

新 中 學 文 庫

科 學 概 論

李 書 華 等 著

商 務 印 書 館 發 行

中華民國三十四年一月重慶初版
中華民國三十五年十二月上海再版

(REPRINTED ON NEWS PAPER)

復興叢書
科學概論一冊

定價 國幣柒元

印刷地點外另加運費

版 翻
權 印
所 必
有 究

著 者

李書華 張鈺哲
錢臨照 曾昭掄
郝景盛 楊鍾健

主 編 者

王雲 五
上海河南中路

發 行 人

朱經農

印 刷 所

商務印書館

發 行 所

商務印書館
各地

序

去秋商務印書館王雲五先生以編輯復興叢書中之科學概論一書相囑，余認爲此書範圍應包括天文、物理、化學、生物、地質各部門（數學概論已另有專書），一人編輯困難殊多，且余俗務匆匆，一時亦無暇執筆，爰代覓專門學者分門撰述：天文篇由中央研究院天文研究所所長張鈺哲先生擔任，物理篇由北平研究院物理學研究所研究員錢臨照先生擔任，化學篇由西南聯合大學教授北京大學化學系主任曾昭掄先生擔任，生物篇由北平研究院植物學研究所所長郝景隆先生擔任，地質篇由經濟部中央地質調查所新生代研究室主任楊鍾健先生擔任，至各篇之長短詳略，文字或用文言，或用半文言，雖小有範圍，而大致仍任撰述之自由採用，不強求形式上之齊一。然讀者閱讀全書各篇以後，對於科學各部門之基本原理，主要問題，發展情形，當已可得到一般的概念。物理與化學本多共同之點，重複之處，在所難免。例如關於原子構造，本書中物理篇與化學篇均有所敘述，然每部分與本篇全體皆成有機之關係，刪除亦所不便，故均各照著者原稿而兩存之。

中國古代天文，特別關於歷象方面，在遠古已極發達。數學發達亦極早，周髀算經即中國最古之算學專書。墨經已有關於光學及力學諸條，周禮考工記亦有許多涉及工藝記載。希臘人

對於哲學、數學、藝術等各方面貢獻甚大。然中國與希臘學者對於人類知識雖有許多貢獻，然與近代科學之意義尙未符合，含近代意義之科學實自十六世紀及十七世紀前期始行開始，當時產生幾位偉大之學者，本求真理之精神，不爲教義所拘束，遂奠定近代科學之基礎。波蘭哥白尼（Nicolas Copernicus 1473—1543）深覺宗教所允許行用古代天文家地居不動，日月星辰繞地運行之說，與事實不符。原來古代希臘學者對於太陽中心論，雖亦略有貢獻，然由於推想者多，由於觀測與實驗者幾無。由於推想，雖觀念正確，而說服人之功用甚低，人人仍有自由辯駁之餘地；由於觀察與實驗，則事實羅列，使人不能不信。此爲古代科學與近代科學之最大分野，而哥白尼乃以其驚人之天才，爲近代科學之啓幕者。彼不惟首先倡地球繞日，且創地球每日繞軸自轉一次，月繞地，且距地最近，又利用真運動與視運動之差別，創出地球爲一行星之說。此雖僅一天文學說，而自此說成立後，近代知識界之各方面，無不受其影響。義大利伽利略（Galileo Galilei 1564—1642）爲哥白尼學說信徒，自行創製望遠鏡以觀察天文，發現木星有四個衛星，對於運動、惰性、重力，均有創見與發明。同時發明溫度表。物理學至彼手中才由古代性質的科學進步爲數量的科學。當日羅馬教廷對伽氏不滿，一六三三年將伽氏拘捕，時伽氏已六十九歲矣。伽氏獄中著作則潛至不屬教廷勢力範圍之荷蘭出版，伽氏被監禁久，雙目失明，後遂病死。德國的開卜勒（Jean Kepler 3571—1630）發明天文學三大定律，將以前極複雜之本輪均輪圓形運動，改爲較簡單之橢圓形運動。近代天文學之基礎，實由開氏建立。但

彼受三十年戰爭影響，雖數處教書，而薪金久欠，一生窮困，終致病死，由以上三例，可知科學產生不易，科學家在艱難困苦之中，力求真理，百折不回，其創造之功業與其大無畏之精神，實應爲後人所永久欽仰。

經過上述艱苦創造時期以後，科學漸漸受人信仰，自十七世紀後半紀起，科學真理始大放光明。成功最大者，首推英國牛頓 (Isaac Newton 1642—1728)，牛頓貢獻極大，首先辨明質量、重量與力之區別，確定運動三定律，由蘋果墜地，悟及引力，發現萬有引力定律，推測地球爲偏圓形，發現白光實含有各色。牛頓由二十七歲起任劍橋大學教授二十六年，嗣改任造幣廠廠長。又被選爲皇家學會會長，連任二十五年，終身受人尊敬，其大著作自然科學數學原理 (Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica) 係一六八四年完成，年僅三十一歲。由牛頓科學工作，奠定物理學基礎。法國拉瓦階 (Antoine-Laurent Lavoisier 1743—1794) 根據物質不滅原理，創造近代化學。將定量式實驗方法，介紹到化學研究，在化學實驗開始使用天平。創立化學定名，分析空氣發現養氣，同時使世人知養氣對於燃燒及呼吸之關係。然不幸受革命家馬拉 (Jean Paul Marat) 之攻擊，被革命法庭判決死刑。由拉瓦階科學工作，奠定化學基礎。

十七世紀後半紀，及十八世紀因物理與化學知識異常發達，並由於他種機緣遂產生十八世紀下半紀之英國工業革命，近代人類生活方式乃得大爲改變，近代文明遂與古代及中古之文

明，顯現出極不同之形貌。自此而後，許多科學家爲求真理而從事研究，在研究室所得結果，造成工業應用之基礎。英國法拉第 (Michael Faraday 1791—1867) 家貧未得受高等教育，在一印刷廠充當學徒，常往聽化學家台維 (Humphsy Davy) 公開講演，嗣得隨台維爲助手，台維死後，繼台維任皇家學院 (Royal Institution) 院長。畢生盡力於科學工作，於一八三一年發現電磁感應，創立電磁學 (Electro-Magnetism) 造成近代電工業。法氏又發現電解定律。嗣後英國馬可士威 (James Clark Maxwell 1831—1879) 於一八六五年創立電磁波理論，後由德國赫芝 (Henri-Rodolph Hertz 1857—1894) 於一八八八年用實驗證明電磁波之存在，造成近代無線電。近代電工業、與無線電，對於近代工業及交通貢獻之大，實屬無有倫比。

十八世紀末葉法國博物家卜奉 (George-Louis Leclerc Buffon 1707—1788) 出版之博物學 (Histoire Naturelle) 乃空前之傑作。瑞典博物家李龍 (Charles Linné 1707—1778) 創立分類學，特別致力於植物分類學。十九世紀初期，法國陸謨克 (Jean-Baptiste Lamarck 1744—1829) 首倡生物種類逐漸演化之說。英國達爾文 (Charles-Robert Darwin 1809—1882) 發明物競天擇，適者生存學說，於一八五九年著有種源一書，對於生物學上，及人類思想上關係極大。法國巴斯德 (Louis Pasteur 1822—1895) 在上世紀末期創立微生物學，對於醫藥衛生爲劃時代之大貢獻。巴氏畢生發明對全人類造福無量。

英人斯密司 (William Smith 1769—1839) 乃地史學或地層學之祖，發明由化石定地層年

代，奠定地質學基礎。由於法國陸莫克創造無脊椎古生物學，法國高梧葉 (George Cuvier 1769—1833) 創造脊椎古生物學，地質學更加強而鞏固。英國萊盧 (Charles Lyell 1797—1875) 所著地質學原理 (Principles of Geology) 第一版三冊於一八三〇——一八三三年出版，以壓倒一切之優勢領導地質思想垂四十年之久，此書對地質學之發展影響極大。

由上所述，少數科學家之代表人物，可知在西方天文學發達最早，物理學次之，化學又次之，生物學較遲，地質學更遲。科學家本研究求真理之精神，終身從事科學工作，勇往直前，所有艱難困苦及任何犧牲，在所不計，科學之產生蓋如是其不易。然一個大科學家的貢獻，確足使世界改觀，全人類受莫大之利益。

我國近世科學係由西洋輸入，其輸入時期，一在明末清初，一在清朝末年。明末清初天主教士如利瑪竇 (Matteo Ricci)、湯若望 (Adam Schall)、南懷仁 (Ferdinand Verbiest)，及其他許多教士相繼來華，將西洋科學如天文、數學、測量、製砲、水利、農學諸科，分別介紹於我國。惟當時西洋科學，尙屬萌芽時代，利瑪竇於一五八一年到中國，距哥白尼之死僅三十八年，其時伽利略僅十七歲，開卜勒僅十歲耳。自利瑪竇到中國，至康熙末年之一百四十年中，各天主教士所介紹之科學，或屬於純理方面，或屬於應用方面，範圍頗廣。但科學在中國並未立下基礎，實至可惜。雍乾時代因禁止傳教，科學輸入遂受嚴重之打擊，中國科學至此，除用以考證經義外，發展殊少。

自鴉片戰爭而後，國中有識之士，漸知西洋輪船大砲之足畏，加以平定太平軍之役，由『洋將』、『夷砲』之得力，給曾國藩、左宗棠、李鴻章等不少認識。於是辦製造局與船政局，購輪船，修鐵路，設電報，立同文館，送留學生，最後則廢科舉，興學校。然此時期中提倡改革之意見，以爲我國所缺者，不過輪船大砲而已，是其所注意者僅爲致用方面之一小部份，對於科學自身則無若何信仰與認識。張之洞等僅承認西方藝精，並不承認其學明，則在此時欲奠定科學之基礎，自無希望。

入民國後，在西洋留學畢業回國者漸多，因此對於科學之性質逐漸明瞭，科學工作，亦漸開始。國內科學研究工作，因爲由外輸入，所以發展之次序與西洋頗有不同。地質學發達最早，次爲生物學，再次爲物理學化學，至於數學與天文發達較遲。近年國內少數科學研究機關之若干科學工作，已能達到歐美各國科學研究機關之水平線，中國科學家在國內所作科學研究工作發表以後，已開始引起外國科學家之注意，並嘗爲彼輩所稱引，國家民族之地位因此漸漸提高，故我國之真正科學工作雖開始未久，而初步實已大有成功。

抗戰發動以後，國內之研究機關及教育機關大受破壞，損失極難補救。但各研究機關內遷以後，在極困難之環境中，仍照舊從事科學工作，并協助政府機關解決實用問題，同時對於內地的開發與建設，更得有深切之認識。此種認識對於抗戰，尤其對於建國，當有極大之影響。今日全世界除極荒僻或極落後之區域以外，無人不感覺到火車、輪船、飛機、電報、無線

電廣播等種種之便利。此種便利，全爲科學應用之所賜。因人類需要之關係，特別當中國抗戰建國時期，自應注意實際應用問題，即致力於純粹科學研究之人，亦應隨時注意科學之應用，自無疑問。但吾人應認清科學應用，全發源於純粹科學，許多應用方面之大發明，卻由科學研究中產出。如無法拉第之電磁感應實驗，即無近代電工業。如無馬克士威電磁波理論，及赫芝試驗，即無近代無線電，如無巴斯德之研究，如何有傳染病治療與外科手術之消毒。在科學史中此類實例正多，不勝枚舉。科學研究乃工業進步之基本，科學研究恰如水源，科學應用，恰如河流，如無水源，便無河流。吾人須知科學進步，一日千里。如僅在應用方面學習與摹仿，必至望塵莫及，永落人後，故欲在應用方面迎頭趕上各先進國，惟有提倡科學研究，此則吾人所應充分認識與積極倡導者也。

復次爲科學研究的組織問題，各國所採取之方式可分爲三類：（一）不注意組織而注重自由研究，如英美法等國是也。（二）組織比較嚴明而以科學研究爲國家事業，如德國是也。（三）組織極端嚴明而以科學研究爲國家建設事業之首腦，則蘇聯是也。然無論何種方式，各國亦均前後注意科學研究與工業之聯繫。我國戰後最需要者爲工業化，故工業應與科學研究取得密切之聯繫，此又吾人所應特別注意者也。

民國三十三年五月三十日李書華序於昆明北郊黑龍潭國立北平研究院

目次

序言

第一篇 天文學……………張鈺哲

第一章 天文學之意義……………一

第二章 天文學之發展……………五

第三章 星象覽勝……………一〇

第四章 地球日月……………一八

第五章 太陽系之組織……………二六

第六章 恆星之形形色色……………三五

第七章 恆星之分布與運動……………四三

第八章 中國古代天文學……………四九

第二篇 物理學……………錢臨照

第一章	物理學之發展及其領域	五五
第二章	質與能	六三
第三章	波動	七〇
第四章	輻射與量子	八三
第五章	電與電子	九九
第六章	原子構造	一一〇
第七章	物理學在中國之發展	一二八

第二篇 化學

曾昭掄

第一章	化學的範圍	一三五
第二章	化學與近代人之生活	一三七
第三章	化學分類法	一四六
第四章	化學發達略史	一四七
第五章	各國化學發達概況	一七六
第六章	化學在中國之發展	一八三
第七章	化學的方法	一八七

第八章	原子學說	一九〇
第九章	化學名詞、符號、化學式、與反應式	二一三
第十章	週期表及其應用	二二五
第十一章	原子構造與原子價	二三六
第十二章	分子構造	二六五
第十三章	氣體及溶液定律	二七四
第十四章	反應平衡及反應速率	二八五
第十五章	結語	二九四

第四篇 生物學

郝景盛

第一章	植物	二九六
第一節	植物分類學	三〇二
第二節	植物形態學	三〇七
第三節	植物生理學	三〇八
第四節	植物生態學	三一二
第五節	植物地理學	三一三

第六節	古植物學	三二四
第七節	國人對於植物學之貢獻	三一五
第二章	動物	三一七
第八節	分類學	三一七
第九節	形態學	三一七
第十節	解剖學	三二〇
第十一節	組織學	三二一
第十二節	細胞學	三二二
第十三節	胚胎學	三二四
第十四節	生理學	三二六
第十五節	動物地理學	三二九
第十六節	遺傳學	三三〇
第十七節	優生學	三三二
第十八節	古動物學	三三三
第十九節	國人對於動物學之貢獻	三三四
第三章	生物進化論	三三六

第五篇

地質學

楊鍾健

第一章	何謂地質學	三三九
第二章	地質學的綜合性及其分類	三四四
第三章	地球的一般情形及構造	三四八
第四章	地球的活躍性	三五四
第五章	地面的雕琢與重建	三六〇
第六章	地球的歷史	三六七
第七章	地史上生物之演化	三七五
第八章	中國地質燦爛的前途	三八二
第九章	地質的調查與研究	三八五

科學概論

第一篇 天文學

張鈺哲

第一章 天文學之意義

(1) 天文學興趣之萌芽 吾人若於秋高氣清之良夜，步至寥廓野外，眺望長空，可見寶石般之繁星，閃爍天上。輕綃霧縠之銀河，橫亘天際。牛織二星，光輝耀目，隔河相望。倘三五皓魄，圓湧冰輪，則衆星失色。除十數輝煌殊衆星點之外，其他凡庸儕輩，悉不敢與明月爭光。廣寒宮殿，姮娥仙子，固已極美麗幻想之能事矣。然吾人早已心知，凡茲一切，皆非事實。究竟月亮爲何物，何以能高懸空際而不下墮。形似燈光之星點，又係何物。其嵌着於天球之上乎，抑散佈於空間。其光輝果從何而來。其恆古不變乎，抑時有增損移動乎。凡此問題，吾人於欣賞夜空美景之餘，常紛至遝來，湧現腦海。天文學之研究，卽所以助吾人對此獲得正確之解答也。

(2) 天文爲科學之祖 苟地球終歲爲雲霧所籠罩，如同太白金星一般，吾人卽永無欣賞天空美景之緣分。世界上之科學，至今恐仍難以發達。蓋世上之有信仰者，不第宗教而已。科學亦自有其信仰。宗教之所信仰者爲上帝。而科學之所信仰者，則爲自然之規律。然自然規律之信仰，人類最初，果從何而得乎。其始於天界現象之觀測，可無容疑。寒暑晝夜，朔望盈虧，日月昇落，星斗轉移，前後相循，井然有序。其規則條理，人所共見。故在各部門之自然科學中，天文之發達也最早。從天象之有規則，吾人始推想其他自然界現象，亦必有規律存乎其中。於是漸加以研究，各門之科學，乃得隨以萌芽產生。故吾人稱天文爲自然科學之祖，實不爲過。

(3) 天文爲日見現象 古人謂「一物不知，君子之恥。」日月星辰爲吾人日見之現象，對之尤不應嚮無所知。地理上之喜馬拉雅山及薩哈拉沙漠，歷史上之秦皇漢武，爲吾人所不易謀面者，尙且能熟知之如數家珍。況於吾終身目視之日月星辰乎。吾人應知所居世界之地理，吾人自亦不應忽視所處宇宙之天文。歷史所敘述者，祇限於人類自有書契紀錄以來之往跡。至於未有人類以前，地球太陽如何誕生，恆星宇宙如何構成。凡此自然歷史之問題，惟有藉天文研究以答覆。所以從讀地理歷史之眼光看來，吾人均應讀天文。曾國藩於軍書旁午之際，諭其子紀澤函中稱：「生平有三恥。天文算學，毫無所知。雖恆星五緯亦不認識一恥也。」而命其子認星座習天文。普通學校雖祇設有地理歷史等科，吾人亦不應以此作爲不諳天文之藉口也。

(4) 天文貶抑功利有裨大同 科學中之天文，猶人類文化中之宗教，均有導人爲善之功。物理研究，可發明飛機潛艇。化學研究，可發明毒氣火藥。使戰爭殺人之器，日趨慘烈。然天上行星之發見，不能充爲殖民地。交食凌犯之推算，亦不能預報吉凶。故天文實純爲知識學問而研究之科學，超脫於功利觀念之外，使吾人知宇宙範圍之偉大，天地壽命之久長，與夫人類在宇宙間之地位。吾人身體，雖不能脫離地球以生存，然吾人天學之知識，足證人類之智慧，乃能無遠弗屆。語言歷史政治經濟以至於生物地質，咸隨國度地域而不同。惟天象則有目共覩。同一之日月星辰，於不同之時間，呈現於全球各地之天空。故其研究上最易獲得國際之合作。戰後世界，若欲踏上大同之路，天文學之注重與努力，實可視爲有效津梁。

(5) 天文學之實用 天文學之重要，雖在乎對於理智感情之影響。而其實際用途，亦有數端，足資稱述。從欽若昊天敬授人時一語，卽知古人仰觀天象之目的，實在於授時。成歲之四時既定，老農老圃，始知播種刈穫之期。不獨一年之四季如是，每日之二十四小時，亦何嘗不假觀象以測定。雖準確時鐘可以紀時，無線信號可以播時。而測定時刻之基本方法，在乎觀星。世上著名製造鐘錶廠家，每自設觀星定時之天文台，卽此之故。迄今電訊交通，日臻發達，精確時刻之需要愈多，天文定時之重要，亦隨以俱增。測量航海航空咸須作經緯度之測定。其方法則觀測太陽恆星。然非天文家事先對於日星曾作精密之觀測，編成詳盡之表冊，則測量航海者，縱觀測太陽恆星，亦無術獲知經緯度。美國海軍天文台，英國格林維基 (Green-

Mich.) 皇家天文台，均附設有天文曆書編纂之局，頒行年曆通書，即所以供測量航海者之應用。

(6) 天文學之估價 總之天界現象，吾人既終日與之接觸，自宜對之有相當之瞭解。是以天文學實爲人人應具之常識。天文學之誕生，較其他任何科學爲早。其始也雖由於迷信與實用。但進展至今，吾人已可以求知爲研究天文之主要目的。然於研究過程中，偶得一二極有實用之發現，亦并非不可能。天文學對於人類之理智感情，咸有優良影響，且有裨於國際之合作，終能引導吾人踏上世界大同之坦途。

第二章 天文學之發展

(7) 星座行星之命名 天文之學，實肇始於草昧洪荒之前。七政及星座命名之開端，多已無從稽考。上古游牧漁獵之民，作幕天席地之生活，與自然界有親密之接觸。經終日勞碌之後，既乏現代書報電影之娛樂。仰臥草原，周覽天象，自成爲彼輩唯一之消遣。以富於幻想而幼稚之腦筋，不難懸揣此羣之星，聚成斗狀，彼羣之星，幻作人形。星座區分，於焉肇始。星象佈列，既漸習諳，一旦發覺數點明星，跨星越宿，似螢火蟲之爬行於天上，自然引起無限驚詫，而加以特殊之徽號。此金木水火土各行星名稱起源之概略也。

(8) 迷信對於天文學之影響 圖識星氣，占驗吉凶，爲真正天文學者所不屑道。世俗迷信，有以彗星爲疫癘兵燹之預兆，交食凌犯，爲上蒼之示儆。逮天文學發達之後，此類迷信，乃漸破除。然先民所以注意及於天文之觀測者，亦不能不歸功於迷信之影響。蓋古人多信呱呱墮地時五星之方位，足以決定一人終身之吉凶禍福。觀測行星移動之重要，由是而起。巴比倫楔形文字中，遺留有許多行星觀測之紀錄。此項古代觀測，於天文裨補良多。而作觀測之動機，初不爲天文之研究也。亦猶牛郎織女，雖係神話流傳，而能引起吾人秋夜觀星之興致。因古人信日月交食係上天垂象，以儆君人之失德，故事前勤求預推，臨時再加測驗。倘古人不信

客星犯帝座，攸關天子之安全，則漢光武嚴子陵同榻之夜所見之客星，決不留痕於史冊。埃及金字塔，爲古代帝王陵塚。中具隧道，其向正指當年之天極。意謂帝王萬歲後之靈魂，得此乃得上升天國。因此迷信，金字塔之建造者，乃不得不觀察天文以求地球自轉軸所指天極之位置。

(9) 耕耘與天象 農事之耕耘刈穫，必按季候氣節以舉行。而季候氣節於未有日曆之前，均需藉天象以測定。我國古代曆法，每據立春日月俱入營室或冬至日在牽牛以起算。埃及古代，則以見太陽隨天狼星從東方上昇之天象，爲一年之標誌。每年此時，尼羅河即將開始氾濫。兩岸人民必遷至高地暫避，候水退時重返耕種。農事稼穡，引起曆法之需要。完善曆法之創立，則無不從星象之觀測入手。

(10) 天文學之應用及其發展 天文學之發展，得力於其實用之功者良多。釐訂曆法，是天文學在古代之應用。測量航海，是天文學在近世之應用。昔英法政府，曾懸重賞徵求太陰經天方位表，是爲未有精密時鐘以前，航海者測定經度所必需。月離理論，經此鼓勵，乃獲有長足之進步。

(11) 行星運動與引力天文 當天文學發展之初期，吾人所加重視者，悉係與人事較有密切關係之部份。譬如藉太陽經天之方位以定季候，測恆星以定方向及經緯度皆是也。故初期之天文，實與地球息息相關。點點恆星，祇視爲地球上之標幟，當作日月五星活動之舞臺而已。繼

之觀天者對於日月五星本身，發生興趣，縝密觀測其外表及行動，已不徒以編曆授時爲目標矣。爲求說明日月五星之運行，天有九重以及地心日心等理論，咸應運而生。多祿畝 (Protony) 地靜學說，佔天文學權威之地位者，凡千有餘歲。迨十六世紀哥白尼 (Copernicus) 出，始置太陽於中心，而躋地球於行星之林，圍太陽以繞轉。刻白爾 (Kepler) 從第谷 (Tycho) 所遺留之行星觀測紀錄，探索而得行星繞日運動之詳情。牛頓 (Newton) 集太陽系研究之大成，宣佈其萬有引力之定律。此期中天文學之發展，實以研究太陽系爲中心。

(12) 恆星天文學之發展 十八世紀英皇室天文家威廉侯失勒 (William Herschel) 細數天上各區之恆星，藉以估計其遠近及分佈情狀，開恆星天文學研究之先河。自是而後，恆星乃漸離太陽系背景之地位，而成爲天文學研究之主角。此時天文家發現空中饒有互相迴旋舞蹈之雙星，聚族而居之星團。恆星距離及其行動，亦可加測定。銀河衆星，在空間如何分佈，具何運動，誠爲研究天學者，所亟欲瞭解之問題。在遠鏡中恆星祇呈一光點，吾人祇能測定其位置及光輝之強弱。惟附以分光鏡後，吾人能從恆星之光譜，以詭知光之性質，從而分析恆星中所含之原質及其溫度壓力之情形。換言之，即吾人得分光鏡助力之後，可以進而研究星體之物理學。恆星之種類數目與夫分佈之廣，迥非太陽系所能企及。譬如積薪，後來居上。恆星研究，在近代天文學中，駸駸凌駕乎太陽系之上，固其宜矣。

(13) 天文學之分類 世人或認天文學爲極專門之學科。而天文自身，仍分門別類成爲數種

之天文學。專事觀測星象之位置者，曰方位天文學。測算經緯度與時刻者，稱爲應用天文。依力學原理以說明行星地球太陽諸星體之運動者，曰天體力學。恆星天文，則討論衆星之分佈與運動。天體物理學則從星體之光譜及光度，研究星體之物理情形。宇宙演化論，推究天體之壽命與其來蹤去跡。航海天文學則研究天文觀測對於航海之應用。此外尚有所謂敘述天文學者，專事搜集各門天文學研究之結果，用深入淺出之筆，作扼要之敘述，以介紹於世人。本篇文字，即屬於是類。

(14) 測天之儀器 天文之門類既多，自古以來，又屢經進展改革之階段，故所用觀測儀器之種類亦繁。所謂周髀圭表者，即上古最簡單之天文儀器也。以直立之竿，隨時觀察日影長短之變化，可以測一歲之長短，分至之日期，地方之緯度，黃赤二道之交角，以及時刻方向。十字尺係西方古代用以測定兩星體間角度距離之儀器。歐西之牆儀，我國之渾儀，均爲未有遠鏡以前之觀天工具。格利雷 (Galileo) 於十七世紀初年發明折光遠鏡。牛頓 (Newton) 反光遠鏡之發明，則在十七世紀之末葉。遠鏡之功用，一則使天體方位之觀測，更加精密。再則其聚光之力，可使人目所不獲見之微星，湧現於眼底。格利雷與牛頓所手製之器，均係椎輪草創，可以陳設於案上，把玩於手中。然從此脫化而來之葉凱士 (Yorkes) 天文台四十吋徑之折光遠鏡，長達六十呎。帕洛馬 (Palomar) 山二百吋徑之反光遠鏡，其玻璃部份即重二十噸。總計其鏡筒與其他活動部份之重量，約達五百噸。遠鏡座架之裝置，概括言之，亦可分爲二類。一

種專供觀測子午線左近之星象，名爲子午儀式。另一種裝置，則可使遠鏡指天空之任何部位。附以鐘機之後，且能跟蹤星辰以運轉，是稱赤道儀式。

(15) 天文遠鏡之附件 遠鏡具有偉大聚光之力，洵爲觀天最主要之儀器。然遠鏡苟得其他配件，附其上以觀測，則其功效更著。微弱星點，在大遠鏡下，目力不克瞭見者仍多。倘以攝影機附遠鏡目端作長時露光，則羣星畢現。即目力可見之星，直接在遠鏡下，匆匆度量，恆不若先行攝影，然後攜底片至實驗室中安詳度量之爲準確。分光鏡藉稜鏡或光柵，析白光成爲七色之光譜。攝譜儀者即拍攝光譜影像之儀器也。附於遠鏡之上以攝恆星之光譜。研究光譜，吾人可知該星運行之速度，物理之情形，及其化學之成分。苟吾人欲同時攝得大批恆星之光譜，可以一隻巨大稜鏡，置於遠鏡鏡頭之上。如是則遠鏡目端攝影機之所照者，非點點星象，而爲一條條恆星之光譜。以此物端稜鏡所攝大批之光譜，可供恆星分類之需。以尋常攝影機照太陽之像，吾人所利用者爲太陽之白光。今有所謂太陽分光攝影儀者，能專攝鈣質或輕氣所發之光。從此可知太陽表面鈣氫分佈之情狀。附光度計於遠鏡之上，吾人可以比較各星光度之強弱，藉以測定星等或星光之變化。以上所述，僅略舉近代天文遠鏡所用之數種附屬儀器而已。

第三章 星象覽勝

(16) 天極與赤道 日月之東昇西落，爲衆所共喻。而不知點點繁星，亦均有東昇西落之現象也。天上衆星，咸繞一公共中心以運轉，約二十四小時而一周。此中心在北方天空者稱爲北極。北極鄰近之星，每日繞行之圈甚小。漸遠則漸大。地球上與北極遙對之點，是稱南極。自北半球之居民觀之，南極永在地平之下，不能見到。地球上南北二極間之大圈，名爲赤道，與地球上之赤道相當。

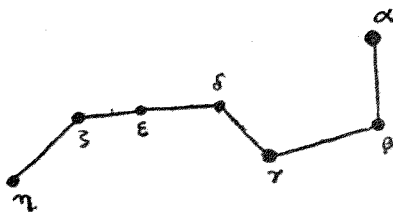
(17) 春分點與赤經赤緯 地上城市島嶼之位置，吾人以經緯度標明之。天上星辰之位置，亦藉經緯度標明之。惟地上經度，係以通過倫敦之經線爲起點。而天球之赤經度，則從春分點起算。何爲春分點。地球上之赤道，上節中既加說明矣。太陽在各星間之位置，隨時移動，每年一周天。其所經行之大圈，是稱黃道。黃道與赤道相交於兩點。當太陽經過其中之一點時，係從赤道之南行向赤道之北，是稱爲春分點。在天球上與春分點遙對之點，曰秋分點。吾人稱星辰之經緯曰赤經緯，所以別於地球之經緯度。

(18) 地球上之東西南北 地球上東西南北之向，實同於地球上之定義，惟與吾人日常之經驗有別，故宜稍加闡述。從北極之所在，天上南北之向，可一索而得。衆星東昇西落，故星點

於周日運動中，進行之向爲西，反之則爲東。太陽在各星間之移動，恆爲自西而東者。行星動向，大體亦自西而東，是稱順行。行星偶爾亦呈自東而西之移動，是稱逆行。

(19) 北斗七星 北極附近之星象，無論晝夜，恆在地平以上。某地所見北極出地之度數，恰等於該地之緯度。故在地面高緯度處，北極出地高，所見晝夜不沒之恆星，亦隨與俱增。北天星象最爲顯著而爲衆所共曉者，首推北斗。吾人稱此七星曰斗，西方則有 Dipper 之名。吾人稱之爲帝車，西名則有 Charles's Wagon 之號，可謂巧合。北斗最東之二星，若聯一直線，向斗之上方延伸，達到該二星相距之五倍處，可見一顆光輝略同北斗之明星，是爲北極星。其位置與天極相近。吾人望之恆在北方，故爲汪洋荒漠上旅行者指引方向絕好之明星。北斗七星之中名曰天樞天璇天璣天權玉衡開陽搖光。樞權璇璣合成斗魁。其餘三星，則爲斗柄。此各星之西名，則爲大熊座之 α (Alpha) β (Beta) γ (Gamma) δ (Delta) ϵ (Epsilon) ζ (Zeta) η (Eta) 星是也。開陽之旁，有一伴星，相距略當太陰直徑三分之一。目力佳者，不難窺見之。

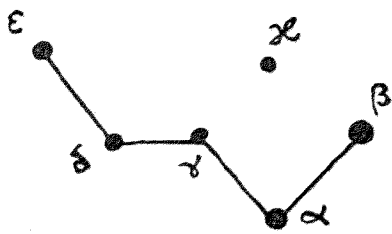
(20) 仙后星座 在極星他方，與北斗正對之星座，名曰仙后。西方俗稱之爲椅上婦人。蓋



第一圖 北斗星座

以其中明星佈列，頗呈椅狀（第二圖）。倘摒去 ϵ 星，則其餘五星呈英文字母之W形。公元一五七二年新星呈現於此星座中。丹麥天文家第谷（Tycho），因觀茲新星，乃決定以天文爲終身事業。其生平所作觀測，直接引起刻白爾（Kepler）行星運動之三定律。間接樹牛頓（Newton）萬有引力定律之始基。蓬蓬之風起於蘋末。仙后座新星影響所及，亦宏遠矣。

(21) 仙女星座 仙女座位於仙后座之正南。明星四五橫列成串，有類懸燈。東起仙王，西迄飛馬。著名仙女星座星雲M33即在仙后座 α 星正南約十五度處。肉眼望之可見一點模糊之星形。但吾人今日確知其由無數恆星聚成之宇宙，亦猶吾人之銀河系也。仙女座成串明星，極東端者，實係仙王座之 α 星。其南偏西九度處爲 β 星，中名大陵五，與天琴座之 β 同爲交食變星，其週期爲二·八七日。光度於數小時內能發生三倍之增損，蓋肉眼觀天所最易見之變星也。希臘神話稱此 β 星爲蛇髮之妖首，仙王執之以降魔，拯仙女出海怪之厄。仙王所騎之飛馬（仙女座成串明星西端有四星成大方形處，即爲飛馬座）霜蹄踐處，沙土飛揚，瀾漫天衢，因成吾人所見之銀河焉。

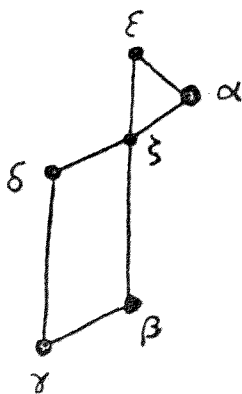


第二圖 仙后座

(22) 天琴星座 織女爲天琴座之 α 星，與牛郎隔河遙望。神話流傳，諒爲世人所共識。其位置在大熊座之東而仙后座之西。北極在天空之部位，初無定所。每二萬六千年繞行一小圈，是爲歲差現象。一萬四千年前，織女係光輝耀目之北極星。更經一萬二千年後，織女仍可回復常居其所衆星環拱之莊嚴地位。太陽奔馳於星空之間，卽向織女而趨。其速度每年約四萬萬公里。然恆星間之距離，如是其遠。縱經一萬二千年後，織女重返天極，其與吾人距離之改變，尙不逮全程二千份之一也。

天琴座之 ϵ ，係一雙星。主伴相距，約爲太陰視徑十分之一。故以肉眼辨認之，較北斗之開陽爲尤難。一人之眼力，是否精明，大可藉此一試之也。天琴座中之 β ，係一著名之變星。強時之光輝，倍於弱時。其週期，係十二日又二十二小時。光變原因，蓋以兩星繞行而起交食之現象故也。環狀星雲，恰位於 β γ 二星之間。用直徑七糎之遠鏡觀之，卽能辨認其狀態。

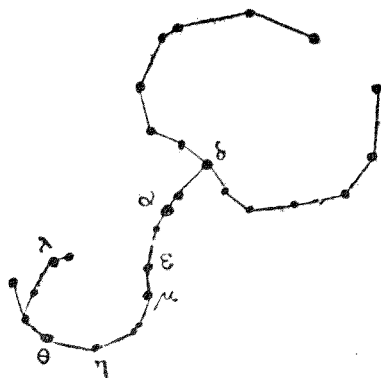
(23) 牧夫星座 循大熊之尾或北斗之柄，依弧線而前行，所遇殷紅明星，是爲牧夫座之 α 星。中名曰大角。與吾人相距約四十光年。星之溫度雖低，然其直徑約當太陽之三百倍。故側身衆星之間，仍能光彩耀目，有以自別於儕輩。其西北爲獵犬座，神話謂之爲牧夫所牽率之



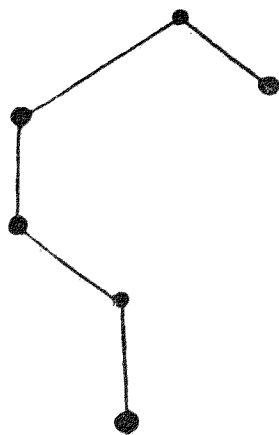
第三圖 天琴座

犬。

(42) 天蠟星座 天蠟為夏秋黃昏後南天顯著之星座。附近諸星之分佈，略如第四圖所示之象，此天蠟之名所由起也。最亮者為天蠟之 α 星。中名曰大火，併其前後二伴，合稱為心宿三星。天蠟為黃道十二宮之一，位於銀河叢星稠密之處。 α 星色亦殷紅，大火之得名，其以此歟。依吾人所知，是為全天最巨之星。其直徑達地球軌道之二倍。



第四圖 天蠟座



第五圖 獅子座

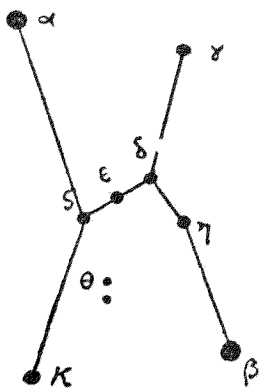
(25) 獅子星座

獅子座在大角星之西六十度。故其經過子午線，較大角星早四小時。其中

較亮之七星，佈成鐮刀或鈎形。最亮之一等星，位於鐮刀柄端，中名稱之爲軒轅十四。獅子座流星羣，每年十一月半可見之。此項流星，似均出發於鐮刀間之一點。或稱之爲軒轅流星雨。

(26) 金牛星座 金牛座位於仙王東南。其 α 星中名稱爲畢宿五。是爲一等紅色星。座中有肉眼可見之著名星團二。昴宿星團，在 α 星西北十度處。望之六星密集，不難辨認。目力特佳者，此外尙能觀三四星。在遠鏡下觀之，閃閃耀目之太陽，無慮以百數。此星團亦有七姊妹之名，發源於希臘神話。然尋常眼力，在此團中，祇見六星，乃有天女思凡逃匿之說。昴星團在十一月間，於半夜過子午線。遠古民族，有藉此以定其歲首者。相傳凡是日有所呈請於波斯王者，可收有求必應之効。 α 星亦畢宿星團中之一員。詩云『月離於畢，俾滂沱矣。』而西方亦有好雨畢星之語，據謂地中海東岸雨季，卽始於畢星與日偕升之時。是東西洋迷信之偶合者也。

(27) 獵戶星座 與金牛座比鄰而居其東南者，是爲獵戶座。孟冬之季，傍晚上升。東天繁星，燦爛無比。天上其他區域，鮮有能與媲美者。故事相傳，咸以此星座擬於魁梧之獵者，右舉棒而左執獅皮，面對金牛以前衝。明星分佈，略如第六圖所



第六圖 獵戶座

示。 α 及 β 均係一等星。 α 在東北，其色紅。 β 位於西南，其色白。在 α 及 β 間，三星橫跨，俗稱爲獵戶之腰帶。其南三星成行，若懸垂於腰帶之上者，是爲獵戶之劍。劍中一星，望之如被霧罩，是亦星雲。此與仙女座之星雲殊，蓋龐大霧氣所凝成也。

獵戶腰帶，我國古稱之爲參宿。杜工部詩之『人生不相見，動如參與商』，參即指此。商爲辰星，諒係指大火，即天蠟座中之 α 星。二者赤經相差約一百六十三度，故此昇彼沒。左氏傳曰，『昔高辛氏有二子，伯曰閼伯，季曰實沈，居曠林，不相能。日尋干戈，以相征討。后帝不臧，遷閼伯於商丘，主辰，商人是因，故辰爲商星。遷實沈於大夏，主參，唐人是因，故參爲晉星。』是參商典實所由肇也。

(28) 大犬星座 位於獵戶東南與其腰帶變成直線，而相距二十度處，有一光輝絕倫之明星，是稱天狼星，屬於大犬星座。中名曰天狼，西名曰狗星，豈此星座果有似狼狗之處乎。全天之星，從吾人觀之，莫亮於天狼。與吾人相距甚近，祇八光年其奇。十八世紀初年，天文家發覺天狼在各星間有行動之迹象。百年而後，始知其行徑係沿蜿蜒之曲線而進行。天文家乃斷定天狼必係迴旋舞蹈雙星之一員，每五十年互繞一周，特其舞伴尙未獲見耳。十九世紀中葉，美國之製造遠鏡者，一日對天狼星試驗時，此理論上之伴星，赫然呈現於眼底。

(29) 銀河 天清月晦之夜，吾人眺望長空，見有淡雲輕縞，橫亘天際者，銀河是也。識七夕之牛女兩宿者，諒無不知銀河。以遠鏡驗之，可見銀河實係無數稠密微星所集成。其在天空

之位置，略成一大圈，截天球爲二等分。河之邊界，殊無規則。河之寬處達三十度，窄處祇五度。經行天蠟蛇夫天鷹天鵝之一段，則分歧爲兩支流。從銀河攝影，吾人曾發現許多暗黑條紋及斑點，是蓋空際暗黑星雲，遮斷銀河本身之光輝所致。銀河極北部分，經仙后座。極南一部份，則在南十字附近。

(30) 黃道十二宮 年節季候係依太陽經天所達之位置而定。故古人將黃道一帶之星象，分爲十二區，稱爲黃道十二宮。太陽每月間可以經行一宮之距離。從春分點向東計之，第一段之三十度稱白羊宮，二曰金牛，三曰雙子，四曰巨蟹，五曰獅子，六曰室女，七曰天秤，八曰天蠟，九曰射手，十曰摩羯，十一曰寶瓶，十二曰雙魚。當定名之初，某宮當然卽在某星座之部位。但以歲差現象，春分點循黃道西移。故今日之春分點及白羊宮，均在雙魚座中。

第四章 地球日月

(31) 地之形狀 周髀云「天如蓋笠，地法覆盤。」古人依直覺所見，以爲地係無垠之平原，穹蒼覆罩於其上。無論中西，靡不皆然。逮乎後世，南北向之旅行者，觀星象之變移。航海者，見海面先遮遠船之身，然後漸及桅桿之頂。月食時投射月面地影之邊緣，恆作弧形。凡斯迹象，咸使吾人深信所居之地，實係懸空之巨球。二千年前，希臘學者，已悟斯理，并曾在埃及實測地球之半徑矣。其中理由，殊爲簡單。地面之鉛垂線，向上直指之處曰天頂。苟吾人量甲乙兩地間之距離，及甲乙兩處天頂間之角度，則此區域地球之半徑立可計得。實測地面南北各地之地球半徑，吾人獲知搏搏大地，并非正圓，乃扁球形。赤道之直徑，爲一二、七五六公里。而南北兩極相距，則較短四十三公里。

(32) 地球之自轉 衆星東升西落之現象，可由天球之迴轉以生，亦可起於地球依相反方向之運轉。地球渺小，而天體高遠無極。轉地易而轉天難，固可概見矣。一八五一年法之佛科氏(Foucault)始以長擺懸於巴黎之萬神廟(Pantheon)中作試驗。從擺動方向之無故潛移，吾人乃得目擊地球轉動於其下焉。地面之旋風，赤道之隆起，均係地球自轉所致。地球自轉一週之時間，稱爲恆星日，較通常一晝夜所成之日，稍短四分鐘之譜。此自轉可使重慶地面，每秒鐘

間，東奔四百米。或以爲在此情形之下，吾人高躍然後下墜，將不能落於原處。其實不然。疑此者不妨在疾馳之火車中，作試驗以證明之。

(33) 地球之公轉 地球之運動，不徒自轉而已，同時復繞日而運行，每年而一週。其經行之軌道，并非正圓，稍呈橢圓之狀。每年一月初，地球與太陽相距最近。七月初時，二者相距最遠。吾人尋常季候，一月冷而七月熱，不見寒暑并不起於太陽遠近之變遷也。蓋地球自轉之軸，不與地球繞日之軌道平面相交，傾斜二十三度餘。當繞日之際，地軸恆保持一定之方向。當夏至時，軸之北端，偏向太陽，故晝長夜短，而北半球爲夏季。冬至之時，地軸之北端背太陽，故於時北半球爲冬季。南半球之寒暑季，與北半球相反。因南半球寒季，恰逢地球遠日之時，而暑季又遇地球近日之期，是以南半球之寒暑，均較北半球爲酷烈。但以歲差之故，一萬三千年後，地軸易向，北半球之人民，亦將不免於嚴寒酷暑之惡運。地球距日之平均值，約爲一萬五千萬公里。

(34) 太陽爲光熱之源 埃及古代及美洲紅人，咸奉太陽爲神明，而頂禮膜拜之。其行雖近乎愚，而其情則可諒也。地上凡含生負氣之倫，以逮草木，孰非賴太陽以生存乎。太陽者，實一切光熱之源泉也。煤炭可熾之以禦寒。然非日光，古代植物無由滋長，吾人何從而獲煤炭乎。電燈足以照明，水力可以發電，然非太陽騰雲致雨之効，則高處水源，其涸也可立待，將無以爲繼矣。太陽之崇奉，於理未可厚非也。

(35) 日地之距 依天體力學之原理，吾人觀測行星彗星逐日經天之方位，即可計算其軌道，從而獲知各行星與太陽隨時之距離。惟是此項計算所得之距離，恆以地球繞日軌道長徑之半爲單位，是稱天文單位。故從方位觀測及力學計算，吾人能將所有行星繞日之軌道，按比例而繪於紙上。但其間實際相去之里數，仍未能知。必俟某一行星或地球與太陽之距離測定後，吾人始得諸行星軌道圖之比例尺焉。因光線具有有限之速度，及地球在軌道上之運行，乃使衆星方位，呈微小變易，是稱光行差。從觀測而知光行差之值，則地球在軌道上之速度可以計得。今地球每年繞日一周，因此吾人不難計得軌道之周長與軌道之半徑。是即日地之距也。然此法不甚精密。最善之法，係實測行星與地球接近時之距離。昔時測火星，晚近則測小行星名愛神(Eros)者與地球之相距。測算原理，略同於測量地面崇山之高度。從此乃得天文單位精密之數值。

(36) 太陽本體 既知太陽之距離，其實際直徑，不難從而計得，約爲一百四十萬公里。較地球直徑，大百倍其奇。其質量爲地球之三十三萬倍。密度較水略大。太陽表面溫度，從各方面研究之結果，可知其必在攝氏六千度左右。內部熱度，勢必更高。故密度雖大，而太陽本身，仍爲熾熱之氣體，可無容疑者也。太陽之光譜，係於明亮五色背景上，呈現無數之暗線，蓋由表面溫度較低之空氣，吸收內部所發之光輝而起。從此光譜黑線之位置，吾人能證明地面所有之原素，至少有半數均存在於太陽之上。

(37) 太陽之黑子 太陽黑子，我國從漢代即有紀錄。其盛衰變遷，有十一年之週期。自衰至盛約四年。自盛轉衰，約經七年。從黑子之移位，吾人得知太陽亦如地球之具有自轉。但近赤道處自轉週期祇二十四日半。在南北極圈附近，此週期乃增至三十四日。太陽表面，既全係氣體，因氣流之關係，從赤道至南北極自轉周期，自可略有變化。黑子盛衰與地面之磁暴極光等現象，有密切之連繫，屢經證實。但對於地面氣象之影響，尚不十分顯著。

(38) 太陰 太陰繞地球以運行，每 $\frac{1}{29.5}$ 日而一週。同時又隨地球以繞日。太陰本身亦有自轉。惟以其繞地公轉週期，同於自轉，故吾人終年祇能見太陰之一面。至於其背面之狀態，則不能窺見。太陰距地，僅及地日距離四分之一。而其直徑較地徑四分之一為強。以小遠鏡望之，其上之山谷及火山口等，可一目瞭然。月面暗黑之處，通常以海稱之，實則太陰之上，水與空氣，均付缺如。普通生物，殊無存在之可能。

(39) 潮汐 月球之質量，僅及地球八十分之一。然以其距地之近也，其使海洋發生潮汐之力，實倍於太陽。吾人從何而知朝潮汐夕係由太陰所感召乎。兩朝潮之間隔，為二十四小時五十一分。而太陰前後兩次經子午線時，平均亦恰經二十四小時五十一分。先民最初發覺太陰與潮汐之關係，即由於此。太陰能使地球上向月與背月兩處之海面，均隆起而生潮。太陽亦然。故逢朔望，太陽太陰協力以生潮，乃成大潮。上下弦時，日月二丸，分道揚鑣，各不相謀，乃

有小潮。

潮汐之生成，有使地球弛緩，而增加月球行動速度及去地距離之效果。目前太陰，既正在離地而遠去，則千萬年前，月地二球必異常接近。因此乃有太陰係從地球本體分析而出之說。

(40) 日月交食 太陰繞地球之軌道平面，與地球繞太陽之軌道平面，成五度左右之交角。故不致每望而月食，每朔而日食。惟朔望之遇於黃白道交點左近時，始呈日月交食之現象。月球進入地影之內，則月食。太陽被月球所遮蔽，或月影接觸地面時則日食。每年之間日食最多可五次，至少亦有二次。月食最多三次，少則可一次而不遇。每年中日月食之總數最多不能逾七次。由是觀之，日食次數，遠過於月食。何以吾人反覺月食爲常事，而日食爲罕觀之天象乎。其理由乃以月食時，地球上之人民，均得見之。而能見日全食者，則祇限於月影所經之狹長帶內也。近百年來天文學者，每梯山航海以測日食，不徒謀觀天象之偉觀，實以日食時，爲研究太陽一絕好機會。平時太陽之光芒四射，天空爲所照明。其四周之情形，吾人不獲見之。遇全食時，月球恰遮住太陽本體，使白晝天色，轉爲暮夜。太陽四周日珥之紅焰，日冕之珠光，悉呈現於眼前。其形狀性質，可藉各項儀器，詳加研究。日食時刻之實測，可以驗日躔月離各表精密之程度。

(41) 交食之預推 預知交食之簡略方法，可藉一定之週期而推之。西法古用沙羅週(Saros)

爲十八年又十一日。此期間實等於二百二十三次之朔望月，又爲十九次之交食年（即太陽從黃白道交點復返至原交點之期間）。日食時月在朔，日在交點。經一沙羅週（Saros）後，月又在朔，日亦返至交點，乃有再度之日食。我國漢代三統曆所用以推算日食之週期，爲十一年欠三十一日，中含一百三十五朔望月，亦等於 $11\frac{1}{2}$ 之交食年。藉此所推前後兩次之日食，太陽係在不同之交點上。

(42) 曆法 地球自轉一周，是爲一日。太陰繞地一次，是爲一月。地球繞日一周，是爲一年。尋常所用之日，係以太陽從子午線回至子午線之期間爲標準。然以太陽在各星間，移動之疾徐四季不同。故真太陽日之長短，亦隨時而異。吾人乃不得不假設一速度均勻之平太陽以爲標準。由此所得一日之長，曰平太陽日。一月之長，係從朔至朔之期間。其長短亦隨時稍殊。其平均值稱爲朔望月，中含二九·五三〇五九平太陽日。吾人所用之回歸年，係太陽從春分點復歸春分點之期間，中含三六五·二四二二〇平太陽日。曆法者，即所以支配年月日之一種方法也。

(43) 太陽曆 現時之陽曆於西元前四十五年已具雛形。實羅馬大帝愷撒（Julius Caesar）所仿自埃及者。此曆置太陰圓缺於不問，以 $365\frac{1}{4}$ 日爲一年。平年爲三六五日。每四年則閏一日以補其不足。是稱儒略年（Julian Year）然儒略年所假定每年中之日數，較實際爲長。

其結果猶行動濡滯之時鐘。一切事物如火車啓行，搖鈴上課，按鐘面時刻，咸呈逐日提早之現象。春分節於西元三二五年時，係在三月二十一日。而至西元一五八二年時，已前移至三月十一日。教皇格里哥利 (Gregory) 下詔改之。命除去十日，使春分節令重歸三月二十一日。爲防以後季節日期之漸移，復令每四百年少閏一日，使歲實與回歸年之日數愈趨接近。是稱格里曆法 (Gregorian Calendar)。凡西元年數，以四除盡者爲閏年，自古已然。但能以四百除盡者不閏，則從一五八二年曆法改革始。

(44) 太陰曆 民國紀元前所行之曆法，世多稱之爲陰曆。此曆法以朔爲每月之始，望居每月之中，誠着重太陰之圓缺。然以十二朔望月祇三五四日，乃有十九年七閏月之設，以補其不足，固已兼顧太陽之經天，四時之季候矣。稱爲陰陽合曆，寧不更爲恰當乎。完全不顧地球之繞日者，則有回回曆，以十二朔望月爲一年，不復置閏。故其履端元旦，可焦金流石。越十八年則又有冰天雪地之元旦矣。

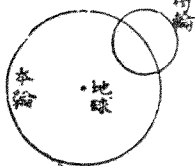
(45) 世界曆 現行格里曆法，每月之長短不一。短者二十八日。長者則三十一日，可有三日之差。每星期之週日，與一月中之日數，毫無一定之關係，必查日曆而後知。邇來改良之建議頗多。其中以世界曆與現行曆法相差最少，推行當可較易。此曆每季凡九十一日，恰爲十三星期。每季以星期日始。第一月爲三十一日，其餘兩月均三十日。祇須有一季之日曆，四季通行，年年可用。製售日曆者，或將因此激烈反對新法之推行乎。此曆半年於十二月底增一日，

名曰歲除日。閏年則又於六月底增一閏日。在週法，歲除日及閏日，均可視爲重複之星期六，或特別之休假日焉。

第五章 太陽系之組織

(46) 地心日心說 日月五星謂之七政。古人因見其行動於衆星間也，悉以行星目之。依公元一百四十年埃及天文家多祿某 (Ptolemy) 之說，地靜居中，太陰繞行之。此外爲水星金星，再遠爲太陽繞地之軌道。火星木星土星依次更在其外焉。是爲地心說。明末耶穌會士，自歐來華，所傳授之天文，卽多祿某地心之說。謂天有九重，極外爲宗動天，次爲列宿天。再內則七政各有一天，自外漸內之次序爲填星 (土) 歲星 (木) 熒惑 (火) 太陽 金星 水星 是也。欲求推算與實測之吻合也，乃假設行星行動於本輪之上，本輪中心，始繞地球以周轉。速觀測愈密，本輪之上，需更加本輪，構造繁笨。而推算結果，仍不能與實測之位置相侷。直至十六世紀中葉，波蘭 天文學者哥白尼 (Copernicus)，始倡日心之太陽系學說，謂太陽居中，水星金星地球火星木星土星等，由近而遠，各循軌道繞日以運行。與多祿某 (Ptolemy) 之地心說相較，則日之地位，升爲太陽系之首長，地球被黜爲行星之一員。月則降爲地球之衛星，繞之以運行。

(47) 行星運動之三律 古人觀念以圓爲最完整之幾何形狀。星體行動必循圓周。故本輪均

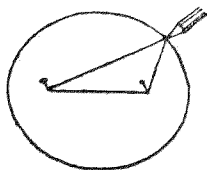


第七圖

輪悉係圓圖。逮十七世紀初年，德天文家刻白爾 (Kepler) 發表行星運動之定律時，此無根之觀念，始被推翻。刻白爾師承第谷 (Tycho)。第谷彌留時，以其生平所作行星方位之觀測，傳授刻白爾。行星運動三定律，即係從此卷帙浩繁之觀測紀錄，歷多年苦心推敲而得之結晶。

插兩釘於板上，以寬鬆線圈圍之。用鉛筆尖拉線圈使緊，繞兩釘而繪成之圖形，是稱橢圓。兩釘之位置，則係該橢圓之焦點。刻白爾根據火星觀測之研究，發現行星繞日之軌道，實作橢圓形。太陽乃位於橢圓中一焦點之上。是為刻白爾之第一律。第二律則示行星在軌道上行動疾徐之關係。聯行星太陽，得一直線。行星運動時，此直線亦隨以俱動。此直線於相等時間內所拂出之面積恆相等。從茲可知行星在軌道上，遠日時則其行遲。近日時則其行疾。復逾九載，刻氏始得到其第三律。其言曰各行星繞日周期之平方，與其橢圓軌道長徑立方成正比。是所以標明各行星之運行間所有之關係。牛頓萬有引力定律，為天學上偉大絕倫之傑作。其力足以打破無數宇宙之疑團，揭發未見之星體。然其導源所自，固係刻白爾行星運動之三律也。

(48) 行星與日之距離 各行星距日之遠近，以地球之距離為單位時，其值略如下表所示：



第八圖

星	水	金	地	火	穀	木	土	天	海	冥
星	星	星	球	星	神	星	星	王	王	王
別										
值	〇・三九	〇・七二	一・〇〇	一・五二	二・七七	五・二〇	九・五四	一九・一九	三〇・〇七	三九・五〇

古人所知之行星祇金木水火土五者而已。其他行星皆屬於近二百年來之發見。德人波德(Bode)於一七七二年發表行星距日之定律。其言曰，先書一行之數字4，於第一字下書0，第二字下書3，第三字下書6，第四字下書12，依次而倍之。然後將每兩數相加，以10除之，所得之值

如次：

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
+ 0	3	6	12	24	48	96	192	384		
0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6	28.8		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)		

其中(1)(2)(3)(4)(6)(7)諸值，與上表水金地火木土諸星與太陽之距離，頗相彷彿。但彼時與值(5)相當之行星尙付缺如。後此八年，天王星始爲世人所發見。其距離與值(8)所差無幾。因此天文學者益信在距日2.8處必有行星之存在。後來小行星之發現，波德定律與有功焉。但在此律中海王星未能佔一地位。值(9)實與冥王星(Pluto)距日之值相當。波氏定律中所用之等級數，應以1.5開端，不宜以0始，是其缺點也。

(49)水星金星 水星金星其繞日運行之途徑，在於地球軌道以內，故可稱爲內行星。當其行至太陽之西也，則清晨可見日晨星。逮行至太陽之東也，薄暮可見日昏星。韓詩云太白晨出東方爲啓明，昏見西方爲長庚，蓋指金星而言也。水星之軌道最小，吾人望之，其距日最遠時，僅達二十餘度，不易獲觀。金星之軌道較大，距日遠時可達四十七八度，故人多見之。且其光度輝煌，縱在白晝，亦能以肉眼於晴朗之天空中尋得之。金水二星，有時恰行至地球與

太陽之間，則凌日之現象生焉。水星凌日，數十年必可一遇。金星凌日之次數較稀。從一八八二年十二月凌日後，再度見之，須待至二〇〇四年之六月。吾人多不克及身而見之。往日天文家以金星凌日，爲測定太陽距離之良機。惟吾人現有更精密之方法，觀測凌日之重要性，乃因之而低減。內行星均無衛星環繞之。

(50) 火星 地球軌道外所遇第一個之行星曰火星。具有顯著之斑紋。從茲觀測，吾人計得其自轉周期，約爲二十四小時有半。世人所最感興趣者，或爲火星之上，有無人類存在之一問題。相信火星有人類者，其理由果何在乎。火星兩極有白色之冠。逢冬季之一極，白冠擴大。逢夏季之一極，則白冠消失。故白冠之爲物，可擬於地面之積雪。火星表面，又可見有細直而長之黑線，縱橫交錯。兩線相遇處，則有黑點。此細線於火星春日，其色淺淡。逮白冠消溶後，始轉爲深黑。其變化逐漸向赤道推移。故研究火星者，或以此黑線爲運河，因其直如矢，又廣狹均勻故也。以地上之蘇彝士巴拿馬等運河與之較量，長度相差，不啻小巫大巫之別。則火星世界工程技术之發達，必遠勝於吾人。運河之長，恆橫貫半球。是或足證火星之上，無國界之分。各項事業，均能全球通力合作，已躋大同之域。因此乃有火星人類智慧之進步，遠勝於吾人之論斷。然所謂運河者，并不能藉攝影而獲得。祇有敏銳之目力，於遠鏡之下，當空氣異常穩定之刹那間，方能窺見之。素以目力銳利著稱之天文觀測者，對於所見運河之形狀，意見尙紛歧不一。從此而得之結論，實嫌缺乏穩固之基礎。然火星表面空氣中稍含水汽及養氣，

動植物之生長非不可能。火星有衛星二，發見於十九世紀之末葉。較近之衛星，繞火星一周，祇須七時有半，較火星自轉一周之時間爲短。故在火星上可見有西升東落之月兒。

(51) 小行星 波德 (Bode) 以其行星距日數序之中空也於十八世紀末年，糾合同志六人，協力搜索相當於 $2^{\frac{1}{2}}$ 距離之行星。分黃道一帶爲二十四區，分配於各觀測者，以偵察之。但德人逐鹿，意人得之。於十九世紀之第一晚，意國天文家披阿齊 (Piazzi) 無意中發現一微星。初未敢自信其卽爲衆人所搜索之行星也。廢績作觀測，直至二月中旬，因抱病而中輟。幸渠於一月二十三日，已馳函波德告其事。逮波德得書之日，此星漸與太陽相接近，不獲復視，頗有得而復失之虞。幸此時德數學家高士 (Gauss) 者，始創以三次觀測定行星軌道之方法，推算其方位。藉此之助，一八〇一年歲杪穀神星 (Ceres) 乃重經發見。自是而後，直至一八五〇年，此類行星被發見者凡十三，位置均在火星木星軌道之間，如波德數序之所示。然其體遠較其他行星爲渺小。逮攝影觀測法爲天文學採用之後，逐年乃均有大量小行星之發見。迄今總數約達兩千之譜。

(52) 木星 大行星中最小者爲水星，其直徑不及地球之半。最大者爲木星，其直徑爲地球之十一倍而強。其衛星之數，共十一顆。其中最亮之四星，格利雷初次以自製之遠鏡觀天時，卽獲見之。格氏因見衛星繞木以運行，益堅其對於日靜地動學說之信仰。由於木衛繞行周期之研究，丹麥天文家羅邁 (Roemer) 已能計得光行之速度矣。

(53) 土星 土星較木星略小。其所具之光環，實爲小遠鏡中最美觀之星體。其繞日而運行也，二十九年半而一周。吾人所見光環之廣狹，隨時不同。當光環平面，通過地球時，即在遠鏡下，光環亦不能見。經七年餘，漸次變寬，其最寬時可較大於土星之直徑。再經七年餘，光環復隱而不見。格利雷 (Grillo) 以其草創之遠鏡驗土星，因所見不清晰，疑光環之兩端爲衛星。逮光環隱時，大爲驚異。蓋以希臘神話流傳，本有土星食子之說也。光環之爲物，實係無數小石，繞土星運行以形成。按力學原理及光譜觀測，咸能證明之。至其生成之因，或係最鄰近之衛星，被土星生潮吸力所扯碎者。土星之衛星，業經發見者，共有九顆。

(54) 天王星 天王星係英皇室天文家威廉侯失勒 (William Herschel) 於檢數全天星象時，偶然發見之。是一七八一年三月十三日事也。侯失勒初稱之爲喬治星 (Georgium Sidus) 以崇皇室。但不獲通行於歐陸。天王之名，乃波德 (Bode) 所建議者。天王星有衛星四。其特殊處，即天王衛星軌道之平面，幾與地球軌道平面相正交。故吾人有時可目擊其月兒循圓形軌道繞天王而運行。有時則見其循直線而上下移動。

(55) 海王星 天王星發見後之數十年間，其軌道之計算，與實測每不相侔。天文家頗懷疑其行動之越軌，係受其外圍某行星牽引之所致者。其實計算與實測間不符之值，僅及太陽視徑百分之一。天文學者，已認此爲不能容許之差池。從事此未知行星計算之工作者，英有阿當士 (Adams)，法有勒威耶 (Leverrier)。阿當士之計算先期完成。但以實測稽延，故因循未獲發見。

之榮。勒威耶以所計得新行星之方位，函達柏林天文台。當日晚間，數學家筆下發見之海王星，即湧現於天文家遠鏡之眼底。時一八四六年九月二十三夜。海王具衛星一。

(56) 冥王星 冥王星係吾人所知太陽系各行星中之最遠者。其體小，至多與地球相伯仲。故祇有宏大之遠鏡始能窺見之。一九三〇年此星初發現於美國羅威魯 (Lowell) 天文臺。該台前台長羅威魯曾致力於推求海王以外行星之位置。冥王星之搜尋實此台經常觀測工作之一部。青年助理員董卜 (C. Tombaugh) 司其職，終獲於星象攝影片上發見之。

(57) 彗星流星 太陽系中之各份子，除上述大小行星而外，尙其彗星。俗名掃帚星，狀其形也。然無尾之彗星，亦屬常見。其繞日運行之軌道，多作拋物線形。則是彗星係自無窮遠處來，然後又歸於無窮遠之鄉。間有不少彗星，具橢圓之軌道。著名之哈雷彗 (Halley's Comet)，每七十五年繞日一周，卽其例也。夜分觀天，偶可看到星點掠空而過之現象。此非恆星之忽然奔射，實天際石屑，墮入地球空氣層中而磨擦生光，是名流星。空中每有許多此類碎屑，循軌道繞日運行。當地球行至與此軌道交接處，則可見到大量之流星，是稱流星羣。流星羣之軌道，頗有與彗星軌道相吻合者。故流星羣由彗星分化而來之說，似可信而有徵。當太陽將昇前或初落後，吾人於晴朗之日，可見近太陽處沿黃道上有一縷白光，名曰黃道光。蓋由於太陽附近塵埃碎屑之返光而起也。

(58) 太陽系之誕生 太陽系果如何而產生乎。依舊說太陽初係一龐大之星雲。以後逐漸凝

縮，旋轉加疾，屢將邊緣一環脫卸而下。所脫下之物質，聚成行星。中心母體，即爲刻下之太陽。自二十世紀以來，天文家競倡二元之說。謂太陽系非太陽單獨所生成，乃以他一恆星與太陽摩肩而過。其生潮之力，裂碎太陽本體，以生大小諸行星。對於自轉公轉及行星之大小次序，頗能有所說明。以宇宙間恆星分佈之稀疏，譬猶兩三微塵，飛揚於大廳之內。摩肩而過之機緣，千百世不必一遇。

第六章 恆星之形形色色

(59) 視星等 翹首望天，衆星閃閃，其明昧各自不同。星等云者，即所以標明各星之強度也。古代製恆星表時，即以天空最亮之二十星，稱爲一等星。而將目力難以辨認之微星，稱爲六等星。藉近世精密之觀測，獲知一等星之光度，爲六等星之百倍。故一等星之光度，約爲二等星之二倍有半。而二等星之光度，又爲三等星之二倍有半。據此以推，藉大遠鏡攝影而得微星之星等，亦可以測定之。而較一等星亮二倍有半者，稱之爲零等星。較零等星更亮二倍有半者，稱爲負一等星。負星等之意義，於是可瞭然。依此制度，太陽星等應爲 -26.7 ，望月星等爲 -12.52 ，金星最亮時爲 -4 星等。百吋遠鏡攝影所得之星像，最微者可達 21 等，其光輝祇及一等星之一萬萬份之一矣。

肉眼能見之星點，全天凡六千左右，半在地下。近地平者，又多煙塵之掩蔽。故吾人夜分觀天，能逐一辨認之星，僅及二千餘。但藉遠鏡之助，則可見恆星之數大增。以一時徑之遠鏡，即可見九等星。全天星數亮於九等者，約十二萬。四吋徑之遠鏡，可見十二等星。亮於十二等恆星之總數，約二百萬有奇。

(60) 絕對星等 以上所言之星等，或稱爲視星等，蓋以皆貌相而言之耳。或本體微弱，因

近吾人而顯輝煌。或光力實強，因距離遠，而火焰黯然。欲比較各星實際光力之強弱，必置之於同一距離，而後始可驗察其星等。天文學中，以三十二光年（或十秒差距）爲此標準距離。任一恆星移置此標準距離上所呈之星等，稱爲該星之絕對星等。太陽若移置至此，則成爲五等星。恆星實際發光力，大相懸殊。吾人習見之光，弱者有螢火蠟燭，強者則有電炬探照燈。恆星光力強弱之相差，尙不止此也。

(61) 恆星光譜型 以遠鏡觀恆星，吾人祇見其位置及光輝強弱而已。以光譜儀附遠鏡之上，則可攝其光譜。關於恆星之行動溫度氣壓構造等問題，咸須從光譜而研求之。藉物端稜鏡之助，許多恆星之光譜，可同時拍攝之於一底片之上。按恆星光譜之性質，吾人可加以分類，是稱星品。其主要者，以 O B A F G K M 各字母標明之。O 型星色白中帶藍，表面溫度達攝氏五萬度。B 型星色亦藍白，溫度近二萬度。光譜有氫線及游離氧氮之譜線。獵戶座中此型之星頗多。A 型爲白星，天狼織女可爲其代表。溫度近攝氏萬度。氫原質之譜線，在此型星爲最強。F 型爲淡黃色星，表面溫度僅七千度。金屬譜線開始呈現。游離鈣線之強度，在此型中，已漸勝於氫線。小犬座之南河三屬於此型。太陽爲 G 型星之代表。表面溫度，稍低於六千度。色黃。游離鈣譜線之強度愈增。氫線更爲轉弱。K 型星表面祇有攝氏四千度之譜。大角及畢宿五爲此型之代表。游離鈣之譜線，達最強之程度。金屬化合物之譜線，開始呈現。星色橙黃。M 型爲三千度之紅色恆星。化合物之光帶譜，愈形顯著。光譜之殊異，可有二因。一以光源物

質之不同，一以光源溫度之不同。恆星光譜，所以有各型之分，實以溫度之殊異爲其主因。

(62) 光譜型與絕對星等之關係 恆星之光譜型與其絕對星等，有相關之聯繫。早型之星如 B A 等，其絕對光度大。晚型之星，如 G K M 等，其絕對光度分爲甚強甚弱兩類。特強者稱巨星，特弱者稱矮星。從早型至晚型，絕對光度依次轉弱之星，是爲屬於主要星序者。巨星則不屬於主要星序。此外尚有兩類之特殊恆星。一曰超巨星，其絕對光度，較巨星爲尤大。一曰白矮星，其色白，類 B A 型，但絕對光度極弱。此類星密度甚大。一立方吋之重量，可達數噸。

(63) 交食變星 太陽黑子數量，雖有十一年週期之盛衰。其光力強弱之變換甚微。但其他恆星之光輝，頗有呈顯著之消長者，是稱變光星。有所謂交食變星者，實由兩星繞行於空際，互相遮掩而起光輝漲落之現象。譬猶英仙座之 β 星，亦稱大陵變星者，其光變週期爲二日二十時四十九分。被食期間，約十小時。最暗時其星光祇及尋常三分之一。從變星光輝隨時變換之情狀，吾人可以計出交食變星之明暗大小及全食偏食焉。

(64) 造父變星 此外尚有一種週期性之變星，初曾被誤認爲交食變星者，造父變星是也。以仙王座之 δ 星（造父一）爲其代表。此星光輝之強弱消長，不起於兩星之交食，而起於本體之漲縮，如心臟之搏動焉。造父變星，可細分之爲二類。一曰星團造父。光變週期約半日，以常見於球狀星團中而得名。此項變星，其發光力，無大殊別，絕對星等均約爲零。球狀星團之

距離，藉此得加以估定焉。一曰典型造父，其光變週期，約在一星期左右。此變星之特性，即其光變週期與絕對星等有一定之關係。絕對光度大者，其週期較長，光度小者，週期較短。譬之鐘擺，長者擺動慢而週期長，短者擺動速而週期短。故從此星顯而易測之週期，即可計得其難知之絕對星等及其距離。造父變星，所以爲天文家所重視者，即是故也。

(65) 長期變星與新星 鯨魚座之 θ (Omicron) 星，可視爲長期變星之代表。其光可從類似北極星之二等，低降至於目力所不能見之微星。其週期約爲三百三十日，但可偶有一月之出入。新星亦變星之一種。尋常本係微暗不足道之恆星。偶爾烈焰噴騰，光芒萬丈，其視星等有時可與金星木星相埒。經年之後，則又恢復故我，作南山之豹隱矣。本世紀中新星之最亮者，爲一九一八年天鷹座之新星。其視星等將與天狼星相伴。發光力可三十萬倍於太陽。此新星之外圍有星雲包繞，逐年膨脹。是或從新星本體爆發而外噴之物質歟。

(66) 雙星 品物恆性皆懷求友之歎。宇宙星辰，亦多結伴羣居之傾向。兩星共作迴旋舞或聚族而居者，約佔全天星數四分之一。雙星者即在遠鏡下所見比鄰密邇而處之兩星也。吾人何以知其非遠近懸殊，而適在同方向之二星乎。蓋以經長時期觀測，此等星皆互相繞行。是彼此吸力牽引之結果。非實際接近之星，不克有茲現象。天狼星即係一目視雙星。其伴星光力甚微，尋常遠鏡不易見之。天文家初不認其爲雙星。第從其在各星間移動之迹，成波浪式之行徑，因推斷天狼必有吾人未能見到之伴星，以五十年之週期，互相繞行。經多年之後，天文學

者，始克於遠鏡中見之焉。

(67) 分光雙星 若雙星相距，過於接近，縱在大遠鏡之下望之，亦若一星焉。但其雙星之性質，可藉分光鏡而察覺之。蓋從光譜線之向紫端或紅端而移動，吾人得知恆星之係迎面而來，抑背馳而去者。雙星中之任一星，既皆按軌道而環行。故其行動，時而迎面，時而背馳。從光譜線週期性之移位，分光雙星，於是發見。御夫座之 α 星（五車二），每五十二日，其光譜線自單變雙而復單。光譜線成雙時，兩星行動之方向，一係迎面而來，一係背馳而去。成單時兩星行動方向，均與視線相正交。故此分光雙星之週期，為一〇四日。若分光雙星之軌道平面，恰通過太陽系，吾人能見兩星交食之現象，即稱交食雙星。上文述變光星時，已論及之矣。

(68) 聚星 三五成羣聚居之星，為數亦不少。雙子座 α 星（北河二）即其一例。肉眼望之，祇見一星。在遠鏡下可見其為兩星結伴焉。其中每伴星各係一分光雙星。距此 α 星約太陰視徑二十五分之一處，有九等微星在。其行動之方向速度，咸與雙子座 α 星同，故亦必循軌道繞北河二而運行，特極為濡滯，不易覺察耳。千百星球所成之集團，為數更夥。昴宿星團即係此類之集團。其中各星行動之方向與速度，完全一致。北斗七星，除首尾（ α 與 η ）外，悉隸於同一之星團。從行動方向及速率之測定，吾人知天狼星亦係北斗星團之一員。

(69) 球狀星團 上述之星團，通稱為疏散星團，以其團中份子，數目較少，望之稀疏。此

類星團與吾人距離較近。又有所謂球狀星團者，由數萬顆之明星結聚而成。內部異常密集，外圍稍疏。在小遠鏡中，仍若一星。以大遠鏡望之，始獲觀其輝煌燦爛之美觀。全天球狀星團之數，尚不及百。銀河左近無其蹤跡。由吾人觀之，其在天空之分佈，似甚偏頗。以射者座爲中心之半天球內，即擁有八十餘個之球狀星團焉。武仙座中之 η ，爲北半球最顯而易見之球狀星團。

(70) 星雲 發見天王星之威廉侯失勒 (William Herschel)，曾以其手製之遠鏡，驗視全天特殊之星象。渠見天上許多類似雲氣之白光，乃以星雲名之，初不辨其爲氣爲星也。密集之星團，小遠球窺之，狀類雲氣。在大遠鏡驗察之下，則分析成無數之星點。而大遠鏡中所見之雲氣，於更大遠鏡中，是否可以化爲星點，固不易加以判斷也。惟分光鏡對此問題，則有解答之方法。蓋熾熱雲氣所產生之光譜，爲黑地上之輝線。集團恆星所生之光譜，與恆星或太陽相同，均係在明亮背景上呈多數黑線者。以分光鏡驗察星雲，吾人乃知雲氣與星團二者，固同時存在於天上。

瀰漫星雲與行星狀星雲，均係雲氣凝成之星雲，屬於銀河系，距離較近。雲氣所以發光之原因，則係受其中強烈星光照射照耀之所致。瀰漫星雲之著者，爲獵戶座寶劍中間之一星。肉眼諦視之，已可稍覺雲氣模糊之象。行星狀星雲，可以天琴座 β γ 兩星間之環狀星雲爲代表。此種星雲之中央，每有一明星在焉。不受明星激射之星雲，暗然無光，尋常無從窺見。但苟此

暗黑星雲，恰位於吾人與星點密集之銀河間，則於銀河攝影上，其存在赫然可觀，毫無可疑者也。暗黑區域上，亦常可見明亮之疏星，蓋位於星雲前面之星點也。

(71) 渦狀星雲 渦狀星雲之光譜，同於星團，與雲氣之星雲大異其趣。其著名者，爲仙女座之 *Ω*。肉眼觀之，光輝似四等星而呈模糊之象。在大遠鏡之攝影中，可見雲氣星點，列成紋路，似激流之迴旋。此渦狀星雲名稱所由肇也。其形有圓有橢圓有梭狀者，蓋以各星雲對於吾人之角度不同，亦猶土星光環，吾人望之，有時廣，而有時狹。是爲渦狀星雲之面面觀，并非實有各種不同之形狀。渦狀星雲之距離極遠，近者亦百萬光年，遠者達五萬萬光年。實銀河系以外之天體。從其本身之大小性質研究之，渦狀星雲在宇宙內，固銀河系伯仲之輩分也。依美國威爾遜山百吋遠鏡攝影之估計，全天所有銀河系外之星雲總數，約一萬萬。

(72) 星空物質 太陽之爆發日珥，以高速度射向空中，吾人所常見者也。太陽如此，衆星何莫不然。凡茲外噴之微塵及氣體，自必遨遊乎星際之空間。瀰漫星雲之邊際，逐漸淡薄，而無嚴整之界限。速度較大之分子，必多有向空際以脫逃者。故所謂星空者，實不能空無所有，蓋亦明矣。星空物質之存在，頗不乏觀測上之證明。分光雙星之光譜，具有按週期左右移動之譜線，前既已言之矣。然從中常可發現兩條屬於鈣原質之線，巍然不動。蓋以此鈣線不發源於恆星本體，乃因星際物質之吸收而產生者也。日月之光，於方升及將落時，其色特紅。是起於空氣散射之結果，吾人所習知者也。恆星所具之溫度，及色澤，吾人可從其光譜推得之。今觀

測極遠恆星之處於銀河左近者，所見色澤，較諸光譜所暗示者爲紅。是卽星空物質散射之結果。與落日斜暉之呈般紅色者，同其原理。

第七章 恆星之分佈與運動

(73) 宇宙構造 宇宙之構造，爲天文學中一大問題。空間恆星之分佈，其遠而無所至極耶，抑聚而成爲有限之集團乎。欲解此疑團，則不能不從事於恆星距離之測定。蓋恆星所在之方向，不難一望而知。若再測得其距離，其在空間之位置乃定。知衆星之位置，吾人可按比例而製成恆星系之模型，宇宙構造之問題，自可迎刃而解。

(74) 三角測量法 測崇山之高度者，吾人初不必履山巔而量。從一基線之兩端，測山巔之方向，若吾人量得該基線之長度，則山巔之高度，可依三角法計得之。太陰行星恆星等之距離，莫不可按此術測得之。但星體之距離愈遠者，所需之基線亦愈長。否則差之毫釐，謬以千里，可能之舛誤過大，乃失卻測量之價值。測太陰之高，可用地面相距甚遠兩天文台間之距離爲基線。但測恆星距離，則需以地球軌道長達三萬萬公里之直徑爲基線始可。恆星之遠難以思議。從空間最近之恆星，望地球繞日軌道之直徑，尙不及吾人所見太陰之千分之一。光行每秒可達三十萬公里。此半人馬座中最近恆星，其光輝射達吾人眼簾，歷時凡四年之久。故以光年爲單位時，此恆星之距離爲四光年。至於至千光年以外之恆星，卽此三萬萬公里之基線，已嫌不足精確。然更長之基線，無從獲得。三角測量之術旣窮，天文學者，乃不得不另闢蹊

徑。

(75) 絕對星等之測距法 星體光輝之強弱與其距離之平方成反比。從恆星之視星等及距離，吾人能計得其絕對星等，上章中既已言及之矣。反其道而行之，吾人苟另有方法，獲知某星之絕對星等，則從該星之視星等，即可計得其距離，其理至顯。茲略述兩種測定絕對星等之原理於下。一曰分光法。蓋恆星之光譜型與絕對星等攸關。而恆星之光譜型或星品，又隨表面溫度之高低而定。今光譜線有高溫時強而低溫時弱者，亦有低溫時強而高溫時則變弱者。選擇恆星光譜中性質不同兩光譜線，而比較其濃淡，則該星之星品及絕對星等可定。其距離亦可隨而計出。近星之距離，用三角法測定為宜。而遠星距離之測定，則以分光法較為精確。二曰變星法。即從典型造父之變光週期，以諗知其絕對星等。遼遠之星團星雲中，倘有造父變星之存在，則其距離之測知，易如反掌。第六章中已述及之矣。然用各種方法所測得恆星距離之總數，僅有數千。而百吋遠鏡下可見恆星之數，約三百萬萬。人壽幾何，河清難俟。恆星系構造之研究，乃不得不借重統計方法。

(76) 恆星分佈之初步研究 恆星在天上之分佈，各區疏密懸殊情形，縱偶翹首觀天者亦能覺之。泛言之即離銀河遠處星數漸疏。愈近銀河則愈形稠密。十八世紀中葉，世人即多倡言銀河系恆星在空間之分佈，略成扁圓餅狀。[英天文家威廉侯失勒 (William Herschel) 更進而從事全天各區星點數量之實測。渠假定銀河系中恆星分佈之密度為均勻者，於是星點叢集之向，

乃銀河邊界較遠之表徵。而邊界較近之方向，吾人望之，則見星點稀疏。故銀河者，卽此餅狀宇宙邊緣之所在也。據侯失勒之結論，銀河系之厚度，約爲其直徑五分之一。侯失勒又假設衆星實際發光力均相同。吾人所見強弱之分，悉起於遠近殊異之故。從此亦可求得宇宙之概形。然空中星點稠密之集團甚多。依均勻密度之假設，則星團應代表銀河系上之長刺，殊不近乎事實。天上恆星較天鵝座星 σ_1 爲近者，共十二顆。依實際恆星光力均等之假設，此類比鄰恆星，宜爲空中之最亮者。夷考其實，則其中強半爲肉眼所不能見。侯失勒當時已自知其假設之不正確。然研究宇宙構造之問題，非藉此則無從措手矣。

(77) 恆星分佈之有限 但侯失勒認識銀河系恆星分佈之具有邊疆，其說至當。倘恆星以均勻密度，散佈空間，直至無窮遠之域，則較亮於五等星之星數，應爲較亮於四等星星數之四倍。而較亮於六等星者，又爲較亮於四等星者之四倍。其餘類推。今實測所得之比率，不逮此值。在肉眼可見之星等，此比率僅爲三。而在視星等微弱之區域，此比率乃降而爲二。從茲可見恆星分佈之情狀，必係漸遠漸稀。且恆星以均勻密度，無遠弗屆之分佈，其照耀情狀，有如滿鋪太陽之天空。惟夜色如漆，亦足以證明恆星分佈區域之具有邊界矣。

(78) 開普頓之宇宙 荷蘭天文家開普頓 (Kepler) 畢生從事恆星分佈之研究。從全天空出二〇六區域，分配於世界上各天文台，從事觀測，以供研究之材料。其所用方法，係假設天空各區域中絕對星等之分配，係按或然率。簡言之，卽極亮極弱之星，爲數均寡。而中庸之星

則較多。比侯失勒絕對星等完全一律之假設，爲較近乎事實。據此假設及各級視星等星數之測定，吾人乃能解一積分方程，以求得恆星密度隨距離變稀之情形。一九二二年開普頓於將逝世前所發表之結論，稱銀河系爲扁球狀之星團，其直徑爲厚度之五倍。此結論證實侯失勒前此之估計。太陽爲此星團之中心。在銀河平面內，吾人行至二萬五千光年處，恆星密度，始降至中心密度百分之一。而在與銀河平面正交之方向，吾人祇須行達五千光年之距離，則已可見恆星密度降至百分之一矣。

(79) 恆星自行與視線速度 恆星之命名，係對行星而言。在肉眼觀察之下，恆星間相互之位置，初不見有何更變。而行星則跨星越宿以穿行。逮遠鏡發明之後，觀測愈精，乃見恆星實亦移動者。特非常遲緩，不易覺察耳。此項移動，是稱自行。最速者每年約移十秒。經一百八十年，始能行經月球視徑之距離。從恆星距離及其自行，吾人可以計得其橫速度（即沿天球切線方向之速度）。從恆星光譜中光譜線之移位，吾人又可計其視線方向之速度。將橫速度與視線速度合併之，恆星在空間行動之方向及速度，均可求得。恆星之集團，每可從各星之行動而認識。蓋惟行動一致諸星，始能永遠成羣。否則背道而馳，終不免於風流雲散。自行與視線速度之觀測，昭示吾人，動者星之常，靜而恆者，反成例外。

(80) 太陽在星空之運動 恆星既不恆，太陽爲恆星之一，自宜亦具有運動。今吾人言月球之行動，係以地球爲參考。言地球之行動，係以太陽爲參考。研究太陽之運動，將以何爲參考

乎。恆星各有其特殊之運動，不足以爲標準。然苟吾人假設其行動，係錯綜而無規則者，則合衆星運動而平均之，其結果將互相消除。故吾人研究太陽之行動，實係以衆星之平均位置作參考。太陽在星空奔馳之趨向，從各星之自行情狀，卽可以窺見之。其理由可以深夜駛舟於港中爲喻。若吾舟不動，則憑欄縱眺鄰舟桅竿懸橙，來往之數，每相差無幾。初不問縱眺之向，爲前後左右也。若吾舟係迅疾前駛，則向船首船尾外望，鄰舟燈光移動之情況依舊。而舟旁所見之燈光，則大多數均逐漸落後。祇同向而駛速度更快之舟，其燈光始能超掠吾舟而前。觀隣舟移動，可知吾舟行駛之向，與驗恆星自行以定太陽行動之向，其理由蓋無二致。從恆星視線速度之觀測，吾人於太陽行動之方向外，尙可計得其速度焉。若再以夜港行舟爲喻，則舟首所見之燈，多迎面而來。船尾所見，多遠離他去者。吾人現知太陽係以每秒二十公里之速度，向織女星之方向以奔馳。

(81) 銀河自轉 從恆星自行及視線速度之研究，吾人初步所得之結果，爲太陽在星空間之行動。逮觀測漸精，數據積聚漸多之後，吾人乃能進而探求銀河星系運動之情形。今地球兩極直徑短於赤道直徑者，蓋由於地球自轉之所肇。木星以十小時自轉一周，較地球爲速，其扁也更甚。銀河衆星，聚成扁平之餅狀，其具有自轉，固不難懸忖而得。從太陽四圍恆星運動情形而研究之，吾人現能斷言空中恆星，實係繞銀河系中心而迴轉。其情形恰似諸行星之繞日或土星光環中諸石屑之行動焉。銀河系中心方向，係在繁星深處之人馬座。距太陽約三萬光年。而

太陽周繞銀河系中心一次，須時三萬萬年。從球狀星團空間分佈之研究，所得星團系中心之位置，與從研究自行與視線速度所得自轉銀河系中心位置，竟相吻合。

(82) 本星團與銀河系 開普敦 (Kapteyn) 之銀河星系，以太陽爲中心。而研究球狀星團及銀河自轉所得恆星系之中心，距太陽乃有三萬光年之遠。二說之差池，竟至於此，其故何哉。蓋銀河雖爲天上衆星分佈之對稱面，而肉眼可見之明星，其分佈之對稱面，不與銀河雷同。十九世紀末葉之天文家，卽已知此羣亮星，另或扁球狀之星團，不與銀河混爲一體，稱之爲本星團。實則銀河系亦猶空中之渦狀星雲。本星團無非渦狀星雲臂上之一結。開普頓以太陽爲心之恆星系，實係本星團。而銀河自轉之中心，乃係整個渦狀星雲之中心。二說之不同，自無足怪矣。

第八章 中國古代天文學

(83) 我國天文學之沿革 堯命羲和欽若昊天，曆象日月星辰，敬授人時。舜在璇璣玉衡以齊七政。我國秉政者，注重天象之觀測，由來舊矣。降及春秋戰國，天文曆法之學，均已發達至於極盛之時期。故孟子視當時天文學之發達，而有『天之高也，星辰之遠也，苟求其故，千歲之日至，可坐而致也』之語。漢晉以還，代有增益。至唐代譯天竺之曆，印度學說乃流入中原。金元明均稍採用西域曆法。明末利瑪竇等耶穌會士來華，其所傳授之天學，乃漸取我國舊有者而代之。不謀進步者，終歸淘汰。天擇物競之說，未嘗不可應用於學術文化也。

(84) 言天之三家 我國古之言天者有三家。曰宣夜。其說稱『天了無質，仰而瞻之，高遠無極。眼矍精絕，故蒼蒼然也。』曰周髀，其言曰『天圓如張蓋，地方如棋局，天旁轉如推磨而左行。日月右行，隨天左轉。故日月實東行，而天牽之以西沒。』曰渾天，其言曰『天如雞子，地如卵中黃，孤居於天內。天大而地小，半覆地上，半繞地下，故二十八宿，半見半隱。』晉書天文志對此曾作比較之批評，謂『宣夜絕無師傅，周髀多所遠失，惟渾天近得其情。』實則周髀之遠失，古人已先獲我心。孔子家語載單于雖與曾子談天圓地方之問題，曾子即答以『若天圓而地方，是四角之不掩也。』以現代眼光觀之，宣夜論天之性質，渾天論地之

位置，周脾論星體之運行，各有其是處。

(55) 星表星圖 世界最古之恆星錄，允推我國。戰國時楚人甘德，著天文星占八卷。魏人石申，著天文八卷。晉武帝令太史陳卓，總石申甘德座成三家之著錄，匯爲一圖，共二百八十三座，座各有名，中含星一千四百六十四顆。三垣者，紫微太微天市是也。近北極之星，晝夜不沒地平下者，稱紫微垣。太微垣在北斗之南，天市垣在太微垣東九十度處。周天分度之法，與近代殊。沿赤道一周，共分爲三百六十五度有畸。其意義蓋欲使太陽每日在衆星間移位之平均值，恰等於一度。二十八舍者，係以赤經線爲疆界，其廣狹各殊。每七宿又合成一象。稱東方七宿，爲蒼龍之體，南方七宿，爲朱鳥之體。西方七宿，爲白虎之體。北方七宿，爲靈龜之體。其所謂東南西北者，蓋指春分初昏之後，龍鳥虎龜四象所在之向也。又有十二次之分，其名曰玄枵、星紀、析木、大火、壽星、鶉尾、鶉火、鶉首、沈寘、大梁、降婁、顛訾。其序爲逆行（即與週日運動同向）。次之意義，係日月交會之處也。二十八宿星象之位置，咸在黃赤二道之交。

星圖之投影，古有圓圖之法，以北極爲心，赤經線皆輻射。在此圖上，黃赤道成相交之二圓周。故有黃道半出赤道外，半入赤道內之語。蘇州聖廟中黃裳之天文圖，卽以此法繪成。惟赤道及南天星象在此等圖中之投影，失真殊甚。紫微垣內之星稱內官，此外至赤道之星稱中官。赤道以南星稱外官。宋蘇頌分全天爲二圖，以赤道爲邊界，較古法更勝一籌。

(86) 顓頊歷與太初曆。堯典莽三百六旬又六日，以閏月定四時成歲，實爲我國曆法之源。古曆之可考者，有顓頊曆行於秦。其說詳見淮南子之天文訓。有太初曆見漢書律曆志。太初曆係司馬遷等改革顓頊曆而成。劉歆之三統曆，則又係沿襲太初曆者也。顓頊曆以 $365\frac{1}{4}$ 日爲歲實，而以 $29\frac{49}{910}$ 日爲平均朔望月之長（古稱朔策）。從歲實中減去十二朔策，尚餘 $10\frac{227}{910}$ 日，是稱歲餘。積十九歲餘得 $206\frac{673}{910}$ 日，恰等於七朔望月。故顓頊曆每十九年中增加七閏月。漢書律曆志稱太初曆以 $29\frac{49}{81}$ 日爲朔策。劉歆三統曆，沿襲太初朔望月之值，但更改其面貌。分一日爲 81 日分。稱之曰日法八十一。於是朔策中乃涵 2992 日分。稱之曰月法二千三百九十二。日月前後兩度在天空同次會合之間隔，稱曰一章，含 2952 朔望月。等於 19 年。以 19 除 285 月中之日數，得 $365\frac{385}{1539}$ 日，是爲歲實。如是則 1539 年中，含 81 章，又恰爲 562120 日，故曰統法一千五百三十九。其義蓋謂某日冬至在朔旦之夜半。則經一統後，冬至又恰在朔旦之夜半。但一統之日數，非 60 所能除盡。三統爲 $1,696,360$ 日，方爲 60 之倍數，中有 4617 年。故曰元法四千六百一十七，即遙推上古甲子朔旦夜半冬至爲曆元之法也。太初之朔策，較顓頊曆爲近。惟歲實較顓頊曆爲尤大，去回歸年之真值，愈益疏遠。從

此兩曆所載立春冬至太陽經天之方位，吾人可推斷其實測均成於春秋戰國之間。淮南史記漢書，皆沿襲相承，未經改定。自是而後，由於觀測之進步，歲實朔策之值，隨時稍有更改，便自成新曆法。統計史冊所載，約及百種之多。惟其中有未經頒布或祇行用於一隅者。

(87) 曆法之基本觀測 上古測天之器，祇有土圭。土圭非他，即豎立一桿，藉驗日影之長短而已。一日之中，桿影午時最短。一年之中，午影又以夏至日為最短，冬至日為最長。經十數年之測驗，歲實之略值，即不難求得。顯頊曆以一歲三百六十五日又四分日之一為出發點，可見係以此種觀測為制曆之基礎。太陽經天之位置，因晝不見星，未可直接測得。古人恆藉昏旦星象之觀測以定之。朔策之值，雖可平均若干新月間之日數以求得。而日月在天交會之舍次，則係從新月（初三日）之位置，逆推兩日份之行程以得之。如是觀測可知朔之日期及日月交會之舍次。古人觀日月交會，每經二百三十五朔望月之後，即回原舍次之現象，乃名此周期為章。以 235 除一章日數，得朔策。以太陽十九周天之次數除之，乃得歲實。太初曆以章法二百三十五月為出發點，以計其餘。可見其所根據之觀測，非用土圭日影，而為日月交會。然如是測得之歲實，乃恆星年而非回歸年。無怪乎太初曆之歲實，較顯頊曆更嫌過大。漢之賈逵晉之虞喜前後發見分至點移動於衆星間之歲差現象，曆法自是更見進步。

(88) 歲星紀年法 木星古名歲星，約十二年弱（11.86年）而周天。每年行經一次之距離而強。故可用以紀年。附表辰次歲之順序，在天均係循逆行方向而安排。而歲星平均之運動，

則係順行者。苟今年星在孛營之次，在辰爲亥。明年則星行至降婁之次，在辰爲戌。然各年干支之次序，不可倒置。若以歲星所在之辰名年，將今年亥而明年戌矣。於是乃有太歲之假設，其行動疾徐，同乎歲星，但在天係逆行。太歲所在之辰，乃可以名年。附表中之歲名，乃起於爾雅『太歲在寅，曰攝提格』等語。然歲星每年平行，略大於一次。八十四年間，可經行八十五次。欲使紀年子丑寅卯之名，順序使用勿令躡等，而又與太歲所在之次相應，則每八十四年必當令太歲倒退一次然後可。此所以有太歲超辰之說。太歲與木星行動之關係，因亦漸至脫節。

辰	次	歲
子	玄枵	困 敦
丑	星紀	赤奮若
寅	析木	攝提格
卯	大火	單 闕
辰	壽星	執 徐
巳	鶉尾	大荒落
午	鶉火	敦 辟
未	鶉首	協 洽
申	實沈	涒 灘
酉	大梁	作 鄂
戌	降婁	闕 茂
亥	軫營	大淵獻

(89) 觀天儀器 璇璣玉衡，以齊七政。說者謂舜觀初昏時北斗七星所指之向，以定季節。或解七政爲日月五星，而指璇璣玉衡爲珠玉盛飾之觀天儀器，未知孰是。然我國觀天紀時之器，固亦自有光榮之歷史。土圭周髀，均古代觀天之器也。漢張衡作渾象，以漏水轉之。某星

方中，某星今沒，與渾象所示，皆合符節。南北朝祖暅之造銅表於嵩山，高八尺。表下有圭，圭上爲溝，置水以取平正，測驗日晷。唐梁令瓚造水運渾天。上具列宿，注水激輪，每晝夜自轉一周。半入水匱，以準地平。另立二木人，每刻擊鼓，每辰擊鐘，機械卽存匱內。其制較張衡之渾象，更見精巧。宋蘇頌之渾儀，設於台上，亦以水轉運。并著有新儀象法要三卷。圖繪精晰，流傳至今。元郭守敬製儀器多種。於摹擬星象之渾天而外，尙有觀測應用之儀器焉。

(90) 古代觀測紀錄 古代天文觀測之紀錄，見於我國舊籍者，爲數至夥。書經胤征之日食，義和之官，因沈湎於酒失察，乃遭誅戮，固已膾炙人口矣。春秋二百四十二年中，所載日食，三十有七次。經推究考證，翔實無誤者，凡三十三。此項紀錄，一方可證春秋之爲信史。另一方面，亦可藉以推計日月之平均行動。太陽黑子之紀錄，在西方始見於格利雷發明遠鏡之後，相當於明季萬曆之年。而我國自漢以來，卽史不絕書。關於黑子之形狀位置，存在之日數，觀測之情形，亦常述及。新星古稱客星。漢書載元光元年六月，客星見於房，實客星紀錄之最早者，或以爲卽依巴谷於西元前一三四年所見之新星。但舊志所載，每以彗星混入客星中。哈雷彗係光輝燦爛之彗星。其復現之周期，約七十六年。春秋魯文公十四年 (31 B.C.) 秋七月，有星孛入於北斗，實爲此彗最古之紀錄。五周後之復見，載在史記秦本紀。謂始皇七年，彗星出東方，五月見西方。自是以後，此彗歷次之重臨，我國史上，有不斷之紀載。凡茲觀測之動機，雖多涉機祥，而於測驗曆法，研究天文，均有偉大之貢獻。

第一篇 物理學

錢臨照

第一章 物理學之發展及其領域

遠在公曆紀元前數世紀，希臘承西亞巴比倫與北菲埃及兩大古文化之餘緒，在學術方面如哲學、藝術、數學、名學等已有偉大之創獲。物理學亦其一端。吾人熟識之阿基米得 (Archimede) 原理，乃公元前第三世紀之事。歐克立特 (Euclid) 之 Katoptron 一書，為彼集當時世人對於光學知識之記載，其中有入射角等於反射角之說明，並有開始折射現象研究之敘述，此亦公元前第三第四世紀間之事。

在東方之中國，先秦之世，科學之發展與成就，雖無哲學、倫理學及政治學之博大豐茂，而周禮冬官考工記一篇不失為我國古代工業制度及技術之明確典籍，其中輪人章有「立者中縣，衡者中水」，確是屬於物理學範圍內之觀察記載。墨經一書，更為我國古籍中與今世科學精神最相懸契者。其中關於光學之記載有八條，關於力學者有九條之多。光學中有「光為直線進行」之證明，平面鏡、凹面鏡、凸面鏡成像之觀察。力學中有有力之定義。墨翟為公元前第五

世紀之人。凡此皆足以說明物理學在東西洋爲才識之士所縈思者遠在距今二千年之前。

雖然，希臘哲人之研究，先秦學者之記述，片斷零星，缺乏系統；且在西洋長期之「黑暗時代」，在吾國自漢以下儒定於一尊，遂使物理學之研究，繼起無人，成早霞之暫明，曇花之一現。故吾人以希臘及先秦之研究，作物理學史開始前珍貴之一頁插畫觀可，作物理學史正文之第一章觀則不可。

公元一五六四年伽利略 (Galileo Galilei) 誕生於意大利，是乃物理學之正確誕辰。自是物理學史才寫出嚴正而光輝之第一章。伽利略承歐洲文藝復興之餘風，得哥白尼 (Copernicus) 崇尚實驗之精神，破除舊說之遺範。彼雖飽學經典，而耽好實驗。彼之「落體定律」之發現，「擺的振動」之實驗，乃至於「拋物徑」之研究，靜力學中「虛功原理」之創立，可稱前無古人。尤重要者，凡此研究之結果，奠定力學之基礎，研究之方法，嗣後人從事科學之蹊徑。伽利略在如許工作上啓示一個重要的科學研究方法，即數學與實驗科學之互相爲用。彼又應用彼之虛功原理於液體，此實啓發以後巴斯噶 (Pascal) 發見彼之著名定律。氏又懷疑古人所信空氣與火爲無重量之語，結果證明空氣之有重量，一如水與土。彼又因研究擺的振動進而研究聲的來源。彼發現音的高低與頻率之關係。彼在光學方面，除爲構造望遠鏡之首功外，曾設法測定光之速率，惜無所獲。

一六四二年伽利略卒。是年牛頓 (Issac Newton) 生於英倫。物理學史更寫出豐富之第二

牛頓在物理學上之貢獻，首推萬有引力定律之發見。其在天文學上之應用，不惟包括刻卜勒 (Kepler) 之三定律，一切當時疑難問題，如潮汐之原因，彗星之運行，地球之形狀，地軸之旋動（歲差）等，無不以此迎刃而解。其名著原理 (Principia) 一書乃古典力學之大憲章。力學三定律即爲此書開宗明義之第一章。（力學第一定律，伽利略已道之，第三定律牛頓前亦已知之，惟第二定律乃其創獲，而在力學中之重要亦以此爲最。）力學一門，自伽利略至牛頓幾已達登峯造極之境，後人之推衍闡發，不能出此範圍。直至二十世紀初，愛因斯坦 (Einstein) 之相對論出，加入時間爲四度之空間，得更普遍之說，使牛頓所論者成爲特例。我人於此須認識愛因斯坦之論乃牛頓之推廣，而非推翻也。牛頓在物理學上第二重要貢獻乃在光學。彼首先用三稜鏡分析白色太陽光爲七色，又將七色混合而成原來之白色。彼創光之微粒說，但與二十世紀初從輻射現象研究而產生之光量子論不同。彼又創造反射望遠鏡，天文學上用之，至今不廢。

較牛頓略早有愛爾蘭人波義耳 (Boyle 1626—1691) 及法人馬略特 (Mariotte 1620—1684) 致力於熱學之研究。在此之前，熱與燃燒，火焰等幾無分辨。波義耳首以實驗證明熱乃由物體之運動而發生。馬略特首用實驗將熱之輻射與光分離。至十八世紀蘇格蘭人勃拉克 (Black 1728—1799) 闡明物體溫度與熱量之關係，因而比熱之觀念得以確立。至十九世紀之焦耳 (Jou-

le 1818—1889) 才首先證明熱與機械功之間有相當之量，並測定之。從此世人確認熱為能量之一種，而能量不滅之定律於焉確立。

十八世紀之前，物理學上為大家注意之問題，首推力學，而成功亦最早。物性如比重、真空、剛性等問題亦為注意。熱學及光學亦為注意甚早，已如上述。而今日物理學上佔重要位置之磁與電兩大章，除十七世紀有吉柏 (Gilbert 1540—1603) 曾作若干研究外，未聞有何發展。

電學之發展，我們須從英人卡汾狄士 (Henry Cavendish 1731—1810) 數起。氏生於一七三一年，此時牛頓沒才四年。彼首先用實驗證明兩電荷間之反比平方定律，同時法之庫倫 (Coulomb 1733—1806)，稍後法之安培 (Ampere 1775—1836) 在電學之基本觀念上多所貢獻。但發揚光大此門科學者却遲至十九世紀之法拉第 (Faraday 1791—1867)。氏在靜電學上完成甚多而有系統之實驗。彼建樹電學上許多基本觀念，如電介質、感應電荷、電容等，彼之最大發現厥推電磁感應。自此以後電磁學走上堂堂坦途，至馬克士威 (Maxwell 1831—1879) 於一八六五年由數學上導出電磁波之理論，更由赫芝 (Hertz) 在一八八八年用萊頓瓶之放火花以證明電磁波之存在。電磁學至此達登峯造極之境。

十九世紀乃電磁學之黃金時代，同時亦為光之波動學說之全盛時期。牛頓倡光之微粒說之時，與之對峙者有同時代荷蘭之物理學家惠更斯 (Huygens 1629—1695) 倡光之波動說。兩

說相爭不決，直至十九世紀初年，英之楊格（Young 1773—1829），法之夫累涅爾（Fresnel 1788—1827）用極簡單之儀器得光之干涉現象，於是光之波動說定於一尊。此後一百年中研究光學者皆奉此爲臬圭，無非就此中發揚而光大。此外，在此時期中關於光之研究有法人菲左（Fizeau 1819—）與富古（Foucault 1819—1868）精密測定光在空氣中之速率，亦足驚人。

十九世紀確爲物理學上一重大時期。電、磁、光等之知識發達甚速，而能量不滅定律之確認，亦在此時期。在此十九世紀之末數年中，更有四重要發現，爲本世紀物理學偉大發展，不可或缺之工具，此四發現者何？一爲一八九五年德人倫琴（Röntgen）發現之 X——射線；二爲一八九六年法人柏克勒爾（Becquerel）發現之放射現象，因而一八九八年居禮（Curie）夫婦發現強烈之放射元素——鐳；三爲英人湯姆孫（J. J. Thomson）於一八九七年電子之發現；四爲十九世紀最後一年德人普郎克（Planck）發表之量子論是也。

電子之發現，實爲打破以前化學家以爲原子爲物質最後微粒之信念。量子論之確立，實改變能量連續之舊觀念。一對物質一對能量兩革命性之創獲，適皆曾集於十九世紀末三數年中，可謂巧合。電子與量子之創獲，實啓二十世紀吾人探討原子構造之祕局焉。

直至此時爲止，本世紀物理學之發展最足驚人者，爲我人對原子核之認識。原子核物理之研究，導源於放射質之發現。放射質發現於法國，而原子核之研究倡導則在英國。英人拉率福特（Rutherford）研究鈾、鐳之放射現象，別其射線爲三種，曰 α 、 β 、 γ 射線。一九〇二年

與叔旦 (Soddy) 同倡放射質之蛻變學說，將從來化學家對元素之觀念根本推翻，實與量子論之創始同具強烈之革命性也。

拉率福特更利用放射質放射出之 α —— 質點以撞擊原子，發現 α —— 質點之徑跡有時可發生極大之彎曲。於是彼於一九一一年構思其最初之原子型。此原子型具有質量巨大而體積甚小帶有正電荷之原子核；帶有負電荷之電子若干個在一定軌道上圍行於其四周，一如行星之於太陽系然。此即今日公認之原子型，千百人方日夕在此中研討，使我人對構成宇宙最終極之原子，日益認識清楚其構造。上所述之一原子蛻變成他原子，為自然之現象，非人力所能控制，此自然蛻變現象僅限於若干最重之元素。一九一八年考克夫脫 (Cockcroft) 與華頓 (Walton) 用高速率之 α —— 質點以碰擊若干輕元素之原子核，使其中一質子脫離而出，此為人工破裂原子核之第一聲。一九三二，一九三三年間，美人安特生 (Anderson) 及英人勃拉蓋脫 (Blackett) 先後注意宇宙線對原子核之撞擊，發現原子核中有正子之存在。一九三三年夏特惠克 (Chadwick) 復發表其原子核中有中子存在之見解。一九三四年法人居禮 —— 許里屋 (Curie-Joliot) 夫婦以針放射出之 α —— 質點撞擊硼，鏷及鋁諸非放射性金屬後，發現以上金屬俱能放射正子而呈放射性，此為人工放射質之完成；而元素可以互變，實現中世紀煉丹方士點鐵成金之夢想。今日我人對原子核之構造，雖未能盡行洞悉其究竟，而研究之蹊徑已闢，蘊奧已啓，新理論與新現象將與日以俱增。至因研究原子核之構造，知諸質點在原子中之運行與昔日牛頓之力

學系統不能盡合，乃有一九二四年法人戴波羅其 (L. de Broglie) 創設之波動力學，同時德人海森伯 (Heisenberg) 創量子力學。兩說雖不盡同，要其增益原子構造之了解，為功則一。二十世紀之物理學除上述之原子核有精深之發展外，於固體物理學亦有新的了解。X——射線之發現為前世紀末年之事，一九一二年德人勞厄 (Laue) 首先發明可利用 X——射線以研究晶體之構造。其後英人勃拉格 (Bragg) 父子在此學中作領導之研究，至今學者盡從，收穫良多。今日我人對金屬，非金屬結晶之構造，甚至昔日認為非晶體如橡皮、蠶絲及各種纖維之構造，有較深之認識，不可不謂為本世紀中巨大之收穫也。

由上以觀，物理學之發展雖胚胎於公元以前，而實誕生於公元後第十六世紀之下半葉，經十七、十八兩世紀伽利略及牛頓等之努力，此學之規模粗具，基礎方立。至十九世紀物理學走入坦蕩之途，物理學各門之內容於焉大闢，本世紀之初年物理學上之發展尤足驚人。本世紀雖只僅過其五分之一，而在此短短四十餘年中，研究物理學之工具日新而月異，研究物理學之方法觸類而旁通，新現象之發見，新觀念之樹立，乃接踵而起。物理學未來之發展，又豈能於今日徒憑夢想而知之。

普通物理教科書中將物理學分成若干科目，如力學、物性學、熱學、電磁學、光學、聲學、原子物理學等。物理學者為研究自然界現象之一種科學。自然界之現象多端，有屬於生物者，有屬於非生物者。研究非生物（即物質）在不變本性過程中之種種，乃屬於特別之物理學

範圍。例如測定物質之重量，密度；研究光線透過透鏡成像之理；乃至由火焰之光譜，推知此火焰中燃燒物質之構成元素，皆物理學也。而研究物質經燃燒後所成之何物，即不屬於物理學之領域矣。

物理學之領域因新現象之繼續發現而日拓，已於上文之物理學發展中知之。其亦有因此學中某一支系之發展特大而蔚然自樹為一新的科學，離母體而獨立。例如由電磁學而產生電工學、無線電子；由流體力學而產生航空工程學、水力學；由力學、物性學而產生機械工程學。至若因物理學在new的事物方面之應用而能有助於其他科學之進展，更不勝枚舉。例如由研究地球四週之氣流及天空放電現象而影響氣象學；由研究地球之地磁、地震、重力加速度，以及利用物理方法以探測礦產，而影響地質學、探礦學；由利用光譜學以研究星球之輻射，因而能推測星球之各種性質而影響天文學。至若結晶學之能步入今日新階段，須全歸功於X——射線學之發展；化學上對於分子之排列及新化合物之發現（如重水）不得不歸功於光譜學及放射學。物理學歷史之悠久，範圍之廣博，略如上述。茲文所論者僅就此學中幾個基本概念，幾件重大發現，加以淺近之闡述。至若定律之推證，實驗之詳說，旁證而博引，則非淺淺如此文者所能備者矣。海內賢達，幸亮督焉。

第二章 質與能

質與能同為構成物理世界之兩大要素。質的觀念，起源甚早，質量不滅的觀念亦較易明瞭。而能的觀念，直到十九世紀中葉才有確實之認識。十八世紀中世人尙未確認熱亦為能之一態。物理學之一大部分可視為研究能之各態之變化的科學。而能量不滅定律確乎是全部物理學之骨幹。

某一物體有其某一固定之質量，且不因其物理的變化而易其質量。同種物質構成之物體，若比較其質量，則質量與大小成爲正比例。如十立方厘米鉛之質量較五立方厘米鉛之質量大一倍。若構成兩物體之物質不同，欲比較其質量，則不能如上題之簡單。欲求此問題之解答，必問質量以何者爲單位。我人當明瞭者：第一、質量不以體積爲單位，例如一塊銅與一塊鉛不能以其體積之大小而判其質量之多寡；第二、質量不以重量爲單位。地球上物體之有重量，乃地球對此物體間所存在之引力所給予者，此爲牛頓萬有引力觀念中之涵義。地球給予物體重量之標準，第一、當然以物體所涵質量之多寡而定。第二、將視物體在地球上之位置而異。兩質量相等之物體在同一地點之重量固爲相等，而同一物體在不同緯度處之重量則異。此類事實，在牛頓之前已由實驗證明而知之。牛頓由研究物體之運動而發現下列之事實：「以一定之力作用於一

定質量之物體，其發生運動之效果不因物體位置之有變化而不同。更進一步而言：若作用力不變，質量愈小，發生運動之效果愈大；質量不變，則發生運動之效果隨作用力之大小而增減。於是牛頓得一以定質量之標準，即「力作用於質量上所發生之效果；簡言之，質量所表現之慣性是也。」此義爲牛頓第二運動定律所涵。

綜上所言，「質」是量之一種，其特性爲當力施於其上時有慣性之表現，而質量的計算亦以其表現慣性之大小而定其多寡。質的單位爲克，在攝氏四度時一立方釐之水即代表有一克之質。施力於一克之質量上得其運動之效果爲加速度一每秒每秒釐，名此力爲一達因，此力之單位也。在地球上重加速度爲 980 每秒每秒釐處，量質一克之物體重量爲 980 達因。重者力也。但日常計重量以克不以達因。爲別於質量之「克」起見，在重量之「克」下添一重字，作「克重」。

質量乃物質本身天賦之稟性，重量乃受外界事物而定者也。有水若干於此，在海面上以彈簧秤稱之，得一百克重，攜之登高山之巔，則僅得九十八克重，水之重量前後有增損，而水之質量固仍若是也。茲請述重量之正確意義如下。

十六世紀哥白尼倡地球繞日之說，然未得數學上之證據。十七世紀刻卜勒將天文學家第谷 (Tycho Brahe) 一生觀察所得之數據加以整理，得下列三定律：(一)各行星繞太陽作大小不同之橢圓軌道，太陽位於此等橢圓之焦點；(二)連結太陽與行星成一直線(向徑)，當行星行

動時，此直線所掃過之面積與所歷之時間成正比；(三)各行星繞太陽一周所需時間之平方與其軌道之半長徑之立方成正比。此乃基於經驗而得之結論，非有若何理論為援據也。約後一百年，牛頓以獨具之慧眼觀察此三定律，知若假設各行星與太陽間有相互之吸引力，而此吸引力與太陽、行星之質量成正比，與兩星體間之距離之平方成反比，則行星之行動（刻卜勒三定律）可由此簡單之假設而推得。牛頓更以為此假想之吸引力亦存在於任何兩物體之間，以數學公式表之如下：

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中F代表質量各為 m_1 m_2 兩物體間之吸引力，即所謂萬有引力；r為兩物體間之距離；G為常數，稱萬有引力常數。兩物體間之引力不因第三者之存在而受影響，故許多物體對某一物體所具之引力可用有向量相加法則以求得其總和。地球上物體之重量即為地球與此物體間之引力，質量一克之物質與地球間之引力約為 980 達因。因地球非為渾圓而兩極略帶扁平，赤道離地心較兩極離地心為遠，同一質量之物體在赤道上之重量較兩極為輕，此其一故也。（尚有因地球之自轉而生之離心力，在赤道處最大，兩極為零，此離心力亦足以減小地球對物質之重量。）卡汾狄士曾創一扭秤以測定萬有引力常數G之值。現所公認者為 6.6729×10^{-9} 絕對克厘紗單位。若知地球之半徑r為 6370 千米，一克質量與地球間之引力F為 980 達因，則由上

式可計得地球之質量約爲 6.0×10^{24} 克，若以密度表之則爲 5.5 克/厘米^3 ，較水之密度大五倍又半。以一簡單而細弱之扭秤可以衡偌大地球之質量，科學之偉大此一端耳。

當一力施於一物體上，物體因而移動經過若干距離，我人謂有工作做成是謂之功。例如吾人以手提一物體自下沿鉛直線而上，第一、手腕所用之力須勝過物體之重量；第二、手提物體須自低處某一點背重力之方向移動至高處另一點。我人謂在此物體上作功，其值等於力乘距離。若手腕雖用力而不能勝過物體之重力，物體並無背其重力之方向而移動，不能謂爲作功。或物體如一圓球在一極平滑之平面上無靜止的等速運動，亦不能謂爲作功，因圓球既動之後，無復有力施於其上。物體既耗費功自下而上，同時此物體即儲蓄一種作功之本領，蓋一放手此物自高落下，此時物體之重力代替以前之腕力而作功也。今名物體之作功本領爲能量。

在力學中之能量可分爲兩種，位能與動能是也，統名之曰機械能。位能者，因其位置之高下而有作功之本領，動能者，因其運動而有作功之本領也。如上述之物體自高落下，一方面因物體位置之逐漸降落而喪失位能，一方面則因運動速率之增加而動能逐步增加，及其着地，位能爲零而動能極大，若遇玻璃片，則玻璃碎裂，此功之表現也。十九世紀以前物理學家關於能量之認識如是。

十八世紀之末，美人倫福德 (Rumford) 注意機械工廠內因穿鑿鐵板而發生大量之熱，始倡熱爲能之一態，並啓發熱能與機械能有關係之觀念。其後經法之噶爾諾 (Carnot)，德之梅

達 (Mayer) 相繼闡揚，至一八四三年英人焦耳作一精密之實驗，量得使一立方釐水之溫度升高攝氏溫度計一度所需之機械功爲 4.187×10^7 爾格，即所謂熱功當量是也。在此之前，一八四一年焦耳又注意由電流通過導線而發熱之現象，並測得電流，電阻與發生熱量之關係，名曰焦耳定律，至此證明電流亦可爲能之表現。至一八四七年德人赫爾姆霍斯 (Helmholtz) 始根據此項事實對於一般之物理現象創立一基本之原理，即今日所謂能量不減定律是也。

有一定量之能才能作一定量之功。反之，欲作一定量之功，必先儲有一定量之能，此爲能量不減定律中之涵義。能與功如一公平之交易，兩方不能有絲毫之虧賺。

物理學之發展日廣，能之觀念亦隨之而拓。今日知除機械能，熱能，電能之外，光及各種輻射，如紫外射線， X ——射線， γ ——射線，宇宙射線及無線電之電磁波等亦皆可爲能之表現。聲爲質點之縱波運動，可視作機械能。推而至電子之運動，原子核中質子、正子、中子之發射亦各有能。若完全了解各態能量間之變換關係及用精密之方法以測定其變換當量，則可知能量不減定律實爲今日物理學上最普遍最重要之觀念也。

今試舉例以說明之。山溪之瀑布，當其滯留於懸崖之巔之一瞬間，具有一定量之位能。及其越懸崖而直下，則位能漸失而動能漸增，直至瀑布達至地面前之一刹那，位能全易爲動能。若在瀑布之下沒有水輪，水激輪轉，水之速率減小，動能因之消失，水所消失之動能大部分變爲水輪所帶動之發電機之動能，一小部分，當瀑布擊撞水輪時，因摩擦變爲熱能而消散。又當

水輪傳動發電機時，大部分之機械能變爲發電機所產生之電能，而一小部分之機械能則又耗損於軸承間之摩擦而變爲熱能，消散於空氣之中。至是由最初瀑布之位能而變得之電能能作多種之功。若電流通過電爐則生熱而爲熱能，若一無線電發報機應用此發電機發生之電，則經複雜之變化而爲電磁波能放射於空中，此電磁波又爲一收報機所接得，則再經複雜之變化而使擴音器之薄膜振動，是又恢復爲機械能。他如電流使熱熾燈發光，又高電壓能產生X——射線，則又變爲輻射能。至若動植物之呼吸及消化食物，吸收肥料，因而動植物得以生長或運動作功，其間能之變化兼有生理之複雜關係，不能如純物理的之簡單，但今日生理學家已能明言人類吸收某種食物若干量便能產生熱量若干卡路里，亦即根據能量不減之見地而言也。

各態能量互換之間，有一定之比率，是謂某態能對某態能之當量。測定之法，隨兩態能之性質而異。兩態能間之當量，譬如兩種貨幣間之兌換率，而此兌換率無時價之高低，將互古而不易。兩態能間之互換，當依此公認之兌換率執行之。是又爲能量不減定律中之要義也。

然則兩態之能可自由互相變換乎？則又不然。例如機械能甚易變成熱能。攪水則水溫微昇；天電火花所經之空中溫度略高；殞星飛逝，接近地球時，大氣受摩擦而熾熱；皆此類也。惟欲其從熱能而變成機械能或電能，則不能若是之易。蓋其中必須遵守某幾項條件方能實現，如熱能變爲電能，大都須以機械能爲媒介；而熱能之變爲機械能，又必須遵從熱力學第二定律之規定方可。此猶甲乙兩種貨幣之兌換，甲兌乙可隨時隨地而得；而乙兌甲，必須乙兌內而後

得甲，或乙兌甲須於某指定之銀行，在指定之時間內方可。而此種限定之條件，因無礙於兩貨幣間兌換率之固定性也。至各能能之如何互換，當於適當處分別論之。

機械能與熱能間之互換有一定之比率，即上文所謂熱功當量，此為熱力學之第一定律。自此定律之完成，世即無「永動機」之一詞。十九世紀以前世不乏夢想家之流，日夜殫智竭慮，思能利用槓桿、滑車等簡單機械構成一種不藉外力而能永久作工之機械。直至今日，此種夢想尚偶徘徊於一二人之心中，而彼等之設計，往往極盡巧妙，驟視之，不能覺察其破綻，但逐一加以細審，無不知其為事實之不可能，或外能之源源注入而不察，凡此乃昧於熱功定律所致。

物質不滅定律之認識，尚在赫爾姆霍斯闡明能量不滅定律之前，兩說不相牽涉，無溝通之道可循。當二十世紀之初，相對論出，乃有「質」「能」互換之說，以解除原子核中及天文學上若干問題之困難，茲不具述。

第三章 波動

第二章中曾述及瀑布自高而下將位能易成動能，再將動能遞與水輪，因而水輪轉動發電。又如鎗之射擊，子彈之動能隨子彈遞與牆壁而易為熱能，使彈孔四圍之溫度增高。此等能之傳遞必須與物體以俱，物體之所至，能亦隨之，物體與能不能須臾分離。此種能之傳遞之方式，至易明瞭，但物理世界中以是方式傳遞能量者，僅佔一部分而已。

投石於池水中央，水面生波。波紋外播，及於四周。池邊泊一小舟，舟則隨波浪而高下。吾人若仔細觀察此類波動之傳播，池中央之水滴實未隨波浪而流動。（試以水木片分佈於池面之各部，則見木片各就原位隨波高下，而不見其逐波奔流。）石塊之動能傳與池水之中央，小舟之得動能而高下者，實賴波動之傳遞。又如炸彈爆炸，往往能將附近之建築物震毀，而炸彈固未曾直接觸及此建築物也。物理世界中能之傳遞賴波動為媒介者，實佔另一重要部分。電能、輻射能、機械能及熱能之一部分皆賴是而傳遞。

波動之主要因素為具有彈性之介質。上述實驗中水即為介質。物體振動而生聲，聲為機械能之一種現象。聲之傳遞賴空氣、水、或其他物體之波動為之傳導，所以真空不能傳導聲音。電磁波（包括無線電波、光波等）之傳播，則以「以太」為介質。以太之為介質，不具一般物

理性質，而僅備類似傳遞波動不可少之彈性而已。更率直言之，「以太」一詞，僅爲電磁波中「動」字之代名詞而已。至其較詳之說明將於輻射章中及之。

波動之類別，由其質點振動之方向而言，可分爲縱波與橫波兩種。質點振動之方向與波進行之方向一致者爲縱波，聲波其例也。質點振動之方向與波進行之方向成直角者爲橫波，電磁波其例也。一般言之，彈性體內部，縱波與橫波，同樣可以發生。如地震之波，縱波與橫波可同時發生也。聲波爲縱波之證明，其事不難。昆忒 (Kett) 以軟木屑置於玻璃管中，而使其管內發生聲波，則見木屑前後顫動而堆成等距離之若干小堆。昆忒之實驗，非但可以實視聲波之爲縱振動，且爲在實驗室中測量聲波在空氣中波長之第一實驗。若已知此聲波每秒內之週數，則由此可測得聲波在空氣中之速率。光波之爲橫振動至一八〇八年馬呂斯 (Malus) 發現光之偏極化現象後，始由事實之證明而成定論。

不論縱波與橫波，凡波動必爲週期現象，即每間隔某一定時間而此象在原地復現。如鐘擺一秒鐘來回一次，飛輪一秒鐘旋轉數十次。每一來回或每一旋轉所需之時間謂之週期。每一單位時間內（普通爲秒）此現象在原地重複出現的次數，謂之頻率。頻率爲週期之倒數。波動之傳播在一秒鐘內所經過之距離，謂之波速。每一週期所經過之距離謂之波長。一波速距離內所包含之波長之個數亦即等於頻率。故波長、波速及頻率（或週期），三者中知其二者，即可求得其他。

聲波爲傳遞機械運動者。有物體作機械之週期運動，若頻率過小，例如頻率爲一（即鐘擺之振動），甚至比一更小，空氣作波動以傳遞其能量，但此不屬於人耳所能聽聞之範圍。至頻率爲十六，人之耳鼓開始有感覺，自是以上，則爲可聽聞之聲。頻率自一千以上，耳鼓即漸感不適，直至頻率爲一萬六千左右，人耳已漸不可聞。自此以上之聲波，非用普通敲擊等方法所能產生。一九一六年法人藍吉文（Langem）計算天然水晶之彈性係數，知數極厚之水晶片之天然頻率適在普通無線電振盪器所能產生頻率之內。遠在十九世紀之末，居禮研究結晶，發現天然水晶若依照其晶體之結構，在某方向切割成薄片，用壓力加於薄片之兩面，則兩面各產生異號之電荷。反之，若在此水晶片之兩面加以異號之電荷，則薄片可伸長或縮短，此名壓電現象。藍吉文即利用水晶之壓電現象，置此種特殊割成之水晶片於無線電振盪線路中，水晶即受激動而發生連續之振盪。其頻率視水晶之厚薄及切割之方式而定。今日由此法所能產生之頻率得自二萬至二十萬。此種由水晶振動而產生之波動，在形式方面當與普通聲波無異，惟其頻率已超出人耳所能聽聞之外，我人名之曰超聲波。

電磁波之頻率可自數十至 10^{20} 以上。其種類包括日用交流電發電機所生之長電波、無線電波、熱波、紅外射線、可見光、紫外射線、 X ——射線、 γ ——射線及宇宙射線（各種電磁波之特性將於下章輻射與量子論中論及之）。

波之長度，雖能自長達數千米而短至一千萬分之幾耗，其波動介質亦可有如普通物質之空

氣、水等，與不具普通物理性之「以太」之別，但彼等實具有不少相同之普遍性質，例如共振、干涉、繞射等現象是也。

懸兩相似之兩銅鐘，扣其一，隔一相當之時間後，以手按之使勿復鳴，以耳就他鐘聽，則可覺其有聲自此鐘發出，一如亦曾扣之者然。此現象名曰共振，共振發生之條件，須兩物之天然振動頻率相一致，而可不問兩物之種類相同與否。例如一頻率為 f 之音叉，就近一閉管式之空氣柱口，先扣音叉使之發聲，若空氣柱之長度適為 $\frac{1}{4}\lambda$ 或 $\frac{3}{4}\lambda$ （式中 λ 為空氣中之聲速），則可聽得此閉管式之空氣柱因其振而發生同頻率之聲波。今易此空氣柱為另一不同頻率之音叉，兩者雖同為音叉而不能發生共振。譬之兩人之能否發生同情心，只問兩人之境遇，天性之是否相似，而不關此兩人之性別與籍貫之是否相同也。

無線電振盪器以一定頻率之電磁波傳播於空中。若另有一振盪器其中電容器及線圈等之組合，使其天然頻率適合於上述電磁波之頻率，則此振盪器檢得放送之電磁波而自已發生振盪。若第二振盪器之天然頻率微有變更，則此共振現象立即停止。無線電收報機之能鑑別許多不同之發報電站者，即恃此嚴格之共振條件。

共振現象在光之波動亦有之。以一白熾燈為光源，用凸透鏡將燈光聚於分光鏡之狹縫上，則見一七色連續不斷之光譜，名曰連續光譜。今若在光源與分光鏡狹縫之間，置入鈉蒸汽，則見在原來之連續光譜黃色部分中有兩相密接之黑線，其地位適當鈉焰光譜特有之 D_1 與 D_2 兩

輝線。此有兩黑線之光譜名曰吸收光譜。蓋光源中有兩光波，其波長適等於鈉蒸汽所能發生之兩光波 D_1 與 D_2 。是時鈉蒸汽將光源中送來此兩波之能量吸收，使光源中之 D_1 、 D_2 兩地位之波長不復再現於光譜中。鈉蒸汽何以只吸收光源中 D_1 、 D_2 兩光波之能量，而不吸收其他波長之能量，蓋因惟此兩處之波長相等，即頻率相同，始發生共振現象也。一八一四年夫牢因和斐 (Fraunhofer) 首注意太陽光譜中有甚多固定位置之黑線（後即名此曰夫牢因和斐線），在今日知太陽所發生之光譜，原為連續不斷者；但在太陽之四周有多種元素之蒸汽，如氫、氦、鈉等，每元素自有其特殊之線譜，故太陽光經過此種蒸汽，其中某波長適合於某元素所能產生之波長，遂發生共振，能量為其吸收而呈黑線。氦之特殊輝線地位首在太陽光譜中發見之，當時以為此種元素只存在於日球之上，嗣後至一八九五年，經英人雷姆賽 (Ramsay) 在鈾鉍礦 (Clevite) 發見一新元素，即用上述共振之方法以證明此元素為氦，如是始證明地球上亦有此氦元素之存在。

波動之干涉現象為一極重要之物理現象。牛頓創光之微粒說，惠更斯創光之波動說，兩說相持不決，直至一八〇二年英人楊格首用實驗以得光波之干涉條紋，於是光之波動說定於一尊。波動之干涉現象，隨處可見，茲先以液體之波動為例：

於一大盆水面之上（最好用水銀），平置一音叉，音叉之兩肢上各繫一細針，使兩細針浸入水中約一耗，於是擊音叉使振動，則見每一細針各為一圓形波系之中心。因兩波系俱發源於一

音叉之振動，故彼此等之波長、波幅及波相均爲相同。茲試觀察兩波系相遇後之情形若何。在水面上有一點，若兩波系之波峯同時到達該處，則該處之波峯必加倍升高；若兩波系之波谷同時到達該處，則該處之波谷必加倍低下。吾人名此等處所之兩波爲同相，或稱同步。若水面上另有一點，一波系之波峯或波谷到達該處之時，較他波系之波峯或波谷到達該處之時落後或超前半個週期之時間，則彼處必爲一波系之波峯或波谷與他波系之波谷或波峯相遇，波峯與波谷互相抵消，該處之水面當維持原來之地位。吾人名此等處所兩波波相相反，或稱完全失步。准此原則，我人試問在此兩波系傳播之水面，何處兩波恆爲同步，何處兩波恆爲完全失步。由幾何之觀點，可知在兩波心之垂直平分線上，兩波系恆爲同步，又在此線之兩旁有間隔略等之扇形線條，兩波達此等線條上亦恆爲同步。在此等扇形線條之間（亦作扇形線條），則爲兩波完全失步之處。故以兩針顫動之處譬如紙扇之柄，則見水面高下最強之處，猶如扇骨，自柄向外張展，扇骨間之空隙處，則水波不興，恆爲平靜之地。吾人若以一平直木片用垂直方向插入水面，移時取出，則見木片上之水痕有若干處高出靜止之水面，而水痕之高起點與維持平靜點作有規則之等距間隔。吾人在此木片上量得此等距之間隔距離，又量得兩波心之距離，及木片離波心之距離，即可計算此兩波系之波長。

水波之波長，可自數糲至數呎。可見光之光波長度則在萬分之七與萬分之四耗間，而其能產生干涉之理由則相同，所得現象亦無不同。甚至亦可用上述之方法以測知如此微短光波之長

度。(僅須易木片以紙屏，或帶可測讀目鏡之望遠鏡以量得干涉條紋之距離。)茲請一述產生光波干涉現象之實際設施情形。

欲得兩光波之干涉，首要者為如何可得兩同步振動之波動中心(即光源)。上述繫在音叉上兩針之振動為同步，不成問題。用兩不同之光源，雖同為某一單色光源，例如用兩鎊焰，而因其毫無關係，不可得同步之兩振動中心。今在不透光之幕上刺兩相隔甚近(距離約為0.5公耗)之針孔，而在幕後頗遠之處置一「點光」之光源，如是點光光源之波動達兩針孔時，兩針孔即變為兩光源而向幕前傳播，再在幕前設一紙屏，即可見明暗相間之條紋，(明處相當於水波實驗中木片上水痕之高起點，暗處相當於木片上水痕之平靜點)稱之曰干涉條紋。此即楊格於一八〇二年首作光波干涉之實驗情形也。今若利用兩平面鏡巧妙之佈置，使單色光源在兩面鏡中之兩虛像為兩干涉光波系之光源，此兩光源因產生自一光源，故其為同步無疑，於是亦可得干涉條紋，此即夫累涅爾(Fresnel)後楊格若干年所作之光波干涉實驗。

一單色光源照在一薄膜(如浮於水面之油層)之上。其一，光波達薄膜之上面直接反射入於人目；其二，光波透入薄膜之內達於薄膜之另一面而反射，再回出薄膜之上面而達人目。因薄膜有厚度，在薄膜上某一點之第二波系達人目之時，適較第一波系達人目之時落後一週期或其倍數(即同步)，則兩波系發生干涉而得干涉條紋中之明線。又在薄膜上相隣之另一點，兩波系入於人目之時，相差半週期或其奇倍數(即完全失步)，到得干涉條紋中之暗線，明暗相

間，其干涉條紋一如前二實驗所得者。今若易單色光爲日光，則所得干涉條紋帶紅綠色。薄膜之光波干涉現象見於日常生活者甚夥。如水面之油層，污水溝中浮漚，肥皂泡，晶體內之裂隙，在太陽光中視之，呈燦爛之色，皆干涉現象之明證也。若以一微凸之透鏡面置於一平面玻璃上，在單色光源下視之，可見明暗相間之圓圈，此現象首爲牛頓所注意，故名曰牛頓圈。此爲凸透鏡面與平面玻璃間所成空氣薄膜之光波干涉現象。每兩牛頓圈之間，即爲空薄膜有半個光波厚度之相差。若量得第某個牛頓圈之半徑，即可計算此凸透鏡面之曲率半徑。

光波之干涉現象，非僅在理論上足以證明光爲波動而已，在實用上有莫大之助益。蓋一可見光波之長度僅萬分之幾，平常不能見其端倪，而在干涉現象中可明目而見之。若加以適當之佈置，光波之干涉現象，宜可以利用爲測度非平常機械方法所能測讀極微之量。干涉條紋之應用，幾爲今日高等光學儀器工廠中一日不可或缺之工具。例如今有一標準之平面於此，今欲照此樣另磨一平面，則以磨得之平面覆於此標準平面上，而在單色光源下視之，若現有牛頓圈，則知所磨之面尙爲微凸或微凹之面，圈數愈多，曲率愈大，離平面愈遠，須重行改磨，直至兩接觸面間之空氣薄膜不復存在，則牛頓圈不見，僅顯一均勻之色，此時所磨之面爲一標準平面矣。如磨球面，則須先備一相反曲率之標準球面，亦如上法以查牛頓圈之多寡，以定所磨面之優劣。如一平面與標準平面間僅有一牛頓圈存在，則此平面之中心高出或低下於四邊僅萬分之三耗而已。此非任何機械所能度量，而利用光波之干涉，固易爲之也。

麥凱爾遜 (Michelson) 創造一光波干涉儀。彼利用一塗有稀薄銀膜之半透明平行玻璃板，將自光源送來之光束分成兩互相垂直之光束，再各爲平面鏡所垂直反射，回至半透明之平行玻璃板處復相聚合而發生干涉作用。此干涉儀之本身爲光學中一大創獲，而爲用亦至微妙。麥凱爾遜曾利用此干涉儀以測量標準長度內所含某光波之個數。吾人知巴黎萬國度量衡局所保存之鎢鉍合金棒上兩抓痕間之距離爲公認之標準一米之長度。設此合金棒一旦毀損，則吾人所用之尺將無一最後之標準與之校準。所幸自光之波動說證實後，吾人知某色光之光波有其一定之長度，今利用某金屬光譜中某特殊明線之波長與此標準尺比較，則此慮全消。麥凱爾遜用其發明之干涉儀，以鎳光譜一紅色明線之波長與標準尺相比較，得一米之長（在 15°C 溫度與 760 耗壓力之下）含有此紅色波長 $1,523,163.5$ 個。嗣後范白里 (Fabry) 等以其所創造之干涉儀重作此實驗，得值爲 $1,523,164.13$ ，與麥凱爾遜所得數相較，僅差二百四十萬分之一。世界上標準長度得此實驗後，才獲一可靠而永久之保證。麥凱爾遜干涉儀在天文學上亦有甚大之貢獻。彼曾利用此器在威爾遜山 (Wilson) 天文台上測量倍坦爾裘絲 (Betelgeuse) 星之視角徑爲 0.047 秒。若用任大倍數之巨大望遠鏡以窺此星，亦僅爲一點而不能辨其徑之大小。至若麥凱爾遜藉其干涉儀以研究光波在「以太」中進行之情形，實爲啓發愛因斯坦之狹義相對論，爲功尤大。其他各式之干涉儀尙多，而各有其特殊之優點與其貢獻；如佳敏 (Jamin) 干涉儀可以測量各種氣體及液體之微弱折射率。范白里與貝羅 (Fabry and Perrot) 干涉儀可以精確比較

光譜內各輝線之波長。

無線電波之干涉現象亦極明顯。在距地面約七十哩之處有一電子層。此電子層能反射無線電波宛如一鏡。今在某處同源發出二波，其一爲此高空之電子層所反射而達地面，其一則沿地平面而進行。兩波於地面之某處相遇，若兩波所經路程之相差爲半波長，或半波長之奇倍數，則爲失步而呈干涉現象，於是該處所接收之電波甚爲微弱，甚至不能聽聞。短波無線電之「衰弱現象」多由於此電波之干涉現象也。

上述之波動干涉現象皆爲橫波，而縱波如聲波，其干涉現象亦復相同。取一正在振動之音叉，攜近耳旁在垂直方面旋轉之，則可聽得音叉旋轉至某位置，發音特別強大；又旋轉至另一位置時，發音特別微弱，至幾不可聞。此卽爲音叉之兩支所發出兩波系互相干涉之結果也。

常人恆有感於波動之干涉能將能量毀滅者，其實不然。蓋在完全失步之處之波峯與波谷相抵，兩者能量固相抵消，但在同步處之波峯高度將兩倍於任何一波系之波峯，而此處之能量實較單一波系波峯之能量大四倍。故干涉波之總能量仍爲兩波系能量之和，非有毀滅，乃易一處之能於他處而已。吾人對能量不滅之定律，固無容疑慮也。

繞射亦爲波動中重要而普遍之現象。吾人盡知聲波遇障礙物能彎繞其邊緣而改變其進行方向。豎木板於水中，水波達木板時，能繞木板之邊緣而前進。波動原作直線進行，但遇障礙物後繞過其邊緣，與原方向成一角度而進行，卽所謂繞射也。繞射現象中改變之角度須視波長而

定，波長愈長，繞射角愈大；波長愈短，繞射角愈小。聲波之長度以米計，故聲波穿一孔穴後仍四處可聞，而光波（萬分之幾耗）之繞射角甚小，但欲觀察之亦非難事。取刀片一枚置於單色光源與紙屏之間，則見紙屏上刀口之影旁有一不甚明晰之區域，若用放大鏡仔細觀察，可見在此區域內有若干與刀口平行明暗相間之條紋。此現象在牛頓時代已知之，惟至十九世紀夫累涅爾始以波動說釋之，才得滿意之解答。

欲一窺繞射現象之理解，除須明瞭上述之波動干涉外，尤須一述惠更斯原理。惠更斯謂波動在空間之各點可視作一新波動系之中心，名之曰副波。設有一球面波（如燈光所發出者爲球面波）在距中心等距之球面上，波相爲同步。今照上述之假設，在球面上之各點均爲一副波系之中心。吾人又不難證明此無數相鄰之副波系在各方向之波動將因互相干涉而抵消，只剩與母波系前進方向一致之波動未受影響，仍照母波系之波動方向前進。換言之，諸副波系因互相干涉之效果而得之總和爲一前進之波動。但若母波系在進行中遇一障礙物，如刀口，則即在刀口上各點生無數副波系之中心，副波之波動原可向各方向進行，但在某方向之波動將爲刀口所遮蔽而不能前進，因而諸副波系在他方向剩餘部分所生之干涉效果不能如前之互相抵消，而僅剩向前進之波動。諸不完整副波系互相干涉之結果產生若干波動與原直線方向成一角度而進行。用精密之計算，可知此項繞射後之波動強度達於刀片後之紙屏上，在一小區域內將作週期性之分佈。此即刀口原影旁所生明暗相間條紋之由來。

繞射角度將視波長而定，已見上述。故紅色光之繞射角較藍色光爲大。在上述實驗中易單色光源爲白光，則在刀影旁可見彩色之條紋。易刀口爲一甚小之狹縫或針孔，繞射現象亦極易見。

若以無數甚小之狹縫平行放置，而狹縫間之距離與狹縫之微小寬度相若，則繞射現象更爲顯明。因一單獨狹縫之繞射光波得其他相鄰諸狹縫繞射光波之同步干涉，則強度增加，故在同一寬度內狹縫愈多，繞射光波愈強。在玻璃片上用金剛鑽尖刻劃極細而極密之溝槽，光不易透過此等溝槽，而在此兩溝槽間之平玻璃處則爲透明，如是相當於許多狹縫之相並置，吾人名之曰繞射光柵。白光經過光柵而得光譜，一如稜鏡分光儀然。光柵所成之光譜，「鑑別本領」大，故以之研究單獨光譜線之構造極爲適宜。光柵有金屬質製成者，名曰反射光柵。有隨需要而用凹面者，謂之凹面光柵。今日吾人常用之光柵爲每耗六百條之溝槽；其精美者，每耗間可達二千條溝槽之多。此等光柵之製作，須特殊之設備，至非易事也。日常生活中亦恆遇類似繞射光柵之物。試以細白絲布對電燈光照之，則見每一燈絲旁，七色粲然。

X——射線亦爲電磁波之一種。因X——射線之波長僅爲可見光波數千分之一，以是用以產生X——射線干涉，繞射等現象之狹縫及光柵，宜較在可見光中所用者更爲微小。勞松(Larsson)於一九二九年用千分六耗寬之狹縫，始得X——射線之繞射條紋，其形式一如用可見光所得者。一九三〇年林立克(Linnik)用勞亥特(Lloyd)平面鏡法以掠入射角僅二分之一

X——射線束得干涉條紋。居侖岡夫 (Kuhlenkampff) 用一厚僅十萬分十四耗之鏤膜得 X——射線在其上下兩面反射後之干涉紋，一如用可見光在油膜上所得者。

光爲波動之證明，乃十九世紀物理學界之盛事。其干涉、繞射等事之相類，一如一泓池水之微波蕩漾，寧非快事。物理學上不少複雜奧妙之現象，往往能以極平常習見之事物比擬之，因而創獲新學說，得圓滿之解釋，此其一例耳。

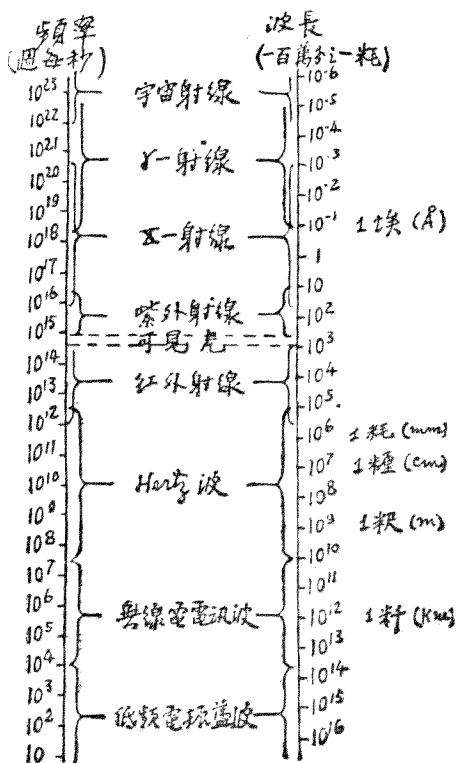
第四章 輻射與量子

電荷的四周滿佈電力線，電力線所及之處名曰電場。當電力線有變動時，即產生磁場。磁場之強弱、方向，全視電力線變動之速率及方向而定。若有電場作週期之變動，則磁場當亦隨之作週期之變動。從電磁學之定律，知在此週期變動中，當電場強度最小時，磁場強度最大；而電場強度最大時，磁場強度為最小。而電場與磁場之方向恆互相垂直。在此種電場與磁場作週期變動情形之下，電磁波於焉產生。

馬克士威 (Maxwell) 在一八六五年發表其卓見，預言此種電磁波之存在，並從計算上推得電磁波之速率等於光之速率為每秒 3×10^{10} 哩。越二十二年德人赫芝 (Hertz) 在實驗室中用感應圈、電容器、及火花隙實地證明此種電磁波之存在，並用實驗證明電磁波為橫波，具有反射、折射及偏極化等現象，與光波初無二致。赫芝更用間接方法測知彼所得電磁波之頻率及波長以計算其速率，適與光波速率相吻合。電磁波之存在，與光亦為電磁波之一種之預斷，至此遂得事實之證明。電磁波之波動亦稱輻射。

以今日所知，電磁波之一系所包含者，不僅赫芝波與光波而已。近人由其頻率之自小而大言之，電磁波可分為低頻電振蕩波，無線電電訊波，赫芝波，紅外射線，可見光，紫外射線，

X — 射線, γ — 射線, 與宇宙射線。列表如下：



由上表觀之，電磁波所屬之範圍如其廣，產生各種電磁波之方法自不能同。路旁之電力線恆為六十週之交流電，波長 3×10^6 呎（即五千呎）之電磁波產生於電線之四週。若欲縮短其波長（即增加其頻率），必須使發電機之轉動增加，但此種增加礙於機械之條件，有其一定之

限度。較高頻率之電磁波爲利用包括感應圈及電容器之電路振盪，如最初用之火花隙振盪器，及以後用之真空管振盪器皆是。其所產生之電磁波卽上述之赫芝波是也。今日用特小之真空管所能產生之赫芝波，波長可短至數十耗；更短之赫芝波反須利用火花隙以減小其電路中之感應係數及電容量，如是則赫芝波可短至十分之一耗。

頻率更高之輻射，則須賴分子自身之振盪。在普通之水銀燈中，有人曾檢得波長爲〇.5耗之輻射，其一切性質與赫芝波同，波長者無異。分子內部之振盪（卽構成分子之原子振盪）產生更短之輻射。此兩種輻射爲構成紅外射線之主要來源。所謂紅外射線者，爲在可見光譜紅色一端以下目不能見而其熱效應甚著之輻射，故又名熱射線，或熱輻射。「黑體」（黑體之解釋詳後）之溫度與其發射之輻射量有一定之關係（Stefan-Boltzmann 定律），故欲測定物體之溫度，可量其輻射總量而知之。冶金工業上用之甚廣。

更高於此頻率之輻射爲來自原子內部之變化。依照今日公認拉塞福特（Rutherford）之原子構造模型，原子之內心有一核，帶有正電荷，環繞原子核有帶負電之電子若干個在某幾個一定之軌道上運行。電子之多寡與原子在元素週期表中之序數相等；而原子核上之正電荷恰與環繞原子核諸電子所帶負電荷之總和相等。如此一個原子上之電荷爲零。原子內之電子在一定之軌道上運行，吾人若能於此原子加入能量（如加高熱或用電子撞擊）使其外層軌道某一個或數個電子脫離，或使某高能量軌道上之電子（卽較內層之軌道）躍入較低能量之軌道（卽較外層

軌道)，或使電子雖仍循原軌道運行，但加入旋轉之行動，凡此等舉動皆能使原子發出一定之能量而成光幅射，用分光儀分析之而成光譜。光譜中紫外射線之來源係來自如上述能量較高之幅射而已。至因電子之行動有變更而如何放射能量，當於原子構造章中述之。此等幅射之波長甚短，通常以 10^{-7} 耗為單位，名之曰「埃」，記之如 \AA 。可見光之波長約為 7000\AA 至 4000\AA ，佔全幅射波中甚小之一部分而已。過此即為紫外射線。普通玻璃對紫外射線之吸收甚大，故作紫外射線實驗之儀器中，所有稜鏡，透鏡均非玻璃而為水晶，至更短之紫外射線則宜用螢石或氟化鋰所做成之稜鏡及透鏡。又銀對於紫外射線之反射本領不如可見光之大，至 3300\AA 且完全吸收而不反射。故紫外射線儀器中之反射鏡恆用鏡金 (Speculum metal) 以代銀面。水銀蒸汽燈（如醫院中用之太陽燈）及鐵、銅等之弧光均為良好之紫外線光源。炭精弧光及太陽中均有豐富之紫外線幅射。紫外射線之波長愈短，空氣對其吸收能力愈著。故實驗甚短紫外射線之光源，分光鏡、透鏡、照相片等均宜置入高度之真空中，而後能得紫外光譜之照相，密立根 (Millikan) 曾從氧之光譜中觀察得最短之紫外射線為 137\AA 。

紫外射線與紅外射線人目不能見，而對照相片俱能感應，尤以紫外射線為甚。紫外射線又能激發某種礦物而生螢光，祕密文件之查驗，及年代久遠之模糊字跡往往能利用此兩區域之幅射照相而辨認。近年來有利用紫外線所激發之螢光為照明之用，一「瓦」之能得數十「流明」，較普通白熾電燈之効率大為增加。又此兩區域之幅射俱能作為醫療之用途。皮膚病、瘰

癩及肺病等均以此爲良好之醫療物。

較紫外射線波長更短之輻射爲 X——射線，係出於原子外殼較內層電子之變動，在水銀弧光燈中，真空程度並不甚高（約爲水銀柱數耗之壓力），兩電極所用電壓亦不須甚高（數伏特已足），如此產生之游子速率不大，因其能量不高，只能激動汞原子較外層之電子而產生汞之光譜。若在高度真空中（約爲水銀柱 10⁻⁴ 耗壓力以上），置兩電極，極上加高電壓至數萬伏特，當電子在負電極逸出時，在此高度真空中得甚高之速率，電子所得之能量亦大，此等高能之電子與正電極之原子相撞擊，激動該金屬原子較內電子層之變動，而當電子恢復其原來狀態時，將其中過剩之能量發射出來，如此原子所放出之能量即成 X——射線。波長最長之 X——射線能至 270 Å，如此波長之輻射用激動紫外射線之方法亦能得之。若用極高度之真空，電壓亦增高至百萬伏特，可得波長爲 0.001 Å 之 X——射線。普通所用之 X——射線，波長恆在數個 Å 之間。例如以銘爲正電極，所得之主要 X——射線爲 2.285 Å。

X——射線之發現爲一八九五年秋間事。德人倫琴 (Röntgen) 用黑紙將陰極射線管包裹，當陰極射線在管內發生時，彼注意置於管外附近之螢光板發生螢光。彼以物置於螢光板與射線管之間，由螢光板上所生影之地位，可知使螢光板發生螢光之射線係來自陰極射線管中之正極。彼繼又發現此種新射線之穿透本領極強，能透過黑紙而使照相片感光。當時不知此奇特射線之所自來，因名之曰 X——射線。X——射線穿透本領之強大，立即爲世人所認識而施諸於

應用，當時外科醫生即採用之以爲診斷骨骼變形或損傷之用。（倫琴首次發表其驚人之發現，乃於 *Wien Anzeiger* 醫學會之前。）迄今 X——射線在醫學上之用途日廣，非僅爲診斷之工具，且爲醫療上不可或缺之利器，如肩骨腺與淋巴腺之疾病，及多種之皮膚病皆可用 X——射線爲之醫療。又 X——射線對癆病之治療與鐳同著功効。

X——射線之發現完成後，學者聚訟於其性質之爲微粒，抑爲波動。普通用於分光儀中之繞射光柵兩溝槽間之距離約爲 10^{-4} 厘米，而 X——射線之波長僅爲此值之數萬分之一，故以普通之光柵分析 X——射線，猶以溝槽相距一厘米之光柵分析可見光波，其不能有結果爲當然之事。一九一二年德人勞厄 (Laue) 首先指出晶體內原子之地位成一有規則之排列，若有一波動之波長，短於此原子間之距離，則此晶體將如一繞射光柵而將此波動繞射。彼以爲如此短波之輻射當爲 X——射線。菲特力 (Friedrich) 循此指示，用閃鋅礦之晶體置於 X——射線之前，所得之照相除 X——射線穿過晶體直接照射之點外，繞於其四周尙有甚多且爲某種對稱之黑點，此種黑點係來自晶體中各原子層之反射，稱之曰勞厄斑。其後英人勃拉格 (W. H. Bragg) 以氯化鉀及氯化鈉之晶體研究 X——射線在其不同晶體面之反射，並應用波動干涉之原理得反射之條件爲

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

式中 λ 爲 X——射線之波長， θ 爲 X——射線對晶體面之掠入射角， d 爲兩反射原子層間之距

離， n 爲整正數。稱之曰勃拉格定律。勃拉格因是推得氯化鈉單位晶體之邊長爲 2.814×10^{-10} 厘米。X——射線之爲波動至是得確實之認識。在另一方面勞厄與勃拉格之實驗，實啓今日晶體研究之門。昔日之結晶學大部注意其外表之形體，而不能接觸於其內部原子排列之情形。X——射線對晶體之分析無異爲一利刃。自然界中金屬非金屬之晶體爲數甚夥。自 X——射線應用於晶體之研究，我人對自然界物質構造之認識，得一極大之助益。例如石墨與金剛石，在化學上同爲碳素所構成，與何以兩者硬度之差別有如是之巨。由 X——射線之研究，知兩者中原子之排列有甚大之不同。最近有將 X——射線應用於非晶體之研究，而往往得特別之成功，如羊毛何以捲曲，橡皮何以能伸長數十倍而不斷，由 X——射線之研究，均得適當之解答。晶體之研究爲今日物理學上一大支系，而 X 射線爲其中最有力工具之一。

輻射譜中所餘未論及者，尙有 γ ——射線及宇宙射線。

γ ——射線之來源係出自原子核中之擾動。一八九九年拉塞福特研究放射質所放射出之射線，得 α 、 β 、 γ 三種不同性質之射線。 γ ——射線爲不帶電荷之電磁波，其最長之波長約爲 1.4A 。安特萊德 (Andrulo) 曾用 γ ——射線照射晶體而得與勞厄斑相類之照相，此足爲 γ ——射線爲波長甚短 X 射線之明證。因其波長更短，能量愈大，穿透本領亦強。工業上應用 X——射線之照相有以 γ ——射線照相代之者，卽以其穿透本領之強大而輻射源（爲一盛少許放射質如鐳）亦較 X——射線之設備易於攜帶也。

本世紀之初，威爾遜(C. T. R. Wilson)發現大氣中存在一種極強之輻射，其穿透本領比一切其他輻射為強大，如用一厚鉛板所圍成之密封器具內，空氣常稍帶導電性。當時物理學家咸疑此強大之輻射係來自構成地球之物質中。一九一一年海斯(Hess)曾將自動記錄電離作用之儀器裝入輕氣球內，直上五千呎之高處，測知高度愈增，此項電離作用愈大，在五千呎時，竟較地面強二三倍之多，於是知此項強大之輻射必非來自地球之本身。密立根名之曰宇宙射線。因其穿透本領之強大，故其波長無法能直接量得，僅可用理論推算，而因所據之理論各異，故宇宙射線確實之波長，亦無定論。約略言之，當任千分之一埃以下也。宇宙射線之發現迄今已四十年，我人對此輻射之各方面，知之不多，即對此輻射之來源（但知確非來自地球之本身），今日尚在聚訟紛紜之中。

從上所述，可見電磁波之內容極為廣泛，其研究之對象，實包括全部物理學之一大部分，其重要性當不言而喻。電磁波之波長可自數千呎至一千萬萬分之一呎，其產生方法不僅屬於一種，性質亦大不同，乃至所用觀察方法亦隨地而異。惟有一點為凡屬電磁波所同具者，即波動速率恆為 3×10^{10} 呎，而皆以「以太」為波動媒質也。

「以太」之為電磁波之媒質，實與水或空氣之為聲波媒質，意義不同。何以言之？十九世紀末之物理學家，咸認為在空間充塞一種稀薄而具有彈性之物質，名曰「以太」。於是有人欲進行測量「以太」之一般物理性質，如彈性系數與密度等，而其中最主要之問題為我所亟欲知

道者，爲「以太」若確實如一般物體之存在，則「以太」適可視爲宇宙間靜止之絕對標準，而能求出地球對「以太」行動之速率。十九世紀末之物理學家以爲此而求得，足以證明「以太」如一般物體之實際存在。

地球距太陽之平均值約爲 150,000,000 公里，其運動之速率爲每秒約 30 公里。若地球在「以太」中運動，則人在地球上測量與地球進行方向平行之光速應與測量與地球進行方向成直角之光速有所差異。由此差異，可以計算得地球在「以太」中之速率。今以譬喻喻之。設地球在「以太」中運動之速率猶之河流之速率，光在「以太」中之進行猶之一舟在河中之進行，舟順流而下，猶之光沿地球在「以太」中進行之方向而進行，舟橫斷河流而登彼岸猶之光之進行之方向與地球在「以太」中進行之方向互相垂直。今若能求得舟在河流中在此兩垂直方向速率之差，用簡單之計算，即可求得河流之速。同理吾人若能以實驗求得在此兩垂直方向光之速率之差，則可得地球在「以太」中進行之速率。從事於此偉大實驗者，首爲美人麥凱爾遜。彼利用其所創造之干涉儀以從事於此問題。但結果爲否定的。繼起者續有其人，直至一九二五年，此問題由實驗之結果仍爲否定性。即二垂直光束之速率並無差異。由此實驗之結果，十九世紀末物理學家所幻想具有一般物理性之「以太」之存在，實不可能。嗣後愛因斯坦根據此事實而創造其狹義相對論，在此相對論中，證明如光波之傳播，憑藉於某一物質，此物質決不能具有普通一般物質之物理性質。故今日吾人所云「以太」一辭者，僅指爲空間本身在

某方面視之可具有一種物理性質，憑藉此種物理性質，電磁波能因之而傳遞，一如機械能之由彈性媒質而傳遞也。

不論「以太」之是否實際存在，物理性質如何，而電磁能之確為波動，由其具有干涉，繞射等現象可資證明，似無疑義。但欲藉輻射之波動學說以解釋某若干事實，則不能克服其困難，光電效應其一也。

將短波之光射於清潔之金屬片上，金屬片附近之空間，即具導電性。經詳細之研究，知當短波光照射於金屬片上時，金屬片即放出帶有負電荷之電子，而已身為帶正電荷，此即所謂光電效應是也。今日所用之光電管為一真空之玻璃管，內面之一部分塗以清潔之鈉、鉀或銣之金屬，玻璃管之中央插入一網狀電極，所塗金屬面及網狀電極各連接於電池之負正兩極。當光從管外照入管內之金屬面上時，則電路內有微小之電流。此電流之強弱，視所用光之強弱而定，即利用光之強弱可控制電流之強弱。今日之有聲電影即賴此光電管以發聲也。光電效應有下列三事足以引起吾人之注意；（一）欲使金屬放出電子所用之波長，宜比某一定之波長為短；換言之，即所用最長光波有一定之限度。若光波長於此限度，則雖用極強之光，亦不能使金屬面放出電子。每種金屬各有其不同之最長光波限度。（二）金屬面在每秒鐘內發出電子之數量，視所用光波之強度而定；但發射電子之最大速率，與光之強弱無關。例如用某種光源離金屬面一呎處所得電子之發射最大速率與光源在十呎處所得者同。（三）電子發射之最大速率，視所用

之波長而定。波長愈短，電子發射速率愈大，波長愈長，電子發射速率愈小。此等現象若以輻射波動說釋之，將遇不可克服之困難。何則？蓋在波動說中，能量平均而連續的分佈在波前。於是在某一定面積上所得入射之能量，將視光源與受光面之距離而定（能量與距離之平方成反比例）。但事實上，電子發射之能量（即以其速度測量之），與光源之遠近無關。由光之波動說所得之解釋，與事實相左。

光電效應之三大特異之點爲一九〇二年陸那特 (Lorard) 之發現，學者聚訟。光之波動學說享有足足一百年之權威（波動說雖惠更斯倡自一六八〇，然戰勝微粒說爲世人所公認則遲至一八〇二年楊格首作光波干涉之實驗。）至是遂告動搖。

早於陸那特實驗之前二年，德人 蒲郎克 (Planck) 發表其研究黑體輻射之結果，謂產生輻射之振動體（如本章中所見之分子、原子、或電子）所發射之能量不爲連續。能量之發射有其一定之最小值，或爲其倍數。今略述黑體輻射之究竟，然後進論蒲郎克發現之重要及其應用。

輻射落於一物體上，一部分爲其反射，一部分爲其吸收，另一部分則得以通過。被吸收部分估入射之成分稱輻射吸收率，物體在每單位面積每秒內所發射之能量稱輻射發射率，物體之輻射吸收率與發射率均隨溫度之高下而變易。克希荷夫 (Kirchhoff) 於一八五九年研究氣體之吸收與輻射現象，發現在某一定溫度之下物體之輻射發射率與其輻射吸收率之比爲一定值，

卽所謂克希荷夫定律是也。尋常之經驗，各種可見光之輻射落於燈_亥或氧化銅上均爲其吸收，而不反射，故成黑色。吾人稱燈_亥及氧化銅爲黑色物體。擴而言之，若任何波長之輻射落於某物體上而均被其吸收，則稱此物體爲「黑體」。「黑體」之輻射吸收率爲1。事實上，任何黑色物體之輻射吸收率不能達於1。理想之「黑體」則爲一能抗高熱之容器（可不問其材料之若何，內部能塗黑則更佳。）四面密封，僅開一小孔。今若有輻射波注入容器（或從小孔射入，或熱容器至高溫。）設射線每遇容器內壁一次僅吸收90%而反射10%，則初次入射吸收90%，反射後二次遇壁吸收90%，再反射後三次遇壁，輻射之被吸收者已爲初入射之99.9%矣。因開孔甚小，故輻射線屢屢遇壁反射而不易逸出，經若干次後，此容器之內壁不難將入射之輻射吸收殆盡。尋常之黑色燈_亥吸收率約爲95%，但從物理學言之，燈_亥之「黑」，尚不及此開有小孔之空虛容器也。由克希荷夫定律可以證明一完全吸收之黑體同時亦爲一完全輻射體。故黑體加熱後所發射之輻射（稱黑體輻射）在光譜各區域中自較其他任何物體在同一溫度下所發射之射線爲強。

一八八三年斯忒藩 (Stefan) 曾用實驗證明黑體輻射之發射率與其絕對溫度之四次冪成正比，其後波爾茲曼 (Boltzmann) 引用熱力學原理證明之，此卽所謂斯忒藩——波爾茲曼 (Stefan-Boltzmann) 定律是也。在某一溫度下，黑體輻射固可無成見的發射某區域之連續各種波長，但此連續輻射譜之能量分配情形，爲吾人亟欲知悉者。斯忒藩——波爾茲曼 定律猶之報告某人

在一年中之總開支爲若干，而現今所欲知者，爲此人在一年中各項用度之分配情形。例如其教育費佔幾何，食用費佔幾何，娛樂費佔幾何，從其各項用度分配情形，又以推知此人之爲如何等人，不僅由其總開支大者，知其爲富人，總開支少者爲貧人也。故今所欲知者尤重要於斯忒藩——波爾茲曼定律也。由實驗得在某溫度下黑體輻射之最大能量有一定之波長，黑體之溫度漸高，輻射譜之區域漸向短波方向遷移，同時此最大能量之輻射波亦漸向短波方向遷移，例如一冶爐溫度初升時，不見任何色彩，及至 500°C 左右時，爐色微紅，溫度續高，則爐色自暗紅而橙而黃而白熱。多人曾謀此現象在理論上之解釋而未得。

失敗之原因蓋在彼等理論之基礎都墨守舊時觀念，以爲物體輻射之能量爲連續的，換言之，我人可得無限小之能量。蒲郎克以革命之精神，大膽假設物體之輻射能量（發射或吸收），自有其最小單位，發射之能量可爲一個單位或其倍數，但不能爲此最小單位之非整數倍數。此單位能量之大小因輻射之頻率而異，其值等於頻率 ν 與常數 h 之乘積，吾人稱 h 曰蒲郎克常數，此單位能量爲量子，而蒲郎克之說爲量子論。蒲郎克以此假說，推得輻射能分配之公式，其與事實之吻合，遠爲前人所不及，量子論之在此方面之成就爲出馬第一功。

蒲郎克發表其量子說後五年（一九〇五年），愛因斯坦將其說略加擴充，用以解釋上述之光電效應，獲極大之成功。蒲郎克之量子論，僅規定物體輻射之吸收或發射能量之情形，而未述及此發射之量子在發射過程中作何情形。愛因斯坦之擴充點即以爲光能之發射如一小包之能

量，自光源至金屬面上在其發射之過程中，此一小包之能量不變其大小與內容，譬如一郵遞之小包裏，自一處送遞至他處，中間無稅卡之抽值，亦無盜竊腐爛之耗損，收到時包裹之外觀與內容，仍與發出時一般無二也。吾人有時稱光能輻射之小包裏為光子，包裹之價值有大有小，視光波之頻率高低而定。

今試回顧光電效應之三特性與量子論之推論作一比較。由量子論知波長較短之光波（高頻率）發射能量較大之光子，波長較長之光波（低頻率）發射能量較小之光子。電子在原子中巡行有一定之能量，故須光子之能量能勝過此電子之能量，方能將其擊撞而出。猶之上舉一大石塊，須用至少與此石塊重量相當之力，小於此力，石塊不能動也。此與觀察之第一點合。一較大能量之光子（即短波輻射）除能使電子從原子組織中脫離而出，又能利用其餘剩之能量使此電子得一定之速率，所用光子之能量愈大（即短光波如紫外射線， X ——射線等）則電子所得之速率愈大，此與觀察之第三點合。用某一定能量之光子（即用某一定波長之光波）以擲出金屬片上之電子，光子數量加倍，即光子與原子中之電子接觸機會加倍，以或然率而論擲出之電子數亦當加倍，而不能增損擲出電子之速率，此與觀察第二點合。不僅此也，愛因斯坦利用量子論所得之推理實具數字之正確性。若量得擲出電子之能量，加上使電子脫離原子之微小能量，即計算得光子之能量。由蒲郎克之假設，光子之能量當為蒲郎克常數與頻率之乘積，因是知蒲郎克常數可推算所用光波之頻率；或用已知之頻率以推算蒲郎克常數，皆與實驗適合無

間。

量子論之爲用不僅此也。舉凡一切週期性之現象，如分子、原子之振動，及電子在原子中之循行諸現象，若應用量子論以解釋之，往往得滿意之結果。其中最著者爲布爾 (Bohr) 之原子光譜之解釋，將於原子構造章中論及之。熱能爲分子振動表現之一種，量子論對於物體在低溫時之比熱較在高溫時者爲小之現象有圓滿之解釋。

蒲郎克常數在單位爲爾格秒。今日公認之值爲 6.625×10^{-27} 。

雖然，量子論獲得如許之成功，輻射波動說可以廢乎？是又不然。蓋波動章中所述干涉、繞射等現象惟波動說能有滿意之解答。在波動說中，輻射能之發射爲連續性，輻射能均勻的分佈於波前，故在同一面積上愈遠而受能愈少。在量子論中，輻射能之發射猶如鎗彈，爲不連續性，且有一定之最小單位，在發射過程中輻射能維持其原形與大小。在波動說中，一疾馳之電子將連續發射其電磁能，而在量子論中，不論電子之行動之遠近，將始終維持其原有之能量。兩說之鑿柄不相容，一望而知之。然則輻射能之遞送爲波動乎？抑量子乎？勃拉格曾設一喻爲此兩歧觀念解嘲曰：吾人在一星期中之一三五日用波動說，二四六日用量子說，波動說解釋某幾種之事實，量字說解釋另幾種之事實，而真理或即在此二者之間。安特萊德亦有喻曰：波動說與量子論之爲用，猶如雨傘與遮太陽之帽，吾人何時宜戴帽，何時宜攜雨傘，須視天氣之晴雨爲斷，何時宜用波動說，何時宜用量子論，亦須視境遇而定。雖然我人若能得一學說貫通此

兩說，或竟廢棄舊說而另創統一性之新說，在科學精神上，原無不可之事。舉凡一切科學上之學說，俱爲一種暫時應用之工具，此時無更好之新學說，舊學說雖有缺點，只可暫時應用，一旦較完美之新學說出，不但能解釋舊說之能解釋者，亦且能解釋舊說之不能解釋者，則儘可棄舊說而採用新說。猶之舊式之馬車固多缺點，但新式之汽車尙未發明之前，舊式之馬車仍不失爲交通上之重要工具也。數十年來物理學家殫智竭慮，思在此方面有所發展。戴波羅奇 (T. de Broglie) 認物質（電子爲其中之一）亦應具有波動性，如此物質之具雙重性一如輻射之具波動與量子之雙重性，此種學說名曰波動力學。一九二八年台維生 (Davisson) 與高麥 (Germer) 在美國，湯姆遜 (G. P. Thomson) 在英國同時以陰極射線管中之電子流照射在極薄之金屬箔而得其繞射之圖形，一如 X——射線照射晶體所得之繞射圖形。質點之具波動性，至是得實驗之證明！而陰極射線遂爲研究晶體薄膜及晶體表面之利器矣。

第五章 電與電子

電學爲現代最發達科學之一。溯其歷史，則遠在公元紀元前第六世紀。彼時希臘人知被摩擦之琥珀能吸引輕微之物，但歸之於靈魂之說而已。直至公元後一千六百年間，英人吉柏 (Gilbert) 發現以絲巾摩擦玻璃棒及其他物體後亦能使玻璃棒等吸引輕微之物，一如被摩擦之琥珀然。彼名此玻璃棒爲帶電；用今日之術語，謂爲負有電荷。西文 Electricity (即電) 之一字，即希臘文琥珀之意也。一七三三年法人 達費 (Dufay) 用貓皮摩擦火漆棒，亦能使火漆棒帶電，但彼發現爲玻璃棒所吸引之帶電物，則爲火漆棒所拒斥；反之，爲玻璃棒所拒斥之帶電物則爲火漆棒所吸引。至一七四七年佛蘭克林 (Benjamin Franklin) 區別此兩種不同性質之電曰正電 (玻璃棒所帶之電)，曰負電 (火漆棒所帶之電)。別電荷爲正負，何者爲正，何者爲負，無特殊之理由。但一經決定，則相襲沿用，不宜更易。今日所稱之正電與負電，仍沿用佛蘭克林之定則。十八世紀雖知電之有正負，然其關係若何，則又遲至十九世紀中，英人 法拉第以冰桶實驗始證明一次摩擦所得兩種之電荷其量相等。

研究兩電荷間相吸或相斥之數量關係，有丹聶爾 (Daniel) 卡芬狄士諸氏。至一七八五年庫侖用電扭秤作實驗得下列之事實：兩電荷互相作用之力正比於其任一電荷之電量，而反比於

其間距離之平方。即庫侖定律是也。以式書之爲

$$F = C \frac{ee'}{r^2}$$

式中 F 代表兩電量 e 及 e' 在相距 r 處互作用之力， C 爲常數。此定律之外觀與實質與牛頓之萬有引力定律完全相同。惟在萬有引力定律中常數 C 習慣書作 G ，稱萬有引力常數，其值爲 6.66×10^{-8} 絕對克羅秒單位，而在庫侖定律中，此常數爲 1。其理由則在萬有引力定律中質量之單位已由牛頓力學第二定律中規定，而在庫侖定律未成立之前，電量尙無一定之單位，於是庫侖故意定單位電量之大小使常數 C 之值爲 1，如是可使計算便捷。故庫侖定律，同時實爲電量單位之定義。由是而定之電量單位，謂之電量之靜電單位。電荷勢力範圍之所及，謂之電場。一單位正電荷在電場中某點所受之力，謂之該點之電場強度。單位電荷在電場中自 A 移動至 B 所作之功爲 A B 兩點間電位差。一導體所含電量與其電位差成正比，其比率即爲此導體之電容。在一單位時間內某點流過之電量謂之電流。舉凡電位、電容、電流等單位皆可由一靜電單位之電量導出，成一靜電單位之系統。

庫侖於同年發表其對於兩磁量間作用之定律。其公式恰與電量之庫侖定律相同，惟以兩磁量代兩電量。庫侖之磁量定律其功用亦爲定磁量之單位，名之曰磁單位。磁性勢力範圍之所及名曰磁場，一個單位正磁極在磁電中某點所受之力爲該點之磁場強度，在克羅秒制下磁場之單

位爲高斯 (Gauss)。

伏打 (Volta) 發明電池 (一八一〇年) 之後二十年，奧斯特 (Oersted) 首先注意當電流通過導體時，在導體鄰近之磁針受有影響，即今日所謂電流之磁效應也。由安培 (Ampere) 之證明，當電流通過導線圈時線圈兩面各具相反之磁性，吾人直可視此線圈爲一極扁之磁石，其兩極即在線圈之兩面。賴布拉斯 (Laplace) 用數學之推理得一公式，以導線中電流之磁效應定電流強度之單位。若此導線成一圓形線圈，則由 Laplace 公式可得線圈中心之磁場強度爲

$$H = \frac{1}{C} \frac{2 \pi i}{r}$$

式中 r 爲線圈之半徑， i 爲線圈中電流之強度， C 爲常數。今定通過半徑一糎線圈，在其中心產生之磁場強度爲 3.2 高斯之電流強度爲一電流單位，如是可使常數 C 爲 1。如此所定之電流單位爲一電磁單位之電流強度。依上理，由此可導出電量、電位、電容等之單位，成一電磁單位之系統。

電學上任何一個量之單位可有兩種獨立不同之表示——靜電單位制與電磁單位制——前者之出發點爲由庫侖定律中定出電量之單位，後者之出發點爲由賴布拉斯公式中定出電流之單位。此兩系統之單位各由獨立之事實導出，而其間却有一定之關係。試以賴布拉斯式中 i 用靜電單位制表之而仍欲維持原有磁場強度，則常數 C 不能爲 1 而爲 3×10^{10} 。換言之，一電磁

單位之電流量等於 3×10^{10} 倍之靜電單位電流量。以此推理，一電磁單位之電量等於 3×10^{10} 倍之靜電單位電量。事實上，欲測定此兩單位之電量比值不以電流而以電容。蓋一電容器之靜電單位電容可由其電容器之形狀計算而得，而其電磁單位可用惠斯登電橋 (Wheatstone bridge) 法測定之。實驗之測定其比值十分接近於 3×10^{10} 。此 C 值非為不名數，蓋由電量在兩單位中因次之不同，可推得 C 之因次為 $\frac{1}{\text{速度}}$ ，與速率之因次相同。故知 C 為代表速率之量，而其值適與實測光波速率同。馬克士威電磁波方程式中導出此 C 值當為電磁波之速率，馬克士威乃創光之電磁波說，統一幅射波動之說。電學中兩單位系統關係之重要有如此者。

在實用上所用電的單位，往往因兩絕對制之單位過大或過小，運用不便而增減其倍數。例如電量之實用單位為庫侖，等於十分之一個電磁單位電量。電流之實用單位為安培，等於十分之一個電磁單位電流。電位之實用單位為伏特，等於一萬萬倍之電磁單位電位。

電荷的四周有電場存在，愈近電荷電場愈強。攜一單位電荷入此電場之某點，必須作相當之功以步步抵消此電荷對此攜入電荷之作用。此攜入電荷所作之總功量為此點在電場中之電位。猶之軍隊建立一陣地自極遠處至司令處層層設防，愈近司令部設防愈嚴，今一敵兵欲侵入此陣地至某點，必耗相當之兵力，入侵愈近司令部，所耗愈大，而立功愈高。吾人乃可在一電場中定此點之電位若干，彼點之電位又若干，其意即為若欲攜一單位電荷至此點須耗功若干，攜至彼點，耗功又若干。在無窮遠處電位為零。吾人攜入電荷即自無窮遠算起。一單位電荷自

一低電位點攜至高電位點所耗之功爲此兩點間之電位差。聯結電場中等電位點成等電位線。電荷在等電位線上行動不耗功，猶之物體在水平面行動，自重力之觀點而言，物體不耗功。電位又可作電壓。

若使靜止之電荷運動，用普通之術語卽導體中有電流（如接一導線於電池之兩極，導線內有流動之電荷；或連接一低氣壓玻管之兩極於高電壓上使管內放電，管內卽有電荷在流動。）則所得之現象更爲複雜。上述在帶電流之導線四周產生磁場，此電流之磁效應也。電流通過導線，導線往往發熱，若導線之電阻大而電壓高，則導線可至自熱程度，電爐及白熾電燈爲其良例，此電流之熱效應也。以電流通入一金屬鹽溶液中，則見電極上有金屬分離而出，習見之鍍鏤及由食鹽中分解金屬鈉皆是，此電流之化學效應也（又名電解）。此電流之三種效應，構成電學上種種之現象。

不僅運動之電荷可以產生磁力，反之，運動之磁極亦可以產生電力。一八三一年法拉第注意以線圈之兩端連接於一電流計，以一磁極插入線圈，則見電流計之指針向一方偏轉。當磁極攜出線圈時，電流計之指針向另一方偏轉，而當磁極停止前進或退出後，電流計中無電流之表示。此卽所謂電磁感應現象，線圈中之電流名曰感應電流。若磁極靜止而以線圈作與磁極之相對運動，所得結果亦同。或易磁極爲另一線圈，與第一線圈平行相置，當第二線圈中忽然增強或忽然減弱電流，或甚至將電流反向，則第一線圈中亦得感應電流。綜合言之，當切割一線

圈之磁場有變化時，線圈內即發生感應電流。法拉第由實驗知感應電流之大小，正比於切割線圈面積磁力線之變化率。名曰法拉第感應定律。從另一方面觀之，線圈中之感應電流亦能產生磁場。感應電流所產生之磁場方向作用於原來磁場所得運動之方向，恆有反抗感應與被感應體相對運動之傾向。如此由磁場及兩體相對運動之方向可以決定感應電流在線圈中之方向。此即楞次 (Lenz) 定律是也。其實此定律亦僅爲能量不滅定律之演繹。何則？電亦爲能之一種表現。當導體與磁極作相對運動時，如所產生電流之磁場無反抗此運動之趨勢，則可不費功而獲得電能，顯然不合能量不滅之原理。若從磁能量不滅之觀點而言，即感應電流之產生能反抗切割線圈面積磁力線之變化，亦可得此結論。上述線圈之運動與磁力線在平行之方向作相對之運動而生電流，其實就線圈之任何一小段之導線（可視作直線）而觀，則導線運動與磁力線之方向成一直角，而導線中所產生之電流，則與此兩方向又成直角。磁場、運動及電流三方向成一立體幾何之坐標。通常爲辨別此三種量之向，可伸出右手，以手掌面磁場之方向（即以手掌面北極或手背面南極），大姆指順導線運動之方向，則四指相並指示導線中電流之方向。此種法則，常名爲右手定則，或發電機定則；蓋導線在磁場中運動而生電流，爲發電機之原理也。從反面觀之，一帶電流之導體置磁場中，則導體發生運動，此可由賴布拉斯定律推演而得。此中磁場，電流及導體運動三者之方向亦相互成直角；辨別此三量之向可用伸出手掌之方法，惟此處須用左手，名曰左手定則，或電動機定則。蓋置帶電流之導體於磁場，導體發生運

動，此爲電動機之原理。若磁場強度之變化較速（每秒五十週或六十週）則電磁感應之現象愈著，此關實用交流之門戶，故電磁感應之效用實包括整個實用電學之範圍。上述之電動機、發電機、以及變壓器等均屬此範圍。

以上所述爲電的集體現象，猶如述水的集體性狀有壓力、有滯性、有表面張力、有流速、有片狀流、有激流、乃至與容器溫度等之關係，而未述及最小一滴水如蒸汽在空氣中所凝成微小水珠之性質。電荷之最小量爲電子。

電子之正確認識，實爲十九世紀最後數年中湯姆遜（J. J. Thomson）作氣體導電實驗之收穫。一八九五年倫琴宣布其X——射線之發現，其時湯姆遜適在劍橋大學之卡芬狄士實驗室作氣體導電之實驗。彼發現若以X——射線照射陰極射線管後，則管內兩金屬極間之放電極易。平常須以每厘三千伏特之電壓而使放電者，今僅須低微之電壓即可。此顯然說明X——射線照射管內剩餘之氣體後能增加其導電性。更有意義者，彼將已照射之氣體用玻璃絲濾過後，則其導電性失去。又彼使已照射之氣體通過一電場，亦能毀滅其導電性。湯姆遜遂以爲前者之實驗證明氣體中之導電性屬於有某種質點之存在，後者之實驗證明此種質是負有電荷。此兩觀念實說明電子之最重要之性質。然至此對於電子尙未有具體之認識。湯姆遜更變更加於陰極射線管之電壓，在電壓不太高時，電壓與管中所得之電流成正比；換言之，此時管內氣體與普通金屬線之作用相同。若以電場與磁場加於與陰極射線之垂直方向，則見射線作不同之偏向，由其偏

轉之方向可推知此陰極射線實爲一羣帶有電荷質點之流線。在此之前有爭論陰極射線爲波動輻射者，至是遂告失敗。

電場與磁場可使陰極射線偏向之實驗所洩露之祕密尙不止於此。湯姆遜以互相垂直之電場與磁場同時加於陰極線之兩側而得其偏向，由其偏向之程度及兩力場之強度用數學之推理，可計得此帶有負電荷質點之「電荷與質量之比值」，同時亦可計得質點之速率。彼用各種不同之氣體得此比值約在 2.3×10^{11} 左右，而速率則可自 1.2×10^{10} 至 2.3×10^{10} 釐/秒。從此實驗可以表示此等質點不論來自何種氣體，不論其速率若何，其所帶電荷與質點之比值恆爲一定（我人恆以 e 代表此種質點所負之電荷，以 m 代表質點之質量，故其比值恆書作 e/m 。）在電解實驗中所用電量（電流與時間之乘積）與電解所得金屬質量之比爲此種金屬游子所荷電量與游子質量之比。此種比值與陰極射線管內質點之 e/m 比值頗相似，但前者隨所分解之金屬而不同，其中以電解氫之比值爲最大，約爲 10^{11} ，而較之陰極射線所得之 e/m 在 10^{11} 之間者，尙相去千倍之巨。假使兩者中之電荷量爲相等（的確相等），則陰極射線管中質點之質量僅及氫原子之千分之一而已。質量如斯微小之質點爲當時物理學家所驚奇不置者。湯姆遜不但更換陰極射線管內之氣體，復更換電極之資料（由鋁極換至鎢極）所得之比值亦復相同。更試以他種方法產生帶電之質點而其 e/m 比值（如用紫外射線照射清潔之金屬面或以電流通過金屬絲或炭絲至白熱皆能放射負有電荷之質點）亦盡相同。從以上種種之事實及經過縝密之考

慮，於是湯姆遜得下列三點結論：（一）原子不是不可析離的，因為用電力，高速度游子之撞擊，紫外射線及熱等均能從原子中析離出一種帶有負電荷之質點。（二）此種質點不論自何種原子析離而來，其所帶之電量相等，質量相同，且顯然為構成各種不同原子之共同成分。（三）此種質點之質量極為微小，僅及氫原子之千分之一。湯姆遜於一八九七年在倫敦皇家學院之演講會中公開發表上述研究之結果，定此質點之名為微粒（Corpuscle），即今日所謂之電子者是也。

電子之存在及其若干重要基本性質，雖經湯姆遜之闡明，而其中最重要之兩事（電荷與質量）僅知其比值，最多懸想其各別之數量，而未曾直接分別測定之。

我人於敘述如何測定電子所負之電量之前，必先敘述威爾遜人造雲之研究。空氣中含有水蒸氣已達飽和之程度而突然令其膨脹使冷，若空氣淨潔，則不見有何特殊之變化，但若空氣中含有微粒如塵埃之屬，則過剩之水分將以微粒為中心而凝結為霧。若空氣中有微小質點如電子、游子等，水滴亦能以彼等為核心而凝成。膨脹若在某一定限度之內，則水滴只能以帶負電荷之質點為核心而不凝結於帶正電荷或中性之質點上。湯姆遜即利用此一羣帶有負電荷之水滴以測定電子之電荷。從水滴下降之速度，水之密度及空氣之滯性而計得水滴之半徑。由空氣膨脹之容積而知下降溫度之多寡，因而可計算得凝成水滴之總水量。已知每個水滴上之水量，則可計算得所成水滴之個數。又使此一羣已知個數而帶有負電荷之水滴落於一極靈敏之靜電計

上，以求其總電量，於是以水滴之個數除之，則得每一個水滴上之電量。此實驗在技術上極為困難，而在理論上亦有欠周密之處，蓋每一水滴所附之電子不能盡為一個，可能有若干水滴附有一個以上之電子，如是所測得之每滴水上所帶之電荷，將恆大於實際每個電子之電荷。其後，先後經威爾遜及密立根之改良，即成今日所稱之「油滴實驗」。密立根以兩金屬板上下水平放置，略如一電容器。彼以油滴代替水滴，一顆甚小之油滴經上金屬片中央之小孔而墮入兩片之空隙中，此空隙中富有游子之存在（可用 X 射線照射而得之）。油滴在其中下降之途中即可檢得此帶電質點。若兩金屬片無電壓，則油滴不問其有無檢得帶電質點僅受地球吸引力及空氣滯性之作用而下降。由此可求得此油滴之質量。若金屬片上加電壓，則此帶電之油滴將加速或減速下降，甚或反向上升，視電場之強弱及方向而定。若調節電場可使此油滴停懸空中而不動。此時油滴之重量，即等於電場與油滴上電量之乘積。由是可求得油滴所檢得遊子之電荷。從此實驗中可知油滴檢得遊子之電荷可負可正，油滴在富有游子之空間進行時，往往中途檢得另一游子或二個三個游子，但由計算之結果，明確指示諸游子之電量為某一單位電量之倍數。密立根由二十五次實驗中測得遊子之最小電量平均值為 4.770×10^{-10} 靜電單位，而其或然差誤僅千分之一而已。此即今日公認電子所荷之電量也。由此可求電子之質量，知其僅為氫原子之一千八百三十四分之一而已。

電子所負之電荷為吾人所能得最小之電量，而普通所得之電荷，皆為此值之整倍數。猶之

量子爲輻射能之最小單位，而輻射能之出現恆爲此最小單位之整倍數。但量子之單位不一，其大小須視輻射頻率之高低而定，而電子所負之電荷量則一。吾人名一電子上所負之電荷爲一電子量。

電子在原子之外殼循行，由其電荷及速率可計算其磁矩（磁極強度與兩極距離之乘積）。由高斯（Gauss）之計算，知此量亦爲一種單位量之整倍數，因仿電子之例，名之曰磁子。然亦有以由電子本身旋轉而生之磁矩謂之磁子。磁子之爲說不一，故磁子之量不同。磁子僅爲一種假設，以便利推算與解釋，初不能與實有其物之電子可等量齊觀也。

第六章 原子構造

遠在希臘時代，卽有原子之說，以爲一切物質皆由一種極爲細微而不可再行分裂之原子所構成。但彼時此僅爲哲學上之問題，而未曾證諸於實際。迨十七世紀英人波義耳 (Boyle) 倡氣體動力說，始以原子解釋物質之變化，亦不外乎構成物質之原子分集離合之作用而已。然於構成物質單一原子之種類及爲數幾何，未能注意及之。十八世紀初，達爾頓 (Dalton) 確定不同之元素二十種，並以爲構成此等元素者爲同一類之原子，而化合物者爲由原子所結合而成之分子。其後元素之發現雖日趨衆多，彼等一般性質之研究，如週期表等，益多闡發，然當時科學家咸抱一種信仰，以爲原子爲分析物質之終極，卽原子爲物質分而不能再分，小而不能再小之部分。原子之內容爲混然一物，且各元素之原子，根本上無共同相似之點。十八世紀中普老特 (Proust) 曾有一切原子均爲氫原子所構成之假想，但其說未能確立，卽遭擯棄。原子爲一切物質最終極之信念，直維持至十九世紀末年。一八九七年湯姆遜之電子說出，彼以實驗證明帶有負電荷之電子爲構成各原子要素之一，而各原子中電子之性狀完全一致。此說既立，舊說遂廢，自是世人對物質構成之觀念不然一變。

早於湯姆遜倡言電子說之前一年，法人柏克勒爾 (Becquerel) 發現含鈾之化合物能放射一

種射線，透過黑紙使照相片感光，宛如 X——射線然，當時名之曰柏克勒爾射線。後二年（一八九八）居禮夫婦注意釷亦具同樣之射線。彼等又察知瀝青鈾礦中含有此種射線甚為強大之物質，分析之得二新元素，曰釷、曰鐳，而以鐳之放射為最強（約較鈾強一百萬倍）。居禮夫婦名放射此等射線之現象為放射性，具放射性之物質曰放射質，凡為放射元素之原子量俱為巨大數值，即彼等在元素週期表中地位恆在最後，此極堪注意者也。

放射物質發現後不數年，英人拉率福特分析所謂柏克勒爾射線者，實含有三種不同性質之射線。一曰 α ——射線，為帶有正電荷之質點，其後證明為帶有二個電子量正電荷之氦核，穿透本領不大， $\bigcirc \cdot \bigcirc$ 五耗之鉛箔即能完全吸收之，在空氣中之射程為七釐。二曰 β ——射線，為帶有負電荷之質點，其後證明即為高速度之電子，其射程較 α ——射線為遠，因其速率較 α 質點為高，故所賦之能亦較大，恆能穿透數耗之金屬板及玻璃片。三曰 γ ——射線，此為一種具有光速之輻射，可視為波長極短之 X——射線，其穿透本領較前兩種射線更為強大。綜合此等放射作用，絕不受外界環境（如溫度及化合作用等）之影響，換言之，放射之遲速多寡，不受人力之支配，故知此種性質乃屬原子之本身。拉率福特繼又發現凡與釷發射之氣體相接觸後，其表面即凝集一層具有放射性之物，其後知鐳亦賦有相同之性質。彼並注意一種放射質之放射強度與時間之關係，成一指數曲線，一九〇二年拉率福特與叔旦根據以上之事實，共同提出放射物質之蛻變理論，以為凡放射原子俱為不穩定之原子，其中組織時時以一定速率在崩潰

之中，而一度崩潰之原子即成一新元素之原子。此新原子若尚不至安定之境界，則以另一種速率繼續崩潰，如此每用一種新速率崩潰即得一種新元素，可由其原子量及其特殊之光譜鑑別之。一放射原子經累次之崩潰，直至與金屬鉛性質相同之元素而後止。此時原子內部之組織穩定，不再繼續崩潰而失放射性。現所知之放射質可分三系，即鈾鐳系（鈾經五次崩潰而至鐳），釷系及錒系。合三系之放射元素不下四十四個。其中生命最長者，其半期壽命（即一羣原子蛻變達於半數為止所歷之時期）可達數千乃至許多萬年（鐳之半期壽命為一千七百五十年），其短者尚不及一秒鐘（釷C之半期壽命為10.1秒）。至其如何提煉及分離此等放射元素，及定其物理的，化學的性質，在今日皆成專門之學問。

放射元素蛻變說繼電子說而出。兩者基於絕不相同之事實而得共同之結論，即原子非不可析離者是也。

湯姆遜析離原子中之電子係加電壓於低氣壓之氣體上，熱一金屬絲至白熾，或投射紫外線於清潔金屬板上，其事皆易為。惟上述放射元素之蛻變係出於原子之自動，非人所能控制（近年發現之人工放射質係用極大能量之質點撞擊原子核而得，下文當論及之。）此似說明，此兩種之原子析離係屬於原子中兩不同之部分。拉塞福特設想一原子內分內外兩部。內部為一堅強組織之核心，稱原子核，其體積甚小而質量幾佔原子質量之全部，帶有正電荷。原子之外部為有若干電子繞原子核循一定之軌道而運行，電子之多寡適與原子核之正電荷量相消而成中性之

原子。人恆以拉率福特之原子模型與一太陽系極爲相似，原子核如日球，而諸電子如諸行星。其實此爲一粗約之譬喻，決不可誤以爲原子內一般之情形均與太陽系相合也。

原子核之直徑約佔原子直徑四萬分之一，而其質量幾等於整個原子之質量。如氫原子僅有一個電子，而電子之質量僅爲整個氫原子之 $\frac{1}{1834}$ 。故一個原子直可視爲一質量集於中心而組織極爲稀鬆之物體。吾人若能將外殼之電子盡行剝去，而將許多赤裸之核置於一處，則此物之密度必異常之大。天體中若干小星球溫度奇高，質量奇大（如樊麥南星 (Van Maanen's star) 大小如地球而質量約如日球），愛丁頓 (Eddington) 以爲此等小星球即爲因高溫度而將其外殼之電子剝奪殆盡之原子所構成者。

研究原子外殼電子連行之情形，乃屬光譜學之事。十九世紀之光譜學上於精確測定其波長及光度之研究而已。一九一三年波爾 (Bohr) 研究氫原子光譜之構造，彼應用量子之觀念於拉率福特原子模型上，得驚人之結果。按諸古典物理所定能量之觀念，一個電子圍繞原子核而轉動時，應產生一連續變化之電磁場於空中，而同時即有電磁波（即光線）發出。因電子之連續放射能量，電子軌道之直徑將愈趨愈小，勢非趨近原子核而終落於核上不止，而所得之光譜應一律爲連續光譜。但事實上，氫氣體原子光譜爲線狀而非連續。波爾之理論：第一點，假設此無限數軌道中有若干特殊優異之軌道，電子在此等軌道中運行而不輻射能量。此等特殊優異軌

道之選擇，當以適應於量子條件爲斷。若此等電子軌道爲正圓，則其半徑當爲

$$r = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 m e^2}$$

式中 m 及 e 爲電子之質量與電荷， h 爲蒲郎克常數， n 爲整正數，卽所謂量子數是也。由此可以計得電子在某一軌道上之能量反比於 n 之平方。 n 增大一倍，電子軌道之半徑增大四倍，而其能量反小四倍。第二點，波爾假設電子在某量子數軌道上循行時，若遇外來之撞擊注入能量，則電子將由此量子數軌道躍進量子數較小之軌道，當其從高能量回復至低能量時，原子將兩軌道能量之差輻射而出成光波。其頻率 ν 將滿足下式：

$$h\nu = E_1 - E_2$$

式中 E_1 ， E_2 爲電子在前後兩量子數軌道上之能量，如此可計算電子在不同軌道上跳躍而發射之頻率。由波爾之理論所得電子可能跳躍而產生之光波頻率，與實際之氫原子光譜中譜線一相較，無不有驚人之適合。今日吾人知電子自量子數 2 以上之軌道躍入量子數爲 1 之軌道，則得紫外射線部分諸譜線，所謂萊曼 (Lyman) 氏線系是也；電子自量子數 3 以上之軌道躍入量子數爲 2 之軌道，則得可見光部分諸譜線，所謂巴爾麥 (Balmer) 氏線系是也；又電子自量子數 4 以上之軌道躍入量子數爲 3 之軌道，則得紅外射線部分諸譜線，所謂帕新 (Paschen) 氏線系是也。由此可見電子擾動愈近原子核，則所放射之能量愈大。氫原子僅有一個電子，爲構

造最簡單之原子；若其他原子，外設有二個以上之電子者，則電子相互間之關係複雜，計算亦繁，但電子在量子數軌道上跳躍而放射能量之原理，將無遠而勿屆。昔日吾人之於光譜僅爲一篇異國文字，看其字跡之美麗而不識其作何語；自波爾引量子說以解釋以來，光譜學在物理學中蔚然自樹一幟。波爾者識得此種文字文法之第一人也。

氣體中原子間之距離較大，諸圍繞原子核循行之電子，即其最外層之軌道亦可互不相加侵犯，故電子在一原子中之行動可完全不受他原子中電子行動之影響，故其輻射可保住各個原子之本性，得線光譜，如水銀汽燈之線光譜是也。若在固體中，原子間之距離較近，其外層軌道互相侵犯而受影響，電子在外層軌道上之行動將極複雜，故其輻射之頻率，將不止單獨原子所能輻射之頻率，於是得連續光譜，如鎢絲白熾燈之連續光譜是也。固體之原子雖相接近，以致外層電子軌道互受侵犯，但其較內層之電子軌道仍可各保住其獨立性而不互受影響。今有一羣高速（即賦高能）之電子撞擊此固體，則其應響將及於原子之較內層電子軌道。此時若能將內層軌道上之一電子撞出與原子脫離關係，但在短時間內，較此量子數爲大軌道上之電子將突躍而入以補其缺，此時原子發射能量。因此類變動爲在接近原子核之軌道上，故能量之變更更爲大，即放射之輻射頻率爲高，即吾人所稱之 X ——射線是也。綜上所述，原子中電子之變動若僅於外層之軌道，則產生頻率較低之輻射，如紅外射線，可見光，紫外射線。若騷動及於內層之電子，則產生高頻率之輻射如 X ——射線。依此理論，氫原子光譜中之紫外射線來曼氏線系

實爲氫原子之X——射線也。頻率更高之 γ ——射線之產生，愛立斯 (Ellis) 以爲起於原子核內部電子之變動。

原子外殼電子層之行動及其變化，關係於光譜（包括X——射線）之產生及其化學性質。然主宰此電子層行動者則爲原子核。

原子核觀念之確立乃爲拉率福特解釋其弟子蓋革 (Geiger) 與馬士頓 (Marsden) 兩人在一九〇九年所作 α ——質點散射實驗之結果。二氏以放射質中之 α ——質點照射極薄之金屬片，發現 α ——質點透過金屬片後，運動之方向有與原射線之方向作偏轉者，其偏轉之角度多數並不甚大，間亦有作四十五度者，甚至偶而遇見完全折回原方向者。 α ——射線爲帶有二個電子量之正電荷質點。當其透過金屬片而偏轉其射程者，拉率福特以爲金屬片中有一種質點亦帶有正電荷，當 α ——質點行經其近旁衝入其力場時，乃遭其驅斥， α ——質點運動之方向以是偏轉。此帶有正電荷之質點即原子核是也。一羣 α ——質點經過金屬箔後而偏轉之成分並不甚大，此表示 α ——質點衝入原子核力場之機會不大。換言之，即原子核之直徑遠較原子之直徑爲小。由計算可知，當 α ——質點趨近離原子核中心之數量級爲 10^{-12} 糎時，方克有可覺察之偏轉方向，而原子直徑之數量級爲 10^{-8} 糎，是以知原子核直徑之數量級決不能超過 10^{-12} 乃至 10^{-10} 糎以上，僅及原子直徑之萬分之一乃至十萬分之一而已。一羣 α ——質點偏轉角度大小之分佈，可用庫侖定律及簡單之或然率計算之。實驗與計算頗爲符合。由此原子核之理論得

以確立，並得略知原子核之大小。 α ——質點實即為氦原子核，直徑既小，而速率又甚大，約在每秒二萬浬左右，所賦能量甚大，約在一千萬電子伏特左右，故能穿越原子而過。在原子論中往往以一電子經過一伏特電位差所作之功為能量之單位，名之曰電子伏特。一電子伏特等於 1.60×10^{-19} 爾格。 α ——質點之能量約在一千萬電子伏特左右，即百萬分之十五爾格左右，誠不為大，但因其質量之微小，故若能集一克之 α ——質點，則其所賦之能量足夠使一百匹馬力之引擎轉動二個月之久。 α ——質點實為最先用於探測原子構造之有效工具。

在上述實驗進行中，如何窺測 α ——質點之發射為極重要之點。在最初之實驗中，係用螢光屏置於放射質之前，當 α ——質點撞擊螢光屏時，則見屏上閃閃作光，如星火之暫明。此器名曰閃星螢光鏡。此一法也。在上章已述過威爾遜之人造雲。空氣中含有水蒸氣至飽和程度，若使之驟冷（使之驟然膨脹），則過剩之水蒸氣將以懸於空氣中帶有電荷之質點為核心而凝成水珠。今當 α ——質點射入此含有飽和水蒸氣之空氣中，則凡為 α ——質點所撞擊之原子皆為破壞，因而帶有電荷（物理學上之術語為電離成游子）同時使此空氣驟然膨脹，則水珠將凝在為 α ——質點所電離之游子上。如是可以直接窺見 α ——質點全程之徑跡。用此法所見者較第一法為真切。此儀器名曰威爾遜霧室。以此器可以窺見一切有電離本領之輻射（如X——射自線， γ ——射線）與質點（如 α ——質點， β 質點）之徑跡。此又一法也。尚有蓋革計數器者，為一金屬之管，管之底鑿一小孔貼以金屬箔，使 α ——質點由此射入管中，他端封以絕緣

體，一金屬尖針自此插入管中，管中置低氣壓易於電離之氣體。管身與尖針各連於電池之一極，其電壓之大小適使針尖不足發生放電現象。今若有一 a ——質點經金屬箔之小孔而闖入管中，爲其所游離之游子行近針尖時，則立刻引起放電現象。此時游子突然增加，因而電流大增，於是可以引用各種方法以計數 a ——質點之多寡。此三種方法爲今日檢察各種高能輻射及質點不可或缺之工具。故略述及之。

原子核之大小已略得其概念如上述。次論原子核之電荷。原子核之電荷爲正，已從上述 a ——質點散射之實驗知之。其所荷之電量必與外殼繞行之電子總量相等，因若不如是，每個原子都負有電荷，與事實相反。然而試問原子核上之正電子量爲幾何，此乃頗關重要之問題也。拉率福特又爲以實驗解決此問題之第一人。一九一一年拉率福特以 a ——質點撞擊一金質箔，金箔在某一面積中所含之原子數可以由計算而知，今又已知 a ——質點之能量及電量，假設金原子核上之電子量爲 N ，加入簡單之或然率條件，可以計得 a ——射線經過金箔後被偏轉之機會爲幾何。蓋革與馬士頓即於拉率福特之實驗室中用閃星螢光鏡觀察一千個以上 a ——質點之射擊。兩氏更用若干種其他不同之金屬箔以代替金箔，最後以實驗之結果與理論相較，知原子核上之電子量 (N) 約爲該原子量之半數。然此爲一近似值 (較今日所知者略高)，非今日公認原子核電荷之數值也。

對此問題從另一方面作研究者爲摩色勒 (Moseley) 之 X ——射線譜之實驗。氏於一九一一

年至一九一四年間以各種不同之元素爲X——射線管之陽極，用照相法以得各元素之X——射線譜。通常X——射線譜可分K、L、M三系。K系之頻率最高，M系之頻率最低。摩巴勒將各元素之X——射線譜逐一加以比照，得下列兩特異之點：(一)各元素之K系、L系、M系線譜之構造甚爲相似。(二)若任以一系中之主線而論，則元素之在週期表中之地位與其主線之頻率有一極爲簡單之關係，即原子序數(原子在週期表中之次序號數)與主線頻率之平方根成正比。此即所謂摩色勒定律是也。尤以K系線譜最能嚴守其律。首先吾人當回憶者，X——射線之產生爲靠近原子核諸電子層之騷動之結果。K系線譜爲最內層電子之騷動，L系、M系線譜依次爲較外層之騷動。電子之愈近原子核者，其行動將完全受強大原子核力場之支配，而不受外層微弱轉動之電子影響。故X——射線譜(尤以K系線譜爲最)雖爲電子層騷動而產生，但吾人直可視爲原子核力場之寫照。K系線譜之最嚴守摩色勒定律者，即其明證。明乎此，吾人可以推斷原子核上之電荷必與原子序數有一密切而簡單之關係。一九一四年叔且與法雅士(Fajans)研究放射元素之化學性質得一定律，即一放射原子如放出一 a ——質點(即兩個電子量之正電荷)後，其所蛻變而成之新原子，依其化學性質而言，在週期表上應退處於較其母體元素後兩位之地位；如一放射原子放射出一 β ——質點(即一電子)後，則其所蛻變而成之新原子在週期表上應進處於較其母體元素前一位之地位。 a ——質點與 β ——質點具有高能量，非來自原子核之蛻變不可，前已知之。綜合摩色勒與叔且之研究結果，吾人可以斷言原子

核上之電子量依原子序數而逐一遞增。如已定得氦之原子核之電子量爲2，其原子序數適亦爲2，故其他各元素之原子核電子量順次卽爲原子序數。例如銀之原子序數爲47，原子核上之正電子量亦爲47，推之原子外殼電子層中之電子亦當爲47個。原子序數之在孟氏週期表中其意義遠不如原子量之重大。昔日化學家所注意者爲原子量，而今日物理學家發現簡單之原子序數有更重大意義，寧非奇蹟。

再次當論原子核之質量。我人首當回憶者，在上章中論及電子之電荷時，吾人知一個電子之質量僅及氫原子之 $\frac{1}{1831}$ 。鈾原子有核外電子九十二個，爲原子之有電子最多者，但原子核質量之增加將遠較電子數之增多爲大。故事實上，我人論及原子核之質量無異論原子之質量也。昔日化學家用化合之定律以定原子相對之質量（恆定氧之質量爲16），名曰原子量，吾人知之稔矣。但自湯姆遜與阿斯頓（Aston）先後作陽射線實驗後，吾人對原子質量之觀念又爲之一變。

湯姆遜於一九〇六年繼其電子發現後更作陽射線之研究。當我人在上章中述及陰極射線時未暇顧及射線之如何產生，今請先略一述之。一低氣壓陰極射線管中之氣體原子（或分子），經X——射線或放射性物質之照射後，則電離成無數兩性之游子。其中負游子卽爲一個電子或一個以上電子之結合。正游子卽爲析去一個或一個以上電子（從外殼電子層析出）之原子。當

射線管之兩極加電壓後，負游子向正極疾馳而去，正游子則向負極直奔而來，此時負極上之原子爲質量巨大速率甚高之正游子所撞擊，大批電子脫離原來循行之軌道而逸出，加入管中原有之負游子合向正極疾馳而去。此即陰極射線，湯姆遜由以發現電子者也。今若在陰極射線管之負極上鑿一小孔，射線管之負極一端另接一玻管，此管與舊管之相通處，即利用負極上所鑿細而且長之孔道，新管中宜維持高度之真空。當正游子在陰極射線管中奔向負極之時，一部分仍撞在金箔極面上，但一部分則穿越此細長之孔道直入高度真空之新管中，即成所謂陽射線。構成此陽射線之質點，當視陰極射線管中原剩之氣體爲何種元素，故其質量不一，即其電荷亦可不同（因視電離時析去電子之個數而定）。湯姆遜用研究陰極射線之方法同樣用兩個電場與磁場以彎曲此陽射線。由數學之推理，可知凡質點之電荷 e 及其質量 m 之比爲定值時，則不問其質點之速率爲何，射線在其垂直方向之照相片上恆畫成一拋物線。若 $\frac{e}{m}$ 之值不同，則畫成另一曲度之拋物線。若 e 之值可用其他方法測知，則吾人不難從拋物線之位置定原子之質量。一九一二年湯姆遜作一氬氣之陽射線實驗，發現在與原子量 202 相當之氬拋物線附近，又有與原子量 201 相當之拋物線。元素表中無原子量爲 201 之元素存在，此疑莫釋。直至一九一九年經阿斯頓仔細研究，始定此原子量 201 之原子實爲氬之同位元素。同位元素者爲原子量不同而化學性質及其光譜完全相同之諸元素也。因其化學性質相同，故在孟氏週期表中同居於一位（即原子序數相同），此由叔旦研究放射質時已得甚多之同位元素，如鐳與釷 X 爲同位元素

(原子序數同爲 88)，但其原子量前者爲 206，後者爲 204。此例在放射元素中不勝枚舉，但在非放射元素中則以阿斯頓之發現爲首次也。

阿斯頓將湯姆遜之儀器加以巧妙之改進，使凡質量相同之質點着於照相片上僅得一點。如是有質量不同之質點，則攝成一排列整齊之黑點，名曰質譜。經長期不斷之研究，今已發現於九十二個元素中大半皆有同位元素。多者一元素又有近十個之同位元素(如鎳、錫、氫等)。全部同位元素之總和，據今日所知，約在二百個以上。而此數將與日俱增。由比較質譜中黑點顏色之深淺，約略可推知合成一普通元素之諸同位元素量的比率。例如上述之氦，由研究其兩同位元素 ${}^4\text{He}$ 及 ${}^3\text{He}$ 之黑點深淺知其合成普通氦之比率爲九比一，即普通製備成之氦氣中有十分之九之元素，其原子量爲 ${}^4\text{He}$ ，餘十分之一爲原子量 ${}^3\text{He}$ 之同位元素。如是混合成之原子量當爲 20.2 ，此即昔日用化學方法所求得氦之原子量也。吾人於此始知普通所見之元素實爲一種或一種以上質量不同，而化學性質相同之同位元素混合而成。昔日用化學方法以求其原子量者，實爲一平均數，而質譜儀始能將此中同位元素個別衡量之也。

由同位元素之普遍發現，原子量之問題始可解答。同時原子之構造又得進一步之瞭解。阿斯頓之質譜更有一重要之發明，即若以氧之質量爲 16 ，其餘各元素之質量皆十分接近整數(所謂整數法則)。如此吾人可知各元素之原子核，爲含有多個質量幾爲一而帶一正電子量之原子核。此最簡單之原子核即氫原子核是也。十八世紀中普老特之理想，不期於今日證之！氫

原子核於原子核之構造有特殊之重要性，吾人名之曰質子，如氦原子核之質量為4，即含有四個質子。氦原子核之普通一種含有 2^0 個質子，他一種則含 2^2 個質子。雖然，使原子核僅為質子所構成，則如上所述，氦之電子量亦宜4，而由其原子序數觀之，僅可得2電子量，故彼時之解釋謂氦原子核中當另有二個負電子之存在以抵消二個正電子量，如是氦原子核之正電荷為二電子量，其質量雖多二個電子之存在，仍可維持舊觀也。同理鈉之質量為 23 ，而原子序數為 11 ，故知鈉原子核中實含有 $23 - 11 = 12$ 個質子， $23 - 11 = 12$ 個電子。至一元素之同位元素，其原子核之質量不同，所含之質子當不等，但增減其負電子之含量，可使同位元素之原子核上所負之電荷仍為相等也。至於質子與電子在原子核中如何結合，如何放射能量，為另一饒有興趣之問題。

然則組織原子核者豈僅質子與電子乎？此一問題。電子為負電荷之最小單位，質子之電荷為正，其量適等於一電子量，而其質量大於電子一千八百三十四倍。依照湯姆遜之電磁質量理論計算，質子之直徑當為原子直徑之一千八百三十四分之一。何以正負兩最小電荷質點之性質不同若是？世有與負電子相類之正電子乎？此又一問題。一九三二年秋美國那曼橋(Norman Bridge)實驗室中安特生(Anderson)用一威爾遜霧室置於磁場強度為 $21,000$ 高斯之磁極間，試攝宇宙線擊破原子核之照相。彼發現有時宇宙線射入霧室中撞擊室中之原子核得兩個高能質點(數萬萬電子伏特之巨)之逸出，其徑跡分兩側彎曲，由磁場之方向可以推知何者為帶

有負電荷之電子，何者爲帶有正電荷之質點。依照當時所有原子核之知識，此正電荷之質點非質子莫屬。然細察其徑跡之特性（如射程，電離本領等）與普通所見之質子不類。反之其徑跡之種種性狀恰與同時並出之負電子之徑跡酷似。經多時縝密之考慮，安特生發表其發現，以爲此非帶有正電荷而其他性質與普通電子完全相同之質點不可。因名之曰正子，有時亦名之曰正電子，爲別於以前所知帶負電之電子也。幾與安特生同時勃拉蓋脫 (Blackett) 與烏却林列 (Ochialini) 在英國之卡芬狄士實驗室中利用威爾遜霧室與蓋革計數器之巧妙佈置，亦以宇宙線之輻射撞擊原子核，得結果與安特生極爲相類。其後有以鈷⁶⁰之 γ ——射線爲能源者，亦可激發原子核中之正子飛逸而出。自人工放射質發明後，正子之見證，益爲司空見慣矣。

拉率福特於一九一八年預料原子核中有一種新質點之存在，其質量爲1而不帶電荷。但在實驗室中曾求之多時而未得。一九三〇年德人波泰 (Bothe) 與培革 (Becker) 曾以鈷之 α ——質點（取其不與 β 、 γ ——射線相共）撞擊各種元素。彼等發現某幾種較輕元素如鋰、硼、氫等一經 α ——質點之撞擊，即能發射一種射線，其穿透本領甚強，能透過2耗之銅片，而尤以鈹所產生者爲最盛。此種射線穿透本領之強大，決非當日所知諸質點之所能及。於是波泰歸此項射線爲 γ ——射線而無疑。此項工作於一九三二年春爲法人居禮——許里屋夫婦注意及之。彼等利用更強盛之鈷源以撞擊鈹原子核，彼等察得原子核所激發之輻射，能穿透數層厚之鉛板（在彼時彼等得最強者能穿透三十釐之鉛板）！彼等又以含有氫之物質（如蠟）爲此新輻射所

照射，則高能之質子從蠟中飛逸而出。彼等又曾以此輻射撞擊其他輕元素如氫、碳，而使其核逸出，於是彼等以為高頻率之電磁輻射（ γ ——射線）能將動能傳遞於氫與其他輕元素之原子核上。雖然，此種斷語有一極大困難，即依此假設而計算最後撞出之質子或其他輕元素之原子核之能量可達數百萬電子伏特之巨。一光子（在此即波泰氏之輻射）傳遞能量與動量至一質子上（或其他輕元素之原子核上）時，此中機構，應如康頓（Compton）效應中一光子傳遞能量與動量至一電子身上。其間必須遵守能量不減與動量不減之兩大定律。而今從計算上，波泰氏之輻射與實驗不能吻合。同年研究此問題者，為英人夏特惠克（Chadwick）。彼以為若能不拘泥於波泰氏之所見，不以此項穿透本領甚強之射線為波動輻射，而為一種新質點之發射，則上述困難之點可以冰釋。此項新質點之質量與質子之質量十分接近，但不帶電荷，名之曰中子。（中子本身並不能電離氣體，而當中子發射時，原子核得反坐作用，因而電離氣體，知其存在。）因其不帶電荷，故不受原子核中電場之影響，能直入直出，穿透本領以是強大。夏特惠克以為鈹原子核撞得一 a ——質點後，即放出一個中子，以式表之如下：



元素符號之右上角數字表元素之質量，右下角數字表原子核上之電子量。由此式中知鈹原子核撞得一 a ——質點後，放出一個中子而同時蛻變成碳原子核。

放射元素能蛻變爲他種較輕元素，直至成鉛爲止，本章之首已有論列。此種蛻變非人力所能控制，稱之曰自然蛻變。較輕之諸普通元素極爲穩定，不能自然蛻變。上述之缺因擒得一 α ——質點而放射中子，其本身則蛻變爲碳原子，此爲人工使穩定原子蛻變之一例也。雖然，人工蛻變原子之第一聲實早於一九一九年由考克拉夫脫 (Cockcroft) 與華頓 (Walton) 得之。彼等用高速之 α ——質點撞擊氮核而得質子之放射。如是使氮 N_{14} 蛻變成氧之同位元素 O_{17} 。至一九三〇年，拉率福特發表諸輕元素自硼至鉀（除氧與碳外）皆能以高速 α ——質點使之人工蛻變。但人工蛻變之工作自一九三四年居禮——許里屋夫婦發表其獲得完全人工蛻變元素之經過後，乃步入一新階段。兩氏在此項工作首次之發表中，記述下列三點：（一）硼、鎂、鋁等輕元素經鈾源照射後呈放射性。（二）所放射者爲正子。（三）此類人工放射質之半期壽命大都在數分鐘之間，如鋁爲三分十五秒，硼爲十四分，鎂爲二分半。此類工作現正風起而雲湧焉。

一九三二年以前原子核之組織熟知爲二元，即質子與電子。自是以後，正子與中子之存在相繼發現。蒲里 (Pauli) 及樊密 (Fermi) 因欲解除 β ——線譜之某項困難，而有中和子 (Neutrino) 存在之設想。樊密測度此新質點之質量幾等於零，而不帶電荷，其電離本領極爲微弱。故中和子雖爲理論上之需要，而至今不易（若非不能）由實驗察得之也。一九三七年美八斯德里 (J. S. Street) 與司第文遜 (D. C. Stevenson) 用威爾遜霧室研究宇宙射線中高能質點之輻

射損失及電離損失。彼等發現有能量大於 10^6 電子伏特之徑跡，為一質量大於一電子而電荷為一電子量之質點所成者，其質量約大於電子一百七十倍，而電荷可正可負，因名之曰重電子 (mesotron 或 meeron)。此新質點之來源及成因，尚在研究之中。原子核之組織因以上許多新質點之發現，日益闡發於吾人之前，但同時亦日呈錯綜複雜之妙。原子核組織之研究有賴於新工具之發現。最初之工具為拉率福特所用之 α ——質點，賴此工具完成艱巨而光耀之工作不少，迄今 α ——質點尚為原子核工作者之寶器。繼此發現之諸新質點（如質子、中子）亦往往轉以之為發掘原子寶藏之工具。自氫之同位元素（質量為 2 之質子名曰重氫核）發現後，又添一新利器。近年美人羅郎斯 (E. O. Lawrence) 以電磁場作一巧妙之佈置，使場中之一游子輾轉增加速率至一非常強大之能量，此儀器名曰迴環器 (Cyclotron)。羅氏曾構一重 220 噸之迴環器，能得能量為一百微安培，一千六百萬電位之重氫核，彼以此高能之重氫核撞擊鈹而得空前強大之中子，若能源易以鐳元素，需重二百磅之鐳始克得此同能量之中子！羅氏又利用此迴環器之高能質點以撞擊元素得原子質量為十四之碳之同位元素，此碳之同位元素為具有放射性者，其半壽期達數年之長，此人工放射性之碳同位元素，將為未來世界中重要物無疑。羅氏近得洛氏基金 (Rockefeller foundation) 之助，將構一重四千九百噸之迴環器，行見原子中珍奇之寶藏將為此碩大無朋之利斧所開發而呈現於世人之前，我人試拭目以俟之。

第七章 物理學在中國之發展

吾國之派遣留學生，雖遠在七十年前（同治十一年清政府派遣第一批之一百五十名學生至美國），然而習自然科學者少，專攻物理學者尤渺。留學生中研習物理學者實自民國初年始。最早者爲李耀邦先生之研究電子，胡剛復先生之研究X——射線，顏任光先生之研究氣體游子及氣體滯性係數，李書華先生之研究電場滲透，丁燮林先生之研究熱電，饒毓泰先生之研究汞弧光燈之激發電位，葉企孫先生之測定蒲朗克常數（Planck Constant）。胡先生遊學美國，於民國七年歸國，顏李丁三先生各遊學美法英國，於民國十九年間先後歸國。胡與顏李丁諸先生歸國後，分掌南京高等師範及北京大學講壇，竭力籌劃物理實驗之設置及課程之充實，物理學之在我國大學中得樹一幟，實肇始於是時。當年南高北大，蜚聲國內；而當年得列諸先生之門牆者，今日皆爲吾國物理學界之中堅。緬懷往昔，諸先生之筭路藍縷，以啓山林之功，令人景仰不置。

清華改組大學成功後，以其特殊優越之環境，南北學人，一時紛集。葉企孫先生原執教於東南大學，乃遷絳帳，主辦清華大學之物理系，網羅人才，擘劃課程，添置研究設備，於是其教授得於教學之餘，注力於高深之研究，開吾國物理學者在國內自作研究之先河。民十九，清

華大學教授吳有訓先生發表其X——射線散射之研究結果於英國自然 (Nature) 週刊上，實爲吾國人在其在國內研究之結果獲載於國外科學學報之第一人。清華之物理學系，人才輩出，譽滿中外，豈屬偶然！

方國民政府之奠都南京也，鞏鼓初息，干戈纔罷，卽汲汲於謀我國高深學術之研究，及科學應用之發展，乃有國立中央研究院及國立北平研究院之創立。兩院皆設物理學研究所，由丁燮林、嚴濟慈兩先生分別主持之。慘淡經營，十餘年如一日，迄今兩所爲我國物理學研究之中心。而同時吾國各大學亦以政治安定之故，各物理學系又呈蓬勃之象，就中以查謙先生主持之武漢大學物理系，張紹忠先生主持之浙江大學物理系，謝玉銘先生主持之燕京大學物理系，朱廣才先生所主持之中法大學物理系，裘維裕先生主持之交通大學物理系，張貽惠先生主持之師範大學物理系，桂質廷先生主持之東北大學物理系，倪尙達先生主持之中央大學物理系，最爲發達。初，饒毓泰先生主持天津南開大學物理系，苦心孤詣，建樹良多，與胡剛復先生所主持之上海大同大學物理系同稱爲國內私立大學中之翹楚。民二十一年，饒先生由北平研究院改入北大主持物理系，勵精圖治，銳意求新，北大物理系一時呈中興之象。各大學中之教授，以其登台講授之餘緒，復佈置實驗室，從事於高深專題之研究。民十八以還，各大學物理系之附設研究部者，先後有清華、北大、中大、燕大、武大等校。研究之結果撰爲論文，或刊專刊，如各大學之理科季刊及兩研究院之論文叢刊，或發表於歐美各科學期刊。舉凡世界各著名

物理學期刊上，莫不有國人研究之貢獻焉。

中國物理學會於民二十一年成立於北平，是會迄今仍爲我國物理學者唯一之結合。至今會員有二百餘人。年有集會，會有論文。集會地點，曾遍南北，有北平、青島、上海、南京、昆明等處。抗戰以後，以交通阻梗，年會分地舉行，有昆明、重慶、川西、貴州、桂林、東南七區。迄今已開年會十有一次。年會集會，會員例出其平素研究心得，撰爲論文，在會中宣讀，所以砥礪切磋，收他山攻錯之效。以論文之量而論，二十一年第一屆年會僅十篇，至抗戰前一年第五屆年會則有五十篇，三十二年之第十一屆年會，僅就昆明一區而言，論文有四十篇之多。物理學會刊有學報一種，所以刊載會員之專著，已發行四卷，以其質素之優良，在國際物理學界中獲得相當位置。此外物理學會組織審查名詞委員會，曾受國立編譯館委託，於二十二年審定物理學名詞之中文譯名八千餘則，翌年由教育部公布之，此於我國物理學之普及有莫大之助益焉。

抗戰以後，吾物理學界鑒於國家之需求，凜於時代之使命，直接間接，皆能負起抗建大責。如清華大學之添設無線電及金屬兩研究所，北平研究院物理學研究所之注重光學儀器之製造及地球物理探礦。他如個人之直接參加軍隊工作者，有李國鼎先生之參加防空測照，錢家麒顧菊珍夫婦之投効紅十字會X光隊；其主持後方建設事業或參加兵工之製造者，如王守競先生之主持中央機器廠，劉晉鈺先生之主持昆湖電廠，翁文波先生之主持甘肅油礦局之測

探，顏任光、蔡金濤兩先生之主持桂林無線電器材廠，方光圻先生主持兵工學校之教育；葛正權先生之主持航委會氧氣之製造，龔祖同先生之主持兵工署軍用光學器材之製造，方聲恆先生之主持中央工業試驗所之電學儀器製造，顧功毅先生之以物理學方法探測易門、簡舊、昭通、東川諸礦產。凡此諸人，皆以物理學者之身，出其平素經驗學識爲國盡瘁，有足多者矣。

科學教育與研究，首重教材與儀器。吾國物理學者自編之教本有薩本棟先生之大學普通物理學，周君適、姚啓鈞兩先生之高等物理學，嚴濟慈、李曉舫兩先生之理論力學，胡剛復、楊孝述、胡懿風三先生之初中物理學，葉企孫、鄭衍芬兩先生之高中物理實驗，倪尙達先生之高中物理學，周昌壽先生之初中高中物理學，戴運執先生之初中物理教本。關於儀器方面，商務印書館、中華書局、科學儀器館、實學通藝館、大華儀器公司等向能供給若干。中央研究院物理學研究所曾受中華教育文化基金會董事會及管理中英庚款董事會之贊助，製造整套高中物理儀器，廉價分售於各學校。抗戰後內遷以來，北平研究院物理學研究所受教育部之命製造顯微鏡二百套，分配於專門以上各學校，與中央水工實驗處合作製造水準儀一百套，以應測量工程之需，又製造水晶控制振盪器一千餘具，供給無線電界。他如成都華西大學儀器工廠及教育部之儀器工廠，製造一般學校應用之儀器。凡此皆有助於吾國物理學教育及研究之進展。

物理學發展迄今，大至宇宙之問題，小至原子核之組織，莫不囊括其中，其門類之多，範圍之廣，決非一大學或一研究院所能包羅者，而我國物理學界以極短之歷史，已能培養若干人材，步武歐美此學先進諸國，或沉思於宇宙之外，或鑽研於原子之內，對物理學之全貌各部加以探討。舉其犖犖大端，如研究相對論及宇宙論者有周培源、東星北諸先生；研究流體力學者有周培源、王竹溪、趙九章諸先生；研究X——射線者有吳有訓、鄭衍芬、涂羽卿、陸學善諸先生；研究光譜學者有嚴濟慈、饒毓泰、吳大猷、謝玉銘、周同慶、鄭華燧、吳學周、鍾盛標、陳尙義諸先生；研究電學者有溫毓慶、薩本棟、朱物華、楊肇燦、卞彭年諸先生；研究磁學者有丁燮林、桂質廷、施汝爲、陳宗器諸先生；研究原子核物理者有趙忠堯、張文裕、褚聖麟、馬士俊、沙玉彥諸先生；研究鑷學者有鄭大章、李國鼎、王淦昌、葉蘊理、施士元諸先生；研究宇宙射線者有霍秉權、胡乾善、周長寧諸先生；研究金屬及非金屬品體者有岳劼恆、陸學善、余瑞璜、周如松諸先生；研究無線電者有任之慕、孟昭英、葉楷、范緒筠、倪尚達、馮簡、陳茂康、潘承詒、蔡金濤諸先生；研究應用光學者有嚴濟慈、龔祖同、張宗蠡、梁白先、趙元諸先生；研究熱力學者有黃子卿、王竹溪、朱應詵諸先生；研究統計力學者有王竹溪、張宗燧諸先生；研究聲學者有丁燮林、馬大猷、周同慶諸先生；研究地球物理者有朱廣才、李善邦、顧功敘、翁文波、陳宗器、張鴻吉、劉朝陽諸先生；研究滯性者有江仁壽先生；研究真空技術者有何增祿先生。至因研究有特殊之貢獻，受國際之榮譽者，在二十四年有吳有

譚先生爲德國哈萊 (Halle) 自然科學研究院推舉爲會員，同年嚴濟慈先生爲法國物理學會推舉爲理事；又受聘出國講學者，二十四年有薩本棟受美國俄亥俄大學 (Ohio State University) 之聘爲訪問教授，三十二年有周培源、孟昭英、張文裕三先生同時接受美國加省理工大學之聘赴美講學，此豈特個人之殊榮，抑亦國族之輝光也。我國物理學方面已入能獨立研究之途，距矚未啓，草莽初闢之時，尙不及三十年。今日者我國物理學之基礎已備，途徑洞開，此後歲月，將如晨曦之初暎，轉而爲如日之方中，蒸蒸日上，將來物理學之進步，中國物理學家已將分擔一部分責任矣。

雖然，居今日而言物理學之研究，非易爲也。獨處斗室，以極簡陋之儀器而能有大發明之時代已成過去。今也必需集衆多之人材，具優良之設備，更假之以時日，三者缺一，事未易成。觀彼今日西方諸國之物理學，歷數百年深厚之歷史，迄今則枝葉繁茂，蔚爲大觀；每一新現象或一新理論出，則鑽研者無慮千百，今日一集會，明朝一展覽，觀摩切磋，討論辯難，昕夕從事。政府復錫之以名器，優之以待遇，書籍儀器，或出之於富貴之捐贈，或謀之於政府之設置，凡所欲求，無不咄嗟立就，以是學術猛晉，代有傑人。物理學之研究，初非以謀實用爲唯一鵠的也。然其研究之結果，在今日應用之廣，實無其匹，福國利民之例，豈勝枚舉。若日務汲汲於事功之較量，何者宜加以獎勵，何者宜加以限制，則實爲捨本逐末，吾人期期以爲不可也。

本章所述，秦半根據科學第十九卷第十一期（民國二十四年出版）嚴濟慈先生之二十年來中國物理學之進展一文，非敢掠美，謹此聲明，並誌謝忱。

第三篇 化學

曾昭掄

第一章 化學的範圍

化學爲自然科學之一重要部門。其研究對象，以物質及其變化爲中心。在此門科學中，所討論之事件，可分下列各項：

- (1) 各種物質及其成分性質；
- (2) 此項物質所起化學變化，以及由此而生之產品；
- (3) 使此項變化發生所需之情形，與防止此項變化所需之情況；
- (4) 發生此項反應時所牽涉之物質與能量。

對於一件東西或者一宗事情，各門科學之看法或者注意點，彼此有別。例如一塊鋼板，一根鋼條，與一根鋼絲用途，各不相同。從工程師眼光去看，此數物大有區別。可是從化學家觀點來說，這些都是由一種材料（鋼）所構造。在另一方面，一把椅子，無論是鋼的、木的、或籐的，都可以坐；在用途方面，差別有限。然而按材料來說，這些却完全不同。又如一隻醜陋

的花瓶，與一件美術出品，從藝術家眼光看，可有天淵之別。化學家却說，祇要此兩瓶都是瓷器，便可看作一類物品。總而言之，化學家祇注意構成一件東西之材料；而對於該物之大小、形狀、美醜等等，則比較不甚介意。

第二章 化學與近代人之生活

現階段中之人類生活，早已與化學發生不可分離之關係。中國社會上，常常提到開門七件事，就是「柴米油鹽醬醋茶」。此中一半以上，油鹽醬醋，皆是化學製造的產品。米茶爲農產品，柴則有關林業，似乎隔化學要遠些。然而現代農業之發達，得力於施肥不少。肥料供給植物所需化學要素。不少一部分肥料，現在係在化學工廠製成。無論吃下那種食品，到了人的身體裏面，總是經過一種生理化學變化，被人體吸收利用。茶之所以受人歡迎，亦不過因爲茶葉中含有茶鹼(caffeine)及單寧質等。前者帶有溫和刺激功效，後者則能助消化。至於林中樹木之生長，雖大都賴人工施肥，但是燒柴煮飯時，燃燒現象，就是一種化學變化。

吾人日常生活當中，衣食住行四大部門，無時無地，不與化學發生關係。關於食一方面，上段業已提及。食物消化，本身就是一種化學作用。最近幾十年來荒地之開闢，糧食之增產，實有賴於化學肥料。一百多年以前，經濟學家馬爾薩斯 (Malthus)，預料一百年後，地球上將因糧食不夠分配，人口無法增加。此項預言之所以未曾實現，不能不歸功於化學家與農學家。化學家發明肥料製造，農學家改良農作物品種；於是方將可耕面積增加，每畝生產量也增多了。研究營養學之結果，使我們認識維生素爲食品中不可缺少之物，少了便有發育不全

或發生病症之險。維生素之供給，可自食品挑選上得到保證，或服特種食品以資補充。例如鱈魚肝油 (cod liver oil) 裏面，含有甲種及丁種維生素甚高。所以過去一代醫生，皆勸病人、小孩、及身體虛弱者，常常服用此物。一般不慣於吃魚肝油之人，雖則討厭那種腥味，不得不捏住鼻子，勉強咽下去。近來在美國方面，利用化學方法，提煉魚肝油精，早已成功。要得到此種滋養品，再也用不着捏住鼻子，硬吞魚肝油了。

近代人身上所穿服裝，沒有一樣不是多少經過化學手續，製造出來。不論我們身上穿的是棉布、呢絨、或係織品，在其製造當中，免不了經過化學處理。棉織品大都經過漂白手續。羊毛與絲，必需預先洗過，以去其雜質。這些天然紡織纖維素以外，十九世紀末年以來，又加上了人造絲，最近並有人造羊毛實現。老式人造絲，係以棉花或木材作起點，中間經過幾步化學處理，完全是一種工廠產品。近來美國所出「耐倫」絲 (nylon)，更是以煤及空氣作為最初原料。我們身上所穿衣服，大部份是染成紅綠藍黑等種種顏色；另外一部份，經漂白後保持白色。漂白與染色，皆係化學手續。染色要用染料。人類最初所用染料，全是由植物中取出。一直到今日，印度和中國西南部，仍有若干藍靛田存在。但是自從十九世紀中葉以來，綜合染料工業之發展，使人類所用染料，絕大部份，改從煤焦油作起點，製造得出。綜合茜草紅 (alizarine) 發明以後，法國境內茜草田，頓趨消滅。人造藍靛成功，亦令印度此項植物的栽植，大形減少。現在除開少數天然黃色染料以外，人們很好會想到使用植物色素。至少在染料

生產方面，人工確已巧過自然。古代有一種漂亮的紫色染料，名爲「泰利安紫」(Tyrian purple)者，須自小亞細亞海中一種軟體動物 (mollusk) 身中取出。因其如此稀貴，祇有帝王所穿皇袍，夠得上以之染色。近代研究結果，證明此物不過是一種「二溴藍靛」；將藍靛分子中兩個氫原子用溴替代，使得該物。而且自然界似乎將溴原子擺錯了地位；因爲如果將那兩原子換個地方，所得產品，顏色更要漂亮些。衣服以外，皮鞋、帽子、紐扣、以及其他在我們身上找得到的東西，不用說，全都是些化學工業產品。假如沒有化學工業，我們不免要回到自然，重過原始人生活。

住的問題，與化學工業，關係亦甚密切。自從人類由穴居土屋進步到住磚房以後，居住處所，到處布滿了化學產品。磚瓦水泥、玻璃，全由化學手續製成。地板門窗，以及室內傢具，免不了都要塗上油漆，以資保護。沙發彈簧、茶杯飯碗、花瓶痰盂、煙盤被單，那一件不是化學之恩賜。老式房屋以外，現在還有全部鋼架（不用磚牆）的廠房，玻璃磚砌的水晶宮。此類變化，亦祇有在化學發達之今日，方可談到。至於克服黑暗之方法，自古代之油燈、蠟燭，到近來的電燈、煤氣燈、汽油燈等等，皆係利用化學製造產品以發光。就電燈來說，二三十年前之碳絲燈，至今日早已全爲鎢絲燈所代。近幾年來，利用水銀蒸氣在低氣壓與高電壓下所發光波，射在一種鎢礦上，產生磷光現象，遂得所謂螢光燈或日光燈，其光線在品質上近似太陽光，因此人在燈光下工作，感覺如在白天一樣舒服。此種日光燈，在英美等國，已經廣博採

用。二十年後，也許目前慣見之鎢絲燈，祇可在博物館中找到了。他如冬天烤電爐，夏天開冷氣。此等享受，不是靠化學，那做得到。

最近兩百年來人類文化之大進步，一方面在於巨大距離之征服。除開是為鍛鍊身體，保持健康，或者遣情取樂，現代人出門作較長距離旅行，很少需要拿兩條腿來跑。中國小說，描寫一羣人在狼狽的時候，總說「祇恨爹娘生得腿短」。在近代人生活當中，腿長腿短，却並不怎樣有關係；因為現在走動的方法，通常並不靠腿，而有各種交通工具，可以代步。地上走的火車、汽車，水裏走的輪船，皆是用鋼鐵造成。空中飛的飛機，則須用輕金屬（鋁、鎂等合金）作為構造材料。鋼鐵與輕金屬，係由冶金工業（化學工業中一重要部門）得來。行駛飛機與汽車所需汽油，也是化學工廠產品。電報、電話、無線電、電影傳真等新時代通訊方法之引用，省得人跑多少腿。此等事業，亦係建立在應用物理與化學的基礎上。

由以上各段所述看來，二十世紀之人類生活，從物質享受上說，實遠較上古及中古時代為優裕。昔日帝王所想不到之奢侈，目前一般平民，視作家常便飯。每位年輕小姐，現在卻能打扮得和公主一般，而且不必花太多的錢。當然講到享樂，一個人首先必需得保持健康。最近一百年來醫藥之驚人進步，公共衛生之發達，使人類平均壽命得以增加，死亡率得以減低，疾病之痛苦亦得因而減少。若干年以前認為無法治療之病症，現在皆可以救治，由此縮短害病時間，降低死亡數目。在歌頌近代文化的偉大貢獻當中，吾人不得不特別指出醫藥進步；而近來

醫藥之所以得有驚人進展，一大部份不得不歸功於化學的貢獻。化學家發明了各種麻醉劑，使外科手術大為便利。他發明止痛劑、退熱劑，以此減少病人痛苦。又發明安眠劑，使失眠者得以休息。以前醫病所用藥物，幾乎純然是從若干藥用植物中取出。中醫目前仍用此法。此項醫藥，純憑經驗；對於某種植物能醫某病之理由，並不明瞭。化學家對此等藥物，予以研究，從中提出其所含鹽酸 (nitric acid) 或其他要素，然後設法找出該項要素之成分結構，並研究其生理效應。由此該物之究竟能否治病，與其能以治病之原由，乃得明白。找出此等要素的化學結構以後，化學家再進一步，在試驗室中，綜合此項要素以及結構與之類似的化合物，比較其醫療功效。結果發現，往往人可勝天。試驗室中所製結構與天然物類似之產品，其效力有時竟勝過天然產品。如撲瘧靈 (mashoquine) 用來治瘧疾，實優於天然的金雞納霜，亦係此中一例。更進一步，化學家又發現若干綜合產品，不一定與天然藥物有何等結構上關係，而其醫療功效，則甚驚人。近來此等例子甚多。如六〇六九一四之治梅毒，阿梯平 (atelline) 之治瘧疾，藥特靈 (yaten) 之治痢疾，磺醯胺 (sulfonamide) 及其衍生物之治肺炎等病，是一些大家熟知的事實。利用化學藥品以治疾病之方法，稱爲「化學治療法」(chemotherapy)。自從二十世紀初年愛立希 (Eilich) 發現用六〇六治梅毒以來，因爲化學家與醫學界取得連繫，加倍努力，四十年中，此種學問，進步異常驚人。

人類不但要享樂，要保持健康，同時也關切自己安全。近代社會當中，個人自衛，已成次

要。主要是一個集團，如何能講求集體安全。在戰爭還沒有方法廢止以前，每個國家，不得不有適當之國防，以備應戰，以求保衛疆土，保證本國人民之生活方式及其生命財產。所謂國防，一部建築在精神與組織上面；另外一方面，則在於物質上之準備。物質方面，當然首重武器。目前作戰所用武器，與化學關係非常密切。飛機、大砲、坦克車等等利器，皆是由金屬製造。空軍與機械部隊之活動，有賴於使用汽油作燃料。炸彈、砲彈等等，裏面裝滿是炸藥。這些材料，全都是化學工業產品。化學工業不發達之國家，要談國防，要圖獨立，根本就不可能。

化學之發展，不但大大改善了人類物質生活。對於其精神生活，貢獻亦甚偉大。留聲機、電影、與無線電之發明，使娛樂方法，範圍大為擴張。此等發明，誠然主要是應用物理學發達之直接結果，但是沒有化學家供給製造所需材料，恐怕那些發明，就無法可為人類利用。製紙工業之迅速進展，對於傳播文化，關係特別重大。我們甚至可以說，最近百多年來各門科學之進展，皆有賴於製紙工業。有了夠多的紙，有了印刷工廠，然後專家研究結果，可以大量印出，供給同行參考，由之引起進一步之研究。我們不要忘記，紙張乃是化學工廠產品；製造印刷機器與鉛字之材料，亦係由化學工廠製造出來。

化學研究的範圍，實甚廣博。在一方面，這種學問，站在數學與物理基礎上。在另一極端，它進入生理與醫藥園地。熱力學與量子力學，已成化學研究之一重要部門。許多有機化學

家，則日益趨向於生理化學與化學醫療之探討。化學有純粹理論的一面，也有應用的一面。在純粹學術研究上，化學家追究比原子還小的單位；或則綜合代價奇昂的胺酸(amino acids)，拿來餵老鼠，作營養試驗。至於應用化學範圍之廣博，已詳以前幾段中，無須贅述。

各門科學之劃分，不過是為學習方便起見。追根到底，則各門科學之界限，往往很難劃清。而且似乎也不一定劃得那樣清楚。大體說來，科學愈形發達，此種界線愈難劃清。以化學為例，一百年前，物理、化學、與生物三門學問，其所研究之問題，彼此相隔頗遠，大抵不致互相重疊。現在情形，却大不相同。比方說，量子力學工作，很難說究竟應屬於物理學家，還是屬於化學家。對於刺激素(hormones)之研究，有機化學家與生理學家，同樣發生興趣。在此種科學交界地上，偉大貢獻，最可能發生。分得太清楚了，不但不可能，而且可以不必。為着解決此類問題，應該有幾門不同的科學家，共同協力。或則如果可能，我們應當培養一些多能或精通幾門的科學家。如此去尋求宇宙奧妙，成功希望或者更要大些。

姑且保留目前通行之人為標準，將自然科學分門別類，成為數學、物理、化學、生物、地質等等；化學與其他科學之關係，顯然是很密切的。關於此門學問與農工醫藥之關係，上文業已述及。在此祇就化學與其他自然科學之連繫，略為中述幾句。化學家供給各門科學研究所需材料。如果沒有此種材料的供給，物理學工作，一定要比現在煩雜得多。生物學家，依賴化學工廠，供給他所需染色劑、保存劑、酒精、石蠟、與玻璃片。生理學與化學之關係，更是密

切到不可分離的程度；許多生理研究，皆以化學為基礎。地質與工程上之工作，常會用到化學分析。最後我們不要忘記，一切科學研究所用儀器，均由各種化學產品製成；所用藥品，亦係由化學工廠供給。對於訓練知識青年，化學是一種良好工具。學習化學以後，不但吸收一部可寶貴的內容。而且同時在思想上也得到一種訓練。化學一門在教育上之價值，不容忽視。

化學研究，不單祇改善人類物質生活，而且使他們的精神生活，充實與豐富起來，此點上文已經提到。所謂精神生活的充實，不限於若干實用知識之搜集與發現；而且牽涉到高深理論，由此可以滿足人類求知的最高慾望。在好幾方面化學將我們引到宇宙間基本問題，進至科學與哲學之交界地。化學家研究結果，使我們知道，一切物質，全是由原子構成。所謂原子，並非單純，而是具有一定構造，其中包含有一個原子核。最近連原子核內部構造情形，也有人加以研究，開始得有若干概念。在另一方面，化學研究，開始告訴我們一點關於生命之謎。動植物所患疾病當中，一類病係由細菌或其他低級生物所引致；如肺炎、肺癆、痢疾等是。另外一類，稱為「毒液病」者，則係由「毒液」(Virus) 傳染而來，如天花即是一例。這類毒液，近來經過化學研究，認明裏面含有蛋白質類的化合物，可在固體狀態下離析出來。此種要素，自己單獨不能繁殖，但附於一種適當生物體，則可發生繁殖現象。因此所處地位，介乎有生命與無生命之間。最有趣的一點，是此類由毒液離析出來之要素，其分子複雜程度，尚不及有些人工綜

合之化合物。至於是否由此作爲起點，我們可以窺探生命之奧秘，則尙有待於化學家與生物學家作進一步努力。

第三章 化學分類法

化學一門學問，其範圍既屬廣博；為研究方便起見，其下又分若干門類。專門研討碳素化合物的化學，稱為有機化學。不含碳之化合物以及各種元素，則屬於無機化學範圍以內。討論化學上各種基本原理，一般性定律，以及重要學說之學問，稱為理論化學或物理化學；「理論」二字，顯其與應用化學相對立，「物理」兩字則示其與物理學關係特別密切。膠體化學 (colloidal chemistry)，專門討論物質在膠體狀態下之現象。分析化學，範圍在於各種物質之離析、偵查、鑑定、與成分測定。生物化學，研究與生物（動物及植物）有關之各種現象；其中特別有關生理的一部份，稱為「生理化學」。研究工業上各種化學產品的製造，屬於工業化學（應用化學）園地；將化學工業上所遇到之工程問題加以探討，則稱為化學工程。將以上所述各部門化學裏所含重要事實與原則，抽選出來，湊合在一起，便成所謂普通化學。當然正和上節所提到之科學分類一般，各門化學間，界限並不十分清楚，而且大可不必分得太清。還有若干門類，實際上是跨在兩個或者幾個部門上。例如有機分析一門學問，便是介乎有機化學與分析化學之間，兼跨這兩部門境地。

第四章 化學發達略史

研究任何一門學問，追溯其發展史，是具有興趣與意義的一件事。對於此點，化學自非例外。嚴格說來，化學之正式成爲一種科學，歷史尙不足兩百年。但是化學工藝，歷史相當悠久。初步化學理論，亦發源於中古時代以前。在本節中，特將化學發達之過程，加以簡略扼要的敘述。

古代化學工藝——化學工藝之起源，較之人類有紀載的歷史，更要早些。世界上人類文化發祥最早之處（近東地方），遠在西曆紀元前四千至三千年之時（即距今約五六千年以前），即已由新石器時代進入銅器時代。當時所製銅器，大致即係探出銅礦（如孔雀石），加以冶煉，使其變爲金屬狀態，以供使用。近年來各國考古工作之積極進行，對此方面，供給資料甚多。例如在法國與西班牙，發掘了許多石洞（這些大致至少是距今一萬年以前的遺物）。由洞中所藏物品，得知相當好的紡織品，與彩畫陶器，在新石器時代，早已存在。他如釀酒、製革，以及用金銀作首飾等等，歷史均甚悠久。大體說來，世界上之有化學工藝，距今至少有一萬年以上的歷史。不過當初人類製造此等工業產品，方法全憑經驗得來。最初或係偶爾發現，後來由經驗繼續加以改良。對於該項製造所含學理，則並不知悉，所以可說是「知其然而不知

其所以然」。此種情況，一直維持到十八世紀中葉以後。最近一百多年，方因化學科學之突發猛進，早經應用的製造手續，得到解釋，由之進步乃得加速；同時許多新工業，如雨後春筍一般，一一興盛起來。中國開化，雖或後於近東埃及，但在世界文化史上，仍不愧為一名老大哥。當中古時期歐洲淪入黑暗時代之時，我國文化，獨能維持不墮。其工藝出品，不但不遜於他人；而且在若干方面（如絲織品、瓷器等），深為西洋所欽羨。祇惜幾百年來，為閉關自守所誤，致令西人得着先鞭，我等則拾唾餘，深可痛心。今後急起直追，尚有待於國人加倍努力。

希臘哲學家之思想——古代國家中，對於文化貢獻最大者，東方自屬中國，西方則當首推希臘。希臘國土雖小，其對於哲學、數學、藝術等各方面之貢獻，則甚為偉大。希臘哲學家，對於物質構成之理論，先後曾經發表若干學說。遠在西曆紀元前六、七世紀，推納斯（Thales of Miletus，紀元前 640—540 年），以為水是世界上一切東西的來源。嗣後安納西門尼斯（Anaximenes，紀元前 560—500 年），認為空氣乃是宇宙間基本的物質。後來有幾位哲學家，指出土之基本重要性；希拉克利泰斯（Heraclitus，紀元前 530—470 年），則以為火是最初的東西。到了恩譬多克理斯（Empedocles，紀元前 490—430 年），纔綜合前人意見，將水、火、土、與空氣，認為構成一切物質之四種元素（four elements），這些元素，以一種愛與憎的關係，彼此互相發生作用。對於物質之構成，他甚至給以一種定量的說法，比方說，他

以爲血是同分量四種元素所構成，骨頭是一半火，四分之一的土，與四分之一的火。最有名的希臘哲學家亞里士多德（Aristotle，紀元前 384—322 年），將恩氏四種元素（水、火、土、空氣），加上第五種，稱爲「精素」（quintessence，原文卽第五種元素之意）。他以任何一種東西，都有物質與「精素」兩方面。例如一種植物之個別代表物，其精素相同，物質則有異。惟其精素相同，所以這種植物之特性，得以遺傳下去。亞氏五種元素的說法，多少與中國道家所主張五行（金、木、水、火、土）之說，東西遙相符合；其發表年代，先後亦約略相等。不過中國所謂五行，彼此係處於同等地位；非若亞氏五種元素中之有「精素」一種，地位特出，與其他四種「物質的元素」處在一種對立地位。

關於物質構成方面，希臘哲學家另外一種貢獻，爲原子學說之意念。一塊東西，能否無限細分下去，自古就是一種在哲學上饒有興趣，值得爭辯之問題。任諾反尼斯（Xenophanes of Kolophon，紀元前 570—480 年）所建立之愛埋亞學派（Eleatic School），以爲物質是有連續性的，所以可以無限分下去。首先對此說持反對意見者，爲陸起步斯（Leucippus，紀元前 500—430 年）。陸氏是原子論派（School of Atomism）始祖，也可說是原子學說的首創者。他的一位門生，德摩克利泰斯（Democritus，紀元前 466—370 年），將陸氏學說，發揚光大起來，說道，物質不能無限細分下去；分到某種程度的小顆粒，就不能再分。這些不能再分的小顆粒，德氏將其稱爲「原子」（atom，原文卽希臘字「不可分」之意）。按照他的學

說，所有物質，全係由原子所構成。原子是些堅硬，不能壓縮，小到不能看見的顆粒；既沒有顏色，又沒有味道或嗅味。它們是不斷在動着。各種原子，大小不同，形狀亦異，這點可以拿來解釋大塊物質之一部份性質。比方說，水的原子，圓形光滑，所以彼此能滑過去。相反的，鐵的原子，必係硬而不光。（以上種種說法，照現在看來，當然大部是不正確的。）

希臘哲學家對於物質構成的理論，貢獻不可謂小。可惜他們在希臘社會中所處地位，正和中國以前的士大夫階級一般。因此具有一種「長衫心理」，凡事祇肯用腦，不肯動手。他們認為祇有純粹的思想，纔合乎哲學家身份。不但自己不願從事於實驗工作；甚至工匠（在當時認為社會中的低級階層）由實際經驗所得知識，亦以為無足輕重，不屑注意。他們所追求的，限於理論與一般性之結論；此等結論，並非以實驗為基礎。這種作風，當然大有流弊。大哲學家如亞里士多德，亦曾發表過下列一段現在看來十分幼稚的理論。他說「一座礦山，停止開採以後，裏面的礦，又會慢慢長起來，恢復到原來所占大小！」現在一部份所謂化學家，每以為多讀幾本書（或者甚至連書都不讀），就算研究了化學，不必親自到實驗室去工作。願他們以亞氏故事，為前車之鑒。

煉丹術之興衰——希臘哲學家之學說，以其未能與實際經驗相配合，其發展自有限度，已如上段所說。中國早期道家，也犯同樣毛病（後來的道家，則走上煉丹術之路。）以後幸虧來了一批煉丹家（*alchemists*），方纔開始試將理論與實驗，融合在一起，替後來研究化學者（真

正的科學家），開闢一條新的，合理的途徑。在化學發達史上，煉丹家功過並見。不好的一方面，是他們在著作當中，將科學的化學，與魔術和神祕的因素，混在一起，糾纏不清，因此延遲化學之正常發展。其所以如此，計有幾方面理由。首先當時從事煉丹術者，無論在中國或者西洋，類皆屬於下層階級，大都是些不學無術之徒（對於此點，當然也有若干例外），並不像希臘哲學家之為社會上與思想界的優秀份子。因為這樣，他們不免知識淺陋，甚至頭腦不清；無怪其著作條理欠清楚，而且有許多不相干或者隱祕的東西混在一起。第二，他們這樣寫着，也許是故意的。其所以故意這樣之理由，在於藉此自抬身價，或者藉此得到別人金錢幫助，令其實驗得以進行；因為他們所做實驗，既無法可以達到其最後目標，如果說穿了，又許不值一文，或者至少不易得到人家熱心贊助。最後我們不要忘記，化學變化，一直到現在，對於一般外行，始終是一種相當奇異之事。在文化水準較低之中古時代，此點祇有變本加厲。在那些時候，研究化學現象者，難免有巫術家的嫌疑。所以一般煉丹家，索性故意寫得神祕些。如此一方面固可以炫耀神奇，如上所述；另外亦可藉此隱蔽事實，以崇高目標作為幌子，免致招禍。

煉丹家之工作，儘有許多不妥地方；但是在化學形成之階段上，他們的功勞，却不可埋沒。無論如何，他們總是不斷在做實驗，與希臘哲學家純憑空想不同。他們對於各種化學手續（如蒸餾、加熱等等）之試驗，令我們對於此等手續之知識，增加不少。同時對於若干物質之

製造與性質，亦增加一些科學情報。這一方面，可說是煉丹家的功勞。許多人的看法，煉丹術（alchemy）就是現代化學之前身。

煉丹術之興起，始於上古時代之末，大約剛剛在中古時代到臨以前，距今大約最多有一千八百年。其發祥地一在中國，一在埃及，先後相差約一世紀（中國在前一點）。這兩處地方煉丹術之興起，大概是獨立發生的，並非從一處傳到另外一處。此外印度煉丹術，歷史也很早；該處或許可說是煉丹術獨立興起之第三個中心。中國方面，東漢孝武帝時，魏伯陽寫了一本書，名爲「參同契」，於西曆紀元後一四二年出版。這本書據現在所知，乃是世界上最老之一部煉丹書籍。後漢末年，道教祖師張道陵（卽第一代張天師），著有若干道教書；但據近人研究結果，這位張天師，似乎夠不上說是一位煉丹家，因爲他的著作當中，神祕成分過多，實驗成分却難於確定。後來兩位有名的道家，晉朝葛洪（西曆二八一至三六一年）與梁朝陶弘景，則無疑是真的煉丹家。葛洪說，煉丹術目的有三。第一是從賤金屬製成黃金。第二將天然或人造黃金，製成可以服用的形狀，使人服之而達到長生不老之目的。第三是設法製出其他效力較差的不老藥。

煉丹術在中國，始終與道教發生不可分離之關係。道教起源，原來不過是一種哲學。嗣後發展成爲一種宗教，旋即與煉丹術結上不解緣。後來煉丹術的實驗成分，漸行減退；剩下來祇有巫術和宗教，纏在一起。老子（生於西曆紀元前六百年）不過是一位偉大的哲學家。其所垂

教訓，絲毫不含宗教或迷信成分。降至秦漢，此派哲學，逐漸演變成爲一種宗教，稱爲道教，奉老子爲祖師，故意將這位哲學家予以神化。後漢時起，道教在宗教與哲學以外，又添上煉丹術成分。此種學問，後來發展成爲道教一種特色。研究煉丹術，仿佛成爲道教徒一種特權。在葛洪時代，煉丹術在西洋剛剛萌芽，在中國却已發展到相當高峯。早期中國煉丹家（道教先輩），比起西洋煉丹家來，毫無遜色。較後一點之中國煉丹家，有十一世紀之張伯段。其所著「悟真篇」，內容與西方煉丹家之理論，大抵相同。由此可見，東西煉丹術，實異源而同歸。元朝以後，道教逐漸退化。哲學方面，根本擱起不談。煉丹術方面，亦就衰落；漸次脫離實驗，成爲一種純粹的神祕。所謂煉丹，不是故意招搖撞騙，便是空談而無實驗。於是原來地位並不太低之道教徒，遂一變而成「道士」。祖師傳教，所剩下來的，不過是一種迷信成分甚高之宗教。此等後輩，真是對不起他們的祖師；而我國未能如西洋之由煉丹術進度成爲科學的化學，尤可惋惜。

西洋方面，最初提到煉丹術一類學問者，爲紀元後二九六年。埃及皇帝代阿克勒第安（Diocletian）下令焚燒是類書籍之詔書。紀元後六百四十年，亞刺伯人蹂躪埃及及國土。那些亞刺伯人，文化原來殊低。到了埃及，不久就接受埃及文化，並將它傳播到彼等足跡所到之處。經過此等手續，煉丹術由埃及人傳到亞刺伯人，亞刺伯人再將其傳到歐洲。西洋方面關於煉丹術之著述，迄今業已發現者，最早推亞刺伯煉丹家蓋柏（Talhar）在第八世紀中的著作；較之我

國魏伯陽，約遲六百年。大約煉丹術傳入歐洲，亦在此時先後不久。西羅馬帝國崩潰（西曆紀元後四七六年）以後，歐洲進入「黑暗時代」。固有文化，各方面均隨野蠻民族入侵而形退化。除開少數教士以外，像希臘哲學家所研究之高深思想與學問，無復有人問津。於是在化學方面，下層階級人物，漸漸剽竊亞刺伯人所傳來之煉丹術，崛起而代希臘哲學家之地位，發表其對於物質構成之見解與工作。此點可以解釋，煉丹術何以當中古時期，在歐洲特別發達；因為中國與印度，雖然中間經過多次政治變遷，文化水準却始終未曾如何低落，士大夫階級亦始終把住研究學問的崗位。從一種觀點看來，此事對於東方，是不利的。士大夫階級，幾千年來，保持傳統習慣，輕視工匠，輕視實驗。結果在中古時期，東方對於化學知識，其進步殊不及煉丹術盛行的歐洲之速；雖則歐洲在此方面之進步，也就夠慢了。

無論在中國或者西洋，「點石成金」與「長生不老」，乃是煉丹家的最後目標。尋求長生不老藥 (elixir of life) 或仙丹，以及點石成金的東西，為一切煉丹家研究的對象。西洋煉丹家，對於後者，稱之為「哲學家之石」(Philosophers' Stone)。他們傳說，這件東西，如果得到了，一碰賤金屬，就可將其變成黃金。有些煉丹家，似乎以為長生不老藥，與點石成金的東西，是一而二，或者至少彼此很有關係。古代中國道家與印度人，都以為在醫藥上用黃金，可以延長壽命，或者甚至引到長生不老。古時埃及人，亦謂金有神秘之醫療功效。對於上述兩種神秘東西（即長生不老藥與點石成金的東西），煉丹家具有信心，以為最後一定可以得到。（當

然從目前看來，那是不可能的。可是多數煉丹家之實際工作，在於尋求適當處理方法，將賤金屬（如水銀等）變成黃金。他們所用方法，在中西均以火煉為主。中國道教徒中，有「火煉金丹非容易」一句口頭禪；由此可見他們對於此項工作之艱巨，具有認識。此點在我國舊日神仙小說中，可以得到充分證據。

求富與求壽，本來是一般人所祈求。因此在目標方面，煉丹家殊未可厚非。同時許多煉丹家所欲達之目的，亦不止於此。中國道教徒，以為煉成金丹，即可成仙。西洋煉丹家一貫傳說，均以為將賤金屬變成黃金，其成功不但具有化學意義，而且含有道德意義。發現「哲學家之石」者，據他們說，將要得到另一種報酬，那就是心靈之充實與人格之提高。我們還可以說，許多煉丹家之所以從事此種職業，係由好奇心所驅使，正似現代人之研究化學一般。十九世紀中的德國大化學家李必虛（Liebig），曾經說過：「對於一種人，科學是一位神聖的女神，他樂於終生為她服務；對於另外一種人，她是供給奶油吃的母牛。」對於個別煉丹家之心情，我們也可如此說。

關於物質之構成，大多數西洋煉丹家，以為一切物質，都含有一種共同的原始物質（*terra prima*），但是同時多少為雜質所沾染。他們工作目的，在於期望用提純方法，將雜質除去，得到剩下來之「精素」（*essence or tincture*）。這種「精素」，大約即等於所謂「哲學家之石」。一次得到以後，此種東西，即可發生種種意想不到之效力，如點石成金（將賤金屬變

成黃金），治療各種疾病（甚至引到長生不老），及提高發現者之人格等。此種所謂「精素」或「原始物質」，大致或係由亞里士多德所謂精素演化而來。除此以外，一般煉丹家，同時相信希臘哲學家之四種元素；不過另外加上水銀、硫磺、與鹽三項，或者將此三種元素替代希臘人四種元素之一部或全部。此項加入或替入之三種元素，並非指該項物質本身，而是帶着一種象徵意義。具體說來，水銀大致代替金屬與揮發之性質；硫磺代表燃燒性質；鹽代表鹽類或土之性質，能以抵抗火煉。

煉丹家所尋求之目標，並不是怎樣不合理。一切化學變化，其共同特徵，在於一種或幾種物質不見了，變成另外的東西。從此種觀點看去，由水銀變成黃金，與由水銀（汞）變成氧化汞，頗有類似之處。近來元素變換之成功，益令我們相信，由賤金屬變成黃金，大有可能；雖則此項變化，即令成功，却因經濟關係，不見得有何實用。煉丹家進行工作，大都包括着一種宗教式之信心，與無比之耐性；在此點上，比起近代科學家來，並無遜色。可惜因為保持秘密，以及著作中文字過於隱晦之關係，許多努力，往往重複多次，以致精力浪費甚多。同時因為缺乏正確理論以作線索，許多嘗試，根本是不必要之浪費。所以煉丹術在世界上，雖有千年左右（或者更長）之歷史，其成就却不算多。這是一種我們所應領受之歷史的教訓。欲求科學得有迅速進展，自由意志之思想，大公無私之態度，合乎邏輯之思考方法，以及清晰之頭腦與表白方式，實應與努力工作，相輔而行。

歐洲方面，煉丹術自十二世紀起，大形發達，盛行約三四百年之久。中古時代英國有名科學家羅哲培根（Roger Bacon, 1214?—1294年），是此時期中一位卓出人物。其出身既係一位學者，其態度甚似近代科學家；著作亦清晰明瞭，有別於當時一般煉丹家。十五世紀以後，科學的化學，逐漸興起。狹義之煉丹術，以此逐漸歸淘汰。同時當時致力於此術者，道德每況愈下。爲著網口，不惜招搖撞騙，不復具有其前輩對於研究此項學問之熱誠與信心，因此愈益爲社會上所不齒。就中較聰明者，利用一些小國君主之貪心，在此種小朝廷中攫得地位，過着一種不穩定之生活。才智較差者，則在較低階層，利用同樣方法，騙取生活。後來越弄越糟。傳說武次堡的弗立得利克（Fredrick of Wirsburg）王，竟特別設一絞架，專作絞死煉丹家之用。弄到如此下場，煉丹術也就真慘了。

近代化學之前奏——由十五世紀至十八世紀下半世紀，化學在歐洲，漸漸脫盡煉丹術的舊袍，走上新時代科學之途徑。十四至十六世紀，在歷史上被稱爲歐洲文藝復興時代（Renaissance）之一種重大特徵，左右的黑暗時期，歐洲終於又醒覺起來。所謂文藝復興時代（Renaissance）之一種重大特徵，在於思想之解釋。此種影響，慢慢傳到自然科學境域，因而在此方面，引起許多新的工作，新的覺悟。十六世紀名醫巴納塞如蘇斯（Paracelsus, 1493—1541年），首先提倡用無機藥物（無機化學藥品）醫病，得到很大成功。這樣指示當時煉丹家，亟亟於尋求不可必得之長生不老藥與點石成金，反不如尋找一些實際可用之藥物。巴氏本人，在思想方面，始終脫不了煉丹

術之束縛；但是在工作方面，他却已超出煉丹家之範圍。巴氏對於醫藥與化學之貢獻，將此兩種學問，聯成一氣。因此以前若干化學史家，將此時代，特稱爲醫藥化學 (iatro-chemistry) 時代。

與巴納塞如蘇斯同時代的人，尚有一位特別值得提及之實驗化學家，就是阿格里柯納 (Agricola, 1490—1555 年)。阿氏在職業上，雖則也是一位醫生，可是一生研究冶金學，將許多實驗結果紀錄下來。稍後一點，格勞柏 (Glauber, 1610—1670 年) 在實驗室中，製成數種純淨的無機與有機藥品。以上所述幾位化學家之工作，在性質上又復回到化學的應用。但是他們並不完全拋棄理論（雖則那種理論是不正確的）；同時所採方法，乃是實驗方法（那就是說，在實驗室中進行研究），與古代執行化學工藝者之僅憑偶然碰上的經驗不同。

與牛頓先後同時之波衣耳 (Robert Boyle, 1627—1691 年) 氏，是十七世紀中一位特出的科學家。他所發明之氣體定律，至今仍爲一般習化學者所熟習。他是一位理論而兼實驗的化學家；並且首先將物理學方法，引用到化學上去。理論方面，波氏重新主張原子學說，博得英王查理士二世 (Charles II) 青睞，他常在宮庭作表演實驗。他還警告別人，不可輕信他人之神祕傳說，遇事須用實驗方法予以證實。在這位科學家作品中，一切煉丹術痕跡，均已洗淨。所有著作立言都是非常清晰明確。

在十七及十八世紀中，化學界有一種流行的學說，即所謂「燃素學說」(Phlogiston theo-

ty)。此種學說，係德國化學家貝席 (Bocher) 及斯塔如 (Stahl, 1660—1734 年) 所發明。後者是第一位化學家，試將此種學說，用來解釋各種化學現象，並將其作為實驗南針者。這種學說之要素，是假定一切能燃燒之物，裏面含有一種共同組份；此項組份，稱之為「燃素」(Phlogiston)。一物燃燒時，其中所含燃素，即行逃逸出去。燃素學說發表以後，不久就發現有與事實不符之處。但是無論如何，此項理論，總比古代哲學家之空談，以及煉丹家那些半帶神祕性之學說，要切實得多。雖有若干缺點，此種學說，究竟是一種可用之假設 (Working hypothesis)，能以將當時所知事實，聯繫起來。因為當時並無更好理論，這種學說，在歐洲流行百年左右之久，在化學史上有稱之「燃素學說時代」者。直到拉瓦射 (Lavoisier) 之工作 (以下) 發表以後，方漸趨於淘汰。

燃素學說，雖然不盡妥當，而且是建設在從來沒有人看見過之燃素上；可是這種學說，不失為一種科學的假設，其中不含神祕因素。因此對於促進化學科學之發展，殊有貢獻。同時在十七八世紀中，化學工業，已漸進步；實驗工作，亦漸普遍。因此十八世紀，產生了幾位偉大化學家，其工作將永垂不朽。他們對於氫氣、氧氣、及二氧化碳等氣體之發現及研究，對於形成化學這門科學，占有重要地位。英國化學家布拉克 (Joseph Black, 1728—1799 年)，在一七五四年，發表一篇關於碳酸鎂之論文。在此項研究中，布氏指出，碳酸鎂加熱後，損失重量，得出一種新的鎂化物（即今所謂氧化鎂）與一種氣體（即現在所謂氧化碳）。後來在一七

七四年，伯格門 (Bergmann) 將此項氣體，加以澈底研究，嗣後拉活謝乃找出其他學成分。另外兩位同時代之英國大化學家，為卡芬狄士 (Henry Cavendish, 1731—1810年) 與普利斯特利 (Joseph Priestley, 1733—1804年)。前者發現氫氣 (1766年)，後者發現氧氣 (1774年)。在此兩種發現以後，卡氏於一七八三年，任氫氣與氧氣，在有電花通過時，化合成水，由此證明水之成分。瑞典化學家社勒 (K. W. Scheele, 1742—1786年)，先是曾於一七七一至七三年，獨立發現氧氣。一七七四年，又發現氯氣。社氏為一位卓絕的實驗化學家，一生發現了許多純淨的無機與有機物質，如氫氟酸、砷酸、草酸 (Oxalic acid)、酒石酸、檸檬酸等等。至於氯氣之為一種簡獨的氣體，則係一七七四年羅塞福德 (D. Rutherford) 所發現。

上述幾位化學家，其在實驗上之偉大成就，將水為人類所景仰。但是他們都不是思想家；在思想上，未能擺脫燃素學說之束縛。例如布拉克氏之試驗，原是推翻燃素學說之良好資料。他證明將碳酸鎂加熱後，該物起變化之一種結果，是重量減輕。按照燃素學說，一物加熱時，其所含燃素逸出。如果燃素是一種物質的元素，此種說法，顯與事實不符。為着解釋此項矛盾，當時有些主張燃素學說者，竟大膽說，燃素原有「負的重量」，一物含之愈多則愈輕。即布氏本人，亦不敢說，他的試驗，可以推翻燃素學說。等到劃時代的哲人拉活謝出來，方將此項學說，根據定量試驗，實行推翻。歷史是無情的。一度負起歷史使命之燃素學說，在拉氏工作

之前，如摧枯拉朽般倒下去了。以前主張此說之化學家，有些態度開明如布氏者，立即採取拉氏觀點。其他則大都固執成見，至死不變。例如卡芬狄士，始終將氧氣稱爲「脫去燃素之空氣」(dephlogisticated air)。

拉瓦謝與化學革命——從拉瓦謝到伯澤利烏斯 (Berzelius) 這個時期，可說是近代化學確奠基礎的時期。十九世紀一位法國大化學家扶茲 (Wurtz)，在其所寫一部化學學說史中，開場第一句便說：「化學是一種法國的科學；它是永垂不朽之拉活謝所建立」。這句話當時引起許多反感，特別是從德國方面。但是現在少有人懷疑，近代化學，確係從這位大化學家起始。

拉瓦謝 (Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794年) 對於化學之偉大貢獻，是將定量式實驗方法，介紹到化學研究。一七七〇年，拉氏用定量方法，證明將水在玻璃器具中久煮，所謂白色沉澱，並不是如前人所說，由水經火的影響變成之土，而係自玻璃得來。一七七二至七七年，他研究燃燒現象。從若干定量試驗，證明物質經燃燒後，其重量不但不減輕，反而增加。同時並證明，燃燒須有空氣中之氧氣，方能進行。此等發現，使以前所用「燃素」之假設，成爲不必要。一七八二至八三年，拉氏研究水之成分，並對此項試驗予以一種新解釋（不用燃素學說）。此類定量研究，堆積起來，至一七八五年左右，使多數法國化學家，忽然改變觀點，信從拉氏所予關於燃燒現象之解釋，廢棄燃素學說。此項新觀念，在拉氏於一七八九年刊行其所著初級化學教科書以後，更行固定。在該書中，燃素學說，完全被屏棄；帶有該項學說意味

之名詞，亦一律不用。此部劃時代之著作，在化學史上，是一塊非常重要之里程碑。化學家之改從拉氏學說，曾被適當稱爲「化學革命」(La révolution chimique)。此種革命潮流，由法國蔓延到德國、英國、以及其他歐洲國家。在有機化學方面，拉氏爲有機分析之先鋒。他是第一個人，將有機化合物，在空氣或氧氣中燃燒，測定所成二氧化碳量，以求其含碳成分。

定比定律之證實——現在公認爲化學基礎之定比定律(law of definite proportions)，在拉瓦謝時代，並沒有人對之懷疑。不過當時此項定律，並無堅固之實驗基礎。是項基礎之建立，當歸功於十九世紀初年伯多勒(Berthollet, 1748—1822年)與普牢斯特(Proust, 1755—1826年)二氏之爭辯。這兩位都是有名法國化學家。伯氏以爲一種化合物，不一定有固定成分，而可有若干種不同成分；普氏則以爲一種化合物，祇能有一種成分。自一七九九年，先後經過八年以實驗爲根據之激辯，普氏終於完全得勝。定比定律，由此得到充分實驗證據。

達爾頓與近代化之原子學說——自從希臘哲學家時代起，原子學說之基本觀念，先後屢次有人提出，上文已有述及。可是在達爾頓以前，此種理論，因爲缺乏實驗根據，始終不過是一種假設；而且關於所謂原子性質如何，並無確切中述，因而學說本身，不免空洞。劃時代之英國大化學家達爾頓(John Dalton, 1766—1844年)，在他那於一八〇八年發表之化學哲學之新系統(“New System of Chemical Philosophy”)一文中，第一次給原子學說一種確切與近代化之形式。他在一八〇八年寫下關於原子學說之幾條基本假定，與目前大家所公認者，並

無多大分別。達氏原子學說，不但形式確定；而且在拉活謝的定量試驗以後，當時化學上已知之事實及定律，已足供給此項學說一種實驗基礎。原子學說，乃是近代化學最基本之觀念。惟有此說成立以後，化學之加速進步，乃有可能。

在達爾頓發表原子學說之年（一八〇八），法國化學家蓋盧森（Gay-Lussac, 1778—1850年）發現，當氣體起反應時，各種氣體起反應之體積，彼此互成簡單比例。由此推論，體積相等之不同氣體，其重量比例，即等於各該氣體之化合量（現稱當量）比例。蓋氏及其他化學家，正確指出，上述事實，即係達氏原子學說所含基本概念之一種具體證據，同時亦可幫助原子量之擇定。

一八一一年，義大利化學家阿佛加德羅（Avogadro, 1776—1856年），發表一篇論文，指出對於元素一類物質，原子與分子，實有區別。體積相等之氣體，據他說，所含為等量之分子，不是等量之原子；此項說法，即係有名的阿氏假設（Avogadro's hypothesis），現亦常稱為「阿佛加德羅定律」（Avogadro's law），乃是化學上一種正確而且極有用之觀念，可惜當時無人注意，以致在十九世紀上半世紀，化學式寫法陷入一種混亂狀態，化學進步為之延遲不少。直到一八六〇年，另外一位義大利化學家卡尼紫羅（Cannizzaro, 1826—1910年），在一次國際化學家聚會時，將此說特別提請大家注意，結果不久頓得普遍承認。

原子學說既獲得一般化學家公認，與此相關聯之問題，即為決定那些物質是元素，與原子

量之測定。對於第一點，英國大化學家德麥 (Tumpley Davy, 1778—1829 年) 貢獻不小。在達爾頓氏發表原子學說的前後，德氏離析出來幾種前人所未能離析之元素。他用電解方法，第一次製出金屬鉀與鈉。後來又將幾種鹼土金屬（鋇、錕、鈣、鎂），在遊離狀態下，離析出來。當時多數化學家以為是一種氧化物之氫氣，德氏證明其為一種元素。由此觀之，鹽酸乃是一種不含氧素之酸。因此德氏遂撇開拉瓦謝所主張凡酸必含有氧之理論，而謂酸中所必含之元素，不是氧而是氫。此點現為一般化學家所承認，但當時竟少有人對此予以注意，或則雖知此事而不以之為然。

十九世紀初年，瑞典大化學家伯澤利烏斯，以罕見之耐性與希有之技巧，用些比較並非精良之器具，先將各種重要元素之化合量，予以準確測定。從此等化合量作起點，運用蓋盧賽關於氣體化合體積關係之定律（見上）及杜郎、柏蒂二氏之定律 (Dulong and Petit's Law)，得出比較可靠的原子量。自此時起，化學家始有準確原子量可用。此點對於建立現代化學之基礎，極有關係。伯氏以後，比利時化學家斯打司 (Stas, 1813—1891 年)，對原子量作進一步之更準確的測定。後來在二十世紀初年，美國哈佛大學教授李却茲 (T. W. Richards, 1868—1938 年)，在此方面又更進一步。迄今李氏所創立之試驗室，仍為談原子量者所共仰。目前許多無機分析方法，實係伯齊利烏斯所發明。在李却茲試驗室中，此等方法，發展到其最高準確度。

伯澤利烏斯與兩元學說——拉瓦謝推翻燃素學說以後，燃素之地位，爲氧素所代，後者成爲化學現象及化合物之中心，特別受到化學家注意。上段提到之瑞典大化學家伯澤利烏斯 (Berzelius, 1779—1848 年)，在十九世紀最初一段，堪稱爲傅拉氏衣鉢之一代化學大師。伯氏集當時化學科學之大成。其實驗工作既屬卓越；對於理論，亦爲一位有力的組織者。當時各國青年化學家，因此萃集於斯塔克霍姆 (Stockholm) 大學之伯氏實驗室。伯氏對於化學理論之主張，係將拉氏原意，發揚光大，成爲所謂「兩元學說」(Dualistic Theory)。按此學說，金屬元素與氧素化合成澀 (Oxide)；非金屬元素，則與之化合成酸。各種元素，其原子上各帶有電，或正或負。化合後所成產品，亦未必完全中和。結果是澀仍帶正電，酸則帶有負電，因此二者互相結合而成鹽。此種學說，在一八二〇年左右，幾爲全體化學界所信仰。當時在無機化學上所知各種事實，大都可由此說得到解釋。後來將其範圍擴張到有機化學，方顯其不一定行得通(參閱下段)，因此遂被推翻。自今觀之，此項學說，雖非完全正確，但實含有局部真理。原來形態之兩元學說，在十九世紀中葉，已被淘汰；但是其中一部真理，則迄今存在現行化學理論中。

有機化學之建立——十九世紀初年，無機化學之基礎，大部業已建立。對於有機化合物之研究，則爲數甚鮮。此中一種重要理由，爲當時一般化學家，均以爲有機物質之造成，牽涉「生活力」(Vital Force) 之因素在內；研究無機化學所用方法，對於有機物，未必適用，所以

不敢冒昧從事。一八二八年，德國化學家阜婁（Friedrich Wöhler, 1800—1882年），從氰酸鉀與硫酸銨（兩種無機化合物）製成尿素（一種典型的有機化合物），由此打破前人對於所謂「生活力」之迷信，破除無機與有機化學之界限。自此以後，有機化學之迅速發展，乃有可能。

化學研究擴張到有機領域以後，最初，當然是蹈着無機化學成規，用具有兩元學說意識之化學式，代表有機化合物。此種嘗試，當初似乎勉強可以應付。一八三九年，法國大化學家杜瑪（Dumas, 1800—1884年）發現，醋酸分子中之氫原子，被氯原子取代後，其性質變動有限。此種事實，與兩元學說，不能融洽。於是杜氏遂大膽主張，廢棄兩元學說，而提出與此說恰恰相反之一元系統（unitary system），謂一種化合物所含各原子，共同組織成爲一個系統，正如太陽系統中之行星一般。此說走到極端，當然亦有流弊；所謂一元系統，並不足以代表全部事實。但在杜氏此項主張以後，類似事例，在有機化學中，日有增加；其結果使兩元學說，發生動搖，卒致淘汰。

與杜瑪同時之兩位比較年輕的法國化學家，洛郎（Laurent, 1807—1853年）與蓋哈（Gorhard, 1816—1856年），在十九世紀中葉，協力改革當時所用之化學式代表方法。由此發明所謂「型狀學說」（type theory），將有機化合物，按照幾種「型」（type），作一種合理的分類，於是有機化學乃得系統化。此種辦法，嗣後由英國化學家威廉生（Williamson, 1824—

1904年)及德國化學家柯枯列(Kokulé, 1839—1896年),先後予以充實。一八五二年,英國化學家佛郎克蘭(Frankland, 1825—1899年)提出原子價(Valence)意念。以型狀學說及原子價為基礎,刻枯列氏與法國化學家古迫(Couper),於一八五八年,同時獨立發明「結構學說」(structural theory),首次用結構式代表有機化合物。一八六一年,刻氏有名的有機化學教科書第一冊出版。近代有機化學之基礎,於是建立。一八六五年,刻氏又發明,用環式代表苯之結構,奠定芳香族化學之基礎。此後有機化學,遂突飛猛進,一時竟令別方面化學研究,退居次要地位。

結構學說之一種基本假定,為在有機化合物中,一切碳原子,均係四價。此種假定,對於絕大多數物質,應用似無問題。但是最初即有一種顯然的例外,即在一氧化碳分子中,碳之原子價,無疑為二而非四。美國化學家勒勿(Nel, 1862—1915年),自一八九五年起,經過幾年工作,證明有幾類化合物,如脞(carbunines)雷酸(fulminic acid)與雷酸鹽等,其分子中亦確有兩價碳。一九〇〇年美國化學家甘伯格(Gomberg),發現三苯甲基(triphenyl methyl),確實證明三價碳之存在,使有機化學家大為驚奇。一九一九年攀勒斯(Paneth)發現游離甲基(free methyl)以後,簡單游基之存在,成為公認的事實。同時元素在化合物中之可能有反常原子價,亦不限於碳原子。所謂「游基」(free radical)之發現,在理論上具有重大意義。化合物中之基,能否單獨存在,數十年來,久已受到化學家注意。柯伯(Kolbe, 1813—

1884年)在一八四九年，自以為發現了游離的甲基。在同一年，佛朗克蘭，又以為發現了乙基。可是這些結論，以後證明，並不正確。直到甘伯格與摩勒斯等工作發表以後，基之可能有真實性，方得完全證明。

同分異性之發現——結構學說在有機化學上引用之一種具體結果，是若干化合物，可以含有同等數目之各種原子（即分子式完全相同），而其結構式則彼此有別。這種現象，稱之為「同分異性」(isomerism)。同分異性物，在性質上多少總有區別。同分異性現象之發現，實遠在結構學說成立以前。一八二三年，李必虛分析雷酸銀，發現其成分，與阜婁所分析之氰酸銀，完全相同。隨後即發現，此兩物質即現在所謂同分異性物。此係同分異性現象之首次發現；可是同分異性一個名詞，則由伯澤利烏斯，於一八三〇年，首次用之以表示普通（右旋）酒石酸與不旋酒石酸 (racemic acid) 之關係。該項關係，乃係現在所謂「光學異性」，為同分異性之一特殊部門。

說到光學異性，不能不提到十九世紀中法國最偉大的化學家巴斯德 (Louis Pasteur, 1822—1895年) 上段所述伯澤利烏斯對於酒石酸之工作，雖所得者為兩種光學異性物，但當時對於該項物質之旋光性，尚未發覺，故尚不能稱之為光學異性之發現。首次發現光學異性現象者，實為巴氏。巴氏於一八四八年，將酒石酸鈉鈹之左旋與右旋式，予以析開。物質在溶液中可有旋光性，即在此項工作中，首次由他指出。同時他並說到，此等物質之所以能在溶液中表

現旋光現象，係由於分子之不對稱而來。實驗方面，目前我們最常用之幾種析開光學異性物的方法，均係巴氏所發明。

一八七四年，荷蘭化學家梵塔夫（Van't Hoff, 1852—1911年）與法國化學家勒貝耳（Le Bel），同時獨立發明「立體異性」（stereoisomerism）的學說，將紙上所寫平面的結構式，改為三度空間（即立體）的模型。利用此等模型或立體式，分子對稱與否，顯而易見。巴斯德所謂分子不對稱，至此乃得有具體意義；光學異性，由此得到圓滿解釋。在當時已開始令化學家感覺麻煩之「幾何異性」（geometric isomerism），亦由此成爲一種正常現象。

有些化學物，似乎不止有一種結構式，而可有兩種（或兩種以上）。此種現象，稱爲「互變異性」（tautomerism）。此類事例，最初發現者，爲乙醯基乙酸乙酯（acetoacetic ester），當時頗令化學家感覺迷惑。一八七四年，布特勒羅（Butlerov）提出意見，說是此類化合物，因分子內部擺動之結果，有時爲一種結構，有時爲另外一種。拉爾（Laird）在一八八八年將布氏所謂分子內部擺動，予以具體化；謂由於一個氫原子地位之變動，遂發生結構變換之現象。互變異性現象，現知其相當普遍。可能存在之各種結構，大致同時存在，不斷在隨時互變，成爲一種平衡混和物。在某些情形下，可將具有一種結構之物，離析出來。

從週期律到原子構造——原子量有了比較精確的測定以後，原子量與元素性質之關係，不久即受到化學家注意。一八二九年，德國化學家道伯奈納（Dobereiner, 1780—1849年）指

出，性質相似之元素，往往三個成爲一組（例如氯、溴、碘）；每組內中間一種元素，其原子量約爲頭尾兩種之平均數。這樣一組，稱爲一個「三和組」(triads)。一八六五年，英國化學家紐蘭茲 (Newlands)，將當時所知元素（按該時空氣中之希罕氣體，尙未發現），按其原子量增加之次序，予以排列。結果發現，第八種元素之性質，每與第一種相似（例如鋰、鈉、鉀）。此種關係，紐氏稱之爲「八音律」(law of octaves)。

一八六九年，俄國大化學家門德雷葉夫 (Mendelejeff, 1834-1907年) 與德國化學家洛塔買耶 (Lothar Meyer, 1830-1895年)，同時獨立發現週期律。門氏不但對此定律，詳加引證，使其成爲無機化學之基礎；而且按照此律，以先哲之眼光，將一些可能發現之元素及其性質，預先予以指示。後來該項元素發現，其性質果與門氏當初所預料與改良者相符，令人驚奇不已。

門氏之週期律，後來有過幾點重要的充實與改良；但其基本觀念，則迄未變更；而且隨着化學進展，此項定律之成爲化學上基本定律，更無疑義。新發現之事實，放在週期表中，完全吻合。一八九四年，英國物理學家雷理 (Lord Rayleigh) 與化學家拉姆賽 (Sir William Ramsay, 1852-1916年)，發現空氣中除氧氣及氮氣外，實含有氫 (argon)。嗣後數年中，拉氏續將空氣中所含其他幾種希罕氣體（氦、氖、氬、氙），完全找到。最初此數元素，似乎在週期表中，找不到地位。但是不久化學家就認識了，此等不與任何其他元素起作用之元素，在週

期表中，實係自成一組，名為「零組」(Group 0)。因此與週期律之精神，不但不相抵觸，而且極爲調和。

當初週期表之一種重大缺點，在於表中有少數元素，位置仿佛倒置（例如氫與鉀，碘與碲）。後來英國物理學家摩斯列（Moseley, 1857—1915年），在一九一三至一四年，從X射線方面之研究，發明原子序數（atomic number），乃將此項困難，完全解除。從原子序數之排列，化學家知悉，在氫（原子序數爲一）與鈾（原子序數爲九二）之間，當時尙未發現之元素，爲數有限。到了現在，這些空格，業已完全填起。原子序數，爲較原子量更爲基本之一種常數。原子序數相同而原子量有別之元素，稱爲同位素（isotopes），這名詞是索雷（Soddy）在一九一三年最初使用的。從一九一九年起，英國化學家阿斯吞（Aston），利用質譜分光鏡（mass spectrophotah），去找各種同位素的原子量，結果發現其大都爲整數。

一八九五年，倫琴（Röntgen）發見X射線，爲物理及化學研究打開一條新路。次年（一八九六），法國物理學家貝克勒爾（Becquerel）發見，含鈾礦物，產生放射（radio-activity）現象。在貝氏指導之下，後來名聞全球之居禮夫人（Madame Curie），開始研究鈾化合物。經居禮夫婦共同協力，後來卒於一九一〇年，發見鐳，一種放射性較鈾強百萬倍之元素。同時自一九〇〇年起，英國物理學家魯塞福德（Ernest Rutherford），對鈾之放射性，加以澈底研究。鈾、鈾、及其相關物之放射，發出帶有電荷的氦原子；其剩下部份，原子量因此隨之減低，同

時其原子價亦有變動，故即成爲另外一種元素。從前煉丹家所渴望之元素變換 (transmutation)，至此乃真達到。此項由一種元素，經放射變成原子量較低的元素之現象，稱之爲「原子破裂」(atomic disintegration)。一九〇二年，魯塞福德及沙笛，發表一種關於原子破裂之學說，將原子認作構造複雜的東西。此種看法，較之以前化學家認爲原子不能再分，爲更進一步之研究。由此引到近代物理學家與化學家對於原子構造之工作。

一九一一年，魯塞福德本人，首先發表他的「原子含核學說」(nuclear atom theory)，謂原子中心有一個原子核 (nucleus)，外面則爲電子。隨後丹麥物理學家波爾 (Niels Bohr)，便於一九一三年起，由光譜去研究氫原子之構造。其所得結論，謂原子乃是一種系統，中心爲原子核，四周有一定數目的電子，圍着它轉，正像行星繞着太陽轉一般。

爲解釋週期律起見，美國化學家路易斯 (G. N. Lewis)，在一九一六年，一度提出一種立方形八角的「靜止原子」(static atom)。此種學說，經美國物理學家蘭格繆爾 (Langmuir) 於一九一九年加以引伸以後，在一個簡短時間內，曾得一部化學家擁護。但因其不能表示數量上關係（例如解釋光譜等），此種學說，不久終歸淘汰。

物理學家所主張之「動態原子」(dynamic atom)，其基本意念始於魯塞福德，實驗證明則始於波爾，已如上述。此項原子型，現爲一般物理學家及化學家所公認。但在若干細節上，波爾當初所主張之原子型，又續有改良。

一九二九年，魯塞福德將原子量不大之原子（例如氦），用 α 質粒（即帶兩個正電荷之氦核）加以衝擊，使其破裂，如此得到人工的原子破裂。此種發現以後，原子構造之研究，進步更形加速。就中最重要之事件，計有下列幾件。一九三二年，英國物理學家查德威克（Chadwick），發現中子（neutron）。同年，美國物理學家安德森（Anderson），發現在一九三一年英國物理學家狄拉克（Dirac），由量子力學研究早已料到之「正子」（Positron）；布拉克特與阿齊亞里尼（Blackett and Occhialini），亦於同年獨立發現此物。一九三三年，居利女士（居利夫人之女）與其外子約利阿（Joliot），發現人工放射（artificial radioactivity）現象。一九三五年，日本物理學家湯川（Yukawa），預料重電子（mesotron or heavy electron）之存在。至一九三七年，安德森等，果發現此物。研究原子構造，需用量子力學（quantum mechanics）之處甚多。此項學問，始於一九〇〇年德國物理學家卜郎克（Planck）所提出之量子學說（quantum theory）。愛因斯坦（Einstein）在一九〇五年，將其應用以解釋比熱（specific heat）、光電效應（photoelectric effect）等物理學現象。後來自一九二四年起，經德蒲落格里（de Broglie）（一九二四），海森堡（Heisenberg）（一九二五），斯瑞丁格（Schrödinger）（一九二六），狄拉克（一九二八）等，先後予以改良充實，遂成爲一種極重要之研究工具。至於最近關於原子構造之研究，則趨向於側重原子核構造之研究。

物理化學之興起——在化學發達過程當中，引用物理學家方法，往往可得偉大成就。上文

述及波衣耳、拉瓦謝、蓋盧賽等之工作，皆屬此類。十九世紀中葉，此類工作之最關重要者，有德國化學家本生（Bunsen, 1811—1899年）自一八五四年起關於光化學之研究，瑞典化學家鼓如德堡（Guldberg）與瓦格（Waage）於一八六三年發現之「質量平衡定律」（mass action law）（此項定律，實則前於一八五〇年，已由德國化學家威耳亨米（Wilheny）發現，惜當時無人加以注意），及美國化學家吉不思（Willard Gibbs, 1839—1903年）在一八七六及一八七八年發表關於不勻物質平衡（“On the Equilibrium of Heterogeneous Substances”）之兩篇著作。吉氏著作，實包括全部熱力學，其內容至為廣博，意義亦甚深長。惜因艱澀難懂，當時並未受到化學界注意。後來經奧斯特伐如特等之手，此項寶藏，方得掘出。

一八八七年，在化學史上，視作一個重要日期。物理化學之勃興，始於該年；而在是項運動中擔任主角者，則為德國化學家奧斯特伐爾特（Ostwald），瑞典化學家阿倫尼烏斯（Arrhenius, 1859—1927年），及荷蘭化學家梵塔夫。自從十九世紀初年起，化學家對於溶液導電之機構，即已發生興趣，由此引起若干關於溶液之理論，今稱之為溶液學說（theory of solutions）。半世紀來關於此方面之實驗工作及理論，至阿氏之手，集其大成。阿氏於一八八七年，發表其有名的電離學說（theory of electrolytic dissociation），謂凡能電解之物質，普通在水溶液中，即有一部份離開成爲帶有電荷之離子。在此事不久以前，奧、梵兩氏所工作，本與此項問題有關聯，阿氏並引該項實驗以作其學說之根據。是項革命性的學說發表以

後，當時反對者甚多，攻擊亦殊猛烈。但阿、奧、樊三氏，攜手並進，極力爲之辯護，不久此說竟爲一般化學家所接受。同時此三氏於一八八七年在德國創辦之物理化學專誌 (*Zeitschrift für physikalische chemie*)，成爲推進物理化學運動之喉舌。自該時起，六十年來，物理化學之研究方法，滲入化學各部門，成爲此新時代之特徵。展望將來，物理化學，祇有越來越重要。

以上各段，已將化學發達至今之全部經過，予以概括敘述。就中對於一八六〇年以前之一段，敘述較爲詳細；一八六〇年以後的發展，則不過略爲提到幾方面。其所以如此之理由，一因近來化學之發展，讀者比較熟習，不必多事贅述。二因最近八九十年來，化學發展太快，分支亦多；逐一討論，勢非本書篇幅所許可。三則因化學方面之基礎，至一八六〇年時，大體業已建立。無論如何，本節目的，不僅在於臚列史實，而在於追溯化學思想發展之線索。從此種觀點看去，古代化學發展之經過，或較新近進展，更有研究之必要。本節之所以如此寫成，此點實係一種主要的指導原則。

第五章 各國化學發達概況

由上節所述，近代化學，始於十八世紀最後四分之一世紀拉活謝之工作。當時法國實為化學研究之中心，德國則在化學界上並無地位。不久法國大革命發生，政治旋即陷入一種混亂狀態，拉氏亦在此種混亂中喪失生命。學術工作，大都停頓。嗣後拿破崙崛起，國內情形回復穩定情況。但因連年對外作戰，銷耗人力物力甚多；研究工作，不免受影響。十九世紀初年，法國雖有伯多勒、蓋盧賽、推納（Thenard, 1775—1857年）等幾位大化學家，多少可以承繼拉氏工作；英國亦有達爾頓、兌飛等氏卓越之貢獻；但不久化學之正統，似落於瑞典大化學家伯澤利烏斯之手。當時歐洲各國學習化學之學生，紛往瑞典留學，在伯氏指導之下進行研究。一八二五年以後，德國突然一躍而奪得領袖地位，特別在有機化學方面。德國在化學上之所以勃興，主要當歸功於李必虛與阜婁兩氏，而尤以李氏之功為大。李氏不但研究成績卓越，同時教課亦具有天才；且其所組織之實驗室，用實驗課程教學生，在世界上實為創舉，別處大學後皆效法之。以此種種原因，各國青年留學生，遂羣集於李氏執教之基森大學（Tiessen）。由此可見一國學術之興衰，一兩個人的關係何等重大，循循善誘之教師，實乃振興學術之重要因素。及至十九世紀中葉，法國化學家，如杜瑪、洛郎、蓋哈、扶茲（Wurtz, 1817—1894年）

等，對於有機化學之貢獻，殊屬偉大。然而德國方面，繼承李、阜二氏之後，晚一輩的化學家，如刻枯列、本生、以及略遲一點之拜耳 (Adolf von Baeyer, 1835—1917年)等，均能不墮傳統精神，在研究及教學兩方面，皆屬超人一等。於是德國更無問題成爲國際上化學研究中心。較後一點，在一八八七年以後，奧斯特伐如特等提倡物理化學之結果，對此方面具有興趣之學生，又自各國羣聚於奧氏執教之來比錫大學 (Leipzig)。於是德國在有機及物理化學兩方面，遂皆領導世界。奧氏不但研究卓越，而且精力過人，循循善誘。其生徒之衆多，盛極一時。略遲一點，在十九世紀末年及二十世紀初年，劃時代之德國有機化學家麥寧 (Emil Fischer)，在此方面可與奧氏比美；其工作輝煌，則尤有過之。後來名聞世界之下一代有機化學家及生物化學家，大都皆出自斐氏門下。在另一方面，十九世紀下半世紀化學工業在德國特別發達，亦爲促進該國化學研究之一種主要原因。德國工業，很早就採取一種賢明政策，與大學合作，進行研究。在化學工業方面，當時規模最大，而又採取此項政策者，首推巴狄染料公司 (Bayerische Anilin und Sodafabrik)。綜合藍錠，接觸法製硫酸，綜合法製氨，此等劃時代的工業進步，最初皆係在該廠成功。而其所以如此，實有賴於其與第一流化學教授，如拜耳、霍夫曼 (A. W. Hofmann, 1818—1892年)，哈柏 (Haber) 等之合作。此種歷史上之教訓，顯然指出工業與學術大可互相幫助者，英美等國，均嫌領受較遲。我國對此尤宜急起直追。巴狄染料公司，於第一次大戰後，擴大改組，成爲「伊格染料公司」(I. G. Farbenindustrie A.

(2)。該公司迄今不負傳統使命，繼續朝此方向努力。一九二〇年以後，人造汽油綜合橡膠之成功，大部當歸功於此公司。有人說，假如沒有德國的西門子公司、伊格染料公司等幾家大企業，世界文化，將缺去一隻角。

第一次大戰以前，德國在化學工業與化學研究上，兩俱領導世界。研究工作，在質與量兩方面，德國均居世界第一。質的方面，超過別國頗多。在一九一三年時，德國以外，以美國方面所發表之論文為最多。再次則英國列在第三，法國第四。往下意大利第五，俄國第六，又較英法兩國，相差頗多。就化學門類言，幾乎每門化學，都是德國占得第一把交椅。就中尤以有機化學方面，德國遠在別國之前。以美國而論，在第一次大戰前夕，該國發表化學論文之篇數，雖僅次於德國；然在品質方面，則並不為歐洲所重視。當時美國在化學工業方面，雖已十分發達；但對於若干材料（如鉀鹽、光學玻璃、染料、純淨化學藥品等等），因技術或經濟關係，不能自給，而須購自德國。經過第一次大戰，在世界主要強國中，美國因加入戰爭最遲，元氣損傷最輕。且在未加入戰爭以前，努力為英法從事軍火生產；一方面收入甚豐，另一方面，科學與工業，亦隨之加速進展。當時日本在東方之地位，約略與美國在西方相當，因此美日兩國，在那次大戰中，大討便宜。嗣後該兩國之所以在國際政治舞台以及工業與科學上之占得重要地位，此實一種主要理由。就化學方面說，第一次大戰以後，德國因戰敗及經濟破產關係，其在化學研究與化學工業雙方面之領袖地位，均為美國所奪。然就每年發表化學論文言，

德國仍處世界第二位，由此足見日耳曼民族之不可侮。大戰結束以後十年，至一九二九年時，世界經濟繁榮，達於極點。化學研究之數量，亦恰於是年恢復到戰前（一九一三）標準。此時德國曾一度再越美國而前，然隨又被美國追上。美國以愛好和平，提倡自由，及積極提倡科學關係，三十年來，各門科學，發展均極迅速，大有在學術上領導全世界之趨勢，化學不過其中一例。以工作數量為準則，其每年發表之化學論文篇數，近年來通常超過任何其他國家一倍以上。據今看來，美國此種毫無問題的領袖地位，在若干年內，似乎不致動搖。自從第一次大戰結束以後，美國各大工廠與大學及研究機關之合作，亦日形積極。同時大工廠內，亦多附設有設備完善之研究室。在這方面特出的工廠，電氣事業有奇異電氣公司（General Electric Co.）及威士丁電氣公司（Westinghouse Electric and Manufacturing Co.），化學工業則有杜邦公司（E. I. du Pont de Nemours and Co.）及紐傑賽美孚油公司（Standard Oil Co. of New Jersey）等。

大英帝國，經過兩次大戰，其在國際化學界上所佔地位，始終未變。無論在戰時或平時，其出品數量（論文篇數），總占全世界百分之十四五。英國幅員之大，甲於世界各國。自此觀之，英國與美國相較，不免有遜色。尤其值得注意者，在大英帝國當中，科學貢獻，大都來自英倫三島；自治領與殖民地，所占成分頗少，惟加拿大比較是一種例外。德國化學著作在第二次大戰前夕（一九三九）之低落，乃是另外一種值得注意的事。

俄國土地雖大，在帝俄時代，其所產化學工作，並不算多。不但不及德美英，且差法義頗遠。十月革命以後，經過幾年破壞時期，學術工作幾乎全陷停頓。到了一九二三年，蘇維埃政權已形穩定，國家在各方面，元氣漸趨恢復。嗣後實行新經濟政策及三個五年計劃，日趨富強，學術工作亦迅速發展。至一九二九年，蘇聯在國際化學界上所處相對地位，業已超出帝俄時代之上。一九四〇年，工作數量，竟超過德國而躍居世界第三位，幾與英國抗衡（當然在該年中，德國學術工作，受到戰爭影響不小。）此次大戰結束以後，科學在蘇聯之突飛猛進，可以預期。

法義兩國，在科學上亦夙係先進，於化學界久處重要地位。彼此相較，法國更為重要。數十年來，法國所產化學工作，量與質兩方面，均超過義大利，然而近來情形，殊難令人樂觀。在第一次大戰前夕，法國化學研究，數量幾可趕上英國。該次大戰，劇戰在法境進行，工作自不免大減。戰後漸形恢復，但終較英國相差頗遠。最可注意的一件事，是在該國聲勢煊赫之一九二九年，其在世界化學工作中所占百分數，反而降低。後來雖又略見恢復；但在一九四〇年，大敗於德國，即一蹶不振，降到約與日本相等之地位。義大利在第一次大戰以前，化學研究工作，數量不過英國或法國三分之一。嗣後地位更形下降。在墨索里尼統治之下，得着有限進步；但是論文數量，尚不及日本。

近年來日本在科學上之進步，是我們特別值得注意，值得警惕的一件事。日本在第一次大

戰以前，與我國一樣，在化學上毫無地位可言。由於該國科學家埋頭苦幹之結果，其地位逐漸上升。從工作數量上說，至一九二九年時，業已超過義大利而居世界第六，現在又快要趕上法國。

美、德、英、蘇、法、日、義七國，其在化學上之貢獻，數量經常占去世界總額百分之九十。其他一切國家（包括中國在內），加起來不過占百分之十左右。上列七國以外，三個歐洲小國，瑞士、荷蘭、與丹麥，在化學上占有相當地位。丹麥所產工作，數量不見得多，可是其中許多品質殊高。荷蘭及瑞士兩國作品，則不但品質高超，數量亦殊不少。比利時、瑞典、挪威，為其他在化學上值得提及之國家。

當然，僅憑工作數量，不足以判定一國科學地位之高低。品質也是一種重要因素，可惜無法用數字表示出來。一般化學家印象，將質與量聯在一起，總看一下，各國在化學上之地位；前五名大約順次為美、德、英、法、義。美國毫無問題，仍是領袖國家；不過德國與英國相差，其距離不若數量上所顯示者之大。若干德國著作，在品質上超過美國。近年來蘇聯方面，業已產生若干優良工作；但是該國在化學界上之地位，一時難於確定，須視此次戰後情形如何。日本化學家不斷努力，誠然可佩。可是日本在國際化學界所處地位，並不見得高。在日本完成之化學研究，數量的確不少；其中大多數著作，品質卻不見高超。從品質上說，日本化學工作，不僅不及若干歐洲小國（如瑞士、荷蘭等），而且還趕不上印度。至今多數化學家，仍然

以爲歐洲幾個小國之工作，較日本爲重要。我國將來如要努力發展科學，切不可忘質與量應並重，甚至寧願重質而不重量。

按各門化學來說，在純粹有機化學研究上，德國迄今仍然保持傳統的領袖地位，無人可以置疑。在生物化學上，美、德、英三國，差不多同等重要。工業化學方面之研究，德、美兩國，可說是平分秋色。物理化學，雖發源於德國，近來却已讓英美占先，尤以美國之進步爲驚人。

一國之強弱，雖未必與該國科學發達情形成正比；但是二者之間，具有某種連繫，是無可置疑的。由此觀之，我國化學家，更應加倍努力。

第六章 化學在中國之發展

我國在古代，自有其獨立發展之化學工藝、哲學、與煉丹術，已詳上文。近代科學的化學，則係自西洋傳入。原來在十八世紀以前，中國文化，大體說來，高出西洋，因此須從歐洲人學習之事甚少。同時重洋阻隔，交通不便；文化傳播，亦殊困難。就化學而論，十八世紀以前，在西洋已無何等學問可言，中國更不必說。在中古時代以及近世初期，歐西傳來中國之化學技術，大抵限於軍火製造一方面。關於此點，最早記載，有馬可孛羅 (Marco Polo) 遊記中所載一段。孛羅一家，爲義大利威尼斯 (Venice) 城商人。當宋末元初時，馬可之父尼哥羅孛羅 (Nicolo Polo) 及其叔父馬飛 (Matteo Polo)，來到中國。當時蒙古人進攻南宋，圍襄陽城，三年未下。孛羅父子叔姪三人，向元世祖（忽必烈）獻計，造砲攻城，立即攻破。此係西曆一二七二年之事。三個世紀以後，天主教士義大利人利瑪竇 (Matteo Ricci)，於明朝萬曆九年（一五八一），來到中國澳門。二十九年（一六〇一），利氏與其同派教士西班牙人龐迪吾入北京，頗得明神宗禮遇。在京都交公卿中名人，如徐文定公（光啓）等。講道以外，利氏將其科學知識（天文、曆算、火器製造等），傳授徐氏等。同時其他天主教士，先後又有數人來華。後來堵禦倭寇，一部份即係利用西洋方法所造之砲。遼陽城破，明廷起用徐光啓，徐亦力

請鑄西洋大砲，以資守城。據明史紀載，天啓二年（一六二二），確曾按此法製砲銃。同年，湯若望（Johannes Adam Schall Bell）來華。不久明亡清興。比利時教士南懷仁（Ferdinandus Verbiest），於順治十六年（一六五九），來到中國。湯若望，南懷仁兩位天主教士，在清初深得皇帝器重，被派充欽天監之職，以其天文曆算方面之專門知識，爲清廷効勞。康熙初年三藩之亂，南氏且曾爲清廷製砲，以供征討時作戰之用。以上所述前後三件事例，雖均明示西洋火器製造之傳入中國；然其貢獻，限於應付一時戰局。製造技術，固已傳入；應用此項技術之製造工廠，則似並未常川維持。新式兵工業以及其他機製工業在中國之建立，則尙有待於清末。化學科學之輸入，亦始於該時。

距今一百年前中英兩國間發生之鴉片戰爭（一八四〇至四二），打破了中國幾千年來閉關政策下獨自尊大的迷夢。有識之士，開始認識西洋火器之可畏。咸豐十年（一八六〇），中國因對英法戰敗，被迫締結北京條約，愈見當時軍隊配備之欠缺。太平天國之亂（一八五〇至一八六四）平息以後，中興重臣，如曾國藩、李鴻章等，於安內和外之餘，痛定思痛，深感欲求挽救中國厄運，非堅甲利兵，仿倣西洋方法自製槍砲不可。洪楊之亂甫平不久，李鴻章遂於同治四年（一八六五），奏設江南製造局於上海。（先是在一八六二年，曾國藩曾在安慶設立軍械所。同年，李鴻章於上海成立製砲總局。一八六四年，李氏復在南京成立金陵兵工廠。）此舉不但是我國近代兵工業之開端，而且是新式機器工業在中國之起始。江南製造局內，附設有譯

書局，翻譯格致（即物理）、化學、製造等等各種科學書籍。此與前幾年（一八六一）同文館在北京之設立，以及隨後出洋留學生之派遣，同開近代學術輸入之端。近代化學之輸入中國，實始於江南製造局時代。

同治初年對於「堅甲利兵」之努力，嗣後證明，並未能發揮其預期功效。甲午戰爭（一八九四至九五年），堂堂大國，竟敗於小日本之手。一般愛國志士，因此覺悟，非在政治上圖改革，不足以言復興。結果革命潮流，蔓延全國，卒於引到辛亥革命（一九一一），民國於是創立。自同治初年化學傳入時起，至該時已近五十年。在此半世紀中，我國在化學上，毫無建樹。民國初年，北洋軍閥執政。內亂繼續十餘年之久，益令學術工作，無法開展。惟在西洋人主持下之少數研究機關及學校，則自一九二〇年左右起，在化學方面開始有研究論文發表。嗣後民國十六年（一九二七），國民政府在南京成立。對於科學工作，積極提倡。十年之中，成績卓著。按據統計，在一九一七年以前，中國人在國內完成之化學研究，每年不過一兩篇。二十年後（一九三六年），中國化學會出版之化學雜誌當中，中國化學撮要一欄所占篇幅，一年意達一百五十至二百面之多。大體說來，化學研究在中國之漸行抬頭，始於一九二〇年左右；其突飛猛進，則以一九二九年爲起點。在國民政府領導下之十年（一九二七至三七）和平建設當中，學術工作，活躍異常。若干部門中，進步如此迅速，致所得成績，竟有過於過去數百年之成就。化學雖非進步最速之一門，但成績亦殊可觀。國際上各先進國家，對我國科學之些微

進步，時予贊許，並寄同情。在此期中，全國各地公私立大學，設備頓趨充實；教師生活，亦形穩定。化學研究工作，到處有之。同時專以研究爲業之學術機關（如中央研究院等），亦有數處成立。專門學會運動，亦行開始。中國化學會於一九三二年，在南京成立，此乃我國化學界極可紀念的一件事。次年，該會以西文發行中國化學會會誌，專載研究原著。一九三四年，又發行中文雜誌一種，名曰化學；內容除研究報告外，兼載概論新聞，並特別設有中國化學撮要一欄，將國人所發表之化學論文，提要匯在一起，以便查考。

當中國正在努力建設中，不幸日本於一九三七年，對我發動蘆溝橋事變，掀起第二次大戰之序幕。我國橫遭侵略，學校播遷，一時竟致研究工作，完全陷於停頓。近年來一面繼續艱苦抗戰，若干工作，又已恢復進行。環觀今日情形，最後勝利，爲期不遠。列爲世界四大強國之一的中國，勝利以後，其在化學研究與化學工業上之發揚光大，殆可預期。

第七章 化學的方法

說到一門科學之研究方法，可分思考方法與工作方法兩方面來看。思考方法，各門科學，原則上皆係相同，故統稱之爲「科學方法」(Scientific method)。近代各方面之驚人發展，多有賴於此項方法之引用。諾貝爾物理學獎金獲得者密里根(R. A. Millikan)教授，曾經說過：「科學方法之發現，乃是我輩文化之特徵；此點使這種文化，與以前各種文化有所區別。」

實在說來，「科學方法」一名，不甚正確。所謂科學方法，乃是一種合乎邏輯之思考方法，可用之以研究各種學問者。其發明與完美化，實係若干西洋哲學家先後努力的結晶。由此觀點看去，各門科學，均可視爲哲學之特殊部門。運用「科學方法」之第一步，爲利用觀測或實驗，對個別事實，作有系統之搜集。第二步將所得事實，予以整理，由之用歸納方法，得出一種普遍性的結論或定律。爲着解釋此項結論或定律，我們可以創造或發明一種理論或學說。定律與學說之成立，在其最初階段中，大都證據不甚充足，往往由於一時靈感得來。科學方法之最後一步，即爲搜求新的事實，將此項結論或學說，予以證實或否證，視其能否保存於人類知識寶庫之中（由一種具有普遍性之定律或學說，可用演繹方法，推出其在特殊事例中應有之結果。於是用實驗或觀測法，設法找出在此項情形下之實際結果，視其是否與當初所推論者相

符，由此得到該項定律或學說之證實或否證。）

各門科學之思考方法，雖屬相同，其工作方法，則顯有區別。當然上述思考方法，業已規定工作進行程序，大體應如何擺布。但是進一步看，我們即可發現，各門科學，都有它的特殊工作方法。大家知道，數學與化學，工作方法不同；前者完全為一種理論科學，無須在試驗室中從事實驗。物理學與生物學，亦有區別；前者很少需要採取標本，大部工作有賴於預先設計之實驗，後者則往往實驗無法可做，不得不借重自然現象之觀測。各門科學當中，性質與化學最為相近者，當推物理。因此這兩門學問之研究方法，亦彼此甚為近似。雖然如此，二者之間，仍有分別。其所以不同，係因其研究對象或着重點，有所差異。物理學注重物體能量之變動與其所牽連之現象；化學則針對材料或物質之變化及其所牽涉之事件，進行研究。

當我們提到化學方法 (Chemical Method) 時，凡是讀過化學的，馬上會聯想到化學分析上去。的確不錯，分析可說是進行化學研究的一種主要方法。假如我們手中拿着一塊銀幣，作為研究對象，考古家會想法證明它的年代，物理學家也許試試它的硬度與導電性，生物學家會檢查它上面帶有多少細菌；惟有化學家，會將它用硝酸溶解，以分析方法，看它裏面究竟含有百分之幾的銀，和若干成分的銅。所謂分析，即係設法找出一件東西或一種材料的成分。反轉來說，用分析方法找出成分以後，就可斷定所研究者究竟是那種物質或材料。

較成分更進一步之研究，即為尋找一種物質之結構或構造。此種工作，亦係化學家所特

有，別人難於越俎代庖。進行方法，一方面用分析法，將分子拆散，鑒定其各部份；最後拼在一起，可以推定其結構。與此相輔而行的，則有綜合法，從其他物質（多半較所研究者為簡單），經過一定化學變化，造成此物；由其所經過步驟，即可證明該物之構造。

利用試驗出來的綜合或離析方法，於實驗室中製備一種物質，或在工業上予以大量製造，以供化學家研究用途，或供社會上其他份子各種用處，亦係化學家工作方法之一。遇到製備或製造，當然連帶就有提淨或精製問題。這種工作，普通也是要化學家做的。

化學變化之考察，乃是化學家非常注意的一件事。化學家不但要知道，物質經過某種變化以後，所得結果如何。變化進行之過程，以及速度快慢，是否完成（抑或平衡混和物），皆成爲他的研究對象。

總而言之，超越外形，從性質與其變化，去認識物質本身，可說是化學方法之最大特點，亦即化學有別於其他科學之處。至於就通性來說，化學乃是一種實驗的物質科學，與物理學最爲近似。進行研究時，儘量使用定量方法，找出量的關係，不以質的描寫爲已足。實驗所得結論，在可能範圍內，以數學方程式表示之。雖則化學當中，迄今仍含有若干經驗的（empirical）關係；運用適當學說以求現象之解釋，已成相當普遍。現代化學，一天比一天更要變成定量、數學化、與理論化了。

第八章 原子學說

原子學說 (atomic theory)，爲現代化學之基礎。關於此項學說發展略史，上文業已述及。此一學說之基本觀點，爲物質不能無限制細分下去，祇能分到一種最後的單位爲止。當古代希臘哲學家最初提倡此說之時，是項觀點，純粹是一種假定，一種哲學家對於物質構成的看法，因此大有爭辯餘地。後來達爾頓在一八〇八年重提此說時，是項假定，有當時已知之實驗事實以作支持，於是此說立即成立，且爲一般化學家所公認。原子學說所包含之要點或基本假定，以現代說法將其代表出來，計有下列三條：(一)元素係由極小顆粒所構成；此項顆粒，稱之爲原子。(二)同一元素之原子，性質及質量 (mass) 相同，不同元素之原子，則性質及質量，彼此互異。(三)不同元素之原子，聯合而成化合物；原子乃是起化學作用的單位。

在此我們應當特別注意，達爾頓當初對於原子及分子，未曾加以辨別。此項分別，首次由阿佛加德羅於一八一一年，予以指出。至一八六〇年左右，始爲化學家所公認。自該時起，此點成爲原子學說中極重要的一部份。按此我們說，分子 (molecules) 爲各種物質之物理上的單位，原子 (atoms) 則爲化學上的單位；此點對於元素 (elements) 與化合物 (compounds)，同樣應用。化合物之分子，係由不同的原子所構成（例如鹽酸、氫氧化鈉等等）。元素的分

子，則爲一種原子所構成；有時一個分子中僅含一個原子（例如汞、氫等），有時則含兩個或兩個以上相同的原子（例如氧氣、氮氣、氫氣、氯氣、磷等）。用物理方法，將一塊物質，細分下去，最後祇能得到分子。再向下分，便須經過化學反應。經由化學反應拆開或令其變化之分子，其成分與性質，與起反應前，大不相同。例如石灰石的成分，主要爲碳酸鈣（ CaCO_3 ）。用物理方法細分下去，按理最後可能得到的東西，是碳酸鈣分子。可是如果將此物加熱，即起化學作用而成石灰（氧化鈣， CaO ）及二氧化碳（ CO_2 ）；此兩物之成分及性質，均與原來的碳酸鈣有別。經過此種作用，碳酸鈣分子，確已拆小；祇是結果所得單位，與原來的不同。如果以日常生活所見現象，作一個比方；一塊物質，好比一個城市，裏面每個人算作一個單位，相當於物質中之分子。假如現在這座城市裏面，有一百萬人口。我們一個一個將他們拆開，最後所得單位，爲單個的人。當然這個單位，還可以再分；不過再分下去，所得便不是一個完整的人。此種比方，與物質含有分子之情形，雖非完全平行，卻可幫助我們了解此點。

凡是化合物，都可用適當化學方法，將其分解下去，得到更簡單的物質，最後得到元素爲止。在上段所舉一例中，我們已經看到，碳酸鈣經熱，分解成爲氧化鈣及二氧化碳，此兩物皆較原來的碳酸鈣爲簡單。更進一步，經過適當手續，我們最後可將氧化鈣分解成爲鈣及氧，二氧化碳分解成爲碳及氧。在另一方面，元素卻不能用普通化學方法，分解成爲更簡單的物質；這點也就是元素之定義。當然元素之分子，有時可以拆成它的原子。例如氫氣分子（ H_2 ）內，

含有兩個氫原子。在高温度下，此項分子，一部份分解成爲氫原子(H)，後者較氫氣爲活動（易於起化學作用），故性質亦稍有分別。不過氫原子與氫氣分子在性質上之差別，遠不如碳酸鈣與氧化鈣，或氧化鈣與鈣或氧，相差之巨。同時氫原子與氫氣分子，全是由一種化學單位或原子（即氫原子）所構成，不能以化學方法分成幾種其他原子。所以氫是一種元素。

以前化學家以爲元素絕對不能再分。自從原子結構之研究發達以後，乃知大大不然。一個原子，本身就是類似太陽系統一般之複雜系統，甚至連原子核也不簡單。有些高原子量之原子，竟會自動分解，發生放射現象。另外許多種，雖無此種自動分解現象，但被 α 質粒或中子衝擊，則能變成其他元素。由此觀之，所謂原子不能再分之說，在今日已與事實不符。我們祇能說，原子不受普通化學作用之影響；但在特殊情形下（如用 α 質粒或中子衝擊），仍可變成更小的單位，或化成其他原子。

原子學說之一種有力證據，在達爾頓時代即被引用者，爲每種化合物，具有固定不移之成分。此種通則，稱之爲「定比定律」(law of definite proportions)。例如水爲氫、氧兩種元素之化合物。自各處來源得來之純淨的水，經分析後，其所含氫與氧之重量比例，永遠爲一、〇〇八比八。又如石灰（氧化鈣）之分析，總是四〇・〇八份（重量）的鈣，對十六份的氧；祇要那石灰是純淨的，無論來自何處或何時，均無關係。此等事實，如果假定物質可以無限制分下去，很不容易解釋。反之如果原子學說是對的（那就是說，物質係由若干不可分的最後單

位所構成)，則此種情形，正是自然的結果；因為所謂不可分的單位，從定義上，根本就不能以幾分之幾的單位，與別的單位相化合。這就好比兩個人配一對夫妻，三個或五個人組織成一個委員會；但是決沒有由三個半人或二又四分之一人組織成功的團體。

有時兩種（或兩種以上）元素，可以化合成爲不止一種化合物（例如一氧化碳與二氧化碳）。此種情形，並不與定比定律相抵觸；因爲此中每一種化合物之成分，仍是固定不變的。將此等化合物放在一起來看，以其中一種元素爲標準，與該元素相化合之其他一種元素，其質量（或重量）在此串化合物中，彼此互成一種簡單整數之比例。此項通則，稱之爲「倍比定律」(Law of multiple proportions)。其解釋方法，亦以運用原子學說爲最妥。

據今所知，原子所占體積極小。例如任X射線通過結晶固體，從該項射線之繞射 (diffraction) 圖案，可以算出該項結晶中各原子彼此相距之距離。如此找出原子間距離以後，即可求出各種原子之半徑。用此法求出之氫原子半徑，約爲 0.29×10^{-8} 厘米；鈾原子半徑約爲 1.41×10^{-8} 厘米。此等數字，其位數大小 (order of magnitude)，在一萬萬分之一左右，約與X射線之光波相當；較之普通眼睛所能看見之光波，則要短很多倍。因此按照物理學（光學）的道理，我們永遠不能希望，在顯微鏡下看見原子。可是由於新近許多研究，原子雖未能直接看見，它的影響與行動已可見到。例如利用一部閃爍鏡 (spinharscope)，觀測 α 質粒 (α -particle，即帶有兩個正電荷的氦核)；每個此種質粒，落在塗有結晶體硫化鋅之屏風上，均發出

微弱之光一閃，因此經由該鏡，可以數清楚發出 α 質粒之數目。又如利用所謂「威爾遜霧室」(Wilson cloud chamber)，任個別的 α 質粒，通過內含過飽和水蒸氣之小室，該項質粒經過之路線，可自因氣體電離而引致之霧滴（由水蒸氣凝縮而來），顯露眼前。諸如此類情形，我們肉眼觀測所得，幾乎等於看見原子本身。以前講原子學說，不過以為這是一種方便而且極其有用之假設，可以幫助化學之系統化，採用大有好處。最近半世紀來，原子學說之證據，日益增多，已有人主張將其改稱為「原子定律」(atomic theory)。同時如上述幾種實驗所示，原子之真實性，已甚顯然。現在對於此項學說，可說是無復可以懷疑之處了。

簡單的分子，大小和原子相差不多。若干複雜有機物質，則分子可以很大。例如棉花中所含纖維素，一個分子裏面，含有六萬多個原子，其長度之大小位數，近乎可見光線 (visible light) 之光波，與可在高倍顯微鏡下直接看見之大小，相差不遠。

分子量與原子量之測定，在化學上甚關重要。分子本係物質之物理單位，故分子量之測定，可以採用物理方法。凡是能夠揮發而不致分解之物質，可由試驗所得蒸氣密度，算出其分子量。分子量與原子量一樣，均用氧的原子量等於十六作為基礎。一個分子的氧氣，內含兩個氧原子；所以氧氣的分子量，等於三十二。原子量與分子量，均係質量 (mass) 的相對數，亦即等於重量 (weight) 的相對數；祇是一種數目，並無固定物理單位（如克、磅等）。將代表原子量或分子量之數目，後面加上質量或重量單位，即分別得到「克原子」(gram atomic

weight, 簡稱 'atom'), 「磅原子」(pound atom), 與「克分子」(gram molecular weight, 簡稱 mol 或 mole), 「磅分子」(pound mole) 等。例如一、〇〇八克之氧素, 等於一克原子之氧; 三十二克氧氣, 即為一克分子之氧氣。一克分子氣體, 在標準情形 (即攝氏表零度之溫度與一個大氣壓的壓力) 下, 所占體積, 為二二·四升 (liters)。此項體積, 今稱之為「克分子體積」(gram molecular volume, 簡稱 molar volume)。按照阿佛加德羅定律 (體積相等之氣體, 所含分子數目相等), 各種氣體之克分子體積, 皆是一樣。在一定溫度及壓力下量得一種物質之蒸氣密度 (此係假定該項物質在普通溫度下為液體或固體, 故須先予加熱, 令其變成蒸氣; 如所研究之物, 本為氣體, 則徑直測定其密度), 可用氣體定律 (見下), 算出其在標準情形下之密度, 由之可以得出二二·四升該項蒸氣在標準情形下之重量 (克數), 此數即等於該物之分子量。事實上因為世界上一切氣體, 本非理想氣體, 各種氣體與理想氣體相差之程度又不一 (蒸氣與理想氣體之差別, 較永久性氣體為大); 所以嚴格說來, 各種氣體或蒸氣之克分子體積, 並非完全一樣。此點加上實驗上之錯誤, 使此法得出之分子量, 並非十分正確, 而祇是一種約數。

如果所研究之物質, 不能揮發 (或加熱即分解), 但能溶於水或其他溶媒 (solvent) 中, 則雖不能用上述方法測定其分子量, 然可運用溶液定律 (見上), 測定在溶液所引致之熔點 (凍點) 降低沸點提高, 或滲透壓力, 由此定其分子量。代表此等定律之方程式, 均係假定溶

液爲理想溶液而衍出。但實際上所遇到之溶液，並非理想溶液；而且各種實際溶液與理想溶液之差別，彼此不一。此點加上實驗上之錯誤，使此法得出之分子量，亦並非十分正確，而不過是一種約數。

有了若干化合物之分子量以作起點，原子量之測定，原則上即殊簡單。將一種化合物，予以準確分析，即得其化學成分 (chemical composition)，即該項化合物分子中所含各種原子之種類及百分數。爲測定原子量之方便起見，最好是用二元化合物 (僅由兩種元素構成之化合物，如水、氯化鈉等等)。假如所用此等化合物，爲一種元素的氧化物，此項分析，即可直接告訴我們，若干質量 (或重量) 之該項化合物，與八份質量 (或重量) 之氧素相化合；此數稱爲該項元素之化合量 (combining weight) 或當量 (equivalent weight)。如果一種元素不易與氧相化合，或其氧化物不易分析，該項元素 (例如氟、氯等) 類皆易與氫或鹼金屬元素 (如鉀、鈉等) 相化合；因此由其氫化物或金屬鹽 (例如氯化氫、氟化鈉等等) 之分析，可以間接得到該項元素之化合量 (當量)；因爲氫、鈉等對氧之化合量，乃是已知之數。一種元素之原子量，或與其當量相等，或爲其簡單整數 (如一、二、三、四等) 的倍數。究竟是那種情形，可由其所分析的化合物之分子量 (約數) 而定之。方法是將許多 (愈多愈好) 含有此種元素之化合物，予以分析，並測定其分子量。由分子量與該元素在化合物中的百分數之乘積，得出化合物所含此項元素之數量。各種化合物之是項數量，未必相等。其中之最小數量，即爲該元素之

原子量約數。將此數與準確測定之當量相比，視其大約爲幾倍，乃得該元素之準確原子量。例如從多種氯化物之化學分析，得出一分子化合物所含氯量，爲 3.52, 71.5, 106.0, 142.7, 178.5, 等。此中最小數爲 35.2, 該數大約即係氯素之原子量約數。從氯化物之準確分析，今知氯之當量爲 35.46。此數約與 35.2 相等；故對於氯素，原子量即等於當量，其準確原子量爲 35.46。凡是原子量與當量（化合量）相等者，該項元素之原子價 (Valence) 爲一。原子量爲當量之倍數者，該項倍數，即等於元素之原子價。以方程式代表之，此項關係，爲：

準確×原子量=原子價

每種元素之原子量，總有方法可以測定。化合物之分子量，則其測定有時成問題。凡是不能揮發，又不能溶解於適當溶媒中之化合物，其分子量測定，即發生困難。遇着此等情形，普通往往即以最簡單的化學式來代表該物；與該項化學式相當之化學式量 (formula weight)，權用作該物之分子量。凡遇此等困難時，或爲簡便起見，可用杜郎與柏蒂二氏在一八一九年所發現之定律 (Dulong and Petit's law)，予以估定。該項定律，即謂一種元素之原子量，與其比熱 (specific heat) 相乘，其乘積大約等於一種常數，該項常數之數值，約爲 6.4。

上文所述利用物理方法所求出之分子量，不過是一種約數，並不十分正確。如果要得分子量之確數，祇須知道該物一個分子中，含有幾種元素，每種有幾個原子存在，如此寫下其分子式 (molecular formula)。從此種分子式及所含各元素之原子量，用簡單數學方法，即可得出

該物分子量之準確數目。

一克分子裏面所含分子數目，稱爲「阿佛加德羅數」(Avogadro's number)。此數極大，其數值爲 6.05×10^{23} ，位數之大，近於天文學上所碰到之數目。一克原子內所含分子數目，亦即此數。將分子量或原子量，用此數一除，即分別得出一個分子或一個原子的質量或重量（以克計）。那種數量，當然是很小的。

據今所知，世界上元素總數，計有九十二種。就中以氫之原子量爲最輕，鈾爲最重。各種元素之中西文名稱及其原子量與原子序數，茲特將其於第一表，附於此處。各元素排列之次序，係以原子序數之大小爲先後，最小者列在最前。此項次序，除卻少數幾處例外，大體與原子量大小之次序相符。由表可知由氫至鈾，九十二種元素，現在均已發現，中間無復空格。惟關於氘（原子序數八十五）及銻（原子序數八十七）兩種元素，現在我們所知道的，仍嫌太少，故特在西文名後，加一問號以示疑。

第一表 元素名稱及原子量表

元 素	名 稱	符 號	號 原 子 序 數	原 子 量
英 文 中	文 中	文 中		
Hydrogen	氫	H	1	1.0080

Helium	氦	He	2	4.003
Lithium	鋰	Li	3	6.940
Beryllium	鈹	Be	4	9.02
Boron	硼	B	5	10.82
Carbon	碳	C	6	12.010
Nitrogen	氮	N	7	14.008
Oxygen	氧	O	8	16.0000
Fluorine	氟	F	9	19.00
Neon	氖	Ne	10	20.183
Sodium	鈉	Na	11	22.987
Magnesium	鎂	Mg	12	24.32
Aluminium	鋁	Al	13	26.97
Silicon	矽	Si	14	28.06
Phosphorus	磷	P	15	30.98

Sulfur	硫	S	16	32.06
Chlorine	氯	Cl	17	35.457
Argon	氬	A	18	39.944
Potassium	鉀	K	19	39.098
Calcium	鈣	Ca	20	40.08
Scandium	鈾	Sc	21	45.10
Titanium	鈦	Ti	22	47.90
Vanadium	鈷	V	23	50.95
Chromium	鉻	Cr	24	52.01
Manganese	錳	Mn	25	54.93
Iron	鐵	Fe	26	55.85
Cobalt	鈷	Co	27	58.94
Nickel	鎳	Ni	28	58.69
Copper	銅	Cu	29	63.57

Zinc	鋅	Zn	30	65.38
Gallium	鎳	Ga	31	69.72
Germanium	鍮	Ge	32	72.60
Arsenic	砷	As	33	74.91
Selenium	硒	Se	34	78.93
Bromine	溴	Br	35	79.916
Krypton	氪	Kr	36	83.7
Rubidium	鐳	Rb	37	85.48
Strontium	釷	Sr	38	87.63
Yttrium	釷	Yt	39	88.92
Zirconium	鈳	Zr	40	91.22
Columbium	鈳	Cb	41	92.91
Molybdenum	鉬	Mo	42	95.95
Massium	鉀	Ma	43	(?)

Ruthenium	鉑	Ru	44	101.7
Rhodium	銻	Rh	45	102.91
Palladium	釷	Pd	46	106.7
Silver	銀	Ag	47	107.880
Cadmium	錳	Cd	48	112.41
Indium	錒	In	49	114.76
Tin	錫	Sn	50	118.70
Antimony	銻	Sb	51	121.76
Tellurium	碲	Te	52	127.61
Iodine	碘	I	53	123.92
Xe on	氙	Xe	54	131.3
Cæsium	銻	Cs	55	132.91
Barium	銻	Ba	56	137.36
Lanthanum	釷	La	57	138.92

Cerium	錫	Ce	88	140.13
Praseodymium	鐳	Pr	59	140.92
Neodymium	釵	Nd	60	144.27
Ilminium	銀	Il	61	146.148
Samarium	鈔	Sm	62	150.43
Europium	鎔	Eu	63	152.0
Gadolinium	鈺	Gd	64	156.9
Terbium	鈹	Tb	65	159.2
Dysprosium	鐳	Dy	66	162.46
Holmium	鈦	Ho	67	164.94
Erbium	鈳	Er	68	167.2
Thulium	鈹	Tm	69	169.4
Ytterbium	鐳	Yb	70	173.04
Lutecium	鐳	Lu	71	174.99

Hafnium	鈪	Hf	72	178.6
Tantalum	鉭	Ta	73	180.88
Tungsten	錳	W	74	183.92
Rhenium	銻	Re	75	183.31
Osmium	銱	Os	76	190.2
Iridium	銱	Ir	77	193.1
Platinum	鉑	Pt	78	195.23
Gold	金	Au	79	197.2
Mercury	汞	Hg	80	200.61
Thallium	鉍	Tl	81	204.39
Lead	鉛	Pb	82	207.21
Bismuth	銻	Bi	83	209.00
Polonium	鉈	Po	84	210.0
Alabamine (?)	釷	Ab	85	221.0

Radon	錒	Ra	86	222
Virginium(ε)	錒	Vi	87	228(1)
Radium	錒	Ra	88	226.05
Actinium	錒	Ac	89	225
Thorium	釷	Th	90	232.12
Protactinium	鏷	Pa	91	231
Uranium	鈾	U	92	238.07

各種元素，性質彼此不同，質量亦異。各元素之種種性質(包括物理性質與化學性質)，似與其質量(原子量)具有相當密切的關係。因此原子量表，乃是目前化學知識之極重要的一部份。當然有了此表，計算分子量，纔能非常快便。無論是做理論研究或是辦工廠，每逢作化學計算時，總離不開原子量表。一切化學書籍，幾乎每本至少附有一張簡單化的原子量表。

原子量之觀念，始於十九世紀初年，達爾頓時代，迄今已有一百四十年的歷史。原子序數(atomic number)之意念，發現要遲得多。它是第一次大戰前夕(一九一三至一九一四年)，英國物理學家摩斯勒所發現的。摩氏在X射線管中，用各種不同的固體元素或其化合物，作為「對陰極」(anti-cathode)，研究其所得出之X射線。結果發現，每種元素，發出一種特殊波

長的 k 系 (K-series) 射線。此項射線之頻率 (Frequency) 的平方根，自較輕元素 (如鋁、矽等) 至較重者，逐一作有規則之增加。假定以氫為一，氦為二，則每種元素，按次序各有一種固定的數目；這些數目，彼此互異，而且最可注意的，全是整數。此等數目，今稱之為「原子序數」，為各元素之基本特性。據今看來，對於一種元素，原子序數乃是較原子量更為基本之性質。此點從下段所述看來，即可見其一斑。

由普通鉛礦得出來之鉛，其原子量經精確測定，為二〇七·二。由鈾演變出的鉛，其原子量為二〇六·一；從釷變出來的，二〇八·四。此等差別，遠超過實驗上可能有之錯誤。同時這三種來源之鉛，其原子序數均為八二。其物理與化學性質，亦係相同。惟一分別，似在原子量上。後來經過進一步之研究，方知所謂「鉛」這種元素，實含有原子量為二〇八，二〇六，二〇七的三種物質 (嗣後又發現其並含有原子數為二〇四的一種)。此等原子序數相同而原子量各異之物質，稱之為「同位素」(isotopes)，它們在週期表中，同占一格。對於同位素之研究，英國化學家阿斯吞，是一位前導者。在這方面，他的貢獻亦屬最大。阿氏用質譜分光鏡 (mass spectrograph)，測定各種元素之同位素之原子量。此項方法，至今沿用之。

普通所謂元素，既然可由幾種同位素構成；其用化學分析測定之原子量，自有隨來源而異之可能。按此上文所述鉛的情形，不足為奇。不過總算還巧。元素之有同位素存在，雖係通常現象而非例外 (據今所知，九十二種元素當中，業已發現含有同位素者，占半數以上)；但是

如鉛一類情形，由不同來源得來之元素，具有不同的原子量（即含有不同比例的各種同位素）者，甚爲罕見。普通一般元素，無論其來源如何，尋常用化學方法（分析）所得之原子量（實係含有幾種同位素的混和物之平均原子量），總是一樣；除非是我們特別設法將其分開。換句話說，此等元素，我們遇到的，永遠是同樣成分的同位素混和物；所以當初化學家均將其視作一種單純物質，而不疑其實爲混和物。例如氯的原子量，用化學方法測定，總是 35.5 ，不管其來源如何。惟當用質譜分光鏡去研究它時，纔發現其實乃原子量爲三十五及三十七的兩種同位素之混和物。爲避免與元素的平均原子量（即用化學方法所測定者）相混淆起見，各種同位素的原子量，亦常稱爲「質量數」（mass number）或「原子質量」（atomic mass）。

由第一表，顯然可以看見，各種元素之原子序數，全係整數；原子量則除氧係用作計算標準，故意選成一個整數（十六）以外，其餘皆帶有小數。（最初原子量係以氫等於一爲單位，取其最輕。嗣即發現，如果改用氧等於十六作爲計算基礎，許多元素的原子量，近乎整數；而且與氧相化合之元素，較之與氫相化合者爲多，故遂改用氧爲標準。後來原子量測定，愈趨精確，以氧作基礎所算出之原子量，又不復顯出是整數。不過對於工業化學等不求十分正確之計算，其中許多，當作整數用，仍無大礙。）在另一面，用質譜分光鏡測定各種同位數之質量數，則除氧以外，幾全可視作整數。原子量之帶有小數，其原因有三。第一，同位素之質量數，測定時係以質量數爲十六的氧素同位素（ $^{16}\text{O} = 16,000$ ）作爲標準；而用化學方法測定原子

量，則以普通所謂氧素作為基礎。據今所知，普通所謂氧素，主要部份（九九·七六%）為質量數十六的同位素；但同時含有〇·二〇%之質量數十八的氧素，與〇·〇四%之質量為十七的。按此如將尋常所見原子量表（如第一表中所列者），改用質量數十六的氧素作為計算標準，其所得數目，應約加大萬分之二左右。例如氫素原子量，由化學方法測定者，按此計算，應為一·〇〇八二。利用質譜分光鏡測定各種同位素質量數之方法，今已進步到如此程度，使其實驗差誤，小於萬分之一，較化學測定法更要準確些。此法測定結果，質量為一之氫，其質量數，實為一·〇〇八一。普通所謂氫素中，今知除此物外，含有萬分之二之質量素為二的同位素，與微量質量數為三的。故該法測得結果，與用化學方法測定者，正好符合。

第二種理由，使原子量不能成為整數者，由於所謂「擠搥影響」（packing effect）而來。查上列第一表中，氦之原子量，約為氫之四倍；但非整整四倍，而係略為小些。氫原子量之四倍，為四乘一·〇〇八〇，等於四·〇三二；而氦之原子量則不過四·〇〇三，二者之差為〇·〇二九。假定氦係由四個氫原子所構成，在氦變成氫的過程當中，質量損失〇·〇二九。按照相對論發明者愛因斯坦（Einstein）之見解，一個系統中，質量與能量之變動，彼此有關，其關係可以下列方程式代表之：

$$E = mc^2$$

在此項方程式中， E 代表能量的變動，以爾格（erg）計算； m 為質量的變動（以克計）； c 等

於光的速度（每秒鐘 3×10^{10} 厘米）。將爾格數用 10^7 一除，得到焦耳 (Joule) 數；再用四、一八二（熱的機械當量）一除，即得卡 (calorie) 數。按此計算，四克原子氫變成一克原子氮時，其所放出之能量，為六六四、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇卡，為數異常龐大。在此項變化中，質量總數減少 0.029 克，能量則依愛因斯坦關係而增加。此項關係，亦稱為「質量能量不變定律」(law of conservation of mass-energy)。古典派 (classical) 物理學之一種基本原则，即為「能量不變定律」(law of conservation of energy)；那條定律說，宇宙間能量總數，永遠不會變更，能量祇能變更形式（例如由機械能變為熱能），却不能創造，亦不會消滅。古典派的化學，建築在此項定律與「質量不變定律」(law of conservation of mass) 上；後一條定律說道，無論經過那樣化學變化，宇宙間質量總數，永不會變更。二十世紀初年以來，近代物理與原子化學之研究，使這兩條基本定律，發生問題。現在我們知道，愛因斯坦關係，乃是全部真理；該項關係，也可說是由「質量不變」與「能量不變」兩條定律，擴大聯合而成。那兩條古典派定律，雖則嚴格說來，已與事實不符；但對於一般物理與化學上計算，仍可應用無礙。其所引起之錯誤，大都遠較實驗錯誤為小。因此對於工業化學計算以及一般化學計算，迄今仍執此兩定律以作基礎。祇有當論及原子現象時，如此處所舉者，乃有用到愛因斯坦關係之處。

原子造成時，因能量變動所引起之質量變動，如上段所述者，今稱之為「擠搗影響」。此

數在所造成的元素之原子量中所占分數，則稱爲「擠攏分數」(packing fraction)。以質量數十六的氧素作爲標準，質量數爲一之氫素，是項分數約爲千分之八；自氦起以迄鈾則或正或負，全在千分之二以下（大多數在千分之一以下）。

最後一種使化學方法測定的原子量不成整數之理由，在於所謂元素之實係幾種同位素的混和物。有些元素（例如磷），迄今未曾發現其有同位素現象。此等元素之原子量，其所以不成整數，完全係由上述兩種理由而來。多數元素，則係由兩種或兩種以上的同位素所構成，有時多到八九種（例如銻、氫等）。對於這類元素，同位之存在，往往是使原子量不成整數之主要理由；因爲這種影響，在數量上大都比上述兩種影響，要大得多。

各種元素之同位素現象，以氫爲最有趣。普通所謂氫素，今知其實爲三種同位素之混和物。今將此三種同位素，列於第二表：

第二表 氫之同位素

同位素	名稱	符號	質量數	在普通氫中所占成分
Protium	氫	H (簡作 ¹ H)	1	九九·九八%
Deuterium (Heavy hydrogen)	氘	D (簡作D) 或 ² H	2	〇·〇二% (H之六千二百分之一)
Tritium	氚	T (簡作T) 或 ³ H	3	十萬萬分之一 (10 ⁻⁹)

由表可見，氫之同位素，其質量數約爲一，二，三之比；但按精確測定的結果看來，並非整的此項簡單倍數，而稍有差池之處，其原因亦在於由氫變成氘或氚時連帶發生之「擠搗影響」。除氫以外，其他元素之各種同位素，其質量差數，在質量數中所占成分，比較不高；若氫的各種同位素之質量，竟成兩倍三倍的數目。氫的同位素之所以特別有趣，特別受到注意，其理由即在於此。

上文曾經提到，一種元素之同位素，其物理與化學性質，均係彼此相同。這句話仔細看來，並非絕對正確。對此我們應該附上一宗條件，就是凡性質之與質量數有關者在內。例如物理性質方面，比重，擴散速率(Rate of diffusion)等，均與質量數有關；所以各種元素，在這些性質上，具有區別。同位素之質量數較大者，比重比例的大起來，其擴散率亦較慢。在化學性質上，質量數之差別，雖不致影響反應之種類；但在有些情形下，可能影響反應速度（含有質量數較大的同位素之物質，比較要笨重些，所以反應有較慢之趨向。現在所以析開同位素混和物之方法，即係利用此項物理上性質上之差別。擴散，真空分餾，是此方面兩種用過的方法。被析開之元素，除氫以外，尚有氯、氮、汞等。當然原子量較高之元素，其同位素在質量數上之差別，比起氫來，要小得多，因此其析開亦係加倍困難。此類工作之所以集中在氫的同位素，此係一種重要理由。

氫有三種同位素（其質量數分別約爲一、二、三），氧亦有三種同位素（其質量數爲十

六、十八、十七)。因此按理二原子氫，與一原子氧，化合成水，計有十八種可能的化合物，可以造成。現知天然水中，含有下列各種，其成分分別如下： $1\text{H}_2^{16}\text{O}$, 99.72% ; $1\text{H}_2^{18}\text{O}$, 0.2% ; $1\text{H}_2^{17}\text{O}$, 0.04% ; D_2O (O 爲 $^{16}\text{O}_1$, ^{18}O , 與 ^{17}O 之混合物), 0.04% 。此中除 $1\text{H}_2^{16}\text{O}$ 一種以外，均曾在純淨狀態下，製備出來。另外 H^{16}O 一物，亦曾有人製出。各種天然來源之水，除却其所含雜質不計，其成分均係一樣。但將其經過適當處理，可將其中所含「重水」(heavy water, 亦稱 deuterium oxide, 即 D_2O) 析出。一種用過的方法，即係將其經過分餾。(重水之沸點，在一個大氣壓，爲攝氏表一〇一·四二度，較普通水高一度多。)但是最常用之法，乃係將水之鹼溶液，經過電解手續。水經電解時，其所發出之氫氣，內含重氫成分，不過原來水中氫素所含者五分之一。將是項手續，重複多次，最後可得到幾乎純淨的重水。以二十升業已用電解方法略將重氫提濃之水作起點，因此法最後可得一·三立厘米幾乎純淨的重水。從此項重水，即可經過適當化學作用，得出重氫 (D_2)。該項氣體，最後以擴散法提純之。由此處所述水之一例，即可見同位素之發現，如何使化學更加複雜化。

第九章 化學名詞、符號、化學式、與反應式

爲着研究方便起見，每門學問，都有它的一套專門名詞與縮寫法。化學對此，當然亦非例外。它也有牠的那一套。化學既係以研究物質及其變化爲目標，首先對於各種物質，不得不分別給以名稱。正如有張三李四，地有南京北平一般，每種元素或化合物，都有一種特有的名字。少數物質（如金、銀、銅、土硝、酒精等等），原有固定俗名，可以沿用。其他物質，則須由化學家予以名稱。我們替生下來的小孩取名字，可以隨便取一個；但是中國普通習慣，乃是按照排行命名，名中有一字，由之可以立刻知道他的班輩。如此命名的方法，含有系統化之意義在內。化學家所要命名的東西，爲數甚多。爲着幫助記憶起見，不得不極力將其名稱系統化。所謂系統化之原則，係令其名稱與該物性質，發生連繫。化學發達之結果，使一物質之許多性質，可用化學式代表出來；該項化學式，顯示此物之成分或結構。因此物質之系統名稱，大都帶有表示該物成分或結構之意義。當然從不同觀點看去，一種化合物，可能有幾種不同的系統名稱。同時系統名稱以外，還可保留固有或新創的俗名。這就正同一個人，在名字以外，可有別號，還可有小名一般，並不礙事，記起來也不一定太麻煩。所謂「俗名」，係與系統名稱相對而言。其長處在於比較簡短易讀；短處則在顧名思義，不容易一下就知道該物性質，或

者知道得不夠。若干俗名，以當初取名時認識不夠；後現代系統名稱眼光看來，顯係錯誤，或有將人引入誤解之險。此等名稱，若干以久已用慣，仍舊保留（例如碘水化合物，芳香族化合物等），但大家了解其原義業已過時。其他許多，則已歸淘汰，或正在淘汰中。

談到物質名稱，我們首先當講元素命名法。在西文中，若干元素，在十九世紀初年，業已得有一定名稱。其中一部份雖亦帶系統化意義，但是並未經過通盤計劃。現在西文元素命名之惟一通則，是金屬元素，除却少數例外，皆以拉丁文中的接尾字 *-um*，作為字尾（例如 *sodium, chromium* 等等）。中文命名法，在此方面，比較整齊劃一。一切元素，凡在普通溫度及氣壓下為氣體者，其名稱一律從氣（例如氫、氧、氮等）；液體者從水（例如溴、汞等）；固體者金屬元素從金（例如鉀、鈣等），非金屬元素從石（例如硫、磷、碘等）。除此項字頭或偏旁外，名中其餘部份，概係由西文名稱演化而來；較普通幾種（如氫、氮、氯等）譯義，其餘則類皆譯音。譯音原則，尋常取英文名第一音節之音（例如鈣、鉻等）；必要時，為免混淆起見，採用第二音節之音（例如鋳、鎂、硼等）。少數幾種，如金、銀、鉛、硫等，係採用我國固有名詞（碳及磷兩種元素，則係原有名稱，配上適當偏旁，以免與上述通則相抵觸。）有的則非由英文名稱，乃係自拉丁名衍化而來（例如鉀、鈉、鎢等）。

對於化合物之命名，凡是無機化合物，普通多將其成分作兩部份看，分別予以名稱，然後將其連貫起來。此兩部份，大都不難辨清，其一部份正性較大 (*more positive*)；其他部份，

則正性較小，即負性較大 (more negative)。英德兩國文字之習慣，係將正性較大部份，放在前面；中文與法文，則正相反，但中文寫分子式之方法，則仍按照英文習慣，而與法文相反。例如 potassium chloride (KCl) 在中文稱爲「氯化鉀」，sodium sulfate (Na_2SO_4) 稱爲「硫酸鈉」。

凡係僅由兩種元素組織而成之化合物，稱爲二元化合物；其重要代表物，爲氧化物，氫酸 (hydro-acids，例如 HCl) 及其鹽等。此類化合物之命名法，在英文中，將放在後面之正性較小部份，用 -ide 作爲字尾；中文則稱某化某，以正性較小部份居前。例如 NaCl 稱氯化鈉 (sodium chloride)，CaO 稱爲氧化鈣 (calcium oxide)， Al_2O_3 稱爲氧化鋁 (aluminum oxide)。如上所舉三例，化合物中之兩種元素，祇能化合成爲一種化合物，故每種原子之數目，無須特別標出。假定兩種元素互相化合，能成兩種或兩種以上的化合物，則在命名時，將所含各種原子數目，用連頭字 (英文) 或數目 (中文) 予以示出。另外一種方法，係將原子價變動的元素，用適當字尾 (英文)，或加一字 (中文)，以示出之。例如 N_2O 稱爲一氧化二氮 (dinitrogen monoxide or nitrous oxide)，NO 稱爲一氧化一氮 (nitrogen oxide or nitric oxide)；FeO 稱爲一氧化一鐵或氧化亞鐵 (iron (II) oxide or ferrous oxide)， Fe_2O_3 稱爲三氧化二鐵或氧化鐵 (iron (III) oxide or ferric oxide)。氫酸除按上述方法命名外，亦可稱爲「氫某酸」；例如 HBr 稱爲氫化氫 (hydrogen bromide) 或氫溴酸 (hydrobromic acid)。少

數含有兩個以上的元素之化合物，其命名法與二元化合物相似。此中主要例子，為氫氧化物，氫化物，及鉍鹽。例如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 稱為氫氧化鈣 (calcium hydroxide)， HCN 稱為氰化氫 (hydrogen cyanide) 或氫氰酸 (hydrocyanic acid)， NH_4Br 稱為溴化鉍 (ammonium bromide)， NH_4CN 稱為氰化鉍 (ammonium cyanide)。在此類化合物中，係將氫氧基 ($-\text{OH}$)，氰基 ($-\text{CN}$)，或鉍基 (NH_4^-)，各作一個單位看待。

含氧酸 (Oxy-acids) 在英文中以 acid 一字煞尾，中文則用「酸」字。一種元素，能成幾種含氧酸者，在酸中用適當連頭或接尾字 (英文)，或冠以適當之字 (中文)，以表示之。其中最普通的一種酸，中文即簡稱「某酸」，英文則稱為 *-ic acid*。造酸元素之原子價大於此酸中所含者，以「高」(per-) 字表示之；小於此酸中所含者，則逐步分別以「亞」(ous)，「低」(hypo...-ic)，「次」(hypo...ous) 等字表示之。例如 HClO_3 稱為氯酸 (chloric acid)， HClO_4 稱為高氯酸 (perchloric acid)， HClO 稱為次氯酸 (hypochlorous acid)， H_2SO_4 稱為硫酸 (sulfuric acid)， H_2SO_3 稱為亞硫酸 (sulfurous acid)， $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 稱為低硫酸 (hyposulfuric acid) 等。至於含氧酸之鹽，中文命名時，即將該酸名後，加上該酸所含金屬或正性基之名，英文則將此部份冠於名前，而將酸名之 *-ic acid* 改為 *-ate*，*-ous acid* 改為 *-ite*。例如 K_2SO_4 稱為硫酸鉀 (potassium sulfate)， $\text{NH}_4\text{H}_2\text{SO}_3$ 稱為亞硫酸鉍 (ammonium sulfite)， NaClO_4 稱為高氯酸鉀 (potassium perchlorate) 等。

第三表 有機化合物之重要類別

類	中文	英文	官能團	名中表示官能團之方法	命 名 舉 例
中類	文英	Hydrocarbons	無	—	CH ₃ CH ₃ 乙烷 (ethane)
(煙化氫)	Alcohols	-OH	醇	-ol 或 alcohol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH 丙醇 (propanol or n-propyl alcohol)
醇	Ethers	>O	醚	ether	(CH ₃) ₂ O 二氧 甲基醚 or dimethyl ether
醚	Aldehydes	-CHO	醛	-al 或 aldehyde	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COCH ₃ 丁醛 (butanal or butyraldehyde)
醛	Ketones	>C=O	酮	-one 或 ketone	CH ₃ CH ₂ COCH ₃ 丁酮 (butanone or methyl ethyl ketone)
羧 (有機酸)	(Organic) Acids	-COOH	酸	-ic acid	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH 丙酸 (propionic acid or n-valeric acid)
酯	Esters	-COOR	酸酯	-ate	CH ₃ COOC ₂ H ₅ 乙酯 (ethyl acetate)
鹵	Acyl halides/Acyl halogenides	-C(=O)X (X = Cl, Br, I, 或 F)	鹵	-oyl halogenide 或 -yl halogenide	CH ₃ COCl 乙氯 (ethanoyl chloride or acetyl chloride)
酸	Acid Anhydrides	(-CO) > O	酐	-oic anhydride 或 -ic anhydride	(CH ₃ CO) ₂ O 乙酐 (ethanoic anhydride or acetic anhydride)
醯	Acid amids	-CONH ₂	醯	amide	CH ₃ COONH ₂ 乙醯 (ethanamide or acetamide)
腈	Nitriles (Cyanides)	-CN	腈	-nitrile	CH ₃ CN 乙腈 (ethanenitrile or acetonitrile)
胺	Amines	-NH ₂ , -NHR ₁ 或 -NR ₁ R ₂	胺	-amine	(C ₂ H ₅) ₂ NH 二乙胺 (diethylamine)

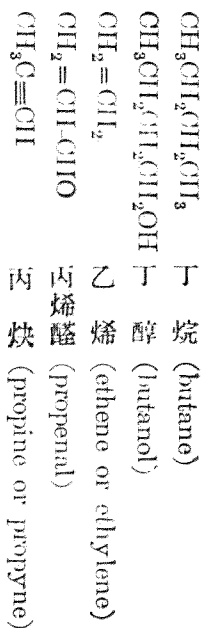
鹵化物	Halogenides (Hr- Iides)	$\cdot X$ (X = Cl, Br, I, 或 H)	鹵	halogeno- 或 halo-	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{I}$ 碘乙烷 (iodoethane or ethyl iodide)
硝基化合物	Nitro-Compounds	$\cdot \text{NO}_2$	硝基	nitro-	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NO}_2$ 硝基乙烷 (nitro- ethane)
硫醇	Mercaptans	$\cdot \text{SH}$	硫醇	-thiol 或 mercaptan	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$ 乙硫醇 ethanthiol or ethyl mercaptan
磺酸	Sulfonyl Acids	SO_2H	磺酸	-sulfonic acid	$\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ 甲磺酸 (methane sul- fonic acid)

有機化合物(鹵化合物)之命名，較為複雜。按照其所含官能團 (Functional group) 之不同，有機化合物，可以分成若干部。就中最重要的幾類，如第三表所示。

有機化合物，從其化學性質，可分為脂肪族化合物 (aliphatic compounds) 與芳香族化合物 (aromatic compounds) 兩大類；後者在其分子中，含有芳香核 (aromatic nuclei)，該項

之存在，使化合物具有若干特殊化學性質。第三表中所舉各例，為求簡便起見，均以脂肪族化合物為限。此族化合物之命名，除表示官能團外，同時尚需表示其飽和程度與所含碳原子數目或碳鏈長短。表示飽和程度之方法，凡係完全飽和之化合物，在中文中或用「烷」字表示之，或根本不提，讀者亦可了解；英文則用 -ane 之接尾字(如此字後加有表示官能團之接尾字，則將 e 字略去。化合物之在碳原子間含有雙鍵 (double bond) 者，中文以「烯」字，英文以 -ene 表示之，含有叁鍵 (triple bond) 者，中文用「炔」字，英文用 -yne 或 -yno。第三表中所示各例，為求簡便起見，所列皆係飽和化合物。茲特擴大範圍，再舉數例，以示此處所

述各點。



表示化合物中所含碳原子數目之方法，目前通行習慣，係將該項化合物中含有官能團之最長碳鏈挑出，作為主鏈。此鏈以外，如果尚有分出的碳鏈，則稱為枝鏈。主鏈中所含碳原子數，英文中以希臘或拉丁接頭字表示之；中文則十以下用天干（甲、乙、丙、丁等等），十以上用數目字。例如 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 稱為「己烷」(hexane)， $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}=\text{CH}_2$ 稱為「十一(碳)烯」(dodecene)， $\text{CH}_3-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{H}-\text{CH}-\text{OH}$ 稱為「1-甲丁醇」(2-methyl butanol) 等。

在最後一名中，可見主鏈中編數之方法；即自帶有官能團之碳原子數起，以亞刺伯數字編數。

至於芳香族命名之方法，在可能範圍內，儘量採取上述脂肪族命名法的原则。惟常見幾種芳香核，各有特殊名稱；是項名稱，在其衍生物中顯出。例如 $\text{O}-\text{NO}_2$ 稱為「硝基苯」(nitro-benzene)， O 稱爲「萘銨」(2-or β -naphthylamine) 等等。

關於中文化學名詞，物質名稱部份，教育部國立編譯館現印有化學命名原則（訂正本於一九四二年出版），可資參考。凡以上幾處所未盡之處，閱該書自明。另外關於儀器及設備名詞，該館亦編有化學儀器設備名詞一冊，於一九四〇年，由商務印書館出版。

系統化的化學名稱，一覽已可知其代表之物質為何物，及其性質如何。但是此等名稱，應用時有時往往嫌其過長。爲更求簡單明晰起見，化學家發明用符號（symbols）及公式（formula），來代表物質；符號用之以作元素名稱的省寫，公式則用之以代表化合物，表示其化學成分或結構。代表元素之符號，係用一個或兩個字母。如係一個字母，普通多取該項元數英文名稱之第一個字母；例如 P 代表磷（phosphorus），S 代表硫（sulfur）。如有幾種元素，均係以同一字母起首，則除其中一種得用單獨一個字母外，其餘概用元素名中兩個字母，仍以最初一個字母居先，其他一個亦儘量採用名中之第二個字母。例如 C 代表碳（carbon），Co 代表鈷（cobalt），Cr 代表鉻（chromium）等。少數元素之符號，非係自英文名稱衍出，而係自其拉丁名稱縮寫得來；例如 Cu 代表銅（拉丁名爲 Cuprum），Na 代表鈉（拉丁名爲 Natrium），W 代表鎢（Wolfram）等。在此附帶可以注意，一種物質之中英文名稱，雖在表面上迥然不同；代表該物之符號或公式，則在中文與英文中，完全一樣，皆採西文字母以代表之。一種元素，如其分子係由單個原子所構成，其符號與公式（分子式）即係完全一樣。例如 H_2 一方面爲氫素之省寫，同時亦爲水銀（汞）分子之公式。不然則符號與公式，可有區別，例如氮素之符號爲

Cl，氯氣分子式則為 Cl₂。

代表元素的符號，現在四個角上，都可擺上數目字，其意義視該項數目所占地位而異。質言之，置在符號左上角的數字，表示該項元素之原子量（質量數）。置在左下角者，表示該項元素之原子序數；置在右上角者，表示電離情況；置在右下角者，表示該項原子之數目。例如



一式，其意義為帶有一個正電荷（+1）之電離（ionized）氯氣分子（該分子一個內含兩個原子的氯素），其所含氯素之原子序數為 17，質量數則為 35 者。

代表化合物之公式，稱為「化學公式」（chemical formula），簡稱「化學式」。所謂化學式，實可分為幾種。從化學分析結果，找出一種元素或化合物分子中所含原子種類及其簡單的整數比例，將此項結果拼寫在一起，即得所謂「經驗式」（empirical formula）。有了經驗式以後，查考原子量表，將各原子的質量代入經驗式中（凡式中不止含一個的各種原子，按其個數倍上），得出所謂「公式量」或「化學式量」（formula weight）。此時乃用實驗方法，求出此物分子量之約數，視其是否與化學式量大約相等，抑或約為其一種簡單倍數。如係前一種情形，此物之「分子式」（molecular weight），即係與其經驗式一樣。若係後者（分子量為化學式量之簡單倍數），則須將經驗式，用此項倍數乘上去。經驗式亦稱「最簡單的化學式」。

(simplest formula)。凡是可以分析之物質，皆可找出其經驗式。分子式之決定，有賴於分子量之測定。目前對於各種物質之分子量，並非都能作準確測定。所以可靠的分子式，不一定易於得到。在得到分子式以前，普通多即以經驗式代表物質。

分子式有了相當決定以後，可更進一步，由其化學反應之研究，找出其「結構式」(structural formula，亦稱「構造式」)。經驗式(代表一物所含各種原子的比例或成分)，分子式(代表一物成分及其分子中所含各種原子總數)，與結構式(除代表分子式所示者外，更進一步而表示各個原子連結之狀況)，代表化學家研究物質的三個階段。以日常生活所見現象為例，假如一座房子，代表一種物質的分子。將房子拆下來，數一下磚、瓦、木料、玻璃的數目，得其比例(例如所得比例，為一千塊磚對兩百皮瓦，三根木料，與一塊玻璃)，就仿佛找到了它的經驗式。假設同時知道這些材料每件的數目(例如一萬塊磚，兩千皮瓦，三十根木料，與十塊玻璃)，我們就算找到了分子式。但是用這些材料，可以做出多種形狀不同的房子，視其排列配合如何而異。詳細找出各件材料之接合狀況，方可知道此幢房子的結構。多數無機化合物，找到分子式來代表它們即已很夠。一般有機化合物，則因常有同分異性物之故，多須用結構式。對於發生立體異性(stereoisomerism，包括光學異性與幾何異性)之化合物，須更進一步用立體模型或「立體式」(stereochemical formula)來代表之。

上述各種化學式之不同，可以醋酸為例解釋之。醋酸經分析結果，得出其經驗式為 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 。

查閱原子量表（第一表）後，求出其化學式量爲 $1 \times 12.010 + 2 \times 1.0080 + 1 \times 16.0000 = 30.036$ 。用實驗方法，求得此酸之分子量爲六〇，約爲其化學式量之二倍。因此醋酸之分子式，爲 $C_2H_4O_2$ 。將此物反應予以研究後，證明其結構式爲 CH_3COOH 。

有了化學式以代表各種元素與化合物以後，可將各種物質起化學反應 (chemical reactions) 時所生之變化，用一種簡單方式代表之。此種方式，係將起反應之物質，與其所成產品，列成一種材料均衡表 (material balance)；是項均衡表，稱之爲「化學方程式」 (chemical equation) 或「化學反應式」，簡稱「方程式」 (equation) 或「反應式」，以最後一名詞爲最常用。例如磷素在氧氣或空氣中燃燒，其所起化學變化（即化學反應），可以下列反應式代表之：



凡是一個完全而且正確之反應式，必須同時具備下列三種條件：（一）反應式所代表之化學變化，與實驗事實相符。（二）反應式中所列各種物質之化學式，確與各物成分（或結構）相符。（三）反應是均衡的 (balanced)；此即謂反應式中所牽涉之各種原子，每種在起反應的物質 (reacting substances) 中之總數，等於其在產品 (products) 中之總數，如此方不致與「質量不變定律」相抵觸。

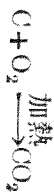
具有上列三種條件之反應式，立即示出在是項反應中起反應的物質及其產品之分子比例。由此項分子比例及各元素的原子量，易於算出其所牽涉各種物質之比較重量。設將一個反應式中之一個化學式，看作代表克分子數；則該式中其餘各化學式，亦均分別代表其所牽涉之克分子數目。一般說來，凡是物質發生化學變化，大都連帶就有能量變動。此項變動，可附帶於反應式中表示之。例如一克原子之碳素，經燃燒後，發出九四、三〇〇卡之熱量。此項事實，可插入上列反應式如下：



以上所列反應式中，起反應的物質與產品之間，置一等號，以表示此項符號之兩邊，材料或質量之數量相等。為表示反應進行之方向起見，可用箭號以代等號。例如：



如果要表示一種反應，在何種情形下進行，普通習慣，為將所須情況或處理，寫在箭號上，如：



第十章 週期表及其應用

一八六九年門德雷葉夫與洛塔買耶同時發現週期律 (periodic law)，在化學史上認為劃時代的事件。從現代眼光看來，此項定律之要素，是：「元素之各種性質（包括物理與化學性質），各為其原子序數之一種週期性函數 (periodic function)」。此律在化學上，具有基本重要性。按此將已知各種元素，按照遞增的原子序數，排成一表，將性質相類似之元素，置在同一直行內，即得所謂「週期表」(periodic table)。一種簡單化的週期表，如第四表所示。

第四表 簡單的近代化週期表（表中數字係指各元素之原子序數）

週期 (Period)	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII [過渡元素 (Transition Elements)]
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
0															
第一週期 (短)	He 2	Li 3											Ne 10		
第二週期 (短)		Na 11	Be 4	B 5	Al 13	C 6	Si 14	N 7	P 15	O 8	S 16	F 9	Cl 17		

第三個週期長	A 18	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28
		Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35			
第四個週期長	Kr 36	Rb 37	Sr 38	Yt 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Ma 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46
		Ag 47	Cd 48	In 49	Sa 50	Sb 51	Te 52	I 53			
第五個週期(長)	Xe 54	Os 55	Ba 56	La* 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Ks 75	Os 76	Ir 77	Pt 78
		Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	Ab(?) 85			
第六個週期(不完全)	Rn 86	Va(?) 87	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92				

* 在此同一小格內，依次尚有各種元素：Ce(58)，Pr(59)，Nd(60)，Il(61)，Sm(62)，Eu(63)，Gd(64)，Tb(65)，Dy(66)，Ho(67)，Er(68)，Tm(69)，Yb(70)，Lu(71)。

按第四表所示，週期表縱橫的方向，分作六個週期 (periods)；在縱的方向，則分成 0 至 VIII 九組 (groups)。先就週期來說，最初氫素自成一行，不屬任何一個週期。從氦起，接着有兩個短的週期 (short periods)，每個包括八種元素。計由氦至氟為第一週期 (first period)，由氖至氬為第二個週期。第三 (由氫至溴)，第四 (由氫至碘) 兩個週期，為長的週期 (long periods)，各含十八種元素。每一週期，在表中占兩橫行。就中第二行無零組 (Group 0) 元素。第一行在第七組之後，經過第八組的三種所謂「過渡元素」 (transitional elements)，方

始接上第二行。第五週期，由鐳至釷，亦係一個長的週期，且較第三、第四週期更高，一週期中計含有三十六種元素。所謂「稀土金屬」(rare earths)元素，大部均屬於本週期內，如原子序數五七至七二皆是。最後第六個週期，在自然界中存在者，自氦迄鈾，不過七種，故為一不完全之週期。

再就組別來看，週期表計分九組(由0至VIII)。一、二兩個週期中，每組祇有一種元素。自第三個週期起，除零組及第八組不再細分外，其他各組(第一組至第七組)，各分為A, B兩個小組(sub-groups)。每組中兩個小組之一，其所含元素，性質較近於一、二兩週期中之該組元素，因亦稱為「主組」(main group)，而將其他一個小組稱為「副組」(sub-group)。例如在第一組中，第一、二兩個週期的代表物，為銶與鈉。自第三週期起，鉀、銣、鉍三種元素，性質近似銶與鈉。因此銶、鈉、鉀、銣、鉍，成為第一組中之主組。同時因為鉀、銣、鉍三種元素，乃係三、四、五週期中第一橫行之元素，故成為此組中之小組A。凡屬同一組之元素，其性質多少有類似之處；同一小組者，性質尤為相近。對於此點，第八組顯係例外。在該組中，同一週期之元素(如鐵、鈷、鎳)，性質甚為近似；但不同一週期者(例如鐵與鉛)，則性質相差殊遠。同一小組之元素，亦稱一族(family)。例如氟、氯、溴、碘四種元素，屬於氟族，今統稱之為「鹵素」(halogens)。

週期表中，標示組別之數目字(可用羅馬數字，如第四表所列；或用亞刺伯數字亦可)，

即等於各組元素的原子之外圍原子數，亦即所謂「價原子」(valence electrons)之數目。此點使週期表對於化學家，特別有用。「零組」元素之價原子等於零，所以不與任何其他元素成化合物。第一組元素之價原子爲一，第二組爲二。由第三組到第七組，依此類推。按此由第一到第七組，各組元素成化合物時，其最高的互享原子價 (covalence)，等於指示組別之數目。例如鈣與氧祇能成氧化鈣 (CaO)，氮與氧則能成七氧化二氮 (Cl_2O_7)。當然在此類化合物當中，我們所碰到的，不一定是一種元素的最高原子價。例如氯與氧，除成七氧化二氯外，還能造成三氧化一氯 (ClO_3)，一氧化二氯 (Cl_2O) 等。此等事實之解釋，一部份可假定一種元素的價原子，可以不必與其他原子共享，而可兩個自成一對，自認滿足。週期表中，右邊幾組 (第一組，第二組等)，傾向於祇有一種原子價；左邊的則大都有幾種原子價。例如鉀的原子價，永遠是一；鎂卻有二、三、四、六、七等原子價，其中除三以外，皆係常見。在另一方面，鉛雖有二與四兩種原子價，但在無機化合物中碰到之原子價總是四。此例同時顯示，一種元素之最高原子價，與其最常遇到者，不一定是一樣。說到所謂最高原子價，有時也不大正確。例如在第七組中，氟永遠不會有七價，它與氧所造成之化合物，爲一氧化二氟 (F_2O) 與二氧化二氟 (F_2O_2)。在第六組中，氧素在化合物中，差不多總是兩價，偶爾會有四價，但是從來不含有六價。相反的，有些副組中之元素，實際上其最高原子價，較週期表中所顯示者爲高。例如金及銅均屬於第一組；但銅的原子價爲一與二，以二爲較常見，金則爲一與三。又如

銻 (Sb) 屬於第三組，但其原子價爲三與四。

週期表中一、二、三各組元素，與氫均不易造成氫化物；卽令造成，此等化合物，亦屬極不穩定。無論是共享原子價或「電性原子價」(electro-valence)，這幾組的原子價，一般說來，大都卽與標示組別之數目相等。至第四組，則一面可成氧化物，一面可成氫化物，其電性原子價之最高數爲四，與共享原子價之最高數相等。以上一、二、三、四各組元素，其電性原子價的符號，都是正的。反之五、六、七三組之小組 B 元素，則其電性原子價往往是負的，此項負電子價之數目，等於八減去該項元素之最高共享原子價；因此在第五組爲 1∞ ，第六組爲 1∞ ，第七組爲 1∞ 。

至於表中第八組的元素，其最高原子價，有時確可達於八。例如銻與氧可成四氧化銻，與氟可成八氟化銻，便是。可是鐵、鈷、鎳三種元素，其原子價祇有二與三；鉑的原子價，則爲二、四、六。

各種元素的物理性質之具有週期性，是一件饒有興趣的事。將各種元素之此等性質（例如熔點，原子體積等）與原子序數之關係，畫成曲線，是項週期性，立卽顯出。金屬鹽在水中之溶度 (solubility)，具有一種有規則的變化，與週期表相關聯。試取鹼土金屬 (alkaline earth metals) 元素，其幾類化合物的溶度，如第五表所示。

第五表 鹼土金屬化合物之溶度

金屬元素	氫	氧	氯化物	硫酸	酸	鹽	氮	化	物
鎂	不溶解	不溶解	能溶解	能溶解	酸	鹽	氮	化	物
鈣	頗難溶解	頗難溶解	頗難溶解	頗難溶解	酸	鹽	氮	化	物
鋇	頗易溶解	頗易溶解	不溶解	不溶解	酸	鹽	氮	化	物
銣	能溶解	能溶解	不溶解 (溶度較鋇鹽尤小)	不溶解 (溶度較鋇鹽尤小)	酸	鹽	氮	化	物

鄰組元素在性質上之類似，是其他一件值得注意的事。週期表中第一、二、三組之第一種（即原子量最低者）元素，與下一組第二種元素，性質甚為近似。質言之，鋰（第一組第一種元素）雖是一種鹼金屬元素，其氫氧化物及碳酸鹽，卻在水中不甚易於溶解，此點與銦（第二組第二種元素）之相當化合物相似。鈹（第二組第一種元素）與鋁之性質，相似到如此程度，以致此兩素難於析開。硼（第三組第一種元素）與矽（第四組第二種元素）之物理性質，殊屬相似。其所成化合物，亦在多方面彼此相近。例如硼酸鹽中，除鹼金屬鹽外，均不溶於水內；且此等鹽熔化後冷下，即得一種玻璃狀液體，此兩點皆與矽酸鹽相似。

從化合物之穩定性來說，正電性最強的元素或基，與負電性最強者化合而成之產品，最為穩定。換言之，設將一種化合物，視為由兩種組份所構成；此兩部份相差愈多，則該化合物之

穩定性愈大。水，氯化鉀，硫酸鈉，均係此等極端穩定的化合物之例。反之，彼此相近的元素所造成之化合物，則穩定性多半殊小（例如二氧化氮爲一極不穩定之化合物）；但對於此點，亦有例外（例如矽化碳卽屬一種非常穩定之化合物）。無論如何，一般說來，在週期表上相隔愈遠之元素，其所成化合物，愈屬穩定。

最後我們可以提到週期表與金屬性質 (metallic properties) 之關係。金屬 (metals) 與非金屬 (non-metals) 物質之區別，一般人所熟知者，在其物理性質方面。所謂金屬，帶有金屬光澤，具有錘展性 (malleability) 及拉延性 (ductility)。其張力 (tensile strength)，導熱性，與導電性，比較很好。相反的，非金屬物質，不具金屬光澤，錘展性，或拉延性。其張力，導熱性，與導電性，亦均不佳。所謂金屬物質，包括金屬元素（如銅、銀等）及合金（如黃銅、鉻鋼等）。非金屬物質，則包括非金屬元素（如硫、溴、氧氣等），與不具金屬性質之化合物（如水、食鹽等）。金屬元素所成化合物（如氯化鉀等），雖則大都不具物理上所謂金屬性質，在化學上仍然稱之爲「金屬化合物」。

單就元素而論，金屬與非金屬元素之區別，不限於物理性質；在化學性質上，亦有區別。金屬元素與氧相化合，得出「澀型氧化物」(Basic oxide)；該項與水起作用所成氫氧化物。卽係化學上所謂之「澀」(base)。(註1) 例如鈣（一種金屬元素）與氧化合成氧化鈣 (CaO)，爲一種澀型氧化物；該物與水起反應而得氫氧化鈣 $[Ca(OH)_2]$ ，後者爲一種「澀」。與此相

反，非金屬元素與氧相化合，所得爲「酸性氧化物」(acidic oxide)；後者與水起作用而成酸(acid)，此類酸爲「含氧酸」。此外非金屬元素，亦可與氫造成「氫酸」。例如氯爲一種非金屬元素，故其與氧化合所成之氧化物，如七氧化二氯(Cl_2O_7)等，均係酸性氧化物。此類氧化物，與水合成酸；例如七氧化二氯與水，造成高氯酸(HClO_4)，爲一種含氧酸。同時由氯與氫所造成之鹽酸(HCl ，亦稱氫氯酸)，則係一種含氫酸。氫與酸起作用，所得反應，稱爲「中和」(neutralization)，產品稱爲鹽(salt)。例如氫氧化鈣(一種氫)與鹽酸中和，得出氯化鈣(CaCl_2)，與高氯酸則成高氯酸鈣 $[\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2]$ ，此兩種產品，皆係鹽的例子。在無酸化合物中，酸 澀 鹽，可稱爲最重要的三類化合物。其物理與化學性質，各有區別。從味道上說，酸有酸味，澀有麻嘴的澀味(astringent taste)；鹽有鹹味或其他味道，但無酸味或澀味。至於在化學上之主要區別，可以其電離所成離子(ions)概括之。凡酸溶於水中，即起電離作用，而成氫離子(H^+ 或 H_3O^+)及陰離子(anion，例如 Cl 或 ClO_4)。澀在同情形下，電離而得陽離子(cation，例如 Ca^{++})及氫氧離子(OH)。鹽則不成氫或氫氧離子，所得爲他種陰離子及陽離子；例如氯化鈉溶於水中，立即電離而得鈉離子(Na^+)及氯離子(Cl)。對於一物之酸性或澀性，普通可用適當指示劑(indicator)試其水溶液，察其變色與否，以斷定其是否在溶液中成有氫離子或氫氧離子。在此附帶必需聲明者，上述鹽之特性，嚴格說來，係以在水溶液中不致水解之「中型鹽」(neutral salts，如氯化鈉等)爲限。中型鹽以外，現尚有所

謂「酸型鹽」(acid salts)及「鹼型鹽」(basic salts)。前者如碳酸氫鈉 (NaHCO_3)，後者如氫氧化硝酸鉛 ($\text{Pb}(\text{OH})(\text{NO}_3)$)。此兩類鹽，電離時除一部似中型鹽外，同時亦成氫或氫氧離子，按其型別而異。即在中型鹽「正鹽」(normal salts)中，亦有許多種，因其溶在水中，立即起局部或全部水解(hydrolysis)，故得有氫或氫氧原子。此等正鹽，或係強酸與弱鹼所成者(如氯化鋁)，或係弱酸與強鹼所成者(如碳酸鈉)；若係弱酸與弱鹼所成者(例如氰化銨)，其水解程度尤高。反之強酸與強鹼所成之鹽(如氯化鈉等)，則在水中完全不起水解作用。

物理與化學性質之差異，對於辨別金屬與非金屬物質，不但具有質的意義，而且具有量的意義。在這一點上，就元素而論，化學性質之差別，乃係一種較好的區分標準。將同型的鹼或酸予以比較，造成較強酸或較弱鹼之元素，其金屬特性(metallic character)即認為較大。因此按照所成鹼或酸之強度(strength)，即可斷定一種元素金屬特性之程度。例如氫氧化鉀之鹼性，較氫氧化鈣為強；故鉀之金屬性質，認為強於鈣。碲酸(H_2TeO_4)之酸性，遠弱於硫酸；故碲之金屬性強於硫(換言之，即硫為一種非金屬元素，其非金屬之程度，較碲為更深者)。關於此點之另外一種說法，是正電性(electropositive character)愈強或負電性(electronegative character)愈弱之元素，其金屬特性愈強。在上舉兩例中，鉀之正電性強於鈣，碲之負電性弱於硫。

在週期表中，將「零組」及第八組除開不計，由第一至第七組，從橫的方向看，每一行內，元素之金屬特性，依次遞減。從縱的方向看，則每一小組內，自上往下，元素之金屬特性，依原子量之增加而遞增。同一組中，小組A之金屬性質，較小組B為強。一般說來，在週期表之一至七組這塊範圍以內，一種元素，其所處地位愈近左上角，其正電性愈強，金屬特性愈顯著，所成之澀亦愈強；愈近右上角，則負電性愈強，非金屬性質愈顯著，所成之酸愈強（正電性與負電性，澀性與酸性，金屬與非金屬性質，乃係三對彼此相反之性質。）在普通元素中，鉍為金屬特性最強之元素，氟則為非金屬性質最強者。

有些元素（如鋁、矽等）其氫氧化物，在強酸及強澀中，均能溶解。此等化合物，稱為「兩性化合物」（amphoteric compounds）。造成兩性氫氧化物之元素，可稱為兩性元素，亦稱「擬金屬」（metalloid），其性質介乎金屬與非金屬元素之間。在週期表中，設自其左上角至右下角，畫一根對角（diagonal）線，通過鋁、銻兩元素，如第四表所示；則該表中位在此線左下方之元素（零組除外），皆係金屬元素，在其右上方者（第八組除外），皆係非金屬元素。至於靠近此項對角線之元素，則大多數具有兩性；位在金屬與非金屬之間。例如氫氧化鋁一物，已能在極濃的鹼液中溶解。氫氧化鋁，氧化矽，氫氧化鋅，三氫氧化銻 $[\text{Sb}(\text{OH})_3]$ 等，無疑皆係兩性化合物。

「零組」元素（希罕氣體），皆係非金屬元素。第八組之元素，則皆是金屬，惟鐵近乎兩

性元素一類。

各種元素之金屬特性。如能將其畫成一幅曲線圖，亦將顯出其週期性。此與上述物理性質情形，正復相似。總而言之，由一種元素在週期表中所占地位，今即可約略猜得其物理與化學性質（如熔點、沸點、金屬特性等等）。

（註一）在化學中，英文 base 一字，以前皆譯作「鹽基」或「鹼」。「鹽基」一名，有令人誤會其為一種基 (radical) 之險。且用此名，則 basic radical 將譯成「鹽基基」，亦殊欠妥。至於「鹼」字，則與 alkali 一字之譯名相混，亦殊不妥。舊譯既全不妥，茲特取「澀」字以代表之。此字表示是類化合物之物理性質（味道），借用形容詞作動詞；與「酸」「鹽」兩類類名，正好配上。

第十一章 原子構造與原子價

宇宙間一切物質，係由少數幾種，或由甚至一種，基本材料或單位所構成；此乃一種思想，數千年來，藏於哲學家與科學家之頭腦中，屢次突起，永遠按不下去者。上文述及，兩千多年以前，希臘哲學家，業已發明原子學說。同時亞里士多德所主張五種元素之說，與中國道教之五行，遙遙相對。中古時期，西洋煉丹家，以爲一切物質，都含有一種共同的「原始物質」(materia prima)，但是同時多少爲雜質所沾染。十九世紀初年，在達爾頓的原子學說成立以後，一位英國醫生卜勞特(William Prout, 1785—1850年)，於一八一五年，發表一篇隱名的論文，指出當時所測定之原子量，在數目上都近乎整數。各種元素中，氫爲最輕，且當時係用作原子量之基礎，其數目等於一。因此卜氏大胆的更進一步，認爲一切其他元素之原子，均係由適當數目之氫原子，結合而成。此種大胆的假設，因其將物質構成之理論簡單化，當時頗爲許多化學家所歡迎。不久伯澤利烏斯等對於原子量之更準確測定(例如氮之原子量，經測定爲三五·五)，使卜氏理論，在其原子形式下，證明與事實不符。可是若干熱心此說者，爲遷就事實起見，遂將假定的單位，減少至氫原子量之一半，後來又減到該項原子量之十分之一；如此遞減，總令其在實驗錯誤範圍以內。此等辦法，當然大可批評。所以卜氏學

說，旋即湮沒。

近幾十年來化學家與物理學家之工作，使吾人對於原子構造，已具有相當深刻與確切之了解。上文業已述及，自然界中存在之元素，一共不過九十二種。這九十二種元素，現在均已先後發現。由氫至鈾，九十二個原子序數，完全填滿。週期表上，亦不再留有空格。由此看來，將來發現新元素之可能性，異常微渺。大約原子量較鈾爲輕之元素，似無發現可能；較鈾爲重者，其發現之可能性，雖未嘗無之，但希望亦殊小。當然一種元素，可有幾種同位素。將一切同位素算在一起，據今所知，穩定的原子核，其壽命至少在一千萬萬（ 10^7 ）年以上者，計有二百六十一種。此外尚有若干種，以各種不同速度，分解成爲其他原子核。在最近的將來，也許還會找到少數幾種穩定原子核，與若干不穩定者，以致將穩定與不穩定的原子核之總數，提高到五百以上。這五百來種原子核，配上適當數量之原子，乃係構成宇宙間一切物質之基礎。

九十二種或者五百來種東西，作爲構成宇宙之根源，還嫌種類太多。半世紀來物理學家與化學家之研究，使我們終於明白，這許多所謂元素（或各元素之同位素），實係由少數幾種更簡單的單位所構成。這樣我們又快要回到煉丹學家的「原始物質」與卜勞特式之學說了。此類工作之起點，始於一八九五年特金之發現X射線，與一八九六年貝克勒爾之發現「放射」（radioactivity）現象。遠在一八五九年時，一位德國物理學家撲柳克（Julius Plücker）發現，在一支內含氣壓極低的氣體之玻璃管內，設兩端插入電位相差甚多之陽極與陰極，任其在兩極

之間發生放電 (electrical discharge) 現象，則當放電時，自陰極 (cathode) 發出一種輻射 (radiation)；此項輻射，落在玻璃管上，發生一種特殊的磷光 (phosphorescence)。該項輻射，後經英國物理學家克羅克司 (Sir William Crookes) 及湯姆生 (Sir J. J. Thomson)，先後加以研究。湯氏卒於一八九七年，證明是項所謂「陰極射線」(cathode rays)，實由於一種負電荷之微粒而來，其電荷在絕對數量上等於一個氫原子上的電荷，但其正負符號則係相反。此種微粒，後稱之為「電子」(electrons)，並知其為金屬導電之要素，且係原子構造之一種基本單位。電子自陰極發出，成爲一種電子流 (stream of electrons)，即是所謂「陰極射線」；其速度每秒鐘一萬至十萬英里，已近於光之速度 (每秒鐘十八萬六千英里)。是項射線，設中途以一固體材料製成之靶，將其擋住，一碰該靶，即發出 X 射線。普通此項固體靶，插入 X 射線管中，稱爲「對陰極」(anti-cathode)，大都以金屬製成，其對陰極射線的一面是斜的 (爲着是令 X 射線斜射出管，不射到陰極上。) 所謂 X 射線，嗣悉不過是一種波長特短之輻射，其波長約在 10^{-8} 厘米左右，較紫外線尤短。

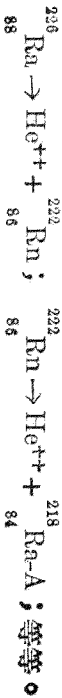
天然放射之現象，限於所謂「放射元素」(radioactive elements or radio-elements)，如鈾、錒、釷等等。普通一般元素，則並無此項現象。貝克勒爾在一八九六年發現，鈾化合物發出一種感應照相底片之輻射；此等現象，雖將底片用黑紙裹住，仍然發生。嗣後經過詳細研究，乃知鈾係一種自動分解之元素 (所謂「放射元素」)，放置之即自行分解，發出 α 、 β 、

γ三種射線。此三種射線，仔細研究結果，知其完全不同。「α射線」(α-rays)，亦稱「α質粒」(α-particles)，為帶有兩個正電荷之氦核 (He nucleus)，以極高速度(速度視其由之發出的放射元素而異，平均約當光的速度之十分之一)射出者。「β射線」與上述陰極射線一類，亦為一種速度甚高之電子流，但其速度較陰極射線尤高，近乎光的速度。至於「γ射線」，則係類似普通X射線之一種輻射，但其波長較X射線尤短，約為 10^{-8} 厘米至 10^{-9} 厘米，故其穿透力 (penetrating power) 較X射線尤強。α、β、γ三種射線之比較穿透力，為1:100:10,000。此三種射線經過空氣時，使空氣起電離作用 (ionize)，產生離子，此乃對放射現象作定量研究之方法。

上述放射元素之自動分解，以鈾及鐳為例，可用下列反應式代表之：



鈾 α質粒 鐳X₁ 鈾X₁ 電子 鈾X₂
 (在週期表中 (α射線) (屬於第 (β射線) (屬於第
 屬於第六組) 四組) 五組)



(屬於第二組) 氦(屬於零組) 鐳-A(屬於第六組)

由上兩例，可見放射元素之「原子破裂」(atomic disintegration)，係分若干步驟；一步跟一步進行。破裂結果，有些發出 α 射線(氦核)，有些發出 β 射線(電子)。另外有少數元素，破裂時同時發出此兩種射線。至於 γ 射線，則大約係 β 射線所引起之一種次步效應(secondary effect)，與陰極射之引起普通X射線相似。原子破裂時，因氦核或電子之放出，剩下物質，其原子價及原子序數均行變更(在放出氦核時，其原子量亦有顯著變動)，改爲另外一種元素。由此觀之，由於放射原子之自動破裂，所得到之結果，爲由一種元素變成另外一種，此即所謂元素之變換(transmutation)。各種放射元素之壽命，長短不一。此項壽命，普通係以其「半壽期」(half-life period)量之。所謂半壽期，即係一定數量的物質，達到一半分解所需之時間。試舉實際例子來說，鈾之半壽期，爲四十六萬萬七千萬年，鐳爲一千六百九十年，鈾X則不過一·一五分鐘。

由於放射現象之研究，魯塞福德與索留，在一九〇二年，發表其關於原子破裂之學說，將原子認作構造複雜的東西。此種學說，引到後來物理學家與化學家關於原子構造之研究。此中經過，已略見前文關於化學發達略史的一段，茲不贅述。

現在所謂「原子構造」可分作兩部份看。一爲原子核之內部構造，一爲原子核外之電子分佈情形。從歷史上說，後者之研究，發達在先；原子核之研究，則不過近幾年的事，雖則關於此方面之知識，其基礎於過去數十年間，已在逐漸建立。在本節以下各段中，先述原子核之構

造。

研究放射現象之結果，顯示氦核由較重原子中放出。由此可見，氦核至少是造成放射元素之原子核之一部份。前文曾經述及，各種元素之同位素，除氦以外，其質量數均幾近於整數；至氦原子量之所以不成整數，則主要係因其所含能量較高之故。由此點看去，各種原子之均係由氦原子結合而成，似殊可能。氦之原子量，約為氫之四倍，故亦可能係由四個氦原子結合而得。若果屬如此，則氦原子乃係一切原子構成之基礎。另外一種具有同等基本重要性之單位，即為電子。電子之由放射現象及陰極射線管射出來，直接指示其為物質構成之一部份。一九一三年起，波爾等之工作，證明所謂氦原子，實係由帶有一個正電荷之氦核，與一個電子所構成，後者繞氦核而轉。因此一切物質，均可視作氦核與電子結合而成之產品。在結合較重原子核時，一部份氦核，與電子合併；其正負電荷，互相抵消。依此氦核既被視爲一切物質構成之根源，故嗣即將其特稱爲「質子」(proton)。最初化學家之意見，以爲質子即等於氦核。後來美國化學家尤雷 (Urey)，於一九三二年，發現普通所謂氦素中，實除氦以外，尚含有氘。於是所謂質子之定義，遂改爲專指氦核。與此相當之單位，尚有氘核 (deuteron 即 ${}^2_1\text{H}^+$)，該物可視爲係由一個氦核 (${}^4_2\text{He}$) 或質子與一個中子 (見下) 所構成。

以前所見原子破裂現象，限於若干高原子量之元素(即所謂「放射元素」)。對於此等元素

之自動破裂，人類既不能幫助，亦不能令其停止，祇可聽其自然。至於其他不如此自行破裂之元素，則一時亦找不到方法，令其破裂。但是此項方法，卒於一九二九年，被魯塞福德所發現。魯氏與查得魏克，任由放射元素發出之 α 質粒（氦核），衝擊（bombard）氮素原子。結果發現，後者發生原子破裂現象，發出質子，同時其剩餘部份與氦核結合而成質量素十七之氧原子。在起此項反應中，有能量放出。是項反應，可代表之如下：



或作較簡單之代表方式如下亦可：

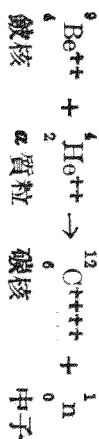


α 質粒係在空中以高速度行進，故帶有大量之動能（kinetic energy）。此項質粒，衝到氮核上，發生上述作用，同時發出能量，如上列方程式中所示。該項能量，使所成質子，以極高速度射出。是項質子之動能，較之原來 α 質粒尤高。由此可知，起上述原子變化時，有一部份原

子裏面的能量 (intra-atomic energy) 放出去。

魯查二氏此項重要發現，具有兩種意義。第一，此項劃時代的工作，指示我們，原子破裂，可用人工方法引致。第二，此項工作指出，質子從實驗事實看來，確係構成原子核之一部份。

因為上述種種工作的結果，在一九三〇年左右，一般化學家，大都以為宇宙間各種元素，皆係由質子與電子所構成；二者結合而成原子核，同時留下若干電子，繞着原子核轉，如此便造成所謂原子。此種學說，與現行者之主要不同點，在於當時尚不知中子亦為構成原子核之一種基本單位。查德魏克，在一九三二年，任 α 質粒衝擊鈹核（實際所用方法，為將氫與鈹混和，前者自動分解而發出 α 質粒），得出硼素及中子 (neutron)，如下列反應式所示：

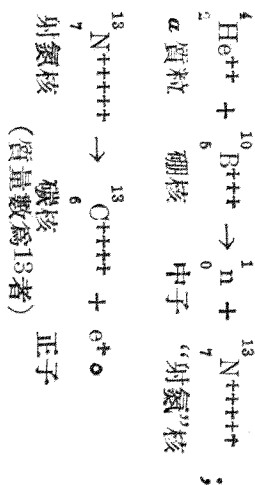


一九三五年，海森堡 (Heisenberg) 發表其關於原子構成之學說，謂宇宙一切元素，均係由質子、中子、與電子三種基本單位所構成；質子與中子構成原子核，電子則在外面繞核轉。游離的電子，不在原子核中存在；但當原子核分解時（例如放射現象），有時可有電子發出。中子亦可視為質子合併而成之產品，其特點為不帶電荷（此點與質子不同），質量則約與質子相等。

海氏此項學說，現已爲一般化學家所接受。在此可以特別注意，除氫以外，一般元素，凡原子量不大者，其原子核所含質子與中子之數，大致相等（即在氫之同位素中，氘亦係如此）。此種構造，最爲穩定。平常大家習知之一種通則，卽一種元素之原子量，約爲其原子序數之兩倍，其原因亦在於此。高原子量之原子核，則中子對質子之比例，較一爲高，其傾向以此爲穩定。一種理由，爲何質子多於中子之構造，總不穩定，係因質子具有電荷，中子則無，故兩個質子在一起，彼此相拒（repel），而質子與中子則否。關於原子核構造之詳細情形，近幾年來，在此方面之研究，已達相當程度。惟因篇幅關係，在此祇可從略。此處最後所應提到的一點，是一種原子核，據今看來，不僅爲其所含質子與中子之數目所決定，亦視各個質子與中子之排列情形如何。此中關係，與有機化合物之同分異性現象相類似。例如質量數爲八十之溴原子，卽有兩種；一種之「半壽期」，爲四點半鐘，另外一種，則不過十八分鐘（按普通溴素所含同位素有兩種，其質量數分別爲七九及八一。）

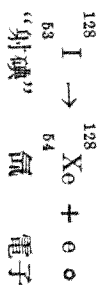
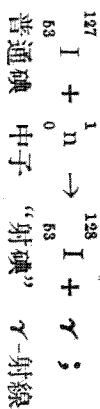
一九三二年，安德森從宇宙線（cosmic rays）對氣體之衝擊，發現「正電子」（positive electron），簡稱爲「正子」（positron）。此項質粒，其質量與普通電子相同；其電荷絕對數量，亦與電子相等，但其符號則係相反，所帶乃是正電。正子在當時，殊顯新奇。後來乃知其若干情形下，時常可以碰到。實在說來，正子之存在，狄拉克在一九三一年，由於量子力學之研究，早已預料到了。一九三四年，居禮夫人之女居禮女士（Irano Curie）與其夫君約利阿

(Fr. Joliot) 氏，發現普通輕原子量之元素，不具天然放射現象者，可用人工方法，經適當處理，令其變成顯出放射現象。此種現象，稱為「人工放射」(artificial or induced radioactivity)。此中最早例子之一，為任 α 質粒撞擊硼原子。經此項處理，第一步所成者為中子及「射氮」(radioactive nitrogen)；後者如放射元素一般，自動破裂，得出質量數三之碳原子與正子。惟射氮乃係一種人工產品，不能在自然界中找到，故與普通所謂放射元素有別。是項反應，可代表之如下：



義大利物理學家菲爾米 (Fermi)，嗣即發現 (一九三四)，用中子衝擊原子，亦可得到人工放射現象。此法今爲得到人工放射最方便之方法。舉例言之，普通碘原子 (質量數僅有「一二七」一種)，經此處理，得到質量數爲一二八之「射碘」，後者自動分解而得氬及電子，如下

列反應式所示：



在上舉兩例中，射氮核內，含有七個質子，六個中子，中子較質子為小。凡屬此等原子（即原子核所含中子對質子之比例小於一者），皆不穩定。故射氮具有放射性質，自行破裂而得正子及碘原子（普通放射元素之破裂而發出 α 質粒，其理由與此相類似，即在於減少質子對中子之比例）。在另一方面，射碘核中所含中子對原子之比例，略大於在該核中此項比例應有之數目，故此物易於放出電子而得氙。

目前能用以引致人工的元素變換之方法，計有下列幾種：（1）用 α 質粒 ${}_{2}^{4}\text{He}^{++}$ ，亦常簡寫作 α ）衝擊；（2）用質子衝擊；（3）用氘核 ${}_{1}^{2}\text{H}^{+}$ ，亦常簡寫作 d ）衝擊；（4）用 γ 射線衝擊。此類工作，最近十幾年來，已經做了不少。就中一種饒有興趣的結果，為菲爾米氏將鈾

用中子撞擊，得出原子序數爲九十三及九十四之元素；前者之半壽期爲十六分鐘，後者爲五十分鐘。此兩種元素，重於自然界中最重的元素（鈾），且係迄今所知最重的元素。

一九三五年，日本物理學家湯川（Yukawa）氏，從理論上之研究，假定「重電子」（mesotron or heavy electron）有存在之可能性。至一九三七年，安德森等，果在宇宙線中，發現此物。是項質粒，其電荷與普通電子相同，但其質量則較普通電子大一百至兩百倍。

由上所述，吾人今知，宇宙間物質中最後的單位或質粒，目前無法再分者，計有下列五種：（一）質子；（二）中子；（三）電子；（四）正子；（五）重電子。就中（一）、（二）、（三）三種（質子、中子、及電子），爲尋常構成物質之基礎；但在特殊情形下，則可得到正子及重電子，如上所述。正子在普通物質中，壽命甚短（不過十萬分之一秒）；原因是正子與普通物質中所含電子，立即起作用而變成 γ 射線。此項質量變成能量之所謂「破壞手續」（annihilation process），有時可令其反過來。例如任 γ 射線通過重原子量之元素（如鉛等），在適當情形下，原子附近之電力，幫助將此項射線，分解而成正子及電子，後者爲原子核所吸引，前者則行放出。

物質的最後五種單位或質粒之性質，如第六表所示。

第六表 物質最後質粒之性質

質 粒 名 稱	符 號	質 量	半 徑	電 荷	相 對 電 荷
質 子 中 文 英 文 Proton	$1H^+$ 或 $1p$ (簡作 p)	相對質量 (克 數) 1.653×10^{-24} ($1/1837$ 為標準)	2×10^{-13}	1.59×10^{-19}	+1
中 子 Neutron	$1n$ 簡作 n 或 n	約為氫原子量之 $\frac{1}{1837}$ 1.0090		0	0
電 子 Electron	e^- (簡作 e^-)	約為氫原子量之 $\frac{1}{1837}$ 0.00055	1×10^{-11}	-1.59×10^{-19}	-1
正 電 子 (正 電 子) Positron (Positive Electron)	e^+	約為氫原子量之 $\frac{1}{1837}$ 0.00055		$+1.59 \times 10^{-19}$	+1
重 電 子 Mesotron Heavy		約為電子之一百至二百倍			-1

在此可以特別注意，電子之質量，雖較質子小一千八百餘倍；其半徑則反較質子大五十倍。換言之，即質子小而重，電子大而輕。

關於原子核之構造，上文所述，已具概要。以下可略述原子當中，核外電子分佈情形。在此方面，我們首先應當注意，一個原子當中，原子核所占去的體積甚小，大約不過原子體積之千萬分之一，彷彿像一座大禮堂中的一根針一般。原子、原子核與電子之比較大小，如第七表所示。

第七表 原子、原子核、與電子之比較大小

質	粒	半徑 (厘 米)	數	比	較	大	小
質	原	子	6×10^{-10}	1			
質	核	子	5×10^{-13}	0.000,1			
電	子		1×10^{-11}	0.002			
質	子	(質 核)	2×10^{-13}	0.000,03			

雖然如此，幾乎全部原子之質量，係集中在原子核上。原子核之成分與質量，對於若干原子現象，關係甚大。此點自上文所論，即可了然。在另一方面，原子核之種種情形，對於該項原子之化學性質，則影響比較不算重要。一切化學性質，大體均係由繞着原子核四周轉的那些電子所決定。更具體一點說，繞核而轉之電子，裏面幾層，並沒有多大關係；決定一種元素之化學性質者，乃是最外一層電子。

近代物理學家之研究結果，具體指出，一個原子之內部構造，彷彿就像天文學中的太陽系統一般。在此項系統中，原子核處在當中，有如太陽，繞着此核。若干電子（每種元素，有一定數目之此項核外電子，其總數與該原子之原子序數相等），不斷在轉 (revolve)，正如行星繞太陽而運行。不過對於多數元素，此項核外電子，多於太陽系統中之行星，故原子構造之研

究，較之天文學家之研究太陽系統，尤為艱難複雜。

繞原子核而轉之電子，正如行星一般，是在作一種有規則的行動。在日常生活當中，物理學告訴我們，從來沒有「永久動作」(perpetual motion)。原子現象則不然；電子繞原子核之轉動，顯然是永久不歇的。此項電子，分成幾層，繞核而轉。各層距原子核之距離，即各層電子繞行之軌道 (orbit) 半徑，彼此不同。此項「電子層」(electron shells)，在各種元素的原子中，最少(氫、氦)祇有一層，最多(銻以上)有七層。各層電子繞行時，其所帶能量不同；愈靠裏面的一層，所帶能量愈小，愈靠外面者則愈大。因此各電子層，各有其「能量水準」(energy level)，愈靠外面者愈大。

各種元素之原子構造中核外電子分佈情形，大都業已經過相當研究。茲將較輕元素之此項分佈情形，列於第八表。表末附氫、氦及鐳原子之電子分佈，為重原子示例。

第八表 較輕元素之電子分佈情形 (附氫、氦、鐳)

元素(符號)	原子序數	第一層 電子數	第二層 電子數	第三層 電子數	第四層 電子數	第五層 電子數	第六層 電子數	第七層 電子數	核外電子總數
H	1	1							1
He	2	2							2
Li	3	2	1						3

Be	4	2	2							4
B	5	2	3							5
C	6	2	4							6
N	7	2	5							7
O	8	2	6							8
F	9	2	7							9
Ne	10	2	8							10
Na	11	2	8	1						11
Mg	12	2	8	2						12
Al	13	2	8	3						13
Si	14	2	8	4						14
P	15	2	8	5						15
S	16	2	8	6						16
Cl	17	2	8	7						17

A	18	2	8	8					18
K	19	2	8	8		1			19
Ca	20	2	8	8		2			20
Sc	21	2	8	8		3			21
Ti	22	2	8	{ 9, 8 }		3, 4			22
V	23	2	8	{ 10, 8 }		3, 5			23
Cr	24	2	8	{ 11, 8 }		3, 6			24
Mn	25	2	8	{ 13, 8 }		2, 7			25
Fe	26	2	8	{ 14, 13 }		2, 3			26
Co	27	2	8	{ 16, 14 }		2, 3			27
Ni	28	2	8	{ 16, 15 }		2, 3			28
Cu	29	2	8	{ 18, 17 }		1, 2			29
Zn	30	2	8	18		2			30
Ga	31	2	8	18		3			31

Ga	32	2	8	18	4			32
As	33	2	8	18	5			33
Se	34	2	8	18	6			34
Br	35	2	8	18	7			35
Kr	36	2	8	18	8			36
X ₁	37	2	8	18	9			37
Rn	86	2	8	18	32	18	8	86
R ₂	88	2	8	18	32	18	8	88

一種原子之電子分佈情形，今稱之爲該項元素或原子之「電子構造」(electronic structure)。第八表所示各種原子之電子構造，饒有意義，尤其是將其與週期表（見上文第四表）放在一起來看。由第八表，一覽即可知一個原子，在其構造中所含核外電子總數，等於該項原子之原子序數，亦即等於其原子核中所含質子數目。將此數自其原子量或質量數中減去，剩餘數目，等於原子核中所含中子數。在討論週期表時，吾人已指出空氣中希罕氣體（氦、氖、氫、氫、氫、氫），屬於週期表之「零組」。該組元素之原子價等於零；此即謂永不會與其他元素相化合，其本身所成分子亦係單原子的。今觀第八表中所列此各元素之電子構造，可見各

層電子之穩定結構，爲含有二、八、十八、或三十二個電子。氫素祇在第一層上，含有一個電子，繞核而轉。在化學上，氫爲一種活動或易起反應之元素。氦在第二層上，含有兩個電子。對於此層，兩個電子，正好滿足，成爲一種「填滿的電子層」(filled shell)。第二層需要八個電子方始滿足；故電子總數爲十之氖素，正好合此條件。第三層需要八個或十八個電子；第四層需要八、十八、或三十二個。其他如此類推。無論如何，如果一種元素是滿足的（即屬於「零組」的），除氦祇有兩個電子外，其他各種，最外一層電子，總是八個。此組元素以外，其他各種元素，皆是不飽和的，故有一定原子價，能與其他原子相化合。是項元素，靠近外面的第二層，往往是滿足的（即含有二、八、十八、或三十二個）。對此在輕元素中，氫當然是例外。在重原子中，若干元素，如銅、鐵等，亦非如此。後者大都具有兩種或更多的原子價。此種情形，一部係因靠近最外的第二層，所含原子數，可有兩種，如第八表所示。由此可以解釋單用週期表所不易解釋之事實。

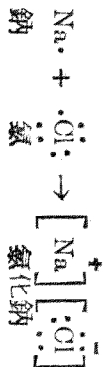
原子構造中，最外一層不成爲「填滿的原子層」之電子，稱爲「價原子」(valence electrons)。「零組」元素，根本沒有價原子（價原子等於零）；其他各組元素，則均含有之。此等元素，在價原子層以內之全部原子構造（包括原子核及各層「填滿的原子層」），統稱爲該項原子之「內圈」(kernel)。例如鈉原子之內圈，包括其原子核，第一層兩個電子，及第二層八個電子。其價原子則爲第三層之一個原子。內圈對於一種元素之化學性質，幾無影響。一切

化學作用，可說係由價原子所決定。（在此應當注意，一部份重元素，其內圈之最外電子層，並非完全填滿，因此其所含電子數可略有出入，以致影響該項元素的原子價。此點觀第八表自明。）一種元素之價原子數目，即等於該項元素可能最高之原子價。例如鈉之原子價為一，碳之原子價為四，氮之最高原子價為七等。任何元素，其最外一圈所含電子數，最多是八個。因此各種元素之「主級原子價」(primary valence)，不可能超過八。那就是說，世界上根本沒有八價以上（如九價、十價等）之元素。一部份第八組元素（如鐵等），其原子價確可達八，但絕不會較此再高。至於希罕氣體一組元素，則當最外一圈電子數為八時，其原子價即等於零，已如上述。凡外圈電子數為五、六、或七之元素，屬於小組B者，成化合物時，其電性原子價，往往趨向於分別為 -3 、 -2 、與 -1 。設將正負符號不計，此等原子價之數目，與各該元素之價原子相加，均湊成「八」的數目；此數即係希罕氣體之最外圈原子數，現認為穩定構造者。在另一方面，週期表中第五、六、七組小組A之元素（如鈮、鉻、錳等），則無顯示負電子價之現象；此點與上述小組B之情形不同。其所以如此，係因此等元素，外圈電子，湊成適當數目，雖可成八，但不能引到一種與希罕元素極相近似之構造；電子總數與該項情形相當者，乃係屬於第八組之過渡元素（鐵、鈦、鎳等）。

以上說到原子價時，大都祇是籠統的說；對於原子價之類別，未多予注意。實在說來，原子價可分好幾類。首先我們應當對「電性原子價」(electro-valence)與「互享原子價」(co-

valence)，加以辨別。在此我們又介紹一種縮寫方法，即將一種元素之符號，代表其原子內圈，而用一圓點代表其價原子。此項寫法，即稱為該項元素之「電子構造」(electronic structure)，實在也就是它的全部電子構造(參閱上文第八表)之縮寫。例如氯素之符號為 Cl。平常在化學式或反應式中，此項符號，即係代表整個氯原子。現在如果要代表氯原子之電子構造，則應將其寫成 $\cdot\text{Cl}\cdot$ 。此種代表方式，亦稱之為「電子式」(electronic formula)。

根據上面所說，在多數情形下，外圈電子數為八時，即得一種穩定的構造。依照同樣思想線索，元素化合成為化合物，一般傾向，均在於湊成外圈為八個電子之狀態；換言之，即在於完成外圈之八角 (complete the octet)。例如氫原子及鈉原子，與氯原子化合，分別成為氯化氫 (鹽酸)，與氯化鈉。依照電子式代表出來，所得反應式如下：

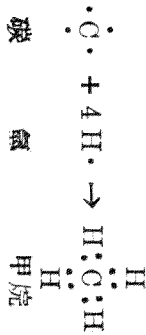
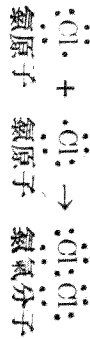


在此兩種反應式中所列之化學式，氫及鈉均在外圈含有一個電子 (即有一個價原子)，氯

則有七個。在氯與氫化合成爲氯化氫時，氯原子將其外圈的電子，送給氫原子，結果氫的部份，剩下祇有氫核，沒有電子，氯則外圈由七個電子變成八個，其電子總數與分佈情況，與氫相似。此兩部份，氫核（在此種情形下，亦稱「氫離子」，其符號爲 H^+ ）帶有一個正電荷（因已給出一個電子，故較原來中性之氫原子少一負電荷），氯的部份則多一個自氯接受而來之電子，故帶有一個負電荷，稱爲「氯離子」(chloride ion, 其符號爲 Cl^-)。同樣地，在造成氯化鈉時，鈉原子將一個電子送給氯，本身變成鈉離子，同時使氯原子變成氯離子。氯離子與氫原子，電子構造相同；其不同點，則在於前者具有電荷而後者則無。（當然氯離子之質量，也比較小一點。）鈉原子減去一個電子，變成鈉離子後，其電子構造，與氫相同，故亦甚穩定；其分別點，亦在氫無電荷，而鈉離子則有之。在此可以附帶注意，此處所用縮寫法中，仿佛鈉離子中，亦無電子；實則如將全部電子構造寫出，該項離子最外一圈，具有八個電子，此點與氫離子有別。在上舉兩例中，氯化氫與氯化鈉兩物之分子中，氯與氫或氯與鈉，均係以「電性原子價」相化合。所謂電性原子價之意義，即係一個原子（或基），將它的外圈電子給了另外一個原子或基，本身變成正離子，接受電子之部份則變成負離子。此項化合手續當中，有給出電子的一部份，有接受電子的一部份。其所成產品，則分子中一部份帶正電荷，一部份帶負電荷。按照電學上通則，此等正負相反之質粒，彼此互相吸引，結合在一起。從其他方面之實驗結果，吾人現在推想，氯化鈉結晶，係由一個鈉離子夾一個氯離子，交互組織而成之格

架 (Lattice)。在稀釋水溶液內，氯化氫與氯化鈉，均係百分之百的電離，成爲正負離子；但離子間彼此相吸之影響，仍須計及。在蒸氣中，氯化氫或氯化鈉之正負離子，係彼此相吸，結合而成分子。

兩個氯原子結合成爲氯氣分子，碳與氯化合成甲烷，可引以解釋「共享原子價」之意義。此兩種反應，分別代表之如下：



在此項反應中，起反應之物質（氯、碳、氫），外圍皆有價原子，故係不滿足的。起反應後所成產品（氯氣及甲烷），其分子中兩個原子（氯與氯、或碳與氫）間之一對電子，乃是共同享用，誰也不給誰。這道理就像兩個人共用一隻面盆一般，誰也不致感覺缺乏。不過在日常生活的事例，三個或更多單位，也可共同享用一件東西；而在分子構造上，則共享限於兩個原

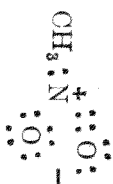
子。上述氮氣一例中，中間一對電子，有時歸左邊那個氮原子享用，完成其外圍八角；有時則歸右邊的氮原子享用，達到同等目的。在第二例中，甲烷分子內，碳素四個電子，各與一個氮原子的電子，配成一對，由碳氮兩種原子共享；由此碳原子得以完成其八角，每個氮原子則有時享用兩個電子，完成氮狀構造之穩定對 (stable pair)。氮氣分子內，兩個氮原子，彼此係以共享原子價相結合；甲烷分子內，則每個氮原子，以一個共享原子價，與碳原子相結合。此等由共享原子價結合而成之產品（元素或化合物），其分子中並無正負離子兩部份存在，此乃與電性原子價重大不同之點。辨別電性原子價與共享原子價之一種方法，為將物質溶在適當溶液中，視其導電與否。凡是純係由共享原子價結合而成之物，均不具導電性（例如甲烷、蔗糖等）；由屬性原子價結合而成者（如氯化鈉），則能導電。

電性原子價之結合，如上文所示者，以前稱為「極性鍵」 (polar bond)。今嫌其不甚妥當，改稱為「離子鍵」 (ionic bond)，為「靜電鍵」 (electrostatic bond) 之最重要一類。凡以離子價相結合而成之分子，統稱為「離子型分子」 (ionic molecules)。同價的，共享原子價之結合，稱為「共享鍵」 (covalent bond)；以此鍵相結合之分子，可稱為「共享型分子」。共享型分子之下，又可分「極性分子」 (polar molecules) 與「非極性分子」 (non-polar molecules) 兩類，其分別如下所論：凡是兩半完全對稱之分子，如氮氣者，其所共享之電子，必係平均共享；此即謂該項電子，繞一個氮原子轉，與繞其他一個氮原子轉，機會均等。此等分子，稱為

「非極性分子」。在另一方面，共享一對電子的兩部份，若因其大小或構造上之不同，對電子之吸引力 (affinity) 有別；則是項電子，繞一部份轉的機會，將較繞其他一部份爲多，因此前者之負性將較大。這類分子，即係「極性分子」，如碘化氫 (HI) 爲其中一例。在是項分子中，碘之原子較大，其正電性亦較大；因此碘對電子之吸引力大於氫，於是共享電子繞碘轉的時間，多於繞氫轉。由此看來，極性分子，可說是介乎離子型分子與共享型分子之間。辨別極性與非極性分子之實驗方法，爲測定其「介質常數」 (dielectric constant)，由之求出其「偶極矩」 (dipole moment)。凡是極性分子，其偶極矩有一定數值；非極性分子之偶極矩，則等於零。上文所舉各例中，甲烷亦係一種非極性分子。在此項分子中，單就一個碳與氫原子間之鍵 (bond) 而論，因爲此兩種原子頗有差別 (氫的正電性較大)，每鍵皆具有極性。但是整個分子，則是非極性的；原因是在此項對稱的分子中，各鍵極性，彼此互相抵消。總而言之，一切離子型分子，當然極性甚強。共享型分子中，亦祇有高度對稱之分子 (如氯氣、甲烷等)，纔是非極性的；其餘則皆係極性分子。在此應當特別注意，此處所謂之對稱分子，與有機化學上普通所謂對稱分子，不盡相同。有機化學上所謂對稱分子，在理論上係指含有「對稱平面」 (plane of symmetry) 或「對稱點」 (point of symmetry) 者，其在實驗上之表現，則爲不顯光學異性現象。例如三氯甲烷、甲苯等，按此皆屬於對稱分子一類。在討論電子構造或偶極矩時所謂之對稱分子，係指完全對稱，其偶極矩等於零者；其所要求之對稱程度，往往較之立

體化學上所謂對稱分子爲高。照此標準，三氯甲烷及甲苯，均係極性化合物 (polar compound)，並非完全對稱；但苯、甲烷、四氯甲烷等，則係對稱分子或非極性化合物。

分子中兩部份係由雙鍵 (double bond) 結合而成者，有時其中一鍵爲離子鍵，另外一個則爲共享鍵。此等一樣一半的雙鍵，稱爲「半極性雙鍵」 (semi-polar double bond)。例如硝基甲烷一物，普通將其結構式寫作 $\text{CH}_3\text{-NO}_2$ 。但設將其電子構造寫出，則所得電子式如下：

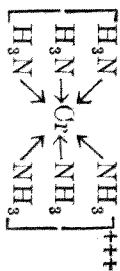


在此項電子式中，我們可以特別注意，氮與氧原子間之鍵，一副爲普通共享式雙鍵，另外一副則爲半極性雙鍵；在後者中，氮原子先將一個電子送給氧原子，然後與之共享一對電子。半極性雙鍵之縮寫方法，以箭號代表之。例如硝基甲烷，按此可寫成 $\text{CH}_3\text{-}\overset{\curvearrowright}{\text{N}}\text{=}\overset{\curvearrowleft}{\text{O}}$ 。

一種分子，往往可有兩種或兩種以上之電子式。如果此等電子式的能量，相差不遠，它們可以同時存在，彼此不斷互變。此種現象，稱爲「輪調」 (resonance)。如上段所舉硝基甲烷一例，即顯有輪調現象，如下所示：

(H₂O)兩部份，各自成爲完整的分子，其中各元素間的主級原子價，均已滿足。現在如果假定此兩部份，係以普通或主級原子價相聯，則一部份元素，必有尋常不習見的原子價，且與上文所述原子價之學說，亦難符合。因此特將聯上此兩部份的原子價，稱爲「次級原子價」，以示其與普通或主級原子價有別。主級原子價之由來，現在業已弄清楚。對於次級原子價，則目前吾人之知識，仍不完全。含有次級原子價之化合物，中有一類，稱爲「配價化合物」(coordinate compounds)者，現已可有相當解釋。例如氯化三價鉻配六氨(hexamminechromium (III) chloride)一物，其化學式爲[Cr(NH₃)₆]Cl₃。此項分子，電離成爲帶有負電的氯離子(Cl⁻)與帶有三個電荷的「三價鉻配六氨」離子，[Cr(NH₃)₆]⁺⁺⁺。在後一離子中，六個氨分子，配在鉻原子上，但均非以普通或主級原子價聯上，而係經由一種次級原子價聯上去。是項次級原子價之結合，在此項情形下，稱爲「配價鍵」(coordinate bond or linkage)，所成化合物則稱「配價化合物」。一種解釋此項現象之方法，爲假定中間原子(在此爲鉻)，既具有正電荷，故按照電學上正負電荷相吸之理，將氨分子之永久性偶極(permanent dipole)，吸向該原子。如此看法，則是項所謂配合原子價之結合，亦係一種「靜電鍵」，與上文所述離子鍵，有相類似之處，其專門名稱則爲「離子偶極鍵」(ion-dipole bond)。從另外一種觀點，我們可以假定氨分子(其電子式爲 $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H} : \text{N} : \text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$)中氮素上一對未與其他原子共享或作其他結合之電子，

先送一個給鉻，然後再與之共享此對電子。如此看去，此項結合，與上述「半極性雙鍵」顯似相同，因此亦以箭號標示之如下：

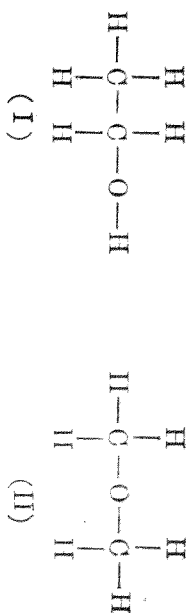


若如此看，則鉍與氮分子間結合，當視為帶有共享鍵的意味，因此亦有人將其稱為「配價共享鍵」(coordinate covalent bond)。不過嚴格說來，此處情形，與半極性雙鍵，有一點不同處，即不論中心原子在週期表中屬於何組，其所配合之原子或基的數目，往往同一數目(例如鈣亦成 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$)，該數稱為有關元素之「配價數」(co-ordination number)。在上舉兩例中，鉻及鈣之配價數均為六。此項配價數，最為常見。除此以外，配價數為四之化合物，亦常碰到。

第十一章 分子構造

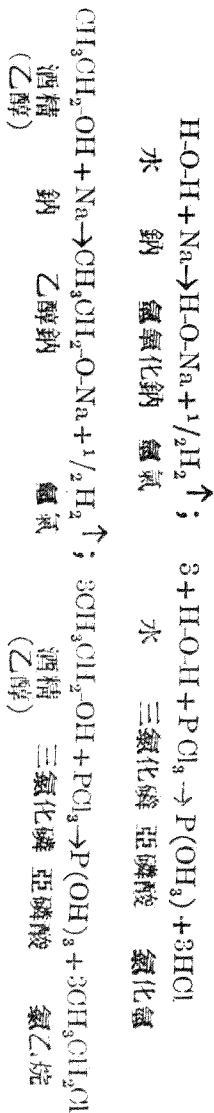
在有機化學中，因同分異性現象之普遍，研究各種化合物之分子構造 (molecular structure) 或結構，成爲必要。我們甚至可以說，大部有機化學，即在於碳水化合物結構之測定。目前已知之有機化合物，爲數達數十萬之巨。除掉一部份複雜物質以外，這些化合物，不但已經找出其分子式，而且已知其結構。這不可不稱爲化學之一種偉大貢獻。有機化合物之數目，雖屬如此巨大，而且此數還在逐年猛漲；還巧它們可以按照結構，分門別類，歸入不多的幾類。關於此點，上文討論化合物命名法時，業已指出。

一種最簡單的例子，可以示出有機結構的意義及其測定方法。化合物之具有 C_2H_6O 的分子式者，現知共有兩種，一爲乙醇（即普通酒精），一爲甲醚。從理論（結構學說）上看去，具有此項分子式之化合物，應有兩種同分異性物；不能多過兩種，亦不致少於此數。實驗結果，發現果有兩種化合物，其分子式皆爲 C_2H_6O 。此中一種，即係普通酒精（乙醇）；其他一種，則是沸點低得多的一種物質。由此可見，理論與事實，互相符合。剩下問題，是那種結構，應該拿來代表酒精。按照結構學說，認定碳素原子價總是四，氧的原子價爲二，氫的原子價爲一；具有 C_2H_6O 的分子式之物質，其可能有的兩種結構，如下所示：



問題是酒精之結構式，究竟是(I)還是(II)。解決此種疑問之方法，在於其化學反應之研究。酒精與金屬鈉，能起作用，放出半個分子的氫氣。此即謂經是項反應時，原來分子中一個氫原子，為鈉原子所代。再看原來的分子，一共計有六個氫原子。然而此中祇有一個氫原子，能為鈉所取代。此事意義，指引到能為鈉代之氫原子，其所處地位，大致係與其他五個氫原子不同。由此自然得到結論，酒精的結構，或應以(I)式來代表；該式中有一個氫原子，係經由氧原子聯到碳上，與其他五個氫原子之直接聯於碳上有別。在此同時我們可以憶及，普通無機化合物中，易與金屬鈉起作用而放出氫氣者有水。水之分子式為 H_2O ，其惟一可能之結構式為 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 。此式中含有羥基 (hydroxyl group, 即 $-\text{OH}$)，正與上列(I)式相似。水又易與三氯化磷起作用。而成亞磷酸；在此項反應中，水分子內之羥基，為磷原子所取代。此種反應，酒精亦復有之。由此可以斷定，酒精之結構式為(I)。剩下甲醚之結構式，必然是(II)。此點由甲醚之化學性質看來，也是對的；因為甲醚既不與鈉起作用，亦不與三氯化磷起反應。茲

將水及酒精與鈉及三氯化磷兩種試劑 (reagents) 之作用，以反應式代表之於下，以作比較：



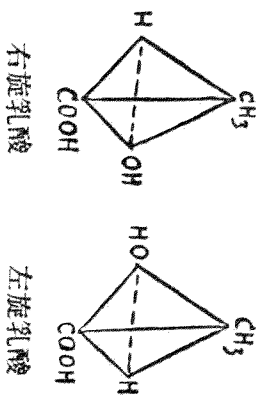
以上所舉，不過是一種最簡單的例子。從這類簡單例子，一直到最複雜的天然有機物質，其結構測定方法，原則上皆係相同（即利用化學反應，測定其是否含有某些功能團，然後將實驗證據湊在一起，得到一種合乎邏輯之結論）；惟實驗手續之繁簡，則大有差別。

從前測定有機化合物之結構，所用方法，大體限於化學方法之運用；此即謂純由化學反應之研究，推斷一物的結構，普通所經程序，多先用「分析法」(analytical method)，將分子拆散或予以變化，研究其含有那些部份，於是湊成一種關於該物結構之結論。如此得出之結構式，跟着即用綜合法 (synthetic method)，從別種物質製成此物，以證實其結構。此種辦法，一世紀來之化學研究經驗，證明其十分合用。不過最近數十年來，化學家已不純靠化學方法來決定結構，而是一部引用物理方法，以作輔助工具。所謂物理方法，主要在於某些與結構

有關的物理性質或常數之測定。折光率 (refractive index)，「同表面張力下之分子體積」(parachor)，旋光度 (optical rotation)，磁場旋光度 (magnetic rotation)，生成熱 (heat of formation) 與燃燒熱 (heat of combustion)，是幾種與分子結構具有密切關係的物理常數，現在常用之以幫助決定結構者。吸收光譜 (absorption spectra) 與 X 射線研究，目前亦常使用。在理論方面，用量子力學之探討，有時大有幫助。關於結構之有些事項，純粹用化學方法，不能或不易解決者，往往以物理方法，反能解決之。

多數有機化合物，用普通寫在紙上之結構式去代表，即可示其結構真象，認為已足。當然世界上所有物質，既係在三度空間 (three-dimensional space) 存在，嚴格說來，化合物之結構，自係在空間展出，實應以一種立體式之方法或模型，將其代表出來，方屬正確。不過對於普通一般有機物，此種辦法，顯然用不着；因為結構式雖係在紙的平面上寫出，然而熟習此行者，一看即可了解其在立體中之意義，不致有誤會或含混之事發生。雖然如此，對於一部份有機化合物，則此等寫在紙上之結構式，不足以資辨別；兩種或更多的化合物，在該項情形下，其在紙上之結構式，顯似一樣。必須將其結構，用立體方法表示出來，方能一覽而見其分別。所謂立體的代表方式，最好是用立體模型。平常在紙上代表時，則畫出一種代表立體模型之圖式，稱之為「立體式」。須由立體式予以辨別之同分異性物，稱之為「立體異性物」(stereoisomers)。所謂「立體異性」之現象，其下又分「光學異性」(optical isomerism) 及「幾何

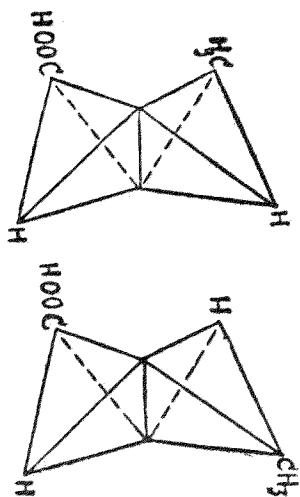
異性」(geometric isomerism) 兩部門。其解釋及代表法，均按一八七四年梵塔夫與勒貝耳所獨立發明之立體異性學說，將碳原子之四價，認為在空間作對稱的支配，伸向一個等邊四面體之四角（以碳原子居四面體之中心）。例如乳酸(lactic acid) 一物，按據實驗結果，成有兩種光學異性物，不多亦不少。此兩種同分異性物，一般物理及化學性質，均係完全相同；惟旋光度(optical rotation or specific rotation) 則係數量相同而符號相反（一正一負）。此種現象，按照立體異性之學說，得到最圓滿的解釋；因為按此理論畫出其立體式，此物亦應不多不少，具有兩種光學異性物。將碳原子用四面體代表，如上所述；兩種乳酸之立體式如下：



此兩體之關係，如形與影，極其相似，但非完全一樣，不能彼此疊合。上云此兩物其他性質相同，惟旋光度相反，由此正好得到滿意之解釋。乳酸不過是光學異性一種最簡單的例子。複雜

化合物，如天然產品中之碳水化合物、蛋白質等等，其所顯示之光學異性，雖屬複雜得多，亦均由此項理論，得到滿意解釋。在另一方面，設用普通結構式去代表乳酸，則左旋與右旋二物，皆可寫作 $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ | \\ \text{OH} \end{array}$ ，未免混淆。凡發生光學異性之有機化合物，其分子結構，皆係不對

稱的。一種最普通的不對稱，在於一個碳原子上，聯有四個不同的基，如此處乳酸一例所示。分子中含有雙鍵之有機化合物，有時會發生幾何異性現象。例如丁烯酸一物，即有兩種幾何異性物，分別稱為「順式」(cis-form)及「反式」(trans-form)，其立體式分別如下：



順式丁烯酸

反式丁烯酸

仔細看來，此兩模型，既非相等（不能彼此互相疊合），亦非形與影之關係。故兩物之間，物理與化學性質，均有差別。此點與光學異性之情形，殊不相同。所謂「順式」，分子結構中，兩個相同的原子或基，處在同一邊；「反式」則同樣的原子或基，位在對角，不在一邊。上舉丁烯酸一例，細看其聯在雙鍵碳原子上之四基，實係位在同一平面上；故爲省事起見，普通多以下列較簡單之方式代表之：



此項代表法（即簡單化的立體式），用時祇要了解其立體之意義，用時是沒有毛病的。發生幾何異性之有機化合物，不限於碳與碳原子間有雙鍵之化合物。碳與氮原子間有雙鍵者「如具有適當結構之肟（Oximes）」，及一部環狀化合物「例如若干「環」烷」（cyclohexane）衍生物」，亦能發生此等現象。

結構式不限於有機化合物。無機化合物，亦復有之。例如硫酸之結構式，可寫作：



在有些複雜的無機化合物中，甚至業已發現有光學異性及幾何異性現象。原來結構式與同分異

性，都不是有機化合物所獨有的。不過普通一般遇到之無機化合物，幾乎均無同分異性物；因此用結構式代表，無其必要，用分子式就很夠了。

普通代表有機化合物之結構，其所用結構式（參閱本節上文所舉各例），均以一橫或幾橫代表兩個原子間之結合或鍵（bond）；換言之，即僅對此項結合所牽涉原子價之數目，加以辨別，不問其原子價之種類（參閱上段）如何。此種習慣，係自十九世紀中葉，傳下到今；當時對於原子價之種類，尚不知如何區別。有機化合物中所遇到之原子價，恰巧大都均是共享原子價；所以迄今仍守是項舊習慣，似乎沒有多大關係。然而將有機化學上之結構式代表方法，引用到無機化學上去，却不免欠妥；原因是在無機化合物中，電性原子價，至少與共享原子價一般重要，所以必須加以辨別。例如上面所寫硫酸結構式，即欠妥當。如氫氯化鉀（ $KAuCl_4$ ）一類化合物，呆板按照舊法寫其結構式，竟致無法可寫，除非是將其中一部份原子，給以不習見之原子價；而那種原子價，又將與目前公認之原子價學說不符。由此觀之，對於一般無機化合物及一部份有機化合物，代表分子結構之惟一完全滿意代表方法，係將其電子結構寫出。當然凡有共享原子價之處，仍不妨照舊用一橫或幾橫來代表。但對於電性及半極性鍵，則須將其另行標出。

分子構造，還有一種更深刻或進一步的意義，即在簡單化合物中，各原子所處之實際地位。此點可由物理性質之測定，或量子力學研究決定之。在此方面，偶極矩之證據，最有價

值。例如二氧化碳，二硫化碳，及二氧化硫三物，將其結構，按照有機化學方法或電子構造寫出，均屬一類，看不出何等分別。可是由於偶極矩之研究，我們現在知道，二氧化碳及二硫化碳，其偶極矩等於零，故係對稱直線型構造 (symmetrical linear structure)，而二氧化硫則有一定數價的偶極矩，故其分子中之兩個氧原子，與硫成一種角度。此三物之分子構造，可分別代表之如下：



由實驗所得偶極矩數目，可以算出非直線型分子之角度。例如水之偶極矩為 1.85×10^{-18} 靜電



第十三章 氣體及溶液定律

世界上一切物質，普通都是作氣體（如空氣），液體（如水），或固體（如食鹽）三種形態之一而存在。此三種物質形態，今稱為物質三態（three states of matter）。三種形態中，吾人對於液體，了解最多。將來在此方面，尚須多多努力。對於固體，知道比較多些。據今所知，固體可分結晶體（crystalline）與不定形（amorphous）兩類；前者如食鹽，後者如玻璃。嚴格說來，祇有結晶狀之物，纔是真正固體；不定形物，及係過冷的液體（supercooled liquids），因溫度過低，以致黏度過大，遂形成類似固體的狀態。辨別結晶體與不定形物之方法，最初即用肉眼，後來改用顯微鏡察看。目前認為最可靠之方法，則係從X射線之研究。用最後一法，結晶體顯出有規則的圖案，不定形物則不然。從此種圖案，可以找出各個原子在結晶中之分佈情形。有些少數物質，仿佛是介乎結晶體與不定形之間。例如天然橡膠，平常在X射線下觀察，不顯任何有規則的圖案。但將其兩端拉緊，在受有張力（tension）之情形下，再予以觀察，則顯出結晶式之構造。

物體三態當中，我們對於氣態（氣體狀態），了解最為深刻。同等重量之某一物質，在氣體狀態下，其所占體積，遠較在液體或固體狀態下為大。這就是說，在氣體所占空間當中，

物質所占據之地位，一般說來，比例甚小；大部份全是沒有物質的空間，可任該項物質之分子，在其中自由活動。此種情形，與液體及固體中分子之比較擠得緊，行動受拘束，大有差別。我們可以假定，氣體分子，是一種極小的質粒（如果從現在所知原子構造與分子構造之知識看來，較妥當的說法，是將每個分子，認作一種質粒集團，其對外行動可作爲一個單位看待者），在空中以高速度飛來飛去。由於此種基本觀點，形成了現在所謂「氣體之分子運動學說」(Kinetic theory of gases)。一般氣體之各種性質，均可由此學說，得到滿意的解釋。分子小到一種程度，我們根本沒有希望看見它。可是間接證據，如此之多，對於此項學說，現在化學與物理學家，已經沒有人再懷疑了。

氣體體積、壓力、與溫度之數學關係，現爲化學上一種基本知識。三百年以前，英國化學家波義耳，於一六六〇年，首次指出，在固定溫度下，一定重量的氣體，其所占體積與壓力成反比例。後來在一八〇一年，查爾士 (Charles) 找出，在固定壓力下，一定重量的氣體，其所占體積，與絕對溫度成正比例。此兩種關係，前者稱爲波義耳定律 (Boyle's law)，後者稱爲查爾士定律 (Charles' law)。將這兩種定律湊在一起，便成現在所謂「理想氣體定律」(perfect gas law)，其數字代表法如下列方程式：

$$PV = NRT$$

在此項方程式中，P代表氣體壓力（氣壓），V代表氣體體積，T代表絕對溫度，N代表氣體之

克分子數； R 爲一種常數，今稱爲「氣體克分子常數」(molar gas constant)。此項方程式所代表之關係，簡便合用。可是仔細研究，與精確實驗所得結果，頗有差異。嚴格合乎此項方程式之氣體，稱爲「完美氣體」(perfect gas)或理想氣體(ideal gas)。實際上我們所遇到之氣體，沒有一種是完全合乎此項方程式的。這些「實在的氣體」(actual gases)，祇有在某些情形下(例如在高溫度或低壓力下)，其行爲近似理想氣體。在同等情形下，分子比較簡單之氣體，其近似理想氣體之程度較大。例如氫之行爲，較之氧氣，爲近於理想氣體；氧氣又較有機分子爲近。

上段所述理想氣體定律，原係純然從實驗結果，歸納得出，當初並無一定理論基礎。但是自從分子運動學說成立以後，由該項學說的基本假定作起點，可以純用數學方法，將此種定律，演繹(deduce)出來。是乃分子運動學說應用之一例。

理想氣體定律，因其爲代表氣體形態之一種規律，稱之爲一種「物態方程式」(equation of state)。迄今僅有氣體狀態，可用物態方程式，代表其溫度與壓力變動下之行爲。至於液體與固體，均嫌過於複雜，迄今無法用此等方程式代表之。氣體之物態方程式中，以理想氣體定律最爲簡單。爲對「實在氣體」之行爲作更準確的代表起見，數十年來，先後有過若干改良的物態方程式。其中一部份係由理論演繹出來，用實驗予以證實。另外一部份，則係實驗結果歸納得出的經驗方程式(empirical equation)，並無任何理論基礎。

假如理論氣體定律，可以嚴格用上，則兩種不同氣體，在同樣溫度與壓力下，其所含分子數，必係相等；因為按此定律，方程式中之「氣體克分子常數」(R)，不論氣體種類如何，其數值總是一樣。此處所得結論，即是上文一度提到之「阿佛加德羅定律」(Avogadro's Law)。由此看來，是項定律，祇對理想氣體，能夠嚴格應用。實在氣體，既非理想，其行為祇能大約合於此律。其差異之多少，以其行為對理想氣體之差異為依歸。另外一點可以注意者，理想氣體定律及阿佛加德羅定律，不但對於純淨氣體，可以大約應用；對於氣體混和物亦然，祇須混和物中的各種氣體，彼此不互起作用。

關於氣體行為，最後尚有一種定律，值得特別提及者，為格拉亨(Graham)氏所發現關於氣體擴散 (diffusion) 之定律。此項定律，即謂氣體擴散之速率 (rate of diffusion)，與其密度的平方根成反比例，按照阿佛加德羅定律，密度與分子量，約略成正比比例。所以兩種氣體之相對擴散速率，約與其分子量的平方根成反比例。例如氧氣之擴散速率，在同等溫度及壓力下，約為氧氣之四倍。

許多物質，能溶解於液體中。此項液體，稱為「溶媒」(solvents) 或「溶劑」；在溶媒溶解 (dissolve) 之物，則稱為「溶解物」(solute)。溶解物可為氣體、液體、或固體。溶媒則普通皆為液體，以水及各種有機溶劑為最常用，但有時亦可為固體。溶解物溶於溶媒內所成之系統，稱為「溶液」(solution)；以固體作為溶媒者，特稱為「固體溶液」(solid solution)。

溶解物與溶媒，必需是不同的物質，否則不成其為溶液。按此溶液係由兩種或更多的（例如兩種溶解物，同溶於一份溶媒內）物質組織而成，與純淨物質有別。假如有法可以看見分子大小之顆粒，當可發現，溶液係由不同的質粒（或者最好是說質粒集團）所構成。可是我們沒有方法可以看見分子；而按普通所用標準（例如在顯微鏡下加以觀察）看來，溶液顯然是「均勻的」（homogeneous），在此點上似乎與普通所謂純淨物質（元素或化合物）無所區別。至於溶液之係由兩種或兩種以上的分子所構成，可由物理離析法（例如蒸餾、結晶等）或化學作用（例如設法將溶液中所含溶解物，沉澱出來），得到充分證據。

以上所說，係就普通溶液而言。此等溶液，亦稱為「真正溶液」（true solutions）。如食鹽或蔗糖在水中之溶液，氧氣在水中之溶液，酒精在乙醚（以脫）中之溶液，皆是真正溶液之例。設系統中所含溶解物之顆粒，大到一種程度，雖不能在顯微鏡下直接看見，但可以超顯微鏡（ultramicroscope）觀測其布朗運動（Brownian movement）者，稱為「膠體溶液」（colloidal solution）。其所處地位，介乎真正溶液與普通懸浮體（suspensions）之間。經放置後，其所含「膠體質粒」（colloidal particles），相當於真正溶液中之溶解物者，漸有沉析之傾向。此項沉析，有時頗快，有時極慢，視該項質粒之大小而定。少數有機物質之膠體溶液，如天然橡膠乳汁（rubber latex）等，其所含膠體質粒，或有可能為單個的巨大有機分子。但在多數情形下，所謂膠質顆粒，係由許多分子，聚結在一處而成。例如金在適當情形下，可於水溶液中

成膠體溶液。膠體溶液，爲物質存在之一種特殊形態，有人將其視作普通物質三態（即氣體、液體、與固體）以外的第四種物理形態。以同樣理由，我們亦可將真正溶液，如此看待。

現在再回到真正溶液的討論。一種不揮發的物質，溶於液體溶媒內（例如蔗糖在水中之溶液），使該項溶媒之物理性質或常數，有所變更。就中特別可以注意者，原來溶媒在一定溫度下之汽壓（vapor pressure），因此減低；其減低之程度，視所含溶解物數量而定。此中關係，法國化學家拉烏（Raoult）氏，於一八八七年，首先發現，故今稱爲拉烏定律（Raoult's law）。設以 P_1 代表溶媒在溶液中之汽壓， P_0 代表該項溶媒在純淨狀態下之汽壓， N_1 代表在溶液中溶媒所占「克分子分數」（mole fraction），則拉氏定律之一定代表方式，如下列方程式所示：

$$P_1 = P_0 \cdot N_1$$

此項方程式之應用，並不限於內含不揮發性溶解物之溶液。設一種溶液中，所含溶媒及溶解物均係揮發性（例如甲苯溶於苯中所得溶液）；上列方程式，仍可應用，惟其中 N_1 一項，係指溶媒在溶液汽壓中所占之「部份汽壓」（partial pressure）。此數須加上由溶解物而來之部份汽壓（ P_2 ），方能得到該項溶液之汽壓總量（ P_1 ）。

正如氣體中有理想氣體一般，溶液中亦有所謂「理想溶液」（ideal solution or perfect solution）。實在氣體，從不會和理想氣體絕對一樣，祇可有時近似之，此點上文業已述及。

「實在溶液」(actual solutions)對理想液體之關係，亦復類似。嚴格遵守拉烏氏定律之溶液，稱爲理想溶液。這種溶液，嚴格說來，世界上是沒有的。不過因其性質上數學關係之簡單，理想溶液的意念，甚爲有用，該項溶液之性質或行爲，可以作爲實在溶液之參考或準則。此中理由，正與吾人使用理想氣體之意念相同。一對光學異性物之溶液（例如右旋與左旋丁醇 2 之混合物），其性質最近於理想溶液。其次則爲結構近似之化合物（愈近愈好），如甲苯與苯所成溶液。對於上述兩種情形，不論兩種組份 (component) 所占成分如何，拉烏氏定律，大體均可應用。其他實在溶液則不然。在該項情形下，拉氏定律，祇能在稀釋溶液 (dilute solutions) 中應用，且祇能由之算出溶媒之部份汽壓。至於溶解物之部份汽壓，則須以亨利定律 (Henry's law) 計算之。此項定律，對於氣體及液體溶解物，均可應用。以數學方程式代表之，如下所示：

$$P_2 = KN_2$$

在此項方程式， P_2 代表溶解物之部份汽壓， N_2 代表溶解物之克分子分數。對於理想溶液，常數 K 之數值，即等於溶解物本身在純淨狀態下之汽壓。對於一般實在溶液，則此項常數，須用實驗方法測定；如溶解物在純淨狀態下爲液體，其數值大於該物之汽壓。對於氣體溶解，由亨利氏定律引伸出來，可以得到結論，一種氣體在一種液體溶媒中之溶解度，假定其不與溶媒起化學作用，係與其部份壓力 (partial pressure) 成正比例。

上述拉烏氏定律，表示溶液濃度與「汽壓降低」(vapor pressure lowering)之關係。由該項關係，用圖解方法，容易指出，設溶解質為不揮發物，溶媒之熔點，因溶解物之存在而比例降低，其沸點則隨之而作比例的增高。此項熔點降低 (freezing point lowering) 及沸點升高 (boiling point raising) 與濃度之關係，可以下列兩種方程式代表之：

$$\text{熔點降低} \cdots \Delta t_f = K_f n_2$$

$$\text{沸點提高} \cdots \Delta t_b = K_b n_2$$

在此項方程式中， n_2 代表不揮發性溶解物在溶液中之濃度，其單位為每一千克溶媒中所含溶解物之克分子數。 Δt_f 代表溶媒之熔點降低， Δt_b 代表其沸點升高。 K_f 及 K_b 為兩種常數；前者稱為「熔點常數」(freezing point constant) 或「克分子熔點降低」(molal depression)，後者稱沸點常數或「克分子沸點升高」(molal elevation of boiling point)。此兩方程式，均祇在稀釋溶液內，可以應用，原因是實在溶液與理想溶液有別。以水作溶媒時，其熔點常數為 1.86°C 。在可應用時，此項方程式，極為有用。由 n_2 及溶解物在溶液中所占重量成分 (可由實驗方法予以測定)，立刻可以算出該物之分子量。對於不揮發性之物質，此乃普通用以測定其分量之方法。

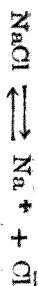
另外一種測定不揮發分子量之方法，為利其「滲透壓力」(osmosis)。一種物質的溶液，混入純淨溶媒中，其傾向為溶媒平均支配於整個混和物中，造成一種較淡的溶液。今若將原來

溶液，與純淨溶媒，用一種半透性隔膜 (semi-permeable membrane) 將其隔開 (普通豬尿泡，即可用作此項隔膜，令溶媒分子得以自由通過，溶解物分子則不能通過；結果溶媒分子，必然滲透是項隔膜，進入溶解物之溶液中，將其沖淡，至造成一定數量之「液柱壓力」(hydrostatic pressure) 乃止。該項壓力，即稱之為「滲透壓力」。代表滲透壓力之方程式，恰巧和理想氣體方程式一樣，亦為：

$$pV = NR'T.$$

不過在此項方程式中， P 係代表滲透壓力， V 代表溶液體積；至 R 及 T 之意義，則與氣體方程式相同。 N 代表溶液中所含溶解物之克分子數。用此項方程式，由以實驗方法求得之滲透壓力，與所用溶液之溫度、體積、與濃度，立刻可以求出溶解物分子量。此項方法，對於研究分子量較高之有機物質，頗屬有用。不過此法應用範圍，亦限於稀釋溶液；因為上列方程式，也是假定溶液是理想溶液衍出的。

嚴格說來，上述三種在溶液中求溶解物分子量之方法，祇能用以測定不電離物質之分子量。有機物質，在溶液中大都發生電離 (electrolytic dissociation) 現象，可以用此各法 (惟有有機酸、澀、鹽，則係例外)。無機化合物則不然。酸、澀、鹽三類，為無機物之主體。此三類化合物，溶於水中，均立起電離作用。例如食鹽 (氯化鈉) 溶在水中，立起電離作用而成鈉離子及氯離子，如下列反應式所示：



氯化鈉 鈉離子 氯離子

電離學說，係瑞典化學家阿倫尼烏斯於一八八七年所發明。阿氏主張此項學說時，其所舉之一方面有力的證據，爲一般酸、澀、鹽（即現在所謂電解物質），在水溶液中，並不遵守上述之拉烏氏定律及滲透壓力定律。例如氯化鈉滲透壓力與濃度之關係，從實驗結果，實爲：

$$pV = iNRT.$$

在此項方程式中， i 爲一種常數，大於一而小於二。隨溶液濃度之降低， i 之價值，陸續增加，漸次逼近「二」之最高數值。對於汽壓降低，熔點降低，及沸點升高，此類物所顯示之數值，亦爲有機化合物之 i 倍；且適用於此各種性質之 i ，其數值均約相等。由此阿氏得到結論，謂在氯化鈉一類物質的水溶液中，實際存在之溶解物分子，必較普通分子式所代表者爲小（如氯化鈉一物，最多可小一倍）；因而謂此等物質，溶在水中，立即局部分解成離子，得到一種離子與分子之平衡混合物，如上列反應式所示。當然帶有電荷的離子之存在，對於此類物質何以獨能電解，亦予以一種滿意的解釋。阿氏電離學說之基本意念，迄今認爲正確。然在細節上，則六十年來，先後有若干改良。大體說來，對於一般所謂「弱電離質」(weak electrolytes)，如氫氧化銨等，阿氏原來學說，仍可應用。對於「強電解質」(strong electrolytes)，

如氫化鈉，則根據德國物理學家及化學家德拜 (Debye)氏在一九二三年所發表之學說，在極淡溶液中，實係百分之百的電離，即全部變成離子。

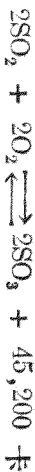
第十四章 反應平衡及反應速率

金屬的鈉，與氯氣極易起反應，立即變成氯化鈉（食鹽），同時發出大量之熱，如下列反應式所示：



鈉 氯 氯化鈉

此項反應所得產品（氯化鈉），極其穩定。在平常實驗室及工業上所能得到之試驗情形下，無法將其分解成爲鈉與氯氣。此類反應，祇能在一個方向進行，因此稱爲「不可逆反應」（Irreversible Reactions）。上列反應式中之箭號，即指示反應進行之方向。不可逆反應，在化學中雖有若干事例；但是大多數反應，乃係可逆的。所謂「可逆反應」（reversible reactions），即指在兩個方向（向前及向後）均能進行之反應。如二氧化硫與氧氣之作用，即係一例。此項反應，可代表之如下：



二氧化硫 氧氣 三氧化硫

是項代表法之意義，爲二氧化硫與氧氣，可以化合成爲三氧化硫；三氧化硫，亦可分解成爲二氧化硫與氧氣。前一反應，稱爲「向前反應」(forward reaction)，後者則稱「向後反應」(backward reaction)。在此例中，兩分子之二氧化硫，與一分氧氣化合，放出四萬五千二百卡之熱量；故向前反應，稱爲一種「放熱反應」(exothermic reaction)。反之向後反應，吸收四萬五千二百卡之熱，故稱「吸熱反應」(endothermic reaction)。普通在實驗室中或工業上發生放熱反應之傾向，較之吸熱反應爲大（化學反應發生時，很少會毫無能量上的變動，一同發生）。不過這話並不是絕對的。許多時候，要看試驗情形如何而定。

凡屬可逆反應，向前與向後反應，同時進行（但其速率則大都不相等），決不是僅有一種反應而無其他一種。因此這兩種反應，皆不能百分之百的完成。結果反應繼續進行，最後達到一種階段，所得爲一種「平衡混和物」(equilibrium mixture)，在固定溫度及壓力下，其成分不再變動。實則此時反應並未停止。不過向前反應之速率，與向後反應相等，所以互相抵消，成爲一種「動態平衡」(dynamic equilibrium)，不復能由化學分析，看出反應仍在進行。例如上舉例中，無論是自二氧化碳及氧氣作起點，或以純淨的三氧化硫作爲原料，在固定溫度及壓力下，最後所得平衡混和物，總是一樣。是項平衡混和物之成分，爲溫度、壓力、及各種反應物的濃度所決定。在不同溫度下，向前與向後反應之反應速率比例，大可有差別。例如當總壓力等於一個大氣壓時，在攝氏表四百五十度的溫度下，自兩分子的二氧化碳與一分子

純淨氧氣之混和物作起點，達到平衡後，原來所用二氧化硫，計有百分之九十八變成三氧化硫；在五百度下，有百分之九十五變過去；在六百度下，則不過百分之八十。設將原來所用二氧化硫對氧氣之分子比例，予以變更；或用空氣（約為四份氮氣對一份氧氣之混和物）以代氧氣，則在同樣壓力及溫度下，所得平衡混和物之成分，又較上述者有異。一種較平衡混和物成分為固定之常數，為所謂「平衡常數」(equilibrium)。此數僅與溫度及壓力發生關係（在不同溫度或壓力下，平衡常數之數值不同）；對於濃度，則並無關係。上述例中，按照此處寫下的反應式，二氧化硫與氧氣化合為三氧化硫之平衡常數，係按下式計算之：

$$K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

$$\text{或 } K_p = \frac{p^2 \text{SO}_3}{p^2 \text{SO}_2 p \text{O}_2}。$$

此項方程式中， K_c 及 K_p 代表平衡常數；前者按各物濃度 (concentration) 計算，如方程式中所示，後者則按部份壓力 (p) 計算。凡置在方括弧之分子式，代表各該分子之濃度，以每升中所含克分子數為單位。p 代表各物之部份壓力，以大氣壓 (atmospheres) 為單位。 K_c 與 K_p 之關係，為：

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

在此方程式中， Δn 代表起該項反應（指向前反應而言）後分子增加之數目。對於上述二氧化硫之氧化 $\Delta n = 1.0$ 。

試將二氧化硫與氧氣之可逆反應，與求其平衡常數之方法，予以比較，立即可以發現，求平衡常數之法，為將向前反應的產品之濃度（或部份壓力），乘反應式中該物化學式前所列係數（coefficient）之方；此數用以同法處理反應物所得數目之乘積一除，即得平衡常數。設將此類反應，以概括式方法代表出來，可逆反應之概括代表法，為：



其平衡常數，則為：

$$K_c = \frac{[G]^g \cdot [H]^h \dots}{[A]^a \cdot [B]^b \dots}$$

此項關係，稱為「質量平衡定律」（mass action law）。

在一個大氣壓的總壓力下，對於二氧化硫與氧氣之反應， K_p 之數值，在攝氏四百五十度下為三六四，在五百度為五四，在六百度為二·二。在各溫度下，祇要壓力不變，平衡常數之數值，不致變更。但平衡混和物中所含三種氣體之比例，則視原來所用反應物之比例及其濃度而有差別（參閱上文）。

溫度、壓力、及濃度對於平衡之影響，甚為有趣。仍用上述二氧化硫之例。在執行此項反應時，設將二氧化硫或氧氣之濃度增高（例如額外將此項氣體之一，壓入原來三種氣體的平衡混和物內），則因起反應的物質之濃度或部份壓力提高，以致進行向前反應之傾向增加。遂令平衡暫時破壞，至得一種新的平衡乃止。反之，若將向後反應之反應物（即三氧化硫）之濃度增加，該項反應進行之趨向，即隨之而增高，故平衡亦被破壞，又須調整至一種新的平衡。至於壓力對平衡是否有影響，要看此項可逆反應是否包含着有分子數目之變動而定。若向前反應所得產品之分子總數，與反應物（*reacting substances*）或原料之分子總數相等，壓力對此反應，即全無影響。設此項反應之產品分子總數，小於反應物之分子總數，如此處所舉二氧化硫之例；加壓力之結果，破壞平衡，使向前反應之傾向增高，至達一種新的平衡乃止。在新的平衡下，三氧化硫在平衡混和物中所占成分，較未加壓力前為高。減低壓力，得到相反影響。若向前反應之產品分子總數，大於反應物之分子總數；所得結果，正與剛纔所述者相反。最後說到溫度的影響時，我們可將熱量，視作可逆反應式之一部份。該部按習慣置在正反應號的右邊，因此成爲右邊之一份子。若係放熱反應，每逢加熱或提高溫度時，右邊份子增高，趕起反應往左邊跑，故平衡被破壞，引起向後反應，結果向前反應之產品（在本例中爲三氧化硫），在平衡混和物中所占成分減低。由此推之，溫度增高，可逆反應之平衡常數，即行減低；溫度減低，該項常數即行增高。以上所說溫度對於平衡之關係，係專指向前反應爲放熱反應者而

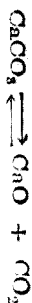
言。設向前反應為吸熱反應，則所得結果，正與上述者相反。

以上所述溫度、壓力、及濃度對於平衡之影響，均可包括於一條通用的原則之內。此項原則，稱為「勒夏德利耳原則」(Le chatelier's principle)。其內容謂凡對任何在平衡狀態下之系統，加以一種壓迫 (stress)，其平衡點即行移動；移動之方向，傾向抵消此項壓迫。是項原則，應用範圍，至為廣博；祇惜僅有一種質的意義，並無量的意義。

上述二氧化碳與氧氣之平衡系統，代表氣體平衡 (gaseous equilibrium)。液相 (liquid phase) 中亦可有類似的平衡現象。如酒精 (乙醇) 與醋酸 (乙酸) 化合成乙酸乙酯，即是一例。此項反應，今代表之如下：



上一節所述電離質在水溶液中之電離作用，為液體平衡之另一種例子。以上所舉各例，平衡混和物，全體成為均勻的一相 (homogenous phase)，故稱為「均勻平衡」(homogenous equilibria)。除此以外，尚有「不均勻平衡」(heterogenous equilibria)，即系統中含有幾相，平衡係在不同相中存在者。如石灰石 (碳酸鈣) 之分解成石灰 (氧化鈣) 及二氧化碳，即係此中一例。可以反應式代表之如下：



石灰石 石灰 二氧化碳

在實驗室中或工廠裏，化學家往往需要管制一種化學反應，以便對其所期望之變化，得到最有利的結果。所謂化學反應之管制，一方面為研究反應平衡，在比較最有利之溫度與壓力下，執行有關反應（參閱上文）。另外一方面，則在於「反應速率」(Velocity or rate of Reaction)之管制，令其不致太快，也不太慢。反應平衡與反應進行之速率，乃係兩種彼此獨立之因素。有利於平衡之情況，往往在速率上不適宜。速率合式者，平衡上又常不利。普通在實驗室中或工廠內執行之化學反應，如係可逆反應，類皆向前反應（即吾人所欲得到之反應）為放熱反應，對於此等反應，如上所云，溫度愈低，平衡愈屬有利。但在另一方面，溫度愈低，反應進行愈慢（此點對於向前及向後反應皆然），故太低殊不合式。在此種矛盾下，合理辦法，為採取折衷法，用一種溫度，對平衡相當有利，反應速率又不太慢者。如此項折衷辦法，不易執行，往往可加少量接觸劑 (Catalyst) 以促進之。接觸劑並不影響反應平衡，但使反應速率加快（向前及向後反應，受到同等的有利影響），使平衡能以迅速達到。例如上述二氧化硫與氧氣之作用，向前反應為一種放熱反應，故溫度愈低，平衡殊屬有利，所得三氧化硫之產量愈高。溫度高到攝氏四百五十度至五百度，產量仍然很好，再高則產量下降頗速。在另一方面，溫度愈高，反應進行愈速。在四五百度時，如不加別的東西，反應進行殊慢，短時間內

難達平衡。故平衡雖有利，在短時間所得產量則甚少。此項矛盾之解決辦法，為採用四百五十至五百度之溫度，但加鉑或其他接觸劑以促進此項反應之進行。工業上以接觸法製硫酸，即係在此等情形下執行反應。

反應速率，與溫度之關係最大。在室溫左右，溫度增加攝氏表十度，一般反應之速率，增加二、三倍。此項增加率，隨溫度之升高而漸減。到了燃燒溫度（攝氏表八百度以上），溫度須約升高一百度，反應速率方增加一倍。以上皆係概括而言。當然各種反應之速度增加率，不一定相等。如一種可逆反應中之向前及向後反應，在此點上即可有別。

在固定溫度下，一種反應之速率，與反應物之濃度（乘其分子前係數之方），成正比例。例如上述二氧化硫與氧氣之可逆反應中，向前反應之速率，可以下式表示之：

$$V_1 = k_1 [\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]$$

在是項方程式中， V_1 代表向前反應之速率； k_1 為在一定溫度下本反應之「速率常數」(rate rate constant)，其數值與溫度發生密切關係。同樣的，設以 V_2 代表向後反應（三氧化硫分解成氧氣及二氧化硫）之速率， k_2 代表該項反應之速率常數，即得：

$$V_2 = k_2 [\text{SO}_3]^2$$

在平衡狀態下，向前與向後反應之速率相等（即 $V_1 = V_2$ ）。故從最後兩個方程式，吾人得到下列關係：

$$K_1[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2] = K_2[\text{SO}_3]^2.$$

因此：

$$\frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{K_1}{K_2} = K_c.$$

由此可見，速率常數之比例 $\left(\frac{K_1}{K_2}\right)$ ，即等於上文所述質量平衡定律中之平衡常數 (K_c) 。此點示出平衡與反應速率之關聯性。

第十五章 結語

以上各節，將化學中最基本之原理，予以敘述。因爲篇幅上的限制，其他許多重要原理，祇好略而不談。但從以上所說，讀者對於化學一門科學之內容，應可窺見一斑。至於化學應用時之詳細情形，似可不必予以敘述。應用本是由原理而來。祇談應用而不研求原理，那就不免捨本逐末了。

第四篇 生物學

郝景盛

地球表面，萬物衆多，或動或靜，形狀種類，難以盡述。然約而言之，不外生物與非生物，前者包括植物與動物，後者包括地質與礦物，但生物與非生物之間亦有連帶關係，不能一刀切斷，劃爲兩部。例如孔龍化石，在若干萬年以前，本爲地球表面上一種龐大之動物，後來因氣候寒冷，不能抵抗，遂被滅亡，又因地殼地層之變遷與變化，遂成爲今日之化石，在地質學中屬於古生物學之範圍。

然則動物與植物固皆屬於生物，其間亦有區別之點乎？我答曰：無之。吾人以一隻猛虎與一株柳樹相較，自不難分出前者爲動物，後者爲植物，謂動物者是指其能動，而植物乃靜止之物，其實動物中之不動者亦不乏其例，如珊瑚，而植物中亦有動作極爲靈敏者，如瓶子草、茅膏菜、豬籠草之類，此種植物可以捕捉小鳥昆蟲作爲其自己之食料，植物學家稱之爲食肉的植物。

至於下等植物與下等動物之間界線很難分別，有時植物學家認之爲植物，動物學家則列之於動物學內。

矽藻類 (*Bacillariophyta*) 雖屬隱花植物中之藻類，但其體內不含有純粹之葉綠素，反而

具多量之矽質，如用化學方法分析一下，會認其爲岩石之一種，而非植物之藻類。由此觀之，動、植、礦三者之間，如百尺竿頭更進一步的細細追究，三者在最古之原始狀態下，或發源於一點，由此一點，各自發展、進化、演變、滅亡，乃形成現在之世界萬物。不過現在科學家，爲研究方便計，將生物與非生物分開，而生物之中又分爲植物與動物，專研究植物之學問稱爲植物學 (Botany)，專研究動物之學問稱爲動物學 (Zoology)，爲使讀者易於了解起見，茲先寫植物，繼述動物，而以達爾文生物進化論等終結之。

第一章 植物

一、葉綠素 (Chlorophyll)

在生命界中植物支配着世界，請看廣漠之大地河山，到處皆有植物存在，而植物本身，尤其葉子內，或多或少，皆含有葉綠素。葉綠素爲太陽與生命間之關節，它可以利用太陽之光能，使大氣中之二氧化碳氣與地中之水分變成炭水化合物，變成葡萄糖，變成澱粉，牛羊家畜吃後則變成血液、骨骼、筋肉。草地化爲羊肉，羊肉產生羊毛，羊毛織成衣服，以保衛吾人之身體。凡此一套變化，皆以葉綠素爲出發點。煤炭、石油、汽油、煤氣亦爲古代之葉綠素變成，天地間若無葉綠素，則一切生物滅絕，人類自然亦不能存在。

在高等動物體內不含葉綠素，而含血紅素 (Hemoglobin)，葉綠素中有一個不能缺少之金屬原子即鎂，血紅素中亦有一個不能缺少之金屬原子即鐵，鎂與鐵在植物界與動物界之任何生物體中皆佔有極重要之地位，無此二質，則生物滅絕。然動物血之形成靠植物之葉綠素，宇宙間最神妙者即爲此物，日照花開結實，風來舞動葉落，此最小之葉綠素遂製造出許多驚人之偉業。換言之，葉乃植物養料之製造廠，葉綠素是千千萬萬的工人，晝以繼夜，工作勤勞，將製造品經過枝莖幹連往各部再分工製造，或至根集成球狀之倉庫，如馬鈴薯，或至莖構成柱形之糖廠，如甘蔗，或至果實變成味美食品，如柑橘、荔枝，或成豔麗之花，或爲香甜之果，或爲亭亭直立之喬木，或爲平鋪如氈之草坪，千變萬化，罄筆難述，然要之，皆不外此葉綠素在其中作祟。

汽油煤炭所發之光熱，並非新光熱，在去今約兩萬萬年以前，松杉類與羊齒類之樹林，充滿於地球陸面，後經枯倒、死亡、堆積、重壓、變化，或爲煤炭與石油，其中所含之光與熱即兩萬萬年以前太陽之光與熱經過葉綠素之製造而形成者。

二、何謂植物？

世界學者以千萬計，但何謂植物確無人敢斷定，第一下等動物與植物根本不能分開；第二生物究竟爲生物，一個人所知者愈多，對動物與植物間界線之確定亦愈難，故至最後結論曰：動物與植物之間根本無界線存在。

余住房之外，有一池塘，用玻璃杯取其中水少許，置顯微鏡下觀之，則見有若干微生物，有者形似魚雷，側具雙鞭，動作迅速，游泳自然，爲時不久即逃出顯微鏡之視點，此何物耶？植物學上呼之爲雙鞭藻類 (Dinoflagellata)；有者除兩條鞭毛之外，又有活動之尾，對紅色燈光之照射，躲避迅快，似有視覺然，此又何物耶？植物學上呼之爲鞭毛藻類 (Flagellata)。此種藻類，以動作狀態言，頗似動物，然又不具口，吸收養料不經口部，此則又與高等植物根之吸收作用相似。

在高等植物界中，亦不乏動作迅速感覺靈敏之實例，最普通常見者如含羞草，我國雲南省南部山中即有之，以手觸之，則葉摺合而枝下垂，似動物之具有肌肉組織與神經系統然；台灣及福建產之瓶子草，葉端生有小水瓶一枚，瓶口具蓋，瓶內貯水，小鳥當天熱疲倦欲思痛飲時，即攀登瓶口，引頸吸水，瓶蓋遂即時下落，如網捕鳥，乃分泌液體，將鳥之羽毛骨肉溶化，而變爲自身之養料。

因此吾人可斷言，動植物之間，並無清楚之界線。

三、生物之起源

地球表面，在最古之時代，根本無生物存在，地層之變化，有一頁一頁之岩石爲之記載。在美國可羅拉多河之大峽谷 (Grand Canyon)，有極清楚之岩石紀錄，岩石之層次，因最近到最古，異常明晰，在最古之地層上無生物之遺跡。地球上最古之生物乃單細胞之微生物，此

原始生物 (Primitive Organisms) 與吾人身體上之致病細菌不同，因細菌乃寄生生物，無高等動物身體之營養即行死亡，而原始生物，由地層年代看，乃自己能完全獨立。植物學家將肉眼能看到之一切微生物，概以細菌 (Bacteria) 名之。

在植物方面最初亦有此單細胞生物，生長於溫暖之淡水中，色重，在現在溫泉中依然存在。以鐵質為營養物，靠鐵質生存，此物為何？即 *Leptothrix*。在太古時代，去今十億年前，此以鐵為營養之單細胞生物，行直接分裂生殖，一生二，二生四，永生不死，以迄於今日。生長於一個長而分格之管內，在顯微鏡下可以見之，類似根毛 (root hairs)，管壁由鐵質構成，細胞形狀為橢圓形，但具尾，似蝌蚪然，彼此相連，作串珠狀，孳生繁多，其被排擠者即沉集其他細胞羣之四週。

其管壁似為鐵質，可持久不壞，經重重岩石之壓迫，經過不可勝數之年代，外層碎片，即沉集而成黏土，在可怕之水壓力之下，變成鐵鑽石。此 *Leptothrix* 自古至今，生活未變，在美國 Lake Superior 之北部，形成驚人之一大量鐵鑽，每年產量噸位之多，世界罕比。

此鐵質細菌最初如何形成？實難以想像。是否此即為地球上最初最早之生物？而它又自何處來？生物之起源，乃歷史上之一件大事，在天地初開地球剛生時，生物不存在，後來忽然發生最下等之生物。然一物之存在，不動即靜，非生物即死物。半生半死，或不生不死之物，從來無人見過；不具有生命之物產生具有生命之生物，就今日之科學觀之，已為不可能；經驗與

實驗所得之結果，知道只有生物始產生生物，『小孩乃由石隙中躡出』，『腐草化爲蠅』，以至於我國某學者之自然發生說，均是幻想與夢境，吾人決不能相信。

美國李普門 (Charles Lipman) 氏最近發表文章，謂其由新落地表之隕石 (Meteorites) 中找到類似地球上土壤中現存之細菌，居然亦有不少科學家相信。地球上最初生物之形成，亦類乎此。

最早之生物，一定頗小，地心吸力對之無影響，太陽光不能使之毀滅，在黑暗中亦能活動，在可怕之寒冷情形下亦能生存，此外又能以無機化合物爲養料，使之變成生命之能力。以上所述之吃鐵細菌，即具有此種性格，在古代化石中能與之比倫者無之；或者最早之生物祖宗小極，爲星球間奔來之一灰塵。關於生物起源，於此結束，不再爭論。

四、植物之花

花爲高等植物之生殖器官，由外向內分若干層，最外層爲萼、萼片，漸向內爲花冠花瓣，再向內爲雄蕊，最內爲雌蕊；雄蕊有花絲及花藥之分，藥內又生有無數之花粉，與動物之精蟲相當；雌蕊有柱頭、花柱、子房，胚珠之分，而胚珠相當動物之卵子；在開花時節，花粉與胚珠相遇，即爲受精，受精後之胚珠生長發育成爲各色各種之果實。一花之內雌雄蕊具備者謂之完全花，如桃花梨花；一花之內只具有雌蕊或雄蕊者謂之單性花，如葫蘆科中之西瓜、苦瓜、冬瓜之類；有雌花與雄花生於同一植物者，謂之雌雄同株，如板栗、山花繆、麻栗之

類；有雌雄花生於不同之植物者，謂之雌雄異株，如紫杉、銀杏、垂柳與白楊等。美麗鮮豔清香之花，可引來蜂蝶等之採蜜，無形中成熟之花粉即附着於蜂蝶之身體四肢上，乃傳佈於他花之柱頭而受精，凡此靠蜂蝶或其他昆蟲傳佈花粉者，謂之蟲媒花；然植物亦有不具香甜美麗之花者，如松柏榆核桃等，其花粉則靠風力吹送以達受精之目的，所謂風媒花者即此；此外尚有水媒花，在海濱生長之植物，專靠水力之輸送，將花粉運至遠方，以達其生殖之目的。

植物界中一般高等植物皆有開花現象，但有一部下等植物根本無果無花，前者爲顯花植物 (Phanerogamae)，如玉蘭、荷花、牡丹、芍藥；後者爲隱花植物 (Cryptogamae)，如菌類地衣之類；花之大者徑可盈尺，如南美洲巴西國亞馬遜河流域產之花王 (Victoria)；花之小者用肉眼幾乎不能看到，如我國產藥用植物蒼耳 (卽葇耳)；子房有根本不在花部而伸出於花冠之外者，如我國海南島產之山柑 (Capparis hainanensis Oliv.)；子房有極端下位，位於筒狀萼之基部者，如普通習見之落花生，花之着生位置亦頗不一律，有位於長梗之端者，外無枝葉之陪襯，如蓮花；有位於葉面之中心者，如華中各地山野常見之灌木青莢葉 (Holwingia japonica)；紫荊在老樹幹上生花；黃桷樹，無花果將花隱藏於花托之內；梨樹、臘梅、木蘭，先開花而後吐葉；洋槐、梧桐先吐葉而後着花，總之，植物之花，形形色色，難以盡述。

五、種子之睡眠

花落結果，內包種子，成熟之種子即脫離母體而飛往他地，別覓適宜之處所，發育生長，形成新的植物。故種子乃植物最重要之部分，具有生命力。種子內所貯藏之生活力，據吾輩所知，有甚為驚人者，有的植物種子抗乾燥之性極強，在絕對乾燥之情形下，因特種皮之保護，生活力亦不致喪失；有的種子在沸水之中煮四十八小時，生活力依然存在；有的種子在液體空氣中放置數日，然後取出，仍舊能發芽；在真空氣中保存之松樹種子，十數年之後，發芽率毫不退減；草類種子放置於玻璃瓶中，塞口之後，埋入土壤內，四十年後取出種植，幾乎半數依然能發芽。

種子在靜置之狀態下，是否仍具有呼吸作用，現代科學方法，尙不能鑑別之；然種子內確有生命存在，殆不容吾人置疑。此似死而其實還生之現象，即種子之睡眠，因生命力並未離種子他去而仍存在於種子之內也。

以上所述，其外圍至為廣大，其內容至為複雜，然皆不出植物學之範圍，植物學家興趣不同，各擇性之所好，深加研究，分道揚鑣，彼此各走一途，故現代之植物學又分爲若干部門，今約略述之於次：

第一節 植物分類學 (Plant Taxonomy)

按植物之根、莖、花、葉、果實、種子各部形狀，將植物界所有之物，由高等至於下等，

分成若干類。瑞典分類學家林奈氏 (Linnaeus) 著有植物種類一書，係一七五三年出版，按雄蕊之數目或有無將植物分為二十四大類；久斯由氏 (Jussieu) 在其所著之植物屬誌 (一七八九) 一書中，分植物為無子葉單子葉及雙子葉三大類；瑞士大植物學家得剛斗 (De Candolle) 在 *Théorie élémentaire de la botanique* (一八一三) 一書中分植物界為具維管束植物及無維管束植物兩大類；恩德里 (Endlicher) 在其植物之屬 (一八二六) 一書中，分植物有根與莖之分者為一類，無根與莖之分者另為一類；布郎尼亞氏 (Brongniart) 在所著之巴黎自然歷史博物館植物屬誌 內，別植物為顯花與隱花二大類，以後各國學者，皆欲獨樹旗幟，標新立異，關於植物分法，五花八門，各有主張，然至今日為止，對於植物分類分析最精確，包括最完備者，當推德國植物學家安戈雷氏 (Engler)，分植物界為十四門，今介紹於下：

第一門 裂殖植物 (Schizophyta)，又分為裂殖菌類及裂殖藻類，行分裂生殖，包括細菌、旋形菌、念珠菌、以至於分裂生殖之極下等藻類。

第二門 黏液菌類 (Myxomycetes)，體內不具葉綠素，體外無膜，內部有核，作阿米巴狀之運動，但靠孢子生殖，孢子內生出一個游泳體，具一根端毛，如腐木材表面上所生之骨質黏菌 (Oeratomyxa) 是。

第三門 鞭毛植物 (Flagellate)，單細胞，但體之外表已具顯然之膜，有者尙具有各種不同之膜，體內有核、色體、空泡等，前端具一根或多根之鞭毛，行無性生殖，將身體伸長，

裂爲兩段，多見於水中，或爲寄生植物，如淡水中所產之綠蟲藻 (*Engelma viridis*) 卽屬此類。

第四門 雙鞭藻類 (*Dinoflagellate*)，小極，單細胞，若干個體相集而成索鏈狀，外表具有賽璐瑯質之膜，富染色體，有核，已具有同化之能力，製造澱粉或油脂，多見於海濱，如夜光藻 (*Gymnodinium*) 卽屬此類。

第五門 矽鞭藻類 (*Silicoflagellate*)，此門植物，尙未十分確定，單細胞，具有一或兩條鞭毛，內部有核，身體由矽質構成，生殖方法尙未被人類發見，在白堊紀已找到此類化石，如單矽鞭藻 (*Dietyocha*) 是。

第六門 片形藻類 (*Heterocontae*)，已進化成爲多細胞植物，具一枚至多枚之核，有綠色素及薄膜，行無性生殖，兩個具有雙尾毛之孢子，相遇後卽構合爲一，但四條尾毛皆存在，再生長發育，形成新植物，海水淡水中皆產有之，如風船藻 (*Bolrydium*)。

第七門 矽藻植物 (*Bacillariophyta*) 單細胞，有核一，不具純葉綠素，但具黃褐色素，含有各種形狀之色粒，有膜有節，且能分枝，能行同化作用，製造養料，由接合子生殖，如 *Pleurosigma* 藻是。

第八門 接合藻類 (*Conjugatae*)，有葉綠素，具管狀膜，管內有旋形之絲，如水線 (*Spirina*)。

第八門 綠藻類 (Chlorophyceae)，此種藻類已比較高等，葉綠素、核，皆一應俱全，如無節藻、長水松、羽藻、柏葉藻等皆屬於此類。

第九門 輪藻類 (Chrophyta)，體有柱狀之主軸，各節輪生假葉，細胞壁有石灰質，無游走子，雌器，外表有螺旋狀纖維五條，頂端具五枚冠飾，最常見者為生於淡水中之輪藻 (Charafragilis)。

第十門 褐藻 (Phaeophyceae)，為多細胞水生植物，體內含有紅蘿蔔色素、黃色素、褐色素等，行同化作用，但不產生澱粉，而產生昆布素 (Laminarin)，油類。賽璐璐質之膜外，附着微量之膠質，游走細胞，內包游走子 (Zoospore)，同形配偶子 (Isogameten)，異形配偶子 (Heterogameten) 等，具兩條根緣毛，其中一枚運動可使之向前，其他一枚之運動則使游走細胞向後；然亦有只具一條緣毛者；有性生殖及無性生殖在本門植物內皆有實例，如團扇藻、馬尾藻、鼠尾藻、昆布 (即海帶) 等皆屬此類。

第十一門 紅藻類 (Rhodophyceae)，含有多量紅色素與紫色素，體外亦具賽璐璐之膜，行四分孢子之無性生殖，或以雄器內之不動精子與造果器 (Carpogonia) 行有性生殖，與無性生殖為世代交替，如鷓鴣菜、雞脚菜、麒麟藻、鹿角菜等即為此類植物。

第十二門 真菌類 (Fungi)，不具葉綠素，為腐生或寄生植物，生於水中者居少數；由菌絲生孢子，由孢子生植物。本門包括之種類甚多，由吾人在飯館常吃之香菇、雞棕、猴頭

麩起、以至靈芝草、及爲害老玉米、高粱之銹菌等皆在內。

第十三門 有胚無管植物 (Embryophyta Asiphonogama)，包括蘚類、苔類、蕨類、木賊類、石松類等。

第十四門 管胚植物 (Embryophyta Siphonogama)，以上所述皆爲隱花植物，而本門則爲顯花植物，平常人認爲植物者，強半皆屬於此門。其中又有裸子植物與被子植物之別，前者如松、杉、柏、檜，後者如桐、楊、榆、槐。

以上各門中又分若干綱，綱下又分若干目，目內分科，科內分種，種之中又分爲若干變種 (Varieties)，變形 (Forma)，或品種 (Hybrid)。研究植物分類，一般論來，多至變種變形爲止，變形以下再不深究，但在農藝家、園藝家，則多注重品種，如稻，其學名爲 *Oryza sativa*，但品種之多，常以千百計；梨，其學名爲 *Pyrus communis*，然品種之繁，亦頗驚人，如雲南呈貢一縣之梨，據馮言安之研究，品種有二十四種之多，其餘如定州之梨，蒙自之石榴，萊陽之桃，哈密之瓜，新鄉之棗，劍川之橘，沙田之柚，蘭州之軟軟（桃之一品種），寧夏之魁元枸杞，陝西之核桃，硯山之三七（人參之一品種），德州之西瓜，普洱之茶等，皆爲優良品種，然以植物分類眼光觀之，皆不足稀奇。

植物之種，爲數殊多，只第十四門之高等植物，全世界約有三十萬種以上，我國產者亦兩萬有奇，不能枚舉。

第二節 植物形態學 (Plant morphology)

以植物分類學爲基礎，專研究地球表面各種植物之外部形態及內部構造。澳洲產之有加利樹 (*Eucalyptus*)，高度有達兩百公尺以上者，直徑在十公尺以上，周圍約三十丈；北美 *Yosemite* 國家公園內有四千多年之世界爺 (*Sequoia*)，直徑三十五呎，周圍九十七呎，高達二百零九呎；著名之瓦屋納樹 (*Wawona tree*)，樹之幹基，穿洞修路，洞寬八呎，長二十六呎，此樹洞爲一八八一年所建，馬路行經其下，至今遊美者皆前往觀光，視爲奇蹟。此樹之高度爲二百三十一呎；四川青城山天師洞之乳狀銀杏爲漢朝遺物；山東曲阜孔子墓前子貢手植楷；昆明黑龍潭之宋柏；四川青川縣之古柏，樹之高大古老有如此者；雲南麗江雪山有高不滿三寸之柳樹；東三省長白山爬生之檜，平鋪如瓊，吾人可以步行於其枝葉之上；熱帶榕樹之氣生根，如長索之下垂，兒童可以作秋千遊戲；馬來人渴時，爬上椰子樹，採取椰子，即可痛飲；巴西產花王 (*Victoria*) 之葉，可作兒童之扁舟，盪漾湖上，植物形狀之奇有如此者；至於內部構造更五花八門，難以盡述。

因此，有專門研究各種植物器官不同之學問，謂之植物器官學 (*Plant Organography*)，有專研究植物內部構造之學問，謂之植物解剖學 (*Plant Anatomy*)，若再細分，如羅馬尼亞人芮特力此吉 (*Fr. Netolitzky*) 著一書名植物之毛 (*Die Pflanzenhaare*)，美國有一植物學者

對蒲公英之葉形亦著有專書；此外專研究木材之構造者有木材解剖學 (Wood Anatomy)，專研究細胞之形狀者有植物細胞學 (Plant Cytology)，專研究細胞中之顆粒體者有植物色素學 (Plant Chromatography)，德國學者更妙想天開，甚至對於植物之細胞，地衣之解剖，植物之染料，五倍子之構造，苔之解剖，蘚之解剖，裸子植物之胚胎與發生等等，亦皆有專書研究討論，然此皆不出植物形態學之範圍。

總之，植物形態學之主要任務，在研究各種植物之外部形態及內部構造，其內容至爲廣汎，古人有言：『其大無外，其小無內』，用作形態學之研究範圍，或頗恰當，所差者高等植物多用肉眼可以區別形狀，下等植物則多靠顯微鏡，外部形態可以用眼觀察，內部構造則非用放大鏡與顯微鏡不可。

第三節 植物生理學 (Plant Physiology)

植物之所以能生長不已者，有其至理在，研究植物之生存生長的道理之學即植物生理學，茲分六點略述如次：

第一點 光化作用 (Photosynthesis)

除極下等之植物外，無論苔蘚、地衣、羊齒、藻類，以至於一般高等植物皆行光化作用。何謂光化作用？植物葉子內之葉綠素，在太陽照耀之下，使地下吸收之水分，與空氣中吸來之

二氧化碳起化學作用，變成炭水化合物，再由此種炭水化合物變成澱粉及各種糖類，運往各部以供植物本身之消耗。無陽光則光化作用停止，葉內將不能再造葉綠素，如不見陽光之處所，其植物爲白黃色，北平冬天之韭黃，即在陽光隔絕之下生成。光化作用以其將非植物之物質化成植物身體，故又有同化作用 (Assimilation) 之稱，葉乃植物之廚房，植物所需要之一切養料皆在葉內製成，故光化與同化實同一作用。

夜間日光消滅，則光化作用停止，此光化作用頗易實驗，用照像底板一塊，最好自己之像片底板，在清晨繫於荷葉之上，對日光放置，俟下午日落時將荷葉取下，放入酒精內，待荷葉不綠之後，再取出放於含碘之液體中，則荷葉上顯出自己之像，因葉之被遮部分澱粉製造停止，見光之部分則有澱粉存在，與碘相遇則影像立現。

第二點 呼吸作用 (Respiration)

吾人工作、睡眠、飲食、運動，時時刻刻，均需要一呼一吸，所謂『一分氣在千般用』，即指此一口氣，若呼吸停止，即爲死亡。在植物亦然。植物亦有呼吸作用，所異者人類呼吸用肺用口，植物呼吸則用葉面上之氣孔 (Stomata)，或枝莖上之皮孔 (Lenticels)，呼出之氣體爲炭酸氣，即二氧化碳，吸進之氣體乃氧氣，無晝無夜，呼吸作用，永不停止。

植物氣孔普通皆在葉之下面，但在水生植物亦有位於葉之表面者。氣孔之排列狀態，亦有各種不同，單子葉植物如老玉米、高粱、稻子、穀類，氣孔排列成行，雙子葉植物，如向日

葵、大豆、西瓜、番茄之類，氣孔之分佈毫無規則，零星四散，位置雜亂。氣孔之作用將在植物生理部內詳述，此不多贅。

呼吸作用爲生物之共同點，無論動物與植物，皆有呼吸作用。植物之呼吸作用與光化作用相反，放出之氣體爲碳酸氣，吸進之氣體爲養氣，光化作用乃吸碳酸氣，向外放氧氣，故白天屋內放置花盆則覺空氣新鮮，夜間屋內置花，則空氣變壞，因夜間光化作用停止。不但放氧作用停止，反而因呼吸關係向外放二氧化碳。此與白天走入森林則覺空氣清新，夜間入森林則覺空氣不足用，同一道理。

第三點 蒸發作用 (Transpiration)

日照葉面，溫度增高，葉內水分卽化爲水蒸氣，由氣孔放入大氣中，故一株樹木，實際上無異一眼井，樹大葉多者，因蒸發作用向空氣中放出之水分亦愈多。外國森林學家何乃爾氏 (Hornel) 曾研究過一株落葉松，如樹葉之重量爲一百公斤（在乾燥後過秤），由四月一日至十月三十一日向大氣中放出之水分爲十二萬五千六百公斤；蒸發力最弱之赤松，亦可達一萬二千斤以上。故一片森林無異許多自來水井，在有林地附近空氣溫度較無林地爲高，雨量較無林地爲大。大樹如此，小而至於一花一草，亦皆具蒸發作用。地下水分缺乏，不能供應葉面之蒸發時，則枝葉枯槁，釀成大旱。

第四點 傳導作用 (Transpiration)

殺毛吸水，經過幹枝，送入葉片內，以供太陽之蒸發，同時水內含有若干植物所需要之養料，亦隨之流入各部。葉內所製之養料，運輸至花、果實、種子、幹、皮、根各部，如百合、大蒜、紅薯、洋芋，其根部澱粉皆在葉中造成；板栗、核桃、香蕉等各種果實內所含之成分亦皆在葉內形成，葡萄、西瓜、蘋果、鴨梨非晒不甜，推其原因，皆此傳導作用爲之主宰。

落花生之傳導作用尤其顯著，花前向上伸長，落花後則子房伸入地下，葉面製造之澱粉、脂肪質等源源送來，結成味美之莢果。設植物不具此傳導作用，落花生內之養料則形缺如矣。水之傳導乃靠木質部之各種導管，養料之傳遞則靠生活之皮層。

第五點 運動 (Movement)

枝莖有向陽性 (Phototropism)，位於黑暗中之植物，其枝梢之生長趨向陽光；根有向地性 (Geotropism)，植物之根永久向地心生長，此外尚有向電性 (Electropism)，向化性 (Chemotropism)，向水性 (Hydrotropism) 等，凡此各種名稱，皆表示植物之某項運動。如茅膏菜，其葉面之腺毛可以捕捉小蟲；狸藻亦爲著名之食蟲植物；瓶子草 (Sarracenia) 葉面形成瓶子，內貯水，口緣分泌蜜汁，小蟲飛來即滑入瓶中溺死，身體養分即被吸收；又如豬籠草 (Nepenthes) 我國海南島即產之，葉端生瓶狀物，內貯水，且分泌滑潤液，蟲來亦被滑入溺死，消化之後作爲養料。此皆表示植物之運動者。至於下等植物之運動現象更爲普遍，不能盡舉。

第六點 生殖 (Reproduction)

生物界中生命之延續，全賴生殖，但生殖方法各有不同，有靠種子生殖者，如穀、稻、老玉米等；有靠植物身體之一部而繁殖者，如柳樹、葡萄、羅漢松、檜等，取一段枝條埋入土中即產生新植物；亦有靠孢子而生殖者，如四川之白木耳，雲南之鷄宗，北平之口蘑，江蘇之香菇等；亦有靠接木方法而繁殖者，如著名之水果梨桃蘋果等。生殖方法雖有種種之不同，然約言之，不外有性生殖及無性生殖二種，所謂有性生殖，乃生殖器官有雌雄之別，如高等植物之雌蕊與雄蕊，裸子植物之大蕊與小蕊，某些藻類之雌器 (Oogonium) 與雄器 (Antheridium)，經過受精作用，然後產生新植物；無性生殖者，個體無雌雄之分，不經受精作用，即由身體之一部發育成一新植物；但有的植物，有時行有性生殖，有時行無性生殖，如蕨類植物，此過程謂之世代交替。

第四節 植物生態學 (Plant Ecology)

以自然環境為基底，如溫度之寒暖，雨量之多寡，風速之大小，土壤之性質，或為沙漠，或為鹹地，或為肥沃之原野，或為崇峻之高山，或處熱帶，或處寒帶，或在水之表面，或在水之深底，或在溫泉，或在淡水，或在鹹海，或為寄生，或為腐生，在各種不同之環境中，即形成各種之植物社會，然何故如此？何果究由何因？何因究生何果？植物生態學（又名植物環象

學)即能解答此不同之問題。如蒙古沙漠之乾燥，白晝之熱，夜間之冷，西北風之奇寒，其風速之大，攜沙之多，在在使吾人不敢相信，此種地帶尙能有植物生存！若吾人一讀植物生態學，方知有些種類之灌木，專喜生於此地帶，如霸王、泡泡刺、老虎爪、稷稷樹，蒙古桃、拐棗等，不畏奇寒酷暑，不怕天乾無雨，風沙亦不能對之爲害，此等灌木之枝幹，高雖不滿三尺，然其根之長有達三十公尺以上者；鹹地有蘆蓬岡羊柄菜 (*Salsola*) *Salicornia* 等；水邊，自然能生長蘆葦、蒲草；不同之環境，即有不同之植物；且有些植物可視作環境之指針，如自然界若有棕櫚科之植物存在，即可培植香蕉橘柑；如池中生有水鼈 (*Hydrocharis asiatica*)，即可栽荷花，以收蓮子及藕根之利。

第五節 植物地理學 (Phytogeography)

以自然環境爲基底，研究植物之垂直分佈及水平分佈，同時研究地球緯度之高低，熱溫寒冬帶之氣候雨量，與植物羣落及組合所發生之關係。對於植物生長之因素，最主要者有六，即水分、溫度、日光、空氣(包風速)、土壤、高度，例如水分之多寡及性質可形成各種不同之植物社會，如乾燥植物 (*Xerophyta*)，皮生植物 (*Epiphyta*)，如熱帶樹皮上之蘭科植物)，寄生植物 (*Parasiten*)，如兔絲子、檲寄生)，鹽地植物 (*Halophyta*)，如鹹蓬)，高山池沼植物 (*Hochmoorpflanzen*)，高山植物 (*Hochgebirgspflanzen*)，如龍胆)，水生植物 (*Hygrophyta*)

如浮萍、眼子菜、鷄頭米、菱角、蓮花)，喜熱植物 (Tropophyta, 如仙人掌、龍舌蘭之類)。若以水平分佈言之，世界植物可別爲熱帶、溫帶、極帶 (Polarzonen, 指南北極言)，高山帶 (Die Höhen) 及水生植物 (鹹水、淡水、溫泉、海水、冰中、雪中之植物皆在內) 五類，各帶皆有其特殊之植物存在；若以垂直之分佈言之，海拔較低時則氣候溫暖，反之則寒冷，在熱帶之高山地吾人可以看出。平地生長者爲棕櫚科植物芭蕉等，再上爲木本蕨類植物、榕樹，再上爲常綠喬木，如茶科、樟科、豆科之常綠喬木；再上爲常綠闊葉樹，再上爲冬天落葉之喬木類，再上爲松、爲雲杉、爲冷杉、爲落葉松，落葉松層之上爲灌木層，再上爲高山草原，下等植物如地衣，最上乃裸露之岩石及雪線。不過此種垂直之分佈層次，不易在同一之高山見到。如將我國海南島之五指山，雲南之麗江雪山，四川之大涼山，陝西之太白山，新疆之天山，東三省之長白山，青海之馬沁雪山，登臨一看，即可將此垂直之分佈連成一片。

第六節 古植物學 (Palaeobotany)

以地層年代之久暫分爲太古代、元古代、古生代、中生代、新生代、新生代六代，各代之中又分爲若干紀，各紀皆有其特殊之標準化石 (Index Fossil)，研究古植物者，即專研究各代所有之植物，根據其特殊形狀，推知其當年之情狀，此已爲地質學之一部分，茲略之。

以上所述皆屬於純粹理論植物學，然植物在應用方面已廣至無窮，例如使大地美化則有造

園學，增加人類食物衣料者則有農藝學，使人類身體健康者則有生藥學，專研究水果蔬菜者則有園藝學，以增加木材產量爲目的者則有森林學，使原產之原料變質製成日常之需要物品者，則有林產製造，森林化學，農業化學等，不一而足，難以盡舉。

第七節 國人對於植物學之貢獻

陸羽之茶經出版在第七世紀，其餘如韓彥直之橘錄（一一七八），徐光啓之農政全書（一六四〇），李時珍之本草綱目（一五九〇），劉若金之本草述（一六九九），鮑山之野榮博錄（十五世紀），蔡襄之荔枝譜（一〇五九），王象晉之羣芳譜（一六三〇），王磐之野榮譜（一五二四），吳其濬之植物名實圖考（一八四八），皆爲世界植物學家公認爲有價值之著作，其中不少新發現，如年輪受精等，可惜後人未分析整理，未繼續研究，致使古時有名學者湮沒無聞。

近二三十年來，中國植物學者以科學方法研究中國植物，成績卓著者，亦頗不乏人，在學術貢獻上亦不次於其他學科，西文刊物已有十餘種之多，如中山大學農林植物研究所 Sunyarsenia，中央研究院特刊 Sinensia，北平研究院植物研究所叢刊及中國北部植物圖誌，嶺南大學之嶺南學報，協和醫學院之生理雜誌，中國科學社論文集，研究叢刊，中國植物學會西文報告等，每種之中皆有若干之論文，若細分之，植物分類學之成績最多，如劉慎諤、林鎔之於華

北植物，汪發纘之於蘭科，蔣英之於蘿藦科，劉厚之於樟科，方文培之於槭樹科，裴鑑之於馬鞭草科，董爽秋之於金縷梅科，吳印禪之於廣西植物，陳煥鏞之於廣東植物，孔憲武之於豆科，耿以禮之於禾本科，孫雄才之於唇形科，鄧叔萃之於真菌，饒致祥李良慶之於藻類，關玫玉之於銹菌，陳邦傑之於苔蘚，秦仁昌之於蕨類等，此外如張景越之於植物形態，湯佩松之於植物生理，于志忱之於植物細胞，王啓無之於雲南植物地理，劉慎諤之於西北植物地理，皆已博得植物界同仁之稱讚。然而中國植物學之研究，在近二三十年來，脫離故步自封之圈套，走入自然界作實際之觀察與研究，使吾人不能忘懷者，實由於鍾觀光先生之領導，鍾先生在去年三十年前爲植物採集，卽半肩行李，一雙草鞋，跑遍中國若干省，歷盡艱苦，所獲極豐。鍾氏晚年服務北平研究院，平津淪陷，隻身逃出，卒以年高體弱，憂勞成疾，於民國二十九年歿於寧波故里。植物學界一大巨星，從此沈沒。

植物學研究之在中國，如雨後春筍，在質在量，皆較十年前大有進步，筆者在此實舉一漏萬，幸祈讀者見諒。

第一章 動物 (Zoology)

水陸空各界所有具生命之物體，不歸植物，則歸動物，二者之中，必居其一，前章已敘明，下等生物根本無動植物之分別，其所以別爲動物與植物者殆爲研究之方便耳。

動物亦可以分爲若干部門，茲分述之於次：

第八節 分類學 (Taxonomy)

由海水之底至高山之巔，陸面、湖中、鹹水、淡水、空氣中、土壤中，到處皆有動物存在。動物之大者如鯨魚、如海象、如非洲之雄獅、如熱帶海中之沙魚，小者雖一勺之水中，亦可容數萬之微生物。動物分類，亦如植物分類，由單細胞之動物起，以至於高等動物人類。將世界所有之動物，飛者、跑者、浮游者、潛泳者、移行迅速與靜止不動者皆在內，爲數約百萬種以上。由大至小分成若干門、類、綱、目、科、屬、種，其分法亦如植物學，亦有若干學者不同之分法，茲從略，現只將一般公認而最普遍之分類介紹於次：

整個動物界可別爲兩大部門，其一爲單細胞動物，其二爲多細胞動物。

單細胞動物或名曰原生動物 (Protozoa)，阿米巴卽其最好之代表，全體爲一個細胞，由黏

液狀之原形質所形成，外有一層外體質 (Ektoplasma)，中爲內體質 (Endoplasma)，爲無色透明液體，含有若干小形之核；製造營養顆粒、脂肪、油類；外體質呈不規則之指狀伸出或縮進，是謂假足 (Pseudopoda)，移動位置時，此假足部分先行伸出，找到附着點，俟行固定之後，再將全部身體向前移動；內體質內含有細胞核及伸縮空泡 (Vacuum) 行新陳代謝作用，吸收新鮮養料，排洩腐敗無用之渣滓；遇有具營養之物質小粒時，假足即伸長圍包，將其裹入身體內，實行消化，其不能消化之部分，待身體再向前移動時，即被棄於體外，故此物雖小，亦顯然具有消化作用，如用機械、電力、化學藥液、甚至於光線溫度等對之施行刺激，尙可見到適宜之反應，若有感覺然。阿米巴行無性生殖直接分裂，分裂時細胞核先分爲二個，原形質 (Protoplasma) 亦隨之分作二部。其形成個體數目之多寡，視細胞核之分裂數目而定，其核裂成兩個者則形成兩新阿米巴，裂爲三個者，則形成三個阿米巴。原生動物中除阿米巴外，尙有若干他種單細胞動物，多營寄生生活，茲不贅。

多細胞動物 (Metazoa)，凡不歸於原生動物者皆爲多細胞動物，例如腔腸動物門之珊瑚，棘皮動物門之海參，軟體動物門之章魚、烏賊，節肢動物門之蝦蟹、昆蟲、蜘蛛，脊索動物門之鳥、魚、虎、豹等。每門之內又分爲若干綱，綱之下分若干目，目下再分科、屬、種等，例如昆蟲綱內即包含幾十萬種，蝶、蛾兩類皆以萬計；脊索動物 (Vertebrata) 中又有圓口類 (Cyclostomata)，魚類 (Pisces)，兩棲類 (Amphibia)，如青蛙；爬蟲類，如鱷魚、穿山甲；

鳥類 (Aves)，如鸚鵡、孔雀；哺乳類 (Mammalia)，如豬、犬、牛、羊；哺乳類中又分若干類，最高等者為靈掌類，其中以人猿、人類為最進化，現在地球上生存之人類，其種名皆為 *Homo sapiens L.*，凡歐洲之白種，南非洲之黑種，亞洲之蒙古種，北非洲之舍種 (*Hannitische Rasse*)，在動物分類學上皆為人類，但細微之區別尚多，如蒙古種在東亞最主要者為中國人及日本人，然中國人又有漢、滿、蒙、回、藏之不同，甚至於貴州有苗人，廣西有僛人，雲南有夷人，四川大涼山有僛僛；只新疆一省，雖人口只有四百萬，但有維吾爾、漢、回、蒙、哈薩克、柯爾克思、滿、錫伯、索倫、塔塔爾、烏孜別克、塔蘭其、塔吉克、歸化等十四族，各族皆有其特殊之語言與習慣；歐洲面積雖小於中國，然亦有二十餘種不同之語言文字，然此種種皆屬人類。歐洲有海代爾人 (*Homo Heidelbergensis*) 化石，亞洲東南隅有爪哇人 (*Homo Javanensis*) 化石，距今二十年前北平附近周口店又發現北京人 (*Siananthropus Pekinensis*) 化石，此種化石與現代人有者同屬而異種，有者為更古老與人猿相近之屬，如北京人；總之，動物學之範圍，至廣至大，各類各屬，甚至於各種皆有專書討論研究，絕非此短文之所能盡。

第九節 形態學 (Morphology)

形態學乃專研究各種動物形態之學，由外部之形狀至內部之構造，由大至小，由顯至微，皆在其追求之列。廣義言之，自第十節之解剖學起，至第十三節之胚胎學止，皆屬其討論範

圍，故形態學之外圍至廣，內包至微，今略論之於左：

第十節 解剖學 (Anatomy)

解剖學乃專門研究動物身體內部構造之科學，在醫學方面最佔重要位置，若一醫生對於人之身體內部情形不明瞭，認肝作腎，在施行手術時，則病人所得到之危險，不難想像。

解剖學之主要部門爲：

骨學 (Osteology) 細述人體內各部骨骼種類，外部形狀，內部構造，先由軀幹骨敍起，如胸骨、脊柱、胸廓之肋骨、胸骨、頭蓋骨、顱骨、顎骨等，次及四肢骨，如肩胛骨、上膊骨、尺骨、橈骨、手骨、下肢骨、坐骨、骨盤、大腿骨等。每一部分之骨有若干片，每一片骨形狀如何？進一步研究骨之細胞特徵，骨內血管之分佈，骨髓之狀態，淋巴腺淋巴管，以及神經系統在骨內之連絡等等，皆在骨學研究範圍之內。

韌帶學 (Syndesmology) 乃專研究骨骼與骨骼間肌肉連絡之關係（我國之接骨匠，對此部門似有研究獨到之處，可惜無人筆之於書）。

筋學 (Myology) 研究各部肌肉之形狀、組織、連絡、作用等。

內臟學 (Splanchnology) 研究胃、腸、心、肝、脾、肺、腎、橫膈膜等之位置、形狀、構造、作用等。

脈管學 (Angiology) 研究血液之循環，淋巴腺，紅白血球，體內之各種內分泌腺。神經學 (Neurology) 專研究腦之形狀，大小，腦紋分佈深淺，內含顆粒之多寡顏色，化學成分等對於聰明有何影響。

比較解剖學 (Comparative Anatomy) 研究各種動物內部構造，比較其異同，推出其進化之程度。此外尚有各種動物之解剖學，專研究某部內部之構造者有局部解剖學 (Topographical Anatomy)，專研究世界各民族身體之構造者有人類解剖學 (Anthropological Anatomy) 等。

第十一節 組織學 (Histology)

組織學有名顯微解剖學 (Microanatomy) 者，將動物之身體，分爲若干部，每部再細分之，製成切片，用特殊之染色法，經過許多手續，使不同之組織，呈現出不同之顏色。有經驗之組織學家 (Histologist)，與以一滴血，或微許之筋肉，卽能判斷出此血液爲何種動物之血，或何種動物之筋肉。醫學家根據此種學問，診斷病理，法律家以之判別親屬關係，或是否人血等問題。組織學可分四主要部分，第一爲上皮組織，內包毛髮之生長形狀，汗腺之位置作用，顎舌上之各種腺，氣管壁上之顫毛，人體內副睪管壁上之毳毛等；第二爲支柱組織，如腱，網狀組織（如眼膜、胃壁），纖維組織（如肉），彈力組織（如筋），脂肪組織（如油），色素組織（如各種染色體），以至於軟骨、骨、血液、淋巴、乳糜 (Chylus) 等，第三爲筋組織，

如眼球中之平滑筋，體腔內之橫紋筋，心臟筋等；第四乃神經組織，此種組織之細胞，形狀最爲特別，一個細胞之長度有達一公尺以上者，分枝又不一致，故有一極、二極、多極等之名稱。

第十二節 細胞學 (Cytology)

細胞學較組織學研究之對象更爲細微，任何動物，無論高等下等，其身體之基本單位，皆爲細胞。細胞之形狀頗複雜，球形、橢圓形、圓柱形、圓錐形、多面體形、三角形、星形、骰子形、索形、兩凹皿形、扁板形，蓋皆有之；大小亦不一致，淋巴球最小，神經細胞最大，常在一公尺以上。

至於細胞之構造，其主要部分爲原形質 (Protoplasma)，爲半液狀質，無色透明，有粘性，具彈力及收縮性，其化學成分含有蛋白質，脂肪類，脂肪體，炭水化物，色素 (Pigment)，分泌顆粒 (Sekretgranula)，類結晶體 (Kristaloid) 等，其次爲核，一般論之，核多位於細胞之中央，通常一細胞內只有一核，然肝細胞，神經細胞則常具二核，人體內尚有多核之巨大細胞 (Polykaryozyten)。核之形狀有腎形、蹄鐵形、輪狀、分葉狀、灣曲、桿狀、紡錘形等之不同。若細究之，細胞核尚有核膜 (Kernmembran)，核溝 (Kerngerüst)，核液 (Kernsaft, Karyoplasma)，核仁 (Kernkörperchen, nucleolus) 之分。細胞之外圍周壁即細胞膜。

構成動物體之基本組織與植物大致相同，乃以鐵為主，紅白血球內多含有之，此正如葉綠素內之不能離開鎂；外此動物身體之化學物質或原素為水、蛋白質、糖類、硫、磷、鈉、氮、鎂、鈣、鐵、碘，在植物則為炭、氧、氫、氮、硫、磷、鉀、鈣、鎂、鐵等，生物之所以為生物，根本無動植物之分者，其理或在此乎？

細胞分裂有直接分裂與間接分裂之不同，所謂直接分裂，即一個細胞分成二個，二生四，分生不已，而間接分裂內部變化則較複雜，在馬蛔蟲之細胞中即可看出，可分四時期，第一為前期 (Prophase)，中心小體 (即核仁) 移近核膜，核膜漸次不明瞭，終而消失，染色質呈星狀，有星狀體二枚位於一邊，絲狀體一團另位於一邊，第二為中期 (Metaphase)，星狀體移向兩極，而絲狀體構成赤道，第三為後期 (Anaphase)，赤道再分開，移向兩極，第四為終期 (Telophase)，細胞外部輪廓顯出兩個細胞，裂而為二，分裂終止。

在生殖細胞內之染色體數目 (Chromosomenzahl) 與動物之種類頗有關係，現舉例如下：

動物種類	類生殖細胞內染色體數目
人類	四七——四八
猴 (Cebus)	五四
馬	六〇

家兔	四四—四五
猴 (Macacus)	四八
犬	七八
貓	三五—三六
豬	三八—四〇
牛	六〇

染色體數目之多寡與形成胎兒之雌雄性有關，在人類四七者成男胎，四八者成女胎。

男女胎形成之決定因素，以筆者個人之觀察，與食物營養，男女之身體壯弱最有關係，胎兒性別之決定，常視父母之壯弱及受精時之心情而定，身體強壯之一方感到濃厚之趣味時，則產生與其同性別之胎兒。吾國鄉間貧家常男兒成羣（女子營養較壞），富商大賈高官名流往往易生女孩（女子營養較好），雖無統計，確係事實。

第十三節 胚胎學 (Embryology)

專研究動物之發育經過，先由男子之精蟲述起，吾人在顯微鏡下，即可見到。精蟲形狀頗似蝌蚪，大頭，短頸，長尾，游動靈活。女子之卵乃圓形，似足球，在受精時，一枚精蟲闖進

卵子之外壁，在卵之一側形成一個小團狀物，繼則入卵之中央，有星狀物出現上下分開成爲八個灣曲之小體，成對排成一行，如地球之赤道，俟赤道消失後，受精作用即完成。

卵受精後，逐漸發育，變成胎兒，最初頗小，逐月變大，兩月胎兒，尙無人形，三月始有手足，且具眼鼻之型。胚胎學家經多年之研究，已有頗好之結論。在此列一表說明胎兒之長度與月份之關係。

月	份 (在月終觀察)	長	度 (以公分計)	月	份 (在月終觀察)	長	度 (以公分計)
一		〇・二五	六	二一・〇			
二		二・五	七	二四・五			
三		六・八	八	二八・四			
四		一二・一	九	三一・六			
五		一六・七	十	三三・六			

以上之數目字，係根據 H. K. Korning 所著之胚胎學（一九二五）頁一一三。

至於男胎女胎之決定，雙生之形成，在胚胎學中亦皆有詳細記載。在最初男女胎兒完全一樣，如女胎在三十二公厘長時之陰核 (Clans clitoridis) 與男胎在十一公分時之龜頭 (Glans penis)，形狀根本無差異之點，當時均有顯然之莖部存在。更有畸形胎兒，如同一軀幹具兩腿

兩頭者，有四足四手肚皮連接者，有兩頭相連而身體四肢分離者，有身體之下部相連合而缺腿脚者，有雙胎相向臉對臉生於一塊者，有雙胎背生脊背部相接合者，在胚胎學上均有實例，照像彩圖，使吾人讀之頗感興趣。

胚胎學乃研究動物發育經過之科學，若再進一步，尚有各種動物之胚胎學，如昆蟲胚胎學、蠶體胚胎學、馬類胚胎學等，茲不再贅。

第十四節 生理學 (Physiology)

動物之所以能生活者實有其能生活之理由在，如營養、消化、排洩、呼吸、循環、神經感觸（如感覺、視覺、聽覺、味覺、嗅覺）、生殖等。因構成動物體質之物質不同，動物之生活環境不同，其與生活有關之各項條件亦大異。吾人落入水中必將溺死，魚類在水內則優游自在，轉動如意；非洲之駝鳥，池中之鵝鴨，有翅不能飛，印度洋之飛魚，房椽下之蝙蝠，雖無翅亦能翱翔；青蛙可以在水中潛行，亦可以在陸地蹦跳；有者動物爬行於水面，有者動物則終生不離大海之底；有者一生之中必經數次變態，有者脫離母體後至死不再變形，怪狀奇形，各有其生活情況，生存之理自然亦有所不同。

生理學尚有若干分枝，如各種動物之生理學，比較生理學 (Comparative Physiology)，前者研究某種動物之生理，後者則專研究各種動物生活相同相異之理。本節所述，則專重人體

生理。

人體不能離開維生素甲、乙、丙，但何種食物含有之？生理學則告知吾人所以不能離開之理由。如白菜、蕃茄、胡蘿蔔三者皆含有之；稻米只有維生素乙，老玉米除乙之外尚有甲；扁豆、馬鈴薯、煮熟之橘汁等只含有維生素丙，而甲乙不存在；三種維生素若只缺一種時，則身體將發生某種應得之疾病；人之日常食品，須能供給日常之消耗，否則逐漸消瘦。食物中之主要營養除維生素外，尚有炭水化合物（指糖類澱粉言），脂肪及蛋白質，因三者皆產生熱量，以供消耗。平常人一日需要之卡路里（熱量單位）約為二四〇〇至三五〇〇，故食物最合理之分配應按照左表：

食物種類	類重	量	每克可產之熱量	合計	之	然	量
炭水化合物	四〇〇—五五〇	四	一六〇〇—二二〇〇				
脂肪	六〇—一〇〇	九	五四〇—九〇〇				
蛋白質	六〇—八〇	四	二四〇—三二〇				
合計			二三八〇—三四二〇				

與二四〇〇至三五〇〇之數頗為近似。蛋白質在人之身體內只能產生熱量，每人一日吃鷄

蛋三枚已足，若再多吃則雞蛋之成分被排洩於體外，而對於身體絲毫無補益。

食物內之營養質如何由口至胃，如何經十二指腸、小大腸而達通直腸之肛門，在胃中如何消化以及如何被吸收，在生理學中皆言之極詳。

動物呼吸，為慢性之燃燒，吸收空氣中之氧氣，呼出炭酸氣，吸氣達肺部，在肺管枝之最後末端與身體內部之血液接觸，血即吸收其氧，放出 O_2 。血吸氧之後則色赤紅，成為新鮮血，經過大動脈之輸送運往身體各部。靜脈中腐敗之血為黑褐色，由大靜脈逐漸輸送至肺內。血液由心耳經大動脈至微血管之末端（位肺膜上），再流轉經靜脈歸來，此種血液周流現象謂之循環，血液循環與肺之呼吸連成一片，運動規則，晝夜不停。中西醫診視病人，首先看脈之跳動次數，脈數即心臟之跳動數，每分鐘約八十左右，太多或太少及跳動不規則，皆為病徵。中醫脈訣中所謂「鷄啄」，「屋漏」，皆為絕脈，患者必死。肺膜面積特大，約為三分之二畝，故每天每人需要新鮮空氣之量約為三十二立方公尺，空氣之供給不足此數時，則人感到頭昏，空氣太少時，即被悶死，在戰時修防空洞，須注意此點。

神經系統最為特別，以大腦為中樞神經，經過小腦、脊髓、分佈在身體各部，外及上皮組織之表層，內通骨髓之細胞。目之能分七色，耳之能聽八音，鼻之能嗅，舌之能辨五味，皮膚之具有冷熱感覺，皆靠神經末梢之傳遞，報告大腦。神經構造之特別，為人體內最長而分枝最多之細胞，已如在解剖學節內所述，故報導之迅速，如閃如電。

身體內部時刻皆行新陳代謝，無用之廢物即被排出於體外，如皮膚之出汗，鼻之流鼻涕，耳內分泌耳髓，口中吐痰，眼生眼糊，以至於大便小便等，此現象謂之排洩。

人體如機器，各部配合，皆有其專司職務，任何部分發生障礙，整個機器即受其影響，是謂疾病。人體如此，動物亦然，但動物與機器究竟不同，即動物有繁殖（或曰生殖）作用以繼續其生命。男女交媾，每次所出之精液皆含有數萬精蟲，其中有少數健壯活潑者即爬入子宮，經輸卵管（管細僅容一髮，且灣曲甚多）至卵巢，與成熟之卵子實行受精，受精之卵再降至于宮，發育生長，變為胎兒（以後請看胚胎學）。

其他動物之生理與人類相似，然決不相同。天地間個別動物，其生理現象除同種外，各有其生活方式，不能枚舉。

第十五節 動物地理學 (Zoogeography)

以地理上各種不同之環境為基石，專研究各種之動物羣落，如非洲有雄獅，澳洲有袋鼠，北極產白熊，西康出熊貓，青海產鹿茸，日本海多海參，印度洋出飛魚，雲南鎮越臨江一帶山中有野生之象，峨眉山九老洞猴子成羣，蒙古沙漠內及北非薩哈拉沙漠中有長頸駱駝，潮州之鱷魚，印度之青蛇，西藏之大犬等，皆為盡人皆知之事實。然此種動物之所以存在，乃動物地理之任務。

第十六節 遺傳學 (Genetics)

種瓜得瓜，種豆得豆，父魯母愚，所生兒童，決不能聰敏過人，父母之一方曾害肺病或梅毒以致病身亡者，其子女亦有再罹是種疾病之可能。孔子曰：『惟上智與下愚不移』，凡此皆有遺傳道理存乎其間。遺傳之事實，已爲人所洞悉，至於遺傳道理，似尙少有人注意。

遺傳學中最主要之貢獻爲遺傳定律之發明，在一七六一年時寇羅德 (J. G. Köllreuter) 氏即找到遺傳之法則，但所作研究與報告尙不爲人所重視，直至百餘年後，一八六五年，意大利和尚曼德爾 (Gregor Mendel) 始試驗大告成功，乃引起各國自然科學家之注意，轟動一時，如遺傳學者德福里 (De Vries)，寇倫斯 (Correns)，施馬克 (Tschernak) 等在同年 (一九〇〇) 發表專著，證明曼德爾之定律乃天經地義，無論用之於動物或植物皆千真萬確，毫無錯誤。吾人若作試驗，結果與曼德爾之定律不合時，乃手術未精，取種不純所致，宜再反覆重試，定能得到良好之結果，決不可將遺傳定律一筆抹殺兩脚踢翻也。

然則何謂遺傳定律？遺傳定律有三，今分述於次：

第一定律 實驗材料如用紅色之茉莉花 (*Mirabilis jalapa rosea*) 及白色之茉莉花 (*Mirabilis jalapa alba*) 二者交配，將收得之種子，按時播種，使之產生新植物，其花色不紅不白，界乎二者之間爲品紅色 (*Mirabilis jalapa rosa*)，是父母之性格，已各具一半。此品紅色之茉莉

莉花爲第一代。再以此品紅色茉莉之種子重行播種，其生成第二代之新植物，花色雜亂，有者純白，有者純紅，有者不白不紅而爲品紅。吾人若再將此不同花色之茉莉細心分之，將白色者劃分一塊，紅色者劃分一塊，品紅色者另劃分一塊，則發見白色花之株數佔全體數目百分之二十五，紅色者亦佔全數百分之二十五，獨有品紅花者爲數特多，爲白花或紅花之二倍，佔全體株數百分之五十，其白，品紅，紅之比例數字爲一、二、一。

第二定律 實驗材料寇倫斯用全葉蕁麻 (*Urtica Dodartii*) 及鋸齒蕁麻 (*Urtica Pilulifera*) 二者相交配，以其產生之種子播植新植物，即第一代，所有蕁麻之葉片皆爲鋸齒狀而無全緣者。寇倫斯對此現象有一解釋，謂鋸齒者爲顯性 (*dominierende*)，全緣者爲隱性 (*rezessiv*)；但再以此植物之種子再行播種第二代，鋸齒葉者佔百分之七十五，全緣葉者佔百分之二十五，其比例數字爲三比一。

我國社會常謂『外甥似舅』，『侄女像姑』，『孫兒隨祖父』，困隱性遺傳之現象。故舊式定婚往往詢問對方之上三代與外祖母家之上三代，實含有遺傳之意義，未可厚非也。

第三定律 實驗材料爲曼陀羅花 (昆明人名狗核桃)，其果實外皮有光者，有具長刺者，二者相交之第一代有刺，但至第二代有刺者所佔之比例數爲九，光者爲一，中間形態既無長刺而又不光者居六，其長刺者，中間形態，光者之比例數目字爲九、六、一。

第十七節 優生學 (Eugenics)

優生學乃根據遺傳學上所得之定律，選擇優良品種，使之產生更好之下一代。蘇聯優生學家用小麥與野生之 *Triticum repens* 交配，其第二代之小麥變為多年生，一年種植，可連收獲十五年。因前者為澱粉植物，但為一年生，後者為多年生，然其種子內所含澱粉質欠佳，二者相配，結果極令人滿意。

蘇聯林學家又用日本之落葉松與歐洲之落葉松交配，產生之第二代，較其父母為優良；德國用普魯士之赤松與英國蘇格蘭產之赤松相交配，所產生之第二代，幹直不曲，側枝特少，木材質量皆較其父母優良。

農業家利用遺傳之原理，製造優良品種，如小麥中有澱粉佳，產量多者，但抵抗蟲害菌害之力弱，有抵抗病害性特強者，但澱粉劣，產量少，但二者相交配之後，其第二代常較其父母為優良，既能抵抗蟲病害，且澱粉亦佳。此種試驗工作，農術方面名之為育種學 (Breeding)。此外如木棉、煙草等，皆能用此同樣之方法，育出優良之品種。

荷蘭一隻乳牛每天可出六七十公斤之牛奶，我國乳牛產奶量則極少，如用荷蘭乳牛與江蘇徐州黃牛相配，一代級進種，可產乳七磅，二代十二磅，泌乳期間亦可延長數月。

如美利奴與西藏種山谷羊相配，一代級進種，可得毛四斤餘，二代五斤餘，且毛質之良好

可與完來台兒種相比擬，能紡織較粗之呢絨。凡此種種皆牧畜獸醫家利用優生學而得到之善果。

優生學之主要目的在選擇優良品種，淘汰惡劣敗類，不過此種試驗用之於植物方面為時較短，或在壽命較短之動物，皆不難得到結果。然優生學若施之於人類，則比較困難，因為社會習慣國家法令所不允許。筆者常思我國現在極宜提倡優生學，一個國家之貧弱富強，不在人民數目之多寡，而在人民品質之優良與否。改變品質，第一由於先天之遺傳，其次由於後天之教育。人民數目不思少，患人多而無用。印度人口已足三萬萬七千萬，受少數英人之壓制而不能自由，八千萬人之德國，戰馬鐵路跑遍歐陸，雖強國之師如法蘭西者，亦對之望風而逃。七千萬人之日本，已弄濁太平洋之海水。故地大物博人衆在古今中外之歷史上，從來未構成戰勝之條件。我國幅員雖大，但未經全部開發，地下蘊藏雖富，迄今尚未充分利用，人口數目雖多，而食者衆工作者寡，且工作能力不及西洋人百分之一，甚至於萬分之一，人多又有何用耶？

故優生學之在我國，政府極應提倡，學者名流天賦優秀者可以盡量生產，多留後裔，若瘠癆殘疾，肺結核，梅毒滿身者，宜設法禁止其結婚或取消其生產能力。

第十八節 古動物學 (Palaeozoology)

詳於地質篇中。

以上爲理論動物學，然動物學用之於人類則有各種醫學，用之於家畜則有牧畜獸醫等。

第十九節 國人對於動物學之貢獻

孔子卽主張多識於鳥獸草木之名，可見動物分類學之在我國，發源甚古。我國表示動物之字體含有充分之分類意味，如狼、狴、狗、狃、猩、猴、豬、猿等，皆帶犬字旁；牯、牯、犢、帶牛字旁；鯉、鯨、鯀、鱈皆生活於水中；鳩、鴿、鵝、鵠均能飛；駝、駒、驢、驛皆從馬；蚊、蜂、蝶、蛾則從蟲，此種例子在舊式字典中多至不可勝數。至於書之記載動物者如詩經，其中言鳥者七十有七，言獸者一百三十有三，言蟲者四十一，言魚者三十五，且有時形容盡致，如：『呦呦鹿鳴』，『喈喈黃鳥』；呂氏春秋中有『蟄蟲始振，魚上冰，獺祭魚，候雁北』，表示東風解凍之『孟春之月』；爾雅中有蟲、魚、鳥、獸、畜五類，蟲名百二十有四，種七十五，魚名百十三，種六十二，鳥名六十九，種八十四，獸名百零六，種五十八，總之，名稱之多在一千以上，郭璞在爾雅序中云：『博物不惑，多識於鳥獸草木之名者，莫過於爾雅。』本草中利用動物者亦甚多，不多舉。

然而以近代科學方法研究動物者，國人成績亦頗卓著，如王家楫之於原生動物，胡經甫劉崇樂之於昆蟲，張鑑之於魚類，張鳳瀛之於蠍皮動物，任國榮李象元之於鳥類，汪叔熙歐陽燾

之於人腦，吳定良、裴文中之於人頭學，林可勝、經利彬之於動物生理，皆有獨到之處。筆者孤陋寡聞，滄海遺珠，在所不免，讀者諒之。

第三章 生物進化論

「優勝劣敗，適者生存，物競天擇，自然淘汰」生物無論爲異類爲同類，莫不循此達爾文之進化論學說向前競爭活動。其不能適應四週之環境者則被異類或同類滅亡，如古代孔龍、雲南之祿豐龍 (Luifengosaurus Huenoi Young) 等在當年固一世之雄，只以不能與其後進之動物競爭或環境變遷時不能隨之改變生活方式，結果遂致絕種。此在地史上實例甚多，各有顯然之盛衰時期，動物如此，人類亦然，巴比倫、斯巴達，古之強國也，而今安在哉！

法國生物學家拉馬克氏亦倡進化論學說，與達爾文之主張頗爲類似。非洲之長頸鹿，達爾文謂因其欲食高處之樹葉，勃頸爲應付環境而伸長，拉馬克則云，以其生有長頸，故食高處之樹葉。地球上自古迄今一切生物皆由最簡單之生物進化而來，先由單細胞生物，進化而爲多細胞生物，至哺乳動物之靈掌類達最高點。在古生物學中，可以看出，當太古代（八〇〇〇——八〇〇〇〇萬年前）之化石中只有擬軟體動物及海產藻類存在，而且皆在該代之結晶片岩紀末期；元古代（六〇〇〇——六〇〇〇〇萬年前）始有翼足介，在寒武紀中除上述者外，又見到無目三葉蟲角質腕足類之化石，奧陶紀有腹足類動物，珊瑚、星魚、三葉蟲等，兩棲類爬蟲乃盛於二疊紀；在中生代（一四〇〇〇——一四〇〇〇〇萬年前）始有鳥，近生代爲哺乳動物類，陸

地幾全爲森林（松柏類）所佔據；人猿人類乃發生在地史上之最近時期，而人類之中亦有文明與野蠻之別，但究以何種民族爲最進化？以筆者意見，當推我中華民族。歐美各國在物質建設上似較我爲文明，但其身體之進化程度則遠不及我國人，理由有三：

第一、中國人身上之毛稀而短，歐美人則密而長，近乎人猿。

第二、歐美女子十之八九有狐臭，此與人猿相近，中國女子之有狐臭者百不得一。

第三、生活習慣，歐美人飲食用刀用叉，不及我們用筷的巧妙。

吾人決不能相信色爾斯（Schellshar）根據中國人大腦枕葉上之半月溝，遂謂中國人不進化，近乎人猿。荷蘭神經解剖學家加波斯（Kappers）謂中國人大腦皮質之發育程度與西洋人完全相同，確是公平之論。

中華民族有最悠久歷史，在周口店已找到最古之人類化石。各科學人之出洋留學者，其成績一般論之皆在西洋人之上，現在爲民族生存之抗戰已越六載，勝利之期，即在目前，吾人既具有最進化之身體，今後更宜特別自勉，努力研究學術以造福於世界人類。

三十二年八月十四日北碚。

第五篇 地質學

楊鍾健

第一章 何謂地質學

地質學一名詞，雖爲一般人所習聞之名詞，但究竟何謂地質學，其恰切之答案，百不得一。此蓋因與地質學相關之科學太多，其間從無明確之界限。按地質學一名之西文直譯，僅爲地質二字，誠爲廣泛。然一百餘年來地質學發展之經過，始終保持其應有之領域，與其工作之方法。明乎此，則對地質學，不難有正確之了解。

所謂地質學，爲着重造成地殼之質料，及其構造等，而藉以研究地球歷史之科學。此意或較籠統，有待進一步之申述。

我們所住之地球，爲太陽系行星之一，我們首先所注意者，爲地球之硬殼。雖然包圍地球之大氣、水、及生物，成所謂大氣圈、水圈、及生物圈，但地質學家所最注意者，實爲堅硬而造成地殼之岩石，即所謂岩石圈。地質學家的對象，可以說是岩石。離了岩石而談任何關於地球的來源、歷史、及現在情形，雖然可對真理有所貢獻（但有一大部分是近於虛玄的），但非

地質學的範圍。因此中文譯名地質學的「質」字，特別重要，雖然爲原文所無，但實在可以代表地質學最重要的對象，和工作的方法。

地質學不但研究岩石的性質、構造、並發生情況等，而且進一步去研究地球的歷史。此當爲地質學家最重要之目的，但實爲最困難的問題。若問地質學家用何方法，來研究地球的歷史，不成問題，也要靠岩石。所以研究地質學的重要方法，就是歷史的方法，特別着重時間。從時間的觀點，去剖判一切。一塊岩石，辨其造岩礦物發生之先後，許多岩石，辨別許多岩石發生之先後。捨時間觀念而研究，也非真正的地質學。因爲地球的歷史，有不可思議之長，地球之能達到今天所看到的樣子與一切性質，實經過無數次的變化。現在地球上的一切，不過地史演變的最後一幕，其物理的情形，地理的分布，氣候的變遷，生物的演化等，都和現在大不相同。此等不同的變化，全可反映於各時期所造成的岩石中，因爲由不同的環境，和發生程序，才發生了自有地球皮殼以來，不同的岩石，現在我們反過來說，自然可由現在還有的岩石，來推判過去各時期的各種情形。推判的結果，併爲一起，成功了地球的歷史。此歷史雖不是地球歷史的全部分，而是一大部分，且是最重要的部分。所以地質學最重要的部分，爲地史學。由「史」的一字來看，其着重時間的變化，已躍然紙上了。

譬如在南京附近，有個棲霞山。棲霞山有一種石灰岩，地質學上名之棲霞石灰岩。按照所含化石，定爲古生代的一疊紀下部的產物。其化石有許多珊瑚和其他許多海生的化石。由此

事實，我們可以得到許多重要的結論。首先要注意的，就是此地層爲海相地層，現在南京一帶，雖爲陸地，而在當此石灰岩堆積之時，必爲海洋浸沒之區。其中既有珊瑚，而現在珊瑚在上海附近的海岸，並不生長，而十分靠南。可知當日的氣候情形，也和現在大不相同。又因珊瑚爲淺海而形岸繁殖之動物，可知當日南京附近，雖爲海洋，但必爲淺海，且距大陸不遠。因之經進一步在附近研究之結果，必可推知昔日之海岸分布情形。又從現在知識看，棲霞石灰岩在各省常有其跡，又可知當日之海洋與氣候，與一切情形之與今日不同，不只限於南京附近，若能詳爲研究，此石灰岩分布的情形，和其相同的地層，必可對於當日我國的海陸分布氣候變遷的狀況，有所闡明。又由化石詳細研究的結果，亦可知其時的生物與現在者有何不同。如此推判下去，可以得到地史上當二疊紀下期，棲霞石灰岩堆積時的許多真實情況。

又如四川嘉陵江沿岸有幾個高低不同的台地。各台地上，常殘留有許多礫石。此等礫石，往往十分固結，且絕非四川盆地境內之物，而爲由以北之大巴山秦嶺等山所有之岩石。因此等礫石與現在嘉陵江河灘之石，無大分別，爲由水力搬運之結果，可知造成此等台地的礫石，必在若干萬年以前，由嘉陵江搬運而來，而其來源遠在四川盆地邊緣及其外圍。但此等台地，高出現在河面常由數公尺至數十公尺不等，均非目下大水時所能流經之地，可知當日河床必然甚高。其所以如此，可能由地盤上升，亦可能由河流下切或者兼而有之。而且此等造台地之礫石，其愈高者，保存愈少，最低者，最爲完整。因而可以推知每一台地上堆積造成之後，必當

有一侵蝕時期，使大部分礫石等離去原來地點，或爲更新者之原料，或沖洗以去。假使在此等礫石中尋得冰川所成帶條紋的石塊，可以判定在其來源之區，當時必有冰川現象，而此台地之生成，也可能與山地的冰川有關。又此等礫石，可能距現在河流經行之區甚遠。最古的台地，與現在河床的不同，最低而最新者，卻與現在河床差不多。假使能把各台地及其分布詳細研究出來，則嘉陵江河流過去變遷的歷史及分布，不難了然。能用同一方法，將其他河谷的台地礫石等，一一研究，自然可得到同一結果。此等台地之造成，爲地史上的最後部分，然確也是地史之一部。

以上兩例，足以說明，何以由一部分事實，岩石所顯示的事實，而推判到過去相當時期的許多情形。但這每一例子，無異地史之一小部分。我們若能把我國各地的各種岩石，用同一方法，加以研究，即可知道我國這一塊地方，自有地殼開始有岩石以來的歷史。若世界各處，均能統統加以研究，則整個地球的歷史，也就明白了。我們只須要將在各地各個所觀察者，連爲一起，藉以知道地球全部的歷史。

但還有一點，要特別指出的，就是對於岩石的觀察，不只是注重無生物的部分，而生物的部分，十分重要。有許多過去的植物和動物，死後埋於岩石中成爲化石。此等化石，自然也是岩石，不過由其構造，可以知道當日各生物的種類性質等。此等材料，大部分研究的結果，可以知道地史上生物演化的歷史，所幸岩石的一大部分，都可含有化石，所以材料甚多。

但是事實不是這樣簡單的。事實上岩石的觀察，不是一件容易的事。譬如岩石的認識，需要岩石方面的知識，化石的認識，須要生物方面的知識。而必須訓練有素，觀察準確，其結論始能可靠。譬如上述棲霞石灰岩，其岩石性質與化石內容，均與其相近之岩石不同，然不免有時十分相似，不能準確，必然謬誤，其所得結果，自不可靠。各官地之礫石及高度等亦然。岩石上的性質好比一種特殊文字。地史的記載，用此等特別文字書寫，我們要認識地史，必先了解此特殊文字。此外還有一困難，即此岩石常保存不完，十分殘缺，且有許多事實，可有不同的解說。其殘缺部分的補充，與不同解說的選擇，都不是容易的事。

第二章 地質學的綜合性及其分類

我們既已了解地質學是什麼，便不難知道研究地質學，不是一件容易的事。他研究的對象，既為地球，特別是造成地殼的岩石。但岩石的了解，需要很多的知識。除數學的、物理的、化學的、生物的必要常識，均為需要，可不必贅述外，與岩石最密切的礦物學，可以說是研究地質學者必要科學之一。岩石學，本身當然更為重要。古生物學的基本訓練，亦為必要。能對以上各科學有深切的了解，始可進而對地質學有問津的資格，否則必演成盲人瞎馬，摸索困難的現象。所以地質學集自然科學之大成，為各純粹科學之總匯，實具有高度的綜合性。凡是要研究地質學的人，對此一點，必要深切的認識。

若進一步，求各部門的個別研究，更牽涉到很多的相關科學。譬如我們要了解海洋生成的地質現象，如前述的珊瑚化石，勢須對現在生存的珊瑚島，作一研究。要明白海洋的破壞與建設作用，也須對現在海洋，有整個的了解，因而我們不能不知道海洋學。說到陸上，譬如有許多風成堆積，和河流成的堆積，及其破壞作用，自不能不涉及於氣象學的了解。談到地殼深處，及內部的問題，必須要許多物理上的知識。而一及地球的發生，及其在宇宙中之地位，天文上的知識，也很需要。總之，地質上有許多現象，須察今以推往，大地質學家賴爾，已經言

及。我們知道，對現在現象，能作精確的觀察，對過去事實，才有精確的認識。此無怪乎地質學相關部門，非常之多，有待於廣泛的努力。

那麼要在這許多相關的科學中，舉出最基本的兩種科學，可以說是地質學直接的台柱，則只有兩個，其他不過間接相關而已。這兩個科學，一為岩石學，就是對岩石本身，作有系統的研究所。一為古生物學，則為純粹研究岩石中具有化石之標本，其研究方法，純為生物的，但其貢獻，除生物演化本身外，對於地質，同樣的重要。能有此兩大科學為基幹，地質學的研究，始可迎刃而解。

說到地質學的本身，一般的分法，通常分為兩大部分。一為普通地質學，研究地球現有或曾經發生之各種現象。為方便計，又分為若干部門。研究地球一般性質，別之為地文地質學。研究造成地球現在及過去各現象的，別為動力地質學。動力地質學，又分為兩大類，其分類的根據，由所發生力量的來源來判斷。由地球內部或本身發生的，如火山現象，造山與造陸運動等，謂之曰內在動力。至於由其他一部分力量而發生的，如空氣河流湖泊海洋等，謂之曰外來動力。此二者之界限，有時不十分明瞭。因岩石的演變，根本為環狀的，不過從實用上講，此等分法，確很便利。

與普通地質學相對的，為地史學，或叫地層學。就是由岩石化石等所得來的知識，由老而新，研究地球的歷史。一如研究人類有文字的歷史，也分為許多時期，這可以說是地質學最後

而最重要的一部分，其興趣也非常濃厚。

此外有所謂區域地質學，就是專門研究某一區域之各地質情形，可以說只是整個地質學的資料，為特殊專門區域之研究，不在上述之內。但又有着重野外地質實習者，有野外地質學。特別着重地質上地層之變化與構造者，曰構造地質學，都不過是地質學之一部，僅虛列名目而已。

近年以來，無論在平時或戰時，實用地質學，十分發達，進步甚速，實為一可喜之事。所謂實用地質學者，即由地質研究而施之於實用方面之謂。如由地質之詳細考查，可以發現新礦產。即已知之礦產，亦可由其研究，而加以改進，此為已熟知之事。此外尚有所謂工程地質學、軍事地質學等，亦無非理論之研究，實施於某一部實用之謂。嚴格言之，此一如其他各科學之施於實用方面，在理論上不成為一科學獨立的部門。

從另外一方面言，地質學循序推釋之結果，往往可得到許多新的有系統的一部分研究，一如狹義的地質學之由岩石學與古生物學等研究而來。惟此等研究，獨立性更少，至少在目前如此。如地性學或地球物理學，因工作方法，引用於物理上者甚多，幾乎不能列入地質學之範圍。地球化學，亦如此。又如冰川學、地文學，雖對象多為現代者，然不能脫離其歷史性，及過去之演化，又有與地質雖脫而不能離之勢。近代新的地理學亦然。此外如古氣候學、古地理學等，則幾乎為純粹由地史之研究而擴充之科學。比較與古生物學最密切者，有古生態學，

化石人類學亦然。至於考古學，亦實用地質學之方法，事實上與地質學之關係，亦不能明白劃分。

由上所述，可知地質學本身，既爲許多科學之綜合，而推演之極，又可爲其他科學之先河。一部分且與其他科學，平分春色，免除科學上分類隔閡。故地質學實可謂爲自然科學之樞紐，無怪乎內容豐富，與會濃厚，在近代科學上，放特異之色彩。

然地質學雖內容如此豐富，而一考其實際，仍是以岩石爲其研究之對象。何以由岩石之研究，即可得到許多之新知，則有待於以下各章之較詳的解說。以下各章，將捨去前述的許多專門別類，而只擇其中最要者，作一簡明之敘述。其目的在介紹地質學之全貌，使能了解地質學之真實含義。列舉重要事實，以引起對此學進一步研究之興趣，及對此學深切之了解。

第三章 地球的一般情形及構造

爲要進一步了解地質上各問題之前，需要對地球本身，作概括的認識。惟其形狀密度溫度及地面形狀結構等，則多爲其他相關科學之產物，在此只扼要介紹。而地層構造一部，卻爲純粹地質學範圍內事，故較詳敘述。凡此種種，只可說是研究地質的前奏，而列爲普通地質學之一部。

地球爲太陽系中行星之一，其最初來源，相信由於稀薄的霧狀物的積聚緊密，並因而發生熱力，先成爲熔液狀。但以後因熱力之四射，其表面漸爲固結，而其過去放光之特性，因之消失。其詳盡之解說，已非地質範圍內之事。此球狀之地球，由心至極之距爲六三五七公里，至赤道之距爲六三七八公里。地球外殼的密度，約爲二·五強。表面岩石之平均密度，至多不過爲二·八。地面最多的水，其密度爲一，則地殼固結與流動部分之總平均密度，很難超過二。至於地球整個的密度，由各種方法算，約爲五·五，因此可以推知地球內部必爲比地面較重的物質填充，自然至少比五·五還要多。

上邊所說的上部輕的部分，稱爲岩石圈，厚約一二〇〇公里。其最上部由矽與鉛爲主要成分，較下部爲矽與鎂。前者之比重二·七，而後者可到三·四，由此至地心五千二百公里，則

愈向地心，比重愈大，此即所謂中心圈，外表的一千七百公里厚，最外由鐵砂鎂等爲主，比重爲四，內部者以鎳鐵矽鎂爲主，比重五——六。而自地心三千五百公里之部，則以鎳鐵爲主，比重由六以至十二以上。

地球之溫度，不外來自日光及地球內部。外者只及地表，而內部之熱，概括言之，愈向內部，溫度愈高。大約在一百公里深的地方，其岩石可成爲熔流狀。故在石殼之下，應有一流動帶。但再向內，因壓力甚高，可能又成爲固體。地球中心之溫度，依可靠估計，至多不能過攝氏三〇〇〇度。地球具有磁性，地球磁性之研究，雖爲物理之研究，然其應用於地質方面者亦不少。近來利用其原理以探礦者，尤著功效。

關於地球的年齡，不但爲物理學家與地質學家注意的一個問題，即一般人也很感興趣。不過地球自發生以來迄今，實有無限之長。而這個長的意像，有時不是用我們紀年的方法所可代表出來的。地質學家所謂年代，只是比較之詞。看一套岩石，比另一套岩石，或老或新。至於某一套岩層，究竟堆積時需要多少長，只有最近地質年代冰期時，有人作過較詳的研究。說到整個地球史上各年代，各不同方法，有不同之估計。惟以由岩石中放射性物質之崩離而計算各地質年代，較爲可靠。依此算法，第四紀爲一百萬年，第三紀爲五十五至六十五萬年。中生代約一三五——一八〇百萬年，古生代約三六〇——五四〇百萬年。因在寒武紀之前，尚有生物遺跡，故自有生物迄今之歷史，至少當有一五〇〇百萬年。太古代與元古代共約一二〇〇

——一四〇〇百萬年，故地球的總年齡，或者比有生物以來的年齡，要多一倍以上，那就是說要超過三、〇〇〇百萬年。也有人以為以上的估計，失之太長。但無論如何，地球的年齡，實是不可思議之長，則無可疑。上已說過，地質學家只比較言地層之老幼，並不斤斤於實際年齡之數字。一般人多以為地球年齡如此之估計，及地球年齡甚長之宣傳，為地質家所作的。其實如果真實，到是要歸功於物理學家的。

地球表面諸現象，雖與地質關係甚切，照地理學上，言之已詳，可不加介紹。與地質更切的岩石的重要性質，須略為中述。地球的地殼，為岩石所造成，而此等岩石由許多礦物所成，再進一步，許多礦物由化學原素所成。在約七十多種的原素中，造成地殼者不過二十個最重要的。非礦質的原素，如氧、水、炭、硫、氟、磷，而屬於礦質者為矽、鉛、鐵、鎂、鈣等十餘種。若以百分比來計，幾乎近於一半為氧，而四分之一以上為矽。鉛不及十分之一，其他均比較更少。若以礦物成分計，地殼之造成，在約一千種之礦物，中只有數十餘種為造成地殼之最主要者，如矽化物中之雪冰及石英，矽化物中比較最多，其他如炭化物、硫化物、氯化物、氟化物、磷化物、鐵、煤等，亦均相等重要。此等化合物之分佈，自然因岩石之種類而異，不詳論。

岩石之性質，為岩石學範圍內事。不過其主要性質，可摘述於次：岩石由生成來源，可分為礦物的與生物的。所有岩石，或雜合而成，或為單純的。後者如炭鹽等較少，而大多數岩石，屬於前者。生物岩又可分為動物與植物二者。在一岩石中，其礦物有所謂主要成分，如花崗岩

中之石英，有不主要成分。又一岩石整體之造成，亦分爲主要（如礫岩中之礫石）及不主要者。後者又分爲結核狀分泌狀及邊加狀三種。所謂岩的結構，可分爲結晶狀、玻璃狀、破碎狀三者。第一與第三，各依粗細，尚有區分。岩石的外表構造（空間的），分爲厚大的、頁狀的、及流動的、岩燼的、乳狀的等等。岩石的受風化等現象，可成各種外表枝裂，有者無規則，有者有規則，後者又可分爲板狀、粒狀、球狀等。

關於地質上最重要的爲層序。即某一種岩石對其附近相關岩石所成之狀況，可分爲正規的層序，及不正規的層序兩種。關於前者，每一岩層，代表厚度很薄而分布很廣，成爲板狀之堆積，與上下之層，可以劃分，代表某一定時間之連續沉積，在地質上代表一時期。積無數時期所成（此所成之層，其造成也不盡相同，故可具不同之性質）而成一系。一紀之地層，每層上下，均有其界限。普通是平行的，但亦有向一端或數端逐漸消失的，水成或風成之岩層，常有不同之交紋。地層可向四邊突然停止，或由其他岩石代替，或竟爲風化面。凡岩層露出地面，可供吾人研究之處，名曰露頭。由許多地層間之關係，往往爲研究地史及構造之南針。如層次均爲水平，則無所謂方向。如果有傾斜，則其在空間中有了限制。限制由於走向及傾斜，前者爲地層之切線，對於水平面所成之方向，後者爲該層之傾面（垂直於走向）向天際所成之角度。各地層如爲連續而上，謂之曰整合。如上者與下者之傾斜不同，謂之曰不整合。明似連續而實有一部分缺如者，謂之曰不連續，或假整合。進一步言，岩石在長時期堆積時，如對大陸爲侵

入的，造成侵入岩層。如爲退卻的，可造成退卻之狀。至於不正規的層序，則均爲凝結岩，或地層後天變動所成者，如岩脈、岩基、岩蓋等。

岩石分爲三大類。一爲變質岩，任何岩石，均可成變質岩。如結晶片麻岩、結晶頁岩及葉岩。二爲凝結岩，分深造、脈狀、及噴出岩等種。依其深度與成分之差成許多不同之岩石。譬如花崗岩爲深成而酸性者，玄武岩爲噴出而鹽基者。三爲遺積岩，由其成因，分爲多種。有由動力作用而成者，如水力風力冰力之類。有由化學作用而成者，亦分水成風成二種。有由生物作用而成者，又分植物動物二種。以質體言，一爲粗塊至較細者，如粗礫岩、砂岩、有粗鬆者，有固結者。次爲泥狀岩，三爲石灰岩，四爲砂質岩，五爲石膏與鹽，六爲礫岩，七爲煤，八爲雪與冰。

地層之造成，原來爲平行的。直到現在，如歐洲北部之瑞典南部，及蘇俄之歐洲部分，其古生代岩石，尙多平鋪。我國北部如內外蒙侏羅紀以後岩層亦未受變動。但在許多地區，因以後之地殼運動，改變其原來狀態。依其地殼運動之情形，分爲水平動力，及垂直動力。前者造成地層之抬起，地層之折曲及逆掩，後者造成斷裂及斷層。折曲之地層，成爲背斜層（全地層之傾角向外）及向斜層（地層之傾角向內）。折曲之極，遂有逆掩。此等構造，由簡而繁，可以十分複雜。然一般常受物理性之支配。故一區之地質構造詳細研究之結果，對於了解及實用上，均有無限之神益。

岩石雖分爲三大類，但具有循環性。遷積岩與凝結岩，均可成爲變質岩。而凝結岩與變質岩，均可成爲遷積岩。惟變質岩能否成爲凝結岩，尙有疑問。但由溫度與壓力之增加，實有可能。此等循環現象，成爲在地質史上造成許多變化之主要原因。而上述之地層構造，亦卽爲使岩石變化之主力之一。吾人之所以能在地表，飽讀地史者，此等構造與其他主要現象，實與有力焉。

第四章 地球的活躍性

在上一章的最後，曾提到岩石的若干重要構造，如折曲斷層向斜背斜之類。地層原來是水平的，而以後可成爲不同的樣子，自然非有一種力量使之發生變動不行。而且即就是水平的地層，也不見得同從前堆積時的位置一樣，也可以高升，也可以下降。並且有些岩石，明明是地殼深處生成的，卻跑到地面；明明是地面生成的，卻在很深的地方（有時是層序深淺的意思），可見其使岩石發生變動的力量，不止一種。再進一步言，新的岩石，在地史上不斷發生，並且現在還在發生；同時舊的岩石，不斷被摧毀而去，並且現在也沒有一天停止。由此言之，地球表面上看，似乎是個死東西，沒有什麼變化。事實上好像是活的，沒有一天不在活躍。此等活躍性的一大部分，是由於地球內的活躍力。此等內在的活躍力，在地質上十分重要，也就是地質上所謂內在的動力。

地球的內在活動力，可分爲火山噴發、地震、造山運動、動力變質現象及造陸運動等。其中除最後一項，比較不牽涉其他外，前數者均多少有些相關，不過爲便利計，如此區分罷了。

先說火山現象。在前邊我們曾提到地殼深達一百公里地方，岩石均爲熔流質。此熔流質的東西，若是地殼堅實，無隙可乘，便停留在原處。但一遇有地皮上的弱點，就要乘隙而出。但

乘隙而出，只是一種試驗。有的只達到比較高處，大多數半途而止。有很少數的，申出達於地面。所以熔流岩噴出，不是每次可以成功的，而因其達到的淺深，可以成爲不同的岩石。所以凝結的分類上，有所謂深造岩，如花崗岩斑岩之類。有的可達地表，如流紋岩玄武岩之類。後者稱爲地表噴發，而前者可稱爲深藏噴發。只有在其上的岩石，被切蝕去，始可看到。如熔岩及其附帶物及氣等，噴至地表，卽爲火山現象。此又可分爲面的噴出，其不常有大深藏岩體，爲最老最烈者，現在不可復見。其次爲裂隙噴出，具有大的噴出岩蓋，及分枝，自古生代迄今均有。其三爲管狀噴出，爲最弱者，亦卽現在通常之火山現象。火山現象，在此不能多述。新的火山沿一定地帶，如赤道及太平洋兩岸分布。而死的火山，在各地也常見。我們可由富地岩石性質及火山被侵蝕後所遺的形狀，推測當時火山種種情形。所當注意的噴到地面的岩石，因冷的很快，成爲熔爐狀玻璃狀等。而在深的地方生成者，因冷的較緩，成爲結晶很完全的岩石。此等老的噴發岩石的研究，對於了解一地之歷史及一切情形，十分重要，不可忽視。還有噴發現象發生的結果，可使岩石變質，名曰接觸變質。如石灰岩可以變石大理石。因此接觸變質的結果，亦可產生有用礦產與接觸變質相近的，還有所謂氣蒸變質。由熔岩中之溶液及氣體而發生。

次一個地球的活躍力，爲一般人所習知的，就是地震，爲地殼表面之震動。但其發生地點（震源），則在地殼深處。地震之次數，可以很多，如在我國典籍，卽迭有記載。大的地

震，常可造成很大的災害。關於地震的研究，也爲一特殊學問，觀察也有特殊的設備與儀器。經詳細研究之結果，知地震容易發生之區，爲：(1)主要地震分布之區，沿赤道。(2)以上所述，主要有二帶，一爲太平洋兩岸，一爲地中海。(3)世界大地震之震源，常在海洋之深凹區，或大陸之深陷區域。所最堪注意者，即地震之主要帶與火山活動之主要帶，及新的造山作用區域相同。此事實自然可以立刻想到其與地質關係的密切。即與地質構造有關。凡因地質構造上之原因而發生之地震，名曰構造地震。此外尚有因火山爆發而發生之火山地震。其因地下熔岩而未能達到地表者，名曰侵入地震。此外尚有因地表內部一部空虛而傾陷發生之地震，則比較不重要。若就地震本身言，有所謂主震，以別於以前發生之初震，及以後連帶發生之續震。

造山運動亦主要地質現象之一。我們知道地球表面，高低不平。就大處講，有低的海洋，高的大陸。再進一步言，無論海洋與大陸，亦各有高低。只就大陸言，有高的山岳，低的低地，與湖沼……簡言之，今日吾人所見之複雜地面，實爲外力與內力（即本章所討論者，外力下章討論）交互爲用之結果，外力作用如水、浪、冰、風等，內力則爲造成高升與下降之主力。內力作用，主要又分爲二：一爲直豎的或半徑的，一爲水平的或切線的。前者造成裂隙，或斷裂，造成上升與下降。後者造成折曲與逆掩等。前者造成板狀山，及平台地，而後者造成棘狀山嶺。所者通常稱爲造陸運動，後者爲造山運動。二者之情況及其作用，大不相同。造山

者可使地面縮小，而造陸者可使地面增加。不過增加者常是很少，而縮小者常是很多。一般言之，二種運動，在同一地方，不能發生。造陸者發生於台狀地區，造山者則發生於折曲山地。如二者同在一地發見，必在不同地質時代發生。

地面之凹入地帶，大多數均很老。有者或在初有海洋時即發生，有的卻較新。除由構造上所成者外，只有少數者係由侵蝕及地下冲刷現象而成。構造上所成之凹地，以穴裂及地塹最爲重要。此等現象，初不限於大陸，海洋底亦然。紅海即爲一大地塹所成。說到山岳，種類甚多，有火山山、夷蝕山、及構造山。二者究以後者最爲重要，又分爲塊狀山及折曲山等。折曲山成練狀，所謂山脈，以新時代造成之山嶺爲其代表。此外尚有掩蓋山，爲一部分岩石蓋於老的岩石之上，故無根，其中有老岩露出之部分有如窗。此外即爲最老之折曲山，爲在古生代所造成者。在古生代以前所造成之大山地，謂之曰古山地。全世界計：一爲非洲山地阿拉伯及馬達加斯加歸之，印度之貢達瓦那或可列入，二爲巴西古地，三爲加拿大古地，包括格陵蘭，四爲斯堪的那維亞古地，包括斯匹資伯爾格，歐洲中南部之片麻岩塊地，或可歸入此類，五爲東北西比利亞古地，包括其伸長部分，可到高麗及中國東部。六爲澳大利亞古地，七爲南極古地。至新的造山地帶，則以太平洋沿岸及地中海及其向東之延長地區爲主。與造山作用有密切關連者，尚有大地槽。因在巨山帶之前，或二大陸之間，常爲侵蝕後物質堆集之所，逐漸聚集，地槽亦逐漸下降，及所聚積之物達到深處，溫度加高，體積擴大，因而發生造山作用，而

成爲高山。所以許多海水中所成的岩石，可以成爲山地。因而大地槽不但是沈積的收集者，且爲造山的發生地帶。現在最新的山嶺地帶，亦即爲最新的地槽變爲山嶺之區。由古老的山地，以至最新的山嶺，我們可以知道地球自發生以來，有不斷的收縮作用。此非爲理論，實爲事實。在地面各部，都有折曲的山地。有所大陸均爲未受曲折之台狀地、平原、塊狀地、與曲折山地，交錯而成。所有現在世界上的高山，如喜馬拉雅崑崙等，均在第三紀發生，而達其高度。但地史上的地殼收縮作用，在所有地質時代均曾活動。而此活動迄今並未停止，而且還要繼續，其連續之記明，即爲地震。我們對地震的看法，只爲地殼收縮之結果，亦即與造山作用相連之現象。所以地球自有生以來，即不斷收縮。斷曲裂隙上升下降等現象，也不斷的連續而生。前所述之地層及其繁複構造亦即由此而生。

與造山作用有連帶關係的，還有動力變質。地殼移位，自然需要很大的力量，而此力量自然可使岩石變質，此等變質，於前已述過之接觸變質不同。主要在由於其山嶺之湧起。因此湧起作用，自需要偉大之壓力，爲岩石變質的主要原因。其次即爲因而升高的溫度，及所加的壓力。此均因深度增加而遽進。流質的熔液，自然也與變質有關。有些岩石經變質後，僅爲結構的。但另有一部分，其份子也改變成爲礦體變質。二者相連而生，事實上不能詳爲區分。

最後說到造陸運動。現在海岸常有許多事實，表示海岸不是固定的一條線，有的地方上升，有的地方下降。因而發生海岸前進或後退的現象。此等變動的速度很慢，一百年不過幾

分。但有的很快，七十年之間，可上升六十四公尺，上升的往往有海岸邊的台地，可資例證，而下降的則不易看到，除浸在水中的建築物道路及林木外，有在海內的谷道。有時在一地上升與下降，可交互發生。此等大陸升沉現象，在地質史上不斷發生，如很厚的海成礫石與砂岩只能在近大陸地方造成，因而只能在海底逐漸下降或大陸升高之下才可造成。珊瑚礁之成，由於海面之下降，已早有說明。此外許多堆積由海相陸相地層交互作成，亦爲實例，所謂滄海桑田者是，然亦因此可以說明，何以地史之各時代堆積，有許多殘缺。最偉大的地殼升沉，可以成爲海侵或海退現象。此等現象，並非由造山的地殼運動所成，而爲造陸運動所成。地史上過去之重複的海侵現象，於地史之研究，十分重要。所謂脈動學說，亦主要根據於造陸運動。從大處言，深海羣大陸卽爲造陸運動之結果。大陸無異一大高原，由其週圍之下降，大陸始不斷上升。所以山脈之造成，爲造山運動之結果，而大陸與大洋之造成，則爲造陸運動的上升與下降之結果。

關於地球之所以發生此等造山造陸現象，自然有許多理論，如收縮論，前已言及。此外尚有均勢說等，不詳論。

第五章 地面的雕琢與重建

地球內在的活躍性，具有破壞性和建設性，同時又往往爲外在變化的原因或助力，前章已約爲敘述。現在我們討論外在的各種動力，也是有破壞的，有建設的，而有時也可以爲內在力量加強的原因，如上述大地槽填積的很厚，可以湧爲山岳。外在的力量，要不出空氣，水及生物三者。

空氣爲生物生存之主要條件，且爲永不停止的水的循環作用的媒介，故十分重要。水只能蒸發而成汽體，以存在於空氣中，再凝結而成雨或雪雹等，而重復回到地面。空氣在地質上的作用，有的是化學的，有的是力學的。其化學的作用，主要由於空氣中含有水、碳酸養氣等。前者爲雨水及地下水之源，後者於岩石風化，大有關係。今先述力學的作用。空氣的力學作用，可分爲破壞與建設二者。破壞作用由於風。風愈大，破壞性愈大。岩石由風化所成的粉粒，可由風吹起。沙土在風中轉運的力量，一如泥沙在河流中。不過後者只有上而下，而風則不但向下，還可向上。風力侵蝕最利害的地方，無過於沙漠區域。且均多爲雨量很少，河流流不到海洋的區域。最主要爲由我國蒙古經新疆中亞細亞以到非洲北部的沙漠地帶。其他如北美南美澳洲均有沙漠區域。在此等地方，河流侵蝕力不顯著；而風日光及力學的及化學的腐爛作

用，較爲重要。由風力吹起，由上述作用而生之岩石面上的浮土石屑，謂之曰吹去作用。風力所攜沙土之磨擦與擊打作用，曰磨切作用。二者常共生，其作用不可分。沙漠地區，風力之破壞作用，固至爲偉大，然因日光雨水等使岩石崩碎，亦爲風力破壞之大助力。因先必使石面風化，風使能發揮其威力。風吹之後，可使礫石成特殊之角。殘留岩石，成爲菌狀，或棹狀巨石。沙漠平常分爲四類：細沙漠，礫石沙漠，岩石沙漠及土填沙漠。我國西北均無不有其代表，尤以習知之戈壁，即爲礫石沙漠，分布最廣。

但是風中所挾之沙石，不斷的輾轉刮吹，故沙漠中之鬆細石沙，不在其原來產生地點，而依風之大小，石子之輕重，隨時仍回於地面。一如河流之推動泥沙。粗者先降，細者稍遠，而更細者更遠，成爲沉積。所以風也有建設作用，造成新的地層。在沙漠地區，凡是低凹部分，如深溝谷道窪地等，均爲沙石填充。尤以岩石及山地沙漠爲甚。附近沙漠區域，往往有平原地帶，亦爲風沙所成。一般人知道的沙邱，在乾燥沙漠地方，十分發育，實爲風力所成。我國黃河流域最著名的黃土，據一般學者意見，也是風成的結果。不過此等土質堆積，要成爲相當的厚度，還須要草的生成，才可以使風刮來的土，爲之固結。上述黃土，對我國文化關係甚大，也是全世界最著名的黃土區域。

水對於地質的作用，十分廣泛而重要。但不限於流質和固體的，而汽體的水，也十分重要。固體的如冰，僅有力學作用。而流質的力學的與化學的作用全有，水在地面上化學作用，

爲岩石風化之主要原因。而岩石以內之水也有作用。至於水的力學作用，卻主要爲流動的水如河流等。除沿岸由波浪擊打之力學作用外，河流之力學作用，名之曰侵蝕。但以上所述各點，均不只是破壞的，而也有建設的。

水之作用甚多，可約分述。先說雨水和風化。雨水的作用，依雨量的多少而分其強弱。雨量多者，謂之潮濕區域，自然作用大。雨量少者，曰乾燥區域，自然作用較少。而後者的河流又多通不到海洋。雨量即在一地，也有變化。或由乾變濕，或由濕變乾。不但可使河與冰川進退有影響，即海洋亦然。雨水下降，即可溶解礦質，如鹽、石膏、石灰石等。此外如養化漂白，礦中增加水分或分出水分，以及炭化作用的化合物之分解等。均爲雨水化學作用，可總名之水化作用。由此可使礦質破壞，亦可增加新的礦物。地質上有一重要現象，曰風化，風化作用之主要原因，爲雨水之化學作用，上已述之。其由於力學作用者，亦相當重要。如風、雨水、溫度的變化（霜）和生物等。風與雨可使岩石已風化之部分移去，而使新面暴露，風以乾燥地方爲重要，雨以潮濕地方爲重要。氣候的變化，如嚴寒酷暑可增加岩石的分裂，動物植物，亦甚重要。力學與化學作用全有。無論岩石原來結構如何，風化之最後結果均相同。即成爲土壤及沙。如我國南部之紅土壤北方之黑土及褐土均爲風化之結果。一個地方的地形，常爲風化的主要結果。如山脊高嶺坡度等，凡是堅硬不易摧毀之部分，常凸出於外，而軟鬆的易受風化之部分，常成爲窪的或深入的地方。因而大多數地形，只是由風化而決定的形式。風化

後之碎石，自缺口崩流而出，成爲錐邱，甚至山崩，也多與風化有關。最後說到雨水的力學作用，雖然很小，但在若干地方，卻也可注意。如黃土原區之直豎柱狀結構，主要即爲雨水侵擊之結果。

地下水在地質上也有重要作用。雨水侵入地內，可以很深。在地下有適宜儲水的地層如礫岩，有不透水的地層，如泥灰岩。水由透水地層或沿斷層復露於地面，即爲泉。溫泉爲熱水泉。此泉水，或地下所藏而未露出之水，亦有力學與化學作用。破壞與沉積兼而有之。如石灰岩中之洞穴，即爲地下水所成，而鐘乳石之造成，即爲其沉積。許多礦物礦產，亦由此作用生成。在喀爾斯特地形區，由地下水造成之各種地形，除洞外，如地窖陷井等均甚普通。廣西雲貴等省，最爲習見。

最重要的還是大陸上河流的作用，雨水除約三分之一，侵入地內成爲地下水或又復出成爲泉水外，大量的雨水，以及雪冰等之溶水，除少數蒸發外，均在地面成爲河流，有許多分枝成爲水系。河流之冲刷現象，除本身之水力外，尚挾有泥沙，使地面爲之剖切，造成峽谷。河流之造谷作用，一般名之曰侵蝕。其水流之速度，水量之多少，河谷岩石之性質，均爲侵蝕之主要決定條件。河流常有折曲，而剖切與堆積，常依地勢而定。其所攜之物質有可溶解者，有漂移者如泥，有推衝者如礫石等。此等物質，粗者先爲沉積，細者較遠，在河口或平低地區，沉積爲三角洲。侵蝕作用，凡水系所及之區，無不有之。二水系分界之處，有分水嶺以爲界。但

此分水嶺，依各水系之襲奪力而可變化。河流基於各原因之決定，亦可改道，大凡上游之河谷狹而窄，下切力最大，由此逐漸變為寬闊之谷，至下流則更為寬闊。河谷橫穿堅硬之石層，往往造成峽。河流侵蝕有如人之自少而老，亦分各種時期，使地形分為少、壯、老等，其侵蝕之最後階段，咸所謂準平原。不過因某種原因，亦可返新，為地史上習見之事實。因而有所謂侵蝕週期。侵蝕現象之研究，於近代地史，尤為重要。即在過去，亦復如此。

地面之湖泊，最深者為貝加爾湖，約二千公尺尚不及海洋最深處四分之一。多數湖不一定有出水口，乾燥區域之河流，皆注入無出水口之湖中。湖之成因有由地質構造而成者，有由淤積低地而成者，沿湖岸自亦有波浪之侵刷作用，造成湖邊台地。更重要者尚為其沉積物，力學的、生物的、化學的來源均有。

地質上之另一重要現象為冰川。即由固結冰存於地勢高出某一定高度。此冰向下推移，成為冰川。冰川之剝蝕現象，與河流所成者往往易分。如其河谷為口狀者，而冰川所挾之礫石與泥土，不可分類，即行沉積，成為冰碛，其細泥之沉積者成為冰泥，凡冰碛所由經之礫石，往往有條痕。沿冰川所過岩壁，亦多有磨擦之狀。我國冰川之現存者，在西北各高山均多有。而第四紀之冰川亦間有遺跡可尋。此外在近極地區域之大陸，有完全為冰所覆蓋者，如格林蘭南極洲等。內陸冰地，在地史上亦曾有之。

凡由風化、雨蝕、河流侵蝕、風力吹蝕、及冰力搬運等連合現象，而使岩石表面消失者，

統謂之曰侵蝕作用。而海洋之沖刷作用不與焉。侵蝕現象不但在不同的地區不同，且強度亦異。地上有侵蝕比較顯著的地方，有侵蝕比起堆積來少遜的地方。然無一地方，侵蝕力完全停止。此在各種地方與各種氣候均然。而因大陸面之升高而加其強度。因此而雨量及冷度均為之增加，所以最高的地方，為被侵蝕最烈的地方。此所以所有近代造成的山，均為崇山峻嶺。而地史上之老山，反而為低，其原因即因為新成的山，受侵蝕較短之故。

最後說到海洋的作用，亦可分為破壞與建設。破壞作用，如波浪之沿岸擊刷，使沿岸岩石後移，而造成海洋台地。還有潮汐也有顯著的破壞現象，至於沿岸波浪所成之牆狀高堤，其內尚有時有被堤隔存之海水，則為建設性的。頂重要的還是海洋內部的各種沉積。分為近陸或海岸沉積，與深海沉積，前者為海岸及淺海，其沉積材料，主要來自陸地。如波浪所成之沉積，大陸架上之沉積，及近岸較深處之沉積。深海沉積，約自七百公尺一萬公尺深之海洋，佔地面一半以上，其材料主要由生物造成。惟速度甚慢。又可分為灰質富者，與灰質貧者二種，均為小動物遺殼所成。因此地質上有所謂相，即言堆積造成時之情形，大別言之，如陸相海相等，每種又可依情形而再分，如海相者深海相、淺海相等。

地表上之雕琢與重建作用，除空氣與水外，尚有生物，亦有破壞與建設之別。前者如植物之對於岩石風化，亦不只力學的，再因植物之腐爛而生化學的作用，又如下等植物之菌及細菌，對於腐蝕岩石，效力甚大。動物之介類，有能穿岩石打洞者，海生之蟲，及陸上之鼠蚯蚓

等，均有破壞作用，新的建造，更爲重要，如煤、許多石灰岩、珊瑚礁，均爲生物所生成，故岩石分類上，有生物岩之稱。

第六章 地球的歷史

由上說來，地球內部及外表各種重要現象，無論內部的、外部的都不止是現在如此，在過去無窮的時代，亦均如此。我們如今要利用以上所述的事實，及原理，來研究我們地球的歷史，此謂之曰地史學。為地質學中最重要的一部分。此等地史上之研究，重要要靠成層的遞積岩，故又名曰層序學。此乃研究地質各時代生物活動岩石分布及其結構之科學。幾乎全部的地史根據於遞積岩，因遞積岩不但可依其沉積層次以定先後，且含有化石。鑒定地層老幼之重要方法，一靠堆積狀況，在下者為老，在上者為新。一靠化石，即依生物之各種性質。此所定之年代，只為比較的，而非絕對的。以前尚有人相信用岩石性質亦可定老幼，如石灰紀白堊紀之名，即為此等看法之餘毒，現已知其非。依此二方法而分地史，依岩石言，較大者曰界、曰紀、曰系、曰層。就年代言，曰代、曰世、曰期、曰時，不許混用。今將地史上之主要分紀表列如下：（由新而老）（△主要造山時期。▽主要火山現象。+主要冰川時期）

靈生界（第四紀） 序等 人類與靈長類之時期	界		重要生物特徵
	全新統	更新統	
	時 間 約 計 （以百萬年計）	自 起 初 至 今 之 年 代 （以百萬年計）	
	I	I	

<p>新生界(第四紀) 哺乳動物之時代</p>	<p>中生界 爬行動物之時期</p>	<p>古生界 無脊椎動物與下脊椎動物之時代</p>	<p>原生界(阿爾岡昆) +V</p>	<p>元古界△V</p>	<p>地質史前時界(昆蟲期)</p>
<p>上新統 中新統 始新統</p>	<p>白堊紀△ 三疊紀△</p>	<p>二疊紀+V 石炭紀△ 泥盆紀V 志留紀 奧陶紀△ 寒武紀+</p>			
<p>54</p>	<p>65 85 35</p>	<p>25 85 50 40 30 70</p>	<p>100—110</p>	<p>同上</p>	<p>?</p>
<p>55</p>	<p>120 175 190</p>	<p>215 300 380 390 480 550</p>	<p>1700—2100</p>	<p>同上</p>	<p>?</p>
<p>人與猿之分歧期</p>	<p>高等哺乳動物之始現</p>	<p>爬行動物始現 主要造煤時期 初有昆蟲 初有海生魚 初有兩棲類 初有陸生植物 初有淡水魚 多殼海介之時代 三葉蟲之時代</p>	<p>原始無脊椎動物之時代</p>	<p>原形質之初有及簡單生物</p>	<p>地球最初之生長古大陸及大洋之產生</p>

我們真正以有生物遺跡，而詳細的研究地史之部分，實在很短，自寒武紀算起，不過約爲元古代以來的四分之一，而星體期之長，更無由估計。此地質年代之劃分，經百餘年來許多地質學者之努力，始成今所定之年代。如第三第四紀等名稱之殘留，卽表示以前尚有過第一紀（古生代以前）及第二紀（中生代）。此等表，各國所用亦不盡同。如德國多併奧陶與志留爲一，而美國又分石炭紀爲二。此表所列，折取其中，然大致均可用。惟各時紀各地之發育，情形當然不能盡同。所以區域地質上對於某時代之地層，均有詳細之劃分，另起名稱。大者以地名爲代表，小者以化石或岩石特性爲代表，而命名，今只能自老至今，就各大階段，一爲述其梗概，至於生物之演化，則留待下章敘述。

地球之最初情形，無岩石爲證，事實上已超出地質學範圍之外。概而言之，如前已述者由汽體而變爲發光之星體。故第一時期，當爲星光時期。經長時期以後，外殼凝結，失其放光作用，惟其上尙無水氣，故又有一時期爲無水時期。地上無水，多數地質現象，無由產生，當然無生物之存在。其後始爲海洋時期，因已由有水而生蒸發流沖，集爲海洋，地質現象，應已開始。惟生物似尙未發生。所以我們學地質者，談地史只能從地殼開始凝結講起，總名之曰元古代。

元古代代表自地殼凝結至開始有生物之部分。故在地質上爲地史最古的一段。卽在有海洋以後，可有水成岩，而因溫度過高，當無植物與動物存在之可能。且此時地殼，至不安靜，衝

出岩特多，變質特著。故元古界之岩石以無化石爲其特性之一。故亦稱之爲無生代。惟有人主張當原生界時，生物已甚發達，故元古代之末，當已有生物，究爲未決之問題。元古代之岩石，分布最廣，如加拿大、斯堪的納維亞，我國北部（山東東三省等）非洲澳洲等均多，常厚至數公里。進一步言，即在其他較新的岩層之下，或深的或淺的當均有元古代岩層，造成地殼之主要部分，不過顯不出來罷了。其岩石爲變質之片麻岩變質頁岩等，一部分爲凝結岩，一部分爲遞積岩所成，亦間有火成之侵入岩，如花崗岩閃長岩等，變質之石灰岩亦不少。元古代岩層亦可分若干分系。在我國名之曰泰山雜岩，因泰山爲元古代岩石所成，在東北及山西亦多有元古代岩層之分布。

原生界在元古代以後寒武紀以前，世界各處，均另有一大組岩石。上下均隔以大的不連續代表一大間斷，其岩石大部分仍爲片麻岩等變質岩，但遞積岩大見增多，如石英岩砂岩（泥灰岩泥頁岩甚至有煤）在構造上有不少地方是平的，非復如元古代岩石之變動甚烈，並有化石。雖然變質現象很著，無疑的有許多生物遺跡被毀，但已有少數保存。多爲保存不甚好之化石，如原始生物，蟲類海百合腕足類等甚至還有節足動物。原生代代表的時間，相當之長，岩層也特厚，可分爲許多層，其間也有幾個重要的變動時期。火成岩衝出特多，及大的侵蝕時期，其又一特著現象爲冰期之存在。在我國相當於原生代之岩層名之曰五台系，後期者名之曰南口系，近來習稱爲震旦紀。在宜昌附近之南沱，亦有原生代之冰川遺跡。

無論元古代或原生代地層，因變質現象特著，化石稀少，其研究之方法，岩石學方面最爲重要，在我國關於地層之研究，實尙待努力。

古生代以前的歷史，好像人類歷史的無文字以前的一段。材料殘碎，文物稀少，自古生代後，特別因爲化石漸次豐富，比較上可以詳細研究，古生代和原生代的界限，雖然有少數人主要把震旦紀（原生代上部）也列入古生代之內，但我這裏仍從大多數人的辦法，以寒武紀作爲古生代的開始。其與原生代的關係，是一個很大的不整合。在各國均然。寒武紀地層一般分爲三層，用三種三葉蟲作爲代表。在我國也有饅頭層、張夏層、崑山層炒米店層之分，大多數均爲海相的。其上爲奧陶紀，在歐洲分作五層。在我國以直角石、石灰岩爲之代表，但分布限於北方各省者爲多。而志留紀（在外國分爲三層），則在北方無有，惟秦嶺以南，以頁岩相，甚爲發達。兩個時代的主要化石，是許多筆石，往往可以鑑定很薄層的區分。在世界上奧陶紀末期（達寇尼）及志留紀末期均有大的地殼變動（喀利杜尼），我國亦有其跡。泥盆紀在歐洲北美及我國均有其分布，在我國者，均限於南部及西南，多爲海相。標準化石以石燕、珊瑚爲多，大別分爲上中下三層。另有所謂老紅砂岩相。在蘇格蘭最發育，而波羅的海沿岸各地均有，以產古魚化石最著，爲大陸相。此等古魚，近在我國亦有發現。此時已有較高等的陸生植物，石炭紀地層以產石炭著名，但此只在歐洲爲然。普通分爲上下二段，在美國以上部者另分一紀，亦有陸相海相之分，陸相者多含煤，在我國南北均有其分布。陸相之植物已甚繁盛，海相以有孔蟲

(筵蝸)長身貝等爲主要。石炭紀時地殼亦不平靜，在歐洲有大變動，我國亦然。二疊紀在歐洲分爲二層，下者曰紅底統，上者曰苦灰統，自爲內陸相，但海相之二疊紀，在世界各處，甚爲發達。在我國且多含煤地層，並在奧洲非洲印度等地，有二疊紀冰川之發見。石炭紀地殼變動之餘波，可至二疊紀。

中生代只有三紀，卽三疊紀、侏羅紀及白堊紀。其時間不及古代之長。尚不在其一半，但比起新生代來，卻超出一半以上。中生代地層已不如古生代之多受變動，許多地方比較平鋪，中生代以爬行動物最爲發育爲特徵。而哺乳與鳥之初現及骨魚與顯花植物之發達，亦爲主要。所謂三疊紀因在歐洲中部可分爲三層，卽下(紅砂岩)中(殼介灰岩)上(沙土相之烤亦坡爾)。上部且多有煤層，此爲內海相，但另有大海相可分，以阿爾卑斯發育最完整，可分爲六層，分布甚廣。無論內陸相或海洋相，在我國均有其發育，陸相以北方爲主，海相以南方爲主。蓋自二疊紀甚至石炭紀起，我國之陸相地層，卽大爲增加。三疊紀末，亦有地殼變動，在東亞名之曰東京運動。侏羅紀之區分，在各國雖不同，而依歐洲中部亦可分爲三，卽下中上。在我國固以陸相爲主，多綠紅等色砂岩及土礫石等，下中兩層，且多含煤地層，海相之侏羅紀以菊石之類最發育爲特徵，在我國尙少。侏羅紀末，地殼亦多變動，我國之燕山運動，亦卽於其末期爲顯著之變動，尤以華北及蒙古爲甚。白堊紀原以產白堊而得名，但此只指歐洲而言，其實世界上各種相之發育均有，普通分爲上下二層。上層以白堊著稱，在法國且更分爲七層。白堊

紀下部與侏羅紀，上部之分界，至今在若干地方，尚有爭執。在我國均爲陸相之紅色地層，與侏羅紀之關係，一部分十分明白，如蒙古，然亦有不明白者，如四川。我國侏羅紀白堊紀地層，除上述之煤外，鐵鹽亦多。白堊紀時，地殼亦有變動，並有火成岩之衝出，但已不若以前者之強烈。白堊紀爲有花植物開始繁盛之期，在動物上變化尤大。

新生代亦可謂第三紀。自第三紀後，真正近海深洋堆積極少，但海相堆積，因有幾次海侵深入大陸，尚有跡可尋。大多數則爲陸湖相之沈積，普通分爲古第三紀，又分古新統、始新統、漸新統、及新第三紀分爲中新統及上新統。入第三紀以後，哺乳動物開始大爲發育，海陸分布及氣候情形亦與現代者最爲接近。而一切生物亦然。一般岩石亦比較粗鬆不大固結，有更多之地層少受變動，甚至有一部分，已爲土狀堆積，惟在第三紀初期（始新統）中後期（中新統）及末期，亦不斷有輕微或稍烈之地殼變動。現在諸大山脈，如喜馬拉亞、阿爾卑斯等均爲最近變動使之高升成爲高山，在我國除新疆西部有海相之第三紀初期地層外，其他均爲陸相沈積。分布異常之廣，各省均有，多以紅色地層或紅土著稱，產有鹽石膏燭炭等礦，此外又有許多地層含有豐富之植物動物化石。新生代之海年代，比之最前任何代均甚短，但比之第四紀，則尚有五十餘倍之久。

靈生代或第四紀，爲地史上最短之一紀，不過一百萬年，一般又分爲更新統、與全新統（包括現代），或曰洪積統與沖積統，其生物氣候地理等情形，與現代自更爲接近，惟在第三

紀初期中期，多數世界各地，均有冰川現象。我國境內亦多發現，人類最早之化石發現於更新統地層中，以人類及高等靈長類之發育，爲其特徵。在我國如華北華南之洞穴堆積，亦爲此時之產品，中含化石甚多，其他土狀堆積，如淡紅色土及黃土等分布甚廣。此外礫石及台地之發育與最近地層，如沖積層等，隨處皆有，固不僅我國爲然也。第四紀比較平靜無地殼變動，但海陸之升沉地殼及火山現象，則迄今未止。

第七章 地史上生物之演化

在前章曾概括的把地史各期最重要的各點，加以敘述，但關於地史最重要的生物演化，尙未及伸論，今試約爲伸言。

我們已經知道，生物的發生，在地史上當然很久，自地面有了水，有侵蝕作用起，當已有生物的可能，原生代之已有生物，已無疑問，不過當此期，一因生物本身，均爲很纖弱的物質所成，且構造簡單，大多數不適宜於保存。二因古生代以前岩石多曾強烈變質，所以卽幸而保存者，又爲變動作用所摧毀十分可能。因而化石甚少。因此研究生物歷史的人，對於生物來源，仍不能從地質學上得到圓滿的解答，一如地球來源及其最初歷史，不能由地質學上來解答一樣。

及未談生物演化以前，不能不略爲解釋化石的意義。化石是往古生物直接或間接在地層中留下來的材料，而使我們可由以知道過去生物的情形。直接留下來的如生物本身之殼皮牙齒使物等，間接留下來的如印痕住跡用具等。化石的保存，往往需要合宜的條件，如比較細的岩層，生物死後，埋於土石中，以免腐爛，及生物本身合乎保存的組織等。一般言之，僅比較堅硬的部分如介殼骨幹牙等適於保存。但在特好的情形，或特殊的情形下，如乾尸、冰層或極細

而沈積時特別安靜等，生物的極纖細部分，如植物花、動物的肉毛、幼蟲、以及很小而纖巧的昆蟲，也可成爲化石。生物埋到岩層中變化的過程，至不一樣，有各種化學作用。往往把原來的物質全部或至少大部分代替以去，如砂化炭化等，但也有其本體十分保存的。概括言之，年代新的化石，其變異的程度淺，而年代老的深。間接遺跡的化石；當然非生物本身，不過其藉以研究生物歷史的功用，卻是一樣的。廣義言之，化石甚多，幾無處不存在，我們吸的空氣、燒的煤炭、用的石料等等無不可有化石存在，在地層有化石的地層很多，自然均爲遞積岩。但火山成因的火山岩及灰中，也可以有化石。

地史上最早的生物，當然爲植物，原生代中，藻類不但已有，且十分發育。在我國之震旦紀岩中，即有不少藻類化石。不過終寒武奧陶之世，還沒有什麼進步的植物。到泥盆紀，植物開始有陸生的，且有不少的種類，到了石炭紀植物異常繁盛，就中以羊齒類爲最多，二疊紀的植物表示顯著的進步與中生代相近，中生代之三疊紀侏羅紀植物還保持着古老的概性，在各煤系地層中常有很豐富的植物發現，往往爲鑑定地層之臂助。白堊紀時開始有了顯花植物，而第三紀的植物則以顯花者爲主。觀地史上植物之發育，其顯著進化常較動物爲先，此或爲各時期動物演化之主要推動力。第三紀後期迄今，植物逐漸與近代近似，植物化石往往爲鑑定古代氣候及海陸分布至要南針，我國地質上關於植物化石的研究，已有不少，但尙待更爲充足的研究。

無脊椎動物在古生代以前已相當發育，原生動物發生甚早，在化石上以有孔蟲最盛，尤以石炭二疊紀之筵蝸及第三紀初期之貨幣蟲，保存尤多，於地層之判定，十分重要。但其他時期，許多原生動物，亦可造成深厚的岩層。腔腸動物以海棉及珊瑚最爲重要。古生代的珊瑚爲四時者，古生代則爲六射者。此外有筆石一目，僅見於古生代，爲鑑定地層之重要化石。水母類雖不易保存，然亦有化石不少。棘皮動物中如海燕海林檎海百合等，均種類繁多，分布甚廣。蟲類雖有若干化石，甚早已有記載，但比較他綱，並不很多，在地史上十分繁榮的假軟體動物爲苔蘚蟲類及腕足類，尤以後者爲重要。腕足類在古生代最爲發達。不但可爲地層上之標準化石，且可詳細研究其演化歷史。現所存者爲類甚少，軟體動物共分五綱，尤以斧足類腹足類及頭足類最爲重要。而頭足類中之菊石，實爲古生代末期至中生代末之最要化石，種類之多演變之繁，罕有其匹。斧足類與腹足類之重要，僅次於頭足類。節肢動物爲無脊椎動物中最高等者，發生甚早，最重要者，爲發育於古生代之三葉蟲。尤以寒武奧陶等紀爲最。其他如介形類、蟹、水蝸子等，亦往往有其重要性。現在十分繁盛之昆蟲類，初見於石炭紀，惟因十分脆碎，化石保存者比較甚少。統觀無脊椎動物各重要門類，化石繁多，其中有不少綱目，如三葉蟲，大部四射珊瑚腕足類菊石等均已滅亡，其滅亡之科屬與種類，無慮萬千，因而在地層上爲最有用之化石。我國關於此類研究，已有相當進展，惟尙有若干部門，知識甚爲缺乏。

脊椎動物分爲兩大綱，一爲魚類，一爲四足類。前者又分爲無顎類，其最早之化石，已見

於奧陶紀。而現今之代表，則爲圓口類，此類當志留紀及泥盆紀，均十分發育，至石炭紀則大爲衰落，其次爲與現尙生存之與鯊魚相近之魚類，名曰板鱗魚類，古生代者外皮多爲硬甲，故亦名甲冑魚。現尙分布者爲鯊魚類及全頭類，而當古生代後期，尤以泥盆，與石炭紀時，發育甚盛，種類繁多。其最高等者爲骨魚，其中之肺魚，與硬鱗魚，於古生代末期及中生代均十分繁盛。現在之魚類，實大部爲硬骨魚，其次始爲板鰓魚。魚類化石，分布於海洋及淡水堆積中，最初之魚類爲淡水者，高等動物之四足類，可能由魚類中之原始肺魚演化而出。其分化時期當在泥盆紀時已開始。

四足類之最低等者爲兩棲類，即尙不能完全脫離水中生活之四足類。現存者如蛙、蚓、鰻等。而在上石炭紀二疊紀至三疊紀時，種類甚多，統名之硬頭類。多爲體長頭短尾長之動物。其外皮常覆以硬甲蓋，骨質則不十分骨化或尙爲軟骨。兩棲類化石，在下石炭紀尙甚少，故其最初之發育如何，尙少記載，入中生代後，突然衰落。上侏羅紀時始見有蛙化石。自此以後，兩棲類化石，在地史上，並不佔重要位置。

爬行類化石，最初見於上石炭紀最上部，但立即十分繁榮。其原來演化，當自兩棲類而來，不過爲時當甚早，恐在石炭紀下部，已開始分枝。爬行動物之現存者只有喙頭、蛇、龜、鱷魚等四目，但在中生代（二疊紀起已甚多）特別發達，不下數十目，故稱中生代爲爬行動物時代。今只擇其最重要者，約爲伸論，最早的爬行動物，爲原龍類，發育於二疊紀，頭部除眼

外，無他巨孔體軀大小不等。但到三疊紀即衰亡，現在生存之龜類，與之最近，龜類化石，自三疊紀以後即有，不過愈近愈爲繁盛，惟變化比較之少。爬行動物中之具有特殊發育者爲魚龍類、蛇頸龍類及硬齒龍類等，此等種類，具有一共同性質，即重新捨去陸地，又入湖洋，因而四肢退化，尤以魚龍爲最，其體形幾與魚相同。不過構造上可判其實爲爬行動物。此等種類，亦以中生代爲其開始與衰滅之期，以後全歸滅亡。爬行動物發育之最可注意者爲飛龍，即可在天空飛行之爬行動物。鱷魚化石，中生代亦不少，其後裔尙可及近代，與中生代引人最注意之恐龍最爲接近。恐龍最初見於三疊紀，分爲比較十分隔絕之二目，即爲蜥龍類，有最初發育十分纖小，最來較大之虛骨龍類、肉食之食肉龍類、及蜥腳類。後者且適於池沼生活，到侏羅白堊紀時，發育龐大，可至約二十公尺之長，爲地史上最大之動物。其又一目爲禽龍類，也分了許多類，以白堊紀發育最盛，進化上最有興趣的，爲二疊三疊紀時之獸形類，其一般性質，極與哺乳動物近似，當與哺乳動物之演化，十分接近。近年我國以上所述各門中，迭有重要發現，尤以雲南之三疊紀蜥龍，新疆之獸形類，及綏察之白堊紀恐龍爲最。

鳥類係與恐龍類相近，而自其演化之一綱，但已爲熱血動物，而具羽毛。最初之鳥發見於侏羅紀，尙具有牙齒，與爬行動物尙甚接近。白堊紀亦有不少古老之鳥化石。但以後迄今，鳥類雖大爲發育，而化石究比較少，此或由其生活關係，不易保存之故，第三紀後期以後之鳥類已與現在生存者十分近似，我國黃土中常有鴨鳥蛋化石。

哺乳動物雖爲最高等之脊椎動物，而發育比鳥類爲早，遠在三疊紀（亦有相信二疊紀已有）已有其跡；上三疊紀所發見者，爲多瘤類，近在我國雲南已發見有甚爲豐富之材料，於進化上十分重要，侏羅紀及白堊紀之哺乳動物，除多瘤類外，尙有其他原始哺乳類化石。多甚微小，此等原哺乳類，現在尙存者僅一穴類及袋鼠類，當白堊紀時，雖已有胎盤類之食蟲類化石若干，但高等哺乳動物之極度發育，實開始於第三紀。此等動物，牙齒有固定之式，無論上下，均不超過三、一、四、三之數。原始之有胎盤類，爲食蟲類與翼手類。後者適於飛行，一如爬行動物中之飛龍類。在新生代迄今，比較平均發育，肉食類爲哺乳類之一大目，第三紀初期有一種古肉食類，分類甚多，至漸新統後代以繁榮之近代肉食類。其中且有海豹一類，退入水中生活，頗似蛇頸龍之於爬行類。比肉食類門類更多者爲有蹄類，亦在第三紀初期有許多原始之有蹄類，體格甚小，並不特殊化，但真正之奇蹄類，於第三紀甚多，現所有者不過犀牛馬類而已。偶蹄類在地史上發育情形，不亞於奇蹄類，所不同者，在現在動物中，此類動物，尙生存不少。如豬、河馬（適於水中生存者）、駱駝、鹿、牛、羊等。無論奇蹄或偶蹄，其原始之式，均爲掌行，五指或趾，早期均小，及以後始逐漸變爲偉大者，而具一或二可用之指或趾，化石跡象，斑斑可考，爲研究上最有與會之資料。在南美洲尙有不少特殊之有蹄類，化石甚多，此外尙有近於有蹄類之長鼻類，以現在之象爲其代表，其化石可遠溯至始新統。由其牙齒之進化，在各期中亦佔重要位置，海豕一類，爲適於水中生活者，亦歸此類。貧齒類爲適

於特種環境之動物，牙齒退化，化石特別發育於中新統及上新統。鯨魚類爲完全適於海洋生活者，有如爬行類中之魚龍，自始新統已有，而中新統後特爲繁多。齧齒類自始新統已分爲雙齒類（如兔）及單齒類（如鼠）而漸新統以後，種類甚多，亦爲最重要之化石，哺乳動物之最高等者，爲靈長類，最早見於古新統，分爲三類，狐猴類、跗猴類及人猿類，最後一類，包括人及高等猿類，如猩猩等，人類化石之最早者，有北京中國猿人，直立爪哇猿人，及辟爾當人，均在第四紀初期，以後續有人類化石不少。雖然我們知識尙少，但相信人類一班之進化，及與其他靈長類之關係，已無可疑。

總觀地史上自有生物迄今，年代悠久，各生物變化，甚爲繁多，自非以上所言，所可盡其梗概。而特殊之研究，爲古生物學，此等研究，既可明瞭地層之先後，復可追溯每一動物之過去歷史，爲生物演化之實際佐證，在我國此類研究，方開其端，必年有發見，可增加吾人之知識也。

第八章 中國地質燦爛的前途

地質學就治學方法言，是一個十足的舶來科學。不過我先民亦早已對地質現象，有過深刻的觀察。譬如詩經上的：『高岸爲谷，深谷爲陵』，和莊子所說：『風之過河也有損焉，日之過河也有損焉』，全是精確地質現象的觀察，以後顏真卿朱熹均有古生物方面的觀察。即晚近的徐霞客，更作了不少的實際旅行。可惜不能進一步，作有系統的研究，以致地質學的發達，反落於西人之後。六七十年前，我國一部分苦學之士，也曾盡力介紹許多西洋地質名著，但那時的學術界，並沒有發生很大的影響。相反的，七八十年以來，西洋人士之來我國領土作地質調查的，實繁有徒。此風截至現在，並未終止，實可嘆惜。

我國人之實際研究地質學，只能說是從民國初年起，賴章鴻、丁文江、翁文灝、李四光諸先生的領導，或先設立研究所作育人才，或立調查所作實際調查，而中央地質調查所民國五年正式成立以來，貢獻尤多。近年各大學地質系及調查研究機關，日益加多，前途實未可量。但是以我國幅員之大，寶藏之多，近來所表現者仍嫌不足，如百萬分之一的地質圖，迄今只出了三幅，其他較詳之地質圖，雖已有不少，但究嫌不足。岩石古生物年有不少新材料發現，此正表示吾人所知尙嫌太少。相信今後集多數愛好地質人士之力，能將我國領土作成各種

縮尺之地質圖如百萬分之一者，十萬分之一者及五萬分之一者與兩萬五千分之一者，逐幅完成，殆非五六十年以內所可成功。至全國重要區域地質誌之編纂，岩石誌與古生物誌包括史前文化誌之刊行，均待認真推行。然此等工作，一方面基於實際野外之調查與採集，另一方面室內設備之力求完善，尤為須要，而最基本者，尚為大量地質人才之培植。總而言之，我國之地質工作僅才開始，就全世界言，我國地質知識之簡陋，實為全世界知識之一大空白，比之南美洲尚覺落後。此乃我國人士之恥辱，須待自己努力，不能倚靠別人，而我們努力之結果，既可增進新知，又可有裨實用，一舉兩得，只待吾人好自為之而已。此等需要，可由關於我國地質方面之文獻，一為比較，不難怵目而驚心。

我國之地質文獻，自一八四〇年起，迄一九四〇年止，共整一百年，依所出版之三次中國地質文獻目錄，共約四千五百餘目，而最後五年，即有一千七百九十六目。以數量言，自為進步。以如此多的著作，而我國地質所知尚如此不完，可見我國地質材料之豐，尚須努力研究也。此中著作，其重要之專著，多為外國人所作者，其由我國人士所作之精絕貢獻，在數量與質量上比，尤為不多。而最近五年之文獻中，日本人在我淪陷區所作者，尤令人望而生恨。

惟二十餘年以來，我國地質家之足跡，幾遍全國。局部之精密地質圖，亦有勘繪完成者。區域地質報告，日見增多，其他如岩石礦物之研究，古生物學標本之描述亦均迎頭趕上，十分努力。惟以地質工作人士太少，不敷分配，經濟有限，不能盡量擴充，所望朝野人士，知我國

地質前途之光明，力爲維護，青年人士，能一部分獻身於此偉大工作，在不久之將來，必更可大放光明也。

第九章 地質的調查與研究

地質學不是關在門內可以研究的科學，必須要靠野外的實際調查，就是要直接對岩石作精確的觀察。這裏「精確」二字，十分重要。因只有能從精確的觀察，才可獲得可靠的結論，而達到求到真理的目的。若以一知半解的浮淺知識，下胡天胡地的偉大結論，必然造出不少的謬誤。事實上即是所有地質家均如此作，而錯誤尚依然不能免，就是因爲一來自然現象太複雜，事實太殘缺。往往一事可作數個不同的解說，二來又有主觀見解的不同。因此所爲一剖面地質圖，其所代表者不過作者對該地所作之觀察與其解釋耳。同一地點，不同人去作，幾乎不能完全一樣，便是這個道理。

雖然如此，真理只有一個，所以越是經驗多，造詣深的人，其結果愈可靠。因此地質工作的實際訓練，十分重要，但是地質雖說是注重調查的學問，而室內的研究，也同樣的重要。一切野外所得的材料，莫不要靠室內精確的研究。肉眼之不足，繼以顯微鏡，個別研究之不足，尤賴比較。所以參考圖書，實驗設備，比較材料等，缺一不可，而且要十分完善，方足以當此重任。在野外觀察着重精確，在室內研究，尤重判斷，譬如上述之我國已有地質文獻，四千五百餘種，其中即或有甚老之記載，已爲後人改正者，有僅作粗略之觀察，尙亟待補充者，凡研

究之人，必須有判斷之能力，始不致爲書所誤，引入歧途。本來自然科學日新月異，必時有改正，始可促長足之進步，此尤以地質爲然。

無論調查與研究，其實際表現之中心，應爲地質圖。故地質圖爲地質工作之中心。所謂地質圖者，乃將各種岩石依其時代與構造等繪於地圖之上，使人一目了然。而此工作，不但需要野外調查，且包括室內研究，包括岩石古生物之精細研究在內，實因如此，始可有可靠而近於真實之地質圖。其他如岩石誌、古生物誌、及區域地質誌之撰述，亦爲重要工作，不可偏重亦不可忽略。

地質工作既如此繁重，爲手腦並用之科學，當然須要強健的身體，而對於各有關科學的基本訓練尤爲必要。地質學既爲一綜合性之科學，若不先對礦物岩石生物等甚至物理化學數學有深刻的認識，將不易得精確的觀察與中正的判斷。無論野外工作或室內研究全靠豐富之學識與敏銳之經驗，凡欲獻身於地質之青年不可不於此並加以注意。

地質學既爲包括範圍甚廣之科學，以一人之力，勢不能全爲兼顧，故宜有所選擇。地質部門可大別之爲三：一爲普通地質調查，着重地質圖及區域地質。一爲礦物岩石及礦產，一爲地史及古生物，包括地史上理論方面之研究，如古地理古氣候等之研究。然每一部門，亦分別甚多，誠所謂浩如煙海，知也無涯。但能在其中之任何一門作出若干精潔工作自不難駕輕就熟，至少對相關部分亦有深切認識，並可加入工作。所以選擇既定之後，對其密切相關者，更當特

別注意，如古生物學之於生物及地史等。能如此，始可對地質學有真正的貢獻。科學乃一藝術之宮，非一人之力所可完成，然宮內之一磚一瓦，均有其重要性，故雖一人之力，其貢獻亦自有真正之價值。

我國人治學有由博而約之說，此在地質學尤然。所以對地質上各方面之書籍標本均當時常瀏覽，不但可以溫故知新，且可以發現新知。但如僅博覽，而自身一無所長，將難推進，故於博覽之外，應時常有專題之研究，庶由此研究，不但對真理有所貢獻，且可由此而更得相關之知識。我國地質上應待努力之處甚多，新鮮材料，俯拾即是。有此優良之環境，自應使不致辜負。前已述我國地質有燦爛之前途，然此前途，實有待吾人之追求。有志青年，應認識此重要性，多為預備，廣事煅煉，然後選擇一途，終身以之，鍥而不捨，於博覽之中，求精到之作，自不難成爲名家也。

地質學爲自然科學之一，其應用可開發礦藏，利用原生，夫人而知之。然地質學於個人教育及發揚國家文化上，亦同有其重要性。地質可使吾人了解地球在宇宙中所處之地位與人類在芸芸衆生中所經之歷史，從而感悟到地球之小，人生之微。然反而言之，以人生之微渺，藉吾人之智慧，又可啓世界之奧秘，增進吾人對自然之認識，事之可樂，殆無過於此。而其實用，實乃餘事而已。地質家自岩層中所採掘之品，自晶體礦物，至動植物遺跡，真是一石一木無非國家寶藏，以之陳列於適當地點，供人賞玩，此其在文化上之貢獻甚大，固不能以雕蟲小技目

之也。

最後願介紹地質學入門之書，以作本篇結束。以上所述，不過略示地質學之梗概，促起對於地質學之興趣，欲求進一步之了解，自非借助更詳盡之書籍不可。可惜我國關於此書，尙無可資介紹之名著，故欲求有系統之了解，非在英德法等國文字中，擇普通之地質學教科書不可。各國皆有名著，不及贅述。我國商務印書館，中華書局亦有局部論及地質學之書，可以參閱。進一步之翻閱，則有中央地質調查所所出版書圖二百餘種及中央研究院地質學研究所乃至各省地質調查所亦均有刊物，就中以區域地質爲多。但登高必自卑，行遠必自邇，本篇關於地質各部門之初步介紹，相信詳則不足，核則尙備，故列爲科學概論之一篇。

