

中德文化叢書之六（第三冊）

864

五十年的  
德國學術

中德學會編譯



AUS FÜNFZIG JAHREN  
DEUTSCHER WISSENSCHAFT

中德文化叢書之六(第三冊)

五十年來的德國藝術

中德學會編譯

DEUTSCHLAND-INSTITUT  
Peiping  
Schriftenreihe, Band 6, Teil 3

中華民國二十七年三月初版

平

◆(01486C)

中德文化  
叢書之六  
五十年來的德國學術  
第三冊

每冊實價國幣壹元

外埠酌加運費匯費

編譯者 中德學會

發行人 王雲五  
長沙南正街

印刷所 商務印書館  
長沙南正街

發行所 各埠商務印書館

版權所有  
翻印必究



# 目錄

## 第三冊

算學	Constantin Carathéodory 喀拉脫窩多里 房 戴	合著	李仲珩達譯	六九七
理工的合作和公共事業	Walter von Dyck 戴 克	合著	李仲珩達譯	七一七
理論物理學	Rudolf Schenck 魯道夫·沈克著		文元模譯	七四
實驗物理學	Max Planck 馬克斯·蒲朗克著		文元模譯	七五九
工業物理學	James Franck 佛 朗 克 著		文元模譯	七八五
地體及其大氣之物理學	Jonathan Zenneck 徹 奈 克 著		文元模譯	七八五
化學	Hugo Hergesell 雨果·黑格塞爾著		吳劍西譯	七九五
地質學	Fritz Haber 哈 柏 著		魏以新譯	八二三
	Hans Sille 史 梯 勒 著		胡祖徵譯	八三九

礦物學·····	Gottlob Linck	林 高 隆	著	·····	楊鍾健譯	·····	八五五
海洋與地理之考查團·····	Albrecht Penck	朋 克	著	·····	劉衍淮譯	·····	八六三
海洋學·····	Albert Defant	戴 樊	著	·····	孫方錫譯	·····	八八一

# 五十年來的德國學術

## 算學

喀拉脫窩多里奧房戴克 (Constantin Carathéodory, Walter ~~Heinrich~~ ~~Heinrich~~ ~~Heinrich~~)  
李仲珩 珩 達

半世紀前德國算學的發展，全係少數人個別研究的結果。五十年來才打開這種各自為政的局面，而造成多數學者共同研究的空氣。他們不獨研究一個問題的本身，並且討論和他有關的科學。有了這個轉機，算學界才有今日的成就！造成合作現象的原因雖為複雜，主要的却不外下列三種：（一）由前人所得結果推出之新範圍，均須整理充實使成為有系統的科學。（二）五十年來自然科學和應用工藝特別發達，其須要算學的地方，比以前更多，因此算學家不能不研求適當的方法，以解決應用科學上諸問題。（三）原有純粹算學得着新的應用，亦足引起算學家研究該科的興趣。他們的努力，大都在基本問題上。經過這種研究，算學中公設的意義和重要才見明顯！十九

世紀下期，學者對於算學的基礎，不獨詳加討論，並且依假定的性質，分類研究。算學根本問題既經解決，純粹和應用算學的發展，不獨穩健，抑且容易多了！

上述各種情形，均足促進算學的研究和創造，這也不獨在德國爲然。很多學科經過多數學者同時的努力，和相互闡明，發展非常迅速。因此一種科學的造成，也就不能和從前一樣，說是誰個人的貢獻，而只能說是多數學者在短期內努力的結果！

1880年來德國算學進步甚大，想把要緊的發展，一一舉出，斷不是這篇短文字所能了事。現在且把最近五十年來德國算學家所關的幾條大路，略說一說：

單就外觀說，現代的算學已與五十年前的炯然不同，這種表面的變化，並不是受時髦和好向的影響，實在是因爲好些基本定理和說法（*Formulierungen*）的發現，這些定理和說法，有的是以前未曾爲人注意到的，有的是以前根本沒有過的。我們請先從點集論的緣起，和公理法的發展說起。點集論是康脫（*Georg Cantor*）的創作，經康脫個人的研究，已發展到完成的程度。雖說點集論所用到的，不過是數的觀念和亞里斯多德的邏輯，但他却是算學中理想的精華。我們倘若把

中古時代宗教哲學家聖安馬 (Thomas Aquinas) 那幾種近似的思想，丟開不談，那末康脫唯一的開路先鋒就是波爾察洛 (B. Bolzano)。當波爾察洛討論無窮集矛盾現象的時候，曾取各集依其所含元素的個數，加以比較，而引入二集等勢的觀念。這就是康脫思想的出發點，和他重下定義的原因。因為康脫學說非常普遍，便利，富伸縮性，所以點集論不獨變成了解決分析難題的利器，並且成爲科學中不可少的工具。

康脫的學說，雖說在 1870 年已大體成就，但這種學說起初僅爲法國學者所注意。1893 饒耳丹 (Camille Jordan) 1898 波列爾 (E. Borel) 更把這種學說採入教科書內，直到二十世紀初間，康脫學說才成爲德國學者的至寶。1900 年德國算學家協會請順弗立司 (A. Schönflies) 對於點集論作一報告，便是最明顯的證據。其餘關於點集論的詳細情形，以後有機會時，當再談到。公設的方法論，雖說起源於希臘的幾何學，但在十八世紀當微積分得勢的時候，方法論不獨爲學者所遺忘，並且遭大家的鄙視。直到十九世紀高斯 (Gauss) 波耳葉 (Boyer) 洛巴徹夫 (Lobatschewsky) 諸人討論幾何中平行公設的地位，公設方法才漸爲人注意。其後李曼

(Riemann) 在他著名的試講論文上更特別注意無窮 (Unendlichkeit) 與無限 (Unbegrenztheit) 的區別。以後蓋列 (Cayley) 克來 (Klein) 柏日居禮米 (Beltrami) 更由射影幾何出發，討論非歐幾何中的公設。但是這時候所討論的，還只限於平行公設。後來帕詩 (Pasch) 始進而討論其他各公設。與帕詩無關的希爾伯特 (Hilbert)，更研究各幾何公設的獨立性和相倚性。希爾伯特把原來的公設減少幾個造成各種「擬幾何學」。經過這種研究不獨原來的幾何，得到意外的真確，就是以前的缺點，亦補得天衣無縫。在他的名著『幾何學的基礎』(1900年第一版) 希爾伯特把公設學說得非常清楚，非常普遍。使牠在任何幾何中都能適用。其實公設是幾何中最基本的東西，必須有牠，算學家才能對於他所研究的東西，下嚴密的定義。公設的相容性，雖說前人已經注意到，但是公設的獨立性，直到希爾伯特才作精細的研究。希爾伯特舉出實例，證明甲公設不能由乙公設推出。他最大貢獻之一是他的完足定理 (Vollständigkeitsatz) 這定理說：點線，面所構成的系統在一定公設之下，無擴張的可能。這種公設學，不僅是運用算學研究物理時不可少的工具，就是在純粹算學上，也佔很重要的位置。

集合論，公設學和新算學的重要發展，實源於算學基礎的批評，這種工作，十九世紀即已完成，其後專家仍不絕的加以修改。

高斯深知基本意義之精確明晰，足使讀者對於算學易於瞭解。所以高斯的著作，都寫得十分嚴密，明顯，雖流傳至今仍足爲吾人法式。柯詩 (Cauchy) 對於基本觀念的注意，則更進一步。此後能夠用精細的推斷，把邏輯的嚴密，應用到分析學內，並且在研究講授時，能處處顧到邏輯結構的，要算是有獨無偶的外而史拉斯 (Weierstrass)。雖說外而史拉斯在 1865 左右，對於這方面的工作非常努力，但直到 1880 年後，大家才對於他的說法驚奇。但是多數的算學家，並未跟着他向這條路上走。因爲這時候德國大部分算學家，如蒲留克 (Plicker) 克勒布詩 (Clubsch) 奴曼 (O. Neumann) 克萊 (Klein) 他們都很緊張的注意幾何和代數的發展，而得到良好的結果。因此大衆的論調，不是說外而史拉斯矯枉過正，便說他的方法枯燥虛空。1871 他們更創辦『算學年報』與柏林學派所主持的『純粹及應用算學雜誌』對抗。這種對抗的事實，雖有歷史上的意義，但其結果並不妨害雙方的發展。現代算學各科的進展，不論是理論和應用，第一須研究該科的

基礎，第二須鞏固進展的步驟，第三要有新穎的思想，來開闢新的途徑，闡明各科相互的關係。雖說外而史拉斯的批評法，他自己能任用自如，並且經過他的研究，這種方法已大體成立，然而還須學者二十年的努力，才能刪繁就簡，成為算學家的至寶。在這方面不僅外而史拉斯親近的學生如史瓦爾茲 (H. A. Schwarz)，史託爾茲 (O. Stolz) 有相當的貢獻，就是和外而史拉斯毫無關係的滴波亞萊萌 (P. Dubois-Reymond)，色佛斯 (L. Scheffers)，哈爾拿克 (A. Harnack)，林格海姆 (A. Pingsheim) 也有很大的勞績。他們努力的結果，把分析變得精美正確，使以前僅為少數所注意的學科，成為二十年來德國大學生必修的課程。

當分析學經外而史拉斯和他的門徒的研究，充量的發展，並且日趨穩固的時候，還產生了一個很緊要的科學，這就李曼所創的形勢幾何學 (Topologie)，牠的發展，足使近代算學別開生面。有幾個形勢幾何上的問題，驟然看去，很像射影幾何上的問題。這種問題外拉 (L. Euler) 已經研究過。讀過高斯遺集的，一定知道高斯對於這類問題，曾用過許多的工夫。後來利斯庭 (Listing) 又把這些問題推廣到多維幾何學，單表曲面 (Einsichtige Fläche) 的發明者默比斯 (Möb-



(III) 又把這問題向羣論方面發展。然而能够知道形勢幾何和其他各科特別是和函數論的關係的却是空前的李曼。1870 以後，非利·克萊才把李曼形勢幾何的理想，普遍的了解。經過克萊的闡明，李曼研究函數論的方法才得到無上的威權。

在這時候廣大重要的羣論，也漸漸萌芽，嘉樂斯 (Galois) 研究代數問題，曾注意到方程式根的組合，造成一個羣。要研究這個方程式是否能逐步解決，只須討論這個羣的性質，便够了。這便嘉樂斯（以後饒耳丹）羣論的起源。1870 年後，非利·克萊在他的艾爾朗根計畫『新幾何研究的比較』內，復討論空間變換羣，和牠的不變量，並利用此種不變量的特點，把幾何分作若干類。克萊研究這種變換羣的時候，並發現兩種不同的運動羣。一種是綿續的，一種是不綿續的。在克萊的代數研究和梭佛斯利 (Sophus Lie) 關於微分方程論的工作內，他們更開闢了應用這種不同的羣去研究分析的途徑。羣論最要的發展，是從「有盡非綿續羣」進而討論「無盡非綿續羣」。其中特別重要的，是複元線性變換羣，和容受這種變換諸函數的研究。研究橢圓函數的時候，須把平面分作無窮個相等平行四邊形。推廣起來，我們亦可把平面分作無窮個圓弧多邊形，再去探求屬於

這多邊形的函數。高斯的遺集上，已經有這類函數的擬式。史瓦爾茲和福克斯（L. Fuels）也會跟着高斯的方向努力。以後克萊和波加勒（H. Poincaré）重新研究這個問題，經過他倆密切的通信，得着許多關於『自守函數』（Automorphe Funktion）的定理。這些當時無法證明的定理，以後都證明了。那時候單義化的問題發生，就是說無論那個多義的函數，不僅在某一點的附近，並且可以整個的，用二個單義函數表示。這個問題，一直到1907年才被波加勒和屈北（Koebe）用完全不同的方法解決了。這個問題所引起偉大的理論，足使形勢幾何的內容，更爲宏富。而把以前大部由直覺利用的形勢幾何，變爲嚴密的適合邏輯的科學。（參看外耳（H. Weyl）『李曼曲面的理想』）而形勢幾何也就成爲近代算學的柱石。

但是形勢幾何有趣的地方，不是因爲他和各種算學甚至於算學物理上許多問題有關，而是因爲算學上許多初淺的基本問題，必須用精密形勢幾何的方法，才能解決。譬如饒耳丹定理說：「單連面上的簡單閉曲線，把這面分成二部。」又如把這定理推廣到三維空間便可說：「單連空間的閉面把這空間分作二部。」這種問題雖說簡單，但是我們如注意到特別複雜的閉曲線和閉

曲面，便知這種定理不易正確證明。1910 布老爾 (Brouwer) 才把三維空間內的饒耳丹定理證明。不過有的閉曲面，雖是球面的連續影，然而這曲面所包的部分，却絕對不能用綿續變形的的方法變成球的內部。同時曲面的外部，也不能變作球的外部。又算學家常說，其一圖形是二維，三維，或多維空間的圖形，這句話的算學意義到底怎樣？這個重要問題，直到最近才有人利用布老爾，勒北古 (Lebesgue) 舊有的結果把牠完全解決。

多度空間的研究，要算是近代算學的特色。十八世紀拉格朗根 (Lagrange) 已經開始這種工作，但是集其大成的，却是格拉斯曼 (Grassmann 1894) 的『引申論』 (Ausdehnungslehre)。格拉斯曼思想的貫徹，却費了不少的時間。直到 (1894——1911) 他的全集出版，才引起多數的注意。其實多元宇宙的研究，不獨對於純粹算學有用，就是研究算學物理如力學，相對論，熱力學，氣體統計說，也成了不可少的工具。

算學發展的大勢，上面已經說了一下，至於各科的發展，則因篇幅的關係，祇能就其大概，略說一說。

自 1801 年高斯的『算術研究』出版，繼起研究的有古梅爾 (Kummer 1810——1893)

可羅諾克爾 (Kronecker 1823——1891) 和得得新特 (Dedekind 1831——1916)。經過他們的努力，數論發展已大致完成。得得新特把帝利希勒 (Dirichlet) 的數論講義，加了許多的附錄付印，竟成爲德國算學界最好教科書之一。此書不獨風行當世，並且發生幾十年的功效。以後數論發展基礎要，算是古梅爾 (1847) 的理想原理 (Idealtheorie) 和得得新特的數域論。代數數論原理，對於算學以後的發展，含有重要的意義。希爾伯特曾受德國算學家協會的委託，寫了一本，「代數數論原理」。這本書外貌似不過是對於原有的參考材料，作一報告，實則對於代數數域論，已有進一步的貢獻。以後富特文勒 (Furtwängler) 里克 (Hecke) 他們的研究，也就以這種進步爲基礎。

數論另一發展方向，和質數分佈問題有密切的關係。李曼在他的名著『在一定限內質數的個數』內指出近代數論的思想。李曼把這個問題和李曼的 (Zahlentheorie) 函數，連在一起。勞道 (E. Landau) 和他的學生，在這方面有極深切的努力。勞道想證明李曼的某幾種臆斷，雖說未能達到圓滿的結果，但他的努力和新思想，足使數論的大部，和函數論得着不少的進步。

近代算學發展的另一方面，是用純粹的幾何方法，研究數論問題。高斯已經從事這種工作，萊和他的學生基司特 (Gerster)，更用幾何的方法重新證明克羅諾克爾 (Kronecker) 的類數關係 (Klassenanzahlrelationen)，而加以擴充。以後布朗魯恩 (Brunn) 也在這方面努力。尤其普遍的是民考斯基 (Minkowski) 他把  $n$  維空間的凸體，看作基本的東西，由這點出發，創造他的「數的幾何」。這種學說，在分析和幾何方面的應用，日見重要。

另一有趣的研究，便是超越數存在的問題。就是說有一種數不能為整係數代數方程式的根。黑爾米特 (Hermite) 證明自然對數底  $e$  已為超越數後，1882 年林德曼 (F. Lindemann) 複證明  $\pi$  為超越數。於是自古著名的方圓問題，才得了最確的答案，就是說僅用圓規和尺來畫與圓等面積的正方形，是不可能的事。

一百年前，固為物理學上的需要，三角級數的理論，已漸萌芽。後來經過福利爾 (Fourier)，利西勒，李曼，外而史特拉，康脫 諸人的研究，三角級數遂發展成一純粹的算學。就是積分方程的發展，也同樣以物理為原動力。積分方程發源於阿貝耳 (Abel)，胡依痕 (Huyghen) 的短時間問題，直

到阿貝耳利用積分方程才得到圓滿的解答。阿貝耳積分方程的解，可以用一個完整的式子表示，和其他積分方程的解，要用級數表示的不同。阿貝耳積分方程在分析幾何和力學中都有很多的用處，譬如1806 黑格羅茲 (G. Herglotz) 利用阿貝爾方程解決『地震波的進展』問題就是。更重要的，有1902年福來和木 (Fredholm) 開始研究的福來和木積分方程。這種方程式是位能論長久發展的結果，而出源於奴曼和波加勒 (Poincaré) 的研究。經過希爾伯特許多重要的工作積分方程的意義，愈見重大。

史密特 (E. Schmidt) 讀了史瓦爾茲一篇論文，便想起了解決積分方程的妙法。史密特又發明非線性積分方程的理論。波加勒研究旋轉天體平衡圖的時候，遇着了分枝問題，史密特所研究的非線性積分方程，對於解決分枝問題，有最重要的意義。

這幾個例子和以前所舉關於複變數函數的事實，可以表示函數論發展的五光十色。當然除此以外，還有重要的範圍，如全微分方程，偏微分方程的理論，和與牠有關的幾何物理問題，如位能問題，邊值問題等。我們因為篇幅的關係，也只得從略了。還有兩門科學如今也附帶說一下。

在十八和十九世紀之交，雖說許多算學家爲變分學，費了不少的腦力，但是變分學的繁雜，仍然如故。其實那時候推斷的方法，還有不少的缺點。後來外而史特拉加以嚴密的研究，才把牠變成一種可以了解的科學。1819年外而史特拉在柏林大學講授變分學，竟把這門科學最後的難關打破。雖說外而史特拉的講義，直到1928年才出版，但是他的結果，早已經口頭的傳授，流傳很廣了，所以1900年可諾塞 (A. Kneser) 的變分學教科書內已採入外而史特拉的思想。可諾塞的著作，可算是變分學新發展的出發點。變分學在物理和力學上的意義，亦因此而日益廣大。這也是因爲理論力學和變分學以及微分幾何有密切關係的緣故。至於應用算學，則單靠學理究嫌不足，譬如液體和氣體動力學的新研究，都須得有實驗做根基，才能用算學的方法，作系統的研究。

我們談公設，形勢幾何和羣論的時候，都牽涉到幾何問題，但是說得太不詳盡，最少有幾點，須得補述一下。1870年後，代數曲線和曲面的研究，在算學界占有很重要的地位。此種研究蒲留克 (Pliucker)，克勒布詩 (Clebsch)，赫塞 (Hesse) 提倡最力。其實各種曲線和曲面的形態關係，他們的特式，異點，和相當的代數性質，不獨是幾何學內有趣的問題，也是分析學中頂好的材料。佛斯

(Voss), 泥特爾 (Nöther), 布利耳 (Brill), 克萊和他們的門徒, 在這方面均有很大的貢獻。尤其是林德曼所搜集補充克勒布詩的幾個講義, 有不磨的價值。經克萊和布利爾提倡以後, 明興工大學的算學研究所, 造成了許多的代數曲面模型和圖形。莫斯特瓦爾得 (Finslerwälder) 等又把這種圖示和型示的方法, 利用到函數論, 同形變換, 曲率論和算學物理方面。

幾十年來幾何的研究, 才談到一些「可稱爲大微分幾何的」問題。在這方面貢獻最大的是李布曼 (Liebmann) 和布拉史克 (Blaschke)。這種研究是把已知的曲面的微分性質, 推到整個曲面。斯徒德 (E. Study) 是我們這時代富於新思想的算學家, 他在他的『幾何選讀』內, 取斯陶特 (V. Staudt) 「實素表示虛素」的方法, 加以推廣和深研, 特別造成一種複變域內的幾何學。

現在更拿純粹算學在相對論中的地位, 說一說, 以作這篇文章的結論。

在李曼受位試講中 (1854), 李曼已談及空間的普遍理論, 這就是把高斯曲面論內的理想, 加以深研的結果。以後李曼又在巴黎學會徵文上面, 發表他關於最普遍 $\rho$ 維空間曲率論的公式



組，不過李曼這篇文字，寫得太簡單，以致當時算學家不能領悟。直到李曼死後，專家可里斯托非爾（Christoffel）等，才看懂李曼的意思。後來意大利的算學家利奇勒非奇非塔（Ricci Levi-civita）更用李曼的理想為基礎，創立一種廣大的科學。這種科學有人叫他做絕對微分算；也有人喚牠做漲量。

愛因斯坦（A. Einstein）的工作，分作兩部，在第一部內愛因斯坦證明加利理（Galileo）和牛頓（Newton）力學，無論如何，只能近似的表示自然現象。何以呢？因為這種力學，是假定宇宙絕對靜止，或者比較普遍些假定宇宙一致運動的。不過這種假設，和米希耳遜（Michelson）光向各方散射速度的實驗，完全矛盾。勞倫茲（H. A. Lorentz）對於這種實驗的結果，曾經加以解釋，不過這種解釋，雖說算學上完全合理，物理方面，却有說不過去的地方。愛因斯坦看了這種解釋，觸發了他的靈機，才用斷然的手腕，打破絕望的難關，而給物理學以一新的轉向。

愛因斯坦起首的研究，多半是關於性質方面的工作。民考斯基又把這種結果，加以整理，使成爲不相矛盾的，適合算學邏輯的科學。愛因斯坦把三維空間與時間聯合，組成一四維綿續，因得一

種新力學。愛因斯坦並看到由這種新力學，必可得到引力問題的圓滿解答。引力的奇妙，雖早已引起牛頓的思索，但二百年來因爲人類沒有較好的解釋，也就認爲是當然的現象。其實這種現象也應當有了解的一日。愛因斯坦偶悟引力與時空綿續之曲率，可以發生關係，同時發現李曼已先彼研究曲率，並且得了他所須的理論。愛因斯坦由此更創普遍相對論。這種學科的細節雖未能一一研究，但是牠的大體結構，已足證明這種科學的基礎穩固，萬古不磨了！

以上所述五十年來算學發展情形，遺漏之處尙多，就是主要的科目，如對於算學物理日形重要的概算，亦未提及。波加勒基本的討論，布老爾年來令人尋味的研究，也不細說。總之概算一門，還在發展期中。

就是我們選述的學科，亦是任意的，主觀的。但無論如何，我們總希望讀者，自這篇文字，可以看出算學研究牽涉問題之多，和算學科目之衆，並希望大家看了這篇文字，可以明白「欲求推斷穩健，方法愈須嚴密，基本也有重新攻驗的必要」經過了這種工作，算學問題，不僅擴大，而且逐步的化爲普遍。希爾伯特在他的『論無窮』一文內說：『了解「無窮」不僅對於專家爲特別重要，就

是普通有了解力的人們，也必須做到這一步！』

他又說『自來各問題，其感人未有如「無窮」之深的；各種觀念，其啓發思想構成妙理，亦未有如「無窮」之著的，宇宙萬義，其需要解說，亦未有如「無窮」之甚的！』

讀者至此，當知近五十年來算學研究與以前各自爲政的局面不同，蓋自高斯的智囊啓發以來，吾人之工作，爲使各科互相牽涉，互相完成，並把各科的基礎，反推到最簡單最普遍的假設上。所以算學科目縱然天天增加，但是專攻一門的風氣反漸就熄滅。斯泰諾 (Stinner) 的專精幾何，切忌計算，饒爾丹之專重代數不變式，而鄙棄其他各科的習氣數十年來已不多見了！

這種新趨勢的養成，實受克萊的影響。克萊在他的愛爾朗根計劃書內，最先提出各科之共同性質，而將緊要的與不緊要的觀點，嚴密的分別。

克萊在萊潑齊 (Leipzig) 及哥廷根 (Göttingen) 主講諸課程，亦即以此爲原則。這種與不同的地方，希爾伯特在克萊全集的緒論上，即已首先提出。許多的教科書，如像奧斯毅 (Osgood) 的函數論，即具此種普遍的，概括各科的特性。談到方法論和認識論方面，則有佛斯所作深刻的文

字『算學真諦』和『算學的認識論』在同一方向的，還有外耳 (H. Weyl) 的『算學和自然科學的哲學』(見北木勒 (A. Baumbler) 和史略德 (Schroder) 的哲學叢書)

德國算學家協會自從創辦 (1891) 以來，對於牠的使命，有深刻的認識。他對算學各科都徵求深切的報告。在這種報告內，亦注重該科的發達史。爲使讀者明瞭該會工作的大概，除前述希爾伯特的『代數數域論』和順弗利司關於點集論的報告外，再述其要者如左：

1822年弗朗慈邁爾 (Franz Meyer) 『不變式論之發展現狀』布利耳和泥特爾的『代數函數論發展之今昔』屈特爾 (E. Kötter) 的『綜合幾何自蒙格 (Monge) 到斯陶特的發展』應用算學方面有勞斯特瓦爾得的『照相測量的幾何基礎』和『曲面變形的機械關係』槐恩 (K. Heun) 的『科學工藝的動力問題』最後和屈得勒 (Zindler) 的『直線幾何』平行的，有布克哈特 (Busehardt) 『函數依擺動函數的展開，和算學物理中微分方程的解法』

經過德國各學會的合作，算理科學及其應用全書，才成功了一部偉大的字典。這著作的前部，1898年即已開印，現在差不多快要完結；但是倘沒有克萊三十年的努力，我們相信此書將永爲殘

缺的著作。此書名義上粗分算術代數，分析，幾何，力學，算學物理，測量，地相及天文六部，實分二十四卷，卷有多至一千二百頁的。編纂算學字典是弗朗慈邁爾發起的，因為編者，想在十九世紀末葉，把十九世紀算學發展的情形作一大概的報告，結果才有一部百科全書的成就。編纂這部書的時候，除很多著名的德國算學家外，國外專家亦有共同擔任著作的。編纂這書的時候，許多天才學者，必須費長久的時間，作歷史的研究，而不能謀算學的發展，也許有人因此，反對這種編纂工作的。

但是從他方面說，因為百科全書能增廣讀者的學識，對於研究工作有不可限量的貢獻。特別是以後幾卷，因為著者寫得比較詳盡，比較靈巧，包含不少新的材料，闡明許多相互的關係。假使我們不為衆多的材料和局部的問題所拘束，而能注意各科研究之最後目的，則由此可得科學進步的種種新途徑。海洛曼狄耳斯（Hermann Diels）在普魯士科學研究會紀念會上，曾把這種思想說出：

『單搜集材料，足使我們疲乏。我們願為物質的主宰。我們要由局部的研究，達到科學的目的：得到廣大的普遍的宇宙觀！』



## 理工的合作和公共事業

魯道夫·沈克 Rudolf Schenck 著  
李仲衍 達 譯

現在科學知識要算是很發達，牠在農業、醫學和工業方面的應用，也要算是很完備；不過科學的理論和應用，所以能發達到這個地步，決不是幾個人單獨努力的成就，而是多數人合作的結果。這種多數學者精神的合作和共鳴，也就是文化上偉大發展的先決條件。

假設這種先決條件沒有具備，即令有重要的觀察和認識，也沒有甚麼用處；譬如以前物理化學中，同一現象，每每為兩個不同時代，不同地域，並且毫無關係的觀察者所發現；這種成例，要算是數見不鮮了！片斷的發現，既沒有加以整理，不久也就被人忘記而不發生任何效力。況且那時候的觀察工作，每每被人看作私人的愛好，和癖性的表現，甚至被人看作着魔的勾當。就是有些令人驚奇的現象，也不過引起觀衆一時的興趣。只有製造黃金才能享受提倡和獎勵，不過他們對於所得的結果，却嚴守秘密，而不肯公之大衆。

直到科學愛好者組成科學團體和學會，利用科學通訊來交換他們的經驗和思想，編印科學雜誌來傳播新的認識和結果，科學的發展和成就才有一日千里之勢。研究結果既經發表，蒐集工作便易進行，然後才有某門某科的專著和教科書，來引起青年的研究興趣，而造成新的學者。

專門學校和大學的教員，對於科學的傳佈和啓發，最少和科學文字有同樣的功績。科學學院的意義和牠的組織，威廉洪波（Wilhelm von Humboldt）在一篇未完成的文字（1809——1810年）裏面，已經明白地告訴我們了這篇名作，到現在還保存牠的意義。

不過人類的精神作用，僅當羣策羣力的時候，才能收顯著的效果，因為在合作的時候，不僅是個人的精力和見地，可以補他人的不是，就是個人的成功，也可以鼓起他人的勇氣，而成爲大衆研究的動力。合作的功效既然這樣偉大，所以學院的職責，也就在喚起和維持這種不斷的，自由的，無條件的合作。

高等學院的特色，在把科學看作一個尙未解決的問題，而繼續地去研究；因此學院裏師生的關係，也就和以前爲徒設師的情形兩樣，因爲現在是爲科學而聘教師，爲科學而招學生的。



洪波以爲促進高等科學的學院，除掉大學和專門學校以外，還應包含許多補助機關，這就是應該添設的研究所。使這種補助機關不獨成立，而且成爲發展科學的重要組織的，那就是李比希（Justus Liebig）的功勞。李氏 1825 年在奇森（Giessen）所開辦的那所簡單的實驗室，便是補助機關成爲主要研究所的起點。利用這個實驗室，李氏不獨顯示我們以養成化學研究人員的方法，同時也指出了養成其他科學人材的途徑。這樣把傳習所和研究所聯成一氣，非常適合洪氏對於發展精神科學的理想。

幾十年來，除開很少的例外，德國的實驗工作，大部分是在大學和高工的研究室舉行的。在這些研究室內的發現，大部分都很重要，有了這些發現，不獨科學的內容和認識有了顯著的進步，就是支配自然力的那些定律的發現，也足引起專家利用牠們造福人羣的嘗試。十九世紀下期，有許多具有天才和實行力的科學家，如維納爾西門子（Werner von Siemens）深信提倡科學對於國家，物質上，有莫大的幫助；因爲努力實業方面的發展。這種努力的結果，不獨使交通和國防有顯著的進步，其餘如新職業的開拓，醫藥的革新，土壤的改良，都是利用已知定律，造福人羣的實現。他

們提倡科學，對於國家物質上，有莫大利益的信念，也就得到了強有力的證明。

科學的重要，已如上述，不過私人的提倡，總不如政府獎勵的有效。要使政府提倡科學，應先使政府知道科學和人生的關係，比如先說明人民的生活應加改良，幸福應該增進，並提出改進的可能性和方法，由此更說到科學的重要，和研究機關之不能不設立。第一個正式請求政府提倡科學的是色耳巴哈 (Schellbach) 1872年七月三十日正當普法戰爭之後，色耳巴哈得了黑爾霍耳茲 (Helmholtz) 狄布瓦來芒 (Du Bois Reymond) 拍爾昨夫 (Palzow) 伯柱朗 (Bertram) 和佛爾斯德 (Foerster) 的幫助，呈請政府創辦一個研究純粹科學和精細工程的研究所。這種提議，引起了皇太子菲得利希 (Kronprinz Friedrich) 的興趣。同時，因為普魯士測量總局隸屬於參謀部，也博得參謀部的同情。以後天文家佛爾斯德 (Foerster) 更作了許多的文字，來說明提倡科學和機械的必要，這種意見，經過普魯士商務廳和財政廳周密的考慮，才想出「聯絡研究所與職業學校」合併「各種工業專校」而成工業大學 (Technische Hochschule) 的計劃，可惜這種計劃，經過十年，還沒有實現。

也許那時候，大規模研究科學的時期，還沒有成熟罷！

各種學術機關的組成，要算是近五十年來文化上的特色。這時期剛剛開始，亨爾霍耳茲（Helmholtz）和西門子（Werner von Siemens）便重新提出他們的意見，同時經濟界也願意擔任經費的大部。雖然這個計劃比以前大有變更，但是終能逐步實現。西門子的捐助，成立了國家物理工業研究館（Physikalisch-Technische Reichsanstalt），雖然普魯士教育廳想把牠併入射羅屯堡（Charlottenburg）工業大學，但是因為這個研究館對於國家有非常重大的意義，終於使教育廳放棄了牠的主張。研究館不獨可以使德國的科學發展到高峯，並且可以使德國在科學界得到重要的地位。

固然研究事業可在大學或高工進行，但是有許多研究工作，或者設備太費，或者需地太廣，或者需時太久，這便非大學研究所和私家學者所能舉辦的。這種大的，而且每每是根本的問題，就不得不借科學界、經濟家和政府合作的力量，來圖謀解決。亨爾霍耳茲（Helmholtz）曾經說過：「一個用自己力量和智慧在文明民族中得到優越地位的國家，假設牠還想保持牠既得的地位，決不

肯把解決科學上根本問題的責任，推到其他國家或者是私人的頭上去，因為這是牠的恥辱。」

黑爾霍耳茲 (Helmholtz) 想創辦一個研究所，並且在這研究所內，設立一個科學研究部，去研究他所提出的需要精確度很高的基本問題。在他領導工作的時候，他發覺了；這種研究所不獨可以解決許多基本問題，並且還給青年以學習利用精確儀器和研究方法的機會。因為實用光學，高精確度時計，測角器和量長器都隨着天文而有大大的進步，黑爾霍耳茲 (Helmholtz) 便預料，到由各種精確物理問題的研究，可以增高精密機械的效用。

物理化學的進步對於精密機械和儀器製造的改良，有互為因果的關係。所以明興的學者說：「由知識造儀器，由儀器得知識。」有了可靠的儀器，可使研究科學的人省去許多無謂的工作，而能集中他的精力來研究問題的本身。所以在國立理工研究館內，設立一個工藝部，來製造研究上用的各種儀器，對於全國的科學研究工作有異常重要的意義。況且工藝部利用自己研究的結果，製造儀器更足以使儀器的精確度增高。瓦爾布堡 (E. Warburg) 以為研究所的發展，實現了西門子利用科學發展工業的計劃。我們對於這種說法，固然完全贊成，但是也不可埋沒了牠對於純

粹科學的貢獻，因為 1890——1891 年開辦的那個研究所，對於純粹科學有價值的工作，實在不少。我們也用不着個個去數計，單看那些放射定律 (Strahlungsgesetze) 的發現，也就夠了！

西門子和黑爾霍耳茲創辦獨立研究所的目的，是在把需費很多，為時很久，在大學實驗室不能研究的問題，交給沒有教課責任，而且設備完善的研究所，去研究。同時大學各部也不斷地進行在實驗室可以舉行的研究工作。固然，西門子的努力增進了科學和工業的相互作用；但是大學各部的研究所，在他財力所及的範圍內，也有許多偉大的貢獻。化學理論和化學工業的發展，便是一個很明顯的例子。

把理論和實用打成一片，也是哥廷根大學數學教授克萊 (Felix Klein) 努力的出發點。克萊曾經寫過一封信 (1894年三月十日) 給德國煉鐵同志會 (Verein Deutscher Eisenhüttenleute) 的幹事史婁德 (Schröder) 博士，請他介紹到克魯伯 (Krupp) 鐵廠，內中有一段說：「化學和工業的關係，已經是大家所知道的，我很願意使物理和數學也同樣的和工業發生關係，並且希望工藝界也考量數理和工業發生關係以後，對於工業的良好影響，來扶助數我實現這種

主張。」

克萊想在哥廷根大學裏，創立一個物理工藝研究所。這研究所的責任，和工業大學不同，牠的任務是培養工藝家的數學根基，和研究工藝的數學基礎。既不作科學的實地試驗，也不需培養大批的普通人材。他相信有了一批科學根底很好的工藝家，實業界的出品方面，可以得到大大的改進。

本來克萊的計劃，具備充分的理由，有使普魯士教育司（專管學校教育為教育廳屬司之一）接受的希望，但是他不肯向教育司提出。他說：「在我們德國，不必一切事業都由政府舉辦。我很想從別方面試試。譬如與科學有關的團體樂意扶助科學的發展，也是文化進步應有的現象。」

1898年二月二十六日哥廷根應用數理協進會（Göttinger Vereinigung für Angewandte Physik und Mathematik）成立，克萊恩的計劃經過了幾次的修改，終於實現了。這種組織的職責，是在研究解決理工問題的先決條件。牠一方面聯絡科學界和經濟界的感情，一方面開經濟界和科學領袖合作的風氣。同時大學教授有了參觀工廠的機會，可以增加他們對於工業的了解力。數

理協進會的第一任主席是博廷格爾 (Henry Th. v. Böttinger)。他是一個實業家，他具有大公無私，不辭勞苦的精神，他接受了克萊克偉大的計劃，一方面繼續介紹新會員，一方募集不少的款項來擴充哥廷根物理工藝的設備。這會成立二十週年，經濟界的會員已增到四十五人，主席爲紀念這個佳節，特製了刻有工商之神——Minerva 和 Merkur——的紀念章，表示合作的意思。

這種私人的組織，雖然有牠的獨立性，他方面却是和普魯士教育司合作的，他們合作的辦法是協會担任研究於的房屋和設備，教廳担任新添教授和所長的薪金。在這種合作條件之下，成立了應用數學研究所和應用力學研究所，後者又包含水力學和汽力學，還有應用電學研究所和地相 (Geophysik) 研究所，也是這樣成立的。每個研究所的所長，都是請著名的科學家担任的。那時普魯士教育司的主管人如亞爾特何夫 (Fr. Althoff)，瑙曼 (Otto Naumann) 和史密特奧特 (Fr. Schmidt-Ott) 都是協會的忠實朋友和贊助人，也是洪波 (Wilhelm von Humboldt) 的賢明繼任者。

上述幾段足以表示德國政府對於科學的見解和態度，現在再把政府的主張引錄如下：「國

家對於科學的責任，不是在自己去參加，而是在供給學者以必要的設備和幫助，使他們得進行研究。政府對研究者的工作絕對不加干涉，因為如此，僅足以引起障礙。政府相信他們的研究，在政府不加干涉條件之下，會得到更好的結果。」

政府只要科學家得到幫助，能够自由研究，便保存這種不干涉的態度。自從哥廷根數理協會成立以後，政府便採取這個方針。亞爾特何夫（Althoff）很明瞭新時代對於大學的要求，知道他所信用各人的長處，並能設法打破他們經濟上和管理上的難關，所以能得到克萊的贊許。

從哥廷根協會組織以後，直到1899年十月二十日射羅屯布爾格工業大學百週年紀念，經了波耳西格（E. Borsig）提議，經濟界才重新結合，來提倡工藝和科學。他們的宣言內曾聲明：他們認定現今工業一天天的向還未開發的科學進展，商業競爭對於工藝學的需求也一天大似一天，將來實業依賴科學的地方自然更多。他們希望科學家和實業家以後隨時合作。

他們所發起的實業界紀念基金捐，由數百人捐集了百五十多萬馬克。他們組織了一個監察委員會。內中的委員，一半是全國工業大學和礦業學校的教授，一半是實業界的代表。他們覺得頂



愉快的事，就是把充足的金錢，補助特別重要的科學研究，尤其是與國家有關諸問題的探討。

米勒 (Oskar von Miller) 所發起和計劃的德國博物館，要算是德國人熱心學術的紀念品。他搜羅了不少的理工傑作，來顯示科學研究對於工藝的影響，和各種工業發展的程序。牠的目的不是在直接喚起研究的興趣，而是在借此灌輸科學的知識，而造就科學的人材。1903年五月一日，米勒氏用傳單向少數政府、市府代表和大科學家，發表他創設博物館的計劃。得了他們同意以後，他便着手籌備。不久，就得到一大部的基金，和明興市政府所撥給的地皮。八星期後（六月二十八日），就在巴燕王子路德維西 (Prinz Ludwig) —— 即以後巴燕王路德偉格三世 —— 主席之下，通過博物館的組織和管理章程。於是米勒的理想，便由他的毅力而實現了。我們應該感謝的，是米勒的思想，和全國對他的同情，使他在短的時間，得到許多有價值的儀器、機器，便於教導和了解的模式、圖表，和解說。米勒把這些東西陳列在臨時陳列室內。1906年十一月十三日，博物館正式開幕，最先去參觀的，是德皇夫婦和巴燕王族。他們並且參與博物館在依沙 (Isar) 島上的奠基禮。不幸歐戰發生，德國的全境都受了影響，巴燕邦明興城也就不能例外。這種重大的打擊，使博

博物館的建築，發生了不能克服的困難，甚至不能不停止工作。

當中經過許多艱難困苦，終於 1925 年五月宣告成功，那就不能不歸功於米勒堅忍不拔的毅力和政府、經濟界、和科學界犧牲的精神，和不斷的幫助了。

博物館的最後建築為研究室，牠有一個工藝、數學和自然科學的圖書館，和圖表檔案的保管處。所以這博物館不僅包含一切教導青年鼓勵後進的用品，同時也能供給科學家和史學家研究的資料。這種便利是他處所找不到的！

德國博物館成了文化的核心。每年年會參加的人士，各界都有。這時工藝和科學都薰染了藝術的色彩。不過牠所以成為文化核心的原因，不在吹噓已往的功績，博得大家的贊許，而在借大家同樂的機會，來喚起各界合作的興趣。

如果大家注意理工和人生的關係，而希望理工發展，那末改進理工的計劃，決不至於不能實行。以前科學不發達的緣故，並不是沒有計劃，也不是沒有請永當局注意，而是大眾不懂科學的結果。以前的提議，普魯士教育司以為行不通，但是以後哥廷根協會的工作，却告訴我們牠已成功了，

由此推去，就是較大的目的，也有達到的時候。以後各種純粹科學和應用科學研究院的成立，和經濟界對於科學家的協助，更指出大問題解決的可能性。亞爾特何夫去世兩年理工的合作機會已經成熟，國皇私人顧問長法倫廷尼（V. Valentin）才能宣佈：「國皇現在已經決計實現亞爾特何夫的計劃，創設科學研究所！」

亞爾特何夫以及他的全志的思想和哈爾納克（Adolf Harnack）的相類似。哈爾納克為柏林大學的教授，他是一個著名的史學家。當他二十年前受普魯士王家學會會員榮譽的時候，芒蓀（Theodor Mommsen）在歡迎詞內，很稱贊哈爾納克的天才。他認為哈氏能吸引青年會員，領導有效合作，成為科學組織的領袖。芒蓀氏更借這個機會，發表他對於科學和經費的意見。他以為科學是文化發展的要素，而經費對於科學和資本對於實業一樣。

科學研究的預備和實行，以及研究所的逐步設立，都是哈爾納克的功績。德皇威廉二世（Kaiser Wilhelm II.）對於科學的發展，更為關切。他借柏林大學百年紀念的機會，親自發起一個新的組織，來發展並維持所有的研究所。國皇本人願負這個組織的保護責任。對於這組織的計劃，

哈爾納克和少數會員如化學家費舌耳 (Emil Fischer) 醫學家瓦塞曼 (Aug. v. Wassermann) 等，曾經詳加討論。並將他們的意見，寫成簡短的意見書。幾月以後皇家學會 (Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft) 的成立祝詞，大部取材於這篇文章。

哈爾納克用歷史家的眼光，回溯到柏林大學的成立時代，引申洪波 (Wilhelm von Humboldt) 對於組織高等科學研究所的意見，來說明新計劃和牠的關係。哈氏並指出科學在大學內已有偉大的發展，但是沒有教課責任的研究所，却沒有按部就班的創設。現在物理、化學和生物上的大問題，急待解決，那末，我們就不得不努力補足這點缺憾。這種意見，可說和西門子及亨爾霍爾茲在國立物理工藝館成立以前的思想，頗相類似。

自從國皇發起組織，很快地便得到了良好的結果。同時經濟界也認清了自己的責任，而不願國家單獨負起發展科學的重負。這就不得不歸功於科學合作事業的教訓。例如哥廷根協會，實業界的紀念基金會，和明興的博物館都是這種教訓的實施者。皇家學會有力量的會員，也就大部隸屬於前述的三個組織。

1911年皇家學會的會員人數已有二百左右。他們在和邦、國尤其和普魯士的教廳密切的合作之下，開始他們的工作。十年之內，成立了二十個皇家研究所。(Kaiser-Wilhelm-Institut) 這些研究所不僅分佈在他的大本營達倫(Dahlem)和柏林的別部，就是在其餘的大城也有了皇家研究所的創設。不久的工夫便增加到三十二個。他們的責任是研究理工、醫問題，不分理論和應用，只要是需要發展的，便在研究之列。至於這些研究所的名稱、地址和工作此地恕不詳述。

有許多的實業家和團體很重視材料的研究，他們對於分析材料的研究所每每全盤的幫助。這種研究所和捐助人的關係是直接的，他們藉討論的機會直接交換意見。

哥廷根的氣力實驗館(Ärodynamische Versuchsanstalt)是皇家學會和哥廷根協會合辦的。牠的目的是在研究大氣力學，來改良飛機製造。爲謀這實驗室的發展，又成立了一個氣力研究同志會。

物理和應用數學的研究設備，和其他的科學完全不同。牠們沒有專設的研究所和實驗館。皇家學會的物理研究所擁有鉅大的基金，由著名物理家組織了一個監察會，來決定應作的研究，和

津貼的分配。物理獎金的給與，全看工作的內容，並無固定的地域。

皇家學會內面設了許多的合作機關。主席對於新事業的計劃，時時得到專家的籌謀與輔弼，和政府的保護與協助。這種多方面的協助，使大學、高工和皇家學會發生很密切的關係。這時候科學發展的條件，已經完全具備，我們只有期待牠的結果。倘若世界大戰不發生，或者德國不遭失敗的話，則在學院、大學和皇家學會合作之下，德國的科學研究，足供以後幾十年，德國和外國工商上競爭的需求。

但是政治上的不幸和牠所引起的貨幣動搖的結果，將理工的順利發展陡然切斷。普魯士科學院向國會提出的呈文裏面，謂馬克貶價，使民族的創造事業受了窒息的威脅。由此可以看出科學界所受大戰的影響。

德國經濟破產，對於大學和科學研究所的危險，至 1919 年，參與研究的人都已深切的感覺了。爲維持他們的公共利益起見，1920 德國大學和高工就組織了一個高等學校聯合會，其他的專門學校如礦業、森林、農業、獸醫等也陸續的加入。在這年開始的幾月內，曾經參加過科學事業的

同志，都在苦心孤詣地，設法打開這種局面。

這時候德國實業界的紀念基金會，因為馬克貶價，已經無力扶助科學的發展，皇家學會也不能維持研究所的進行，哥廷根協會也毫無辦法。這時候大學的理工研究所都到了絕境。雖說政府盡力的幫助，那能够他們的開支。

在這絕望期中，首先得到挽救的，要算是化學研究所了。1917年，大戰還未結束，史托克(A. Stock)教授在他的論文中，曾屢次提起化學對於政治的重大意義。因此，高等學校的化學課程和研究室的設備，須得特殊的注意。這種見解，得到了良好的結果。1918年四月，便成立德國化學教育促進會。後來又和李比格(Liebig)獎學金保管會聯合，在實業領袖杜易思伯爾格(C. Duisberg)領導之下，成立了李比格化學教育促進會。1920年九月二十七日，就開始牠提倡和發展化學的工作了。這個組織，得到德國化學工業界的大量捐助，一方面給予各大學化學實驗室以鉅款，補助國家力所不及的科目，他方面津貼化學系畢業生的膏火金，叫他們充當助教，以求高深的造就；同時把重要化學藥品依成本讓與實驗室，作為實驗之用。這樣一來，不獨化學教育問題完全解

決，就是研究的計劃也可以逐步實現。

因為繼續皇家研究會的工作，史托格教授更組織了一個費舌耳化學研究促進會。這會的領袖是實業鉅子外恩伯爾格（A. v. Weinberg）。除上面二個組織以外，還有一個拜耳（Adolf Bayer）化學文獻促進會，牠的主席是博史路德偉格斯哈芬（C. Bosch-Ludwigshafen）教授，這也是扶助化學發展的大因素。牠使化學會和化學書社發生密切的合作，使化學界重要的文獻，得以繼續出版。

化學工業界和化學家的合作，一方面使化學家能繼續研究，一方面解決工業界的先決問題。這些優良的結果，引起了物理工藝家和五金工業界合作的興趣。在短期內，金工界便募集了不少的款項來獎勵和金工有關的科學。1920年十月二十八日在佛格勒爾（A. Vogler）博士領導之下，組織了一個亨爾霍耳茲理工研究會。這會工作的範圍擴展到全國各大學，牠負起了過去德國實業界紀念基金會的使命，繼續了哥廷根協會的工作（1921年九月十七日哥廷根協會與亨爾霍耳茲理工研究會合併）。此會成立七年的工夫已經津貼研究工作四百七十四個，耗費四十



### 三萬馬克。

固然，化學和工藝在這困難時期，僥倖得到偉大的扶助，但是我們切不可忘記了其他自然科學所遭的不幸。牠們沒有得到和牠們有關的實業界的援救。牠們處在絕望的地位，這實在是德國文化界的厄運！

當這個困難的時候，普魯士科學院 (Preussische Akademie der Wissenschaften) 挺身而出，任鉅艱，一面請求政府和教廳的援助，一面聯合所有以提倡科學爲己任的團體，如其餘的科學院，皇家學會，全國的高等學校，理工聯合會 (Verband wissenschaftlich-technischer Vereine) 德國自然科學家和醫師的聯合會，共謀出路。1920年十月三十日這些團體合組了德國學術救濟會 (Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft)。在政府註冊以後，便正式開始工作，解除科學的厄運。這團體的領袖是以前普魯士教長國務大臣史密特奧特 (Schmidt-Ott)。他曾經做過亞爾特何夫的僚屬，又當過普魯士的教育行政主任，和哥廷根協會，皇家學會的顧問，對於與科學有關的組織具有豐富的經驗。同時整個經濟界也發出一份宣言，說：「德國的經濟界必須幫助德國」

科學界，打破目下的難關，這是德國企業家、農工商、銀行和實業界一致的呼聲。我們都知道，現在金融枯竭，稅率繁重，金融界處在重重壓迫之下；但是我們要認清科學和經濟的關係，而肯定我們有扶助科學發展的義務……「經濟界對於救濟會捐助的數目，在那種困難時代，很有可觀。就是政府也不肯放棄牠的責任。國會和內政部每年都有大規模的幫助，使救濟會能够順利地進行牠多方面的的工作。同時國家、聯邦和國會也有派遣代表的機會，來監督救濟會款項的用途。私人捐款也合組了一個獨立的基金會，來參與款項的支配。款項的用途由分配委員會決定，在這委員會有救濟會和基金會的代表。除開國內的捐款，還有國外的捐款，牠的用途在救濟會和捐助人所立的合同中，有特殊的規定。

救濟會的貢獻，可以說是婦孺皆知。從成立到現在，雖不過十年的工夫，但是我們可以斷言，該會單獨的挽救了德國科學的厄運。這種偉大的功績，真值得在文化史內，用金字大書特書。

工作效率的大小，當然單看成就和用費的比例如何。在德國科學更生和繁榮的工作中，這比例數可說是非常之大。我們不要僅知歌頌學者的努力和結果，我們也得感謝那些為公忘我的專

家，感謝他們的幫助和計劃。固然前著是德國科學精神永存的表現，但是後者却是救濟會不可少的台柱。因為請求津貼的人不知多少，假設沒有這些專家按照問題的意義，需要和希望來決定何者應給津貼，何者不應給津貼，假設沒有出版委員會，儀器委員會和圖書委員會，以及其他的委員會通力合作，我想這種偉大工作，也是沒法實現的。

救濟會不獨挽救了德國的科學厄運，並且竭力使德國的科學居於世界的領袖地位，這是大家所承認的。

單就提倡個別研究的工作來講，那末使工作效率增大的惟一方法，就是淘汰不適當的研究問題。要使研究工作有偉大的發展，需要研究科學上的大問題。這種研究要有計劃和系統。對於這點，救濟會的主任早有了深切的認識，他以為科學家必須就與國家經濟，人民康健和民族幸福有關的重大問題，作有系統，有計劃的研究，科學對於社會，纔能有絕大的貢獻。1925年救濟會的主席，便提出了這種偉大工作的計劃。

救濟會的經費問題，雖說國會已經替他完全解決；但是要求一個研究問題適合需要，並且容

易得到結果，却又不得不有勞專家的研討了。誰都知道企業需要雄厚的力量，適當的分工，統一的指揮，避免力量和時間上無謂的損失，大科學問題的研究，和大企業的本質相同，所以我們也不得不注意這些事件。

科學上的大問題千頭萬緒，我們只能就目下最切實用的取出小部，加以研究。已經有了成績的，譬如地相學 (Geophysik) 的應用，流動作用 (Strömungsorgang) 的研討，熱力機 (Wärme-kraft maschine) 的工作，以至金屬的分析，都得了特殊的結果。就是在生物，農業和醫學內面的重大問題的研究，也正在進行。

大的科學問題，每每牽涉很廣，大都不是一個研究所，或者一個地方，所能單獨解決的。要解決這種問題，必須集合多個的力量，不論是大學，或者是高工，或者是私家學者，只要他們有興趣，有本事，便可以請他們合作。就是皇家學會和其他研究所的研究員，也一樣受救濟會的歡迎。只要他們過去的工作，足以證明他們將來的成就，如果他們願意和救濟會合作，救濟會便依問題的性質，研究員的興趣，每人給一部分問題，以及相當的設備，和必需的助手。這種需要許多不同行的科學家

來研究的問題，算是數見不鮮了。有的甚至需要四十幾位獨立專家，六十多位的助手合作。這類大規模的合作組織，很能產生豐富的結果，有一個範圍，在最近兩年內，發表的論文已有一百二十五篇之衆。

這種分工，需先有一個周詳的計劃。救濟會內面，設有許多的委員會，討論研究題目和解決的可能性。這種討論的結果，便是計劃的藍本。遇了必要的時候，救濟會各小組中，還設有指導，去選聘適當的合作人，或者是去鼓勵他們，提醒他們，或者是幫助他們，有時還須爲他們排除障礙和困難。這種組織，好比一個音樂隊，隊員雖能個別演奏但是他們需要一個隊長，爲之節制，不然，必至失去整個的調和。

這種偉大的合作事業，可算達了科學研究的高峯。但是我們却不可因爲這些研究的經驗良好，便以爲其餘一切科學問題，也可以依樣葫蘆地去解決。須知科學問題之內容各別，而且研究的方法也因時地而異，隨機應變，不得不給予學者完全的自由。我們只需注意政府怎樣尊重洪波的主張，不干涉科學研究，任其自由發展，便可以知德國科學突飛猛進的原因了！

最近五十年來合作方式和提倡理工的組織，可謂五花八門，應有盡有；不過牠們都異常切合時代的需要，和各種科目的要求。許多事實已經證明這種組織的功効，我們並不希望牠們有何更改。組織的形形色色，正和宇宙萬象一樣，不獨各有各的用途，抑且給予我們以莫大的愉快。

# 理論物理學

馬克斯普朗克 Max Planck 著  
文元 模 譯

凡欲敘述一科學之發展歷程，當着眼於其科學之內容，若自別一觀點立言，原則上不免失當。雖然，吾人試將前世紀德國理論物理學之發展，略述其梗概，亦未必無正當之理由。何則，物理科學雖無國界，然斯學之各代表人，因其祖國不同，其修養經歷，思想環境，情感狀況亦異，且其所成就又與其工作時所受之外界影響大有關係故也。是以吾人試一曠觀近代理論物理學之偉大發展，德國研究家有若何貢獻，不僅自國際之見地觀之，爲一有興味之事，即對於物理學本身，亦甚有益；況在今日吾國（指德國言）政治地位衰微之時，吾人由此種考察，可知德人之力至少在斯學之範圍內，猶能保持昔日之權威，亦未嘗不可自慰而繫望於將來矣。

爲明瞭起見，今後所述惟在以現代之見解，分別表出以往獨立生長之各個領導思想之發展，並詳論此等思想與外國同道中人所作事業之相互影響，而不必一一依年代之先後。且在此簡短

之敘述中，亦不能將凡參與此大事業有功之物理學家一一列舉，自不待言，即評定個人之價值，亦非本文之目的也。

在一八八三年前後，德國之理論物理學，幾全爲黑爾姆霍爾茲 (Hermann von Helmholtz)，基爾希霍夫 (Gustav Kirchhoff)，克勞蘇斯 (Rudolf Clausius)，波爾慈曼 (Ludwig Boltzmann) 四大巨星之光芒所籠罩。前二者之研究，大抵屬於力學與電力學，後二者之研究，大抵屬於熱力學與原子學。然此不過大體之分別，自精深之意義言之，此四大家實共同代表一種偉大的協和的不可分割的自然觀，其思想之內容根據，第一爲普通的哈密爾頓之最小作用原理，能常住之原理亦在其中，第二則爲熱力學之第二定律。在十九世紀之末，凡治物理學者，皆以爲將來理論物理學之發展，僅在求此等原理之貫徹，在最近期間之內，尙有他種獨立而同等之原理加入此等台柱之中，恐非當時之人夢想所及也。此等豫測不僅見於著名老領袖之晚年著述之中，即當時青年學者之代表亦常有之。不幸早夭之黑爾志 (Heinrich Hertz) 卽其最著者也。黑氏雖發見電磁波之傳播，然彼以爲此聳動觀聽之成績，不過判決種種電力學理論之紛紜聚訟，皆無根據，惟馬克斯威爾



(Maxwell) 之理論爲真；且同時徹底融合光學與電力學，對於物理學理論之統一，又大進一步。故未肯以創造者自居，僅視已爲理論之完成者而已。彼後來之工作，在整理牛頓力學使之歸於更簡，其領導思想，則在改造能之觀念，除去動能 (kinetische Energie) 與勢能 (potentielle Energie) 之分別。彼因欲達此目的，遂毅然廢棄力之觀念，而歸之於隱微運動 (verborgene Bewegung)，於是無論何種勢能，皆得以動能代之。然黑爾志並未一一就特殊的實例，指出彼所創想之隱運動爲何，例如重力係由何種隱運動而起，黑氏毫無所示，且亦未作此想。彼僅昭示吾人，此種假設，原理上非不可能，已自足矣。

吾人若不詳加審察，理論物理學在十九世紀之末，實已具有莊嚴堅固之規模，然自精思如黑爾志之人觀之，其根柢上即在當時，已表現種種可疑之空隙，苟欲填之，頗非易事。此等空隙，先爲批評之對象，次即爲牛頓以來理論物理學所經革命之起點也。

凡物理理論苟不受外界之影響，決不能自改其內容；且理論之規模愈廣大愈完全，則擴充亦愈難，此自明之理也。蓋凡無瑕可指之思想系統，一處少有變更，則無處不感受困難。以此之故，必須

有強大之力自外侵入，改革之事始能發生。所謂強大之外力，即由實驗得來之不容爭議之結果。凡欲評議已經公認之理論法則之價值，且因此而根本檢閱理論之全體，皆因有實驗事實發生之故也。而理論一經改革，實驗之新問題亦隨之而起。此等問題之解決復為指導思想之南針。故實驗研究與理論研究之相互作用，實為新物理學之特徵，其於科學之進步，意義甚為重大，且同時為所得成果之惟一確實保證焉。

黑爾志認為尚有疑義極欲闡明之理論物理學問題之中，有二問題，雖窮黑氏之力卒未能解，後此遂成為新物理學之胚胎。此二問題非他，一即為負極線 (Kathodenstrahl) 之性質，一即為動體之電力學是。各一問題皆自有其歷史，且各成一大發展之起點。第一問題發展而成之分科即電子論，第二問題發展而成之分科即相對論。今依次述之如下。

## I 電子論

一八五九年蒲留克 (Plücker) 發見之負極線，究為電荷之運動乎，抑為與光相似之波動乎？自磁場對於負極線之影響觀之，似為前者，然黑爾志因百計試驗負極線對於磁針之作用，終不成

功，遂取第二解釋，且欲視負極線爲久索不得之以太縱波，而之以補足理論上不滿人意之缺陷。雖然，此說終未得確實之保證，而負極線具微粒性，且微粒各荷負電之端倪，反日漸彰明。自維因（W. Wien）測定其電荷，維歇爾（E. Wiechert）測定其速度以後，後說更無容疑之餘地，電子論之建築遂於此奠基矣。自是以後，實驗與理論通力合作，互相領導，斯學愈益進步。初立前線者，大抵皆實驗的研究，先有勒訥爾（Lenard）之實驗，負極線可引出放電管外，最後則有一八九年樂琴（W. C. Röntgen）之偉大發見，物理學遂一舉而開一新領土，且同時物理學之理論亦得種種從來未有之間新題。此外又有見克勒（Becquerel）發見之鈾射線（Uranstrahlen）亦爲負極線研究之副產物。放射原素之發見，魯哲夫（Rutherford）與索第（Soddy）之放射能理論即由此而起焉。

愛克斯線之發生條件及作用性質等種種新現象，雖早經實驗闡明，然量的分析，初甚感覺困難。此種射線爲一種電磁波動，因電子與對負極（Aniakathode）衝突而起，吾人早已知之。惟其波長爲何，則久經時日，尙未有測定之法。蓋光學中常用之繞射試驗（Beugungsversuch）試用之於

愛克斯線，至多不過能估量其波長之大小程度，不能測得其確數也。一九一二年理論物理學者勞依 (M. v. Laue) 授意於其實驗助手菲得利及克尼平 (W. Friedrich und P. Knipping) 以結晶體作光柵，始能使愛克斯線經原子繞射而起干涉，而其週期性亦始因此而得確實之證明。蓋吾人若視結晶體爲一空間點柵 (Räumliches Punktgitter)，則平面波通過結晶體時，因在各點繞射之故，各光線當生一定之行差 (Gangunterschied)，由此即起干涉，量此干涉當得一式表出射線之波長與結晶體之柵常數 (Gitterkonstant) 之關係也。然此理論，僅適用於均齊之愛克斯線，否則種種干涉紋將重疊而不可得見矣。

勞依之發見，不僅有利於光學，且有利於原子學，愛克斯線與放射性原素所發之噶麻線 (Gammastrahlen) 均由此發見而被收入電力學中。然構成負極線之自由電子及其非常小之質量，在當時之物理學範圍內，仍爲初見之新物。然此新物加入物理學中以後，以前視爲神密之種種現象，始得正常之理解。一八八一年，黑爾姆霍爾茲在彼之法拉第講演中已指出電解之實驗定律，自化學的原子學視之，已昭示吾人不僅物質具原子的構造，即電亦具原子的構造。黑氏所假設之

此種電原子，在負極線中，始完全脫離物質而自由，放射性質所發之比塔線 (Beastrahlen) 亦復如是。一切電原子皆相同，所不同者惟速度而已，不似化學原子之因原素而異也。電原子之發見，不僅大有裨益於電解定律，金屬之傳導真相，亦因之而大顯。蓋金屬內之電流既不發生化學變化，吾人即可思及傳運電流之物，當係金屬內之自由電子。此種見解韋伯 (Wilhelm Weber) 早已有之，後經李克 (E. Riecke) 及德魯特 (P. Drude) 之手，而規模愈具矣。自由電子之存在既經認識之後，治物理學者，更轉而追求在束縛狀態之電子，於是遂得解釋種種物質之物理的及化學的性質。德魯特氏早已將光之分散及物質之化學價，歸之於原子內之電子，並假定束縛電子之狀態有緩急之分，束縛較緊之電子為光分散之起因，束縛較緩之電子則為化學價之發源。其後勞倫茲 (H. H. Lorentz) 更進而建設全電子論，網羅種種零星碎玉，成一完全系統，且特別注意於物質常數可以物質內所容之原子及電子之配布及相互作用解釋之者，能有幾何。此等研究之結果及放射能之範圍內所得之成績，皆表明宇宙間惟有二種基素 (Urstoff)：一為正電，一為負電。此種認識即過去五十年間物理學者研究物質之本性所得之最終結果也。以上所述之二種基素，皆為

微粒，電荷不同性而同量，其質量則大相懸殊；質量大者荷正電，名曰質子（Proton），質量小者荷負電，名曰電子（Elektron），二者結合則成所謂中性子（Neutron）。無論何種化學原子，皆由若干質子與同數之電子構成，各種原子之質子數與其原子量相等，此等質子結合極堅，至於電子，數雖等於質子，然僅一部分與質子固結而成原子之心核，其餘一部分，則繞此心核迴轉。原子核外之電子數名曰該原子之序數（Ordnungszahl），一切化學性質皆基於此。

## II. 相對論

黑爾志壯年時代努力研究之第二問題，為運動體內之電力學現象。凡運動皆相對的，此乃人所盡知之事實。黑氏即以此為起點，依據馬克斯威爾之理論，建設一系電磁現象之方程式，在此等式中，運動體之速度僅能有相對的意義；若以運動座標系為標準，而記錄物體之速度，則此等方程式完全不變，恰與牛頓之運動方程式同。至於傅運電力波者究為何物，在黑爾志之理論中，毫未提及，且亦不必問。若吾人欲引入以太於此理論，則不得不假定以太對於物質，無獨立之運動，物質運動時，以太亦隨之而行。黑氏之理論雖首尾一貫，結構完整，然黑氏自初已知其猶有缺陷。自此理

論觀之，通過運動空氣中之光波，當與通過運動空氣中之音波完全相同。然費左 (Fizeau) 之實驗，適與之相反，在運動空氣中傳播之光波與在靜止空氣中傳播之光波，實際並無分別。其後勞倫慈 (H. A. Lorentz) 建設電子論，假定以太充塞宇宙之內完全不動，一切電力作用皆依之而存在，借之而傳達，原子與電子遊行於其中，恰如魚之在水，於是黑氏理論所發生之困難始得解決。勞倫慈之理論，保全黑氏理論之一切優點，同時又顧及費左之實驗，然相對原理 (Relativitätssprinzip) 則因之而破壞，何則，在種種座標系中，靜止以太獨占特異之地位故也。

相對原理見棄於勞氏之後，復發生一新困難，爲黑氏理論所無者，即凡欲測定地球之絕對速度，換言之，即測地球對於以太之速度之一切計畫，皆失敗無成是也。因此困難發生，已遭廢棄之相對原理，不久又將見重於世矣。自勞倫慈之理論觀之，地球之運動對於電力學現象，當有顯著之影響，然以精密如邁克爾生與摩利 (Michelson und Morley) 之實驗，亦不能尋得此種影響之痕跡。因此之故，理論物理學至十九世紀之末，適立於二歧路之交點，若不放棄包羅萬象之勞倫慈理論，則須放棄歷來公認之相對原理。一八九八年德國自然科學家與醫生聯合會開會於狄塞爾朵夫

(Disseldorf) 時，維因 (Wien) 曾就此問題詳細報告，勞倫慈復爲之補足，當時列席者無不感覺此事之嚴重。此不滿人意之狀態其後又經七年。至一九〇五年，愛因斯坦 (Albert Einstein) 建設相對論 (Theorie der Relativität) 以前之種種糾紛始得根本解決。在愛因斯坦之理論中，勞倫慈理論與相對原理均能並行不悖，惟欲達此目的，須付極貴之代價。換言之，即須採用一種從未經見之假定，將以前公認爲獨立之空間與時間，改爲互相關聯之量，而以真空中之光速度爲聯貫此種關係之準繩是也。此假定之所以無隙可乘者，蓋因其數學表式毫無矛盾，惟其推理結果，常與歷來習慣之見解相反，故愈驚人耳目耳。然其後不久，閔可夫斯奇 (H. Minkowski) 提示吾人，若將時間視爲虛數，且以光經過一單位長所要之時間作時間之單位，則電力學之一切方程式對於時間與空間均成對稱形，而時間座標與三空間座標完全同等。此種見解一出，三元空間 (Raum) 遂擴展而成四元宇宙 (Welt)，電力學之方程式對於標準系之速度變化保有原形恰與對於標準系之空間廻轉同。

若此新相對原理真有物理的意義，則應能適用於力學，如是，則牛頓之運動方程式即不得不



變更。何則，此等方程式對於四元標準系之移轉不能維持原形故也。由此思想，遂生相對論的力學，牛頓力學乃愈推廣而精密。以之應用於運動極速之電子，其質量隨速度增減之關係甚為顯著，此結果已由實驗證實，於是吾人之新理論又得一鐵證矣。然相對論不僅熔時間與空間於一爐，復合動量與能力 (Impuls und Energie) 為一體。在一切物理方程式中，此二量常成對稱，與時空連續體之四座標相似，且動量為有向量 (Vektor)，恰與位置之有向量相當，能力為無向量 (Skalar)，恰與時間之無向量相當。不寧惟是，由相對論之推論，一靜止物體之能力常為一定正數，與其質量乘光速之平方相等，故質量與能力均同一源，此實一重要結果也。

相對論功績之大已如上述，然愛因斯坦尙未肯至此即止。彼既知對於一次正變換 (lineare orthogonale Transformation) 一切標準系，皆有同等之價值。更進而研究完全任意之標準系能否亦享此權利。今若將力學之簡單方程式所依據之標準系換為別種座標系，大抵必有補項 (Zusatzglieder) 發生，例如對於廻轉標準系，此補項即離心力是也。但若吾人承認重力質量 (Ponderable Masse) 與慣性質量 (Träge Masse) 為同物，則此類補項均可作引力解釋。愛因

斯坦於是遂假定各種幾何學的標準系在物理學上均爲平等，復假定不變（Invariant）之性質惟有李曼（Riemann）之基本張量能有之，而此基本張量又與物質在空間中之分布狀況相關聯，由此等假定，卒造成普遍相對論，以前之相對論亦包容於其中成爲特例，恰與李曼幾何學對歐幾里德幾何學之關係相彷彿。普通相對論在理論上意義雖甚重大，然在實用上僅限於強大如太陽之引力場，悠久如水星之週期運動現象。光通過太陽引力場時，其色與方向均受其影響，水星軌道之近日點歷久發生顯著之變動，皆普通相對論豫期之事實，與觀察所得之結果，實若合符節也。

物理學之幾何學化，久爲吾人理想之目的；普遍相對論出，吾人對於此目的，可謂大進一步。第二步即在融合電學與力學。愛因斯坦近年又推廣李曼幾何學，建設統一場理論，以解決此問題，今雖尙未大成，吾人拭目而待可也。

### III 原量論

三十年來理論物理學一面得相對論之貢獻而規模更大，一面又得原量論之研究而面目全新。原量論之根源，由新實驗與舊理論之齟齬而起，情形與相對論相似。然相對論之實驗根據屬

於光學，原量論之實驗根據則屬於熱力學。按基爾希霍夫之定律，黑體之發散光譜內之能輻射 (Energiesstrahlung) 與輻射物質之性質無關係，原量論即發端於測定此種能輻射之實驗。關於此類研究，舊理論所得之成績，原已有足觀者。波爾慈曼，早已由馬克斯威爾之輻射壓及熱力學之第二定律，推得全輻射與溫度之關係。其後維因由同一根據，更進而闡明溫度變化時，能分布之曲線上極大值之位置與大小，相隨移動之狀況。此等研究皆與最精之測定，完全一致。然關於此曲線之形式，舊理論所得之結果與魯麥 (Lummer)，布林司海 (Pringsheim)，盧本斯 (Rubens)，庫爾包姆 (Kurlbaum) 等之測定相去遠矣。蒲朗克 (M. Planck，即本文著者) 欲依據熱力學之二基本定律，追求此等實驗事實之意義，遂斷然假定振動體與輻射體所能有之狀態雖甚繁複，然皆不連續而可數，凡二狀態之差別常可以一有限之普遍常數表出之，此常數名曰基本作用量子 (elementares Wirkungsquantum) 此假定一經採用，則以前之物理見解完全破壞，自不待言，蓋在以前之一切理論中，凡物理對象之狀態皆公認為連續變化故也。雖然，此新假定不僅領導吾人，求得輻射能之分布定律，完全與測定之結果相符，且供給吾人一種決定分子與原子之絕對重

量之新工具。以前原子之實在性，不過賴有粗略之估計，不如是之精確也。原量假說之生產力於此已見一斑，然尚有甚於此者。其後不久，愛因斯坦又由此假說推得物質之能力與比熱，證明比熱隨溫度而減，溫度愈低比熱愈小。此種斷論，當時皆以為放言，後經詳細實驗，結果果如所期。波倫 (M. Born)，加曼 (Th. v. Karman)，德拜 (Debye) 更進而由原量論之立場，潛心考察比熱與溫度之精確關係。德拜卒能建設一定律，使吾人得由物質之彈性常數，推算比熱隨溫度變化之軌跡。捨此之外，又有奈倫斯特 (W. Nernst) 之熱定理，尤為顯著。奈倫斯特創此定理在一九〇六年，其根據本與原量論無關係，然沙枯爾 (O. Sackur) 與泰特羅 (H. Tetrode) 指示吾人，不僅熱定理之全內容，即奈倫斯特所用之化學常數之絕對值，亦可由作用量子推出之。作用量子之普遍性，經此證而愈彰明矣。要之，自然科學者對於原量論之信仰，今日已極堅固，若化學常數之實測有值與理論之計算值不相符者，非理論本身之咎，乃吾人對於該物質之原子狀態所設之假定應負其責也。

然熱力學之定律，皆不過概括的，統計的，以之解釋原子內之電子現象，僅能有總和的意義。若

作用量子在熱力學中，具特有的意義，則在各單原子之現象內，在發散與吸收之各過期間，甚至在自由傳播之光線上，必將自顯其面目。於此着先鞭者，又爲愛因斯坦。在人尙未注意及此之時，愛氏早已提出光量子之假定，倡言光量子獨立存在，且自有其作用。物理學與化學遂由此假定而得無數新問題與新實驗，其中關於光量子之發射者有之，關於光量子對電子原子及分子之作用者亦有之。其後佛朗克與黑爾志 (J. Franck und G. Hertz) 實驗因電子衝突而生光之現象，作用量子，始得直接測定。至波爾 (N. Bohr) 建設原子模型，隱微之原子現象究遵何等法則而起，吾人已可得其概略，而構成一種廣汎的解釋，且由此模型，原量論之理想，即所謂物象之複狀態乃合種種不連續而可數之狀態而成之假定，不僅得以實現，且得應用於熱力學之外，範圍愈擴大矣。波爾之說出後，松麥非爾 (Sommerfeld) 復連結舊理論之定律，將量子化 (Quantisierung) 之方法，換言之，即分解一複狀態爲種種不連續狀態之方法，作一系統的研究，同時並用相對論的力學爲工具，卒得說明光譜線之精微構造焉。然波爾之模型，不僅對於分光現象，甚有價值，且對於化學法則之解釋亦甚有價值，即化學原素之週期律亦在其中。雖然，波爾原子，非即量子問題之最後解決，

即波爾亦時言之，彼且提出成績非常廣大之對應原理，一面表出其與舊理論之關係，一面指示原量論將來發展之方向焉。

波爾原子之個別狀態，即所謂電子之常定軌道者，其性質與舊力學完全不能相容，以此之故，歷時既久，各家猶未能一致。海森堡 (W. Heisenberg) 爲除此困難不以舊理論之見解，詳細描畫電子之運動，僅用直接可測之量爲理論之對象，乃得創造一種代數關係，解決量子化之問題，此理論更普遍而完全。海氏所用之特殊工具係與波倫 (M. Born) 饒耳丹 (P. Jordan) 合力發見者，其計算法與矩陣計算有密切之關係。鮑里 (W. Pauli) 與第拉克 (Dirac) 亦取此道，而成更有意義之進步焉。

於此之外，尙別有一道，完全與上述諸人所經之路不同，且似正相對者，亦能引導吾人至同一目的，且爲原量論得一更廣大之新基礎，不可不注意也。海森堡之理論，爲應量子化之要求，自始即僅承認所論各量之不連續差別，然余今將陳述之觀念則自白樂里 (L. de Broglie) 之思想發展而來，不惟完全與海氏理論無關係，其着眼點亦不同也。愛因斯坦之光量子早已將光之二重

性暗示吾人自能力 (Energy) 之見地觀之，光量子之行動恰如不連續之微粒，然自電磁之見地觀之，光量子又表現連續的週期的變化場 (Field) 之一切性質，與馬克斯威爾的光之波動論之定律，完全一致，此皆歷來實驗所反覆證明者也。能力與振動週期之關係既僅能由作用量子決定，則吾人即可視此關係為根本，而以一種週期波即所謂物質波者附與各種能力，及運動電子甚而至於運動原子之能力，此實自然而直捷之思想也。此思想之實驗證據最可注意者，即戴維生 (O. Davison) 之電子射線與斯特恩 (O. Stern) 及其助手之原子射線是也。然由史勒丁格爾 (E. Schrödinger) 創設之偏微分方程式，波力學始能將此思想精確表示於解析數式之中。史氏之方程式，一面由能力之個別固有值，引導吾人歸於海森堡之量子化規則，一面擴大原量論之應用範圍，即擾亂現象與其他複雜問題亦有解決之望矣。

史氏之微分方程式尙能演出何等結果，今猶未可豫測。然吾人今日可以斷言，波力學推廣廣大舊日之微粒力學之大功已完全告成矣。從此吾人建造物象之運動定律時，再不能以舊力學之方法，分裂之為無限小部分，而視各部分之運動與其餘毫不相關，須常着眼於其全體，而視其運動

爲該物象之各個相異之固有運動之合成物。此即波力學之最要特徵，與舊力學大不同也。與此特徵有密切關係者，第一，在基本方程式中占重要地位者非牛頓力學之各部分力，乃力之積分，換言之，即力之勢 (Potential)；第二，吾人執一質點，而指其位置爲何，速度爲何，乃毫無意義之言，在狀態之區域內至少有大小與作用量子相當之活動餘地，不能完全決定。故無論何種測定方法，由原理上言，常具與此程度相當之不確性也。

自然定律與測定器具之性質無關係，毫無可疑，然在各個自然現象之觀察中，測定器具常有偶然性，實有重大之意義，亦吾人所深信者。因此之故，今日之物理學者往往由原量物理學之立場，欲捨去自然現象之因果律，而以統計的解釋代之。然吾人亦未嘗不能改革舊物理學相傳至今之普通因果律之形式，而使此定律仍有嚴重之效力。此二種思想，究竟將來孰優孰劣，惟視今後之發展而已。



# 實驗物理學

佛朗克 James Franck 著  
文 元 機 譯

五十年來物理學所經之根本改革與廣大發展，為歷史從來所未有。在此紀念文中，吾人關於物理學之進步，特分為三部報告；一為理論物理學，一為實驗物理學，一為應用物理學。因物理學之範圍甚大，一人決不能顧及其全體，故近年以來。本章所論之實驗物理學，更由廣義的解釋，尙有天體物理學，地球物理學，物理化學等，皆完全由實際的理由，分途發展，而各自成一專科。物理科學，全賴理論之結果與實驗之成績互相為用，始能成立。確定事實，實在實驗，整理已知之事實而成一系統，實在理論。至於應用物理學，則取材於理論物理學與實驗物理學，而達其自有之目的，復以精益求精之實驗器具及方法為酬，助長本學之進步。因理論之結果與實驗之成績有深切之關係，凡欲集合實驗所得之重要事實，必須運用理論之編制原理，且同時屬於應用物理學之結果，亦常有提及之必要。

距今八十年之初，物理學之基礎爲力學的宇宙觀，換言之，卽一切現象皆可歸之於力與運動之思想是也。在此時代，實驗家大抵皆深信以後物理學將不復能發見原理上之新物，不過已知之自然常數，將隨測定器具之改良進步而愈精確而已。此種見解似毫無生產力，然今日之物理學受賜於精密測定之進步者實亦不少，蓋有精密測定，然後吾人始發見理論之豫期有與事實不符者，理論之根本改革亦因而由此發生也。且在理論尙未有把握，或種種不同之理論互相爭持之範圍，實驗的詳密研究，尤爲重要。如馬克斯威爾之理論，端賴黑爾志之實驗研究爲之證明，而一切爭議始息，卽一例也。

#### 馬克斯威爾理論之實驗證明

馬克斯威爾依據法拉第(Faraday)之思想，發展電磁場之理論。凡電磁平衡一有擾亂，其效果應成波形，以光速度傳播於空間之中。因此種當時尙未證實之電磁波應爲橫波，且傳播速度與光相等，馬克斯威爾遂推想可視之光亦由電磁振動而成。至一八八七年黑爾志(Heinrich Hertz)始證明由一電荷往復振動之電線，果有電力射線(Strahlen elektrischer Kraft)發出，除波長

而外，其一切性質皆與光無異。此等射線，有運動，反射，屈折諸現象，且爲橫波，其傳播速度完全與光相同。黑氏並能在相距十米之空間內尋得此波之存在。此實驗不僅爲馬克斯威爾理論之重要證明，且爲無線電報無線電話之原始基礎，是雖無關本題，然亦不妨乘便一言也。當黑氏之時，實驗可能之距離，雖僅不過十米，至於今日，卽十杆之百萬倍遠，吾人亦能以黑爾志波聯絡之矣。斯特麥（Störmer）所發見之宇宙回響（Walicho）卽黑爾志波經在離地甚遠之大空內進行之負極線反射而來者也。如是之進步，惟有借器械發展之力，始能得達，自不待言。吾人於此，只須指出擴大真空管亦已足矣。此種真空管，純由李本羅（Liebenrohr）之氣體放電，威訥爾（Wehnelt）及其他之熱負極發射等應用物理學之研究而來，今復成爲純粹物理測定之重要工具。邁業爾（Meyer）、洛森貝格（Rosenberg）等用之於分光學及星光定量，雖極微之光度亦可測出，卽其應用之一斑也。

今再言歸本題，試就馬克斯威爾理論之試驗，而考察黑爾志波之波長。黑氏當時所得之波長約十米，今日則自數杆至數耗之波長皆常見諸實用。黑爾志波與光波間之空白，已爲短波填去一

部，蓋可視光之波長約在萬分之五耗左右故也。又由光源發射之研究，亦外區域已擴展至三分之一耗之波長。此方面之主要成績，大抵皆屬魯本斯（Rubens）及其助手，此等研究家，蓋欲以可能之最長光波，更行試驗且鞏固馬克斯威爾之理論者也。此外尚有應憶及者，即光之屈折係數與介電常數（Dielektrizitätskonstante）之平方根相等之馬克斯威爾關係，亦已得證實，金屬之光學反射係數，亦已由其傳電率算出。（魯本斯與哈根之工作）而此等成績又復需要種種實驗工具之發展，如熱電堆，輻射計，輻射測微計等。由此方面之精密研究，物理學之別方面，復受重大之影響。如結晶體原子之固有振動之位置，可由魯本斯之剩餘輻射法（Reststrahlmethode）定之，其一例也。

復次，光壓存在之實驗證明及其量的測定，亦與馬克思威爾理論之試驗，不無關係。由馬克斯威爾之方程式，光投於一物體上時，當生一定之壓力，同時發光物體亦起反動。一八九二年來伯德（Lebedew）以細線懸輻射計之輕翼，置之光中，察其迴轉，證明此效果之存在以後，直至真空技術之發展已臻完善，格爾拉（Gerlach）與其助手始真測出其量的結果。關於輻射壓之問題，尙有其

他關係，下文猶有重提之機會也。

### 物質動力論之實驗基礎

物質之動力論在一八八〇年前後已大發展，而尤以氣體之動力論爲最完全。在德國之研究中，最可稱道者，先有克勒尼 (König)、克勞蘇斯 (Clausius) 後有波爾茲曼 (Boltzmann)，孔特 (Kundt)、瓦爾堡 (Warburg)、邁業爾 (Meyer) 諸人。由氣體之壓力，內摩擦力，擴散，熱傳導，及狀態方程式等各種考察，吾人已可得知氣體分子之重量，一定壓力下之單位容積內之分子數，分子之自由路程及直徑。雖然如此，直至一八九〇年，尚有一部分嚴謹研究家，深信原子與分子之假說可以擯棄。最近數十年之發展始將此意想之假說變爲真實之事實。以前已知之原子常數，分子常數及其他種種常數，今日均可以直接方法實驗之。精密測定一立方釐之分子數，現已有不可勝數之可能方法，其中最直接者，當推利用放射能而得之計數法 (Zählmethode)。關於放射能，下文當再詳述，今僅略言其有關係者。凡有放射性之物質，常放射荷正電之氣原子，當其射出之時，具有甚大之能，故各原子射線皆能發生可視之效果。卽此等射線，與結晶體相遇時，常生火花，

即所謂閃光，以擴大鏡視之，極爲明顯故數此點點之閃光，每秒由放射性物體發出之射線，不難確定也。又若以該放射性物質封閉於真空中，氬之壓力，歷久自現，測定此值，各單位容積內之氬原子數，即可得知。是類實驗，大抵皆英國物理學者魯哲夫（Rutherford）所作，然德國研究家亦與有力，勒格訥（Regener）其最著者也。此外尙有一法，係利用輕微如煙之小質點而觀察其浮游於氣體中時所生之伯郎運動（Brownische Bewegung）。直徑小至百萬分之一厘之小質點，可以借繞射光波之助，由西登脫夫（Siedentopf）與奇格孟第（Zsigmondy）發明之超越顯微鏡，認識其存在與行動。按愛因斯坦與斯摩魯霍斯幾（Smoluchowski）之理論，此種質點之性質宛如大小與之相當之分子。故研究此等質點之分布，運動等等性質，由不可視之小分子集合而成之氣體性質，亦可確實解決。伯林（Perrin）與其助手，即對於此種研究貢獻最多之人也。

分子之速度，直徑，及其自由路程，今日已由原子射線之方法確定。吾人可由充滿氣體之空間，引出原子與分子，使之穿過一列隔板而入完全真空之中，此時此等原子與分子已彼此不相衝突，應以原速度，即與充滿氣體之空間內之溫度相當之速度，繼續沿一直線運動。首作此種觀察者爲

法國物理學家杜諾愛 (Dunoyer) 而利用之以測定原子常數者，則爲斯特恩 (Stern)。波倫 (Born) 研究原子射線在低壓氣體中之分散現象，自由路程之測定，因而可能。斯特恩又研究原子射線在迴轉系中因可里阿里 (Coriolis) 之力而易向，直徑之測定亦由此解決矣。此方法之他種應用，下文容再述之。

### 電之傳導

物理學中尙有一方面，五十年來，發見不少革命的新事實，吾人今試論之。此方面爲何，即電之傳導是也。金屬之電傳導，在一八八〇年，大部分事實，已經闡明，然其理論的概念（參觀理論物理學章）則今昔懸殊矣。傳導乃由負電在電場內遊行而起。然電子之存在與其性質，則係氣體放電之研究出世後始爲人認識。在金屬傳導之範圍內，超傳導 (Supraleitung) 之出現尤爲最重要之新實驗結果。所謂超傳導者，即金屬之抵抗至最低溫度而消滅之現象，爲加麥林翁訥斯 (Kamerlingh Onnes) 所發見者也。此現象之理由，至今尙未完全明瞭。其發見之端緒，蓋由低溫度之造法，即永久氣體之液化法，徹底發展而來。此種偉大進步，在德國研究家中，不能不歸功於林德

(Linde) 也。

### 電解

電解傳導之主要法則，亦在五十年前，已大體表現於世。據阿勒尼斯 (Arrhenius) (1884) 之意見，溶解物質在溶液中分裂為二種遊子 (Ion) 一荷正電，一荷負電，是即電傳導之張本。其後黑爾姆霍爾茲 (Helmholtz) 始昭示吾人，若假定各單價遊子皆荷相等之單位電量，則法拉第 (Faraday) 之電解定律，無須牽強附會，即可自然說明。黑氏之單位電量 ( $4.774 \times 10^{-10}$  靜電單位) 只須測定分解一定量氣體所需之電量 (即所謂電化學當量)，並由上述方法，決定此一定量氣體之分子數，即可推得也。

溶解物質分為遊子之程度即所謂電離度者，應與該物質之濃度有關係。以前之一切觀察，似皆與此假定相符。然至最近，維因 (Max Wien) 已發見電壓甚高時歐姆 (Ohm) 之定律，不能無差矣。維因發見之結果，恰如德拜 (Debye) 之理論所豫料。據此理論，在強電解質中，與濃度有關係者，非電離度，乃遊子之運動自由，因各遊子之四周常有異號之遊子圍繞，其密度則因濃度而定故



也。

### 氣體之電傳導

氣體中之電傳導大抵在最近二三十年內始完全發展，而物理的認識，亦因之而大進步。氣體若不因外界之影響，例如極端紫外光線之照射等所謂電離作用，中性分子分裂為荷電遊子，則在平常狀態，完全為隔電物質。然一旦電離，其遊子在電力作用下運動之情形，與電解物質內之遊子甚相似。此等遊子之運動，經湯姆生 (J. J. Thomson) 勒訥爾 (Ph. Lenard) 斯塔克 (J. Stark) 等之精密研究，已得不少重要結果。

遊子與浮游於氣體中之質點衝突時，常附身於其上。如前所述，非常微小之質點，可以超越顯微鏡視之，故此等集團遊子之運動，亦得以上文所述之集團分子觀察法，直接觀察之。如是測定其在電場中之速度，各個遊子所荷之電量即所謂基本電荷者亦可以算出矣。此法早由愛倫哈夫 (Ehrenhaft) 與密里根 (Millikan) 同時指出。而精密測定，則成於密里根之手。由此所得之值與由電解算出者相等。密里根之值，在今日可以視為最精密者也。

因氣體之傳導能 (Leitvermögen) 即在電離作用下亦甚小，故吾人得在氣體中維持甚高之電勢昇降率。因此，遊子之加速度可以增大，一旦與中性分子衝突，又能發生新遊子。且氣體中之電流亦得加強而至於發光。是即所謂放電，其種種不同之形狀，如火花放電，尖端放電，微光放電，孤光放電等皆壓力使之然也。此等現象之中與吾人下文最有關係者，則爲低氣壓內發生之微光放電，一八八〇年蒲留克 (Pliücker) 與希脫夫 (Hittorf) 已率先研究之矣。

### 負極線

微光放電之機構，吾人今不欲詳述，只須略言一二亦已足矣。即此種放電發生時，最強之電勢降落（瓦爾堡名之曰負極降落）在負極之附近，故荷正電及負電之質點，在此得最大加速度，因而速度驟增，相連成一射線，貫通低壓之氣體。荷負電之射線，哥爾斯坦 (Goldstein) 名之曰負極線。希脫夫在一八六九年，已觀察此種射線並發見此種射線投於玻璃壁上時，能使玻璃發光。尤有重要者，此等射線在磁場中改變方向之事實，希脫夫亦早已指示吾人也。然此等發見久未經人注意，至一八七六年哥爾斯坦證明負極線在電場中改變方向，始喚起世人之回憶焉。負極線之真相

爲何，會有種種意見，此種敘述，見理論物理學章，茲不再贅。要之，最後始確實證明其爲負電微粒相連而成之射線，上文已先述矣。測定負極線在電場及磁場內所經之路，吾人可以得二方程式，由此即可算出各微粒之電荷對質量之比<sup>31</sup>。及其速度。若假定其電荷爲基本電荷，則得其質量之值爲氫原子質量之一千八百分之一。至於速度之值，則因放電之電壓而異，電壓甚高時，幾與光速度相等。此種測定其後維歇爾 (Wiechert) 與最近基爾希爾 (Kircher) 又由枯德爾 (Coudros) 之創議，另以完全不同之方法行之。其法爲何，即以負極線之速度與電波沿電線行之速度比較是也。由此測得之值與由變向實驗測得者完全一致。在此等實驗，吾人所驅使者，已非尋常之物質，而爲原子之成分矣。

因無論發源於何種氣體之電子，其性質均相同，與其發源之氣體無關係，故電子僅能有一種類。固體熱至高溫度時，電子亦能脫離該固體而自由，是謂之熱電子放射。又若以短光波照固體亦能解放電子於固體之外，是謂之光電效果，哈爾瓦 (Hallwachs) 與勒訥爾 (Lenard) 卽此效果之發見者也。

負極線能穿過金屬薄葉，黑爾志早已知之。一八九二年勒訥爾使負極線穿過金屬薄葉之後，再入完全真空，乃能專研究其在真空內之純粹性質。反之，若送負極線入充滿氣體之空間，則電子與氣體分子之衝突，自由路程，電離，發光等問題皆可解決。據勒訥爾之研究，電子之速度若甚緩慢，其自由路程與氣體動力論推算之分子自由路程無甚大差。然最近拉姆肇 (Ramsauer) 又發見緩慢電子在稀有氣體中之自由路程，實與其速度有關係，甚可注意也。一九〇三年勒訥爾又發見速度甚大之電子尚能貫通原子（見放射能節），亦一重要之事實。因電子衝突而電離，發光之現象，吾人下文當更詳論之。

考夫滿 (Kaufmann) 及其他物理學者之研究，已證明在高電壓下電子之電荷與質量之比，並非一常數，速度增時，質量亦增，其關係與愛因斯坦相對論推得者完全相符。此等研究誠相對論之重要實驗根據也。

### 溝渠線

微光放電發生時，荷正電之射線，趨常負極，若在負極板上穿孔，則此等射線即穿過負極而射

入負極後面之空間，吾人於此可以觀察其存在。一八八六年哥爾斯坦發見此等射線，遂名之曰溝渠線。此等射線係由荷正電之遊子相連而成之性質，大抵爲維因所闡明。溝渠線之重要研究，除英國之湯姆生（J. J. Thomson）外，皆維因之功也。測定溝渠線之電荷與質量之比，法與解決負極線之同一問題同。由此測定，正電射線之質量，即發生放電之氣體原子之質量。故正電荷非脫離原子而自由之電荷，換言之，正電子之存在，尙未有也。溝渠線之速度斯塔克由其多卜勒效果，始得知之。蓋此等射線與原子相遇時，每因衝突而發光，遂成一運動極速之光源。其光譜與靜止光源所發生者比較，當起多卜勒變位故也。又若將發光之溝渠線引入高度真空中，則光度沿線漸減，是謂之光振動之輻射衰落。此現象乃維因指示吾人者也。

尙有一結果原理上非常重要，亦由研究溝渠線之 $\beta$ 而來者，即所謂同位原素之定量分析是也。化學原素十中七八皆非由一種重量相等之原子而成，乃種種重量不等之原子之混合，惟此等原子在化學上皆有同性質而已。如平均原子量爲 35.5 之鹽素，實係原子量 35 與原子量 37 之二種原子之混合，即其一例。由此種研究得一最重要之結果，即一切原子量皆爲氫原子量之整

數倍，故氫原子，更精言之，原子核即所謂質子（Proton）者，實爲重原子之基本要素是也。整數倍之理論雖與事實少差，然由相對論，電子與質子相聚而造原子核時，當解放一部分能，此理論與事實之差，不惟可以解放之能解釋之，且可以借之而算出解放之能量也。同位原素之主要測定，大抵皆成於英國物理學家阿斯吞（Aston）之手。在德國研究家中，貢獻最多者，當推發揚斯（Frahm）與赫維希（Hevesy）二人。此二專家曾將放射性原質之同位原素詳密研究。且同位原素之觀念，索第（Soddy）而外。此二人亦爲首倡者也。最後尚有不能不略述者，同位原素之存在與定量，亦可由分子之光譜發射得之。此種研究之代表者，當推克拉徹（Kratzer）。

發現於放電管中之微粒射線，除負極線與溝渠線而外，尚有格爾克與來興海姆（Gehrcke und Reichenheim）發見之正極射線，然吾人已無暇詳述矣。

### 樂琴線

與負極線之研究有密切關係者，即樂琴在一八九年所發見之樂琴線，此人所共知之事實也。樂琴因考察勒訥爾之負極線之性質，發見負極線不能射到之結晶體亦有能發光者，遂得由此證

明負極線直接投射之固體（對負極）實爲一種具有透射能力之光源。此種新射線，自對負極出，投射於結晶體上，又使之發光。數月之間，樂琴已將此種新射線之一切性質精密研究，概括之於數頁之短文中。自是以後直至一九二二年，關於樂琴線之研究，原理上未見有何重要之新事實出現。且樂琴已知之諸性質，亦已昭然若揭，無再事追求之必要矣。至於樂琴線之本體，當時之人已有種種理由，視之爲一種非常短之光波，其發生之因，則由於電子與固體衝突時驟然停止而起。然樂琴線之波長與尋常光波相去甚遠，凡測定尋常光波之方法用之於樂琴線皆無效力。直至一九二二年勞依（Talpe）由根本着想，見及結晶體之構造有類光柵，可以作測定短波之用。其助手菲得利（Friedrich）及克尼平（Kripping）受勞依之指導，以此思想施之實驗，樂琴線之波長測定始告成功。今日成爲二大分科之樂琴線分光學，與結晶之構造研究皆由勞依及其助手之工作發展而來也。

### 放射能

放射能之發見與樂琴線之發見有如影之隨形。樂琴線投射於某種結晶體上能使之發光，上

文已言之矣。在自然界中有種種物質經尋常之光照射亦發生與此相似之光，且將照射之光取去，其效果往往尚能繼續若干時間，是謂之磷光現象，在德國之研究家中以勒訥爾爲最著。貝克勒（Bequerel）從事於此種研究時，自設一問題，問自然界中亦有無須經樂琴線之照射，且無須受尋常光線之刺激，即能自然發出射線之物體否。彼幾經搜索，竟在鈾之中尋得此種物質。由是發出之射線歷久猶強，且能穿透黑紙及其他尋常光線所不能透過之物質，能使空氣電離，與樂琴線無異。據貝克勒之研究，射線之強度，似大致與鈾之含量相關。然居禮（Curie）夫人試驗種種鈾鏷，發見不能一致之結果，遂斷定鈾中必有更強而更活動之不純物。鏷之發見即由此起。其後歷時漸久，放射性元素之發見亦漸多。此等元素之發見者，除法國與英國之物理學者而外，在德國有史密特（G. C. Schmidt），紀塞爾（Giesel），馬克瓦爾（Markwaldt），哈因（O. Hahn），里塞邁特（Lise Meitner）諸人。

經以上諸家之研究，放射性元素所發之射線，計有三種，一爲噶麻線代表波長更短之樂琴線，一爲比塔線代表速度更大之負極線，一爲阿爾發線，與溝渠線相當，阿爾發線之性質，上文已略爲



提及，實係由氮原子構成之射線。但阿爾發線之氮原子，荷有二基本正電量，並非中性，且當放射之際，具有甚大之能。由此性質，英國之魯哲夫（Rutherford）與索弟（Soddy），德國之愛爾斯特（Elsler）與蓋特爾（Geitel）皆不謀而合，視放射現象為原子之自然崩解，是本不過一假定，然今已經證明為事實矣。構成阿爾發線之氮原子，與常態原子比較，直徑皆非常小，此推論可由阿爾發線之吸收測定得之。若將阿爾發線射入威爾孫之霧箱中，吾人尙可目觀其軌道，愈足以證明此說之確切也。魯哲夫之重要研究又指示吾人，阿爾發線可以貫通原子，其在原子內不能深入之容積，不過全原子容積之一極小部分。一九〇三年勒訥爾對於負極線，亦早有與此相似之觀察，並由此斷定原子之質量係集中於其所占之一小部分容積。二氏之研究，可謂殊途同歸也。魯哲夫以其測定為根據，最後造成一精深之概念，謂原子係由一荷正電之核與負電子結構而成，原子之全質量，皆在此核，負電子則繞核而行，與行星繞日之狀相仿。波爾（Bohr）採用此假定，並借助於蒲朗克之原量說，遂創出一種原子構造之理論焉。

時至今日，鑽研原子核之性質，構造，及物理的行動之實驗工作與理論工作，不可勝數，故原子

核物理學已成膾炙人口之名詞。魯哲夫與其助手以阿爾發線轟炸原子核而得成功之原子破壞，即原子物理學最近所得之成績。核經破壞分爲碎粒，氫原子核，亦其碎粒之一。吾人所以能認識此等碎粒爲何物者，賴有磁場變向之實驗法也。現在努力於此種工作者，除劍橋大學之研究家外，尚有維也納錘研究院之基爾希（Kirch）與彼特孫（Peterson），及柏林國立研究院之播特（Bothe）。在原子核構造之一章中最有興味且最爲重要之種種問題大抵皆由噶麻與比塔線譜之研究而來，例如阿爾發線之發生當在原子崩解之前，抑在崩解之後，即此等問題之一。闡明此類疑問之功，吾人不歸之於里塞邁特訥（Lise Meitner）與愛里斯（C. D. Ellis）也。

### 分光學

分光學之發展與氣體放電之研究，關係最深。自一八六〇年本生（Bunsen）與基爾希霍夫（Kirchhoff）發見光譜分析以來，實驗物理家已常注意及此，至蒲留克（Plicker）與希脫夫（Hittorf）之研究出世，利用氣體放電而發光之便法，已爲人所共知，一面分光工具，如玻璃及水晶之分光器械與羅蘭（Rowland）之凹面光柵等，日益增多，發散波長之精密測定，愈易實行，研

究家之視線，更常轉向此領土矣。分光工具，因舒曼（Schumann）之真空光譜攝影器製造完成，又較前更進一步，其功用之大，近數年來日益顯明。至於純粹光譜分析之研究，即因一定波長出現於光譜而認識所屬原素，或因一新波長出現於光譜而發見未知原素等等問題，余今不欲多述。自物理學家之立場觀之，包括光譜之各線於一定系列之內，而研究此等系列所由來之簡單原則，尤為重要也。一八八五年巴爾馬（Balmer）由氫光譜之研究，率先發見一構造極為簡單之系列公式。今日通稱之巴爾馬系列，即因其發見者而得名。其後李德堡（Rydberg）、龍格（Runge）、帕興（Paschen）諸人又由種種原素之光譜，發見與此相似之系列關係焉。

若發光與收光之氣體，非單原子氣體，換言之，即其氣體之分子若係由多原子構成，則其光譜，更為繁複。吾人於此已不復能用系列光譜之名詞，須以帶狀光譜稱之始當，蓋此種光譜之特徵在構造相似之帶經一定週期而反覆出現也。帶狀光譜為研究分子構造之重要關鍵，恰如原子光譜之於原子構造。方今世界各國從事於此種研究之物理學家不可勝數，故吾人亦不能一一列舉其名矣。光譜之理論的意義，容後再述。惟關於光譜線之構造尚有不能已於言者。在簡單之線，其分布

於狹小之波長範圍內之強度，僅由多卜勒效果即可推得，故測定光譜線之廣狹，不難算出原子之速度也。然光譜線之構造未必盡為簡單，往往有由多數鄰接之線合成者，是謂之光譜線之精緻構造。氫原子光譜及單一電離之氦原子光譜（帕與之研究）皆有此種精緻構造，在松麥非爾（Sommerfeld）之原子構造理論中，意義甚深遠也。研究精緻構造之工具，或用光柵，或用干涉機械，其中最重要者當推魯麥格爾克（Lummer-Gehrcke）之干涉板。又所謂簡單光譜線亦往往有超精緻構造（Hyperfeinstruktur），不久以前已經闡明。此種精密研究，對於原子構造論之最新發展至為重要，不待言矣。

置光源於磁場或電場內，其光譜線因此等場之影響，可以至於分裂。一八九六年則曼（Zeeman）已先發見鈉燄之D線在磁場中分裂之現象，不久勞倫慈復由電子論算出此效果。惟光譜線因磁場而起之分裂，有甚為繁複者，謂之變則曼效果。此現象之所以發生，蓋因電子不僅有電荷，且有磁矩之故。是類電子，古德米（Goudsmit）與烏倫伯克（Uhlenbeck）名之曰磁電子。

光譜線之電的分裂，至一九一一年始為斯塔克所發見。其在原子構造論中意義之重要與則曼

效果相等。斯塔克效果之發見係利用負極線作光源而成功，亦可述之事實也。

勞依之發見，經白拉格 (Bragg) 德拜 (Debye) 謝勒爾 (Scherrer) 推廣精研以後，變琴線之分光學，不僅能測定波長，且原素之系列光譜，即所謂特性光譜之系列關係，亦得大明。最重要者，則為摩時利 (Moseley) 之定律。由此定律，吾人比較原子之化學性質而得之週期系統，不能復見於變琴線譜中。因此之故，吾人可以推論發生變琴線之電子，束縛較緊，而其列位於原子中之情況，僅與原子之重量相關。變琴線之分光學，起程於短波長，光之真空分光學起程於較長之波長，今則相接而居於同一分光範圍。故由百萬分之一盎斯通單位之短 $r$ 線擴展至數十杆之黑爾志波之波長領域，今日之研究已可通行無阻矣。又變琴線分光學所利用之結晶光柵之性質，可由分光圖解釋之，已略述於上文。據最近德拜之研究，複雜分子之構造，亦得由變琴線之分析尋其端緒。是不可不注意也。

### 原量論之實驗基礎

在理論物理學之現狀報告中，一九〇〇年創立原量論之蒲朗克 (M. Planck) 氏已略

述此理論之思想內容及其發展歷史。惟原量論與以上所述實驗物理學之各部實驗，均有關係，故吾人於此尙須重言以申明之。原量論之誕生，係由黑體之輻射光譜之能分布之實驗研究而來，蒲氏文中亦已言之矣。與此根本研究永久聯繫之名，則爲維因（W. Wien），魯本斯（Rubens），魯麥（Lummer），卜林斯海（Pringsheim），帕興（Paschen）也。

愛因斯坦曾指示吾人光電效果之定律實爲原量論之自然結果。脫離金屬而出之電子之極大能，等於投射於該金屬之光量子之能減去，電子脫離該金屬所需之工作。此種關係經拉登堡之實驗始得證明。因樂琴線照射而脫離原子之電子，其極大能亦有相同之關係。最近邁特納測定電子由噶麻線解放時所有之速度，因而算出噶麻線之振動數，即此原理之應用也。

又光電子之數與投射光量子之數相當，亦在數年前爲普爾（Pohl）及其助手由實驗證其不誤。其實驗方法在測定結晶體被照射時內部發生之電流。是謂之內光電效果。

光化學之根本定律，即愛因斯坦之光化學等價定律，亦原量論之一應用。光化學之基本現象，係由分子吸收光量子而起。故此等在化學上有活動性之分子，其數當與被吸收之光量子數相當。

瓦爾堡 (Warburg) 者，即以實驗證明此定律之第一人也。

光之量子特性尚有一鮮明證據，係康勃頓 (H. H. Compton) 由樂琴線之光壓觀測得來。康氏於此指出不僅光能有量子性，其傳於散光質點之動量亦有量子性。康勃頓效果之理論，同時造成於康勃頓及德拜 (Debye) 二人之手。

固體與氣體之比熱，皆與溫度有關係，此理論亦可由原量論發展之（波倫，加曼與德拜之工作），在此方面之實驗工作以倭鏗 (Eucken) 在奈倫斯特 (Nernst) 實驗室中所成就者為最重要。最近邦赫甫 (Bonhoeffer) 哈特克 (Harteck) 與倭鏗又由比種測定，證明平常氫氣係由二種不同之形態而成，可以其所含之能分別之，是即所謂變氫 (Parawasserstoff) 與正氫 (Orthowasserstoff) 是也。

原量論經波爾 (Niels Bohr) 用之於原子構造之基本理論，版圖愈大（參考理論物理章）。據波爾之意見，原子與分子僅能有不連續的能量。由一個別而狀態轉移於別一個別能狀態時，即有一光譜線（即單色射線）發生，其振動數可由此二個別狀態之差，照原量論算出之。又一電子

之分離需要最小限之能量，是亦可以由吸收光譜之收斂振動數，照原量論算出之。此二結果均有甚多之實驗爲保證，前者之實驗保證，則佛朗克 (J. Franck) 與黑爾志 (G. Hertz) 所獲得者也。其實驗方法在利用自由電子衝突，而將其可以加減之能歸之於原子。

此外尙有一原理上非常重要之實驗，證明能之個別值者，乃斯特恩與格爾拉 (Stern und Gerlach) 之工作。其法係在測定原子射線在不均磁場中之變向。

波爾以其創立之理論，不僅能說明原子與分子光譜發散，且能說明樂琴線之光譜。於是以前分光學家之希望終得實現，時至今日，帶狀光譜分析已發展至化學境界。無數重要化學常數已由帶狀光譜推出。物理學與化學之關係日益密切矣。

最後尙有不能已於言者，即確實證明波力學之根本假定之重要實驗是也。波力學係白樂里 (de Broglie) 與史勒丁格爾 (Schrödinger) 爲發展波爾原子論而得之新領土，蒲朗克已在理論物理學章中言之。據波力學之所論，平常質點力學接近真實之程度，與以幾何光學代波動光學而論光之性質時，所能達到之程度同。故吾人若有適當之精良實驗設備，即微粒射線亦必能發生



與光相當之干涉現象。電子由結晶表面反射之際，實有此種現象也。行此種觀察者，當先推戴維生 (Davisson) 與傑麥爾 (Germer)，以電子之干涉說明其意義者，則爲愛爾沙塞 (Elasser)。此外以別法得達同一目的者，尚有英國之湯姆生 (G. P. Thomson)，德國之魯勃 (Rupp)，日本之菊池 (Kikuchi)。干涉現象不限於電子，即原子亦有之。氫原子及氮原子之干涉現象，已經斯特恩 (O. Stern) 及其助手用斯特恩所發明之原子發射裝置，實驗成功，是誠一重要之證明也。

物理學的宇宙觀，在最近五十年中已爲理論與實驗根本改革，上文已言之矣。自今日之情勢觀之，物理學之激烈發展，似已入平靜境地，當前急務，惟在整理秩序，發揮實驗，以鞏固吾人已得之宇宙觀。此種情況與五十年前認當時物理學之主要原理爲確不可移之情況，毫無以異。然近年原子核物理學發展以來，已有種種觀察，不能與現存之見解完全一致。此等困難，是否無須變更物理學之基本觀念，即可消滅，抑將因之而起第二次新革命，現實未可豫測，吾人惟有拭目俟之而已。



# 工業物理學

徹奈克 Jonathan Zenneck 著  
文元 模 譯

余今作此報告，請先舉數數於前，其印象恐較千言萬語尤深也。

1 一九〇八年，在今已併入愛基色染工業社 (I. G. Farbenindustrie A-G) 之各化學工場中，從未見有一物理學者。一九〇九年盧德威港之巴登阿尼林及曹達工廠建物理實驗室，用物理家二人，理論化學家一人，電工家一人。一九二九年之末，愛基色染工業社用專攻物理之大學畢業生幾達七十人。

現在歐斯蘭有限公司 (Osram G. m. b. H.) 工作之物理學家約六十人，其中三人居主任地位。

2 自一九一三年至一九一四年之冬期，在明興工業大學中有四十學生以候補教師之資格，習數學及物理，有二學生習工業物理；自一九二九年至一九三〇年之冬期，則有一百二十七工

業物理生註冊於此大學。

3 一九一九年工業物理學會成立，現有會員一千三百七十人。在一八四五年成立之德國物理學會，現有會員一千三百二十八人。

由以上數例，可知最近二三十年間，工業對於物理學及物理學家之注意已猛增矣。

二十五年前物理學家亦未嘗無見用於工業界者，其數雖不多，然其職則甚要。如電氣測定器械之工場及光學工場莫不以物理學家爲重，即其最著之例。西門子與哈爾斯克（Siemens & Halske）之前技師長拉勃斯教授（Raps），西門子聯廠之現任總技師長佛朗克教授（A. Franke）皆物理學博士，建設柴斯光學工場及休特與格諾生玻璃工場之阿伯（Abbe）教授亦爲物理學家，此人所共知者也。

然以前用物理學家而能蒙其利之工業，範圍實不甚廣。此種工業，吾人可以名之曰物理工業。至於今日，情勢全變，無論何種生產工業，完全不借重物理學家者，幾無有矣。余上文引證之工業皆似不在物理工業之列，而亦有物理學家參與其事，概可知也。

因此之故，今日物理學家若欲在工業界占一地位，希望遠勝於前，不似昔日之難矣。以前在普通大學專攻物理學之人大抵皆候補教師，其視物理學不過應用數學之種種學科之一而已。若在工業大學，物理研究幾不可能焉。故大學及工業大學之物理學教授大抵自中學教師出身（例如布朗），在此種情形之下實無足怪也。今日之工業既拓地不容物理學家，故以物理學或工業物理學為專門之學生亦非常增加，無論何工業大學皆有工業物理之研究，即在普通大學，亦往往有特設工業物理學之講座者。

因學物理學者日益多，故各普通大學及工業大學中物理之研究亦日益盛，其研究範圍不僅限於工業物理學，自不待言。吾人試比較歐洲大戰以前之物理論文與近年來之物理論文，已足證物理學產量之激增。至於其質是否進步，姑不必論，無論如何，吾人殊無根據謂現在之物理學成績遠遜於前也。然學物理者驟然增加之結果亦實有困難隨之而生。蓋國家預算所規定之助教人數及研究所之經費皆不適於學生之增加，故現在各大研究所之助教幾不能有餘暇從事於自己之科學工作。不過自他一方面言之，此等助教有多數為欲得博士學位而來研究之學生為之解題，其

所得之助力亦較前爲多。且萬一有特履熟練助手之必要時，尙可求援於文化事業輔助會，得其研究獎金，以充此項薪水。今日之種種研究工作中有爲研究所之經濟現狀所不許，全賴此種公共組織供給器械與資本而始成就者，頗不少也。

現在因多數物理學家投身於工業界，而各工廠又爭設物理實驗室，於是一部分之物理研究遂由大學之實驗室轉移於工廠之實驗室。此種風氣，美國尤盛。故在美國，甚有價值之研究工作，大部分皆成就於大工廠之實驗室，而非發源於大學之實驗室。德國情形雖尙不至此，然亦有甚多之優異成績產生於大工廠之實驗室中，且此等工作並不限於工業物理學之範圍，蓋因大工廠之物理實驗室往往具備利於研究之條件，較大學尤爲完全也。因此之故，有爲之物理學家入工業界者日益衆。以前之人因一入工業界，即將荒廢其純粹科學的工作，皆視之爲畏途，今則視工廠之於科學研究較大學爲宜矣。

工業物理學之名詞，吾人已於上文言之熟矣。然何謂工業物理學乎，余對於此問題實不欲下一斷語。要之，工業物理學與純粹物理學無分明之界線，與工業亦無分明之界線，不待辨而自明也。

惟余於下文尙欲略述二三部門之新發展，而此等部門，皆世人通列之於工業物理學者也。在下文之敘述中，大學實驗室之發展，與工廠實驗室之工作，無再分別之必要。蓋在大學實驗室中，若得一可供實用之發見，則轉瞬之間，此發見即自然出大學而入工廠，又若工業界注意於一問題，則大抵此問題不久即成大學實驗室之研究對象。徵之往事，莫不如是也。

在工業及自然科學之歷史上，發達之速爲從來所未有之一科，即無線電學。馬可尼(Marconi)之開創，實驗成功，距今不過三十年，然無線電話今日已成通商之工具，無線電像今日已達半球之距離。且無線電話又復伸其勢力於普通民衆，另成廣播無線電話一門，即以德國而論，六千三百萬住民之中，收聽廣播無線電話者已達三百萬人，即聽衆之數約爲全德人口二十分之一，其流布之廣，不亦可驚乎。雖然無線電學之重要意義猶未盡於此也。由斯學發展而來之輔助工具，如用作整流器，擴大器，發振器之真空管，無論工業及物理學之何部何門，皆被其侵略，且在各部門中發展之激，與在無線電學本門所成就者相等，現在各種有線電報及電話，及音學之各類研究，若置擴大真空管而不用，吾人將不能想像其成何景象矣。有線電像實現雖早，然亦利用無線電學之發展工具，

始有實用價值。此外尚有一關係，尤足以證明無線電學實可爲工業物理學之代表。新學之基礎本起於黑爾志之物理實驗，及其發展，則有種種物理現象供其驅使：如接觸電勢，結晶檢波器之非對稱特性，弧光之振動，水銀蒸氣燈之明滅效果，金屬之火花放電，高熱金屬之電子發射，金屬之聯合鐵之磁性，水晶之壓電現象等皆是。此種繁複發展與純粹工業之單純發展比較，大有可注意者。例如發電機，電動機，變壓器等電工業機械，在最近三十年間改良不已，構造愈簡，效力愈大，運用愈有把握，然其根本仍與昔日無異。至於最近，始有水銀蒸氣整流器，由氣體放電之研究出世。別開一新生面焉。吾人於此，可知今日之工業若有一新問題，非常用之工具與方法所能解決，則非求援於物理學家不可矣。

就應用之廣與影響之大而言，除無線電學而外，尚有樂琴線工程。樂琴線之發見，對於物理科學，直接間接，具有去舊更新之意義，惟余在此章不欲詳述。又在今日之原子物理學及結晶學之研究中，樂琴線爲何等重要工具，余亦不欲多言。但採其與吾人之論題有關者言之，則樂琴線管及附屬器械之大發展，頗堪注意也。樂琴行此試驗時所用之真空管，大不過於一拳，今則變爲數十



倍大之熱負極管，當時之電源，不過一附有金鎚斷續器之小感應線圈，今則變為附有散熱裝置之十基羅瓦特交流機械，連於醫學用之樂琴線管，可使其兩極電壓達於二十萬弗特之高。再就樂琴線之應用而言，其範圍之宏大亦吾人不可不注意者。樂琴線在醫學上之功用已為人所盡知，無待縷述。今日之大醫院無不視之為必需之工具，自不待言，即在設備較善之私人診察室中，亦無不有一樂琴線管也。又在材料試驗方面，樂琴線之勢力亦日增不已，不僅材料之純雜，一經樂琴線照視，可以立見，自樂琴線之干涉法發明後，金屬材料之構造及其性質之變遷，皆由此法精確察出。要之，樂琴線管已成現代機械工程一日不可離之重要工具矣。

物理學中尚有一門數十年來進步似已停頓，近因新研究之需要與新器械之供給，又復勃興者，即音學是也。自無線電報與無線電話發展以來，真空管擴大器，發振器，收音器，揚聲器等進步不已，音學遂驟增種種新工具與新方法。不僅物理音學與生理音學之種種問題，可以新加考察，即以前認為絕無希望之空間音學亦有解決之可能矣。近數年來各國學者對於此種研究已有甚多成績。今日若有一空間有不良之音學現象，吾人已不難探尋其原因，且大抵可以比較簡單之方法改

良其缺點。又當計畫建築之際，吾人亦可憑一紙圖形，確實豫斷該圖所表之空間，音學上有無瑕疵，如有，應如何加以改善。此外尚有材料問題。近年來亦有不少之新研究。各種材料反射音波及吸收音波之性質，吾人今日所知者已甚多，且現在之工廠已造成種種能滿足一定音學條件之特別材料，以供吾人之用矣。歐洲大戰中，吾人曾得一新發明，即所謂反響測深器者。利用此器，吾人由船上發一音入海中，測其音經海底反射再歸海面之時間，即可決定海之深度。此法出世後，音學又增一應用領域。如近年在大西洋南部舉行之流星觀測，即應用此法之最著名事實也。以上所述之空間音學，目的在研究一定空間內之傳音最良條件，與此相反之研究，則在設法使一定空間外之音波，不能侵入其內。此種研究吾人可名之曰保護音學，亦近年來新開之地也。例如一家之內須有何種防禦設備，始不為四鄰之人聲、琴聲、機械聲、水管聲等雜音所擾，即保護音學所欲鑽研之問題。此種研究之必要，凡在大城市中分租層樓一部而居之人，及曾在大旅館中有一宿經驗之人，莫不有同感也。

工業物理學更有一門，產生於經濟之壓迫下者。其所研究之問題在熱之傳達與保存。化學工

業中有所謂動力節制者此爲其一部分也。因房屋之保暖問題，亦在此種研究之範圍內，故工業物理學遂得與建築工程發生密切之關係，以上所述之空間音學亦復如是，否則物理學與建築，將風馬牛不相及矣。

介紹物理學所得之成績於工業，實爲工業物理學之最重要職務。吾人今試一考電子流及遊子流之研究，愈足見此言之不誣。電子流之研究最重要者莫如真空管，上文已略言之。高熱金屬在真空中發射電子之事實，物理學知之已久，然此真空管在無線電工程中大顯身手之時，工業始加以特別注意。至於今日工廠製造真空管之每日平均產量，已幾達十七萬之多矣。又如水銀蒸氣燈，物理學久已用之作分光學之光源，今則各大城市之發電廠均用之作整流器，以變交流爲直流，各醫家之診察室均用之作人工太陽，以發射紫外線，各化學家又用之作分析燈，以輔助其種種實驗。此外尚有微光放電管，數年前惟物理學能知其重要，今則變形爲所謂穆爾燈，夜夜以其中氣體所生之遊子流爲人廣告，爲人傳信。又因此等管內須裝氫，氮，氦等稀有氣體，於是，由空氣大規模製造此類氣體之工業亦即應運而生。是亦工業物理學中最可注意之一章，而此章之著者，即首建工業

物理研究所之林德 (Karl von Linde) 也。

與上文所述範圍有關係者，尚有負極線振動記錄器，吾人亦不能不一言。無論其形爲布朗 (Braun) 管或爲赫斯 (Hess) 管，負極線振動記錄器之應用與發展，大有蒸蒸日上之勢。雖此器在物理學中久已成爲貴重之工具，在高週率實驗中尤然，然侵入工程範圍內，不過近年事耳。

由以上所舉之例，工業物理學，係遵何途發展至於今日，現代之工業物理學應有何種意義，吾人可以得一概念矣。

在吾德國，吾人若欲分別志在擴張物理認識之純粹物理學與志在擴張實際應用之工業物理學，則吾人須勿忘此二名詞不過代表同一廣大問題之兩面而已。今日之人，以爲工業物理學不如純粹物理學之高尙者，尙往往有之。然現代純粹物理學之諸領袖，苟非完全不明事理，必不能不承認純粹物理學不僅由工業物理學得無數研究問題，且得無數研究工具。要之，工業物理學與純粹物理學實相依爲命，不容互相輕視也。

# 地體及其大氣之物理學

雨果·黑格塞爾(Hugo Hergesell)著  
吳劍西譯

我要敘述它在最近五十年中的發展的這門學問，它恰在這一期間有了特別的發育滋榮，因為研究這門學問的人，都是在物理學和數學上具有完備修養的第一流學者。這裏所獲得的知識，本身分為兩個顯然不同的部門。我們對於吾人生存和努力其上的固體的地球，知道些什麼東西呢？在圍繞我們的地球的氣圈中，發生些什麼物理的過程呢？——這乃是人類智慧自來所從事探討的兩大問題。單是研究我們的行星之凝固的核心之表面的，就有已經發展為獨立探討領域的。二大科學，即地理學和地質學。關於這兩種科學所獲得的成果，本書中在別方面已經有過報告了。

## I. 地體物理學

在本來的地體物理學 (die Geophysik) 範圍以內，如就通常的意義說，本包括着整個地球

的物理學；地球的數學形態，原係自成一章。與觀察整個地體具有關聯的，是地體各部的吸力和地球迴轉所喚起的諸力。在地球的內部和表面上，重力行使着合力的作用。由重力之研究，引導到地形的學說。地形說，恰在十九世紀八十年代之初，獲得了科學的說法；就中厥功最偉的，首推赫爾麥特氏（F. R. Helmert）。赫氏初服務於阿痕（Aachen）之工業高等學校，因為教育部很早就看清了他的重大作用，所以於八十年代的中葉，就把他調到波次丹（Potsdam）測量學院，充該院長。他的前驅者如拜耶爾（Baeyer），布倫士（Brunhs），崔培里茨（Zöppertiz）及其他學者，對於同一問題的功績，赫氏在他的名著高等測量學之數理理論（“Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie”，1880）中，已有過適如其分的推薦。

### 地球之形態

所謂地球的形態，係指固體地面近處的重力場之許多等高平面（Niveauflächen）中的一個等高平面而言。地形說之主要課題，就是去決定該等高平面的幾何形態。這個所謂平均海平線平面或地形平面（die Geoidfläche），絕不是一種有規則的幾何形體；但以幾何形體來相代，近似

性却是極大。赫氏之前驅者（布倫士氏）早就得到了證明：只須結合重力測計及測量學和天文學上的種種規定，並不必採用數學平面之假定，即可求得地球的精確形狀。因為地形和一個關係橢圓體（Referenzellipsoid）相差極微，所以首先就該去決定一個測計得十分準確的自轉橢圓體（Rotationsellipsoid）的恆數。赫爾麥特氏，葛拉克氏（Clarke）和其他學者，曾經完成了這些繁難的計算。不過依照勒金德氏（Legendre）的作法，這個自轉橢圓體也可以代以另外一種幾何體，而這個新的幾何體的數學形態，是依照球體函數的算法，展開重力的乘方而求得的。這種形態和上述的自轉橢圓體相較，自然和地球的真实形狀更為近似。這一新的理想的地球，一般稱之為等高橙形體（das Niveausphäroid）。依維歇爾特氏（E. Wiechert）之計算，地球形這些近似值和自轉橢圓體之相差，顯然極小，大約僅數公尺而已。

等高橙形體之數學公式，既經求得，那麼，經過比較簡單的計算，就可決定該橙形體上面重力的分佈，並可依照克勒勞氏（Clairaut）在一七四三年已經能開的公式，來計算橙形體的扁圓形。關於地形，等高橙形體及自轉橢圓體最近求得的數值和公式，請參看楊考夫斯基（K. Jan-

Kowski) 論地球之變形一書 ('Sur les déformations du géoïde', Warschau 1927)。

### 地殼之均衡

這個最初由艾里氏 (B. G. Airy) 引用到地形學上的概念，本和浮游物體之靜水學的均衡同一意義。應用到地球的體積上，就是說，如體積變為液體的時候，而地球內部之層狀並不因之破壞或變形，則該層狀便是均衡的 (isostatisch)。這種細心的說法之所以必要，是因為我們事先並不知道地球內部的體積是否果為液體狀態，可是地殼之均衡 (Isostatie) 這一定義，却應該包括着整個的地球的內部，從這個定義，我們可以推得：在地殼均衡狀態之下，重力場之一切等高平面，同時也是重力相同與密度不變的平面。我們並可看出，在這種場合之下，地球內部每一密度相同的斷面，同時一定也是一個等高的平面。

### 重力之測計

認為地球形是重力的等高平面——這一定義本身就須以地球全面上大規模的重力之測計為前提。重力測計的方法，在過去一世紀佔據了地體物理學的大部，而且直到現在，也尚未結束。



應用到大陸上和海面上的重力測計，據我們所知，二者的方法是不相同的，這在一九一五年會由貝羅氏 (Berrot) (同時由赫爾麥特氏)，一九二四年由亥斯堪農氏 (Heiskanen) 用級數表明過。大陸上的測計，主要是依照喀台氏 (Kater) 一八一八年的可逆振子測計 (Reversionspendel-messungen)，德福格氏 (Deforges) 一八八八年的振子器械測計 (Pendelapparatmessungen)，以及其他使用類似器械的測計。而海上的重力測計，則導源於赫克爾氏 (O. Hecker)，使用赫氏 本人大加改良的方法；這種測計，依摩恩氏 (Mohn) 一八九九年之建議，係一方面使用水銀風雨表，另一方面使用沸點溫度表，來測量氣壓。

重力傾斜率之規定，係用後來韋特渥氏 (Eötvös) 所鑄製，赫克爾及石尉達爾 (Schweydar) 二氏所改良之扭秤 (Drehwaage) 而得。在研究海面上和海面下的重力之狀態及變化的，最近則在潛水艇內實施測計。最望擁有潛水艇的民族之學者——可惜我們不在其列——能够儘量利用潛艇，設法並改善測量，因為這對於目前主要靠着大陸上的觀察而獲得的重力之數值，重力分佈之公式，以及地形之規定等，是可以有極有價值的補充的。

至於地球內部之更深處，是否依然保持着地殼均衡的問題，也有了種種新的考察。據考察之結果所示，大體上，地球和靜水學均衡相差並不很遠。凡理論的重力數值與測得的重力數值，二者表現巨大的不規則的地方，那裏似乎發生了各種運動，有恢復這一均衡的趨勢；這些運動，有的已一再喚起了大陸構成和大陸變化，有的正在喚起這種構成和變化。關於這點極饒趣味的研究，這裏不能詳述，請讀者參考魏格奈氏（A. Wegener）之大陸斷層，考本氏（W. Köppen）之極圈飛行力，阿姆芬爾氏（Amptferer）之流動運動諸種著述。

#### 地球之密度

構成外部地殼之固體質料的密度，很容易測計而得。這個密度的中數是2.8。但整個地體之密度，則遠大於此值，乃是曾用種種方法規定出來的。假定地球之量為M，其容積為V，則平均密度 $\delta_m$ 為

$$\delta_m = \frac{M}{V}.$$

V為已知數，可由地形測計之結果精確求得。M可由牛頓的萬有引律，即二量相吸之公式獲

得：

$$G = k^2 \cdot \frac{m \cdot m}{r^2}$$

$m$  爲已知之量， $r$  爲二量間之已知距離。 $G$  力可用適宜器械測計而得，引力恆數  $k^2$  亦爲已知數。因此，地球之量  $M$ ，即可計算而得。目前一般求得的  $\delta^m$  之值，即平均密度，爲 5.52。如從此值與固體地殼之密度比較一番，即可進而推知地球內部必尙含有其平均密度遠大於 5.52 一值的質量。所以，密度是地球半徑的函數。而決定此函數之經程的最初試驗，其目的在於以或大或小的任意，提出一個數學公式，以表現密度與地球半徑之依屬關係。此公式內還含有一個尙待決定的恆數。惟此恆數可由上述之地形法則性與地球自轉，設法求得。這些試驗，早由勒金特氏着手，我現在所以重新提及，只是因爲這些試驗須以密度函數之持續的經程爲前提，而我們現在所認識的地體，乃係由許多地層所構成，在各層分界的地方，密度值却有突然變化的可能。地球的中心部分，爲一既重而又相當大的核心，其密度爲恆數。設法說明並以數學來確定這一想像的，大概以魏亥特氏爲第一人。魏氏在這裏的出發點，是地體的惰性率和地體在空間的迴轉運動。

進而說明本問題之實況的，是對於地體內部的波動之研究。在這裏，地體物理學也是隨着現代物理學之一般方向邁進的。據現代物理學所示，關於地球的物理屬性之本質，只有波動現象之研究，能夠給予我們以寶貴知識。地球內部的每次震動，在彈性的物質內喚起波動；至於波動果表現為橫振動或縱振動，則以振動媒介物之本性如何而定。這些橫波或縱波之測計和確定，乃是地震學 (die Seismik) 的任務。許多研究家爲了這個目的，製造了極精確的器械。我在這裏只提出魏亥特·石密特 (August Schmidt)，李博野 (Reber)，巴什維茨 (Paschwitz)，昂根亥斯脫 (Angenheister)，加里秦 (Galitzin) 諸氏的大名。他們，還有別的學者，首先來研究地震之自然的波動現象。在發見了的波動中，有些只在固體的地面上傳播；有些傳入地球內部，到了一定地點，反射或屈折而返回到地面上；又有直貫地球，而出現於震動中心之對方地面上的。根據無量數的觀察，以及由觀察而推知的波動的種種特性，毫無異議地得到了這樣的認識，即吾人之地球，除最外層的地面以外，係由三部構成。地球內部，爲一極重之金屬核心，其半徑約計三千四百七十杆。其次爲中間層，厚約一千七百杆。中間層之外圍，即包含着固體地殼的表層，厚約一千二百杆。根據波

動觀測之新結果，我們必須假定固體地殼的厚度約計五十杆。由表層至中間層，密度之過渡是均恆的，即並不發生突然的變化；但在中間層與核心毗連處，密度必突然增加，且其增加量大約係由五增至十。上面的地震波動之結論，主要是從波動的速度求出來的。波動速度，在表層與中間層之間，並未發見突變，但由中間層過渡到核心時，則發生突躍的變動，對於核心之構成物質，已經有了極確鑿的知識，主要為鎳鐵化合物（鐵佔百分之九十，鎳佔百分之十）。不過核心的凝聚狀態，與普通外部壓力之下的固體不同；我們必須明白，核心是受着非常之大的壓力的。在靜水學均衡的假定之下，這個壓力可由上述的密度數字中計算而得。地球中心的體積所受的壓力，按照這樣算法，約計三一〇〇〇〇〇氣壓。

大家知道，物體彈性是由三個恆數來決定的：一為不收縮性的因子  $k$ ，二為凝固性 (Rigidity) 係數  $\mu$ ，三為柔軟性或黏力的因子  $\lambda$ 。而這三個因子又視壓力與溫度如何而變動。要決定這三個因子，對於可以直接測計的地層是容易的，但要直接測計地心的物質，就不能辦到。可是我們能夠從震波來推求這些數值的大小。我們首先來觀察凝固性。假設凝固性極小，或等於零，那麼，該媒介

物必係液體，而在液體的媒介物內便不能發生橫波。直到現在，在遠方地震之研究上，從未遇見通過地心的橫波，所遇到的只是縱波。我們從此可以推知，重量很大的地球核心，為一凝固性極小的物體，幾乎和液體相似。魏亥特與黎克 (Tieck) 二氏，曾經各自獨立地得到了這個結論。我們於是達到了這樣的認識，即：地球核心為密集的分分子或（更正確些說）原子所構成，各分子或原子之間，並無內在的結合。這樣的物體是不能再經壓縮的。所以  $k$  等於零。惟地球核心具有某種流動的能力，從而可以推知其黏力係數為一有限值。但據觀察地球自由震動及潮汐之種種結果，推知整個地體之黏力係數頗大；那麼，這頗大的黏力係數，就只能還元到中間層及表層的屬性上。中間層和表層，與核心不同，乃是由硫化物及氧化物所構成的。而且這兩層的黏力值，似乎是隨着深度之增加而逐漸增大的。下列各黏力係數（根據古吞柏格氏 (Gutenberg)），係由地內深度不同之地震波推得的結果，可以覆證這點：

深度 (單位杆)	60	1200	1700	2450	2800
黏力值 (單位厘·克·秒)	6.5	22	27	30	32.10-11

這樣看來，較深處的表層及中間層之物質，對於形態變更的抵抗力，比着固體地殼中的任何物質，要大得多。尤其中間層是如此。根據類似的測計，中間層的柔韌性也遠大於地殼的柔韌性。古忒柏格氏的結論是：中間層與表層較深處的部分，擔負着整個地球較大的凝固性和柔韌性之主要部分。最後，我們來研究地殼。本來的地殼是由大陸和海底的固體大塊構成的。在相同的水平面上，我們必須假定表層或中間層有着相同的狀況；但在固體的地殼中，不是這樣。在地殼中，到了不可知的深度時，我們便無處不遇到側面的差別，例如溫度的差別。在貫通地殼的諸水平面中，海底八杆至十杆的深處，溫度大概在冰點之間，但在大陸上等深的地方，溫度乃在攝氏表之三百度左右。等高水平面處這樣的溫差，必然隨深度之增加而歸於消滅。惟在何等深度，溫度的差別始歸消滅，至今尚未求得。在地殼之其他要素上，也存在着很大的差別。最近地體物理學之立場，認為地殼之大塊可分爲二大類，這二大類的構成部分，不僅比重不同，而且彈性恆數亦異。鋁硅層（*das Sial*），主要爲鉛與硅二原素所構成，在化學上屬於酸性，較硅鎂層（*das Sima*）之比重及黏性爲小，但可壓縮性則較大。硅鎂層則主要爲鹽基之硅鎂二原素所構成。由於比重之不同，鋁鎂層必

然位於硅鎂層之上。一般說來，大陸係由厚約五十杆的鋁硅層所構成。爲篇幅所限，現代地體物理學中這些極饒興味，而且與大陸形成等有關的問題，我在這裏不克詳述，只得請讀者參照密勒、普阿勒二氏 (Miller-Pouillet) 所著的物理學教科書，卷五，第一分冊，古吞柏格氏修正版；這部書對於這些問題有極好的說明。

我們既然借助地震學求得了地球的基本構造，震波的研究又促成了精確敏銳的器械，在這種情形之下，就很容易想到，去利用類似的器械，有系統地探究人造的震動，來補充這些偶然的測計。這個想頭的實現，對於地殼外層之研究獲得了極好的成績。採用並擴充這些方法的，首推德國的學者閔托浦氏 (Mintrop)，石尉建氏，萊希氏 (Reich)，馬印喀氏 (Mainka)，及其他學者，在這個問題上都建立了很大的成績。最近，這些地震學的方法，又得到電學、磁學及重量分析諸種測計有價值的補充。關於實驗地震學之許多功用（也在經費方面），我在這裏不克詳述。我只願引一個例證，說明也有極大的可能，把人造震動利用到科學上。摩特氏 (Moths) 在阿爾盆山冰河上，曾炸開冰河表層，去觀察表層下面冰河的波動及波動的反射。因爲試驗的成績極好，於是決定把



這個方法推用到北極圈更大的冰塊上。在魏格奈氏領導下本年出發的格林蘭探險隊 (die Grönländexpedition) 其預定計畫中最重要的工作部門之一，便是應用這個方法，去測計格林蘭內地冰塊的厚度。根據歷來預備試驗的結果，我們現在就可以說，我們能够期待這次探險對於冰河地質學 (die Glazialgeologie) 獲得極重要的收穫。

## II. 大氣物理學

對於圍繞吾人地球的氣圈中物理過程的認識，在最近五十年中，也有了很大的進步。十九世紀八十年代之初，學者們便開始看破了這種情形，即：專恃氣象學 (die Meteorologie) 在地面近處——不管是在平原上，或是在山嶺上——一切歷來的觀察，對於氣圈的物理現象的複雜性質，是不能得到清晰的概觀的。人們很想，而且必須進而研究自由大氣 (die freie Atmosphäre) 中的過程，航空技術的發達，遂促進了這種努力。在十九世紀最後的數十年中，航空技術的發展最初是迂緩的，片面的，可是後來有了迅速而普遍的進步。這種進步，使氣象學家得以高翔於自由大氣

之中，在那裏去實施觀察和精確測計。最初使用的工具，僅有輕氣球，但也收了很大的成效。十九世紀，特別在法、英二國舉行的多次——一部分成功的——科學的氣球飛行，這裏指出了就算。我在下面想要敘述的，主要是在德國的活動。德國成立了很多航空協會。但它們起初僅注重純粹技術的目的，後來在氣象學家和地體物理學家的領導之下，才很快地從事於科學的飛航。這特別是因為技術的繼續發展——主要是飛機和便於駕駛的氣船之製造——太困難而且費用太大的原因。在柏林協會中，提倡用輕氣球觀測氣象的，特別是亞斯曼（Asmann），柏爾森（Berson），格羅斯（Gross），徐靈（Süring）及其他諸氏。但也不要忘記埃爾克氏（Erk），埃姆頓氏（Emden）領導之下的明興（München）協會和赫格塞爾（Hergesell），墨特伯克（Moedebeck），希爾得普蘭特（Hildebrandt）及史托爾伯格（Stolberg）諸氏所主持的斯特拉斯堡（Strassburg）協會。亞斯曼式的吸氣測溫計（Aspirationsspychrometer），使真正氣溫及潮濕有完善觀測之可能，不久，並進而給予這些重要數值之垂直分佈（至少在九千呎以下的高度）的想像以根據。德皇及普魯士教育部所供給的鉅額經費，使進行工作的氣球得以飛至上述的高度。亞斯曼氏在一部三

巨冊內容豐富的著作裏，以明確的敘述，公佈了這些飛航的結果。約至九千杆止，氣溫與潮濕的垂直氣壓度 (vertikale Gradienten) 之確定，使我們能够毫無異議地認定，氣溫和潮濕二者，平均地都是愈高升而愈降低的；不過也常遇見垂直的擾亂層，打斷了這種持續的降低過程，或破壞降低過程的法則性。這種最初稱爲“*Inversionsschicht*”的擾亂層，很快證明它對於大氣的構造具有特別重要的作用。

這時，在法國用輕氣球完成了另外一種研究的方法，開展了在更高的天空中測計的前途。他們設法以自動記錄的器械，去觀察最主要的氣象因素。這些氣象自動記錄器的構造和完成，是值得特別重視的。發明這種新型器械的，在法國是德·包爾氏 (*Teisserence de Bort*)，在德國是亞斯曼，赫格塞爾及其他諸氏。而且由於樹膠製造業的發達，可以製成很輕便的樹膠氣球，這種樹膠製的氣球能够編隊飛至二十五至三十杆的高空。借助於這種自動記錄的氣球，約至三十杆高的自由大氣的氣溫情況能够被觀測了。這種工作的最大成果，是等溫高氣層 (*die Stratosphäre*) 之發見。等溫高氣層爲一擾亂層，在我們的緯度中，平均從十一杆的高度起始。該層下面的界線，平

均溫度（就我們的緯度說）約為攝氏表五十二度；該層上面的界線的高度，至今尙未能確定，但靠得住要到三十杆以上。“Stratosphäre”一辭，係創自德·包爾氏，德氏並名高氣層下面的氣層爲『低氣層』（“Troposphäre”）。低氣層中包括着若干稀薄的擾亂層，它的氣溫是隨着高度的增加而逐漸低減的。我在這裏還想指出的，是高氣層之發見，本來爲時較早，但當時認爲記錄器所記下的曲線，因溫度表受了日光放射的影響，而有所改竄。經過後來詳盡的探究——著者也參加過這番工作——才證實了（一直到最高的天空中的）自記溫度表的報告的精確。繼續對於高氣層的研究，就集中在它在不同緯度內的高度。赫格塞爾氏在貿易風區的空氣學的考察，證明了該氣層也存在於緯度較低的地方。林頓柏格航空觀象臺（das Aeronautische Observatorium Lindenberg）派往德屬東非的探險隊，克萊頓氏（Clayton）受德·包爾及羅遲（Lawrence Rotch）二氏之誘勸而至東大西洋南部的研究旅行，以及著者至西印度海洋上的探險，這些全證實了在緯度最不同的地方，高氣層之存在及其高位的差異。荷蘭研究院，在它當時的院長汪·白麥倫氏（van Bemmelen）及汪氏後繼者波拉克氏（Brak）獎掖之下，對於熱帶高氣層的高位，

作過最詳盡的探究。這裏必須指明的是：在著者於追隨摩納哥 (Monaco) 侯爵快艇漫遊上，在樹膠製的氣球中，用六分儀和方位儀，考驗並完成了前後縱列飛行法 (die Tandem-Methode) 之後，對於海上的高空諸氣層之考察，始有實施的可能。這一切研究的結果，使我們認識：觀測站所在地向南愈近赤道，則低氣層愈高。在赤道上，我們於十八杆至二十杆高處，遇到高氣層，其極限氣溫為攝氏表八十度左右。氣球愈向北飛，則見高氣層持續地逐漸低降，其極限氣溫約升至五十度上下。在拉普蘭 (Lappland) 地方，在德·包爾，希爾德浦蘭森 (Hildebrandson) 二氏誘導之下，曾於不同氣節中作過多次飛行，那裏的高氣層的下面的界球降至九杆至十杆高度之間。在緯度更高的地方（在什皮次柏爾根——Spitzbergen——以西），根據著者一九一零年北極圈夏季的一次飛行的結果，高氣層之高位似乎又從十一杆與十二杆之間起始。在北極圈的冬季，高氣層在高緯度地方的高位如何，現在尚一無所知。至於低氣層之形成，確與由下層的放射與發熱所喚起的對流 (Konvektionsströme) 有關，是無可置疑的。不同緯度上的界面（即高氣層與低氣層的分界處）的高位，尤其它在北極圈夏季之較高的位置，就指明了這點。但是位於低氣層之上的高

氣層的幾乎同一的溫度，却有待於特別的說明。在美國，最初由洪佛萊氏（Humphrey）設法證明，高氣層表現爲一無對流之極大氣層，在這一氣層中，垂直的氣溫分佈，單純是由放射關係所決定的。在德國研究本問題的學者，我在這裏特別提出什瓦爾茨席爾德氏（Schwarzschild），埃姆頓氏和著者。在放射的探討上，特別由辛浦森（Simpson）與米格（Mügge）二氏所指出的一切特性和問題，雖說大概由於吸收流（Absorptionsströme）之片面的型式化以及其他原因，未能完全說明，可是高氣層的本質總算正確地被認清了。

經過氣球航路的測計和氣溫曲線的解釋，高氣層的別些屬性也被確定了。高氣層中氣流強度之減弱和無雲的現象，這裏要特別指出。還有一件事實也是饒有興味的，即：高氣層與低氣層之間厚約數千米的境界層，呈現着特殊的屬性。這個境界層，在德國名爲 Substratosphäre（亞高氣層），在英國名爲 Tropopause（低氣層之終點）。具有平均飛昇速度之優點的樹膠製氣球，一經利用在氣象觀測學上，遂促成了對於（主要在較低的氣層中）氣流特別努力的研究。這對於飛航安全是特別重要的。對於空氣學研究的重要性之普遍認識，特別發生於大戰時期，因爲參

加世界大戰的一切民族，都建立了特別的軍用氣象觀測事業，而且各方工作的鉅額經費，是戰前或戰後所得不到的。氣象學的利益之被一般公認，即到了戰後，也在我們這門科學的進步上顯示出來。氣象學重新取得了國際的合作。別克奈斯氏（V. Bjerknes）受了國際空氣學研究委員會出版物之刺戟，在大戰前已經着手的旋風之發生與構成的探討，在二十世紀二十年代間，獲得了北歐學派熱烈的繼續發展。具有不同氣象學屬性而同時又左右上下接觸的各種氣體之存在，被發見了，並且這一認識又用來解釋我們的緯度上旋風的發生。柏根城（Bergen）別克奈斯學派的這些主張，遍處遇到了熱烈的討論和批判。又因林頓柏格觀象臺的空氣測計，供給了氣體和氣流的氣象學屬性之認識以參考資料，於是別克奈斯氏的北極界面說（die polarfronttheorie）——北極圈冷空氣與緯度較低處的暖空氣間之界限，謂之『北極界面』，譯者）獲得了寶貴的擴充與修正。柏根學派之中心見解，在於認為溫度不同的諸氣體之推移，乃是天氣多方面變化的主要原因。固然奧地利的氣象學家如斐克爾氏（Ficker），埃克斯奈爾氏（Exner）等早就指出了驟熱驟冷的重要性，並作過進一步的研究。但是一般人對於本問題的興趣，是由別克奈斯氏及其

門徒的優秀的出版物所喚醒的，尤其是在他們能够把他們的見解有效地應用到北歐沿海天氣預測以後。經過高氣層狀態的觀測，北極界面說在較低氣層中也獲得了不算不重要的擴充。石茂斯氏 (Schmanz) 大概是第一人，去注意到高氣層界面上冷氣和熱氣的侵入，因而提出（在高氣層界面以上冷氣層中活動的）氣流赤道說，與發生於緯度較高地方較低氣層的氣流侵入說相對抗。較高氣層中的過程與低氣層中的氣象之間的關聯，後來也曾經其他學者，如第尼斯氏 (Dines)，科本氏 (Köppen) 等，探討過。

天氣預報的改善，在氣象學的發展中也現示着重要作用。大戰期間，已經注意到天氣預報的改進。大戰以後，由於經濟關係，尤其由於航空技術的進步，天氣預報得到了強制的發展。除別克奈斯派對於天氣預報的影響之外，無線電發達也促進了氣象觀測的改良。氣象學的測驗，借助於無線電的傳達，獲得了驚人的成功。戰前每日兩次的報告，已經可以用氣象略圖來表現歐洲的氣象關係，而現在我們每天却能够繪出半打歐洲氣象圖來，更精確地去追求氣象因素的變化。而且這些略圖不只限於歐洲，並包括着歐洲以外的整個北半球。照這樣子，預告就可靠得多了，不過是時



期還是不久，只能限於次日或後日。長期的天氣預報，不僅是一般的希望，尤其是我們的科學的希望。自遠古以來，大眾的渴望已經產生了許多漁利的預言家，不過他們雖然膽大，但缺乏理智。真正的科學是以最大的細心來接觸這個問題的，若干孟浪浮躁的青年因為失敗而嚇退了。但這問題對於人類太重要了，不論如何不能忽視它。無疑地，在相距極遠的地方上，各地的氣象經程之間也存在着關聯，時時相互作用着，比方南半球某處的氣象對於遙遠的北半球某處的氣象，也發生着一定的影響。所以目前氣象學中特別一部門的任務，就是專門研究各地氣象的相互關係。我在這裏要提出魏克曼教授 (Prof. Weickmann) 領導之下的萊布齊地體物理學研究院，該院不僅從事於上面剛剛敘述的一切試驗，並且廣泛地研究氣海中的波動現象。我在這裏自然只能指點到這些重要研究，不過現在就可指明，這些研究的結果，對於長期的天氣預報是有很大的希望的。但是，從理論到實踐是一條長路。可是不論如何，經過這些研究，根據着分佈於整個地面上的觀測所的報告，加以合式的選擇，總可確定全世界的天氣。

最近數年來的這種成就，很得感謝那規模宏大的國際的氣象學的組織。這裏的中央機關，就

是國際氣象學委員會及其許多附屬的科學機構。

爲着實際目的而設立的公用觀象臺之發展，在一切國家，尤其在德國，有了很大的進步。我國共有公共觀象臺十七處，其在南德各邦的，各與當地中央機關相連繫，在德國北部的，則由普魯士農業部結合爲一個統一組織。用以保障航行安全的飛行觀象臺（der Flugwetterdienst），也有了特殊完備的發展。它本是大戰以前在林頓柏格航空觀象臺的苦心經營之下而成立的，戰後，又經過德國交通部特別的擴充。最近幾年來，飛行觀象臺的指導機關移駐柏林，但與林頓柏格觀象臺仍保持着密切的連繫，因爲林頓柏格觀象臺主任主持着全部的組織。和飛行觀象臺相聯結的空氣學的測計工作，同樣也在交通部的努力之下，在德國四個地方得以重新進行。靠着儘量多次的飛昇，以偵察自由大氣之狀況的氣象觀測飛行場（Wetterflugstellen），分設於柯尼斯柏格（Königsberg），漢堡（Hamburg），達姆什塔（Darmstadt）及閔欣四城。這些科學的飛行場，幾乎每天都供給我們以在德國約至六千呎高的自由大氣的觀察材料，所以最近以來每日的空氣測計，已不專靠林頓柏格及其在吞帕爾候夫（Tempelhof）原有的科學飛行場，和佛里特利希港

(Friedrichshafen) 那個借助於一隻快艇而工作的飛昇站了。除上述各站的空氣測計之外，德國還有十六個飛行氣象觀測所，每日有數次測驗氣流的氣球飛昇，能夠（如果飛昇次數充分）使我們充分認識大空中的氣流。這樣看來，在德國已經開闢了一個氣象學研究的新領域，和我們的科學原有的工作範圍並肩而立。這一發展部門，我把它叫做實用氣象學。實用氣象學也指出來德國氣象學研究之更大統一化的道路來。這裏不是我進一步論述這個饒有興趣的問題的地方，我只想特別強調；上面所說明的實用氣象學及其飛行氣象觀測所和獨立的研究院——這些必須作為全體而存在，而且必須置於一個科學的指導之下。

其他關於氣象學重要的勞作，我只想簡單提到。普魯士氣象學院的功績之一，是它熱烈地從事於普魯士境內的氣候研究，不過各邦的氣象學研究院自始就參加這種工作。德國氣候圖解的出版，是特別值得感謝的，希望最後補充的一部分能夠很快接着出版。微區氣候學 (die Klimatologie)——亦稱植物氣候學) 也有了值得歡迎的發展。閔欣的石茂斯氏 (Geiger) 維也納的石密特氏 (Wilhelm Schmidt)，以及最近埃伯斯瓦爾德 (Eberswalde) 的巴特爾斯氏

(Partels) 在這方面都有過出色的著述，這些著述對於農業和林業特別重要。其次，我還要指到關於日光放射的測計，這在國際間，而且也在德國獲得了特別的獎勵。就中首推波次丹觀象臺，其次為萬斯多夫 (Wahnsdorf) 的觀象臺；不過佛蘭克福研究院在這一領域上也建立了很大的功績。該院院長林克教授 (Prof. Dr. Linke) 向那有醫學興味的各界尋取特別的聯繫。這種努力是很值得歡迎的，不過必須注意到這種聯繫如果太密切了，對於大氣物理學會發生的危險。

### 氣流之研究

和微區氣候學相似，氣流之研究也是和農業、林業、風力技術以及純粹科學均有同等關係的工作部門。正因為實際的需要，人們在近數年來加增了對於氣流的研究。這些研究的主要目的，不論在小處和大處，都是在探究風的構造。石密特氏在這裏採用了實驗手段，因而開拓了許多新的研究方法；林頓、柏格、閔欣及達姆什塔各地機關，分道向着同一的目的邁進。倫山、羅斯學會 (Rhön-Rossiten-Gesellschaft) 在喬治氏 (Georgii) 指導之下，大規模地致力於小障礙下的風之構造的探討。在同一範圍內，石茂斯氏令他的門徒，使用飛機飛昇比較法和促胡峯 (Zugspitzen)

上登山鐵道的測計，來研究阿爾盆山塊狀岩對於自由大氣之構造的影響。

在關於瓦斯與水蒸汽混合物（用它來表現我們的大氣）之構造的見解上，石茂斯和維干（Wigand）二氏的著作好像開闢了嶄新的途徑，他們把膠質物化學的經驗應用到大氣上，在短時間後的現在，已經獲得了極好的結果。

最後，關於我們氣圈中若干研究領域，極富於現實性，而且仍歸結於大氣最高氣層之研究的，我再給以簡短的敘述。

就中一部分是研究我們大氣的電氣狀態的。關於空中電氣之史的發展，壽沃氏（Chauveau）曾有一部優秀的扼要敘述。從前，其實是早由一七五零年佛朗克林氏（Franklin）始，僅能用簡陋的器械，摸索地向前工作。到了一八九九年，埃爾斯托（Elster）及蓋特爾（Geitel）二氏劃時代的著作論大氣中電氣離子之存在（“Ueber die Existenz der elektrischen Ionen in der Atmosphäre”），才打開了巨大的轉變。地球電荷之著述和理論，地球電力場之原因，傳導能力之測計，離子數與離子遊動性之測計，以及關於電波透射的著作，這時才有些得以安放在另外的基

礎上，有些簡直才得以着手研究。可是地體怎樣才有陰性電荷這一基本問題，始終沒有解答。

除這些一般的研究空中電氣的著作以外，由於無線電之發展以及在無線電傳播中發見的不規則性和障礙，又發生了和空中電學相毗連的一個新領域，專門來探討大氣對於電磁波傳播的影響。在這裏，首先由林頓柏格觀象臺赫拉特（Herath）和杜克特（Ducker）二氏提出了基本的研究。這些關於大氣較高界層對於信號聲的強度，對於障礙面的高度，對於電波放送方向等之作用的研究結果，雖然受過長時期的反對，可是現在終於完全貫徹了。現在除說明因大氣影響而發生的變則之測計外，更尋得了門徑，從無線電傳播障礙的觀察中，找出結論，轉來用在當時當地的大氣的構造上。這點所以特別重要，是我們因此得到了可能，在我們的氣圈中，凡用空氣學測計器械所力不能及的氣層，現在可以用簡接的測計方法來研究，並且能夠來監視這些氣層中的變化。這裏和純粹無線電技術有關的方面，在亨利·赫爾茨學會（Heinrich Hertz-Gesellschaft）贊助之下，已由德國郵政總局（鮑姆克氏——Bäumker）作過詳盡的研究。最近因亨利·赫爾茨波動研究院的成立，對於這個問題又多了一個新的研究機關。該院在瓦格奈氏（K. W. Wagner）

gnier) 主持之下，加以很多名科學家的贊助，定能給我們的認識以很好很快的促進。

向完全相似的目標努力的，還有關於我們大氣中聲之傳達的諸勞作，這些也有簡短介紹出來的必要。在這裏，由觀察普通的聲之傳播的障礙所得的結果，成了一種極廣博的集體勞作，指出來實驗研究三十杆高度以上的大氣之途徑。在這些方法的完成和發展上，林頓柏格觀象臺也參加了出色的作用。爲便於各界研究這一部門起見，在普魯士航空觀象臺出版物第十六卷，B、D二冊中曾附有浩瀚的參考書目。

間接逆推最高氣層中氣象因素之氣壓度的第三種方法，是基於全部大氣之臭氣的含有率的研究。在這裏，特別在與英國學者的協作中，最近也有了很大的進步。在德國學術團體大量贊助之下，現代空氣學得以有計劃地從事於這三個大問題的研究，並且運用這些嶄新的探討方法，很可希望在認識上有顯著的進步。

五十年來地體及其大氣物理學之諸問題與發展的概略，就於此結束。我們回顧到德國在這研究上的協作，很可自負。如果戰前德國在這些勞作的國際組織上佔有領導的地位，就是在戰

後，在大戰給予各民族集體工作以這麼多的障害之後，德國還懂得在一切這裏有關的問題上，取得優越的位置。我們的地體物理學家和氣象學家的勞作，得到了科學界全體的推崇。我們的青年學者現在已經能和我們久有定評的老研究家並駕齊驅。



# 化學

哈柏 Fritz Haber 著  
魏以新 譯

近五十年的化學史，與已有數百年之久的各種精神科學史不同。從前有一種化學文獻，研究在上古時代和中古時代人已知道的各個化學的事實。但是化學成爲一種系統學術，只是這一百五十年的事，而且在最初五十年所獲得的成功，亦僅限于若干大師所創立的少數基礎而已。古代的觀察只限於質的方面，後來化學家更應用了天秤，量器和溫度計以作觀察的工具，于是有系統的化學也就開始了。

化學的特殊意義在能觀察化學質素的交互影響，捉住它們的特徵，並本一種先知的理解力把它們連貫起來。但是系統學術的產生，必須把這些觀察的內容加以分類，而分類須用物理方法始能成功。化學家的養成係由愛求質素內在的基本性質，但是整理所觀察的材料，必須借助于物理的測量和定律。自然界蘊藏着的各種質素，能與成千成萬的化學家以機會，去作學術試驗與觀

察。但是物理所不能解釋的地方，那他們的奇妙的觀察力及其對於所觀察到的現象間之相互關係的能力也隨之而止了。

我們現在沒有充分的專門統計，表示化學一科在近五十年的發展。全世界由大學造成的化學家的數目，現在約有五萬人，比五十年前從事化學的人數一定要超過好幾倍。化學在別種工業及普通用途而產生出品，據經濟統計，全世界每年出品的價值，約為二百五十億馬克。但這個數字還遠不足以代表化學交易在經濟方面的全部價值，因即就工業的意義說，除化學工業以外，凡一切冶金學及因化學變化用以產生冷熱的燃料，也都包含在化學範圍之內。至就學術的意義說，化學的範圍就遠不止此了，因凡有生世界和無生世界的質素的變化，以及我們軀體的各种現象和成分，都是包括在化學裏的。一種範圍如此之廣，遠非一人之力所能駕馭的專門學術，幾十年來仍能保持其統一性，未分化為若干部門，這是令局外人再驚訝不過的，但任何原理只要能保有其統一的思想方法和工作方法，那它們是決不會因為其中所包括之材料範圍廣大而就分化的。化學在這一點上與法學相似，法律材料雖然與日常生活的各部分都有關係，就量說遠非個人所能

駕馭，但因其思想方法相同，所以仍是一門統一的學科。

每一種專門學術都有一個內在的價值，領袖的學者總是把它看得比實用價值重要。但是外表的成功足以使多數的人了解。所以最有效的莫過于精深的學理與實際的應用互相結合，例如近五十年初期的有機化學——即碳化合物化學——就含有這種特徵，所以它從那時起，就變成化學裏面一種最重要的分部了。碳、氧、氫和氮的化合物的數目，遠過于其他各元素的化合物，而其種類之繁多，非吾人所能預料。這些碳化合物的重要性實居首位，因為有生命的物體都是由它們構成，而有生命的物體對於我們人類又極關重要的原故。碳化合物化學發展到一八八〇年左右，漸漸開始形成了一種有系統的科學，而工業界在那時，也感覺到可以藉此替紡織工業製造比自然界的產品更加繁多而美麗的顏料了。我們如果想把在這段化學史上佔有重要位置的事件和人物簡單的敘出，是不可能的，因為這一定會使局外人看了莫明其妙，且生厭意的。一八八〇年左右，爲人造染料全盛時代，其中最重要的係偶氮（AzO）染料，以後二十年德國顏料工業的最重要的共同基礎即由此奠定。而其發展實由格立斯（Peter Griess）的各種試驗爲之先導。但這類

工作在學術上的重要性還不及貝衣耳 (Adolf v. Baeyer) 所致力的植物染料靛藍 (Indigo) 的研究。碳化合物的化學因為貝衣耳及其門人的努力，在德國得到一種歷史的進步，其他各國在這方面都不能與之並駕齊驅。人工製造靛藍植物染料與茜草根染料——茜素 (Alizarin)——的成功及其附帶發明的各種工業方法，使工業化學的內容大為增加，遠非其他任何化學問題所及。雖然其他化學工業亦有卓然獨立而獲得世界勝利者，如索爾未 (Ernest Solvay) 的礆精蘇打法 (Ammoniak-Soda-Verfahren) 卽其一例。但是格來勃 (Graebe) 與李百曼 (Liebermann) 發現的茜素綜合法以及因好曼 (Heumann) 的科學化的試驗而卒底于成的靛藍綜合法，却連帶發明了一些最重要的，新式的，偉大的工業方法，因為靛藍，所以就附帶地產生了氯和鹼類的電解製造法，因為茜素，所以就附帶地產生了硫酸酐 (Schwefelsäureanhydrid) 工業。這些工業從德國工廠裏出發，通行于全世界；像這樣偉大的進步，直到這五年的後期，人工礆精的出現，才不能專美于前。學術成功與經濟進步的聯合，創造了化學工業的新典型，而那些化學工廠——它們從前在社會上的聲望勢力，趕不上製造機械的工廠——的地位，頓時提高到頭等地位。除茜素外，

本世紀在顏料界中還有一種進步，不可不述，即陰丹士林 (Indanthren) 顏料是。這批顏料是巴登亞尼林蘇打工廠 (Badische Anilin- und Sodafabrik) 的一個成功，其合成法竟勝過了自然，因為它們比較植物所供給的一切顏料還要更為純粹，並且染在纖維上之後，其持久之程度較諸纖維本身，亦並無遜色。

系統化學與工業利益的結合是利比希 (Liebig) 時代的一個成功，使德國化學在此文所述五十年的前半期，達于全盛時代。利比希費了半生精力發展系統化學，又以半生精力從事系統化學以外的任務，期藉化學的助力以促進工業之進步，及了解整個有生命的世界。自從他那時候以來，每一代的新進化學家，却本着他們對於碳水化合物的進一步的認識，而從事生物界的產品之研討，並深信其能力已足深入生物界構成其各種主要產品之原理之研究。在本世紀中，碳水化合物——尤以其中之糖化合物及蛋白質在費舍爾 (Emil Fischer) 的手下成了最重要的題材。這兩個問題，因為他那種巧妙的研究，都能得到一個解決，但其意義與茜素和靛藍兩問題之獲得解決却完全不同。這些染料是用別于自然之方法製造成功，而結果俱能在經濟方面將農業產品打倒。

糖和蛋白質的化學構造，雖已被吾人研究清楚，且其人工製造法亦已成功，但至今仍為農業產品，而非合成工業範圍內之問題。

由上所言，我們可以漸漸明白用合成法構造成功的化學質素，其中只有少數的例外，能在經濟方面與農業競爭，並且可以明白，從事系統化學的人，想用與自然不同的工作方法，去走到有生命的自然界創造萬物時所走的為人所不知的路徑上去，乃是非常困難的。因為威爾斯泰塔（Willstätter）對於葉綠素和同化營養的研究，植物生活的本身，就代替植物產品變成了化學題材，於是碳化物化學的研究趨向，遂有意地從工業化學和系統化學的共同領土上，轉到生物化學一面去了。

但在藥物學方面，工業和科學化的化學又有了一種新的結合，其始點係由於吾人對於金雞納霜的構造的一種單簡觀念，而結果因哀爾力喜（Paul Ehrlich）對於一羣有機砒化合物（酒爾佛散 Salvarsan 包括在內）的研究，此種結合遂能獲到光榮的成功。化學構造與藥物學功效的關係，尚為普通人所不知，但經過幾十年的專門工作而發明的，在醫學上佔有永久地位的新藥

——其中以丙二醯脲 (Barbitursäure 卽費洛那爾 Veronal) 之化合物爲最重要——却不在少數。由此看來，顏料化學和藥物化學發展的快慢和成功的易難，實至顯明，其故無他，因前者係僥倖循着有系統的路逕而發展，而後者乃由于我們心目中先存了一種實際利益，才能促其進步也。

當碳化物構造學說在預備得很好的基礎上，經過整整五十年，得以充分發展而且精益求精的時候，在一八八〇年左右，凡特荷甫 (van't Hoff) 與阿勒尼斯 (Arrhenius) 二人繼先進黑爾姆霍爾斯 (Helmholz) 之後，在化學上另外建立了一個新部門，其研究之對象與原有之趨勢根本不同。百年來足敷化學應用的單簡的物理的值和觀念，至是大加豐富；吾人從前于探討碳化物及其系統間之相互關係時，對於質素反應狀況之敘述，大體只限于質量、容量和溫度等物理性質而已；這種辦法到了凡特荷甫與阿勒尼斯時，却不能使我們滿足了，于是發生了一種物理趨向，此種趨向以研究化能 (Energie) 狀況與量及化學反應所遵循之速度定律爲目的。夫合成變化之目的只在于探討原子在分子內之相互關係及質素應如何聚合起來，始能發生吾人所期望之變化等問題；到了凡特荷甫與阿勒尼斯的時候，化學上的研究的目的，遂轉到定量的一方面去

了。重要的先驅如湯姆生 (J. Thomson) 北特和洛 (M. Berthelot) 古爾德堡 (Guldberg) 和該 (Wassé)，在本文所報告的時期的前一代都已出現。從前的人以為化學作用者，不過是由一類奇異的質素，變為另一類奇異的質素之作用而已，而其間所發生的熱量變化，也不啻一種偶然的物理變化而已；這種觀念一直到本文所報告的這個時期方才打破。此時成立了一個基本概念，即化學反應中附隨發生的熱的現象，乃是其中極其重要的一種性質，所以我們從前僅把化學變化前後的原子的佈置描寫出來，又把化學親合力比做人心憎惡之不定，乃是不合理的，蓋化學反應必有賴于一種特殊能始能發生，而此種特殊能，乃是我們應常用物理方法去認識它，測量它的。最先，我們以為化學反應所賴以發生之能，可以用其中產生之熱以作標準。後來我們才知道熱在一切物理的能形式中實佔有一個特殊位置，因為它變為工作時，乃是有限制的，而化學能亦不過是工作之一種形式而已，這個認識乃是前世紀一個最重要的進步。因為我們知道了熱與工作的關係，所以熱學的第一個主要定律，即能量不減律，在前世紀中葉後，就得到一個與它本身有同等價值的補充，即所謂第二主要定律是。一八八二年，黑爾姆霍爾斯繼霍爾慈曼 (Horsmann) 之後，



將它應用到化學上，一八八四年凡特荷甫更把它拿來作測定化學親合力之用，以期得到一種精確的標準。從這時起，至少在原則上，我們對於化學反應，正如對於力學和電學的工作一樣，不但可以指出參與該反應之質素，在量的方面，究是多少，並且也能指出該反應中所發生的能的變化究竟是什麼了。事有湊巧，除凡特荷甫這種成績之外，阿勒尼斯也在黑爾姆霍爾斯的另一思路中，達到一種原理上的進步。科學化的化學在其發展之初期從天秤和容積之測量上，獲得一種最重要的認識，即各種性質不同之基本質素，恆依一定之量的比例而合化是。

一八八一年黑爾姆霍爾斯在他的法拉第學術講演 (Faraday-Lecture) 中，根據先哲法拉第之觀察，把這種認識大加擴充，謂電也同這種基本質素一樣，是由最小的獨立的質子 (Massenteilchen) 連合而成。一八八七年阿勒尼斯探知各種單簡化合物如鹽、酸和鹽基，溶于水時可分離為各種帶有基本電荷之新化合物。結果，關於化學能之學說，遂隨此進步而大形展開，因電學方法可用作測量化學上之工作能力也。關於這個學說，物理化學家和有機化學家曾一度發生意見，因為前者把這種發展看得再重要沒有，而後者却堅執其對於化學親和力一向所持之偏重于定性一

方面之見解而不忍捨棄，自以為創造能力非常之大，不但發明了許多新化合物，並能探知其相互關係，所以他們的研究方法，實較前者有益多多。一九〇六年，奈倫斯特（Nernst）發明了一個新定律，因而把熱學的範圍大加擴充，使我們只須藉該定律的幫助，就能單獨從熱的數量中，去推算化學能，於是物理化學就達到登峯造極的地步了。

但是物理化學和有機化學兩派的對峙，後來就漸漸不甚顯明了，因為在本世紀，物理學知識大有進步，並且其影響已踏入化學界，以致這兩門科學的根基已連成一片，而兩科專家因有互相求助的需要，所以彼此也不再存門戶之見，只以為自己的前途是偉大的了。力學原為物理思想幾百年來賴以存在之基礎，至此，已不能使黑色物體放射定律與其原則融會一起而無抵觸，於是光學與原子物理學于一九〇〇年，又因蒲朗克（Planck）量子學說而獲得一個新的基礎。這二十多年以來，我們雖感覺到不能缺少這個新的基礎，但我們至今猶不能全部了解其意義，並亦不能使其與已往之物理學完全不發生抵觸焉。

化學上所用之物理工具，以前只有天秤，量器和溫度計三種，那時世人心目中的最高成績，要

算元素的發現和提淨了。這些工作有幾層困難，一是分離各種相似元素的化合物，一是分析業已分離的化合物爲基本元素。故上古人能發現九個新元素，其觀察之敏銳，實堪驚異。後來鍊金術家使其數目增加了六個，在一百五十年前共達二十三個。以後一百年內，元素的數目增至六十，並且又添了幾種提淨及辨別的新方法，即電分解及光譜分析法（Spektalanalyse 亦譯景分析）是。但在我們討論的這半世紀裏，却解決了一個性質和意義與前大不相同的問題。我們不但把從前無法使其分離的元素繼續地一一發現出來，並且本着一種精密的觀察技術，較前更有進步的能耐和一種堪與昔賢並美的力量，把那性質幾乎完全相同的稀土族金族也分離開來了。拉姆則（Ramsay）且于一八九五至一八八九年發現了空氣裏的五個沒有化學親合力的貴氣體（Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon）居禮夫婦（Curie）且于十九世紀末葉，發現了含有放射性的元素（這些元素可自由分解爲他種元素）。但還有進一步的成功，即原子在整個前世紀是被目爲不能再行分解的，現在却知其不然了。從前的人以爲整個世界何以能由七十種彼此不同的原子（這些原子爲構成一切質素之不能再分之基本單位）構成成功，實在是異常費解的。這當中的道理，後來被魯哲夫（Rutherford）

therford)闡明了。他發現原子的構造，和太陽系原是一樣。其中心點是一個負有陽電荷的核，其電荷數與圍繞着它的電子數目相等。據波爾 (Niels Bohr) 得到的定律，電子圍着元素的核排列，成功一個無隙的九十二個階段的梯，從氫到鈾，每個元素比前一元素的核電荷多一個陽性單位。經這樣一解釋，元素的化學性質要比從前容易明白得多了；但從前在學理上含有基本意義的原子量，却因此變成了一種實用的常數了，因為索第 (Shoddy) 法揚斯 (Fajans) 和阿斯吞 (Aston) 在這梯子的許多階段上，都會證明有許多元素，其原子量雖不同，但其化學性質却是相同的，這種元素，我們稱之為同位素 (Isotope)。現在可以相信的，是陽核係由單簡帶陽電之粒子——氫原子核或質子 (Protonen) 與電子結合而成，故整個宇宙原是基于一種陽電荷及陰電荷，而它們的種類所以繁多，只是因為它們的排列法有所不同而已。於是這門學術又回到一八一五年時一位名叫普牢特 (Proust) 的英國醫生所持的見解了，不過現在關於化學宇宙的統一性的見解，其基礎較之一百年前要來得穩固些罷了。不寧惟是，我們從前已知道放射性元素是會自動分解的，現在，因為魯哲夫的研究結果，知道還能用人力使其發生呢。自古以來，我們都以為元素是不可

毀滅的，現在這觀念是失去了它的價值了，若干輕元素都被分爲較小的成分了。這種新認識成立所借助的最重要的方法是光學，鑷琴 (Röntgen) 于一八九五年把最短波的領域也加入光學之內。一九一二年，勞依 (V. Laue) 藉光學的助力，使原子的構造顯示于吾人之前，繼之波爾也以蒲朗克的量子學說作根據，使人們對於整個的光譜 (Spektralbereich) 有了深切的明瞭。(可見光譜在從前已由本生 (Bunsen) 及基爾希霍夫 (Kirchhoff) 加以闡明。)

化學的使命原在藉觀察以確定物質的性質，但經過上述之發展後，却根本變成了帶形而上的性質了。正如從前在物理與化學未互相溝通之前，我們爲了要解釋光的原理，所以就假設了以太 (Aether) 這個東西；而現在波動說 (Wellenlehre) 的觀念與方程式也變成了一種具體的東西了。凡我們所看見，所覺得，所嗅着，所嘗到的東西，其中之關係，至難明瞭，我們要想徹底明白，或許還要五十年工夫呢。

這是我們在這塊寫下的近五十年化學的一段珍奇的歷史。在工業化學方面，還沒有提到那自一八八四年爲希奈·得·沙多內特 (Hilaire de Chardonnet) 發現以來，在整整五十年內

與天然纖維並列爭鬪的人造絲的發展。沒有提到韋爾什巴赫 (Auer v. Welsbach) 一八八六年所發明的含有革命性的瓦斯白熱燈，沒有提到自一八九四年以來，化學工業上始能藉以達到最高溫度的電爐，也沒有提到一八九八年挨爾摩 (Elmore) 所引用的，在洗淨混合質素時佔有基本地位的『浮洗法 (Flotation)』。薩巴提爾 (Sabatier) 的觸媒 (Katalysen)，在經濟上和工業上都達到了同樣超卓的地位，都從略了。善斯 (Bosch) 曾將氮造成一種世界工業，差不多也未提及。在生物化學中，威爾斯忒塔對於葉綠素，花色素以及酵素的重要貢獻，只約為論及。對於韓斯·費舍爾 (Hans Fischer) 幾十年來著有成效的工作，如血色素的合成，毫末論及，對於文道斯 (Windaus) 和維蘭 (Wieland) 關於 Sterine 及維他命 (Viamine) 所作之工作亦然。關於發醇化學，從布勒納 (Buehner) 一八九七年，發現的無細胞酵素直到那柏格 (Neuberg) 關於此問題的各種解釋，均置而未論。在純粹有機化學方面，尚缺一九〇〇年工柏格 (Comberg) 所發現的有機根 (Radikale) 和一九〇一年格里納特 (Grignard) 有機鎂化合物的合成。庫齊烏斯 (Curtius) 的氮氫酸 (一八九〇)，現代盧齊卡 (Ruzicka) 關於稠雜圍碳化合物的研究，也都從略。

奇格孟第 (Zsigmondy) 的膠質化學和度外顯微鏡 (一九〇三) 未被說明。在純粹飛機方面，關於漢依散 (Moissan) 一八八六年製氫的重要成績沒有談到。但上面遺漏了的這些發明，在專家自可聯想及之，故無細述之必要；其他之例尚多，亦不贅述。

寫此一段歷史者感覺到很幸福，因為題目容許他用受過教育的人的語言，把一門學科在半世紀中所獲得的成績，敘述出來。而被敘述的這門學科，也幸而是與普通教育有密切的關係的，所以只要用很少的話，便能使讀者明瞭這種成績的意義了。化學有化學的範圍，它只要把它範圍裏的東西敘述了，就應該滿足了。

每個偉大民族都有它藉以生活的財富。一個民族的財富是在廣大面積上，又一民族的財富是在海上或在地下。我們具有的這種天然富源，與各重要民族比較，最爲惡劣，因此，我們比其他各民族更須要靠精神財產來鑄造經濟方面的貨幣。在天才，聰明和勤勉方面，我們並不勝過其他重要民族。故我們更須多多努力于學術的發展，作我們經濟生活的基礎。我們開始研究化學在英法兩國人之後，但在近五十年內，却能突飛猛進，跑在它們前頭，但我們是否能保持這個地位而不失，

那就要看國家和人民在培養學術方面是否能看出我們特殊的需要，並且是否肯爲這個目的而大事犧牲了——這種犧牲在緊要關頭是可以令擁有巨大天然富源的民族落後的。



## 地質學

韓斯史梯勒 (Hans Stille) 著  
胡祖徽 譯

最近五十年德國地質學研究的方向和範圍爲廣博的視察材料所指定，大半是關於單獨的停積層系，從地層學、生物學、岩石造成學、動力地質學各方面，更進一步的去研究各地層的秩序和分佈，更詳細地分析地層的分期。另一部分是關於各地層系所包含的化石研究，這種學說逐漸地顯明地脫離了地層學，從其本身去求解釋和說明，但是最重要的最有成績的工作是對於各地方上專門地質情形的研究，尤其是在一八七〇年以後德國國立地質調查所 (Staatlichen Geologischen Landesanstalten) 參加工作，從事於專門地質圖的繪畫 (大多是 1:25000 的比例尺) 這些圖案於二十七年前業已結束保存在薩克遜 (Sachsen) 地質調查所 (創辦人爲海洛曼 (Hermann) 格勒諾 (Gredner) 至一九一二他爲該所的指導者) 普魯土地質調查所 (Preussische Geologische Landesanstalt) 先後在白理赫 (E. Beyrich) 白史拉各 (F. Beyssler) 克路尺

(P. Krusch) 諸位指導之下，將本邦大部的和附屬於普魯土地質調查所的各鄰邦士平根 (Thüringen) 安哈特 (Anhalt) 布勞史外 (Braunschweig) ……等的地質圖一一繪出，其他的地方地質調查所在巴燕 (Bayern) 衛騰堡 (Württemberg) 巴登 (Baden) 海森 (Hessen) ……等地。我們推想推想，這許多地方地質調查所繪出的圖案和圖上的附注包含了多少事實的眞像？其觀察的範圍是如何宏大？每年暑期內德國地方地質調查所 (Deutschen Landesanstalt) 有一百左右的地質家，往各地調查測量，他們搜集整理的材料真不可勝數。

除了這些有大規模，有豐富經費的地方研究所 (Landesanstalten) 的工作以外，在大學研究院內亦有極好的成績，但是他們的對象皆是區域內之地質情形，最主要的譬如整個的巴燕阿爾卑 (Bayrischen Alpen) 山之攷察，是明興 (München) 大學研究院近幾十年研究的中心點。因此近五十年來德國形成了有詳細的，有廣大的地質調查國家之一，或則簡直可以稱爲地質調查最完備的國家。

這種工作並不以德國國界爲限制，在近五十年的國際競爭中 (Internationalen Wettbewerb)

差不多皆有德人參加，在這方面最着名的是一九七〇——一九八〇年間李希霍芬(Ferdinand von Richthofen)關於中國地層的大作品，同時他——一個德國人——給日本地質學立了基石，中亞細亞的山脈攷察是幾次德國遠征隊的目標，對於南歐羅巴南部的小亞細亞的，西日亞的，埃及的地質研究中，德國地質學家皆有出類拔萃的成績。關於南美洲地質學的促進要歸功於斯坦因曼(Gustav Steinmann)和其門人。雖然經過大戰，經過了紙幣的膨脹，德國地質學家於近來仍然在各地可以立足，這當然皆是德國科學救濟會 (Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft) 的大幫助。

德國地質學家在德國殖民地的工作止於德國殖民地被瓜分的那一天，這是自然的理由，在普魯士地方地質調查所出版的「德屬殖民地地質調查論著 (Beiträge zur Geologischen Erforschung der Deutschen Schutzgebiete)」刊內曾載有許多極有價值的調查，此刊品的末幾期在大戰後始出版，就是續刊的內容也是極精確的德國殖民地的地質調查，在凱撒(E. Kaiser)的大著「非洲西南的金鋼田論 (Diamantenväste Südwestafrikas)」裏面附有一極精緻的

插圖，這樣的插圖是從來未見於其他各殖民地的。在德屬東非 (Deutsch Ostafrika) 常常組織探險隊——有普魯士科學研究院 (Preussischen Akademie der Wissenschaft) 的輔助——到達古路 (Tandaguru) 地方去掘挖在十九世紀初年所發現的大龍類化石。

國際上對於德國地質學的信仰同時對於德國地質圖技術的認識，以下的委託為其實證，國際地質學會會議決將歐羅巴的國際地質圖的製造權完全交給德人手中（用 1:1500000 比例尺）。在白史拉各的努力指導之下，於大戰前此工作已完竣，大戰後根據了已往的計劃又將德人選為第二次國際地質圖繪畫會的主席和祕書長，這次用的比例尺為 1:5000000。

雖然有這許多偉大的，超出國境的科學研究和工作，但是如果我們論到近五十年德國地質學，那麼重要者要以德國內地地質調查為主，但是因了篇幅的限制，我祇能談及會做過研究中心的各門地質學。

德國的地勢可分為兩部：一為低地，一為山地。低地上的堅固岩石大部被較鬆的第四紀堆積所蓋，尤其是洪積堆積 (Diluvium) 因為有這大遍堆積的存在。所以在德國地質學研究中，洪積堆

積佔了很重要的地位，無疑地其重要性在將來的研究中是不能減少的。英人在一八四〇這年創立了漂流說 (Drifttheorie) 將德國北部的漂石 (Erratics) 認為是已往從芬蘭 (Finland) 和斯堪的納維亞 (Skandinavien) 漂來的冰山內的包含物，溶化後沉澱於德國低原上，一直至一八七〇多年德國的洪積研究完全在此學說支配之下，所以這時期內毫無供獻，簡直是委靡不振。在一八三〇這年亞加西茲 (Agassiz) 根據了瑞士之亞爾卑山 (Schweizer Alpen) 的研究，倡了冰河時代說 (Eiszeittheorie) 所謂冰河時代即謂在過去的時代中有一時期產生極大的冰原，將許多高大的漂石，一一從北向南輸運，這新學說在瑞士、英國、北美和瑞典，那威各地皆受人的歡迎，惟有德國是一概的拒絕，德國的漂流說的崇拜者布赫斯 (Leopold von Buchs) 已於一八五二年去世了，然而餘威遠震，一直到一八七五年德國的漂流說沒有被攻下，但是在一八七五年十一月三日德國地質學會會議時有瑞典地質學家托勒爾 (Torrel) 在場演講，他站在內地冰說 (Inlandeistheorie) 的立場，來解釋德國北部的地形，這天可說是德國地質研究內一個新時代的開始，從此以後普魯士地方地質調查所立在於一極大的調和視察範圍內，關於這方面有名的前

輩學者可推白倫得 (G. Behrendt)、萬沙非 (F. Wahnschaffe)、開爾拔克 (K. Keilhack) 和 陰尺 (A. Lentzsch) 對於材料的搜集、編述、和訂正工作內功勞甚大。

亞爾卑山冰河時期的研究也是德人朋克 (A. Penck) 同其助手布律克那 (R. Brückner) 與人辛勞的結晶。

研究德國洪積紀的冰川不免要牽引到今日有內地冰之各地，所以冰原的研究也有很好的效果，如開爾拔克關於冰洲 (Island) 的研究，德來葛斯奇 (E. Drygalski) 和威格諾 (Wegener) 對於格陵蘭 (Grönland) 的研究，德國南極探險隊 一九〇一——〇三在德來葛斯奇領導之下關於尖山 (Spitzbergen) 同南極的考察……等等。

除了這許多專門問題研究之外，關於地殼構造的實際材料，日漸增多，一個概略的、完備的系統編制，日形緊要，所以在近五十年不僅有專門地質調查的創始，不僅在洪積研究內發生內地冰說之侵攻（這在德國地質學演進上有莫大之關係）並且還產生了一門極重要的科學，即比較地質學，(Vergleichende Geologie) 創立者為維也納的地質家許斯 (Eduard Suess)，首先在

一本小著作「亞爾卑山之起源 (Die Entstehung der Alpen)」內發表他的學理，隨後又有他的傑著出版「地球表面 (Das Antlitz der Erde)」。

德國的地質構造上可分爲二部，一爲舊部，即古生代所成立的「原始山 (Grundgebirge)」二爲新部，其構造較前者簡單，大半爲今日低下床形山 (Deckgebirge)。

原始山包括結晶質的原始山脈 (Urgebirge) 這些結晶質的片岩 (如片麻岩、雲母片岩、千枚岩……等) 並非原生物，而是從不同質的原料變質成功的，這個認識在已往會有提到過的，於近幾十年才確定。大約前五十年羅遜 (Lossen) 在陶努 (Taunus) 山與哈磁 (Harz) 山 (德國) 做調查和研究，結果他倡了斷層變質說 (Dislokationsmetamorphismus) 就是說片岩爲造山壓力——即平地壓力——所產生，雷曼 (Joh. Lehmann) 也如此解釋，尤其是羅森布 (H. Rosenbusch) 在他的著作內「岩石學原理 (Elementen der Gesteinslehre)」對於結晶片岩下了下面的一個定義：結晶片岩是一種經過了地動現象，起了地質變化以後的火成岩與水成岩。大家早已知道接觸變質 (Contactmetamorphose) 爲結晶片岩成因之，一同時又發明靜的變質 (Statische

Metamorphose) 與侵入變質 (Injektionsmetamorphose)。前者爲上層岩石壓力太大所演成的變化，後者爲岩漿侵入層岩時所發生的變化，二者變化的結果皆能造成片岩，所謂德國的片麻岩典型地 (Erzgebirge) —— 從維納 (G. A. Werner) 後的世界片麻岩典型地 —— 根據現在最流行的，最普遍的關於結晶片岩之觀念，從其結晶性去推測其年齡，則典型地之片麻岩成立時尙晚，在石灰紀，其他的德國原始山脈形式 (Urgebirgsmassen) 如黑林 (Schwarzwald) 的片麻岩，騷爾 (A. Sauer) 將牠分爲兩種，一種是由火成岩變質的，另一種是由水成岩變質的，士平根森林 (Thüringer Wald) 北部的片麻岩和屈夫好塞 (Kyffhäuser) 的片麻岩大家以爲成立於太古系或則至晚先寒武紀。

已往德國對於德國原始山形勢的研究，已經有良好的結果，但是因爲近來各專門研究的供獻所以始能將那所有的老褶曲的遺跡，集合起來成一大規模的完全的山系，就如今日南歐之亞爾卑山系，橫貫中歐，在這種見解之下，許斯所謂的瓦里斯基 (Variscischen) 山系即是。基於動力演變經過的研究，以及其時期之分析所得的結果，促進了瓦里斯基山系的研究和解釋，並且在



動力演進和其附近地層之關係內有極大的意義 (der Beziehung zwischen den dynamischen Vorgängen und den sie unterbrechenden Sedimentationen)。對於集然的地層平地輸運 (Weite horizontale Massenverfrachtungen) 在近代始有相當的認識，自十九世紀初年起，這種現象時時在新期成立高山內，被地質家證明，就是在瓦里斯基山內也找着了這種運動的痕跡，並且有人還想將整個的瓦里尼孔 (Variseikum)，基於亞爾卑山的構造，歸入岩牀褶曲山系 (Übereinander geschobene Decken)。

圖這一切向外擴大的工作平行的，有微細構造研究法 (Mikrotektonische Forschungsmethode)，其研究的對象極其微小，凡是地的動力在岩石上所留的痕跡，皆在他們研究範圍之內，這種研究方法的出發點為組成大構造體的演變，在小的範圍內，這演變在性質上同方向上也留有相當的痕跡，這些痕跡恐怕比在大構造體上所留的痕跡更澈底更確切。假若大家能注重，摹倣奧國石學者在亞爾卑山所做的研究，即解說和分析極纖微的石塊之連結和構造 (Allerfeinste Gefüge des Gesteinstückes)，那麼這種研究法將來無疑的可以得到莫大的效果，一切根據大構

造體研究所得的結論將來在微細分析法之論壇上，是否能立足，實成問題。

德人關於瓦里斯基運動內之岩漿附帶現象和其影響，皆有驚人的研究，這研究中不但包含地質學方面的（即火成岩之分佈和其由熔質凝結至固體之變化研究）並且還論及到化學岩石學之諸問題，這些問題與岩漿發源學（*Magmatische Lagerstätten*）有密切之關係，附帶的我要提出，化學地質學與化學物理學愈相趨進，形成了一門極重要的科學。

德國的瓦里斯基山大部是整個的舊瓦里斯基山系之一部，就如今日之亞爾卑山為歐亞阿平寧（*Alpidan*）大山系之一部，因此爲了要了解這整個的舊山系，德國學者極其踴躍的參加了德國和中歐以外的地質研究。

五十年前的地質學家已知道德國的床形山是種褶曲的成因，西耳斯（*Hils*）書內用的地槽（*Mulde*）即可看出，這個名詞現在亦很普遍，斷層的現象早已在礦井內發現，但是認斷層現象爲德國床形山的普遍性之說，在一八八〇多年，才戰勝了當時有名學者白理禱一般陳腐的觀念，斷層研究學已促進了不少的專門地質調查，最精美的成績，如屈恩斯（*Koehens*）的南海森南

哈諾偉 (Hannover) 地質研究，米塔斯 (Moetas) 南海森地質研究。不幸這是一時之盛，當地球表面出世之時，將這一切的理论推翻，這書中將德國床形山內的和最新期造成的山脈內的破裂現象，認為塊狀山 (Schollengebirge) 狀態的表示，最後又出一折衷的見解，即斷層褶曲 (Bruch-faltung) 理論，既承認褶曲，又承認塊狀山的解說。與這許多議論平行的又發生了一個問題，這些山系是怎樣發生的？所謂褶曲當然是由於旁近來的壓力之推擠。塊狀山說內才發現了上下的動力，許斯謂此動力以地殼的向心趨向為動機，後來到斷層褶曲解說時，又回至已往的平地動力成因說。近三十年又得了關於德國新期造山運動或名撒克梭尼 (Saxonische) 造山運動——此名詞在二十年前才創——之時代和次數的認識，將前紀末年的定義打破，就是說撒克梭尼造山運動並非發生於新生代，並不是一次或二次緊緊相連的運動，而是數次的運動，並且這些運動大多數發生於中生代。如此給地殼構造學的時期分析研究開闢了一寬廣光明的新路，同時又將構造演變分為兩大類：一為造山運動，一為造陸運動。

恰巧德國苦灰紀的大鹽層 (Salzformation der Zechsteinzeit) 也潛伏在床形山中，這鹽

層內包括了德國鉀鹽富源，所以大家對於床形山的研究特別的興奮。關於化學礦物學的研究要以凡特荷甫 (van't Hoff) 同其弟子爲魁首。關於地層學要以普魯士地質調查所同人的成績爲最佳，在地質構造學方面，德國學者對於那些奇異狀態，如地內的鹽類，很有研究。他們所得的結果已做了他國在這方面的研究標準。

微細構造研究法 (Mikrotektonische Arbeitsmethode) 在撒克梭尼 (Saxonsch) 造山運動研究中之重要性，日漸增加，因爲只有這種研究法可得到深刻精微確切的見解，這一點我們在新近的研究中很顯明地可以見到。特別是在那些討論最激昂的基本問題內，例如：在平地動力轉的褶曲中，地塊 (Erdschollen) 向左右分裂的程度如何？微細構造研究法既然能詳解撒克梭尼造山運動的一切變態，那麼牠將來的價值，可想而知了。

認火山學或則祇限於深地火山學 (Plutonismus) 爲一種最流動的構造質體之研究，是完全的受了許斯學說內之地殼動力演變中岩流之消極現象，即深地火山學的影響，現在一般所謂的積極火山學，其研究的範圍祇限於爆發現象，就是在地的表殼內，有一處發生了大量的氣體分

解，以求擺脫壓力，達到均衡的過程，以前在十八世紀和十九世紀之際，德國火山學家司徒北 (Strübel) 將整個的岩漿噴發步驟認為岩漿本身的作用 (Endomagnatisch) 因為火山的爆是由於岩漿冷却時其容積的增加，例如在四度的水冷却下去，其容積的增加，是同出一理，根據司徒北的學理布朗加 (W. Branca) 做了更進一步的研究。他由斯瓦奔 (Schwaben) 地方的火山胎形 (Vulkan Embryonen) 的研究，提出一討論的問題：『火山的噴出是否為地內的裂縫所支配』他本人對於此問題的否定見解，只得到了少數人的同意，一般普遍的議論為：在將要爆發狀態之下的岩漿，很可以直接的噴出地面，但是往往利用地內的裂縫為領導。近幾十年一直到最近威陵格 (Nördlinger) 地方的里斯 (Ries) (火山形勢) 常常成了火山學內討論的中心點。除了德國以外 德國 研究家對於國外的火山研究——如南美的安達斯 (Anden) 山的，中美的，大西洋海島的，地中海海島的 火山——皆極熱心的加入工作，尤其是一八五〇年以後。

對於地質研究最有幫助的，要推物理地質學方法的進展，特別是在地殼重力和地震的考究方面。如最新近利用人造地震——用炸彈崩裂——去追求地波流動的研究。這種方法的發明地

和發展地皆爲德國，有解釋岩層秩序之功用，因此在岩石經濟學上之重要，漸漸增高。利用地震推測，估量地心的構造之理論也以德人爲先鋒，特別是維歇爾 (E. Wiecherts) 的作品。

地殼重力 (Erdschwere) 的研究，尤其是這研究所得的重力變態體 (Schweranomalien) 引起了一切關於地形造成的討論。由此（還有其他原因）又產生一問題：『地殼永遠均衡趨向爲構造運動之主因，究竟如何解釋，或則以此趨向及構造運動之副因是如何解釋。』德國學者對於重力變態狀況之研究最有功勞者爲黑克 (Hecker) 做有『海洋重力比較之研究 (Schwereverhältnisse der Ozeanischen Räume)』1901——1909，和可許特 (Kohlschütter) 做有『東非洲地壕區之重力研究 (Schwere in den ostafrikanischen Grabengebieten)』

德國探海探險隊關於海底情形之調查和說明，也是研究動力地質學問題的最重要最精華的材料。特別是由德國科學救濟會在一九二五——一九二七年所組織的氣象調查旅行 (Meteor Expedition) 所發表的供獻。

因爲那許多生命的要素，所以我們簡直的可以說人類和地球有極密切的關係，他所需要的

五穀，那一種不是從土地內生長出來的，所謂土地本不過只是被風化後的岩石。他所需要的水潛伏在地內或則是由地內流出來的，人類社會的寶物如煤，石油，鹽類，金屬，又那一樣非由地內掘挖而得的？我們破壞地殼，不只是因為開採富源，我們爲了要開道路，修軌道，打隧道開水道也不得不破壞地殼的幾部分，因此我們不斷的遇著許多困難問題，這些問題只有地質家可以答覆，可以解決。所以應用地質學如土壤學，潛水學，礦床學，工程地質學……等在地質學內佔了極大的範圍，以上的每枝每節皆有他一定的研究範圍，在德國這些枝節經過了一番極其深刻精微的研究，已形成了繁盛光明的科學。





# 礦物學

林高隆 (Gottlob Link) 著  
楊 鐘 健 譯

同地質學一樣，礦物學也是自前五十年來，纔日形重要。自一八七〇年起，始有最初的公開礦物學會之設立，而斯時在斯特拉斯堡由格羅特 (P. v. Groth) 所組成者，或為其最初之一個，自此礦物的研究工作，纔能有門徑，循序進行。

礦物學可分為三類，彼此均多少有些連接。即結晶學，礦物學，與岩石學。

關於結晶學，當此時由以前長久尋索的數學原理，只有三十二種對稱象為一般採用。格羅特之結晶學，實為結晶的形態研究的基礎，亦為結晶物理學的基礎，特別是結晶光學。關於後者，以後由李比式 (T. Liebisch) 及波開 (F. Pockel) 二位，共樹其基，格羅特於另一方面，由已有百年左右的根基的部分，造成新的發展，此即現在成立之化學結晶學。專以研究形式容量與化學成分之彼此關係，由許多合作人研究的材料，成功顧氏的大著作。

自數百年來，特別是自何依（R. J. Haury）起，一般人全注意於結晶的精密的構造。此蓋以何依之理論的見地為根據，係由物理方面數學方面加以研究，推究由分子造成之結晶，如何有規律的造成。由此造成空間格子與點的系統的學說，於結晶構造，貢獻甚大。由勞依（M. v. Lave）有運氣的發見，變琴光線（即X光線）經過結晶之四射，於是物質之不連貫，與結晶格子式結構的理論，成為事實。隨後尚有布拉格（Bragg）狄伯（Delbye）與施洛（Scherrer）之研究，如何雖一由其粉粒，亦可認出結晶之構造。至今此等構造的研究，日有進展，十分重要。此等研究，往往可說明堅固體質之原子構造與岩石之結構等。此中困難，由許多儀器之創造，與許多少年學者之努力，始克打破。

在過去五十年中，尚有所謂流體結晶之發見，由蘭尼磁（Reinitzer）之多方研究，及許多別的學者的心力，但至今尚未能完全說明一切。此外在此時期中關於結晶之生成與消失的知識，均頗有研究，而示吾人以結晶培植的方法，即物理的性質——特別是由一方壓力所成的型像的轉變，——大有進步，而於其他科學，亦有重大影響。

關於礦物學，在已往數十年中，在百年前已發達，主要由貝澤里（Berzelius）之化學的礦物系統，在當時與自然歷史脫離，由極爾馬（G. Tschermak）與格羅特（P. v. Groth）達到最高峯的成績雖不以礦物之化學結構爲目的，但亦獲得此項知識不少。所以下述岩石學的發達，與礦床性質與發生之學說，又在自然歷史的觀點下，重新注意其發生的知識。許多關於礦物綜合的試驗，在前五十年，多由法國學者研究，而在現在成績卓然，特別是人造的寶石的造成。〔寇龍（Korund）沙菲（Saphir）及古濱（Rubin）〕

關於礦物的發生的研究，與其變形與變化，由物理化學的知識，與其方法之應用——特別是無定形膠狀體之研究——有許多極有興趣的進步。

西登托夫（Siedentopf）與喜格孟第（Zsigmondy）之紫外顯微鏡，再加以色原分析器，使我們對於礦物的顏色及其不潔之性質，特別可予以說明，即在未來，也十分有用。

至於礦床的學說，當斯塔諾（A. W. Stelzner）時代，彼之貢獻最大，此後範圍特別擴大，蓋主要由於金屬學的應用，由史耐德遜（Schneiderhöhn）之礦產顯微鏡研究影響特大。

岩石學之開始約在過去五十年之初期，岩石的顯微鏡的研究以齊爾克（F. Zirkel）最爲卓著。羅森布（H. Rosenbusch）受羅遜（K. A. Lossen）在哈磁（Harz）工作之影響，宣示若干見解，以爲噴出岩石不僅礦物成分不同，其化學的成分，與地質的產生，亦關係甚大。所有噴出岩，可說是由一共同祖先岩漿分化而成。由此等過程熔漿一部有時富於矽酸性，有時甚薄，有時富於鹼性及鉛質，有時稀少，這就是說一種礦物的成分由許多礦物推進而生。此等見解，用途甚大，收效亦廣。即在現在，尙爲噴出岩石學的基本原理。即貝克爾（F. Becke）與尼格里（P. Nigeli）之岩石的連續關鍵，血統關係，與一定地質過程的親族關係，亦不出上述之基本原理。關於岩石學的近代觀點，自以實驗的綜合的研究爲最要，此等研究，在五十年前已由福魁（Fouquet）與米希耳雷維（Michel-Lévy）開始，不過在過去一二十年中，由華盛頓加乃基（Carnegie）學院用種種方法加以推廣。即威廉學院，對於矽的研究，亦由愛特（W. Eitel）深造。此外一種或多種質料系統的物理與化學的研究使我們關於熔漿過程的知識不僅深造而且擴充其範圍，此等研究，雖趕不上新近未了解的由熔漿所離出的質料而生的熔化現象，使我們於岩石與礦物的造成有新觀察，但現

在或不久，亦可至其全盛時期。

即岩石的變質現象，維森布也受羅遜的影響，而成一開山的祖師。他的巴爾安得勞（Barr-Andlau）的接觸帶的研究工作，最爲有名。以後工作者，雖加入了汽體接觸，實際亦建築於羅森布工作及其門徒布魯格（Brögger）之上，及至戈得史密（V. M. Goldschmidt），一切研究，乃達最高點。

羅森布之另一思想，以爲即結晶的片麻頁岩，其造成亦與地質的過程有關，其化學等量的變化，受溫度與壓力變化的影響。此等思想，其收效亦宏。至貝克爾（F. Becke）與葛魯本曼（M. Grubenmann）的工作，而達其最高境界。我們現在知道，所有變質現象，一會兒溫度的變化，一會兒流質靜力的壓力，一會兒重壓力，一會兒許多此等現象合在一起，一會兒氣質的或熔漿狀材料的添入（侵入）均有重要關係。由此從礦物的與化學的觀察來看，岩石的研究其結構與節理，亦爲需要。此等工作，桑得爾（Sander）有重要的關於岩石節理規律的研究。

岩石學中之邊積岩部分，在最後十餘年始開始研究。起初人們對於惱曼（C. F. Naumann）

之有價值的觀察，多未注意。起初注意最新時代的綜合的及自然歷史的情況加以研究。其次再注意現在遽積岩造成的研究。此等工作由凱撒 (E. Käser) 及其學派，乃至別的許多人從事。此外由賑濟團資助的氣象考查團所供給的材料，均使地質學家與礦物學家進入新的研究路徑。岩石的風化，與由化學作用的改變，已繼續研究，或已開始研究。因此等工作，於建築工程的風化，於土壤的生成，於人與動物若干疾病的發生，於一定植物的生長與繁盛，均有重要的影響，所以有許多新的研究發生。即以後的研究，亦要使我們得到不少的新知識。

關於鹽床，煤及土瀝青等，已在前地質章中敘過，不再贅。

岩石學與普通地質學最後一部分，即為地球的構成及其內部化學與礦物的情況的研究。由地震波的傳佈，及其他地球物理上的知識，故關於地球內部的見解，亦有變更。而物質在地球各部的分佈，即所謂地球化學，則主要代表人並提倡人，為戈得史密 (V. M. Goldschmidt) 此等工作，無疑的使我們對於真理的認識，更邁進一層。

最後尙要說的，就是關於地球的年齡問題。起初有人試由海水鹽量或由遽積岩的厚度，計算

地球自有水力侵蝕以來的年代。開爾文 (Lord Kelvin) 研究自和地球一樣大的球體，冷縮時所需時間的估計。此等過程，自固定一地殼，由火熔流質凝縮初造成時即已開始。近來又有人就地殼中能生光力的物質，如銻鉛等，而計算地球年齡。但各法所得數目，大不相同。前者約為一萬萬年，而後者竟多至億兆年。所以關於此層，尚有期待更正前錯新研究的必要或尚有可影響於結論的必要的前提，未曾明白。





## 海洋與地理之考查團

朋克 (Albrecht Penck) 著  
劉克 衍 淮 譯

新時代之始，無一德船參加大的發現航行，但第一個偉大的考查旅行家爲一德人。洪波 (Alexander von Humboldt) 在新舊世界都被人崇拜爲此樣之人，十九世紀之後半世紀中，德國之海洋考查團，多少都含有科學性質，普魯士於西曆一八五九——一八六二年中派往東亞以示其國旗及訂商約之考查團，便帶有許多科學家。

一八五七——一八六〇年另一個德意志民族之大國所組織之撓瓦拉 (Novara) 考查團，純屬科學性質，二考查團皆作了大的考查旅行，隨普魯士考查團到遠東者，有李希霍芬 (Ferdinand Freiherr von Richthofen)，彼之中國考查旅行，與洪波之美洲考查旅行，有同樣的意義，撓瓦拉考查團帶有斯瓦奔 (Schwaben) 人候合史特太 (Ferdinand von Hochstetter) 氏到新錫蘭，彼揭明該區之地質情形。民衆亦繼國家之後，派遣考查團出去考查，由彼得曼 (Petermann) 之極

地考查，引起不來梅北極考查會二次德國北極考查團之派遣。此次考查雖無偉大之發見，但於東格陵蘭海岸之測量，則作有基本工作，奧匈極地考查團於帕伊爾（Payer）及維普列希特（Weyprecht）領導之下，在北方發現新地，愷撒弗蘭茲約塞蘭（Kaiser-Franz-Josefsland）羣島之性質，此後方爲世人所認識。德意志聯邦成立後之不久，海軍即在本國領海中作海洋研究，一八七四——一八七六年間葛彩來（Gazelle）船作海洋研究，周繞世界，其工作明白的補全了查陵致（Challenger）船的觀測，於是德意志國躋於從事大洋探究之航海國之列，在葛彩來船之航行中，只有一位科學家，即瑞士人司徒代（Struder），海洋學的工作，成於船中官佐之手。此後之數年中，皇家海軍之他艦，亦取得深湛研究之材料，但是許久之後，方有第二次之大的考查團。

此時科學家對於在本國領海所作之詳細研究，擴充至大洋上之要求，已變活躍，基爾（Kiel）的生理學家痕孫（Hensen），提倡大洋浮游生物之量的研究，普魯士科學研究院（Preussische Akademie der Wissenschaften）協助此項計劃，由其洪波基金會撥以鉅款；皇帝感覺興趣，普魯士邦謂亦有同樣興趣而協助之。一八八九年商船國家號（National）橫渡大西洋幾四閱月，而證

明浮游生物之分佈，不若痕孫猜想之均勻，此後於一八九七年在布勞史外 (Braunschweig) 自然科學家會議時，動物學家孔氏 (Carl Chun) 提議德國深洋考查團，特別研究大洋之生物學與海洋學，以補查陵致船之缺。此事亦得皇帝之歡心，內政部董其事，國會一致通過資助，由阿爾特霍夫 (Althoff) 普魯士教育部作有力之幫助。在此考查團著作之序文中，亦伸謝該時之高級政府諮議史密特先生 (Schmidt)，彼曾已幫忙浮游生物考查團，以後於德意志南極考查團又不辭辛苦的工作了。那時候已使現今德意志科學救濟會 (Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft) 主席提攜考查團之興趣加大，又有一隻商船出發了，漢堡美洲線之伐爾底維亞號 (Valdivia) 於孔領導之下，工作了九個月，直至南緯六十四度之南，探歸極富的深海動物，地學會已能於一八九九在柏林舉行之國際地理學會議中向參加者報告其大概結果。

當時尚有一第三的科學考查團，亦可謂為海洋的，即國家派往南極之德意志考查團，一九〇一——一九〇三年德來葛斯奇 (E. v. Drygalski) 領導此考查團，實現撓買伊 (Georg Neumayer) 於國際間所宣佈彼個人之理想，德國南極考查團之目的，為大西洋太平洋南端，南極

區之考查，此帶但無登岸可能之可靠性；是故自始即已計及此次工作，或將僅以海上爲限。高斯船（Gauss）冰因南極海岸之前有一年之久，考查團失其活動性，而未得深入南極大陸之根據地。

此三次考查，皆係由科學欲望所喚起，三次皆受國家之協助，而與戰艦無關，其指揮者爲科學家，而受商艦艦長之領導，高斯船長魯賽（Rusee）氏只於指揮者之命令於船中生命及財產有危險時，方有不服從之之權，指揮者之權限如是大，而與船長之意見並不衝突；人只可以問如在南極海岸附近，德來葛斯奇不西行以陷冰困之地，而魯賽則欲沿東之開展水面前進，如是南極考查團之出路，或將不同耶？各考查團之目的顯然不同，浮游生物考查團之計劃狹小，深海考查團者則較寬，而南極考查團者則甚廣汎，其工作不僅以海洋學及生物學爲限，地磁及大地測量以及地質學的工作也做了。各科皆很有成績，而地磁工作尤佳。但其多卷之旅行著作中，地磁與海洋學之部爲廣汎之生物學的著作所擠後，此旅行著作僅爲其重要採集品的結果，至其全部著作，則尙未完成也。此於深海考查團之行程著述中爲最重要者，結果尙未整理完畢，故著作亦未完成也。三次考查團之最後出版品中，海洋學問題之處理，極有系統，其規模亦甚爲宏大，此與德人之深思遠慮性

完全相符合。因歐戰的影響，故南極考查團之著作，久未發表，其新鮮性之動人處已失。考查團多卷著述之出版，吾人不僅感謝出版人與著作者，而對於使能實現之政府機關，亦甚感激也。

奧國所派出之泡拉 (Pola) 船，其考查之努力，與上述之德國之三考查團相同。動機出自維也納科學研究院 (Wiener Akademie der Wissenschaften) 皇家海軍施行之，此海軍雖屬奧匈兩民族，而其工作，幾盡成於德意志人之手。很有效果的補充了聯邦德人之工作，蓋彼所研究者為地中海，此在聯邦之德人，則為所未工作者，長久休止後一九〇六年德國海軍又派出去了一個考查團，行星號 (Planet) 之總部人員與海洋學者卜林乃克 (Brennecke) 在大西洋及太平洋上作觀測，以至於該時德領南海之新幾內亞領海中。其所負使命，為海洋學的和高空氣象學的探測，其旅行結果，立即出版。白鷗號 (Alve) 於向東非之航行中，亦作有海洋學的工作。該船由東非更航行於大西洋中，以作該洋之斷面圖，而揭明大陸斜坡之情形。此大有希望之工作，一若其他工作之因歐戰而中斷，但事先尚有一大的德國海洋考查團，即那時之中尉菲爾希乃爾 (W. Flichner) 氏領導下之德國南極考查團，此應為一發現之旅行，並橫過南極大陸，其準備也甚為積極，軍界頗

感很大之興趣，幫助其籌款，而期之以大功之告成，考查團入海頗速，其領袖於布撓斯愛里斯 (Buenos Aires) 方行趕上，其時出發時所計劃之海洋工作，業已完成。彼與其科學隊之情形，未能一致，菲爾希乃爾得於科學方面所建議之途，先深入維戴爾海 (Weddellsee)，但其在南極冰地上陸之試驗，終歸失敗。如其考查團不能深入南冰洲，惟其科學家的伴侶巴爾口 (Barkow) 卜林乃克 (Brennecke) 及羅曼 (Lohmann) 等則獲得豐富之氣象的，海洋的，以及浮游生物的材料，由是吾人關於大西洋西端之知識，得以加富，一若關於東端之知識，由行星號及白鷗號而增多然。所有的德國海洋考查團都在大西洋中工作了，許多長的斷面，由之而作出，葛彩來考查團團長及領導者史外尼茲男爵 (Freiherr von Schweinitz) 已驚異冷的極地底水（譯者註：此即海底附近自極流向赤道之海流），不僅流向赤道，而且過之更北，而入北半球中。由直至歐戰時所發表之測量的整理，美爾慈 (Alfred Merz) 得有以下之知識：普通關於海洋對流之設想，與事實不符，海洋中實有許多互相重疊成層之洋流，卜林乃克於其德國南極考查團之觀測的整理，亦得有此同此之結果。關於此美爾慈認識了大洋東西兩端之不同，一有系統之研究，更覺甚有需要，彼將此

種計劃，交給德國科學救濟會主席史密特奧特先生 (Exz. Schmidt-Ott)，史密特奧特先生因負責進行之，海軍方面亦頗樂意協同工作，於是德國大西洋考查團，因得實現。此亦即首次之有系統的大洋觀測，及最大的德國海洋考查團。

此次應用以前所有之一切的經驗，先組一先遣考查團 (Vorexpedition)，有若韓遜所謂不可缺者藉以試驗小測量艦流星號 (Meteor) 是否可用，其中之科學設備如何，以及水兵與科學家之合作若何，科學的與船的領導權限制劃分之困難問題，因美爾慈教授與司皮斯 (Spiess) 艦長事先多次之計議，計劃及可能性已預為決定而解決。所有之科學材料，考查團出發前已整理完畢，而用之於計劃之成立，計劃至為詳盡，故考查團科學工作開始時，美爾慈不治之症而送歸，司皮斯艦長能兼領科學工作之事務。此行之計劃，係以大海空間及其水之內容，為研究之目標，工作有測深，鹽分與溫度之層測，並捕浮游生物，藉知任意小之水量中所含之生命量；此外一若行星號考查艦上然，作有高空氣象之探測。流星考查團之計劃與實施，可為一切海洋考查團之模範，亦顧及結果之迅速發表，除其豐富之科學收穫與組織計劃之成功外，亦大有政治上的意義，彼使德旗重

新飄蕩於世界海上，在異國海岸上，宣揚那小而屬於德國之海軍的和平動作。此真可謂為一種開新紀元的事實，其計劃，在海洋考查上證明為偉大。海洋生物考查團則需要他種準備與計劃；其領導在一生物學家之手，有若德國深海考查團之情形然，故其收獲至富，海上地磁考查團，如欲完全成功，則須有若加乃基（Carnegie）船構造特殊，包容一切之海洋考查團的時代已成過去。

儀器上的成就，於未來考查團的設計，自有影響。關乎此，流星艦之行，亦給有指示。彼證實了回聲測深法之可用性，並表示出海底形狀，決非若前人想像之單純。當然只由流星艦之結果，尙不能將此問題完全解決；其斷面圖中各次深度測量之距離為五公里，斷面與斷面之距離，則約為五百公里，如果斷面與斷面之距離，有若深度測量與深度測量之距離時，方能詳細明白海底之形狀，但此並不需要大的考查團，此種工作可以局部為限，可由戰艦之練習航行中施行之；如商有成議，則此種關係重要之知識，可由國際合作，而得顯然之進步。

當洪波漫遊二美之際，該區之地理綱領，已略為人知；關於中國之情形，在李希霍芬旅行時亦同；二人固未作有創始之地理工作。但此時地圖上之非洲，則尙有很大的空白，一切尙待發現，至其



他部分，深刻研究，已久能實行。十九世紀之中葉，德之旅行家努力揭開北非中部之幕，巴爾特 (Barth) 及福格爾 (Vogel)，羅爾夫斯 (Rohlf's)，那赫替噶爾 (Nachtigal) 及以後之史宛夫爾特 (Schweinfurth)，於此作了工兵隊的基本工作，他們作單獨的旅行。德國之考查團，出現於柏林地學會組有德國非洲學會之後。時耗巨額之金錢，從各方攢入黑人疆域之中。樂格考查團 (Loango-Expedition) 雖困留海岸，而不久鮑格 (Pogge) 與布赫乃爾 (Max Buchner) 自西方深入內地。一八八〇年至一八八三年維斯曼 (Wissmann) 於德國旗幟之下，自西而東，橫過非洲大陸。必木 (Böhm) 與萊夏爾德 (Reichard) 工作於東，福雷格爾 (Flegel) 曾在黑人區工作；倫次 (Oskar Lenz) 自摩洛哥 (Marokko) 而達於替木布克圖 (Timbuktu)。羅爾夫斯率領皇家派遣之考查團去阿比西尼亞。旅行家之後，即隨有殖民地的努力。德國於取得德屬東非及西南非洲而駐札於幾內亞後，亦擔負保護區之科學考查，不及十年，其地理綱要，已由許多考查團而完成。愛民怕夏 (Emin Pascha) 及史圖爾曼 (Stuhlmann) 一八九〇年曾進至維克它利亞湖 (Victoria See) 以外，隨其後之旅行家，有奧人保曼 (Oskar Baumann)，彼係受反對奴隸協

會之委托。格村伯爵 (Graf von Götzen) 一八九三——一八九九年自西而東，橫過非洲，作了長而富有結果的旅行。哥廷根 (Göttingen) 之科學研究院派道格牢寧 (Glauning) 與可許特 (Kohlschütter) 等到大湖 (Grossen Seen) 一帶去，作一秒擺之考查團。一九〇六年德國保護地之地誌協會，努力考查工作，此事之推動者，爲本人亦爲非洲考查者之邁業爾 (Hans Meyer) 氏。埃蓋耳 (Jäger) 及于萊 (Oehler) 二人一九〇六年之考查團，係在德屬東非之北部之無流出區，哈塞爾特 (Hassert) 及陶爾伯克 (Thorbecke) 一九〇七年在加麥隆 (Kamerun) 之馬乃古巴 (Manenguba) 山，薩派爾 (Sapper) 與夫里德里其 (Friederici) 於一九〇七年在新幾內亞鄰近之海島上，耶納人舒爾次 (Leonhard Schultze-Jena) 一九一一年在新幾內亞之德荷邊境區，奧古斯塔皇后河 (Kaiserin Augusta-Fluss) 大考查團(一九一二——一九一三)亦去新幾內亞，終則埃蓋耳及維伯爾 (Waibel) 一九一四年之考查團，進向德屬西南非洲等，都出於邁業爾氏之動機。國家之財力達不到，則接受私人的補助。那時普魯士教育部參事史密特先生 (Schmidt) 即介紹給奧古斯塔皇后河考查團此種補助。邁伊爾亦爲墨克倫堡 (Mecklenburg)

之菲得利公爵 (Herzog Adolf Friedrich) 兩次考查之有力的促進者。其考查團遠過德國保護區之邊界，其德國殖民地科學考查之成績，實難使人忘之也。

非洲之考查，固需要許多人員，然德人在他洲之考查工作，並未因而絕跡。在南美，多住居該地及召去之德國學者工作焉。向那里派遣考查團，只有在人種學方面有需要，亞洲內部人所不知之區，亦誘人作此考查，一九〇三——一九〇四年菲爾希乃 (W. Fieher) 一九〇五——一九〇七年塔費爾 (A. Tafel) 在西藏旅行，肥山家有美爾次巴海爾 (Merzbacher) 氏自高加索而至天山，他於一九〇二——一九〇三年作了很有成績的考查工作。仿照他的樣子，德奧阿爾卑斯聯合會 (Deutscher und Österreichischer Alpenverein) 派出去了一個考查團，於李克邁爾斯 (Rickmers) 領導之下，在西士爾其斯坦作登山及考查的工作，先此之許久，柏林地學會已派德來葛斯奇考查格陵蘭內地。

在此狹小之空間中，直不能將過去五十年中德國派往各地之考查團完全數出。幾十年前出而作考查者，其目的很明了的在家鄉組織起來，惟其準備又多極沈寂，此種旅行，每與真正之考查

團無異，例如菲爾希乃及塔費爾二氏之西藏旅行是。考查團之設備，自較前之旅行者爲充實，在非洲多僱用許多肩夫，惟在考查與研究之工作上，此種大隊每係弊多利少，因爲領導事務，已將旅行家其他問題之心力，費去許多，單獨旅行者之考查工作最佳，因彼與他人無干，李希霍芬之在中國旅行也，只有僕人隨行，不少的德國學者學他的榜樣。德國保護地之地誌學會，雖規定每一考查團派二人，而多以青年伴較長者，蓋如是青年可以跟從長者學習，麥克倫堡之菲得利公爵同一大隊學者旅行，因彼在社會上之地位的優越，不能不任考查團團長，植物學者或動物學者之路線，每與彼不同，欲研究自然之人，在一地恒欲作較久之停留，而只欲認識大綱之人則不然。自固定之站，而作研究，每亦相宜，奧古斯塔皇后河考查團卽如是；停於定站，由新幾內亞河流上深入內地，能達於該地之山麓，而攀登焉。人類學家與地理學家互相合作；可怕的熱帶顛狂病並未出現。一多頭之考查團，全視各團員彼此感情若何，領導者又須真有領導之天才。此種領導天才，在巴山者中發展最佳，一羣彼此繩繫之人，適當的人自然而然的就担任領導的工作。其他的人都聽從他的指揮。所以阿爾卑聯合會一九一三年派向西土爾其斯坦之考查團，有那樣好的成績。

歐戰以後，第一個德國考查團所以有豐良之成績，亦不能不感謝其組織之有若肥山隊然，德國學者聽從有經驗之領導人李克邁爾斯的調遣，德國科學救濟會派之到帕米爾區域去，蘇聯亦派遣紅軍中之俄人，受其指揮，再則德奧阿爾卑聯合會亦派肥山家四人參加焉。李克邁爾斯之命令其團員也，非若軍隊中之將軍，彼此互相尊重，完全似友伴與同志。動物學家，語言學家以及肥山者各奔很不同的方面，而李克邁爾斯之總部，則若光芒之中心，作各隊的策應，而徐徐在高山中推進。成功一迄今罕覩之偉大的國際科學事業。李克邁爾斯相信：此不僅由發現之旅行，而入於考查之旅行，且進一步亦為整理之旅行。但彼亦深知所在之廣場，既無古林，又無多嫉之土人，妨碍工作，故彼之以帕米爾考查團與同屬德國科學救濟會之流星號考查團相比，良有以也。

最近德國科學救濟會派往格陵蘭內陸冰之考查團，將伴有相同的成績，由其先遣考查團之經過，已可知其成功之可以期待矣。又是聲調相同之科學家，聚集在了一起，彼輩多出自阿爾卑學派，其久經鍛練之身體，及其工作之能力，不在其對此事情緒熱烈之下，又有一位人所共認之領袖，威格諾（Alfred Wegener），於其先遣考查團中，彼已證為極地考查之良師，有若美爾慈在流星

之航行中之於海洋學者，及李克邁爾斯在帕米爾區之於高山研究家然。（譯者按，威格諾教授於一九三〇年冬在格陵蘭內陸殉於風雪，德國因派伊兒（Kurt Wegener）繼續領導其未完工作，考查結果，現已由布勞克豪斯書局（Verlag Brockhaus）出版。）

大的科學考查團，恆利用與其工作區有關之一切的科學。勿論其為植物學與動物學，地質學或人種學。其結果中以地理學為最有興趣，恆先視其在地圖中能表現出地面綱領之成績怎樣。第一就是旅行日記，最低限度地理學者可期待每個考查團都有旅行日記。其範圍雖然是有時大，有時小，但都能帶回家鄉，易裝旅行撒哈拉大沙漠者恆多不能繪圖，如能在那里測定地點，在科學上已經可以說是一種大的收穫，但在開拓德國殖民地之初，可多期望些，那時可作正確之路線圖，實際也都作到了；由保曼所提議之測定路旁山峯，做到的人很少，把所見到的記在路程紀中，回家後委諸繪圖的人哈遜士坦（Hassenstein）與威排爾特（Kiepert），毛賽爾（Moisel）及史普利噶德（Spigade）等由很少的材料，能作成那樣好的地圖，真足令人驚異。德之二西藏旅行家亦作了路線圖；菲爾希乃測定了許多點，致軍事當局相信可發表為縮尺四萬四十分之一及七萬

五千分之一的地圖，姑勿論如此大之縮尺，圖中單一物爲可靠與否，但已不與幾百公里長之路線圖相適宜，故菲爾希乃終取二十五萬分之一的縮尺，有若斯文赫定（Sven Hedin）與塔費爾二氏用二十萬分之一的縮尺然。

不必以爲有路線圖已足，旅行家如有時間以及作圖的能力，儘可以作成地圖，地理學家埃蓋爾旅行之初，兩種條件皆不具備，但彼於其大火山口高地之旅行，能帶回地圖草稿，以後得能作成十五萬分之一的地圖，當時在殖民地罕用之測繪板，其於旅行家之用途，可以知矣。奧古斯塔皇后河考查團，在新幾內亞貝爾曼（W. Behrmann）曾大規模的利用之；先定山峯顯著之點，而山林位於其下，貝爾曼能作成可許特在烏金噶山（Ukingagebirge）作的那樣大的三角測量；一覽圖像可以幫助計算，路線圖又能補充之，是故貝爾曼帶回那樣好的地圖，不下五萬平方公里大之面積，其地面結構，首次大致正確的表現出。此爲戰前德國考查團中最大的地圖成績。

歐戰後德俄帕米爾考查團時，地圖測繪問題之情形已不同。照像測量術此時已能通用，德奧阿爾卑聯合會至今只用諸各山部之大縮尺的特別圖，而其派向西土爾其斯坦之考查團，不僅以

之作罕爲人知之區的測量，且證明其可用於小縮尺之圖，芬斯特互爾德 (Richard Finsterwalder) 得乃父 (Sebastian Finsterwalder) 之傳授，而施展其照像測量術於帕米爾，幾乎五分之一的帕米爾高原被他測照了。並將至今著名之世界最大之冰河費陳口冰河 (Fedschenko-gletscher) 作於五萬分之一的圖中，此偉大之冰河，表示得非常詳細，堪與研究最詳之阿爾卑山的冰河的圖相比。此種成就，不能在一切的考查團中都找得到，芬斯特互爾得事先在格牢克乃爾區 (Glockner-schriet) 及齊來爾谷阿爾卑 (Zillertaler Alpen) 中已有特佳之地圖訓練，一切測繪工作，都需要先有訓練，因缺乏訓練，故吾人可以明瞭十九世紀中德國考查團中地理學者之成績，爲什麼那樣的少；二十世紀以來，已有轉機，地圖學與科學的地理學問之缺陷，開始補連，今之陸地測量，已不在軍人之手，地圖學與地圖學有密切的關係，地圖學者須受地形學的訓練，地形學者如無現成的地圖，則須受地理學的訓練，自己得能造成所需要之基礎，日後照像測量學之應用，既尙多於現今，此種原則亦不致有變。因照像測量學之發展，其應用已日漸推廣，以適當之鏡頭，於較低之飛行中可得很廣的能見場，如是在空中可作成縮尺較小之照像測量圖，不爲人知之區，第一個地圖即可以



照像測量術得之。將來可利用飛機測量亞馬孫河 (Amazonien) 流域之古林，及世界上的大沙漠。此區之地圖，今只能見諸少數旅行日記中。果如是，則地理學家能得有世界各地之地圖材料，但是地面的工作，並不因空中能得圖像而為不必要，陸地考查團之派遣，恆尚有需要也。

過去之半百年中，德國考查團之發展，極為偉大，國家可以自矜此種事業之進展，並未因歐戰而停頓。十年稍息之後，能更以新力加入之，在大洋上，亞洲內地，以及極地之格陵蘭，此種事業之復興，吾人對於德國科學救濟會及其主席史密特奧特閣下，極為感激，三十年來德國之考查團，盡蒙其愉快之協助，是故領導地理科學，向彼致最誠摯之謝忱。



## 海洋學

戴蒙 (Albert Defant) 著  
孫方 錄 譯

海洋學顯然是普通地理學的一部份，這種學問是包括海洋表面及裏面的各種現象。他的重要，只從下列事實上便可以證明了，地球表面差不多是三分之二被水掩蓋着，地殼的深陷處是有很多水量填補着。海洋學同一切別的自然科學一樣，他的事實是從觀察得來的，他同每一種別的科學一樣，是以實事為根據。從人所住的陸地起，以目力所能達到之處為限，有些現象是在海面上可以觀察研究的。所以海洋學初步是以海岸上島嶼上以及圍繞他們的一帶窄水上的現象為限。以後航海事業發達，海上觀察也隨着擴充，又為海上經濟及交通的實際原因，有些舟子漁夫漸漸搜集了遠洋海面上各現象的觀察及事實，他們作這事，也是對於他們個人的安全很好。直到新近時期，這是在十九世紀會使自然科學共同發達的時期，也給海洋學一豐富的動機去詳細研究自然的現象以及動力的原理。在自然界中出現於人前而不易了解的枯燥事實，現在不能滿足人意。

了，人都要向那些現象的全體去鑽研，他不僅要知道海面上是什麼樣和有什麼，他也要知道海裏面及海底上是什麼樣，在這等地方是有什麼力量及運動，海中動物的種類是無窮的，這廣大的空間作海中動物生活的區宇，將來能怎麼樣。

在古時已經有無數的航海商船曾收集了關於海面情形的觀察，當航程完了以後，船上的日記是要交到中央海洋氣象臺，（德國有漢堡（Hamburg）海洋氣象臺）會經過很久的時間，這是關於海面上的各種經常及偶然變化事項之唯一的研究材料。經過幾次國際會議，（如一八五三年在布魯塞（Brussels）一八七五年在倫敦等等。）曾把船上日記的樣式及內容作一些規定，因此各民族在他們的商船上所得的觀察材料，方能全體一致。這大宗材料，經過水利科學館整理以後，竟將海面各要項地理上的分配求出來了。特別是關於海面水溫之地理分配，海面氣候之情形，以及海水最上層之海流平均流動情形。但是不久以後，便感覺到，要將海面上的標準情形，及其時間上的變化，作一種精確詳細的解釋，是需要國際間的親密合作，這是各航海民族間用詳審同一目的的合作事業。當一九〇二年時，北歐各國合組一種國際的海洋調查，目的是要在科學的根

基本上將海洋作合理的經營，國際合作事業當這時得到極大興奮。創立這次組織的時候，德國是以領導性質參加的。在這次組織中合作的各國，後來也將他們海洋學上的事業從原定的工作區域（歐洲綠海），又擴展到大西洋的北部去，在大戰以前，已經有了一種表現，便是不久要將一切航路所能經過的海面，統劃入海洋學的調查區以內。繼續着檢查海面溫度變化及鹽量變化，大約不難從其中發現他與其他自然現象的關係，就是與氣圈的情形，並且使他爲人類利用。

要再進一步，那使用平常航行不能彀作積極的海洋學調查了，因爲調查是需要多的工夫，須把海的各部份一樣的調查，但是海上交通僅是要在可能的範圍以內趕快的作水陸間的過渡。從這一方面論，當然對於較遠的海不大注意了，至於那些平常商船只能幫作一些海面上的觀察，又是當然的事了。在這種情形之下，那些專爲海學盡力的探險隊，是最需要的了。我們的基本學識關於海洋裏面物理上化學上生物上的事情特別是那些各航海國家所組織多數的深海探險隊及兩極探險隊供給我們的，其餘便是那些海軍測量艦上的海學工作，以及敷設海底電線的船隻了。第一次深海調查，可以說在大發現之航行時，已經有了，比方寇克（Cook）及羅斯（Ross）諸人。

但是他們航行的原來目的是對於海洋積極工作很外行的，所以他們對於我們的海洋學識擴充的甚少。於是純粹爲海洋學的探險隊，他的需要便日見迫切了，一直到大規模的英國海洋學探險隊『查陵致（Challenger）』纔使人得到第一次滿意，他曾航經各海，無論在理化方面或是海洋生物學方面，皆作了一些根本上的工作。德國新興的海軍差不多與『查陵致』同時也開首作海洋學上的調查，他們在一八七四年年終時至一八七六年曾派遣他們的巡洋艦『葛彩來號（Gazelle）』航海，專作海洋學上的調查。這兩次探險隊，無論是關於海洋學在船上的計劃及實驗或是收集深海的材料等事，都作出極重要的成績，因此海洋中關於理化的構造結合，纔有了研究的眉目。但是當他航行各海時，或是橫渡各海時，所調查的不過是很少海水之一帶。並且在這一帶當中，也只有極少的地方，是作到海水層次自表面至海底的顯露點。所以不必怪乎現在的人說，他們當時的海洋學工作，不過是隨便將海中的一地方及孤離不聯屬的一帶水中的溫度及鹽量的垂直分佈，記出來便是了，乃是抽查的樣子，他不能將這各樣事物的空間分佈作一總覽的。在『葛彩來號』自德國派出以後的各次探險隊，仍舊沿用這種海洋工作方法。若是要從整個的海中得

到一概括的觀念，必須先使探險隊以解決偏於生物方面的問題爲主要工作，方可以行，起初只要一個大概，也不必希望過於詳細。所以一八八九年痕孫 (Hensen) 曾受普魯士科學院及普魯士政府之扶助，領導商船『國家號 (National)』組織蒲蘭克頓 (Plankton) 探險隊，去調查大西洋中上層的小有機體。一八九八——九九孔氏 (Karl Chun) 受德國內政部及普魯士政府之保護領導『伐爾底維亞 (Valdivia)』探險隊很詳細的調查了大西洋及印度洋的深海生物。這兩次探險隊，也曾作了一些海洋物理學上的工作，但是要用他來將我們從『查陵致』及『葛彩來』探險隊所得的關於海洋構造的學識，格外多加以擴充，他是沒有那樣質量的。在一定的範圍以內，『伐爾底維亞』的工作，在海洋學上也有進步處，就如參加此次探險隊的海洋學家壽德 (G. Schott) 曾將當時在大西洋及印度洋所有的調查材料，一致的收集在一部地圖上，於是關於這些海中的溫度及鹽量的垂直分佈，給人以極好的大略觀念。這種圖示法，是能表現我們在十九及二十世紀之際關於海洋構造的學識。後來壽德用相似的方法將海洋學上的事實，又作一些圖表，於是海洋學上的成績，也與地理學者接近了。所以第一部範圍寬廣的海學名著也在這時作

成的。克呂邁 (Otto Krümmel) 在他這書中，將一九〇七年及一九一一年關於海洋學的書籍，詳細澈底的研究，這是值得我們感謝的。

在這些大半研究海洋生物學的探險隊以後，又有一些探險隊，是多數純粹航海性質的。如德國南極探險隊，偵探船是『高斯號 (Gauss)』(一九〇一—〇三)，在德來葛斯奇 (E. v. Drygalski) 領導之下，在大西洋及印度洋也收集了多數海洋學材料，再還有測量船『行星號 (Planet)』(一九〇六—〇七) 會航經大西洋、印度洋 以及 西太平洋。『白鷗號 (Möwe)』(一九一一) 會環繞非洲 作一些調查。德國海軍 方面用了這兩次探險隊又將他們在海洋調查上的位置很有成績的承受去了。但是按實際講，這一切海洋探險隊的工作，仍舊是相似一種抽查方法。並且他們的多數調查，並未到海底。僅調查海水上層，便自以為滿足。後來德國南極探險隊 (一九一一—一三) 在方法上有相當的進步。因為他的深海測驗 擴充到比較更深的地方，常到二千至四千公尺處。在溫度與鹽量以外，每次他又將養氣調查 之。海洋學者卜林乃克 (W. Brennecke) 是在這次探險隊收集海洋學上新調查材料有功的人，(德國漢堡 海洋氣象台) 但



是要適合這次探險隊原來的目的調查南極，所以他收集材料，也必須在探險隊出發航經海洋的縱線上，以這不很多的停泊處爲限了。在這時期，能使我們的學識進步的唯一地方，是將這一切的現象作一空間的總解釋，但是當時還談不到這裏。

除『查陵致』及『葛彩來』探險隊以外，這一切大規模的德國的及非德國的探險隊完全工作於大西洋及印度洋。對於這非常擴展的太平洋，即便是『查陵致』探險隊也僅是供獻了很少的材料，所以這海洋直到今日仍可看作調查最少的海洋。其中有若干地方，面積等於陸地一洲之大，深度在二千至三千公尺以下，尙未經過任何調查。『查陵致』著作中所收集一八八四年的調查材料，又經卜洽南（Buchanan）個人整理一次。一八九五——一八九六年間又補充上一些溫度圖以及密度圖，這些圖是卜洽南爲不等深的水層所繪的，有到二千尋（Faden）深度的，有到海底的。後來壽德及石屋（Schu）又用所有的調查材料，爲這海洋的各層加作了一些新圖，但是鹽量的分佈，尙未成爲詳細研究的對象。

美爾慈（Menz）（一九一〇）曾將三大洋的溫度鹽量及一切深海調查材料重新組織一

種很詳細的研究工作，並且在柏林（Berlin）海洋學院發展一些方法，用這些方法測定鹽量，可以將舊的調查材料也選擇應用之，特別是用浮表定比重的舊方法，這些事情是關於海洋學的進步上，及總括我們到現在所有的海洋構造學識上，和他內裏的循環上，一種偉大事業。又將三大洋中所有的關於溫度鹽量分佈的材料，在一切縱斷面上及橫斷面上，統用圖案表示出來。因為在三大洋中縱斷面上及橫斷面上作了詳細批評的討論，所以很清楚的在這些海洋中發現了關於海洋學上未解決的若干問題來。同時也提醒了大家一種激烈的志願，想去着手積極的有組織的調查他們。所以當美爾慈時一種大規模的太平洋探險計畫是成熟了。在他上給德國科學院及德國地理學會（一九一二）的說帖上，會將海洋學上難解決的各問題很詳細的說出，並且指示出一些解決他們的道路來。世界海洋中的溫度及水量，海洋的循環以及海洋的潮汐，是提在前面作為主要問題。他以為海洋學的進步，只在能按照有組織的方法從新求得一些調查的材料便是。

為實行太平洋探險，美爾慈曾提議設置海洋中各站臺時，其間之距離，無妨稍遠。而與北極及南極的聯屬是要相當的多。因為這海的大部份，是一莫名其妙的大海，對於科學上的需要，這樣的

路線網，現時儘可以足用了。

美爾慈所計畫的太平洋探險隊，是預計用三年左右的工夫，但是因為外界的原因，（金融恐慌）終未能實現。後來因為海洋學院的努力，終究成就了末次德國海洋學上的成績，這便是德國大西洋探險隊，美爾慈為這次大規模的南大西洋探險隊，終究得到德國科學促進會會長兼國務員史密特奧特（Schmidt-Ott）博士的同意，將德國海軍方在修造中的測量船『流星號』（Meteor）撥歸探險隊應用，海軍方面應允以後，於是當一九二四年十月時『流星號』已完全預備妥當，船上還帶着一些有科學程度的船員及受過訓練的測量員，關於科學人員的供給及科學上的設備，歸德國科學促進會擔任。自一九二五年四月至一九二七年六月『流星號』在南大西洋將海中水量作過極詳細按次序的調查。他所設的海洋站臺也比較密。在太平洋中因為有若干不知曉的海洋情形，所以宜於擴張工作，在南大西洋比較已有了多數的調查材料，所以宜有一種積極的嚴格的有次序的關於全地面的測驗工作。總要在海洋循環問題上加深鑽研。『流星號』探險隊也確實是第一次將南大西洋直至北大西洋北緯二十度以內的全地面順序測驗的工作

實現了。按工作方法的正當發展說，自從爲發現而航行以來，經過簡單的調查航海，走到順序的澈底調查總地面，算是進了末次的一步。

要使這一步的效果大一些，並且將我們的自然界學識再推遠一步，須有兩個前提。一面須使海洋的調查工藝運用到詳細節目上去，另一方面須使海洋學問題上屬於物理算學的理论，發達到一定的點，要使他需要一種特別的調查材料來作他理論上的實驗。這兩種前提之發生，是要歸功於當時海洋學的發展，當『流星號』探險隊離開祖國的碼頭，到海洋中實行第一次順序工作的時候，海洋學的擴展已經出了以初步科學的純粹地理統計便爲自足的範圍以外了。

海洋學上的調查工藝，在近幾十年來很爲發達，這是因爲有了前次多數探險隊所得的經驗，又加以爲在船上應用的緣故，不斷的在本國河海中也作了一些試驗。值得特別聲明的，是採取厚而不紊亂的海底試驗品方法之成立，這樣海底試驗品，至少須使人能認識出他在海底沈澱內最上邊的層次方好，因爲依次收集了這樣的一些試驗品，可以用新式礦物學及地質學上的工作方法，追究出從陸地來的海洋淤積物及在最近時期的海洋沈澱真假分別的原因。依次收集一些海

底試驗品，要藉之詳細研究他各地分佈之不同處，也是可以成功的。採集海底試驗品，當然也能給鋼絲測深以精確的價值，鋼絲測深對於校正回音測深是很需要的，回音測深對於說明海底的真確形狀及大陸傾斜處之形狀，算是一種特別的進步。若不能在航行不停的船上用與聲音傳播同速的方法規定海洋深度，要想知道地殼陷落處的地形構造及其與附近大陸之關係，以及他的山脉形狀，並且得到我們所希望的精確實在程度，是必須更待至很久的時間，這樣論調不容疑惑是對的。按地理學的觀點論，將海底地形大致的確實認識，是何等的重要，也是容易看出來的，因為地殼的三分之二是被水遮蓋，我們若不認識海底地形，便是不認識地球面貌三分之二。所以回音測深在新近時期一定是海洋學上最重要的進步。

要確實規定海洋理化上的構造，是需要測定溫度鹽量以及在海水中融解的氣體及物質，最近幾十年來，在這一點上也得到顯著的進步。這是說他既能完成一些新方法，又能使各項單位的數字價值更加精密。末後所說的一項，是尤關緊要，因為溫度鹽量的分別，在較深海水層中，是降落到極小的度數，然而在一切深海中的海水運動正於這些事情有關係。新於溫度是需要他的準確

程度到 $0 \cdot 01^{\circ}C$ ，(百度表的百分之一度)鹽量到 $0 \cdot 01\%$ ，(十萬分之一)至於密度原來就關係於這些事情上的，也準確到第五位小數。柏林的利希特爾維色公司 (Richter & Wiese) 同多數科學家若干年的努力，竟能作成一種溫度表能抵抗一千氣壓，他在工作上的精確度，確能擔保有上述的準確。但是還有別的好處，便是用這種對於壓力沒有保障的溫度表，以及有保障的溫度表，能尋到一種方法，雖在極深的海中，皆能規定確實調查所在地的深度，這樣規定法，是於輸送儀器到深海去的鋼鐵繩並無關係。(使與溫度表相連之取水器傾倒)從整理『流星號』的材料當中可以見出，深度的規定是何等有價值，若干平日不易了解的調查上的事情，現在都顯露了。取水器精造以後，比較從前又絕少失效的時候，所以現在按照海洋學上各種工作，可以在比較短的時間以內，收集一些深海溫度及水的試驗品，並且能滿足嚴格試驗上的各條件。

用取水器取作試驗用的水，從其中一方面可以查驗海水鹽量，及所含的氣體量滋養料等，另一方面可以查驗他含蒲蘭克頓的量，即是海中小浮游生物。若是很多的試驗品取到船面上的時候，要詳細解釋鹽量之義及規定他的性質，往往能給海洋學者一些困難。但是這些困難也可以解

除的，用改良的工作方法（氯氣滴定法），現時能達到我們理想的精確度 $0 \cdot 01\%$ 。他的發展却仍然是前進不止。在最近的時期發展了若干方法，可期望用他作一些更好的工作，並得到同樣的精確度。柏林海洋學院同國立理化學院，得到德國科學促進會的幫助，將測定鹽量的一切方法，按照上述情形，作了一些試驗及比較，要使海洋學者在這裏得到一個更正確妥當的作結論的基礎。

研究海水中所含的氣體量及滋養料，是對於海洋生物必不可缺的緊要事情。沒有這樣學識，要想解釋蒲蘭克頓各個種類在地理上的分佈，是不可能的。『流星號』探險隊參照羅曼（Lohmann）在『德國號（Deutschland）』航海的調查，為海水各層中作了第一次蒲蘭克頓密度圖，並且作了第一次大西洋的縱斷面及橫斷面圖。海洋生物學因為有目的的發展，在海洋生物界中也有了固定的形像，他作成了海洋生物界中的動力，有一時期在自然科學的工作當中他算是最有聲色最有趣味的一樣子。海洋化學與海洋生物學有極密切聯帶的關係，所以在這一部分上有進步，同時便是在那一部份上有進步，他們兩部份的聯合調查，也可以利用於實際的漁業，漁業是

通常作為國民經濟的一重要部份。在德國向這一方面努力的特別是海洋調查委員會，也有一些海洋物理學上的各單位調查在德國透海及巴倫海（Barentsmeer）中是藉助於委員會及德國海洋氣象臺的。

規定海水的運動，即是海洋循環，漸漸成為海洋學上的主要問題了。用直接而最精確的方法去規定他，最好是在海洋的表面及裏面各處查驗海流的方向及其速度，查驗之處是以多為妙。但是這樣事情，也可以從海洋的理化構造上推測的，因為除去海洋外部的力量能在海面上引起海流以外，他內部的力量只是有關於理化構造，海水循環當然也要影響於構造。方纔所說的這樣調查，也要遇着一些困難的，但是這些困難現在也解除一大部份了。在深度小的地方，要求得海中的一個穩定點，從這地方將海流測量儀向各不同的深度放下，是沒有多大的麻煩。若深度過二百公尺便不同了。在深度大的地方停泊一船，是需要一些特別的器具，一直到『流星號』探險隊纔試驗成功，重新用『勃拉克號（Blake）』（一八八五——一八八九）偉大的拋錨經驗，能將船隻終日的停泊在五公尺的深水上。至於船是否確實停泊，這是說海流的測量是否是從海洋中一



固定地點實行，可以用精確的方位規定法校對之。在海深測量儀的本身，現時也作了若干改良的東西，在他身上能修造上自記儀器，這儀器的應用甚廣。總而言之，在大洋中直接測量海流，是海洋學上極難的事，直到現在測量的數目仍是很少。因此在大洋中實行依次測量海流，現時與從前一樣，仍是海洋學上迫切的需要。在淺平的附屬海及緣海中的情形便不同了，因為這地方的特殊情形是潮汐對於航行有極端的關係，所以調查潮汐，規定按定期更換方向及變更強弱的潮流，是無條件的需要。測量各海峽海流的方向及其強弱，是對於正確判定各地中海的水勢及其與大洋對流等事，有極端的關係。美爾慈常大戰時期，在博斯普魯斯（Bosphorus）及達爾達尼（Dardanelles）海峽測量過他的海流，同時也測定他的溫度及鹽量的分佈。這項成績在一九二八年經米勒（L. Møller）又詳細整理一回，這是對於解釋地中海海流各問題上的一大進步。

整理材料上的工作方法是同海洋調查學的技術一樣發達的。又因為各項事實的解釋能準確精確，及各項研究問題的精細，所以海洋的現象，自然也能用理論征服之，即如海洋中的水量按規律運動，即是海洋循環，這與在一極大的空間裏使用水的動力有什麼不同處呢？在近來理論方

面與海洋調查材料的採集方面，彼此雙方督促着進步很多，大約在將來他們的限量是要更大的。大規模海洋探險隊所供給我們在這大面積及空間上的印像，是概括的多屬於地理學的，此後是該有些小規模的探險隊，無妨若干小船同時，他們可以追究海洋學上各單個現象，於是可以將我們關於海洋運動上水的動力觀念，作一參攷修正。一九二九年德國海軍又將『流星號』撥歸柏林海洋學院應用，海洋學院得到這樣幫助，將格陵蘭 (Ostgrönland) 海流及伊爾明 (Irvinger) 海流很詳細的作了海洋學上的調查，有一些地也作了生物學上的調查。調查工作繼續到一九三〇年。這是第一次將海的小而有興趣的一部份按海洋學去解釋，因為有二種來源不同的水，在此處互相密接。這次調查，是要將從理論思索上所期待的現象，在二種水量的天然分界處證實之，並和理論上的想像作一比較。

在這一方面還有很多的事該作，因為實在需要的海洋學上總括的試驗材料，現在是完全缺乏。在一定的觀察點上，海洋學比較他的姊妹科學氣象學有很困難的立場，氣象學的觀察可以依賴距離遙遠的氣象台，但是另一方面他也有比較好的地方，海的中間物是不能壓縮的，他們運動

是比較在能壓縮的氣圈中間物，爲緩慢而長遠。海中的羣集運動與地上氣層相比，他的情形一定比較安定穩固。在氣圈規律及海洋規律中間有趣味的相同點，是值得詳細研究的，這樣研究對於了解海洋的構造及其中的運動，是幫助了很多。

將風生海流凝積海流昇降海流的理論貫串運用之，再精審的顧及到於海流形勢有影響的各種副力，特別是地球自轉的牽扯力及其阻力，再顧及到外邊的原因，譬如地勢及地球面的彎弧等，然後能得到一個基礎去用新法整理『流星號』所採集有秩序的海洋學材料。一九二八年五月當柏林地理學會百週年時，國務員史密特與特會主持開一次海洋學會，『流星號』探險隊各隊員將他們的臨時成績在會上宣佈一些，特別是關於應用儀器的方法及工作上的正當手續等，在本會的紀念刊物與他的討論冊上也公佈過了。當時整理各項材料的時候，第一件是海洋循環又提到前方爲主要問題。從一切到現在已經結論的各種調查以及威司特 (G. Wüst) 及米勒新近所整理的太平洋及印度洋一切測量材料當中，可以看出一樣不容疑惑的事，便是海洋循環在他們的構造上比較我們平日所理想的，複雜了許多。在兩極地方的水是有流向兩極的力量，他的

下層是流向赤道，上昇的水是在低緯度，下沉的水是在高緯度，這樣簡單流動的軌道，一到熱帶或是近熱帶，他的水層便縮為僅有二百公尺厚了。也只是在溫水層（海洋對流圈）是有這樣的循環，在幾千公尺深度的冷水層（海洋成層圈），他的循環在三大洋中便有了階段的分別。在靠近兩極的地方，因為雨雪量及融解的水水過多，使鹽量顯然的減低，所以冷而含鹽少的水在暖水層之下，成層圈之上，向赤道流動。這是近北極及近南極的中間海流，在每大洋中他的發達是很受海底形狀及海岸形勢的影響。各大洋向南開展，就是向南極，所以在每一大洋中近南極的中間海流是強而有力，從一切的調查上可以證明這事。按照自然形勢，在印度洋是沒有北極中間海流。在北大西洋是因為北極海小及陸地束縛的緣故，他也僅是發展一個初步。但是他在太平洋的北部便同南部一樣強，鄂霍次克（Ochotski）海岸是他的出發點。

在成層圈下層必須更有向極方流動的補充海流，可以將從靠近兩極的中間海流向赤道所輸送的水量再引回去。按照這些雖不十分充足的材料，也可作一結論，好像是在太平洋中大致與中間海流的規律相似，有這樣的補充海流，人皆呼之為深海流。成層圈的循環在其他大洋中作南

北形狀，是因為有別的情形在內作複雜影響。在大西洋中南極中間流的回歸點，約在大西洋北部北緯二十五度至三十五度地方，那是近熱帶含鹽多而溫暖的深水聚積地。所以能造成這種地方，是除去動力學的原因以外，還要追究到多量的溫而含鹽多的水從地中海經過直布羅陀（Gibraltar）海峽而來的緣故。在印度洋也因為從紅海及波斯灣流來多鹽的水，作成加強成層圈循環的根源。在大西洋中因為各大附屬海位置上的關係，將成層圈循環流的回歸點向北挪移一些，因此在鹽量多而溫暖的北大西洋與鹽量少而寒冷的南大西洋兩者之間，造成大規模串通兩半球的水量交換。

海洋中的深海流與包括海底各層的兩極海底海流，不可看作一種運輸快的水量。或是速度較大的實在海流。這樣看將要得到一個關於現象上不真的印像。這些水的運輸速度並不大，這原是密度不同的各水，在這裏一樣的向外發展，每一樣水要在海洋裏按照垂直方向尋覓於他自己比重相宜的深度就是了。

關於海洋循環到現在我們所知道的事，是比較的少，也只是限於南北方向的部份，並且他的

性質只是數量上的。只有再詳細的整理研究所有的材料。還能使我們再進一步。讓德國大西洋探險隊使德國的海洋學比較別的國家得了極大的進步。他的名譽在外國也增加了很多。『流星號』探險隊無論在計畫航線，或是科學上的設備。以至辦理海洋站舍等事，大約在當時一切在大洋工作的各海洋探險隊之中，算是模範了。『流星號』也發明了一種見解，他以為惟有顧及到各種原因，並將海的各層詳細研究，方能使海洋學進步。但是惟有國際間各海洋學院親密合作，方能使他開始發達。實際在大戰後各科學代表將國際間的合作事業首先舉辦的，在各科學之中，海洋學也佔了一席。論這種情形，海洋學上向前工作及進步的道路是解放了。

我們地球上一種最大的海洋現象，一直到這裏還未曾顧及到，這便是潮汐及潮汐海流，他如同海洋循環一樣，能包括全海的水量。宇宙間天體在流動的海洋中間物發生影響，潮汐是他惟一確鑿的證明。我們的潮汐學識，有他特別發達道路。因為規定潮汐，是對於航行有重要關係的，又在海洋的寬闊海岸上，潮汐現象也比較的簡單，所以很古的時候，研究水位按定期變換的原因，便成了一個問題了。不久以後，便大致的知曉了，潮汐乃是日月吸引力的功效。並且用我們對於吸引力

的學識，及觀察水位的學識，能將海岸各地方的潮汐用極大的準確度預先計算出來。（潮汐的諧和解析）這樣理論上的成功，又引起算學上的問題來了，便是要討論大洋中潮汐之發達。要純粹從理論上尋找一條道路，應用於世界海洋中複雜的潮汐現象，却是算學上待解決的困難又非常之大。所以自牛頓（Newton）白農禮（Daniel Bernoulli）以下至拉普拉斯（Laplace）達爾文（Georg Howard Darwin）最著名各學者的模範作品，也只有理論上的價值。起潮力的方式是很完全的確定了。起潮力所惹起的海洋振動是一整個的，關於領悟及解釋這事所必需的力學原則，也是很清楚的擴充了。但是他的結果，終是未能將這基本理論上的成績直接適用到所觀察潮汐的實在情形上去。並且除了平常的意見以外，他們也未有多多的東西，這些意見當然是必不可少的，但是論到澈底的解釋這複雜現象，是不可能的。若是要將潮汐的垂直運動，水平運動，尤其是地理上的分佈，及海陸地勢之影響，作全部的解釋，這種現象便是最難解釋者之一。雖然是落潮漲潮的現象，在各處的發生是按規律的，但是現在還缺少個一律的系統作總括，並且現時我們去這樣圓滿的解決還遠。這種事情的原因，是因爲在大洋的寬闊面積上，測定潮汐及潮汐海流，要遇見極

大的困難，克服這些困難，是不可即刻期望的。現在技術上的方法，只是在沿海各地及淺海中，是發達了，（外海測水儀）將來是可以這些地方，將需要的觀察材料按照心願得到的。

近幾十年來，在各個小海部份（地中海，緣海，海灣及海峽）另開關一種觀察潮汐法，他是完全站在動力學的立場上，多用地文的眼光觀察在實際所有的情形，特別留心於地形上的影響。這種觀察方法，對於了解小海部份的潮汐及其在地理上的生成，是促進了很多。這種成績，將來對於了解大洋潮汐的現象，也要有功效，是不容疑的。這事上的條件，是已經有了。在這些總括的調查以外，還有一些專門工作，調查阻力在潮汐海流上的影響，這裏可以看到，鬧動水流在一切水的運動上對於潮汐的生成是有什麼樣的深刻影響。在這些地方，我們的學識也步步前進，將來能作成對於這些現象的統一的印像，於是就要將我們了解世界事故的慾望滿足了。