光線用以進行的速度異於可視的光線之速度，則此等光線在種類上之差別得有絕好的證明矣。在此一點上所可得之證明頗不充分，而於事實上亦非一種急需，即從其他推理途徑以證明之，亦

未嘗不能適合而確實也。然因此最後一件確實的證明缺乏之故，以致引出波斯頓之 Boyden 君有懸賞一千元美金之舉；此項賞金貯存於佛蘭克林獎學會（Franklin Institute），即備給能依實驗以決定景帶之一切光線是否以同一速度進行此一問題的人者也。時在一八五九年。此項賞金曾經四十八年貯存不動，終於一九〇七年判歸彼敘述當 Algol 恆星（Parsens 星座中之一恆星，其光之變化最有定時）之景帶在最小限度時之迭次影照實驗之記錄的著者（註十二）；於是 Boyden 君之多年不寧的心神乃獲安靜。

（註十一） Heyl: Journal of the Franklin Institute, August, 1907.

此種關聯過程，即將各自分離的種種概念約成同一概念之不同的種種方面之過程，在十九世紀間曾經反覆多次，以構成其最特徵的科學上之活動。有一件事例，在重要性上實居第一等級，即與無意中導入所謂能之新概念同時設定熱與功（Work）之關聯，終以廢棄所謂熱原論是也。此種運動開始之時日在 Davy 與 Rumford 之勞作之後。於此尚可連帶提及彼乘氣球昇空之先鋒 Montgolfier 兄弟中之一人，蓋自動揚水機之發明應歸於彼也。當研究此種裝置之作用時，使

彼確信力在機械的變化中並不消滅——非如十八世紀所想像者然——而轉化爲熱，而有一定的相當關係存於此兩者之間焉。彼雖未曾有何關此論題的著作，然曾有所傳授於其姪 Seguin，而 Seguin 則將彼自己之觀念與其叔所傳授者合成一文。此文中所提示者如下：試用一蒸汽機關以作實驗，先使此機關藉蒸汽以工作，至某定額的蒸汽凝聚而止，再使此同額的蒸汽噴過機關而不發生何種工作，然後比較其（前後兩次）轉移於凝聚器中的熱之額，此乃一種有價值的實驗也（註十二）。

（註十一） See Encyc. Brit. 11th edition, Article Energy, p. 400.

別一有所貢獻於此種新觀點者爲 Carnot 同其關乎所謂熱力學上之循環（The thermodynamic cycle）的勞作。彼早於一八二四年即已確定的採用所謂熱之機械論（The mechanical theory of heat）矣。

人所首先第一認識者在功之轉化爲熱而不在其轉化爲別種形式的（如電氣的——原註）能，此乃毫無足怪的事。Grove 之一論文中云（註十三）：「在弗打電池發見以前，在電磁、熱電及攝

影術發見以前，決無一種心眼能認知彼在表面上似已喪失的力實在尙多所變化。」

(註十三) "The Correlation and Conservation of Forces." A collection of essays by Grove, Mayer,

Helmholtz and others. Edited by Yonmans, 1865.

首先實行計算熱之機械的當量 (The mechanical equivalent of heat) 之值者爲 Mayer。Mayer 乃一德國醫生，且爲一在許多方面皆足令人注意的人也。彼未曾有何等物理學之修養，唯稍涉獵一些在理論方面與醫學有關聯者耳。彼又無物理學的實驗場，或他種施行實驗工作的便利；彼生平絕無一種物理學的決心，即使彼或企圖及之，所收的功效亦嫌微薄；然彼竟爲在數量上決定此種重要的物理學上之常數的第一人。

追尋先年之發見者所從達到其結論的心理上之過程，時常引起後繼者之興趣；我等且有幸運，在 Mayer 之場合，得到如此一種記錄。時在一八四〇年，有一青年物理學者，彼以船上常駐醫生之資格乘一荷蘭航船旅行至爪哇；當時之普通的醫術，對患極輕的病症者常用刺血法治之；當然，行刺血法時照例從靜脈管中刺出，Mayer 因此習見歐洲人之靜脈管中點染着一種淺藍色

的血焉。彼云（註十三）

「當一八四〇年夏日，乘爲新抵爪哇的歐洲人刺血之機會，我察見從臂中之靜脈管抽出的血有一種不可思議的鮮紅色，幾無例外。此種現象繫留我之最初的注意。從 Lavoisier 之理論出發而依據其所云動物的血爲一種燃燒過程之結果之語。」——彼在當日實可認爲一進步者——「我認血在毛細管中所發生的色之兩重變化爲血中所發生的氧化之一種通知的信號或顯見的指標。蓋以人體能保持一種常溫，體中熱之長進必與其所失的熱維持一種定量上之關係，而此種關係則決定於其周圍所有的傳導物之溫度；由是，血之產生與氧化之進行正同於此兩種血之顏色上之差異，其在熱帶中總不能不少於在較寒的地域焉。」

Mayer 乃一位敏銳出衆的觀察者。彼所注目的事實每爲許多醫生所忽視，不僅當日然也，至今猶然；即使全爲彼等所注目，亦不過認爲病人身體之違和的狀態而已。彼又續云：

「因此之故，在有機體中之收入與支出間即完成之功（Work done）與磨損（Wear and tear）間，必須作一兩方對照的總決算。此爲最重要的問題之一，不能否認；彼生理學者對此問題

應付至爛熱，即以之備置於其應試錦囊中亦無不可。物質之額有消耗謂之磨損；所謂完成之功，則熱之發展也。」

「後一件事——熱之發展——又有兩樣分別。蓋以動物身體一方面直接在自己之內部發展其熱，而由傳遞之方法擴散於緊接包圍自己的種種物體。」——在我等云，由傳導 (Conduction) 或對流 (Convection) 或輻射 (Radiation) 之方法。——「別一方面，又藉其運動器官而擁有一種勢力能由摩擦或種種相似的方法而機械的生熱，雖在遠隔地點亦能之，現在我等所須知者，即果祇有此直接發展的熱，應單獨算歸燃燒過程，抑或燃燒過程為直接發展與間接發展的兩種熱之總和。」——所謂間接者，即經過運動或機械的工作而生者也。——「而彼間接者亦應歸入計算之中。此乃一個深入科學之根柢的問題，如非此問題得到一個確實可信的解答，則與此有關的教說不能健全的發展也。」

Mayer 於是環顧周圍以探聽有何消息可以光照此問題。彼雖未得施行物理學上之實驗的便利或機宜，然彼特有衆人所未具的一種優秀的才情，善於透視與比照。彼到處察勘以尋覓有無

何種可爲自己心中之目的所利用的他人之實驗工作，彼遂發見 Regnault 之關乎各種氣體在一定壓力與一定溫度下之比熱的材料。依據 Regnault，此兩種比熱（即在常壓下者與在常溫下者）之比爲一·四二二。今已知在空氣之場合，此數字當爲一·四〇五矣。

Mayer 由是推論如下：假使有一團已經防止膨脹的氣體而我等加熱於其中，則我等所從事者即爲在一定容量下的比熱。然使我等當加熱時許，此氣體膨脹，則可完成某種定額的機械的功而增大若干比熱之額，而據此所增大的比熱之額即可計算此功。彼曾實行作此計算而得到一種所謂熱之機械的當量之數值，此蓋前此所未曾有者也。因彼所採用的 Regnault 之所謂比熱之比之數值不甚正確，故彼所得到的結果亦不免稍有錯誤，惟彼之譯者 Tyndall 曾促人注意於其事實，謂使此比之改正的數值 Mayer 能得而利用之，則彼所得到的此（熱之機械的當量之）數值亦將正確同於後來爲 Joule 所發見者云。

在 Joule 之場合，我等無如此完全的一種關乎彼所從導至其結論的心理過程的記錄；惟於彼之一篇公開講演文中發見有涉及此點的敘述（註十四），蓋罕見者也。彼評論所謂力之消滅，此種

教說——當時所一般保守着的一種傳自十八世紀的遺產——謂凡力之十分急於活動者常歸於消滅，自從盤古以來無時不然，然固大顯其有效用也。既經達到此點，則已明白無疑的可以想像力為完全不消滅者，不過繼續不斷的發生變形與復原以維持其均衡耳。

(註十四) Joule: Collected Papers, "On Matter, Living Force and Heat," vol. I, p. 269.

當十九世紀之初期，此實為一種異端邪說。所謂力之消滅 (The annihilation of force) 此種信仰之普及一般，可以彼能之不滅原理 (The principle of the conservation of energy) 之最初的命名證明之；其初即稱作力之恆存 (The persistence of force) 或力之不滅 (The conservation of force)。後來在其晚近的意義上，乃改用所謂能此一術語。至我等現時所稱作動能 (Kinetic energy) 者，即其時所認為活力 (Living force) 或 vis viva (即拉丁語之活力) 者也。一運動的物體能施如此一種之力於其所遇着的他物體上，惟其所以能如此的力量則繫於其運動，而其消失即等於運動之死滅；因此，所謂「活力」此一術語，其意即等於云「活的」(即「運動的」——原註) 物質之一種性質也。

所謂能此一概念，乃建立於前世紀所謂不可權物之上者也，一一取自物質之領域而以之形成一新王國焉。當然，有如前所引述的 Grove 之論文所云，當此等形形式式的概念間之種種關聯未經發見之前，不能在彼時所視為各自分離的衆物中察見之（能）。既經認識此存在於熱與功之間的關係，遂從不可權物之羣中移出熱原而消除其物質性，而以之溶解於所謂 *Via Viva* 此一概念中矣。爲欲有餘地以安置此附加物之故，遂將 *Via Viva* 此一概念推廣矣。前之視同歸入可感覺的範圍內的物質者，今則作爲含在分子之間的騷動（*Agitation*）或熱運動矣。

別有一種關聯，即在電與磁之間者也，後來從一種工學上之觀點視之，實爲最重要的關聯。此乃得自 *Oersted* 及 *Faraday* 兩位先生之勞作的成果。*Oersted* 謂一種電流（*Electric current*）與十八世紀之所謂 *Electric Fluid* 意有不同，能生出一種磁氣的效果，而 *Faraday* 所論證者則正與之相反，謂一種磁氣能誘出一種電流焉。

所謂電氣的流體與磁氣的流體此兩種舊概念既如是結成聯盟之後，復因 *Seebeck* 於一八二二年發見熱電（*Thermoelectricity*）而與熱（而在一般上則爲能——原註）之概念接合。

當對此種現象之研究再進一步時，自將明白熱在一定條件之下可不露出原形而別取電氣的能之形式出現。

又有一種重要的關聯則在電與光之間，此乃 Maxwell 所首先指出者也，嗣後，Hertz 又從實驗上證明之。加入此種關聯，物理科學之種種不同的現象間之關係網殆已完全矣。然尙餘有一物，用盡許多努力皆苦其與他種物理學的現象不能發生關聯，重力是也；此蓋 Newton 遺留之物，至十九世紀之末已經二百年矣。最後所發見的重力與其他種種現象之關聯，乃二十世紀之在物理科學上的主要的貢獻之一種。

有一種可以視爲此等一切關聯之結果者，即彼新起的能之概念也，謂之能者，意即謂其爲作工所資的權能或能力；此種概念，在本質上純爲一種非物質的或抽象的，惟因其常伴隨着物質而備有具體的基素，且不能以一種與物體分離的狀態想像之。誠然，如所謂光能 (Light energy) 者，以此術語之通常的意義論，未嘗不似存在於空無物質的空間；惟謂其爲脫離實體的或抽象的能，則頗不可思議，因此有所要求於彼最後殘留的不可權物——空間之以太 (Ether)——以形

成一種準物質的基素 (Quasi-material basis) 或亞基體 (Sub-stratum)。

此種新概念即能之概念得有肥沃的土壤而發榮滋長，不久即得承認為一種重要與物質之概念相等者，而且物理學屢被定義為物質與能之科學。就哲學上論，此兩種概念顯然對立，若非非物質的，即不成其為能。似此能之概念之設定，正是判然分明的標出一種與前（十八）世紀之唯物論背道而馳的傾向。

在此種概念之發展途中定有與之並行者：此事頗有興味，樂得注意。所謂能之不滅原理，既可認為 Lavoisier 在前世紀所設定的物質不滅原理 (The principle of the conservation of matter) 之補足；而所謂能之關聯原理 (The principle of the correlation of energy) 即其種種不同的形式之互相轉變，在物質一方亦曾有與之並行者。Prout 曾於一八一五年提示，謂所有一切不同的原素無非氫之變形。此種教說，在當時自應認為非常進步，且後來僅在形式上加以一種修改，卒見採納於二十世紀焉。二十世紀雖然懷疑 Lavoisier 之物質不滅教說之正確性，惟至最近乃得一種擴大的新原理以代之，此種新原理兼含物質與能兩者在內，即所謂能之惰性

(The inertia of energy) 的一種教說也。

能之教說之系論中，有一帶着似詩的宏大理想之結果俱來者。此語人多認爲難信。在大衆之心中，以爲互相類似之物固無過於詩與算學；如我等所論的概念，即所謂熱強性 (Entropy)，即熱力學函數) 之概念，其一種高度的抽象性與算學性固可用一積分式以作其定義，固不似其姊妹概念即能之概念之易於想見。然如用積分記號所表出的詩此一類物，則其聯合適足以表現其不相應也。

自設定所謂能之不滅此種原理與認識能之種種不同的形式概可彼此互相轉變此種事實之後，不久又發見如此轉變時能之所作的工並非一一皆能相等；機械的功或電氣的能雖易完全轉變爲熱，而熱之倒變爲他種形式的能則僅有一部分可以實現。能一經改取熱之形式，即不再能完全恢復其原形矣。正似一儲蓄銀行，人欲存入多少之款，無不可以任意，而欲由銀行撤回其存款，則爲銀行之規則所限而不能恢復其全額。所異之點，在關於熱一方面無明白理由以規定此項規則耳。所謂熱力學之第二法則 (The second law of thermodynamics) 最初僅爲一種純粹經

驗的事實。稍一熟審，此種原理之結果即將以第一等級之一種問題呈示於我等之前矣。

能之宇宙乃一不靜的苦海。變形與復原，正如波浪之時凸時凹，連接不斷的互相交替；而依頃間所云，則變形成熱固能完全，雖然不能有完全的倒變發生。因此，宇宙之能之存在於熱之形式之下者，其百分率常在增大之中，必有一時——即使遠在將來——所有的能將全成熟之形式，而且無論何處之溫度將全歸同一水平。當達至此種狀態時，能即不能再行變形（以我等所知者為限——原註）矣。此時宇宙將成一酷似 Bethesda（在耶路撒冷附近之池）的大池，其水穩靜而無微波，非俟有某種影響發生而攪亂其水平，其所貯存的浩瀚無涯的無用之能不能復歸於有用矣。Clausius 稱此最後的事情為“Wärmethod”（熱之死滅——原註）；而所從導至此種事情之慘淡的退化過程，則 Kelvin 稱之為「能之散逸」（The dissipation of energy）。

我等諾狄克（Nordic）民族（條頓民族之住於斯干狄那維亞各國及德意志北部，不列顛北部者）之古代神話有云：將有一時代到來，其時衆神與衆人將同沉入長睡之中，且安靜而無夢；其時無論居於 Asgard 城（天上之衆神所居的衛城）中者，或居於地上者，概將為日暮、為昏晚、

爲長夜所侵襲。從前日耳曼人稱此爲“Götterdämmerung”，即所謂「天神之日暮」(The twilight of the gods，意謂世界之末日)也；Wagner有一歌劇，卽有感於此而作者也。如果我等願用詩的語言而不用科學的語言以表說所謂熱力學第二法則，則我等無能出其右者。今將所謂“Götterdämmerung”譯成物理學者之專門語，其意卽謂：「宇宙之熱強性傾向於極限大，而其有用的能則傾向於極限小。」

既然如此，則前望將來，顯見宇宙之活動爲其接近停滯之一種條件矣；然而回顧過去，此原理又何以告我等乎？時代愈前，則以熱之形式存在的能之百分率當愈小，定有一時——雖然爲期頗遠——竟無一些取熱之形式的能存在。果必如此，抑亦會有些須之能存在於熱之形式之下？若依後說，則彼載在法典上的熱力學之第二法則乃必須遵守而不能違背者也。若依前說，卽宇宙之呈現於吾人之前者，譬猶一已經上緊發條而暫時不許動彈的時計；然而一經解放，終必嚴格的遵循其自己之法則行動不休；且於各各時間均自行聲明一種不同的光景。早晨爲萬象初開之新鮮的黎明，其時曉星合唱，凡爲神所眷顧者無不歡呼。今當正午，有生活，有動作，且有快樂與苦痛；及乎日

暮之晚景到來，即爲“Götterdämmerung”，其時能之不靜的波浪將平靜如死，永在黑暗的水平中。美哉如詩，此表說也——然而吾人心中尙覺有所不足焉。吾人心中尙不能視吾人之宇宙之此種律動的週期的活動如一顛簸線之端與一漸近線之末之中間所夾者，祇能視吾人今日發見自己亦在其內的此一部份僅如某一大正弦曲線之下行斜線之一段而已。吾人心中祇見及漸行接近此極限小之後將至一新上行斜線之端——漸行接近此天神之日暮之後將至一新早晨之黎明——雖然回顧過去，見至彼極限大之後乃至其前一舊上行斜線。

我等用如此的方法以觀察此種題材，或許錯誤。或許我等所習見者不外暗與明、夜與晝、夏與冬、播種期與收穫期等等有限的律動與週期，因而不知不覺的依照此等標本而模造出我等之全部思維方式。亦許我等不誤。此種事實，在科學上常留有懷疑之餘地，彼懷疑者不承認所謂熱力學之第二法則能隨時皆真、隨地皆真；彼視此法則僅有暫時的、局部的意義，僅爲一種有條件的即在我等之直接的空間、空間之範圍內乃能通行的敘述；彼所見到的條件正反乎此，即是，必須曾在過去任何時間能通行，亦在將來任何時間能通行者，不但如此，在此同一時間更須在宇宙中之任何

處所亦能確保其支配權者。如此的提示有兩種，即唱自十九世紀之大名鼎鼎的兩位先生——Maxwell 與 Arrhenius 者也（註十五），然此一困難之最終的解決，尙待至二十世紀焉。

（註十五）Maxwell: *Theory of Heat*, 1875 edition, p. 328. "On the Limitations of the Second

Law of Thermodynamics."——See also Garnett and Larmor: *Encyc. Brit.*, 11th edition, Vol.

IX, p. 401b.——Arrhenius: "Das Werden der Welten" 1907. English translation, "Worlds in the Making", 1908.

Maxwell 之所從導出其解決者無限微小，即所謂氣體之分子論（The molecular theory of gases）是也。雖可認其帶有形而上學的氣味，然固可認爲氣體理論之一種嫡出的演繹，（舉例言之——原註）亦無異乎所謂一個分子之平均自由動徑之計算也。Maxwell 以爲此熱力學第二法則所表現的下坡的動作，因缺乏一種指導的知識而似馭馬者脫韁時之馬之動作，無法駕馭。彼於是給以一種十分敏銳的知識與一種十分精密的教導，而指示若何處置，若何整理簡單的分子，（自 Maxwell 以來，我等在此方向上所經的行程不短——原註）今日因而能使此法則

所表現的動作逆行，能全行取出一團氣體此一半部之熱而以此增大其彼一半部之溫度，能使熱亦上坡而行，能將時計之發條重行上緊，能將我等自身置於上行斜線之上——而全不違背所謂能之不滅此一原理。

一種在我等所想像的等溫度之下的氣體，其中各分子之速度並非一一相同，而此等分子之種種不同的速度可從一種逼肖人所熟知的確率曲線的分配法則而類聚於一個平均值之下。此一安定的均衡之條件也，以有此一條件，各分子之因種種可能的角度之傾斜的衝突而生的種種速度之交換的分配終不能不復原。此事全繫於不等速度此一系統之有安定性上。假使我等有某種方法能將一種氣體中之運動較速的一半分子與運動較遲的一半分子分離而成兩組，則此兩組之分子將即刻各自再行平均分配其速度，一組之平均值必高於他組。如此，則我等可從一團在等溫度之下的氣體而產生出兩分團，其一較原團熱而一較原團冷。

Maxwell 擬將一種氣體分作 A 與 B 兩區，中間隔之以壁，此壁散設小門甚多，每門各掌一關節，或者如彼之古雅的措詞，謂為「守護神」，聽候命令而開其所守之門，每開門一次，則 A 中之運

動較速的一部分分子率先逸出，於是復閉門以防守彼較遲的一部分。同樣，專使彼較遲者由B通至A。如是，則不費幾許工夫而可將此原組之分子篩出兩種，其較速的一種積聚於B區而較遲的一種積聚於A區。彼所提示的此種計劃之永久的價值，實在其指示出此熱力學第二法則並無何者爲其專用的要件，其所施行者頗有幾分與彼（牛頓之）運動之第一法則相似，祇缺乏一種偏向力（Deflecting force）耳。

至於 Arrhenius 之提示，則爲避免彼威脅宇宙的停滯之故而不求此掌守關節者之干涉。其提示從一種非常巨大的研究導出。Sturlet 之關乎地球外殼之岩石之放射能的勞作曾導至一種結論如下：假使有放射能的物質以同一的比例遍行分配於全地球之體質中，則所發生的熱將較今日由全地球表面放射而消費者約大三十倍。於是闡出兩種論點：我等可以假定所有有放射能的物質祇限定在從表面至深約四十哩處此一層中；我等亦可以想像此等物質均等分配於全地球中，惟因有某種理由，其在更深處者則不活動。依 Arrhenius 所提示，則在地球內部的壓力遠過於在實驗中所可得而知者，其巨大洵足驚人，不但能束縛放射能之種種變形，而且能使之

逆行其變形。然而此種返老還童術之表演的本舞臺彼則設在大星雲之內部焉。

此問題之最終的解決，至二十世紀方得完成，雖然十九世紀之 Boltzmann 所完成的勞作已立其基。從 Maxwell 所提示的思想途徑更向前進，Boltzmann 指示此第二法則之實在的根基祇可認為確率之一，其以氣體理論所設定的安定條件特為一確率較大於其他條件者耳，今日與今後自然不能無其他條件發生也。

其在實際上作一種實驗的論證者則為 Spedberg (註十六)。因分子為在顯微鏡認識之外者，如其速度，在理論上雖以為可見，實亦不能認識，彼於是改用膠質之微分子以代之，蓋以膠質微分子之擴散仍服從真正分子之擴散法則，可視膠質微分子為一種大分子也。在顯微鏡下觀察金之膠質的溶液，其一種甚小的部分亦顯現於其視野中，彼能在一定的間隔中點計彼顯現於此場所的膠質微分子之數。誠如所豫期者然，彼發見其數隨時變動，偶然或落至零，在此過程中，此等微分子必有一次向密度較大的區域實行擴散，此即所謂上坡也。當然，在氣體之擴散中亦有與此相同的一種活動可以無疑，不過其規模甚小，我等不能在實驗上區分出某一區域之溫度（或密度——

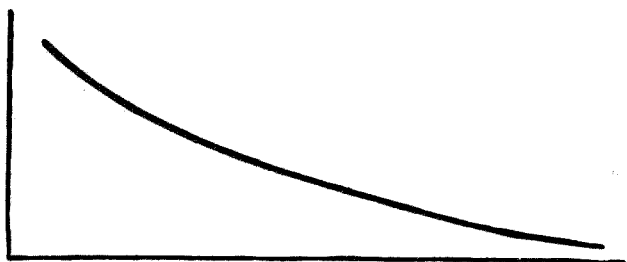
原註) 高於或低於其鄰近區域之溫度耳; 且欲求一條條件能在大至可以認知的規模上呈出一種不同的溫度者, 依照確率之理論, 亦非經過一莫大的時期不可。

(註十六) Svedberg: Colloid Chemistry,

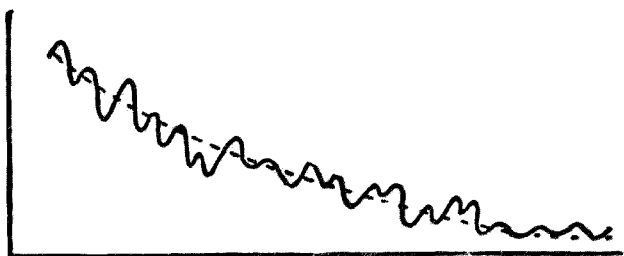
A. C. S. Monographs, 1924.

而以此應用於熱力學者則爲

Lotka (註十七), 彼曾指示謂如第一圖所表示的自然之最大曲線及其漸近的最終條件——停滯, 不若視如第二圖所表示者, 依確率之理論, 其小波動尙有永遠如此繼起以至無窮之可能。而且愈小



第一圖



第二圖

則愈不重要，蓋以吾人與之交際親密的宇宙之此一段落，通乎地質學上之一切時代，無不可以列在其中一波動之下行斜線上也。

(註十七) Lotka: *American Mathematical Monthly*, March, 1924; *Science*, June 14, 1924. — See

also Smoluchowski: *Phys. Zeit.*, 1912, p. 1069; Schaefer: *Einführung in die theoretischen Physik*, vol. II, p. 477-486; Heyl: *Scientific Monthly*, July, 1924.

簡言之，十八世紀所成就的大事業可以撮要如下：其所受的遺產之關聯，其經長途跋涉而達到的能之概念之設定，以及其必然與十八世紀唯物論背道而馳的一種結果。並不因此非物質的能之概念而搖動物質之概念之位置；正是相反，撇開十八世紀所結合於物質的不可權物，如果有不同，物質反因此而益成其為物質的，而且一般認為科學神殿中雙柱之一。

十九世紀曾費極大的注意於所謂物質之構造 (The structure of matter) 此一問題。其所成就者僅居上面所述諸大事業之次，因其設立在所謂原子論 (The atomic theory) 上，有一種穩固的根基也。原子久已為人所認識；所謂物質之原子的構造亦早見信於 Newton 與 Boyle

然而十九世紀初之從事於此的 Dalton 獨以原子論之父見稱於人。試問彼果何所作爲而有受此稱號之權利？彼曾爲十九世紀造成一種特徵，即是：彼曾建立定量上之理論。

Dalton 導出所謂原子量 (Atomic weights) 之觀念，即謂各種原素之原子各有其一定的原子量也。彼以種種不同的氣體在水中溶解性爲根據而從推理之一條歧路導至此種結論。依彼之說明，則各種不同的氣體之溶解性所以有此差異者當歸因於其分子之形有大小之差異。其在水中易於溶解如氨及鹽酸者，則因其分子小而易透入水分子間之空處故也。別種氣體如二氧化碳之溶解性有限者，彼則認其分子頗大，其中僅能偶有一二覓得孔隙而滑入耳。至於完全不能溶解的氣體，彼則認其分子爲最大者。由是導至所謂一定大小即原子容 (Atomic volumes) 之概念，更由此一條捷徑至所謂原子量之概念而認爲各實體之特徵。於此，彼又發見一種豐富的概念，可以說明許多關乎定量上的化學的結合，而且導彼申明其所謂定數比例與倍數比例之法則 (The laws of definite and of multiple proportion)。

然而，如果各種原子有一定的輕重與大小，當然不能不問：各有若干大，更有若干重？此乃直接

造成本（十九）世紀之定量的精神的一種問題也，而其解答亦頗得當，當時所估定者，即至二十世紀依然不能發見其有重大的錯誤。自 Dalton 於一八〇三年宣佈其所發見的原理之後，不久即於一八〇五年先有 Thomson Young 第一次在定量上估定一個分子之大小（註十八）。彼實驗浮於水上的油之薄膜而達到一個分子之半徑等於 10^{-8} 厘米。此種結論，其後八十五年，Rayleigh 亦用同一方法以作實驗，證明此為一種確實的結果。

（註十八）Young: Phil. Trans. Royal Society, 1805. Quoted in Encyc. Brit. 11th edition, article Molecule, p. 656.

當十九世紀之際，原子之形狀與構造實為一個大費思索的論題。Kelvin 於其臨終時有言，謂曾經多年彼無日不着想於此事。實則時機未熟。當尚未達到某種完滿的圖像以前，在此種發見之途中所成就的許多事業，無非為二十世紀作豫備者也。

一八九五年，就科學上論，可云十九世紀既已告終矣，而 Roentgen 所稱為「一種新光」（A new kind of light）者適於是年發見。有一宗稀奇的事實，即是：不知自何年起，有一種奇妙

的悲觀主義普遍的傳佈於物理學者之心中，迄今猶然。所有物理學上之大發見無不形成此種主義之信仰；卽至將來，科學恐亦不免爲其一種殘餘物，爲其一種遙小於現時的託身所，爲其一種間接的影響。惟是於此至少亦有一令人欽仰的例外。卽是：Looge 於其一八八九年所發表的 “Modern Views of Electricity” 中公然以樂觀主義者自居，實可認爲突破記錄之舉。彼云：

一、在物理科學上，現時乃一驚人的活動時代也。每月一進步焉，每週一進步焉，且幾每日一進步焉。彼過去種種發見之微波自起的長流匯合而成一巨浪，至此巨浪之頂點接近目前，人始認知洪流頗有泛濫之勢。於是憂心如懸而發熱疾，殆無時不覺痛苦。人恍如一孩童長在一委置不用的風琴之靜默無聲的鍵盤上亂按，鍵每按入箱中，卽有一種不經見的力嘯出一種活潑的聲氣，彼於吃驚之下，發覺一指觸動足以引出感應音符於是暗中躊躇，半喜半懼，蓋彼今既能任意鼓動其聲，又恐彼自己之耳將爲所震聾也。」

後於 Roentgen 之發見六年，卽有所謂放射能 (Radio-activity) 之發見隨之，此巨浪之頂點已湧至我等之前矣。我等當其碎浪激濺之衝，自無不拚命掙扎以保一立足地，有人至無可奈何

時而握住草根不捨；其餘一班失卻立足地者，則盡其所能而泅於水中，待至海水平靜時，其必將發見一穩固的新地盤也無疑。

第二篇 二十世紀——希望之世紀

雖云二十世紀僅閱四分之一（本書爲一九二五年所作），然其在科學上之成績堆陳目前，欲評論之，當費一番雄辯，我等於此一世紀之一部分所當費的評論時間應較對前兩世紀之每一全期所會費者更多。二十世紀固尙未曾產生與能相當的何種概念，然而時機已熟矣。本世紀方在青年時代，已經完成不少事業，而期待於彼，希望於彼者正復不少也。

二十世紀既已在物理科學上有三種第一等級之貢獻，即所謂物質之電氣論（The electrical theory of matter）——所謂能之惰性教說亦含於此——所謂量子論（The quantum theory）及所謂相對性理論（The theory of relativity）三者是也。

十九世紀末期所流行的對於電氣之本性的觀念頗爲曖昧。當時有若干人視電氣爲一種本性不明的獨立的實物者，其餘則多設想其爲空間之以太之一種狀態或條件，因而亦爲能之一種

形式，與光立於同等地位焉。及其末年，我等之觀念始傾向於一種比較分明的一定方向，即是趨向電氣與物質兩種概念之關聯上。

第一步向此種關聯進行時，人已認識下述事情。一運動物體受有一種電荷時，則表出此種電荷所生的結果。一似此物體之質量增加；換言之，即一種電荷占有在運動中的某物時，與物質之本來的惰性無別。由是生出此一問題：此物體之全部質量可否如下以說明之？物質是否一種電氣的現象？當然亦不能無與此相反的思想，認電氣僅為物質之一種狀態或條件；惟至二十世紀初年，則第一種觀念已見勝利矣。人已認物質僅為一種電氣的現象矣。

在此電氣與物質兩種概念間之關聯會導我等至一種格外滿足的意象，即二十世紀之大難索解的所謂物質之構造之意象也。我等之現成的觀念乃一種漸次生長者，如追尋其發展途徑，或許較我等所能舉出的近世理論之其他事例更易解明。其最初所作的一種略圖或粗率的臆測，雖能適合一二與之有關的主要事實，然以之說明其他種種事實則每見失敗。於是此種模型或被廢棄，或被修改而別發見一種更覺近似的略圖，而在此轉向中亦同樣發見其缺點。從構成此等有缺

點的模型之實驗中，自易得到比較完善的種種其他計劃。如此一種過程，實與見於人類之其他活動途徑上者無異。

初次提出的一種原子模型 (Atomic model) 爲 J. J. Thomson 所提示者；彼想像原子成於一正電的球體，其中含有一個或一個以上負電的電子 (Electrons)。一個受拘束於此閉球體中的電子，能以一種確乎不易的一定振動次數附此閉球體之中心而擺動，依所採取的理論，如此則生出一種一定波長的光波。且能以此說明 Zeeman 所發見的一種奇異的效應，即在一強電磁場中，一種灼熱的氣體之分光線又分裂而成兩條、三條或更多的組織成分也。然以此說明 Stark 所發見的同樣的效應，即其光線在強烈的靜電場中如此分裂之效應，則見失敗；又以此說明 Geiger 及 Marsden 所發見的事實，即有放射能的實體所遺脫的荷正電的微粒分子時時因與物質之原子衝撞或接近而起大至九十度之角的偏倚此種事實，亦見失敗。蓋因如此一種偏倚需要一種力之發展，而 Thomson 原子在計算上並未表示其能產生此一種力也。彼正電的球體並非十分稠密足以產生所要求的效應者，其困難之點在此。

爲欲克服此種困難之故，Rutherford 將此正電的球體壓縮至一種直徑非常之小者，假使許如是云，如此則未免疏外其從前所含有的電子而冷遇之矣。彼於是想像此等電子爲環繞其中心核而周轉者，其情狀儼如一小行星系然。如此一種布置固可以說明在衝撞時所察見的此種大偏倚力，然以此說明前一模型（即 Thomson 模型）所已經完成的一事則又失敗；因其不能射出一條顯明的單色分光線也。縱然彼環轉於其核之周圍的各電子射出光波而喪失其能，在彼 Thomson 原子中，此僅縮減其往復擺動之振幅而未變更其週期；而在此 Rutherford 原子中，則隨其電子等之圓運動而能有喪失，即謂其圓之直徑之減小必然生出其擺動週期之加速與其波長之縮短此種結果也。因此之故，Rutherford 此種模型僅得短期的生存。

此種原子模型之得續行提出也，當歸功於 Bohr 之靈巧；彼保存 Rutherford 原子之大概的輪廓而添填自己之一定的形貌，遂成今日所有一切計劃中之最佳的一種模型焉。此模型之在適合物理學的種種事實上的成功不見安穩。雖云其所從出發而達到此種成功的一定前提全然與其前所採取的觀點前後矛盾，然 Bohr 自己亦未曾爲不適宜者提出何種辯護也。此等前提中

之最革命而最難辯護者，則謂如此環繞其中心太陽而周轉的電子——不問所採取的理論若何——決不放射些須之能，其如此的放射僅起於電子由此一軌道躍至彼一軌道時此一前提。

此種前後矛盾，我以為在我等不甚重要。無人不知——Bohr亦然——我等尙離最終一種完備的模型甚遠。現時攻擊之方案似不着眼於基礎的前提而着眼於實用的結果。我等欲構成一種模型可以適合於任何一種自然的事實者，必至我等審查所有基礎的前提——能與自然之所必要者調和時，我等始能發見之；蓋以所當說明的事實如此繁多，所當滿足的同時並起的條件如此紛紜複雜，所謂唯一無二的最終解決實難能者也。

雖不能不承認其為不完備者，然 Bohr 原子曾經自行證明其在實用上之成功最可注意，特別在其能與所謂元素之週期系 (The periodic system of the elements) 之非常錯雜而又幾分不規則的種種要求適合此一事實上。於此，Bohr 之理論按着有規則的，整齊的步法進行，其囊中滿裝着種種元素，每行一步，則落下一種元素於所謂週期律 (The periodic law) 中之相當的區分上；當其達到變則而緊密類集的稀土族 (Family of the rare earths) 時，則暫停其

前進的邁步而細心的落下各種稀土於各各相當的地位，於是再續其整齊的步法如前，而落下種種元素於一定的間隔中，依然毫無阻礙焉。如此一種進程序，豈特不見安穩，竟之有如 *Wheth-*
ed 所云，神出鬼沒！

自十八世紀之唯物論以後，物質概念之從屬於電氣概念此一事之歷程又標出一第二冗長歷程，此一歷程之長，實與十九世紀導出能之概念彼時所歷相等。

又有一雖然較長而居第三的歷程，即至二十世紀方為 *Einstein* 所指出的物質與能酷似此一事之歷程也。此種教說以所謂能之惰性此一名稱見知於人；當 *Einstein* 最初發表此說時，曾認為所謂相對性原理 (*The principle of relativity*) 之一種結果，惟至後來，彼又表明此為 *Maxwell* 之電磁理論之久未為人所認識的一種系論，想無較此更為古典者矣。此種原理主張能亦同於物質，具有惰性；當一種灼熱的物體在射出光與熱而逐漸冷卻之過程上時，其能即見喪失。今已久認惰性為物質之兩種明確的性質之一種矣，其他一種，則重力的性質也。當 *Kelvin*

提示物質之原子可認為以太中之一種渦輪 (*Vortex ring*) 時，此兩者均經嘗試以求此假說

得到滿足。欲表明如此一種之輪具有惰性，固非難事；惟於重力一方，事情則不如是簡單。此事已經失敗矣，藉最優的數學者一方之努力探索不能表明 Thomson 原子一方有些須受重力吸引的器量；而因在此一點上已見失敗之故，所謂渦旋原子 (The vortex atom) 者遂爲人所廢棄矣。

此兩種明確的物質之性質已爲二十世紀所毀滅；而在此兩方執行死刑者均屬 Einstein。彼不僅宣布重力非一種物質的性質而爲一種空間的性質（後將詳之——原註），彼並且剝奪物質之一種獨立存在的地位而揭露其僅爲惰性之一種狀態，此兩者間之差異，即物質爲靜的而能爲動的也。關乎此點，以後當再詳述。

Einstein 之從彼古典的電磁理論而至所謂物質與能間之關係的演繹，可以於此簡單一敘。Maxwell 宣示有理由可以豫期光至某一表面必將奮發一種壓力而與此表面而衝突，而此種壓力則等於以光之單位面積計算的能焉。此種壓力雖甚微小，然其定性已爲 Lebedev (註十九) 所探得，其定量亦爲 Nichols 與 Hull (註二十) 爲 Gerlach 與 Goltz (註二十一) 所測定矣。由此不言而喻光亦具有運動量。不謂延及三十三年，竟無人注意其亦當具有惰性也。

(註十九) Lebedev: Cong. Int. de Phys. Paris, 1900 (2), p. 133.

(註二十) Nichols and Hull: Phys. Rev, 13, p. 307; 17, pp. 26 and 91.

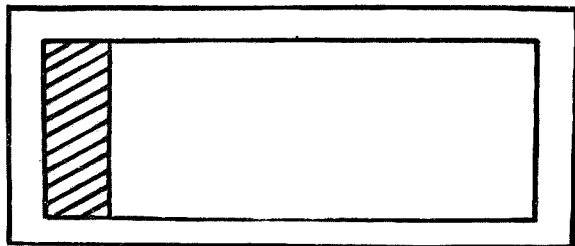
(註二十一) Gerlach and Golsou: Zeit. der Phys, Vol. XV, 1923;

Science Abstracts, 1923, Abstract 1840, p. 737.

Einstein (註二十二) 設想一兩端封閉的圓筒，其中有一可移動的活塞，如第三圖。令此活塞抵近圓筒之左端而置少許火藥於活塞與左端之間。假使此火藥炸發，則此活塞將被推送至他端。此活塞正發動時，此圓筒即將以一種加速度向左移動，至此活塞碰擊他端時又將為所中和。

(註二十二) Einstein: Annalen der Physik, Vol. XX, 1906, p. 627.

自外部觀之，似其全體稍移向左，有背力學上之所謂一系之惰性中心不能以此系本身各部分之交互作用而變更其位置此種原



第三圖

理。觀察者由是可以發覺其內部有活塞在焉。

Einstein 又想像同一圓筒而無活塞置於其中，其一端稍熱於他端。彼假定其較熱的一端射出一脈放射能至其他一端。依據古典的理論，則此放射能之發射作用將生出一種反作用在此圓筒上向左推進必至此能為其他一端所吸收時，此種反動方為所中和。以放射能之進行速度甚高之故，此種變動遂覺非常微小。

Einstein 謂我等於此兩種情境中均必假定能為具有惰性者，而其惰性且曾發生一種從此圓筒之一端至他端的實行轉移，否則我等拋棄所謂凡一常住的體系之惰性中心不能變更其位置此一定理矣（註二十三）。今採用兩者中之前者，我等可依彼古典的放射壓力之法則而計算之，即 9×10^{20} ergs（功之絕對單位，即物體抵抗一達因之力而移動一厘米之距離時所需的功也）之能等於 1 gram 之質量。此數為光之速度之平方，因放射能從此圓筒之一端進行至他端時之速度如此，故通用之。

（註二十三） Einstein: Place cited (reference 23), p. 633

在此種等量之常數與彼熱之機械的當量之數值間畫一平行線，亦非無益之舉。先年維多利亞時代之物理學者，或許視所謂熱之機械的當量為一種莫名其妙的概念，與今日我輩之視所謂能之質量的當量（The mass equivalent of energy）者無異，亦未可知。惟是彼輩實較我輩更有幸運，蓋彼方所用的每一 Calory 之熱所等的功為 4.2×10^7 ergs 此數，乃在實驗所能及的範圍內而有法測定與着手處理者，且亦一人所面善者也；至於此質量與能之對當比率如是之大，則遠非實驗的立證所能及，且其所引起的任何現象，今尙僅能以所謂理想之眼觀之。

今日測一物體之重量，至精者大約能及其十萬萬—— 10^9 ——分之一（註二十四）。其能達到此種精確度者則以重在一尅左右的質量為限，且必在非常小心調整的一定溫度所需的諸條件之下。

（註二十四） Heyl: "Gravitational Anisotropy in Crystals," Scientific Papers of the Bureau of Standards, No. 482, February 16, 1924.

既知的化學作用之中，以起於酸素（氧）與水素（氫）之間者最為活潑。設使我等以此兩種氣體之分子量作標準，而精細的測定其一種有炸裂性的混合物之重量，然後使之炸發，再使其

所生出的水冷卻而測定其（水）重量，則依能之惰性此種教說之要求，此水之重量當較原來兩種氣體之重量稍減，而其所減之額，則與所放射的熱能相當。依計算之所得，其質量上之差為五十萬萬分之一。

於是 Lavoisier 所設定的質量不滅原理要求與能之不滅原理連合而形成一種擴大的新原理。

此種實驗亦可逆而行之。設使我等將水電解，而卽在此電解過程中補充其能，則其所生出的兩種氣體之重量必較原水之重量增多五十萬萬分之一，此額正與所補充的能相當。此種實驗投出一種暗示的新光於不久以前人所視為完全不可權的潛能 (Potential energy) 此一概念之上。

鋪至第四變質鋪——再下一種，停頓頗長——之變化約須二千六百年。在此期間，每一克鋪約發出 1.1×10^{17} ergs 之能，從而其重量亦減去一萬分之一，以一年論，則約減去二千六百萬分之一。此數在我等論及實驗上所必要的實用條件以前，似尙有前途可望。就今日論，一克之鋪，其量

已覺甚大，若云一妊，則實未之前聞，姑不論及尙有因此而發生的危險也；且欲保存鏷所分解的物質的產物，亦必求有一種容器，其厚重幾非此微末的鏷之重量所敢比較者，乃能中用。

轉向星學之領域中而求其例證，我等於此發見其因放射而損失的質量匪少；然於此等情境中所包攝的全部質量莫大如是，即費盡人類歷史之全期亦不足以發覺其有何變化。試舉吾人之太陽爲例，其所放射的能充分之大，因而其所損失的質量每秒鐘有四百萬噸左右；然其全部質量如是大，實能維持如此一種消費額至數十萬萬年之久也。

在物質之概念與能之概念之如此同一觀中，我等又歷一十八世紀唯物論所歷的長途外之長途矣。在物質與能此種關聯之光照下，自然有所謂量子概念者發生；蓋因物質在其本性上若爲原子的，且僅爲能之一種狀態，則能亦當爲原子的也。

所謂量子概念，其本性實不外如下。將能作原子化而成不可分割的種種單位，各種單位之大小並非一一相同而爲其中最下者之整倍數。於此，我等難謂其非物質原子之回憶與 *Prout* 假說之復活於現代。加之，是等能原子以吸收於物質中與再行發射而其大小能由一種變成其他種

種，即我等在今日能使物質原子變形，亦不及其完全也。

雖云可認此（物質與能之關聯）爲所謂量子論之自然的起源，然就量子論誕生之歷史言，則非起源於此；蓋因其誕生時日實在本世紀之最初（一九〇〇年——原註），斯時人尙未識所謂能之惰性也。其誕生純然應乎需要。所有以彼主張能之連續吸收與連續發射的古典理論爲根據的企圖，無一不歸於失敗。彼由黑暗物體所發的放射之強度曲線，已明白無訛的在其長波長一端表示其與理論相背馳；而此種矛盾之解除，固未俟至 Planck 之設定所謂能任其本性上乃不連續者之革命的假定時也。

量子論之勝利情形如此，引而應用於比熱情形亦同。近百年來之老法則，即 Dulong 與 Petit 兩人所主張的各種元素之比熱與各自之原子量相乘之積不變（其常數約爲 6.4）此種法則，人已久認爲一種非常不精的近似值。有幾種元素——例如碳素——僅在高溫度時服從此法則；而在低溫度時，則各種元素無不表示顯著的懸殊。於此，亦與於彼放射曲線之場合同，此比例尺有一端與理論相背馳。Einstein 首先引用 Planck 所唱的能不連續之理論於物體分子之熱容

量。依其假說，則種種不同的分子所含的熱能，其額各有不同，或則極多，或則絕無。由是形成一種意象，頗為奇怪，謂在鐵之赤熱的塊體中，當有一種可感覺的分子微屑，毫不含能，一似其整個塊體在絕對溫度時然。此意似謂將五十個球隨意亂行分配於六十個箱中，必定有若干箱空空如也；然使此等之球已經細搗成末，則分配似更能一律普及。Einstein 所修正的原子熱之法則，已較 Du-Long 與 Petit 之原法則更逼近於實驗上之諸事實多矣；而後來諸研究者——Debye, Born 及 Karman 等——所得的近似值則尤精焉。

凡應用量子概念者，以導入原子模型中為最多效果。前此所見的 Thomson 之原子模型及 Rutherford 之原子模型，並以彼古典的能之連續論為根據，出世不久，即表曝其在適合物理學的既知諸事實上大無能力。至 Bohr 導入量子概念於其中，Rutherford 之原子模型乃獲得新生命。此包攝量子概念於其中的 Bohr 原子所特具的形貌，即 Bohr 所設的凡屬電子均不能從其所欲占居一距中心核有某種距離的某軌道而環轉於其上之假定也。僅有某某一定距離可以放任，餘則皆在禁止之列；而在可以放任的各種距離之軌道上環轉的各個電子，其所含有的能各為

某種基本單位——量子——之偶倍數。如此奇異而無保證的一種假定，今已證明其為最多產者矣；蓋其在說明種種現象上，已較尙為二十世紀所引用的別種概念大見進步也。

我等在星學之領域中亦許得見一種與此想像的布置平行者。彼土星之環，人既知其為各自散在的無數微分子所構成者矣，每一微分子為一微小的衛星，各自以其特有的距土星之中心的距離作週期的環轉。此環系中有無數間隔即空際，其間不見有何等微分子焉。此環系之向以縐紗圈（Crape ring）見稱於人的內部，且較其外部更稀薄而更渺茫。則其微子之分布於內部者尤為疏散，固顯然也。

人已久知此等間隔殆因微分子以種種距離環轉而發生，不問以何種距離環轉的微分子之環轉時期，非一種與土星之衆衛星——全居於此環系之外側——中此一衛星之環轉時期可通約者，即一種與彼一衛星之環轉時期可通約者。諸星學者莫不急於努力以求此種事實之因果關係。其一種初步的討論，以為凡與一衛星維持此種關係的一微分子，可豫期其將遭逢一種累進的擾動，終於引入一半徑不同的軌道中，而因其於此時不復隨彼紛亂的影響亦步亦趨，可豫期其將

久留於此移入的軌道中焉（註二十五）。又有一種比較精密的分析，其所示的解答則不見得亦如此簡單（註二十六）。後來 Goldsbrough（註二十七）之研究則不僅計及彼來自外部的衛星之影響，並計及所論的地帶中全數微分子之相互作用，因而達到此一種結論，謂不僅可以衆衛星中何者之影響說明此環系之間隔，且知其內部即縐紗圈在第五衛星——Rhea 之消耗範圍內，而其全環系亦當在最大的第六衛星——Titan 之一種微低的消耗範圍內。有一關乎此的引人興趣的事值得注意，即是：某一部分星學者相信彼等已經窺知此縐紗圈正向衰退或消耗進行。

（註二十五） Lowell: Observatory Bulletin, No. 63.

（註二十六） Tisserand: "Mécanique Céleste," Vol. IV, p. 420.

（註二十七） Goldsbrough: Phil. Trans. A. Vol. (XXII, 1921, p. 101.

對於此種說明，有一部分批評者反對其論定彼第二次所規定的作用時在其互及長久時期的量上之失敗尤甚於反對其解析之妥當性（註二十八）。此論題上之最後的言論為 E. W. Brown 所提出者（註二十九），彼謂發見週期之可通約性必然帶有軌道之不安定性云。此種理論以有下述

事實而尤見增重，即是在彼發見於火星與木星之中間地帶的小行星系中所得的情形亦與此相同也。據今日所已知者，則此系中之小行星爲數約在九百左右，乃一種足容所謂或然律自由參與其分配的大數也。然在此等地帶中發見某些地帶祇有少數其週期與木星之週期可通約的小行星，而某些地帶或竟無一如此者，此亦一種事實也。

(註二十八) Greaves: *Monthly Notice, Roy. Ast. Soc.* 82, pp. 156—359 and 360—367; 83, pp. 71—79
1922.

(註二十九) E. W. Brown: *Proc. Nat. Acad. Sciences*, Vol. X, No. 6, June, 1924, p. 248

在所謂原子行星系中，當然非嚴正的與上面所論者平行。於此，我等不能外向而必須內向。彼如今尚不知其構造的原子核以觀察之。假使原子核產生一種略不勻稱的指引力場，並使此種不勻稱處按着一定週期自轉，則我等可豫期其有一種累進的擾動可使所屬的電子勵發一種與核之週期可通約的週期。由是不難懸擬原子核之構造，當爲一端較重大於他端而全部圍着其質量中心自轉的伸長的啞鈴形，乃可豫期其能產生如此一種作用。此種布置與衛星之居於內部者相

當。惟原子中加速度之大遙非彼廣大而從容的太陽系中之加速度所能比較；有一種累進的作用可使一電子在千分之一秒鐘中移開其禁止的地位，而彼 Rhea 衛星之及於土星環系的消耗的作用則必須幾千年乃能奏效。在此一點上，令我等想起此星學所給予原子之科學的資助不啻一種遲緩的活動寫真之使我等能隨鳥飛也；不過於此我等可希望其寫真不至遲緩如此之甚而已。

量子論應用於種種方面皆見大有成功；惟亦留有不少矛盾未解。在（光之）干涉現象之範圍內，本多有為彼古典的放射論（The theory of radiation）所能妥為說明者。而欲於此給以一種滿足的量子之意象的企圖，則尙未見其特別有何成功也。雖亦可云此種期待未免太早，然固可見其大有困難存在也。依 Silberstein 所提示，則可視一量子如一連珠箭或波列，其長則許有二三呎；然 Lorentz 則促人注意於一定的干涉之實驗——例如 Michelson 就星之直徑所行的實驗——要求我等假定一量子當有六呎左右之寬此一事實。彼連珠箭之比喻，於此則用一葉波狀的金屬製屋蓋之比喻以代之。雖云有寬，然而一放射量子能在一瞬之間整個為目之矚子，不然，竟之為微渺的電子所吸收，自非將此兩事聯繫為一不可。毫無可疑，在量子論與古典的放射論間

之此種抵觸，終必因達到一種比較廣大的概念而告結束；而於此種概念中，彼兩種對立的理論均得視為其特別場合。

在二十世紀所給予物理科學的一切資助中，相對論自居於科學圈之人所熟知的最外圍；惟我以為在彼思想深入的物理學者，必定承認量子論所含有的在根本上之重要性實與相對論相埒，縱然不及其壯觀，或者亦不及其命運之短促。非謂在相對性概念一方無經久的重要資助也；此種概念曾有所貢獻於彼最後餘留在重力與惰性間之關聯，亦如其促人注意於三度空間(Three-dimensional space)之不足於用，並注意於我等有將所謂非歐克立德空間(Non-Euclidean space)之比較三度空間廣大的概念親暱化之必要。然而相對性概念既已開始露出其弱點，且其主要的指導意見中亦有若干既已開始踏入不毛的地段矣；而量子概念則雖老於相對性概念，固猶不失其肥碩與狀盛也。我等於此，將專就相對性概念之最主要的成果——其對重力之說明而論之。

我等試略述所記憶的 Newton 之關乎此的主張。以物體落下之因歸於地球所奮發的一種

引力 (Attractive force) 此種說明當然非始於 Newton。此種觀念頗與 Galileo 親暱；而 Aristotle 早已知之。即所謂平方反比律 (The law of the inverse square) 者，當 “Principia” (即牛頓所著「原理」) 尚未公表以前，亦不僅一人提出此種意見矣。Newton 之所特別給予此論題的資助，乃所謂重力之普遍性 (The universality of gravitation) 之觀念與證明也；彼認所謂平方反比律可據以充分的說明運動，首先說明月繞地球之運動，其次說明種種行星繞太陽之運動，最終，用一種正宗的外推法，說明此星宇宙中一切部分之一切運動。

自 Newton 時代以來，在物理學者所研究的種種現象中，重力久自立而成一類。其餘種種物理學上之現象，如我等所曾見者，無不急趨於統一。唯有重力仍自守其超然主義，斷乎不肯同其他一切物理學的現象親近。誠然，重力未嘗不與電、磁體之吸引有些貌似；惟除平方反比律外，則其類似之處消滅矣，蓋磁氣的吸引能用一適當的障壁以隔絕之，且亦因溫度之變化而大受影響；而在靜電學中，我等亦見有一種介在中間的媒介物之效應，即所謂電媒常數 (The dielectric constant) 是也。而於重力則不見有一種如此之物。曾行過許多實驗的工作，希望發見有何可使重力

發生變化者，然其所得者無非否定的結果。在 Newton 手上（註三十）以及後來 Bessel 手上，均曾用擺子實驗，依所指示，則重力為物質之獨立不羈的本性。而在 Bessel 之實驗中所達到的精確度，則在六萬分之一左右（註三十一）。此乃有興味而當注意的事，彼所用以試驗的實體中曾有隕鐵與隕石。不久以前，Fotius 更用振擺實驗，其精確度已至二萬萬分之一（註三十二）。新近在本標準局（即華盛頓標準局，本書著者供職於此）所行的實驗，則更達至十萬萬—— 10^8 ——分之一之精確度，並指示重力在地球之重力場中並不因何種結晶體之定向作用（Orientation）而有變化（註三十三）。此亦既知者也，重力非溫度之一種函數（註三十四），而且，不問新近有與此反對的某主張，儘可決定全地球之體質絕不發生一種可以感知的重力的障隔效應（註三十五）。除所包攝的體質及本系之空間坐標外，重力實非任何之函數也。

（註三十） Newton: Principia, Book III, Prop. 6, Theorem 6.

（註三十一） Bessel: Pogg. Annalen, 25, 1832, p. 401.

（註三十二） Eötvös: Math. und Naturwiss. Berichte aus Ungarn, 8, 1890; Beiblätter, 15, 1891, p.

688, *Annalen der Physik*, 68, 1, 1922, pp. 11-68.

(註三十三) 參看註(二十四)。

(註三十四) Shaw: *Proc. Roy. Soc., A*, 102, 1922, p. 46; *Phys. Rev.*, 21, 1923, p. 680.

(註三十五) Majorana: *Phil. Mag.* 1920, Vol. XXXIX, p. 488.——Russell: *Astrophysical Journal*,

54, 1921, p. 334.——Eddington: *Astrophysical Journal*, 56, 1922, p. 71.——Heyl: *Science*,

March 31, 1922.

今可將許多理論與實驗作一個純淨的歸結。當二十世紀初開時，我等所有關於重力的知識不外 Newton 所遺留於此者。認重力為物質之一種不可分離的性質，實則認為物質之明確的性質之一種。及 Einstein 出，於是無情的從物質掠奪其最親密而最純粹的兩種性質——重力與惰性，並將物質貶黜至從屬的地位而以之附庸於彼最非物質的一種概念——能。

Einstein 採取絕對的新立場。先前所有理論（曾有許多——原註）概圖說明有一種牽近彼被引物體的力存在，而且苦心經營的造出或多或少的機械作用以遂行之（註三十六）Einstein

則不然，否定有如此的一種力存在而不作如此補充機械作用之嘗試。彼之策略可謂優良；若無如此的力，可免許多說明；彼惟說明一物體當經過他物體附近時之由直線生出的彎曲而已。彼之作此說明也，既將重力與惰性兩種概念合而為一，並引出所謂彎曲空間之概念（The concept of curved space）焉。

（註：十六） Smithsonian Annual Report, 1876, "Kinetic Theories of Gravitation."

我曾云在物理學的現象間重力久已自立而成一類。若即認此為真理而為其所限，則人之眼光亦未免太短；蓋因 Einstein 已經指示同時分明別有一種與重力非常相似而可作同一敘述的現象也。此種現象即為惰性，特別為以人所認為遠心力（Centrifugal force）此種形式表現的惰性。遠心力既非溫度之一種函數，亦非向所謂物質者之一種性質，且不能用任何形式的障壁以隔絕之。然則遠心力實在與重力相似，亦僅為所包攝的體質及本系之空間（亦兼時間——原註）坐標之一種函數而已。

Einstein 非無實驗上之根據而漫作此種與人不同的主張也。依我等所見，則凡一物體之惰

性的質量與其重力的質量相等，至少亦成比例，此乃自然中之一種最正確的決定的事實；而欲於彼在惰性以外其他各方面均呈出感應不等之現象的結晶體中發見其重力上之差異，此種實驗之失敗，亦決定的使重力與惰性兩者同歸一類而其餘一切結晶上之性質別歸一類。在 Newton 法則之下，僅視重力的與惰性的兩種質量之如此切合的比例性或相等性為罕見的偶然暗合而在 Einstein 理論中，則以之作礎石焉。

Einstein 自己曾為重力與惰性間之關聯作一例解，最易使人明瞭。設想有一平面大圓盤，上面能載着一觀察者，一如在遊戲場中所見者然。假令此盤為一穹窿形大蓋罩住，則在其中的觀察者不能憑直接的觀察以辨別此盤是否旋轉。設想此盤初本停止不動。此觀察者在其小世界中到處行走，覺得任何一處亦無異於任何他處。然而，此盤一經轉動，則此觀察者直接雖不覺得盤在運動中，固知有異於前也。此時彼體驗出除盤之正中心外，任在盤之何處無不有一種力將自己向外投出；而其距中心之距離愈大，則其排斥之力亦愈大。絕無一種間隔物可以設於彼與盤心之間而使彼減小此力。此排斥力不依存於溫度而專依存於彼之質量與其距中心之距離。彼此時實居於

一種內外倒轉的重力場中。而在此盤外的觀察者，則能認識此種排斥之「力」爲惰性之一種純粹的表現，其變化全繫乎在由停止至運動此一系中的觀察者之坐標系。

此乃有味而當注意的事也，彼穹窿下之局勢尙可完全摹擬一實在的重力場。其排斥「力」本與其旋轉速度之平方成正比，因而同一圓盤可向正方旋轉亦可向負方旋轉；假使我等給此圓盤以一種假想的旋轉速度—— ω ——，則此觀察者所體驗出的力原來雖屬嚴格的惰性，今將變成一種向心的引力矣。

雖可謂此例解爲不完備，然固能助我等了解 Einstein 所謂一重力場等於一惰性場同由坐標之一種相當的變化而生此語之意云何也。惟是果須何種坐標變化方能十足表出一微分子所實現的三度的場？若實有如此一種坐標系存在，則其發見課程頗足令一般最有修養的算學家氣沮；然而 Einstein 竟以蓋世的勇氣而憑自己之直覺從事於此種課程。

於是發生一件奇事矣；僅有此極其細微的一線途徑，而藉其天才之直覺——我等可如此稱之以示公平——彼居然成功矣！彼發見一種空間、時間坐標之變換法，竟可以表出一物體在重力

場中所實現的物理現象較 Newton 法則更爲正確；Newton 法則在理解水星運動中之變則的微弱上已形失敗，而在說明光線經過太陽附近時之稀有的彎曲上亦不充分，此固爲 Einstein 所豫言而後來當日蝕之際又爲天文觀察上所證實者也。Einstein 之坐標變換法 (Einstein's transformation of coordinates) 所給予的法則，一方既能適合於此等稍與 Newton 法則相背的現象，一方又能完全剖白所謂可以一由變化坐標造成的人工的惰性場代一天然的重力場此種大膽的斷言。

再問此種不可思議的坐標變化之本性若何？我等別有一例解可資考究以答覆此一問題。

設想一無限延擴的靜水之平面；此面必爲二度的，有長、有寬而無厚。此面完全平坦，在其上所描寫的圖形之幾何學稱爲歐克立德的；此卽一三角形之三角之和必正等於 180 度，而通過一所與的點僅能作一直線與一所與的直線平行者也。然使此面非平坦而爲球面，如當眼界放大時所見的大洋水面然；則在如此一種面上所描寫的圖形之幾何學將與在一平坦的面上所描寫的圖形之幾何學根本不同，因而稱爲非歐克立德的。在一球面上，我等自然不能作一直線如原來所謂

直線此字之意義者，然依在歐克立德以後的兩點間之最短距離爲直線之定義，則亦未嘗不能作一直線；而此直線乃一大圓之弧，凡屬航海者無不知其如此也。有一普通用於如此一種描寫在曲面上的最短線的名稱，卽所謂 Geodesic line 是也。當然，其形像將依此最短線畫在何種曲面上及所取的方向若何而有不同。試舉例以明之，在一圓柱面上，從其畫成平行於此圓柱之軸者，或垂直於軸者，或傾斜於軸者，而此最短線可爲一直線，或一圓弧，或一介在直線與圓弧兩者之間的何形。

在我等所謂球面上，一三角形（此乃 geodesic 線所構成者——原註）之三角之和超過 180 度，其所超過的額則比例於此三角形之面積。向稱此額爲球面的超額（The spherical excess）。而在如此一種球面上，大圓之兩弧若均盡量引出，常彼此相交；此卽所謂通過一所與的點不能作一 geodesic 線（或「直線」——原註）與一所與的 geodesic 線平行（所謂平行，卽「不相遇」——原註）也。凡面之具有此等幾何學的性質者，稱爲「正曲率面」（A surface of positive curvature）。

有一微分子浮在如此一種水面上，若使之運動而不受任何一種力之作用如摩擦、牽引等等所約束，則將服從 Newton 之第一運動法則進行而附加僅限於取球面上所認為最短亦即「最直」的路線此一條件；此即謂凡在一曲面上運動的物體，當不受任何力之作用時，其自然的動徑必為一 geodesic 線也。

亦可以構成一負曲率面 (A surface of negative curvature)，在此面上的幾何學正與在一正曲率面上者相反；因在如此一種曲向負方的面上，一三角形之三角之和小於 180° 度，而通過一所與的點可作一條以上的 geodesic 線與一所與的 geodesic 線平行（即永不相遇——原註）也。如高脚酒杯之拈手柄，如馬鞍，如山岬，均可以作如此的面之一例。從歐克立德的觀點，在如此一種面上之 geodesic 線，乃一種奇形怪狀的扭線也。

總而言之若一種空間為歐克立德的則依此種空間所描寫的圖形之幾何學服從歐克立德之古典的種種公理，特別為所假定的通過一所與的點僅能作一直線與一所與的直線平行此一條公理。若依一種空間所描寫的圖形之幾何學與此一條公理不合，則此種空間可謂為非歐克立

德的。

我等今再回到先前之平坦的水面，試使之更作別一形狀之彎曲而成爲非歐克立德的。如能小心謹慎的操作，則一重如鉛、金等的物體之微分子亦可置於此水面而使之浮於其上。祇須避免穿破此面，即可使此微分子爲此不破的水面所載。而此水面彎成一似新月形的凹陷。於是見一模範的二度面在物質之一微分子近傍稍微彎入或凹入一三度空間中。假使我等將在此水面之彎曲部分所描寫的圖形之幾何學一加考查，即將發見其爲非歐克立德的負曲率之幾何學。在此面之彎曲部分的 *geodesic* 線將成某種曲線，然使將此曲線之任何一方向此新月彎外無限延長，則此 *geodesic* 線即將不能與一普通的直線分別，而此面之所有遠於此凹陷處之幾何學將成歐克立德的矣。

今再想像有一比較重的微分子亦如此浮着而形成一更深而範圍更廣的凹陷。在其遠處，即在此面之歐克立德的範圍內，想像更有一既小且輕而不易使此面生出凹陷的微分子沿着此面上運動，而其運動方向則使之通過重者之近處，即重者之凹陷之範圍內。此運動的微分子之動徑

初本爲一直線，及其入重者之凹陷後，即漸按合此一種空間而表出彎曲的 geodesic 形。假令此兩微分子之間無引力存在，則此運動的微分子將越出此凹陷之範圍外，而其越出後之動徑將復成一直線；惟因其經過凹陷時略有撓扭之故，其動徑之後來的直線部分不能與當初的直線部分一貫。此微分子遂永久偏向。

凡一架着 Euclid-Newton 式的眼鏡——我等可以如此稱之——以窺此微分子之運動的觀察者，彼因不能見此水面之曲率，竟云：「是矣，此輕微分子經過重微分子時，顯見其受一種引力以致其直線的動徑偏向。」然使彼若改用 Einstein 所製的新式眼鏡，則彼將云：「非也，我今已見絕無何種引力存在。純因此運動的微分子之惰性與其所經行的此面之特別的曲率相結合而使其動徑生出此種變化。」

易言之，即謂可用惰性與空間曲率之結合以代所謂重力也；而自可用適當的坐標系以作空間曲率之定義以來，曾有 Einstein 之等價原理 (Principle of Equivalence)，即所謂凡一天然的重力場等於一由適當的坐標變化而生的人工的惰性力場此種原理也。

此乃一二度面彎入一三度空間之例解也。Einstein 豫擬一四度空間亦將有與此類似的一種現象發生，在物質之各微分子近傍均將稍微彎入或凹入一五度空間中。有一種來自某星的光線，其所通行的幾百萬哩的空間均為一種離物質的物體遙遠因而成為平坦的歐克立德的區域。通過此種區域時，此光線之動徑本為一直線。然使其經程迫近太陽，則因太陽之大量的體質能致其緊近空間生出一種凹陷或曲撓而成為非歐克立德的區域，而此直線亦將撓扭而成一種按合此種空間之特殊曲率的 geodesic 線；及其復成直線時，則已有偏倚而與原來的趨向永異矣。

自 Lobatchevsky 時代以來，所謂四度空間此種概念屢為人所鄙笑而不容於物理學，而亦常捲土重來，今則見其固守有逾往日矣。

此種觀念廣續進展，遂至視物質本身即為空間中之會點（Cusp），即某度空間凹入較一度度的空間之凹陷）或曲率，而不視此種會點為一種物質的實在所占有的或致成的。依此種眼光視之，自易察知能何故而有惰性，物質又何故而轉化為能也。物質乃空間中之一種靜的曲率。我等雖不知空間於此皺摺中何所掩藏，然固想其將有開放時也。其時所發生的情形一與鼓皮初被扭

歪、初被放鬆時所發生者相似。此初起的凹陷即歪扭有如波漣之向四方散佈。於是靜的變成動的矣。於是物質變成放射能矣。

常聞此語，Einstein 理論已將所謂空間之能媒 (Ether，普通音譯作以太) 革職。固然可以革職；惟將其革職之後，豈不須用一相當的代行職務者？如果空間可以彎曲，試問何以不能震動？嘗有人云：所謂能媒者並非何物，不過為波動 (undulate) 此一動詞之主語而已。亦無須為便於彎曲計而假定空間實質 (Space material)。假使所謂空間曲率在某種意義上非無可解，則亦可以表明當有一種相反的曲率存在，而且，此兩種情狀雖彼此相反而終當相成。

Einstein 此種理論嘗被人加以種種惡名；其中有一最溫和者則謂其「反抗常識」。然而關於此論題，我等可別提出一種向為人所偏袒的定理於此聽候公裁，即重力——至少亦可云重力中心——定理是也；人雖承認此為正統派的、無異議的定理，如依文字說，則未嘗不可認為非現實的、背理的、反抗常識的，亦與見於 Einstein 理論中者無異也。當計算靜的機因時，我等固習以為常，假定一物體之總質量集中於其重心 (Center of gravity) 也。

諸君將云：「訝！然而，此亦祇爲一種捷徑，一種算學的虛構耳。諸凡物體皆有幾分似此的行動。人人知之。」

所言誠是，何以不寬宏大量的亦如此容恕 Einstein？何以不云諸凡物體皆「有幾分似」空間可以彎曲的行動，且皆「有幾分似」重力祇爲惰性的行動？此種假想豈不較往日所提議者更能與諸般事實切合？假使諸君願意，儘可視此純爲一種算學的虛構，全不須有任何物理的現實性在其背後。何謂現實？何謂真理？ Pontius Pilate（判決基督死刑的官吏）卽一哲學家。

以我思之，我等不僅「可以」而且「必須」用此種眼光考察 Einstein 之理論。我等已就此種理論之最有希望的方面盡情探討矣；我等並容認其竭盡能事矣。然其當講的故事尙多也。

相對性理論之最明白表現其人工性處，不在其論重力的部分而在今所稱爲舊相對論或特殊相對論的部分；此論發表較所謂重力相對論或普遍相對論約先十年，惟至後者刊行時，乃見完滿，乃告完成。Einstein 之此一部份教說，乃爲所謂 Michalson-Morley 實驗以及凡與此實驗同樣欲發覺我等所謂通過以太的絕對運動的企圖之否定結果所引出者也；其所以爲根據的

基準，則謂無論所能想出的何種實驗方法，均不能藉以發覺在空間中的絕對運動。從物理學的觀點論之，此種基準在移行運動 (Motion of translation) 似真；然在旋轉運動 (Motion of rotation) 則事情有別矣。假使地球封蔽於天衣無縫的密雲中，我等尙能藉 Foucault 擺子或迴轉儀以發覺其旋轉。對於此種論辯，相對性理論會有一種答覆；然而，有如 Eddington 所云，當論及旋轉運動時，相對性理論即停止對現象作說明而開始離現象作辯解矣。

彼相對論者對此之答覆，復嗅着來踪而回歸 Ptolemy 之星學。地球旋轉而包圍於相對靜止的星宇宙中，此固我等所習聞者也；乃彼相對論者竟謂地球靜止而天球旋轉！豈非向蒙昧時代大退步？是也，何嘗不可謂其大開倒車，假使其方程式中未曾表明中空的旋轉體顯將發出一種非常之小的力及於其中之物體。在一重而中空的旋轉圓筒內振動的一擺子，依 Einstein 所云，則其周圍將爲此運動體輕輕牽引而致有在旋轉之意義上的偏倚。此方程式並指示一中空的旋轉體內部之靜止系中有若干貌似遠心力的現象。

依數學論，可謂此理論已有一種答覆。然而此種答覆在數學上雖見完備，尙嫌缺少一種非常

重要的性質，即 Eddington 所稱爲「輻斂」(Convergence)者是也。

欲有此種非常微小的遠心作用發生，實要求有一種非常巨大的旋轉質量；此中空的旋轉體之半徑愈大，則所需要的質量亦愈大。假使所觀察的此及於地球面上的遠心作用當認爲出於天球之旋轉及許多恆星之質量之總和所賦予，則此質量之巨大必然遠遠超過所能容受的某種推想可及的估計。如非宇宙中黑暗恆星之數必常過於有光恆星，則我等必當以此作用之因歸於更遠亦自更大的質量。我等之清算期愈遠，則我等之償還額必愈多。在此種假說之上，此宇宙有如一座倒頂立地的金字塔。我以爲相對性概念於此已明白顯露其本性，卽是一個中無實在的數學空殼；在其適合事實之限度內自屬有用，及其不適合處，則無用矣。

如下面所指示，或將引我等趨至相對論者此條路線之極端。設有許多與地球相似的 A, B, C, ……等星體。假使此等星體之分立非至大於一光年的距離，則可認作其中實在有一星體居天球之中心。試想 A 星體顯出遠心力，而 B, C, ……等不然；則我等將若何說明之？我等若想像 A 星體正在轉動而其餘一概靜止，說明自簡單而容易；然而，我等若想像 A 星體靜止而天球在運動中，則

不如此簡單矣；蓋為避免有遠心力之結果產生於B, C, ……等星體上計，相對論者亦不得不假定此等星體亦在運動中也。似此說明，未免令人羣駭太陽光下無新物；蓋相對論者之始祖解釋周圍諸物體之顯然易見的運動時，早已用如此簡單而心滿意足的所謂「衆人皆醉我獨醒」(Every-body's drunk but me!)之說明也。

大如相對性概念之此等關聯的及同格的性質，亦不見得較所謂量子概念更可視為其路線中之最終的語言。然其在進步上實經過一段長途，且含有不少當永留於物理科學中而不能去者，即使我等可以豫期將來必有一日此種相對性概念見篡奪於某種較廣大且尤有力的概念。

有如一登山的遊人，彼在距離山嶺尚遠處可停步而回顧其所從來的途徑；彼更可盡其目力所能及，仰望其遊蹤所當至的前途，直至彼為雲所掩而不得見的最高峯。在如此不可思議的發見時代之勞作中途，我等亦曾停步而回顧我等所研究的科學在過去三世紀中若何進展而來。我等得見其在十八世紀架着唯物論者的眼鏡。我等得見十九世紀將其所受自十八世紀的遺產即種種各自分立的觀念若何聯繫結合而導出所謂能的此一非物質的概念；並得見二十世紀在其

所經過的短短時期中若何完成構成關聯之計劃，甚至進而將物質本身亦化成能之一種表現形態。能於是變成現代物理學之唯一無二的概念矣；任我等欲若何稱之均無不可，惟其不能謂爲物質的此一點則已成定案矣。假使死者之亡靈表現其感情一如其生存時之常態，我等固可想見 Berkeley 主教正含笑於地下也。

且更似彼遊人，我等亦豫先瞻望我等斯時尚未攀登的前途。我等即不能見到彼爲霧所遮斷的遠景，我等亦不必憂也。彼過去之經驗即我等之貴重的遺產。二十世紀不至爲誤入迷途之世紀，二十世紀尙在有希望的青年時代；然則我等以希望之世紀稱之有何不可？其將引導我等達至何地又有誰能知之？

發見之層接不窮的鼓勇前進也如此。久已相信所謂物質之構造一經了解，則宇宙所有一切不解之謎之總鑰已握於我等手中；然當此種難解事件初委我等手上的今日，我等對彼敵人所設於遠方的森嚴不動的堡壘亦祇可望而不可即耳。

揭開一幕復一幕，

幕後更有幕重重。

當我等已經克服最近的屬地並恢復其秩序之後，詎即不欲將進攻目的移至更遠之地？少堅決主張從此當轉移向外者；果當如此，又何以虛擲光陰而逗留不進？何不同時進攻其正中心而認向外舉動勝於向內？且如其所提議的進攻方向，既非缺乏嚮導，亦非不能充分得到「確實消息」（Straight tips）活力論（Vitalism）也，心靈力（Psychic force）也，一切種種情形神秘而朦朧似霧的概念，在我等皆曾收入以作掀開自然之秘密的鎖鑰。假使至今日而物理學尙公然不能認識如此一類的主張，非歸因於獨斷，即歸因於認此科學的大礙已經完全告成的一種信仰。物理學者自當首先憶及 Galileo 曾若何勸導當時一般學者用彼之望遠鏡窺視而彼等若何置之不理；惟彼當得憶及 Pilgrim (Bunyon 所作的寓言中之主人公，此寓言即名為 Pilgrim's Progress) 經歷 Vanity Fair 城時曾若何急急遣人四處訪購望遠鏡——或其他出名的玩具——彼於途中且若何堅守之，以彼念念不忘前在途次實藉以窺知一切危險而身獲安全故也。

職是之故，乃貴乎有科學知識之人士矣。歷數千年，人類之智慧才能滋生，其靈通敏捷即在今

日亦尙有不能過之者；亦歷數千年，此等銳利的武器互相撞擊，無有已時，其好作巧辯，好談玄理以及一切種種撲朔迷離的爭論所得的結果，較此區區三世紀中所得者則形無限之小，蓋在此三世紀中，人已用此等工具以對付自然本身也。以此，凡人之從事科學者，均覺得自己必須遵此確實的發見途徑作有組織的進行，不避艱辛以求吻合乎自己之利益，且循此課程漸進而要求一種十分廣大的眼光，一種十分真正的透視，一種能完全包括一切的把握，以從事於其量莫大而其質未經融化的諸般現象，而此等現象正有如在初等代數學中所有的過程，乃既已數見不鮮者也。如此，或可不待我等達到前哨，不待我等將列在我等後方者布置就緒而首尾相應，我等即能明白看出列在我等前方者有何可貴之物而攫取之也。

有一段合乎現實而形製優美的舊神話，就其趣味論，雖嫌太陳，或且太腐，然我固常認作一種合意的理論。我曾經多次以此指點我自己，無不滿意，如諸君不以我爲失禮，我亦將以此指點諸君。昔時有一犯人，罪情重大，彼被幽禁於一無窗門的獄室中，唯此室之東西牆上所開的門有一嵌着某種半透明材料的小格子，由此得有一種薄薄光明投入室中以救濟其黑暗。此外之三面牆

上亦各有門，門之形式各不相同。其南面一門則熱，不可捫觸，而室中藉其熱之輻射得以溫暖。其西面一門設有一小門，常閉不開，前面並詣置一堵石。此犯人已知之，彼假使（假使而已——原註）入睡，則此暗石必當掃開而將為彼準備的日用必需物置此，及彼早晨醒時，即可於此求而得之。其北面一門則最不可思議，門之四周發一種青藍色的螢光，從此光中拆裂出猛烈的火花飛至不謹慎者之前。

此犯人不自知其被禁於此幾久。彼所記憶的事件全不出乎此一獄室。在彼之處刑期中，彼曾費其工作時間之大部分製成一套粗陋的工具，而所用的材料則為室中破爛地板之廢材。彼日日坐在自己之凳上製造許多鎖鑰；因彼有此種希望——或有一日彼能製出一鑰可與此室中各門之一鎖適合也。彼費數週工夫造成一鑰，僅博得不適用三字；彼於是將此鑰投置一堆中而苦心孤詣的別製一鑰，此堆中已積有不少如此的廢鑰矣。

某夕，既疲勞，又失望，且氣餒，彼於是直躺於此室之地板上而伸手伸足的假寐。正入睡中，彼作一夢：似有一天使入其室中，彼由帶上取下一鑰，形製簡單，而以之投入此四門之鎖中，則無一不合。

此犯人於夢中又見此四門外圍着一條大鏈，由一門連至一門而環繞全室，因此，如非四門全開必無一門獨開。及此犯人醒後，試驗是否如夢中所見者，則見此四門緊閉如故。

此犯人於是轉至其凳上開始仿照其得見於天使手中的鑰式而新造一鑰。彼雖見之，然僅見其一瞥即逝的閃影，故心中僅存有此鑰之大體的樣式；至其細處，則彼已忘之矣。告成之後，彼一手顫着將此鑰投東面一門試之。

鑰轉動矣，縱然艱澀。轉至某點，彼用盡全力以使鑰通過鎖中之一齒；居然通過矣，門門退開矣。歡呼一聲，此犯人將門向外一推。

門開矣，僅開一縫，即有一種眩目的光充滿室中。此犯人閉其昏眩的雙目而用手指探出門縫捫之。其夢果靈；有一鏈攔住，門不得再推向前。彼大奮興，拔出此鑰而急以之投入南面一門；豈知鑰在此處僅能轉至中途，彼盡其能力試之亦不再動；於是此犯人回至其凳上，再忍心耐性以從事於鑰之工作。

經過多日工作，彼復如前將此鑰投入南門試之；此鑰終能轉動矣，而此門之推開處亦能見有

鍵纏着與前用手指捫時無異。

此犯人於是望望手中之鑰復望望北面之發藍色火焰而火星折裂的門，更環顧此室一周而自言自語云：「舍此室外，我不知更有何住所；我或不適合於他處亦未可知。」然而彼又試投此鑰於北門矣。僅轉一部分即不能再動；於是此犯人又回至其凳上，更忍心耐性以修理此鑰。

請看！正當彼勞作之時，忽有一道自外射入的爛縵華光通過此微開一縫的東門而照耀於彼之身上；彼心中大悅，且歌且製鑰焉。

