

NATURAL SCIENCE

AND

HOW TO TEACH IT

BY

C. S. CHOW

1925

THE COMMERCIAL PRESS, LIMITED
SHANGHAI, CHINA

周昌壽編譯

自然科學及其教授法

上海商務印書館發行

高等教育理科叢書

近世動物學

上冊一元八角
下冊一元三角

薛德煒編 全書兩卷，上卷論無脊椎動物，下卷論有脊椎動物，書中各綱，各舉一種模範動物，詳叙其形狀、構造、發生、習性，並插入精細解剖圖，所舉各例，則以我國習知者為先。

人體生理衛生學提要

一冊 二元

薛德煒編 本書共分八篇，每篇始論人體各部之構造，次論各部之生活作用，又次論人體繼續健康之方法，實合解剖學、生理學、衛生學為一編，足供高級中學及醫學專門教科之用。

版出館書印務商

元(1796)

Natural Science and How to Teach It

The Commercial Press, Limited

All rights reserved

中華民國十四年七月初版

回(自然科學及其教授法一冊)

(每冊定價大洋貳元貳角)

(外埠酌加運費匯費)

編譯者 周 昌 壽

發行者 商務印書館

印刷所 上海北河南路北首寶山路商務印書館

總發行所 上海棋盤街中市商務印書館

分售處 商務印書分館

北京天津保定奉天吉林龍江
濟南太原開封西安南京杭州
蘭谿安慶蕪湖南昌漢口長沙
常德衡州成都重慶廈門福州
廣州潮州香港梧州雲南貴陽
張家口 新嘉坡

★此書有著作權翻印必究★

目 次

緒 論

第一節 自然科學的意義.....1

何謂自然 何謂科學 何謂知識

第二節 自然科學的分類.....5

馮德的分類 自然科學各分科的範圍 物理學化學 生物和無生物的科學

第三節 自然科學的使命.....9

科學的本質的目的 科學的現實的目的 科學的教育的目的 科學和人生觀

第四節 自然科學的教授的根底 12

自然科學教授的科學的基礎 自然科學教授的歷史的基礎 自然科學教授的教育的基礎

第一編 科學概論

第一章 自然科學的公理..... 17-33

第一節 自然科學的由來 17

性質 物的自體 感覺和實在的本性 科學的事實 哲學上的實在問題 法律學上的物的規定

第二節 科學的公理.....21

同一律 矛盾律 除中律 理由的原理

第三節 因果律 25

因果律的四種形式 因果的量的關係

第四節 構成科學的精神作用.....29

科學創造的精神作用 比較 想像 科學構成的高等精神作用 概念 斷定
推理

第二章 科學的推理 34-52

第一節 科學的推理的本質34

體系的知識 推理的原則 相等的 相類似的 發見類似的手段 推理的三
種形式

第二節 演繹的推理.....37

直接推理 定言的三段論法 假言的三段論法 選言的三段論法 演繹的推
理的真偽

第三節 歸納的推理.....43

歸納的意義 歸納的根本問題 預言的根據

第四節 演繹和歸納.....46

演繹和歸納的關係 求知識的路徑

第五節 類比推理48

類比的意義 類比和發見 類比的價值

第六節 科學的研究法 50

證言 分類 說明 檢證

第三章 觀察和實驗 53-66

第一節 觀察和實驗的區別53

實驗的觀察法

第二節 觀察的要件.....55

平心靜氣的觀察 率真的觀察 涉及多方面的觀察 有意識的觀察

第三節 觀察的限界.....57

觀察和所用的器械

第四節 實驗的理論.....58

定性實驗和定量實驗 歸納實驗和演繹實驗 實驗的境遇 實驗的要件

第五節 穆勒的科學分析法.....61

一致法 差異法 一致差異併用法 共變法 剩餘法

第四章 測定法.....67-84

第一節 單位.....67

測定的標準 人爲的標準和自然的標準 補助單位 誘導單位 量單位的簡
單化

第二節 三基本單位.....70

三基本觀念 時間的單位 長的單位 質量的單位

第三節 測定法.....72

測定和器械 測定和感度 感覺的錯誤 精密的測定法

第四節 誤差消去法.....75

逃避法 差異法 校正法 抵償法 倒轉法

第五節 近似的理論.....79

定律的近似的性質 定律及說明的假說的性質 器械的誤差 逐次接近真境
近似的數學的說明 相等的種種意義 等號

第五章 分類,概括及信率.....85-97

第一節 分類的意義.....85

分類的心理 分類的基礎

第二節 天然分類和人爲分類.....86

分類的要件 二歧分類	
第三節 概括	89
概括的意義 概括和類比的不同的注意	
第四節 統計的研究	93
統計的研究的價值 平均	
第五節 信率	95
信率的意義 自然現象和信率	
第六章 假說及科學的定律	98-112
第一節 假說的意義	98
達爾頓的原子說 假說的真諦	
第二節 假說的要件	100
假說和演繹的推理 假說和定律 由假說演繹出來的結果和事實	
第三節 假說的使用	102
對立的假說 光的射出說和波動說 決定的實驗 使用假說的注意	
第四節 科學定律的意義	105
自然定律和國家法律 科學定律的起源 科學定律和人 科學定律的分類	
第五節 科學定律的進化	109
關於行星運動的定律的進化 重力定律 進化的程序	
緒論和第一編的參考書目	112
第二編 自然科學發達史	
第一章 古代的科学和科學教育	117-135
第一節 原始人的知識	117

人類創造時代的智力 原始人知識的特色 語言的起源 應變和淘汰 構成的思考的起源 進步的過程

第二節 古代人的知識120

加爾底亞人的知識 埃及的文明 古代中國的文明

第三節 古代希臘和科學123

古代希臘人的特性 古代希臘人的科學

第四節 希臘哲學家和科學124

退利斯 畢達哥拉斯 蘇格拉底 柏拉圖 亞理士多德 亞理士多斯以後的學者

第五節 羅馬和科學131

希臘人和羅馬人的特性的比較 琉克理細阿 坡力奧和辛尼加

第六節 古代的科學教育132

希臘的教育 羅馬的教育 古代基督教教育

第二章 中世紀的科學和科學教育136-144

第一節 阿剌伯和科學136

中世紀的特色 阿剌伯的化學 阿剌伯的物理學

第二節 基督教會和科學138

基督教的教理 羅馬教會和科學 寺院學校和科學

第三節 經院哲學和科學140

經院哲學的目的 經院哲學和亞理士多德 羅哲爾倍根的科學 法國的經院派的活動

第四節 中世紀的科學教育142

中世紀教育的特色 大學和市民學校的創立 猶太人及阿剌伯人和科學

第三章 近世的科學和科學教育……145-166

第一節 文藝復興和科學……145

文藝復興 海上的發見和科學 太陽中心說 自然科學各分科的獨立 科學的應用

第二節 文藝復興和科學教育……149

人文主義和科學教育 伊拉斯莫斯 內安得 科學教育不能振興的原因

第三節 培根和科學新研究法……152

第四節 伽利略和新科學……153

第五節 牛頓和現代科學……155

牛頓的略歷 牛頓的事業 牛頓和科學研究

第六節 第十七、八世紀中自然科學的進步……158

物理學 化學 拉瓦節 林內 瓦特

第七節 第十七、八兩世紀中科學教育的勃興……162

剌伯雷 蒙旦 培根 對於科學教育的輿論 夸美紐斯 盧梭 德國啓蒙思潮對於教育的影響

第四章 現代的科學和科學教育……167-208

第一節 第十九世紀前半期的科學……167

前半期活動的科學家 科學發達的特色 物理學的發達 化學的發達 地質礦物的發達 生物學的發達 學會的創立

第二節 第十九世紀前半期的科學教育……172

科學通俗化的原因 新人文主義和實科主義的對抗 裴斯塔洛齊和科學教育 第斯多惠和自然科學教授 實證主義的哲學和科學教育 學校的科學

第三節 第十九世紀後半期的科學……177

能常住定律 熱的動力說的勝利 永久氣體的液化 光的電磁說 赫芝的發見 電磁時代 樂琴的發見 德國化學的勃興 理論化學 元素和化合物 結晶學的進步 進化論的出現

第四節 第十九世紀後半期的科學教育……………185

後半期的自然科學教育的特色 斯賓塞爾和自然科學教授 赫胥黎的意見 德國改革自然科學教育的意見 康拉德的意見 培爾的意見 洪保德的意見 洛斯基斯拉的意見 自然科學主義和自然科學教授 折衷說 後半期的學校教育和自然科學

第五節 物理化學實驗室的發達……………192

實驗的創始 最初的實驗室 利比喜的實驗室 克爾文的實驗室 巴黎地方的實驗室 美國方面的實驗室 國民實驗室

第六節 第二世紀的科學及其傾向……………198

鐳的發見對於科學的影響 物質觀 鐳的放射線 陰極線的性質 電子說 能隙和橫波 能隙的運動 邁克爾孫和摩黎的實驗 羅倫徹的收縮 愛因斯坦否認的能隙 相對性原理 光速為無限大速度 閔可夫斯基的時空融和的宇宙 相對性原理的推理 蒲耶克的量子說 愛因斯坦的輻射說 邁麥斐爾特的輻射說 波耳的景線理論 熱力學的第三定律 樂琴線景 科學的傾向

第二編的參考書目……………208

第三編 自然科學教授原理

第一章 社會生活和自然科學……………211—224

第一節 社會生活和自然科學……………211

產業革命 社會生活的不安和科學 倍根的 Nova 寓言中的理想 階級戰爭和科學 社會政策和科學

第二節 社會本位的教育和自然科學……………217

社會本位的教育 教育對於社會的職能 杜威的意見 學校教育的任務 職業的意義 職業教育和自然科學

第二章 創造教育和自然科學……………225-236

● 第一節 創造的意義……………225

相對的創造 創造和模倣 創造教育的可能

第二節 創造教育和自然科學……………228

創造教育的任務 自然科學對於創造教育的使命 創造和感覺的敏銳 創造和想像

第三節 作業主義的教育和自然科學……………233

創造教育和作業主義的教育 作業主義的起源 依據作業主義的自然科學教授 自然科學和手工

第三章 人格教育和自然科學……………237-245

第一節 人格教育的目的……………237

歷來的教育思潮和人格教育 學術界的新趨勢和人格教育 現代社會的傾向和人格教育 人格教育的立足地

第二節 人格教育和自然科學教授……………241

品性陶冶和科學 自然科學被人輕視的原因 自然科學的修養價值 自然和人事相互的關係 人格教育和自然科學教授的調和

第四章 自然科學教授的教育的職能 246-279

第一節 科學的知識和自然科學……………246

知識的分類 近世的知識觀 關於科學的知識的問題 準備用的知識 實際的知識 實科的知識 人文的價值 自然科學教授上的知識 兒童經驗的知識

第二節 科學的訓練和自然科學……………257

訓練的意義 科學的訓練 科學習慣的養成 科學的習慣的價值 論理的思考法的訓練 論理的思考的價值 兒童的思考

第三節 科學的理想和自然科學.....266

科學的理想 科學精神的養成 自然科學教授和道德陶冶 自然科教員的人格感化

第四節 自然美鑑賞和自然科學.....270

辛尼加的自然觀 自然的美觀 自然美鑑賞家缺乏的原因 自然的感化

第五節 總括.....274

第五章 自然科教材論.....280-295

第一節 自然科學諸分科和教材.....280

教材的位置 教材和教員的素養 現時的自然科教材 博物教材和理化教材

第二節 選擇教材的問題.....282

選擇教材的傾向 選擇教材的心理的條件 自然科的基礎教材 日常生活和教材 科學的理想和教材 新奇的教材

第三節 排列教材的問題.....287

關於統合教材的學說 德國國民學校中的理化教材 排列問題的結論

第四節 教授細目的問題.....292

關於編制教授細目的兩種意見 教授細目應備的條件

第六章 自然科教法論.....296-326

第一節 講義式教授的任務.....296

自然科教授的形式 講義式教授法的出發點 教員的地位教授法的理想

第二節 講義實驗.....299

講義實驗的通弊 講義實驗的處分 觀察的自由

第三節 觀察旅行.....302

觀察旅行的要件

第四節 實驗室作業 304

實驗室作業的意義 實驗室作業的真髓 現時學校中的學生實驗 實驗室中
教員的任務 好的實驗室作業的特性

第五節 發見的教授法 309

發見的教授法的沿革 發見的教授法的真髓 依據發見的教授法作成的理化
教授細目 依據發見的教授法的教案的一例

第六節 自修溫習 321

歷來學習上的缺點 自然科教授上的自修 美國的自修 養成自修習慣的要
件

第三編的參考書目 326

序

自然科學爲近世文明唯一之泉源，同時又爲改革社會組織之直接原因。每當其一原理成爲實用，社會之生活狀況，必爲之一變，結果引起產業革命，成爲社會重要問題，影響所及，不僅限於經濟方面，舉凡一切政治，道德，宗教，思想，莫不隨之大改舊觀。表面問題似極複雜，但若窮其本源，均可歸之於自然科學之發展，癥結既見，解決自易事耳。綜觀歐美各國，任何事業皆有一研究院，用科學的方法，作澈底之研究。不僅應用已知之原理，且進而探求未窺之奧祕。其所以殫精竭智，兀兀窮年者，豈均出於單純好學之一念耶？蓋非此不能推知自然科學對於現代社會及工業生活所具之關係，即無從求改進生活狀況之道也。

我國在固閉自封時代，賴氣候之溫暖適宜，幅員之廣博豐饒，雖數千年來，文化未嘗或進，亦自豐衣足食，得享天年。一旦海通，環境頓異，精神物質，無一不落人後。欲圖自存，捨根本改革別無他法。然自興學以來，歷有年所，造就之人材，應不在少數，但在今日，僅求真知科學之用者已不可多得，至於在科學界中，獨樹

一幟，能出與世界碩學競一日之長者，更如鳳毛麟角，未嘗或見。外觀似覺可怪，但若詳加考察，即可知其實有不得不然之理由存在，積弊不除，雖十年百年，又何所補？

按中小學校中所授之自然科學，只在養成兒童尊重科學之精神，灌輸正確之科學觀念，以作將來從事研究之基礎。而一般中小學校之自然科教員自身之科學知識，即已不足，再加以教材之取捨，實驗之設備，或感地域之不便，或受經濟之壓迫，更難盡其職用。只得因陋就簡，以誦讀教科書為唯一之能事，故上焉者做舊時背誦四書五經不求甚解之辦法，通讀一過，以完其責；下焉者竟視之為高頭講章，不足輕重，束之高閣，從不一顧。相率效尤，遂羣視之為畏途，避之惟恐不及，遑云澈底領悟？積重難反，不自振拔，或強詞奪理，硬派物質文明為構成人類不幸之罪惡，而高倡反古之迂論；或拾人牙慧，不自量力，而以道爾頓制等類相號召。主張雖有種種，要非真正改革教育之策，適足以自暴其陋已耳。羅馬之成，決非一日，教育事業，更有甚焉。尤以自然科學之教育，除循序漸進，實事求是外，直無辦法，明乎此，則一切謬論，均不攻自破矣。

我國中小學校自然科教授之缺憾固多，然最根本者莫如教員自身之學識不足。故雖間有一二學校，設備較為完全，亦苦教員不能自動的指導學生自由實驗，結局仍與專讀教科書者相差無幾，尤以小學校之教員，不特不能指導兒童入於正軌，且往往將惛恍迷離之思想，輸入兒童腦裏，使其陷入不可挽回之錯謬。設備不周，學制不善，均可以教員之力，爲之匡正，若教員不善，則一切設備制度，均無所爲用矣。故在今日而言改革自然科學之教育，當以使現任之中小學教員受充分之補習或另行養成爲第一急務。民國十三年十月，全國省教育會聯合會在開封開第十屆會議時，編者曾提出一促進各省區中小學校自然科學教育案，力主各省區各設一自然科學教授法傳習所，專收各縣屬中小學校之現任自然科教員，爲之補習兩年，即爲此而發。第二則因自然科教授與他科不同，不能僅依口講指畫，可以使人領悟，尤其是中小學生，構成概念之思惟作用，極其幼稚，非有實物隨時隨地爲之指證，萬難使其了解。遍觀我國中小學校，爲數雖多，而能製辦實驗機械者，則極寥寥。且其器械均極拙劣，又都限於教員自用。以此現狀，猶恬然日日高倡道爾

頓制，能不令人齒冷。故於養成教員之次，當以趕置實驗器械，籌設學生用實驗室爲第二之急務。俟此兩項解決而後，始能進而討論自然科學之教案，如教材之取捨，時間之配當，指導之方針，教法之改良等，均須內省國土民情之需要，外察世界潮流之趨勢，始可決定。若貿貿然將外國未成熟之制度强行輸入，則其遺毒恐將更甚於未改學制以前，亦正意中事耳。

以上所述三步辦法，實爲改革自然科學教授當務之急。其中尤以第一步，即養成優秀教員爲最重要。縱有宏麗壯觀之科學館，設備周到之實驗室，使無素養充足熱心教授之教師在內指導，亦不足以言自然科學之教授，試觀大科學家如法刺第 (Faraday) 出身於鐵工，巴斯達 (Pastur) 出身於皮匠，德斐 (Davy) 出身於藥肆學徒，佛郎克林 (Franklin) 出身於印刷工人，衣食且不周，孰從覓取器械以供研究？可知設備一項，雖不免受各地方經濟所支配，一時難於置備，但只須教員得人，亦未嘗不可設法彌補。至於學制，更屬末端，現行制度果有不便，或發見效率較大者，隨時均可討論更正，於自然科學教育之自身，並無若何嚴重之影響也。

由前所述，可知自然科學之進步與否？要在於能

否改良教師之素質而決。而改進教師之素質，爲事至難，以其所關極爲廣泛故也。前述於各省區開辦一自然科學教授法傳習所，固極易辦。然爲暫時計則可，爲久遠計，則非良策。換言之，此種方法不過治標之道，而非治本之道也。治本之道，在於提高師範學校之程度，使師範生於在學期間，除現授之課程外，尙須對於其將來志望之學科，特加以研究。例如志望教理化者，除修得理化全般之明確智識外，尙須具有實驗方面的純熟經驗，并須明瞭各科理想之所在，發展之概況，及現今之趨勢，方能隨時本其理想，去陳布新，指導學生，與時共進。志望他科者，亦復如是。不經此種訓練，勢必以淺陋學識，勉強敷衍，能將教科書通讀無誤，已屬難能可貴，何敢更存奢望？間有一二有志之士，自知學力不足，雖欲發憤讀書，以補其陷。但苦於無人指導，不能作有系統之鑽研。每有所得，輒欲授之他人，因其對於全體範圍，既未周知，故亦無從判斷其是否適合於其教授。貪多誤得，食而不化，較之僅知熟讀教科書者，直不過五十步與百步之比而已。歐美中小學校教員，對於其所擔任學科，莫不涉獵一過，校中更備種種參攷書籍，實驗器械，其範圍遠在學校程度以上，遇有專門

學術講演，靡不往聽，類皆能領悟，其實力之豐富，見識之高深，確有驚人之處，必如是而後始足以言討論教授方法，改革學校制度也。返觀我國，變亂相乘，奸私相尙，教育事業，亦復爲宵小用作功具，從事把持，教潮學潮，層出不已，對於真正一般之教育，轉等閑視之，更遑論及特殊之教育？辦學數十年而不能有所進步者，職是故耳。

十三年夏，避暑於莫干山滴翠軒，長日無事，乃就自然科學教授法所需要之三方面，輯其大要，而成此冊。首論自然科學之本質，使讀者由科學原理以闡明現今各種科學所許容之事項，可作初等之科學概論教科書用；次論自然科學之發達，及其被編入學校教科中之歷史的觀察，使讀者由此可以推知科學對於各種時代之社會生活，國勢消長，以及人類思想之變遷，所生之影響，以便擇定將來應採之教育方針，可作自然科學史讀，亦可作科學教育史讀；末由一般之教育觀，討論自然科學教授之職能及其內容，俾讀者得建設新教授之方針，以與一般教育之目的調和，不致有偏重偏輕之弊，尤爲討論學制者，不可不讀之作。一般關於科學教育之書，大都就後兩者論述，以爲科學

概論屬於論理學範圍，可以勿庸牽入，而不知自然科學之教授法，無論爲實驗，爲觀察，爲推理，均非將其科學的根本原理弄清，無從着手，萬不能因其屬諸論理學，遂置之不問也。本書之所以首列此一篇，即本此意。全書除自然科學外并涉及論理學，哲學史，教育史，教育學，心理學等，僅能將其最不可少者摘要錄出，舉一反三，是在讀者。謬誤之處，在所不免，如蒙海內明達，不吝指正，使我國自然科學教育得尺寸之進，則編者所馨香禱祝者也。

十四年五月三十日

第一編 科學概論

第一章 自然科學的公理

第一節 自然科學的公理

第二節 科學的公理

第三節 科學的公理

第四節 科學的公理

第五節 科學的公理

1321
7764

自然科學及其教授法

緒 論

第一節 自然科學的意義

我們日常談話的時候，常常用着自然這個名詞，但是甲所說的自然，和乙所說的自然不同，不特因人而異，而且隨時隨地各有不同的意義。例如十八世紀法國的哲學大家盧梭曾說過“人須返於自然”，這種自然，是指生具的能力和其傾向而言。十七世紀奧國的教育學家夸美紐斯（Comenius）倡言“教授的原則專取法自然”，這種自然是指映入我們眼中的森羅萬象的全體而言。再一考自然的語源，在英語為Nature，在德語為Natur，同由拉丁語的Nascor而來，原意為“生”，即言毫無人工的技巧，完全是自身生成的意義。我們譯成“自然”，也是本着這個意義。不過一般習慣上的“自然”，有兩種用法，一種為實質的方面，如用於造物者上帝，支配人類的勢力，以及我們托生於其中的世界等；一種為形式上的方面，如事物的先天的順序，不能為人力所左右的事件，一任其天生的狀況而不加以虛飾等。希臘時代以及中世紀的人類，以為自然

完全有一種生命，因而對於自然發生一種敬畏的念頭出來。近代文藝中的自然主義，不承認有自由的世界，以為宇宙間有一定的必然的活動原則，用研究的態度，立於客觀的地位來描寫事物的純正狀況，所以也是一種形式的自然。至於自然科學所謂的自然，是指我們由感官作用可以辨別其存在與否的事物；換句話說，就是立於客觀的地位，由經驗認識其存在的物體，一切包括起來，總稱為自然。究竟能夠引起我們發生感覺印象的這些事物，客觀的存在與否，及其本質如何，並不去過問。

盧梭是近世自然主義思潮的發動者，他所謂的人返於自然，意味深長，據哥本哈根（Copenhagen）大學教授嘿夫亭（Hefting）的研究，這裏面實含有三種意義。第一可以稱為神學的自然觀，將由神創造出來的事物指為自然。第二為自然科學的自然觀，是說能映入吾人的官能的自然，即引起耳目發生感覺的事物。第三為心理的自然觀，即是精神上現出來的自然傾向，任其天然的态度發展而成的事物。但是自然的字面太廣，決不是這三方面所能完全包括無遺。詳細研究一下，在普通的用法裏面，一共可以分為六種不同的意義。第一是和主觀對待的客觀世界，第二是和精神界對待的物質界，第三是和理想對待的現實，第四是和人為技巧對待的天然，第五是就事物的性質而言的天性天真，第六是和反常對待的正常。

“科學”這個名詞，也有種種的意義。(一)有種人以爲科學是幫助我們得有有用的發明發見的，所以科學的價值由其對於人生所生的益處的程度如何而定。現代的文化，是科學發展的結果，固然是一種事實；增進人生一切幸福的利器，無一不是科學產生出來的。這種結果和科學的內容實有極密切的關係。但是科學研究的價值，却萬不能用他的效果應用來決定。關於這一點，後節再爲詳細敘明。(二)又有一種人，以爲科學的性質，是在作精密的打算。其實也並不然。有時將一分子一原子擴大起來看成一個世界，有時又將地球看成一點，只在因地置宜，並未嘗固執不變。(三)更有一派以爲科學不承認感情，專主理性，和宗教不啻水火，絕對不能相容，目的是在征服宗教的。宗教和科學兩者間的衝突，就現在的狀況看起來，確是不能避免的事實。詹姆士 (James) 曾經說過，科學和宗教是啓發自然寶藏的兩個鍵，各有各的立足點，彼此不能替代，只能用同樣的方法互相發展互相調和起來。現代的人大都以爲宗教固然不能沒視科學的真理，而科學也不能沒視宗教的精神，所以這一派也不能認爲正當。

● 科學的英語爲 Science，德語爲 Wissenschaft，同出於拉丁語的 Scire，意義爲“知”。斯賓塞爾 (Spencer) 對於科學下的定義是一種綜合的知識 (Systematized knowledge)，赫胥黎 (Huxley) 下的定義是組織的常識 (Organized common sense)。所謂知識和常識，是將廣泛的觀察和豐富的經驗，用一定的理法，整理

成爲系統區分爲若干體系的知識。單純的斷片的知識，決不能集成爲科學。以上是就科學的實質上說，若再就其形式上說，即爲科學的方法。要研究一羣現象或事物時，當先廣加觀察，多施實驗，方能得豐富的材料，就這些材料間的異同爲之分類，將相互間的關係，一一闡明出來，發見出一種理法，足以解釋以後繼續而起的現象和變化，這種種的階級總稱爲科學的方法。用此種方法，將自然界中的森羅萬象組織整理使成爲一種秩序整然的體系的知識，即現在所謂的自然科學。

由上所述科學的語原爲知識，那麼，更進一步研究，知識又是何物？普通所謂的知識，其意義是人類思想中業已證明爲真的一部分，除却這樣解釋而外，別無他法。人類的思想和外界的事物恰能一致的時候，始可以稱爲真。例如說草木是成長的，鐵是堅硬的，人死了，火是熱的，冰是冷的，是將人類的思想，用語言文字發表出來，若果這些思想和外界的事物恰能一致，即成爲人類精神和自然界之間的一種知識。由此可知，知識裏面，含有兩方面；一方面是實在的世界，一方面是能够理會這個世界的靈界。這兩種成因絕對不能分離，缺少任何方面，都不成其爲知識。通常的知識可以分爲科學的和非科學的兩種。這種區分，並非是說一種爲真，他一種非真。例如草木是成長的，鐵是硬的，這種事實是一種非科學的知識，同時又能成爲科學的知識。其區別只在知識的成立如何而已。

凡是由反省和思索而得的知識，習慣上稱為科學的知識；凡是由日常的經驗觀察得來不加思索即可發表的知識，稱為非科學的。未開化的人民對於天空的知識，不過以為由無數的光點，點綴而成，彼此之間，不相係屬，是一種靜的思想，只能稱為非科學的知識。文明人則不然，各星體之間有一定的關係，全體有一定的系統，是一種動的知識，所以是科學的。

第二節 自然科學的分類

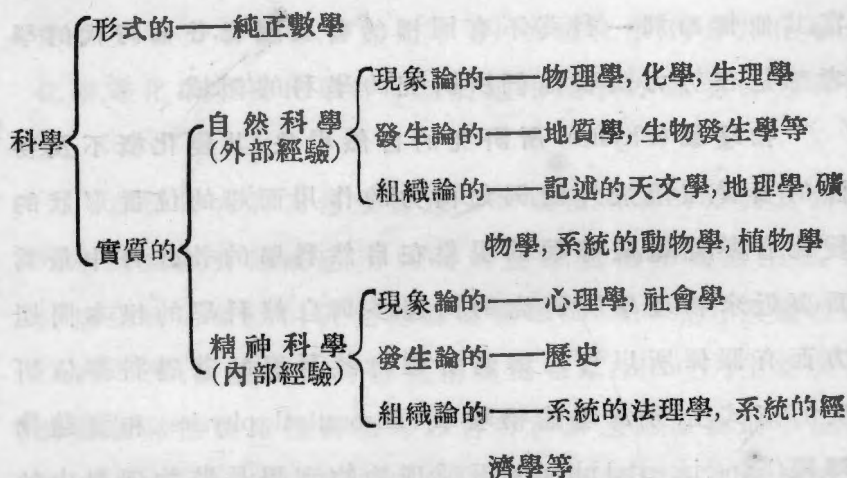
由前節所述，可知科學是將一羣的事物現象整理而成的有組織的系統知識，故其範圍極廣。但是科學本來的性質最初是以研究自然為主體，後來將這種研究法，漸次適用於其他的現象，科學的種類也就增加起來，單稱科學的時候不一定指全體的科學說，以指自然科學的時候為最普通。

對於各種科學，要想為之分類，這個計畫從古業已有了。依各種的標準，就各時代現有的科學，排成種種的分類。最有名的為柏拉圖 (Plato) 的分類，用研究科學問題時發生的心理的三種作用，即認識，感覺，意志，作為分類的標準，而成辨論學（即論理學哲學），物理學，倫理學。後來亞理士多德 (Aristoteles) 更就科學的目的，分為理論的和實際的兩種，辨證學和物理學屬於前者，倫理學屬於後者。以後英國的倍根 (Bacon)，法國的孔德 (Comte)，英國的斯賓塞爾 等相繼而起，發表精詳的科學分類系統案。概括起來說，科學分類性質，是歷史的，自然

淘汰的，進化的問題，與時代同時變遷決沒有一定的。例如就化學的一科而言，從來只分為有機和無機的兩個分科，現在則有物理化學，生理化學，光化學，電化學，膠質化學等許多分科，相繼獨立起來。其他各科，大率類是。現在對於這種分類的發達，沿革，以及標準等項的敘述，一律從畧，單將現今認為最得當的一種，即德國哲學大家馮德 (Wilhelm Wundt) 的分類法，略舉如下。馮德最初專攻醫學，尤長於病理解剖學，以心理學泰斗之名聞於世，因其創立一種新心理學，和舊時的心理學大異其趣，又為實驗心理學的建設者，同時又為倫理學及哲學界的重鎮，最近方死去，享年八十八歲。

馮德將科學的對象，分為實質和形式兩種，自然科學是以經驗為基礎的，所以屬於實質方面，數學是抽象的，不受經驗的束縛，所以屬以形式方面。舊來的學者，大抵都將數學分配在自然科學裏面，將他由自然科學裏面取出來，歸在純粹的形式科學裏去，確是馮德獨見的地方。不但如此，並且又將實質科學分為自然科學和精神科學的兩大部門。更各依現象論的 (Phenomenological)，發生論的 (Embryological)，組織論的 (Histological) 三種標準為之細分，然後以各種科學配布於其下。所謂現象論的科學，主要是在自然界精神界裏面，用因果關係來說明現象的科學；所謂組織論的科學，主要是依着對象（自然或人為的產物）的親疏，設立一定的組織，而記述其特徵的科學；所謂發生論的科學，位置恰在上述兩者的中間，

主要是在應用現象論的科學定律，來研究自然界和精神界的產物的生成和發達。馮德的分類表如下：——



自然科學的各分科最初成立的時候，並沒有一定分明的領域，大概都是很含混的，隨着人智的進化，研究的方面，也就分枝起來，枝數多了，漸漸就有分科擔負的必要，所以纔成為現在這樣複雜交錯的狀況。各科的領域，內容的貧富如何，並非沿着一定的方針展開，僅視天才出現如何，而定其擴張範圍的大小。和地球上人類繁殖狀況，大率相似。人數加多遂分為洲為國，各國的領土，由於其國民的努力和名君英雄的出現，推展開來，遂成大國。各種科學，莫不如此。因有意大利的伽利略 (Galileo)，始產生近世的物理學；因有法國的拉瓦節 (Lavoisier)，現今的化學，方有整然不紊的秩序。古代的植物學，專以研究植物的形態為主，到了十七世紀方有植物

剖解學，到了十八世紀，方有植物生理學，到了十九世紀方有植物發生學和植物生態學等科，植物學的內容，因此極其豐富。其他無論那一科，莫不有同樣的發展歷史，各個時代的學者，都是在努力擴張他們所研究的學科的領域。

物理學 (Physics) 所研究的自然現象，其變化概不及物體的實質，僅限於外觀。例如由力的作用而起的位置形狀的變化，音，熱，光，電，磁等類的現象，在自然科學的各分科中最為重要，近來物理學所研究的問題，多與自然科學的根本問題方面有關係，所以可以稱為各種自然科學的基礎科學。依研究的形式上，分為理論物理學 (Theoretical physics) 和實驗物理學 (Experimental physics) 兩種。理論物理學是將物理學中的一切現象，完全化為數學的規則，在超越感覺的假說下面，來求普遍必然的關係，又可稱為數理的物理學 (Mathematical physics)。物理學又可依其研究的內容，分為若干小科，如音學，熱學，光學，電磁學等。不但如此，近來專攻天體的物理現象，稱為宇宙物理學，專攻地球上的物理現象，稱為地球物理學，各樹一幟，進步極速，分科的數目，直不可枚舉。

化學 (Chemistry) 所研究的自然現象，其變化屬於物體的內部實質，如物質的組成，性質成分和性質的關係，對於他種物質的作用等項，目的在研究物質現象間所行的定律，和物理學對立成為自然科學中的一大分科。舊時將物理學和化學並稱為理化，可知此兩科之間，確有極密切的關係存在。

純正化學分爲若干分科，研究無機界的稱爲無機化學，研究有機物的組成等項稱爲有機化學，又稱爲碳化學，尚有實驗化學（內分分析化學，合成化學等），物理化學（內分熱化學，光化學，電化學，膠質化學等）。至於應用化學方面，名目尤其繁多。

自然物大別爲無生物及生物兩種，兩者的差異，爲對於外來的刺激有無感應；有的稱爲生物，無的稱爲無生物。關於無生物的組織的研究稱爲礦物學（Mineralogy），及巖石學（Lithology），關於生物的研究稱爲生物學（Biology）。生物又分爲動物和植物兩種，動物可以自行移動運動，植物則不能；動物具有感覺，植物則無有。但此種區別皆就其大者顯者而言，若細至顯微鏡的微生物，則兩者的區別，即異常曖昧。因此植物學（Botany）和動物學（Zoology）的領域的界限，也很不顯明。這不能區分的部分，很可成立一分科爲微生物學。植物學和動物學因實驗觀察的方面不同，又有形態學，生理學，生態學，分類學，古代植物學，古代動物學等類的區分。

第三節 自然科學的使命

自然科學中發達得最早的一種爲天文學。天界的現象雖非人力所能左右，但人類本着智識慾，早已注意到了這一方面。人類的本能具有這種求智的慾望，對於天空複雜萬端的現象，不能任其就此過去，總想尋出一種貫通一切的理由

來作其間的聯絡。有時由特殊的觀察和特殊的經驗，居然得出結果，能够將事實的關係解釋出來，有時特殊的觀察經驗，只能止於特殊的地位，好像數條河流，沒有橋梁爲之連絡一般，遇着這種通不過去的時候，不禁發生懊惱不快的感想，總想尋出一條路可以通過去，來作成知識的體系。這種傾向，既非出於生活的壓迫，也不由於利害的打算，完全出於人類本來具有的知識慾，科學其所以能够成立，即在乎此；科學其所以能够有無限發展的可能性，也由於此。古代科學家無一不是這樣，現代的科學家的動機，也是如此，並非以謀社會的利益和求個人的幸福爲目的的。關於科學的這種使命，法國的科學大家傍卡累 (Henry Poincare) 高唱“爲科學的科學” (La science pour la science)，極端反對那些以人生的利用爲科學的目的的實利主義。科學的理想是在探求真理，決不問其對於人生究竟能生出什麼利益和幸福。科學的究極目的，是在組織關於自然界的統一普遍的知識。立在這種本質的目的的地位上的科學，稱爲純正科學 (Pure science)。

太古時代關於天象的知識纔一萌芽，同時就發生了占星術 (Astrology)，即是應用星體的運行狀況，來預定人類的吉凶運命，這種科學的根據，並不在上說的理想上面，科學既然是人類的產物，所以對於人類的生活興味，不能完全沒有關係。現代的文明生活沒有一樣不是出於科學所賜，科學對於人類生活，自然是有極大的影響。一種科學的研究，縱令不

能斷言其必定適合於某種應用，但至少也總有可以利用他的地方。同時因為要想改良生活，進而成為一種科學研究，也是不能否認的事實。所以現代多數的人，都以爲科學研究的必要理由，決不是像上面所述出於理想主義的那樣簡單，科學與社會國家的關係，換句話說，科學的應用，對於社會生活國家經濟實在有極大的影響，所以應用方面，也決不可忽視，實在可以算是科學的第二使命。

除滿足知識慾和改進社會兩種使命而外，近世的科學還有一種較大較重要的使命，即是科學的教育意義。生活在現代的社會，要想成為一種適當的人物，非有相當的科學知識不可，非用科學的方法來訓練自己不可，非進而以科學的理想爲自己的理想不可。換句話說，現代的社會所要求的人，非具有無限創造發展的性格不可。

自然科學的發達，可以說是人類思想界的一大革命，使人類的人生觀大起變化，這是科學的歷史已經證明了的。古代的天文學，以地球作爲不動的中心，其他一切的天體，莫不以地球爲中心，每一晝夜運行一周。這種天動說成立以後，人類的思想界大受其打擊，舊時的宗教的傳說，因此遂大失其信用。凡遇着發見一種宇宙內的玄妙的真相的時候，都使人類思想感情大爲搖動。就在平常看演劇，觀書畫，聽音樂的時候，尚且不禁大動情感，何況發見自然界內森羅萬象間所依從的定律，安能不受影響。例如牛頓發見的宇宙引力說，刻卜

勒 (Kepler) 發見的天體運動定律, 拉普拉斯 (Laplace) 的星雲說, 達爾文 (Darwin) 的生物進化論等, 都是在人類思想界中, 引起革命的轉機, 不特是歷史的事實, 就到現在也還受他們的影響不淺。自然科學的發見, 像這樣, 引起時代思潮的動搖, 其結果遂逐漸的改進新的人生觀。道德宗教等也都和這種新人生觀, 互相調和, 不能成立。這樣一來, 自然界的科學的解釋, 宇宙間的科學的理法, 對於人類的行動規範, 不能說沒有指導的勢力, 於是要求倫理的理想和科學的一致, 使人道向上, 一變而成爲自然科學的一種任務了。這是十九世紀後末期自然科學全盛時代所起的最近思潮的一種, 使科學家去建立一種自然科學的人生觀和宇宙觀。如德國的生物學家赫克爾 (Häckel), 由生物學的研究, 進而創立一元論的哲學, 獨自創立一種人生觀, 即其一例。

要之, 自然科學的使命, 除探求自然的真理組織統一的知識體系而外, 還有數種: 即 (一) 改進社會生活, (二) 訓練適合時代的人格, (三) 樹立無上的道德判斷。事實上科學的知識進步, 後道德判斷的基礎也逐漸的變化起去, 最後可以超脫了一切無智迷信的境界, 進而置身於永久的正義平和的理性世界裏面, 由此說來, 其任務的重大, 意義的深長, 可想而知了。

第四節 自然科學的教授的根底

自然科學教授的目的在於養成科學的精神，故欲達自然科學教授的正當的任務，非將根底置於自然科學上不可。關於這一點，可以分作兩方面來說。(1)所取的教材須有科學的基礎，即是說對於此種教材的近代的科學的意義，尤非有澈底的了解不可。例如在物理學上，須透澈了解三基本觀念，運動和靜止，波動和輻射，力和質量，功和能，熱和溫度，光，電等的概念；在化學上，須透澈了解元素，原子和原子量，分子和分子量，化合和混合，化能 (Chemical energy) 等類的概念，是教授自然科學根本上最要的條件。(2)所用的教法須有科學的基礎，即是說對於成立科學的原則，觀察實驗的論理，科學的研究法，科學定律等項的意義，也非有澈底的領悟不可，這個根本條件在從來的自然科教授上多賦之等閑，其實是應該和第一條件並重的。第一條件是關於教授的實質方面；無論教授何種自然科學，若不將教材透澈了解於胸，教授時必致陷入謬誤，對於應用問題，也決不能得出正當的解釋。第二條件是關於教授的形式方面；無論教授何種實驗，或作何種現象的解說，若無科學的原理的素養，不特不能自圓其說，而且轉將引入入迷。這樣看來，上述的兩個條件，在自然科學教授上所占的位置若何重要，也足以推知的了。

人類對於自然的努力，早已成為文明史上主要的對象，事實上人類的成就，的確沒有較此更可驚嘆的。地球的表面，已被人類開拓殆遍，沒有受過人力經營過的自然，已經沒有

許多了，人類又將動物界征服馴練，使其適合於人類的目的，並且改造過許多動物，若不依賴人力，一任其自然，是絕對不能生育的。對於植物界也是一樣，經人力經營方始能够成長的植物，不知有幾千幾萬，都是專供人類使用的。不僅止於地面，並還深入地中，到處掘取無用的物，以供人類的利用，創作改造出許多不自然的發明，自赤道以至兩極，凡人迹所到之處，莫不有人力的偉大努力的遺跡。人類的慾望到此還並未滿足，愈入愈微，愈研愈精，以科學作其研究的武器，大有非將全宇宙征服不止的傾向。這種偉大努力的成就，即現在學校中設立自然科的理由。教授自然科學時，對於這一點，大有時加反省的必要。而人力對於自然界的發展，即自然科學的傾向，常有左右自然科教授的力量。故非有正當理解的人，不能得其正鵠。由此看來，教授自然科學的人，對於科學的沿革，科學的傾向，以及學校中所起的自然科學教育促進運動史，皆非了然於胸不可。這也是教授自然科學的一個根本的條件。

自然科學既係學校的教務的一部分，當然要和學校教育的目的能够互相調和方可。因此而起的問題，則為研究由自然科教授所能到達的教育職能的性質，及其方法如何。可以分作四層來說：(1) 從現代社會的歸向和人生的真趣觀察，非有何種教育觀不可；(2) 對於現代盛行的教育思潮，向着何方流動，非有正確的觀察不可；(3) 由最高的教育理想着想，定立自然科教授的職能；(4) 研究如何方能達此職能。

的方法；(5) 教授的對象爲兒童學生，故須深知兒童學生的心理作用，思想的發達，俾便研究教材的本質及教法的原理。概括起來說，依據教育的原理，來研究自然科教授的基礎，在自然科教授上，實爲極重要的事項。由這種見地以論舊時的自然科教授，所謂品性陶冶主義，所謂實利主義，所謂自然科學主義，其目的本身，已屬動搖不定，加以實際的教授，又不能澈底，在教育原理上說起來，真可謂爲過於幼稚的了。故欲圖自然科教授的改良，非先究明這種教育的基礎，然後向着最高的理想努力進行不可。

第一編 科學概論

第一章 自然科學的公理

第一節 自然科學的由來

自然科學以蒐集科學的事實爲出發點。所謂科學的事實有些什麼本質？蒐集的方法要些什麼條件？將蒐得的材料整理成爲科學的體系，要依據什麼原理？這些事項在自然科學裏面，都是極爲重要的。

試先取教室中的黑板來說，其形爲一直方厚板，其色黑，這是一見而知的。若再用手去撫摩，即可知其質堅硬，表面光滑，更進而測其高，厚，寬，各若干，重量若干，對於外力所呈的抵抗若干，對於接觸其上的手指所起的寒暖感覺如何，一一可以辨別出來。這些事實平常通稱爲黑板的性質(Property)（嚴格說起來，溫度爲物體的一種狀況，不是性質，此處不過言其大概）。由此可知，無論何物，乍見的時候，雖覺極其簡單，追窮上去，即一變而成異常複雜的性質。這些直接的感覺，爲構成外界客觀的存在的要素，結局還是感官成爲一切的基礎。人類須經感覺器官，一番翻譯，方能窺知外界的事物；捨此而外則無他法。因此科學的對象即所謂物質界現象界，也只能由此出發。然則由感覺所得的現象界，和外界存在的物的實體，

即物的本身，當然不能一致，外界的真相，決非我們的感覺器官所能得知的。例如眼內的網膜上，遍佈着視神經，對於這些視神經，無論加以光學的刺戟，或是電學的刺戟，或是器械的刺戟，都一樣的能使我们發生光明感覺。又如用同一的電學的刺戟，視神經受去，則發生光的感覺；聽神經受去，則生音的感覺；味神經受去，則生味的感覺；皮膚受去，則生痛癢或溫暖的覺感。神經的種類不同，同一的刺戟也成不同的結果。可知各種感覺，由於各種感覺神經先天具有的特殊能力而定，和外界刺戟的原來的性質，並不相關。我們超越這種現象界而外，關於物的自身並無所知，也沒有過問的權利。這是哲學家康德 (Kant) 說過的，後來經過許多的學者研究，大體皆表同意。物理學大家赫爾姆霍斯 (Helmholtz) 的意見，也以爲一切感覺的性質，完全可由受容刺激的感覺神經的特性決定。同一的輻射線，入眼則生光的感覺，觸及皮膚則生溫暖的感覺。由此可知我們的感覺，決不能告訴我們實在的真相。紅花的紅色，決非花的本性，勿寧說是外面的性質，還覺妥當些。我們看見艷麗的花卉，聽見悠揚的琴音，嗅着馥郁的香氣，以爲都是物體固有的本性，捉着這些本性，就以爲看透了物的實體的真相，其實冷靜的考察起來，不過是由特種的作用，使感覺發生的一種性質罷了。實際的真相，依然埋在吾人所不能知的深海裏面。但是從一方面說，譬如有一塊鐵，手觸其上即覺其冷而又堅硬，扣之即發而爲音，置在掌上，即覺其重，此外關

於大小形狀，凡由經驗所得無論意識狀態如何變化，總是起同一樣的感覺。由此看來，感覺和實在的本性的中間，必有一種連絡存在，方能起同一的作用。不過感覺的自身，只可以看作實在的一種表示，和實在的本性不相一致，是應該承認的。

自然科學的材料，即科學的事實，由於感覺的要素所合成。只有直接的感覺或間接的感覺，成為科學的構成基礎，就此發達起去，始成科學。至關於外界認識的本能如何，物的自體的本性如何，認識的本質如何，這些問題，非待哲學來解決不可。現在我們的目的，專在研究教授自然科學，所以對於這些問題，可以不必深入。只須求得在感覺世界中能夠統一的知識即足。

和感覺印象相當的實在的本性，究竟實際存在與否，或僅不過思惟上的產物，這個問題，從古至今都成為哲學界中的一個極重要的問題，歷史很長。就常識說起來，一塊黑板，是一個實物與吾人的意識作用全然是獨立存在着的，其實不過是由黑板得來的感覺印象，在我們的意識中結合而成的一個統一的觀念罷了。再取一個例來說明，譬如說糖是白的甜的，並不是說糖和白和甜相等，只不過發表糖的性質罷了。物體既然不能和他的各種特性相等，當然也就不能看成是他全體性質的總和了。那麼接着發生的問題，即是帶有這些性質的，到底是什麼東西？這就是物的實在的問題，又稱為實體的問題，種種的論爭都萃集於這一個問題上。英國的陸克

(Locke) 以爲實體的存在是可以說的,實體究竟是何物,却不能說出,是各種性質的一個不可知的保持者。這一類的思想,在物理學家誠爲極有興味的問題,但却不是物理學的對象。德國的科學專家馬赫 (Mach), 阿斯特瓦德 (Ostwald), 赫克爾 等雖曾各由其專門的立腳點,涉及哲學界裏,從事研究這一類的問題,但是他們的成就,已經成爲哲學中的一大派別,舉世皆公認他們爲哲學家,不僅爲物理學家,化學家,和生物學家了。自然科學的自身,對於這些問題一毫不顧,向着一直線發展開去,這是科學的歷史可以證明的。譬如伽利略牛頓,弗打 (Volta), 法刺第 (Faraday) 等,並未嘗將這種認識上的疑惑作爲基礎,只就實在的世界,完成了他們的偉大的發見。

還有一層應當注意的是自然科學所說的物,和法律學上所規定的物,略有互相交錯的地方。法律學上所規定的物,是可以屬於我們自由支配的人(自然及法人)以外的自然界的一部分,可以充吾人的需要,有位置的存在,是獨立的一個物體。照着這種規定,凡是不能服從我們的意志的,如日月星辰等類,在物理學上誠然是物,在法律學上就不能成爲物了。又凡不能使我們生活需要滿足的,都不成爲權利的目的,所以也不能算法律上的物。又物體的一部分有不能獨立存在的,所以也不能成爲物,例如一個鐘表,雖是一個物,但是他的蓋,當其還未拆下來的時候,只能算是表的一部分,不能獨立存在,所以在法律上說起來,不能成爲一個物,這也是和物理

學的物不能相同的。

第二節 科學的公理

用科學的事實作自然科學的材料,使其能够發展起去,須要有公理存在。公理 (Axiom) 亦稱公準 (Postulate) 是絕對不能由其他的事項可以證明的真理,是我們由經驗認為真實的一切知識的原理。有人以為公理是人類積若干代的經驗而成,雖不能證明,但確能使我們認為真實。其最為基本的公理,分為同一律,矛盾律,除中律,充足理由律的原理,計四種原理。自然科教授從一方面說起來,是一種思考的教科。訓練如何思考方能正當,為此科教授的一項重要任務。思考的原理即指導思考的根本武器,就是上舉的這種科學公理,所以教授自然科學時,對於這種真理,非有透澈的了解不可。現在逐條略為敘述如下:

(1) 同一律 (The Principle of Identity)。這是思考的第一原理規定,凡是用來作思考對象的各種觀念內容,其自身必須永久保持同一不變的,這是思考的基礎,非如此不能得正確的活動。用一般的公式來表,當為“ A 是 A ” (例如輕氣是輕氣)。既已將輕氣用作思考的對象,那就無論到什麼地步,都非使其能夠保持輕氣的本能不可,即是輕氣這個觀念的內容,永久保持其同一的性質。科學是將各種科學的事實,加以比較,由相互間的關係綜合而成的,假使這些科學的事實,

即是被思考的事物，變化不定，那麼，這些關係就成為無意識的了，這就是不承認同一律發生的自然結果。這樣說來，可知同一律不問時間如何，空間如何，總在保持一定的觀念內容，永久成為同一，使其和其他的觀念內容得以區別。

但是同一律一方面也並未嘗否定事物的變化及差別，只不過是主張變化差別的裏面，仍舊是保持着同一的性質罷了。例如松樹的大小，形狀，位置，和其他各點，固然可以變化，但就松樹的生命歷史看來，一般也是表示着同一的性質，當然可以思考其能保持同一性。一切的物，經過時間，多少總有點變化，並連其變化的程度，也可以預定出來。假使這種預定的變化不能存立，那就是否認一切的物的同一性了。譬如三十年前曾經看見過一個小孩，現在又看了一個小孩，和三十年前的那個小孩很相像，由這種的相像，決不致使我們誤認這兩個小孩是同一個人。這就是同一律的一個應用。一切變差之間，總須常常保持同一的性質，因這兩個小孩不能適合這個原理，所以不能成為同一個人。

(2) 矛盾律(The Principle of Contradiction)。這個原理是規定在思考作用裏面，既已認定一個對象A，就不能將同一意義，同一關係的對象認為“非A”。用一般的公式來表，即是“A不是‘非A’”。例如將一種物質認為金屬時，同時就不能再將此物質認為非金屬。又如既已認定樹葉的色為綠色，同時就不能又認為其他的顏色。這種論法，都是將矛盾律認為真

理的結果。 A 只能爲 A ,同時不能更爲非 A ,若同時又爲非 A ,就成矛盾了。兩者之中,只能擇其一而去其一,所以這個原理又可以用“甲若是乙同時即不能成爲非乙”這個公式來表。即是對於同一的事物既已肯定其同一,同時就不能再加以否定。所謂同時,不僅單指同一的時間,並指同一的空間而言。譬如水本能够有液體,固體,氣體等的狀態,但若一旦將水認定是液體以後,在同一的時間內,就決不能更認其爲非液體了。這樣看來,肯定和否定是思考的矛盾活動,不能同時皆真,若是肯定妥當,否定就不妥當,非除去不可。同一律可以說是肯定的思考的基礎,矛盾律是否定的思考的基礎。

(3)除中律(The Principle of Excluded Middle)。這個原理是由矛盾律引伸出來的,規定對於同一的思考對象,由同一的關係,在肯定和否定兩者當中,必成其一種,換句話說,互相矛盾的兩個說法,若有一個是真的,其他的一個就必定是假的;一個是假的,其他一個就必是真的。這是必然的要求,兩者之間,不能容許有第三者的存在。例如直線和非直線兩者之間,再不能思考有折中的存在。所以用一般的形式來表,就是“是 A ,否則即爲非 A ”,或 A 爲 B 或非 B 。用實際的例來說,看見晨曦,固然也可以說太陽出來了,也可以說太陽還沒有出來。將手放入溫水裏去,有人說是覺其冷,也有人說是覺得熱。但是若果將太陽出來了的意義,再說清楚一點,必要昇到如何的位置,方可稱爲出來,那麼,就沒有爭點了。對於冷熱的判

斷,也是一樣,如果定了一個標準的溫度,在這溫度以上稱為熱,在這溫度以下稱為冷,那麼,就決沒有不能一致的了。

以上所述的三個原理,是將思考的同一活動,由不同的方面觀察出來的結果,並不是彼此可以獨立區別的。各原理皆包含着其他的兩個原理,同在於闡明觀念內容的一致或差別的基礎。這三個原理又可總稱為異同的原理,其價值完全相等,都是根本的原理,應該並重的。

(4)充足理由的原理(The Principle of Sufficient Reason)。這個原理是說一般的要求“欲得正確的思考,必須有充足的理由”,即是規定吾人的思想,要有相當的論理的根據,方能行使,由這種根據方能生結果出來。這樣說起來,各種思考,都是由他的思考(即所謂理由)生出來的,而生來的思考,又可作第三思考的根據,以次遞推,生出各種的結果。所以我們的思考是互相關連着的一條連鎖,互相依存,互相制限,決不致含有沒有理由偶然發生的在裏面。所謂充足理由原理,又可簡稱作理由原理,在使我們於論理的關聯之下,能得正當的思考,因為我們確信思考的連續,一定要伴有充分的理由,能合着這個條件的思考就是正確的。所以這個原理不能不說是樹立知識體系的根據。實際上我們依據這個原理,纔能由已知的知識導出未知的知識。叔本華 (Schopenhauer, 1788-1860) 將這個原理分為四種: (1) 自然界所起的變化,須有充足的理由,即物理的理由原理; (2) 我們的認識的判斷,須有充足

的理由，即論理的理由原理；(3) 關於在直觀上出現的物，須有充分的理由，即數學的理由原理；(4) 關於人類行為動機，須有充分的理由，即道德的理由原理。

上述的四個原理，無論對於何種程度的思考，都成為基礎的標準。試一細察知識的展開狀況，即可知由未開化的幼稚時代，以至最高深的哲學思想，其間的程度，雖相差甚大，但這種相差，只在知識發達的狀況不同，因而所生出來的出發點也有差異，並不是方法上的差異，所以原理還是一樣。這四個原則，不特可以適用於感覺經驗，由原始的事實化為科學的定律，並且到了科學的最後理想，即是將全宇宙化為一個系統的時候，也依然可以適用。知識愈進步，這些原理的意義愈廣，其本質却並未變化。所以這四個原理可以說是科學知識的基礎的真理。

第三節 因果律

由上述的理由原理，可知一切自然界的活動變化，都具有充分的理由，方能發生，決不是在亂雜混沌的狀態。將這個原理應用到我們的經驗內容，即成為因果律(Law of Causality)。好在我們生存的世界裏面，並沒有什麼偶然的事件存在。一切自然界的現象，必各有其原因，有原因必有結果。縱令原因和結果還沒有被我們發見出來，但也確信是一定存在的。所謂原因是指在論理學上，關於連續變化時出現，某種狀態的

發生，必然需要的事情而言；所謂結果，是指發生的事情而言。不問原因爲既知或爲未知，總要在這個因果律底下去思惟各種現象的生起和存在，或是去認識其相互間的連鎖關係。否則科學決沒有成立的道理，我們也沒有鼓勇去研究科學的理由。這樣的因果律，是科學知識基礎的原理，自然科學教授的一切分科，因此也就萬離不了這個根本原理。譬如靜止的物體自身不能開始運動，運動的物體，不能自行改變速度和方向，在物理學上稱爲慣性定律，是論運動的基本原則。雖然我們的經驗有許多地方和這個定律相反，但是由因果律可以將其理由求出，就無可容疑了。將一片新鮮的鐵放在空氣裏面，不出數日，即見鐵的表面上生鏽。這種鏽到底是出於鐵的自動，還是由於被動？若說是自動，則須有動機，若說是被動，就非有一個使其生鏽的主使者不可。無論屬於何者，總之，我們確信有原因存在，要想去將原因探求出來。生物學中有一種自然發生說，雖一時成爲議論紛紜的問題，但從一般的定律推去，生物由完全的無，決不能忽然現而爲有，因此，這個爭點，也就不再能成問題了。物理學，化學，生物學都是這樣一步一步建設而成的，所謂力的觀念，質量常住的原理，能常住的原理，其基礎都在因果律。在自然科學教授上，這種思考原理其所以占重要的地位，也是當然的。

原因和結果的關係，雖說是極其普通，却又極其曖昧，所以引起種種的誤解。因果關係的根本形式，可以分爲四種：

(1) 一個物是原因，他一物爲其結果，這種形式的例，如樹木結實，由母體產生幼兒等，恐怕要算是應用因果關係的最根本的形式。(2) 將一物體看成其狀態或活動的原因，這種形式的例，如物體(尤其是有機體)爲其運動的原因。此時在原因和結果的中間，須加入一種媒介，在自然現象方面，用“力”作媒介，在精神現象方面，則用“能力”作爲媒介。例如物體的重量或惰性，有機體的生活力，爲生運動的原因。這個時候所說的力，是一種普遍的概念，以爲這是各種特殊的作用的原因。(3) 將狀態或活動看成物體的原因，這個形式恰和(2)相反。例如植物的成長由於光線的作用，光線究爲何物，並不過問，總將他認成爲植物成長的直接原因。(4) 將一種狀態看成是別一狀態的原因，這種形式的例，如在精神現象裏面，知覺爲記憶的原因(由於聯想)，或目的的意志爲手段的意志的原因；在自然現象裏面，消化爲血液製造的原因，末梢神經的刺激爲中樞刺激的原因。

日常思考中的因果關係，概都可以歸入上述的四種形式。由上所舉的例，可知同一的事件，因着眼點不同，遂致原因結果有異。又原因複雜的時候，那種是主要的原因，那種是副屬的原因，很不易判定，因着眼點不同，亦不得不異。至於原因結果的量的關係，也是異常複雜的，有時固然可以現出等量，有時又不可得而比較。例如一個運動體和他一物體衝突的時候，自己變成靜止不動，他物體却由靜而動，在物理學上說

起來，一個物體的動量(原因)可以一毫不損的傳給他物體，成爲他物體的動量(結果)。這種思考的背面，是將動量看成是一種獨立的，並不屬於任何物體，只不過是一個物體得來交給他一物體罷了。若不問現象的一切變化，僅由大局而言，前後是同一的。要包含着這個前提，方能有這個結論。這樣將原因和結果認爲同一性的假定，是我們的知性對於外界印象的一種要求，乍見或有與此不符的例，但結局仍想歸入這個前提裏面。例如運動體因衝突而成靜止，同時即發生熱；又如化學的變化也可以生熱發光，以及現爲機械的力，電也可以變爲熱，光，機械的功，化學的變化等。無論原因和結果的關係如何複雜，我們總有一種傾向想用同一性的假定來解決。自然科學的一切科目，都以爲一定量的原因，生一定量的結果，由一定量的結果，可以推出一定量的原因，是當然的道理。例如一定量的電量，可以分解一定量的物質，由分解而生成的新物質，常與電量成正比例。所以時常用分解量來測電量。要而言之，自然科學中的因果律的本來的意義，是說世界中並沒有什麼新的事物。驟然看去，好像是新生的，其實可以想爲不過是舊的交代而成的。所謂物質常住定律，能常住定律，都是由這個意義方能成立。

由上所述，可知自然科學的傾向是要用因果律的本質的關係來作自然界一切事物的機械的說明。例如用看得見的運動，變成看不見的分子運動來說明熱的現象，用能媒

(Aether)的振動來說明光和電的現象等。

第四節 構成科學的精神作用

蒐集科學的事實，使其成為知識的系統（即科學），必須有極複雜的精神活動，就研究這一個問題，非涉及心理學全體去加以討論不可。尤其是由感覺知識的要素而來的注意，記憶的條件，感情，意志的特質，以及構成知識的所以然，非一一究明不可，然後更進而研究思考本質的概念，判斷的成立，推理的各種形式。這決不是本書所能詳說的，只好將以後各章的說明中所必不可缺的各項條目，以及主要的各種精神作用，略記於下：

關於構成科學的精神作用，心理學家培因（A. Bain）以為可以歸入：（1）辨別作用，（2）抽象作用（即由各種印象提出類同的作用），（3）把捉作用三種。在一切的意識作用的過程中，感覺或感情，都是由印象引起的辨別異同的作用而起的。即是意識由一種狀態移到別一種狀態的時候，或起變化或呈破裂，有此原因方能現出辨別的精神作用。好像電的誘導一樣，一次圈內的電流不生變化，誘導電流決不發生，誘導電流的發生，一定是一次圈內的電流起變化或斷續的一瞬間。我們雖時常努力去蒐集科學的要素，但僅此蒐集，萬不能即構成科學。單只意識到一種感覺和他種不同，不過是接到一個消極的報告罷了，並未嘗告訴我們將有何種事件隨之而

生。在這樣的狀態裏面，各個感覺皆成孤立無依的，彼此之間毫無關係可言。要想將現在和將來的印象，統一成為過去的印象，還須有別種的精神作用。倍根以為人的不同，由於辨別力和抽象力的程度有異，即是說(1)和(2)完全是不同種類的精神作用。辨別作用裏面包含着有認定同等的作用，這是可以說是必然的，但無論辨別力如何豐富，而對於看破變種的假面具，和把捉同種的共通性，確有微弱的心意作用存在，這是不能否定的。用這種作用的強弱，來測定智力的發達，極其精確。從前的人以為心和蠟一樣，由外面來一刺激，即在其上遺留一個印象，這就是(3)的把捉作用。但是現今採用的學說，則將把捉作用看成一種生理作用，和習慣很相似。即是神經活動一次，那一部分就遺留下了一個變化，這個變化常有使同一的活動反覆重演的傾向。這種傾向即是把捉力，決不是觀念的自身遺留下來。遺留下來的傾向，成了開始與前同樣的活動的基礎，所以能使同一的觀念再現出來。所以由最初經驗的時候起，到再生為止，存在的並不是觀念，乃是傾向，不過遇有適當的環境，傾向實現出來，遂成為觀念罷了。

以上所述的精神作用，可以構成科學的事實，使其進入比較的階級，在心理學上說起來，比較要如何方屬可能，是一個很難的問題。現在要比較A事實和B事實，同時要注意着A B，既屬必不可能，當然只好交替着去注意。即是當我們注意着A的時候，不去注意B；注意B的時候，就不去注意A，因

此要將 AB 兩者相重起來作最公平的比較，是不可能的。從常識解說起來，當我們得 B 的知覺時， A 的記憶心象可以現出來和 B 相較，所以比較是可能的，但是由實驗研究的結果，已經完全否定了。據現今的心理學說起來，要比較的時候，並沒有故意使第一印象再生的必要，第一印象中可以比較的各點，若是和第二印象的同一點能夠一致，那麼，即有一種合致感情隨伴着第二印象的知覺發生；若是第一印象中的點和第二印象的同一點不能一致，即有一種矛盾感情隨伴第二印象的知覺發生，所以可以由直覺去比較。

想像也是構成科學的一種極重要的精神作用。想像當然不是過去的經驗的再生，乃是將實際的經驗作為材料，用一種從來沒有見過的方法來組織成器的，因為有這種作用，精神上的創作方屬可能。不過科學上的想像，並非單純無意義的空想，乃是具有一種合理的特色的想像，和精神上的想像不同。

思考是構成科學的高等精神作用。譬如說思考幾何學的問題，或是思考自然現象生成的原因，或是思考一篇文章的意義，都是有目的意識的一種有意作用。至其動機，總不外有一種疑問，和疑問同時發生的一種不安的情感，只要問題一得解決，即可滿足。那麼，更進一步試問要解決疑問須要什麼樣的精神作用？思考的要素究竟是什麼？可以歸入概念 (Concept)，斷定 (Conclusion)，及推理 (Reasoning) 的三種作用。

概念是一種心象代表知覺、記憶、想像裏現出的個別的表象，由於思考活動的經濟而來。我們有時雖也就各個特種的事物去加以思考，但這種的思考不能成為知識。單由表象或觀念而生的知識是毫無聯絡極不完全的斷片，和科學的知識不同。科學的知識是要具有普遍和統一的性質，所以非就概念來處理問題不可。使知識成為這樣有聯絡而且統一的作用，即是概念。關於概念的本質究為何物的問題，是哲學史和心理學史上一大爭點，非本書所能詳。

斷定是思考的根本作用，並不是概念構成以後方始發生的，概念自身就是一種斷定的結果。例如思考X線的概念，我們必定斷定他能使照相的乾板感光，能通過普通光線所不能透過的物體，有使鉑鍍化鋇的板發生螢光現象。離卻這些斷定，X線的概念內容已成為零，只不過是一個文字或是一種語聲罷了。但是斷定的形式係用言語來表示兩種概念的關係，所以不如說是將兩種概念結合起來即成斷定，比較上便利得多。譬如說“人是動物”，是表明人的概念和動物的概念的關係，這個斷定是表明若將人的概念內容分解出來，就可見那裏面含有動物的概念內容。

推理是由一個或數個斷定，必然達到其他的正確斷定的精神作用，所以和單純的斷定比較起來，是一種複雜的知的作用。例如由“凡物質皆受重力作用”和“輕氣是物質”的兩個斷定，可以推出“輕氣受重力的作用”。由是可知推理是

根據充足理由的原理,由一般的事實到達特殊的事實,或由特殊的事實擴充到一般的事實。一切的科學都是利用這個武器,成就他們無限的發展,無論在過去在現在或在未來,所得的一切統一的知識,都是出於這個精神作用所賜,其重要也就可想而知了。

第二章 科學的推理

第一節 科學的推理的本質

科學的全價值，由於就一個對象得來的知識，能否適用於其他類似的對象而定。僅將科學的事實保持着，決不能使我們滿足，一定要更進一步去求存在這些事實間的關係，來構成知識的系統。這就是構成科學的過程，所以整理這種關係的精神作用，在科學上甚為重要。科學的推理是將科學的事實和事實聯絡起來，使其成為一個系統的知識或定律的作用。系統是說種種的知識，由一定的原理互相聯絡成為一個全體，和漫無秩序的雜亂集團不同。譬如將許多的木材堆集在一處，這種構造，決不能稱為是系統的，但若依據力學的原理，排置起來，成為一間房屋，即成了一個有系統的組織。這樣一來，各部分對於全體或其他的部分，各有一定的必然關係，其存在對於全體都有一種的意義，並非可有可無的。這樣的系統，雖是由外來的原理統一的，但在各種有機體，其統一的原理卻存在本身裏面，成為有機的系統。許多的自然界的變化或現象，都是在這種有機的系統底下發育成長的。去發見這種體系，是科學的推理的職務。

推理作用是根據已知的類似體，等值體，相似體以及完全相等的事物，去推求未知的新現象。所謂相等相似，雖屬程度的問題，但總須適合於下列的原則：

在同一,相等,或類似存在的範圍,一種事物要是真的,他種事物也是真的。

譬如就一個地方的水,或一塊硫黃,研究所得的事項,對於別處的水,或別一塊硫黃,都要能够適用,這是上述的原則的規定,要是這個原則不能成立,那科學的真理也就沒有存在的餘地了。這個原則是由同一律及其他的原理推出來的當然的結果,但是適用的時候,頗不容易。應用這個原則之前,須先對於相等或類似的程度有充足的保證,對於不完全的類似體,須先知道運用這個原則的條件,方可免去錯誤。所以科學的推理最重要的任務,在於研究如何方能得其正路,不致入於迷途。現在試先就相等的事項言之。在我們所認識的森羅萬象裏面,能否發見兩個絕對相等的事物。人心不同,亦如其面,在現今二十億的人類當中,要尋出兩個完全同樣的人來,決辦不到。米粒亦復如是,外觀似覺任何米粒皆是同樣,但若用廓大鏡一爲檢察,則各粒有各粒的特別個性,決不相同。用人工製造出來的物體也決不能完全一樣。例如學校裏學生用的棹子,當向木匠定做的時候,本是要一樣的尺寸大小,但是拿來詳細檢查,各張棹子的材料構造,各有不同的地方,數十數百的棹子裏面,完全相同的絕對尋不出來。這樣看來,要想由人工製兩個完全相同的物體,也是徒勞。就是化學上認爲同一的同種元素的分子,現在也發見具有個性的理由了。

再從反對一方面說,我們斷定是完全不相類的事物,現

在也可以尋出他們有相似的地方，不過程度不甚高罷了。譬如亞細亞的人種和歐羅巴的人種，彼此有類似的地方固無庸說，就是人和馬，人和蛇，人和花，以及其他種種之間，又何嘗不各有其類似的地方。船上的舵夫和內閣的總理，地位誠然互相懸絕，但舵夫的職務在於定船的航路，總理的職務，在定國家的行政方針，就這一點看來，仍然有互相類似的地方。科學的推理其作用在用既知的關係（即知識）作為媒介，去認識類似概念間所存在的關係。發見類似的最簡單的手段，係用一種媒介物，稱為標本。要檢查一件貨物的兩個不同的部分是否相等，並不必將這兩部分放在一處來比較，只要用一種標本，其組織、外觀以及其他各種顯著的性質，和欲檢查的一部分相似，將這個標本拿到第二部分去比較，即可知其一致與否。譬如要比較兩座塔的高低，事實上當然不能將一座塔移在他一座的旁邊，所以非用中間的物體來作標本不可。這個標本就是單位的起源。這個方法就是對於時間不相同，空間不相同的兩個物體，也可以比較。譬如在音學裏面，用振數一定的音叉來比較各種音調，用測音器來測振數，都是應用這個原理。

在推理裏面求出來的斷定，稱為結論（Conclusion），用作理由的斷定，稱為前提（Premise）。一般用既知的知識作為前提，由此求得的知識則為結論。論理學上由前提和結論的性質，將推理分為演繹和歸納兩種。演繹（Deduction）的前提對

於結論的關係，是全體對於部分的關係，由普遍的定律或原理，去推求特殊的事實。歸納(Induction)和演繹相反，前提對於結論的關係，是部分對於全體的關係，根據特殊的事實，去誘導普遍的定律或原理。除此兩種的推理而外，還有一種形式，稱為類比(Analogism)。這種推理的前提對於結論的關係，是部分對於部分的關係，由某種特殊的事項，可以推求他種的特殊事項，所以又可看成是一種不完全的歸納推理。

第二節 演繹的推理

關於演繹推理的一般的說明，無論任何論理學書中皆有，可以自行參照，本節只將自然科學教授上必不可少的各項，摘錄出來，以省篇幅。由一個既知的命題，直接即推定他一命題的推理，稱為直接推理(Direct reasoning)。在各種推理中，以此為最簡單。例如由

金屬是電導體

的前提，立即推出

液體金屬是液體電導體

的結論。又如由

植物是分解炭酸氣的物體

的前提，立即推出

顯微鏡的植物是分解炭酸氣的微生物體

的結論。

但是演繹法的最普通的形式，卻係由兩個既知的命題去推出一個新的命題，稱為間接推理 (Indirect reasoning)，又稱為三段論法 (Syllogism)。其模範式如下：——

凡金剛石都是可燃的物體， (大前提) M 是 P
 這個寶石是金剛石， (小前提) S 是 M
 所以這個寶石是可燃的物體。(結 論) 故 S 是 P
 或 凡酸 (P) 都可以使青色石蕊液浸過的紙變成紅色 (M)，
 這個液體 (S) 能使青色石蕊液浸過的紙變成紅色 (M)，
 所以這個液體 (S) 是一種酸 (P)。

由此可知，三段論法是用小前提 (Minor premise) 的命題作為媒介，再由大前提 (Major premise) 的命題，將第三命題引導出來。用這個方法推理的時候，在科學裏面最有注意的價值是兩個前提的命題，皆用同一的主辭。例如由

輕氣是密度最小的物質，

輕氣是原子量最小的物質，

推出

密度最小的物質是原子量最小的物質。

但是用這種形式的推理，須要前提的主辭和賓辭為同一性，方能推出真的結論，若不是完全的同一性，只是部分的一致，就不能用。譬如由“輕氣是氣體”和“輕氣是無色的”不能推出“氣體是無色的”的結論來。在數學上 $A=B$, $A=C$ 的時候，可以說 $B=C$ ，這個論法是不是我們現在所說的形式？

由只有一部分能够一致的兩個命題，引導出一個新的部分的一致命題，是三段論法的特色，比起上述的形式，在科學上尤其非加以注意不可。前舉的金剛石的例，就是此種形式，今再舉一個否定命題如下：——

海王星是行星，

行星沒有逆行的運動，

所以海王星沒有逆行的運動。

再複雜一點，如

各種方向皆現相等的彈性的物體，不起複屈折現象，

這個結晶體的各種方向皆現相等的彈性，

所以這個結晶體不起複屈折現象。

以上所述的推理的形式，由於定言的命題而成，故可用“甲爲乙”或“甲非乙”等類的形式來表。此種形式之次一種，是將假言的命題用作前提中的一個而成，可以用“若甲是乙，則丙是丁”的形式來表。“若甲是乙”稱爲推理的前件，“則丙是丁”稱爲後件。現在將假言的命題用作大前提，則由小前提將前件肯定或否定，或將後件肯定或否定等，可以得四種的三段論法。用公式和實例對照着列舉如下：——

(1) 若甲是乙，則丙是丁，

甲是乙，

所以丙是丁。

若物質是碳元素，就可以燃燒。

這個物質是碳元素，

所以可以燃燒。

(2)若甲是乙，則丙是丁，

甲不是乙，

所以丙不是丁。

若物質是碳元素，就可以燃燒，

這個物質不是碳元素，

所以不能燃燒。

(3)若甲是乙，則丙是丁，

丙是丁，

所以甲是乙。

若物質是碳元素，就可以燃燒，

這個物質可以燃燒，

所以這個物質是碳元素。

(4)若甲是乙，則丙是丁，

丙不是丁，

所以甲不是乙。

若物質是碳元素，就可以燃燒，

這個物質不可以燃燒，

所以這個物質不是碳元素。

上述的四個公式的當中，(2)和(3)當然不真。物質不是碳元素的這個事實，對於性質上並未嘗有所指示。又僅僅由

可以燃燒的一個事實，也決不能就斷定這是碳元素。由此可知假言的三段論法中，凡否定前件或肯定後件的形式，其推理一般皆是不真的。

推理的第三種爲選言的三段論法，其大前題用“甲是乙或是丙”的形式，是一種選言的命題，這個時候的小前提，或是肯定，或是否定，兩者之中必選其一，結論也是否定或肯定中的一種，所以也有四種的形式如下：——

(1) 甲是乙或是丙，

甲是乙，

所以甲不是丙。

這是雨或是雪，

這是雨，

所以這不是雪。

(2) 甲是乙或是丙，

甲是丙，

所以甲不是乙。

這是雨或是雪，

這是雪，

所以這不是雨。

(3) 甲是乙或是丙

甲不是乙，

所以甲是丙。

所以這是雨或是雪，
這不是雨，
所以這是雪。

(4) 甲是乙或是丙，
甲不是丙，
所以甲是乙。
這是雨或是雪，
這不是雪，
所以這是雨。

這四個形式同是真的，錯誤的只有大前提。大前提裏面所說的“甲是乙或是丙”，雖不明白，但是其中實含有“兩者之中必居其一”的意思，因此又含有“甲若是乙，即不是丙”，和“甲若是丙，即不是乙”等類的意思在內。從否定一方說，這裏面又含有“甲若不是乙，即非是丙不可”，“甲若不是丙，即非是乙不可”的意思。

以上是說甲是乙或丙兩者之中必居其一的形式，但是選言的命題，並不僅限於此種兩肢的形式，有時又可為甲是乙丙丁三者之中的一種，即一種三肢的形式。有時又可將假言的命題和選言的命題連合起來，作為前提，形式頗為複雜，例如“若甲是乙，則丙是丁或是戊”。關於此類的議論，可以參考論理學，此處一律從略。

演繹的推理是否正當，可以歸之實質和形式的兩方面。

前提所判斷的事項若在事實上爲正當，而推理的形式，在規則上也無錯誤，那麼，得出來的結論，事實上也不得不成爲真。前提的事項雖在事實上爲正當，但若和結論的關係形式不正當，則得出來的結論，在事實上有時正當有時不正當，並沒有一定。前提的兩命題在事實上或同時不正，或有一不正，然和結論的關係形式上並無舛錯時，得出來的結論在事實上也有正當的時候，也有不正當的時候。例如

凡鳥類皆是哺乳動物，

鯨是鳥類，

所以鯨是哺乳動物。

由事實上不正當的前提，用形式上正當的論法，居然得出事實上正當的結論。由此例看來，可知縱令前提在事實爲不正當，同時前提和結論的關係在形式上也不正當，仍然也可以有時能得出正當的結論來。所以在論理學上能够斷定結論的正當，只限於兩個前提在事實上皆爲正當，推理的形式也沒有錯誤的時候。故對於所用的前提的斷定，務期其正確，同時對於所用的演繹方法又須力避謬誤，方能得正當的結論，這在科學研究上要算是極重要的事項。

第三節 歸納的推理

歸納法的特色，是所求的結論，比用來作前提的命題還要普遍，而推理的方法是分析的，和演繹大不相同。自然界裏

的現象，極其複雜混沌，所以須將他分解成爲種種要素，然後去研求其間的關係，即是由定律不明的事項，去發見他們所遵從的定律，所用的方法即是歸納。歸納法的目的，不是由已知的定律，去求他達到的結果，乃是由已知的結果轉去求統一這種結果的定律。所以演繹和歸納的推理方向是正相反對的，前者是由一般向着個別進行，後者是由個別向着一般進行。

歸納的推理的例如說金是元素，銀是元素，銅是元素，金、銀、銅皆是金屬，所以金屬都是元素。由個別的事實要如何方能得出普遍的斷定，這就是歸納法的根本問題。就這個看起來，由兩三種既知的事實，去發見一般的斷定，即是由已知進入未知思考上非有一種飛躍不可。這個飛躍稱爲歸納的飛躍，究竟須根據些什麼道理，這種飛躍方屬可能，大有研究的必要。我們對於自然存一種確信，以爲自然總是齊一的，我們的思想上的傾向，以爲各個事實決無有絕對孤立着的，對於普遍總具有一種關係，不過這種關係不能完全都是我們可以知道的罷了。這兩層就是歸納推理的根底所在處。在枚舉的歸納法裏面，舉出許多的例，論這些事項都是如此如此，所以凡屬這一種類的事項，都非如此不可。例如用種種的磁石來實驗都可吸引鐵片，於是遂斷定一切的磁石皆可以吸引鐵片。但是無論實驗時用過好多的磁石，總之由個別的結果去斷定一般的結論，總不能說是絕對確實的。歸納的推理，只

不過是前提的數目多些，至其結論的確實與否却不容易斷定。不過實例愈多，愈足使我們感到主辭和賓辭間，有決非偶然的關係存在，這就是信歸納結論爲真的根據。例如說金屬是熱的良導體，並不僅因爲由金屬得來的經驗度數很多，並且還有類推的根據，即是凡有同樣的性質（無論其爲物理學的或爲化學的）的金屬，都有這種新性質。可知類推的根據在於甲概念和乙概念相伴而起的關係，並無須要有許多甲和乙相伴的實例。實例的數目，無論多到什麼程度，也決不足以作甲和乙必然相伴的證明。

科學的價值在由現在可以預知未來，這種預知的可能性又有何根據，也須敘明一下。我們的五官所不能發見的事物的本性，居然可以預知，要去追窮這一層，確是一個意味深長的疑問。有限時間的經驗，決不能告訴我們支配此種事項的最後的知識。其理由有二：我們想像宇宙成爲一個整體，這個整體是不變的進行着的，但是對於這個整個的宇宙的自身實際上是怎樣的，却一毫也不知道。在宇宙的廣延內我們所知道的不過是其中的一點；在宇宙的無限連續裏我們所經驗的不過是其中的一瞬間。所以伏在過去裏面的未來變展的原因，不知有許多都被我們看落了，因此遂令我們很難確言未來是過去的生產物。關於未曾經驗的事物和時間，除由下列的假定而外別無他法。

(1) 我們的過去的觀察，對於已經存在的事物，可以給

與我們完全的知識。

(2) 適應已經存在的事物的條件，也是適應未來存在的事物的條件。

關於宇宙的創造，無論在何種變化裏面，都要有一切的經驗和一切的概念作用。這是人力所不能的。既然我們立足在沒有根底的經驗上面，我們的科學，以及推理的結果，都不能不說是缺乏真實的性質。只可以說推理的問題，是不能任意變化的，這一點可以認作未來的一切推理的基礎的公準，由此可知歸納推理的結果，總帶有假說的性質。

第四節 演繹和歸納

由前所述，可知演繹和歸納，是兩種正相反對的推理方法，而其目的所在，則兩者皆在闡明確定支配事實間的關係的一般定律，根本上並沒有什麼不同，不同的只不過是出發點。演繹是將一般的定律認為已知，然後再拿去適用於其他的事實。歸納是由個別的經驗出發，去發見其間的定律或原理。演繹的難點，在於須如何方能得到“凡金剛石都是可燃的物體”這個大前提的斷定。這種概括全體的斷定，大都是歸納推理的結果。所以說歸納推理是供給演繹推理的資料，演繹若不藉歸納的力，即完全失其作用。歸納推理由特殊事實進而為一般原則的時候，有一個原則，作其大前提。即是在數個事情相同的時候如能為真，則在其他一切的同事情

時，皆必爲真。歸納法既然是有這個大前提，拿去應用到各種特殊的事物上，所以也可以看成是演繹推理的一種。

我們所有知識，究竟是出於演繹，或出於歸納，這個問題，兩方面皆可以成立。又可以說一切的知識都是由歸納得來。我們其所以能知道關於自然界的關係定律，完全由於觀察自然界的事物而來。但是感覺的知識，僅能限於特殊的事實。欲得共通的關係或普遍的定律，則非採用推理的手段不可。即是經驗供給知識的材料，歸納則將這些材料消化成爲一般的知識。我們現在將這些知識，作成種種概括的命題或自然的定律的形式，無論何時只要有必要，都可以用演繹的方法迴溯起去，適用於各種特殊的事實。照此說來，演繹的基礎，可以從經驗的事實，用歸納推理引導而成，從這一點着眼，可見一切的知識都可以說由於歸納而來。再從他一方面說來，一切的推理作用，因爲是立足在演繹的原理上面，始能謂爲真實。沒有演繹法的知識，任何推理也不能存在。沒有能力去決定由一般的定律所引出的結果，即無法可以確定現象所依據的定律。好像算術裏面的除法，必須要有乘法作其先行的知識，積分必須要有微分作其先行的知識，方有立足的地點。歸納也非有這樣的先行知識作爲立足點不可，這個先行知識就是演繹。走入迷途去的人，要想復返原路，或是遇着一種偶然的機會，或是將前此的一步一趨，精確記出，舍此而外別無他法。經驗指示我們的事實，就和特殊的結果的迷途一

樣。有時乘着偶然的機會固然也可以發見出適用的定律，不過這種時候編少，大抵還是將那些由特殊定律得來的結果詳加研究，然後進入一般定律的時候為多。從這個意義說來，演繹有兩層重要的職務。一層是將歸納得來的結果適用於特殊的事項，一層是在理解歸納法的基礎。

由此看來，可知歸納和演繹在科學研究上，恰如車的兩輪，須互相為用，方能完成其任務。穆勒約翰 (John Stuart Mill) 曾經說過，科學的研究固然非從歸納入手不可，但由歸納既已將若干的原因結果的關係發見以後，即可用此作為基礎，由演繹的方法去推定其他現象的生起。譬如由歸納得知 A 的現象裏面有 B 的原因作用的定律，又知道有 C 的原因的作用定律，那麼，就可由演繹法去推知 BC 兩原因共同時所應當現出的現象。自然科學的教授，固然是從歸納出發，但僅用歸納也不得盡其職任，細察教材的性質，有時非加入演繹法不可，尤其是似是而非的歸納法，為自然科學教授上，應當力避的。

第五節 類比推理

兩個以上的事物，在若干類似的條件下發生時，其中一個所有的特性，在其他的裏面也可發見得出來，這種推論的方法就是類比。例如火星是行星中的一個，在其自身的軸上轉動不已，並且含有球殼、空氣、水等物，和地球一樣，於是就推

到火星上面，也有人類存在。照此例看來，類比的推論，只不過推究事物間有無某種性質，因此而暗示其間的因果關係，故其結果並不確實，不過或許如此而已。要言之，即類比推論，是由兩事物現象間的一個類似，去預想他一類似的方法。

類比的推論也不僅限於事物和現象的類似，又可擴充到存在事物間的關係的類似。譬如前舉的例，內閣總理和船上的舵夫，地位雖相懸絕，但前者對於國家的關係，和後者對於船上的關係，則極類似。故用類比的方法，說內務總理是國家的舵夫，亦無不可。物理學上溫度對於熱的關係，與電勢對於電量，水勢對水電的關係，都可用類比的推理。

類比推理在發見上占着極重要的位置，可以由種種歷史的事實證明。我們每當感覺到一種新現象的時候，心理的第一衝動，就是要將他和最爲類似的現象關聯起來。化學家發見了一種新元素，其試驗處理的方法固然層出不窮，但是假使發見了這個元素所呈的性質，有和鹼性金屬類似的地方，必定就進而研究他有沒有鹼性金屬的其他的性質。譬如碘化鈣是立方體的結晶，所以就可以預言和他類似的氯化鈣也是同樣的立方體結晶。化學不外是注意物質的性質，由比較聯合的作用，發展開去，將深藏着的類比關係引導出來罷了。其他各種科學也是這樣。譬如牛頓將蘋果的落下運動和天體的運行比較起來，遂立下重力說；達爾文由人爲淘汰可以使動植物變種，遂立下自然淘汰適者生存等類學說。

爲進化論的基礎。這些都是由於類比而來，其他實例直不勝枚舉。

欲求類比的結果成爲有效，所取兩種事物或兩種現象，至少也須有兩三點互相類似的地方。類似點愈多，差異的地方當然愈形減少，類比的結果，也隨着愈近於確實。不過無論如何和確實接近，類比的結果總不過是或許如此的性質，類比是推論中最簡單最原始的方法，由此只能得或許如是的暗示。欲確定這個暗示，還得要用歸納法；欲檢查他有無錯誤，還得要用演繹法。非如此不能增廣我們的知識。由此說來，類比在推理的根本上可以算得極有價值的了。就自然科學教授的實際上說，類比法的用處，確爲重要。液體的代表爲水，氣體的代表爲空氣，教授上只須將水和空氣的性質，詳爲講述，由此即可發見水以外的一切液體，空氣以外的一切氣體的許多性質，即其一例。

第六節 科學的研究法

由經驗的事實出發，去發見新原理，或用推理的方法，去闡明新事實，再去求說明一切事象的大原理，即科學的目的。所在的普遍定律，凡此種種，除依據論理的思考法而外，別無他法。科學的自身，其實就是由這個方法建設而成，所以這個形式，稱爲科學的研究法。至其內容不過是應用論理學罷了。

科學的研究法的第一步，以蒐集科學的事實爲始。蒐集

的方法，共分三種：即觀察(Observation)，實驗(Experiment)證明(Demonstration)。欲得普遍的知識，須公平採納自己和他人的經驗，綜合融會起來，方能達普遍的目的，若專用自己個人的經驗，就難免不失之於偏狹。科學研究法的第二步，在將所得的事實，詳細分析比較，然後辨別其異同，爲之分類(Classification)，即是整理由經驗得來的事實，同時認知其相互關係的方法。以上的兩步，都不過是簡單的事實記載，不能即成爲科學的知識，欲得科學的知識，還要更進一步，去求其間的普遍關係，用這種普遍關係來作事實的說明(Explanation)。欲達這個說明的目的，有歸納和演繹的兩種。前者是由觀察實驗實際的事物而達一般的定律，通常稱爲發見法，後者依據一般定律去說明種種的事實，排列成爲知識的系統，所以通常稱爲系統法。多大數的科學都是出於歸納的推理以達普遍的定律或原理，所以歸納的研究法，在科學研究上較爲重要，因此又特稱爲科學的研究法。當然科學的研究法，不是能够澈頭澈尾都用歸納的。有時將想像構成的假說，作爲前提，由此用演繹法去推求必然的結果，來證實科學的真理，這是數見不鮮的。檢查假說的真偽判別他的正當與否的方法，是科學的研究法的第四步，通常稱爲檢證。由檢證可以判別某種假說是完全錯誤的，某種假說是真的，某種假說的真偽雖一時仍不能決定，但也可以使他因此而增加其信率(Probability)。由檢證確定的假說，即通常所稱的定理(Theorem)。到

了這一步，那些最初漫無秩序的斷片事實，纔編成了一個有系統的知識，事物的關係方始顯明。但是一切的科學，不能都照着這個方法發展成功，有時非按照一定的次序由各方面進行不可。實際上欲使一方面的知識發達充足，非使和他有關係的各方面的知識協力進行，決不能完成。由研究者說起來，欲使其自身所專門的一科盡量發展，須用其他研究者的專門知識，作為補助，這是極為必要的條件。

以上所述，不過是涉及科學全般可以適用的研究法，概括起來的結果。至於特殊的科學，各有各的特殊研究法。欲登高山的頂，也有幾條的道路，山形不同，開拓的道路也決不一樣，從沒有獨一無二的完美方法。關於科學研究法的一般的知識不過是給我們一個最初的關鍵，使我們知道如何去尋科學定律或原理的暗示，如何去發見他們，解決一種疑問時如何去選擇道路而已。

第三章 觀察和實驗

第一節 觀察和實驗的區別

前曾說過科學的研究，以獲得科學的事實爲始。觀察和實驗，就是獲得科學的事實所必須的手段，一切的經驗，都由此而成。觀察是我們對於各個事實的知覺，在統一經驗的時候，第一步必須做的事；實驗是由人力來變化事物由來的條件，然後去觀察其結果。觀察是等着一種現象自然發生的時候，去注意認識；實驗是在任何時刻任何地方，以自己的努力去使一種現象再現出來而去加以觀察。觀察是注意記錄自然的情況，不能妄加更動，所以是被動的；實驗是對於我們所求的事項，可以加入我們的意志，任意變動，所以是一種活動的觀察。研究科學的時候，應該用觀察作主，還是應該用實驗作主，完全由於科學的對象而定。譬如關於天文，氣象，地質等學科，是觀察的科學，物理學，化學等却是實驗的科學。

僅由觀察，可以知道一種現象對於發生這個的條件，是怎樣的一種關係。但是這個條件，究竟是不是這個現象的必要的原因的全體，却無從斷定。虹的出現和下雨的現象同時發生，由這個經驗可以判斷雨是虹的一個原因。但虹的原因是否就止限於雨，却無法斷定。到了這個時候，須用實驗的手段，來變更這個條件，再行觀察這個現象能否發生，然後纔能

確定兩者間的因果關係。由此看來，要想得正確的知識，非恃實驗不爲功，因此不得不承認實驗比觀察尤勝一着。實際上因爲欲求自然科學的原理，往往要做出許多不自然的實驗，如像將酸液注在種種的金屬上面，去看他們起什麼樣的變化，可見就是只要純粹的觀察的時候，也要用自然的實驗去觀察，決不是單純的觀察所能完事的。舊時的天文學研究天體的運行，僅用純粹觀察，現在則不然，要選擇適當的地方和適當的時刻去觀察了。對於氣象亦復如是，雖沒有方法可以使氣象發生變化，但是現在或是利用高山深谷，或是利用飛機氣球可以在任意的時刻，任意的位置實行觀察。即是由單簡的觀察，進而爲實驗的觀察，科學的程度，也隨着進了一步。又如空中的閃電，和摩擦過的琥珀，有吸引輕物體的作用，這兩種現象對於人類，皆生出極深的印象，但仍不過是偶然的觀察罷了，後來將這兩種現象，歸入同一的原因，因而得知其真象，則完全是實驗的結果。

雖然如此，但若再一仔細考察，即可知道觀察和實驗的區別，也不過是程度上的問題，並非種類上的不同。無論用人力去變更條件，然後觀察其結果，或是等着現象自然發生，根本上實在並無差異，因果的關係總是一樣，故其論理的價值並無變更。只不過發生現象的條件，若能够由人力變化，則觀察即近於實驗，否則即近於純粹的觀察，所以實驗也可以說是觀察的一種。

第二節 觀察的要件

沒有錯誤的觀察是求精確知識的第一要件，嚴密的觀察是發見事件真相所不可欠少的要素。觀察上應該注意的條件約有數種。

(1)須平心靜氣不可動感情。人的五官和精神若呈異狀，即決不能得正當的觀察，這是極明白的道理。逐鹿的人不見有山，“心不在焉，視而不見，聽而不聞”，都是指這種狀態。培根曾經說過：“人心和凸凹不平的鏡子一樣，由他反射出來的自然事物，不能和天然的完全相同”。所以要想得沒有錯誤的觀察，非平心靜氣，持公平無私的態度不可。但是我們去研究事物的動機，由於感覺他的興趣而來，所謂平心靜氣，不動感情，是指我們觀察時的態度而言，並不是連這種興趣也要抹煞無餘的意思。

(2)須觀察事物的天然狀況不可挾持成見。人若挾有偏見或預想，即有強迫觀察使向着最便利的方向進行的傾向。這是古來許多的科學者嘗過的苦經驗，因此使他們的發見坐失時機的例，實不勝數。人類大抵總不免要受既往的經驗和既有的知識所支配，所以物理學家對於一種事件總是想從物理學的方面去觀察，化學家遇着一種事件，總是想從化學方面去觀察，這是免不了的事，不過須竭力避去急於圖功的心思，切不可因為要想得某樣的結論，遂將觀察的方法

任意變更以求便利。因為要想避去這個弊病，有人遂主張觀察的時候，務必選擇對於所研究的题目的目的尚未周知的人，使其觀察，結果當較佳，這種說法似又未免矯枉過甚了。

(3)觀察的範圍務求其廣，並須依據正當的感官。人類知識的範圍，不能不受感官作用的制限。故當觀察事物的時候，不能不推廣範圍涉及多方面，然後運用正當的器官以事觀察。譬如視覺則委之於眼，聽覺則委之於耳，嗅覺則委之於鼻，觸覺則委之於皮膚等，一件事項總委之於正當的感官，方能得真實的感覺印象。不但如此，一種感官的作用，都有一定的制限，並且還有錯覺，所以必須用間接的方法將感官的範圍擴大不可。例如對於視覺，則用形態擴大法和距離遠近法使其擴大，得見尋常所不能見的事物；對於聽覺則用微音法使其擴大，得聽尋常所不能聽見的聲音。

(4)須有一定的目標向之進行。這一項乍看起來，好像和(2)(3)兩種要件互相矛盾的一般，其實並不然。我們觀察的事物，決沒有恒定不變的，若就其天然的狀況觀察，極其複雜。同一的事物，因觀察的立足點不同，遂呈不同的外觀。所以要得科學的知識的材料，須先意識着一定的目的，然後循着這個目的從事進行。若沒有這樣的目的，漫然對着天然的狀況觀察，實不容易得到有價值的材料。例如觀察聲音，若看作是空氣的振動，則由物理學的目的去觀察，若因他的音波傳入耳內發生美感，看成精神的事實，則由心理學的目的去觀

察。即是觀察的時候，須預先想到我們注意是那一方面，然後方便進行。尤其是那種可一不可再的事項，在觀察之前，更有預定目的的必要，否則必致坐失機會一無所成。

第三節 觀察的限界

人類的感官受有一種天然的制限，因此觀察上也就生出一定的限界。我們的聽覺對於每秒三萬回以上的振動，因其太快不能發生音的感覺，對於每秒十六回以下的振動，又因其太慢，也不能起音的印象。對於熱、光以及其他凡由五官的組織傳來的感覺，莫不受自然的制限。不能因為我們的感覺力有一定的範圍，就否認範圍以外的事實的存在。振動過急，人類的聽官雖然不能發生音的感覺，但是有種昆蟲確能聽得出來，並且還利用這種高速的音波來互相通信。紅外線和紫外線都不能使我們發生光的感覺，但是用溫度計和照相的乾板，立即可以檢查出來。導體表面上配布着的電密度，電勢差，以及放射性物質的放射作用等項，也都是我們直接的感覺所不可得而觀察的，但用間接的觀察方法，即可達其目的。緣這樣直接不能感覺因發現出間接觀察的方法，遂得新認識，其結果在科學界裏引起絕大的革命的例，確實不少。

如用器械以作觀察的補助，則觀察的制限，由於器械的構造性質而定。對於遠距離的物體，則用望遠鏡，對於細微的物體，則用顯微鏡，即可使其出現於我們的視力圈內。至於用

此種器械可以觀察得到的範圍，則由其倍率如何而定。據我們直接的觀察，動物是自由運動着的，植物是固定不動的，但是用顯微鏡來觀察，立即發見有許多微生植物，其活動狀況較動物爲尤甚。據最近的學說，甚至無生物如礦物等的分子，也都是在運動着的。觀察分子運動的裝置如布朗(Brown)運動的器械的發明，也是使科學界發生大變動的一大原因。

第四節 實驗的理論

自然界的現象，都是以極複雜的關係互相結連着的，所以僅用單純的觀察，不能得知其真理。要分析起來研究，須將此種事物置於種種的環境（如溫度，壓力，電場，化學作用等）的裏面，去觀察現象的變化關係。這種辦法即是實驗。

實驗因其性質不同，分爲定性的 (Qualitative) 和定量的 (Quantitative) 兩種。物理學家在塔頂上和地面上實驗重力作用的差異，化學者檢查某種礦物裏面含着些什麼物質，都是定性的實驗。更進一步，去求塔頂的重力作用究竟和地面的重力作用相差若干，礦物內所含的各種元素的百分比爲若干，即是由一定量的原因，去求發生出來的結果的數量的關係，則爲定量的實驗。實驗又依其目的所在分爲歸納的（即發見的）和演繹的（即檢證的）兩種，前者的目的是實驗由事實引導出來的結論，後者是實驗結論引導出來的事實，究竟和實際的事實一致與否？

就是最簡單的實驗，也有許多的情況應當加入考察的，所以由論理的方面去研究，直是沒有限制。例如試就兩棒相擦生熱，一想其條件。棒的形狀，硬度，組織，成分，摩擦的壓力和速度，周圍空氣的性質等項當然是要考察，就是地球的重力，電的作用，由太陽傳來的輻射，實驗者自身的體溫等項，也非顧慮不可。若不管這些複雜的情況，將他們看做對於摩擦生熱的現象毫無影響，就斷定生熱的原因，只在摩擦的機械功，似乎未免太過於疏忽。這個實驗的目的，是在發見生熱的真實情況，所以對於上述的各種情況，須逐一的施以實驗，將與發熱無關的情況證實後，再行一一除去，最後始得出兩物體摩擦所消費的機械能，是發熱的唯一原因的結論。但是像這樣用論理的討論施行的實驗法，實施上不可能的時候很多。因為論理的實驗法所要求的地方太多，決不是實驗者所能辦得到的。不得已只好拋棄嚴密的論理的實驗法，而信賴自己先見的考察，以期早日達到結論。因此一來所以往往陷入意外的謬誤。

我們所行的實驗多半是在空氣中施行，一方面又常常將這些現象看成和氣壓氣溫等情況沒有關係。但是在空氣裏面有許多物質很不容易進入我們的觀察之中，壓力，溫度的變化對於這些現象確有相當的效應，所以應該離却這種情況去實驗，方能發見確實的結論。空氣中若有微量的食鹽浮游着，對於景(Spectrum)的研究上，就有極大的妨礙。生物的

自然發生說，是將空氣中微生物的萌芽置之度外而生的結果。沒有排氣機的發見，決不至會由稀薄氣體內的放電現象進展至於X線的發明。

實驗的結果，一種現象 R ，是由 A, B, C 三種情況而得，若是假定 R 的原因，僅有一個條件，則可得 A, B, C 的三種；若假定 R 的原因，是由兩個條件結合而成的，則可得 AB, AC, BC 的三種；若假定 R 的原因為三種條件共同結合而成的，則僅有 ABC 一種。僅僅三種情況，就非考察七種的原因不可，由此可知情況的數再一增加，應該考察的原因，必更形複雜。所以實驗的第一要件，不能不舉實驗的簡單化。即是將以為是原因的各種條件逐次檢查，隨檢隨棄，以減少其數目，而達於真正的原因。單就一個情況實驗，若是要想研究的現象可以發生，那麼，就可以想到這個情況，或許就是這個現象的原因。化學分析就是用的這個方法。

實驗的第二條件，是每次實驗僅可變化一種情況，其餘的情況皆須保持原有的狀態。這是因為若果同時使兩種條件變化，則實驗的結果，不能決定到底是由於那一種原因？或許是兩種結合的結果也說不定，這是一層理由。還有一層是兩個條件或許是因為互相抵消了，所以不生結果，也說不定。例如要想證明養氣是動物生活所必要的時候，切不可將蠟燭放在瓶內燃燒，除去瓶內的養氣，然後將動物放進瓶內實驗。要是這樣去實驗，就不能決定動物的死，究竟是由於養氣

的缺乏，還是由於燭火生出的氣體有毒，或有窒息性。拉瓦錫的燃燒實驗，也因為這個理由，須避去普通的空氣，因為空氣不是單純的物質，是由種種的氣體混合而成，所以無從得知他們的影響。

第五節 穆勒的科學分析法

自然界的現象，如前所述，關係的地方極為複雜，所以作系統的決定，非照着科學的研究法，加以精密的實驗和觀察不可。漫無秩序的觀察和非論理的實驗，無論施行若干次，也引導不出正當的結果來，須將實驗觀察和科學的研究法的關係，特別詳加考察，方能達到目的。對於這一層，穆勒（John Stuart Mill, 1806-1873）曾經定下有五種的科學分析法，極為適切，一切的科學研究，皆非遵從不可，又稱為穆勒的歸納的方法。

(1)一致法(The Method of Agreement)。加熱於冰，蠟，鉛，鐵等固體，都起熔解的現象，由此可以推知固體熔解的原因為熱。凡如此類，在欲研究的現象的二三實例中，可以發見出一個共通的事情，這個事情或即這個現象發生的原因，或和現象的發生有一種關係，這樣去思考的方法即一致法。用此方法成功的例很多，其中最有名的一個為英國的物理學家部盧斯脫（Brewster）發見真珠光的原因。關於真珠蚌所呈的特殊的色彩，有許多的學者，都歸因於化學的性質，所以消了不

少的時光，去分析各種呈真珠光的物質。後來都盧斯脫偶然將母真珠的一片印到樹脂或蜂蠟上面，發見樹脂或蜂蠟上面也呈真珠光。於是更將他印到芳香樹液 (Balsam)，可熔金，鉛，亞拉伯樹膠等類的物質上面，細加檢查，果然也都無一不放出真珠光彩來。於是遂斷定真珠的光彩，並非由於他的化學性質，真正的原因，還是他那表面的物理學的性質。又如浮在水面上的油膜，雲母的薄片，玻璃的裂痕等爲日光所照，即現景色 (Spectral color)，但是這種種的物體，有一個共通的情況，即是現景色的地方，都是薄層，所以遂斷定這個現象的原因，出於薄層，亦其一例。

這種一致法在科學研究上用途雖廣，但却決不是完善的方法。只能由此認識得到大體的因果關係，不能作確實的斷定，要得確實的斷定，還須用別的方法來補助。一般說起來，科學家對於一種現象着眼去想，有什麼事物和他相關，雖極其巧妙，但同時也有一種弊病，即是往往因此陷入謬誤的考察，偏重自己的專門，忽視其他的方面。欲免這種錯誤，對於自己初看起來似乎無甚關係的事項，也不可大意，務必用適當的實驗來作最後的判斷。

(2) 差異法 (The Method of Difference)。在空氣裏面搖鈴，可聞其音，在真空裏面搖鈴，即不可得聞，由此可以想到空氣爲傳音的一個原因。凡如此類對於所欲研究的現象，發生與不發生的情狀，僅有一項不同，其他一切的事情皆是共通

的時候，可以推知這唯一不同的事情，或就是這個現象的原因（或結果），或成爲原因的要部，這種推論即是差異法。差異法以實驗爲主，其方法若能得當，可爲極有力的研究法。不過當加入或減出認爲是原因的事情時，往往須要相當的時日，遇着這種時候，有時誤將未曾注意到的事項加進去，因而入於迷途的例也很不少，所以用這個方法的時候，須要很嚴密的注意，方不誤事。用這個方法得了很大的效果的實例很多，在科學史上有一個最著名的實驗，即德斐（Sir Han Davy）對水的成分的實驗，即用此法。

1781年卡汾狄士（Cavendish）實驗用化學方法使輕氣和養氣結合，即成爲水，1800年尼科爾孫（Nicholson）證明用電分解水，即得輕氣和養氣。後來德斐發見通常以爲是純粹的水，經電解後陰極發生鹼性，陽極發生酸性。據他的意思，以爲水既然是由純粹的輕氣和養氣合成，那麼，反過來將純粹的水加以分解，也只能得純粹的輕氣和養氣，不能更得他物。現在既然發見了有鹼性和酸性，這生酸和鹼的原因，必不是水，因此遂疑及連絡分解器所用的動物性膜裏面存在的食鹽，改用洗淨的木綿絲來連絡分解器，實驗的結果，鹽酸誠然沒有生出來，却生出了亞硝酸，他一方面依然生出鹼性和前此的實驗一樣。經這一次實驗雖然明白了動物性膜是發生酸的一個原因，但亞硝酸和鹼的生成，却仍然是一個疑問。德斐因此又疑及鹼是玻璃的一成分，因不用玻璃分解器而用碼

礪杯來替代，結果依然還是有酸和鹼的存在。後來又改用金杯，結果仍然一樣。到了這一步，德斐方改變方針，以為這是由於實驗上的不注意而來，所謂純粹水，實有可疑的餘地。於是將所謂純粹的水再三的蒸餾，然後再來實驗，其結果雖無鹽酸和苛性曹達的生成，但仍免不了有亞硝酸和礪精的痕跡。乃更用輕氣來將水表面上的空氣逐去，再行實驗，最後方得到輕氣和養氣，此外更無他物。因此方得出最後的發見，即是水的電解發生的酸和鹼，由於水中的不純物和空氣而來。對於一種實驗須要如何的忍耐，如何的手腕，由此一例也就可以想見了。

(3)一致差異並用法(The Joint Method of Agreement and Difference)。這個方法，是先由一致法去比較發生一種現象的許多事例，將其共通的一個事情預定作為因果的關係，再由差異法，就不會發生這個現象的若干事例，去詳加檢查，若是這些事例裏面都沒有前面的那個共通事情在內，那麼，更足以推知那個共通的事情，確係這個現象的原因，即不然也是原因的要部。例如一方面知道肺呼吸發達的動物，皆是溫血；他一方面又知道肺呼吸不完全的動物也有一個共通的性質，就是都不是溫血；由此遂得出肺呼吸為溫血的原因的斷論。用這個方法成功的實例，也有一個很有名的，就是達爾文對於植物異花受精和自花受精的現象的研究。他選擇了一百朵花，一一加上一個網套，防止蜂蝶等類的昆蟲進入花

內，一方面另擇同樣的花一百朵，不加網套，任隨昆蟲自由出入，結果加網的花一朵也不結實，不加網的花却結了不少的實。由此遂得出植物的花是由異花受精的推論。

(4) 共變法 (The Method of Concomitant Variation)。物體互相摩擦即發生熱，摩擦的程度愈強，發生的熱愈多，摩擦的程度愈弱，發生的熱亦愈少，由此可以推知摩擦為發熱的原因。凡一種現象發生變化，同時又有他種現象隨之變化的時候，可以推知一種現象是他一種變化的原因，或是這兩種事實之間，必有一種關係，這樣的推理就是共變法。這種方法最簡單的例為溫度計內的水銀柱，隨着溫度的高低而起昇降，由此可以知道水銀柱的昇降和溫度的高低，兩者之間有密切的關係。又如增加弦的張力，發出的音愈高，減少張力，則音變低，由此可以推知音的高低和弦的張力，有因果的關係。這一類的實例很多。

這個方法的特色，是看成原因的事情，不能完全由現象除去的時候，即不能適用差異法，並且科學研究上所要求的是量的測定，也是這個方法的特色。因果的關係非由定量去決定不能達其理想。物理學中的波義耳 (Boyle) 定律，歐姆 (Ohm) 定律，莫不是由共變法確定出來的。

(5) 剩餘法 (The Method of Residues)。譬如一間房內，使氣溫昇高的原因有兩個，如一個是煤爐，一個是火盆，如是一時間後，室內的溫度昇高了若干度。此中的一個原因在一時

間內所能昇高的溫度，如屬已知，則其他一原因在此一時間內所昇高的溫度，即等於前兩者的差。凡如此類將一個現象分析開來，將其中的一部分的因果關係除去，則其餘的部分即成為這個現象的其餘的部分的結果，這種推論方法就是剩餘法。其最顯著的實例為海王星的發見史。1781年發見天王星的時候，得知其軌道現出一種異狀，不能由既知的關係說明，於是英國的亞丹斯 (Adams, 1819-1892) 和 法國的勒未累 (Leverrier, 1811-1877) 兩人遂推定這個異狀一定是受着一個未知的行星的影響。同時並將這個未知的行星的位置推測出來。其後不久果然由柏林大學的教授加爾 (Galle) 在這個預言的位置上，發見了海王星。剩餘法在科學的研究上極為重要，凡是我們研究的現象，拿去和已知的理論對照，如有不同的地方，即可想到一定另有別的原因存在，並還可以將這未知的原因的性質和數量，推測出來。英國的化學大家拉姆則 (Ramsay) 發見由空氣中除去養氣而得的空中淡氣，和用化學方法製成的純粹淡氣，密度上有差異，於是判定空中淡氣裏面，一定還含着別種類似氣體在內，分析的結果，遂發見出氫元素的新物質。又如由碳化氫的燃燒熱裏面減去碳的燃燒熱，即可推知所餘的熱量為輕氣的燃燒熱，這也是適用剩餘法的一個實例。

第四章 測定法

第一節 單位

一種知識的各方面，最初皆是由於概略的定量爲始，知識愈進步，定量的程度亦跟着精密。譬如表山高則言此處非常的高，彼處的山並不甚高，表氣溫則言北極的氣候非常寒冷，赤道地方非常的熱，溫帶地方溫暖合宜。再進一步，選擇出一定的標準，只要依據着這個標準說，無論何人都可想到高的程度和寒冷的程度竟到什麼地步，即是普通的知識到了這一步已進而成科學的知識了。例如說某處的山高若干尺，某處的溫度爲攝氏若干度等。其比較用的標準，即一尺一度等，稱爲單位(Unit)，比較一種量的大小多寡，稱爲測定(Measurement)。

測定須有器械，方可用來比較。一般用作比較的標準，都是任意的一定量，測定的結果，可以用這個標準量的倍數或分數來表。這種倍數或分數，並非絕對的量，只不過是一個比，各種的量除開這種比而外，還有一個絕對量。測定時間，空間，密度，質量，重量，能，以及其他各種物理學的量的時候，非各依據着他們的具體的標準不可。這些標準物一旦消滅了，以後就無法使之恢復，這種時候的測定就成爲完全無意識的動作了。這種具體的標準物從理論說起來誠然是任意的，但是設定的時候，却屬實際上便宜的問題。

測定的標準，分人爲的和自然的兩種系統。測長用米達原器，測質量用鈎原器，是人爲的標準。但是依據近代理論物理學大家馬克斯維耳 (Clark Maxwell) 的提案，則測長當用特種的光的波長，測時間當用其振動的周期，這就是自然的標準。人爲的標準，假使一旦破壞了以後，就不能再造出同一的出來，而自然的標準則可以應人的要求，在任何時刻都可再現。自然的標準雖極合理，但日常實用上還是以人爲的標準爲便。

時間、空間、密度或質量的標準單位，雖已設定，然有時另有一種量用他的倍數或分數去表示他種量較爲便當。譬如表示地球的大小，與其用尺，勿寧用里，表恒星間的距離，就用地球和太陽間的距離來作單位，也不嫌大。然一方面表顯微鏡的微細物則用一耗的千分之一，以作單位，稱爲秒 (Micron)。即是主要的單位以外還要用比較更大及比較更小的各種單位來作補助，稱爲補助單位 (Auxiliary unit)。主單位與補助單位之間須保有科學上最簡單的關係。科學上有時又設有一種補助單位，在數的關係雖難免繁雜，然在量的關係上，則極合理。例如化學裏面，將標準溫度標準壓力的輕氣一克占有的體積即 11.2 呎，定爲體積的單位，這是威廉遜 (Williamson) 的提案。如用這種單位，則單位體積的淡氣的質量等於 14 克，單位體積的養氣的質量等於 16 克，和原子量的數字一致，異常簡單。

時間,空間,質量三種單位既已設定以後,其他的各量的單位,就可以由這三種組合而成。例如由長的單位呎,可得面積的單位平方呎,體積的單位立方呎等。運動的狀況要是均一不變的時候,速度的單位可以由經過的距離對於所要的時間的比來表。同樣加速度的單位可以用在單位時間生單位速度的變化的物體的加速度來表,即是如用十進法,速度的單位爲每秒呎,加速度的單位爲每秒每秒呎。力的單位使用單位質量的物體發生單位加速度的變化的作用。在 C.G.S. 制,作用於質量 1 克的物體 1 秒間後,使其得 1 每秒每秒呎的加速度,這樣的力,稱爲 1 達 (Dyne),用作力的絕對單位。照此看來,許多的單位,都可以由長,時,質量的三種單位組合而成,所以稱爲誘導單位 (Derived unit),而空間,時間,質量的三種單位,則稱爲基本單位 (Fundamental unit)。

採用各種量的單位,完全在我們的自由。長的單位要用尺,體積的單位要用呎,質量的單位要用磅,固然沒有什麼不可以,不過這些量間的關係,太過於複雜,只是徒亂腦筋,並無益處。我們所希望的誘導單位,務必要求各量的數量間,有最簡單的自然的關係,然後用以計算或去求量的概念時,方能節省無謂的勞力。尤其是科學上採用的單位,要擇基本單位和誘導單位有共通的純粹關係的,用來表一切的量,纔覺便利。並且要比較自己和他人測定的結果或是要調查科學上的記錄,都要圖勞力的經濟,由這一點看來,不特是在科學上,

就是在日常生活上的問題，也大有全世界都採用十進法的傾向。

第二節 三基本單位

發生一種現象的時候，一定有何時，何地，何物的三個觀念進入我們的意識界裏來。第一是關於現象連續的時間量，第二是關於存在位置的空間量，第三是現示變化的主體的物質量。這三種觀念是基本的觀念，不能用更簡單的觀念去表。下一個觀念的定義，是將這個觀念歸着於比較更簡單的觀念上去，但是時間，空間，質量的三種觀念，却是一種終局的觀念，不能再下定義。古來有許多的哲學家，都曾經努力去試過，結局沒有一個得到滿足的結果。只能由觀察現象的展開，悟到這是我們所能得到的第一想念罷了。

時間的單位由地球對於太陽或對於恒星的運動而定。其理由係假定地球的運動不起變化，即是看成一種等速的運動。所謂等速運動是說在相等的時間所經過的空間必相等。按照運動的第一定律，若果不受別的力作用，這個運動的物體，就應該永久繼續着他的等速運動。但是這個定律並未經過絕對的經驗證明過。又等時的定義是說不受力的作用的動體經過相等的空間所須的時間。

空間的單位由長的單位來定。定長的單位，有三種的方法。一種是造成一定長的原器，如尺的原器，碼的原器等。一種

是用地球爲最後的標準,用子午線長的幾分之一來供實用上的目的。第三種是用秒擺(Second pendulum)的長作標準。第一種是現今我們採用的方法,要達這個目的,須要有唯一的原器。因爲要造成兩個絕對等長的棒,或是造成一個的幾倍,或其幾分之一的棒,都是人力所不能及的。縱令兩條棒今天可以完全等長,但到了後來,或許有一個發生了變異,那麼,在這兩個原器的當中,去判斷那一條是正當的,也是極困難的事。就是採用唯一的原器,也不能保證永遠不起變化,猶之不能保證地球的運動永遠是等速的一樣。要檢驗地球的運動現在是否還是等速,只有另外去尋一種運動,我們確信他是等速運動,拿來和地球的運動比較,除此而外別無他法。同樣要檢查原器的長是否起了變化,也只有另外去尋一種我們信以爲不變的棒來比較。實際上就是我們認作剛體的物質經過相當的長時間,確起相當的變化。溫度計的玻璃管就是一例。其他無論如何堅硬的金屬棒,經過長年累月,都會收縮或因溫度的變化,致令構造上也呈變化,也是常有的事。至於第二種方法用地球定作標準,也不能保證其永久不變。況且地球的收縮業已證實,而且測定也不容易,故其誤差很大。這個方法的長處,不過是選用的標準,絕對沒有遺失和破壞的憂慮罷了。第三種方法是荷蘭的惠更斯(Huygens)提出的,曾被英國的政府採用過。據擺的定律,發生振動的力及周期若相等,擺的長也必相等。但是理論上也有許多的困難。譬如就

北京說,到底北京地方的重力加速度是否永久不變,恒星時是否絕對不變,都是我們所不能斷言的。這個方法,只不過是一種間接法,由力及時兩種物理學的量,可以求出長的物理學的量罷了。就是實際上用這個測定法,也極其困難。

物理學的物體和幾何學的物體不同,不僅考察他的形狀還要去考察他的內容,這是物體的一切性質的所有者,是我們感覺的根源,稱為物質,其占有的量稱為質量。攝氏4度即水的最大密度時,1立方厘的純水所有的質量,稱為1克,用來作質量的單位,即是用一種人工的原器和測長的時候一樣。由測定上說起來,前者的精密度遠不如後者,因為測水的時候誤差往往有達千分之一以上的,而測重的砝碼則誤差只能在百萬分之一以內比較。所以用這種標準也和用砝原器等有同樣的短處。

第三節 測定法

凡作精密的測定須用器械,所以發明了一種新的測定器械,在測定法裏面即造成一新紀元。德斐曾經說過:“對於知識的貢獻,沒有一樣能及新器械的適用的。各個時代的人類的本性的智力,不能認為有若何成效的原因,到是各個時代所有的器械以及人工的資源,纔有極大的影響”。譬如熱學,因為發明了水銀溫度計,大為進步,後來又應用熱電偶(Thermocouple),溫度的測定更形精密。化學是由使用天平纔

創立成功的科學，要是用最初阿基米得 (Archimedes) 所作的，決不能像現今這樣的結果。十八世紀的末葉，法國的庫隆 (Coulomb) 創出扭秤 (Torsion balance) 來作科學的研究，現今用來作測定地球的密度，或微弱的電力，以及應用去製造銳敏的電流計等，凡是精密測定的器械，差不多都離不了這種裝置。

測定和新器械的關係異常密切，只須就溫度測定的例一察即明。溫度的測定最初是由皮膚所生的感覺，進而利用各種物質的融解點，其精確度尚復有限，更進而利用物體的膨脹性，酒精較水的膨脹更易觀測，空氣的溫度計比水銀溫度計尤為精密。更進而用熱電偶，與電流計結合起來，尤其敏銳，改良電流計的構造，與望遠鏡連合起來，可以觀察指針的微弱的振動，攝氏溫度的一度的萬分之一的差，也可以檢查出來。

自然界的現象，大都由於連續的增減其關係量而現的。所謂連續的增減的量，是可以任意分割並無制限的量，如長，可以隨意分為一耗的十分之一，百分之一，千分之一等。測定一個現象，固然專賴器械的精良，但是因為我們感官的認識力受有一種自然的限制，所以測定的精密度，也不能不受相當的制限。例如用尺來測物體的長，短至一耗或其幾分之一的數，固然還可以由目力判斷，再細如十分之一或百分之一等，即不能感覺得到，最多不過得知其約略的近似值罷了。用天平來測物體的重量，也有一定的限制，到了一定量以下的

差也不能夠感覺，所以這個最小的極限量特稱為感度 (Sensibility)。

人類的感覺往往將觀察傳錯，例如用目力辨別光度或照度，常常錯誤；在室內嗅久了一種極強烈的臭氣，對於他種的臭氣即辨別不出來；一手放入熱水裏，一手放入冷水裏，若干時後，兩手同時，放在溫水裏時，雖為同一溫度，然一手覺冷，一手覺熱；其他如聽覺味覺莫不皆然。一般說起來，要喚醒我們的感覺，須得有一定強度的刺激，和天平一樣，刺激過小，不能引起意識，在眼前飛過的彈丸不能看見，就是這個緣故。同時要使感覺的印象消滅，也得要有一定的時間，手持線香作迅速的轉動，則只見火點成一圓線，不復知其為一點，就是這個緣故。因此現象的測定，須對於感覺的印象下相當的判斷，其結果須加修正的地方着實不少。

精密的測定法，由於所測的量不同，性質大異，不過大要總不出下列的三種。

(1) 使欲測的量以一定的比增加或減小，俾能入於我們的感覺的範圍內，或與標準物相等，或與其倍數或分數相等的方法。例如一張的紙，直接雖不能測其厚薄，但將數十張或數百張重疊起來，即易測定，由此可以推出一張紙的厚為若干。

(2) 對於和欲測的量有直接關係的現象，去發見自然的連鎖的方法。例如由物體的膨脹去測溫度的變化，或由因溫

度變化而起的電流強弱,抵抗變化等去測溫度,都是這種方法。

(3)間接由他種和欲測的量有數學的關係的量測定的方法。例如欲測金箔的厚,可以由其重量去求:法拉第將金箔兩千張的重量求出爲 384 grain,箔的面積爲三個八分之三吋平方,金的比重爲已知,由此求出金箔的平均厚爲一吋的二十八萬二千分之一。

欲作精密的測定有兩個極重要的條件:第一欲測的量須要有一定的確切不移的界限。譬如測月蝕所生的半影,其境界極爲模糊,對於這種現象,欲得精密的結果是絕對不可能的。假使日景(Solar spectrum)裏面沒有暗線(Dark line),或是沒有鈉光等的單色光,各色的波長,決不能如現今這樣測得精密。第二欲使一種量等於他一量的倍數或分數時,須使其在無有著大的誤差範圍內增大或減小。比較非常大的量和非常小的量的時候,須用在這個條件下的中間量來作媒介,方能達其目的。例如欲測北京和上海間的距離,決不能用測竿沿途去實地的測量。只須在水準地面上設一數哩長的基線,一方面比較基線和標準碼,求其數值,他一方面比較這個基線和北京上海間的距離,即可將實在的數字精確測出。

第四節 誤差消去法

自然界的現象,單獨發生的時候很少,所以通常須要分

析起來研究的時候很多。液體發熱而生膨脹，溫度計就是利用這個性質製成的。但是實際上膨脹的，決不僅僅限於液體，譬如水銀溫度計，水銀固然起了膨脹，就是玻璃又何嘗不膨脹，我們觀察的實際的膨脹，乃是這兩種膨脹的差。所以欲知液體單獨的膨脹，非先知道玻璃的膨脹不可。再精確的說起來，還要想到液柱上的壓力如何，方能定奪膨脹的確數。大多數的地方，我們觀測得來的結果，都是由兩個分離的結果合成的。油（其成分為碳氫化物）的燃燒發生的熱量，一方面由於碳的燃燒，一方面由於輕氣的燃燒。我們雖不能將由碳燃燒而生的熱量，和由輕氣燃燒而生的熱量，分別出來，但若由全體的熱量中減去輕氣的燃燒熱，所餘的即為碳燃燒發生的熱量。又如液體傳播的熱，一方面由於對流，一方面由於傳導。化學上求液體的重量的，只能求液體和容器共同的重量，由這裏面減去容器的重量，方得出液體單獨的重量，這是人人都知道的事實。物理學上氣壓計的水銀柱高的變化，其原因有二：一由氣壓的變化，一由於水銀柱的膨脹。由這些例看來，可知自然界的現象，極其複雜，要精細考察某一種量，須視其性質如何，去定奪適當的分離方法。因為觀察和實驗的目的，專在由單純原因所生的單純結果，非避去其他的效應的干涉不可。如必不能完全免去，也務須將這種目的以外的影響，竭力減少，這件事稱為消去誤差，其方法不外下列的五種：

(1) 逃避法 (The Method of Avoidance)。這種方法是選擇

沒有誤差或誤差最小的機會去行觀察和實驗。如天文學即觀察的科學，多用此法。觀測天體時，由星發來的光線，因為受大氣的屈折，所以星的位置現出變化。由屈折率去計算，固然可以將星的真正位置計算得出，但仍不如避去這種原因觀察更覺方便。因為星體正當子午線上的時候，這種影響最小，所以利用這個時候來觀察，即不至發生誤差。

(2)差異法 (The Differential Method)。這種方法，是選擇一切觀察所生的誤差約略相等的情況，然後反覆觀察實驗，使誤差因此互相抵消。例如用天平測 A, B 兩物體的重量，先各放入一盤，後再轉換一次而求其平均。不過天平的構造上還有種種的缺點，不能因為轉換過一次，就可以斷定 A, B 的質量相等。另取一種第三的物體 C ，代替 B ，再精確平均之，然後始能知道 B 和 C 的質量完全相等。因為這個時候，發生誤差的原因，完全未變，所以只有 B 和 C 完全相等始能平均。由同一的理由，可知用完全同一的方法，由模子造成的物件，形狀大小雖和原來的模子不能相同，但是造成的物件彼此却相一致。

(3)校正法 (The Method of Correction)。這種方法，是先用最善的方法，將干涉一種現象的效應的量測出，然後將觀測的結果加以校正。例如氣壓計內水銀柱的高低，除氣壓的變化外，還因受熱而生的膨脹，和微管現象的影響。所以預先將膨脹係數和微管現象引起的降下作用等項精細測出，製

成一種校正表,以供一般使用,則由觀察的結果,立可求出真正的氣壓。或是拿去和標準氣壓計比較,將由器械的構造上和溫度的變遷所生的誤差製成一表,以備校正時用亦可。

(4)抵償法(The Method of Compensation)。這個方法,是在利用一種反對的效應,其量和干涉所測的現象的效應,精密相等,彼此恰相抵償,即可避去誤差。譬如用天平欲求物體的嚴密的質量,非知道和物體同體積的空氣的重量,即被物體排除的空氣的重量,不能得精確的結果。所測的物體甚小,大都賦之等閑,不去計較,但若在測定氣體的比重等類的觀測,即非將此種效應加入不可。但是空氣的重量,因氣壓氣溫等而變,要一一詳細算出,殊非易事。於是只有選擇一個物體,和所測的氣體的容積相等,懸在天平的他端,以作抵償。這樣一來,要想校正的量兩方彼此相等,所以不必再去計算。測電流的電流計內,也可適用這樣的裝置。電流計的磁針的偏向,受地磁和懸磁針的線的振力的支配,而尤以地磁的效應為大,所以非加以校正不可。這個磁力,由於地球的磁場而生變化,所以計算極其困難,但若另外再選用一個相等的磁針,其磁極亦和電流計的磁針相等,將磁極反對着電流計的磁針連結起來,使其成為一個無極針(Astatic needle)。將前者放在圈(Coil)內,後者放在圈外。如是一來,地磁的影響即完全不能發生。電流計因有這樣構造,感度增加不少。

(5)倒轉法(The Method of Reversal)。這個方法,是將干

涉現象的原因，使其能够倒轉過來實驗，由交互的觀測去求平均的結果，即可免去干涉的影響。兩次實驗的結果，一次失於過大，一次失於過小，其誤差即等於兩者的差的一半。用天平來作質量的精密的測定時，縱令將兩盤上的物體平均起來，因為還有其他構造上的缺點，所以兩方的物體的質量不能認為是相等的。現在如果將兩方的物體交換過來，在小的方面加適當的砝碼，使其恢復平衡的狀態，再求兩者的幾何平均，即可得真正質量的近似值。秤差很小的時候，就用算術平均也無大礙。測音的速度時，在甲乙兩地交互測出音波傳達的時間，然後平均起來作傳達兩地間的距離所需的時間，就是用的這方法。

第五節 近似的理論

如欲真實理解，由實驗的研究得來的知識的性質及其價值，須知其性質只不過是一種近似的罷了。有許多人由精嚴科學 (Exact science) 的名詞，以為是精嚴周密的知識，遂引起種種的誤解，以為由科學方法得到的知識，是絕對的真理，並信為最後也是精密的。試舉一例，如天文學上，行星須遵着刻卜勒 (Kepler) 的定律在橢圓的軌道上運行，在可以滿足的程度內當然無可容疑，但若再一細加考察，立可見到這個定律，也不過由一種近似的性質創成的。第一即令由理論的見地看起來，刻卜勒定律是精確的真理，其如行星的實際運

動，不能和這個定律完全符合何？行星是完全的球體除太陽以外不受別的干涉，觀察這種行星的運動，實際上也決不能證明他們的軌道是一個完全的橢圓。我們所能證明的，不過是不受其他的天體擾亂的行星，其軌道很和橢圓接近罷了。事實上無論任何行星，決沒有一個在完全的橢圓軌道運行着的，刻卜勒的定律並不精密。重力的定律業已對於刻卜勒的定律有妨害，因為行星彼此要受相互的影響，所以不能成為橢圓的軌道。科學的方法所決定的最為確實的事項，只是我們所可望的近似的一致而已，在連續量的測定時所得的完全一致，不過一種偶然的結果，對於這種結果不應當滿足，應當抱着疑念方是正當。

科學上的一切定律和說明，從一方面說來是假說的性質。我們對於看得見感得到的實在的事物，都想適用數學家由假想求出來的結果去作說明，怎樣能望得到完全的一致，只要有一部分能夠一致，也就滿足了。對於不屈不撓的棒，不可延長的線，有重量的質點，均一的物體，均一的球體，完全的液體，完全的氣體等，加以計算，誘導了許多很巧妙的定理出來，但是這些何嘗不都是假說呢？普通的槓桿，在證明力的平衡的定理的條件時，和事實並不精確平均。因為實際的槓桿，既非理想的剛體，受力則生曲撓，而且全部又非均一，所以結果不符。只不過在我們的感覺所能到的範圍內，不生誤差罷了。因為我們的感覺，須要有一定強度的刺激，方能發生印象。

成爲意識，不能說未成意識就是完全沒有刺激的證據。

還有用來測定的一切器械，都有相當的差誤。試舉一個最簡單的例來說，鉛垂是表鉛直線的器械。但在絕對的意義上，並非真實，其方向視山的形狀和其他球面的凹凸等各有不同。在精密的三角測量中已經可以近似的發見他的偏差。又如水銀面我們尋常都看成是水平面，但是只要就五寸寬的表面去測定，已可發見他的偏曲。實際上也和鉛直線的例一樣，和絕對的水平面相差很遠。其他所謂完全的器械如擺，振秤等，莫不是由假定一種事實造成的。單擺的公式，只能限於在無限小的圓弧上往復時方能適用，稍微擴大範圍，即生出相當的誤差。

試一緝關於科學上的問題的歷史，即可發見一人或一代，只能一時進一步驟。這句話或許不甚明白，但一看下述的事實，即可知其詳細。凡遇一個問題出來，最初總是由一種大膽的假說化爲簡單以作解釋。其次再經研究者，就這上面施以假說的變化，而後達到較爲接近真實的結果。照着這樣逐次將以前的解釋的誤差指摘出來，繼續研究上去以達希望範圍內的誤差。現試就拋射體的例加以說明。支配砲彈運動的拋體定律，現今雖不能稱爲完善，但已確費了幾多的苦心改革，纔有今日的狀態。在四五百年前，最初以爲砲彈的運動是直線的，其次始進而看成曲線的。其次經塔塔格里亞 (Tartaglia) 由連續定理的立足點，主張砲彈的經路係一完

全的曲線。伽利略對於這個主張要求證明，始知這個曲線是一種近似的拋物線，如其要是真正的拋物線，則須要完全的真空，並不呈些微的抵抗的物質來作媒體，並須要重力的作用各處均一，此外還須要有一定點或其重心的位置固定不變等等的假說。這些條件實際上當然是不能滿足的。關於這個問題，後來由牛頓和惠更斯的研究方大為進步。惠更斯證明空氣對於動體所呈的抵抗，和動體的速度成正比，因此而決定拋體的經路為一種和拋物線相近的曲線。牛頓更用一般的方法，研究抵抗媒體的問題，得出來的結論是抵抗和速度的自乘為近似的比例。後來又有柏努利 (Daniel Bernouilli) 出來研究，指示迅速運動着的物體受空氣莫大的抵抗，如將砲彈在真空中向上直射，則其所能昇上的距離，當較在空氣內時高八倍。最近關於這個問題理論和實驗兩方面的研究，皆極繁盛，其結果亦愈接近真實，不過究竟還沒有達到最後解決的道理，只可以看做逐漸和真實逼近起來罷了。

我們行一個實驗，愈期望精密，愈發見誤差，就是極簡單的實驗，也有許多的誤差原因混在裏面。現在試就波義耳的定律的實驗說，用一端封閉的U形管，內封空氣於水銀面上。要想得精密的結果，須注意下列各項：(1)氣壓的變化，(2)水銀的壓縮度，即使水銀密度變化的原因，(3)水銀柱的溫度，(4)空氣的溫度，這個條件在壓縮中很不容易保持一定不變的態度，(5)封入空氣的玻璃管由壓力而生的膨脹。以上幾個條

件是勒諾 (Regnault) 想到的, 用來作波義耳的實驗以圖精密, 但是不精密的原因, 尚並未因此就完全減盡。

再由數學上論起來, 測定的結果是一種近似的性質, 尤其容易明白。現在試舉普通物理學書中所常用的一例以作說明。譬如要求固體膨脹的體脹係數和線脹係數的關係, 以 a 表線脹係數, b 表體脹係數, 物體爲一正立方體, 其一邊的長爲單位長度, 溫度上升一度其體積當爲 $1+b$, 面的各方面皆各延長 $3a$, 所以應該有

$$1+b=(1+a)^3=1+3a+3a^2+a^3$$

的關係式。固體的膨脹係數一般都比 1 很小, 很少有在十萬分之五以上的。所以他的二乘三乘, 尤其更小, 事實上就略去不計也無大礙, 即是二乘三乘的項數在測定的上面, 就看成零也無妨礙。由此遂得出

$$b=3a$$

的關係。熱學上通是說體脹係數等於線脹係數的三倍, 就是由此而來。這樣一來, 就可以看見這個定律, 完全是一個近似的, 並非絕對的了。

科學家所用的相等, 實在有種種不同的意義。如說底邊相同高相等的三角形, 其面積都相等, 這是絕對的相等, 只能由理論得知。幾何學以及其他各種初等的數學的定理所用的等號都是這個意義。第二種的相等是說某數 x 和他的微分 dx 相加, 即 $x+dx$ 和某數 x 相等。第三種是外觀上的相等, 唯

有在不可測的量方有不同的時，亦稱為相等。譬如木匠量的長短相差在一分的十分之一以下，都一律看成是相等的。物理學和化學上所用的等號，也是這個意義。第四種是偶然由實驗的結果得出來仍是一致，看成的相等，其相差看成是由不必要的原因而來。實驗者用的方法，在信率的誤差範圍內的結果，稱為相等，就是這一種的意義。我們一方面既要求實驗和理論一致，那麼就不能希望比實驗更為近似的理論。

同樣表恆等式的關係數學家也用等號即 $=$ ，這是由勒刻德 (Robert Recorde) 創始的，見於他所著的 *Whetstone of Wit* 書中，用來代替 “Is equal to”。後來這個符號，由表示量的相等而外，漸次擴張開來，數學家對於凡是由演算可以得出同樣的結果，都用這個符號來表。不僅數學，就是其他的科學，也漸次採用起來，言語學上用來表示同意的言語，化學上用來表示一種反應，前後各元素的種類和重量不生變化。在普通的用法，分為表示量的相等和性質的相等兩種。譬如 $1 \text{ 哩} = 5280 \text{ 呎}$ 是表示量的相等， $(-)\times(-)=(+)$ 是表示性質的相等。

第五章 分類,概括及信率

第一節 分類的意義

由觀察和實驗蒐集得來的精確事實雖多,但我們的記憶力,自有其一定的限制,不能永久保持不稍遺漏。若是能將事實的存在的關係求得,立出一定的系統,一方面既便於記憶,一方面又可以作推求普遍定律的準備,無論是由心力的經濟上着眼,或是由科學的目的着眼,都是極其得當的。這種方法稱為分類(Classification)。

欲分類一種事實,不可不先發見事實間存在着的類似點和差異點。欲達這個目的,須先由事實的分析(Analysis)着手。由分析所得的結果中去尋出一種特別的要素,稱為抽象(Abstraction)。經過分析和抽象以後,即可定出那些事實可以認作一羣,那些事實非排除不可。即是由比較(Comparision)來定事實的辨別和結合的關係,這就是分類。由此可知分類決不是簡單的心意作用,須經過分析,抽象,比較等各種階級,方能辦到。而且分類並不是去發見客觀的存在的事物,乃是主觀的依一定的方針而行的技術,因其着眼點即用作分類基礎的地方不同,分類的方法也不一律。譬如命不識字的人整理棹上堆積着的書籍,則除由書籍的大小厚薄,裝訂的樣式,書殼的顏色等項分類而外別無他法。即是這種毫無學識的人,着眼的地方,只在最容易把捉的類似點,要望他能够像

熟練的圖書館員一樣，決辦不到。即是無識的人所用的分類的基礎，不過是形狀的大小厚薄，裝訂的樣式，顏色的種類等項的要素，故其勞力所成，決不足以云科學的，而圖書館員則用書籍的內容，或更從年代的區別，以作分類的基礎，其方法當然是科學的。要之物體的性質沒有一種不可用作分類的基礎。譬如由動物的眼的色也可以分類，由窗戶的數目，也可作房屋的分類。這樣的分類法，實際上毫無價值，又何待言。我們要分類的目的，是要將事物就其含有多數共通的緊要普遍的命題，分爲若干的羣，所以用來作分類基礎的性質，務其爲事物的確實特性，要批評一種分類的科學上的價值，須着眼於各羣中所含有的共通性質的多寡及其緊要的程度如何，方能斷定。

第二節 天然分類和人爲分類

分類可以分爲天然和人爲的兩種。天然分類 (Natural classification) 所用的分類基礎，是和事物的本質有直接關係的特性。一羣之中除共通含有的此種和本質有直接關係的特性而外，還包括得有許多副屬的類似性質。例如造鹽元素(氯，溴，碘，氟)，鹼金屬(銦，鈉，鉀，銻)等的分類，都是用其本質的化學的性質作爲基礎，是天然的分類。又如動物學上的脊椎動物，軟體動物，節足動物等的分類，也是天然分類，不特兼有共通的屬性，並且無論那一種都是由相互關聯的屬性組織

成爲複雜的體系。天然分類皆如此種以本質的屬性作爲分類的基礎，和那些由皮相觀察即能得到的大不相同；外觀上雖然迥然不同，但若精密觀察起來，即可發見本質上確有密接的關係存在。例如鯨的外觀似應歸入魚類，但由其發生和形態上，將他編入哺乳類，對於表示鯨的自然的位置最爲適宜。

人爲分類 (Artificial classification) 所用的分類的基礎是事物的偶有性或不甚十分緊要的性質。一羣之中莫不有這種偶然的性質，因此其他各點轉不相似。例如書籍的分類，若用大小或書殼的顏色，以及著者的姓名的開始第一字母爲標準，就是這個例。按照這個標準排列出來的書，同一類之中當然含有種種性質的書籍在內。這樣的人爲分類，有時對於處理上或記憶上，極爲便利，然不能不說是很缺少科學的價值。

從根本上說來，這兩種分類法，實在並沒有什麼不同，只不過是程度上的問題。例如將植物分爲喬木、灌木、草本等，雖是人爲的分類，但多少還是由於植物的外觀上自然的性質而起的，所以也可以看成是一種不完全的天然分類，至於林內 (Linné) 的分類，方始稍稍和天然分類接近。

人類的知識愈精密，分類的方法也隨着精密起來，所以要圖科學的進步，不可不有精密的分類。精密的科學的分類，須要能夠滿足下舉的幾個條件：

(1)分類的基礎,要由其本質上的特異點。

(2)分類的基礎,在完成一個段落之中自始至終要能一貫。

(3)分類得出來的各部分,彼此不能相容。

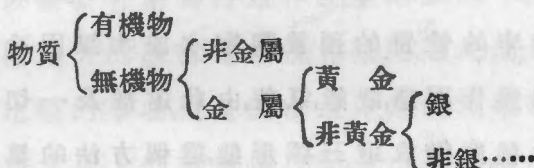
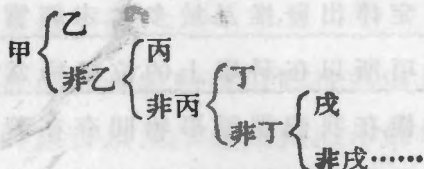
(4)分類得出來的各部分的總和,要與未分前的概念能相符合。

(5)分類並非絕對的性質。

此中之(1),是天然分類中詳述過的,要算科學的分類法最緊要的條件。要是分類的基礎中途更變,那就陷於交錯分類的錯誤,各部分的範圍互相交錯,極形混雜。例如舉人種分類的例,而言白色人種,黃色人種,黑色人種,蒙古人種,亞美利加人種等,前半是從皮膚的色作基礎,後半是以地理的分布作基礎,這種分類的概念,其外延並無明確的界限,這就是不能滿足(2)的條件的結果。(3)所要求的是各部分須要和他的部分完全獨立,要不能够滿足這個條件,就陷入交錯分類和(2)成同樣的結果。(4)所要求的是各部分的總和要能與本類的外延符合,不致發生過不及的缺陷,要是不能够滿足這個條件,即失之過狹或失之過廣,即是分類肢非恰足網羅一切不可。(5)所要求的是各肢皆要有無欠陷的秩序,要是不能滿足這個條件,分類上就生成急激的間隙,不能得精密的結果。

根據上述的數種條件的分類,由肢數可以分爲二肢分

類和三肢分類的兩類。尤以二肢分類，由上述的要件看來，是理論上極完全的分類法，現在將其公式和實例對照於下：



由上式看來，這種二肢分類法，能够嚴密適合(3)，(4)兩要件，故在理論上是極完全的分類法。非出的兩肢之中，必有一肢是消極的規定，所以由此成立的分類系統，總有一半是不確定的，不能不謂爲是這種分類法的缺點。只不過是開整理的端緒罷了。對於欲爲分類的事物，要是有了明確的知識，儘可不必要依這種方法，簡直用他一種的分類法，還要簡單明瞭些。

三肢分類是舉出兩極端和介在其間的事物的分類法，普通所用的大，中，小；天，地，人；上，中，下等都是三肢分類的例。

第三節 概括

由觀察實驗而得的特殊現象，若有共通的特徵，則概括之成爲同一種類，這樣概括成功的部類，若和其他的部類又

有共通的特徵，又括爲一個範圍更大的部類。照着這樣將各色各種的現象括成最簡單的部類，稱爲概括(Generalization)。概括可以由部分的定律出發，推及於多數未經實驗然信爲遵從同一條件的事項，所以在科學上的位置極爲重要。即是出現一個現象的時候，在我們認識事物間存在着的類似點以前，已經可以概括將這些類似點預言出來。這種的概括，當然是帶有信率的性質的預言。觀察水或水銀，因冷却或加熱的程度，可以變作固態、液態、氣態，由此遂推及一切的物質，都可以因熱的程度變成這三種形態。這個方法的真髓，在由一羣的現象中，發見能夠決定共通的本性的普遍條件。概括並不僅單依據實例的數目，就是只有一個實例，只要用嚴密的分析，也可以得到完全的概括知識。

由概括而得的推論，和由類比而得的推論，只是程度上的問題，此外並無不同的地方。兩者同是由觀察得來的類似點，以相當的信率，推及其他的類似的存在。概括的類似外延大而內包小，比論的類似內包大而外延小。譬如我們看見兩種性質 A 和 B ，連合出現的時候很多，並未見其單獨分離出現過，那麼，以後遇着一種物體也具有 A 的性質，就以很大的信率預言這個物體一定也同樣的有 B 的性質，或是遇着有 B 性質的物體，我們也同樣的預言他有 A 的性質。就實在的例說，據我們的經驗，一個物體既有重力作用同時又有惰性，從未見過僅有重力而無惰性，或僅有惰性而無重力的，所以

凡是遇着一個具有惰性的物體，我們一定斷定他有重力；遇着一個有重力的物體，我們一定斷定他有惰性，並且這種預定的信率，是很大的。

類比是由有多數的類似點，推到其他的類似點。這是類似的性質的數目增多，不是類似的事物的數目增多。在水星的兩極可以觀察有兩個白點存在。這兩點的一切性質，都和地球上兩極地方的冰雪地域很相類似。除此而外並沒有可以用來作比較的事物。但是僅由這兩點的精確類似，我們已經可以斷定水星上的這兩個白點，是由冰雪而成的，並且這個推論的信率比較還大。簡單的說，就是多數的類似點，還包含着有更多的類似。由白點的外觀和行動可以推及冰結水的一切物理學的和化學的性質。要之概括是由多數的事物的一種性質，推到一切事物皆在這個性質，類比是由一個事物的多數性質，去發見這個事物其餘的性質，兩種推理同一帶有信率的性質。

培根曾經說過“我們的智力無須要羽翼，却要有鉛來緩和他的速步”。事實上推論最易陷入的弊病，就是急於求概括的傾向。小孩時代曾經受過一次危險的事物，後來遇着的時候，就生出恐懼心來，怕再遇着同樣的危險，成了一種習慣的性質。這種急於求得的皮相上的概括，是科學上的一種大妨礙，古來的例很多。數目相等的物體間，常有一種類似點存在，譬如七的數目，有七行星，連係着就有七金屬，七曜日，嬰

兒滿七個月即漸生齒，七歲又換齒，身長的極限也是七呎，希臘從前有七個賢人，世界上有七不思議，像這一類的例不知有多少。但相似處也只在七的這個數字上，若就以爲和科學家想像的那樣深長的意義的類似，即是以七的這個數字來分配一切的性質，就未免太過當了。音階中只許有八音，景中只許有七色，這樣的概括，都不能不謂爲錯誤。同樣習慣上對於三，六，九等類的數字，也有種種的迷信，都完全是毫無道理的。

又對於一切的自然定律，以爲都是有極簡單的形式，和極完全的關係，這也是由於概括得來的錯誤。例如因爲圓的完全而又極簡單的圖形，所以遂斷言天體的運動，都是沿着圓軌進行。科學大家中像這一類的人很不少，如牛頓就是其中的一人，他採用的公理，就是自然的進展方法應該是最簡單的。事實和這個公理反對的地方很多，也就足以見其毫無真理的根據了。天體的運行軌道，實際並不是圓，乃是橢圓，雙曲線和拋物線等。

概括是智力極大的特權，最近科學的進步通可以說是由此發展而成的，不過要行概括的時候，須要有很周密的注意，和很長久的訓練，方能得安全的結果。各人雖是同一樣的在概括推論，但其發見的程度却大不相同，就是注意和訓練的素養不能相同的緣故。科學界的偉人和平庸的區別，也在此。拉普拉斯(Laplace)曾經說過“試一徵對於人類智力進

步曾有大貢獻的那些大發明家，如蘭格倫日 (Legrange)，牛頓等，他們也不過是對於發見周圍事物間的概括的原理，有很高程度的幸福的才能罷了，這種才能可以看作是科學界天才的真正的特性”。

第四節 統計的研究

有種現象因為異常複雜，很不容易確定他的因果關係，或是很不容易去作實驗的時候，可以用統計的方法去研究。例如要想比較A的一種職業（如製造火柴工業）和B的一種職業（如炭坑夫），究竟那一種有害於衛生，無論是論理或是實驗，都很不容易。只有將A的每年死亡率和B的死亡率拿來比較的一個方法。即是將各類的多數的事例集合起來，由計算去加以概括，然後比較相互的數量，作為比較的基礎，這種方法稱為統計的研究 (Statistical investigation)。由這種統計研究得的結果，可以暫作普遍定律的代用。若能發見出精密的因果關係，那就更沒有用統計方法的必要了。例如觀象台每天將天候的晴雨，氣溫，氣壓的變化等項詳細記錄下來，以求各地的統計，這是因為還沒有將天氣，氣溫，氣壓等的確實定律發見出來，所以不得不如此。還有遺傳學的現象，現今也還有用統計去研究的必要，不過他的真理，已經由科學的研究漸次闡明出來了。

如有兩羣的現象，由統計知其間確有量的關係存在，即

可得一種暗示，可以知道有因果關係存於其間，這就是統計研究在科學上的主要的價值。例如一地方的雨量和收穫的關係，可以由每年雨量的統計和收穫的統計而知。又如一處都市的水道、溝渠設備等對於傳染病的關係，可以由多數之有溝渠設備的都市，和沒有這種設備的都市，及其傳染病者的人數加以統計的調查，即可求出。要之，統計的研究雖尚不能將因果的關係完全解釋明白，但可以暗示出這種關係的存在，因此而發見經驗的定律。

統計的研究的基礎如下：(1) 有用統計的總和來作比較的，如前所舉的例，(2) 有用其平均數來作比較的。例如欲知 A, B 兩地氣候的差，由 A 地一年間的平均溫度和 B 地一年間的平均溫度比較，即可求得出來，所謂平均通常分為算術平均 (Arithmetical mean) 和幾何平均 (Geometrical mean) 的兩種。前者以總個數除其全體的總和而得，後者將全體的總乘積照個數的次數求其根即得。如就 a, b 兩數而言，則

$$\text{算術平均} = \frac{1}{2}(a+b)$$

$$\text{幾何平均} = \sqrt{a \times b}$$

平均依使用的結果，分為三種：(1) 求一系列的某種量的代表數量，用來和別系列的他種量比較時，極為便利。例如要將一國人的平均身長，平均年齡拿去和別國人的平均數比較的時所用的基礎數，就是這一類。(2) 使某種結果發生誤差的原因，如有方向互相反對的兩種存在，則由平均所以

免去，不致使其防害結果。例如測音的速度，須於相隔一定距離的 A, B 兩點，測出由 A 到 B 的時間，及由 B 到 A 的時間，由其平均即可求真正的速度。(3) 欲避去不可知或不確實的誤差，也須用此法。例如用不完全的天平來測質量，須將砝碼和物體的位置交換過，然後求其幾何的平均。此三種之中(1)和(2)(3)的性質根本不能相同。(1)是認定在兩極的中間的數，足以公平代表多數，(2)和(3)是因為測定的結果不能確定的時候用來以求最爲近似的值。

第五節 信率

偶然的裏面，並不能容自然的存在，所以偶然是和我們的知識不能兩立的。拉普拉斯曾經說過：“偶然不過是我們對於行動原因的無智，即不能逐次預言其結果時的一種發表罷了”。自然界裏面的一事件一現象的發生，自其出發點爲始，已確有一定非如此不可的理由存在。信率(Probability)則不然完全由於心情而定。同時發生的事件，人不同則所下的信率的判斷亦異。例如輪船失蹤的時候，有人以爲是沈沒了，有人又不以爲然。事件的真相，並非這樣不確實，當然有一定不可移的運命，但是他的信率，却因人因時而異，並且還要受許多的影響，如當時的天氣，發見的破片，遇着過的輪船的報告等，都大可以變動信率。這樣的信率完全由於我們心裏的條件，至於實際上究竟是否如此則在於物體的自身。

的時候，究竟骰子的那一面出現，固然完全是偶然的，但若就其拿骰子的狀況，擲下去時的狀況，骰子的構造，棹面或碗內的狀況等，加以力學的研究，則其結果即成當然的，並且可以先事預言。我們的知識到不了這個程度，只好歸之於偶然。所以當然和偶然的差，不過是我們的知識程度上的不同而已。無智無學所謂的偶然有許多在科學家看去，早已成為當然了。我們對於一切的結果，雖不能皆可以下一預言，但其大體的結果，則莫不可由數學的或理論的方面，爲之斷定。例如前舉擲骰子的例，無論出現的是一點乃至六點，其信率總是六分之一。因見我們既不能發見某一點有特權容易出現，只好將各面的出現權利看成同等，所以出現的信率都是六分之一。由這種推論所得的結果，通稱爲信率。同樣將銅圓一枚拋在地面時，其表裏兩面無論那一面出現的信率都是二分之一。由此可知信率的計算可以由現象的性質，用數學去研究，是數學中的一個分科。

我們實際所經驗的現象，大多數都是非常複雜的，很有許多不能由數學去求其信率。遇着這種時候，可以由過去經驗的比例，將其信率求出。但是所用的經驗歲月愈久，精確的範圍愈廣，則所得的信率，愈足信賴。前節所述的統計的研究，就在這一點上發揮他的價值。例如產生的小孩一千人之中不滿六歲即死的人，有二百五十人，由這個統計，可以求出某個小孩能滿六歲的信率爲，

$$\frac{1000-250}{1000} = \frac{3}{4}$$

一方面不滿六歲即死的小孩的信率爲

$$\frac{250}{1000} = \frac{1}{4}$$

兩者的和恰等於1。兩者的信率，其和爲1，即表示沒有例外的意思。這種計算，終局仍不過是將過去的事實用統計表出，如其所取的事例爲數甚多，縱令不能明其因果關係，但將來還是一樣有這樣的關係持續下去，却可以預言。當然某人可以活到幾歲，某人到了幾歲一定要死，以我們這種不完全的知識，當然不能得知，但是大多數的平均死亡率，却不致大誤，人壽保險就是依據這個原理由統計的研究去算定保險金的數目。最近對於分子運動的狀況，輻射熱的狀況，無一不是由信率成功的。

第六章 假說及科學的定律

第一節 假說的意義

十九世紀之初，英國化學家道爾頓 (John Dalton)，研究種種物質的化學的組成時，將碳氫化物的兩種氣體即乙烯 (Ethylene C_2H_4) 和甲烷 (Methane CH_4) 分析出來，其結果如下：

	碳	氫	合計
乙烯	85.7	14.3	100
甲烷	75	25	100

氫對碳的比在乙烯為6:1，在甲烷為3:1或6:2，即是和一定量的碳化合的氫的量，一種恰為他一種的二倍。同樣的事實，更就碳氧化物即氧化碳與炭酸氣，也可以發見。又就種種淡氣的氧化物研究，也有倍數的關係存在，由此遂引導出一種經驗的定律，稱為倍數比例定律。道爾頓更設了一個假定，來給這個經驗的定律作說明。即是 (1) 一切元素皆由原子組成，原子是極微的粒子不能再受分割，(2) 原子有一定的重量，(3) 各單體的一切原子恆相等，性質和他種元素的原子不同，(4) 化合物的原子各有其特殊的性質，由其成分元素的原子結合而成。這就最有名的道爾頓的原子假說。只要承認這個假說，去演繹化合的定律即極便利，拿去解釋事實也極重要。後來更經過許多的實驗證確，故其可以信賴的程度愈高。

由上所述可知假說 (Hypothesis) 是一種科學的想像，遇着用既知定律不能解釋的事實時，纔設來作說明的。假說又稱臆說，只是爲說明事實而構成的想像的素質，並不能代表自然真實的運行。究竟原子在實際上存在與否，及用原子假說能否和自然界的一切事實一致，均非我們知識所能及。不過由一方面說來，假說在科學上確是一種很必要的機構，對於引導種種發見也有很重要的任務，是不能不承認的。尤其是化學，可以說完全受假說的支配，同時我們所知的一切事實，皆足以證明只有化學的現象，假說和真實是一致的。假使將來發見一種新事實，和這個假說不能相容，那個時候，再將他放棄，另外去構成一種新的假說，使其能夠同時說明新舊一切的事實。將現在的假說看成是最終的不特違背科學的方法，並且還誤解了假說的真義。假說的起源，由於要使知識成爲組織的根本慾望，僅僅既得的知識不能作充足的說明的時候，纔想像出假說來統一既知的定律和聯絡相互間的關係。不必像原子說等類含有超經驗的概念，就是還沒有充足的確證，只要能將從來定律所不能說明的事實說明出來，都可以稱爲假說。十七世紀之初，英國的哈維 (William Harvey, 1578-1657) 根據各靜脈皆有瓣膜存在，並且這些瓣膜均只能向心臟的方向開放等項事實，遂歸之於血脈循環的目的，又如將植物的花冠的形狀，色香，蜜的存在，歸之於蟲媒受精的目的，因而設立說明的假說，皆卽此例。假說確能說明多數的

事實時，普通稱之爲定理 (Theorem) 或定說 (Theory) 以示區別。

第二節 假說的要件

假說要和事實一致，這是假說的必要而又充足的條件。英國的澤豐茲 (William Stanley Jevons, 1835-1882)，更爲之詳細分析，得出三個條件，詳述於下：——

- (1) 假說要能適用演繹的推理，並且由推理得出來的結果要能和觀察的結果可以比較。

要證明假說的真理和事實一致，用演繹的推理法當然是最緊要的條件。適用這個推理，可以知道由這個假說，應當生出什麼樣的結果。試舉一例，因爲要想說明光的輻射線能够透過沒有物質存在的空間，於是而假定有能媒 (Ether) 的存在。但是能媒既然和我們已知的一切物質，性質完全不同，所以對於能媒的推理，可以說是毫無益處。最少也要能够適用運動的定律，看成和物質一樣。將運動定律適用於彈性媒質的空氣裏面，則得音的現象，所以將同一定律適用於能媒，應該也要得出光的現象來，方屬合理。這個假說除却將物質的重力等項性質而外，其他一切都和物質很相一致，故可以容受演繹的計算。但是後來更經種種的實驗，演繹，其結果令同一性質的能媒須隨時隨地變更其性質方能適應現象。近來否認的呼聲日高一日，就是因爲他不能適合這個條件的

緣故。

(2) 假說要和我們認為真理的自然定律不相衝突。

這個條件完全是程度上的問題，新學說之所以能够提出，就是因為舊學說不能滿足的緣故，所以新假和舊假說以及定律等，當然不免有衝突的地方。若是一個假說和定律不能符合，那麼，這個假說的確實程度，要觀定律的確實程度如何方能決定。即是定律要是確實無可容疑的時候，假說就非廢棄不可，或須加以修改。要是定律並非完全無缺的時候，假說也不能就斷定是不確實。結果這個條件的解釋，只能說從來的定律或學說，足以說明的時候，就沒有再立新學說的必要。

(3) 由假說演繹得來的結果要和觀察的事實能够一致。

這個條件極其明瞭，假說和事實相符的地方愈多，其確實的程度愈高。伽利略雖承認提上啣筒的管內的水面，不能昇至32呎以上的高度，但不能說明即已逝去，後來由其弟子托里拆利(Torricelli)，假定空氣有重量來說明。假使這個假說是真的，那麼，就可以由演繹推理，算出比水重14倍的水銀，只能昇到水的十四分之一的高度，有名的托里拆利真空實驗，就是為證明這個推理而設的。後來更經高山上水銀柱更形降下，以及其他種種的實驗證實，方進而成為一個定理。由這個例看來，演繹的推理對於科學的研究是怎樣的有用，也可以想見得到了。

構成一個假說時，還有一件應當注意的事，即是由假說演繹出來的事，不能因其實際上存在，就將他認作真理。因為這個結果，只不過在未遇着矛盾事實的條件下，表明假說尚無不合理的地方罷了，只要後來再一遇着了絕對真實的衝突，這個假說就非立刻放棄不可。

第三節 假說的使用

對於同一的現象，同時有兩個以上的假說互相對立着的時候，兩種假說都各有大部分的實驗事實可作說明，要決定何者正當何者謬誤，很是一件困難的事。兩說不能同時成為正當固勿庸說，或是兩者同是錯誤，或是一正一誤。要決定孰是孰非須要有一種實驗，其結果和一說一致，和他一說不能相容。由這個實驗，方能使一說確立，使他一說無成立的餘地。科學歷史上有一個最著名的實例，就是光的波動說和放射說。

牛頓當未唱導光的本性學說以前，已熟知關於彈性體衝突的定律。譬如由檯球的遊戲，也可以見到彈性體互相衝突的時候，投射角和反射角恆相等。拿去和光的反射時候的實驗的事實對照，於是就構成光的放射說。他不過是將他頭腦裏面的概念，將物體的大小變化過，就成了放射說。他以為光是由看不見的彈性微粒子而成，由發光體以極大的速度向外射出即成為光。光的反射可以用這種微粒子來作滿足

的說明。他的這種概念，不僅由於彈性，並還由於其他的特種的事情刺戟而成。即是他正在研究重力的現象。遂想到光的屈折，也是由於作用於光粒子上面的引力的結果。物體向地面自由落下的時候，愈近地面，速度愈增大，因此遂得一結論，以爲光由空氣中鉛直射至水平的水面或玻璃面的時候，愈近水面或玻璃面，其速度愈非加速不可。若是向着表面斜向射來，則和彈性體的投射時一樣，須變更方向。這個變更方向的現象，就是屈折。依據這個假說，光的速度當然比在空氣裏面還要大。

關於光的本性，還有一個學說，是由荷蘭的天文學家惠更斯，英國的物理學家楊(Young)等所唱導的，以爲光是瀰漫宇宙內的能媒所起的波動，由此可以將屈折的現象演繹出來。依據這個學說，波動傳到兩種透明體的境界處，譬如是由較疏的空氣進入較密的玻璃時，其速度減小，結果令波的進行方向發生變化，而現屈折的現象。屈折的定律也可以由這個假定完全說明，其詳細參閱普通的物理學書。依據這個假說空氣中光的速度應當比水裏面的光速度還要大。這個結果和牛頓學說恰相反對。

現在更一檢查兩種學說的困難地方。波動說假定有能媒存在，這個要求很不容易進入我們的常識。但是他的長處則在對於反射，屈折，迴折，極化(Polarization)等已知的一切光的現象及其他各種事實，皆能很便利的解釋明白。依放射說

的推論，則光線中完全沒有機械的動量存在，這是這個假說很不容易使人承認的地方，並且除却用爲根據的現象以外，對於其他的現象也不容易能夠簡明解釋出來。總之，新事實總是要求新的假說，原有的假說實有不得漸次化爲複雜的苦衷。上述的兩個假說，各有各的有力的支持者，互相爭競，各不相下，如是相持爲時頗長，最後發見了一個決定的實驗，放射說方始不復更能成立。這個實驗是由法國的阿刺各(Arago)提出，經佛科(Foucault)和斐左(Fizeau)等用非常熟練的手法，方纔成功的。即是將光在空氣中的速度，和在水中的速度，實行測出，空氣中的速度比水中的速度遙大，這一點毫無可以容疑的餘地，放射說始不得不倒。這個實驗當然只能證明放射說的錯誤，但却不能證明波動說是全然的真理。

牛頓有一句很有名的話，說“我不作假說”(Hypotheses non fingo)，這並不是說科學上須避去假說，乃是不必要的假說，或沒有事實根據的空想的假說，不應當去作的意。科學的使命是由種種的經驗的事實出發，去定立一個普遍的定律，可以將這些事實包括無遺，所以我們無論如何，總不能超出經驗以外。即是由科學的想像產生的假說，去作統一的知識的體系，是高等的科學方法。不過使用上應當注意的事，在於取舍之間切不可大意。輕信是科學研究上最忌的。非不絕的注意着實際的事實，嚴重檢驗其是否和假說相符不可。若與事實不符，就非立即拋棄不可，不容少許的躊躇。若是因爲

要愛護一種假說，情肯對於事實加以牽強附會，實足以證明此等人的頭腦爲非科學的。

第四節 科學定律的意義

由上各節所述，科學的方法以直接得來的感覺印象爲出發點，將由此構成的科學的事實，施以比較，分類概括等的程序，再藉訓練過的想像作用的助力，進而發見出一個簡單的公式 (Formula) 爲之發表。最後所得的這個公式，是就很大範圍內的事實，包括在數句話裏面，通常稱爲科學的定律 (Scientific law)。有了這樣的科學定律，思想非常經濟，將由貯藏着的感覺印象引出的概念，適宜連合起來，對於直接的感覺印象的受納，即異常簡單明瞭。科學的定律對於一切皆爲真實，所以又稱爲自然律 (Natural law)，以便和人類的規約如國家的法律，道德律，宗教律等區別。這兩者之間有極不能混同的地方，就由常識也可以判斷。人爲的規約有命令，隨着即有義務，自然律却沒有。國家的法律必定有立法部將法律議定，國民負有履行法律的義務。若有不服從的人，須受相當的人爲的制裁。又此種法律的由來，係立腳於生存競爭的原理上，設立時務須和各時代能相適應，所以立法部有時常加以變改或修正的必要。道德上的法律雖然沒有這樣嚴格的制裁，但也是因時代社會不同而生變異的。因爲要和人爲的規約作區別，所以用定律的字樣，如宇宙引力的定律，波義耳

的定律，亨利定律等。於此有一個疑問發生，就是當人類還未能將自然律認識或發表出來以前，自然律是否存在？如法律等類的規約，當然不消說是先有了人類社會，然後纔生產出來的，自然律則與人類並無關係，好像應當作成客觀的存在的來看，方纔合式。但是從科學的立腳點說起來，却大不然。科學的定律是關於由人類智覺力推理力構成的知覺和概念的定律，離却了這些關係，就成了無意識的了。即是科學定律是一羣知覺概念的連續的包括，是簡單的發表，由人類構成的那一日爲始，方能存在。

照着上面所述的意義，對於科學定律是普遍的真理的說法，非照下面的方法加以解釋不可。科學的定律對於具有正當知覺機能的模範的人類，方能有普遍的意義；對於不完全的機能，不能謂爲也是同一樣的真理。例如關於分光的定律，色盲絕對不能意識得到；對於日月蝕的道理，沒有視覺的人，也絕對想像不到。歷來科學界的天才，耗盡無數的心血，方始得到現今我們所有的這許多的自然定律，同時這些定律，只能成爲和我們人類有同一的標型的所有者的專有品。有許多的人常常發出一種疑問，以爲人是自然律的創造者，定律雖由於人類的知覺機能所制裁，但無論能否用言語去發表，都應該是永遠準此運行的。支配行星運動的重力定律，在牛頓未生以前，何嘗不是這樣。對於這個疑問，預先將詞義定清，然後方可作答。我們對於天體運動的知覺，其內容連續，不

問是在托勒密 (Ptolemy) 的時代,還是在牛頓的時代,並沒有變動,無論是原始也好,近世的人也好,對於太陽運動的共通知覺,當然沒有差別。單是僅僅感覺印象的連續關係之中,並沒有什麼定律存在。行星是動的固然是感覺印象的連續關係,可以成為科學中處理的事實,但是他的本身,却並不是什麼定律。最少也得要經過一番語言的翻譯,方能成為定律,行星的變化誠然可以知覺得到,縱令對於這種知覺,用一種言語比近世的觀測者,還要更加精密來表示,但也不過是知覺的連續關係的一項記載而已,其中實未嘗含着什麼定律。要將知覺的連續關係拿去和其他的關係比較,分類,概括,構成心意產物的概念或觀念,方能稱為科學的定律。

在這裏應該注意的事,就是科學定律的經過雖是由於心理的,然同時定律的自身又須將自然事實或現象和心的概念兩者的連合包含進去。沒有心的概念,當然不能成為定律,沒有概念和現象的連合,定律也不能存在。牛頓發見重力定律的時候,就是一方面由於以相對的加速度互相接近的一個純觀念,和在這個現象的一定範圍內的事實連合起來,可以將許多的知覺包括進去,所以宣言其成為一個定律,科學的定律或自然律,無論到何地步,都只能解釋作是人類的心意的產物,其職務在將感覺印像間的極長的連續關係,用最簡明的包括的條文,翻譯出來,離却人類即成為完全無意識的東西。換句話說,自然定律與其說是自然賜給人類的,不

如說是人類賜給自然的，還要妥當些。

前在科學的使命中也曾說過，科學的目的是在將科學的事實，包括入於最簡單的定律裏去，因其包括程度範圍的廣狹，而定定律的高下。例如牛頓的運動定律，宇宙引力定律，能常住定律，質量常住定律等都是最概括的定律，成為自然科學的根據，而關於彈性的虎克(Hooke)定律，光的反射和屈折定律，關於元素化合時的定比定律，倍比定律，氣體化合時的體積定律等，僅限於一部分的現象，故其適用的範圍，當然也很狹小。由此可知科學的定律裏面，有些僅僅超脫了知覺範圍不過是科學的知識而已；有些更經高等精神作用的助力可以擴展開來籠罩自然的全野，成為最大的定律，其中尤以物質常住和能常住的兩大定律，為一切現象所共通的自然界的最高定律，又稱為實質的定律。

科學的定律由質與量分為定性的和定量的兩種。譬如磁學(或電學)上同名相斥異名相引的定律是定性的，而其間作用的力，和極強(或電量)的相乘為正比，和距離的自乘為反比(庫隆定律)則為定量的定律。科學的定律雖也有只能求到定性即不可不滿足的，但總以求到定量的關係，方能使其確實度增高。

科學的定律，又可依其內容分為物理的，化學的，天文學的，生物學的等類。

第五節 科學定律的進化

由前各節所述，可知我們對於各種現象，有爲之分類比較概括的作用，由此出發可以構成概念以達於普遍的定律。其包括的範圍愈廣汎，或定律的限定愈簡單，則愈和自然的基本定律接近。所謂科學的進步，是指漸進的包括的式的連續發見而言。我們藉他的助力可以理解更爲廣汎的現象群的空間或時間的關係。並非說前此的公式不真，只不過用記載更多說明更簡的公式來代替罷了。行星系的運動定律，即其最適當的例。這個運動最容易觀察得到的事實，是太陽每日東昇西沒的運行。對於這個現象的原始的說明，是說沒於西方的太陽，爲北方的山岳隱蔽着，沿着平地進行，至於東方，又復昇上。這種記述很不明瞭，但確是關於行星運動最初計劃出來的假定。其次方想到太陽在立體的地的周圍轉動，所以每日可以回復其原位置，即是將地球認作空間的中點，一切的日月星辰，莫不繞着他的周圍運行。記述經這樣的一番改良，仍然尙未達於完全的境。其後又觀察得知太陽對於恆星，恆變動其位置，每年沿着同一圓周運行一周。喜帕卡斯 (Hipparchus) 遂確定地球的位置，決不在太陽所畫的圓周的中心上。每改革一次，對於太陽運動的外觀上的不整齊的記述，必較前精密。但是完全無缺的記述，又在喜帕卡斯的三百年後，到了托勒密方纔成功。托勒密確定了地球是一個球體，

太陽和月球，都在地球周圍的圓軌道上每年運行，其他的行星，也各有其圓軌道，而這些圓周的中心更在地球的周圍畫一圓周進行。這是很有名的托勒密定律，其後數世紀都採用這個學說，其中有若干事實，就到現今的天文學，也依然承認的。假使有人出來說托勒密的說明完全錯誤，這是我們所不敢贊同的。只能說是他的記述，還有未到的地方罷了。中世紀末葉有哥白尼 (Copernicus) 出來，以為地球在地軸的周圍運轉，全系的中心則在太陽的位置。這個學說比起托勒密來異常簡潔精確，不能不謂為長足的進步，然而還是有未能除盡的難點。後者這個難點，到了刻卜勒 (Kepler) 方得解決。刻卜勒假定地球以及其他的行星，都是在橢圓的曲線上運行，太陽在曲線的中心以外的一點即是焦點。他的說明可以稱為科學方法的一大成功，完全由於他那富有訓練的想像作用而來。比刻卜勒定律更為普遍的公式，則由牛頓建設而成。牛頓的公式不僅對於行星的運動，就是行星附屬的衛星的運動，以及在這些表面上的一切運動，莫不一律包括進內，而成重力定律。

重力定律是記述宇宙間的物質的各質點對於其他各質點怎樣變化其運動狀況。各質點何以有這種運動，地球何以在太陽的周圍畫曲線形的軌道運行不已，關於這些問題，雖未嘗有所表白，但將由多數現象間觀察得來的關係，用簡潔明瞭的言詞，包括起來，確是這個定律的特點。由重力的法

則的變遷，可以得知一切的科學定律都是進化不止的，人心都是繼續着奮鬥下去以求達到更普遍更精密的公式。只要將重力定律的發達史讀過一遍，對於一切科學定律的本質都可以得到相當的了解。

科學的定律，時常總被更普遍更概括的新定律取而代之，這種順序可以說是科學發達的正道。同時他的進步，當然不能十分迅速。如上所舉的重力定律的例，由開始到牛頓的公式，其間經過兩千年的歲月，不能不謂為異常的遲緩，但到今日愛因斯坦 (Albert Einstein) 的一般宇宙引力定律出來了以後，牛頓的定律又有不能不廢的勢。究竟現在的愛因斯坦的定律，也未見就是最後的真理，將來只要我們的知識，再加進步，或許又將發見他的缺點，再去另想方法以圖改良，只不過為時又不知尚有幾許罷了。自然科學家對於解釋宇宙的玄祕，真有一難雖去一難又來的景況，縱令大體得了勝利，然部分的小戰則在在皆是，這也是進化道程中必不可免的困難。從前無論何人都說重力定律是牛頓發見的，到如今還有一班無識的人作此思想，真是既不瞻前又不顧後的見解，猶之稱瓦特 (Watt) 為蒸汽機關的發明家一樣。無論任何偉大的科學家，其所成就的科學定律不過是在進化程途中的一個階段罷了，去真正的止境前途還遼遠得很。

自然科學所認定的定律，其種類直不勝枚舉，就現今的狀況而論，多屬於部分的，還未能進化至於普遍的程度。各個

定律只記述一部分的現象，相互之間尚沒有聯絡的橋梁。所以本來應該有密接關係的性質的現象，也不免被認為毫不相干而加以處理的例，着實不少。例如物理學和化學，在自然科學的各分科裏比較起來，其位置不能不算是極重要，極根本的了，但是物理學定律和化學定律，還有充分的力量去和其他的各科的定律聯絡，即是這兩種科學和其他的各科的關係還未明瞭。將來研究的方法愈進步，則定律所包括的範圍亦愈擴大，可以望成為一大定律，將所有的科學知識網羅入於秩序整然的系統裏去。現在自然現象的研究法和精神現象的研究法都日逐進步起來，將來兩者或能互相接近起來，最後或竟至於用同一的定律可以支配兩者亦未可知。物與心究為二元抑為一元，雖依然是絕大的一個隱謎，但無論屬於何者，支配他們的定律總應該沒有差別，這種思想，似非完全的妄想，只不過我們現在沒有這種力量去證實罷了。

關於緒論及第一編的參考書擇其重要者臚列於下：一
W. S. Jevons: *The Principles of Science*.

全編取材於此書的地方很多，要研究科學原理的人，第一宜將此書從頭精讀一過。

K. Pearson: *The Grammar of Science*.

本書所述的科學的意義，使命，定律等項的議論，多係引用此書，為科學家對於科學的基本問題的見解的第一

著作，當與前書參照細讀。

F. Westaway: *Scientific Method: Its Philosophy and Practice.*

書雖不深，然將科學的理論和實際的問題，廣爲網羅進內，并還論及自然科學的教授法，亦不可不讀。

H. Poincaré: *The Foundation of Science.*

此書係將傍卡累的三大著作即 *La Science et l'Hypothèse*, *La Value de la Science* 及 *Science et Méthode* 三種集合而成，卷首更冠以傍卡累的思想的大要。傍卡累爲近代解決科學根本問題的第一偉人，凡欲研究科學問題的人，皆不可不讀。

I. Welton: *The Logical Bases of Education.*

此書敘述自然科學教授的論理的基礎，異常淺顯，和本書編纂的目的，頗多一致的地方，爲教育界必不缺少的參考書。

A. L. Jones: *Logic: Inductive and Deductive.*

此書有一編，名爲“科學的方法的梗概”，不僅爲論理學的參考書，即對於研究科學方法的人，欲得其一般的概念，也以此書爲最簡便。

T. B. Strong: *Lectures on the Method of Science.*

此書係蒐集各大家關於科學方法的論文而成，其中以牛津大學教授刻斯所著的 *Scientific Method as a Mental Operation* 一編，尤有一讀的價值。

J. W. Draper: History of the Conflict between Religion and Science.

此書係由歷史的將科學和宗教的關係敘述出來，其中有一章名“Morden Civilization and Science”，尤有一讀的價值。

W. Ostwald: Natural Philosophy.

此書的著者阿斯特瓦德為唯能一元論的創立者，對於自然科學的哲學的觀察，獨具隻眼，其思想為研究自然科學的人所應深知，故此書似亦宜一讀。

R. B. Arnold: Scientific Fact and Metaphysical Reality.

這是關於研究物的實體的問題的最好參考書，除此一種而外還有

F. H. Bradley: Appearance and Reality.

C. D. Brood: Perception Physics and Reality.

兩種，內容都很豐富，大可參考。

E. H. Häckel: Welträtsel.

此書由生物學入手進而研究哲學上的問題，為近世最有名的著作，以一元論為根據，詳論實體的定律，世界的進化，自然界的一致等項宇宙的問題，在近代哲學中獨樹一幟，實為不可不讀之書。

Hefting: Kritik der Philosophie des Gegenwarts.

欲知馬赫 (Mach)，阿斯特瓦德，赫芝 (Hertz) 等的哲學思想的梗概，以讀此書為最簡易。

Thomson: An Introduction to Science.

此書對於科學的心性、分類、方法、經驗的成立等項敘述極明，爲通俗的著作可以用作研究科學概論的入門。

此外關於物理學的量，如空間、時間、質量等項的科學的意義，除上舉的各書外，還須參考物理學的文獻，因其稍涉專門，一律從略。

J. W. Draper: History of the Conflict of Religion and Science.

此書是華金和蘭蘭所著，論宗教與科學之關係，書中
門人論宗教與科學之關係，謂科學之進步，而宗教之
的學問與科學並重，開創開在後，其科學與宗教之關係，其

事則謂其因宗教之學問與科學之關係，其科學與宗教之關係，其

此書之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其科學與宗教之關係，其

第二編 自然科學發達史

第一章 古代的科學和科學教育

第一節 原始人的知識

地球上像人類這樣的動物，究竟從什麼時代就有的，對於這個問題，雖然還不能作明確的答覆，但是據人類學研究的結果，好像幾十萬年以前，已經有了人類，其體格和現代的人類很有相似的地方，這是毫無可疑的了。由那個時代的人類所遺留下來的遺跡，可以推知他們的知能的優秀程度。他們已經能夠使用石器和利用火了。並且還有遺跡足以證明他有極偉大的能力，足以發明弓箭等武器，拿去和野獸爭鬥。由原始人類的遺骨去研究，可以斷定他們的體力，就自然的賦與（指羽翼爪牙等而言）而論，決不能優於其他的動物。但是居然能夠將猛獸和其他一切的動物完全征服，視全地球為己有，其所以能到這個地步，不能不歸功於人類的優秀的智力。由此看來，在幾十萬年前我們的祖先，已經有了這樣高尚偉大的智能，所以纔創成今日我們現有的文化。

原始人的知識和現在的幼孩或未開化的野蠻人一樣，第一是些不精密的斷片的事實，第二都由於直接的必要得來，並沒有要想滿足知識慾或圖種族的發展等類的遠大思

想，這都是原始人的知識的特色。他們的直接的必要，不消說自然是說衣食住的問題，所以他們的知識，大都是關於保持生命所必須的事物或方法。這裏面包含着防禦及攻擊敵人或猛獸的手段，對於異性的愛好，使生活更形圓滑等類的方法，由感覺的被動的境界進而變成知覺的活動，更經比較分類等項作用的輔助，知識的範圍，就愈擴愈大起來。他們由經驗知道某種植物適於食用，某種植物不適於食，某物易得，某物難得，某種物適於編蓆編籠，某種物適於蓋屋，某種樹木適於燒火，某種適於造船，某種適於造弓箭，某種石可以削尖來作箭頭，或磨滑來作屋頂，或是用來舂米，某種動物的肉美適於食用，毛皮可作衣服，齒牙可作裝飾，筋可以縫皮。這種種的感覺的經驗，對於他們的生活，各具一種意義，與未開的生活法相應，成為其直接的必要，雖遠粗淺，但總向着分類的知識和組織的知識的方向前進着的。

既已得了關於自然物的知識和分類，以後接着發生有必要的則為語言。原始時代的語言也和對於自然物的知識一樣，以自發的聲音和聽得來的聲音為基礎，加以選擇，比較，分類等手續訓練而成。例如用哈哈的聲音表快活，用呻吟表苦痛，或張口表示饑餓，或招手表示歡迎。這些聲音手勢，漸次和知覺事實等關聯起意，也各具一種意志，由此可以將感覺觀念或想像等發表出來。這樣得出來的言語舉動實為思想的交換，及進化上所不可缺少的重要具。

未開時代的知識的進步，僅由於應變(Variation)和淘汰(Selection)的兩項事情。在行動的時候，於有意無意中模倣他種物體，忽然覺到一種新方法，較舊時更覺便利，將舊法拋棄，採用新法，繼續行去，直至他日多發見更便利的方法為止。像這樣由應變淘汰而獲得的知識的方法，稱為經驗法。未開人的一切知識，概由經驗得來，其思考的範圍，僅限於感覺的知識的平面內，能超出構成的觀念的平面以上的，極為罕見。所以他們的意識的事項，行動的方法，都受着習慣以及傳習的支配，其知識進步的遲緩，大可想見。他們有圓滑的才能去適應自然的環境，固屬可貴，但若一旦遇見了新發現的地位，就不知將如何進行方可，到了這個時候，他們所依賴的習慣方式，早已成了無用的物了。

將原始人所得的知識，加以下列的轉化，須有賴於構成的思考，試舉其次序如下：(1) 由認識目的和方法的不對，遂得知有必要的條件；(2) 由反省而達判斷和分類；(3) 由歸納的推考，淘汰去不適切的觀念以建設假說；(4) 由演繹的推考發揮假說中蘊蓄着的事項，推廣開來以解決問題；(5) 徵諸事實以作結論。試就發明一條槍的歷史而論，也是按着這個順序成功的。最初只知道用一端削尖的本棒，後來認為不能滿足殺戮的目的，於是去研究應該有的必要條件。由從來經驗反省的結果，燧石既可用來作箭頭，當然可以代小刀使用，於是遂想到用他來作槍的尖端，施之實際，居然奏效。

這一事實雖極簡單，但此中已將科學研究法應用殆遍了。

至於技藝、商業、政治、軍事等項的建設，較之原未始時代的成就，直不可以道里計，這種種的發展，都是由埃及、巴比倫的人種成功的，也不過是將上述的經驗的思考，無限分類而成的結果。照此看來，可知思考法的發達，使人類由野蠻未開的時代經過游牧務農等階級，進化而成現代這種有組織的工業社會的生活。經驗的應變和淘汰，可以引導新條件和新觀念，由此更創生出新要求和新必要出來。由新要求和新必要發生應行解決的新問題，以供思想家的研究。這種問題既得了解決，又生出較前更形複雜的新條件和新要求，結果又列出新問題以待解決，如是遞進不已，遂演成進化的全程。

第二節 古代人的知識

由歷史的暗黑時代最初擁出來的文明有兩種，一為加爾底亞 (Chaldea) 的文明，一為埃及的文明。紀元前二千五百年關於長、重、及容積的法定標準是由巴比倫的政府發布的，加爾底亞的人，當然早已感覺到物理量測定上須要有確定的單位，這是無可容疑的事實。科學的確實根底，在這個時代業已出現。算術幾何學等的初步，在這個時代已開始研究，將一年分為月、日、時、分、秒也出於巴比倫人。他們將一年分作三百六十日，並且還造成一種日規。對於天文學的知識發達得很早，在紀元前二千年巴比倫人所行的天體觀測，已很精確。

巴比倫的僧侶用天象來卜人事，成為占星術 (Astrology)，至於紀元前五百四十年達其全盛時代。這種占星術在我國古代，也很盛行，歷史上每逢天子失德必舉日月蝕以為戒，他如白虹經天，五星貫日等類的記載直不遑枚舉。農業是從原始人時代就已有的，但是務農須知天時，這也是觀測天象的一大誘因。農業中最重要的事務是穀類和食用植物的栽培，關於這一項的文明，則發源於我國。

產生他一枝文明的埃及，因其宗教的態度不同，生出來的科學的精神，也自有異。加爾底亞，亞西利亞 (Assyria) 地方以為神有和人類敵對的性能，埃及則不然，以為神對人是表示好意，生死皆為之保護，和希臘人的見解一樣。前者因在底格里斯 (Tigris)，幼發拉的 (Euphrates) 的兩河岸，受暴風洪水的災難，人物漂零，住居流倒，萬物一掃而空，對於神的感想，當然不能發生好感。後者則在尼羅 (Nile) 河畔，河流有一定周期的漲落，成為豐饒的根源，自然可以培養確實，信賴，親切等的信念。兩種民族的起源雖極類似，但因自然的環境不同，人心發達的歸向也不得不異，自然的環境對於民族的差別其影響的強大，真足以令人驚嘆不置。這種宗教的傾向，勢不能不影響及於哲學的傾向以及科學的發達。在埃及既信神對於人表示好意，故以為對於我們的知識的獲得，當然也必樂與援助。埃及文明比較上發達最盛的緣故，此即其一端。埃及人既將知識的進步歸之天啓，就不可不有一主動的神，稱之為

叻忒 (Thot), 爲專司真理的女神。這種信仰有時引人入迷, 終至不能發揮其才能的真價值, 不能不謂爲大有妨礙。埃及的數學方面的發達, 雖和加爾底亞在同一水平面上, 但天文學方面, 則大爲遜色。這就是因爲埃及對於信念太專, 不能熱心去研究占星術, 因此觀測也不能十分進行。反之, 其對於醫學的研究, 却極發達, 後來經由希臘傳至西歐諸國, 則其造就, 已大可想見。對於種種藥材的配對, 其術亦極高明, 埃及式的治療風行全世界實非無理。

古代腓尼基 (Phenicia) 人, 以色列 (Israel) 人, 阿剌伯人等對於他們周圍的自然物, 雖由經驗得到相當的知識和理解, 但是科學上的成績, 却說不上。印度人性好作冥想, 對於宇宙的起原及其構成, 雖抱有種種的想像和獨斷, 但對於以周到觀察實驗爲基礎的科學的知識, 亦一無所有。總之古代科學的萌芽頗有以巴比倫爲中心, 侵入於東部亞細亞, 在此地又獨立發達起來的形迹。

古代我國人對於科學的貢獻, 其成績亦自不弱。對於天文的研究自西曆紀元前三千年前已定有制度, 由政府嚴重觀測天象, 將數百年中觀察得來的天象, 全體記載在政府的年報裏面。據近世學者的研究, 由此項年報, 可以將當時出現的彗星的軌道, 正確計算得出來。並知用日晷和巴比倫人一樣, 以行精確的測定, 據說太陽上出現的黑斑 (Sun spot), 當時也可以用肉眼觀察得出。用火藥來炸岩石, 也在西曆紀元

以前就已知道，用硫黃或水銀等來作朱也都知到。其他如關於金屬的技藝，礦物的知識，比別國人決不遜色。現今尚在通用的羅盤，業已證實是中國人發明的。就是對於電也並非完全不明。這些知識由中國輸入日本，朝鮮，印度等方發展成了東洋的特殊文明，這也是確無可疑的事實。

第三節 古代希臘和科學

古代希臘人的特性，可以用其對於知識的愛來表示。他們對於知識的愛，並不因其便於爲用，即以知識自身爲其目的，這一點尤足以發揮他們愛知的特性。他們觀察實際的自然，玩味他的意義，整理他的關係，不稍畏縮追窮起去，由此可以知道科學的精神他們早已有了。他們對於知識的愛既已達於熾熱程度，當然就有信賴理性的勇氣，只知順着理性指導的路徑猛進，而不顧慮及其結果。柏拉圖 (Plato) 曾經說過“無論被引到什麼去處，總之是遵着論證的”。這個話不特是柏拉圖的哲學的座右銘，且足以表示希臘人的特性的一斑。如上所述可知將理性力確實發見出來的地方，是希臘人的天才。他們只知以確切快活的本能，去追求知識，縱令受了頓挫，也決不退讓。近代科學的出發點爲“自然當遵從定律行止”，這個觀念，就是這樣產生於愛奧尼亞 (Ionia)。愛奧尼亞是小亞細亞的西海岸，爲古代希臘精神生活的焦點。愛奧尼亞的詩人以及哲學家的著作，都在鼓起人類求知的勇氣，向着

經驗的知識的彼岸衝去。希臘人之所以得到建設科學基礎的榮譽，即由於此。後來西歐文化的發達，完全是以希臘文化作其基礎。

古代希臘人不特能獲得經驗，並還能構成抽象的思想，以及實行應用科學的方法求其結果。由此而成論理學，數學，解剖學等堅牢基礎。他們在天文學裏面，已經將科學的方法的各階級應用過了，即是實行蒐集觀察的事實，加以組織，歸納的推理，採用假說，更將演繹的結果拿去和觀察的結果比較，以檢查其假說的當否。這是希臘人在天文學方面收顯著成效的主要原因。對於解剖學方面他們的進步也很有個樣子。惜對於化學方面幾於毫無建樹，物理學方面的成就，也不甚多。這是因為希臘人對於促進物理學化學研究的工業農業，皆極輕視，以為是奴婢的事務遂棄而不顧。他們的知識慾，並不知這一方面去求滿足，僅止於皮相的觀察和無趣味的處理，不再進一步。而且他們的奴隸制度，也不容有節省勞力的器械的發明。

第四節 希臘哲學家 and 科學

希臘哲學的發端，由於對於自然界的根本研究，其代表人物則為米利都（Miletus 為愛奧利亞首都，今之 Palatia 地方）的一個市民名叫退利斯（Thales）。其生死年月雖無從確知，然大約則在紀元前六百年前後。此人可以稱為米利都學

派的鼻祖，最初試作宇宙的說明，創幾何學以作科學的基礎，作日蝕的預言，發揮氣象學才能，對於科學的貢獻極大。後者被推為希臘哲學的創立者，列入希臘七哲人之中。米利都學派的主眼，在認有一種物素為萬物的根本，以作宇宙內一切現象變化的說明。這個物素退利斯以為是水，這種思想，由今日看起來雖不免幼稚可笑，但是在二千五百年以前，已經認定有宇宙間各種現象的原理，想去求統一的知識，這種卓見已不能不令生起敬。其後受退利斯的感化的米利都學派中，尚有德謨謨利圖 (Democritus)，恩柏多克利 (Empedocles)，亞拿薩哥拉 (Anaxagoras) 等。德謨謨利圖是最初建設原子論的人，恩柏多克利則以地、水、火、風四元素為萬物的根源，據他說我們對於光、熱、臭氣的感覺，須要物體由其表面發出細微的流體，傳達至於我們的視覺、觸覺或嗅覺等類的器官，方能發生。由此創造成感覺生理學為古代希臘的一種主要的學科。

和退利斯同時代有畢達哥拉斯 (Pythagoras)，及其徒若干人，都是很熱烈的宗教的人物，對於科學的貢獻却也不少。他發明的不僅幾何學中有名的畢達哥拉斯定理，並且還創出科學的音學，又發明了最初的物理學的器械。據說一弦琴就是他想出來實驗弦的振動定律的。他又由哲學的見地說明地球是一個球體。天文學和數學方面的研究，是他的弟子們最獎勵的學科，所以很有顯著的進步，他的弟子們對於醫

學方面，也有相當的研究。

除上述諸人而外，古代希臘人對於宇宙觀和自然科學的研究，具有卓見的學者，極其衆多。後者科學之所以能得發展，皆是受他們的影響。其中感人最深的莫如蘇格拉底 (Socrates, 469-399 B. C.)，柏拉圖 (Plato, 429-348 B. C.)，亞理士多德 (Aristoteles, 384-322 B. C.) 三人。

蘇格拉底的事業，與其說是物理學，天文學等項的自然界的研究，不如說是倫理方面的研究，還要妥當些。但是他對於科學上所遺留下來的偉業，是在闡明知識的理想，將由此得來的方法，施於實物教授上面。據他的見解知識在於發見事物的普遍不變的地方，如欲知猛勇，僅僅知覺特殊情形的猛勇行為，不足濟事，還須知普遍的不會變化的勇，即須其所以為勇的地方，方能得到目的。這是他建設的知識的新理想，成為希臘哲學的大原動力，又為一切科學的知識的根底。蘇格拉底常用“知你的本身 (Nosce te ipsum)”的一句話來戒自己兼戒他人，意思是說知識當先從知道自己入手。若不知道自己對於一種問題，究竟能夠知道幾何，決無能得知知識的理由。所以他教他的弟子的時候，先由談話問出各人對於這個問題所不能知的地方，然後纔共同向着知識研究的途徑走去。因此無論什麼人和他議論，他都不能不傾聽。至於他啓發知識的途徑大略如下。先蒐集多數的事物，由比較和對照，尋出存在其間的本質的關係，然後進而發見其普遍的性質。

其方法完全和歸納法一樣，所以後世的學者，都稱他爲“蘇格拉底的歸納研究法”。照着這樣求得事物的普遍性質，構成概念，立下定義，始能稱爲得到事物的真知識。他的這種研究法雖未經形式的發表過，但他的教授的實際，却和近世論理學家所說的完全一致，被推爲科學研究法的創設者實未過當。由上所述，可知蘇格拉底教人的方法，並非使人將新知識由外面強咽下去，乃在幫助他人自己去開發知識，指示他人如何自覺，所以他的這種教授法，有人稱爲是產婆術 (Midwifery) 的教授法，因爲生產的時候，產婆的作用，只在幫助生產者如何生產，並不能於身外爲之助力，知識亦然，除由本身自覺而外，實無法可以求得。

柏拉圖是蘇格拉底的弟子，對於其師的學說當然詳知，並將古來諸家的學說，詳細玩味，然後組成一個獨立的柏拉圖哲學，實爲哲學界中的一大偉觀。柏拉圖學說的基礎，在於科學的信念，以數學的修養作根本的要求，他的講堂門口懸有一塊匾上書“不知幾何學的人不許入內”。即此一點，已足想到他對於科學的信念，是怎樣的確固了。自然科學中他最好的爲天文學，他的全生涯皆耗於天文學的研究。再由他和人的談話中推察起去，他對於解剖學也有很豐富的知識。至於他在科學上成就的最大成績，是將蘇格拉底所用的歸納的研究法，更加以活用，此外並發明將已得的概念證實的方法，即是演繹的研究法。由既得的概念，去論應有的事實，拿

去和已知的事實對照，如能符合，則知所得的概念確實，否則不確，這就是他所用的方法。不過他最着力的地方，不在科學的問題，而在關於真知識本質的哲學及其學說全體的最後目的所在的倫理學。

亞理士多德是柏拉圖的弟子，他的着力處則在觀察自然界的現象而加以詳細的研究，這一點和他的師大不相同，後來自然科學研究的地盤，就說是由亞理士多德一人之力建築而成的，也非過當。因此後來的人崇拜亞理士多德達於極點，其由來也很深。他的科學思想學說，對於中古時代全期，都有專制的權威，一切的論爭皆以亞理士多德的一言作最後決定的標準，學者的能事，只在能得亞理士多德的學說的真傳。就到了十七世紀，假使有人妄加以反抗，即不被處死刑，亦必受非常的迫害。他的學說的勢力之大即此可見一斑。

亞理士多德於紀元前三百八十四年生於希臘的殖民地斯塔齋刺 (Stagira) 地方。其父為馬其頓 (Macedonia) 王的侍醫，所以他自幼即對於醫學以及自然科學方面，有相當的趣味。十八歲至雅典入柏拉圖之門，爾後二十年間未嘗須臾離去，直至柏拉圖死去為止。四十二歲任馬其頓太子亞歷山大 (Alexander) 的家庭教師，發揮其教育的天才。五十歲出雅典立逍遙學派 (Peripatetics，語原出於希臘語的 “περιπατητικός”，因亞里士多德在其學園的樹下逍遙講演以授其徒，故有此名) 的學校，將人類所應有的全知識，組織成為新系統，從事講

授。他的著述，真浩如淵海，爲一般希臘哲學家所不能及。其關於倫理學的書是 *Organon*；關於自然科學的則有創造論，動物分賦論，動物進化論，動物起源論等，此外關於物理學，政治學，倫理學等類的著作，皆爲一般愛讀不置的書籍，實成爲其後千數百年來一切知識的泉源。

論理學的萌芽雖出於蘇格拉底，柏拉圖，但將他組織成爲一個學科，則全賴亞理士多德的力量。他的論理學所論的是研究一切學術所用的方法，以爲這是在着手研究學術以前，就應該先行究明的。故其內容也和學術研究的目的未嘗或離。關於政治方面，則以爲人類是社會的動物，順其天性自然發達成爲社會。社會的大目的在於互相扶助，互相協力以完成各人的發達。所以國家的最後的目的是在教育人民使其成爲有德者。他的自然哲學裏所說的天地成立的理由，以爲萬物皆以爲極致向之前進，天是圓運動所在的地方，地是直線運動所在的地方，地上的萬物是由地、水、火、風四元素而成。對於氣象學的議論，所涉及的範圍亦頗廣汎，由一切宇宙的現象，論及地震、海水等類的性質。以當時極不完全的物理學，而能得如是正鵠的說明，實令人不能不佩服其能力的偉大，見識的卓越。但是他對於自然科學的偉績，還不在物理學而在動物學。他是極敏銳的觀察家，同時又是動物採集家。他著的“動物的歷史”所記載的事實，確實不少，其對於動物學研究如何熱誠也不難想到了。

以上所述僅其大略，古代希臘的三大哲人，蘇格拉底，柏拉圖，亞理士多德，都是以師弟的關係相繼而起，衣鉢相傳，於是始發達成為後世的科學進步。就是現今的歐美學術，其根底莫不含有希臘趣味的色彩，無論喜新尚奇的人怎樣反對，總之不由古典研究，決難達到學問的真髓所在，由此已可證明：過去的科學家既已如是，將來的科學家，對於希臘的這三個哲人的研究精神，以及其高遠的理想，也非永銘於心，不能得到真實的結果。

亞理士多德以後可以目為科學天才的繼起者已無一人。以一個最高的學說來統合總括科學上一切問題的事業，也無從發生。只有判明各種科學的範圍，造成專門的敘述，使科學的觀念日愈確固的一點，為其特色。各種特殊的部門，到很出了不少的學者。阿基米得 (Archimedes, 287-212 B. C.) 被時代尊為應用科學家，他是最初研究液體靜力學的人，其研究的出發點即為有名的阿基米得原理。他又研究重心的理論，將器械應用到實際生活上的端，也是由他而開的。有一個亞歷山大里亞 (Alexandria) 的人，名叫希綸 (Heron)，在紀元前百五十年至二十年間活動，其發明的天才，和對於藝術的手腕，為世所稱。此人同時又為有名的幾何學家，對於礦山測量法也有相當的成績。其發明品中有希綸球，希綸噴水泉等皆有盛名，還有一種器械，可以稱為近世蒸汽臥輪 (Steam turbine) 的模型。

第五節 羅馬和科學

羅馬時代可以分爲兩時期，一爲上古時代，一爲古典時代。上古時代是純羅馬思潮盛行的時代，古典時代是受了希臘文明影響以後的時代，其思想上教育上，均和以前的時代大不相同。紀元前百四十六年羅馬征服希臘以後，將希臘降成羅馬的屬國，其結果將希臘的文物悉數輸入，上古羅馬的狀態爲之一變。試一比較希臘人和羅馬人，即知其有不同的特質。羅馬人是實際的道德的民族，注重實行；希臘人則富於理性，審美的情操。希臘人以哲學家或有優越智識的人爲其理想的人格；羅馬人則以能够對付民衆的活動家雄辯家爲理想的人格。所以羅馬人對於純理的科學有嫌棄的傾向，對於自然界的知識不甚注重，其用力處多在家政學，法律學，軍事學方面。能够由這種平庸的羅馬科學界的水平線，嶄然露出頭角的人，不過二三人而已。

其中的一人名琉克里細阿 (Lucretius, 96-55 B. C.)，是自然哲學的天才。由原子論出發去說明物質常住的理，其方法極其巧妙。並且又用科學的方法求研究當時希臘人所未會知道的磁石的原理。他的最卓越的見解爲“厄特那 (Ætna)”詩中所說的火山的本質。希臘的自然科學研究者對於火山作用並未注意，他在這個詩中所發表的火山的學說，和現今的假說完全一致。

除琉克理細阿以外,其他具有獨創的思索的大家,尚有兩人,一爲建築家坡力奧(Pollio),其全盛時代爲紀元元年,一爲倫理哲學家辛尼加(Seneca, 2-66 A. C.) 坡力奧對於淡水泉的來源的解說,和現今的學說完全一致,又將音的傳播歸之於空中所起的波動,也和現今的見解一致。辛尼加著有“關於自然的疑問”一書,發表其由實際觀察得來的正確思考法及表現法,對於地震也抱有卓越的見解。

第六節 古代的科學教育

具案的教育是人類開化上最緊的事件,科學教授的一線光明,即由此而現。尤其是希臘的文明羅馬的全盛時代,很有許多學者對於此事抱有極進步的意見,由今日的眼光看去,雖或失之於偏,但確有相當的科學教育施設過的事實,可以證明。今略爲介紹於下:—

希臘教育的理想,在調和的發展個人的天性及其勢力,使人性無論就何方面而論,皆成爲極其高尚完美,並沒有爲圖實利實益,或圖生活手段而施的教育。欲達這種高尚純粹的理想,所以認定體操音樂等科爲最便利。前者可以鍛鍊身體,後者可以陶冶精神,兩者同屬極有價值的科目,須相輔並重始可期達完全教育的目的。後者知識日逐進步,儘有音樂唱歌,依然不足以陶冶精神,於是逐次第增加科目,成爲文法,修辭,哲學,算術,音樂,幾何,天文等合計七科。希臘人的教育一

般皆趨重於哲學，這不僅是受蘇格拉底、柏拉圖、亞理士多德的影響，一方面也是由於希臘人的特質，和哲學最爲適宜的緣故。希臘哲學的第一期，由其創始者退利斯以降，多以物理的研究爲主，取客觀的天地萬物，作其研究的對象，目的專在究明萬物的真相，所以很帶有自然科學的色彩。

希臘哲學家力說科學教育的價值的人，當首推柏拉圖和亞理士多德。柏拉圖以爲教育的目的在導入入於道德，以實現善的理想。欲達這個目的，所以當然要求將體操和音樂兩科調和起來使用，同時又痛論算術、幾何、天文及哲學等科的必要，以爲由這些學科，可以漸次到達認識物的本質的地步。因爲這些科學，不僅係實質的必要，並且還是哲學的陶冶的最好的準備。其中尤其是哲學一科，爲科學的科學，可以陶冶全人格，解明全真理，由現象界可以到達真的理念，而成爲最高的善念。因此他所以主張在教育的初期，即須施行科學的陶冶，同時到了終期即十八歲乃至二十歲時，再將音樂的陶冶減去，加重科學方面，使得更廣汎更嚴密的科學素養。

亞理士多德雖出於柏拉圖之門，但其哲學思想，却和其師迥異。柏拉圖的精神並不在廣爲觀察自然現象作精細的研究，而在離開現象界趨向於理想的建設。亞理士多德則在採集自然界的事實，促起科學的研究的進步。柏拉圖立在理想的高地下望經驗界的事物，亞理士多德則由經驗界的事物出發，漸次趣上以達於最高的理想。所以柏拉圖可以稱爲

理想主義的代表者，亞理士多德可以稱為現實主義的代表者。亞理士多德不特是哲學家，並且還是古代希臘的大教育家，其品性高潔，知力深遠，迥非他人所能望其項背，尤其是觀察力的明敏，科學思考的豐富，哲學精神的嚴正，遠出當代學者之上，他的自身就是科學的活動的一個典型。

羅馬人和希臘人的氣質上的差別，致令其對於教育的目的及方法，也生出不同的地方來。希臘是理想的教育，而羅馬的教育則由實用的見地出發。羅馬教育的理想在於造就善良的愛國者，養成長於實地活動，富於勇氣的公民。但是這個理想，羅馬發達後，即大受變遷。尤其是後來受了希臘文化的影響以後，希臘式的教育就在高等學校裏面，占據了很堅固的地盤。羅馬的科學教育，到了帝政時代，達於極盛。羅馬皇帝奧古斯都（Augustus）對科學家和有科學嗜好的人，皆加以特別保護，並建設圖書館以資研究者的參考。哈德良（Hadrianus）特為哲學家，詩人，修辭家等設立 Athenæum（祀Athena的神堂，為希臘學者詩人聚會評論詩文教習弟子的地方），學術大進，學校的數隨增，教化因而傳播四方。在羅馬帝政期中言及科學教育的價值的學者，為辛尼加。辛尼加是西班牙人，幼年隨其父母來羅馬，從事研究學術，對於哲學的造就特深，後充尼祿（Nero）的教育主任。他的教育的目的，當然在道德的陶冶，教授的方針，在圖真正內部的發達，對於實地生活，以實地的陶冶為主，不主張多教多讀，其實科設幾何學，天文

學等，教授此等科目的目的，在由自然的研究，去認識神的存在，并說照此可以將心的生活組織得和自然的順序一樣。

古代基督教教育是一般的人道的帶有很強的超出世間的傾向，這是由他的系統上想去當然應該這樣。基督教以現世爲一時的，不過是去天國的準備，所以對於身體的慾望要求皆加以制限，以爲精神清淨，即可適合未來的生活，所以在基督教教育裏面，從前那種教育的客觀的審美的要素，都大失其勢力。基督教的學校對於羅馬的科學，如哲學，幾何，文法，修辭，尤其是數學，天文等科，雖皆教授，但其目的則在用科學的方法來處理基督教的道理，想由此去傳宗教的真理，并養成將來保護真理的宗教教師。

在基督教教育期中，表示很強硬的反科學精神的態度的教育，爲寺院學校。因爲要和現世界斷絕一切交際，所以使人遁入寺院裏去過隱居的生活，以祈禱，沈思，手技等爲其日常功課。在這種偏見的教育圈內，將科學的教育，看成是將欲與神接近的心，引誘去再和現世接近，所以視爲含有危險的性質。只要是精神的道德的，那就不知科學也無妨礙。

要之，古代的科學教育其目的陶冶精神使能得調和的發達爲主，並未嘗着眼於生活的實切要求，以及社會生活的改善等方面，所以他的教材範圍，過於偏狹，專限於和日常生活無甚關係的事項，其處理的方法也很獨斷，無所謂秩序的教授法。

第二章 中世紀的科學及科學教育

第一節 阿剌伯和科學

自然科學所謂的中世紀，是指自古代文明衰落以後至意大利文藝復興為止將及一千年間的時期而言。這個世紀的特徵，第一當數早世紀基督教徒對於羅馬政治的放蕩殘忍行為而起的反動，以及彼們由住民的思想而成未來中心主義的變遷，現世工業的生活的趣味的缺乏，以及物質人生兩界，皆將事實和實力賦之等閑不稍注重等項。第二則為早世紀的教父等基督教的根本思想，係奉造物主為唯一的神，萬民的父，以為一切人類皆為兄弟，莫不受神即天父的保護。這種漸次傳播於四方，和其他各種異教接觸，即發生種種的問題，不得不將信仰這種新宗教的宗旨，明白表示出來。這就是基督教的教理組織所由起的原因，凡和這項事業與有力的人，皆稱為教父，創立獨斷的神學說來保護他們的信仰，稱為教父哲學(Patristic philosophy)。更經中世紀教會或國權的援助，這個系統的氣勢為之大振，對於中世紀的科學的第三種的影響，則為羅馬社會組織的頹廢，和歐洲地方因日耳曼民族蜂擁而來，遂出現了數世紀的暗黑時代。因為有這種種的原因，所以就是智力優秀富有研究思想的人，對於科學的研究，也不得不冷淡起來。他們以為將事實賦之等閑並不足怪，只知努力去容納希臘哲學家以教父的傳說或獨斷的學

說，大有將一切智識由形式的推理，轉爲演繹的形式。因此致令思想高尙的方面，和日常生活的方面，完全脫離不相繫屬。

就是在如上所述的科學不生產時代，對於後世科學的發展，也不能說絕無影響。尤其是中世紀的初葉，那些作游牧生活的阿剌伯的沙漠民族，居然對於科學，也有成績可言，真不可不謂是一種奇績。阿剌伯人每當宗教的政治活動告一段落以後，同時即入希臘人開設的學校，或聘請與他們同住着一派的基督教徒，作其講師，以研究醫學，天文學等。亞理士多德以來的希臘哲學家的著述，也都用通俗的阿剌伯文字翻譯出來，以圖將這些知識廣佈於其民族間。代數學，機械學等還是阿剌伯人獨立研究成功的。尤其是化學，可以稱爲阿剌伯人最有榮光的成績。其代表的第一流化學家，爲第八世紀時的給柏（Geber）。給柏不僅是有名的鍊金術（Alchemy）家，並且對於真正化學上的發明發見，亦頗不少。鍊金術的目的在將卑金屬化爲金屬中的王，即將一切金屬改造成爲黃金，並欲採出哲學家的石以到於不老長生的境。他創出化學分析上兩個極重要的方法，一爲蒸餾，一爲濾過。又發見昇華作用，此外并製出硫酸硝酸等，完成對於種種金屬的氧化物的精細研究。實際化學歷史中皆稱阿剌伯的這個時代爲給柏時代。由給柏的研究，誘起鍊金術家，一時極呈盛況，但當時反對鍊金術的學者，也不乏其人。用現今的眼光以論阿剌伯人的化學實驗室，其設備確不可不謂爲實已完備。

阿剌伯的物理學也並不幼稚。尤其是應用物理學，很有出人頭地的地方。他們研究槓桿的連結，將其結果應用到時計、水車、軍用機械等類上面，很出了許多的水力工程家，又發明了比重的測定法，並將五十種的物質的比重測出，造成一表，其值很能一致。關於光學方面的原理及器械的研究，都較希臘時代更為正確。阿爾哈詹 (Alhazen, 965-1038) 對於光的傳播，以為必須有少許的時間，又作平面鏡球面鏡等正確的檢查，細測屈折角和投射角的關係，對於透鏡的研究亦即精確。

阿剌伯人對於數學方面的研究程度也很不淺，由此促起天文學方面的大進步，以及觀測器械的應良，其功亦不可沒。

第二節 基督教會和科學

基督教最初出於猶太教，初創時並未混有絲毫的科學思想或哲學思想在內，僅由單純的宗教信念而成。他的根本思想信神為天地萬物的主宰，基督為萬民的救主，此兩者是人類崇拜和信賴的唯一的物。這種單純的思想，因為和當時人對於宗教的渴望很能適應，所以羅馬當時雖有不少的宗教，也不能與他為敵，遂傳播於四方。當其傳至歐洲盛行的時候，對於其他的宗教的態度，極其嚴厲。將異教看成惡魔愚昧，用政權兵權等類非常的手段去加以壓服和排斥，這是基

督教歷史上不可洗去的污點。

第二世紀以降，基督教會組織的教理，取法於希臘羅馬的哲學的地方很多。以非常的手段去傳播“力即權利”的思想，扶持他的勢力，其結果遂令全歐的人心，皆受基督教教理的支配。但其所謂教理，大體帶有神學的性質（神學是宗教的和的一方面，是研究宗教思想的科學），所以和自然科學，沒有什麼關係。但當其作聖經的解說時，無論如何對於自然界的現象，宇宙觀等的問題，總陷於不得不論爭的地位，因為受了這個壓迫，漸次方感覺有將自然科學的全體知識引入的必要。不消說這種自然科學是消極的性質，不能有什麼獨創的發見，其科學上的知識的程度的低淺，幾於令人不能相信。如是者數百年未能更進一步。

自第五世紀以至第八世紀，其間約有四百年間，為歷史上有名的歐羅巴的暗黑時代，羅馬帝國被北方的蠻人蹂躪以後，由希臘羅馬等所成的一切文物，皆消滅殆盡。能將這些文物保藏得住的，只有羅馬教會。在中世紀的時代，由文事以至產業，以及社會各種事業的指導者，除羅馬教會的僧侶而外，無人可以擔任。他們在當時可以稱為一切知識的倉庫。用教會的大組織大勢力來教化北方的蠻人，使他們能夠了解希臘羅馬的文藝，他們的這種功績確是可以永垂不朽的。

科學的精神衰頹達於極點的時代當為第七世紀，到了第八世紀已經略有新鮮精神運動的曙光了。在英國的諸島

由日耳曼民族和克勒特(Celt)民族的僧侶，纔將愛科學的精神，使其復醒起來。西歐羅巴科學的勃興，其大部分的動力，都在第八世紀末葉增加的寺院學校和其附屬的學校，這是不可不爲之特筆記錄的。這些學校裏面將天文學博物學等包括成爲世界誌講授，並附有小植物園和動物園等類的設備。

第三節 經院哲學和科學

由前節所述，可知基督教的教理，是教父時代取法於希臘哲學的思想而成的，但是關於哲學和宗教的關係，道理和信仰的關係，却還未明。中世紀的哲學，更進一步，去論宗教上的信仰實也具有哲學上的道理。換句話說，是想究明哲學上的理論和宗教上的信仰互相一致的地方。抱這個目的的學派即經院哲學(Scholastic philosophy)，這一派的學者，稱爲經院派學者。這個Schola的名詞，是最初設的學校，以養成宣教師爲目的，後即沿用此名以稱這一派。

經院派學者的目的，在發見知識和信仰間的，完全的調合點，來作神學的合理的解釋，所以對於一切關於宇宙的科學，皆不能輕視。其結果遂令這一派的學者，中出了不少的人，專着眼於自然界的研究，而其主要的思想，則多取諸柏拉圖亞理士多德。在經院學派全盛的時代，尤其是亞理士多德的學說大爲一般所崇拜。其所以如此亦自有種種的理由，當時的教會對於網羅自然界全般知識，把執當時學界的主權，支

配世間一切行動等皆感覺有其必要，對此種種要求，以亞理士多德作其知識的淵源，極為適宜。所以當時的人，莫不欲正確翻譯亞理士多德的著述，並欲得透澈的了解，作更深的研究，故對於自然科學方面，有獨創的研究的人，亦頗不少。此派中有一個人曾經說過，“除亞理士多德而外，對於自然這個教科書也決不可輕視”。又經院學院全盛時期後，有人痛言有註解的亞理士多德的著書，已不能成為知識慾的對象，非用事物的本身來作研究的對象不可。由此可知晚年的經院學派，不屑盲從先哲的著述的思潮，已漸次濃厚起來了。

英國的經院學院的研究活動，在科學進步上所生的效果頗大，其中尤其是培根·羅哲爾 (Roger Bacon, 1214-94) 的功績，不可沒滅。培根·羅哲爾在經院學派中受希臘學術精神的感化特別較大，致力於自然界的研究，以重視觀察實驗為振興科學的基礎，即在今日看去，亦不可不謂為是一種卓越的見解。就此一點說來，他可以算是全歐洲中的第一先覺者。他不特主張用實驗的方法，而且自身就是一個實驗大家，自然科學的各部分中，都留得有若干的成績。他著有一部光學教科書，盛行了兩世紀，書中對於各種透鏡及其組合的理論，尤其精確，對於天文學尤有永久的興味，曾努力去作二十年間的星座表。關於火藥也研究過。他又主張數學極其必要，是一切教育的基礎，他的思考方法，較其內容更為重要。提倡研究外國語和古代語的必要也首推此人。

法國的經院學派的成就,也很不弱。千二百五十年焚森細奧(Vincentius Bellovacensis)著有一部自然現象,將從前比較上賦之等閑的那些自然現象,就實際上說出非詳加研究不可的道理。又十四世紀尼大拉·多雷斯姆(Nikolaus D'Oresme)著的地球論,是用法文著的第一本的科學書籍。後期經院學派的一人皮耳·達里(Pierre D'Ally, 1380-1452)所著的宇宙圖說,使哥倫布受非常的感化,對於他實行航海探險,爲力實不少。

後中世紀歐洲各國的大學,大都是受經院學派的學者的支配。尤其是在這個時期創設的德國的各大學,全是這樣。即此一點也就足以推知經院哲學影響感化的偉大了。

第四節 中世紀的科學教育

中世紀教育的特色,在於教育的內容,形式及其範圍皆完全由寺院決定,並且專利用來達寺院的目的。寺院代替國家對於人生有無限的勢力,同時教育也單只用作宗教上的一種手段,不能爲宗教利用的科學,認爲有害概行排斥,不承認有科學獨立的價值。大勢所向,對於自然界的觀察研究,或被輕視,或遭排斥,一切事權,概由教權下一命令以作決定,毫不顧及個人思想的自由發達。由現今的眼光看去,這樣的教育,一反健全教育的理想,和真正的科學的精神決不相容,但亦能因此遂沒視中世紀宗教教育的一切貢獻。尤其是內省

考察的精神的陶冶，以及使思想不止於現象而兼及其根本的傾向，同爲實地生活以及將來學術進步的絕大原因。

對於中世紀的教育還有一個大原因，即是日耳曼民族的侵入，文化上暫時受其破壞的影響，成爲暗黑時代，但他們却能利用新領土的文化，師事被其征服的人民，以新生的活動力從事研究，練磨智能，這種勢力遂成爲近世教育上最大的潛勢力。

中世紀科學研究和普及的最大原因，則爲大學的創立以及市民學校的組織。大學由於學者或熱心研究科學的青年任意集合而成的，所以當然不受宗教的壓迫，也不依賴王侯的勢力，純粹以研究科學爲其目的。第十一世紀由法國教會附屬的不完全的學校，加以改革，巴黎的學者間組織成一種會合教授神學，法學，醫學，文學四科，稱其名曰大學。其文學是由文法，修辭，哲學的三科，再加入數學，幾何，音樂，天文四預科組合而成的。繼巴黎大學而起的德國則有布拉格 (Prague) 大學，英國則有牛津大學，各國相競設立這種教育機關。市民學校則因商工業發達以後，都市生活狀況大變，舊時的宗教學校，當然不能使人滿意，於是始有此種學校的組織。既有此種學校，自然由特種人民的教育，進而感到陶冶一般人民的必要。市民學校的內容和寺院學院並無大差，對於科學的教育，也未十分顧慮到，不過對於一般的教育普及却有所貢獻。由此看來，可知中世紀的後期，其所以有大學市民學校等的

盛況完全由於寺院學校的退步而來，由此遂斷定科學的教育精神脫離僧侶界而去，則未免失之過躁，因此後僧侶之中熱心研究科學和圖教育普及的人為數實不少。

論中世紀的科學教育，不可忘却猶太人和阿剌伯人的功績。猶太人很早就奉一神教，信自己是在神的特別保護之下，對於子女的教育很為注意，當歐洲基督教國人民未達開化的時代，全賴有猶太人將希臘、阿剌伯的文化輸入，作其哲學或科學的教師，所以對於歐洲文化的貢獻，着實不少。阿剌伯人種見於教育史上當以穆罕默德（Muhammed）為始，他不特增強政治的宗教的勢力，並還立下科學活動的基礎，因為由他製定可蘭（Koran），使阿剌伯人感覺有受科學的教育和秩序的教授的必要。

由上所述，可知中世紀的科學教育也和古代一樣不能脫離幼稚的境界，其進化極遲。但文藝復興科學隆盛的潛勢力實皆蘊蓄於此時期中，將這個時期，看作一種準備時代最為得當。

第三章 近世的科學及科學教育

第一節 文藝復興和科學

由中世紀進入近世紀的這個過渡時期，在歐羅巴的歷史上，是一個大變動的時代。自第十四世紀以來，人民的眼界漸開，封建制度漸趨消滅，市府興起，王權增大，完成國家統一的事業。同時社會組織進步，為引起人智大發展的一大原因。內而得出種種的發明發見，外而航行海外開通商的途徑，種種皆成為誘起新時代的原因。這個時代總稱為文藝復興（Renaissance）。這個名詞的意義，並不儘限於文藝方面的復興，並還含有國家的組織、政治的革新、發見的希望、學術的傾向、知識慾的自由發動等一切和這個時代共起的特徵。

在這個時代，在海上的發見最多，開始第一人當推葡萄牙的航海皇子亨利（Heinlich），他立下一個大計畫要應用天文學和物理的地理學到航海上面，葡萄牙人得其指導於是而有周遊阿弗利加洲的航海，於1486繞好望峯而過，於1497年開闢印度的航路，於1500年發見巴西（Brazil）。這種種的發見得力於自然科學的知識當然很不少，但由反面說，因為地球表面的擴張，科學的研究也得了不少的便利。哥倫布（Columbus, 1445?-1506）立下一個大計畫要由大西洋航行到亞細亞的東海岸，以證明他所主張的地球為一球形，他將這個計畫向葡萄牙去請願，不能得志，後來到了西班牙，纔得實地研

究的機會。於1492年發見了西印度羣島，航行三次將新大陸的知識輸入當時的人的腦裏。因這個新大陸的發見，關於自然界的眼界增廣不小，對於科學上的影響也極顯著。又當時受西班牙王委託實行世界周航的麥哲倫（Magellan, 1470-1521）的事業對於科學上也極重要。由此而地球為有限物體浮游於空間中的事實，始成不可爭論的真理。

這個時候還有一個驚天動地的大發見，就是地動說的主張。從來的宇宙觀，都是以地球為宇宙的中心，諸天體在其周圍運行着的，現在却顛轉過來，將地球和太陽的位置交換過，以太陽來作中心，另造成一種宇宙觀。這樣的大問題當然非一朝一夕所能解決，所以指點出許多暗示的人也有，完成一部分的說明的人也有，其中能得強有力的證明的人，則為波蘭的哥白尼和德國的刻卜勒。哥白尼（Copernicus, 1473-1543）在意大利的大學受科學教育，四十年間皆消磨於天文學上的觀測和計算。據他的宇宙系統說，以月為地球的衛星，將太陽和地球的位置交換過，以為地球是以二十四時間的周期在地軸的周圍轉動，並證明若用這個假說，則一切行星的運動的說明，皆可以化為極簡單的形式，比較從來的說明其簡單的程度直不可以道里計。但是這個學說當時並未曾受十分普遍的歡迎。這一來是因為人智還未開，二來也由於教會的反對。後來還是哥白尼死後，由大思想家刻卜勒（Johannes Kepler, 1571-

1630)一生的目的也只在完成哥白尼的事業。他著有世界的調和 (Harmonices mundi, libri V) 一書於 1619 年出版,詳述關於行星運動他最有名的三大定律,觀測的結果和數學的證明完全一致。得了這個有力的證明,太陽中心說方占住全勝的地位,成為永垂不朽的真理。這完全出於他的大膽的想像力和精確的計算,他最初將對數使用到天文學計算上去。他的事業和從來科學的發見,大異其趣,頗帶有現代式的科學研究法的色彩,可以認為是促進科學研究法的事業。換句話說,他所用的現代式的科學研究法的特色,是以定量的觀察作求真知識必不可缺的手段。

由上所述,可知當時學術界對於舊時代的遺物不能滿足,有一種求新的精神,蓬蓬勃勃發育起來,這種精神先喚起歎美古代希臘文化的傾向,要想在古代文藝的復興裏面去求滿足。當時的學風,以為學習古代的文藝,是為人所不可缺少的事件,倡導這種學風的人,稱為人文學派 (Humanist)。由人文學者的力,古代各種哲學的復活,方可得而再見,其主要的舞臺先在南歐的意大利次及於德國,其後竟傳達於西歐。和哲學復興同時而起的新現象,是哲學和神學的分手,以自然界的研究為其本職,漸漸的纔產生出近世的自然科學。物理學一科從來看作數學的附屬品或是哲學的一部分,到了近世,方以一日千里的勢發展開來,物理學的現象,在任何方面,都隨時陸續發見,結局非獨立成為一科研究不可。化學也

是這樣，從來因為和藥學醫學方面的關係很密切，所以視為同一的學科處理，到了這個時代，纔現出分離的傾向，成為獨立專門研究的一科。還有礦物、地質、植物、動物等類博物方面的各分科也和物理學化學一樣，同時脫離混雜的草創時代，進化成為獨立的學科。以蒐集極大的事實和利用擴大鏡的研究，為研究界開一新紀元。

應用科學方面也同時進步。玻璃工業於1442年起於波希米亞(Bohemia)，其後各地也都設立玻璃工場起來。明礬也在這個時期用來供染色，染色學因此大為發達。石鹼的製造起於意大利的威尼斯(Venice)。將錫的銻齊(Amalgan)塗在玻璃上，發明了製鏡的方法。照相用暗箱，顯微鏡，望遠鏡，溫度計的發明，也在近世紀的最初。就中尤以印刷術的發明對於文藝復興，科學普及的功為最大。活版印刷是德國馬因斯(Mainz)人谷騰堡(Johann Gutenberg, 1397-1468)於1450年發明的，由麻綿製成紙張以代重價的羊皮紙，因此書籍如前專為富者所獨有。當時出版的檢閱雖極嚴重，但因為印刷便利，致新思想的潮流瀰漫於天下。除印刷術的發明而外，同時對於社會的組織上，大蒙其影響的發明，還有一種，就是火藥的應用。火藥的發明最初雖為我國，然傳至歐洲，則在第十四世紀的中葉，同時改良火鎗，漸用於戰場上，戰法為之大變，結果遂令各國的兵制也不得不大加一番改革。

和印刷、火藥的發明使用，對於新局面的展開，同具有絕

大的功績的發明，爲磁針的使用。磁針也是由我國發明的，到第十三世紀纔傳到東歐，第十四世紀的初葉，始用於西歐諸國，應用到船舶上以後，航海的範圍就大不如前此的狹小，可以一任羅盤指針所指的方向作遠洋的航海。因此一般的人稱印刷術，火藥，磁針三種的使用法爲變轉中世紀局面的三大發明，確非過言。

第二節 文藝復興和科學教育

文藝復興以人文主義的運動爲始。人文主義一般尊崇古代的文物，用希臘語及拉丁語作教授的材料，以言語的技能作一切教育的基礎，反對古代希臘教育中所現的用數學的科學認哲學爲最高教化的傾向。這種語言的文學的傾向，失之過度，自然免不了陷於蔑視其他科學的態度，但却不能即將此事，認爲有礙於科學的教育。關於這一層德國的柏林大學教授保羅森(Paulson)說得很明白；茲摘譯出來如下：——

“就一方面的意義說來，人文主義的性質，的確和哲學科學反對，對於從來的大學哲學以及當時的一般科學，莫不加以輕蔑和嫌厭，如論理，物理，玄學，倫理等類，根據着亞理士多德的著述爲之講演解釋，都是無意識的舉動，和粗俗鄙野的談論一樣，對於法政學及神學，也大略相同，研究這些學問的人，他們都稱之爲詭辯家。然而按諸其實，人文學派比較古學研究家反轉和古代的詭辯學家接近得多。而且科學的思考

是遵着由概念統合思想的方向向着事物進行的，人文學派對於概念抱有極其厭惡的感情，不願意降自從物，傾心於對象，反轉因為表明自己去利用事物。人文主義和哲學的科學的傾向相反，是表示一種文學的審美的傾向。但由他一方面看起來，却不能將文藝復興時期，誤認為對於事物的認知完全沒有興趣，所以什麼也不去作。實際上科學的生活的復興，即以這個時期為其開始，近世科學的全般的發展，其本源皆在於此。……他們流行的那些偽天文學，偽化學，魔法，妖術，可以看成對於求新好奇而起的一種勇氣的表現。人文學派中最有見識的人，對於這種傾向並未反對，轉因破壞了依賴運命的信仰，增高了妄想，力求這些妄想能夠實現，這種思想可以說是哲學的研究的起點，表示他們所注意的不在對於物的傳說，而在對於物的自身。人文主義的這一點效果是不能不承認的。其他如人文主義對於上古科學研究的結果，主張知其原本的形式，脫離了中古傳說的羈絆，由此方能發育新科學的精神，這也是他們的長處。

在阿爾卑斯 (Alps) 山南方的文藝復興的運動，傳至北方當時和他無甚關係的德國，到了第十五世紀的末葉，達於全盛的狀況。伊拉斯莫斯 (Erasmus, 1467-1536) 是德國人文教化的最初的代表者，他力說實科的知識的重要，以為當教師的人非有關於歷史，地理，博物等的知識不可。

法國，英國的人文主義的勢力也復不弱，不過開始時由

科學教育着眼論去，尚無足舉罷了。

宗教改革時代的實地教育家，使科學教育爲之大放光明的人，當推內安得 (Neander, 1525-1594)，他在維騰伯革 (Wittenberge) 大學聽宗教改革先鋒路得 (Luther) 和梅蘭克 (Melanchton) 的講義，並且自己也有極賅博的知識，不僅精通希臘語，拉丁語，並涉獵醫學，化學，歷史以及自然科學。他以爲要引起學生的敬虔心的學校的最重要的職務，除將語言作爲教科而外，還有將歷史，地理，自然科學等加入的必要。他在梅蘭克登的門人中，要算是最注意實科方面的人，這一點和當時其他的教育家大不相同。路得和梅蘭克登兩人都未嘗不和內安得一樣的注重實地的知識，但却並不是真正的尊重科學，以研究自然自身爲必要，不過是說自然科學的知識，在學習或使用語言時很有用處罷了，科學的最高權威，依然還是在亞理士多德的書中。

希臘的思想，已經認可人類和自然有很密接的關係，並發生過種種的哲學學說，到來後來何以使文學和科學對立，人文和實科對立，其來由大約如下。學校裏面對於語言方面的教授法異常發達，生出一種傳習的學習法，具有莫大的情性。加之，物質的事實對於感覺的事件鄙棄不顧的態度，依然遞傳下去，異常強硬。第十七世紀中葉中學大學中的語言教育，被當時復興的神學興味所囚，專用來作宗教教育和其論爭的使用。自然科學的應用愈形發達，人文主義的學者抱定

一個意見，以爲自然科學有唯物主義的傾向，並未嘗處理什麼人類的興味，所以從頭加以輕視，信語言文學纔能代表人類的道義的理想。以上各種都可以說使科學和文學人文和實科成爲對立的主要原因。

第三節 倍根和科學新研究法

文藝復興時代思想的舞臺，專在意德兩國。但在意國方面後來因爲羅馬教會鑒於環境的情況，實行內部改革，結果勢力爲之大增，而新學術勃興的運命則被其抑壓下來。在德國方面，宗教改革後即起長年的戰爭，結局使學術一時大爲衰頹。因此一來，近世學術思想的舞臺，遂至於英國，法國以及宣布自由制度給人民以信教思想自由的荷蘭。在這個時候英國，意國各出了一人，爲近世學術研究法的前驅，開自然科學的基礎，是不可不特筆爲之記載。

倍根 (Francis Bacon, 1561-1626) 認定三段論法的那種演繹法，對於擴張我們的知識，完全無有價值，力說學問研究法有從根本改革的必要。他所謂的新機關 (Novum Organum) 就是說的這件事。他說“我們所能依據的是經驗，所以一切學術的研究，皆非依據由經驗出發，漸次去發見共通定律的歸納法不可。他這樣努力去說明自然科學的研究法，實是他的功績，後世稱他爲近世學術的元祖，就是就這個意思說的。不過他自己却並未由這個研究法發見出什麼定律。倍根深信

“知識即力 (Scientia est Pontentia)”這句話，以為欲得自然界知識的目的，畢竟是在實用，所以認定由求得自然界的定律，即可達利用自然力以供應用的目的。即是倍根的理想，在於用精密的科學研究法(即歸納法)去探求自然的祕密，確定其定律，由此即可利用自然力以成就偉大的事業。事實上確是因為出了倍根我們纔有改善生活增進人生幸福等新希望的呼聲。

倍根反對人文主義的思潮，是主張自然興味與人類興味統一的代表人物。據他的意見，自然界的研究，決不僅僅關於物質界，就是精神界的現象，也須採用自然科學的研究法，方能確實。換句話說，他的眼光已經將物質界，精神界的科學的研究法的理想看透過了。他所預言的將來的進步，事實上經過許久還未能實現，並非他的預見不得當，實在是因為新科學很不容易脫離舊來的習慣的緣故。

第四節 伽利略和新科學

倍根的科學研究法微有不足的地方，則在未曾着眼將數學引入物理的研究裏去，後來由意國佛羅稜薩 (Florence) 人伽利略 (Galileo Galilei, 1564-1642)，方將這個事業完成，為學界劃一新時期。他對於天文學物理學都創始應用假說，但其假說却須經過數學的演繹和觀察實驗的合作，詳細檢查後，方實際使用。又將各現象的真正的關係分解出來，引導他

們所遵依的定律，更用論理的方法，歸之於更簡單的原理下面，這個理想也是由他實現出來的。他又着眼於應用數學到一切物理現象，去求現象的起因和其定律，將性質上的區別歸之於分量上的區別，成為近世學術研究的傾向。他和培根大不相同，本身就是當時唯一有名的自然科學家，發明望遠鏡，對於天體的研究也有相當的成績，還有關於落體運動，關於擺的運動等項的發明，而其最主要且可永垂不朽的事業，則為奠定近世實驗科學和數學的科學的基礎。

伽利略在畢沙 (Pisa) 斜塔內直接實驗過擺的運動定律和落體的定律，是由其得意弟子偉偉晏尼 (Viviani) 報告出來的，不甚可靠。同一道理望遠鏡也並不是由他發明的。實在是千六百年由一個荷蘭的饒有光學經驗的工人發明出來的。初作出來的時候，異常簡單，通稱為荷蘭望遠鏡，後經伽利略為之改良，而成為望遠鏡。當時能使用這種望遠鏡來觀測天體的人當然沒有能及伽利略的。就是刻卜勒也不能出伽利略之右。月球上有山岳，木星有四個衛星，金星水星的狀況和月球相做等項的發見，都是伽利略用望遠鏡觀測得來的。

由伽利略的學問上說起來，當然為熱心教會的人所不歡迎。但他却本着他的自由精神，力主地動說不稍退讓。結果由宗教裁判下一判決強迫他立誓放廢他那異端的地動說。不過當他立誓的時候他依然用小聲說道：“無論怎樣，地球

還是運動的”。這或許是造出來的逸話，不過由於也就可以推知他的思想對於學問是怎樣的忠實了。他的晚年是在佛羅稜斯近傍，作一種半監禁的生活，但是依然繼續着研究，一直到1642年方因病而逝。

第五節 牛頓和現代科學

伽利略逝去的那一年就是1642年的聖誕節的那一日，英國林肯州 (Lincolnshire) 的格藍騰 (Grantham) 市附近地方有一鄉村名叫武爾斯叻卜 (Woolsthorpe)，產生了一個科學界裏名垂不朽的偉大人物，即是牛頓 (Issac Newton, 1642-1727)。他生下來的時體格雖極孱小虛弱，然能活至1727年的三月，居然達到八十四歲的高齡，比普通體格強健的人，壽命還長，也算是想不到的了。他的父親是一個很貧寒的鄉農，未及其生，業已死去。他的母親將他撫到三歲就要外嫁了，又生下一男二女。他的小學教育是在家鄉地方受的，十二歲升入格藍騰中學。據他晚年的自白，當他在中學的時候，很不用功，成績極劣。後來有一天受了同級生的侮辱，遂大為奮發，竭力讀書，卒得最優等的地位。他不喜和同學的朋友遊戲，專好一個人獨自去研究器械的創造，每日唯以水車，日晷等類作樂，所以他對於機械的知識和他的手工早已博得校內校外的人士稱許。十四歲的時他的繼父死去，由格藍騰學校被喚回家，不能繼續學業，只得就農。每逢禮拜六必和老僕到格藍騰去賣

收獲的穀物。他並不喜歡這種俗務，仍然專心他的學業，爲其叔父發見，然後力勸其母使之再入學校。到1660年的六月，方得了劍橋大學的入學許可，進其特麟尼替學院 (Trinity college)，研究數學。他的數學的天才，致使其教師莫不爲之驚嘆不置。在學生時代，最喜研究笛卡兒 (Descartes) 的幾何學，由此對於高等數學發生出無窮的興味，遂致於1666年發見微分法，於1668年發明反射望遠鏡等，將他的數學方面和物理學方面的非凡天才，盡情發揮出來。

牛頓的生涯可以分爲三期來說：第一期由幼時至被任命爲劍橋大學教授時爲止。第二期至(1699)被任命爲造幣局長爲止。第三期爲此後他在倫敦過活的三十二年間的公生活，是他執學界牛耳的最得意的時期。晚年患石瘰於1727年二月皇家學院主席完了後，病勢頓增，同年三月二十日遂瀆然長逝。葬於英國偉人公墓韋斯敏斯德 (Westminster) 之中。

牛頓最有名的偉業，爲創立重力說。這個學說的意義所以如是重大，因其所指並不僅地球及地球上的物體，就是各物體間各天體間，也須遵着這個定律受引力的作用，即是將全宇宙皆包括入於一個定律之內。從來都以爲天界和地界其質不同，天界的完美遠出於地界的上面。後來有了天文學物理學以及和此有密接關係的哲學思想發達起來，於是全物質界皆須同一定律支配的學說，方漸次占據優勢，但是最後的決定，則出諸牛頓。他由數學上的結果和觀測上的結果，

完全一致，遂證明重力的定律，無論天上地下都是同一樣的，由此判斷兩界的物質完全不應有差別。像這樣包羅萬有的大原則，到那個時候一個也還沒有發見過，所以對於學界引起的刺戟也就非常的大。從他將這個定律立定以後，一直到了最近，所有的物理學都不過是以牛頓重力說作為中心構成的力學的說明罷了。他的最有名的傑作，是 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*，詳論運動定律，行星系的運動，宇宙引力的定律等項，闡明天體運行的理由。拉普拉斯批評這部書是人智產物中最卓越的。後來的物理學完全是建築在他這重力定律的上面，要是對於他這定律稍有懷疑，物理學的根本就非改造過不可。現今轟動全世耳目的相對性原理，就是因為對於數百年來奉為金科玉律的牛頓學說，敢於提出抗議的緣故。

牛頓繼伽利略的後力主將數學導入科學研究法裏去，所以對於近世科學，也有極大的影響。他主張真正的科學研究法，除由數學的思考而外別無他途。他自身就發明了微分學作研究界的新武器（同時德國的來布尼茲（*Leibnitz*）也有同一的發明彼此互爭優先權為學界中有名的逸話，但後來則稱此兩偉人同為微分的發明家），應用於物理學的計算，這一件事由現今的眼光看去，其價值的遠大，直不可測度。自從這種新武器出現以後，科學的研究不知增加幾許精確，實非預想所能推知其萬一。

牛頓還有一個很有名的研究即光的分散。至其對於光的本性，則固執其放射說，不肯容納惠更斯的波動說。像他這樣偉大的人物，還有這種固持己見結局令世人永入迷途的失着，可見我們研究的態度，不得不再三審慎，方可期得正確的結果。

第六節 第十七、八世紀中自然科學的進步

科學界中自從受了倍根的科學新研究法，伽利略和牛頓兩偉人所成的事業，種種刺激以來，這兩百年間所得的科學的產物，比較起中世紀以來，多至不可勝計。不特純正科學方面如此，就是應用科學方面，也是這樣。我們現在專就和自然科學教授有關係的一部分，略述於下：——

第十七世紀的中葉，法國的科學家巴斯噶（Pascal, 1623-1662）在 Puy-de-Dôme 山上行氣壓計的實驗，又發見液體傳達壓力的原理，現通稱為巴斯噶原理。同時（1660）英國的波義耳（Boyle, 1627-1691）實驗氣體的壓力和體積的關係，發見了波義耳定律。第十八世紀的初葉，德國的物理學家華倫海（Fahrenheit, 1686-1736）着手發明精確的溫度計，於1724年設定下華氏溫度計的分度法。接着法國的列麥（Reaumer, 1683-1757）於1730年製成酒精溫度計和列氏分度法。瑞典的攝爾休（Celsius, 1701-1744）於1742年發表用水的冰點作零度，用沸點作100度，作出百度溫度計。我們現今將用的測定溫度的

標準，都是第十八世紀前半就有的。在大西洋的對岸，則有美國政治家佛蘭克林(Benjamin Franklin, 1706-1790)研究雷電的現象，於1752年證明雷電不外是空中的放電。至於使物理界發生大變動的電流，則由意大利的解剖學家賈法尼(Galvani, 1737-1798)於1791年爲之開其端緒。

音學和光學在現今雖成爲很密接的學科，但在十七、十八世紀時代的學者，還未曾注意及此。音是一種波動，這到無可容疑，不過光、熱、電也都是一種波動傳播的自然現象，却無論何人也萬想不到。當時所採用的專是放射說，以爲光是由物體以非常大的速度放射出來的微粒子即所謂光素，傳到吾人的眼內，網膜受其壓力作用，始發生視覺。對於熱也用熱素的假說，以爲物體的溫度的高低，由其所含有的熱素的多寡而定。對於電磁的現象，也以爲是由一種不可秤量的液體流動而成的現象。但是用光素說不能說明的現象，到第十七世紀的後半，發見了兩種，一種是薄膜所呈的色，一種是複屈折。以後用放射說不能解釋的現象陸續發見出來，有許多的學者遂主張非用波動不能說明，此中尤其是荷蘭的物理學家惠更斯(Huygens, 1629-1695)的主張最爲有名。

第十七世紀十八世紀所用的教科書，還是將物理學和化學併在一起。兩方面的研究同時并行，得有盛名的學者亦不乏其人。前舉的波義耳即其中的一人，他是達爾頓的先驅者，確信物質的微分子說，排斥當時盛行着的鍊金術家的元

素說。現今普通用來檢查酸性和鹼性的石蕊液紙，就是波義耳發明的，在化學上遺留下來的功績確實不小。當時還有關於燃燒的熱素說 (Phlogiston theory)，以為物體燃燒的時候，熱素就由物體飛出外面來。這個假說在第十七世紀的後半很為流行，將及支配了百年間的化學界。波義耳也是這個學說的信者。英國的布拉克 (Joseph Black, 1728-1799) 以研究氣體得名，發見碳酸鹼的一種成分是碳酸氣，他稱這種氣體為固定空氣 (Fixed air)。他又成就了許多關於鹼金屬的研究，說明比熱和潛熱的理，開熱力學的基礎。英國又有一個化學家兼物理學家卡汾狄士 (Henry Cavendish, 1731-1810) 將金屬溶解在酸裏面，而得一種可燃的氣體（即輕氣），他稱這種氣體為可燃空氣 (Inflamable air)，由其燃燒而得水。在他之前已經有了英國的普里斯特利 (Priestley, 1733-1808)，於1774年發見了養氣。後來於1784年將養氣和輕氣化合起來證明水的組成，則為卡汾狄士的功績。普里斯特利於1774年加熱於氧化錫而得養氣，又製出綠氣，亞氧化氮，硃精等，在化學史上很負盛名。以上是英國的化學界，和英國這一類的化學大家相伯仲的法國人，則有拉瓦節 (Lavoisier, 1743-1794)。他將這種和物質的燃燒以及起氧化作用有關係的氣體，稱為養氣，拿來說明燃燒的理，然後纔將熱素說的根本推翻。他又確立了質量常住的定律為化學變化的一大原則，發見元素保存的定律，建設成近世化學的根本原理，其功績亦頗不小。此外關

於化學方面的發見爲數甚多，直不遑枚舉。更用天平於化學實驗上，促進定量化學，制定化學命名法以便研究，凡此等等皆拉瓦節所成就的事業。

在第十七第十八世紀中卓有功績的博物學家當爲瑞典的林內 (Linné, 1707-1778)。他有分類的天才，先將植物分爲若干類，後又將動物也分爲若干類，其方法異常巧妙，令後世學者也不能不首肯。十八世紀中葉，林內成爲博物學界的泰斗大爲活動，他的事業與其說是改造的研究，還不如說是立定系統的組織從事整理，更覺得當。這個時代的特色，是用顯微鏡來研究，愈入愈微，以及因爲交通機關的發達，陸海的發見，使科學家可以多作修學旅行，博物學的新材料層出不窮，都是前此所未曾夢想得到的。

自然科學的各種分科進步同時應用方面的發明也極豐富，其中尤以蒸氣機關一種，是在這個世紀內得完全的解決，這個發明的影響所及，引起了後世產業和社會組織的一大革命，其關係之重可想而知。最初的應用，出於英國的工程師薩窩利，於十七世紀末葉造成一種蒸氣機關來吸取炭坑裏面的水，後來到了十八世紀的初經紐昆門 (Newcomen) 加以改良。但是最後加以改良，使其大成可以應用於各種目的，則爲發明界的明星英國的工程師瓦特 (James Watt, 1736-1819)。他這種機關一經使用，立即風靡全英，各種生產工業的動力界由此遂起一大革命。後來更想努力將他應用到海

陸的交通機關上去，不久居然都成功，其效果遂成了現今的鐵路上的火車，和海洋中的輪船，可以算得是最大的發明了。

第七節 第十七、八兩世紀中科學教育的勃興

自第十七世紀以至第十八世紀之間科學上種種有名的發見，引起了一種自覺，感到自然界的研究實爲極要，因此教育界對於這一方面的注意，也漸次加多起來。例如法國的刺伯雷，蒙旦，英國的倍根都努力使這種新傾向發達，成爲科學教育界的先進者。刺伯雷 (Rabelai, 1483-1553) 痛論亞理士多德的議論是中古時代的遺物學去毫無所補，對於當世僅知銜弄希臘的拉丁的文字，不知真正的科學，加以很痛切的攻擊。蒙旦 (Montaigne, 1533-1592) 對於科學教育的主張比刺伯雷還要更爲透澈。

倍根既不是教育家，對於教育直接也未曾發表過重要的意見，只不過因爲獎勵科學和論研究法間接對於教授法上生出極大的影響。他主張欲謀科學的研究法的進步，須應時勢的需要，在現存的高等教育所裏加設實驗室，觀察臺，植物園等，並論及這種經營決非一人的力量所能辦到，非由政府或國家幫助管理不可。這種見解即由今日的眼光看去，也不能歎爲卓絕。

教育家中對於科學教育抱有卓見，當推拉托克，夸美紐斯，陸克，盧梭，巴西多，裴斯塔洛齊等。各人的國籍，宗教，處境雖

各不同，但是意見却大抵一致。科學教育可以說實在是由他們這幾人，纔得到正當的位置。他們的主張的要點，大約如下：——

- (1) 教授須考察兒童的心理，由兒童的日常經驗界出發，努力使其順着自然不稍強迫而達到科學。
- (2) 尊重實科，要求設立特別的實科學校。目的在使那些不研究高等學術的人，進內學習以代拉丁學校，可以使科學的知識普及於一般的市民。
- (3) 尊重直觀，一切的事項皆以極明瞭的意識行去，用極整理就序的言語爲之發表。

以上所舉的諸人當中，尤其是夸美紐斯 (Johann Amos Comenius, 1592-1670) 可以稱爲創立近世科學教育的人，他很受培根的感化，曾經說過：“我們難道說不是和古人一樣的在自然的園裏生活嗎？我們何以不和他們一樣使用我們的
眼，耳，口，鼻？我們何以不去翻讀活着的自然的書，要去讀死了
的書籍？而且在這種活着的書裏面，我們可以見着的事物比
什麼人告訴我們的還要多，這種觀察又能生出更多的愉快
和效果”。他又說：“從那裏去尋教師不讀亞理士多德等類的
教科書，而由觀察和實驗來教授我們的物理學”。他對於自然科學教授所指示的方法，大可用爲規範，其中很有許多條，可以用爲現今自然科學教授的龜鑑。例如使學生直觀某一物體的時候則 (1) 將物體放在眼前，(2) 將此物放在適當的

距離，(3)使其在正當的位置，(4)先總括看其全體，(5)次再詳細檢查其各部分，(6)始終要保持順序，(7)各部分的觀察須費適當的時間，(8)和其他不同的點要正當的觀測出來。這種自然科學教授法的原理，在三百年前已經被夸美紐斯道破，真是今人想像不到。

法國的盧梭(Jean Jacques Rousseau, 1712-1778)於1749年應第戎(Dijon)學會的徵文，其題為“美術和科學到底是風俗純潔，還是使其腐敗”，他的主張是說美術和科學的進步，對於風俗的改良完全無益，他這篇論文一出，舉世莫不驚奇。再就他著的愛彌爾(*Émile, ou de l' Education*)而論，他對於科學的教育，確十分注意。他對於幼時的愛彌爾感到有感覺練習的必要，期望他得圓滿的發達，欲達這個目的，以出去和自然物接觸練習為最良的方法。長到十二歲至十五歲的中年以為要由感覺的印象育成觀念，能作這一項的指導的，除世界以外，無書可用，所以須要由事實去教授。與其教兒童的科學，到不如使兒童對於科學獲得相當的嗜好，當他們這種嗜好發生的時候，再使他們知道學修的方法，較為適當，即是說科學的教授當重形式的陶冶。這種由實地的活動去教授兒童的知識，以及主張實驗觀察的必要各點，尤其是由今日的去，不能不佩其識見的卓越。他又說若使教師和兒童同去觀覽工場，實行實地練習，尤其容易理會事物的本性作用，同時可以發見有用的發明的真價。關於教材則以為只須使其學習

在他們那些年齡要知道的就可以，若是後年方可知道的，切不可提前來教。這種意見對於現在的自然科學教授，可以算得是頂門一針。

第十八世紀德國的啓蒙思潮和英國的陸克，法國的盧梭等的教育說相通，其特徵在於力斥盲從盲信，脫離由外面加來的強迫的權威而示自由的傾向，帶有很強的感覺主義，合理的傾向，及自由思考的色彩。由這種思潮而起的教授上的第一任務，在使精神能依自己的悟性自由啟發出來。又主張教授須應實地生活的必要，注重近代語言文字和實科，使兒童習得利用厚生的道。巴西多（J. B. Basedow, 1724-1790）就是這一類教育家的代表者。他對於教科書的意見，承認語言文字的價值，對於其他的教科不主張貪多，以爲只要將博物，數學及物理學的一部分教給兒童，就足以磨練他們的悟性。柏林之所以創設實科學校，以數學，物理學，化學爲其主要學科，用近代語以代古代語，都是啓蒙思潮對於教育界所生的影響。

以上所述是第十七世紀第十八世紀的代表科學家對於自然科學教授的意見。一般皆痛說從來的教育傾向，尊重古代語言文字，輕視實物，將自然科學過於放棄爲不合理，主張當以科學教授爲教育的方便，說明科學教授所具有的重要任務，並更進一步，說明教授方法的原理，主張受教者當尊重自動的學習，由實驗實行去求充分的理解。由科學教

育的立腳點看來，這個時期不能不謂為新舊教育交替的時期。

第四章 現代的科學和科學教育

第一節 第十九世紀前半期的科學

英國倫敦的國民記念肖像畫館 (The National Portrait Gallery)裏面，將歷代帝王的肖像，和各時代曾有功績的人物的肖像，按着年月的順序懸掛在內。其中有一張畫標題爲“第十九世紀初葉的英國科學家”，是當維多利亞女王卽位的時候，將當時在學界中活動着的科學家二十四人召集於一堂繪出來的。由此一張的畫，可知當時英國的科學家著名於全世界的著實不少。前章所舉的卡汾狄士，以及武爾斯吞，楊德斐，達爾頓，法刺第等都是名垂不朽的大科學家。同時法國方面，也不乏其人。蘭格倫日，拉普拉斯，夫累涅爾，阿刺各，俾奧等皆是世界的學者。其鄰的德國，雖爲時稍遲，然也有不少的人，如馬格那斯，克勞第烏斯，衛勒，赫爾姆霍斯等。當時歐洲諸國的科學家，真有雲集之感，學界也因此生氣蓬勃。自從入了這一世紀以後，科學的進步，大有急轉直下一日千里之勢，後人稱這個世紀爲科學的世紀，實非過譽。因在此一世紀中所成就的科學的發明和發見，其總數比過去數千年間由人類所成就的，還要多出數倍，科學的應用，幾達於完全的境界，科學對於國家，社會，人類的重要意義，到此方澈底表現出來。

要想將第十九世紀中科學的事件一一列舉出來，是本書絕對辦不到的事，只能略述其大體卽止。第一因人智發達

的結果，知識的種類比從來的方面增加甚廣，成為多枝的狀態，遂生出種種的新學科，同時一方面又在求普遍的定律，將各種現象概括起來，收在唯一的原則底下。第二科學的研究法不僅於自然界，舉凡一切知識的學科裏面皆可以應用，這也是這個世紀纔成功的，同時利用自然界的物質及力以謀人類的便利，這種理想，在各文明國的大多數民衆的思想和行動上，占着很大的勢力。第三各學者的交際通信來往極其頻繁，對於各種專門皆組織有研究會學會，使研究成為組織的世界的，也是這個世紀的特色。

要述第十九世紀的科學，最好將他分作前後兩期來說，並不是因為事件太多，實因有特色可以為之區分。

這個世紀的開始，楊 (Thomas Young, 1773-1829) 發見光的干涉現象，由波動說居然得出很巧妙的說明，將長時期未能解決的懸案，即關於光的本性的問題，完全解決出來，却不料到了這世紀的後半期，更須第二次的改革，實非當時所能預料得到的。

第十八世紀末葉由意大利的賈法尼，弗打等發見的電流，入了這個世紀以一日千里的勢進步起來，迥非和他有密接關係而又在先發見的摩擦電所能望其項背。關於這一科的學者雖有許多，但其中中心人物則為法刺第 (Michael Faraday, 1791-1867)，他對於電學的研究歷史，幾乎將現今的電學全部包括入內，凡是要學電學的人，都非一讀他的發見史

不可。他可以稱爲電學界中不朽的偉人，尤其是他所發見的誘導電流，使他博得這個盛譽。關於電流的理論方面進步以後，應用方面也隨着擴張起來。達尼爾 (Daniel, 1760-1845) 最初造出電瓶，後經格羅夫、勒克蘭社，等加以種種的改良，成爲各種的電瓶。其他又有電弧、電磁石、電鈴、電報、電燈、電鍍術等的發明，相繼而出。第一期的電送相片在這世紀的前半期業已發明。事實上第十九世紀中物理學的各方面進步最大的，當推電學爲第一。

在這世紀的前半期，化學的進步，也不讓於物理學。物理學界有法刺第的中心人物，化學界裏則有英國的道爾頓 (John Dalton, 1766-1844)。他研究氣體的化合及其他各種性質。他最大的偉業則在創立新原子說 (New atomic theory) 去說明化合的各種現象，使理論化學得一種新的組織。這個原子說再得意大利的亞佛加德羅 (Avogadro) 的學說加入其內，全原子說更得了確實的基礎，第十九世紀化學其所以能得如是的進步，皆賴有此。關於化學的實際方面的知識，無論爲量爲質，進步都極迅速。尤其是十九世紀前半，於已知各元素之外，陸續發見了許多新元素。德斐證明了鉀和鈉同爲元素，此外又發見鋇 (Barium)，鐠 (Strontium)，鈣 (Calcium)，鎂 (Magnesium) 等的元素。此外還有鉻 (Chromium)，鎢 (Tungsten)，銻 (Osmium)，銥 (Iridium)，鎘 (Cadmium)，鋁 (Aluminium)，鉑 (Platinum) 等經種種的學者確定其爲元素。現今作稀有金屬

處理的那些元素，差不多全是十九世紀前半期發見的。當時化學界中的泰斗，在英則有德斐(Sir Humphry Davy, 1778-1829)爲電化學的創設者；在法則有給呂薩克(Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850)，發見氣體化合體積的定律，對於一般化學的貢獻亦很不少；在德則有利比喜(Justus Liebig, 1803-73)，爲農藝化學的創立者；在瑞典則有柏濟力阿斯(Johan Jacob Berzelius, 1779-1848)等。尤其是柏濟力阿斯的事業對於現代化學的影響最大。他於1811年製定化學命名法，記號法，以及化學方程式等，從此化學研究上得不小的便利。可以被稱爲替化學界開一新紀元。但是他也有一個誤想，固執己見以爲由人力製造有機物是絕對不可能的事。他也和當時一般人的見解一樣，以爲有機物的生成有一種人力所不能及的生活力作用。後來於1828年德國的化學家味勒(F. Wöhler, 1800-1882)由無機物製成了有機物的尿素，舉世莫不爲之驚奇。後來又有法國的柏德樓(Berthelot)由元素直接將有機物的蟻酸合成。照上所述，各國同時皆有足以誇耀後世的化學泰斗，所有化學界的進步，方有如是之速。就這一點說來，化學界是爲其他的自然科學所不能及的。

天文學，地質學，礦物學等各科的進步，也不弱於其他一般的學科。在這世紀的初葉，有許多的地球物理學家都很熱心去測定地球的密度，即其一例。氣象學當由第十八世紀移至十九世紀的時候尙甚幼稚。例如當時以爲水蒸氣昇入空

中就與空氣化合，其程度就可想而知了。

植物學和動物學也很能與時共進，不稍停滯的漸次發達起來。尤其是由顯微鏡的完成而得的組織學方面和解剖學方面的顯著的進步。純粹理論的事實和記載方面的也都很調查得嚴密。關於這一方面的學者當首推德國的洪保德 (A. v. Humboldt, 1769-1859)，他是植物地理的鼻祖。動物學在這五十年的發達，大抵是在法國。當時法國的學者如拉馬克 (Lamarck, 1744-1829)，屈費兒 (Cuvier, 1769-1832) 等輩出，執歐洲動物界的實權。尤其是後來出了細菌學的鼻祖巴士特 (Louis Pasteur, 1822-1895)，法國在動物學界的權威，直達於極點，非他國所能及。

文藝復興以後，各種專門的自然科學家，莫不各依其專門種類團結起來取合作的組織，最初作俑的為意大利，其後英、法、德各國也都陸續起來組織這種學會，或在國家的保護之下，或由有志者捐資創立。到了第十九世紀前半期，因科學的勃興以後，學問的興味大為普及，組織學會的熱度也隨着增高起來。英國於1802年創立皇家學院 (The Royal Institution)，於1831年創立大英協會 (The British Association)，都是科學界中包括極大的團體，和國家有特別的關係，是英國很重要的學會。皇家學院是發明光度計的蘭福德伯爵 (Count Rumford, 1753-1814) 想改善貧民的境遇，增進他們的快樂，即是以今日所謂的社會政策的動機，組織而成的。他的宣言說：第一將改

善過的有用的機械的知識，普及於倫敦；第二以改善英國工業生產爲目的獎勵教授科學的應用。欲想達到這兩層目的，須要備有完全的研究機關，任命教授以圖科學知識的普及。楊德斐，法刺第，廷達爾等輩，皆曾在這個學會裏面當過一次教授。大英協會，是在十九世紀的初由多數的學者，鑒於世界大勢所趨，欲謀英國科學界的進步而設的，其目的在對於科學的研究，給與有系統的指針和強有力的鼓勵，並圖英國各屬地間散在着的科學家間的交際和懇親等。英國的科學界在十九世紀前半期呈非常的活狀，放極燦爛的光明，以全世界爲對手握得其實權實力，都出於這些學會所賜，不獨對於英國如此，就是對於全世界的科學進步，其貢獻也不爲少。

第二節 第十九世紀前半期的科學教育

第十九世紀的科學既如是的發達，那麼，科學的知識在教育上的價值，當然也充分的認識出來了。從來的學校中所教的雖以純粹科學爲主，到了這個世紀，却從新編制新系統，成爲學校科學，以圖學校教育的同化和協調。關於其目的和方法的研究，也很有進步，後來竟脫離純粹科學家的手，進而成爲教育家的一項專門事業。

入了第十九世紀以後，將科學化爲通俗知識的實科主義的思潮，異常繁盛，其理由約有數端：第一，因自然科學的進步，遂使一般民衆皆認知科學的應用，對於社會生活上有極

大的效果。第二，實業家的階級勃興以後，發生施實科教育的制度，例如要求設立關於實業教育的學校等，其結果遂令普通教育的範圍內，也受這種要求的壓迫。第三，因為實科的教育盛行可以增富國力，所以國家也非努力培養國力不可。第四，唯物的世界觀人生觀等雖由古代希臘就有，但入了十九世紀以後由自然界的研究更得到很堅固的科學的根據，思想的形式成了精神的文明不過是建築在物質文明上的狀況。一方面對於實科主義的思潮，起了新人文主義的反動。人文主義本是文藝復興時代起的，現在又加上一番新裝，成了新人文主義來和實科主義相對抗。在教育方面的實科主義，是由言語而事實，由古代而現今，由理論而實際知識，總着眼於現實的方面；新人文主義則不然，要由古典裏面去求知識和理想，往往脫離實際成爲一種爲學問而求學問的態度，偏重理想的方面。實科主義在訓練人類的知力養成活潑潑的有應世的才幹的人物；新人文主義則在訓練人類的感情，由古代人的高尚理想，去造就高雅的人格。再由社會的方面來觀察，實科主義着眼於現在國際間的激烈競爭，傾向國家主義一方面；新人文主義則着眼於世界人道的一致，傾向世界主義一方面，對於愛國心的養成雖不反對，對於偏狹的功利思潮則加以絕對排斥。

照此看來，可知第十九世紀的教育是由實科主義和新人文主義的對抗而成的。這兩種主義一方面雖彼此對抗各

不相下，一方面却因爲有了反抗纔可以在學說方面彼此改正自家的短處，在實際方面，實行自認爲是的事項，相互誠勉使文化達於改善發展的境。一般教育上的思潮學說都是這樣進化發展出來的，一方面固然極其專橫，毫不顧及他人，一方面則因受人攻擊將自己的缺點彌補完善，愈趨於猛烈的反對。由科學教育史看起來，實科主義的裏面，力說科學教育的地方誠然很多，而新人文主義也因爲上述的理由，并未完全排斥科學的教育。就由新人文主義的教育家的學說中，也可以發見有許多對於科學教育的主張。所以這兩派對於科學教育的意見，皆有一閱的必要。

第十九世紀初葉新教育界的泰斗爲裴斯塔洛齊(Johann Heinrich Pestalozzi, 1764-1827)，他留給後世教育家的感化，實無其匹，不過對於理論方面比較上不甚多。他將由夸美紐斯受來的教育思想，拿來適用於教授的實際，尤當特書爲之記錄。他力主關於自然物的初步有直觀教授的必要，專注重於實物的教授。他的有名的著作爲“Linhard und Gertrud”其中以直觀的能，作一切心的陶冶的根據，並詳示教育的方法。他說：“直觀是一切認識的絕對基礎，換句話說，各種認識皆以直觀爲始而歸着於其上。”人類一有生，同時就有感覺作用，就能受種種的印象，指導他的父母或教師，須擇能適合於其心理的事項，使行一定的練習，非養成他能够直觀道德、美、知，各方面的事項不可。一物的直觀同時須伴以其物的名稱，知

道名稱以後，在去決定他的性質。又說沒有直觀的解釋，不免成爲沒有基礎的知識。他對於自然科學教授上的貢獻只有這一點，在布克多弗和其他的地方學校中，就用這個主義實施教授，除此而外，並無可以足舉的地方。

將裴斯塔洛齊的主義推廣開來，計劃德國小學校中自然科學教授的改革，爲哈尼西 (W. C. Harnish, 1787-1864) 和琉本 (A. Luben, 1804-1873) 兩人。哈尼西以爲必要的知識是關於鄉土方面的，關於本國的，以及關於地球的，而教授時須由能够觀察的教起漸次及於其他，稱這一科爲世界科 (Weltkunde)。琉本對於博物教授法研究得很深，其對於教材處理的要件爲 (1) 以觀察爲始須提示實物，(2) 指導學生使自行發見，(3) 選擇排列正當的材料等。這些都是裴斯塔洛齊的根本理法，又是第十九世紀初期的新教育的骨髓。

裴斯塔洛齊派中有一德國人在自然科學教授上實有很大的功，名爲第斯多惠 (Diesterweg, 1790-1866)，歷任各地師範學校校長，最後升任柏林師範學校校長，對於德國小學的發達貢獻甚大。他對於物理學和化學的教授，議論最多，教育社會皆奉之爲泰斗。他以爲物理學和化學的目的，在使人得道德的裨益和自然程序中的知識。他主張自然科學的教授在道德宗教上有積極的效果，其理由則因爲由自然理解可以知道自然的理法實有一種調和，可以感到自然的廣大無邊，結果尊重自然服從自然的感情，自能發生出來。

第十九世紀初期的新人文主義，在德國地方，於1813年的自由獨立戰爭時代，可謂達於極點。以後漸漸衰落起去，代之而興的思潮，係以精密實驗和經驗對照而得確實認識作爲基礎，即所謂實證主義（Positivism）又稱積極主義或實驗主義。在英國和法國從十八世紀以來，就有這種的思潮，一直到了這個世紀的初期，法國出了孔德（Auguste Comte, 1798-1857）纔大爲提倡起來。他以爲人類已經過兩期的思潮時代，現在是達於第三期即實證主義的時代。其第一期是指神學時代，用目不能見的神的動作來說明各種現象的時代。其第二期是指玄學的時代即是將自然界中許多的勢力和原則，通都歸之一個無人格的絕對究極物，由這個究極物的種種動作，發而成爲種種的勢力，現出種種的原則。第三期是真正學術的時代取以事實和經驗作基礎而成的實證的說明法，尊重實驗的科學。他又將一切學科分爲六科即數學，天文學，物理學，化學，生物學，社會學。主張除此六科而外並沒有可以稱爲哲學的了。

這個實證主義的教育思潮，成爲科學教育的後援，英法等國莫不受其影響。第十九世紀後半期流行的斯賓塞爾（Spencer）的教育主義即其一例。

再一考察第十九世紀前半期學校中的自然科學，雖漸次的將思潮學說，化成科學的傾向，但仍不能脫却幼稚的境。例如英國的學校，依然流行保守派的古典教育，不甚顧慮自

然科學的教育價值。在這世紀的開始法國方面雖曾頒布秩序整然的教育制度，但也未曾注重科學方面的學科，作教授的人大都是哲學家。在德國因實科教育勃興始多致力於科學方面的教育，可以看成後來使德國的科學雄飛起來的一個準備。所以在這時期中德國方面關於科學教育的學說和改善的宣傳比較猛烈得多。

第三節 第十九世紀後半期的科學

由第十九世紀的前半期到後半期之間自然科學裏面發生一件很重要的事件，可以將自然科學從根本改造過。這個事件就是能常住原理 (Principle of conservation of energy) 的發見。對於這個定律的存在，從古以來，已經有過不少的暗示，其來源可以看作是出於蘭福德。蘭福德自1778年以來，對於彈丸貫穿器物的狀況加以種種的實驗，結果發見運動可以變而為熱，這就是發見這個定律的遠因了。其後德斐加以一種解釋，以為宇宙裏面，只有唯一的自然力，這種自然力可以取種種的形式生種種的作用。而能 (Energy) 的這個名詞，則由於第十九世紀中葉湯姆孫 (Sir. William Thomson) 用起的。至於將這個能常住的大原則完成的人，則為德國的醫師邁爾 (Robert Mayer, 1814-1878)，物理學家赫姆霍斯 (Hermann von Helmholtz, 1821-1894)，英國的朱爾 (James Prescott Joule, 1818-1889) 和丁鐸爾 (John Tyndall, 1820-1898)，具有國民的偏

見的學者，常欲將發見歸諸本國的學者的傾向。但是對於這個大原則，決非一二人的力量所能完成，係將各方面的種種研究作為材料，再由一人的天賦的想像力將他概括起來，成為一個定律的形式。邁爾和赫姆霍斯係由理論方面，朱爾是由實驗方面，其結論同為熱和機械的功可以互相交換，外觀上像似業已消失了的能，一定是改變了另外一種形態成為別一種的能。並且各家都一致的說這種交換率是一定的。無論由邁爾的理論，或是由赫姆霍斯的理論或是由朱爾的實驗，得出來的交換率，大抵很相近似。將這個大原則導入自然科學以後，物理學，化學，生物學等各種分科莫不受其絕大的打擊，須從學問的定義起，另行改過。所以十九世紀後半期的科學，可以簡單的說都是立在這個能常住的大原則之下研究進展的。

由能常住定律喚醒後的十九世紀後半期的自然科學，愈入愈微，無論任何方面，皆着手去探求，發明發見的新事實，確是層出不盡，不知所止。通常將十九世紀稱為科學的世紀，確非誇大的言辭。只要將其成就的結果，拿去和從古以來的成就加以比較，無論何人也不能不首肯的。因此一來，要將這些重要的發明一一細述起來，實非本書所能辦到，只好將和各方面關係較深而又極為著名的事項，約略摘錄於下。

在第十九世紀的初期，還不能否認熱素的存在。其後經蘭福德的穿孔實驗，批克推 (Pictet)，勒斯歷 (Lesly) 等關於輻

射熱的研究,以及暗熱線 (Dark thermal ray) 的發見,方知熱素即 Kalorikum 的假說不足置信。於是光和熱的關係,方有人注意。一方面熱的力學論經克勞修司 (R. Clausius, 1828-1888) 等改良成為現在的形式,到了1960年乃至1970年有了數學的基礎,組織方始完成。熱和功的關係,由是大明,一般方承認熱是物體分子運動的能,即成為熱的動力說 (Kinetic theory of heat)。

養氣,輕氣,淡氣等到第十九世紀的末了,都看作永久的氣體,但自從熱的動力說一出,這些氣體的液化和固化的問題,都完全得了解決,無論什麼氣體,決沒有不可以液化的。這不僅對於理論方面為物理學開出一個新時代,同時因為液化空氣,液化養氣等容易製造,價值亦廉,所以對於學問研究上以及各種應用方面,也成了一個新時代。

光學的理論方面和實際方面到了十九世紀的後半,內容皆極其豐富。對於光的波動說,無人更行懷疑,光和輻射熱的關係也完全明白,更進而入於光的電磁說 (Electromagnetic theory of light) 的時期,即以電磁學的理論來說明光的本質。其內容非簡單言語所能表明,只可知道由此一說而生的科學傾向即足。光和電磁的關係,很早就由法刺第注目過,但是完成這個學說的人,却是後來的馬克斯維耳 (James Clark Maxwell, 1851-1879), 他對於電磁學的著述,比前此所有電學書皆極完備,實在能使電學界大放光明。他以為電磁作用是

彌漫空間的能媒的變形和運動而生的，因他的傳播速度和光的傳播速度相等，遂斷定光也是電磁波的一種。其後更由德國的赫芝 (Heinrich Hertz, 1857-1894) 將實驗的根本真理確立以後，這個學說在物理學的根底上遂誘起一大革命。他說“電是為一種波傳播於大氣中”又說“電的速度和光的速度相等”。在此以前我們認為物理學中孤立無緣的三大現象，即熱，光，電磁，到了這個世紀的末年，都由一條關係的繩結合起來，受同一定律和同一理論的支配。自然科學一方面發為無限的分科，一方面同時許多現象又可用極簡單的原理統合起來，實堪注目。後來又證明電波和光波一樣有直進，屈折，反射，迴折等現象，兩者的速度又經許多的學者精確測定，確係一致，毫無可疑。

第十九世紀的後半期的科學界，由一方面說來，對於電學中各種現象及其應用的研究異常熱忱，可以說是現在的電磁時代的一個前驅。電學上的理論方面定律較前更行證確。有線電報，海底電報，電話，電送書畫，發電機及電動機，電燈，電熱的利用，電解的應用等項，早已經過理論的時代而入於實行的時代，成為十九世紀二十世紀文明上必不可缺的機關。尤其是十九世紀末年發見的X線即樂琴線 (Röntgen ray) 大有入電學界的堂而得其真髓的感想。用一真空管內設兩白金極，將內部的氣壓減至一氣壓的百萬分之一或百萬分之二，將兩白金極連結於誘導圈 (Induction coil) 的兩極上，使

其放電管內幾成爲完全的暗黑，只有管壁發出極美麗的黃綠色的螢光。這個真空管稱爲克魯克斯管 (Crookes tube)。由這個管的陰極發出一種輻射線，和玻璃管衝突，然後纔發生螢光。這個輻射線通常稱爲陰極線 (Cathode ray)。由陰極線生起的種種現象綜合起來，可以推知陰極線究爲何物。其結論爲帶有陰電的微粒，即通常稱的電子 (Electron) 以非常大的速度飛出，即成爲陰極線。德國的 樂琴 (Röntgen) 於1895年十一月八日，用黑布包着克魯克斯管來實驗，發見由玻璃壁依然還發出一種輻射線，使靖化鉑鉬等類的物質發生螢光。他稱這種不可思議的輻射線爲X線。這種輻射線能夠通過他種光線所不透過的物質，和螢光體衝突即可使其發生螢光，遇着照相片的乾板即可使其感光，種種奇異的性質，使當時的學界爲之震驚。由這個發見遂引起電的物質觀上的極顯著的事實。他一方面將X線應用到實用方面，不久也盛行起來，尤其是對於醫學中的診斷學和手術上開拓出一新方面來。所以X線的發見，在科學史上的意義極其深長。

第十九世紀的後半期爲德國化學勃興的時代。在這世紀的初葉科學教育已着着進步，後來出了這許多的化學家，即其成績的一斑，這樣發達起去，到了這世紀的末年，其勢力已將全世界壓倒。此類學者如本生 (Bunsen)，柯爾柏 (Kolbe)，賀弗曼 (Hoffmann)，拜厄 (Bayer)，阿斯特瓦德 (Ostwald)，斐雪 (Fisher) 等皆爲世界的泰斗，相率輩出，無怪德國能執化學界

的牛耳。在這個期間中，英法等國，未嘗不有多數的化學大家出現，不過無論就量言，就人數上說，莫不被德國壓倒。尤其是理論化學，色染化學，天然物的化學的合成等，可以說是德國化學家的單獨舞臺，為無論何國都不能及的。

在這世紀的後半期，化學的理論的研究非常進步，使化學的面目完全一新，生出許多的新化學分科來。物理化學 (Physical chemistry) 一科完全是在這時期內獨立成立的，在這個新天地裏說明開拓出來的化學現象確實不少。又如前半期分離出來的電化學，熱化學，農藝化學等，和後半期的內容，完全一變。煉金術時代的化學實驗室，早已消滅淨盡，精巧的天平，電流的利用，都成為最普通最普遍的設備品。化學工業莫不以理論化學為其背景，化學工業的工廠，都設有特種的研究室以供應用。

前半期發見的新元素固然是很多，這後半期陸續發見的元素却也不少。對於這一項，不能不承認景析術 (Spectral analysis) 的偉大的功績。建設成這個重要的景析術的學者，為德國海得爾堡 (Heidelberg) 大學的代表的物理學家兼化學家克希荷夫 (G. Kirchhoff, 1824-1887) 及本生 (R. Bunsen, 1811-1897) 兩人。努力將發見的元素，施以整理，依自然的關係編作分類系統的研究，也以這個時代為最多。其代表的學者，如邁爾，門對雷葉夫 (Mendeléeff) 等，由此更引出新元素的發見，亦大有注目的價值。化學上工業上皆須注目的化合物，

其數亦大增,尤其是有機化合物的數最多。這個事實的最重要的機關,可以說是電爐 (Electric furnace)。電爐是由法國抹孫 (H. Moisson, 1862-1907) 於1896年發明的,用此可以得從未能達到的最高溫度,金屬元素如像鎢也可以利用電爐分離製出。

紀元千八百六十年時,凡是關於無機自然界的,都包括進礦物學的範圍裏面去研究,以後纔漸次分離出來,成為各種科目,現今的礦物學,是一種狹義的學科,專集中於構成岩石的礦物而加以研究。因此結晶成形學,結晶物理學等成為其重心問題。岩石學則以造成岩的岩石,以及此種岩石究由何種礦物構成等項作為研究的對象。由結晶學的眼光說起來,這1850年要算是一新紀元,因為在這時候才應用數學將結晶學的分類問題完全解決出來。數學的研究也不僅止礦物學一科,無論在那一種科學裏面皆可見其趨勢,最初由伽利略引入自然科學的研究裏來,不料其應用的實際竟如是之廣遠。

十九世紀後半期的生物學的大發展,由於達爾文 (Charles Darwin, 1809-1882) 的進化論完成的。進化的思想,在去今二千五百年前已經由希臘的恩柏多克利 (Empedocles) 發表過,但只不過是很不完全的一個空想罷了。到了十八世紀,有許多的人都以為猿和人類是最近的親類。達爾文的祖父伊拉斯莫斯達爾文 (Erasmus Darwin, 1731-1802) 由1794年至1796

年之間著有一部動物生理學，上面已經說到類族是變化不止的，和適應的事項等。達爾文的真正的前驅者，則爲法國的拉馬克 (Lamarck, 1744-1899) 和喜勒爾 (Hilaire, 1772-1844) 兩人。拉馬克在達爾文出世的那一年即1809年已將他那有名的大著生物哲學出版，在這書裏他說明關於有機體的種的起源，述及動植物的無數的種類，都是由一個單純的共同祖先分歧出來的，這個單純的原始體，因適應而變成種種的形狀，更與遺傳作用相輔而生種種的變種。喜勒爾的思想，與此共通的地方也不少。達爾文出世在拉馬克後五十年，但從1831年到1836年之間，做卑格爾 (Beagle) 船上的船員，週航世界研究各大陸各海島的動植物的分布特性和人種的生活狀態等，以他所蒐集得來的關於進化的多數事實，以及解剖，發生，分類，古生物學上的各種事實爲基礎，纔使進化論得確實的根據，並用淘汰說來補拉馬克的不足。他的“物種起源 (Origin of species) 於1859年十一月二十四日出版，爲不朽的名著，將生物學由根底改造過，其後五十年間，使生物學不落他科之後，皆此書的力。此後英國陸續又出了許多自稱爲達爾文的代理人的學者，如赫胥黎 (Hurley)，生理學家的卡盆特 (Carpenter)，植物學家的葛纛 (Grey)，都很熱心的補充進化論不完備的地方，使其成爲支配生物學的最高的權威。進化論影響所及，不僅生物學界，即哲學，倫理學，宗教學，教育學，社會學等一切的思想界，皆因此而起革命。

第四節 第十九世紀後半期的科學教育

第十九世紀後半期的科學發達，以及一般事業的進步，使後半期的科學教育，比起前半期來，也爲之面目一新。從前的科學教育雖也教授科學上的事實，但其教育的價值，教材的選擇分配等，極不完全。到了後半期，科學教育的組織，方一變而成科學的性質，其特色可由下舉各種事實看出。(1) 關於自然科學教授的目的，從教育方面去研究。(2) 關於自然科學教授的方法，從科學方面去研究。(3) 自然科學在學校教科裏面占得確實穩固的位置。(4) 普通教育的勢力圈內也認定有實驗室作業的必要。

關於自然科學教授的目的，英國的斯賓塞爾 (Herbert Spencer, 1820-1903) 的教育思想，實有絕大的影響。斯賓塞爾爲有名的哲學家，夙信進化論，由此而完成綜合哲學 (Synthetic philosophy) 成爲學界中的一大事業。他於 1816 年出版一部教育論由四篇的論文集合而成。第一論何種知識最有價值 (What knowledge is of most worth?)，第二爲知育論，第三爲德育論，第四爲體育論。第一編的開首，劈頭就將從來用拉丁語言教授兒童的弊風指摘出來，以爲教育非以實利即幸福爲主旨不可，其所謂幸福，係指能得到完全的生活 (Complete life) 而言。因此生活所必要的活動，是教育上價值最大的，除科學教育而外直無他物，所以科學是教育的基礎，同時又是

他的材料。他照着這樣將各種科學的順序排列出來，第一爲生理學，第二爲數學，物理學，化學，生物學，社會學，第三爲育兒法及心理學。由以上的見地論起來，他認自然科學的教授的實質的價值爲最大，使其在學校的課程裏面占重要的位置，並主張對於實質的陶冶有效的材料對於形式的陶冶也有同等的價值。斯賓塞爾的思想在英、美各國宣傳很廣，得有多數的贊同者，但是在大陸方面的自然科學教授，却未受多大的影響。他的學說，略嫌有爲生活的自然科學及爲衣食的自然科學的感想，不能不謂爲失於過偏。同時英國科學的泰斗聲震一時的赫胥黎(T. H. Huxley, 1825-1895)却與之相反，關於自然科學教授所發表的意見，極其穩當。據他說自然科學對於日用生活當然是不可缺少，就是對於醫師宗教家等的專門家，也極爲必要，即是說自然科學是普通教育上必要的學科。又對於應教何種學科的問題其意見如下：“我並不是要將文學或美術的教育完全置諸度外，也不是以爲一切均可以用科學來教即無不了的意思。我的希望在要求無論是男子女子，當其由學校出來的時候，總要沒有一人不了解科學的性質，並且受過科學的方法的訓練，得有一種準備以便出在社會中可以領略科學的問題。當然並不希望一見就可以將各種問題的要件完全知道，只望能夠知道科學的思想的普通潮流，或對於一個特別問題，只要能知其要件即可適當應用科學的方法而已。”

赫胥黎對於自然科學的教授方法，所發表的意見如下。
“自然科學的教授若但依據書本，則與不教授又有何異。要想發揮科學訓練的新效果，非使兒童直接和事業關係不可。科學的訓練非其他所能比擬的地方，在使人心直接和事實接觸，將智力作成完全的歸納形式來使用諸點而已。只要自然科學纔以事實和推理作其最後的活動者，以忍耐和忠實打破一切的困難。”

他對於自然科學的目的和方法所發表的意見，可以說是由自然科學界的泰斗的經驗體會而成的信念，就在今日也是極有價值的名言。惜乎當時的教育界不能完全咀嚼他的意義，又沒有能夠實現他的方法的教師。歷來英國方面的科學家對於自然科學的教授，抱有卓見，努力以圖改善向上的人，確實不少，如丁鐸爾，洛斯科，刺謨稷，培理，阿姆斯特郎等，莫不是科學家而又同時為自然科學教授改革運動的強有力後援者。

當時歐羅巴大陸方面如德國等的自然科學教授的目的，也很少有抱實制的偏見的了。因為要圖兒童的品性陶冶上得相當的效果，於是要求在學校中添設自然科學一科的主張很盛。這大約是因為新人文主義派在教育上還有相當的勢力，並且又有那一派的康拉德（Conrad），培爾（Beyer）等極形活動的緣故。由自然科學的教授使兒童理解由人類未開時代至現在漸次征服自然為止的開化史的階段，同時可

以明其意志，便可以給與他們意志和實行所要的知識間的關係，於是而達品性陶冶的目的。康拉德曾經在1885年著的論文裏面說過：“自然科學教授的主要目的，是在使人明瞭自然勢力及於人生的關係，漸次得以認知利用自然，征服自然，排除途中的障礙，不受其少許損害的方法。”又說：“當以自然對於人生的關係，作自然科學教授的出發點。”同派的培爾提出一篇論文題爲“教育學校中的自然科學”尤爲明晰，其大意如下。自然界對於人類實行道德的目的所給與的材料頗足，所以應該第一先以滿足物質的要求的各點開教授的端緒。這個作用稱爲勤勞（Arbeit）。所以非以勤勞來作選擇教育的教授中的經驗的材料不可。又若以教育的教授有使學生適合現時開化階段的任務，則自然科學教授亦非使學生理解現代人生的開化，以及能到這個發達的人生的勤勞不可。又若欲指示人類現在對於自然的地位，則須告以人類征服自然到了若何的程度，那些地方還不能夠征服，由人類發達初步以至現今這幾千年間人類所得的自然科學方面的知識是些什麼？換句話說，就是自然科學的教授，非依開化史的階段行之不可。

以上介紹的主義在二十世紀的自然科學教授中很占勢力，尤其是他們所主張的自然科學教授的出發點，就在今日，也還適用。這個的主義雖然可以使人理解今日開化的物質方面，並可獲得生活上必須的知識，但其主張終嫌過偏，未

傾於人類中心的一方，對於理會圓滿的自然生活以及陶冶高尚的感情，不能說沒有缺憾。於是遂另生出一派來，以能理解自然中統一的生活爲自然科學教授的最上目的。即是他們所抱的目的，在教授學生使其知道物理學化學等類的自然科學，是由於統一一切自然現象而起的，動物學植物學等類的生物科學是因爲要說明生活的現象，一切皆受自然的理法所支配而起的，由此可以養成他們的一種很圓滿的自然觀。這個思潮，是由德國的洪保德（Friedrich Heinrich Alexander Humboldt, 1769-1859）以來的主張，到了後半期更得洛斯默斯拉，克勒柏林，永格等德國的教育學家鼓吹而起的。

洛斯默斯拉（Rossmässler）可以稱爲近世自然科學教授法的首創者，他歎息從來的自然科學的教授差不多純粹是記載的性質，曾經說過：“若遇博物學的教授，只在記載自然物，則由這樣的教授要想對於地球是有連絡關係的有機體，以及相互間或對於全體是怎樣關係着的等類事項，得活潑明瞭的意識，爲絕對不可能。並且使人注意外界上，只能給與表面上的知識，而不能使其得明了的世界觀”。可見他以得明了的世界觀爲最必要的事項，以此爲自然科學的最上而且固有的目的。

這種思潮和從前的品性陶冶的思潮，互相對峙，可以稱爲自然科學主義，以明瞭理解自然，及對於自然生起愛情爲自然科學教授的目的。欲達這個目的，須使學生領會下列各

項。(1)地球是一個秩序整然的全體，在地球上面生存着的生物，相互間皆有關係，並同受普通生存的條件所制限。(2)人類也是生存於自然中的，所以既被別的自然物所制，也可以制限別的生物。(3)各生物各以其固有的方法組織成爲一個完全的有機體，保存其生活，對於全體供獻一種裨益。(4)一切自然物皆須經過生存，成長，死亡的階級循環不已。以爲學生只要能將上列各項透徹了悟，則對於自然，自能感覺快樂，知道自然是賜福於人類的，於是敬愛自然的心翕然而起，道德的品性，由是即可陶冶而成。其他永格等的自然科學教授，則主張有使學生知道生活的共存體 (Lebensgemeinschaft) 的必要，質而言之，也和上說的意見一樣。

以上兩種主張的折衷派，則爲近代德國教育學家來印 (Rein) 的主張。即是自然科學教授欲達到教育的教授的目的，須將開化史的和自然科學的說結合起來，用下列的方法，來啟發學生的經驗的觀念。

(1) 使學生理解生活現象的連絡關係及經過，使其成爲用親愛和思考去觀察自然的習慣。

(2) 使學生知道實行道德的行爲的方法。

(3) 使學生理解開化史的階段。

關於自然科學教授的目的的研究既如是進步，同時關於實際方面，即自然科學教授法方面的研究，也有相當的進步。例如教材須隨着科學的進步加以選擇，排列的方法，與其

根據純粹科學，勿事顧慮學生的境遇和心身的發達爲愈，教授則逐漸實行觀察實驗等項，皆其進步的一斑。關於教授法的實際和理論的研究書籍，日逐增多，也足以證明自然科學教授確有相當的進步。

十九世紀的後半期各國的學校教育，大體都有了現代的組織，其設定的教育法案中自然科學確已占有鞏固的地位。就是以教育爲家庭和教會的任務不加干涉的英國，到了十九世紀也不能再保守下去，各種團體皆要求爲貧民施立初等教育的學校，1807年市村皆獲得設立貧民學校的權，1833年由國庫支出若干補助費以建築校舍，1870年議會通過徵收租稅以充地方學校區的教育費。於是各處皆建設學校，教科的內容也逐漸穩固，關於自然科學方面的教育，也漸次注重起來。尤其是到了這世紀的末尾，改革教育部，擴張其權限，自然科學局和美術局合併爲一經政府的力量，使教科內容進步不少。英國的中等教育，原本也是自由放任的態度，到了這世紀的末葉，却受教育部的監督，就是專學習古典教育的公立學校 (Public school) 也加了科學教育，並於而外，還特設了一個 Secondary school，爲注重自然科學的中等教育機關。

德國的小學校，因普魯士的教育總長法爾克 (Falk, 1827-1900) 的力，於1872年規定成爲現行的小學制度，廢去從事的舊制而用新人文主義與實用主義調和的制度來作代替。即是規定自然科學教授須占學校教程中的基礎地位，每

學年每星期一定要配定若干時間。德國中等學校之中以第十八世紀建立的實科學校，專致力於近世語言和自然科學，漸次爲世人所歡迎。1882年關於中等教育的全規定更經改正，設有Gymnasium, Realgymnasium, Oberrealschule三種中等學校，莫不分配有自然科學的學科，尤以最後的一種即高等實科學校分配的自然科學的時間最多，完全施以科學的教育。這種組織的自然科學教授法案，爲文明各國不可及。法、美兩國的學校雖較英、德略遲，然也順着大勢，大爲改良，將自然科學認爲必須而且占時間極長的學科。

後半期的學校教育的進步除上述諸點而外，還有一事，尤其要特筆記載的，即是於教師演行實驗而外，且使學生自行實驗的計劃。其沿革較長只得從略。

第五節 物理化學實驗室的發達

和自然科學的進步最有重大關係的事項，則爲物理化學實驗室的發達，本節擬將發達的概況摘述一下。

古代及中世紀以前尚未感到設立實驗室作自然科學研究的必要。這個思想的最初來源，當以英國的吉爾柏特 (Gilbert)，意國的伽利略爲始。吉爾柏特用磁鐵礦製成球形來說明地磁，伽利略則由畢沙斜塔使輕重不同的兩鐵球落下證明亞理士多德以來信爲真理的物體，因其輕重不同而生遲速互異的加速度的不真。當時的人都信實驗對於智力

及道德的生活極為危險，因為有了這些事件，思想方纔一變，以為在大學的實驗尚無危險，對於教育也無妨害，其程度之幼稚可想而知。後者由煉金術家，始將化學的實驗室發達起來。現今通用的實驗室 (Laboratory) 這個名詞是德國最初用來稱化學實驗室，初時當然是在私人家裏祕密造出來的兼作廚房使用。在第十九世紀的最初，最有名的柏濟力阿斯的實驗室，仍然還是兼作廚房而用，烹調和實驗同時施行。到了十九世紀科學教育起了大改革的運動，其結果遂令大學也採用實驗室的教授法，漸次及於下級的學校。英國近代的物理學大家克爾文 (Lord Kelvin, 1824-1909) 主張化學實驗室的創造為1831年以前蘇格蘭的格拉斯哥 (Glasgow) 大學建設而起的。但是現今各大學所設的實驗室的形式，則開始於德國的基森 (Giessen) 大學由教授利比喜 (Liebig) 建立於1824的化學實驗室。化學教授的新運動的難發生於德國，其勢力比在英國更大，如是傳播開去，遂令世界各地的化學研究生都向基森地方雲集攏來，受利比喜教授的實驗室指導。不及其風及於波昂 (Bonn)，柏林以及其他各大學，都創設很完美的化學實驗室。由私用實驗室移入大學公設實驗室的經過，由於教授先勸最熱心有望的學生，入自己私設的實驗室研究，後來因人數過多收容不了，然後纔有受公家補助的辦法。柏林大學設立物理實驗室的原始，則由於馬格那斯 (H. G. Magnus, 1802-1870) 將他自己的住宅，捐作講堂和實驗室，以

收容多數的學生(當時學生中很有許多成為後來的著名科學大家如威得曼 (Wiedemann), 赫爾姆霍斯, 英國的丁鐸爾等), 後來因為人數太多, 收容不下, 始由大學開支經費, 於1863年始見有正式大規模的大學實驗室出現。對於化學實驗室, 前曾提過蘇格蘭的格拉斯哥大學曾爭過優先的地位, 即對於物理學的實驗室也是一樣。克爾文於1845年曾在這個大學任物理學教授, 他的實驗在放棄了數年未曾用過的大學酒庫裏面。以後就在這間實驗室裏面, 繼續作了二十五年間的實驗研究, 其實驗團分為晝夜兩班, 輪流使用此室, 令其頃刻間的閑空也沒有。還有克力夫吞 (R. Clifton) 也是在英國實驗物理學教授中留下永久名聲的人, 他在英國最初建成適宜於研究實驗物理學的實驗室。英國實驗物理學研究所最為著名的是劍橋大學的卡汾狄士實驗室 (Cavendish Laboratory), 就是採用克力夫吞的計劃於1874年建築完成的。

第十九世紀初期的實驗研究, 以法國為其中心地。但巴黎的實驗室却很不完備, 建築最不適於衛生, 直可稱為科學研究家的墳墓。給呂薩克的實驗室溼氣極重, 給呂薩克進去研究的時候常穿着木靴來防濕氣。法國的實驗設備以及材料用費概屬於個人開支, 因此研究者極感苦痛, 其甚者如度隆 (Dulong) 竟因此而傾家破產。一般科學家對於實驗室的設備不周處所太少, 向世間識者呼籲的聲無時或已, 直至1864年度律伊 (Duruy) 任教育部長時, 方能滿足此項要求, 即

是在這年規定學校要完成科學講義上必要的實驗設備，除學生用的實驗室外，須設特別實驗室以供教授或研究生作創作的研究之用。自此法令頒布以後，物理學以及其他各科增加不少的研究室和實驗的設備，其後三十年間各大學尚有陸續建築此項新研究室。

美國在過去四十五年間的實驗室的發達，尤足令人驚異。其代表者如波士頓 (Boston) 的工業專門學校。最初的校長爲洛澤斯 (W. B. Rogers)，力說大規模的學校有正規的實驗室作業的必要。他自己立有一定的計劃，於1864年實現其一部分。其後不特各大學皆建有完備的實驗室，並連中等教育的 High school，和 Secondary school 等也都附設有極完備的實驗室。中學校的實驗性質，最初雖儘限於定性的方面，其後漸漸加入定量的實驗。其發達的程度比英德等國並不遜色。

到得最近，除大學及其他學校的實驗家而外，又有建設國民實驗室的要求。但其實現的程度還極幼稚。英、德、法等國皆有實現其一部分的實驗室。例如英京皇家學院附屬的德斐法刺第研究所 (The Davy Faraday Research Laboratory)，德國沙羅騰堡 (Charlottenburg) 的帝國物理學及工業研究所 (通稱 Reichsanstalt) 等，皆屬此類。法國在百年以前，就設有工藝機械研究所 (Conservatoire des Arts et Métiers)，近時巴黎又設有電學試驗場等。英國所有的和英國的科學發達，有很深的

關係，現在的純正科學研究所以及關於科學問題公開的實驗室，在世界上都有唯一的光榮。德國的則由西門子的捐款於1884年建築的，後由議會通過支出必要的經費爲其完成。這是適於純正理論研究的設備，且可用作產業上問題的研究。法國於1794年建設公共的倉庫來保藏器械、模型、器具、設計等，並在此地爲技術家和勞動者特開應用科學的講義，內容漸近完備。

自然科學教授的實際，最近十數年間所起的變化，更足驚異。中等學校學生須自行實驗的呼聲早成過去的時代，現今的小學校中，也在要求兒童自行實驗了。英國的小學校各處皆是這種的教法，美、德、法等國，也都有這樣的趨勢。

第六節 第二十世紀的科學及其傾向

1879年英國的克魯克斯提出一篇論文題爲“真空中分子的研究”，遂引起許多物理學家，專門去研究真空管內的放電現象；於是1895年樂琴發見樂琴線，翌年法國的柏克勒爾（Becquerel）發見鈾元素（Uranium），並去實驗由鈾放射出來的放射線，其性質和樂琴很相近似，更覺有趣，遂進而實驗其他的放射性物質。1898年十二月由巴黎大學的研究生居利夫人（M. Curie）發見了鐳元素（Radium）以後，舉世更爲之震動，許多的物理化學家因受此番新刺激，更專心致志的去研究這奇妙不可思議的物質。這些發見都是十九世紀末葉的

收獲，關於這些事項還有許多很重大很有意義的新研究，則在二十世紀方始成就。

克魯克斯管內的陰極線以及鐳元素的發見等，使從者學者的物質觀，爲之根本動搖，非另行改造不可。關於物質的本性，從古代希臘的哲學時代以來，已經遇許多次的變遷，入了十九世紀以後，因化學發展的結果，將自然界一切的物質分析成爲七十餘種的元素。所謂元素，即是不可再行分析，也不能彼此互變的意思。關於元素的構造，則以爲係無數無限小的同質微粒子，即原子，集合而成。各種元素，各有其固有的性質和質量，同原子或異原子可以結合起來成爲分子，化合物的種類極其繁多，即由於這種結合的結果。

由居利夫人發見的鐳元素，具有種種不可思議的性質，可以自行發光，發生多量的熱，與螢光體衝突即使之發生螢光現象，能使照相用乾板感光，能透過光線所不能透過的物體，能使空氣變爲電的導體等。由這些性質加以研究始知由鐳元素恆放出三種性質不同的放射線，所以纔能引起這種種的現象。三種放射線的一種，稱爲 α 線(α -ray)，約占鐳元素的放射線的十分之九，是一種帶有陽電的微粒子和氦原子一樣。第二種稱爲 β 線(β -ray)，爲帶有陰電的微粒子，即通常所謂的電子，比 α 線更小，其質量不過氫原子的二千分之一，飛出的速度極大和光速相等。第三種爲 γ 線(γ -ray)和鐳琴線同一種類。這三種輻射線全是由鐳放射出來的，既放射以

後其原子，即變化成為另外一種原子，成為鐳射氣 (Radium emanation)。由鐳射氣再放出 α 線，又變為鐳 A (Radium A)，再變為鐳 B，逐漸隨放射隨變化下去，成為一系列的新元素。這種變化稱為蛻變 (Disintegration)。從來莫不以為原子是不能變化的，現在由鐳的研究，這種見解不能不完全廢去了。

陰極線實在不過是帶有陰電的微粒子，由陰極以非常大的速度飛出而成的微粒子流，這種微粒子的質量不過氫原子的質量的二千分之一，可以由電磁測定求出。這種微細的粒子，和普通所謂的物質不能相同。最初經勒納爾研究以為就是由電的自身而成的，後來由荷蘭的最曼 (Zeeman) 發見的最曼效應即由景線的偏向，始確實證明其為電子。

電子既得了這樣確實的根據，現今由電學就可以得出一種最近的物質觀來。從前以為元素是永劫不變的終極的物質，由現在看來一切元素通由共通的電子構成的。 α 線為陽電， β 線為陰電，這兩種電在物質的內面等量共存恰成中和狀態，所以由外面看去，並未見着帶電的狀態。假使這個平衡一旦破裂，就有電子飛出而成原子蛻變的結果。不過這種蛻變，都是自然進行的，非人力所能左右。假使一旦能由人力支配自由行使，則不特對於學術界將起絕大的變化，而其應用上對於人類的生活必也將畫出一新紀元來。

自第十九世紀以至現在電學在工業界所占的勢力極盛；就在純正科學裏面，電學本來不過是物理學的一個分科，

現在他的範圍却大為擴張起來，以前對於電學的定律都是用力學定律說明，現在却反轉過來有拿電學的定律去說明一切現象的傾向，即是電學而成一切自然科學的基礎。譬如化學現象，天文現象等，都有許多非用電子論不能說明的。這樣看起來科學的組織雖非常複雜，而實際上科學理想即包括一切自然現象來作統一的說明，已漸次近於實現出來了。譬如熱學，光學，現在已經包括進了電學，化學反應，現在也可以用電子說明，不久或許物理學和化學，能再合而為一亦正未可知，還有力學方面的問題最近經相對性原理的研究，也非由電學理論不能得最完全的解決。從這一點看去，這統一的說明或許就是電子也說不定。

和物質相對立的為能媒，這是最初設來說明光的波動後來更用來說明電磁現象的。一種物體在其他一種物質裏面運動的時候，須受抵抗，砲彈在空氣中運動，因為受空氣的抵抗，所以在空間描出來的軌道和在真空中不同。但是許多的天體在空間所描的軌道，却和未曾抵抗的一樣。由這個現象可以推定能媒的密度，非極其微小不可。一方面法國的夫累涅爾由光的極化作用，斷定光波的振動是一種橫波，其振動的方向恰和光進行的方向互成垂直。這個結論將我們引導入於夢想所不能到的迷途。這是關係於能媒的。由一般彈性的理論，知道不生抵抗的媒質除却縱波以外，不能有其他性的波存在，至於橫波則僅能限於固體裏面方能發生。由此

看來能媒一方面既非爲密度極小比氣體還是稀薄的氣體不可,同時一方面又非爲固體不可。

能媒的不可思議還不只此。地球在其軸的周圍自轉不已,而其周圍的能媒,却絲毫沒有運動的痕跡,這也是夫累涅爾所說的。假使地球附近的能媒隨着地球運動,那麼,通過這能媒的星光,方向一定複雜,決不能如像我們現在所見的那樣簡單,因爲要想避去這個困難所以夫累涅爾假定能媒是絕對靜止不動的。但是能媒無論在何種物質裏面都是一樣的存在,這些物體隨着地球運動的時候,他們內面所含着的能媒到底是隨着運動,還是仍然靜止不動?對於這個問題,據夫累涅爾的見解,大約如下:物質內的能媒,比周圍真空中的能媒;密度要大些。惟有在周圍真空中的能媒,能質雖動仍舊可以不動,超過這一部分以外的能媒,則須隨着物質運動。這種議論極其奇怪。更進一步,假使能媒在空間裏面靜止不動,而物體是在其中運動的,那麼,物體運動的速度,又須怎樣纔可以實驗呢?譬如地球在能媒的大海裏面運動,他的速度又怎樣呢?我們如果將機械放在地球上觀測,那麼,將能媒看成是對於地球流動着的,也沒有什麼不可。光線通過能媒流,和通過靜止的能媒,應有差異。恰似在河流裏面用一定的力撐船,順流而下的必快,逆流而上的必慢。假使光也是這樣沿能媒流而進的必快,反對的必慢;那麼,觀測光速,就可以求得能媒流的運動速度,由此即可推得實際地球在能媒中的運

動速度。以這個目的，曾經行過很有名的實驗，即是邁克爾孫 (Michelson) 和摩黎 (Morley) 的實驗。因為地球沿着太陽周圍的軌道運轉，所以在地面上從這方向使光返復，更從垂直的方向使光往復同一的距離，而測其時間的差異。用這個方法計算他們結果，前者比後者時間應當略長。這裏所說的時間，因為光速太大，當然不能用時計來測；是將一個光源發出來的光線分而為二，一條沿着地球運動的方向往復，一條沿着垂直的方向往復，然後再使其合而為一。如有時間上的差異，就應起干涉現象。更將全體裝置轉動九十度，再行同一的實驗。其實驗極為精密，但於1881年和1887年行過兩次，結果都完全沒有差異發生。後來經菲次澤刺德 (Fitzgerald) 和羅倫徹 (Lorentz) 的假定，方將這個現象說明。他們以為兩點的距離不是力學能夠決定的，須視兩點對於觀察者的運動如何，然後方能定奪。假定地球運動的方向所測的距離，由在地球上的人看來，雖和直垂直方向所測的距離相同，然而在靜止於能媒中的人看來則不能不縮短。所以地球雖對於能媒運動，然光底往復時間，還可以相同。這樣看來，一切物體當運動着的時候，物體上兩點的距離，在運動的方向覺得縮短；而且速度愈大，縮短的比例亦愈大，無論什麼物體，如果運動的速度和光一樣，那麼，從運動的方向所測的距離，竟等於0，更是奇妙不可思議的了。

以上所述是假定能媒對於空間完全靜止不動，物體在

能媒裏運動；物體相互運動的速度雖可得知，但物體對於能媒用什麼速度運動則誰也不知道，而且能媒到處一樣充滿，要想注目能媒中任意那一部分都不可能。那麼，到底由什麼地方可以見到能媒的存在理由呢？如果任何實驗的手段都屬不可能，那就簡直缺少了物質對象的根本資格了。能媒的性質如前所述，在普通的意義，雖覺奇妙，但假使可由實驗上認為物質的對象，那也可以。譬如現在承認的電子，如果看作普通的物質粒子，或者也可以說有許多奇妙的性質，尤其是最近發展的量子(Quantum)的關係，也極其奇妙，但在實際上，却並沒有什麼可以奇異的地方。一方面能媒因為是由想像來的，所以完全缺乏物質的資格，不特沒有重視的必要，並且如果把他完全抹殺，就清清淨淨的祇剩下一個自由的空間了。這個空間不僅是抽象中描寫的空間，乃是自然現象所發生的具體的物理學的空間，在這空間裏有稱為電子的物理學的要素存在，他底周圍能起電力作用。電子運動的時候，這個空間可以傳播光波和電波。波的進行狀況，和空氣中的音波的狀況相類，但也僅止於相類，不能因此便認為是我們的空間裏面，必有能媒存在的理由。從前以為空間中如果沒有能媒存在，便無法可以起波動，這完全是因為將空間看做抽象的無內容的空間的緣故。具體的物質的空間，便是現在我們所認識的空間；如果承認其中能傳波動，那也不外便是具有能傳波動的性質的空間，並沒有把我們萬不能承認的能

媒,硬拿去充塞在裏面的必要。這就是最近愛因斯坦(Einstein)否認能媒的理由。

愛因斯坦放棄了能媒的觀念,和絕對空間絕對運動等的觀念,專去設想相對空間和相對運動,於是而成其相對性原理(Principle of Relativity)。第一注目於各種座標系,彼此同樣相對運動,由這些體系測出來的光速均皆相等。在各體系裏規定一個同時刻(Simultaneity)的觀念,於地位不同的兩點,觀測同一事件,對於某一座標系,雖為同一時刻,但依這個規定,在其他的座標系,則決不非同一時刻。這種時間觀念,和我們日常的時間觀念,迥然不同。由此引起的結果,更為有趣。凡測一物體的長短,必須其兩端同時存在,然後始能由這兩點間的距離,定其長短。若觀測者的運動狀況不同,這同時存在的兩空間點的位置,也不相同,兩點間的距離也不一致。這樣一來,只須由時間和空間的觀念,就自然生出羅倫徹假想的收縮,無須去另立假說了。

在相對性原理裏面的光速,和數學中的無限大相似,例如有一光源,對於某一座標系為絕對的靜止,由這光源發出的光波自然是以光速度傳播開去的,但若光源對於座標,忽起運動,發出的光,仍以同一的速度進行。和一個無限大的速度,再加有限的速度仍為無限大速度的時候完全一樣。由此可以推知一切的速度總不能比光速更大。

時間的空間的概念既然經這樣的改造,其餘一切的物

理學概念和定律，當然也不得不加以修改。如單就速度而言，對於某一座標系有相對運動的各系，其速度雖有種種，但雖不能超過光速。不特實在的運動這樣，凡附隨着能媒而起的一切物理作用，也都不能超過光速。何則？因為假令有了這種作用，即可選出一適當的座標軸，對於現在的座標系有一定的相對運動，然後用這個新體系去觀察這個特別現象，即可見其某兩點所起的事件，其時刻的次序，和用原來座標軸時的次序完全相反。這種前後顛倒的結果，對於時間的觀念，絕對不能相容，所以一切物理學作用，均不能超過光速。

時間和空間的觀念，經愛因斯坦這樣改造過，實為物理學界哲學界中一番驚天動地的大革命，惜乎他的思想過於艱深不易了解，其後經一青年數學大家閔可夫斯基 (Minkowski) 用整齊簡單的數學式，將其一一表示出來，這個思想方纔深入人心。閔可夫斯基的有名的論文為“空間和時間” (Raum und Zeit)，主張時空相倚相輔不可或離。空間的三元和時間的一元，結合起來成為一種四次元空間，包含宇宙間所有的一切現象。這時四元空間，稱為宇宙 (World)。如有一質點，當某一時刻在某一地點時在四次元空間裏面，只用一點即可表出，這一點稱為宇宙點 (World point)，在另一時刻，質量的位置不同，宇宙點也隨着變動，這些宇宙點變動的軌跡，成一曲線，稱為宇宙線 (World line)。一切現象都可以由這種宇宙線來表出。

這種四元空間，若再賦與非歐克里的 (Non-Euclidian) 性質，即可表愛因斯坦的相對性原理。由一種座標軸移至另一座標軸，無異於在包含時間軸的平面中，將四元空間的座標體系轉動一次，但轉動時必須使表光速的宇宙線位置不變。

由相對性原理推出的結果甚多，其最直接的當以對於質量的觀念為最重要。惰性的質量，乃作用力和加速度的比，不是常數，而是速度的函數。速度變化光速，惰性的質量也變成無限大。所以質量的觀念和從來的大不相同。還有更要的問題，就是宇宙引力的問題。據愛因斯坦的普通相對性原理說來，凡是一相對加速運動的體系，由一體系轉換成其一體系的關係時，就現出這種宇宙引力出來。更由種種計算，推出三個預言，一個是水星近日點的運動，將歷史上所不能解釋的問題完全解釋出來；第二種是太陽能吸引通過他近傍的光線，這一層也經1919年南非洲的日蝕觀測隊證確；第三種是景線向紅端移動的問題，目前已有大部分得了確實的證明。

和相對性原理同時另有一個問題發生，就是二十世紀最初一年由德國的蒲郎克 (Planck) 提出來的，稱為量子說 (Quantum hypothesis)。他以為一定波長的輻射能 (Radiant energy) 是一個有限的單位能 (Unity energy) 的整數倍，並不是連續任意變化的，這個單位能，稱為能量子 (Energy quantum)。能量子對於波長的各個獨立波，有若干種的可能分布方法，即分布方法的數，作成輻射狀態的信率。信率大的狀態，即為

表熱率最大的狀態，也就是黑體 (Black body) 在熱平衡的輻射，這個假定稱為蒲郎克輻射定律。

構成物質的電子和構成能的量子，兩者中間有極密切的關係，電子有一定的荷電，靜止時有一定的質量，電子造成的電場，和宇宙引力場均有一定的靜能。比此更小的分數的能，決不能實現。但電子若吸收輻射能，其動能即不得不同時增加，電子若發出輻射能，其動能即不得不同時減少。運動既為連續的，則吸收和發散的輻射能，好像也應為連續的，不應為不連續的了。對於這一層，現在有兩種解說。

第一種是愛因斯坦的方法，以為輻射能自身即為量子的組織，其量子乃一定量的集合體與波長成反比例，有一定的容積，無論其為吸收或為發散，均係整個而出，決不再分。用這個假說，不特可以說明蒲郎克定則，且可將其他種種的自然現象，如光化作用 (Photochemical action)，光的電離作用以及光電效應 (Photoelectric effect) 等，一一解釋出來。其餘如螢光現象，磷光現象，以及陰極線對於變琴線的關係等，均離不了量子的觀念。

第二種的解決方法由邊麥斐爾特 (Sommerfeld) 提出，以為輻射能的性質，其自身並不違背歷來的電磁理論，至於量子的不連續性，乃完全由於構成物質的電子的特性使然。電子受外界作用發生輻射作用的時候，因有這種特性故只須一一射出，或時發時停不能連續不斷，且假定發射的能和時

間的乘積，對於各個獨立的輻射能爲一定不變，這個乘積稱爲作用(Action)，作用的單位，稱爲作用量子(Action quantum)，蒲郎克假定的量子，並非一定不變的，其量的大小，和波長恰成反比，故若用振動的周期去乘，即可得一共通不變的量，就是這個作用量子。

量子說的應用甚廣，最顯著的爲波耳 (Bohr) 的理論。原子由電子和陽核造成，陽核居中，電子環繞於外。波耳將量子論導入這個假想，方將電子的穩度 (Stability) 問題完全解決出來。波耳的假定，以爲電子的穩定位置，完全由於量子而定。電子的軌道須和量子的整數倍相當，方能穩定，不成整數倍即不穩定，故每一穩定的軌道，必有一定的能，在某一軌道內運行中，決無發生吸收或發散的作用，由一軌道躍入第二軌道的那一瞬間，方始有吸收或發散的現象發生。由這個思想，可以將判麥 (Palmer) 的景線列 (Spectral line series) 的問題，一一解釋出來。此外還有斯塔克效應 (Stark's effect)，氫分子的光的分散，樂琴線景等項問題，無一不可應用波耳的理論。由此看來，量子說的重要也可以推知了。

和量子論成爲一團的還有一個學說，即是涅蘭斯特 (Nernst) 的熱定理，或稱爲熱力學的第三定律，是1906年經涅蘭斯特提出的，對於化學的親和力的問題，可得非常明瞭的解決，尤其是氣體反應的理論的研究，影響很大。

關於原子論方面的研究，則有布刺格父子 (W. H. Bragg

and W. L. Bragg) 的由鑾琴線決定結晶的構造，摩茲力 (H. G. J. Moseley) 的元素的鑾琴線景，波耳的氫原子構造假說等，不特使分子原子構造的研究，爲之大進，並可將門對雷葉夫的週期律中不完全的地方補足，使元素的意義更形明瞭。

由以上所述，可見無論爲空間，爲時間，爲物質，爲能媒，爲能，爲分子原子等種種觀念，皆經過一番根本的改造，現在的物理學化學，面目一新，和十九世紀的時代大不相同。總而言之，現代科學的傾向，已進而追尋科學所由成立的基礎的一方面去了。物理學的根底是以什麼觀念爲其基礎，化學的根底又是以什麼觀念爲其基礎？這些問題就是現代自然科學最後研究的目的。但是科學的研究無論進步到什麼程度，要達最後的頂上，總是不可能的事。人類不稍間斷的努力，可以使人類智力作無限的進步，以此來研究無限的宇宙，由既往以推將來，也不能說我們完全沒有力量。要是果真一毫力量也沒有，那也不應有現在的這樣進步了。德國的浮士德曾經說過：“我們雖然可以知道許多的事項，但却不能知道一切。”實際人類的智識所能感知的事物，比起還未知道的來，其微小直不可以言喻。

第二編的參考書目

F. Pahl: Geschichte des naturwissenschaftlichen und mathematischen Unterrichts.

本編敘述各節取材於此書的地方最多，爲研究自然科學和數學的發達史最良的參考書。

P. Cour und J. Appel: Die Physik auf Grund ihrer geschichtliche Entwicklung.

此書詳述地球構成，光，力，音，熱，電，氣象學等科的歷史的發達，共插有無數有名的歷史繪畫，參照觀之，尤足令人發生無窮感想。

F. Cajori: A History of Physics.

此書自希臘時代至第十九世紀間的物理學的發展，皆蒐羅無遺，爲英語書中唯一有名的物理學史。

Ernst von Meyer: Geschichte der Chemie.

此書爲前書的姊妹書，是化學史中最有名的著作，除由古代至現代的化學發展，一一詳述而外，並加入分析化學，純正化學，無機化學，有機化學，物理化學，農藝工業化學等分科中心的沿革史，以及德國方面的化學教授法的發達，頗有一讀的價值。

W. C. D. Whetham: The Science and the Human Mind.

本編的科學發達概觀的一部分，即由此書摘錄而成，欲知其詳，以讀此書爲最便。

C. R. Gibson: Scientific Ideas of Today.

用通俗的語言爲門外漢作科學的講話，當以此人爲最有名，此書內容則在敘述物質，電磁，能，能媒，電子，X線，鐳，

重力量,地球,生命等項問題,最易閱讀。

L. Houlléviq: The Evolution of the Science.

此書和前書的性質相似,內容則述化學的傾向,物質,地球的內部,太陽,科學的傾向等,亦極平易。

第三編 自然科學教授原理

第一章 社會生活和自然科學

第一節 社會生活和自然科學

近世自然科學的發展，不特使社會生活及經濟狀況發生很大的變化，並且同時對於人類的思想界，也有莫大的影響，這是不可不注意的。從來古社會中最多數的是務農的人民，他們日常生活所必需的物品，完全經他們自己的兩手製成，就是生產最緊要的耕種器具，也都是他們自己做的。即是一方面又可算為家庭的工業家。農民因為這樣由他們自己的生產品，可以支持生活，沒有購買他種生產品的必要，所以就令收入甚少，也還能夠過比較上安樂的生活。市場上有時物價騰貴起來，發生了經濟變動的時候，他們受的影響也非常的小。這都是舊時的情形。到了自然科學發達以後，自然科學的應用日盛一日，自然的祕密既已開布，種種的發明品也陸續出現了來。例如鐵路、輪船、電報、電話、發電機、無線電報、電話、汽車、飛機、飛船等，莫不是將自然科學應用到實際生活上去的適例。其結果遂令生產分配上變生一極大的變化，通稱為產業革命，社會生活的狀態因此也不得不為之一變。近代社會中起這種產業上的變化，當以英國的社會為最早，其發

端由於十八世紀後半，英國將印度的棉花輸入，利用水車，開始大規模的工業，不久又利用蒸汽機關，代替水車，規模日愈擴大，工場也勃興起來，纔成了產業生的大革命。其結果遂令家庭工業受機械工業的壓迫，不能更行競爭，農民除其真正的農業而外，一切副業皆被剝盡，由生產者的地位，一變而成一部分的消費者。這就是在大都市中心所起的經濟上的變動，波及於農村的緣故。因此一來，農村的生活，就不能如從來那種安閒，同時都會中勃興的工業，使農民化為工場的勞動者，將多數的農民驅向工業的中心地來。這種產業的革命引起的大變動，由英國延至歐羅巴大陸，現今已遍及於全世界，雖程度略有差異，要皆是在這種變化的狀態裏面。

由上所述可知引起社會生活上這樣大變動的主要原因，由於自然科學的發達，自然科學教導我們如何利用偉大無邊的天然力，蒸汽力，電力，水力等的方法，人類勞動的範圍為之減小，農民的副業，為之奪去，自然不得不歸入都市的工場裏去。但是工場勞動不能限於一定的區域，所以勞動者概都由各方面集合而來，因此生出種種不安，不滿的苦痛，迫令社會為之解決種種問題。例如食糧問題即其一端，須發明最良的農業法，方足以防禦食糧不足的脅迫。同樣我們現在所使用的機械，也決不能說是完全無缺，所以也須加以改良，以增高其效率。例如增高運輸機關的速度，俾得迅速而且確實分配各種食料，燃料，工業原料品及生產品等；改良交通機關

以安慰旅客；改良郵政電報電話的方法，以圖海陸通信敏速；求最經濟的能得熱、光、動力等的方法，以圖得最有效的利用自然富源等。又由長生的慾望，引起個人和公眾的衛生問題，要求有排泄物除去法，飲料水供給法，營養食料及純粹醫療用藥品的製造法等。又由同一思想，因每年為火車、輪船、工場等的意外災難喪失不少的生命，遂要求防患於未然，減少不自然的犧牲，除去損害的方法。又對於惡性傳染病的慘劇，也引起同樣熱烈的要求，非各研究其原因性質，施以完全的預防不可。

如上所述，複雜的社會生活，是自然科學的發明發見過多的結果，同時對於此種變化，發生的種種要求，非由科學的研究不能得其解決，所以現代社會，不特決不致因此陷入悲觀，且反生出種種的希望，求科學的研究更形進步，以維持社會的安寧幸福。這種對於科學的信念，並不是現代社會的特產物，乃是由創設近世自然科學的培根以來，就已有的。培根著有一本小說，題為“Nova Atlantis”就是預想利用科學的力，將來的文明可以達於若何程度。Nova Atlantis 是極西洋中的一個孤島，這本書就是描寫一個人漂流到這島上的所聞所見。這個島上的最高制度，是由古代的王設立的自然科學會，稱為六日學會 (The College of the Six Days Work's)。其設立的目的在認識自然事物的原因變化及其內部存在的力，以明其理。欲達這個目的，設下了種種的計劃。其中有一極大

的地下室，約有三哩深。這個地下室的目的，在作物體的凝結，冷卻以及保存等項用途，並將多年存在這個位置的礦，發掘出來，採集自然的金屬，以及作煉製人造新金屬的實驗室。這個地穴又可用來醫治一種特別的疾病，又為一種長生不老具有驚人的知識的仙人的住室。又設有三哩高的塔，其主要用途為天象的觀測，湖水的鹹水和淡水兩種，除供飼養魚類和水禽而外，並用來作種種的實驗。又有人工的井和泉水，產出種種的礦泉，內有一種名為樂園泉，具有長生不老的功效。又設有極宏壯的房屋，內備各種空中現象的模型，如雪，霰，雨，雷，電等項，并飼養着各種動物。有極廣闊的公開庭園，內有各種的花壇，栽培着珍奇的植物，果樹結的果實，也極其繁茂。這的國土知道一種方法，能將種種土壤的成分，混合起來，生出種種的植物，不必去一一的下種。這樣栽培出來的各種植物，不僅用來觀賞，並還可供實用，應用由此得來的知識，可以類推及於人體的構造，由這種研究的結果，發見了許多的可驚可異的事實出來。例如將動物的緊要的部分割去，依然還可以活着，或者一見好像似死的一樣，也可以再生的。又將毒藥和解毒劑等以及其他各種藥劑，施於動物以行實驗，又視養育術為何可以將動物自然的形狀，或使其放大，或使其縮小。懷孕和避孕都極其自由。動物的色，形狀以及性質都可以有種種的變化。使種類不同的動物交尾，可以變成種種的雜種。由腐蝕的物質可以造成蛇，蚯蚓，蠅魚貝等類的動物。這種種

奇妙不可思議的方法，並不是由偶然機會得來的，却是在很綿密的預定計畫中發見出來的。尤其令人驚奇的，是釀造場和廚房內所見的事件。例如人類所用的飲料中有一種異常稀薄的。因為太過於稀薄了，所以放在掌內，不久就由掌背浸透過去，飲進口內，其味極美。又在光線色彩等的實驗場內可以造成各種強度各種色彩的光線。又有可以明瞭觀望在極遠距離的物體的機械和觀察極細微的物體的機械，使用起來可以觀測天體和檢查小動物機關，尿和血液中存着的極細微的分子。又關於音響香味等也實地的研究。在機械館又製造有鎗砲，飛機，潛水艇，恆動機等，又可以用人工製成人類，鳥獸，魚貝等類。

以上都是倍根的空想，由此可以推當時的人對於科學抱有怎樣大的希望和信賴了。當時的人，腦筋中都充滿着科學萬能的思想，以為由這個力量，可以將任何希望實現出來。最足使我們驚異的，是倍根當日的思想，現在業已有一大部分居然實現了，還有正在將要成功的。倍根以來自然科學的一步一步發展開去，尤其令人傾信科學，所以科學萬能的思想，真可謂根深蒂固由來甚久的了。這其間精神科學自然也有相當的進步，但是常人不易了解的玄學理論，安能抵得過自然科學和其應用上的實物教訓。到了近代社會的科學的生活，色彩更形鮮明，社會生活和自然科學的研究已成了不可須臾離的關係。

自然科學影響到現代社會生活上，還不僅限於物質的經濟的方面。生活狀態變動，經濟力增大，同時就生出資本家的階級和無資產階級的勞動者，資本家對於勞動者的勢力極大，握住其死活的關鍵，成爲一種資本專制的現象。但是勞動者並不屈服，他們以強健的體力和堅持不屈的一致的力去和資本家對抗，或用同盟罷工，或用怠業等以爲武器以脅迫資本家，於是而引起資本家對勞動者的階級戰爭。近世科學進步，教育也極其普及，一切人類，大抵皆受的科學的教育，知識上漸次成爲平等，就是勞動階級，也能鑒及世界大勢，推知民衆趨勢，並非前此那樣的遲鈍了。他們由科學的自由討論的精神，無視從來所有的一切因襲的或傳統的權威，知道自己有生存自由的權利，知道尊重自己的人格，歷來道德的權威以及宗教的權威，都不能制馭他們了。因此昇高勞動者的待遇，使其生活入於光明，令他們常懸於口的安寧法案早日確立，已成爲一般的希望。勞動問題現在已成爲世界共通的最重要的社會問題，其根底在於現代社會的有力的理想，即機會平等的思想，以及保護勞動者使他們的生活安定等類的思想。若將此問題置之不問，其結果必將使全社會皆爲之滅亡。只要勞動組合的本部發下一個命令，幾百萬的勞動者，立即罷工，一切社會活動的運轉，莫不完全停止，像這樣的脅威無論世界各國，莫不有之。

除上述而外，還有一種社會政策，也是急待研究的。現代

社會受組織變動的影響，增加了不少的孤兒，老而無歸的人，各種罪犯，以及殘廢人等，對於這些人的無制限的增加，不能不設法救濟。簡單的說，就是現代的及經濟的事情更形複雜起來，從來的統治已不能整理，無論是政治，宗教，道德都非求助於科學不可，非由科學的力去求新發見新應用，不能解決，除此而外別無他法。這種新趨勢使各國政府各種各業社會不得不設立必要的特別研究機關，使科學的研究對各方面皆能徹底，而且這種研究，並不止探求已發見的原理如何應用，並有努力去發見必須的新原理的任務。由此可知，自然科學，現代社會以及工業生活，三者實有密接不可分離的關係，須互相提攜方能並進。

第二節 社會本位的教育和自然科學

現近思想界中有很顯著的兩個互相對峙的並立的思想，即是平等的思想和主我的思想。換句話說，就是一種思潮以國家和社會為本位；一種思潮以個人為本位要求個人的自由解放。即社會本位的思想和個人主義的傾向互相對立。所謂社會本位的思想，又可稱為社會主義，不過普通所謂的社會主義，只限於和人類的經濟的實生活一方面而言，將這範圍推廣開去，就是我們所說的社會本位的思想。個人主義有經濟上，倫理上，教育上種種的立腳上，社會主義也不僅限於經濟方面，此外還有倫理的，教育的，美術的種種社會主義。

教育上的社會主義思想，由於拿托爾伯（Natorp），柏格曼（Bergman）等德國的學者唱道的，其要點如下：拿托爾伯以爲人類和物理學家所想像的原子一樣，實際上並沒有孤立的人類個體，須要在社會中成爲社會的一分子，方能成爲一個人。柏格曼由生物學，社會學的研究，及人類社會的考察，主張關於教育的目的也非成爲必然的社會的不可，以爲教育的目的在使教員造成能爲社會中一分子的人物。即是以社會爲本位的社會教育學，反對從前那種以個人爲本位，以發達個人的知情意爲目的的教育學，着眼在養成社會中的個人，即能適合於社會生活的個人。換句話說，即是由個性的發達着眼，注重於社會的意義，以此爲基礎的教育學說。

無論是現在最發達的民族，或是還未能脫離原始狀態的野蠻民族，其社會組織的分子，即個人初生下來的時候，一切社交的要素如語言，以及對於社會組織的理解，社會生活的規範，完全沒有，同是在這種天然可憐的狀態底下，並無大相懸隔地方。但將他們的後來的一生涯比較起來，即可見其判然各別，可見社會的環境，教育的影響，勢力偉大令人不得不爲之驚嘆。各個人雖不免終有一死，但其團體的生命，其社會的生命，却永久繼續下去。這完全是出於教育的手段。這個社會團體的一分子的個人，雖有不能免却生出和死滅的事實，但因欲繼續社會的生命，遂喚起教育的必要。若不將現在所有的社會生活運轉的各機能的理解，對於將來的希望和

理想等項，由教育的手段，傳達於社會的成年以上的個人和未成年的個人，則社會生活的繼續即為不可能，社會文化的發展也不可望了。這些事件雖由於個人利害關係而起，但在社會本位的思想，教育的必要更在個人的利害關係以上。人類的幸福，關係於他所屬的社會的品質，所以尤其有使社會共有的事業如工藝、美術、科學、道德等的教育進步，組織成一更善良的社會的必要。本來社會是以共同的勞動，共同的精神，向着共同目的活動的人類的集合團體，所以社會本位的教育，第一先有使人理解現代社會的必要，對於既已成為社會中的一分子的教育，固屬必要，對於社會的知識、習慣、目的等完全未能意識的纔生下來還未成年的人，也非教育他們使其得到這些意識，並且還感到積極的興味不可。這就是學校教育最大的責任。由這個見地現在有一種教育思想，要將現今的學校組織成為社會的，以學校生活作社會生活的直接的基礎。這一派教育思想的代表者，為美國的思想界的權威杜威(John Dewey)。他的教育哲學(Democracy and Education)裏面論社會的職能的教育(Education as a Social Function)說：教育所要求的，在使未成熟的青年，由初生以達能與現在社會團體的利害關係，計畫目的，思想觀念等同化為止，變更他們的經驗的性質，至於非物質方面的信仰或訓練等，是不能直接扶植的。這須要造成一個適當的環境，由兒童在這裏面的活動，喚起一種應答，來達這目的。野蠻人的教育就是這樣。

他們除此而外，並不使用別的什麼手段。僅不過使兒童學習成人的習慣，模擬成人的感情，套襲成人的思想，來參加年長者的事務罷了。但是文明愈進步，兒童的能力和他們對於成人的期望，愈相懸隔，決非普通環境的力能夠會得其精神的。即是欲各個人的能力，能夠發達得可以參加入文明社會的生活，須得預先施以訓練，組織學校，設備特別的材料，並須將教授的責任，委囑特別的人。杜威對於特種環境的學校 (The School as a Special Environment) 的題目，其意見如下：“未成熟的人所得的教育種類，由年長者意識的去決行的唯一方法，是監督兒童們所行所爲所想所感的環境。教育決不是直接可以做的，我們只能間接以環境爲手段去教。但是將環境一任其自然去教育兒童，和將環境依着一定的目的改造過然後才去教育兒童，其差異很大。除却預想着教育的效果，將環境改造過而外，其餘一切的環境若只就其對於教育的效應而言，都可以說是偶然的境遇。賢明人的家庭和無智識的家庭，大不相同，兩者的日常生活，社交習慣，及於小兒發達的感化影響，各自不同。”據杜威的思想，是要使學校社會化，在這個小小的社會生活裏養成勞動的精神和自己獨立的習慣，用以訓練能夠適應實際社會的能力。如前所述，現代社會生活所須於自然科學的地着實不少，科學的知識和科學的方法，成爲社會活動的主要原因。所以學校教育的任育，非使兒童於學校生活中訓練科學的知識和科學的方法不可。欲在

學校中設備工場和實驗室，俾兒童得學習社會生活的狀況，這些計畫都是想實現上述的思潮。所應注意的就是現在社會有用的科學知識和科學方法，很多複雜難解的，就是在頂好的環境的兒童，也不能一一理解得出，因此非將他整理一番不可，將兒童能够了解的選擇出來，成為基本的知識和方法，實為最緊要的事件。這就是學校所以有自然科學一科的理由。所以學校教育中的自然科學的任務，由社會生活和自然科學的關係看來，極為重要。本來科學是人類活動的進步的主要原因，又是完全可以制御指導人類活動的手段的主要動因，由他能引起產業革命的一點看來，即可知道。即是科學對於人類的活動所生的影響很大，可以撤去以前防止我們交通的物質的障壁，可以擴張人類的交際範圍，可以詳示人類的利害的相互關係。同時科學可以使人確信有一種能力，能够制服自然利用自然來使人類的生活向上，我們與其徒去顧慮已往，勿事將希望繫之於將來，還要得當。科學還幼稚的時代，人人都向着過去去求黃金時代，今日因確信科學能成就從前以為不能的事項，所以即以這個確信去臨一切事件，所以科學是使人類社會的狀態，一步一步向着改善的途而去。由此可知學校中的自然科學，是在使兒童當出學校的門去作成社會中一分子活動的時候，能够理解他們所屬的社會，並且還賦與他們一種素養，使他們能够去改良他們的社會，使其步步向上。未曾受過科學的知識和科學的方法

所訓練過的人，怎樣能夠理解現代這樣複雜的社會的物質的生活，和經濟的生活？怎樣能夠參與社會的改造和進步？

有一派人以爲近世科學的發達，使人傾向着科學萬能的精神，人類的欲望，專在於物質的生活方面，遂陷入一種墮落的深淵裏去。由這種思想遂生出對於自然科學的反感，這實在是因爲還未理解到自然科學的教育意義，而生的一種誤想。社會現象的最直接而又最有力的基礎，是人類的物質的生活和經濟的生活。但是人類並不能僅賴麪包可以生活，不過事實上須有了物質的生活，然後纔能生出心的生活來。自然科學雖是教給我們社會的物質的生活和經濟的生活的基礎，但他的教育的職能，並非即此已盡。由自然科學而達到的精神的生活以及藝術的生活，當然在教育上也應想到。固執己見以爲科學是一種唯物主義的傾向，遂加以侮視，以科學爲金錢的積蓄和耗費，不能引起人類精神的興味，都是一種偏見。教育上的科學，決不可陷入這種偏見，也不可乘這種歷史的傾向。

簡單的說，自然科學由社會本位的教育思想看來，實有極重要的任務，一方面使人理解社會生活的組織並訓練必要的知識和方法。一方面成爲使社會生活向上進步的主要原因，即是文化創造的原動力。

職業是使人類生活成爲有意義的活動。這裏所說的職業，並非狹義的僅限於機械的勞動以及直接眼所能見的生

財事務，乃是包括一切種類的技術能力，專門學識能力，有效的市民資格等項廣義的而言。我們通俗所謂的職業，是指我們所有的各種職務中的一種，其性質較其他的職務特別顯著。社會中各個人在種種的職務上互相交通交涉的地方很多，由其所長的專門職業，補助其他的同胞，使其得益，纔有其存在的意義。要是沒有這種作用，個人就成了社會的寄生蟲，是無益的一種裝飾品。所以社會教育的職務，在養成能勝職業任務的公民，使其對於社會能多盡其職。在職業教育裏面，專教一種專門職業以教育個人為其目的，這種的教育完全是錯謬的。非努力於人類共通的職務，向着專門職業的基礎，去施教育不可。使各個人由這種基礎的素養，去發見真正的職業，並且鼓勵他們替社會多所建樹，這纔是職業教育的理想。近來我國有一般人也在那裏主張職業教育，無識者流起而隨聲附和，並不一究其教育的精神所在，直未能了解真正的職業教育的意義，其影響所及，固不僅誤盡全國青年而已。

就真正的職業教育的意義說來，就是以施普通教育為目的的中小學校，也是廣義的職業教育機關。將來要是能够發見出一種職業，可以無視一切的科學知識和科學方法的訓練，固不必說，要是不能發見出這種職業來，就不能不承認自然科學在職業教育的基礎上所占的位置極為重要，何況要想使對於社會的貢獻，生出更大的效果，尤其非將各自的專門職業加以改良不可。要改良自己的專門職業，非有科學

研究的精神，決辦不到。由此更可推知自然科學在教育上的意義，又加了一層重量，有一種人以爲將科學的知識應用到職業上去，是一種墮落，這種思想未免帶有傳統的貴族文化的遺風。以爲應用的知識其價值，較純正知識爲低，從前一切日常的業務概由奴隸任之，無須靈智以爲之助，所以纔有這樣的見解。現代社會像這種的思想，根本上早已滅絕完淨。自然科學已成爲改良一切職業所最不可少的要素，所以自然科學對於社會的進步實有絕大的使命。

第二章 創造教育和自然科學

第一節 創造的意義

創造，或養成獨創的精神這句話，在近時的思想界裏面極其流行，其意義亦甚廣。或用以指探尋新事物或造作新事物和發明發見同意；或和因自然科學的原理或應用的發明發見聯想到的科學研究的精神同意；或解釋成爲一種精神活動，因爲欲滿足新的要求而起的。創造的原語爲英文的 Creation，其內容是說，造成或想出，或發見從來所沒有的事物，以及定立新的學說等。但創造不是一定產生絕對新的事物的意義，以自己爲中心產生出來的相對的新，也是一種創造。並是如像上帝創造天地萬物的那種狀況，將從來所未有的——製造出來的意義。若是創造只限於這種絕對的意義，那就說不上什麼創造教育了。既知的事項，或既已存在的事物，一毫不變的發表出來固然不成其爲創造，但若添加一些事物進去，或就一種關係爲之排列出來，那就有了創造的意義了。即是以既知事項或既存在的事物作用材料，將一種新奇的意義附在他的關係上去，也是一種創造。科學上的創造，多屬於這一種，即是發明的創造。例如牛頓的宇宙引力說，是一種創造的思想，但他所用的材料，如太陽，月球，重量，距離，質量的相垂積，距離的自乘等，都是極其平庸的事物，決非他一個獨創的觀念。他的獨創是在將這些已知的事項，裝入一個

新的關係裏，發見出一種新的使用法，無論那種科學上的大發見，大發明，以及藝術上的創作，都是這樣。杜威在他的教育哲學概論裏面曾經說過：“以獨造的獨創看成是一種異想天開的幻想，實成其爲愚的見解，識者所謂的獨創是指將日常平庸的事物，供他人未曾想到的新用途而言，即是運用雖屬嶄新而其材料則並非新。”就是這種意思的創造，也不是盡人皆能的。牛頓的宇宙引力說，豈是尋常的人所能妄冀的？不過一步就想得出新的來雖不容易，但若最初由模做出發，然後一步一步的加以部分的新思想，漸次改良上去，就決不是什麼難事，這却是人人都可望辦得到的。創造和模做本是絕對反對的矛盾，但在實際的問題，最後由模做出發，後來竟能達到創造的地步的時候也很不少，這樣看起來，創造和模做，實在並非絕對的矛盾，模做也可以看成創造的一步。通常皆說“天才創作”以爲有天才的人都能創作出許多獨創的事業，其實徵諸歷史，許多事業，都是由模做一步一步的前進漸次纔出現成爲面目一新的創造的事業，各種發明發見的歷史，莫不皆然，只不過是將部分的排列改變過，或是將其結合的方法改變過即成一種發明，從沒有完全獨創的。譬如望遠鏡顯微鏡等的發明，決不是由一個人的手裏突然一下就成功了的，在前先有玻璃和透鏡等項的發明，又有種種的人研究出種種裝置組合的方法，後來纔達到完成的地步。又如飛機的發達經過歷史，也是一樣。羽化登仙是古人所夢想的，於

是遂擬模倣鳥的樣子，以圖飛起，或是乘在風箏上面，揚在空中，因此慘死的人不計其數，一直到了1783年始由法國的蒙特哥菲尼(Montgolfier)兄弟造成氣球。其後因單利用空氣浮力不能自由進退昇降，於是纔改成用推進機或用櫂來司進退而成汽船。到了1852年更由法國人裝設極輕的蒸汽機關在汽球上面，轉動推進機，每時可進行六哩。這可以稱為飛機一大進步，但其創造的地方，不過是裝設一個蒸汽機關來轉動推進機罷了。而這樣得出來的最初的飛船，就是遇着軟風也不能進行，其力量的微弱可想而知。後來德國的徐伯林始改良成為徐伯林飛船，可以逆着強風以每時三十五哩的速度在三千呎以上的高空飛行。但是這個進步，又在於有力的發動機的發明。名義上誠為創造，實際上不過甲的長處移到乙的上面，換成了一種更為強有力的罷了。

上面是就應用一方面說，再就純正學術上的發見說，也是一樣。譬如錳元素雖稱為由居禮夫人發見，其實在前還有柏克勒爾，樂琴等的發見。又如樂琴線雖說是由樂琴發見，但其前還有蓋斯勒，克魯克斯等的發見。可見學術上的發見，也是由於歷代的偉人共同連鎖的努力而成的結果，前人完全無關的獨創，實是很少。

創造既然是以自己為中心，產出相對新的意思，所以在教育上有將其效果充分表現出來的可能性。即是若能立定一個考案，為兒童前此所未能想到，即成為教育上的一種獨

創的事業。例如三歲的幼孩想到用木片造成一種物體，或是六歲的小孩想到五個銅圓加五個銅圓成爲十個銅圓，都可以稱爲一種真正的發見家。這些事實當然是人所共知的，但在想出來的兒童自身，則確是一種新的發見，是一種創作。並不是聽人告訴的，是由自己的活動經驗得來的，由這種自己的活動，經驗漸次增加去起，就是創造的本質所在的地方，創造力的活動可應其境遇而變，無論幾何皆可成立。縱令學過許多種的外國文字，和高深的數學，講到創作，未見就能勝過無學的人。

第二節 創造教育和自然科學

無論是由個人主義的教育說，或是由社會本位的教育說，創造都是極有價值的。從廣義的教育觀說起來，教育是一種具案的方法，使人類的精神在任何方面皆得一種創造的習慣。所以一切學校的目的，皆在教育學生成爲能以獨創的精神行動的人格者。所謂創造教育，就是這個意思。創造教育的問題，並不是教導學生要怎樣方能達到創造的方法，乃是以研究使天賦的創造力發展所必須的物質的精神的條件爲其中心。換句話說，要怎樣去教導學生方能使他們尊重自己的個人，促起自己的活動，這纔是創造教育的重要問題。因此小學校的創造教育，並沒有一種任務要使兒童去發見前人所未曾發見過的真理，和前人未曾作過的發見。不過兒童

具有天賦創造的趣味，發見發明的趣味，構造的趣味等，將這些趣味的萌芽，施以適當的培養，使兒童自身去建成相當的獨創的精神，方是創造教育的任務。因此所要求於創造教育的教授，是在絕對打破學生萬事依賴教員的教授的傾向，以及專以練習記憶為能事的強迫教育。務使教員注力去啓發兒童自己的活動，不必強求形式上的劃一，這些事項都是創造教育所最當注意的。

近來教育上的思潮，有所謂創作主義，有所謂自動主義，有所謂作業主義，種種主張，極其混同，要而言之，都不過是要求能使學生自成一個真理的發見家，使學生的研究的精神能自行覺醒而已。和這種思想有密接關係的自然科學對於創造教育有如何的使命？要怎樣的一種自然科學教授纔能和創造主義的教育協調？實成為一種應行研究的問題。兒童為自然物的親友，是自然界的親愛者，對於自然最有興趣，所以對於以自然為對象的教科，也現出很想研究的心意，這是人文的各科所不能及的地方。實際上他們未進學校以前在他們父母的膝下，已經是自然的一部分的研究者。他們看見野外的花草，鳥獸，石塊等，莫不生出一種好奇心，一面觀察，一面發出活潑潑的研究精神，由比較，辨別，概括等進而及於想像，思考等高等精神作用。即是現出創意創作所必需的一切心意作用，在這時候都已經過一番鍛鍊。他們對於自然的一切問題，自行喚起一番精神，去自己懷疑，自己解決，自問自答，

不得滿足的解答不肯停止。這是創造教育上很重要的事，兒童在這當中可以發揮其相當的創作能力。

至於要怎樣施自然科學的教授，方能和創造教育協調，只須一研究創造的心理狀態即精神活動，立可明瞭。創造的發端，由於對於事物發生的嘆美感情。未成思考行動以前，先要起嘆美沒我的感情，從沒有不入感情生活而生思考的。尤其是關於創作，須要發現強度的感受性，嘆美其奇妙不置，然後纔奮起全副精神，沒頭於其中，這是創作家不得不經過的感情的階級。（據諾而孫（S. Knowlson）的所說）由這一點看來，自然科學教授也非由嘆賞自然的美，敬愛自然，對自然表現同情等出發不可。

其次關於創造必要的條件，為感覺須要極其銳敏。凡是創造發明的天才，皆必有一種特殊的感覺異常發達。如音樂家的聽覺，美術家的視覺，他們的天才程度愈高，則其感覺亦愈敏銳。特殊的感覺器官發達，對於創作事業，確是極為便利。而一般的感覺概須經注意和練習，方能發達，所以養成創造能，也須有練習感官的必要。當然是以感覺為基礎，漸次入於觀念概念，斷定，推理等高等思考活動，對於創作這些思考作用的活動，也是很重要的條件，所以創造的基礎在於磨練感覺。此件事是自然科學是特色，可以說除由自然的教授而外，沒有別的方法可以陶冶。對於自然的觀察，使用感官的方面務求其多，以期能得公平精確的判斷，這是自然科學教授所

宜最先努力去辦的任務。

其次關於創造最重要的精神活動爲想像。想像是將過去所經驗的材料，改換爲一種新形式的精神活動，所以對於產生新事，想像實爲重要的。想像也有種種的程度，實際的想像，是關於日常生活必須的實際事項的想像，和實際相去不遠；而空想則爲與實際相去甚遠的想像。關於空想，當然還有種種的解釋，有些學者，單限於文藝上的想像，稱爲空想。貝多芬 (Beethoven) 的月光曲 (Moon light sonata)，是將他的空想譜成的曲，羅俄 (V. Hugo) 的哀史 (Les Miserable)，是將他的空想描成的書。但是就廣義說起來，凡是程度較高，和實際相去較遠的創造的想像，都可以稱爲空想。無論何種創作，都離不了這種空想。由這種空想，可以將從來未曾有過的事物想像描出，能够實現出來即成爲一切的創造。所以要作創造的人皆非空想家不可。這些空想家，因爲對於現在的狀況不能滿足，故逞其空想，描成種種的新奇事物，因此方能進步。和這種人相反的人，其思想只限於實際的方面，即限於從來經驗慣了的事物以及從來曾有的事物，決無能去創造或創見，或發明的理由。據法國的心理學家利堡的說法，創作有兩個很重要的根底，一爲動的方面，要有活潑的需用，渴望，傾向及願望等，一要有新結合的觀念能够自發的再行出現。他這第二項即是說創作的想像成爲創作的根底所必要的事項。在自然科學教授上科學的想像也是有極其重要的任務。科學的假說

對於科學的發展異常重要，在本書第一編第六章中已曾述過，在第二篇中更將假說在科學史上所成就的偉業，偶為引用一二。可見假說即科學的想像，實是欲達創造的一種武器，時常皆非加以練習不可。有些人以為在小學校裏面的自然科學教授，那裏會有說到科學家所立的假說的必要，但這完全是程度上的問題，假說並不一定是非成為絕對真理不可的。觀察一個物體，或是研究一個現象，可以蒐集種種的事實，在這些事實間的關係能夠求出，就可以將事實連絡起來，說明這個事物現象。這樣的論據，是立了一個假說上面的，在兒童發達的程度，是可以辦得到的。只須就兒童相應的程度，立下假說以作論據，即可由此將其知識發展開去，進而成為發見發明等。這種發見發明，不消說自然是相對的創造。由此說來，只要取法於科學的研究法，自然科學的教授當然可以訓練創造的想像。

對於創造還有斷定推論等高等思考活動也是很重要的，因此也成為自然科學教授上極應致力的。

我國從來的自然科學的教授，皆以傳達知識為主，教授事項很不徹底，所以缺乏應用的才能，不會發生研究的興趣，由創造教育看來，這種教授，真不能不謂極不完全。今日正值新學制開始之際，須將上述各種弊端一掃而盡，非專力注意於獨創的精神的訓練不可。此後的自然科學教授，不能專以學習他人發見為其職務，須更進一步去訓練學生如何方能

自行求得新知識的方法。這就是教導創造的唯一線路，也就是前章所說使社會生活向上，使自己職業改良所必不可缺的要素。

自然科學對於獨創精神的養成，雖說有很大的效果，但還要視其教授方法得法與否，方能確定。兒童自行實驗一事，在自然科學教授上所占的地位固屬重要，但仍須視其方法如何，方能斷定其究有益於獨創的精神的養成與否。在教授的時候，務要使學生由自己的活動去比較，辨別，推理，判斷，一一自行磨練。在實驗的時候，切不可照着書中的指示，機械的演習，須使實驗事項的根底，深入學生腦中，方能有效。若是做照教會中的儀式的訓練，決不能得實驗的精神。

養成創造力的一個方法，有人主張自然科學的教授，須用發見式的方法。這種思潮在現今的歐美自然科學教育界，勢力很大，然却也是一種程度上的問題。在廣泛的草地上放下一塊金剛石，使人去發見，也不過是令實行者徒勞而已。所以這個方法也不能說是教育的方法。但却也不能夠開一條直路，即將金剛石放在其上。因為這樣一來除却瞎子而外，無論誰人也可以不勞而獲，仍是無益於事的。

第三節 作業主義的教育和自然科學

作業主義的教育在近來的教育思想界中，很占有相當大的勢力，其主義上和創造的教育相去並不甚遠。其根據兒

童自己活動的本能以施教育的地方，兩者完全一致，作業主義的思潮只在以作業爲手段而達於創造的教育。所以與其單獨的去想作業主義，到不如去論創造作業主義，還要適當些。作業主義實際上是離開了創造教育就不能獨立的思潮。作業主義大別爲兩派：一派主張身體的作業，以此爲手段而達於一般意志活動的陶冶，即所謂精神作業；其他一派和此正相反對，主張精神作業，由此去發表創作；但却也不將身體作業，完全置諸不問。兩者相去並不甚遠。作業學校的中心人物，爲德國的刻爾申叔太那；屬於前一派。他的根本精神，在於認定教育爲養成國家的公民，欲達這個目的，須施以職業的教育，由此而養成獨創的精神和職業的技能。他的作業主義的教育，並不是注意於手工職業等項身體的勞動，乃是以創作的心的作業爲其目的。他的眼光專注於現今實際社會，主張身體的作業，以由此而達創作的心的作業爲其理想。

作業主義在教育界所以受人歡迎的理由，在於現實主義的結果。第十九世紀科學非常發達，物質文明驟然增高，其結果遂令經濟的力，一變而成前此所未曾有的偉大。其反面則個人與個人之間，國家與國家之間，生起強激烈的生存競爭，使全世界皆不得不專注全力於經濟力的蓄積。尤其是國家和國家間的經濟競爭激烈的結果，國家因欲圖其生存和發展，遂用全勢力以教育全國國民，以增高其效率。欲突破這個難關，除由作業主義施其教育而外，別無他法。即是國民自

身成爲進取，勇氣，自信，熱誠的泉源，最喜作業，能盡其職，舉國皆從事生產，國家的經濟因此遂占着優越的地步。創造的作業主義在教育上其所以能被承認爲有無上的價值，全由於這種現實的世界觀的結果。作業主義的思潮其所以能被歡迎的其他的理由，則爲精神科學的影響。從來的精神科學，皆將其學理的基礎，放在智的活動上面，到得最近，漸失其勢力，將其根本由智的活動移到意的活動上面。德國有一派主張由行動習慣來施教育，也注重於兒童自身的活動，都是受這種影響使然。由此可知勞動作業在教育上能有價值自屬當然的道理。

作業學校的內容是在破除學校生活和實際生活間的障壁，所以非在學校內設立實在社會的小模型不可。即是學校須設有和實際社會極爲接近的工場，烹調室，裁縫室等，對於在這些地方的作業，特別注重。因注重創作作業，所以學校裏面必設有實驗室，以養成研究的精神。作業學校的自然科學教授，以學生由自己的活動去求知識爲其主旨，所以實驗室成爲萬不可缺少的設備。刻爾申叔太那率先在他關係的南方德意志都市的國民學校，課兒童的實驗，由此可以窺見作業主義的精神。

在理想主義所主張的作業主義裏面，自然科學也是一樣的含有重要的使命。自然科學成爲職業準備所必需的理由，並不僅指其爲物質界的知識而言，這裏面還含有一層意

義就是精神的作業如發表創作等的磨練，也須要由教導科學研究法的自然科學教授，方能達到，所以不得不重自然科學。

以上所述爲作業主義和自然科學教授的關係，由這種主義的教育，對於自然科學的教授所要求的事項如下：從來的自然科學教授，皆無視兒童的精神活動，專重事實的注入記憶，現在的作業主義，却一反所爲，以一切兒童自行實驗爲本體，並且要求行這些實驗的時候，不可一一依照教師的指示和命令。其次須要明瞭科學的原理應用，常和手工要取一種連絡，使其製作簡易的器械，以便磨練創造能力。現在這種主張雖盛，單僅止於筆墨和口頭上的議論，實行的很少，這是作業主義的宣傳上可爲痛惜的。但是有極應注意的事項，即自然科學和手工，大有差別，決不可混同。兩科同以自然物和自然現象爲其材料，自然科學以理法的內容和利用厚生的說明爲其主體，手工則以理法的應用即技術和利用厚生的事實爲其主體。即是自然科學的內容爲知識，手工的內容爲技術，兩者判然各別。由兩者合作的教授，方能得到強有力的知識創作能力的修養，這是教育上的理想。

第三章 人格教育和自然科學

第一節 人格教育的目的

自古以來的教育學說，既沒有將教師的人格置諸不問，也沒有主張無視學生的人格。實際教育尊重人格的思想，決不自今日為始，從古已經有了。從古以來的偉大的教育家，縱令在學說上並無若何建樹，但總是以自己的人格為本位，同時尊重兒童的人格，使其受自己的感化。那麼，何以到了現今，忽然有這種人格教育的主張呢？這實在因為時代的趨勢不同，人格的着眼點以及練習方法，皆認為有變更的必要，所以始有這種主張。現在先述人格教育對於從來的教育思想所占的地位。

第一：人格主義的教育和人文主義不同，很有與之表示同情的，並不一定拘泥於古典，是在磨練和現代思想很相接觸的人的趣味品性。第二：人格主義的教育和實科主義立於正相反對的地位，實科主義注重於人的知識技能，人格主義則主張情意的教育，以提高人類的品性為其職志。第三：人格主義的教育對於社會主義的教育亦不相同，社會主義的教育在教導社會的知識，使人類改善以適應社會，以造成這樣的人格者為其目的；人格主義的教育則尊重個人自主自由的權，使其個性得以完全發達，因須服從社會，所以想造成一種人格能夠使社會改動來合自己的理想。第四：人格主義的

教育和創造作業主義不同，立於作其基礎，指其原理的關係，以爲自己要感到自由，自己的活動也要覺得自由，再在成果上認得自己的人格，然後方能成爲創造的活動人格者。

如上所述，人格教育的思潮，和從來所有的教育思潮，完全不相調和，一方面又是受一般學術界的新趨勢的影響而起的，即是心理學，倫理學，社會學，史學，經濟學等各種精神科學的研究皆以人格爲其中心點，以人格爲其出發點。心理學裏面以心的現象爲其研究的對象，但其基礎則在人格，人格成爲其中心點，以爲全人格的活動，成爲知情意表現而出。倫理學裏面，現在很得勢力的爲自己實現說，以爲全人格的理想，非合道德的標準不可。社會學裏面，從來除個人而外，就有社會的一種勢力，以爲是支配着個人的，現在則起了一種見解，不承認社會自身有這樣大的勢力，個人的力和個人的人格在社會學上也非充分的承認不可。因此歷史說明事件的時候也不傾向社會大勢所趨，而注重於個人指導社會的一方面。經濟學的對向，原以財的生產，交換，分配等項爲主，其財的價值則爲相對的須視人類的慾望和社會的文化而變，所以對於財的研究，非從人性和社會方面去作根本的研究不可，即是經濟學也現了以人格爲其中心的傾向。照此看來一切學問的形勢，都露出以人格爲本位去研究的傾向，所以教育上的人格主義，也不得不起而與之迎合。

人格主義的教育思潮如上所述，一方面因爲發見近代

教育思潮有不能令人滿足的地方，一方面又受現代學術的傾向所刺激，方始發生出來的，到了最近，尤足令其主張增高的，則爲現代社會的傾向。第十九世紀的自然科學發達以後，因其應用增高生產，物質文明爲之大進，經濟力也就膨脹起了。同時各個人間和國際間的生存競爭，漸逐激烈起來，要想占據優越的地位，於是提高生產力，增厚經濟力，就成爲最緊要的大問題。其結果使從來的社會組織根本破壞，人類的思想大起變動，無論爲個人爲國家，同時都想在經濟上去安心立命的地方，於是遂成了一種狀況，以物質和經濟爲根據，構成了一種人生觀。馬克斯(K. Marx)，恩格爾(Engels)等於第十九世紀後半期所唱導的唯物史觀 (Die materialische Geschichtsauffassung)，正足以代表這種物質主義的人生觀。又國家和國家的競爭激烈的結果，因國家存立發展的必要上，犧牲個人以謀國家的利益，或教育個人來供給國家的使用，在國家教育的前面，把個性完全抑住，使人格的權利和自由，不能十分發展。人格教育有鑑於現代教育的這種弊端，欲加以矯正，於是宣明態度以爲欲達國家社會的真正發達，非充分認定個人的人格和其個性，而後加以教育不可。

人格教育因有這種情形，所以這種思潮日逐增高起來，其在教育上的立腳點，大有究明的必要。第一：人格教育是立在理想主義的人生觀之下。自然主義者依人類進化的程度，去和別的動物區別，但在理想主義則不同，他們信人類有人

類特別的性格，即是有一種能為精神生活的性格以自覺為其根據，這種自覺是別的動物所未能有的，由人格的力方能使人類生活豐富向上，具有這樣的本能和性格，方為人類。即是以人類為能營精神生活的唯一生物。其精神生活的內容，對於知力方面，不甚注意，而特別着眼於其感情意志的方面，非使其受磨練不可。因此學校教育中，訓練看得非常的重。對於訓練則主張由兒童的活動，自治，自由意志養成其自立的人格。欲達這個目的，所以人格主義的教育對於教師的人格，比從來更為嚴重。一方面尊重教師人格的自由活動，一方面對於兒童也尊重其人格，觸動心情，在自己的人格與兒童的人格的微妙關係上，去努力活動，使教育發生效力。

由上所述，人格教育的立足點既明，其目的所在當亦自明，茲更摘錄於下：第一：人格教育以陶冶品性為其目的，因品性為人格的威嚴寄託之地，故須由品性着手。第二：教育是發展創造力，去開闢新生活，創作新價值的事業，所以人格教育主張開展兒童的個性。第三：人的精神除知力而外，還有感情意志的根底，所以人格教育主張不絕的鍛鍊情志，造成有信念有理想而又有實行能力的人。第四：人格教育反對因圖國家社會的利益犧牲個人的見解，主張養成一種人格與其只能適合國家社會，不如能使國家社會發達成為高尚的多方面的社會。

第二節 人格教育和自然科學教授

人格主義的教育，反抗現代物質的文明的積弊，高唱精神的文明，所以對於以自然界的對象為研究對象的自然科學教授，也立於反對的地位，好像似要將自然科學教授置之度外的一般，其實這完全是一種謬解，可以指摘得出來。又僅將哲學，文學，語言等人文的學科看成對於人格的養成和品性的陶冶有其價值，其他學科就沒有價值，這種見解的謬誤，也同樣的可以說明。這不過是因為從前還沒有實驗的科學的時代，上面所舉的那些人文的學科在高等教育機關裏占有很深的根據，所以到了現在，也由一種因襲的傳說的習慣，對於自然科學的教授加以排斥罷了。本來將言語文學獨認為人文的學科，將自然科學認為純粹物質的學科，這種見解對於兩方面的教育的用途，皆為有害。人類的生活既不能在真空中度過，當然無視自然界的知識造成的空虛人格，就沒有存在的資格。在從前蘇格拉底，柏拉圖的時代，雖不可知，在現今科學的本質已成為一般社會進步的原因，實科的性質學科將社會的用途增加了不少，所以修養的價值也昇高了許多。要想由人格的內容中除去科學的修養，不過是一種古典式的舊想罷了。

第十五世紀的文藝復興運動，由於人類對於現在生活的新關係的認識出發而成，換句話說，即是對於人類和自然

的關係所感到的一種新興趣而成的。培根可以稱爲將人類的興趣和自然的興趣統而爲一的代表人物。據他所說，我們爲圖人類的利益，才從事於支配自然的共同的事業，因爲人類彼此互圖支配而起的無聊而且無限際的論爭，非完全捨棄不可。但是到了後世，從頭就說科學引導人類進入物質的主義，而加以侮辱，以科學的教授爲不足以養成人類的人格，以爲只有語言文學，才足以代表人類的道義的理想，這種獨斷的見解究從何而來，大有一究的價值。美國的杜威對於這個問題，曾擇出幾種原因如下：第一，語言的有效教授法非常發達，所以這一方面的歷來的學習法，還餘有很大的惰性。第二：各大學的教授差不多都沒有科學的知識，凡是有力的科學大學，大都不肯任教，都閉門在自己的實驗室中，埋頭研究，不與聞外事。第三：物質的事實和官能，對於面前的功作，依然由傳統的習慣加以輕視。第四：第十七世紀的中葉，中學和大學的語言教育完全爲當時因改革宗教而起的神學所拘束，專使用來供宗教教育和其論爭的用途。第五：自然科學自身最初也是以爲是促進人類和自然的獨立的。培根是反抗這種思潮的代表人物，他的思想其後傳至數世紀，依然未能實現。新科學完全沒有道德的意義，只不過看成對於生產上或經濟上可以指示我們可以利用的技能而已，除此而外並無用處，如是荏苒下去而至商工業的勃興。第六：近世科學的直接結果，痛說物質和精神的二元觀，因此將自然科學和人文

科學分離成爲互相對立的學科，因此遂陷入一種誤解，以爲只有人文的學科對於品性的養成，方有價值可言，自然科學則與此方面不同，只能教我們以生存所必須的知識，對於人格的修養，完全無價值可言。

以道德的修養爲目的的，並不止倫理、宗教的教授，又教導我們正當生活的道理的，並不止語學藝術的教授。就是物理學化學等的自然科學也有很充分的道德的意義。動物學植物學等對於指導我們正當生活之道，也是很有力的學科。只須將其教育的職能的一端舉出，已足以見其對於人格的修養上有若何的價值。自然科學是關於自然施以誠實的闡明的科學。向着自然，絕對沒有作虛偽說話的餘地，非常出以誠實的良心不可。自然科學家的良心決不容對於自然，作虛偽的報告。不達到事物的真實的底決不停止。良心能夠這樣徹底的誠實，當然可以強人成爲高等的道德的修養。反過來說善於作爲，素性輕薄缺少良心的人，當然沒有能達事物真理的性格。自然科學由精密的觀測和實驗，不僅能振起知力方面的良心，並且對於判斷推理的訓練也大與有力。又由自然的確實的探究，可以訓練對於自然發生的嘆美鑑賞的情操。以自然科學教授爲僅能作知力修練的見解，實不能不謂是大謬。

由倍根的思想已可見到，教育非先着眼於自然和人生的密接關係不可。人格教育雖在力說情意的生活，但知的生

活即科學的生活，也有援助情意的修練的力量，所以教育上不能由人文的學科將自然科學分離出來，這兩種是相輔而行的。若是分離開來，即成了人格教育上的二元觀，即太不自然。學生只須出校門一步，即和各種樣式的人類活動關聯起來，不能不遇着自然和人生的密接關係。從前的教育，教導學生的學科，皆免不了這種二元的傾向，這實在是大謬特謬的事，非力改不可。近來很流行一種定學科的價值的說法，以為某種學科，有那些那些價值，用學科來定價值的分野，這實在是失當的辦法，杜威就力反此說。譬如說自然科學，他的價值觀其用途而有不同，並無一定，如用於戰爭中則有軍事上的價值，如用於生產實業方面則有工藝的價值或商業的價值，如用於救護援助方面則有慈善的價值，如用於教育方面則可以作保障他人在社會上所占的地位的背景。事實上自然科學不僅對於這些目的均屬有用，此外還有許多用途，直無從枚舉。如任取其一而指定其為自然科學的真正目的，未免太過於任意了。

由以上說來可知人格教育和自然科學教授，兩者根本上并無什麼不同的傾向。只不過從前所有的人格教育的各種學說裏面對於人格的說明未能十分完全，或是對於品性形成的順序，未能詳細述明，遂致令人難於說出和自然科學教授協調的地方罷了。若單就尊重人格陶冶品性為主的結論而言，則自然科學教授確有完成此等事務的資格。從來的

自然科學教授，誠然是專以注入關於自然界的斷片知識爲職務，並未不絕的將他利用到社會和人事的關係上去；所以在人格教育上看來，自然科學的教授，只有害而無益。其實要使自然科學教授發展來和人格教育的立腳點能夠互相調和，並非什麼難事，不特不是難事，而且還是自然科學教授的一種當然的使命。例如人格教育的一切努力的中心，在於自己的人格，主張自己非先努力去提取事物不可，非去創造事物不可。但是如何方能正當的捉得事物，如何方能創出事物，完全是現今的自然科學教授努力去訓練學生的要點。人格教育的主張和自然科學教授的目的，究竟怎樣能夠互相調和，更可由下章所論的自然科學教授的職能處爲之闡明。

第四章 自然科學教授的教育職能

第一節 科學的知識和自然科學

前三章中，由現今盛行的教育上的問題，即以社會生活爲本位的教育，創造教育，以及人格教育等的立腳點，來論自然科學的職能，故自然科學對於教育的職能的使命，業已詳細述過，本章雖不過更將前此所說，再爲總括一下，但敘述方法略有不同，即以自然科學爲中心，將其對於教育的職能，作一系統的敘述，用以說明自然科學的教育價值。前此是以三大教育思想爲中心，而詳述其和自然科學的關係，本章則由自然科學教授的本質出發，去詳論其派生的教育的價值。擬分作教授科學知識的自然科學，訓練科學的研究的自然科學，陶冶道德的品性的自然科學，教育高尚的情操的自然科學四種，而各論其職能，似覺較爲適當。

知識這個名詞，用途極廣，很有包括的意義，但其內容則甚模糊不易明瞭。第一：由其成立而言，不含有絲毫的假說專指純粹的經驗，一點也不加以修飾的事實（即經驗的知識）也稱爲知識。即是並未曾根據何等原理加以推察，只不過是由個別的試驗結果現出來的知識。其次由經驗得來的事出發，將全般的事實包括入內成爲概括的知識。又以此種知識作爲媒介，去推論特種的事實，以後再用實驗來作證明，這樣知識即爲演繹的知識。或也有一種知識，爲理論上的根據可以

承認，但我們現在的器械以及其他的媒介，都不能去檢查證明的。第二：由組織上可以將知識分爲分析的和綜合的兩種，第三：由知識的內容可以分爲實用的知識及與實用的知識獨立無關係的真理，或稱真知識，又稱純知識兩種。前者更可細分爲關於食物方面的知識，關於居住方面的知識，關於衣服方面的知識等雜多的小類。純知識亦可因其內容分爲若干小類和今日的自然科學的分科相同。譬如物理學的知識，化學的知識，生物學的知識等項，都是離却實用的範圍，應歸入於純知識的範圍內。

古希臘時代的哲學家以爲知識是關於永久不滅的真理，由於一種比實際生活即經驗還要高尙的源泉生出來的，這樣的知識觀，對於後世人類的思想和教育都有很大的影響。不重感覺的觀察，以知識爲有高尙的價值，非捨去具體事物，由抽象方面處理不可，以及輕視工藝技術等種種謬見，都由於對於知識的評價，根本上就錯了的緣故。但是近世的知識觀，却已不然，以經驗作爲知識的單位，而加以尊重。要想發見自然究竟是什麼，除却經驗直無他法。以人類的理智任意的去預想自然，實在是一種獨斷的見解，決非求知識的正道。這種思想所主張的是在學校裏面，不能以單教書上語言文字爲滿足，非在教這些符號以前，先將實物指示出來，決不能得到有效的知識。所以今日學校裏面，費種種的苦心，設備種種的器械標本，要想將感覺的經驗教授學生，成爲所謂實物

教授的方法。不過事物的直接印象雖係求得知識的正道，但若僅止於此，則其範圍即未免失於過狹，成為不能出其鄉土的知識了。對於將來想在社會國家，世界上活動的青年，這種不活動的知識，將成為不滿足和煩悶的種子。因此對於學校遂發生出一種要求。現代的文明社會，是由人類的努力一方面利用自然，一方面又改造自然，使人類生活方法為之一變，然後方成現在的狀況。所以對於這一方面，非有相當的知識，不能進入社會中去成為其一分子。一切的文明，不外是自由使用交通機關，熱能，光，電等以及將各種經濟的器械各各應其目的，廣為利用而成。所以這種使用器械利用自然能的實行的活動的知識，為人生最緊要的事項。在古時的人將這些實用的知識歸之於下等奴僕的分內職務，不認其為知識，今日的教育觀則將這種實用的實行的知識，看成使社會進步的一大動因。所以現今的教育不得不將這種成為社會活動的要因的科學的知識，採入教科裏面，拿來教導學生使其將來成為社會中一有力分子，並成為改造社會使其更近於完美的一個素因。

學校裏面教授科學的知識以自然科學為主，故自然科學對於完成教育目的其教授方法有種種的派別發生。到底是同業已完成的知識形式，還是用未成品的知識，即由學生的經驗出發，由此去理解正當的科學研究法？或是注重於社會生活的準備，或注重於成長的要素？或着眼於實用方面，

或只須有理論方面即可滿足？或注重在對於德性的涵養方面？種種問題皆極重要，非由教育的原理加以解決不可。自然科學教授的目的，應重形式的陶冶抑重實質的陶冶？以及自然科學教授的方針應為科學的訓練，抑應為科學的知識？對於這兩層的問題，很費過長年月的討論，但若徵諸實際，幾乎全體的學校依然還是以傳授科學的事實和傳習科學的定律為主要事項，這是無庸爭論的事實。至其目的，究為形式的陶冶抑為訓練，也決沒有不用科學的事實定律，能够抽象的辦得到，一定要用教材來作媒介，所以由這一點想來，用作自然科學的教材的科學的知識，很有深長的意義。問題是在由學校教育的目的看去，科學的知識，可以算如何的作用效果？用了不少的力去傳授自然科學的知識，但是這些知識進了兒童的心理的論理的考察裏面，究竟可以生出什麼樣的結果來？又由形式的陶冶着眼去說，科學的知識沒有什麼都好的道理，那麼，應該要怎麼樣的性質的知識纔可以？通常未免將自然科學教授的形式的價值，過於重視。對於科學的知識的內容，反轉不甚注意，其實偏輕偏重都是應該同戒的。

其次更由以教育為準備的見解，即以為兒童成長後將來成為社會中的一個分子，所以現在非教以必要的事項，使其將來入社會時可以無礙，由這種見解來論科學的知識。人類社會是流轉的世界，是進化的世界。人由初生以至於死，在這新陳代謝繼續不斷的中間，過去人類的努力改造，和現在

人類的天賦的創造，都一毫未曾喪失，文明進步的事實，都已實現出來。所以無論其爲物質文明，或爲精神文明，今日的狀況和昨日已有不同，明日的文明比今日或更進一步，也是意中應有的事。即是社會的意志的這種進步，無論何時何代，人類如何更代，總是毫不躊躇，向上不止的。所以經過十年或二十年以後，我們的環境早已完全變過，改造的效果不可謂不大。現在的兒童到了他們能夠活動的時候，已經是二三十年後的舞臺，和現在的世界當然已完全變過。對於有這種運命的兒童，依着現在我們的時代的文明標準，教授他們和我們現在的時代能夠適應的科學知識，這種計劃完全不合於論理。所以以現在社會生活爲目標去教授兒童使其能得成人時的準備，這種意見，對於保守的教育，固然有其意義，對於繼承過去的文明，固然也很有價值，但對於進取的教育，則一毫價值也沒有，不能不謂爲是一種退步的計劃。兒童成長後的舞臺既前途遼遠，要到實現很要有相當長久的期間。並且這樣也是社會生活的必要事項，那樣也是社會生活的必要事項，對於兒童均爲毫無興味的知識，何必這樣忙着去爲之準備。所教給他們的知識，大部分到得實用的時候早已忘却淨盡，或許還有一大部分早已成了不能適用的廢物了。

又將準備作爲自然科學教授的方針，則必立有一定的期待和標準，一切材料的選擇都要依照這個標準和期待，轉將兒童的個性和現在的興趣置之不顧。因此將兒童興趣所

不能感到的知識，貫注下去，使兒童不知究爲何故去學這些事項。其分量又多，使兒童決難消化，遂對於自然科學生出嫌惡的感，這種計劃可謂不合心理。準備主義的極端，甚至於替兒童作將來昇學或入社會中奉職的試驗準備，更有甚者則專以一定的學校入學試驗爲兒童準備的目標，專以能應此種考試及格爲其學校中一切教授的選擇配合爲標準，如近來許多中學的教科書籍大都採用英文書，學生的英文知識本已有限，欲通書中的文字業已匪易，再想由這種文字去傳達科學知識，豈不更難。一推其來源，則因某某外國派學校或教會大學的入學考試課題純係英文，苟非平日地英文教科書本，則對於試題即無從得知，追窮禍首，固在這種缺乏常識的考試方法，然而一班拋棄教育原則委曲從俗的教授方法，其荒謬亦良可嘆。這個問題與其說是一科的教授法的問題，毋寧謂爲是國家社會前途的一重大問題。其弊害所及不必智者皆可知之。尤其是自然科學的教師非絕對拔除這種短見的準備主義，立於高尚的地位去研究自然科學的教授方法不可，同時一方面對於荒謬絕倫的試題也非加以嚴禁不可。

和準備主義相通的思想，還有一種即爲尊重實際知識的意見。若是這個實際的意義手指貢獻於現社會的文明施設而言，則去責望小學和中學的自然科學教授，即未免太難。這些事物本來並未受教育的要求，只要能够應用得到，不問

是何方向，一律由最新的自然科學，將其原理定律借來，連合起來使其能與一種目的能夠調和，即可大用特用。要將這些事物一一分析起來，使兒童了解其科學的原理，決非易事。譬如交通機關中一個電車，或是一架腳踏車，要求中小學生真正明白他的機構，萬辦不到。要明白他的機構，須要將物理學，化學，數學等綜合起來成爲一種專門的學科才可辦到。科學教授的出發點，決不是教授有科學名稱的事項。所謂實際的是使兒童直接觀察經驗日常所遇見的現象和機構，使他們知道種種的根本原理，都可以供日常的實用。自然科學教授非努力去求這種根本原理的科學的知識不可。現時自然科學教授中最可怕的缺點是因爲使無數的兒童去記憶許多知識而又不知其實際上的效用，因此消費了不少可貴的光陰，不特不惜並還可怕。現在學校中教給兒童的自然科學知識，有許多就是已在工商業上成功的人還未曾偶一遇見過的。然則應選擇何種科學的智識以作自然科學教授的對象，這個問題，萬不能以成人爲標準，也不能以編定教授細目的人的思想爲標準，無論到何地步，總非以兒童自身作其中心不可，總非選擇能夠整理兒童環境的知識以作對象不可。哥德曾經說過：“人皆就其所好而學”。不能使兒童發生興趣的教材，決不能和兒童的心理同化成爲知識。由這一點考察起來，可知專以現代社會生活爲標準的知識，實屬不合於理。

對於要求自然科學教授所選擇的知識，務要實際的應

用的，也有一種反對的意見，以爲這樣一來，未免有損於科學的神聖。這當然是一種誤解。知識之所以可貴，完全在於能夠理解，愈能理解其意義和關係，愈有教育的價值。自然科學的事實定律，不僅就其物理的以及其他的科學的關係去論，且須就實際的方面，即就人類的關係去論，方能發揮他的豐富的內容和莫大的修養價值。社會意志的文明進步，不外是將莫大的自然力及自然物改造成爲人類活動的用具，但要達到這個目的，非得要使我們對於自然的人生的興趣還要更深，去增進社會的幸福還要更爲敏捷。自然科學如果依據這個思想去選擇科學的知識，他的進路就成人文的了。又科學的知識如能照着這樣同化，由科學的立腳點說來，決沒有更受人指謫的地方。因爲理解科學研究的精神和科學的使命，可以由人類的關係去理解科學的事實和定則得來。這個意思，到後面敘述科學的訓練的時候，更可明白。

從來的見解都將自然科學因其意義上看成是純粹的物質的科學，將文學歷史等看成是人文的學科，這種見解，兩方面的教育用途，皆蒙其害。人類的生活，既然被限於自然的範圍以內，則其成功失敗，皆由於使用自然力的能力大小而定，所以關於自然的知識，實爲批判人類活動的緊要材料。對於我們現在社會生活所存在的這個環境的一切知識，以及欲圖社會生活進步發達不得不知的自然的知識，其性質上畢竟還是人文的。由此可知自然和人生的關係愈明，則自然

科學的教育愈有人文的價值。有種人以爲自然科學是教給我們科學的知識，使我們好拿去應用到職業上面，由這種見地說來，自然科學並沒有使人類得類人的修養的價值。這完全是自古傳來的信仰，以爲自然科學是教導實用知識的實科，從事於實科業務的人都是在劣等階級的人物，由這種謬見，方生出這樣失當的結論來。一切的實業都由農夫奴隸去代行的時代，這種信仰固屬當然的結果。但在現今的實業，並不拘泥於舊日的習慣，反以最上的智識爲最必要，無論何處凡從事於這一方面的人，都具有科學的最高的知識，然則對於科學的一切誤解，也應消去的了。現代的狀況，凡是重要的職務，決沒有一處不是依賴數學和物理學化學等學科的。而人類活動的範圍，因爲大爲推廣，其結果遂令科學的知識，增加了不少的用途，其對於修養的價值，和對於實用的價值，已經互相接近起來。然而一般的教育家中，仍然時時還是批判攻擊，以爲現行的自然科學教授，既不足以陶冶品性又不足以影響及於行爲，這種思想，完全由於舊式的見解而來，以爲一切知識，就是圖書館裏面堆着的百科辭典，旅行游記，科學書籍等記載着的那些材料的自身，並以強記他人的知識，或羅列他人的知識爲其教授的職能。這是在第十七八世紀人類開拓的知識分量尙不甚多的時代的教育思想，在現今已成爲絕對不可能的了。自然科學教授上的知識，非和實際問題實地交涉過的不可。已成的知識即是敘述或命題等並不

重要，到是去求這些知識的方法，轉成爲知識中最重要的部分。

關於自然科學教授中的科學知識的本質，不可不預先知道的，即是兒童由其幼小時代以至成熟時代爲止，其間經過的各種發達階級，還是和人類種族的進化徑路完全相似。其不同的地方只在兒童可以常常領略最近科學的應用的滋味，並享受近世思想的產物的好處，所以他們的環境，比較前代的兒童更形複雜，更帶有人工的色彩，思考的方法以及機會，都較前代更爲豐富。所以現代的兒童，不必一定要將種族進化的經驗，一一的去復習一遍。現在兒童的學習的後面，和古代人或野蠻人不同，已經有了數世紀以來由人類累積得來的經驗和蒐集得來的知識。所以兒童可以將種族進化所必經過的難途，飛躍而過。在兒童周圍的人又不絕的作種種抽象的思考，自行發表其思想所得，對於兒童的質問，一一爲之答復，並由書籍新聞雜誌等類，指導兒童所欲學所欲知的事項。所以有多數的兒童，皆有很進步的知識。譬如都會的兒童，由電鈴，蒸汽機關，照相機，飛機，汽車等類以至無線電報電話等，都能粗知其大要，鄉間的兒童對於農產物的知識固勿庸說，並進而對於進步的文明機械，也有相當的知識。又女子則對於裁縫器具，以及烹調用具的用法及其作用等項知道的也很不少。兒童的知識大多數雖係由經驗得來，然其中也有由高等推理的結果得的。一切這些知識，都是由真正自

己的活動得出來的，所以對於關於這些方面的科學上的問題，皆能引起很大的興趣。但是問題須得要能夠誘發兒童的好奇心，並且要不能超過他們的具體知識和抽象思考力所能及的程度以上纔行。因此提供於兒童的新材料，其性質也非要與他們的具體的而且經驗的知識能夠同化的不可。否則絕不能成為他們真正所有的知識，就令能為所有也決不能成為於他們有利的知識。並且同化的時代，還要兒童自身開發出來的觀念，為之幫助，這也是很明瞭的。

乳兒的期間中，即由初生以至能夠自己支配自體為止的期間中，兒童學習知識的方法，和動物以及未開化的人學習的方法完全相同，不過是將試做和發見錯誤的兩事反覆行之罷了。就其一生求得知識的方法而論，熟練的時候誠然和此很有差別，然大多數仍不外由此種試做和發見錯誤的方法得來的。其最初雖為很模糊的感覺的印象，但是後來漸次感到事情或知道和事件的連絡關係，就多數的機會中發見能夠滿足的結果，就一而再，再而三的反去復來，成為習慣深入腦裏，永成一種記憶留下。一方面不能滿足的，就沒有反去復來溫習的機會，也就因而完全忘却。以這個能夠滿足的反應，在記憶裏面連絡起來成為一羣的感覺，對於個人即得了一種的意義。其意義可以分為兩種，一種是與自己以快感的，一種是與個人以不快的感覺的。既加了這一種區別以後就可更進一步，去想如何取捨的方法。活動的兒童用這個方

法對於經驗上存在的事物和發見的事件，可以更得到許多的意義，更經自己的意識選擇更好的方式使用，遂成為熟練。

第二節 科學的訓練和自然科學

試一考察有訓練的軍隊，即可見其由上級軍官以至下級兵士，各各對其自身的責任，皆有自覺，對其自身的義務，莫不以極強的意志貫徹下去。縱令逢着混亂困難，而其自己的行動，總出之以考察和熟慮，決沒有周章狼狽的態度。對於自己的業務，皆有極周到的考慮，進退自如。所以有訓練的軍隊，一切行動既有紀律又有組織，且有一定的意志，左右前後莫不從心所欲，一毫不紊亂，和個人運用其左右手一般的自由。本來訓練這個名詞，用途甚廣，有所謂道德的訓練，國民的訓練，社會的訓練，職業的訓練等，但其共通的意義，則如上舉的軍隊的例，包括養成隨意自由行動的能力，以及欲達一定目的而練得效率最高的方法等項的意義在內。杜威說過訓練是自由使用能力的意義，即是為作自己所欲為的事件而自由使用有用的資源的意思。不問其為軍隊或為個人，只要知道自己現在要去做的事，就迅速開始活動起來去做，並且可以選擇必要的手段，能夠辦到這樣的人即稱為有訓練的人。所謂科學的訓練，並非作一個科學家必要的訓練，乃是說人類活動的範圍內無論何種方面，都有用科學的研究法作為手段去處理各種問題，並且對於處理事件的時候，須養

成一種習慣，務用科學的態度，方能得確實的結果，效率也可增高。科學的研究法的第一步，在於實行精密的實驗，所以科學的訓練的第一步非養成一種方法上的習慣不可。即對於問題的觀察，實驗即經驗，務使其成為有效的方法。其第二步則為對於問題作論理的考察，即其思考須養成必遵照論理方法行去的習慣。第三步則為研究的精神須要徹底，即是遇着問題的時候，須有很強健的精神修養，方能以科學的研究態度去貫徹始終的活動。

最近教育思潮中有一個很顯著的意見，以為能夠占自然科學教授的目的或其價值的大部分，全在於由自然科學教授方能達到的科學的訓練。對於現在擔任自然科學教授的人，如詢其科學的知識和科學的訓練孰輕孰重，大多數必皆毫不躊躇答言應以科學的訓練為重。就是美國，素以歡迎實用的事實知識著名，但其教師的意見，仍然還是一樣的注重在科學訓練上。據一個俄亥俄 (Ohio) 的視學官最近的報告，他對於人口五千以上的都市所設立的高級中學，約有三百個學校，提出一個問題“化學教授上，教導實際的事實，和訓練科學的方法，何種最為緊要？”而答案中主張事實緊要的有九名，主張訓練緊要的有四十六名，主張兩方面有同一價值的有十三名。由此一例而論，已有十分之七的大多數主張科學的訓練，為化學教授上的主要的着眼點。其主張的理由則為事實立刻可以忘却，而訓練對於他方面的事件，却可

以給與科學的研究的基礎，——對於將來的問題，可以給與攻擊的方法，——可以使活動的生活得以繼續下去，——養成科學的思考和習慣，——專授事實則時間有過短的嫌；不如教以一般的應用的訓練，較為有效，——可以適於解決生活上的各種問題，——可以養成應用到經驗的一切分野上去的習慣，——等各項的意見。由此可知教師方面的輿論，其所以重視科學的訓練，由於信其效果能夠適合於一切活動使然。又主張以事實為主的方面，以為事實是知識的基礎甚為必要，——可以成為後日一身的業務的基礎，——定理，方法雖變動不定，而事實則係亙古不變的，——由事實可以知道生命，健康以及一般必要的化學——等各項的意見。但是根本上將自然科學的教授，分作實質的知識和形式的陶冶的兩種，來作二元論的比較，早已就錯了。兩者實在是不可分離的教授的兩方面，我們決沒有漫然能夠去觀看，去傾聽，或去記憶的能力。只能對於某一種事實，這些能力展開了來，方纔能夠現出。所以離開了實物實際問題，要想去訓練一般的能力，完全是無意識的事。只不過是因研究的便利上為之作分析的區別罷了。在學生一方面所得的印象，不過是一個籠統的自然科學教授罷了。教師要想強為分作二元的功作，真不能不謂為無理已極。

自然科學教授對於學生所生的教育的價值，第一步可以由訓練常習，以及合理的實行等，養成一種有效的習慣。由

此可知自然科學教授的訓練的職務，在於養成正當的習慣。這種習慣不特對於大多數人的日常生活有用，並對於一般的職業，都有很大的普遍的實益，所以無論對於什麼樣的人，其職務皆甚緊要。下舉的各事項都是在好的教師指導之下，由自然科學教授能夠得到的好習慣：

1. 於參照書籍以前，須先用耳目手等官能對於有意義的事實和現象，作精密詳細的觀察。
2. 對於觀察實驗等所用的裝置器械等，須保持其清潔及整理排列等。
3. 處理器具機械注意要深，並要熟練。
4. 由正當的方式去行注意周到的測定，要有相當的手腕。
5. 製作圖表或計算時，務要精密，並須按着一定秩序進行。
6. 發表結果所用的文字，務要簡單明瞭，書法務要工楷，文法務要無錯誤，句讀務寫清楚，圖畫務要美觀精密。

上舉的數項科學的習慣，在人類一生涯中皆為異常貴重的性質，程度或許有高低的差別，但是自然科學教授對於養成這種習慣總是免不了的。至於養成的習慣正當與否，以及程度到若何地步，則完全由教師的行動而定，其責任的重大由此亦可推知。

科學的習慣，其價值並不僅限於物質界的研究，即對於

社會的及道德的方面，亦可大為發揮其光彩。假使科學的習慣僅能對於科學研究家有用，或是僅對於將來從事於科學的職業的人有用，則自然科學對於教育的職能，直無足計。實際上養成這種習慣，不問其將來的職業如何，對於其將來的社會生活上，皆為一種最必要的訓練，為增進效率上必不可缺的要素。那麼，由自然科學教授要怎樣方能達到一般的陶冶呢？對於這個問題，可以下舉的例來作說明。假定有一個兒童去作酸和鹼的中和實驗。他當實驗的時候，並不知道用什麼方法最為適宜，只不過具有一種模模糊糊的觀念罷了。但是他將鹽酸和苛性鈉的一定量各各秤出，溶解於水內，使成為溶液，將一方面的溶液一滴一滴的加入他一方面的溶液裏去，最後達到一個境界，只須多加一滴，即可使石蕊紙由青色變成紅色，或由紅色變成青色。而中和的比例，和所用來實驗的分量，並沒有關係，發見出這個比例，總是一個常數。他更將中和後的液體加熱使其蒸發，結果得一種白色的結晶體，發見出這種結晶體的外觀和味道，和食鹽並無毫絲不同的地方。再使兒童去發見這個食鹽的重量，和所用於溶液中的鹽酸的重量與苛性鈉的重量兩者的和完全相等，也並非難事。兒童將上述的關於中和的實驗合法實行出來以後，再按着正當的順序，將方法、觀察、結論等項，一一記述下來。再經教師加以批評，或經同級學生的相互批評。這樣一來，即可見到兒童的觀念的擴張確實可驚。他可以詳知酸、鹼、鹽基、鹽、元素

等類名詞的內容，並能組織的理解其間存在的關係，不但這樣，還可更進一步，將實驗所用的方法，順序，精密度，以及系統的觀念，一一擴大，並且弄得非常明確，由此遂可達於能夠理解依據事實的推論和作結論的方法等的程度。這就是得到科學研究法的概念。這並不是一個單獨問題的事，乃是對於一般的問題，自己修養去解決的手腕，以後遇着同種類的問題，固勿庸說，就是精神活動方面的這種傾向，也可以同樣的去解決社會人生的各種問題。所以上面所舉的六條科學的習慣，決不僅止於自然現象研究的要件，並且是增高人類對於日常業務的活動效率，使其成為成功的基礎的訓練，為自然科學教授當然應該達到的教育的職能，所以凡具有深遠思想的教師，對於這一點，都應得加以注意。

科學的訓練的第二步，是造成用論理的推理去解決問題的一種習慣。兒童在未學習自然科學以前，或是在家庭中或是在郊外，自然而然的，已經由經驗蒐集了不少的科學的事實。但是這些事實概都由未受訓練的經驗得來，所以既不明瞭，又無秩序，只是一片模糊的知識。像這種曖昧不明又不確實的經驗的產物，通常稱為**心理的概念**。教師的職務在由此種心理的概念出發，引導他們將這些概念化為簡單明瞭的形式，並引導他們去捕捉概念間存着的關係，然後順其性質，作成分類或排列整頓等。並且同時還須由種種的根源，用種種的方法，供給些新的意義在概念裏面，以便兒童將已得

的概念的內容，時時可以擴張。又須將代表概念的名稱、符號、方式、定義等結合起來，使其記憶，並使其學習限定概念。經過這一番的指導，兒童的曖昧不明的概念，方能化爲一種簡明而又有組織的論理的概念。然後將他包括入於系統裏面，用極明瞭的言語和意義，存放在記憶之中，以備隨時皆可復活起來，以應需要。像這樣構成的論理的概念以及科學原理的使用，到得兒童遇着必要或以爲很有意義的問題，用去求其解決的時候，即可因此大爲進步。說到論理的思考法，立刻令人想到三段論法及歸納法等，有許多的教師以爲像那樣困難的論理形式，怎樣能由自然科學教授去訓練，這實在是一個很大的誤解。兒童對於自然界的現象，很有相當豐富的心理的概念，並且還有許多的材料可以使他們的卓越的推理力和論理的考察開始活動。尤其是他們能夠發生興趣或以爲很有意義的問題，去捕捉其間的關係決不是什麼難事。在極其平常的經驗或實驗中很有不少的機會，去練習論理的思考方法，由下列各例即足見其一斑：——

一個球能够墜入一個洞內，但別一個却不能。

推理：後者比前者大。

這個小孩能够將一張椅子舉得起，但不能舉起桌子。

推理：桌子比椅子重。

在火上的鐵瓶內的雖已煮沸，但是鐵瓶却不會燒壞。

推理：水蒸氣將熱取去。

加熱於氯酸鉀即發生氧氣。

推理：氯酸鉀內含有氧元素。

熱鐵，鐵即膨脹，熱水，則水平面升高。

推理：物質過熱皆起膨脹。

照着這樣時常注意和兒童相應的論理的推理，使其練習，漸次進而以研究問題作為對象，因其性質而訓練其選擇適當的方法以作解決。這種訓練的價值，很可以應用到教室以外的許多事項，所以自然科學教授中，非頻頻的指示學生這種研究法的便利處，使其自身亦有此種實感不可。照着這樣將對於日常生活的各種問題的方法的處理和秩序的思考，養成了習慣以後，方可稱為得了科學的訓練的實。

在學校中養成思考的良習慣是教育事業的最緊要事項，雖是人所共知的，但實際的教授，却大都棄而不顧。就是最適當於訓練論理的思考的自然科學教授，尚且不大在意，單以事實的報道和排列為其能事，將已成的知識強壓入兒童腦中，為其事務中的大部分，這種狀況，要想鍛鍊思考到底是辦不到的。像這樣的報道和勉強裝入的知識，是不能應用不可融通的死東西。好的教師，決不單使學生去學，而將其應學的事件，給與他們，使他們自己由思考作用能夠自己樂於去認識事物的關係，所以用學生的思考來教授他們的知識，要算是最巧妙的學習手段，實為很重要的事。在這樣意義中的思考，即是一種創造的性質，因對於從來已有的事物不能滿

足，故想進入新奇的境界，所以是創作。本來我們生活着的這個世界，並非固定完成的，乃是流轉變動不已的，所以利用已得的知識去對付將來的事項，不能不謂爲是使我們生活安全富裕的方法。所以自然科學教授以集中於養成學生的思考的良好習慣，訓練學生使其負責去對於各種問題行秩序的解決，爲極有價值的事。

兒童也和成人一樣，以最初由經驗得來的意義作爲思考的基礎。這是因爲要想滿足自己必要的慾望而起的，或是要想將一事件或一現象編成一個容易理解的系統而起的。兒童用這個方法來使他們對於調和意義完成知識等的本能的熱望，可以得其滿足。兒童初期的思考作用，是由兩三種特殊的情形，一躍而至模模糊糊的廣泛的概括。其間的連聯關係很不完全，時常遺漏。像這種過於急速的歸納法的結果，最容易使其得出來的概括，陷於謬誤。因爲這樣一躍而成的歸納，內包既未充分發展，又多未經事實爲之檢證的緣故。若在這種不完全的概括底下去檢查特殊的情況，多得不出結果來，這種知識完全是死的，不能供我們的應用，不然就一定成爲極其可笑的結果。欲避此病，須指示出謬誤的地方，並告知兒童凡未經過檢證的概括，是不能用的。這樣一來，就可免却兒童們依賴未經檢查的結論的心，以及陷入淺薄的意志等項的毛病。

兒童的思考作用一般是由六歲至十二歲間由經驗方

面漸次確實生長完成。其發達的次序第一爲本能的性質，第二爲由環境得到豐富的經驗，第三始爲關於以前所受的科學的訓練的事項。普通兒童在小學時代，就開始作合理的思考，大多數並可在熟練的刺激和指導的下面，就對於稍稍複雜的問題，也能發揮思考的才能。學校中的自然科學教授要希望將一切的兒童都造成科學家，不特是辦不到，並且也不必要。但養成他們一切思考習慣都和大人一樣却還能夠。

第三節 科學的理想和自然科學

理想不外是假設的一個對象，因爲不能滿足現在的境遇，纔設下這個對象，以求能達更完美的境遇。這種境遇之中既含有外面的物質界的理想即對於物質文明的期待，又含有內面的精神生活的理想即對於精神文明的先見。所謂理想的實現，即是一步一步的漸次和期待先見的對象接近起來的一種預想。這樣看來所謂理想，是引導我們努力去完成自己以爲不完全的境遇，要這樣的理想，方能稱爲真正的理想。因此科學的理想是由科學的研究入手，使我們建設一種高尚的人生觀和宇宙觀，使人生成爲有意義的成爲完美無缺的理想。要使這種理想實現，必須要有科學的精神的涵養，所謂科學的精神是指以科學的研究去對付一切事物的精神作用而言。即是遇着一個問題，發生無窮的興味，覺得異常有趣，非更進一步去研究出來不可的精神。所謂以科學的研

究態度去對付一切事物，是說處理的方法要有創造的性質，不爲因襲的傳統的舊習慣所拘束，對於當面的問題，須詳細精密的加以調查，判斷推理，而後圖其改良。例如房屋被火燒了以後，要是沒有研究的態度的人，又建築成和先前一樣對於火災不能抵抗的房屋，但若富有科學的研究的精神的人，一定去作種種的調查，然後建築更堅固更耐火的房屋。又如某處發生水災許多的堤皆被冲壞，到了後來依然還是照着舊時的堤樣，再造起來，並不加以改良。像這樣的堤到了下一次漲水的時候當然要被冲壞是無可容疑的了。我國歷來對於黃河的堤防，視爲重務，然而冲了又修，修了又冲，損傷了不知許多的人命，喪失了不知幾多的國幣，而災害依然如故，這就是因爲沒有科學研究的頭腦，臨事不能用研究的態度而成的結果，就再重演若干遍，也不會有進步的。這種科學的精神的有無，對於事業上可以生出千里的差別，不問其職業的種類如何，階級的高下如何，只要是立足在社會上的人，都是絕對不可缺少的。

杜威等所主張的，以爲自然科學教授的真實目的，在於誘起兒童的科學的精神，實際自然科學教授的教育上的職能的統一點，也就在這科學的精神上面。自然科學教育的目的雖在考查知識，文化，道德，社會，以及調和的發達等種種的方面，但欲達這個目的的素因，則完全在研究的精神。沒有科學的研究的精神，知識，文化，道德，社會通無從發展，因爲關於

這一方面的理想的實現，沒有得而希望的理由。而欲養成這種精神，則非由自然科學教授，教以科學的知識，和施以科學的訓練不可。

科學的理想是在建設高尚的人生觀和宇宙觀，在建設之前須先着想由自然科學教授如何能陶冶道德的品性。試一回顧關於自然科學教授的目的的歷史，即可知其不僅限於知力方面的陶冶，並有許多關於感情方面的價值，也可以看得出來。例如德國的博物教授的鼻祖魯本(Ruben)則以為由自然科學教授不特可以增進記憶、想像、判斷等項的心力，練磨觀察力等，並可以使人感覺自然的美，活潑感情，振起研究的心志，養成獨立自為的精神，而博物教授最高的價值，則在於使人認知自然是受理法所支配，而生真正愛神的心。其他如洪保德(Alexander v. Humboldt, 1769-1859)，以及最近的羅斯麥斯勒(Rossmässler)都以為由自然科學的學習，可以統一自然，知其調和，明瞭自然中人類的位置，養成敬愛自然的心情等。自然科學教授只須以真正的科學的態度實行起去，即可於不知不覺之間，啓發出倫理的宗教的思想。在教授的各階級中保持知力的正直，由妥協務求真理不為所被，如是一來雖欲不陶冶成遇事認真的心情亦不可得。自然科學教授的最後的質問是“這件事的真理究竟如何？”即是以知其真理，置之於有用的形式為自然科學教授的唯一目標。正直是自然科學教授的真髓，所以在善良的教師指導的下面，兒

童時時皆在修練正直的習慣，探求真理的習慣，由此而後可以使個人或社會生活中的正直認真的價值，能得實現，對於物體自身欲得其實在知識的慾望，也因此不得不勃發起來。照着這樣日日在教室或實驗室中實行起去，學生即可成為一半有意識的將這些理想化為自己所有，成了以後一切行動的規範。

依據科學的方法的自然科學教授所能修能的德目，還不止此。此外還可修養努力奮勉的精神，依着確實的論理而不逸出常規的精神，避去狹隘偏見公平發表自己所信的精神，快活從事奉公的精神，對於一切事物能集中其注意的精神等。這些道德的信格，有些可以由法刺第，達爾文，赫胥黎等偉大人物的著作，受其感化，有些可以直接由擔任自然科學教授的教師的科學的精神，靈感出來。欲由前者去求，則須熟讀科學的歷史以及科學大家的傳記，使這些偉人對於其各種發明發見的獻身的努力和光榮的名譽，深入兒童腦裏，當然可以動其靈感，養成極大的活動能力。自然科學教授的目的中以逐步經歷科學的知識的程序為緊要事項，也就是這個緣故。除由偉大人物的歷史感化而外，還有教師自身的人格感化，也確有極大的勢力。教師所希望於學生的理想，無論那一部分莫不可以實現出來，尤其是使學生和科學的理想接觸的時候，一定有反應的。這個真理也不僅限於自然科學的教授，一切教育的可能性完全賴有此耳。不問教科的種

類如何，教育教授種類如何，莫不依據這個真理生其作用的。卓越的自然科學教師，切不可忘却由自然的研究，可以得到自然的教訓，也不可以忘却將這種教訓傳給學生。如夸美紐斯 (Comenius) 的教育原則就是由自然學得來的。又如基督教導人的時候，也是常常採用自然物來作其例。

第四節 自然美鑑賞和自然科學

我們生活的世界，愈加觀察研究，愈覺其玄妙不可測度，除感覺讚美而外，別無他法。羅馬的哲學大家辛尼加 (Seneca) 曾經說過：“設有人贈諸君數畝的地，諸君當不能不承認受其恩惠。然則上帝賜我們這樣大的一個地球，諸君又豈能否認不是一極大的恩惠嗎？設有人贈諸君以光彩奪目的大理石建成的房屋，諸君必不能謂其為小惠，但是上帝賜給我們的家，既無火災和倒塌的憂慮，白晝又有太陽，夜間又有星月等照耀於上，作其裝飾。諸君呼吸所用的空氣，活動所用的光明，維持生命的血液，究竟從何而來？真正的神，豈僅將數匹牛馬，賜給我們，並且將一切獸類，配布於遍地球的牧場，又賜與我們豐富的食物，定四季循環，並作出種種技術，種種美音，以示我們，更播下種子於我們腦裏，使我們得於一切時代練成一切的技術，於我們不識不知之間已將我們的知識啓發出來。”

就是最普通的動植物，只要加以詳細的觀察，也可以感

知自然的華美和自然的幽雅。基督曾經說過，一瓣白百合花也比所羅門 (Solomon) 的華裝，還要好看。天上的穹蒼，地下的山河，只要略一研究，對於自然，即不覺發生驚異畏敬的感想。春日野外萬紫千紅的花，夏夜碧空如洗的月光，秋時楓葉與夕陽相映，別有一番風景，冬季白雪中露出的紅梅，却是騷人墨客對於自然嘆賞無窮的美觀，然這不過是外面的自然美而已，至於內面的自然美，則經科學家的觀察，却還更有精彩。試一觀察植物由其種子成長以至結實的經過情形，見其各部分莫不各有其作用，且能調和的互相經營的狀況，或發見種子成熟為風傳播於四方的狀況；或耳聞小鳥宛轉之聲，目覩其入巢哺雛的狀況，種種情形莫不足以引起讚嘆生物體生活美妙的實感。又觀察太陽的偉大壯麗，及其創造無窮的魄力，月的東昇西沒，星的時明時暗，以及各種天體莫不按着一定的規則運行；發見化學作用奇妙不可思議的時候，不得不承認自然事業的偉大，並不能不發生無窮的興趣。能夠這樣感到自然的美，當然就會發生愛慕的心，成為崇敬自然的念，於是不由而受自然的感化。英國的金斯黎 (Kingsley) 所出版的書籍中，除聖經方面而外，沒有一冊不是對於自然很有深趣的，很足以表出這個意見。

但是事實上却完全和此相反，能夠以自然美為其享樂的很少，再求能夠得正當理解的，更可以說完全沒有一人，也非過當。大多數人對於自然的觀察，或由其職務使然，或由其

學問使然，或由於美術的立足點使然，所以各人觀察所得，各有不同。譬如同是一種植物，在收穫時的農夫的眼光中看去，和在研究花形的植物學家的眼光中看去，以及由注意彩色的美術家眼光中看去，各不相同。再進一步去求能够和自然美接觸對於自然發生強烈的愛情，受自然的感化，更是絕對沒有的了。一般人其所以缺少這種愛戀自然美的情，其原因一由於缺乏關於自然的直接經驗，一由於對於自然美太過於耳濡目染，見慣不怪，所以遂致於完全不能理解得到的緣故。

我們關於自然，雖有很豐富的知識，但大抵都由間接的經驗得來，由於表示事物的符號作其媒介。好像由曾經身歷戰場出入槍林彈雨中的人，用地圖，手勢，言語表情等演述戰況一般。像這樣的由一切的符號語言的補助而得的經驗，即為間接的經驗。間接經驗對於擴充知識雖極重要，然不能使人發生如實的感想。至於直接經驗，則不要代表的媒介來作幫助，是在我們演習中活動的經驗。即是親臨戰場目覩戰爭活劇所得的經驗。直接經驗的範圍雖極狹隘，但要圖真正了解事物真相，或是將事物深印入腦裏，却是極重要的經驗。求得這種實感稱為鑑賞。普通鑑賞的這個名詞都用於關於書畫，彫刻，音樂等項美術方面，但這種用法實嫌過狹，其範圍可以推廣及於教育界全體。對於小學校的一切教科，皆有鑑賞的理由。以自然為對象的自然科學，應以直接經驗為其背景。

去教學生使其出於鑑賞自然的態度，爲最緊要的事項。現今應該本着這種鑑賞的精神去極力鼓吹自然科學的教授，使學生在野外觀察獎勵實驗室作業，使兒童對於許多的事實能得直接親炙，對於自然事物自然現象，能得直接經驗。這樣一來可以感到動植物的各種機關的構造，生活的方式，環境和調和自然現象成立的定律相互的關係等，而後入於自然的靈妙的統一，偉大的作用等項的鑑賞，方能對於自然的美發生真摯的愛念。

對於還未習慣去實感自然美的人，自然科學教授非努力去時常施以刺戟引起注意不可。譬如兒童在地中生活，設想他們一旦來到地上，他們對於前此未曾注意到的碧空，蒼海，地上的偉觀，地面的幻美，他的創造力，他的秩序不紊的變化的等項，一定驚歎不置。這樣一來，當然可以引起他們敬愛自然的心情了。

能夠鑑賞自然美，愛慕自然的人，方能受自然的感化。自然的感化是說將自然不看成他動的，在自然中自己的活動，去感到平安的幸福，增高自己的思想，陶冶高尚純潔的品性，由邪念超脫自己等項。由自然科學教授不僅教給科學的知識和訓練，並可進而成爲圓滿的人生觀和宇宙觀，這是近世教育家以及提倡改革自然科學教授的人所倡道的，其實也就是指受自然的感化而言。現代廣汎的意義的教育觀，不僅提倡使知識普及於民衆，使人人得受訓練得參加產業的活

動，並進一步要求須將穩健的內容傳給於人，改造教科，以及鑑於時代的利弊，非痛行修改科學的研究和人文的研究等項不可。

第五節 總括

現代教育的思潮，是傾向着養成在社會上效率最高的個人的一方面，將教育作成社會生活機能來看的思想很高，而維持社會生活以及使其進步所必要的能力，並不僅限於學校教育的事項。但是社會生活和自然科學的關係，密接由來已早，時時都有由自然科學的力去改革社會生活的運動，對於這樣改善的運動，必須要有受過科學教育的人作其先鋒，出來訓練社會中的分子，使其同向這一個目標而進，即成鼓吹自然科學教育必要的呼聲。現今社會中一切方面皆有改造的呼聲，除將個人的效率提高，增加生產，培植富源，修養實力而外，別無他法，但是這個目的也是在要求自然科學的教育發達，各個人的行動一切皆須出之於科學的。英國對於科學和工業的發達，有極精密的調查，朝野的識者對於這種親密的關係，時時發表警告，更就九種大工業作成統計，平均每人生產的量，和他的科學的修養程高為正比，程度愈高人平均的生產率亦愈高。因此歐美各國對於效率增進的方法，皆加於科學的研究，或謀工場內的科學的管理，或圖改良勞動者的生活，或使工作的各條件成為科學的等。而這些運

動的基礎條件，即在造成能作科學的管理，能改善生活，能用科學的態度去對付事務的人，造就的方法，則為自然科學的教授。試一觀察我國的社會生活，即可見其有極重大的根本缺陷，一般國民的活動效率，較之歐美，相差甚遠，究其原因，則為一般國民的科學訓練，過於低級的緣故。不必說要想和人競爭，就退一步只求能夠同人得作同等的生活，也非將效率提高不可，而提高效率當然是只有做照歐美前進國的辦法，由教育的力量去施科學的訓練的一法。即是欲圖改善國民生活方法，使其能營適合新時代的文明生活，即所謂生活改善運動的基礎，除求之於教育而外，別無善法。我國歷來的自然科學教授，對於這種目的雖很不適，但教科的本質上所佔位置却甚重要。此後只須着力於改良教材和教授法，以及訓練科學的知識和方法，即能和社會本位的教育互相協調了。

英國現今的思想大家羅素曾經說過：“凡能得最大成績的人，都是創造的衝動或建設的本能最強的人。他們可以成為藝術家，科學家，政治家，帝國創建者或實業界的巨擘。”創造能力對於人生的價值以及其對於社會國家的影響之大，實如羅素所言。一般對於創造的字義，很有誤解，但在前面已曾說過，絕對的創造，即無論那一部分皆為前人所未嘗想到的創造，雖然也有，但在我們一般的人這種非凡的事業是絕對的不可能。所謂創造的教育，決不是指這種絕對的而言，乃是說用已知的材料，去開拓和從前不同的方面。所用的材

料以及發明的事項，就令已由他人早已發見過，並已成為一種普遍的事實，但在發見者自身，却可以由教育上得出一個結論說這是一種創造。創造教育當然是相對的，使兒童鼓起知力方面的建設的歡喜和創造的歡喜。怎樣的自然科學教授方能和創造教育調和，非由創造的心理去着想不可。其發端為對於事物所生的嘆美的感情。所以自然科學教授一方面嘆賞自然的美處，一方面非取愛慕自然的態度不可。敏銳的感覺和精密的觀察，也是踏進創造的路去所必要的條件。這些事項都有自然科學教授所最宜發揮的教育的職能。其次創造所必要的則為精神的活動，即想像。沒有再比科學研究者還要想像的，沒有再比自然科學教授還有更好的機會去教育想像的。自然科學教授非常常生起合理的想像，作事實的說明並進而至概括不可。將現成的事實蒐集起來，不能成為知識，只不過一堆的事物，一團烏合之衆罷了。必須有一種假說即科學的想像，作其經緯組織成為一個系統，然後方成為科學的知識。就是關於知識方面，自然科學教授，也陷入許多的誤解。以為知識可以由書本或口頭上傳受，是由化成符號的語言上的印象可以構成的，並且還有一種傾向，以為凡由直接經驗構成的知識，多屬於低級方面的。但是知道一件事物，並非將這個映在心上來看，知道是構成的，知識的意義裏面，包含着有能夠的要素。由這個解釋看來，自然科學教授上尊重各個學生自己去作實驗觀察，即所謂作業主義的

主張，當然甚爲得當。

歷來都以爲科學家和人道派有應當互相衝突的權利。但實際兩者之間，並沒有可以分別彼此的事項存在。非科學的人道主義和非人道的科學，同屬毫無價值，都非被排斥不可。自然科學的價值，並不單限於教養知覺和推斷力，並還可以引導我們的精神成爲高尚的理想，向上的概念以及有品位的思想等，對於使我們精神得到人格的修養和道德趣味一層，實在更沒有比學習自然科學還好的學校了。自然科學若能本着科學的精神教授，不特可以得到正直，勤勉，公平，忍耐等項的修養，並還可以得到用論理的常識來避去一己的偏見，用明確的方式來發表自己的所信等項的修養。一切的事業均可成功，對於在社服務的現想也可以實現出來。人格的教育對於現代科學的不良傾向，雖在極力的加以指摘，但一毫也損不到自然科學的教育的功能。自然科學教授對於人格教育，並無什麼可以敵對的素質。惟其是要依着正當的目的使自然科學進行，方能達到完成的人格。

由以上所述，由現代社會的要求和輓近教育的思潮批判起來，自然科學教授的職能，其重要程度如何，以及其協調的理由如何，已可見其一斑。又可由自然科學教授的本質或內容，詳爲敘明。自然科學教授的本質，可以分爲教授科學的知識和訓練科學的方法兩種。這當然是不能夠絕對獨立的事項，只不過是由不同的方面下的觀察而已。正當的自然科

學教授並沒有兩種。要能理解現代的社會成爲社會中一個正當的分子，就決不能夠缺少科學的知識，這是極其明白的事。主要的問題只是在將知識作成業已完成的形式提供出來的好，還是將未成的知識即由學習的人的經驗出發，進而至於用科學的研究法推出正當的理解的好。有時將許多已成形式的知識傳授學生作爲是一種準備，或是作爲必不可少的事項，這實在是大謬而特謬的辦法。知識當以活用爲重，須要使兒童痛感到他的用途，所以務必要擇性質很豐厚而又和兒童程度相當的事項，教授兒童，使他們可以多得應用的機會。這樣一來又可以作訓練科學的方法的用。所謂科學的訓練是指養成科學的習慣和熟習論理的思考法而言。前者爲現於行動上的訓練，後者是起於思想上的傾向。這種訓練果有上進，同時科學的研究的精神，也隨着向上，事物的改善，革新，發展等項事實也相繼而生。樹立科學的精神爲進步的教育上必不可缺少的條件，由此方能得到人事問題的理解和自然界正當進行的理解，非如此不能去建設進步的人生觀和宇宙觀。由無學無識的階級以至任何階級的人，莫不抱有他自己的一種人生觀和宇宙觀，但是從公平的說起來，還是有科學的訓練的人，其觀察比較的確更進一步。又由自然科學教授，不但可以得到科學的知識和科學的訓練，並且使人抱一種圓滿的人生觀和宇宙觀，使人類作有意義的

生活,本是教育的理想,但這種理想,必須要有鑑賞自然美的態度和受自然力的感化,方能實現出來。

第五章 自然科教材論

第一節 自然科學諸分科和教材

教材和教授法在教授學上，實占最重要的位置。這並不僅是教育的理論，實際上當教師的人每日實行的事務上，也決沒有比這兩層的影響更為重要的，也沒有更費力的。教師的意識中雖然對於自己所教一科的高尚的理想，不斷的注意到，但是要想發見最調和的材料和教授法，在平常一般的教師，却是一件極困難的事。往往將教科的背景的學問依着傳習的系統組織起來，作為教材，就以為是再簡便不過的方法了。

自然科並不是教授凡可稱為科學的一切事項，乃是將自然界的事物或自然界的現象，和兒童的環境即其日常生活的經驗結合起來，使兒童去直接觀察實驗，並努力去使他們認識其間的根本的原理，成為他們的知識。但是本着這樣的目的去選擇排列教材，確是極不容易的事，同時還有一種誤解，以為研究科學不由理論的抽象入手，而由實際生活應用的方面入手，未免侵犯了科學的神聖。因此一來，自然科學各種分科的教材，很受不少的影響。對於第一層原因，和教師的素養很有密接的關係，只須一考教師在何種學校受過何種科學的教授，立可明白。他們對於自然科學的各分科所學得的知識，都是極其初步的，所以到得自己來教人的時候，當

然除將自己所學過的複習一遍，最多也只能辦到近似的一步而已。對於第二層的誤解，則非由自然科學各分科發達分派的經歷去考察不可。這完全是人爲的傳習的產物，除說是對於作專門研究的人，以這種組織爲便利而外並無別的理由。本來現今自然科學各分科的系統排列，由初等的人看去，真是沒有比他更足以懷疑的了，再由其人生的關係說來，很有許多直是不可能的。我們無論對於何種事項，總要能够充分的可以理解他的意義，能够發見事實相互的關係，方能發揮教育的價值，所以對於科學的事實和定律等，也不能僅由專門的關係，還須由其他的人生的關係去加以考察，方能增多他的意義和提高他的教育的價值。換句話說，教材的選擇配布，不僅捉摸各分科外觀的形骸，還須立足於廣汎的見地上，去研究他的內容，方爲緊要。

現今的教育家所主張的自然科學，其內容極爲複雜，其教材有動物學，植物學，礦物學，物理學，化學，天文學，地質學，氣象學，生理學等項。其排列除對於季節便於觀察實驗一項而外，並沒有始終一貫的原則。例如物理學教科書則由重力（力學），水的性質，空氣性質（物性），熱，水的三態，溫度計，風和雨（熱學），順次而下以至光學電學的教材，逐漸排出；化學方面則由養氣，空氣的成分，輕氣，水的成分，碳酸氣，燃燒的生成物，酸，鹼，中和，酒精，醋酸等依次排去。這些材料不過是各方面的專門學者，各由其自己的立足點觀察起來，覺得這些事項在

教育上甚爲必要，遂由專門書中按分比例選擇出來，至於次序上并無絲毫的根據，不過是專門教科書的一個拔萃罷了。但是一般的兒童對於這種專門的報道既無容收得下的素養，又沒有去尋求存在其間的關係的能力，在他們的眼光中，也只不過是一道語言的科學。實際上將大學的科學用篩來篩過一道即成爲中學的科學，再將中學的科學用篩來篩過一道，即成爲小學的科學，篩孔的大小，依學生的理解能力爲定，主旨只在選擇平易的教材，但對於兒童的經驗材料，却不能夠用科學的處理方法去學。實際由自然科學的各分科去選定適當的教材，很爲困難，很有許多時候非勉強耐過不可。

第二節 選擇教材的問題

自然科學的對象，是空空洞洞的自然，所以他的教材可以選擇的範圍甚廣。所以由自然科學教授的目的看來，很有選擇出少數的模範的教材的必要。選擇的方法有二，一主廣而淺，一主狹而深。兩種傾向各有相當的理由，但由自然科學教授的最高目的說來，以後者的傾向，較爲適當。但是表面上雖屬後者的主張，實際却陷入前者的傾向的也很不少，純粹後者的傾向，恐怕不過是理論上而已。現今自然科教授中，因爲覺得這也必要那也要緊，不管兒童能容受與否只一味的強勉貪多，成了一種積弊，所以減輕教材的一事，到成一個重要的問題。此處所說的教材的多寡，是將教授的時間包含着

比較而言，若是時間不多，而欲教給許多的事項，結果只不過走馬觀花，一無所得而已。

哥德曾經說過：“人類的精神除自己所好的而外一切都不容受，”他所謂所好的材料即其能引起興趣的材料。這樣說來一般的人類都有一種傾向，只能吸收對於自己的發達有益於心理或生理的材料，所以選擇自然科學教材的第一原則，就非將這個心理的條件想到不可。這個原則是自古以來就有的，從來的舊教育家主張選擇教材須和兒童能力的發達能夠相應，且係適於兒童的理解，使其易於捉摸，是一種沒有錯誤的真理，並不是現在纔有的。但選擇教材的時候究竟應用這個原則到什麼地步，實係疑問。學校中的自然科學教授的教材，一般却和兒童的經驗相隔很遠，教材的內容決定，並未依據兒童所能容收的作其基礎的觀念。我們讀種種的書，或時聽種種的講演，有時能夠理解，就覺得發生快感，有時完全莫明其妙，就發生不快的感想，這是什麼道理呢？當然書的內容或所講的內容有相當的責任，但是主要的原因，還在我們的素養，有沒有受容或理解的能力。在學校教育裏，這個原因的關係更大。教師教授養氣或重力的時候，假說學生對於他的說明或是實驗中所用的話語以及裝置，預先沒有預備的知識，而要期望教授能夠徹底是絕對不可能的。這樣的自然科學教授，不是使兒童的觀念界和教師的思想，完全成為不同的東西，就只能注入獨斷的不連續的事實，決不

能成爲兒童的知識。譬如說試驗管，決不是用來試驗的管的意義，乃是有特別形狀，有特別構造和目的的器械的名稱。我們讀外國書的時候，往往因書中文字所表的觀念不甚明瞭，遂至不能得其真正的意義。由這個原則，可知要使自然科教授成爲可能，須選擇相當的基礎教材，是當然的結論。

基礎教材到底是什麼？自然物或自然界現象，總占有若干的空間，在空間裏面演進，所以關於空間量的精確觀念，是第一必要的基本的觀念。又這些現象是隨着時間流而起的，所以時間的觀念是第二個基本的觀念。現象的本質，即物質是活動的本源，所以關於物質的量的觀念也是自然科學教授上很重要的事。即關於空間量，時間量，物質量的觀念，都是自然科學教授上，無論如何非弄明不可的，所以非得先有適當的教材，來求這些觀念不可。專門研究化學的時候對於這三種基本的觀念，應各應其程度作預備的學習，這是科學的研究中當然的事件。小學校的自然科，事情也完全相等，程度雖有不同，然却是當然應遵從的正道。

其次所應舉的教材爲解決日常生活各種複雜問題所必需的的材料。這一個問題，也並非是什麼新得很的，自古以來就有這種主張，以爲自然科學應該教授學生必要的知識，使其作社會生活的預備。本來自然科在學校教育裏面所占的地位日逐重要起來的原因，就是因爲社會情況日愈複雜，自然科學方面的知識，成爲必不可少的要項，所以一般對

於學校皆生出一種要求來，要望學校將自然方面的知識教給兒童，以助他們在社會中生活。而這種要求今日更盛，教育思潮，也以主張這樣的為最多。人類不能在真空裏面生活，沒有衣食的資料，無論如何是過不去的，所以講生活之道的方方法，對於人類的影響很大。尤其是現時的生活因為新發明新發見增加太多，引起急烈的變化革命，生活方法不得不大為變化，所以對於教育的目的即增高社會的效率，成為最緊要的問題。但因各人的境遇不同，地方的狀況有異，所以各人所需要的生活上必須的事物或現象，決不一致，內容也極複雜，範圍也極廣汎，於是對於教材的選擇上，就發生了必須加以考察的必要。

第一：自然科教材本來非依據他方的標準不可。像我國幅員由溫帶以至熱帶，一切的學校皆用同一的教材，未免太不自然。照着這樣的教授法，其結果只能普及一種觀念，以為自然科所教授的，都是和人類生活完全沒有交涉的事項。

第二：比較上重要的或是模範的事項，須選擇和兒童生活有密接關係的。即是將兒童在其境遇中耳濡目染的事物現象，蒐集入於教材裏面，去訓練將這些知識方法直接的應用到社會生活上去。同時有應行注意的數點，茲列舉如下。有種人動輒以為教材的價值，須視其在社會上能被應用的程度而定，欲避此病，遇於現在的社會生活不可過於重視。到得兒童成長大人的時候，社會的狀況業已大變特變，並且他們的地位境遇也各不相同，現在雖然可以應用的知識，到了那

個時候，未必仍能應用，所以教材須要發見在現在的生活中，能够成爲將來知力發達的永久中心點的事項。

第三：關於教材的選擇，不可不確立下科學的理想。前面曾經說過，理想是人類一切行爲的動力，因爲對於現在的自己不能滿足，纔作成這個對象，使自己成爲更高尚的人格，使社會成爲更進步的狀況。少年人的理想化傾向極強，所以選擇適當的教材加入發明發見的沿革，歷史偉人的傳記等，使學確立科學的理想，實爲最緊要的事。以倭鏗（Eucken）的新理想主義的哲學作爲背景的教授論，以爲單注重語言歷史等項教授所養成的精神，都偏向一方面，精神決不能够新鮮活潑。要想精神新鮮活潑非教以自然的力，自然的規律，使其發生熱心去追溯地球上存在的物體的本源，使其能够想到個人雖不免一死，然其種族則蒸蒸日上的事實，使其將有形的物質收集起來成爲一個有組織的體系不可。教授自然科若不得其法，僅及其皮相，則使人偏於抱物質主義的宇宙觀，若得其法，則能使人發生熱心去研究自然，使其得知利用自然以供人生使用等。這種意見也是在要求選擇能够使學生知道自然統一的定律，使其能得完全的眞善美的自然觀的教材，並要能够和教授法一致。對於一切事物的澈底的眞理是科學的理想，沒有再比這種理想還能使道德的修練成爲強健的。

關於選擇教材的一問題，須採取和日常生活有密接關

係的的意義,並不是說要將漸次成為文化生活要素的新發見或新發明等,加入教材裏去。這些教材雖可以幫助養成科學的興趣,但也只能止於好奇心的滿足,對於思考力的磨練,並沒有什麼價值。譬如無線電報電話,飛機,汽車,樂琴線,錘等,雖是今後生活上必須的,但為小學程度所不易理解,所以由自然科教授的目的說起來,都不應勉強加入。這些教材,只要兒童有了科學的精神,在學校外面很有不少的機會去取得關於這一方面的知識,或是在學校內的博物館,講演會等使兒童自覺的去解釋,也甚得當。至於自然科的正科中,比這些材料還要緊的教材還多得很,不知還要費許多的時間方能教完,那裏還能拿有益的時間來浪費。關於這一方面的思潮,英國和美國很相反對,是教育上很可注目的現象。英國的國民性偏向保守方面,自然科的教材裏面,並無什麼新的發見,大都採用因襲的為多;美國則取進步主義,無論什麼事都趨向新的,其教科書中也是充滿了新奇的事項,和英國大不相同。

第三節 排列教材的問題

✓ 自然科教材的排列,是極困難的問題,要依着時序排列,又有不能和論理的順序一致的地方,要依科學的論理的順序排列,又陷入沒視兒童的環境和經驗的結果,要開出一條抵抗最小的道路來;真不是一件易事。排列的一般原則或由

近及遠由易而難(是心理的條件)或依因果的關係(論理的要件)有種種抽象的決定方法,但是適用起來也很不容易。這不僅是一國如此,就是歐美各國,對於這個問題,也頗費躊躇。英美等國,皆以爲自然科的教材,不能沒有連絡,須有一種組織才可。自然物的斷片的教授是舊式的觀察科,現今的自然科却不能不有一種系統,去和教育上的目的一致。這個意見雖莫不同意,然和這個理想相近的具體案,却還未見實現。

排列教材的問題中最緊要的爲教材的統合,即以要定出一個中心點,將有連絡關係的教材排在其周圍,造成一種組織統一的教科,關於這一點有種種的意見,簡略摘錄於下:——

帕泰爾(Partheil)和普洛布斯特(Probst)兩人用博物教材來作中心,成一種自然科的統一的案,例如在水中的動物這個題目下面,不特敍出水中動物的各種形狀,種類等項,並進而敍明其物理的性質及化學的性質,又接着去敍空氣的性質。又如在植物開花結實的題目下面,接着去教授電,因空中的電和植物的開花結實有關係,空中的電又由一般的電演繹出來,所以這樣的排列。這樣去排列,不能不謂爲煞費苦心,在理論上雖無大可指摘的餘地,但作成實際的具體案時,很有許多地方太過於牽強,簡直近於不合乎理了。

其次有歧斯林(Kiessling)普法爾次(Pfaltz)兩人,用兩個中心點來統合自然科全體的材料。一個中心點以博物教材

為主，稱之爲自然像(Naturbilder)，第二個中心點爲人體的構造生理衛生，以理化方面的教材附屬於其上。例如在營養的標題底下，敘述食物及其消化作用，然後及於血液的循環，呼吸作用等，在此間插入許多理化方面的教材。這種統合方法在初步的博物教材雖覺適當，但將理化方面的教材，不問青紅皂白，強爲結合起來，未免太不自然。

除上述而外還有一種以拜厄 (Beyer) 等開化史的階段作爲基礎，以由野蠻時代至現今文明爲止的人類的偉業，作爲中心來統合自然科全體的教材。又有一種在永格 (Junge) 等的生活共存體 (Lebensgemeinschaft) 如牧場，森林等項的題目底下，由共同生活的自然物敘起，以及於關於自然物成長的一切自然現象，莫不敘述出來，這樣一來，不特動植礦統合入內，並連理化方面，也包括無遺。

總括起來說，上面所舉的各種主義，對於初步的自然科教授即觀察科鄉土程度的教科，很可以得一種有特色的排列，無論由那一種主義，皆可以達到教授的目的，但在比較上級的自然科，則都有牽強無理的地方。現在德國的國民學校的上級理化科的教材排列方法，以依據於傳統的科學爲多。例如物理學則分爲力學，熱學，磁學，電學，音學，光學等各項，其內容的排列，也都完全出於科學的。又化學現象的教材排列方法，由克勞斯 (K. Kraus) 的理化學教授書取出一例，可以推知。

1. 空氣: 空氣中物體的變化, 燃燒時
空氣的消費, 養氣, 空氣的
合成。
2. 水: 水的特性, 水的合成。
3. 碳元素: 炭酸, 自然界內碳元素的循
環, 氧化碳。
4. 火柴: 硫黃, 亞硫酸, 硫酸, 磷,
磷的化合物。
5. 化學用語: 定比定律, 原子說, 化學式。
6. 石灰: 生石灰, 鎂。
7. 食鹽: 鹽酸, 綠氣, 鈉。
8. 木灰: 銅灰。
9. 火藥: 硝石, 硝酸。
10. 玻璃: 石英, 玻璃工業。
11. 瓷器: 黏土, 鋁。
12. 銅及煉銅: 銅, 鋅, 錫, 鉛。
13. 鐵及煉鐵: 鐵, 硫化氫。
14. 貴金屬及其採集: 水銀, 銀, 金, 白金。
15. 燈用煤氣製造: 碳化氫, 燈用煤氣, 石油,
燃燒法, 燄的本性, 煤焦油,
氣油。
16. 人類的服裝: 細胞素, 漂白, 染色, 織物。

17. 植物體的營養品: 澱粉, 砂糖, 酒精釀酵, 醇

醚, 醋, 麪包。

18. 脂肪: 脂肪的合成, 蠟燭和石鹼,

有機酸色素, 精油和樹脂。

19. 動物體的營養品: 蛋, 牛奶, 肉和骨。

20. 嗜好品: 咖啡, 茶, 呵呵, 煙, 酒,

醫藥用 alkaloid。

21. 營養品的選擇和 營養品的合成, 營養品的價值。
保存:

其他在英,美,法等國的自然科教材的排列方法,在下級雖有種種分別,在上級則大都和德國相做,程度和範圍,雖不能一致,但排列的方針,却依照着科學初步。

照這樣用一個中心來統一一切教材的排列問題,經過了長年月的慘澹經營,結局仍不能成功,這是一種經驗的結論。比較上容易實行的方法,還是就兒童的經驗由空間和時間的關係,作成若干個中心,然後再努力去求將一切統合起來。實際上各個斷片的教材的排列,對於兒童的頭腦,毫不能生出什麼組織的知識來,而且只用一個中心來統一一切的教材,事實上也辦不到。只好取其中間的手段,即順着兒童的環境和時節,逐次變換中心,似覺妥當。而且這些中心並無絕對的性質即並非不問時候和地位如何總是永久不變的,須視其所處的地方的自然界及其父兄的職業,當地的文化生

活,兒童的境遇狀態等隨時爲之更變,因此編制教授細目的必要遂生起來。尤其是博物教材爲前者的影響所左右,理化教材爲後者的影響所左右。

第四節 教授細目的問題

選擇教材當以能給社會生活以內容的爲主,傳達於新時代的人們,須採取最適當的排列法,即是教材須由種種的境遇變化起去,所以有特種的樣式化和組織化的必要。編制教授細目時非與此種必要相應不可,關於這個問題,實際的教育家分爲兩派。一派主張按着科學方法去編,即將每學年每學期每周所應行的教授事項,要旨,注意等,精確爲之調查,並連教師所應演的實驗,兒童自身所應習的實驗,乃至教授時所應備的一切準備品,莫不一一調查出來,造成一個一目了然的表。他一派以爲這樣詳細的教案,怎樣能够教導活動的知識,一定要依這種詳案教去,即流入於皮相的教授,兒童絕不能得到真正的理解。實際上許多的學校不怕立有很詳細的教案,並沒有一種合用,不過成爲一種裝飾品罷了。教授只要有大體的要目,業已可以了,其餘須由時候和^①地方,由教師的手腕,由學生的理解力等,相輔並進,方能自由活動。所以這一派主張不受細目的束縛方能施徹底的教授。不幸大多數的學校,都和保存自然科教授的實際的細目不同,且此種細目都不過是將視爲模範的學校的細目,拿來比較研究制

成出來的，仍然是一種紙上談兵，不關實際，結果成爲一種理想上的細目案，無論什麼學校，什麼教師都不能用。因此一來遂有人高唱教授細目不必要的言論，就是因爲這個道理。究竟這個問題，完全由於教師的經驗和素養而定，不能說絕對的話。有些教師，以有這種綿密的科學的細目，方能收教授的好結果；有些教師，又因爲照着這種一定的細目教去，所採用的教材和教法，都不能和自己的生活以及學生的生活同化，遂陷入不能發生興趣的結果。簡單說起來，完全是教師個人的問題。不過就是主張後一派的教師，對於科學的教授細目的存在的本質上說來，也並沒有一定要其束縛的道理。主張前一派的教師，不用教授細目，而受其所支配，也不能說是能與編制細目的精神一致。要施科學的教授當然要有具體的教授細目，這也決不是僅限於自然科學教授上的問題爲然。就是主張後一派的教師，他們的腦中早已有了很詳細周到的教授細目，加以豐富的學力和多年的經驗，始能實施最善的教案，這是一種理想，實際却很少有的。仍然還是編成一種教師的力量可以辦到的研究的教案，施之實際，再逐漸改良上去的辦法，比較上最易實行且又穩當。

關於教材的選擇和排列的意見既定以後，就可編制出有系統的教授細目，但有幾個很重要的條件，不可不知。第一須將教材的主眼點和其他的地方區別出來。譬如對於火的這一個教材，可以給與種種的內容。如火的發生，火燄，火的持

續須要有新鮮的空氣供給不斷，燒燃的生成物等。內中當以發火法和必須有新鮮空氣的供給兩項爲其主眼點。又僅就發火法而言，亦有種種。若按歷史的順序說起來，有古代未開化時候的人發明的摩擦發火法，鑽木取火法，擊石取火法，以及用火柴擦取法等。這裏面應當以用火柴的一種爲重，這也是應當在細目裏面明白定出來的。假使這個條件不完備，決不能達選擇教材的精神，而編制教授細目即成爲無意識的舉動了。

第二：關於實驗觀察的施及提示的位置，須將教師和學生的活動範圍，明白規定出來。對於說明教材的主眼點最適當而又可能的實驗，到底應由教師去做，還是應由學生去做？以及能够引導兒童的考察和理會入於論理的傾向的觀察事件，應該怎樣提示？都非有具體的細案不可。並不是說實驗須限於這幾種，觀察也不能出於這個範圍以外，乃是說只要有能够實驗觀察的事項，總務必記出，不過其中無論如何都非實驗不可非觀察不可的最小限度的事項，却須要在教授細目裏面標明出來。例如對於水的教材，水由什麼部分先行結冰，其體積如何變化等，都是務必要實驗的事項；逢降雪的時候，務須使學生用擴大鏡來觀察雪的結晶等。第二的這個條件須不及第一條件的必要，但在教授的實際，有了這個條件却極便利。自然科教授細目只要能够滿足了這兩個條件，其餘看每星期的教材如何配布，以及要些什麼器械，什麼裝置等項，皆自行定奪。關於第二條件還有一項應該特別注

意的事，就是編制細目時，務須將各地方所特有的自然物和自然現象實地研究的結果，網羅入內。尤其是各地方特有的地質的現象或氣象的現象，最有價值，所以在細目裏面，極應注明出來。教授細目所以有成為地方的必要的理由，先前雖已敘過，但其一半的理由，還在這點，的確是和自然科教授的根本精神相通的要件。

第六章 自然科教法論

第一節 講義式教授的任務

自然的教授法的形式分爲三種，一種爲講義式的教授法，以教師爲中心，作教材的說，並由教師提示適當的實驗以助兒童的理解，整理兒童的經驗，第二種爲實驗室教授法，即在實驗內以兒童爲中心，來處理教材，第三種爲自學輔導式的教授法，即以兒童自己爲中心，加以指導使其學習一切教材。而實際上的教授，並不能將這三種形式分別清晰各自獨立的做的，或是一二並用，或是一三並用，或是二三併用。本來中小學中決不能容許其作純粹講義式的教授。所謂講義乃是不問聽講人主觀的作用如何，僅由講述的人本着一己的意見而作的敘述。譬如某人向着學生講演的時候，並不問學生聽他的所說，加些什麼樣的各自的主觀色彩，僅憑着自己的思想，將其內容敘述出來的時候，這就不成其爲教授。真正的教授須要時常去考察究竟學生聽他所述的事實，怎樣的容收怎樣的努力，非保住教徒間的主觀色彩的密接關係不可。此處所論的講義式是立腳於教授的精神上，不僅是事物的單純的敘述，須以提高認識使生徒能以自己的力量發表出來爲其目的。

講義式的教授的出發點在使學生發表個人的經驗及其所貯藏的事實，互相批評，以資解決當前的問題。事實上教

授的實際之所以有許多的缺陷,都由於學生對於當前的問題,有無基礎的知識及其程度,概未加以檢查所致。造房子的人,要不知道建築的要素,房屋決造不起,教師的頭腦中,要知道教材的基礎知識的整理方法,也決教不出人材。其次爲教授的方向,須使學生自行感到問題的意義和其必要,使兒童認知教材的必要對於兒童獲得實際經驗極爲必要,學生的學習態度到此方能够成立。學生要能够知道教材對於他們所經驗的具體的事情,有何關係,方能發生勇氣去作最善的努力,然後纔能以活潑的精神去從事解決這個問題。有許多的教授對於這一點的刺激,多未慮到,每日所教的概爲斷片的架空的教材,學生聽去當然也無從發生興趣了。

教授時教師的機能在於自身作成一個模範,將對於論理的思考以及發表的感應和刺激供給於學生。這種活動究竟學生能否一毫不紊的以有效的方法實行起去,還須時常加以監督。就這一點說來,講義式的教授,依然可以在自然科教授,占有相當的權威的位置,在中小學校的自然科教授,非將這種機能,使其充分發現出來不可。在這種教授裏面,務須刺激學生使其發生疑問,對於其發出的疑問,與其由教師答覆,還不如仍使學生自己的解決的爲佳。由教師告訴學生的事項,只能限於學生不容易答覆的。並且說明的時候,意義務要明瞭正確,並須說得有聲有色,方能激發學生的好奇心,使其更作進一步的研究,更發出質問來。生徒質問的頻繁度,及

其論理的意義如何，可以作測驗教育效果的尺度。

自然科教授的理想，在於(1)使學生自身去解決包含科學內容及方法的問題，不間斷的實行下去，即可得到科學的知識；(2)務使學生以自身的思想及活動去解決問題，由此確以養成科學特有的性質即科學的訓練。由這種理想的見解說起來，實驗室作業以及全班討論在自然科教授上要算是最緊要的方法，講義式的教授總以愈少愈妙，到萬不得已非由講義式不可的時候，也必須有一定的計畫和相應的設備，切不可草率從事。講義式的教授，也有兩種很緊要的職能，不可沒的。(1)無論何種教材，作成何種形式提出，無論是由學生的實驗去解決，或是由全班的討論去解決，總之，到處皆必餘有許多的缺陷，須要由講義式去將這些缺陷，一一補足，然後方能使學生得到全體統一的知識。(2)和教材有連絡的新發見，古典的研究，地方的科學事實，以及時代的有名事件，皆足以提起學生的興趣，引發他們的感應，這也是非用講義式隨時提示不可。這兩種職能，都非講義式的教授不能辦到，不過講解的時候，言語務要明瞭，並要有生氣，要整齊，方能成為學生的模範。

每每聽見現今的自然科教授，都在痛說學生對於自然科的知識不足程度甚低，所以不易施教，其實教授方法上的不能徹底的地方甚多，譬如(1)名稱和實物毫無連絡，(2)記號和概念也無連絡，(3)教師的語言甚欠精確等項都是講義式

教授的大缺點，教師方面非努力改良不可，不能單責諸學生，而學生方面對於教師實驗的時候，以及說明的時候，除專心致志的靜聽而外，最好是能够將其要點摘錄出來，既便一醒眉目又便記憶，雙方同時並進，缺點也就可以彌縫了。

第二節 講義實驗

現在的自然科教授要專靠學生去實驗，完全是不可能的事。一定要由教師作若干個模範的實驗，然後以此為中心進行取去，方可辦到。學生自行的實驗，有一定的範圍和一定的限制，一方面學校的設備不能周到，教師也不能全皆為理想的人物，因此一來講義實驗尤覺切要。況就由理想的自然科教授法說起來，講義實驗也是教授的一種形式，確有其一定的價值，也是不能不承認的，因為有些時候以講義實驗為中心去解決問題，對於教授的進行最為有效，有些時候，要期待學生能够自行實驗出來，是絕對不可能的，遇着這些時候，除由講義實驗而外直無他法。

講義實驗的目的在使多數的人能够澈底了解所教的事項，故其性質要將現象擴大，要使變化顯著，並且要能收完美的成功切不可失敗。但是因為學校的設備上的關係，和教師的學力的關係，能够完全適合這個標準的很少。現今學校中一般設備的器械，大都適合於個人的實驗，拿來供衆人的觀覽很不適宜，必須要加以相當的修改，然後方能使用。譬如

用溫度計來實驗的現象，溫度計內的水銀面的昇降，只有教師一個人可以看得見，學生完全看不見，只好信用教師的話罷了。遇着稍微聰明一點的教師，隨便喚兩三個學生到面前去親自觀察，作爲一個保證人，證明實驗的經過確是這樣，好使其餘的學生大家相信。但在全體的學生，仍然還是一樣感不到什麼實驗的味道。這是因爲溫度計完全不適於作講義實驗的用，而教師又未加以絲毫修改的緣故。還有更胡鬧的，用許多的口實，說是器械不能搬到講堂裏面，或是設備不完全，或是說已經破了，完全不作實驗，於說明構造作用之前，就先說些實驗不可能的話。還有對於實驗的選擇也不得當，同一性質的實驗務要多加些，以備作成一種餘興，或是使學生自去實驗，再三反復使其目的可以完全達到，也是很要緊的。在講堂上的實驗務要得極完美的成功不可稍有失敗，這是自然科教授上再重要也沒有的一件事，當教師的人非有熟練的手腕和臨機應變加以修理的才能不可。本來一種技術不能期必無論何人都可以得最好的成績，但若平素只要念茲在茲，一刻不忘，則求相當的熟練也並非什麼難事。

實驗雖然成功不能就謂之爲教授業已成功。若是不能進而將實驗的處理方法向着合理和有效的方面進行起去，就將實驗的價值完全沒却，或是不過和變戲法一樣，一點結果也沒有。許多的學校中因爲實驗沒有結果，都很悲觀，其實沒有結果固然不是好事，但若處理不得其當，則比無結果的

害處還要大得多。在作一實驗的前，須先要將這個實驗的目的和意義，究竟在那裏，明白想出，然後再去着手。有許多的教師以爲根據歸納的原理，將無數無意識的實驗羅列出來，要想向學生要求由這些實驗結果，去求一個結論，其實不知道凡是一種實驗，果真由頭到尾，一些意識也沒有，又怎樣能夠實驗得出來呢。關於這一點，最好是換作學生自行去實驗，使他們對於所出的問題，去想出實驗的方法來，以便作問題的解決。所以講義實驗也有作成解決問題的形式提出的必要。而對於當面的問題，要使學生去解決，則非使其能夠確實正當理解教師所作的實驗不可。

實驗中使學生注意不可忘却要點的觀察，雖很必要，但教師每遇一事，必去注意一回，使學生完全立於他動的觀察者的地位，也不是好事。觀察要許其自由，同時又能訓練他們去捉着要點，方爲理想。僅使學生觀察對於教師很方便的事項，其餘一律從略，這種教授法不成其爲科學的。中學學校的化學教授，開始多作氧化銻的熱分解的實驗，對於實驗中養氣的發生，以及水銀分解後在管壁凝縮起來等項皆再三的告知學生，唯恐其未曾見到，但對於中途氧化銻的顏色如何變化，十有九人都未曾提及。這個變化雖不至於使觀察的現象的說明成爲不可能，但觀察的不周到却免不了，要使學生涉及多方面去觀察，對於這些地方就非加以訓練不可。

實驗完了以後，當然應該問學生這個實驗所教的是什

麼事項，由這個實驗可以得到什麼知識？這種問答當然非出以論理的而又合理的想像不可，非將定律假說等導入正當的路途不可。這是用講義式的自然科學教授尤其要慎重考慮的重要的任務。無論是教師的說明，或是學生的答語，對於這些要項若有缺憾，就是很可悲觀的。

第三節 觀察旅行

觀察旅行在盧梭的愛彌兒裏面早已(1762年)主張過，後來經斐斯塔洛齊實地採用，斐斯塔洛齊主義教育廣布於世以後，歐美各國的教授皆視此為普通的事務。尤其是美國的教育界，竭力主張，成為地理學教授上必不可少的工作，最近植物動物等類自然學科，也認為是一項最重要的事務。在教育上對於觀察旅行的必要雖已成為定論，沒有容疑的餘地，但還未能十分的實行。其理由則為還有許多教師不十分承認旅行的價值，父兄又往往的反對，學校對於時間的分配上，極其困難，到達觀察的地點很不容易，這幾項都是防礙觀察旅行的主要原因。

理論上雖可承認觀察旅行的價值，若對於實行的方法研究不足，教師也就鼓不起勇氣來實行。要學自然，非就自然去學不可，所以非努力去引導兒童和大自然去接觸不可，就其結果而言，往往觀察旅行歸來，和游山玩水並無少許區別，這並不是觀察旅行自身的罪，乃是方法上有缺陷的緣故。第

一、旅行團的人數，務須減少，使一個教師可以指導得周。無論怎樣熟練老練的教師，引導五六十名的兒童到了郊外，去指導一切，實是一件難事，歐美的小學校皆主張以二十五名或三十五名爲最大的極限，要是不甚熟練的教師，則不能過二十名，就是這個緣故。第二、教師對於旅行的地點，須先調查一遍，將行走的道路，觀察的事項，一一詳記出來，胸中非有成竹不可。都會的學校和鄉村的學校，其需要的程度和方面各各不同，所以教師非先行各就其需要加以調查不可。在都會的學校，要想踏出校門一步，已要許久的時間，若不利用交通機關，往復徒耗勢力，到不如到公園或博物館裏去比較還要適當。都會地方的小學校，對於文明利器科學應用的方面，有特殊的便利，所以領導學生到工場裏面去參觀也是一項緊要的事務。鄉村地方的學校，和都會地全然立於反對的地位，但是因爲父兄的無學，環境的遲鈍，所以從小起對於自然的研究，大抵多未注意，因此鄉村地方的學校，對於兒童須時時引導他們到野外去作觀察旅行，這種旅行，只不過一舉足之勞，就在自然科教授的時間內，也可以辦得到，只須時時注意利用時節和機會去實行即得。尤其是對於科學的應用方面的觀察，在一年中的行事，務須隨時捉住機會，以求達到目的。注意周到的自然科教師，對於他所在的學校一定要去研究實地的教材，及野外觀察工廠修學等，將其一一編入課程裏面，然後按步就班的進行起去。第三、觀察的材料選擇的要件，移

須使其和學校中的教材能保一定的連絡，並須適於兒童理解的程度，尤其是對於能解決講堂中發生的問題的事實現象，應當使學生特別加以注意，這也是觀察旅行上很重要的條件。

第四節 實驗室作業

以學生自行實驗為中心的教授法，一定要在學校內設立實驗室，使學生入內自行去作實驗，以達自然科教授的目的。喀萊爾 (Carlyle) 說人類是使用器具的動物，但是學校內却不能將這層意思，完全實現出來。將頭腦中所想到的訓練能夠實現出來，是很要緊的事務，要能夠辦到這一步纔成其為科學的。從前的人就是用的這個方法，來開拓文化，傳之我們。我們對於經驗的價值雖再三的討論，然對於取得經驗的技術的價值，却未去承認。這是極應注意去陶冶的，非由此不能得到真正意義的知識，非如此不能養成解決真實疑問的習慣。科學的方法的訓練除却由實驗室作業一途而外，完全沒有意義。

實驗室的英文為 Laboratory 這個語源裏面含有工作場 (Workshop) 的意思在內，其用途雖甚廣汎，然一般則僅限於科學研究所的狹義使用。即是所謂實驗室，是一種對於特殊事項的研究設有種種有用的必需的裝置，布置，以及器械設備等，用來作解決特種問題的地方。因此其設備視研究的對

象而有不同，植物學家的有植物學家的實驗室，和物理學家的實驗室不能混同，物理學家的實驗室又和動物學家的實驗室不能混同，其他如礦物學家，化學家等的實驗室，莫不各有其特色，和其他的迥不相同。除上述作科學研究而用的實驗室而外，還有專設來作自然科教授用的，也稱為實驗室。就理想的說起來，科學研究用的實驗室和教授用的實驗室，不應有所差別，但實際上這種區別完全由於出入於實驗室的人的程度而別，並不是態度上的問題。實驗室作業的精神也非以科學家研究科學的態度從事不可。並不是說教師要去要求學生發見未曾被人知道過的事項，乃是說教師立教案的方法務要取使學生好像去解決一種新問題的形式，使學生不由書籍上或教師的口上去求知識，要由各人自己的實驗室作業去求，然後纔能成為真正的知識。理想的學校實驗室，有種種的便利的設備，使學生好去觀察，實驗，測定，並備有必須的參考書籍，地圖，圖表等項，以備參考。雖不能使學生成為科學的研究的實際生產者，但却也要足以使學生得到科學的思考的徹底的訓練，將此訓練移到實際生活的各種問題上去，即可得其正確的解決。

事實上科學家的實驗室和教授用實驗迥然不同。科學家用的，是個別性質，教授用的是共同的性質，科學家用的其一切設備的便於自主的活動，而教授用的其一切設備均便於受動的劃一的主義。即是教授用的實驗室，其構造對於

從事科學研究方面並不便利，目的只在使多數的學生，作同一種類的實驗，須監督巡視，使其不生衝突，並用號令式的方法，使其一律進行，所以現今盛行的學校實驗室，規模概都宏大，很像實驗製作所的狀況。這樣的實驗室要使學生各自以研究的態度從事實驗，豈不困難。自然科的教師的真正的標的，固然是在教給學生實驗的技術，但有許多的教師對於實驗的性質，很缺少適切的概念。例如實驗一種物質在養氣中燃燒時發光耀奪目的光，不過是證明在A和B的混合物裏發生一種變化而已，不能算是實驗。像這樣的證明的實驗，縱令對於教授上為有效為有價值，然却不能構成實驗室的教授法。所謂實驗是由試驗去探求 (to search out by trial) 的意思，其第一步，在對於疑問的本質，要抱有明確的概念，知道他的動機定奪着手的順序，然後纔照着順次做去。現在一般的中小學校的實驗室的構造和使用的方法，對於究明動機想最良的方法，慎重省度注意記載結果的內容，對於所研究的問題去反省怎樣提出論證，若果結果不能滿足，又須如何去想其他的方法來實驗等項，完全沒有些微的餘裕。就是高等學校大學校等的實驗室舊來也都是這樣建成的，不過近來歐美的大學，已大有進步，漸次有建築組織的實驗室的新傾向。即是學生各人有各人的研究實驗室，由指導的教員發出一個問題，使學生專心致志的從事研究，除隨時由指導的教員來巡視而外，使學生自行去完成他的研究，不加以妨礙。

返而回顧我國小學校現行的兒童實驗由前述的眼光說來，那裏夠得上說什麼實驗室作業。第一：實驗的方法就已根本錯誤，將六十名或八十名的兒童放在一名教員的指導之下，去行實驗，當然萬辦不到，不得已好分爲若干組，每組或六人或八人不等，去作團體的實驗。第二：實驗的事項，多就教科書上的材料去選擇，但教科書上的材料，大多數都是教員的實驗，不過是止於告知或證明而已，因爲教員去實驗的時，觀察上不能周到，所以分成若干小團去再演一遍，並無多大的意義。第三：實驗的設備大多數是將普通的講堂改造其一部分而成，並不足以稱爲實驗室。第四：實驗的處理方法，大都是在一時間內教與兩三回斷片的試驗管的實驗，一舉一動皆出之以號令，缺乏研究的性質。凡此種種都不能不謂爲違背了實驗室作業的精神，當然不會有結果。

實驗室作業中教員的任務，只在於作一個指導者，由一張棹子巡視到次一張棹子，時時向學生發出問題，給他們一種暗示，或由一種模範的實驗，示其一斑，或告以實驗簿的記載方法，當以何種爲良。有時或喚起全體學生對於緊要的變化，或特別有興味的現象，加以注意，或提示理論以及技術最易陷入錯誤的地方。不過好的教員，大概都力避和學生多作談話。對於學生的質問，只指導他們到圖書館或博物館去求他們所要的事項。與其告訴學生們的原理，到不如常常引用原理的應用。簡單的說，即是努力去訓練學生使他各自去觀

察考量，對於實驗的技術也以獨立獨步的態度去學習。

學生因各人的才幹不同，成績有高低的差別，這種差別，尤其是實驗室作業，極為顯著。常有對於同一個題目，甲只須一時間即可作出，而乙則耗去兩時間還未完成。在這種時候，由教授的精神說起來，只要能夠訓練到各人都努力盡其所能，也就足以發揮實驗室作業的職務，不必一定要將所出的課全數作過。若非等各人皆一律將同程度的實驗項目，完全做過不能滿足，則未免太過於重視形式了。

欲提高實驗室作業的效率，除將實驗室的構造設備完成而外，當以注意實驗的材料和裝置，以及省度排列的方法等項為最緊要。其一般原則要都在使實驗時的準備及着手，不必多費時間。欲達這個目的，須將實驗材料置放處明白揭示出來，如用抽屜、櫃櫥等存放，則須用紙條標明內藏何物，製成索引樣式的目錄，使學生不必一一去問教員助手，即可直接去取出備用，並於用完後，仍按照原來的位置歸還。

最後將好的實驗作業的特性，舉出於下：——

1. 實驗的性質務要使學生能進一步去解決某種有意義的問題。
2. 實驗要目的前後，要能保持連絡。
3. 實驗要帶有強迫學生作注意周到的觀察，養成綿密細緻的辨別力或反省的性質，由此方能得到機會去發展對於自然的疑問的熟練及自賴心。

4. 實驗不宜過多以防引起精神上的混亂。
5. 實驗作業即對於劣等的學生也須使其以相當的速度進行起去，至於有平均中等能力的學生在實驗時間內可以不致過急，不致混亂即可完了其分內的事。
6. 實驗須使學生以與其程度相應的精密度行去，當於其成績須給以相當的信任。
7. 由着手以達得出結論爲止，其間所用的推理，只須由教員僅少的補助，一切務由學生自己去應用。

對於實驗室教授法的本質，可由下節所述的發見的教授法，得知其詳。

第五節 發見的教授法

1797年英國藝術協會發起了一個國際工業教育大會，今中有阿姆斯特郎(E. H. Armstrong)教授的一篇論文，內有理化學教授中的發見的方法(Heuristic method)的字樣，這就是發見的教授法的來源。阿姆斯特郎的這句話，又是由1884年倫敦開的國際教育大會邁克爾準教授的講演得來的暗示。Heuristic的語原出於希臘語的 εὐρίσκειν，其意則爲發見，適用於教授上，是將學生置於發見家的地位，不僅告知學生事實，並進而使學生自己去發見的意思。據邁克爾準的意見以爲最真實的教授法，是使學生循着研究家所經過的途徑走去，將過去民族所成就的行程一步一步的進行起去，這種方

法是應用到純正科學教授上的唯一良法，同時又是教授應用科學的良法。1887年英國欲振興其科學而設立英國協會，其中設有關於改革化學教授法的調查機關，委任阿姆斯特郎爲其委員長。對於當時教授化學的各校長，提出一個問題，“對於心意的訓練和作將來自然科的準備，當以何種方法爲最有效？”去徵取意見，以此爲參考資料，更由協會製成一案，名爲協會案(The British Association Plan)由1888年至1890年公表出來。這個報告對於學校的自然科教授採用發見的教授法的推獎上，功效很大。到得1897年倫敦採用這個案的學校，已達四十以上，就中以North London Collegiate School和Central Foundation School (兩校皆爲英國有名的高等女子教育機關)兩校，因採用這種教授法，得了很好的實績。於是傳遍全國，凡與自然科教授有關係的人，沒有一個不知道發見的教授法和阿姆斯特郎的名稱的。英國的自然科教授法之所以能夠革新，固然得力於英國協會的提倡，但阿姆斯特郎的不屈不撓的宣傳精神，也有極大的影響。

發見的教授法的目的是在使學生自行去捉住任他們環境內發生的最適切的問題，並訓練學生使其能以最巧妙的方法解決這種問題。若由教員將這些問題就學生的力分爲若干種類，指示學生應如何去看，又所看的事物爲何，這種辦法是發見的教授法的罪惡。例如鐵生鏽是日常最容易見到的現象，到底這種現象是出鐵的自殺的行動，還是受外面

的作用而成的他殺的行動，成爲一個問題。使學生由精密的測定實驗，始能發見出來是空氣中的養氣和濕氣成爲暗殺的凶手，明白了這一層，學生當然感到非常的興味和快活。對於幼稚的學生，無論何事都去希望他自己去發見，既屬不可能的事，也並不必要，所要求的只是對於一個問題，由着手以至到達結論爲止，其間所經過的一切階段，務須使其十分明瞭。教授還未十分進行以前，務期對於發見的方法的訓練，要能澈底，方法的理解和使用，要能得當，這樣一來，使學生當作事的時候，覺得科學的習慣和科學的方法雖欲避免亦不可得的感想，深入腦裏。由此看來，發見的教授法並不止限於實驗室作業的狹意，並還以訓練一般求科學知識的方法爲其目的，和自然科教授的教育根底始終一致，成爲一種合理的教授法。阿姆斯特郎曾經說過：“發見的教授法，不外是由經驗，討究，觀察及實行去求知識的方法，”由此也足以推知其一斑了。發見的教授法的特色，還是由教材的選定和排列上，方可看出，茲將用這個方法編成的理化學教授細目，摘錄於下以供參考。

發見的教授法理化教授細目

這個細目的處理精神，約分數種：(1)大部分要使初學的學生去實驗，(2)證明的實驗雖可以省略，但仍須放在附屬的位置，(3)務必不用教科書，(4)對於初學的學生教材和教法並無男女的區別。

物理學初步

要目的 1 至 4, 最初即可教授, 以後須於化學後或和化學同時教授。

物理學教授的綱領

1. 教授務要合於論理。
2. 練習須使學生自行發見事實, 並使其構成定義。
3. 使學生鼓起勇氣去應用於凡屬可能的地方, 由此方能得知物質的基本性質和基礎的自然定律。
4. 指導學生使其能夠理解推理法, 以便由其自己的觀察發見去演繹結論和概括。
5. 測定的器具須用下列各種:

方格紙, 米達尺, 圓規, 三角板, 丁字尺, 分度計。

6. 測定雖可在普通的講堂內作, 但仍以在實驗室內爲宜。

1. 長的測定。

利用書本, 鋼筆, 鉛筆, 地板, 牆壁等用英尺和米達尺去測定。

畫一三角形或其他的直線形, 去測各邊的長。測曲線或曲邊的長, 用線一條沿曲邊比定, 然後伸長去測。求圓的直徑和圓周的比。

鉛錘和水準器的用法。

2. 面積的測定。

定單位面積爲平方吋或平方呎，由方格紙上去求正方形或矩形的面積，或由圓形的紙的重量去求。應用同樣的方法去求三角形，平行四邊形，梯形及多角形等的面積。陸地測量的原理。不規則平面圖的測定。

求圓的面積。將圓繪在紙上，由方格紙或重量法去計算。求圓面積和其半徑的平方的比。

求固體的表面積。將張蒙在直方體，球，圓柱，三角柱，圓錐等的表面，然後張開，由重量法去求。

3. 體積的測定。

欲得單位體積的觀念，可將石鹼或豆腐乾截下，或用紙裁剪黏成一立方吋，一立方呎等。求直方體，三角柱，圓柱等的體積。用滴管(Burette)或刻度圓筒，依據水換法去求不規則形狀的物體的體積。

將各種簡單的固體的體積，用三角柱或圓柱體的體積來表。例如圓錐的體積，等於同底同高的圓柱的體積的三分之一。用重量法或刻度圓筒來測。

4. 質量的測定。

定質量的單位。

用米達尺作槓杆，去發見平衡的定律。

說明天秤的使用法和其構造。

說明彈簧秤的使用法和其構造，並舉出彈簧秤和天平不同的地方。

5. 密度的測定。

測各種固體的密度，比較由密度及體積計算出來的重量和直接測出來的重量。

用有塞的小瓶一個，滿盛以水，由其重量求其體積爲若干立方厘米。再將水傾出，另換他種液體，由其重量去求這種液體的密度。再用水換法去求細彈，鐵釘等項小固體的體積。

6. 壓力張力的測定。三態的區別。

用橡皮，鋼製或銅製的彈簧，鉛片，橡皮塞等來說明彈性及非彈性。

由細砂，蜂蜜，水等類的流動性的物質，來導出液體的表面爲水平面，和固體不同。由擴散性來導出液體氣體的粒子的可動性。

用水柱的高來表流體的壓力，或用單位面積上所受的重力來表。實驗中的氣體壓力的測定。用U形管來作液體相對密度的測定。

用大的玻璃圓底瓶來說明空氣有重量。即是將少許水盛入瓶內，使其沸騰後測其重量，再換入空氣，即可見其重量增加。用排氣機來說明空氣呈壓力及氣壓計的原理。製一虹吸氣壓器(Siphone barome-

ter) 將每日觀測的結果,記載於方格紙上,畫出變化的曲線。發見波義耳定律。作唧筒的研究。

7. 在液體內的物體上所受的液體壓力的測定。

將空氣中的重量,水中減去的重量,及同體積的液體的重量比較起來,去發見浮體的理,沈體的理,及浮秤的原理。

8. 溫度的測定。

觀察水的冰點和沸點,及溫度計的構造。

熟習最高最低溫度計及體溫器等的使用法,將每日的大氣溫度記載入於方格紙上。

用容器盛溫水,以錫箔或油煙等蒙器的外壁,測定冷却所要的時間,來說明輻射的現象。

9. 熱量的測定。

混合種種溫度的水,注意其變化,比較其得失的熱量。

求卡計(Calorimeter)的熱容量及各種物質的比熱。

將蒸汽或冰注入水中,注意其溫度的變化,求潛熱的觀念。

10. 蒸汽壓力的測定。

由皿中的水量漸次減少,推知每日水皆在不絕的蒸發。將海草或絨布浸入水中測定每日減少的水量。

作水蒸氣液化的實驗。蒸餾。

11. 力的測定。

以磅或克作單位去測定力。練習用圖表 (Graph) 來表力的方法。

用橡皮或彈簧來發見延長和外力的關係。

12. 力的分解。

分力。合力。力的平行四邊形。

13. 三力的平衡。

力的三角形。

14. 多力的平衡。

力的多角形。

15. 平行力。

16. 重心。

17. 力矩的原理。槓桿。

力矩的意義及其用途。製一槓桿，由力的平衡求出力矩相等。最初棄却槓桿自身的重量，再後更將槓桿自身的重量加入，去證明力矩的原理。

18. 單簡器械。

功的原理，功的單位，能，功率。

器械的意義和其用法。

滑輪，輪軸。

各種器械的速度的比，支力和載重的關係，器械的

利率的計算。將各種結果載入方格紙上。

化學初步

化學教授的綱領

1. 教授的主要目的在訓練學生使其由實驗去解決簡單的問題。即是指導學生作精密的實驗，立明確的方針，由觀察得來的事實去推出正當的結論。
2. 教授的內容為空氣和淡氣，燃燒和養氣，輕氣和水，白墨和石灰，炭和有機界的應用。
3. 精確調查所出的實驗問題，對於下列各項問題須行定量的測定。
 - A. 由熱而起的物質重量的變移。
 - B. 測定溶解於酸的物質及因熱放出的氣體的體積及其重量。
 - C. 測定結晶體的生成結晶水。
 - D. 測定有機化合物由燃燒生成的炭酸氣及水的重量。
 - E. 不用公式去行鹼定量的容量分析。
 - F. 測定水中溶解的白墨。
4. 一切化學式，分子式，以及分子原子量等項的觀念，在這課程中皆一律略去。

要目

1. 須直接觀察自然遭遇的通常的天然物如砂，石英，

白墨,石灰石,方解石,粘土,石板石,石膏等及種種的金屬以及常用的物質如普通的酸,碱,鹽,明礬,石灰,硫黃,白糖,澱粉,脂肪,油,骨,種種木柴,木炭,焦炭,酒精,松香油等。

2. 詳記上述各種物質的外觀及其顯著的性質,並用普通文字將其用途,及其原料記出。又這些物質和空氣水接觸的時候,或燃燒的時候,起些什麼變化,也一一記出。

3. 決定上述各種物質的相對密度。

4. 檢查用水(酸也包含在內)可以怎樣處置?學習如何可以由水內得出碱,明礬,鹽等類物質的結晶?

5. 蒸發種種的天然水,確定其內溶解的物質及其重量。由蒸餾去製純粹的水。加熱於水去檢查溶解於水中的空氣的存在。近似的決定溶解於水中的空氣重量。

6. 使標準的金屬燃燒,或使其強熱時,須行簡單的定量實驗。

7. 鐵的銹化,是燃燒一類的變化和空氣有何關係,將有關係的一部分定出,測出其重量,除此一部分而外,要決定其餘的變化的一般的性質,注意其生成物。

8. 調查各種金屬內燃燒生成的物質(如鐵,銅,密陀僧,

鉛丹等)加強熱於含有空氣的活素的物質,使其部分游離出外。

9. 鐵,鋅等金屬溶解於酸內時前已觀察到有氣體放出,因欲研究這些氣體燃燒的時候起何變化,所以行前述的實驗。將其生成物和水比較,即知其極相近似,更由密度,冰點,沸點的測定,求出本題所指由氣體燃燒生成的物質爲水。其次再行水的定量實驗。

水的性質和其成分的性質大異,兩種氣體化合的結果發生熱。這個時候要知道燃燒的一般的性質,須明白生一定量的熱和生一定量的燃燒生成物是一樣的。

10. 其次去研究土壤的物質。白墨很似金屬的燃燒生成物。由白墨變成石灰的定量的研究。加酸於白墨上即發生氣體,測其分量。

對於洗濯用的鹼,也要行同上的實驗。注意其含有結晶水。有酸的作用。可以用來使水軟化。

11. 其次再移入通常有機物的研究。白糖,澱粉,蛋白質,麩質等物由燃燒不完全的時候,可以知其含有碳元素,由破壞的蒸餾的時候生水,可以知其含有輕氣和養氣。

12. 碳在養氣中可以燃燒,其生成物可與前此學過的

氣體來加以比較研究。由一般的碳化物來觀察燃燒的生成物。白糖可以完全變化水和這種氣體。由蛋白質的燃燒可以發見其中存在的淡氣。

根據發見的教授法的實驗，對於教材的選擇排列，因教材而異，但各有一定的方式，不能一一為之錄出，茲僅舉一例，以示其一斑。

7 的教授要旨在於發見空氣和日常的變化如鐵的銹化以及燃燒等有關係，且其活動可以歸之於空氣中的一部分。因此遂選出兒童日常最熟習的變化即為鐵銹，同時使其測定銹的密度，和鐵比較起來發見輕重不同，這個結果所教的是何事項，非求一答案不可。於是使學生想到當鐵變成銹的時候，或許失去了什麼物件。關於這一點，遂發生下列各項實驗的必要。

A. 使一定量的鐵帶溼，使其生銹，然後使之晒乾，測其重量，更搗碎紋加水潤濕，放置若干時後，再乾再秤，反覆若干次。

B. 將新鐵屑（如釘）放入盛水瓶內，加栓後任其放置。

C. 用羽紗袋包鐵屑，放在封閉於水上的空氣中，這個實驗也可以反覆數遍。

D. 將鐵粉或鐵絲放在管內加以強熱，送空氣由管內通過，注意測定其重量變化與否。

E. 將溶解在水內的空氣除去，放入鐵屑，將其結果拿去

和 B 的結果比較。

F. 將 C 所用的袋吊在乾燥空氣內，將其結果拿去和 E 的結果比較。

由以上的實驗可以知道鐵的銹化，要有空氣和濕氣，而由 C 的結果，知道空氣的一部分用於銹化，其餘的部分完全沒有關係，是帶有不活潑的性質。由此方得出一個斷案，鐵的銹化並不是鐵自生的作用，乃是空氣中的活潑部分和溼氣使然。

其次再研究物體在空氣中燃燒時所起的變化。將一定量的磷使其在空氣中緩緩或迅速燃燒，可以決定空氣只有五分之一的部分能夠活動，和鐵的銹化時一樣。若將鐵裝在磷燃燒後所餘的空氣內，或是將磷放在鐵銹化後殘餘的空氣中，兩來皆不生變化，更可證明殘餘的空氣極不活潑。使磷在乾燥的圓底瓶內燃燒，即可知其重量不起變化，空氣的一部分雖已不見，但不過是和磷結合罷了，和鐵銹時的情形並無稍異。而這個結果則成為熱。熱並不是物質，磷的緩緩的燃燒也可以發生熱，由放在空氣中的磷，雖不見其發火而仍漸次熔去的地方，即可看出。這都是觀察的好機會。

第六節 自修溫習

近時教育上的思潮，有種種的主張，或主動的教育，或主自動主義，或主勞動學校，或主自修主義，名目雖異，根本意見

則都一致，不過是主張尊重兒童的自己活動，由自己的努力去學習一切知識罷了。可知自修是現在教授上一大主義，成為重要的教育問題。從前的學校，以為應將多數的兒童聚集於一堂，不分甲乙，以極短的時間將各種學科，書籍上以及學者傳來的一切知識，用簡便經濟的方法教給兒童。以從的學校則以為學習是學生自己分所應為的，是他們發動的，是由學生個人去實行的。和將物品存放倉庫一樣，存放那些外部的物品，應當屬於圖書館的事務，不能在學校去浪費貴重的能力和時間。時間雖長生命却短，兒童早已沒有這樣餘裕。對於負有創造社會文化責務的兒童，使其即早得自修的訓練和習慣，實為當今的要務。但是由教育的一般原理來敘述廣義的自修主義的主張理由，實在沒有必要，到不如讓給一般教育學去說明，還要覺得適當些。

從來的學校以為學習是僅限於講堂以內的事，於是都努力去想在短時間內，要怎樣方能教完規定的知識，要怎樣方能使兒童在這時間內將精神集中起來，貫注於所教的事項，對於講堂以外，以及上課時間以外，並未嘗注意使學生繼續着去學習。並狹義的自修也沒有，真不可不謂為一大缺憾。或許理論上對於學科的豫準溫習的必要，早已有人主張過，但是和講堂內的學習，有一定的連絡方法，却實際上並未行過。要想提高講堂教授的效率，或使其有相當的成效，皆非有這種狹義的自修法為之補助不可。以教員一個人的頭腦，無

論如何思索，無論如何準備，在極短的教授時間以內，所能得到的效果，也就有限得很，欲求學生能得澈底的領悟，絕對辦不到。就由教授學的理論，或心理學考察起來，也是當然的結果。講堂是給兒童研究的動機和刺激的地方，使其聽去覺得非常有味，很想自己也去實行一次，自己也去調查一下才能滿足，能够這樣的激發兒童自修的精神，教授方可謂為成功。自修的目的一在記憶能夠確實，二在應用能夠自由。欲求記憶確實的方法(1)須溫習，即是知道何種事項最易忘却，即使其溫習，但須使學生出以自覺，這種自覺即是造成自修的習慣的第一步。記憶確實的方法(2)為立知識的系統組織。未加組織的知識，或是斷片的，或是不能由連絡關係保存於腦中的。因其漫無秩序，所以不久即完全消滅。何況對於應用自在，決非斷片的知識所能妄冀得達的。

自然科學教授上對於養成自修的習慣，尤覺意味深長，自然科的對象是廣大無邊的大自然，在窄狹的講堂內，於限定的時間中，要想理解自然，說明自然，怎樣能夠做得到。要由學生的經驗的連續和考察的實行，方能使自然科教授發生效力。從來的自然科教授其所以比較上不能深入兒童的腦裏，主要的原因即在缺乏自修的習慣。在兒童的胸中以爲所謂自然科教授，不過是在講堂內拿着一些試驗管，加些莫名其妙的藥水進內，由高處看變戲法一樣的去教員的實驗，再將其結果謄寫在書本上就算完事，並未曾想到將他拿到

家庭和野外去溫習和應用。尤其是在中等學校，這個缺陷最甚，學生的腦筋中，從沒有自修溫習的念頭。甚至於下了講堂以後即將教科書束之高閣，一直要到了下次再上自然科的講堂，方纔會面。既無所謂預備，也無所謂溫習，能夠將教員在黑板上寫出來的字句，加入教科書中的空白地方，已經要算是極用功的學生了，再進一步去參閱其他的書籍，或用日常用品來作實驗，或對於日常生活上的科學應用加以精細的觀察等項，尤其是大多數所未曾夢見過的。照着這個樣子，要由學生的經驗出發進入科學的研究的正當形式，由心理學說起來，實為不可能。中等學校的物理學和化學的教授，其所以絕對要溫習和自修的理由，即在於此，非引導學生成為這種自修的傾向，決不能提高教授的價值，決不能使教員的努力發生效果。美國的 High School 很重視學生的自修習慣，對於這一方面的訓練，也很進步。對於初年級的學生，特別還規定出一定的自修時間，使教員監督着去做。對於高級的學生，則利用圖書館工場等，使其調查作為報告，以練習自修。試舉出報告中的項目，以見其學力的程度，至於報告的形式，一律由學生自己想出，並還自行加以種種的美術裝飾。其項目如下：

蒸汽臥輪

摩擦

飛機

觀象台

探海燈

鏡的作用

管風琴

音

力的平行四邊形的實驗

無線電報研究	電報機	水銀燈
電熱鍛接	熾熱燈	電冶金
愛迪生傳	動圈電流計	歐姆和電
關於鐳的研究	燃料的石油	冰
電話的歷史	家庭和電	蓄電池
活動影戲	電竈	電車的送電研究
事務室中電的用途	電燒器	電車的歷史
微音器	電壓計	

欲養成自修的習慣第一要件爲改良講堂內的教授法，不能再照從前那種辦法，照着專門家排列出來的順次，來組織教科書的教材，從須就以解說爲能事，使學生聽去，不過是一種前所未聞的帶點外國氣味的一個學科而已，須改來努力於訓練學生，使其對於日常所經驗的材料，皆用科學的方法處理，並使其能得徹底的了解和深厚的興趣，方能養成他們自修的習慣。這個問題在前面自然科教授的教育職能處業已敘述過，是今日教育學當然要求的教授法。在這種教授的底下，務要使學生步出校外，或是進入社會的時候，增厚其科學的經驗，推廣其教材，因欲解決這些問題，於是遂自行去參考前輩的知識，以及溫習教科書，至此而後溫習自修方有意義可言。要之非採取能使學生對於自然科完全改變其學習態度的教授法不可。照着現今盛行的教員本位的教授法，決不能訓練學生的自修的。

養成自修習慣的第二要件爲在學校裏面要造成一種空氣即須有相當的設備。如學校植物園，學校博物館，學校圖書館等，即其一斑。學校植物園中可以獎勵學生個人研究的精神，學校博物館供學生自由的觀察，學校圖書館可以使學生涉獵書籍新聞雜誌等項。至於特設的學生研究室，如不能辦到，儘可用博物館的一部分來充其用。使學生隨時作天文氣象等項的觀察，將其結果記載出來，作爲自然科教授的一種事務，亦可養成自修的習慣，不過須要有稍許的設備罷了。照此看來只要一旦將自修溫習的習慣養成，不特成爲在學中培養實力的利器，並且還是一生涯中向上發展的本源，其重要可知。

第三編的參考書目

G. R. Twiss: A Text-Book in the Principles of Science Teaching.

此書爲自然科學教授法之最良最新之參考書，前半爲自然科學教授法通論，後半則爲物理學，化學，生物學，地理學等各科教授法之各論。本書全體取材於此書的地方甚多，尤以本篇爲最甚，舉有志於自然科學教授者均宜手置一冊。

Smith and Hall: The Teaching of Chemistry and Physics.

此書分兩部，前部專論中學化學教授方法，由 Prof. Smith 所編。後部論中學物理學教授方法，由 Prof. Hall 所編。爲

中等程度學校物理學化學教授法之良參考書。

C. R. Mann: The Teaching of Physics.

著者爲美國物理學教授法之激烈改革家，此書則係將其歷在芝加哥大學之講演以及刊登雜誌之論文輯合而成。

J. F. Woodhull: The Teaching of Science.

著者爲哥倫比亞大學師範部物理學教授，此書爲其關於科學教科之講演集。

G. H. Trafton: The Teaching of Science in the Elementary School.

Mc Murry: Special Method in Elementary Science.

兩書均爲小學自然科學教授法之參考書，後者所論多以美國小學爲對象，尤足以窺知美國小學校內自然科學教授之內容。

L. H. Bailey: The Nature-Study Idea.

Hodge: Nature-Study and Life.

此兩書均爲美國通俗自然科學之良參考書，前者均於理論方面，後者詳於實際方面。

K. Kraus: Methodik der Naturlehre.

此書由理化學之目的，要旨，方法等之記述入手，而及於教材論，可作小學校自然科學教授法之參考。

F. Hodson: Broadlines in Science Teaching.

此書雖爲一論文集，然其對於科學教授上之價值，在英

國科學界已有批評。尤以關於自然科學在中學教科所占之位置，假說在自然科學教授上所佔之位置等各編。實有一讀之價值。

H. E. Armstrong: The Teaching of Scientific Method.

此書為 Armstrong 十餘年間之講演論文集，為發見的教授法之唯一參考書。

J. Dewey: Democracy and Education.

杜威對於教育之意見，可由此書得窺知其大略。書中隨處係及關於自然科學教授之要點，義精而言賅，確有精讀之價值。

J. Dewey: The School and Society.

T. S. Knowlson: Originality.

前書敘述社會生活與學校教育之關係，後者專論創造教育。

I. E. Miller: The Psychology of Thinking.

E. L. Thorndike: The Psychology of Learning.

S. S. Colvin: The Learning Process.

W. C. Bagley: The Education Process.

以上四書，為心理學及一般教授法之參考書籍，對於研究自然科學教授法者，亦為必不可少之參考書。

