實用化學

☆

藩陽市圖書館藏

431
375

本教用適學中級

新訂

實用化學

BLAKE & TUNNELL'S

NEW

PRACTICAL CHEMISTRY

江苏工业学院图书馆
藏书章

系統書譯

商務印書館發行

中華民國二十三年十一月初版
中華民國三十五年五月新訂一版

版權所有 翻印必究

(53724·1)

高級中學適用教本

新訂實用化學 一冊

New Practical Chemistry

定價國幣拾元
印刷地點外另加運費

原著者 Black and Conant
譯述者 孫穎壽
發行人 王雲五 上海河南路
印刷所 商務印書館印刷廠
發行所 各地商務印書館

目錄

(上學期)

章數		頁數
一	史緒　化學之領域	1
二	物理變化及化學變化	15
三	元素及化合物	23
四	氧　燃燒　臭氧	34
五	氫及其用途	50
六	水及其組成　二氧化氫	65
	第一章至第六章複習問題	82
七	道爾頓之原子說及分子說	85
八	符號　式　原子價	96
九	化學方程式及推算法	109
	第七章至第九章複習問題	126
十	氯化鈉及氫氧化鈉	128
十一	氯及氯化氫	141

章數 頁數

十二 酸類 鹽基類 鹽類…… 162

十三 離子及電子…… 172

十四 原子之結構 原子價…… 189

第十章至第十四章複習問題…… 202

十五 硫及硫化物…… 204

十六 硫之氧化物及其酸類…… 220

十七 碳及其二種氧化物…… 236

十八 分子量及原子量…… 261

第一章至第十八章總複習題…… 281

(下學期)

十九 氮及大氣…… 284

二十 氨及銨化合物 平衡…… 303

二十一 硝酸及氮之固定…… 319

第十九章至第二十一章複習問題…… 338

二十二 新週期律…… 340

二十三 鹵素族…… 354

二十四 鈉及鉀之化合物…… 366

第二十二章至二十四章複習問題…… 385

二十五 磷族…… 388

章數　頁數

二十六　溶液，淀液，渾液……403

二十七　鈣　鎂　矽……429
第二十五章至第二十七章複習問題……458

二十八　煤，油，及燃料氣……461

二十九　酒精及其他碳化合物……482

三　十　食與衣……495
第二十八章至第三十章複習問題……518

三十一　金屬及冶金術……520

三十二　鐵及鐵族……536

三十三　非鐵金屬……564
第三十一第章至第三十三章複習問題……591

三十四　較不普通之金屬及其用途……594

三十五　染料及漆料……613

三十六　放射能及元素之轉變……630
第三十四章至第三十六複習問題……644
一般複習問題……645

附　錄

氣體之物理的原則……647

進究參考書目……657

工業一覽表……659

固體於水中之溶解度……660

各種氣體於水中之溶解度……660

水蒸氣壓力，或水氣張力 …… 661
重要氣體之密度 …… 661
數種普通物質，化學名及式 …… 662
物質之硬度 …… 663
比重或相對密度 …… 663
化學元素表，附符號、原子序、及原子量 …… 664
較重要之元素表 …… 665
中外度量衡換算表 …… 666

新　訂

實用化學

第一章

史緒　化學之領域

日常生活中之化學　古代化學之肇始　中古代之化學　化學之復興——科學的化學之嚆矢　十八世紀之化學。

化學與近代生活　藥料，染料，金屬及合金，玻璃，土壤及肥料，純淨食物及飲品。

化學之教育價值，科學方法，實驗及理論。

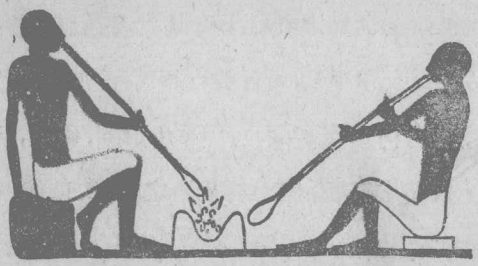
1. 日常生活中之化學——"吾人今日日常生活內所接遇之無數物品，不多年前雖傾全世界之資財不克購置者甚夥，蓋實無存在也。此項物品來源大率平凡，類皆製自平時不加措意之物料，常人視之，初不察其有何珍奇寶藏也。舉凡田園，礦穴，森林，乃至空氣及水，所生低賤之產物，假手於化學之魔陣，即能一變而為精美絕倫，利用厚生之物。

煤焦油，黏膩惡臭之物也，今以之製瑰麗之色，快適之味，馥郁之香，以及救生之藥矣。棉絮今以之製雋美之化妝品，燦爛之

塗料，麗都之織物，耐用之傢具，以及猛烈之炸藥矣。他如穢汚之礦石，可一變而爲瓷器上華麗之飾料；灰石[1]及煤，則因人造橡皮而新闢用途，松樹幹段因製煉樟腦而別增消費。空氣與水之用爲製造肥料，炸藥，發動機燃料，防凍劑，以及嗅鹽[2]之原料，尤屬不可思議。而化學之奇妙，今正勃興伊始，前途殆無止境焉"。

上述云云，乃 1919 年故笠脫爾博士[3]之言，時氏任美國化學工程師學院院長。此言於今猶然。就過去十五年之進步觀之，可斷言凡一國家如能深解乎化學之重要，而善爲利用之，則實爲國祚前途所寄焉。

2. 古代化學之肇始 —— 化學一科，雖據吾人今日所知僅有百餘年之歷史，而遠溯其濫觴，尙在數千年以前也。古希臘，羅馬，尤其埃及之人民，對於金銀等若干金屬實已具有豐富之實用知識無疑（第 1 圖）。彼輩已知自礦石提煉銅，錫，鐵，鉛，汞之方。醫者已知自動植物以及礦物製取藥材。又有用植物染料染織物者。於發酵作用及酒類成醋之



第 1 圖　金字塔建築時代之埃及金匠。

[1] limestone.　[2] smelling salts.　[3] Dr. Arrhur D. Little.

變化，亦莫不諗知。陶器及玻璃之製造，業已發展成雋美之藝術。惜率屬小民之藝巧，而於此項方法之原理及緣由，則不甚了了也。

吾人今日於物質結構之觀念，其種因於古希臘者亦頗多。當時有哲學家台爾斯[1]，約生於紀元前 600 年，彼認水爲基本元素。其他之希臘哲學家，則又有以爲萬物皆能由空氣及火經適當之變化而製成。其後亞理斯多得[2]（紀元前 384—322 年）復認宇宙間有四大基本元素，卽火，水，空氣及土。此外復有以爲世間萬物皆能設法由微小不可見的微粒子熔合而成。此卽今日原子說之肇端也。

3. 中古代之化學——對於上記古代之學說，考驗其究屬確鑿抑訛謬，歷數百年迄無進步。固亦未嘗認爲有此必要也。且當時之學者所致力者，率以變低金屬爲貴金屬爲事。此時代化學之局面，卽所謂煉金術[3]耳。顧煉金術士雖未得圓其迷夢，然其發見之事實，有功於後之化學者良多。當時以亞力山大城[4]爲此項運動之中心，在第八世紀中阿拉伯人，對於此方面之造就尤爲當時全世界之先驅。藉其所設之大學，傳播此項教義於歐洲各國，如意，法，德，英等。此卽所以今日若干西文化學名詞，如 alcohol 及 alkali 等，其語源悉本於阿拉伯文也。

[1] Thales of Miletus. [2] Aristotle. [3] alchemy. [4] Alexandria.

約在此時，關於物質結構之學說起一劇變。當時據一種新假說，認元素僅有三種，卽汞，食鹽及硫。並採用玄妙之符號。惟從此其進展又停滯數百年，蓋諸化學家復潛心於搜尋一種物質，所謂仙人石[1]矣。此仙人石者謂能令鉛銅等金屬變爲金銀。然煉金術（第2及3圖）之末日已臨矣。

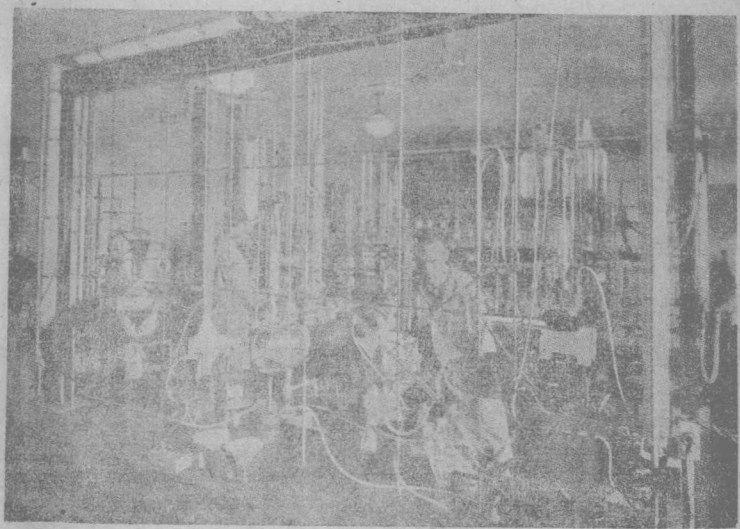
4. **化學之復興**——瑞士化學家巴拉賽索斯[2]（1493—1541）者，實爲掃蕩舊時之化學，而將前人之著籍付之一炬之第一人。此科學之元勳有言，謂化學之主要目的，不在搜尋仙人石，或長生丹，而在製造及研究藥物，以療治疾病也。氏竭力攻擊當時習常之醫學，而主張凡欲業醫士者，務須研究化學。彼之最大貢獻固爲以學理而不以迷信爲根據之醫術，然實亦因此闢研究化學之正道，使亦肇基於學理也。

其最著聞之門徒中，有范海爾蒙[3]（1577—1644）者。此化學家先進，耗其畢生大部分之時間於比京伯魯捨爾[4]附郭之實驗室中，從事化學研究及科學著述。氏殆爲判明空氣，氫，二氧化碳及沼氣之第一人。西文化學語彙中加入"gas"一字，亦自氏始。

5. **科學的化學之嚆矢**——十七世紀下半期，歐洲之學術猛晉，化學亦隨之起重要之變遷。前此化學徒爲醫士及冶金師

[1] philosopher's stone. [2] Paracelsus. [3] van Helmont. [4] Brussels.

第 2 圖 煉金術士之作場。



第 3 圖 一近代之工業化學實驗室。試將其設備,與煉金術士之設備比較之。

第 4 圖　波義耳 (1627—1691) 爲認識元素與化合物間之異別之第一人。又研究壓力對於氣體體積之效應。

之工具者，至此遂成所謂純粹之科學，意卽其目的在增加吾人對於自然界之知識，而不論其結果有無實用者也。時有波義耳[1] (第 4 圖) 者，有推之爲科學的化學之鼻祖。氏之名著"懷疑的化學家[2]"一書，於 1661 年在倫敦出版。書中聲述元素之數，若希臘哲學家之僅限四種，或若其後煉金術士之僅限三種皆乏理據。氏稱化學家應認凡物質爲吾人所未能分裂成二種以上之成分者，均屬元素。

此與吾人今日之觀點極近，誠不解波氏時代之化學同志究何所據而必欲背其道也。氏與牛頓同時，惟其工作未能若牛頓之卽受人擁護耳。然氏之研究方法，固爲後人學習化學者奉爲圭臬。力陳歸納推理之價值者亦爲波氏；此卽就實驗事實及精準觀察爲起點，從而引伸結論是也。

[1] Robert Boyle.　[2] sceptical chymist.

6. 十八世紀之化學——此時之化學家,前進神速,半因其技能之增強,半由於交通方法之改進也。遂使世界各地之科學家,於工作上得互通聲氣。吾人於此後數章,就諸化學先進之工作,當可一窺此時期內化學發展之梗概。如勃拉克[1] (1728—1799) 之研究灰石及生石灰之組成;普利斯特利[2] (1733—1804) 之將紅色氧化汞加熱,而使空氣中之活潑成分(氧)遊離出;卡汾狄士[3] (1731—1810) 之邃心於氣體研究,最著時譽,其由精測氣體之性質,以爲鑑定氣體之方法,及其發見水及硝酸之組成,尤足稱道;希來[4] (1742—1786) 及瑞典一貧苦之藥劑師,卻爲偉大之實驗家,發見氯,氧,氨,氯化氫以及許多有機酸類;拉瓦錫[5] (1743—1794) 藉天平而納世人對於燃燒實情之見解入於正軌;道爾頓[6] (1766—1844) 乃一教會學校之校長,首創原子說[7],以解釋物質之結合成化合物。

7. 化學與近代生活——吾人於詳論化學一科之進展之前,試先一觀化學與世界文化演進之密切關係。

一般人士多目化學家乃一製藥師,彼製造藥物,以供醫師之用。誠然,化學家業經製成不少人造藥材,在某種用途方面,且勝於天產品,因得取而代之。例如舊時牙醫生用古柯鹼[8] 爲局

[1] Black. [2] Joseph Priestley. [3] Henry Cavendish. [4] Carl Wilhelm Scheele. [5] Antoin Laurent Lavoisier. [6] John Dalton. [7] atomic theory. [8] cocaine.

部麻醉劑以止痛，今則化學家製成新柯鹼[1]爲一種人造藥材，無古柯鹼之不快副效，牙醫生卽用此替代品。牙醫生又爲防免因用新柯鹼而致出血不止起見，並加以腎上腺素[2]，此又一人造品也。

昔時之染料，如藍靛[3]等率取自植物。今則由較簡單之物料製取之(合成[4])。人造染料之着色耐久，色樣繁多，遠勝於取自植物者，故實際吾人已超越於所謂天然染料矣。

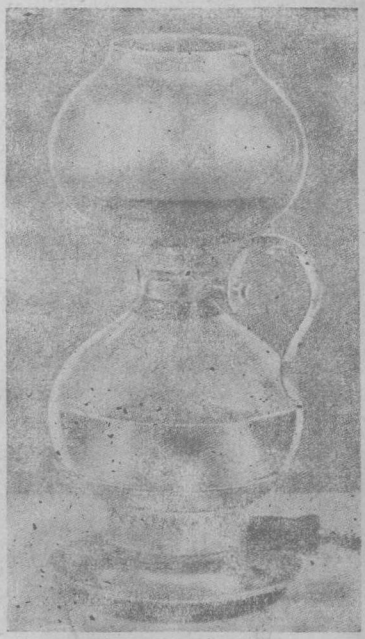
其在冶金上最重要之化學發見，殆爲金屬鋁，乃存於黏土中之元素。積化學家三十年之實驗，始得完成一成本低廉之製取及提淨之方法。又有一金屬，在十九世紀之前向不之知，卽鎂是也。今藉電煉得大量製取之。鋁與鎂之合金，所謂鎂鋁齊[5]，具強大之抗張力，較鋁尤輕。造飛艇及發動機時廣用之。其他金屬如鎢及鉬，向徒認爲實驗室內之珍品，今則仰化學家努力之賜，於工業上製造白熱燈(電燈)及所謂特種鋼等利用甚多矣。

玻璃之製造，亦經化學家多方改良。今有特種之玻璃，能耐高熱，故可供實驗室及廚房內之使用。如所謂派力克斯玻璃[6](第5圖)，堅強異常，驟熱驟冷皆不易碎裂。

譯者註：派力克斯玻璃爲美國出品之特名，在德國有耶拿玻璃[7]，其效能亦堪

[1] Novocain. [2] Adrenalin. [3] indigo. [4] synthesis. [5] magnalium. [6] Pyrex glass. [7] Jena glass.

與派力克斯相埒。又最近由有機化合物製成一種與玻璃相仿之透明物，震擊不碎，稱爲安全玻璃，又爲化學上之一大貢獻。



第5圖 派力克斯玻璃製之煮咖啡壺，用電爐燒熱。

化學之於農業，貢獻殆屬最大，蓋化學家探知各種農作物所需植物營養料之種類，肥料中遂應供給何種之成分（第6圖）。化學家感於智利之天產硝酸鈉，供給有限，不數年行將告罄，竟因此由空氣中之元素製出同樣之肥料，其成就殆神乎其成矣。

今日化學家最重要之事業，厥爲集注於吾人之食物供給。水及牛乳必須隨時檢驗其雜質，而食物之不法攙假，尤賴化學家之專門技能，不厭周詳以防止之。

8. 化學之教育價值——從環繞吾人之宇宙內，尋取新事物，其本身固已爲一高貴之事業。但除化學家之發見，對於社會有重要關係外，研究化學尙別有價值在焉。是卽吾人於覓取化學所代表之科學的思考途徑，可由此而萌其芽焉。科學的思考

第 6 圖　美國曼茵省[1] 之馬鈴薯田，藉肥料而生長。

須有認明眞實，絕不扭於舊見之習慣，此卽屬無量寶貴者矣。再則，遇有困難，須秉勇往直前之熱誠，而勢所難免之錯誤，則宜具憤自搜檢之毅力，同時立卽糾正之，此皆科學精神上早經確認之點也。總之，吾人苟能孜孜邃心於攻習化學，則尤可造成研究各項問題之科學方法。此處精準之觀念，與夫憑依於實驗，是爲不易之方針。

吾人之口號非"書中如是云云"，而爲"吾人試躬自研求之"。研求之方，其步驟每卽如下述。先詳細觀察所遇所見之事物，而

[1] Maine.

蒐集其所得之種種事實。繼加以類別，而藉其他既知之事實，試爲解釋之。然後就其意義，設爲理論或意像，可資解釋該新發見之事實者。末更尋取同類之數據多種，以與吾人早先各種實驗所得之事實比較之，以核驗所設之理論。設吾人所設之理論，與此等事實不盡相符，則須加以修正，同時再覓取他項數據，以參證事實。世間萬百事物，吾人自不能存盡遵此項實驗方法得以學習之之望，蓋爲時過費也。惟在實驗室（第7圖）內窮究此項令人興奮之問題後，定可充分領略科學家工作之方策，及其所以有理解之習慣與思考之徑途矣。

第7圖　美國高中學校之實驗室。

第一章 提要

化學之早期史可分爲

(a) 上古期至耶穌紀元止。其間埃及，希臘，羅馬之人，已知利用銅，錫，鐵，鉛，汞等數種普通金屬，以及較少之金及銀。彼輩亦知使用植物染料之道。陶器及玻璃之製造，均已成爲雋美之藝術。

(b) 早期之煉金術士在西曆紀元後直至1500年，咸耗時費力於惟仙人石是求，謂藉此石能令低賤之金屬變成貴金屬。

(c) 其後之煉金術士至1650年爲止，則在搜求長生丹，同時製取並檢驗藥用之新物質。

(d) 科學的化學自波義耳 (1627—1691) 始。

化學與近代生活 化學家所賜與吾人之各種有價值物質，主要者爲：

(a) 染料——藍靛之合成

(b) 藥材——古柯鹼及新柯鹼

(c) 金屬及合金——鋁及鎂
鎂鋁齊
鎢及鉬
特種鋼

(d) 玻璃——派力克斯。

農藝化學包括土壤之分析及肥料之製造。

縣,市,省,及中央政府,均應設有食物及飲品檢驗機關。

化學之教育價值 學校中研習化學之主要目標,在教授科學的方法;是卽求證於實驗也。其第二目標,則就某數種於吾人近代生活有關緊要之物質,獲得其製造,性質及用途等方面之具體知識是也。

問 題

1. 試舉古代已知之五種金屬。
2. 煉金期內曾發見何數種元素?
3. 煉金術士分金屬爲賤及貴二種,試爲解釋之。
4. 試舉各自家用物件五種,在當年煉金術士家中所未能有者。
5. 首將"gas"一字加入化學語彙內者爲誰何?
6. 首先明定元素之意義者爲誰何?
7. 試舉十八世紀內於化學進展上有重要地位者五人。
8. 試舉近代生活上使用之數種特殊玻璃。
9. "今日常人之生活,視百年前之帝王猶爲優適"。試證明此語。
10. 科學的思考方法,其思想及行爲上之習慣,有何特點?

* * *

11. 何謂歸納推理?
12. 何種染料,昔時取自植物,今則由化學方法製成之?
13. 煉金術士迄未能覓得仙人石及長生丹。然彼輩究亦有何有價值之發見否?
14. 賤金屬及貴金屬,孰較有用? 最有用之金屬屬於何類?
15. 化學家製造之藥材,於牙醫生及醫師有用者,試舉二種。

16. 當煉金術士割傷手指,彼將用 (a) 汞銘水[1] (俗稱紅藥水) 乎;(b)碘酒乎;抑 (c) 創傷藥膏[2]乎?

17. 中古代所謂汞,鹽,硫諸"元素",其於古希臘人所謂土,空氣,火,水諸"元素",就吾人觀之,若有所進步乎?試解釋之。

18. 試觀一煉金術士在其工作室內之圖 (第 2 圖)。 (a) 有何件之器械爲吾人所認識? (b) 彼以何法加熱物料? (c) 以何法吹旺火焰? (d) 有電流否? (e) 有煤氣否? (f) 有玻璃管件否?

19. 近代生活中之利用化學,除本書所述外,試就其他讀物中所獲知者列舉數例。

20. 由近代化學方法發見之金屬,何者用於 (a) 飛機; (b) 成層圈飛艇; (c) 白熱燈 (電燈)?

---

[1] mercurochrome. [2] unguentine.

第二章

物理變化及化學變化

物之物理狀態——物理變化——常見之例——特點。
化學變化——例——實情——特點——物料之性質——物不滅定律。

9. 物之三態——水受適當之冷卻，即結成冰，加熱煮沸，即化爲蒸汽，此盡人皆知者也。吾人苟一究冰，水及蒸汽，當可見其組成絕相同。此三者——固體，液體及氣體——即所謂物之三種物理狀態也。水以外，其他物質如調整其情況，亦多能呈此三態。試以硫爲例，尋常爲黃色粉末。但加熱後，即熔融而成黏性液體，如熱度再增，則化爲氣體(第 8 圖)。即最普通如空氣之氣體，亦能冷卻而液化，再度冷卻，即成固體。故可知此等物質之物理狀態變更時，其化學組成並無變化。僅屬加熱或冷卻之結果而已。

第 8 圖　硫之固態，液態及蒸氣態。

10. 物理變化——此等狀態之變遷，亦可反向逆行，即所

謂"可逆[1]"也。譬如取去水之熱量,可令凝結成冰,加入熱量又可熔冰成水。同樣,設令硫蒸氣冷卻,即得液體硫,而冷卻熔硫又得固體硫矣。此種狀態之變遷,乃物理變化[2]也。此外如將電流通過鉑絲,即呈白熱,冷時,又復原狀。又如取硬鋼一片(如縫針等)試行加磁,即能吸引小鐵釘;但如將此鋼片墮地少時,又失其磁性。是亦皆物理變化也。吾人於此固未嘗改變其組成,徒改變其物理的性質而已。此等物理變化,雖極重要,然遠不若吾人所欲研究之化學變化之光怪陸離也。

11. 常見之化學變化——木材燃燒,產生多量之熱,燒後原木盡失,祇剩灰燼,此盡人知之者也。事屬常見,吾人於其意義每不加措意。實際燃燒後,原有之木材,既不復見,則其間當起有某種之變化無疑。又若鐵塊,即如鐵軌,露空氣中多時,當亦確切發生一種變化。初見其生殼皮,繼裂成棕色粉末之物,即所謂鐵銹。此際木材與鐵皆確定之物質,乃即在吾人之前,消失於一旦。是皆吾人所謂化學變化之例也[3]。木材之腐朽,牛乳之酸敗,肉類之腐爛,均同屬化學變化之常例;再如汽車汽缸中氣油[4]之爆炸,照相閃光燈

第9圖 照相閃光燈。

[1] reversible. [2] physical change. [3] chemical change. [4] gasoline.

(第9圖)中鋁箔之驟然燃燒,猛烈炸藥之爆裂,亦皆是也。凡此種種,其間必有若干物質消失,而生成若干新物料。此新物料之特性,與原物料莫不迥異。

12 化學變化中之實情——茲試觀數種典型之化學變化中之實情,殆亦頗有興趣在焉。

設投小鐵釘數枚於硝酸中(第10圖)。當見鐵溶解甚速,而生棕色之煙霧。如將此棕色液加熱蒸發,則餘剩棕色之固體(見圖)。此項固體顯已非初時之鐵,乃一種與鐵絕異之新物料。

第10圖 鐵釘溶於硝酸中而蒸發至乾。

如盛糖溶液於玻璃杯中,而注入少量之濃硫酸[1],即見起一種顯明之變化(第11圖)。頃刻間生黑色之泡沫,而失糖之所在,細察此黑色泡沫中之固體,則已無復原來之糖矣。

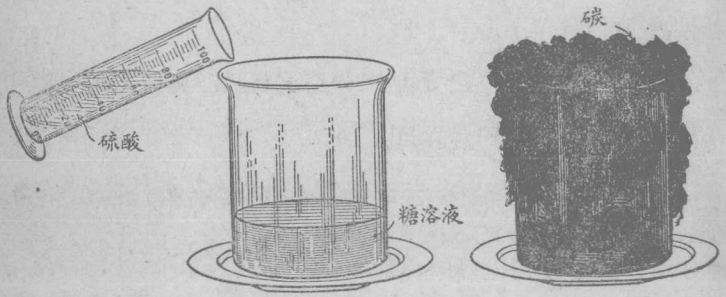
研細之硫黃及鉀粉[2],各少許可互相混合而堆置一處。此項混合物如接近燈火,則立生光亮,而冒出白色固體小粒之煙霧。此時互不見原來之硫,亦無原來之鉀,祇得一種白色之新物質,是謂硫化鉀。

凡各化學變化中均有一種或數種之物料消失而生成一種或數種之新物質。因每一化學變化中,皆自舊物質生成新物質,而每一元素,尋常不能直接變成他一元素,是可知化學變化者,實徒屬元素一度重新排列而成一新結合而已。

[1] 用60克之蔗糖,溶於水中;傾入60毛立之濃硫酸;此項分量較爲適宜。

[2] 鉀粉之重量約爲所用硫黃之二倍。

吾人復見凡一化學變化中,常有熱量產生,而往往亦發出光亮。



第 11 圖　加濃硫酸使糖焦化。

13. 物料之識別——吾人既知灰燼迥異於木材,又見鐵釘溶於硝酸而生成之棕色固體,迥異於金屬鐵。此皆就日常知識,即能一目了然於木材及鐵等普通物料之實爲何若。木棒與鐵棍間之區別,不難辨知,即棒上塗以黑漆,亦易識別。木材入水即浮,鐵則下沈。磁石能吸引鐵片而不吸木片。木材易着火,而鐵則不燃。一物質之此項特點,謂之性質。某種物料,苟知其此項性質若干種,即可識別而鑑定之。

例如,水之性質爲若何?盡人皆知純粹之水,爲無臭無味之液體,尋常亦無色,惟深水作綠色或藍色。水在標準壓力(760 毛米)下,於華氏[1] 32° (或攝氏[2] 0°) 時凝固 (結冰),於華氏 212° (或攝氏 100°) 時沸騰。不純之水,則每在較高之溫度時沸騰,較低

[1] Fahrenheit. [2] Celcius (or Centigrade).

之溫度時凝固。其最重要者之物理性，殆爲密度。如取某定體積（以毛立計）之水，於水 4° C.[1] 時秤其重量克數，當見每毛立之水，恰重一克。設取已知體積之汞（水銀）秤之，則見每毛立之汞，重 13.6 克。故一般可謂，凡物質之密度云者，卽一單位體積之重量也。在化學實驗室內，常以克計重量，以毛立計體積，故亦可謂凡物質之密度云者，卽該物質一毛立之重量克數也。例如鋁之密度爲每毛立 2.70 克，鉛爲每毛立 11.34 克。同樣，鋁之熔點爲 658.7°C.，鉛爲 327°C.。是可知物料有某數種性質，均可精密測定而以數字表之者也。

14. 化學變化之特點——取細碎之硫黃及鐵屑[2]各少許。硫爲黃色粉末，較輕，可溶於二硫化碳液中。鐵爲灰色之固體，質重，不溶於二硫化碳，而易爲磁石所吸引。試將二物混和，依硫約爲鐵之二倍（體積）之比例。以此混合物置試管中而加熱之（第 12 圖）。不久當見管內物料通體熾灼，此時雖將燈火取去，而熾灼仍可繼續若干時。可知管內當已起有變故，足能產生熱及光者。如將試管擊碎，而察其固體，當見其爲堅硬黑色之塊。磨成細粒，則知其無復具有硫若鐵之性質矣。是卽旣無可溶於二硫化碳，亦無可爲磁石所吸引者。

第 12 圖　加熱鐵屑及硫黃。

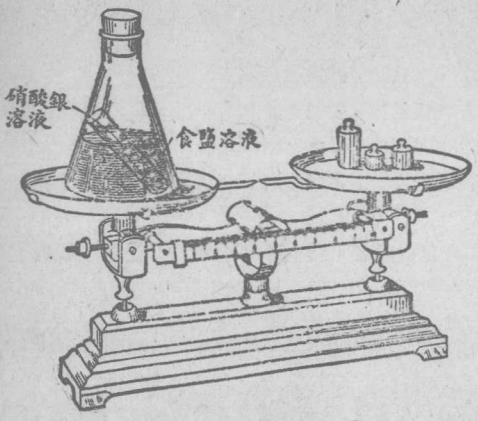
此實驗中鐵與硫二物質消失，而生成一種新物質，稱之爲硫

[1] 化學上常用攝氏温度計，而以 C. 表之。[2] 所取鐵之重量約爲硫之重量之 1¾ 倍。

化鐵。細察原物料之性質及其結果產物之性質，即可辨知。

15. 化學變化之又一特點——煤之燃燒又爲化學變化之一極重要之例。此其爲一種化學變化，證以下列諸理由，當無疑義：(*a*) 有新物質生成，即煙囪內逸出之氣體，及灰屑與熔渣；(*b*) 生熱；(*c*) 自產物不能復得煤；最後 (*d*) 剩餘之灰渣，其重量較原用之煤爲輕。但化學變化中，重量上起如此顯明之變遷，宜有深究之必要。此豈謂有一部分煤已毀滅乎？煙囪內逸出之氣體，重量爲幾何？此項實驗殊難求其進行甚爲精準，茲當另作一實驗，使於封閉器內起化學變化。

16. 化學作用中總重量不變——如將盛有鐵及硫之試管，在加熱之前後，細心秤之，當見其重量上不起變化。此乃化學上一普遍而又重要之事實，試舉另一實驗，甚易明之。



第 13 圖　封閉器中之化學變化，總重量不變。

任取二種物質，凡混和一處即易互起作用者均可。例如，設取食鹽溶液 25 毛立，盛入錐形瓶中，而以硝酸銀溶液少許，注入短試管。置試管於錐形瓶中，如第 13 圖。小心封閉瓶口，而秤其重量。於是將瓶傾欹，俾二清液

相混,即生白色之固體物質,是爲氧化銀。此化學變化足使溫度稍稍升高。俟瓶冷卻後,再秤之,可見其重量未嘗變動也。

同類之實驗,已精確試行多次,綜其結果,皆表示各項化學變化中所生成諸物質之總重量,與起變化諸物質之總重量恰相等。此即所謂物不滅定律[1]也,可簡括言之如下:

物[2]既不能創生,亦不能毀滅。

科學上之定律,乃羅列許多實驗所確證之一般事實,作一種簡要之札記。亦某種物料在某種情況下,其作爲常軌之一種敍述也。

第二章 提要

化學者,討論物料之組成及其所能起之變化。

物料之性質,乃藉以鑑定物料之特點,如色,硬度,味,密度,溶解度,熔點皆是。

物之三種物理態,即固體,液體,氣體是也。任何物質所見存之狀態,視物質本身之性質,及其溫度而定。

化學變化之要點爲:

1. 生成新物質。
2. 往往發生熱及光。
3. 自產物內取回原來之物質,常極困難,或竟不可能。

[1] law of conservation of matter. [2] 凡具有重量而佔有空間者統稱爲物。

物理變化中不生新物質。 往往極易使其變化反向逆行,而令物質回復原狀。

物不滅定律: 化學變化中生成諸物質之總重量與起變化諸物質之總重量恰相等。

問題

1. 試述水如何可使表顯物之三種物理狀態。
2. 試精慥述說物理變化之確切意義。捨本書所述外,另舉五例。
3. 試將鑑定物質應用之五種重要性質,列爲一表。
4. 今有砂與糖之混合物,將何以分別取回純粹而乾燥之各物?
5. 欲區分 (a)銅絲與鐵絲, (b)木材與鐵, (c)鋁及鋼, (d)糖粉及麪粉, (e)水及甘油,將各利用何項性質?
6. 硫粉與黃色玻璃粉,如何可以分離之?
7. 試舉一切物料所共通之性質數種。
8. 試捨本書所述,就各人所習知之化學變化,舉五例。
9. 將鐵錘擊即發熱。其間是否起有化學變化? 試述其理由。
10. 將火柴就匣側擦之,即生熱及光。起有化學變化否? 試述其理由。

* * *

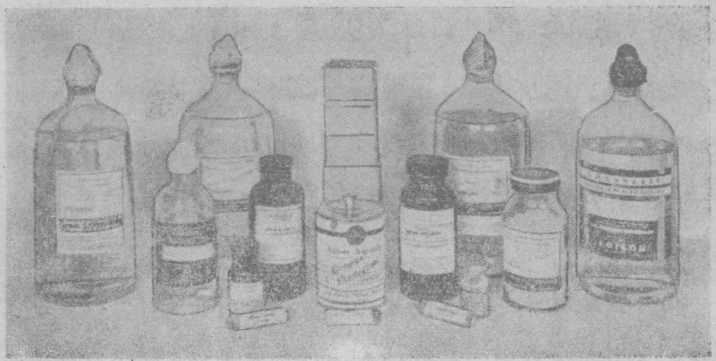
11. 一切物質均能令其表顯三種物理狀態否? 試解釋之。
12. 磨光之鎂與磨光之鉑,粗觀互似。試就此二金屬,各取一立方寸,均不加損壞,將何以分別辨認之?
13. 試述下列關於食事之作爲,孰爲化學變化,孰爲物理變化,並各舉其理由: (a)羊腿之烤炙; (b)湯之溫熱; (c)食物之消化; (d)溶糖於一杯咖啡中; (e)抽吸紙煙。
14. 置樟腦於衣物中即漸漸消失。此事是否爲物不滅定律之例外? 試解釋之。
15. 抄謄下列字句,而填入缺漏之字:科學上之定律,乃羅列許多——所——證之若干一般——,作一簡要之札記也。亦某種物料在某種——下,其——常就之一種敍述也。

第三章

元素及化合物

化學藥品——物質及混合物——化合物——元素——由元素製成化合物——化合物有一定之組成——混合物與化合物之對比——混合物之分離——元素之存額——金屬,合金,及非金屬——化合物之數目及重要。

17. 何謂化學藥品——化學實驗室所備用之物料,尋常稱爲"化學藥品[1]"。實際,凡屬實驗室內所用之物質,縱亦有家庭或工廠內使用者,概爲**化學藥品**(第 14 圖)。故如,化學實驗室



第 14 圖　數種普通之化學藥品。如硫酸;鹽酸;硝酸;氫氧化銨;金屬鋅及銅;氫氧化鈉;醚,硫酸銅;汞。

[1] chemicals.

內之金,糖,水,鹽,錫,鋅,硫,均屬化學藥品,而糖,鹽,水,於廚房內固以供食者也。吾人研習時當見尙有許多物質,今僅知其爲化學藥品,而他日容能證明其與人類有直接或間接之價值,亦未可知。欲將化學家所用之無數物料加以整理,而使其研究簡明,則非先設法爲之分類不可。

18. 物質及混合物——細察花剛岩及尋常之混凝土,當見其均係由許多不同之物質構成者。花剛岩中有三種不同之礦物;卽石英,長石,雲母是也。將岩石搗碎,此三種礦物卽各自分離。尋常之混凝土由水泥,砂及碎石混和而成。取前章鐵與硫之混合物察之,可就其中辨出硫粒及鐵屑。然如取鐵屑一堆察之,則見每顆鐵屑均與他顆相似,且若全具相同之性質。凡物料各部分均互相類似者稱爲勻淨[1],在化學家稱之爲物質[2]。凡物料含二種以上之物質,僅併置一處者,稱爲混合物[3]。故花剛岩乃一種混合物而非物質。硫及鐵則均爲物質,能攪和成種種之混合物。

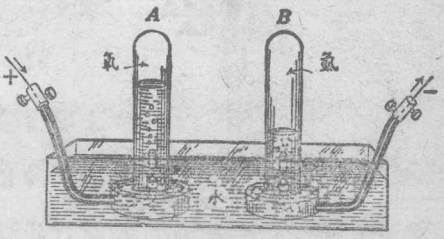
物質既爲勻淨之物料,則其各部當全具相同之性質。任取物質之一部試樣,當與他部試樣全相似。至若混合物之性質,則視所含各物料存量之多寡而定。例如,10 分鐵與 1 分硫之混合物爲灰色,10 分硫與 1 分鐵之混合物變爲純黃色。

[1] homogeneous. [2] substance. [3] mixture.

是可知混合物含二種以上之離立成分，各保持其固有之性質，不起變化。

19. **化合物**——物質之最重要而最常見者當推水。然雖純水亦非單物質，似屬可奇。利用電流即易將水分解成二種極不相同之物質.

取水(含少量硫酸)少許，置第 15 圖所示之器中。其中鉑電極與 6 伏特之蓄電池相連結。*A* 管中之電極，作爲陽極，與電池之陽(+)極相連，*B* 中之電極爲陰極。電流經過溶液自陽極 *A* 至陰極 *B*。兩極上均見有小氣泡升上；氣體之集於 *B* 中者，其速度二倍於 *A*。迨 *B* 管已集滿，將電流關斷，而驗所集得之各氣體。驗 *B* 管中之氣體，可將管倒持而小心以點着之火柴臨之。此氣體即舉淡藍色焰而燃燒，是謂之氫。如將他管倒持，而以燒紅之木片取近管口，則立刻火焰大發。此氣體即爲氧。其加於水中使水成良導電體之硫酸，仍留器中。



第 15 圖 水之電解。

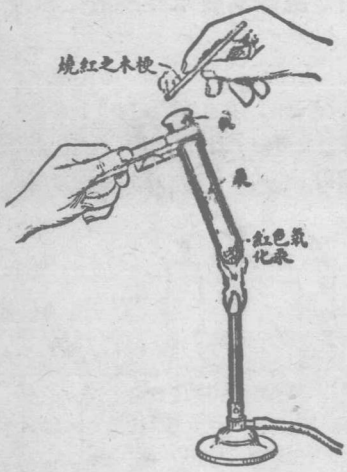
是知水可爲電所分解。此其作用即稱爲電解[1]，藉此可知水爲一種化合物。

20. **另一種化合物**——試察紅色氧化汞之粉末，顯係一種化學的物質，每一微粒均相類似。

取少許置硬玻璃試管中，如第 16 圖之方式加熱之。紅色之粉末瞬即成爲黝暗。如以一端燒紅之木梗，伸入管中，即立發火焰。此乃有何氣體放出，而非空

[1] electrolysis.

氣之證也。再察試管，則見紅色粉末之一部分或全體已告消失，而有微滴之汞（水銀）結集於管邊。在管之較冷部，成爲一種玻鏡。如加熱之時間，充分延久，則全部紅色粉末終至盡行消失。變成二種產物，一爲汞，乃銀樣之液體，用於溫度計（即寒暑表）中，一爲氣體，即所謂氧也。



第 16 圖　紅色氧化汞之分解。

是則藉熱可使紅色氧化汞一物質變成其他二種物質，汞及氧。凡物質可分解成二種以上之他物質者，稱爲化合物。故水及紅色氧化汞，均爲化合物。

21. 元素之定義——設就上項實驗，再進而加熱水銀，以期復得他物質；或用他種方法，試行分解之，則皆無成。同樣，氫及氧亦從未能分裂成爲他物質。凡物質未能分解爲更簡單之他物質者，稱爲元素。今日科學家認元素僅有九十二種（見本書第二十二章週期表）。一切化合物皆由此而成。

水竟由二種氣體所組成，其一能燃燒，一能使他物燃燒，較空氣猶速，吾人知此，殊堪稱異。又紅色氧化汞乃由一種銀狀之重液體及一無色之氣體所組成，亦似奇事。從而知化合物與組成之元素，其性質決無相類之處。

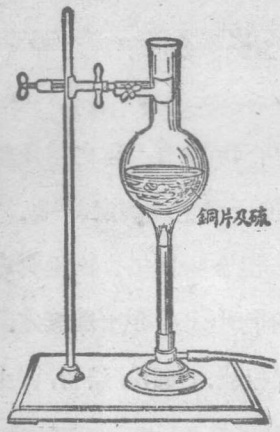
最先明定元素之意義者，殆爲波義耳氏。波氏於1661年聲述"元素者乃化學分析上之實限，或即用今日所知任何方法皆不能使其分解之物質也"。

22. 由元素製成化合物——今試由二元素製成一種化合物。與上述作用恰相反。

置少量之碘於研鉢中，而加汞數滴。初時二物質各自分處，不起變化；若用杵猛擦之（第17圖），則生成紅色之物質，與汞及碘皆絕異。此乃一新物質，一種化合物，稱爲碘化汞者也。

第17圖　碘化汞之合成。

金屬之銅，人所習知，具特殊之紅棕色；硫亦常見，乃黃色質脆之元素。若將銅片及硫粉各少許，共置小燒瓶中（第18圖）而加熱之，則混合物即起灼燒。二元素互相化合，而放出熱及光。設將燒瓶擊破，即得黑色質脆之固塊，既不似銅，亦不類硫。此時銅與硫已化合成一種化合物，即一硫化銅。



第18圖　一硫化銅之合成。

食鹽爲含有二種元素之化合物，一爲光亮銀白色之柔軟金屬即鈉，一爲黃綠色有毒之氣體即氯。糖爲碳及氫氧二氣體之化合物，碳爲一種元素，其成爲木炭者，乃吾人所常見。氫能猛烈燃燒，氧能使他物劇烈燃燒。化合物與其所含之元素，性質上莫不有若是可驚之懸殊。

23. 化合物有一定之組成 —— 化學變化或習常稱爲反應[1]。若以簡短之方式表之,當見便利,如:

$$\underset{(217)}{\text{一氧化汞}} \rightarrow \underset{(201)}{\text{汞}} + \underset{(16)}{\text{氧}}$$

在此所謂文字方程式中,箭號(→)讀作"生",加號(+)讀作"與"。括弧內之數字爲重量之比例。是卽 217 克之一氧化汞,生 201 克之汞與 16 克之氧也。

一氧化汞之量無論多少,分解結果,皆爲所用重量之 $\frac{201}{217}$ 或 92.6% 屬汞,而 $\frac{16}{217}$ 或 7.4% 屬氧。

銅與硫之化合成一硫化銅,可表之如下:

$$\underset{(64)}{\text{銅}} + \underset{(32)}{\text{硫}} \rightarrow \underset{(96)}{\text{硫化銅}}$$

此卽謂重量上 64 分之銅與 32 分之硫化合,生成 96 分之硫化銅也。

換言之,卽一硫化銅由 $\frac{64}{96} = 66.7\%$ 之銅及 $\frac{32}{96} = 33.3\%$ 之硫所組成。

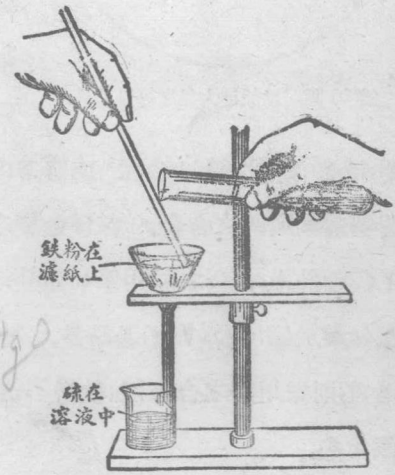
由極精細之定量實驗,可知凡屬化合物,均有一定之重量組成。全部化學,盡依據於此一基點,是卽所謂定比例定律[2]也。

24. 混合物與化合物之對比 —— 混合物與化合物主要之異點,卽在化合物有一定之組成,而混合物中之成分比例無定。水,澱粉,糖,鹽均爲化合物,各有一定之組成。麵粉,焙粉,泥土皆爲混合物,所含物料之量,得隨時變更。

[1] reaction, [2] law of definite composition (proportion).

混合物與化合物尙有他種異點，亦應識之，例如鐵及硫之混合物，與硫化鐵。在混合物中，仍可辨認硫及鐵之性質，而知其物料並不勻淨（§18）。至若化合物之一硫化鐵中，則確屬勻淨，其種種性質與鐵或硫均絕異。

25. 混合物之分離——混合物中各成分每易互相分離。例如鐵可用磁石吸引，與硫分離；硫亦可用二硫化碳溶出，而餘鐵（第19圖）。若化合物之硫化鐵，則其分成鐵及硫，手續無此簡便。欲將化合物分解成爲元素，大抵須藉劇烈之方法，如加熱至極高之溫度，或通以電流等。

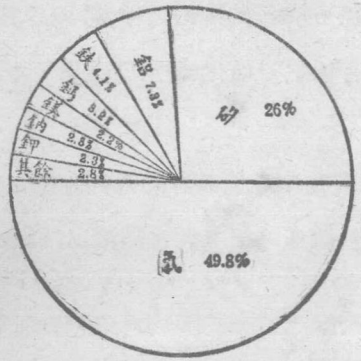


第19圖　藉濾過自硫之溶液中分離鐵粉。

混合物中，鐵與硫之粒子，祇彼此倚接；化合物中則元素與元素以化合作用互相結合，結果得與原有二元素絕異之物質。

26. 元素之存額——今日已知之元素雖有九十二種，然其中常見或重要者，僅約25種。誠如下圖所示（第20圖），則地殼連大氣在內，約有97%，僅爲八種元素所組成。

地殼內之元素，多數與他元素相化合而存在，是即成爲化合物者。偶有一二元素不起化合，即所謂成遊離狀態[1]者。銅，硫及金即其例也。



第 20 圖　地殼連大氣之約略組成。

因種種便利起見，可將元素分成金屬[2]及非金屬[3]二大類。金屬之特性，盡人皆知，如具有光澤及能導電導熱等。又多屬常見之物質，如金，銀，銅，鐵，鉛，錫，鋁，鋅。合金[4]或齊常由某數種金屬熔合而成。如黃銅爲銅與鋅之合金。每種金屬之配量，視其用途而定。輓近工程設計上，合金之爲用至切重要。鐵之合金(鋼)，其抗張力之堅強勝於鐵，成本亦不過昂貴。於某項使用上，如嫌此等合金過重，則採用鋁之合金；如欲得不銹之合金，則銅之合金，或不銹鋼尙矣。

非金屬之性質則較複雜，有氣體者(氧，氫，氮)，有固體者(硫及碳)。

存於人體中之元素，爲數殊少，其中且多半均存量極微。一般認爲動植物所必需之元素爲氧，碳，氫，氮，鈣，磷，鉀，鐵，鎂。然

[1] free or native state. [2] metal. [3] non-metal. [4] alloy.

活有機體中所起之化學變化，則至爲複雜，而此外存量微少之元素，或亦有同等之重要焉。

27. 化合物之數目及重要——元素既有九十二種之多，其互相交錯起種種化合而生成之化合物，爲數當甚可觀。今已知者，有五十萬上下，而新化合物猶日增月累。幸此等化合物，重要者究屬不多，故研究化學，尚不致有漫無際涯之嘆。且此等化合物亦可分爲若干類，每類之中彼此尤多相似。學者苟於較少數之化合物，有充分之知識，則全部化學之基礎，卽不難有堅確之把握矣。

第三章　提要

物質爲勻淨的，卽全體各部均相類似，而具同樣之性質。

元素爲一種之物質，尚未能分解成他物質者。元素可分成金屬及非金屬。合金爲二種以上金屬之混合物。

混合物乃二種以上物質，祇併合一處而成者。

化合物爲一種之物質，可藉化學方法分解成二種以上較簡單之他物質者。

定比例定律：凡屬化合物均有一定之重量組成。

化合物	混合物
組成一定。	成分之比例無定。
製造時吸收熱或光,或發放熱或光。	製造時通常無光或熱之表顯。
祇能藉化學方法令其分解。	每能藉機械的方法分離之。
爲化學反應之產物。	其中各物質並不以化學力結合。

問題

1. 試舉含有氧之化合物二種。
2. 水之爲一種化合物,將何以證明?
3. 何二種元素,構成地殼之約四分之三?
4. 水及紅色氧化汞中存在何種共同之元素?
5. 金以遊離狀態產出,汞則成化合狀態產出。其意何指?
6. 試將化學上習用之下列名詞,各作簡明之定義:(*a*) 元素;(*b*) 化合物。
7. 試盡舉金屬銅與非金屬硫二者之異點列爲一表。
8. 合金與混合物間,有何區別?
9. 有何三事爲一切化學變化之特點?
10. 就 *A* 行中選取一個(或數個)名詞,足爲 *B* 行內各字作最精確之釋義:

A	*B*
元素	空氣　鋁
化合物	黃銅　糖
混合物	麵包　檸檬水
物質	牛乳　水銀
	鹽　純銀

* * * *

11. 從化合物之外表上,可以述明其所存有之元素否?
12. 糖中含有碳元素,將何以證明之?
13. 設有一物質,加熱時不起分解,是否卽足以證明其爲一元素?
14. 鋁存量較多於鐵,何以鐵價反賤?
15. 何元素爲美國人所發見?
16. 元素表何以時時須加訂正?

17. 希臘人以土爲四種元素之一,試以近代化學之立場批評之。

18. 近代對於元素之定義與波義耳氏所擊述者有何不同?

* * * *

19. 由精密之實驗,知 7 克之鐵,適與 4 克之硫化合。當產生一硫化鐵若干克?

20. 試述問題 19 內引用之定律。

21. 由鐵 5.6 克,欲製一硫化鐵 8.8 克,應需硫之重量若干?

22. 一硫化鐵中鐵之百分率爲何? 其中硫之百分率爲何?

23. 試述問題 22 中所例證之定律。

第四章

氧 燃燒 臭氧

氧之重要——製法——檢驗——特點。拉瓦錫之燃燒實驗——氧化——燃燒之產物——氧化之速度——自燃——爆炸——着火點——滅火——氧之工業用途。臭氧。

28. 氧之重要——研究元素當自氧始。此元素之爲水及紅色氧化汞中所含元素之一，已見前述。又知其爲元素中分佈最廣產量最多者。後文將見許多岩石及礦石如砂石，石灰石等，均存有氧。氧爲大氣中最活潑之元素，以其與其他一切元素幾盡能化合而成氧化物[1]。無氧則吾人將感窒息之苦，而生命亦無以持續。氧又爲由燃料生熱所必需，蓋木材，煤炭，煤氣無此皆不能焚燒也。其於凡用油或煤氣點燈者亦然。如是，由於氧之產量既多且廣，化學性之活潑，及其於實際上之功用，則吾人於元素作系統的研究時，所以氧爲始者，蓋可明矣。

29. 氧之製取——1774年英國教士並化學家普利斯特利氏(第21圖)由加熱紅色氧化汞而製得氧。其熱力用透鏡密集

[1] oxide.

日光線而得。普氏取一燃點之燭,伸入所得之氣體中,當見其燃燒,較在空氣中更爲明亮[1]。

實驗室中則以加熱一種化合物名氯酸鉀者較爲便利。氯酸鉀用於醫藥上,又以製火柴及煙火。其值價遠低於氧化汞,而加熱時所生之氧爲量反多。氯酸鉀爲白色結晶形固體,乃鉀,氯,氧三種元素之化合物。熱至適當溫度(360°C.)即熔融;溫度如再昇高,則生氧之氣泡,最後餘剩另一種鉀與氯之化合物,稱爲氯化鉀。此變化可表之如下:

第 21 圖 普利斯特利 (1737-1804) 英國之牧師,氧之發見者,晚年居於美國賓夕爾凡尼亞。

氯酸鉀 → 氯化鉀 + 氧

[鉀 氯 氧] [鉀 氯]

將少許氯酸鉀於試管中小心加熱,至適達熔融,而投入一燒紅之火柴梗,不見有氧放出。如取名爲二氧化錳之黑色粉末少量,投入試管中,而再驗其有無氧。此時試管雖漸次冷卻,而反有氧發生,二氧化錳在此作用內不起變化。

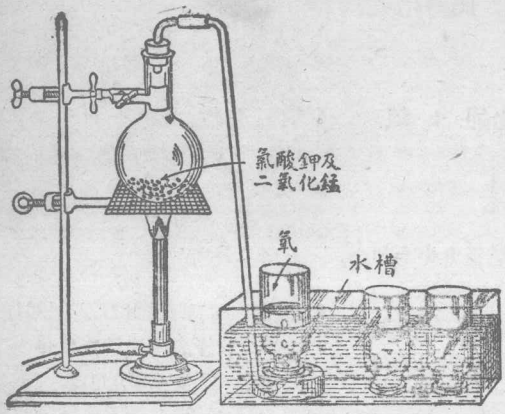
物質之改變化學作用之速度而自身不起永久之變化者,謂

[1] 約在同時,有瑞典藥劑師希來,亦以同法製得氧,惟其結果,直至數年之後始行公佈。

之觸媒[1],亦稱接觸劑。後此當見觸媒作用[2]於化學上占有重要之地位,蓋許多作用每可藉此而加速,結果即可減低種種工業上工作之成本也。

30. 氧之實驗數則——欲研究氧之性質,須有多量之氧。今日氧已成爲一種商品,可以購得其壓縮於鋼筒中者。用時可藉減壓栓洩出之。

然製取時,亦甚簡便,可用重量 4 分之氯酸鉀與 1 分之二氧化錳相混和,置薄玻璃燒瓶中,瓶口裝有導管(第 22 圖)。所生氣體集於若干廣口瓶中,各瓶內均預先盛滿清水而倒立水槽中。當燒瓶微受温熱,氧即經導管逸出,而自水中成氣泡通入瓶內。燄火應不時取去,以免氣體發生太激,致瓶爆裂。



第 22 圖 實驗室內製氧。

此時首當藉前述(§ 20)之檢驗,以完全證實確已取得氧。取一灼紅之木片投入一瓶中。木片如大發火焰,即可作爲氧之一種檢驗,蓋他種氣體具類此之性狀者僅有一種(氧化二氮)也。凡藉一種顯

[1] catalytic agent or catalyst. [2] catalysis.

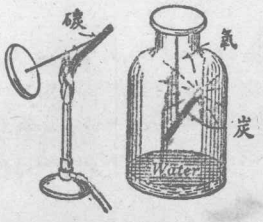
異之作爲或性質，以鑑定某一物質者謂之檢驗。

今請研究種種物質於氧中加熱或投入氧中時之作爲。

木炭： 用銅絲一根，纏緊木炭一小塊，加熱之，然後伸入氧瓶中（第 23 圖）；即發明亮之火焰。

硫： 於鐵匙（燃燒匙）中置硫黃少許，取近燈火，令其燃着，其時作淡藍色焰，若伸入氧中，則發極亮之光而燃燒。

鐵： 鐵條（如錄內發條）或鐵絲，亦能於氧中燃燒。先於一端髹硫少許，將硫燃着，而懸鐵絲於氧瓶中；硫即繼續燃燒，生極大之熱，足令鐵着火。鐵燃燒時火星四射，光芒奪目（第 24 圖）。（瓶底宜預襯砂一層）。

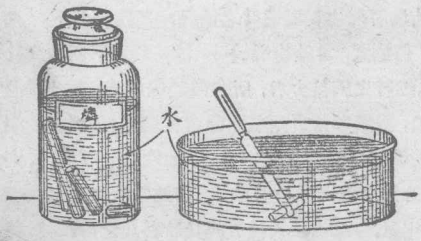


第 23 圖　燃炭於氧中。

第 24 圖　燃鐵於氧中。

磷： 磷爲柔軟之黃色物質，在常温時即能起火，故貯存時每浸於水中（第 25 圖）。取此物少許，置燃匙中，點着伸入氧瓶中，即大發火焰。其焰之猛烈，光之明耀，令人不可逼視。所生之白煙，即爲化學反應之產物。

31. 氧之特點——由上列種種實驗，可知氧之最顯明之特點爲：凡能於空氣中燃燒之物質，於氧中燃燒更速，且光亮增強。氧爲無色之氣體，不易溶於水中，故無於面水妨上集取。純粹之氣體



第 25 圖　磷須貯於水中。

無臭亦無味，較空氣略重。

凡表述物質之作爲之特點，常稱爲化學性。一種物料，祇藉其名稱，不足以知其底蘊；惟洞悉其所具之性質，始得謂爲對此物質確屬明瞭矣。

氧之性質

物理的	化學的
無色。	不燃燒。
無臭。	能助燃。
無味。	物料在氧中燃燒較在空氣中易且劇烈。
略重於空氣。	在常温時相當活動。
極不易溶於水中。	
可以液化及固結。	

32. 何謂燃燒？ —— 上見各種物質於氧中燃燒較於大氣中爲急速，故斷定氧於所謂燃燒[1]之作用上有重要之關係，其論甚當。燃燒爲重要之化學變化，吾人不可不加縝密之考察，而回溯前此關於本問題之若干實驗。

十七世紀之化學家創燃素說[2]，以解釋物質燃燒時之情況。其說略如下：凡可燃燒之物，據稱皆含有一種火料[3]即燃素，當該物燃燒時，即成爲火焰而消失於空氣中。餘剩灰燼，故如碳等物質，燃時生灰甚少者，所含幾盡屬燃素，依此說遂燃燒迅速。十八世紀普利斯特利氏，猶謂尋常之空氣中必含有燃素，因燃燒物繼續不絕有此燃素放出於空氣中也。彼且意想尋常之空氣中，如取除此項燃素，則當視前更能吸取燃素，而視前更適於使他物燃燒於其中。因此當彼認知氧與燃燒頗有關係時，即稱之爲失燃素之空氣。遂使法人拉瓦錫氏聆普氏之解釋後，善

[1] combustion or burning. [2] phlogiston theory. [3] fire-stuff.

用普氏對於氧之發見，而納世人於燃燒之性狀，入於正確之見解。此實一極重要之發見也。

33. 拉瓦錫之燃燒實驗——拉瓦錫(第 26 圖)爲法國名化學家，生於距今約 150 年。有尊之爲近代化學之鼻祖者，以其創立燃燒作用之正確解釋也。

拉氏取水銀少量，置曲頸甑(第 27 圖)中，甑之頸端伸入置大水銀槽內之鐘罩內。當用炭火將水銀熱至近於沸點十二日後，氏發見甑中及罩內所有之空氣失去體積之五分之一。驗其餘剩之空氣，投以燃着之木片不僅不燃，且行熄滅。可見空氣中能使物質起燃燒之物料已被除去。觀甑中，則見水銀面上有若干紅色粉末，具有先前普利斯特利用以製氧之紅色氧化汞之一切性質。

第 26 圖 拉瓦錫氏 (1743—1794) 法國化學家，爲近代化學之實際創業人，創燃燒之學說。

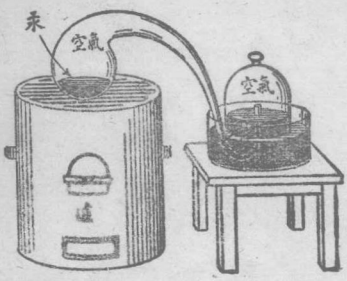
拉氏於是將此粉末置相當之器中，强熱之，而集其所生之氣體。氏所獲得之氣體，其體積適與原先空氣所縮減者相當。於此氣體中，許多物質均能猛烈燃燒。是則彼五分之一之空氣，卽爲此一種氣體，無疑。拉氏名此氣體曰 **oxygen**。彼復將上實驗中所餘剩之空氣與適量之氧相混，使回復原來之體積，則又造成具有尋常空氣之一切性質之氣體。因此氏卽證明空氣中之氧，乃燃燒作用所用去之惟一氣體也。

34. 何謂氧化？——物質與氧之反應，稱爲氧化[1]。當此反

[1] oxidation.

應進行急速至發生熱及光時，特稱之爲燃燒。煤炭，木柴，煤氣，煤油之焚燒，皆氧化作用之常例也；此時氧化進行急速，遂成爲燃燒。

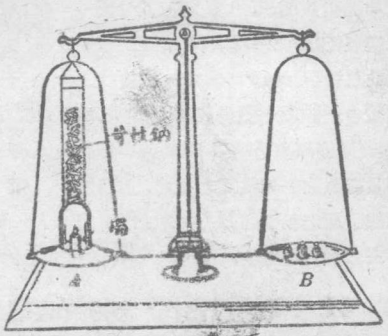
氧化作用之變化，進行甚緩，無明顯之熱及光發生者，其例亦多。鐵之銹化卽其著例。鐵與大氣接觸，則徐徐變成氧化鐵，俗稱鐵銹。故鐵之銹化，實恰似木柴之燃燒，所不同者，銹化作用過緩，不見熱及光耳。如有水存在，則能加速其作用。



第 27 圖 拉氏研究燃燒之裝置。

35. 燃燒後所生之產物 —— 燃燒既爲氧與所燃燒之物質間之化學變化，然則此變化所生之化合物爲何？各該物質所經之變遷爲何？蠟燭燃後，幾完全消失。此時燃燒之產物爲與氧相若之數種氣體，而不可目覩者。是乃水氣及一種所謂二氧化碳之氣體，可收集而權其重量。

置燭於天平盤 *A*，其上方懸一盛氫氧化鈉之管，氫氧化鈉能吸收水氣及二氧化碳二者。如是，既



第 28 圖 燃燒蠟燭所生成之產物較重於燭。

可權燭，又可權燃燒產物之重量（第 28 圖）。*B* 盤中置適當之法碼，使兩方恰得平衡。於是將燭燒點，當見燃燒進行，燭雖漸見消失，而 *A* 盤反漸重沈。是燃燒所生之物質，較未燃燒前之燭爲重。此因產物中除原存於燭中之元素外，另含有自空氣中得來之氧矣。

由此實驗可知燃燒後之產物，每較燃燒之原物質爲重。又一實驗亦可資例證同一要點，述之如次：

將鐵粉若干置坩堝中，於天平上用法碼精密衡其重量。取坩堝就燈火上加熱。鐵粉卽漸熾熱。是起一種化學變化之證。繼續熱五分鐘，然後冷卻而察之。坩堝內所存者，已另爲一種帶黑色之固體，類似鐵銹。如再置原天平盤上衡之，當見其重量視前大增。此增加之重量，又係由於空氣中之氧。氧與鐵化合成一種含鐵及氧二元素之新化合物也。

此等實驗，所以表示物質燃於空氣中時，因燃燒之物料與氧化合而生成新化合物。此項新化合物，因除燃燒物質之外，尙含有氧，故較原物爲重。就鐵而言，所生產物稱爲氧化鐵；其變化可表之如下：

鐵 + 氧 → 氧化鐵

氧化物者，乃一種元素與氧之化合物也。物質於空氣或於氧中燃燒，往往生成氧化物。

36. 氧化之速度——物質不同，其氧化之速度亦迥異。可燃燒之物料，雖於任何溫度均能與氧化合，但其速度大抵隨溫度之上昇而增加。實際就經驗所知，凡化學變化，溫度昇高，皆足以加速其進行。若磷等之物質，在僅較常溫略高之溫度時，氧化已甚急速，祇須稍露空氣中卽行發火。就次述之實驗，可以明之。

第 29 圖　磷之自燃。

將磷少許，溶於二硫化碳，取溶液數滴注濾紙上，而平放三腳架上。溶劑蒸發後，餘存之磷，佈滿全紙，每一微粒，均與空氣相接觸。少頃，即全體大發火焰（第 29 圖）。在此種狀況下，燃燒係起於常溫時。

37. 自燃[1] —— 上項磷之實驗，可明示所謂自燃之現象。浸過油之破布，而任其疏鬆堆置，每釀火災，即由於油質露於空氣中之面積既大，致起遲緩之氧化。破布導熱不良，其內層所生之熱量漸積漸多，終至全體起火。故凡此種油布，自宜貯諸密閉之金屬罐中。

於不通風之煤窖，或即露天大堆之煤，亦可發生自燃；又如麪粉廠及乾草棚等，如其因緩氧化所生之熱，無充分之空氣通風以驅散之，亦每致失火。即如倉廩廠坊中之濕草，易起發酵而生熱。此熱如無法散洩，則草藁亦能起火。此種情事類似者甚多，一般人往往不解其原因，而涉及迷信，目爲天火者，讀此當可瞭然矣。

38. 爆炸[2] —— 氣油蒸氣或燃煤氣等數種氣體，與適量之空氣或氧相混和，以火種燃點此項混合物，即起爆炸。煤屑麪粉等碎裂粉細之可燃性物，亦然。爆炸乃由於此等氣體混合物，或

[1] spontaneous combustion.　[2] explosion.

空氣中飛揚之塵埃,作極急速之燃燒所致。燃燒時放出大量之熱,而產生大體積之氣體。此項熱量施之於氣體,遂使其終於起猛烈之膨脹,是卽爆炸力之所由來也。麵粉廠等工場內,旣有此種劇烈可怕之爆炸發生,故近代新式工廠,多裝設除塵器械,及防免由靜電放出火花之設備。

39. 着火點[1]——燃燒速度最慢者,可以鐵爲代表。欲使鐵急速燃燒,須先使其成爲細粉,熱至高溫,而後置諸純氧之中。此已見前此一實驗中(§ 30),卽取鐵絲一束,末端蘸以硫黃,由硫於純氧中之急速燃燒發出之熱,使鐵昇達相當之溫度;此時鐵本身亦終於着火燃燒。

煤之燃燒,必先以木柴引火,木柴又必先以紙燃點,紙則取火於火柴,此盡人皆知之事也。在此順序中,每種物料之焚燒,所以增高次一物料之溫度,至其終亦着火而燃燒。一種物料於空氣中着火時之溫度,有時稱爲着火點。實則溫度徒釀成燃燒之情況之一而已。細碎鐵粉起燃之溫度較低於鐵絲,以其呈露於空氣中之面積較大也。除固體之物理情況外,其周圍空氣之壓力,以及有無觸媒(§29)存在,皆足以影響着火之溫度。換言之,支配着火點之情況,蓋有數種焉。

少許氣油燃於暴露之皿中,可無危險[2];如爲氣油蒸氣與空

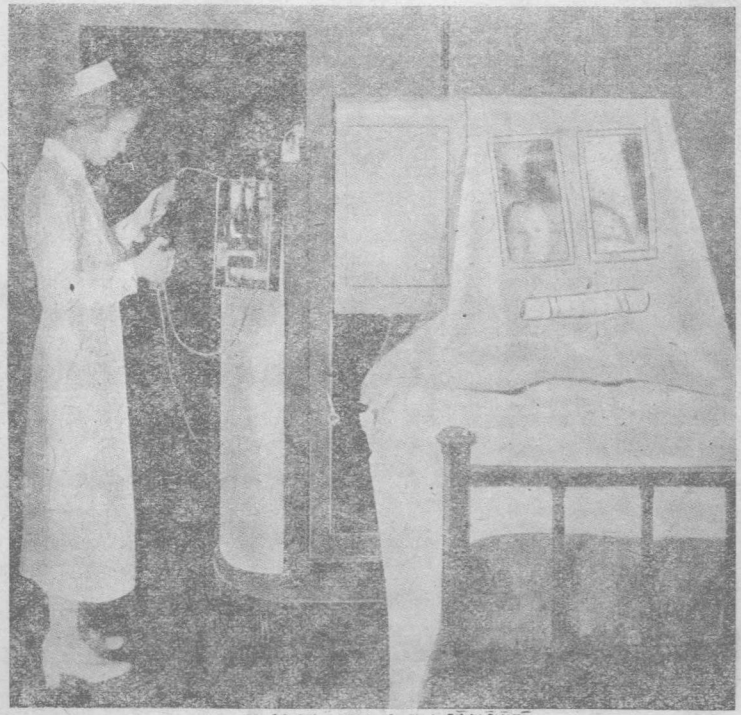
[1] kindling point. [2] 勿試作此項實驗。

氣之混合物，則燃燒過激，足致爆炸。故凡如氣油等之液體，切勿以之近火，蓋其蒸發既速，而蒸氣與空氣，即成一種爆炸劑也。

40. 滅火——欲滅火時，常以水灌澆燃燒物上，令其溫度降至着火點以下。如所備水量充足，此法大抵有效。滅火之法雖不一，要不外乎冷卻燃燒物，或杜絕空氣，俾無氧以供氧化。杜絕空氣有時可用毛毯。用水時，其大部之效力，固在降冷燃燒物，實亦兼收上述之二種功效。熄滅某數種之火，如氣油燃燒等，每用砂及石子，是則專以杜絕空氣而悶熄者也。所謂化學滅火器(見第十七章)，既有一種液體之冷卻效力，復具一種不可燃燒之濃密氣體之悶熄作用。此種氣體可令成若雲霧之瀰漫於燃燒物之周圍，以杜絕空氣。消防火災之又一法，則爲掃除鄰接之可燃性物。故有時爲掃除毘連火場之易燃物料起見，不惜炸去若干建築物。

41. 氧之用途——工業上用氧，今皆取之液體空氣，詳見後§81。液體氧沸點 −182.4°C.，氮之沸點更低 (−194°C.)，故後者較易蒸發。迨液體幾爲純氧 (約96%) 後，將其氣體壓入鋼筒。醫師有時以氧輸給患肺炎或窒悶之病人(第30圖)。又需要高熱時，亦每用氧以代空氣，如冶金用之氫氧吹管[1]及電石炬[2]。汽車汽缸中之碳分，通常亦用氧燃去之。潛艇及隧道等

[1] oxyhydrogen blowpipe. [2] acetylene torch.



第 30 圖 患肺炎者之氧氣帳幕。

處,每用裝以箱桶之氧以補大氣中之不足。航空家升至高空空氣稀薄之處,其所能得之氧祇及常量之半,每發生窒塞昏迷之事。故特創一種設備,將所需之氧貯於箱中,而由一連接管通入罩口鼻之面具內(第 31 圖),以取給之;此項器具,稱爲氧氣呼吸器。凡軍事飛機,飛至 10,000 英尺以上之高空者,今均已有此設備,以使用人工氧氣。撲救礦火,防護礦工因毒氣體中毒及毒

第 31 圖　高空飛航者所用之氧氣面兜。

氣戰爭時，亦皆用此種器具。

42. 臭氧[1]氧之另一形體——電火花通過空氣或氧，即覺有一種奇臭。今已知其由於另一種形體之氧，即所謂臭氧而然。

臭氧重於尋常之氧一倍半，而較易溶於水中。常溫時爲遠較急速之氧化劑。以其能氧化多種產自動植物之化合物，故亦爲一種漂白劑。歐洲之大城市有用爲給水之消毒劑者。有謂可供室內或大廳空氣清潔之用，但尚未見十分成效。然臭氧確爲一種去臭劑。

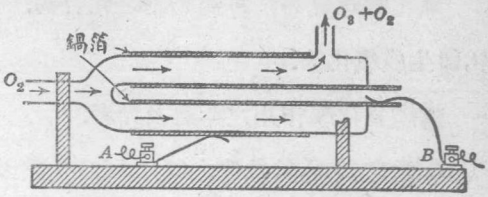
第 32 圖之裝置，用以製臭氧，惟僅約 7% 之氧能變成臭氧。當其由氧生成，同時吸收電能；反之當回復成氧時，即放出成爲熱之能。此項作用，可表之如下：

$$\text{氧} + \text{能} \rightleftarrows \text{臭氧}$$

同一元素，所含能之量不同之各種形體，稱爲同素異形體[2]。其不穩定之一種形體（此處爲臭氧），有傾向放出能，而變成較穩定

[1] ozone.　[2] allotropic form.

之一種(氧)。其他元素,如磷,硫,碳,亦有同素異形物,當於後數章中述及之(第十五,十七,二十五章)。



第 32 圖 由氧變成臭氧之裝置。
A 及 *B* 乃兩極與一感應圈相連結。

第四章 提要

氧之製取:

(*a*) 加熱紅色氧化汞(歷史的)。

(*b*) 加熱氯酸鉀(實驗室)。

(*c*) 蒸發液體空氣(工業上)。

觸媒爲能改變一化學變化之速度之物質,但其本身在作用內不起永久之變化。例如,加二氧化錳於氯酸鉀,所以使氧能於較低溫度時放出也,於同溫度時自遠較迅速。

氧爲無色無臭之氣體,較空氣略重。與其他一切之元素幾盡能化合。

氧用於工業上以產生熱及光,以供金屬之熔融,割切,冶金等。又用於航空家及礦穴與病房內之呼吸器具中。

氧化者乃物質與氧化合之作用。

氧化物爲氧與任何他元素之化合物。元素燃於氧或空氣中,卽生成氧化物。

燃燒爲化學作用之生熱及光者。

尋常之焚燒,爲急速之氧化,同時生熱及光者。

爆炸乃由於某數種氣體之混合物,可燃性塵埃與一種氣體之混合物起急速之燃燒而發生。

着火點爲物料發火而燃燒之最低溫度。

自燃之發生,乃因物料於常溫時所起緩氧化而生之熱,積聚久時,使昇至着火點。

一切化學變化之速度,因溫度昇高而增進。

元素有時有二種以上之形體(同素異形體),以其所含能之量不同,故其性質亦各異。

臭氧乃氧之同素異形體,由無聲放電之作用而生成。不穩定,爲強氧化劑。有用以淸潔給水者。

問題

1. 試舉不起氧化之金屬三種。
2. 如何能防免金屬之銹化?
3. 金屬生銹或銹化時,其重量變更否?
4. 氧何以有稱之爲"助燃物"?
5. 火柴燃點後,何以其全梗不立卽着火?
6. 同一木材,其片屑何以較整段者燃燒迅速?
7. 試舉三物質,其着火點均較煤低。此等物質,於使煤生火時,有何利用?

8. 試舉足以影響物質之着火點之三項情況。
9. 能有不起燃燒而發生光者否?
10. 換氣不良之煤棧中,堆煤過密,何以每釀火災?
11. 浸漬亞麻仁油之破布,堆置橱櫃內,何以每致起火?
12. 處置沾有油膩之布,以何法爲穩妥?
13. 如身上衣服着火,應若何撲滅之?
14. 水何以能熄火?
15. 救火員及礦工,何故需用氧氣面兜?
16. 汽車商鋪常需用氧氣,其目的何在?
17. 氧有何醫藥功用?
18. 新式戲院舞臺上之帷幕,以石棉製之,何故?
19. 臭氧何以爲較氧尤活潑之氧化劑?
20. 欲於實驗室製多量之氧,何以不採用普利斯特利氏加熱一氧化汞之方法?

* * *

21. 通風完善則燃燒加速,何故?
22. 何種生物,有賴於氧於水之微小溶解度?
23. 鐵銹化時,消耗空氣之一部分,將如何以實驗證明之?
24. 氧於成層圈之飛行有何功用? 何故?

第五章

氫及其用途

所在——提淨——自水及酸類製取——取代——簡單取代順序——實驗以解明其性質——化學作爲——還元作用——用途。瀰散。分子運動說。

43. 氫之所在——水中之元素，前已論其一——氧；本章請述其他一元素——氫。氫亦爲一種氣體，惟自然界中以遊離狀態存在者，爲量無幾，非如氧然。天然煤氣中存有少量之氫；天然煤氣乃世界上某數部分自地層內所發生之可燃性氣體混合物。今日用以供熱及光之煤氣，有利用天然煤氣者，如美國即約占半數。又有以水煤氣[1](§ 413)供同樣之

第 33 圖　卡汾狄士 (1730—1810)英之富人，畢生隱居，從事化學及物理之研究。

[1] water-gas.

用途。水煤氣約含 38% 之氫。動植物及人體中亦有氫，與他元素化合而存在。

1766 年卡汾狄士[1]（第 33 圖）確定氫爲一種元素，未幾氏復證明氫燃燒後，水爲其唯一產物。然名此元素曰 hydrogen（水之產生者），則爲拉瓦錫氏，乃 1783 年之事也。

44. **氫之提淨**——純氫無色無味無臭。惟如用鐵製氫時，則所得氣體，具有明顯之臭，以鐵絲或鐵屑中每存有雜質也。即用商品之鋅及酸製取時，亦然。若將所生氣體通過含有氫氧化鈉及高錳酸鉀之溶液中，則可除去大部之雜質，其臭亦遂消除。於是再用粒狀氯化鈣等乾燥劑，使吸收製氫時混入之水氣。

45. **自水製氫**——前（§ 30）見鐵熱至相當高溫度，即與氧化合。吾人可利用此項性質，以得遊離之氫。如於瓷管或鐵管中，將鐵絲熱至紅熱，而通過水氣，熱鐵即與水氣中之氧化合而氫遊離，可設法集取之。此項實驗中所起之反應，可表之如下：

$$\text{鐵} + \underset{\left[\begin{smallmatrix}\text{氫}\\\text{氧}\end{smallmatrix}\right]}{\text{水}} \rightarrow \text{氫} + \underset{\left[\begin{smallmatrix}\text{鐵}\\\text{氧}\end{smallmatrix}\right]}{\text{氧化鐵}}$$

自水取氫，另有一法，更爲簡單。用相當之金屬，及在常溫時之水。將少許金屬鈉投於水面，即立起作用（第 34 圖）。鈉極輕，

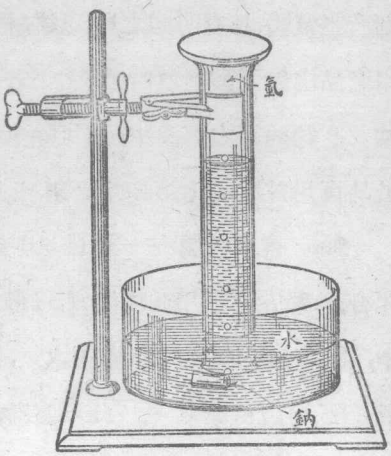
[1] Henry Cavendish.

第 34 圖　金屬鈉在水上。

新切之鈉，用錫紙包裹，而於紙上刺孔數處。將其投入水槽中，即生氫氧氣泡，可集於盛滿水之倒置圖筒中(第 35 圖)。

如用鉀代鈉，其作用更爲猛烈，生熱之多，足令所生之氫着火。用鈣則鈣沈於器底，故將盛水之瓶倒置金屬上，以集取所生之氣，至便易也。此等作用中，金屬均僅令水中放出半量之氫，而與餘剩半量之氫及全部之氧化合成化合物，是卽所謂各該金屬之氫氧化物。鈉與水之化學反應，可表之如下：

發嘶嘶之聲而迴游水面。作用之末，每起輕微之爆炸，故應以玻璃片蓋於燒杯上，以護眼目。鈉作用於水所生之氫，可如下法集取之。



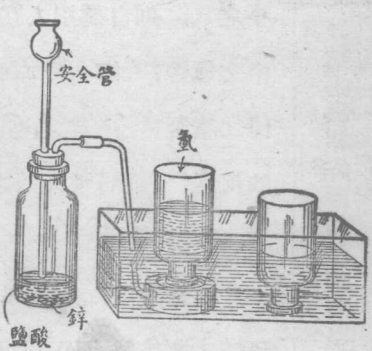
第 35 圖　鈉與水生氫。

$$\text{鈉} + \text{水} \rightarrow \text{氫} + \text{氫氧化鈉}$$

$$\left[\begin{matrix}\text{氫}\\\text{氧}\end{matrix}\right] \qquad \left[\begin{matrix}\text{鈉}\\\text{氫}\\\text{氧}\end{matrix}\right]$$

氫氧化鈉及氫氧化鉀均易溶於水中，氫氧化鈣則大部分不溶解而見其懸浊[1]於水中。

46. 金屬與酸類之作用——實驗室中最簡易之製氫法，爲以某數種金屬與酸類作用。酸類者乃含有氫之化合物。此外固尙具有其他若干特性，當另章論之。最普通者爲硫酸，乃厚重之液體，可與水以任何比例互相攙和。96% 之純酸液卽爲濃硫酸；將濃酸若干徐徐傾入體積四五倍之水中，可製成稀酸。稀硫酸能與商品鋅粒起猛烈作用，而產生氫。如鋅與酸均屬純粹者，作用進行甚慢；若加少許硫酸銅溶液於酸中可以促進之。



第 36 圖　實驗室內製氫。

取一玻瓶，瓶塞穿有二孔，置鋅於瓶中(第 36 圖)。以長頸漏斗插至瓶底，用以注酸液，亦以代安全管者。他管導所生之氫入水槽中，可於此處用瓶集取之。

此處所起之反應，可表之如下：

$$\underset{\text{鋅}}{Zn} + \underset{\text{硫酸}\ [\text{氫硫氧}]}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{\text{氫}}{H_2} + \underset{\text{硫酸鋅}\ [\text{鋅硫氧}]}{ZnSO_4}$$

[1] suspend.

反應中他一產物硫酸鋅，爲一種白色固體，可溶於水中，將瓶中所餘之液體蒸發，卽能取得。於此可知鋅元素已取硫酸中氫之位置而代之，氫則成爲遊離元素。此乃另一種之化學變化，稱爲取代[1]。此處卽一元素自一化合物中取代其元素之一，使其遊離，而與化合物之剩餘成分相化合也。

鋅以外尙可用他種金屬，如鎂，鋁，鐵，依此法以製氫。他種酸類，如稀鹽酸等，亦可用以代硫酸。

47. 簡單取代順序——就氫之製取，見鋅等金屬能取代酸中之氫。則自將引人疑及任何金屬，均能取代任何酸中之氫否？抑金屬亦能自一種化合物中取代其他任何元素否？換言之，卽此項取代，是否爲一種有標準的反應？欲尋求此問之答案，則試一究附表中之金屬，可知其妙用。

鉀 鈉 鈣 鎂 鋁 鋅 鐵 鉛 氫 銅 汞 銀 鉑 金

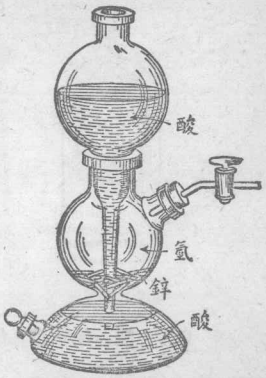
就實驗上知凡氫以上之金屬，均能自稀鹽酸及稀硫酸中取代氫，而氫以下之金屬，則無能自此等稀酸中取代之者。吾人又將見此等金屬，實按照其活潑性之次序排列，鉀最爲活潑，而金則最不活潑。關於金屬之此項排列，於第三十一章內當再詳論之。

48. 氫之實驗——吾人作多種實驗，均須有連續不絕之氫氣流。啟

[1] displacement.

普發生器[1](第 37 圖)可供此用。至爲便捷。此項裝置，安排成常有少量之氫屯積於中間之球中。旋開活栓，積氣逸出時，新鮮之酸卽自行從下球升上，與鋅作用，鋅亦置中間之球內。此度作用，足以補充消耗之氣體。如所生氣體太多，酸液卽被迫下退，與鋅相離，而作用停止。如此卽得連續不絕之氣體矣[2]。

先取一廣口瓶，貯滿氫氣，而以燈火近瓶口；如氫中混有空氣，卽起微弱之爆音；如絕無空氣，則氫平靜燃燒。



第 37 圖　製氫用散普發生器。

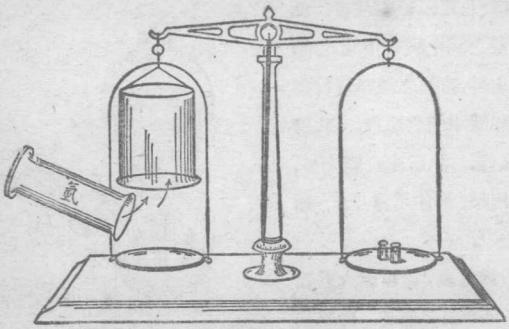
取另一瓶氫氣，如將瓶口向下，而舉高，隨插入燭火(第 38 圖)，卽見氫在瓶口四周燃燒，而燭火熄滅。將燭火抽出，則經過燃燒氫之時，又復點着。如此可反覆數次，至氫氣燃盡而止。由此精密之實驗，可以見物質不能在氫中燃燒。

第 38 圖　燭火於氫中不燃燒，而氫本身燃燒。

欲知氫之重量究若何其極輕，可將普通之煙管(黏土製)接於氫氣發生器上，以煙斗浸肥皂液。於是通出氫氣，卽可形成肥皂泡。每一肥皂泡離去煙斗口時，均立刻上升空際。

關於此點更有一精準之實驗。將燒杯倒懸天平之一端，於是騰入氫氣(第 39 圖)，懸燒杯之一端卽行上升。

[1] Kipp generator.　[2] 氫爲一種商品，壓縮於鋼筒中以出售。

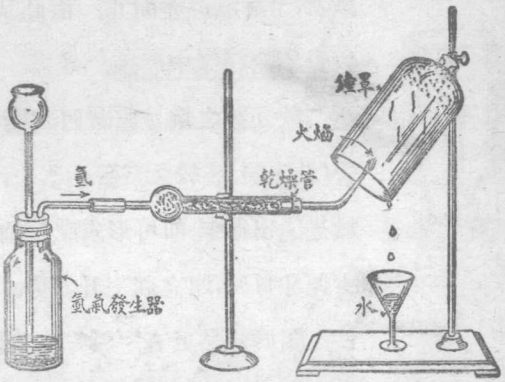


第 39 圖　使氫膨入燒杯內，令其飄輕。

次將等體積之空氣及氫相混；卽在水槽上取氫時，當氫盛及一半，將瓶取出水槽，空氣卽取水之位置而代之。如以燭火臨近此種氣體混合物，卽生響亮之爆音。

如有未與空氣相混和之氫，可以黏土管莖，接於發生器上作爲燃口，而令氫燃點。其焰極熱，光則極弱；幾爲無色，僅略帶藍色而已。

欲知氫在空氣中燃燒之產物，可將一乾燥管（第 40 圖），內貯氯化鈣，接於燃口及發生器之間。迨全裝置內空氣盡被排除後，將氫燃點，卽舉小焰而燃燒。如以冷而乾燥之鐘罩罩



第 40 圖　燃燒氫以生水。

臨火焰之上,如第 40 圖所示,則不久有水氣凝結於罩上,少頃即成水滴,沿罩邊滴下。

49. 氫之物理性——由上項實驗,可略知氫之特性。純粹之氫爲無色無臭之氣體,如氧然。其重量爲氧之十六分之一,實乃一切已知物質中之最輕者。氫既爲若是其輕之氣體,故其由微孔逸出至速。充貯氫氣之橡皮氣球,較充貯煤氣之同樣氣球,易於收癟,即以此故。氫溶於水中之量極微,較氧猶少。

如將氫先行充分冷卻,可由壓縮而令其液化。液體氫亦無色。如任其急速蒸發,即凝成無色之固體。

50. 氫之化學作爲——前見氫能燃於空氣中,其生成物爲水,乃氫與氧之一種常見之化合物:

氫 + 氧 → 水

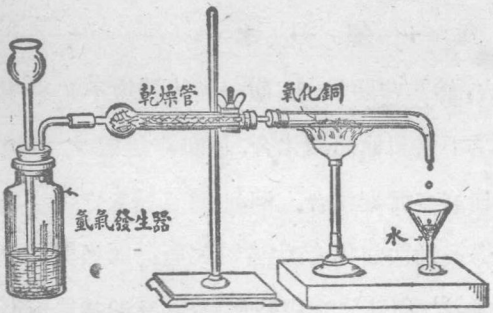
氫本身雖易着火,然並非助燃劑;即一切物質均不能在其中燃燒。在常溫時氫不易與他元素化合,是即非活潑之元素。但在某種情況下,能與許多元素化合。例如,將氫與氯之混合物露日光下,二者即起爆發性猛烈化合,生成氯化氫。氫與氮在適當情況下,能相化合成氨[1],與硫化合成硫化氫,其臭即爲腐蛋所特具者。如將氫與氧之混合物加熱至約 800°C.,則起猛烈之爆發而成水。

[1] ammonia.

製成含氫二體積及氧一體積之混合物 (§ 19), 而通入肥皂水中,使生成充盛此項混合物之泡沫。 先取去發生器,然後將此泡沫置近燈火 (用長煤氣燈焰光)。此混合物即起爆發,聲如彈擊。

氫與氧在較高之溫度時, 固能起極猛烈之化合, 然在室溫時,則二者可任其共置甚久而無所影響。惟加以某種金屬,如鉑之細粉等,則即起化學反應,有時鉑竟因此項化合所生之熱而被灼成紅熱。 鉑本身不起變化, 惟呈觸媒之作用耳。 觸媒之作用,可譬之機械上用作減摩劑之油。軸承上塗以油類,所以使輪轉潤滑;觸媒之加入,所以使化學變化起於較低之溫度也。

51. 還元作用[1] —— 氫不但能與氧於加熱時起化合, 且能自一氧化銅等許多化合物中取去氧。



第 41 圖 氧化銅(黑色)還元成金屬銅(紅色)。

一氧化銅爲一種黑色之固體, 由銅及氧二元素組成。 將金屬銅加熱於空氣中, 即生此物。 此項氧化作用進行迂緩, 然全部之銅則逐漸皆變成氧化物。

第 41 圖之裝置中, 令乾燥之氫通過燒熱之一氧化銅。 一氧化銅置玻璃管內, 而以火熱之,至近於紅熱。 於是將氫通過其上。 當有水生成而凝於管中。 金屬銅留於管內,由其紅色及金屬光澤可以知之。 氫何以必須乾燥?

[1] reducing action or reduction.

氫與某一化合物中之氧化合，而卽取除其氧，此時稱該化合物被所還元。故還元作用實質上卽指屬氧之去除。作用中氫與氧化合而生成水。其變化可表之如下：

氧化銅 ＋ 氫 → 水 ＋ 銅

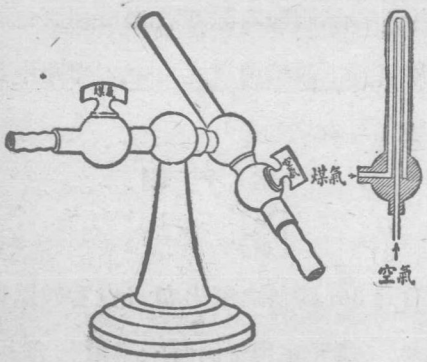
[銅 氧]　　[氫 氧]

一物質與氧之化合，前（§ 34）旣稱之氧化，故此處實卽氫被氧化，而一氧化銅被還元也。還元作用每同時附隨氧化作用。蓋如一物質被還元，則必有他物質起氧化也。氫以外尙有他種具還元劑作用之物質，如碳卽是，"氧化"及"還元"二名詞，後將見其每有較廣之意義焉。

52. 氫之用途——氫氣甚少實用。向因其爲最輕之已知氣體，用以充盛氣球及飛艇。惟近年以其爆炸之危險，已有美國以氦代之者矣。氦雖略重於氫，但不能燃燒。動植物油之變成硬化脂肪，亦須利用氫氣。此法謂之氫化[1]（第三十章）。

氫燃燒時之火焰，熱力至高，如於適當之燃燒器內，將氧壓入氫中，其熱力尤強。此項燃燒器與第 42 圖之形式甚相似。圖中所示者，爲尋常之鼓風燈[2]，用燃煤氣及空氣而非氫及氧。氫氧焰具極高之熱力，故用以熔融鉑及其他高熔點之金屬。又鉛銲法中亦用之。此卽將鉛皮或鉛管熔融而互相接合之方法

[1] hydrogenation.　[2] blast lamp.



第42圖 鼓風燈。

也。近年有一新應用，即所謂"原子氫"焰[1]，見第八章。氫又爲合成氨製造上所必須(§270)。工業上製鹽酸，亦用之。此處氫與氯相化合。氫有大量用以與一氧化碳相混和，成所謂水煤氣，以作燃料之用。工業用氫，常由電解水以製之。(§19)

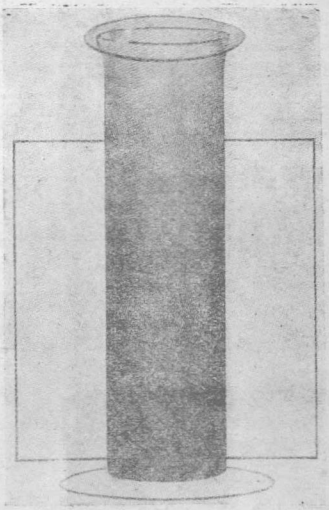
53. 瀰散[2]——將盛氫之圓筒，口向下而置於他一盛氧之圓筒上，而放置少時。經數分鐘後檢驗之，即知二圓筒內均含兩種氣體之一種勻和混合物。此可見氫氣重量雖輕，亦向下移動，而氧雖重於氫約十六倍，亦未嘗不向上移動也。一切氣體莫不具有此種變常之運動力。凡氣體互相均勻混和之作用，稱爲瀰散。各種氣體之瀰散入某一氣體，譬如空氣，其速率視其密度而定，氣體愈輕，則其混入他氣體愈速。氫之瀰散速率，乃一切氣體中最大者。其混入空氣之速度四倍於氧。

溴蒸氣等具有顏色，其瀰散作用易於觀察。將溴少許注圓筒中，其紅色液體

[1] "atomic hydrogen" flame. [2] diffusion.

立即蒸發，而蒸氣雖重於空氣五倍，卻仍向上瀰散，佈滿全圓筒（第 43 圖）。

54. 藉分子運動說[1]解釋瀰散 —— 今日一般咸認一切物質均由非常微細之粒子構成，此細粒子即所謂**分子**[2]是也。又認某一物質之一切分子盡相類似。在固體及液體中此項分子結合頗密，在氣體中則散佈廣疏，其間有不少空隙間隔。其後又假定氣體之微粒子常在向各方向急速飛行，且均依直線進行，除非互相撞擊，或觸及容器之壁致被折回。氣體之分子似皆無留駐某一地位之傾向。此即氣體瀰散之所以若前節所述之如是急速，而能佈滿整個容器也。一切氣體之分子在尋常情況下均認其常在急速運動，此點吾人可謂其具有動能[3]以解釋之。



第 43 圖　溴蒸氣向上瀰散。

氣體之諸定律（見附錄）均可藉此所謂分子運動說以解釋之。例如，其解釋氣體壓力，由於氣體分子之撞擊於容器四壁，有將四壁向外衝推之勢。又按照此說，則氣體受熱時之膨脹，當由於其分子之運動增速之故。結果因每一分子彈回時，碰撞更

[1] kinetic-molecular theory.　[2] molecule.　[3] kinetic energy.

烈,而生更大之壓力,制勝於反壓力,遂致氣體膨脹。汽車汽缸內爆炸之氣體之作用,其著例也。

55. 氫之新發見之形體 —— 1929 年朋罕佛氏[1]由實驗證明有二種物理性互異之氫。尋常之氫,在常溫時,其中三分屬一種之氫(順氫[2]),一分屬另一種之氫(對氫[3])。此等物質之討論,詳見於關於分子結構新學說之較深之書本內。

最近 1932 年有三美國化學家,爲哥倫比亞大學之烏萊[4](第 44 圖)及茂斐[5]與聯邦標準局之勃立克維特[6],指陳有一種之氫,與尋常之氫甚相類似,惟二倍其重量。經被稱爲氘[7]。再近又發見另一種之氫,三倍重於尋常之氫。諸此之形體,謂之氫之同位元素[8],簡稱同位素。於第十八章內當再詳論之。

第 44 圖 烏萊氏(1893—)。因其發見氫,於 1934 年得諾貝爾獎金。

[1] Bonhoeffer. [2] ortho-hydrogen. [3] para-hydrogen. [4] Harold C. Urey. [5] Murphy. [6] Brickwedde. [7] deuterium. [8] isotope.

第五章 提要

氫之製取：

(*a*) 水與一種金屬間起反應；

(*b*) 一種金屬自一種酸類中取代(實驗室方法)；

(*c*) 水之電解(工業上方法)。

氫爲無色無臭之氣體。爲已知氣體中之最輕者，其瀰散較其他任何氣體爲速。

氫燃於氧或空氣中，生成水。氫爲強有力之還元劑。一物質爲氫所還元時，卽氫被氧化。還元每附隨氧化作用。

氫之用途： 充盛氣球及飛艇；油類之氫化；用以生高熱之氫氧焰；合成氨之製造；又作燃料(與他種氣體混和)。

氣體之分子運動說，假定 (1) 氣體乃佈滿極微粒子之空間，(2) 此等微粒子(分子)在尋常情況下，以極大之速度向各方飛行。

氫之新發見之形體包括二倍重於尋常氫之氫，及三倍重之一種。

問 題

1. 試述自水製氫之方法二種。
2. 一切酸類中均存有何元素？
3. 設有氫與空氣相混雜，將何以檢驗之？
4. 比較氫與氧關於(*a*)色；(*b*)臭；(*c*)密度；(*d*)水中之溶解度；(*e*)可燃性。

5. 卡汾狄士氏發見氫時,彼稱之爲"可燃性之空氣",何故?

6. 集取氫時須用水槽否?

7. 試述氫之四種重要用途。

8. 氫由於何種性質,故用以充盛氣球時,爲一種危險性物質? 美國政府對此問題如何解決之?

9. 吾人何以不用氧充盛氣球?

10. 燃着之燭火,伸入倒置之氫瓶中,可以例證氫之何二種性質?

11. 欲將氫一瓶,保留過夜,將如何安排之?

12. 燃氫成水之實驗中,何以須將氫先乾燥之?

13. 試說明氫氣發生器中之長頭漏斗管,何以有安全管之功效?

14. 氫氧吹管中,何以將氫通入內管,而不入外管?

15. 氫自氣球之小孔內洩出,較空氣爲速抑爲慢? 何故?

* * *

16. 鉾與鹽酸作用時,自鉾面起發氣泡。 如鉾爲一種元素,則此項現象如何可認其爲確實?

17. 一定重量之鐵,能令無限重量之汽分解否?

18. 曾見有無氧化作用之還元作用否?

19. 曾見有無還元作用之氧化作用否?

20. 一氧化銅粉末與炭粉,用何種化學檢驗法可以區別之?

21. 純氫可用於本生燈中以代煤氣否?

22. 純氫可供作完善之燃燒氣體否? 試解釋之。

23. 煤氣於煤氣爐之燃口上能安靜燃燒,但如有若干量逸出室內而燃燒時,即起爆炸,其故何在?

24. 牢記鈉與水作用時若何之猛烈(§ 45)。 吾人身體內含鈉約 28 克,當入水游泳時,亦曾計及此否? 試解釋之。

25. 試舉前此已讀知之三種方式之化學反應,並各舉一例略述之。

第六章

水及其組成 二氧化氫

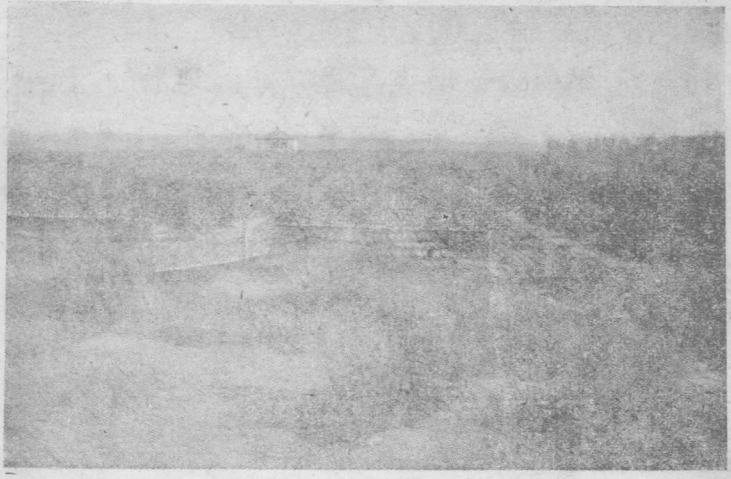
所在及重要——物理性——狀態之變遷——水之溶劑效力——水中之雜質——飲料水之清淨。

水之化學組成——電解——體積合成——給呂薩克體積定律——重量合成——百分組成。重水。

二氧化氫——組成，性質及用途。

倍比例定律。

56. 水之所在及其重要——水爲化合物中最習見而最重要者。占地面約七分之五。許多極普通之物體中均存有多少



第 45 圖 水爲植物生長所必需。圖示沙漠中棗園藉灌溉而繁榮。

不等之水分。土壤在尋常情況時均含有水，此固盡人皆知爲植物生長所必需者也（第45圖）。植物本身亦含多量之水，實際用作食品之植物，大多至少含水四分之三。某數種菜蔬如番茄，蘿蔔，蕪菁，胡瓜等含水量有95%之多。牛乳約含87%之水。人體約含70%之水，皆由食物及飲料中來。大氣中亦存有水氣，隨情況不同而成爲雲雨雪雹，水分對於氣候變遷之重要，固盡人皆知者也。水對於動植物之生長，以及氣候變遷，既若是之重要，"無水卽無生命"一語，當亦不爲過矣。

57. 物理性——純水爲無臭之液體。少量時無色，多量則呈明顯之藍綠色。經充分冷卻，卽固結成無色固體，俗稱爲冰；加熱之，卽起沸騰而急速變成水蒸氣，常稱爲汽。在標準情況下（760毛米），純水於0°C.（32°F.）時凝固，在100°C.（212°F.）時沸騰。其他物質，再無亦恰具此項凝固點及沸騰點，故此等溫度可供作鑑定水之一法。

水之分佈既若是之廣，故用於確定科學標準，如溫度計上之各定點（凝固點及沸點）。實驗室內所通用之國際度量衡公制，一克者乃純水在4°C.（39°F.）一毛立[1]之重量。其所以擇此溫

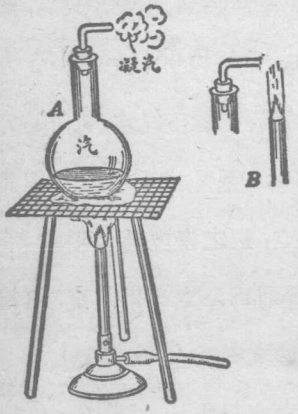
[1] milliliter (ml.) 按純水1仟克在4°C. 及760毛米壓力時，占體積1立或1.000028立方分米，卽1克占1毛立(ml)或1.000028立方釐米(cc.)，而非1立方釐米。今西文科學書頗多改用 ml. 而不用 cc.。譯者此處採用毛立亦本此。以後凡遇 cc. 均改稱毛立，非徒精準，且以譯文毛立二字較立方釐米四字爲簡明也。

度者，蓋以水在 4°C. 時密度最大也。任何物質之密度云者，即各該物質一單位體積之重量是也。一毛立 (0.001 立或一立方釐米 cc.) 用以作固體及液體之單位體積。惟在氣體，則在某定標準情況下(760 毛米及 0°C.)，以立 (1000 毛立或 1000 cc.)作爲單位體積。故水之密度爲每毛立一克，銅之密度爲每毛立 8.9 克，汞爲每毛立 13.6 克。空氣之密度則爲每立 1.293 克，氧爲每立 1.43 克，氫爲每立 0.09 克 (更精準之數爲 0.0898 克)。

58. 物質狀態之變遷——液體之水凝成冰，或沸成汽，謂之變其狀態。自一種狀態變成他種狀態，純爲物理的變化，其意即當此變化時，物質之組成不變 (§ 10)，須切記之。變遷狀態時之溫度爲物質極重要之物理性。例如水凝成冰之溫度，作爲攝氏溫度計之 0°，華氏溫度計之 32°。固體冰熔成水之溫度亦爲 0°C.。液體之水，時有多少變成氣態，謂之蒸發[1]，潮濕之衣服徐徐乾燥，乃人所常見之蒸發也。水蒸氣爲一種氣體，不能目視，尋常稱爲汽之白色雲霧，實非氣態之水，而乃因蒸氣驟冷回復液態而生成極細之水滴也。

氣態之水即眞汽，可由下列實驗以證其不可得見。置少許水於大燒瓶中，瓶口塞有單孔木塞，塞中貫以彎曲之玻管(第 46 圖 *A*)而加熱之。當水急速沸騰，即有"汽"之霧，自管口逸出。此時瓶中雖顯然充滿汽，卻甚清明。如以另一本生

[1] evaporation.



第 46 圖 "汽"之霧 (*A*) 因加熱而消失 (*B*)。

燈持近噴汽口之下方 (第 46 圖 *B*), 則汽霧立即消失。蓋燈焰使空氣溫熱,而汽不復凝結也。

水在常溫時蒸發甚緩,溫度漸昇則蒸發漸速。溫度充分昇高,即有水蒸氣之氣泡自液中上昇,是爲沸騰。此時蒸發極速。水之沸點 (在 760 毛米壓力時) 爲 100°C.(212°F.)。物質熔融及沸騰時之溫度分別稱爲熔點[1] 及沸點[2]。

59. 量熱 —— 一克之水,其溫度昇高攝氏一度所需之熱量,作爲熱量單位,稱爲一卡[3]。任何物質一克,其溫度昇高攝氏一度所需之卡數,稱爲該物質之比熱[4]。故如,水之比熱爲 1,汞爲 0.033。其意即使汞一克之溫度昇高攝氏一度所需之熱量,僅及使水一克昇高攝氏一度所需者之三十分之一。水之比熱,較任何普通物質均高。

水沸騰時,100°C. 之沸水一克化成同溫度之汽約需 540 卡。此之謂水之蒸發熱[5]。冰熔融時,0°C. 之冰一克化成同溫度之水,約需 80 卡。此之謂水之熔融熱[6]。

---

[1] melting point. [2] boiling point. [3] calorie. [4] specific heat. [5] heat of vaporization. [6] heat of fusion.

60. 溶解之過程——以鹽少許投入一燒杯水內，其時固體之鹽，卽謂爲溶解於水中。其間究起何變故，暫置勿論。吾人僅見鹽漸消失，而均勻遍佈於水中。再如將此所謂溶液[1]蒸發使乾，卽又可回復得鹽。是可知鹽際此溶解之過程中，並未起永久之變化。設將溶於某定量水中之鹽，漸次增加，則終至水不復能溶解鹽之一點。此時之溶液，稱爲**飽和**[2]。製成一飽和溶液，究需若干之固體，則視固體之種類及水之溫度而定。吾人可如法製成糖，硫酸銅，及硝石之水溶液。但如試以石蠟溶解於水中，則不可能。然如以氯油代水，作爲**溶劑**[3]，則見石蠟溶解，而鹽及糖則不然。就一般而言，凡溶解他物之物質者稱爲溶劑，亦稱溶媒，而溶入之物質稱爲**溶質**[4]。故

溶液 = 溶劑 + 溶質。

尋常溶質多爲固體，惟亦有液體者。例如甘油及酒精均爲液體，易與水相混溶。卽氣體亦可溶於水中，如蘇打水(俗稱"汽水")，卽溶有二氧化碳氣體之水。若溶液內僅含少量之溶質者，稱爲**稀溶液**[5]。若溶液中含有多量之溶質者，稱爲**濃溶液**[6]。

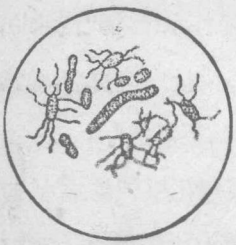
61. 水之溶劑效力——日常生活中絕無化學純粹之水，卽實驗室內，亦甚罕見。其原因卽以水乃一極好之溶劑也。實際

[1] solution. [2] saturate. [3] solvent. [4] solute. [5] dilute solution. [6] concentrated solution.

有時直可稱水爲萬能溶劑，非以其足令許多物質溶解巨量，而以其幾能令所有物質，均多少溶解若干也。物質於水中之溶液，每稱爲水溶液[1]。一切動植物所需之食料，均成溶液而輸入細胞中，水實賦有運輸者之功績。

62. 天然水不純粹——例如海水含有大量之食鹽，及少量其他多種物質，均溶解於其中。自某數處泉井取得之水，僅含少量之溶解物者。惟最純粹之天然水，當推雨水。然即雨水，亦含有來自空氣中之塵埃及溶解之氣體。天然水中除溶解之雜質外，尋常每有極多之物料，機械的懸浮於其中。例如所謂渾水，即混有固體粒子，並不溶解於其中。此等固體物料，常屬極微細之泥土粒子。

此外復有一種雜質，來自土中之植物體，及溝渠汚水。稱爲有機物[2]。半屬溶解，半呈懸浮於水中。此等物質，因有細菌（第47圖）生存於其上，其中多數足以致疾病，故目爲危險性之雜質。例如傷寒症，即每由於飲水而被傳染，傷寒病菌往往自患者轉入飲水中。因溝渠汚水而沾穢之水，既至爲危險，故城市都會之給水，務須愼擇無汚雜之水源。如不得已，



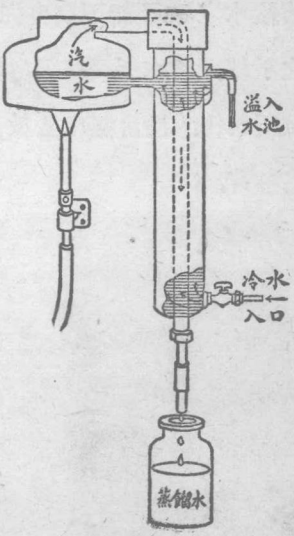
第47圖　有時見於飲料水中之細菌（放大）。

[1] aqueous solution.　[2] organic matter.

則非將一切用水愼密清淨不可。

63. 水之清淨法——水之清淨法有四。祇第一法可得眞正純粹之水。其他各法則僅除去或殺滅不適於飲用之若干物料耳。

(1) 蒸餾　凡溶解及懸浮於水中之不揮發雜質，均能由所謂蒸餾[1]之方法以除去之。將水於容器中煮沸，容器裝置如第 48 圖，其汽通過冷卻管而回復液態。此種由水蒸氣(汽)成液態水之變化，稱爲凝結[2]。行凝結之器械，稱爲凝結器[3]。



第 48 圖　凝結沸水所生之汽以製蒸餾水。

自凝結器一端滴下者，乃純粹之水，蓋其雜質已遺留於煮水之容器中矣。此種純水，稱爲蒸餾水[4]，實驗室中需要絕對純水時卽用此。有時亦供飲用，惟具特殊之淡味，以其不含溶解之空氣或固體物也。如將空氣通入水中，則其不自然之味可稍殺，蓋溶入少量之空氣，俾較適口也。

(2) 濾過[5]　水中懸浮或不溶解之物，可由以濾去之。凡城

[1] distillation.　[2] condensation.　[3] condenser.　[4] distilled water.
[5] filtration.

市給水之源,不能不取自泥汚之江河等者,卽以大規模行此濾過之手續。將水緩緩經過砂礫之濾床(第49圖)。懸浊物爲細砂粒所黏住。惟自濾床底放出之水,雖然已無懸浊物,仍含有溶解之雜質。

第49圖 在混凝土屋頂下之濾水砂床。

(3) 煮沸 含有害細菌之水,可以煮沸少時,俾適於飲用。此法雖亦稱爲淸淨法,實則並不眞除去何種雜質,僅殺滅足以致病之微生物耳。此等微細之植物體,在沸水之溫度時不能生存。迨其死亡,卽不復能致疾病矣。此法於衞生上,頗著成效,惟實用上則所費不貲,僅能於急需時以小規模行之。

(4) 飲水之化學處理法 除煮沸外尙可用他法殺滅細菌。

有多種化學物質，如以極少量加入水中，皆足以殺滅微生物，如氯及次氯酸卽是。此種清淨法，容論及此項物質時再詳述之。此法發明後，不久立占極重要之地位。天然流動之水，逾時卽能自行清淨，其理實與此相類。空氣中之氧溶於水中，卽與細菌起化學作用而殺滅之。其作用遲緩，惟城市給水之清淨亦有以人工利用此法者；卽將水噴散空氣中，使接受空氣之化學作用之機會儘量增多。

水之組成

64. 水之分解——前論化合物時 (§ 19)，見水得藉電流而分解或拆散，結果得氧及氫。此二者稱之爲水之成分元素，而其方法稱爲水之電解[1]。其化學變化可由下式表之：

水 → 氫 + 氧

此外又記及所生氫之體積二倍於氧。則如知氫及氧之密度，卽可推算此二氣體之重量；遂亦可知水之百分組成矣。

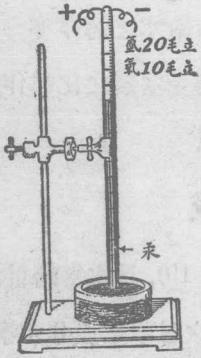
例如，若得氫 2 立，氧 1 立。則於 0.18+1.43，或卽 1.61 克之水中，卽有 2×0.09 或 0.18 克之氫及 1.43 克之氧。是卽水中含有 $\frac{0.18}{1.61}$ 或卽約 11% 之氫及 $\frac{1.43}{1.61}$ 或卽約 89% 之氧也。

65. 水之體積合成——欲求水之組成，除將其分析[2]或拆散外，又可令氫二體積與氧一體積互相結合而觀察水之產生。

[1] electrolysis. [2] analysis.

此法稱爲合成,意卽併合也。

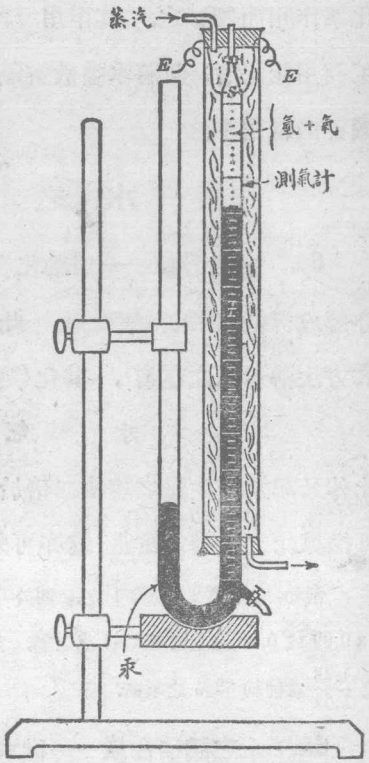
將二種氣體化合之實驗,每於一種測氣計[1](第 50 圖)之裝置中行之。此計乃一刻度玻管,近封閉之端,有二鉑絲嵌入玻璃內。二絲端之間約有 2 或 3 毛米之電花隙。管中先充滿水銀。於是由電解製得之二體積之氫及一體積之氧之混合物,令其導入管中,至約盛滿四分之三之混合氣體。自感應圈放出電火花,令氣



第 50 圖 使氫與氧化合之測氣計。

體互相化合,則立見氣體內發生閃光或火焰,水銀驟然下降,其後水銀又上昇至達管頂。此示所有氣體均經消失。生成之水已凝成細滴之霧。

如管外另套一粗管,以戊醇[2]蒸氣通過其中(第 51 圖),則生成之汽卽不起凝結。此時如所有各氣體均係在同溫度(約 130°C.)及同壓力量計者,則當見其體積縮去三分之一。(須注意將裝置中之水銀上下調節,俾封閉管內之水銀頂面與開口管內水銀之自由面在變化前後同等高低。



第 51 圖 使氫與氧化合成汽之汽套[3]測氣計。

[1] eudiometer. [2] amyl alcohol. [3] 套中用戊醇蒸氣較汽爲佳.

此一實驗說明汽之體積恰與氫之體積相等。換言之，

2體積氫 ＋ 1體積氧 → 2體積汽

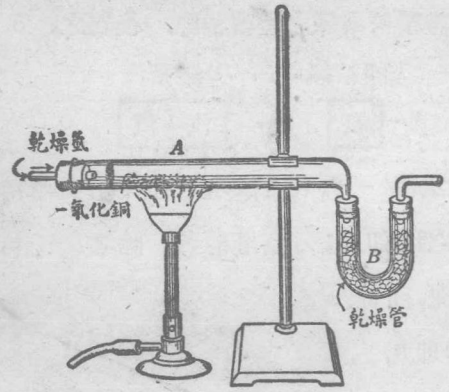
氫 氫 ＋ 氧 → 汽 汽

66. 給呂薩克體積定律[1]——化合成水之氫及氧，其體積彼此有若是簡單而確切之比，即 2：1，實堪稱異。除氫及氧外，其他氣體均經依同法細究，而得下述極有興趣之事實：即凡任何化學反應內所耗用及所產生之氣體，其體積每可以小整數之比表之。是謂體積定律，乃給呂薩克[2]（第52圖）於1808年所發見者。

第52圖　給呂薩克氏（1778—1850）法國化學家及物理學家，以研究氣體化合體積著稱於世。

67. 水之重量組成——組成水之二種氣體，其體積比已測定矣。茲試定其重量比。吾人可利用氫與一氧化銅之反應以爲之。此實驗中，將還元已知重量之一氧化銅（即自一氧化銅除去氧）而生成之水秤之。一氧化銅所失之重量，即所用去氧之重量。所生水之重量，

[1] Gay-Lussac's law of volumes.　[2] Joseph Louis Gay-Lussac.

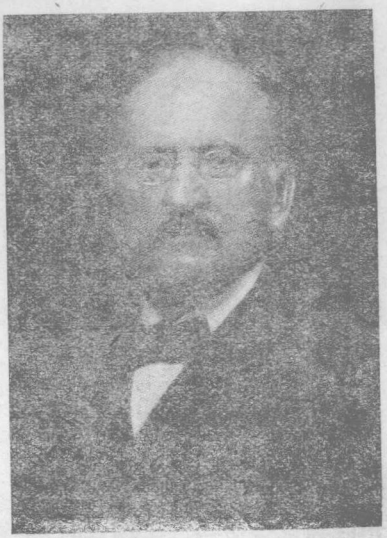


第 53 圖　求水中氫及氧之重量比之裝置。

與氧之重量間之差，即爲氫之重量。其裝置與第 41 圖所示者大致相同。一氧化銅於第 53 圖 *A* 管內被還元，水集於盛有氯化鈣等乾燥劑之U形管 *B* 而秤之。

測定水之組成之法爲 1820 年瑞典化學家柏濟力烏斯氏[1]所創。最近美國化學家摩婁[2](第 54 圖)又用與上述頗相似之方法，以極精細之手續測出水之組成。據其實驗之結果爲氫重量 1 分與氧重量 7.94 分化合成水。此實驗常稱爲水之重量合成[3]。

此項實驗，凡其中所有



第 54 圖　摩婁氏(1838—1923)美國化學教授，曾精密測定水之組成。

[1] Johann Jacob Berzelius. [2] Edward William Morley. [3] gravimetric synthesis.

物料之重量或體積，均經精密量定者，稱爲**定量實驗**[1]。其另一實驗，即祇察其變化之類別及產物之性質者，稱爲**定性實驗**[2]。

68. 水之百分組成 —— 上一實驗藉以例證定比例定律(§ 23)頗爲適宜；蓋一切純水樣料，分析時均見係 1 分重量之氫與 7.94 分重量之氧相化合。按化學變化時，重量上絕無變異(物質不滅定律)，可知氫必爲水之 $\frac{1}{1+7.94}$ 或 11.2%，而氧必爲水之 $\frac{7.94}{1+7.94}$ 或 88.8%。換言之，水重量上約含 $\frac{8}{9}$ 之氧與 $\frac{1}{9}$ 之氫。

69. 何謂"重水"[3] —— 輓近有見當水行電解作用之際，其自陰極帶酸之水中逸出之氫有二種，一重一輕。其先逸出大量較輕之一種，其後逸出較重之一種。此較重之氫稱爲氘(§ 55)，設令其燃於氧中，則所生之水，其密度較大於尋常之純水。故稱之爲重水(亦稱氧化氘)。再，此重水不於 100°C. 時沸騰，亦不於 0°C. 時凝固。設不用尋常之水沖淡之，則於植物顯有毒害。最初重水僅屬一種化學的珍品。惟以其性質對於世人引起濃厚之興趣，今日在歐美各國，純粹之重水，或混有不等量常水[4]者，均可購得，以供實驗研究之用。在 1934 年一年內，對於重水及其

[1] quantitative experiment. [2] qualitative experiment. [3] heavy water.
[4] 本書所述之氫均指尋常之氫，水亦然。

化合物之論文發表,近二百篇,此項發見之驚人,可見一斑矣。

二氧化氫

70. 組成 —— 氫與氧有第二種之化合物,所含之氧二倍於水中與同重量氫所化合者。前見水爲重量 1 分之氫與 7.94 分之氧所構成;今二氧化氫,則爲重量 1 分之氫與 2×7.94 即 15.88 分之氧所組成。二氧化氫有稱爲過氧化氫;所謂"過"者,即此化合物所含之氧較尋常之氧化氫(水)含氧更多也。

71. 製法及性質 ——工業上二氧化氫由冷稀硫酸作用於二氧化鋇而製成。二氧化鋇爲白色之粉末,乃鋇之一種氧化物。鋇爲與鈣甚相類似之金屬。其作用可表之如下:

二氧化鋇 + 硫酸 → 硫酸鋇 + 二氧化氫

[鋇 氧] [氫 硫酸 氧] [鋇 硫酸 氧] [氫 氧]

硫酸鋇爲白色不溶性固體,可由濾過除去之。於是將二氧化氫之含水濾液,於低壓力下蒸濃之。

二氧化氫可製成絕對純粹之物質。爲無色之糖漿狀液體。惟難於製得,以其甚易分解成水及氧:

二氧化氫 → 水 + 氧

醫藥上用其稀水溶液。平常出售者爲 3% 之水溶液,即稱過氧化氫,俗亦稱"雙養水"。以其能徐徐放出氧,故盛此溶液之瓶,

其瓶塞每須用銅絲紮緊。商品過氧化氫溶液，可生十倍其體積之氧，故有時即稱爲"10體積溶液[1]"。其意即二氧化氫溶液每毛立可生氧10毛立。今市上有30%之溶液，供化學上之用。

72. 用途——二氧化氫放出氧甚速，與臭氧相似，故亦如臭氧爲一種強氧化劑。其所以可用於漂白絲，毛，髮，羽，象牙等，即以是故。又於醫藥上，用作防腐劑及清淨劑；謂其具有殺菌劑功效，則未免評價略過；然以其釋出之氧，具有機械的作用，故每供洗滌創傷及除去外來物之用。對於排除膿汁及鬆脫牢有乾血之綳帶等，尤爲可貴。

73. 倍比例定律——前見(§70)氫與氧依約1：8之比化合而成水，依1：16之比成二氧化氫。於此見與一分氫化合之氧成1：2之比。此種水與二氧化氫之事例，不足爲奇。後此當見碳與氧之化合成一氧化碳，其中碳與氧重量之比爲1:1.33。然另有一種碳之氧化物，名二氧化碳者，其中碳與氧重量之比爲1：2.66。於此立可見2.66恰爲1.33之二倍。此項簡單之關係，以一氧化物及二氧化物表示之。

凡同元素之化合物有二種以上者，其中一元素與一定重量之他一元素化合之重量，彼此常具有簡單之關係。即如2比1，或3比1，或3比2。此一通則，是爲倍比例定律[2]，乃1804年

[1] "10-volume solution." [2] Law of multiple proportion.

英國化學家道爾頓所創定。略變語氣，更爲簡明：任何二元素 *A* 及 *B*，化合而成不止一種之化合物時，凡與一定重量 *A* 化合之 *B*，其各項重量，互成小整數之比。

此定律與前述之定比例定律，共爲化學研究之基礎。吾人於次章，當見道爾頓氏若何藉確立化學之一學說，以解釋此等簡單之通則焉。

第六章 提要

水爲最重要而最多之化合物之一。

水有三態：固態(冰)，液態，及氣態(汽)。於 0°C. 時凝固，於 100°C. 時沸騰。一毛立之水於 4°C. 時重 1 克。

水爲許多物質之最佳溶劑；所成溶液，稱爲水溶液。

天然水均不純粹；含有溶解及懸浮之物料，有時含有細菌。

純水可由蒸餾製得。懸浮物可由濾過除去之。病菌可由煮沸或加入少量某種化學藥品以殺滅之。

水之組成可由分析及合成知之。氫 2 體積與氧 1 體積化合而成 2 體積之汽。

給呂薩克定律：化學反應內所用及所產之氣體，其體積每可以小整數之比表之。

水之重量組成：重量 1 分之氫與重量 7.94 分之氧。

二氧化氫爲重量1分之氫與2×7.94即15.88分之氧所組成。爲一種強氧化劑,用以漂白,亦作防腐劑。

倍比例定律：任何二元素 A 及 B,化合而成不止一種之化合物時,凡與一定重量 A 化合之 B,其各項重量,互成小整數之比。

問題

1. 欲證明一種無色之液體爲水,當用何法?
2. 昔希臘人稱水爲"元素"。最先證明其爲化合物者爲何人?
3. 水有何種性質,使其適宜於 (a) 滅火? (b) 用於熱水瓶中?
4. "眞汽"之爲無色,將如何證明之?
5. 試舉水以外之普通溶劑二種。
6. 殺滅水中之細菌當用何法?
7. 水可由凝固以清淨之否?
8. 輪船駛行海洋中,其飲料水如何取給?
9. 雨水何以爲天然水中之最純粹者?
10. 就天然水而言純水,其意云何?
11. 試以純粹之天然水與純粹之蒸餾水比較之。
12. 化學家配製溶液時,用何種之水?
13. 吾人何以須飲水?
14. 長期飲蒸餾水,是否合於衛生?
15. 如何可由實驗證明二氧化氫爲不穩定?

*　　*　　*

16. 某種水標內所存固體之總量,當如何測定之?
17. 水之重要比之其他液體之重要爲若何? 試就各自所答者舉其理由。
18. 溶液爲生命之要素. 凶厲之旱魃如何可藉以明瞭此原則?
19. 燃點氫與氧之混合物之電火花,與隨後爆發所生之閃光,其間區別何在?
20. "人乃十斤之灰及七斗之水",試爲此語作辯護。

21. 試舉證明水之組成之二種分析方法,及二種合成方法。

22. "重水"何以較常水爲重?

23. 由常水如何製得重水?

24. 重水之性質比之常水之性質爲若何?

25. 化學的純水,如何可使其較爲適口?

* * * *

26. 設有氫百立(標準溫壓)起燃燒。試計算所生液體水之重量及體積(毛立)。

27. 將 20 毛立之氫與 20 毛立之氧混置汽奎測氣計中而燃點之,(a) 當生若干體積之汽? (b) 何種氣體過剩而餘留,過剩若干?

28. 500 毛立之氧盡量與氫化合,至不復餘剩遊離之氧,試計算所需氫之重量。

29. 將 20 毛立之氫與 8 毛立之氧,置測氣計中而燃點之,(a) 當生若干體積之汽? (b) 何種氣體過剩而餘留,過剩若干?

30. 抄謄下列字句,而填入缺漏之字: 100 毛立氫與 50 毛立氧之混合物,爆發而生成——毛立之汽,一切體積均在 200°C. 及標準壓力下量計之。

進究題材

飲料水——各述本人家常給水之來源爲何? 用何種清淨法? 試參觀本地水廠。由水之外表可知其爲合於飲用否? (Chemistry in Industry, Vol. 2.)

水於人生之重要——水於氣候之變化有何關係? 雨量之多寡影響及國家之繁興否? 近年灌水入乾旱之區,情形若何? 海水中存有如許多之溶解物質,而江河池沼及多數之湖澤中,又存若是之少,將何以說明之? (Science Remaking the World, 有譯本:科學與世界改造。)

第一章至第六章複習題

1. 試區別 (a) 物料與物質; (b) 元素與化合物; (c) 混合物與化合物。化學家亦常稱物料爲物質否?

2. 試作下列各名詞之定義,並各舉一例: (a) 氧化物; (b) 自燃; (c) 同素異形物; (d) 還元作用; (e) 觸媒。

3. 試將前此已讀之四基本定律,縝密記述之。

4. 每一定律,試舉述一實驗以例證之。

5. 試說明物不滅定律如何可應用於火爐中燃煤所起之化學變化。

6. 試舉前此已讀知之三種方式之化學變化,並各簡述一例。

7. 試將下列之變化類別爲物理的變化或化學的變化: (*a*) 木料燃燒; (*b*) 氣油蒸發; (*c*) 糖溶於水; (*d*) 牛乳發酸; (*e*) 豬油熔融; (*f*) 食物腐敗; (*g*) 炸藥爆發。

8. 凡屬化學變化,有何三點爲其特性?

9. 下列諸元素燃燒於空氣中時所生之產物,試各述其名稱: (*a*)碳; (*b*)氫; (*c*) 硫; (*d*) 銅。

10. 物質燃燒於空氣中,及燃燒於氧氣中,其所生之產物是否有異?

11. 發明氫氧炬者爲何人?

12. 試比較二氧化氫與臭氧之異同。

13. (*a*) 硫化鐵之重量與生成硫化鐵之鐵及硫之重量,相較若何? (*b*) 硫化鐵之內在化學能與生成硫化鐵之鐵及硫之內在化學能相較若何?

14. 如謂蠟燭燃燒而生成之二氧化碳及水蒸氣,其化合重量等於所燃燒之蠟燭之重量,是否確當? 苟不然,則試改正之。 所改正之語例證何項定律,並記述此定律。

15. 儲藏棧內之細煤粉堆,往往因自燃而起火。 飄揚於空氣中之細煤粉,往往因遇火星燃點而起猛烈爆炸。 試解釋自燃與爆炸間之異別。 自燃是否常隨起爆炸?

16. 汞,水 酒精,醚各於燒杯內煮沸(勿試爲之)。 (*a*) 其蒸氣壓相較若何? (*b*) 其溫度相較大概若何? (*c*) 各物之蒸氣壓爲何?

17 發見氧者爲何人? 發見其於燃燒過程內有所功效者爲何人? 如何發見? 拉瓦錫氏當初在其實驗時,用 50 立方英寸之空氣。 迨汞熱十二日後,空氣消失若干立方英寸? 同時蒸餾甑內汞之表面見有何物? 其後又將此紅色物質加熱時,生出氣體若干立方英寸? 係何種氣體?

18. 在拉瓦錫著名之十二日實驗 (見第 27 圖) 中,彼於十日之末,見鐘罩內汞之液面不再上昇,而汞面上亦不再有紅色粉末生成。 但彼仍繼續加熱二日。何故?

19. 卡汾狄士於 1766 年發見氫。 於 1781 年彼將氫燃於空氣中而得相當量之液體水,足以證定其爲水。 然彼終未能瞭解其工作之意義。 何故? 其後關

明此意義者爲何人?

20. 試將古希臘人所謂之"元素"與拉瓦錫時代之化學元素比較之。希臘人與拉瓦錫之觀點不同,將何以說明之? 最先確定化學元素之意義者爲何人? 何時?

* * * *

21. 與 11.2 立氧等重之氫,其體積爲若何? (假設在標準溫度及壓力下。)

22. 摩塞在某次實驗時,見 3.8193 克之氫,與 30.3210 克之氧化合。試推算氫與氧化合之比率。

第七章

道爾頓之原子說及分子說

三定律：物不滅，定比，倍比——事實與理論——道爾頓之原子說——原子量——原子與分子——物理變化及化學變化——事實之解釋——原子說之價值——原子氫。

74. 三基本定律之複習——綜觀化學物質及其變化，知物質乃不可毀滅者。此可設爲定律如下：即，起化學變化諸物質重量之和，與所生產物之重量之和相等（物質不滅定律）。

又見化合物最重要特性之一，可以定比例定律解釋之：化合成某一化合物之諸元素，其重量常成同樣一定之比率。是即化合物之組成永定不變者也。

更見凡二元素化合成不止一種之化合物，其與一定量之他元素化合之某一元素，其各項重量，均成小整數之比。是乃倍比例定律。此三定律實乃萬百精確從事而縝密觀察之實驗之結果也。

75. 事實與理論——吾人每逢若干事實當前，輒自作疑問曰：此項事實何由而若是？化學家於解釋或說明種種事實時，

皆採用某項理論。定律與理論之間，究有何種區別，殊值加以審察。

定律可謂爲根據實驗事實之一種概說；是乃綜括多次研究結果之簡便法則。其最佳之例，卽波義耳定律：某定量之氣體，如溫度恆定不變，其體積與其所受之壓力，成反比例（見附錄）。理論則爲一種科學的臆測，或假說，因欲解釋事實而設者。吾人切勿以爲科學的理論，乃一種狂妄之臆測，實亦根據吾人對於事物之一切知識，而得之一種合理的解釋也。如假說而與一切事實均相切合，則在無矛盾之新事實發見之前，概認爲完滿之理論。惟倘見有新事實與此理論不相一致時，則須或加修正或竟舍棄而定一新假說。理論每先之以數種不能實驗之假定。假定之初，就推理而認某者某者必爲眞確。其結論與旣知事實愈切合，則其理論爲眞確之或然性愈大。然吾人不能謂某一理論已告證實，而祇可謂其或屬眞確。其著例卽如分子運動論，此理論在其他種種事件上，解釋氣體受不同壓力時之性狀（見附錄）。其又一例則爲道爾頓之原子說。

76. 道爾頓之原子說——古希臘哲學家（約紀元前300年）認一切物質均由極微細而不能再分之粒子構成。此等微乎其極之粒子，彼輩稱之爲原子[1]。惜古代之思想家，太缺乏自然科

[1] atom.

學之知識，竟不能利用此項理論以解釋自然界之現象。

英國學者道爾頓(第55圖)，於1808年創定一種理論，與古希臘人之理論甚相似，惟遠較澈底。其解釋定比定律及倍比定律等，至爲簡單。道氏亦如古希臘人，假定一切物質皆由極微細之粒子構成，此項粒子彼亦稱之爲原子；但除此基本之假定外，其觀念實與古哲學家全異。道氏之科學的臆測卽一般所謂原子說，已用以解釋關於化合物之種種事實，故確可謂爲近代化學上最有用之理論也。

第55圖　道爾頓氏(1766—1844)英國學校校長及化學家，發表化合量定律而創立原子說。

道氏於其理論中假定下列各項均爲眞確：

(1) 物質由所謂原子之微粒子所構成。

(2) 某一元素之一切原子，其大小及重量，均絕相類似[1]，惟與每一他種元素之原子，則均不同。

(3) 原子能與他原子相結合，而由一種所謂化學親和力[2]以繼繫之。化合物之生成，卽由此種原子之結合而然。

[1] 英國物理學家恩斯吞(Francis William Aston)及其他諸人近已證明此說未必眞確(§ 244). [2] chemical affinity.

(4) 原子不能剖分，故彼此祇能以整個原子互相結合。

77. 元素之原子量——原子有時可作下列之定義，即：元素之最小部分，能參預化學反應者。惟原子既若是之微小，其眞確重量，近雖已可精密測知，然實無須用之。用元素之單原子之相對重量可矣。取氧原子爲標準，以其所化合之元素最多。定其值爲 16。據此，氫原子則爲略過於 1 (1.008)。一元素之原子量，乃其原子與一原子氧之重量作爲 16 比較而得之相對重量也。

今日化學家所公認代表元素原子量之數值，見書末所附之表。如熟習數種較普通之元素之原子量近似值，則可省時間。表中碳之原子量爲 12，氧爲 16。故在一氧化碳中，當意其爲重量 12 分之碳與 16 分之氧相化合。換言之，即碳與氧之比，當爲 1：1.33。此與一氧化碳化學分析之結果相符。實則表中之數值，均係由化合物中元素之相對化合量而來（第十八章）。此等化合量則由化合物經極精密之分析而測定者。故原子量表，實代表關於元素之某數項與任何理論均絕無關係之化學事實。

78. 物質之分子——第五章內已見一種氣體可假定其爲無數所謂分子之微粒子所成。普通之氣體，如氧，氮，氫等，每分子大多由二原子互相以化合的團集而成。若一氧化碳等之化合物，則碳原子與氧原子，互相聯合而成團。此種原子之集團，

卽爲分子。合多數之此項分子,卽成爲吾人所認爲一氧化碳之氣體。

如氧,氮,氫等數種元素氣體,其分子係由同元素之二原子所組成。化合物之分子,則由異元素之二個以上之原子所組成。例如水分子由一個氧原子與二個氫原子所組成。飲水一杯(約160毛立)計吞入水分子 5.4×10^{24} 個[1],於此可想像此項分子之假定的大小爲何如矣。此外有少數特例,如氦及汞蒸氣,其氣體之分子爲一原子所組成。

由此項討論,可瞭然化合物之最小粒子必至少含二個原子,蓋化合物至少含有二種元素,而化合物中每一元素之原子又不能少於一也。茲就上文關於原子及分子之論述,綜括成下列之定義:

1. 原子爲元素之能參預化學反應之最小粒子。

2. 分子爲元素 化合物之最小粒子,尋常能單獨存在。

79. 物理變化及化學變化中之分子 ——空氣等氣體液化時,想見其分子在所占之空間內較相密接。又當液體凝固時,則可想像其分子將更趨密接。然物質在此三態,均可意其分子常在振動。且物體之溫度可看作卽爲表現此項振動動作之速度。此等變化影響及整個分子者,謂之物理變化。

[1] 10^{24} 意卽 1 後加 24 個圈。 [2] monatomic molecule.

然如破壞聯結原子之力,而侵及物質之組成者,是卽起有化學變化。例如分解水,而得氫及氧,二者之性質均與原來之水截然不同,是爲化學變化。

80. 藉道爾頓原子說解釋實驗事實——第一,關於化合物恆有一定組成一事。依道氏理論,化合物乃異元素之原子結合之結果。例如一氧化碳中,每一碳原子與一氧原子化合,成爲一分子一氧化碳。凡屬氧原子,其重量旣恰相同,而碳原子亦每一原子有固定之重量,故一氧化碳每一分子當與其他各個分子有相同之組成。又因一氧化碳之任何樣料,均屬同樣分子之集團,則該樣料之百分組成,勢必與一個分子之百分組成相同。定比例定律卽就一般以申述此點者也。

第二,關於倍比例定律。一個碳原子可意料其又得與二原子之氧相化合。結果得完全不同之化合物。其每一分子中,當有一個碳原子及二個氧原子;是卽其與碳相化合之氧當二倍於前一種者。此物質實卽爲二氧化碳。其所含之氧,二倍於一氧化碳。故在二氧化碳分子中,可想像其每個碳原子係與二原子之氧相結合。

最後,關於物質不滅之定律。吾人假定化學變化時,原子重行配布,而無所生滅。變化時旣無所喪失,則起化學反應之物質,其原子總數,與產物中之原子總數必相等。此蓋卽指物質乃

不可毀滅者。

81. 原子說之價值——謂原子說僅屬關於粒子之一種科學的臆想，微細至不能爲吾人目擊者，則吾人又何爲而窮究此理論乎？此一假說亙百餘年而卒未有較優者取代之，實亦一可玩味之事。化學家一般均承認此理論足能充分解釋關於化合作用之事實，而其於推進物理科學之功績，亦較其他任何理論爲多。且近年又有許多新實驗證據發見，涉及數理太深，此處不能詳述。由此等實驗工作，原子說益臻於穩固而且擴大，科學家因而竟堅信原子分子之存在，與尋常吾人能由直接觀察之事物，具同樣之確切。

82. 原子氫[1]之工業應用——在吾人意料中，尋常之氫氣當爲分子體。然賴茂博士[2]（第56圖）近年發見氫分子一部分得分裂（離解[3]）成氫原子。將其氣體通過電弧之非常高溫度即成。此項分子之分裂成爲原子，須吸收爲量可驚之能；

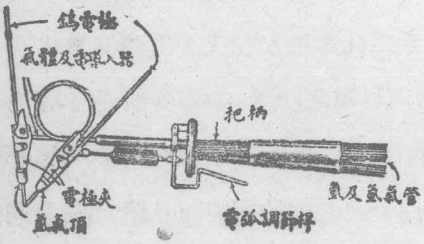
第56圖 賴茂氏（1881— ）美國得諾貝爾化學獎金之第二人。圖中氏正在審讀眞空計。

[1] atomic hydrogen. [2] Dr. Irving Langmuir. [3] dissociate.

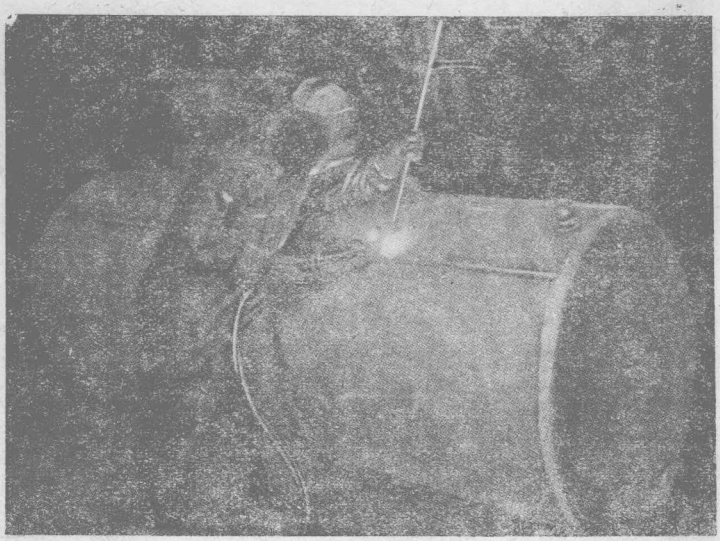
當氫原子重行化合成氫分子時又復釋出所吸收之能：

氫分子 + 能 ⇄ 氫原子

此所謂原子氫有作實際的利用，以產生強熱之焰。當氫氣流吹過電弧，即於該處起離解（第57圖）。離電弧近處，原子與原子又復化合成分子，局部發生極高之溫度（約4000° C.）。此項原子氫之火



第57圖 原子氫炬。



第58圖 用原子氫焊接銅桶。

焰,用於銲接金屬(第58圖)。惟切記此"原子焰",並不包含氧氣;分子之氫依尋常之情形,燃燒於空氣中,即成一外層焰,但其溫度較低。因原子氫具有強大還元作用,此項新法之銲接尤切於實用,蓋凡生成氧化金屬之膜層,足妨礙銲接工作者均可還元成金屬矣。

第七章 提要

物質之原子結構最先爲古希臘哲學家所提示。1808年道爾頓用以爲解釋定比倍比二定律之理論之根據。

道爾頓學說假定下列各點:

(1) 一切物質均由原子構成。

(2) 某一元素之一切原子均相類似。

(3) 原子與原子能因一種所謂化學親和力而互相化合及維繫。

(4) 原子爲不可剖分者。故彼此祇能以整個原子互相結合。

原子爲元素之能參預化學變化之最小粒子。

分子爲元素或化合物之最小粒子,尋常能單獨存在。

元素之原子量乃表其一個原子之重量與氧原子之重量16相較之數字。

定律乃對於若干有關係之實驗事實之一種概說。理論乃立定某種假說,而由之引出某種結論,以解釋一組之實驗事實。假說乃科學的臆測,如其完善,即可成爲理論。

原子說雖仍爲一種理論,惟科學上近年已發見多種證據,使原子分子之眞實性,極有可能。

問題

1. 以原子作微粒子之觀念,是否爲道爾頓氏首創?
2. 道爾頓氏倡原子說時,其胸中有何科學之定律?
3. 試由字典中檢尋"原子"一名詞之由來。
4. 試區列 (*a*) 假說與理論; (*b*) 事實與定律。
5. 自然定律與記述定律間之區別爲何?
6. (*a*) 元素之原子; (*b*) 元素之分子; (*c*) 化合物之分子,此等語句之意義爲何?
7. 電弧銲接炬之電弧內氫分子起何變化?
8. 原子氫吹炬於銲接金屬時勝於氫氧吹管者爲何?
9. 試述定比例定律如何應用於水之組成?
10. 試述物不滅定律如何應用於紅色氧化汞之分解?

* * *

11. 道爾頓氏藉其原子說,曾預言化學上之何項定律,而其後又經氏證明爲確然? 試舉述此定律。
12. 吾人能取得 (*a*) 一化合物之一原子否; (*b*) 一元素之分子否?
13. 氧之分子其組成何以異於氧化物分子之組成?
14. 水之分子,當氧化時及當起電解時,其所起之變化間有何不同?
15. 何項理論可以解釋溫度及壓力對於氣體體積之效力?
16. 原子說如何解釋 (*a*) 定比例定律; (*b*) 倍比例定律; (*c*) 物不滅定律?
17. 抄謄下列字句,而填入缺漏之字: 道爾頓氏在其原子說中作有下列之假設: 物質由所謂——之微粒子所構成。某——之一切原子,其大小及——均相

似，惟與每一——元素之原子則均不相同。原子能與他——相結合，而由一種所謂——以維繫之；——之生成，卽由此種原子之——而然。原子不能——，故彼此祇能以——原子互相結合。

* * * *

18. 初期之化學史上，取氧作爲原子量之標準，惟定其值爲 100。照此系統，則氫之原子量當爲何？今日以 16 爲氧之原子量，有何理由？

19. 二氧化硫爲 50% 硫及 50% 氧。三氧化硫爲 40% 硫及 60% 氧。試說明此等事實將何以例證倍比例定律？

20. 碳有二種化合物：一含 57.1% 氧，他一含 72.7%。試說明此等事實可以例證倍比例定律。

第八章

符號式原子價

煉金術士之符號——今日所用之符號及式——作化學式——原子價——圖解表記——原子價表——可變原子價——化合物命名。

83. 煉金術士所用之符號——煉金術士所用之符號，有若干源自古希臘人，古希臘人又得之於埃及人。其他顯有源自印度者。

占星術上用符號代表日，月及當時所知之五大行星。煉金術士因想像此等天體與金屬間有所類似，遂亦採用占星術士之符號(第59圖)。故如金及銀即以日及月之符號記之。火星之

第59圖　煉金術士之符號（上）及占星術士之符號（下）。

西名 Mars 原爲戰爭之神，在彼輩心理上認爲戰神與鐵有關係，

故鐵遂得盾牌及長矛之符號。銅則記以金星之西名 Venus (女神) 之鏡形；鉛記以土星之西名 Saturn (時神) 之鐮刀形；錫記以木星之西名 Jupiter (古羅馬主神)之寶座形；汞記以 Hermes (風神) 之魔棒形。

84 今日所用之化學符號——化學家深覺以符號代表各種元素,殊多便利,各該符號見書末附表。此項符號爲瑞典化學家柏濟力烏斯(第60圖)所首創,大致均爲元素西文名稱之第一字母之大寫式。例如 C 代 carbon, H 代 hydrogen, O 代 oxygen, 及 S 代 sulfur。遇有二種以上元素,其第一字母相同者,則更附以各該名稱中特異之另一字母,但不作大寫;即如 Cl 代 chlorine, Br 代 bromine, Si 代 silicon, Mg 代 magnesium。又有如自古已知之數種金屬,其符號率取自拉丁名;如 Cu 代 copper (*cuprum*), Fe 代 iron (*ferrum*), Ag 代 silver (*argentum*), Au

第 60 圖 柏濟力烏斯 (1779—1848) 爲當時最著名之化學家。首創近代之化學符號。

代 gold (*aurum*)。普通元素之符號在研習各該元素時,不難習知之。

85. 符號之意義——符號不僅用以爲縮寫之標記。每一符號實亦代表一原子之元素。例如符號 O,代表一原子之氧,符號 H, N, Na, Fe, 分別代表一原子之氫,氮,鈉,鐵。故確切言之,符號實乃原子符號,而不僅爲元素名稱之縮寫也。

前亦見每一原子具有確定之重量。故符號之意義,更不僅爲元素,抑亦一定量之元素也。O 常指 16 分重量之氧, C 常指 12 分重量之碳, H 常指 1.008 分重量之氫。因吾人常以克表重量,故每稱爲元素之克原子量[1]。如碳之克原子量爲 12 克。

86. 化學式[2]——任何化合物之組成,皆可用此項符號代表之。將該化合物諸元素之符號依次列置即得。例如,氯化鈉(食鹽)之分子,係由一原子之鈉 (Na) 及一原子之氯(Cl) 所組成,故可以此二元素之聯合符號 NaCl 表之。此項代表一種化合物之符號組列,謂之該化合物之式,或化學式。

一化合物之分子,所含某一元素不止一個原子時,則可於該元素之符號後附置小數字於下角以表之。例如 H_2O 爲一分子水之式,蓋水乃含二個氫原子及一個氧原子之化合物也。分子中每常有一種原子團 (根),其於多種反應中之性狀,宛如一單原

[1] gram atomic weight. [2] formula or chemical formula.

子者,應有相當之標別。此時則可利用括弧。例如一分子之氫氧化鈣(石灰水),可以 $Ca(OH)_2$ 表之,此所以指一分子中,含一個鈣原子,二個氧原子及二個氫原子也。

如知一元素之若干原子構成該元素之一分子,則可用符號後下角附小數字以表之,甚爲簡單。後此(詳見§231)當知氫,氧,氮,氯等每一分子含二個原子。此可分別以 H_2, O_2, N_2, Cl_2 等式表之。H_2 之式即指一分子之氫,由二原子互相結合而成。反之,2H 則爲二原子之氫不相結合者;而 $2H_2$ 則指 2 分子之氫,每一分子由 2 原子互相結合而成。

欲指明一物質不止一分子,則可置大數字於符號或式之前。例如 $2O_2$,意即二分子之氧,$5H_2O$ 即五分子之水也。

87. 化學式所涵之事實——式之完全意義之了解,至爲重要。例如硫酸之式爲 H_2SO_4,其意即:

(1) 一分子之硫酸;
(2) 含二個氫原子,一個硫原子,及四個氧原子;
(3) 2 分重量之氫,32 分重量之硫,及 4×16 即 64 分重量之氧;
(4) $2+32+64$ 即 98 分重量之硫酸。

化學上常用所謂化合物之克式量[1],意即該式所表之克數。例如硫酸之克式量爲 98 克。

問 題

1. 吾人可作元素之化學式否? 化合物之符號否?

[1] gram formula weight.

2. 符號與式其區別若何？ 試各舉例。

3. 試作下列各元素之符號：鈉，硫，鎂，錳，汞，鉀，磷，鉛，鉑，鐵。

4. 試舉下列各符號所表元素之名：Ag, Sn, W, Ni, Au, Cu, A, Ra, As, Al。

5. 試解釋下列諸符號之起由：Na, K, Ag, Au, Fe。

6. O_2 及 2O 之區別爲何？

7. 試解釋列於式左之數字之意義，如 $2KClO_3$ 中之 2。

8. 試述下列各式所表之物質：$CuSO_4$; $3NaCl$; $2H_2O$; P_4; $Ba(OH)_2$。

9. 試解釋式中括弧之用途，例如 $Ca_3(PO_4)_2$。

10. 試述下列各式中每個數字及字母之意義：$2H_2SO_4$; $10H_2O$; $(NH_4)_2SO_4$; $Fe_2(SO_4)_3$。

88. 藉原子價以作化學式——試就已習各種化合物，當見有多種元素，其所能與化合之氫原子之數，彼此相差甚遠。 如下列諸化合物可以概見：

HCl	H_2O	NH_3	CH_4
氯化氫	水	氨	沼氣

換言之，即一個氯原子祇與一個氫原子相化合，一個氧原子與二個氫原子，一個氮原子與三個氫原子，一個碳原子與四個氫原子化合也。 元素之此項性質，謂之原子價[1]或價。 元素之價，即爲該元素一原子所能化合之氫原子之數。 故氯之原子價爲一，氧爲二，氮爲三，碳爲四。

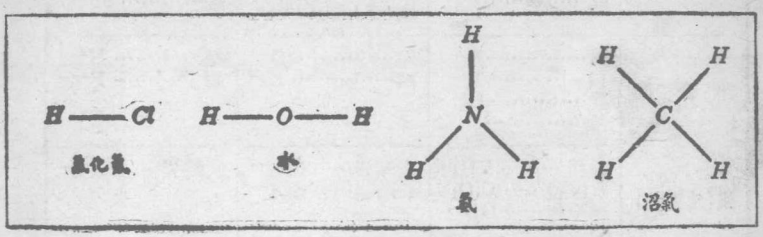
然有數種元素，雖能與他元素化合，而不能與氫化合者。 此等元素之原子價，吾人不能直接測定之，須間接求之。 例如鉛不與氫化合，而能與一原子之氧化合，而一原子之氧，則與二原子

[1] valence.

氫化合者,故吾人可假定,設使鉛與氫化合,則一原子鉛,當與二原子氫相化合,遂可謂鉛之原子價爲二。又如金不與氫化合,而與氯化合,一原子金與三原子氯化合。但一原子氯則與一原子氫相化合,故吾人可謂金之原子價爲三。

前見原子在化學上不能分剖。因此可知元素之原子價必恆爲一整數。

89. 原子價之圖解——元素之原子價,並不示人何以某數種元素能化合,某數種則不然之理由,其所表示者,僅各元素所能化合之氫原子之數而已。且元素彼此間實際結合之情狀究若何,亦不得而知;惟原子價之法則,可告人以某化合物中有若干原子相結合耳。此可以圖解表之,假定各原子均有一定數之鍵[1],各該原子即藉此以與他一原子或數原子相結合 原子連結之實際情形,自可決其與第 61 圖所示確然不同,惟吾人可用此法以揣擬原子價之概念耳。



第 61 圖 以鍵表原子價之圖解。

[1] bond.

上列圖解（第 61 圖）即表氯化氫，水，氨，沼氣中諸原子之此項揣擬的連結。如某元原與一個氫原子相結合，則自必僅有一支鍵或鉤；其原子價即爲一。同樣，凡與二個，三個，四個氫原子相化合之元素，當分別有二支，三支，四支之鍵。如鋅等之元素，原子價爲二，設與氯相結合，氯原子價爲一，則必需二個氯原子以與一個鋅原子之二支鍵相連結。故其式當爲 $ZnCl_2$。

第十四章中當對於原子結構之電子說，作初步之論述，遂可明如何藉電子以解釋原子價。第十八章中又當指陳，元素或元素團之原子價，如何根據於實驗之事實。

90. 普通元素及元素團之價——元素或元素團之價，可附小＋或－之號於符號之右上角以表之，以＋號表金屬，－號表非金屬；例如 H^+, O^{--}, N^{---}。取氫爲原子價之標準，以氫原子從不與超過一個原子之任何他元素相化合者也。

普通原子價表[1]

	一價	二價	三價
金屬	鈉……Na^+ 鉀……K^+ 汞(亞)……Hg^+ 銀……Ag^+	鋅……Zn^{++} 鈣……Ca^{++} ……Cu^{++} 鎂……Mg^{++} 鐵(亞)……Fe^{++}	鋁……Al^{+++} 鉍……Bi^{+++} 銻……Sb^{+++} 鐵……Fe^{+++}
非金屬	溴……Br^- 碘……I^- 氯……Cl^- 氟……F^-	氧……O^{--} 硫……S^{--}	氮……N^{---} 磷……P^{---}
根(元素團)	銨根……NH_4^- 氯酸根……ClO_3^- 氫氧根……OH^- 硝酸根……NO_3^-	碳酸根……CO_3^{--} 硫酸根……SO_4^{--}	磷酸根…PO_4^{---}

[1] 此時宜即將此全表熟記，日後可省不少時間。

本表所列普通元素及普通之元素團之價，悉按照上述指示原子之價之體制。有數種元素團，如鹽基中之氫氧 (OH) 團，硫酸中之硫酸 (SO_4) 團，硝酸中之硝酸 (NO_3) 團，銨化合物中之銨 (NH_4) 團等，經多種反應均能保持完善無損。此項元素團之作用，絕似一單獨之元素，謂之根[1]。根亦有價，如元素然。元素或團具一原子價者，簡稱一價，二原子價者稱二價，餘類推。

91. 可變原子價[2] ——由原子價表，可見有數元素不止具一種之原子價者。此事使原子價之通則趨於錯雜。一切元素幾盡能生成若干化合物，其中該元素具一不尋常之原子價結合者。例如碳之原子價爲四，幾無例外，就二氧化碳 (CO_2) 可以知之（氧爲二價，此中共有二個氧原子）。然於一氧化碳 (CO) 中，則其原子價爲二。此項例外殊屬少見，祇須隨遇見時習記之可也。

又有少數元素，如鐵等，生成兩組之化合物，其中該元素之原子價彼此互異。例如，鐵有若干化合物，特稱爲亞鐵[3]化合物者，其中鐵之原子價爲二；又有卽稱爲鐵[4]化合物者，其中鐵之原子價爲三。此等元素，謂之具有可變原子價。

92. 應用原子價以作化學式 ——今請觀如何將原子價表所列舉者應用於化學式之作法。此處祇須論二種情形足矣：

1. 同原子價之元素（或根）化合成化合物時，當係原子與

[1] radical. [2] variable valence. [3] ferrous. [4] ferric (參考 § 94 命名法).

原子相化合，如下例所示。注意原子價係以＋號及－號置每符號之右上角以標之。

氯化氫 $H^{+}Cl^{-}$　一氧化銅 $Cu^{++}O^{--}$　磷酸鋁 $Al^{+++}PO_4^{---}$

氯化鈉 $Na^{+}Cl^{-}$　一硫化鐵 $Fe^{++}S^{--}$　碳化矽 $Si^{++++}C^{----}$

2. 異素子價之二元素(或根)化合成化合物時，當係一元素之總價數與他元素之總價數相等而化合。例如，水爲 $H_2^{+}O^{--}$。因氫之原子價爲一，而氧爲二，故必取 2 原子之氫，即如式中以 2 附置 H 之右下角。又如氯化鋁，爲 $Al^{+++}Cl_3^{---}$，以鋁爲三價，而氯爲一價也。二氧化碳爲 $C^{++++}O_2^{--}$。以碳爲四價，而氧爲二價，每原子之碳必有 2 原子之氧。氧化鋁爲 $Al_2^{+++}O_3^{--}$。因鋁之原子價爲三，而氧爲二，又因可爲 3 及 2 除盡之最小數爲 6，故必有二原子之鋁，俾總原子價得六，及三原子之氧，即成 Al_2O_3。

由原子價不等之二原子或根所成之分子，作其式時，可循下列之原子價規則：

一元素(或根)方面之原子價×原子(或根)之數等於他元素(或根)方面之原子價×原子(或根)之數。

93. 元素原子價之習記法——將普通元素及根之原子價表立加熟記，可省不少時間。是故讀每個元素或根時，習記其原子價，並常用以作化學式，亦至重要。如將所作之化學式逐一校核，以視該化合物兩部分之總價數是否均等，實亦極佳之練習。

例如，作硝酸鋅之式爲 $ZnNO_3$，於是標其原子價，$Zn^{++}(NO_3)^-$，當立見其正確之式應爲 $Zn(NO_3)_2$。習化學者，無庸將全原子價表強記，吾人如能記每一元素之至少一種簡單化合物之式，即常有助於習記。例如，欲知汞之原子價。設記及汞之紅色氧化物之式爲 HgO。則如知氧之原子價爲二，此化合物中汞之原子價當亦爲二。

94. 化合物命名法——凡由兩種元素，或由一種元素及一種根構成之化合物，稱爲**二元**化合物。此等化合物概以"化"字介於二元素間或元素與根之間以名之。例如氧化鋅，ZnO；硫化鉛，PbS；硫化銨，$(NH_4)_2S$。

凡由三種元素構成之化合物，其一爲氧者，則常以某酸某或亞某酸某名之。亞某酸某之化合物較相當之某酸某，含氧較少。例如硫酸鈉，Na_2SO_4，及亞硫酸鈉，Na_2SO_3。

凡化合物中金屬具有二種原子價者，則於原子價較高之一種，仍如普通之二元化合物命名，於原子價較低之一種冠以亞字，以爲區別，或於他一元素冠以數字表別之亦可。例如氯化亞鐵，亦作二氯化鐵，$FeCl_2$；及氯化鐵亦作三氯化鐵 $FeCl_3$。

數字之一，二，三，四，五示元素之一個，二個，三個，四個，五個原子也。例如一氧化碳，CO；二氧化碳，CO_2；三氧化二磷，P_2O_3；四氯化碳，CCl_4；五氧化二磷，P_2O_5。

95 原子價之困難點——在初學者，其習知普通元素之原子價，及記化合物之式時，準確使用原子價，自屬困難。但稍稍習練後，即覺其易爲，惟仍常須留意若干易生錯歧之處耳。譬如按照原子價規則，即未曾見過之化合物，亦盡能作出其化學式。例如銨無氧化物，但可作其式。反之，後此當見有化合物視若不符此規則。如碳化鈣，CaC_2；磁鐵礦 Fe_3O_4；乙炔 C_2H_2。總之，吾人務勿忘化學式，實乃代表眞實物質之實驗事實者也。

問題

1. 作下列各物之式：(*a*) 氧化鈣；(*b*) 氧化鋅；(*c*) 一氧化汞；(*d*) 氫氧化銨；(*e*) 氫氧化鋁。

2. 作下列各物之式：(*a*) 氯化鈉；(*b*) 氫氧化鈣；(*c*) 五氧化二磷；(*d*) 三硫化二銻；(*e*) 硫酸鋅。

3. 作下列各物之式：(*a*) 氧化鎂；(*b*) 氫氧化鉀；(*c*) 一硫化銅；(*d*) 硫酸鎂；(*e*) 碳酸鈉；(*f*) 磷酸鈉。

4. 試將下列各化合物中之根之原子價標出之：(*a*) Na_2SO_4；(*b*) $KClO_3$；(*c*) Ag_2CO_3；(*d*) $PbCrO_4$；(*e*) $(NH_4)_3PO_4$。

5. 試將下列各化合物中之元素及根之原子價標出之：(*a*) SiO_2 (砂)；(*b*) CCl_4；(*c*) PbO (密陀僧)；(*d*) MnO_2 (褐石)；(*e*) $HgCl_2$ (昇汞)。

第八章 提要

元素之化學符號代表 (1) 元素之名稱；(2) 元素之一原子；(3) 元素之原子量，常以克計。

化合物之化學式，說明何種元素構成該化合物，並其重量組成。

原子之原子價乃與其所能化合或其所能取代之氫原子之數。

根乃元素之團,於化學反應中,作用宛如一單原子。

二元化合物(僅含二種元素)作式時,其一元素之總原子價必須與他元素之總原子價相等。

問 題

1. 糖之化學式爲 $C_{12}H_{22}O_{11}$。此式對於糖之組成,有何告示?

2. 試將下列各式標其原子價: CH_4; $AlCl_3$; P_2O_5; SO_3; AgI; $CaBr_2$。

3. 試舉下列各式所指之化合物之名稱: $Ca(OH)_2$; $KClO_3$; $ZnSO_4$; $Ba_3(PO_4)_2$; $BaCO_3$。

4. 將下列各式校正之: $BaCl_3$; $Ag(NO_3)_2$; $Al_3(SO_4)_2$; Ca_2SO_4; NH_4Br_2; $NaPO_4$; $AlOH_3$。

5. 試作下列各化合物之式,並標出各元素或根之原子價: (*a*) 硫化鉛; (*b*) 氯化鈣; (*c*) 硫酸銨; (*d*)硝酸鈉; (*e*) 氧化銀。

6. 試作下列各物之式: (*a*) 磷化鈣; (*b*) 硫化鉀; (*c*) 氫氧化銨; (*d*) 氮化鋁; (*e*) 硫酸鐵。

7. 試舉下列鐵之氧化物之名: FeO 及 Fe_2O_3。

8. 試舉下列第一類 (*a*) 中諸化合物之名,而作第二類 (*b*) 中諸化合物之式: (*a*) CdS; H_3PO_4; $Cr(NO_3)_3$; $CoCl_2$; $Ca_3(PO_4)_2$; $PtCl_4$; WO_3; H_2S。(*b*) 硫化鋁; (四) 氯化錫; 氧化鋯; 硫酸鉻; 硝酸鐵。

9. 試作下列各化合物之式: (*a*) 氮化鎂; (*b*) 氧化鈣; (*c*) 氟化鋁; (*d*) 硫酸鈉; (*e*) 一氧化汞。

10. 假定碳及矽均爲四價,試作下列各物之式: (*a*) 二氧化矽(砂); (*b*) 四氯化碳; (*c*) 碳化矽(金剛砂); (*d*) 碳化鈣; (*e*) 氯化矽。

11. 試舉下列各化合物之名: (*a*) 鎢酸之鉀鹽; (*b*) 氯鉑酸之鈉鹽; (*c*) 亞硝酸之鉀鹽; (*d*) 僅含鈣及硒之化合物。

12. 設 B 之原子價爲二,試由下列各式,推定 A, C, D 之適當原子價:

A_2B_3; B_2C; B_5D_2。 A 與 C 之化合物之式當若何? C 與 D 之化合物之式當若何?

13. 抄錄下表而於空格中填入各種化合物之式,如所示之例。

	氯化物 Cl^-	氧化物 O^{--}	氫氧化物 $(OH)^-$	硝酸鹽 $(NO_3)^-$	硫酸鹽 $(SO_4)^{--}$	磷酸鹽 $(PO_4)^{---}$
鈉, Na^+	$NaCl$	Na_2O	$NaOH$	$NaNO_3$	Na_2SO_4	Na_3PO_4
鉀, K^+						
銨, $(NH_4)^+$						
鈣, Ca^{++}						
鉛, Pb^{++}						
鎂, Mg^{++}						
鋅, Zn^{++}						
鐵(亞), Fe^{++}						
鐵 Fe^{+++}						
鋁, Al^{+++}						
錫, Sn^{++++}						

第九章

化學方程式及推算法

化學方程式之用途——方程式作法——五步驟——方程式所不表白者——已習諸反應之寫習方程式。

反應之四種典型。

推算之重要——化合物之式量——百分組成——方程式內之重量關係——祇涉及重量之問題——重要數字——五步驟。

96. 化學家作方程式之原因——化學家之利用符號及分子式，其主要目的，在以簡短精確之方程式，記述關於化學變化或反應之大宗事實。物質既屬不可毀滅(物質不滅定律)，則凡此等變化或反應，自可以方程式表之。變化之前後各元素之量盡相同。前此吾人已作過若干文字方程式；今試以繹作式的方程式。

97. 方程式作法——吾人務必牢記化學方程式，均依據經實驗尋出之事實，而表確實發生之化學反應或變化者也。吾人所需用之方程式，決不能逐一牢記之，本章當就作方程式時之機械的方法一述之，俾學者能自爲運用。今試以前此已讀過之各種反應爲例。此際應知：凡化學方程式，非絕對正確，即係

完全錯誤。

凡起變化物料之符號及式，悉置左方；凡變化結果所得新產物之符號及式則置右方；箭號爲生成或得出之意。例如鐵與硫之化合成硫化鐵，可表之如次：

$$Fe + S \rightarrow FeS$$

鎂於氧中燃燒可先表之如次：

$$Mg + O_2 \rightarrow MgO$$

惟此方程式實爲錯誤，蓋左方有二個氧原子，而右方僅有一原子也；是將示氧必有所失去矣。"方程式"云者，其意卽每一元素之原子，其數於變化後（右方）必與變化前（左方）恰相同。今可將此式行所謂"平衡"之手續，如：

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

是卽方程式左方之各原子，盡見於右方矣。

氯酸鉀受熱分解時，可先作下式：

$$KClO_3 \rightarrow KCl + O_2$$

然後再平衡之，如：

$$2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$$

由上可知此等方程式並非代數的；乃代表確實發生之化學變化者也。

作方程式之前，應先明下列各點：

(1) 反應確實發生;

(2) 參與反應者爲何數種物質;

(3) 產物爲何;

(4) 所參與之物質及產物之化學式。

98. 各步手續提要——作化學方程式共有五步手續:

(1) 將參與反應之每種物質之式,記於左方。

(2) 將所知產生之每種物質之式記於右方。

(3) 校正右方,增加分子之數,俾盡用去左方諸元素。

(4) 校正左方,增加產生物質所需之分子之數。

(5) 審查全式,俾各元素之每一原子確無不見於式中。

[例如] 氫燃於氧中而產生水。

(1) $H_2 + O_2$

(2) $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$

(3) $H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

(4) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

(5) 今左方氫 2 分子中有氫 4 原子,而右方水 2 分子中有氫 4 原子。左方氧 1 分子中有氧 2 原子,而右方水 2 分子中有氧 2 原子。

99. 注意!——凡氣態元素應用分子式。例如氧,氫,氮,氯之分子式爲 O_2, H_2, N_2, Cl_2。

應知置於式前之數字,爲全式之倍數。例如 $2H_2O$ 與 $2(H_2O)$ 意同。即代表水二分子,含氫 4 原子及氧 2 原子是也。

平衡方程式時,勿改變物質之化學式,應取其適當之分子

數,使各元素原子之數兩方相同。

100. 方程式所不表白者 —— 化學變化尋常僅發生於某種情況之下。此等情況則不見於方程式中。

[例如] 方程式

$$2HgO \rightarrow 2Hg + O_2$$

並不說明紅色氧化汞必需加熱,始得分解。方程式

$$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$$

並不表示硫酸須用水稀釋。

方程式對於所涉各物質之物理狀態,並不告示;卽固體 液體或氣體皆不論。又作用發生之久暫,雖於經濟上爲極重要之事,而方程式則不言明之。

通常某數種物料雖有存在而不受變化者,皆不見於方程式中,如水之作爲溶劑及種種觸媒等是。再如化學反應中所生之熱量,大抵亦不指明。例如,

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

說明碳與氧化合成二氧化碳。但不言明所生之熱爲若干,此一記述在工業化學家爲極重要之事。

101. 習見諸反應之作成方程式 —— 今試將前此已讀得而向以文字概括之種種反應,作成化學方程式。吾人對於此等方程式,當盡能一目了然。

水電解時分解爲遊離氫及氧。其方程式爲:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

當係取水二分子,以供氧一分子,其中含有二原子。遊離氧之式爲 O_2.

加熱一氧化汞,得氧及汞。方程式爲:

$$2HgO \rightarrow 2Hg + O_2$$

又係取氧化汞二分子,俾得充分之氧原子,以生成一分子也。所生成之汞爲一種液體;金屬中之原子,每不相結合成分子,蓋可確信。故可表之如下例:2Hg 而非 Hg_2,乃二個單獨之汞原子也。吾人亦可認爲一分子汞乃由一個原子所組成。

102 反應之四種典型——(1)單分解[1] 此種典型之化學變化,僅涉及一種物質,因化學反應而分裂成二種以上之較簡單物質。此項反應稱爲**單分解**[2]。水之分解成氫及氧,乃此種化學反應典型之一例。一氧化汞及氯酸鉀受熱而起之分解亦其例也。

$$2HgO \rightarrow 2Hg + O_2$$

$$2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$$

二氧化氫之分解,其又一例也:

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

(2) 直接化合或合成 另一種典型之化學反應,適與單分解相反,是爲**合成**[3]。在此種典型之反應中,係由二種以上之物質構成一種化合物。下列諸方程式爲前此所見均有氧參加之合成:

[1] 譯者按此處原著新版將 (1), (2) 更調,但按文氣及學習進度,以舊版順序較妥,故仍之。 [2] simple decomposition. [3] synthesis.

$$2Hg + O_2 \rightarrow 2HgO$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

$$4P + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$

此等方程式表汞,氫,碳,磷,與純氧或空氣接觸而受熱時所起之變化。第4第5二方程式示碳於不充分之氧中燃燒,產生一氧化碳;而後由一氧化碳燃燒,生成二氧化碳。

(3) **單取代** 製氫各法(水之電解除外),均爲一種化學反應典型之例,稱爲**取代**,亦有稱置換或化代者。在此種典型之反應中,一元素取一化合物中之他一元素或他數元素之位而代之。

如,鋅或鎂與鹽酸或硫酸作用,其金屬卽取氫而代之:

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$$

$$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$$

$$Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$$

水汽通過熱鐵上,鐵卽取水中之氫而代之,生成磁性氧化鐵 (Fe_3O_4):

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

[註] 此方程式中所產生之氧化鐵之式,爲實驗之結果,初不能以何種原子價之規則以推測之。

將金屬鈉或鈣置水中,金屬卽取水中之氫而代之,生成氫氧化鈉 (NaOH) 或氫氧化鈣 $Ca(OH)_2$:

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$$

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2$$

[註] 氫應表以分子狀態 (H_2),故須於數處冠以 2 之係數。

化合物中一元素取代他元素時，雙方元素原子之數，務使取代入之元素，其原子價之和與被取代元素之原子價之和相等。例如鋅取代鹽酸中之氫時，每一原子鋅取代二原子氫，以鋅之原子價爲二而氫之原子價爲一也：

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$$

鋁與鹽酸反應時，每一原子鋁生三原子氫，以鋁之原子價爲三也：

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

〔註〕 因氫爲一種氣體，當時卽逸出，故常以向上之箭號↑附加 H_2 之後以表之。

此種利用原子價之規則，對於作取代反應之方程式，頗足資助。

(4) **複取代**[1] **或複分解**[2] 化學反應最普通之典型，當爲二種化合物間互起作用，產生他二種化合物。此種反應，常稱爲**複分解**，蓋其中顯係每一化合物拆散成二部分，每一部分均與他化合物之另一部分相化合。

〔例 1〕 鹽酸 (HCl) 與大理石 ($CaCO_3$) 反應生成氯化鈣 ($CaCl_2$) 及碳酸 (H_2CO_3)：

$$2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$

〔例 2〕 加硝酸銀 ($AgNO_3$) 溶液於食鹽 (NaCl) 之溶液中。所生成之沈澱爲氯化銀 (AgCl)，硝酸鈉則留於溶液中：

$$\boxed{Ag}\boxed{NO_3} + \boxed{Na}\boxed{Cl} \rightarrow \overset{\downarrow}{AgCl}\downarrow + NaNO_3$$

[1] double replacement. [2] double decomposition.

因氯化銀成固體而澱出,向下沈降,故以下向之箭號↓附加式後。

就此種典型之反應內,可見第一化合物之第一部分,與第二化合物之第二部分相結合,而第一化合物之第二部分,則與第二化合物之第一部分相結合。

問題

1. 化學方程式何以稱爲方程式?
2. 各個化學方程式例證化學上之何項定律? 試舉述此定律?
3. 作化學方程式之前,必須先知何數項事實?
4. 化學反應之何數項重要事實,不表見於化學方程式內?
5. 鋅與硫共熱時,先成硫化鋅 (ZnS)。試作其方程式。
6. 錫熱於空氣中,卽生成氧化錫 (SnO_2)。試作其方程式。
7. 鋁與鹽酸 (HCl) 起反應,生成氫及氯化鋁 ($AlCl_3$)。試作其方程式。
8. 上題中之反應,屬於何種典型?
9. 氯化鉑 ($PtCl_4$) 强熱時,卽分成鉑及氯 (Cl_2)。試作其方程式。
10. 氯化鈉之溶液與硝酸銀溶液相混時,生成一種白色沈澱之氯化銀 (AgCl)。試作其方程式。

* * *

11. 單分解與複分解間之區別若何?
12. 試作氫氣發生器爆炸時所具反應之方程式。
13. 鐵燃於氧中,其產物爲磁性氧化鐵 (Fe_3O_4)。試作其方程式。
14. (a) 二氧化碳氣泡通過石灰水 ($Ca(OH)_2$),生成碳酸。試作其方程式。(b) 碳酸又與氫氧化鈣反應,生碳酸鈣 ($CaCO_3$) 及水。試作其方程式。
15. 試平衡下列諸方程式:

(a) $Ag_2O \rightarrow 2Ag + O_2$

(b) $2KNO_3 \rightarrow 2KN_2O + O_2$

(c) $2C + O_2 \rightarrow 2CO$

(d) $Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$

(e) $Na_2O_2 + H_2O \rightarrow NaOH + O_2$

16. 平衡方程式時,何以可增加所用或所產生之分子之數,而決不可改變任何正確化學式之尾數?
17. 試平衡下列各方程式:

(*a*) $H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2$

(*b*) $K + O_2 \rightarrow K_2O_2$

(*c*) $P + Cl_2 \rightarrow PCl_5$

(*d*) $Al + H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + H_2$

(*e*) $H_2S + AsCl_3 \rightarrow HCl + As_2S_3$

18. 試於上列各方程式內所用諸化學式下，舉列各物質之名稱。

19. 試就下列各事項內所起之化學反應，作平衡方程式。

(*a*) 普利斯特利氧之發見。

(*b*) 拉瓦錫之汞與空氣之歷史的實驗（此反應爲可逆的）。

(*c*) 卡汾狄士氫之發見（鐵與酸）。

(*d*) 麼婁測定水之組成之方法。

(*e*) 柏濟力烏斯測定水之組成之方法。

20. 試就 (*a*) 臭氧發生器；(*b*) 氫氧吹管；(*c*) 原子氫吹炬內所起反應，作平衡方程式（全用化學式）。

化學推算法

103. 化學推算對於工業上之重要 —— 化學方程式對於工業化學家至爲重要。藉此可以計算某一反應中當用原料若干（第 62 圖），其產物可望獲得若干。然實際上產物殊難按照方程式計算而獲得全量，故惟有推算其工業方法之效率，卽實際產量爲按化

第 62 圖　秤取原料爲橡皮工業上一主要部分。

學方程式推算之理論產量之百分率爲何。此項推算悉根據各反應之化學方程式,而僅需極簡單之算法。其間可類分爲數種格式。

格式 1. 由化合物之化學式求其分子量 化學式不僅代表化合物之名稱,亦代表其一分子以氧原子爲 16 作標準之重量。藉化合物之化學式,以推算其分子量,只須將分子中全體原子之重量相加即得。但以原子量祇屬相對的重量,故分子量亦必爲相對量。

[例] 碳酸鈣 ($CaCO_3$) 之分子量爲 $40 + 12 + (16 \times 3)$, 即 100。又硫酸銅 ($CuSO_4$) 之分子量爲 $63.6 + 32 + (16 \times 4)$, 即 159.6.

[又一例] 求石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 之分子量。今石膏爲結晶硫酸鈣,每一硫酸鈣分子,附有二分子水。此項所謂含附水[1] 或結晶水[2] 乃係與硫酸鈣作化學的結合者,於式中以點表之,此處之點,其意爲加。故 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 之分子量爲 $40 + 32 + (16 \times 4) + 2(2 + 16)$, 即 172 也。

分子量改稱爲式量[3] 或爲較佳之名詞,蓋其含義與實際所指者較爲難切也。

格式 2. 由化合物之化學式求其百分組成 如既知化合物之化學式,而又有原子量表,即不難求化合物中各元素之百分率。

[例 1] 求碳酸鈣 ($CaCO_3$) 之百分組成。鈣之原子量爲 40, 碳爲 12, 氧爲 16, $40 + 12 + (16 \times 3)$ 爲其式量即 100。故碳酸鈣含有 $\frac{40}{100}$ 或 40% 之鈣,

[1] water of hydration. [2] water of crystallization. [3] formula weight.

$\frac{12}{100}$ 或 12% 之碳，$\frac{48}{100}$ 或 48% 之氧。此題特別易解，以其式量恰等於 100 也。

[例 2] 求氯酸鉀 ($KClO_3$) 之百分組成。鉀之原子量爲 39，氯爲 35.5，氧爲 16。則其式量爲 $39+35.5+(16\times3)$，即 122.5。故氯酸鉀即含有

$$\frac{39}{122.5}=0.318 \text{ 或 } 31.8\% \text{ 之鉀}$$

$$\frac{35.5}{122.5}=0.290 \text{ 或 } 29.0\% \text{ 之氯}$$

$$\frac{48}{122.5}=0.392 \text{ 或 } 39.2\% \text{ 之氧}$$

[校核] 總計 100.0%。

[例 3] 由結晶硫酸銅一噸 (2000 磅) 可得金屬銅若干？設硫酸銅結晶之式爲 $CuSO_4\cdot5H_2O$。該化合物之式量即爲 $63.6+32+(16\times4)+5(2+16)$，即 259.6。

銅之百分率爲 $\frac{63.6}{259.6}=0.245$，或 24.5%，而一噸硫酸銅結晶中銅之重量即爲 0.245×2000 或 490 磅。

[譯者按] 噸爲英美重量單位，合標準制 1016 仟克。市制 2032 市斤。見書末附表。

總之，由化合物之式求其百分組成，先計算其式量，繼以此式量除每一元素之原子量[1]，而使其商數作爲小數。取留三位重要之數字 (§ 106)。以其前二位小數表百分率。

格式 3. 祇涉及重量之問題 [例 1] 若干重量之鐵，適足與 10 克之硫化合而成硫化鐵 (FeS)？

欲免錯誤，宜將計算法排列清楚，而按步演算之。

先作方程式：

$$Fe + S \rightarrow FeS$$

[1] 設式中有何元素不止一原子者，則取分子中該元素全體原子之重量。

於是於各符號及式下，記其所表之重量（用書末附表之原子量近似值）。

$$Fe + S \rightarrow FeS$$
$$56 \quad 32 \quad 88$$

即鐵重量 56 分與硫重量 32 分化合生硫化鐵重量 88 分。此處方程式有量的意義。

其次，重讀問題，而於硫之符號上記以所舉眞實之重量，即 10 克，而於鐵之式上記以 x 克，是爲所欲求之重量；如：

$$x \text{ 克} \quad 10 \text{ 克}$$
$$Fe + S \rightarrow FeS$$
$$56 \quad 32 \quad 88$$

最後，於實量與式量之比率間，列方程式，如：

$$\frac{x}{56} = \frac{10}{32}$$

故
$$x = \frac{56 \times 10}{32} \text{ 即 } 17.5 \text{ 克，硫之重量。}$$

今可由約略估計應需之量，以校核此答數之合理與否。此處知 56 分之鐵，應與 32 分之硫化合。即所需之鐵，約爲所用硫之四分之七。故上列答數 17.5 確係合理。如此則凡爲小數點之錯置，或分數之倒置等錯誤，均立可察見矣。

［例 2］設欲計算自 10 克之硫可製成若干重量之硫化鐵 (FeS)，假定所必需之鐵供備無缺。

$$10 \text{ 克} \quad x \text{ 克}$$
$$Fe + S \rightarrow FeS$$
$$32 \quad 88$$

$$\frac{10}{32} = \frac{x}{88}$$

$$x = \frac{88 \times 10}{32} = 27.5 \text{ 克，硫化鐵之重量。}$$

［校核］鐵之重量(17.5 克)＋硫之重量 (10 克)＝硫化鐵之重量(27.5 克)。

104. 又一解法——吾人旣知硫 32 克，設與足量之鐵適當化合時，可生硫化鐵 (FeS) 88 克。則硫 1 克當生硫化鐵 88 克

之 $\frac{1}{32}$，而硫 10 克當生硫化鐵 88 克之 $\frac{1}{32}$ 之 10 倍；即 $\frac{10\times 88}{32}$ 或 27.5 克。

算術的推算法，其數量與上述者同，惟推理之方法或較爲簡捷耳。

105. 方程式之量的意義 —— 前見經適當平衡之方程式，即舉示吾人許多有價值之事項。告以何種物質起反應，而何者爲產物；亦舉示所包含各物質之分子之數；末後藉式量而知方程式中各不同物質之相對重量。

〔例〕 於加熱氯酸鉀以製氧之方程式中，可推算氯酸鉀，氯化鉀，及氧之相對重量：

$$2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$$

$$(2\times 122.5) \quad (2\times 74.5) \quad (3\times 32)$$

$$245 \quad 149 \quad 96$$

每一分子之式量可由所包含各元素之原子量相加而得：

$KClO_3$ 之式量 $= 39 + 35.5 + (3\times 16) = 122.5$

KCl 之式量 $= 39 + 35.5 = 74.5$

O_2 之式量 $= 2 \times 16 = 32$

方程式中既有氯酸鉀及氯化鉀各二分子，故將其式量各乘以 2。又因有氧三分子，故以 3 乘其式量。

今可將此方程式讀作：氯酸鉀重量 245 分，生氯化鉀重量 149 分及氧重量 96 分。

106. 重要的數字 —— 解答本書所載之問題時，所用之原

子量,均爲書末附表中之近似值。此等數值雖非所測定之最精確之數值,但於實用上已足切合。惟於作極精密之化學工作時,始用所求得之最準確之數值。此項近似值中,當見其無三位以上之數字;自左起算之第四,五,六位數字均經略去。例如銀之精確原子量,爲 137.37。今作爲 137。同樣,於演算時,其答數亦祇須表以最近之三位數字。因所用之原子量既無三位以上之數字,則於可能答數中之第四,五,六位數字,卽無足重要。故謂本書各問題均祇須算至三位重要之數字。至於一組數字前之零,如 0.00672,則不在重要數字以內;此處之三位重要數字爲 6, 7, 2.

107. 重量問題解法五步 —— 就經驗所知,凡依系統之方法,以從事化學問題之解答,則既敏捷,而少錯誤。茲舉五種步驟如下:

(1) 將問題中之反應作完全之方程式.

(2) 於問題中所包括各物質之式下記其式量.

(3) 將所設之眞實重量,記於物質之式上,而以 x (克或斤)記於所欲求其重量之物質之式上.

(4) 作兩個分數之方程式,一爲所舉物質之式量除眞實重量,一爲所求物質之式量除 x. 眞實重量爲分子,式量爲分母.

(5) 將此方程式解開,而由約略計算其應有之答數,以決

定求得之答數是否合理。

108. 例題——欲製 10 克之氧，應需氯酸鉀若干克？

試依上述之五步驟爲之：

(1) 完全之方程式

$$2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$$

(2) 於式下記出式量

$$\begin{array}{cc} x\text{克} & 10\text{克} \\ 2KClO_3 \rightarrow & 2KCl + 3O_2 \\ (2\times 122.5) & (3\times 32) \\ 245 & 96 \end{array}$$

(3) 記出眞實重量

$$\begin{array}{cc} x\text{克} & 10\text{克} \\ 2KClO_3 \rightarrow & 2KCl + 3O_2 \\ (2\times 122.5) & (3\times 32) \\ 245 & 96 \end{array}$$

(4) 作分數方程式

$$\frac{x}{245} = \frac{10}{96}$$

(5) 解

$$96x = 10 \times 245$$

$$x = \frac{10 \times 245}{96} = 25.5 \text{ 克}$$ 答數。

[校核] 245 約爲 96 之 $2\frac{1}{2}$ 倍，故揣想其答數當約爲 25 克。

問 題

1. 試計算硝酸銨 (NH_4NO_3) 中氮之百分率。

2. 結晶氯化鋇之式爲 $BaCl_2\cdot 2H_2O$，表示無水氯化鋇每一分子，有二分子之水與之結合。試計算結晶氯化鋇中結晶水之百分率。

3. 求芒硝 ($Na_2SO_4\cdot 10H_2O$) 100 克中結晶水之重量。

4. 設有膽礬 ($CuSO_4\cdot 5H_2O$) 一噸 (2000 磅)，問其中含有結晶水若干(磅)？

5. 試計算下列諸化合物之百分組成：(a) 食鹽 ($NaCl$)；(b) 硝石 (KNO_3)；

(c) 二氧化碳 (CO_2)；(d) 氧化鐵 (Fe_3O_4)；(e) 大理石 ($CaCO_3$)。

* * * *

6. 假定血紅素(血液中之紅色物質)之式爲 $C_{738}H_{1203}N_{195}S_3Fe$。試計算其中鐵之百分率。由所得答數視之,將謂鐵不重要乎? 試解釋之。

7. 設有水電解時產生氫十克。問同時產生氧若干克?

8. 設濃鹽酸中僅含純氯化氫 35%，則如用酸 100 毛立(比重爲每立毛 1.2 克),與過量之鋅,能生氫若干克?

第九章 提要

方程式表確實之反應,爲某定數之原子在化學變化前後之分子情況圖記。

化學方程式常須平衡;卽雙方各元素原子之數必相等。

作方程式之前,應先明下列各點:

(1) 反應確實發生;

(2) 參與反應者爲何數種物質;

(3) 產物爲何;

(4) 所參與之物質及產物之化學式。

化學方程式不表明反應之情況。觸媒及溶劑不受影響者不爲表見。尋常不告示熱效果。不列明反應之速度。

化學變化可類分如下:

(a) 單分解;

(b) 直接化合,或合成;

(c) 單取代;

(d) 複取代,或複分解。

化學式乃表化合物中所含元素之相對重量者。

化學方程式乃表所包括諸物質之相對重量者。作出方程式,並藉原子量及式量,即可計算一種化學變化中所需或所產生之任何物質之量。

化學方程式中,一物質之眞實重量,對於其式量之分數,與同方程式中,任何他物質之眞實重量,對於其式量之分數均相同。此等計算每次僅涉及二種之物質。

問 題

1. 欲生 4 克之氧,須用氯酸鉀若干?
2. 欲生 4 克之氧,須用一氧化汞若干?
3. 問題 2 中當得汞若干克?
4. 鋅 6.5 克與鹽酸作用時,當產生氫重量若干? 與硫酸作用又若何?
5. 試計算磷 6.2 克燃燒時,當生成五氧化二磷 (P_2O_5) 之重量。

* * * *

6. 將水蒸氣通過鐵 100 克上,至鐵盡變成磁性氧化鐵 (Fe_3O_4),結果當產生氫若干克?
7. 今有氧化銅 (CuO) 四十克,於乾燥之氫氣流中加熱,使之還元成金屬銅。試推算 (a) 所需氫之重量; (b) 所生銅之重量; (c) 所生水之重量。
8. 設將結晶碳酸鈉 10 克小心加熱,其所餘留之脫水碳酸鈉 (Na_2CO_3) 僅重 3.70 克。試推算結晶水分子之數。
9. 明礬之化學式爲 $K_2Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$。試推算明礬中結晶水之百分率。
10. 試計算上項明礬中氧之百分率。

進究題材

實用化學計算——設某種觀測氣球中需用氫氣 3,000,000 立,則自 (*a*) 鋅及酸, (*b*) 鐵及酸, 以製氫, 其原料價值若干? 用何種酸爲最廉? 此二法中何者似較經濟?

除原料外尙有其他重要之消耗項,故於製氫之價值,須先知此等耗費,始能得其最後之答數。歐戰時所用氣球中之氫氣,以何法製之? (原料市價可於工商雜誌, 如 *Chemical and Metallurgical Engineering*, 或工業原料店之貨價目錄得之。)

第七章至第九章複習題

1. 試作下列諸名詞之定義,並各舉一例: (*a*) 原子價; (*b*) 氧化; (*c*) 還元; (*d*) 式量; (*e*) 複取代。

2. 化學方程式依據於化學上之一基本定律及一基本理論。 問二者爲何? 試各舉述之。

3. 試述下記第一組 (*a*) 中所列諸化合物之名稱,而記第二組 (*b*) 內所列諸化合物之式: (*a*) SnS_2; H_3PO_4; Tl_2O; $CrCl_3$; H_2S; $Ca(NO_3)_2$; $AlPO_4$。 (*b*) 氯化錫;硝酸銨;氧化鉻;磷酸鈣 硫化鋁。

4. 試將下列反應各作一平衡之方程式 (全用化學式): (*a*) 氯酸鈉之分解 (加熱); (*b*) 銅與硫相化合 (加熱); (*c*) 硫酸與鎂之作用; (*d*) 硝酸銀與氯化鉀之作用 (在溶液中); (*e*) 氯化鋇與磷酸鈉之作用 (在溶液中)。

5. 問題 4 中每一方程式代表何種典型之化學反應?

6. 2O, O_2 及 O_3 間之區別爲何?

7. 試記述下列方程式所表示之一切事項:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O.$$

8. 下列何者爲重量定律, 何者爲體積定律? (*a*) 定比例; (*b*) 給呂薩克定律; (*c*) 倍比例; (*d*) 物質不滅。

9. 試舉述下列各定律,並舉例說明之: (*a*) 物質不滅; (*b*) 定比例; (*c*) 倍比例; (*d*) 氣體體積結合。 上列每一定律之最首創定者爲何人,約在何時?

10. 就道爾頓氏在其假說中所擬之四種假定，試以自撰之文句舉述之。

* * *

11. 氫在電弧焊接炬之"原子焰"中及於氫氧吹管之焰中均生極高之温度。試解釋之。

12. 試作下列反應之平衡方程式：(*a*) 鈉與水；(*b*) 二氧化氫之製造；(*c*) 氮通過鎂上；(*d*) 二氧化碳與水；(*e*) 氫氧炬。

13. 試說明物質不滅定律，何以應用於火爐中燃煤所起之化學變化？

14. 氫與氧之混合物爆炸時，放出何種之能？ 此項放出之能，在未爆炸之前爲何種之能？ 試於此項反應應用能不滅之定律。

15. 就鐵與硫相化合時所起現象觀之，所生成之硫化鐵之內在化學能是否較原來之鐵及硫之內在化學能爲大抑爲小？

* * * *

16. 計記算硝酸銅銨 $Cu(NH_3)_4(NO_3)_2$ 中氮之百分率。

17. 銅與氧相化合，生成具下列組成之二種化合物：

	I	II
銅	79.9	88.8
氧	20.1	11.2

試說明此乃倍比例之一例。

18. 製氧時取氯酸鉀 10 克與二氧化錳 5 克之混合物於大號派來克司試管中加熱之。 (*a*) 推算所生氧之體積 (標準温壓)。 (*b*) 試管中餘留何種化合物？各物之重量爲若干？

19. 以鎂取代含純 H_2SO_4 196 克之稀硫酸中全部之氫，需鎂若干克？ 如用鉀則需若干克？ 用鉛則若干？

20. 試計算下列諸化合物之百分組成：(*a*) 硫酸銨 $(NH_4)_2SO_4$；(*b*) 蔗糖 $(C_{12}H_{22}O_{11})$；(*c*) 磷酸鈣 $(Ca_3(PO_4)_2)$；(*d*) 樟腦 $(C_{10}H_{16}O)$；(*e*) 苯 $(C_{10}H_8)$。

第十章

氯化氫及氫氧化鈉

食鹽產地——鹽水之電解——電解池,伏斯。

鈉之發見——鈉,一種金屬——氫氧化鈉之實驗室製法——氫氧化鈉之性質及用途——一種典型鹽基。

109. 食鹽或氯化鈉 (NaCl) —— 本書迄此僅論及一種之普通化合物——水,及其組成元素,茲當進論第二種極常見之化合物食鹽。於後可知食鹽乃由二種元素即鈉 (一種金屬) 及氯 (一種氣體) 所構成。故稱爲氯化鈉 (NaCl)。

家常調製食物,耗量甚鉅;實則尋常食物調味所用之鹽量,遠過於身體內所能利用之量。自然界中所產之粗鹽,即所謂岩鹽,用於凝凍冰淇淋[1],餵飼犢牛,醃肉,罐藏魚類。惟鹽之最大銷路,實爲化學工業。以其爲氯之最廉之化合物,故用以製造氯氣,鹽酸,漂白粉,及其他多種氯化合物。鹽亦爲最廉之鈉化合物。故又用於製造洗用碱,苛性鈉,焙用碱,及其他多種鈉化合物。此外需用多量食鹽之工業,如陶器,玻璃,肥皂等均是也。

[1] ice cream.

110. 食鹽產地[1]——前見(§62)海水中含多量之食鹽,占海水溶解物之大部,故海水爲食鹽之一大來源;所得之鹽稱爲海鹽。陸地湖澤之水中,亦有含鹽甚多者,是爲鹽湖,鹽湖蒸發日久,鹽分漸富,或則乾涸,鹽質露於地面或留存土中,均可設法取得,是爲池鹽。又古代大鹽湖,因地面變遷,乾涸後,鹽質積爲厚層埋入土中,成爲岩鹽[2]。岩鹽溶於地下之水,於附近地區內可鑿井汲取,是爲井鹽。

我國沿海諸省均屬海鹽區。取鹽之法,有曬法煎法二種:

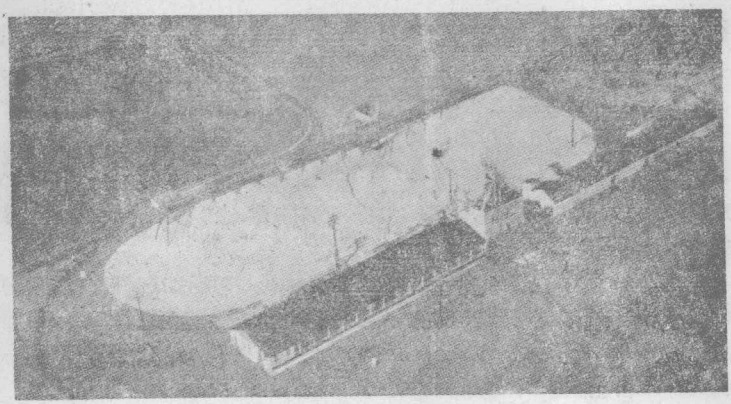
曬法:於日光劇烈之海岸,設置鹽池(亦稱鹽田)。鹽池大抵分爲貯水池,蒸發池,及結晶池三部。當潮滿時,導海水入貯水池,逐漸引入蒸發池。由日光之熱及風之作用,使水分蒸發而成鹽滷,然後注入結晶池,令其結晶。所得之鹽稱爲曬鹽。

煎法:汲海水注於平鋪土墩之細砂上,每晚集成小堆,次日上午復將灰堆攤開,灑以海水,如是二三日使灰中鹽分吸飽,是爲曬灰。然後擔至漏潭或溜缸(亦有稱灰坑),更注海水,使鹽分流入滷池,是爲淋滷。最後將滷移入煎竈煎乾,結晶成鹽,稱爲煎鹽。煎鹽成本較貴,故亦有以所得之滷,用曬法取鹽者。

美國舊金山灣[3]沿岸,亦有曬鹽設置(第 63 圖),將海水導入低地,而受日光蒸發。他如北俄,則將含鹽之水冷卻而使水自溶液中結冰析出者。但尋常均將溶液於減壓下加熱蒸發。純鹽先結晶出,於必要時可施重結晶以提淨之。池鹽在我國以山

[1] 譯者註　原書此節,悉以美國爲本位。譯者以食鹽關係我國民生經濟甚鉅,故酌爲改編。原書所有材料仍皆保留,惟陳述次序略有更動。 [2] rock salt. [3] San Francisco Bay.

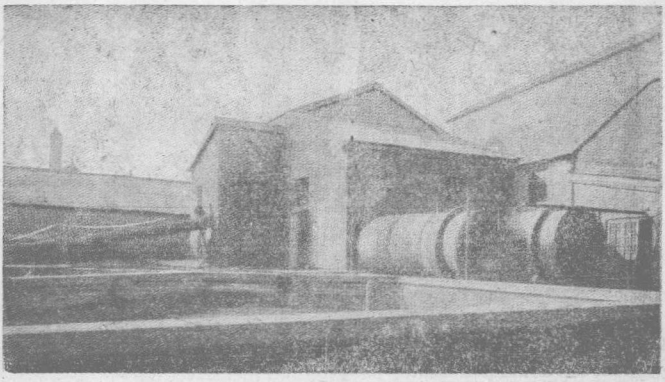
西之解池爲最著,美國之大鹽湖[1],巴力斯坦[2]之死海[3]尤名於世。井鹽以四川富順之自流井爲我國最著名者。其成岩鹽而以大礦牀產出者,則以德國斯坦斯弗[4],美國坎薩斯[5],猶德[6],敍拉古[7],奧國薩爾茲堡[8]爲最著。美國以密西根省爲最大之產鹽區,紐約省則產有較純粹之鹽。美國產量之多,世界各國無出其右。池鹽製法,或將池水曬乾,或刮土淋煎,井鹽則類多用煎法。



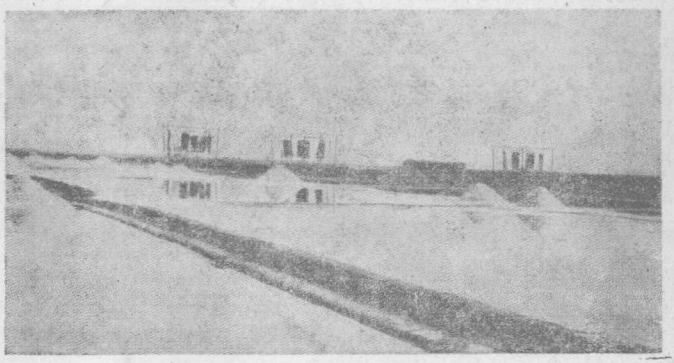
第 63 圖 舊金山灣所堆集之大量食鹽。

今日供工業用者,海鹽,岩鹽以及鹽井之鹽水均有。如用岩鹽,則一般逕取採得之鹽塊僅將其搗成大小均勻之顆粒卽得。供烹飪用者,則須加提淨而研成細碎之結晶形粉末。鹽中常混有少量之氯化鈣及氯化鎂,此等物質易自空氣中吸取水分,使鹽

[1] Great Salt Lake. [2] Palestine. [3] Dead Sea. [4] Stassfort. [5] Kansas. [6] Utah. [7] Syracouse. [8] Salzburg.

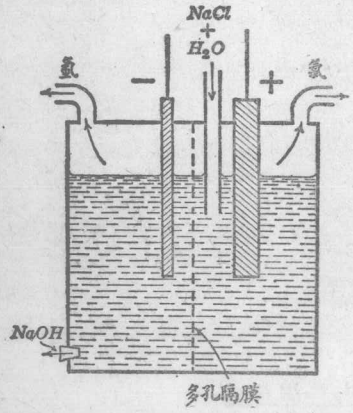


化鹽裝置（久大精鹽公司）。



鹽田（久大精鹽公司）。

黏合成塊。除盡此等雜質之化學的純鹽，則不吸取空氣中之水分，是爲精鹽。



第64圖　鹽水電解之圖解。

111. 鹽溶液之電解——上述鹽(氯化鈉)由鈉及氯二元素組成。當電流通過氯化鈉之濃溶液，卽於陽極上生氯氣，於陰極上生氫氣(第64圖)。陰極處實先遊離出鈉。惟吾人固已知(§45)此元素易與水起反應。結果卽放出氫而溶液中餘留一種物質，稱爲氫氧化鈉(NaOH)。此項變化可以下列方程式表之：

$$2NaCl \rightarrow 2Na + Cl_2 \text{(電解)}$$
氯化鈉　鈉　氯

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2\uparrow \text{(在陰極處)}$$
鈉　水　氫氧化鈉　氫

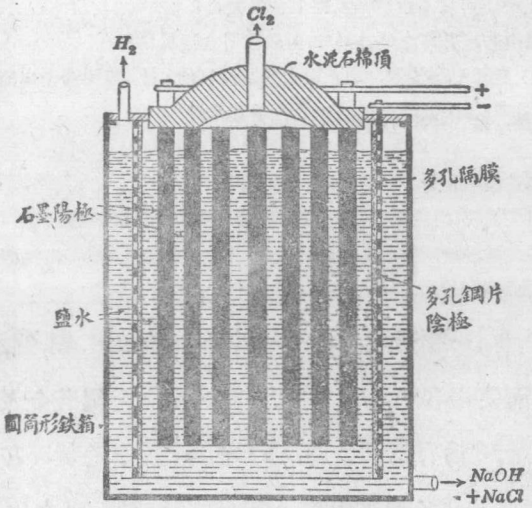
此項電解法，爲製造氫氧化鈉，氯及氫[1]之一種工業方法。

112. 工業上分解鹽所用之電解池——此項電解池，有數種種類。第65圖示其中一種，所謂伏斯筒形電池[2]。池中用許多石墨棒浸於鹽水內，作爲陽極(+)。陰極(−)則爲一多孔之鋼片隔膜。鋼片上襯有壓緊之石棉，以防氯與氫氧化鈉溶液相混和也。濃鹽溶液於近陽極處裝入。所生成之氫氧化鈉溶液，

[1] 氫屬無意中製得，故稱爲副產物(by-product). [2] Vorce cylindrical cell.

於近陰極處絡續放出。於是將氫氧化鈉之溶液於高溫度下蒸發之，而餘剩熔融態之氫氧化鈉。此熔融物可模製成任何形狀。氯氣經近陽極之圓頂出口逸出，氫氣則經陰極外方箱頂上之出口通出。

氫氧化鈉俗稱苛性鈉，大量製取，卽由氯化鈉濃溶液之電解。如製紙等工廠中，兼用漂白粉(供給氯氣)及苛性鈉者，則此項氯化鈉之電解產物，除氫以外，均可卽時致用矣。陽極所生之氯，直接通入氫氧化鈣中，以製漂粉。今漂白上用液體氯(鋼筒裝)甚廣，且日見增多矣。



第 65 圖　伏斯電池之縱剖面。

問　題

1. 試舉食鹽之用途六種。
2. 食鹽之主要來源爲何？

3. 試舉我國產鹽最著之省區。
4. 海水何以帶有鹹味?
5. 非洲土人曾以黃金易鹽;四時以鹽餅作爲錢幣。試解釋之。
6. 某種商品食鹽,其廣告有謂"陰雨可傾出"。試述其故。
7. 鹽於潮濕之夏日"還潮",何故?
8. 試述藉伏斯電池製造氫氧化鈉之情形。
9. 由電解法製氫氧化鈉時產有何種重要之副產物?
10. 鹽水電解時,何以在陰極上不得金屬鈉?

* * *

11 工業上電解鹽溶液時,何以其陽極以炭爲之?
12 鹽水電解時,何以須令氫與氯相隔離?
13. 工業上何以不由鈉與氯相化合以製氯化鈉?
14. 製造若是其多之他種鈉鹽,何以皆用食鹽爲原料?
15. (a) 我國濱海各省自海水取食鹽之法若何? (b) 美國舊金山灣若何? (c) 地中海沿岸若何? (d) 俄國白海沿岸於各季時若何?

* * * *

16. 製造氫氧化鈉 160 克,需用氯化鈉若干克?
17. 用電解法,由純粹氯化鈉一噸,可製成氫氧化鈉若干磅?
18. 設某溶液中所有之氯化鈉,爲 17 克之硝酸銀 ($AgNO_3$) 沈澱出,問該溶液中存有氯化鈉若干?

113. 鈉,一種活潑金屬——普通金屬如鐵,銅,錫,鋅,鉛等爲人所知而使用者既數百年矣。即貴重之金屬若金及銀,亦爲古人所經營。惟有數種金屬,極爲活潑,致無遊離存在於自然界中,而難與其他元素相析離。因此之故,鈉及鉀之化合物,如食鹽,硝石等,其爲人所知遠在其金屬本身,鈉與鉀之前也。

鈉爲柔軟之銀白色金屬,於手指間即易扭捏之。其受濕空氣之作用極速,其明亮之金屬光澤,僅於新切面可見之。鈉既爲

若是活潑之金屬,故常貯藏於不透空氣之錫罐中。實驗室內僅需少量,可保存於煤油中。

114. 德斐之發見鈉 —— 金屬鈉實乃一種實驗室之珍奇,最先由德斐[1](第66圖)於1807年製出。德氏所用之儀器,僅爲一鉑製坩堝,連於蓄電池之陽極,另一鉑絲連於電池之陰極。先於坩堝中熔化苛性鈉,然後令其電解,於陽極上析出氧,而陰極上析出鈉及氫。此一實驗進行時,當有少許金屬鈉顆粒升騰於熔融氫氧化鈉之液面,因接觸空氣而發火。

第66圖　德斐(1778—1829)
氏利用蓄電池遊離出鉀及鈉。
又發明礦工用之一種安全燈。

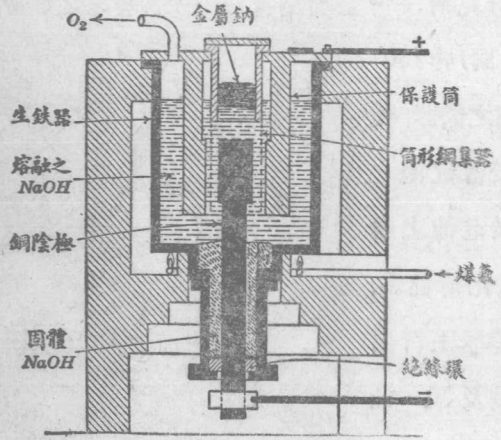
今仍有用此法製金屬鈉,惟其儀器構造遠爲擴大,且用較低廉之材料。今日所用之電流,亦仰給發電機,而非蓄電池矣。

115. 金屬鈉及鉀 —— 金屬鈉之製自熔融之氫氧化鈉,沿用已久。

於第67圖 *A* 之鐵製器內,熔融之氫氧化鈉傳導電流,適如該物質之溶液然。

[1] Sir Humphry Davy.

在一電極上釋出氧，他極上釋出金屬鈉及氫。熔融之氫氧化鈉中，所生之金屬鈉，無水亦無空氣與之反應，故可得其遊離態之物。鈉輕於熔融之氫氧化鈉，故以熔融態浮於液面，可隨時杓取之。金屬鉀之製法亦全相同。



第 67 圖 *A* 製金屬鈉之電池。

今可由電解熔融之氯化鈉以製鈉，該項氯化鈉中，含有氯化鈣及氯化鋇，以降低其熔點。

金屬鈉及鉀均爲極活潑之物質，保藏時非與空氣隔絕不可。尋常皆儲藏於煤油等液體中(第 67 圖 *B*)。此二金屬，新切割時，均作銀白色，且極柔軟。若氧及氯等非金屬元素大都能與此二者相化合，生巨大之能。其與水之反應，前已論之(§ 45)。在鉀，其反應尤烈，當鉀作用於水時，足令發火。

第 67 圖 *B*
金屬鈉儲於煤油中。

116. 實驗室製氫氧化鈉法——製氫時(§ 45)，吾人見鈉之與水反應至爲劇烈，祇能於每隔少時，投以一小塊。製氫氧化鈉時必須切記此點。

金屬鈉取代每分子水中一氫原子，而餘留氫氧化鈉於溶液中。此可由下方程式表之：

$$2Na + 2HOH \rightarrow 2NaOH + H_2 \uparrow$$

當溶液蒸發，即得白色固體之氫氧化鈉。

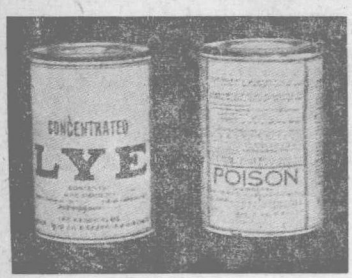
117. 氫氧化鈉之性質及用途。——此物質爲白色質脆之固體，吾人於上節實驗時已見之。供實驗室用者常係細長之條或扁丸（第 68 圖），惟供工業用者，則爲製於鐵鼓中之堅塊。此物自空氣中吸收水分及二氧化碳甚速。極易溶於水中。實驗室內凡需要一種鹽基時，即用此物之溶液。

氫氧化鈉之濃溶液及其帶濕之固體，均具甚強之腐蝕性；故名苛性鈉[1]。其於多數之動植物質破壞至速。於家常之淨洗上頗有價值，以其能與油膩起反應而溶解之也。市上裝以錫罐出售，稱爲鹼汁[2]（第 69 圖）。氫氧化鈉爲工業上一極重要之原料。例如製硬肥皂，製紙及棉製品，精製石油及製取煤焦油產物等均用之（見附錄，工業一覽表）。

第 68 圖　氫氧化鈉之條狀物（左）及扁丸狀物（右）。

[1] caustic soda.　[2] lye or soda lye.

118. 氫氧化鈉爲一種典型之鹽基 ——有一組之物質，若氫氧化鈉 (NaOH)，氫氧化鉀 (KOH)，氫氧化鈣 ($Ca(OH)_2$) 等均含有氫氧根 (OH)，而具若干共通之性質。其與指示劑[1]之作用，即其一例：均能使紅色石蕊質紙[2]變藍色，使無色酚酞劑[3]變粉紅色。凡此諸物即所謂鹽基類[4]是也，其與酸類[5]反應，即成鹽類[6]，鹽類既不具鹽基類之性質，亦無酸類之性質。例如，氫氧化鈉與鹽酸生成食鹽及水：



第 69 圖 "濃鹼汁" 大部爲氫氧化鈉。

鹽基		酸		鹽		水
$NaOH$	+	HCl	→	$NaCl$	+	H_2O
氫氧化鈉		鹽酸		氯化鈉		水

再，一切鹽基類於水溶液中皆具特殊之苦味或峻烈味，觸之滑膩如肥皂。

強烈之鹽基類，如氫氧化鈉及氫氧化鉀，稱爲鹼類[7]。後此數章中當述及其他之鹽基類，如氫氧化銨 (氨水)，氫氧化鈣 (石灰水)，及氫氧化鎂 (苦土乳[8])。

---

[1] indicator. [2] litmus paper. [3] phenolphthalein. 酚讀如分，酞讀如塔. [4] bases. [5] acids. [6] salts. [7] alkalies [8] milk of magnesia.

第十章　提要

氯化鈉於自然界中產量甚富，用以製造他種鈉化合物及氯化合物。

藉電解濃氯化鈉溶液可得氫氧化鈉，氯及氫。

金屬鈉由電解熔融之氫氧化鈉以製之。在化學上爲極活潑之金屬。

氫氧化鈉爲一種典型之鹽基，由一種金屬與一氫氧根所組成。

鹽基類可溶於水中，如氫氧化鈉，及氫氧化鉀，稱爲**鹼類**。

問　題

1. 發見金屬鈉者爲何人？
2. 彼尙有其他何種發見？
3. 金屬鈉於 1807 年發見。何以此物不能較早發見？
4. 實驗室內保存金屬鈉應若何？
5. 實驗室內製取氫氧化鈉之法若何？試作反應之方程式。
6. 試舉述氫氧化鈉之數種重要用途。
7. 家用鹼液一罐，其主要成分爲何[1]？
8. 鹼液罐何以常須置廚房內洗滌盆之近旁[1]。
9. 家常用鹼液時與人有何危險[1]？
10. (*a*) 鹼液；(*b*) 苛性鈉；(*c*) 岩鹽，三物之組成各爲何？

* * *

11. 自然界內何以不見存有金屬鈉？
12. 鈉何故認爲一種金屬？

[1] 譯者按此三題不合國情，可删。

13. 金屬鈉一塊，暴露空氣中，當起何變化？（切勿試之）。

14. 如何可令食鹽不結餅？

15. 一般均以最低廉之化合物用作製造一種元素之原料。對於鈉是否若是？

* * * *

16. 熔融之氫氧化鈉一噸電解時，可得金屬鈉若干磅？

17. 欲製金屬鈉 115 克，應需氫氧化鈉若干克？

18. 將碳酸鈉 (Na_2CO_3) 212 克與消石灰（氫氧化鈣，$Ca(OH)_2$）共熱，可製成氫氧化鈉若干克？

第十一章

氯及氯化氫

氯之發見——實驗室製法——物理性——化學作爲——工業製法及用途。
氯水及次氯酸——次氯酸鹽——漂白粉——初生氧——防腐作用。
氯化氫之製取——性質——鹽酸——其用途——氯化物——氯化物之檢驗。
氯化氫之分析及合成。

119. 氯之發見——氯雖於 1774 年已由瑞典藥劑師社勒氏用今日實驗室常用之方法製得之,然直至德斐始給其名。其後法拉第[1](§ 151)復由冷卻及壓縮而液化之。然自 1915 年德人用此極刺戟而劇毒之氣體,對協約軍作驚人之攻襲後(第 70 圖),氯始爲一般民衆所知悉。晚近大城市中,含微生物之給水,多用氯爲殺菌劑,施行消毒,俾合飲用。

120. 實驗室製氯法——前章已述及製氯之一種工業方法。惟於實驗室內則由濃鹽酸用氧化劑處理以製之。此項氧化劑,使鹽酸氧化,令其中之氫變成水而產生氯。氧化劑常用二氧化錳 (MnO_2)。此際錳與鹽酸中半數之氯化合;當混合物加

[1] Michael Faraday.

第 70 圖　氯氣發自前線戰壕內，而藉風力吹向敵陣。
所見者乃凝附之水分。圖爲歐戰時由飛機上攝得。

熱時，其餘之氯，則成氣體放出。此項實驗，務須於通風櫥內行之。下列反應，宜加熟記：

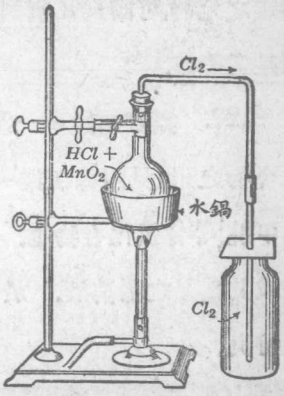
$$4HCl + MnO_2 \rightarrow MnCl_2 + 2H_2O + Cl_2 \uparrow$$

鹽酸　二氧化錳　氯化錳　水　氯

應知產物之一爲氣體，即氯。此由指向上之箭號表之。

如不用鹽酸，以與二氧化錳作用，則用氯化鈉與硫酸之混合物亦可，由此混合物，即產生鹽酸。因氯頗易溶於水中，故此氣體以取代空氣法集取之，如第 71 圖所示。

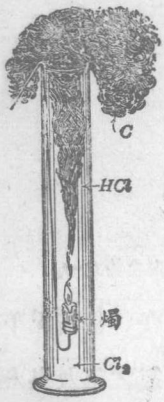
121. 重要性質——氯爲黃綠色之氣體,具極刺戟之臭。甚毒,卽於低濃度之氣體中,居留少時,亦足生劇重之肺障礙。氯重於空氣約二倍半。於常溫時,施加六至七氣壓之壓力,卽極易令其液化。液體氯今已成爲一種商品,貯於堅固之鋼筒中發售。



第 71 圖　實驗室製氯。

122. 化學之性——氯爲非常活潑之物質。在室溫時,能與許多元素相化合,生成種種氯化物,同時放出多量之熱。將新鮮研碎之銻(冷)及砷投入氯氣中卽突發火焰。氫之燃口,如於空氣中燃點後,入氯氣中,仍能繼續燃燒:

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$
氫　氯　氯化氫



第 72 圖
氫燃於氯中。

此項燃燒,事不常見,蓋反應中不包含氧也。其所起之反應,生熱及光者,乃氫與氯化合而成氯化氫也。如呼氣入瓶中,卽可見鹽酸之白色煙霧。碳與氫之化合物——例如石蠟——多數能與氯起猛烈反應,致生火焰。反應之重要產物爲遊離碳及鹽酸(第 72 圖)。故

燃燒之定義,可謂爲凡劇烈發動之化學變化,致生光及多量之熱者是爲燃燒。

123. 氯之用途——氯氣有巨量(第73圖)專供製造他種化合物之用(見附錄工業一覽表)。例如二氯化硫,四氯化碳,三氯甲烷[1]等皆氯化合物也。但亦用以製漂白劑及消毒劑,如次氯酸或其鹽類之稀溶液。於洗衣作或漂洗工場內往往可辨得氯之特臭。

第73圖 數百伏斯電池,用以自鹽水製氯,氫氧化鈉爲副產物之一。

124. 氯水及次氯酸——氯頗能溶於水中;在尋常情況下,水一體積能溶約三體積之氯氣。此項溶液,具有氯之色及臭,稱

[1] chloroform.

爲氯水[1]。如置之日光中,即漸漸分解,而釋出氧。如

$$2Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 4HCl + O_2 \uparrow$$

氯水製成時,揣度其當先生成鹽酸及另一種酸,即所謂次氯酸(HClO)者:

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HClO$$

次氯酸不穩定,而易分裂釋出氧:

$$2HClO \rightarrow 2HCl + O_2 \uparrow$$

此物因具此氧化力,故爲工業上極有價值之物質。

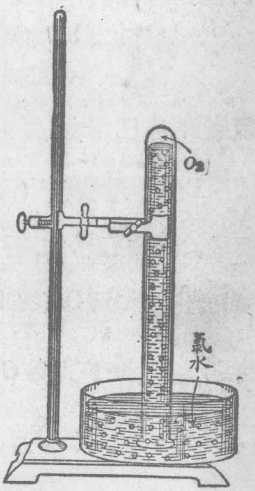
次氯酸之徐徐分解,生成遊離氧,可由下列實驗知之:取一試管盛滿氯水,而置之日光中。即有一種氣體聚集於管頂(第74圖),吾人可證明其爲氧。

氯水之氧化作用,則可以氯水處理二氧化硫之溶液以證實之。亞硫酸溶液在未被處理之前,在有鹽酸存在時,遇氯化鋇並不起沈澱;惟一經氯水氧化,則即生沈重之白色沈澱,可知有硫酸存在矣:

$$Cl_2 + H_2O + H_2SO_3 \rightarrow H_2SO_4 + 2HCl$$

硫化氫之水溶液,爲氯水所處理,即生硫之沈澱,此亦示起有氧化作用也:

$$Cl_2 + H_2O + H_2S \rightarrow H_2O + 2HCl + S \downarrow$$



第74圖
氯水爲日光所分解。

125. 次氯酸鹽——次氯酸之鹽類,即稱爲次氯酸鹽。此項化合物,可由次氯酸製成,惟尚有較簡便之生成方法。

次氯酸鈉(NaOCl)由氯通入氫氧化鈉之冷稀溶液中而生成:

[1] chlorine water.

$$Cl_2 + 2NaOH \rightarrow NaOCl + NaCl + H_2O$$

此中實際情形，卽爲由氯與水反應所生之次氯酸及鹽酸，同時與氫氧化鈉起反應。次氯酸鈉亦可於一無隔膜之狹小單電池中電解氯化鈉之溶液而製成。一極上釋出氯，他極上生成氫氧化鈉。此二物質復相接觸而生成次氯酸鈉。此二種製次氯酸鈉之方法中，應知係生成次氯酸鈉之稀溶液，內含不少之氯化鈉。惟氯化鈉之存在，對於次氯酸鈉之效用上，無所妨礙。

次氯酸鹽皆爲不穩定之物質。因此，製取及使用時，均常爲冷稀溶液。設經溫熱，或放置久時，卽自行氧化成含氧較多之化合物，稱爲氯酸鹽。例如次氯酸鈉溶液，加熱後卽生氯化鈉及氯酸鈉 ($NaClO_3$)：

$$\underset{\text{次氯酸鈉}}{3NaOCl} \rightarrow \underset{\text{氯化鈉}}{2NaCl} + \underset{\text{氯酸鈉}}{NaClO_3}$$

氯酸鉀，前已用之；係由氯作用於溫熱之氫氧化鉀而製成。

126. 漂白粉[1] ($CaCl(OCl)$) ——此物由氯作用於消石灰而製成。爲白色粉末，頗不穩定，有強烈之次氯酸臭。純粹之次氯酸鈣，分子式爲 $Ca(OCl)_2$。漂白粉之作用，絕類氯化鈣與次氯酸鈣之混鹽[2]，分子式爲 $Ca\begin{matrix}OCl\\Cl\end{matrix}$ 或 $CaCl(OCl)$：

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 \rightarrow Ca\begin{matrix}OCl\\Cl\end{matrix} + H_2O$$

漂白粉亦稱氯化石灰[3]，在工業上供作次氯酸之來源，以石灰之價甚廉也（參見附錄工業一覽表）。

[1] bleaching powder. [2] mixed salt. [3] chloride of lime

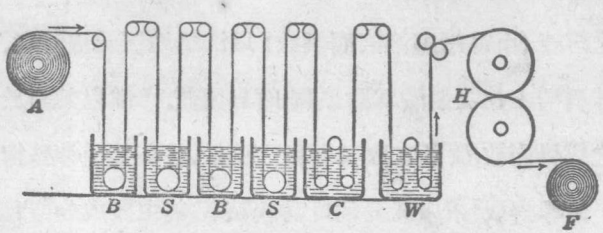
127. 漂白——次氯酸乃一種強有力之漂白劑；實爲此物及其鹽類最重要之用途。有色物料多數爲複雜之有機物質，可被氧化成無色之化合物。其氧化作用，藉次氯酸之稀溶液，至易告成。其中放出初生氧[1]：

$$HOCl \rightarrow HCl + [O]$$

取顏色布一片，浸入氯水中，或以濕布懸於氯氣中，即可明此項之作用。乾燥之氯無氧化作用，以其不能生成次氯酸也。

漂白一事，在許多工業上均極重要。例如，棉布等織物，往往因天然之夾雜物而略帶黃色，須加以漂白，始行銷售。第 75 圖示漂白布疋之概略。棉布自轆轤 (A) 通過互相隔置之漂白液槽 (B) 及極稀之硫酸槽 (S)。如是則次氯酸僅生成於布之纖絲間，亦其最顯功效之處也。其後經過亞硫酸鈉之溶液 (C)，以消除所留存之次氯酸，以免織物之受其損害。最後將布疋於水中 (W) 洗滌，通過熱轆轤 (H) 上展平，而捲疊以備裝運。

工業上使用次氯酸漂白之方法，大率不出下列之三種方式：(1) 令氯氣通入冷水中，以製成氯水，而直接用此溶液；(2) 用由電解或自氯氣及一種鹼類製成之



第 75 圖　工業漂白法之圖解。

[1] nascent oxygen. 尋常描度此項氧之活潑性，係由於其屬於原子態。今以 [ ] 表之。但亦有以爲此項氧之較大之活潑性，係由於元素被釋出之瞬間，有能放出之故。

次氯酸鈉；(3) 用漂白粉於水中之懸溶液。第三法家常可以應用。織物漂白之後，須經透澈洗滌多次，以去除藥品，否則日久衣物有徐被蝕損之虞。

次氯酸易自其鹽類中爲他種酸類所取代。當次氯酸鹽爲稀酸所處理時，得次氯酸之溶液，即具漂白劑之作用。工業上使用次氯酸時，即如上述，先用次氯酸鹽處理所欲漂之物料，而後用稀酸處理之，即成。家常用漂白粉時，則所需之酸，由空氣中之二氧化碳徐徐供給之。其方程式爲：

$$CaCl(OCl) + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + HOCl + HCl$$

$$HOCl \rightarrow HCl + [O]$$ 漂白時用去。

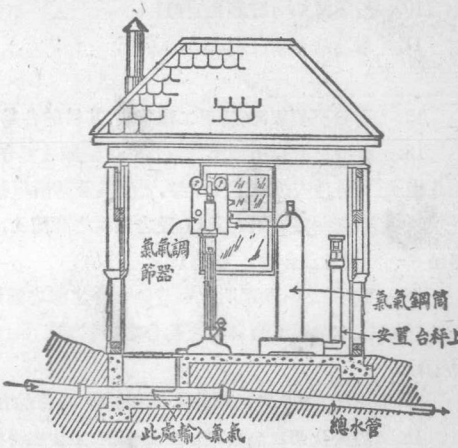
128. 消毒作用及防腐作用 —— 疾病之起源及傳染，悉由於某種微細之植物，即所謂細菌[1]。此項微生物大抵存於廢棄動植物堆積之所。次氯酸鹽易令此項有機物氧化而殺死其細菌。故此家常向用漂白粉爲消毒劑。近年醫院及病室亦有用次氯酸鈉之溶液（由電解鹽溶液而製成）以洗滌地板及牆壁者。

外科術上用次氯酸爲防腐劑，頗具價值。惟以其對於人體皮肉之感覺極敏，故祇宜取其極稀之溶液，且在某種特殊情形下用之。達零溶液[2]用以洗滌創口功效甚著，其主要成分即爲次氯酸鈉之溶液，含量自 0.45% 至 0.5%。其溶液須製成幾屬中性；設屬鹼性或酸性，則對於創口之腐蝕性太強矣。且用時如能設

[1] bacteria. [2] Dakin's solution（英生物化學家 Henry Drysdale Dakin (1880—) 所創製）。

法安置患者,使溶液連續流入創口而洗出之,則功效最大。

飲水中所有之細菌,可由次氯酸殺滅之。尋常卽於水中加以少量之次氯酸鹽溶液,或自裝有液體氯之鋼筒中通氯氣入給水(第76圖)亦可。設非極污穢之水,則每百萬分中加一分之次氯酸,卽足以使水完全潔淨無害。此種殺菌方法,今各大都會多採用之。



第76圖　導氯入總水管以淨水之圖解。

問　題

1. 氯係何時發見?　爲何人發見?
2. 在實驗室內用取代空氣法集取氯,試作圖解以表導管通入集氣瓶中之方式。
3. 試舉利用取代空氣以集氯之理由二種。
4. 最初將氯液化爲何時?　爲何人?
5. 何以氯爲氣體被液化者之第一種?
6. 氯爲活潑性抑不活潑性之元素?　試解釋之。
7. 試舉由氯釀成燃燒之例二。
8. 工業上製氯之法,何以不用於實驗室中?
9. 液體氯之二種最大新用途爲何?

10. 液體氯如何貯藏及運輸?

11. 氯之具有漂白劑之功用若何?

* * *

12. 實驗室製氯時,所用二種物質,其目的各爲何?

13. 社勒氏最初由加熱二氧化錳與鹽酸之混合物以製氯。彼以爲氯乃一種氧化物,而如是被人誤認者四十年。能見及其所以然否? 試解釋之。

14. 設以一盛有氫之圓筒,置之盛氯之圓筒上,此二氣體當徐徐混和,經若干時後成一均勻之混合物。試解釋此項事實。

15. 試舉二例,以證明氯與遊離化合之氫之强烈親和力。

16. 試作氯與下列各物質化合之方程式: (*a*) 鈉; (*b*) 銅; (*c*) 錫, (*d*) 鐵; (*e*) 磷。

17. 用鹽,硫酸,及二氧化錳以製氯時,其目的各何在?

18. 設於伏斯電池內電解食鹽溶液,主要在得氫氧化鈉,則氯爲副產物;惟如由於需要氯而爲之者,則氫氧化鈉爲副產物。試解釋之。

19. 當將燃着之石蠟燭火,沈入氯瓶內,燭繼續燃燒,發特殊之紅色焰,生出黑色煙霧。假定石蠟之平均化學式爲 $C_{27}H_{56}$; 則 (*a*) 試作此反應之方程式。(*b*) 黑煙爲何物? (*c*) 如何能檢出瓶中存有反應之他一產物?

* * * *

20. 由二氧化錳 348 克及過量之鹽酸,可製成氯若干克?

21. 歐戰時美國政府在曼蘭省愛奇華兵工廠[1] 每 24 小時製氯 100 噸。問每 24 小時內用純粹之食鹽若干噸? 假定其時之電解作用之效率爲 100%。

鹽 酸

129. 硫酸與食鹽之作用——硫酸(H_2SO_4)一物,前經(§ 46)論述。此酸無疑爲化學家所用最重要之物質。今試觀其加諸食鹽時起何現象。

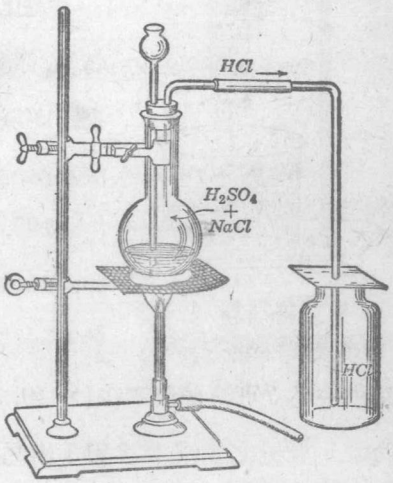
置氯化鈉一撮於試管中,而加入濃硫酸數滴。於必要時,略加温熱,使起作

[1] Edgewood Arsenal, Maryland, U. S. A.

用。不久卽見鹽上發生氣泡，而升過酸液。同時亦嗅得一種銳烈刺喉之臭。此氣體本身無色。惟如向管口吹過呼氣，則有白色氣霧生成，以潤濕之藍色石蕊試紙臨近管口，卽轉成紅色。此乃酸類之一種檢驗。如將浸有氨水之濾紙，以代石蕊紙，則見有極濃厚之白色煙霧。此皆氯化氫 (HCl) 氣體之特性也。

130. 氯化氫之製取——如欲進而研究氯化氫之性質，則可準備如第 77 圖之裝置。燒瓶內盛食鹽一撮，自長頸漏斗中注入硫酸，漏斗頸近達瓶底。因此氣體 (HCl) 極易溶於水中，故不能於水面集取之。然以其重於空氣，故可以取代空氣法集取於開口瓶中。遇必要時可加熱，須極溫和。瓶中有無此氣存在，可由其刺戟臭及呼氣經過瓶口而呈現之白煙以辨知之。

工業上製氯化氫之法，與上述者原理相同。硫酸 (H_2SO_4) 與氯化鈉 (NaCl) 反應時，酸中之氫與鹽中之氯化合而成氯化氫氣體 (HCl) 放出。甑中所餘者爲白色固體，稱爲硫酸鈉 (Na_2SO_4)。此反應分兩步進行可表之如下：



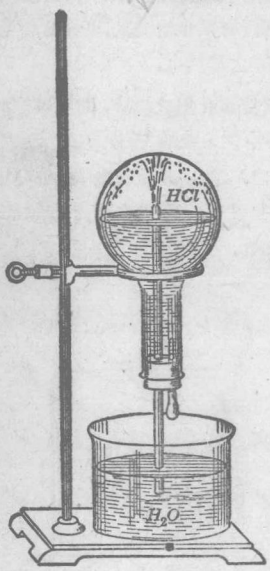
第 77 圖　氯化氫發生器。

$$NaCl + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HCl \uparrow \qquad (1)$$

$$NaCl + NaHSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + HCl \uparrow \qquad (2)$$

用硫酸，以其沸點溫度較高 (338°C.)，而氯化氫則在常溫時爲氣體也。其第二步，在實驗室內小規模不可爲之，因其所需之溫度，足令玻璃熔軟也。

131. 氯化氫之實驗 —— 此氣體之溶解量極大，可由下列實驗確示之：



第 78 圖
氯化氫溶解量極大之實驗。

盛氣體於乾燒瓶中而塞以二孔橡皮塞，一孔中插一含水之滴水管；一則插一直長之玻管，其在瓶內之一端拉成細口。裝置如第78圖所示。於是將滴水管之橡皮頭擠捏，使水數滴迫入燒瓶中。此數滴之水，能溶解大量之氣體，足令下方玻槽內之水，因大氣壓力而迫入瓶中，狀如噴泉。

氯化氫於濕空氣中之所以有發煙特性，即其於水中有若是大之溶解量也。空氣中之水分溶解此氣體，而成溶液小滴，仍懸浮留存空氣中，如白霧然。

132. 性質 —— 氯化氫爲無色氣體，重於空氣約四分之一倍，具有極刺戟而銳烈之臭。極易溶於水中：於15°C. 時水一毛立可溶此氣不少於 450 毛立。氯化氫不能燃燒，亦不助燃。乾燥之氣體，與多數金屬之反應在室溫時均甚緩。有須於高溫時始與起反應者。反應時，此化合物中之氫成氫氣釋出，而氯與金屬相化合（單取代作用）。

氯化氫與鋅反應，產物爲氯化鋅（$ZnCl_2$），乃白色之固體。反應之方程式爲：

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2 \uparrow$$

鋅　氯化氫　氯化鋅　氫

上之反應，與水氣及鐵生氫及氧化鐵之反應正相同。此一反應之方程式爲：

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2 \uparrow$$
鐵 水氣 氧化鐵 氫

133. 氫氯酸,即鹽酸 —— 氯化氫之水溶液稱爲氫氯酸。其性質與乾燥氯體絕異,故二者不混淆。氯體之水溶液可製成含氯體重量40% 之多者。含氯體30% 以上之溶液,稱爲濃氫氯酸。工商業上稱爲鹽酸[1]。如用3或4倍體積之水稀釋之,即得稀氫氯酸,亦稱稀鹽酸。純粹氯體於蒸餾水中之濃溶液,是爲"化學的純粹"(C. P.) 鹽酸。此乃無色之液體,密度每毛立約1.2克。

鹽酸爲極活潑之物質。前已用以製二氧化碳 (§ 47)。與鋅能起猛烈反應,產生氫。實際鹽酸與汞,銀,銅,鉛以外之一切普通金屬,均能產生氯化金屬及氫。其與鋅反應之方程式爲:

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2 \uparrow$$
鋅 鹽酸 氯化鋅 氫

此反應與乾燥氯化氫之反應正相同,惟此一作用發生極速,且在常温時即能進行。

134. 鹽酸爲一種典型之酸 —— 因鹽酸爲實驗室內極普通而有用之酸,可將其特性綜述之。此項特性亦見於其他一切酸類中。

---

[1] hydrochloric acid or muriatic acid 普通中文化學上均稱鹽酸,而不用氫氯酸之名。

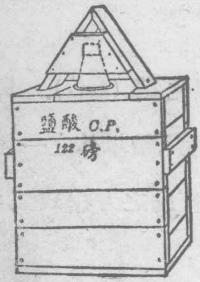
1. 稀鹽酸具有酸味。

2. 能令藍色石蕊質變紅,令粉紅色酚酞溶液變無色。

3. 若鋅,鐵,鎂等許多普通金屬均能取代其中之氫而釋出之,生成氯化物。

4. 鹽酸與氫氧化鈉溶液相混和,卽生成食鹽於水中之中性溶液。

135. 鹽酸之用途 —— 人體胃中常見有極少量之鹽酸,蓋爲消化作用所必需者也。此酸於人體內,由與食料同時取得之鹽分生成。



第 79 圖
裝箱備運之大玻罐。

濃鹽酸製量頗巨,以供工業上及實驗室之需。一般均盛於大玻罐,而裝以木箱(第 79 圖),以資運輸。鉛匠,錫匠等亦往往用鹽酸以清潔所欲銲接之金屬面。味精製造中用量亦不少。

136. 氯化物——元素與氯化合時,所生之化合物,稱爲氯化物。凡由鹽酸中和一種鹽基而生成之鹽類,不論其所用之鹽基爲何,悉稱氯化物。至若金屬,如鋅等,與鹽酸反應,則成氯化金屬(如氯化鋅)。有時由元素與氯直接化合而生成氯化物,例如銻與氯卽作若是之化合(§ 122)。

普通之氯化物,除銀,鉛,汞之氯化物($AgCl$, $PbCl_2$, $HgCl$)外,

均易溶於水中。

137. 氯化物之檢驗 —— 化學實驗室中每須確認某一物質之存在。此其手續，稱爲檢驗[1]。例如，前此已有多次用石蕊試紙作爲酸或鹽基之一種檢驗。由銀與硝酸製成之硝酸銀 ($AgNO_3$)，其溶液，爲氯化物之一種檢驗，以其注入凡含有氯化物之溶液時，均生白色凝乳狀沈澱 (AgCl) 也。沈澱[2]乃溶液中起化學作用而生之不可溶性固體也。不能溶解於該溶液中。

將氯化鈉 (NaCl) 一撮，溶於水中，而加入硝酸銀溶液數滴，則立卽生白色凝乳狀沈澱 (第 80 圖)，此卽氯化銀是也。

將此含有沈澱之液體，分爲兩份，於一份中加以氨水，於他份中加硝酸。當見該沈澱溶於氨水中而不溶於硝酸中。又可見此白色沈澱如置日光中，卽轉紫色。此法乃有氯化物存在之可靠證明也。

第 80 圖　注硝酸銀入氯化鈉中，澱出氯化銀。

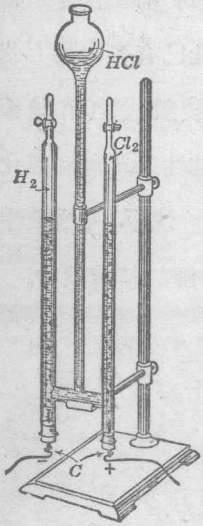
此項複分解 (§ 102 (4)) 之方程式爲：

$$\underset{\text{氯化鈉}}{NaCl} + \underset{\text{硝酸銀}}{AgNO_3} \rightarrow \underset{\text{氯化銀}}{AgCl}\downarrow + \underset{\text{硝酸鈉}}{NaNO_3}$$

〔註〕 AgCl 後向下之箭號，卽指氯化銀成沈澱而下沈也。

[1] test.　[2] precipitate.

此項檢驗至爲敏銳。蓋即極微量之氯化物存在,亦能由此辨認之。



第 81 圖
鹽酸之電解。

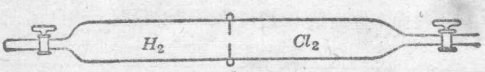
138. 氯化氫之分析——實驗室中如何製取氯化氫,已見前述(§ 130)。茲將此化合物分析之,而由實驗證明氯化氫係由氫及氯所組成。其方法與分析水所用者(§ 64)相同。吾人稱之爲電解。

將濃鹽酸置第 81 圖之器中,而通過電流於溶液。於陰性(−)炭極上生氫,而於陽性(+)炭極上生氯。初時二氣體積集時之速率不等,因氯有溶解入溶液中也。但經少時,液體即被飽和。於是兩氣體,氫及氯即以同等體積集於管中矣。

此實驗中,即由氯化氫之水溶液獲得等體積之氫及氯。

139. 氯化氫之合成——吾人又可若於水然(§ 65),將上實驗反其道以行之,而由等體積之氫及氯相化合,以構成(合成)氯化氫。

先由電解,製取等體積氫及氯之混合物。於小瓶中滿貯濃鹽酸將近瓶頸,而以電流通過溶液約 15 分鐘。於是將瓶之出口管與一堅牢之玻管(第 82 圖)相



第 82 圖 氯化氫合成管

連接，此管兩端均裝有活栓。令氫及氯二氣體通入此直長之管，而後再通過氫氧化鈉溶液，俾吸收過多之氯化氫。全部裝置均須用黑布遮蓋，以防受日光而起過早之爆發。最好令氣體通過裝置，至少經 15 分鐘以上，於是關閉兩栓而停止電流。

如管內裝就白金絲，則此氫及氯之等體積混合物，可由電火花令其爆發。或露於直射日光或鎂粉閃光中，則發爆更易。注意！該二氣體爆發迅速，但無聲音，僅於管中有微弱之擊拍聲及光芒之一閃而已。

欲明所生成氯化氫氣體之體積，可將管之一端置入水銀皿中，而啟該端之活栓。此時既無水銀升入管中，亦無氣體串泡逸出，是可知氯化氫之體積與氫及氯之體積之和恰相等。

如於水下啟管之一端，當見有水被吸，突進入管。如將管中之水驗之，則知其爲鹽酸。

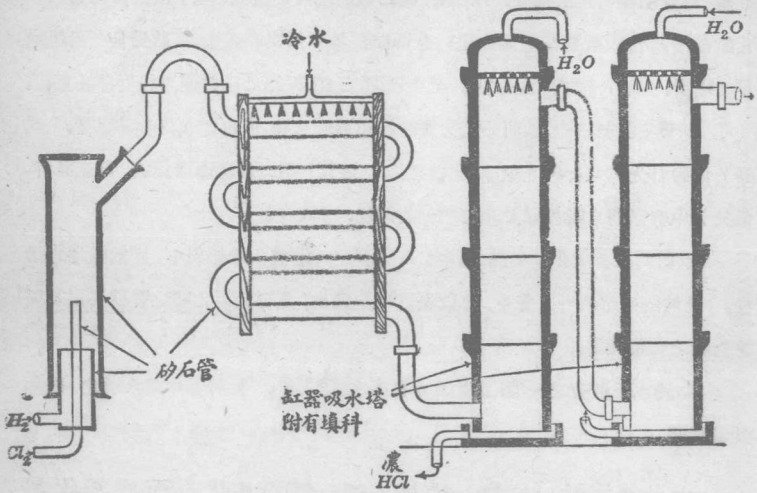
由此等實驗可知氫一體積與氯一體積相化合而成氯化氫氣體二體積。

$$\boxed{H_2} + \boxed{Cl_2} \rightarrow \boxed{HCl}\boxed{HCl}$$

氫 1 體積 + 氯 1 體積 → 氯化氫 2 體積

此乃給呂薩克體積定律 (§ 66) 極有趣之一例也。

140. 鹽酸之工業合成法 —— 晚近鹽酸有大規模由氫及氯直接化合而製之者。此二氣體則爲製苛性鈉中之副產物 (§ 112)。令該兩氣體於矽石磚室內之耐酸燈口中化合 (第 83 圖)。其產物卽氯化氫，使溶入噴水中，成爲鹽酸之溶液。



第 83 圖 鹽酸之工業合成。

第十一章 提要

氯化鈉於自然界中產量甚富,用以製他種鈉及氯之化合物。

氯之製取:

1. (工業上)由電解氯化鈉。
2. (實驗室中)由鹽酸被二氧化錳氧化。

物理性:

1. 黃綠色有毒之氣體。
2. 特殊刺戟臭。
3. 略溶於水,成爲氯水。

4. 遠重於空氣。

5. 易於液化。

化學性：

1. 不可燃。

2. 能助他種物質，如氫及碳化氫等之燃燒。

3. 能與金屬相化合，成爲氯化物。

4. 帶濕時可供漂白，以其生成次氯酸，該酸乃一種氧化劑也。

5. 於明亮之日光中或藉電火花能與等體積之氫化合，而成氯化氫。

氯之用途：

1. 棉及紙粕之漂白。

2. 水之清淨。

3. 防腐劑及消毒劑。

4. 製含氯之化合物。

氯水含溶解之氯及氫氯酸與次氯酸。

次氯酸僅能存於溶液中；不穩定，易分裂成鹽酸及氧。爲一種強氧化劑。

次氯酸鈉由氯通入氫氧化鈉冷溶液，或電解氯化鈉而製成。次氯酸鈉受溫熱，即產生氯酸鈉。

漂白粉或氯化石灰，由氯作用於消石灰而製成。其作用宛若一種混鹽 ($CaCl(OCl)$)。

次氯酸鹽及次氯酸均爲優越之漂白劑，工業上卽作此用。

次氯酸爲一種消毒劑或防腐劑，用以提淨飲水。氯化石灰用作消毒劑。達琴溶液爲著有成效之新防腐劑，其功用卽在於所含之次氯酸也。

氯化氫由濃硫酸與氯化鈉作用而製成。亦可由氯及氫合成製得。

性質：氯化氫爲無色氣體，具刺戟臭。遇濕空氣卽生煙霧，極易溶於水中，重於空氣四分之一倍。乾燥之氣體不活潑。

鹽酸（或氫氯酸）爲氯化氫之水溶液。能與鋅等金屬反應，放出氫氣。

氯化氫之組成：氫一體積當與氯一體積化合而生成氯化氫二體積。

問題

1. 氯化氫合成時，應特別注意者爲何？
2. 氯化氫之水溶液，何以較乾燥氣體更爲有用？
3. 製氯化氫時，供給氫者爲何物質？供給氯者爲何物質？
4. 金屬銅與鹽酸不起反應，惟氧化銅 (CuO) 則易溶於酸中。試作其方程式。
5. 用食鹽爲原料，如何可製成 (*a*) 氯及 (*b*) 氯化氫？
6. 試作製氯化銅四種方法之方程式。

7. 一種無色之液體,如何可證明其爲稀鹽酸?

8. 鹽酸於工業上可由合成法製之。何以實驗室內不以此法製取之?

9. 試舉不用以自鹽酸中釋出氫之金屬四種。就每種金屬各述其理由。

10. 試作鹽酸作用於 (a) 鋅; (b) 鋁; (c) 鎂; (d) 消石灰; (e) 苛性鈉之方程式。

* * *

11. 氯化氫與鹽酸將若何區別之?

12. 如將濃鹽酸加熱,所逸出者爲何物? 試述其理由。

13. 某溶液中含有一種氯化物,將若何證明之?

14. 鉛錫匠銲接金屬時,何以需用鹽酸?

15. 鹽酸何以不裝錫製箱中,以供運輸?

16. 濃鹽酸瓶啟開時,何以在空氣中發煙,且如呼氣吹過瓶口時則何以發煙尤甚?

17. 氯化氫之合成可藉以解明何種化學定律? 前曾有何種實驗,亦解明此一定律者?

18. 試比較下列每二種物質之密度: (a) 氧及氯; (b) 氫及氯化氫; (c) 氯及氯化氫。

19. 今有鹽酸一瓶,瓶外標以鹽酸字樣,如何可確定其爲稀酸抑濃酸?

20. 實驗室內裝氯化氫所用每一物質之理由各何在?

* * * *

21. 試計算氯化氫之百分組成。

22. 氯化鈉 234 克使與硫酸起完全反應,試計算應需硫酸重若干?

23. 欲得氯化氫 146 克,應需氯化鈉若干克以與濃硫酸作用?

24. 硫酸 49 克,與過量之氯化鈉起完全反應,試求其所生氯化氫之克數。

25. 設將 24 題中之氣體,溶於水中,以製成 30% 之溶液,其密度爲每毛立 1.15 克,則當產生鹽酸若干毛立?

第十二章

酸類 鹽基類 鹽類

酸類概說——鹽基類概說——鹽基與酸之中和——酸類，鹽基類，鹽類之命名——中和與分析——鹽基及酸之克分子溶液及規定溶液。

141. 酸類概說 —— 第十一章內吾人於鹽酸業經多所敍述。此特乃所謂酸類[1]一大類物質之一例耳。一切酸類均含有氫。其稀水溶液內之氫，能爲某數種金屬所遊離。此其化學作用爲一種取代作用，蓋酸類中之氫爲金屬所取代也。他如糖等之物質亦有含氫者，但不能爲金屬所取代，故非酸類。凡酸類之水溶液，均具特殊之酸味，均能將一種天然染料，卽所謂石蕊質，自藍色轉成紅色。較普通之酸類，除鹽酸及硫酸外，如硝酸用以製硝化甘油及硝化纖維素，醋酸（使醋酸味者），檸檬酸（爲檸檬橙柑中所存酸類之一），酒石酸（見葡萄中），蘋果酸（見蘋果中），乳酸（見酸敗之乳中）皆是也。

酸類又有一特點，卽其與所謂鹽基類之一類化合物能起急速之反應。茲請述鹽基類。

---

[1] acids.

142. 鹽基類概說——前見(§ 45)鈉與水反應時,即生成氫及一種化合物,稱爲氫氧化鈉 (NaOH) 者。此化合物爲白色固體可溶於水。爲一種典型的鹽基 (§ 118)。有裝以錫罐出售,標以鹼汁[1] 或苛性鈉之名稱。用作強性清淨劑,以其能溶解油膩也。廚房或浴室內之出水管遇有滯塞,可傾入濃鹼汁溶液。近年美國氫氧化鈉之產量,每年約計 700,000 噸。以供多種化學工業之用,如製硬肥皂等。

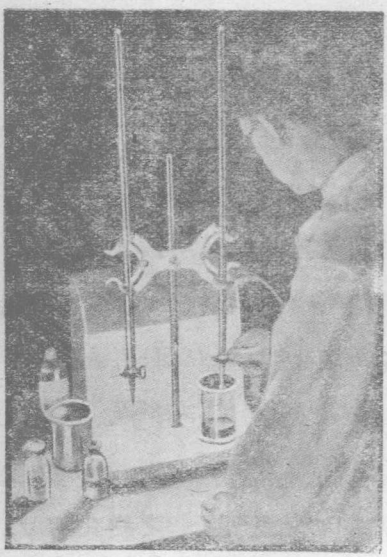
可溶性之鹽基類,如氫氧化鈉 (NaOH) 及氫氧化鉀 (KOH) 特稱鹼類。均爲強基。氫氧化鉀常稱以"鍋灰[2]",灰汁[3]或苛性鉀[4] 之商品名而出售。此外鹽基類,尙有氫氧化鈣 ($Ca(OH)_2$),乃所謂"消石灰[5]" 或石灰水[6];氫氧化鎂 ($Mg(OH)_2$),或稱"苦土乳[7]",及氫氧化銨 (NH_4OH),或稱"氨水[8](鹿角精[9])"。鹽基類之水溶液均有特殊之苦味或焦灼味,觸之則覺其膩滑如肥皂。已見前述。能變紅色石蕊質爲藍色,與酸類所起之變化相反。鹽基類均含有氧及氫,成一種原子集團,稱爲氫氧基 (OH)。

143. 鹽基與酸之中和——當一種鹽基與一種酸恰依準確之比例併和一起,則兩者之特性均失。可見其間已起有化學

[1] 譯者註:此種名稱,僅從原文迻譯(原文名見§ 117),實際吾國市售,尙無此定名。[2] potash. [3] potash lye. 以上二名稱參見上頁腳註。[4] caustic potas .
[5] sl ked lime. [6] lime water. [7] milk of magnesium. [8] ammonia w t .
[9] spirit of hartshorn.

變化。該鹽基及酸，謂爲彼此中和，而其經過，卽稱爲中和作用[1]。欲確定中和某定量之鹽基，所用之酸何時適達確量，則可用石蕊質或他種指示劑[2]，如酚酞劑等。

設令 10 毛立之鹽酸，自滴管[3]（第 84 圖）滴入燒杯，而加一二滴石蕊質，其溶液卽成鮮紅色。今自他一滴管，將氫氧化鈉之稀溶液，徐徐滴入，同時將溶液攪和。當有某定量之鹽基滴入後，溶液之色卽驟然轉爲藍色。此卽表示所加鹽基之量略過多也。加數滴之酸，仍可回復紅色，再加數滴之鹽基，則又令溶液成藍色。當溶液在一滴之酸或鹽基，足以變更其顏色時，卽酸及鹽基達準確比例之點也。此之謂極點[4]。此種實驗中，每用滴管，俾所用酸及鹽基之量，得以精準量測也。如將結果之溶液蒸發之，則可得白色小立方形固體，卽是食鹽。



第 84 圖　酸與鹽基用滴管中和。

144. 製一鹽類——氫氧化鈉與鹽酸反應，則生成氯化鈉（食鹽）及水。氯化鈉可溶於水中，故僅可由蒸發取得之。此項重要反應之方程式如下：

鹽基	酸	鹽	水
$NaOH$	$+ HCl \rightarrow$	$NaCl$	$+ H_2O$
氫氧化鈉	鹽酸	氯化鈉	水

[1] neutralizatio . [2] indicator. 指示劑者乃於酸中呈一種顏色而於鹽基溶液中呈另一種顏色之物質。 [3] burette. [4] end point.

氯化鈉(食鹽)爲極大而極重要一類化合物之一例,此類化合物總稱爲鹽類[1]。中和作用每產生一種鹽類及水。應知在鹽類中鹽基之金屬與酸之非氫部分互相化合。凡一種金屬取代酸中之氫而成之化合物,稱爲鹽類。

145. 鹽基類,酸類,及鹽類之命名[2]——化學家之於化學式,僅以記寫,而鮮口述。故於化合物之命名法,實有密切注意之必要,蓋一種化合物之名稱,略有更易,每變成性質極不相同之另一化合物。例如二氯化汞($HgCl_2$)爲昇汞[3],非常之毒;但一氯化汞(HgCl)則爲甘汞[4],乃普通之藥劑。

鹽基類命名時,祇須將金屬之名列於氫氧二字之後而介以"化"字即得。例如氫氧化鈉(NaOH),氫氧化鈣($Ca(OH)_2$),氫氧化鋁($Al(OH)_3$)。

酸類命名時,凡含二種元素之酸(二元酸[5])與含三種元素之酸(三元酸[6]),須有以辨別之。二元酸中,氫以外僅有一元素;此時祇須附氫字於他元素名之前,而殿以酸字即得。例如氫氯酸(HCl)及氫硫酸(H_2S)。三元酸大多數幷含氧元素。往往有同樣三元素,所成之酸不止一種者。其最通常一種之命名,即從其特著元素之名,而殿以酸字;其含氧較常酸少一原子者,則

[1] salts. [2] 譯者註:此節均參照我國化學命名原則輯譯。[3] corrosive sublimate. [4] calomel. [5] binary acid. [6] ternary acid.

依前名而冠以"亞"字即得。其少二原子者，依前名冠以"次"字。例如硫酸(H_2SO_4)，及亞硫酸(H_2SO_3)，次硫酸(H_2SO_2)；硝酸(HNO_3)，及亞硝酸(HNO_2)，次硝酸(HNO)；氯酸($HClO_3$)，亞氯酸($HClO_2$)，次氯酸(HClO)。

鹽類命名時，應細究其所由生成之酸。如酸爲二元時，則其鹽之命名，即於二成分元素間介一"化"字可矣。例如氯化鈉(NaCl)，氯化鋅($ZnCl_2$)，及硫化銅(CuS)。如酸爲三元時，而屬正常之一種，即最普通者，則其鹽之命名，即稱爲某酸鹽，如三元酸而爲亞酸，則其鹽亦冠以"亞"字；如爲次酸，其鹽亦冠次字。讀下頁之表即可瞭然。

酸類名	式	鹽類名	式
氫氯酸(鹽酸)	HCl	氯化鈉	NaCl
氯酸	$HClO_3$	氯酸鉀	$KClO_3$
亞氯酸	$HClO_2$	亞氯酸鈉	$NaClO_2$
次氯酸	HClO	次氯酸鈉	NaClO
氫硫酸(硫化氫)	H_2S	硫化鋅	ZnS
硫酸	H_2SO_4	硫酸銅	$CuSO_4$
亞硫酸	H_2SO_3	亞硫酸鉀	K_2SO_3
次硫酸	H_2SO_2		
硝酸	HNO_3	硝酸鉀	KNO_3
亞硝酸	HNO_2	亞硝酸鈉	$NaNO_2$
次硝酸	HNO	次硝酸鈉	$Na_2N_2O_2$

硫酸及亞硫酸等之酸類，其中含有二個可取代之氫原子者，可有僅一個氫原子被金屬所取代之鹽類。此種鹽類有時稱爲

酸性鹽[1]。其命名時或即於鹽類之名前冠酸性二字,或於鹽類之金屬名前介一氫字。例如酸性硫酸鈉,或稱硫酸氫鈉($NaHSO_4$),酸性亞硫酸鈉或稱亞硫酸氫鈉 ($NaHSO_3$),酸性碳酸鈉或稱碳酸氫鈉 ($NaHCO_3$)。

146. 中和於分析上之應用 —— 應用上記關於中和之論述,則凡一溶液中含有鹽基或酸若干,甚易測知之。假如已知一種鹽基性溶液之濃度,即每升溶液中氫氧化鈉之克數,則中和此鹽基性溶液之酸溶液中酸之克數,祇須量該溶液之體積,即立可測定之。返讀前 § 105, 即可藉由下列方程式,知氫氧化鈉 40 克當與氯化氫 36.5 克相反應:

$$\underset{40\text{克}}{NaOH} + \underset{36.5\text{克}}{HCl} \rightarrow NaCl + H_2O$$

故如有含氫氧化鈉 40 克之氫氧化鈉溶液一升,及含氯化氫 36.5 克之鹽酸溶液一升,將二溶液相混和,則酸或鹽基,當均無過剩。此兩溶液自不必盡用以起中和反應;祇須各取其等體積 (例如酸溶液 10 毛立,及鹽基溶液 10 毛立), 二者亦能彼此中和。凡溶液 1000 毛立中含一種化合物一式量之克數,此種溶液稱爲克分子溶液[2]。

設已有氫氧化鈉之克分子溶液,欲確定一種未知鹽酸溶液

[1] acid salts. [2] molar solution.

之濃度。用滴管及一種指示劑,測定中和某定量之酸,需要克分子氫氧化鈉若干。如 25 毛立之氫氧化鈉適足中和 25 毛立之酸,則此鹽酸之濃度自卽與鹽基相同,卽亦爲克分子溶液。如僅需 2.5 毛立之氫氧化鈉,以中和 25 毛立之酸,則此鹽酸之濃度必遠低於鹽基,實僅十分之一克分子。如 25 毛立之酸,需 50 毛立之氫氧化鈉,則可斷言各該溶液中酸之分子當二倍於鹽基,是卽此酸爲 2 克分子也。由此可知中和時所需鹽基或酸溶液之體積,隨各該溶液之濃度成反比例而異。此種測定未知酸或鹽基之濃度之方法,稱爲滴定[1]。

147. 規定溶液——苟一切酸類及鹽基類,盡如鹽酸及氫氧化鈉,則運用克分子溶液之意念,當無困難。惟有數種酸類如硫酸 (H_2SO_4) 等,一分子之酸可中和 2 分子之鹽基:

$$2NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2H_2O$$

氫氧化鈉　硫酸　硫酸鈉　水

是則硫酸克分子溶液 10 毛立,中和時,需 2 倍 10 毛立卽 20 毛立之氫氧化鈉克分子溶液。凡酸及鹽基溶液,能彼此以等體積互相中和,當屬便利。此則如用規定溶液[2],卽可得之。規定酸溶液者,卽每立溶液 (非溶劑) 中,含 1 克之可取代氫;規定鹽基溶液者,卽每立溶液中含 17 克之氫氧 (OH) 基。凡每分子含

[1] titration. [2] normal solution.

一個可取代之氫原子之酸,及含一個氫氧基之鹽基,當知其規定溶液卽等於克分子溶液。凡每分子有二氫原子之酸類,則其規定溶液必爲每立中僅需其式量之半。如酸類中有三氫原子,則僅取其式量之三分之一可也。同樣氫氧化鈣 ($Ca(OH)_2$) 之規定溶液,每立當含 $\frac{74}{2}$ 卽 37 克(假定能溶解如許之多)。

克分子溶液之簡號爲 M,規定溶液爲 N。十分之一規定溶液,稱爲 $\frac{N}{10}$ 或 $0.1N$;2 克分子溶液爲 $2N$。

第十二章 提要

酸類均含有氫,可爲金屬所取代。其水溶液能令石蕊質轉紅色,尋常皆具酸味。

鹽基類爲金屬或金屬根[1]之氫氧化物。氫氧化鈉,及氫氧化鉀乃典型的鹽基,皆可由電解氯化物溶液而製之。其水溶液令石蕊質轉藍色,能中和酸類。

鹽類乃酸類之氫爲金屬或金屬根所取代而產生之化合物鹽基類爲酸類所中和時,亦生鹽類及水。

鹽基之命名乃取金屬之名,冠以氫氧化三字卽得。

酸類之命名:二元酸卽將二元素並列而殿以酸字;較通常之三元酸,則取特著元素之名而殿以酸字。惟三元酸之含氧較

[1] metallic radical.

常酸少一原子者,冠以亞字;少二原子者,冠以次字。

鹽類之命名:二元鹽即於二元素名之間介一化字。由常酸所得之三元鹽,即稱某酸鹽;由亞酸所得者,冠以亞字,由次酸所得者,冠以次字。

克分子溶液,乃一化合物之溶液每立含一式量克數者。

酸類之規定溶液,乃溶液每立含可取代之氫1克。鹽基之規定溶液乃溶液每立含氫氧基17克。

問題

1. 試舉酸類之四種特點。
2. 試舉六種酸類而各作其式。
3. 試舉六種食物,意其均含有酸類者。
4. 試舉家常用之鹽基三種。
5. 鹼性反應之意義何在?
6. 鹽基與酸之不同若何?
7. 鹽基與酸中和時,每生成何種化合物?
8. 試將下列各式命名而類別其爲酸類鹽基類或鹽類: H_2S; $Zn(OH)_2$; $HC_2H_3O_2$; $NaNO_2$; $BaCl_2$; H_2SO_3; NH_4OH; $Al(NO_3)_3$; H_3PO_4; KNO_3。
9. 試將下列鹽類命名: $ZnCO_3$; $Cr(SO_4)_3$; BaS; KNO_2; K_2SO_3。
10. 試將下列方程式作全,並平衡之,又於各式下列舉各物質之名稱:

(*a*) $KOH + HCl \rightarrow$

(*b*) $NaOH + H_2SO_4 \rightarrow$

(*c*) $NaOH + HNO_3 \rightarrow$

(*d*) $NaOH + H_3PO_4 \rightarrow$

(*e*) $KOH + H_2CO_3 \rightarrow$

* * *

11. 氧化物與氫氧化物,其主要之區別爲何?

12. 鹼類,氫氧化物,及鹽基三者間有何區別?

13. 如有酸濺入眼中,應如何處之?

14. 何以有時加石灰水於"瓶哺"之嬰孩乳中?

15. 如偶有鹽基濺入眼中,將何以處之?

16. 試擬三問題,其答案皆爲氫氧化鈉。

17. 實驗室內如何可製取化學純粹 (C. P.) 之食鹽?

18. 土壤之酸度如何檢驗之? 如知其爲酸性,則將若何處之?

19. 設有數種白色固體,如何可證明其爲酸類,鹽基類,抑鹽類?

20. 氫氧化鈉瓶之玻塞,每與瓶牢結如膠合者然。試解釋之。

21. 試作下列各名稱之定義,並各舉一例: (*a*) 酸性鹽; (*b*) 二元鹽; (*c*) 滴定; (*d*) 三元酸; (*e*) 規定鹽基溶液。

第十三章

離子及電子

電解質及非電解質——離子化——電解。
電子——鹽類之結構——離子及原子。
電解之電子說，酸類及鹽基類——中和。
離子反應——進達完成之反應——不溶於水之物質——生成熱及穩定性。

148. 理論之必要——1883 年亞累尼亞斯[1] 發表其離子說之前，化學家對於酸類，鹽基類及鹽類於水溶液內之作爲所搜獲之無數事實，從無綜合之理論足以解釋之。茲舉其較重要者如下：

1. 純粹之水不能通過電。

2. 乾燥之固體氯化鈉亦爲不導電體。

3. 由此二不導電體所成之溶液，卻爲極佳之導電體。

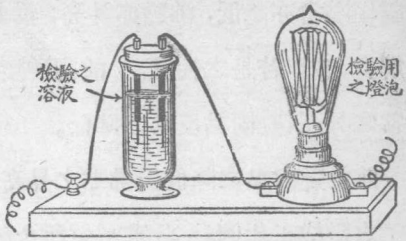
149. 溶液爲導電體 —— 種種物質於水中之溶液，其導電流之能力，彼此相差甚遠。有絕不能導電流者；有極易導電者。試一究此種差殊之原因。

藉與第 85 圖 A 略相類似之裝置，可約略探究各溶液之導電力。取二鉑絲與電道線相連接。其一線路上所裝之燈泡，作爲調節電流之抵抗器，亦以指示電

[1] Svante August Arrhenius.

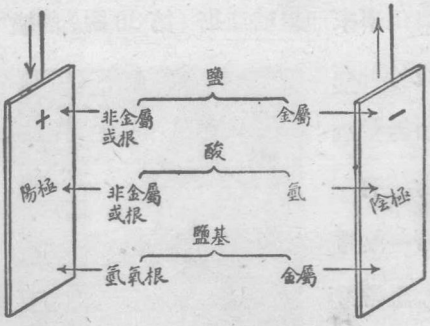
流之通過。如燈泡發亮，卽溶液爲良導體之證。

設用此裝置，以試蒸餾水，次及糖、食鹽、鹽酸、氫氧化鈉、醋酸、氫氧化銨、酒精等諸溶液。當見如用純水或糖或酒精之溶液，則燈泡不亮。但鹽、硫酸、氫氧化鈉等之溶液，則使燈泡大明，而醋酸，氫氧化銨，則僅令燈絲呈暗紅色之熾燒。



第 85 圖 A　明示溶液導電性之裝置

此時當見凡導電之溶液，其中有氣泡自電極發生；是卽表示起有化學變化。酸類，鹽基類及鹽類之溶液，以其能導電，稱爲電解質[1]；純水及糖，酒精等之溶液稱爲非電解質[2]。凡電流通過一種電解質時，每附帶發生化學變化。此乃與金屬導體不同之點也。



第 85 圖 B　電解質中離子活動之圖解

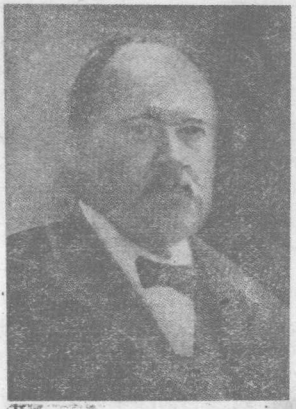
150. 電解質之其他特點——酸類，鹽基類及鹽類之溶液，除均爲電解質外，尙有其他數種特點。例如若糖等之物質一克分子，溶於一立之水中時，足令凝固點自 0°C 降低至 −1.86°C，而令沸點自 100°C 昇高至 100.52°C。如以氯化鈉或硫酸一克分子溶於一立之水中，

[1] electrolyte.　[2] non-electrolyte.

則凝固點當亦降低，沸點亦昇高；惟其效應約二倍於糖。凡屬電解質，多作若是之性狀。故謂酸類，鹽基類及鹽類，可致沸點反常之昇高，凝固點反常之降低。

前見凝固點之降低及沸點之昇高，與一定量溶劑中所存有分子之數成正比例。故電解質所含溶解物質之粒子，似遠多於非電解質。吾人如作下列之假定，則此點可由而說明，卽假定鹽類等物質之分子，溶於水中時，卽拆散成二部分以上，此等部分自由遊行於溶液中，如分子然。

151. 離子化——瑞典化學家亞累尼亞斯（第86圖）卽據此等事實而創立所謂離子說[1]。亞氏假定鹽類溶於水中時，卽拆散成鈉及氯之粒子，而各粒子均帶有一電荷；鈉帶一陽電荷，氯帶一陰電荷。此項作用稱爲離子化[2]；至帶電之粒子，則法拉第[3]（第87圖）固已名之曰離子矣，意卽漂泊流離之徒也。下方程式卽以表其化學變化：



第86圖 亞累尼亞斯（1859–1927）首創離子化學說

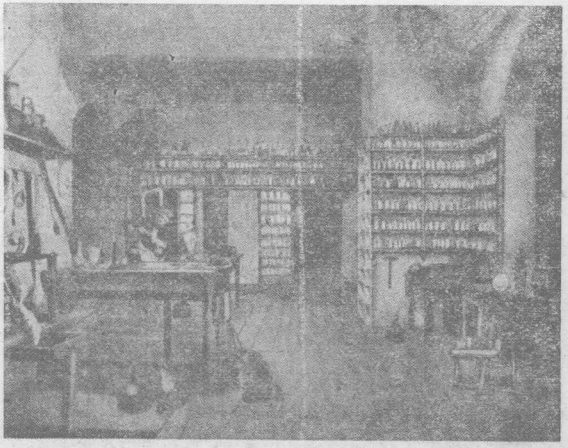
$$NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl^{-}$$

注意：凡離子均附記 + 或 − 之記號於符號之後上角以

[1] theory of ions. [2] ionization. [3] Michael Faraday (1791—1867)

表之。

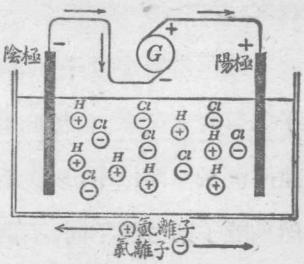
此項帶電之粒子，即離子，務勿與原子相混淆。離子乃原子之帶有電荷者。惟此電荷完全改變粒子之本性。鈉粒子不能浮沉於水溶液中，以鈉爲極活潑之金屬，當立即與水起反應。然鈉離子則截然不同，不與水起反應。



第 87 圖　法拉第在實驗室內工作

152. 電解——今試運用此學說以解釋關於電解質之二點；即其能導電，及其同時爲電流所分解（拆散）。設於燒杯中盛鹽酸少許，浸二電極於溶液中，如第 88 圖。依上說，則溶液中除水以外（水之離子化程度極微），當含有氯化氫（HCl）分子，氫離子（H^+），及氯離子（Cl^-），均遊行於水分子間。當電極與發電機（G）或蓄電池等電源相接時，其一極即帶陽電（+），

稱爲陽極[1]，而他一極則帶陰電(－)，稱爲陰極[2]。



第 88 圖　鹽酸電解之圖解

153. 電解之離子化說——陽離子(H^+)與帶陰電之極（陰極）相接觸時，離子上之電荷即被中和，結果成尋常之氫原子。惟後此(§231)當習知遊離氫之原子，每成對結合成分子(H_2)，遂可察見其氣泡。乃即氫逸入空氣中也。同時陰離子(Cl^-)於陽極處放電，而氯遊離(其始大部溶於鹽酸中)。兩極處之離子放電後，溶液中即少去此等離子。此等離子去除後，即又有其他離子移向相當之電極以瓜代之。如是，當電路接通時，離子即起活動，同實際由彼輩載送電流。非電解質之不導電，即以其無離子也。

於此可見離子說對於若稀鹽酸等水溶液之電解，實與以極充分之解釋。有時因電極上所遊離出之原子，隨生隨與水起反應，致其作用入於複雜。若氫氧化鈉即其例也。陰極上生成之鈉原子，立與水起反應，復生成氫氧化鈉及氫。氫氧根離子除去電荷時，立即折散成水及氧。故兩極所生之氣體爲氫及氧，而氫氧化鈉則繼續重生不絕。其方程式爲：

陰極方　　陽極方

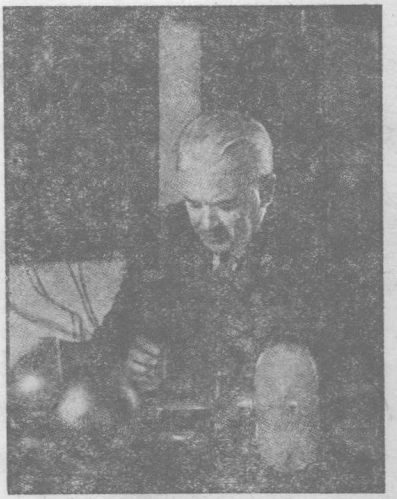
$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2 \uparrow \qquad 4OH \rightarrow 2H_2O = O_2 \uparrow$$

154. 電子——當離子說唱論之初，關於電之本性，所知尚淺，於離子上電荷之本性，論述更尠。因溶液乃電中性，自非假

[1] anode.　[2] cathode.

定陰陽電荷必恆爲等數不可，是卽既不帶陽電，亦不帶陰電。逮晚近物理學進展，對於電之本性，始與吾人以較清晰之觀念。

今吾人知電子[1]實爲最小之陰電量，可自一原子移轉至他原子上。電子之質量，約爲最輕之原子（氫原子）之 $\frac{1}{1835}$。電子本身可單獨存在，惟常與物質相結合。物理學家如湯姆生[2]及密爾根[3]（第 89 圖）輩固已昭示吾人如何能得急速運動之電子流，甚且如何量測其質量及其電荷矣。



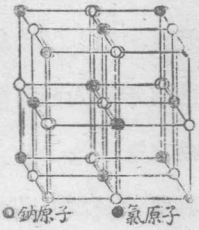
第 89 圖　密爾根(1868－　)
美國物理學家。於 1923 年得諾貝爾物理學獎金。對於電子曾作精密之實驗。現正在研究宇宙線[3]。

事實上依據近代之學說，可知萬物之本皆爲電，而每一原子有一帶陽電之核，四周圈繞足量之電子，使整個原子成爲中性。準此，當一原子失去一個或多個電子，卽成爲帶陽電（＋離子）；而當一原子取得一個或多個額外電子，卽成爲帶陰電（－離子）。

155. 鹽類之結構 —— 鹽類之結晶，係由離子藉電的吸引

[1] electron　[2] J. J. Thomson.　[3] Robert A Millikan.　[3] cosmic rays.

力，互相牢合而成，此點今似已頗肯定矣。例如固體氯化鈉，含有陽性之鈉離子及陰性之氯離子，互相吸引而彼此牢合成固體之狀態，猶一切陽性及陰性帶電粒子之恆相吸引然（第 90 圖）當鹽溶於水中（其作用今尚未明瞭），離子即鬆懈其相吸作用，而自由運動。至此溶液即成一電解質，以其含有帶電物即陰陽離子也。將鹽熔融亦然。熔融之鹽類，確爲優良之導電體。當電流通過熔融之鹽時，其離子即於兩極放電，適如水溶液中然。有數種重要之工業製造方法，即憑藉熔融鹽類之電解者也。



第 90 圖

食鹽結晶內之原子

156. 離子與原子——氯化鈉依前述由鈉離子及氯離子而成。惟須知此等離子與金屬鈉中之中性鈉原子或氯氣中之氯分子絕異。鈉離子爲帶陽電之鈉原子；氯離子爲帶陰電之氯原子。依較近之見解，元素之原子，本身含一微小之陽電核，而有使整個原子爲電中性之足數電子（陰電），圍繞於四周。離子實乃取得或失去電子之原子。故如氯離子，乃氯原子加一個電子（$Cl+e$）；鈉離子乃鈉原子減一個電子（$Na-e$），在氯化鈉中，鈉離子帶陽電，以其原子已失去一單位之陰電也；氯離子帶陰電，以其原子已取得此量之陰電也。陰陽離子之總數，與食鹽結晶內相同。故此固體爲電中性。

157. 電解之電子說——今日於電之本性所知者既多，則電解之作用，自亦較易了解。電流乃一股之電子，沿一種導體而流動。故兩電極（第88圖）者乃電子進出溶液之途徑。在陰極處，陽性之氫離子可獲得一個電子，而成爲中性之氫原子。在陽極處，陰性之氯離子可釋放其多餘之電子，而成爲中性之氯原子。電解之作用可視作一化合物之陰離子之去除電子，及陽離子之增加電子。離子必須能自由向電極運動，故非用熔融之鹽，卽用溶液。

158. 酸類及鹽基類——吾人於酸類及鹽基類之主要特性，今可更爲明瞭矣。一種酸類溶於水中，卽產生一氫離子(H^+)及他種陰離子，如鹽酸卽生氯離子。凡屬酸類均生氫離子(H^+)，故酸類之定義，可作爲：凡溶於水中而生氫離子之物質，皆爲酸類。

凡屬鹽基類，均含有氫氧根。當溶於水中，均離解成一陽離子，常爲一種金屬，及陰性氫氧根離子（OH^-）。鹽基類之定義，可作爲：凡溶於水中而生氫氧根離子之物質，皆爲鹽基類。酸類之一切特點，實卽氫離子之特性，而鹽基類之特點，亦卽由於氫氧根離子。若爲二鹽基酸，例如硫酸，則每分子生二個氫離子；在鹽基，例如氫氧化鈣，則每分子生二個氫氧根離子：

$$H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{--}$$

$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2OH^-$$

輓近離子化說已加修改，以便說明溶劑之本性。例如於水溶液中，酸類生成一含水之氫離子($H_2O{\cdot}H^+$ 或 H_3O^+)，稱爲溫離子[1]。同樣，鹽基類可視爲能接合質子[2](§160)之物質。因此酸類可視爲質子授與者[3]，而鹽基類爲質子承受者[4]。但本書內無庸採取此項用意，以其於吾人瞭解較簡單之化學反應上，似無裨益也。

159. 中和作用——前見(§144)當一種酸類與一種鹽基類併和時，即生成水及一種鹽類。就離子說言之，意即酸之氫離子與鹽基之氫氧根離子結合成水也：

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$$

此反應之所以發生，由於水分子之離解爲數甚尠之故。水分子之離解而成氫離子及氫氧離子，其趨勢極微。當以氫氧化鈉中和鹽酸時，即生成不離解之水分子。鈉離子及氯離子則不生影響；仍自由運動於溶液中：

$$Na^+ + OH^- + H^+ + Cl^- \rightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$$

惟其溶液爲電中性，以陰陽電荷之數相等也。此時情狀，恰如以氯化鈉溶於水中然。如將溶液蒸發，即漸次增濃。迨溶液成爲飽和後，其離子即開始互相結集，而析出固體結晶形之氯化鈉。

160. 離子反應——水溶液中之反應，其特點即在此等反應，幾盡屬立時發生者。其故即由於是項反應乃起於離子之間也。例如，酸類之中和鹽基，其作用之迅速，吾人無從量測其速度。總之，凡屬酸類，鹽基類及鹽類之稀溶液中所起之反應，實均可

[1] oxonium ion. [2] proton. [3] proton donor. [4] proton acceptor.

認係起於離子之間。吾人常可以舉列離子之方程式記出此項反應，於中和反應，上文已如是記之。

酸中之氫爲金屬取代之作用，實卽金屬原子上之電子轉移於氫離子上也；金屬原子因卽轉變爲金屬離子，而釋出遊離氫。此一反應可表之如下：

$$Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{++} + H_2$$

此項方程式中無須舉列酸之陰離子，以其不在反應範圍內也。

設將氯化鈉與硝酸鉀之溶液混和，則無作用發生。各個離子僅自由運動於溶液中。但如將氯化鈉與硝酸銀（$AgNO_3$）混和，則立得白色之沉澱（AgCl）。此蓋因銀離子與氯離子化合而成不可溶性之固體氯化銀（AgCl）也。銀離子與氯離子依此逐漸化合，而氯化銀逐漸澱出，直至氯離子或銀離子告竭爲止，反應卽發達完成。

$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$$

161. 進達完成之反應——據上述而觀，舉凡於水溶液進達完成之複分解反應（§102），可分成三大類：

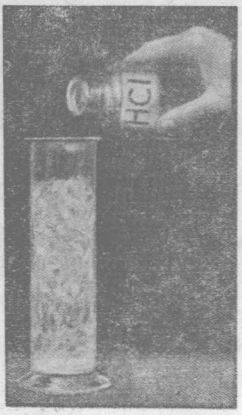
（1）如作用之產物中，有一爲不溶於水之氣體，則當逸出，作用因得進達終了。稀鹽酸對於碳酸鈉之作用（第 91 圖）卽其例也：

$$2HCl + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2 \uparrow$$

設將氯化鈉稀溶液與稀硫酸相混和，則並不得此結果，以氯化氫可溶於水中也。結果祇得各種離子之混合物。如用濃酸而將混合物加熱，則因此時氯化氫被逐出，遂起反應。

(2) 離子反應中如有一種不溶性固體生成，則反應亦進於完成。此例於前述氯化銀之沈澱作用時已論及之。(§137)硫酸鋇之生成(第 92 圖)，其又一例也：

$$Ba^{++}+2Cl^-+2H^++SO_4^{--}\rightarrow BaSO_4\downarrow+2H^++2Cl^-$$



第 91 圖　注鹽酸於碳酸鈉，產生一種氣體。

第 92 圖　注稀硫酸於氯化鋇溶液，產生一種白色固體。

(3) 離子反應內如所能得之產物中，有一係難於離子化者，則反應亦可趨於完成。其最普通之例卽爲中和作用，前已述之矣(§144)。

硫酸與氫氧化鋇間之反應，乃合(2)及(3)之一好例也。溶

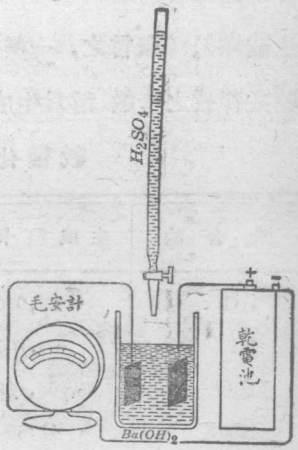
液之導電度設以電流計（安計）度數（第 93 圖）表之，則當中和作用完成時，將見其導電度減至幾等於零。

其間所起之反應可表之如下：

$$Ba^{++}+2OH^{-}+2H^{+}+SO_4^{--}\rightarrow BaSO_4\downarrow+2H_2O$$

當加入充分之硫酸，使所有之 Ba^{++} 離子盡成 $BaSO_4$ 而澱出時，毛安計即指於零。如加入過量之酸，則溶液之導電度又增高矣。

162. 不溶於水之物質——欲運用上述之原理，非先知何種物質爲不溶或難溶於水者不可。關於氣體之例，後文當述之（§362）。今請述關於固體之溶解性之數項規例，學者宜熟識之。



第 93 圖　溶液之導電度視繫離子之濃度而定。

溶解性之一般規例

1. 凡鈉、鉀、銨之化合物均可溶於水中。

2. 凡硝酸鹽、氯酸鹽、醋酸鹽均可溶於水中。

3. 凡氯化物均可溶，惟銀、汞（亞汞）、鉛之氯化物除外（鉛微溶）。

4. 凡硫酸鹽均可溶，惟鋇、鉛、鈣之硫酸鹽除外(鈣微溶)。

5. 凡碳酸鹽均不可溶，惟鈉、鉀、銨之碳酸鹽除外。

6. 凡氧化物及氫氧化物均不可溶，惟銨、鈉、鉀、鋇之氧化物及氫氧化物除外（氫氧化鈣微溶）。

163. 生成熱及穩定性——前見(§59)熱量可以卡量計之。今設有鈉 23 克與氯 35.5 克相化合，生成氯化鈉 58.5 克，此時可以測知有熱量約 97,800 卡放出。此量之熱，稱爲氯化鈉之**生成熱**[1]。概言之，一種化合物由其元素生成一克式量時所吸收或釋放之卡數，稱爲生成熱。

數種化合物之生成熱

化合物	生成熱卡數	化合物	生成熱卡數
HCl	22,000	CO	29,000
HI	−6,100	CO_2	97,300
H_2O	68,400	CS_2	−19,000
HNO_3	41,600	$CuSO_4$	183,000
H_2SO_4	193,000	NaCl	97,800
HCN	−24,800	Na_2SO_4	328,300

由上表當見有時生成熱爲負數，以減號表之。其意卽在構成化合物時吸收熱也。又見凡具高生成熱之化合物，均極穩定，

[1] heat of formation.

而易由直接化合而生成。　反之，具低數值之化合物均不穩定，其爲負數者更不穩定，甚或具爆炸性。　當氫與氯相反應而生成氯化氫時，釋放多量之熱。　此種典型之反應，稱爲放熱反應[1]。惟當氫與碘相化合時，則吸熱；是卽須連續供熱，始能令反應前進。　此種反應稱爲吸熱反應[2]。

吾人須切記，生成熱者，僅爲吾人在某一情形內，豫料其應起若何事故，所加考慮之因素之一耳。

第十三章　提要

某數種化合物，其水溶液之能導電流，此種化合物稱爲電解質；其他物質之溶液不能導電流。　稱之爲非電解質。　酸類，鹽基類及鹽類均爲電解質。

離子說假定電解質之溶液中，分子均離解成帶電之粒子，卽所謂離子。

電解包括陰陽離子各於其相當之電極上放電，結果起化學變化。

電子爲一種極小之陰電粒子(或單位電荷)。　電子之質量，約爲一個氫原子質量之$\frac{1}{1835}$。

鹽類結晶知由離子因電的吸引力，牢合而成。

[1] exothermic reaction.　[2] endothermic reaction.

元素之原子含一微小之陽電核，核之四周，圍繞使整個原子成爲中性之足數陰性電子。

離子乃獲得或喪失電子之原子（或原子團）。

酸類乃溶於水中而生氫離子之物質。

鹽基類乃溶於水中而生氫氧根離子之物質。

中和[1]者僅乃一個氫離子與一個氫氧根離子化合成水之作用也。

離子反應祇發生於下列情形時：二相反電荷之離子互起作用，而產生一種不可溶性物質（固體或氣體）或難於離子化之物質者。

生成熱者，乃化合物由其元素生成一克式量時所吸收或釋放之熱量之卡數也。

問題

1. 何謂電解質？
2. 首倡離子化說者爲何人？
3. 何類之物質或溶液爲導電體？
4. 煤油是否爲導電體，在實驗室內將如何確定之？
5. 就電子說而言，所謂陰極者其意云何？ 陽極者云何？
6. 試將下列諸物質之溶液類分爲電解質或非電解質：硝酸；酒精；硝酸鈉；糖；氫氧化鈉。
7. 一電解質中，其陽離子之數須與陰離子之數相等否？ 試解釋之。

[1] 譯者注： 原文提要此段前面有一段，但因正文已改入後章（第十五章），此處不宜存留提要，故刪。

8. 電子何以有時稱爲電之原子?

9. 鈉及氯之粒子在食鹽結晶,作何形狀?

10. 除水溶液中外,其他尙有何處存有遊離之離子?

11. (a)酸類之特性憑依於何? (b)鹽基類之特性,憑依於何?

12. 試將下列文句抄錄而完成之: 中和者,僅乃一個——離子與一個——離子——成——之作用也。

13.[1] 二種物質有於溶液中互起反應者有不相反應者,試以離子說解釋之。

14. 試就下列諸名詞各作界說,並舉例說明: (a)電極, (b)電解質, (c)電解, (d)離子化, (e)電子。

15. 溶液中之可逆反應依何三種方法而進達完成?

* * * *

16. 何四項事實表示離子說之眞實?

17. 食鹽結晶: (a)溶融時, (b)溶於水中時,其結晶內之離子起何變故?

18. 試明述鈉原子與鈉離子間之區別。

19. 氫氧化鈉及氫氧化鈣均爲強鹽基。石灰水爲氫氧化鈣之飽和溶液。石灰水例常加諸嬰孩乳品中。何以無以氫氧化鈉加諸嬰孩乳品中者? 試就兩方並解釋之。

20. 設於第 93 圖所示之裝置中盛氫氧化鋇之溶液而徐徐加入硫酸之溶液,其安計度數漸降至零,其後又漸昇高。試解釋之。

21. 下列諸事例中,何者當起反應,何者則否? 其起反應及無反應之理由何在? 試作每一反應之離子方程式: (a)置鎂於鹽酸中; (b)硝酸鉀與硫酸之溶液相混和; (c)硝酸鉛與硫酸鉀之溶液相混和。

22. 試作離子方程式以表下列二事例當起之變故: (a)氯化鈉與硝酸鉀之溶液相混和; (b)氯化鈉與硝酸銀之溶液相混和。試解釋其結果之不同。

23. 試作由於下列三種情形而進於完全之反應之方程式: (a)一種氣體之逸出; (b)一種不可溶性固體之生成; (c)一種難於離子化產物之生成。

24. 試作檢驗硫酸鹽之離子方程式。設欲自一溶液中使所有之鋇盡行澱出,何以當加過量之硫酸?[2]

---

[1] 譯者註: 原書問題 13 之題意,因正文已改入後章,不妥,故易今題。

[2] 譯者註: 原書此處尙有問題 25,但因其題意又屬涉及已改入後章之正文,故刪。

進究題材

德裴[1]**及其高足法拉第**——德裴與法拉第對於化學之進展，功績孰大？（Moore's *History of Chemistry* 及 Thorpe's *Essays in Historical Chemistry*）。

電子及若何利用之——發見電子者爲誰何？無線電眞空管內發生電子流者爲何物？（Caldwell and Slosson's *Science Remaking the World*, and Russell's *A. B. C. of Atom*, 二種均有中文譯本，前者書名「科學與世界改造」，後者名「原子說發凡」，均商務出版）。

[1] Sir Humphry Davy (1778–1829).

第十四章

原子之結構　原子價

原子結構之重要——原子之電子說——核——電子——層圈——核，質子，中子。

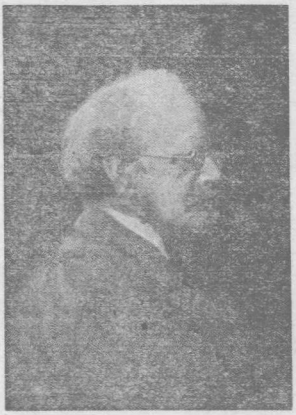
原子價之電子說——金屬與非金屬。極性與非極性化合物。就電子說而言化合。

164. 何故研究原子之結構——化學家希望藉研究原子之結構而求解決之問題孔多。其一卽爲原子價之問題。例如，鈉原子曷爲而取代一個氫原子？而鈣何以取代二個，鋁取代三個？何以鐵有時與二個氫原子相當，有時則與三個相當？金屬原子與非金屬原子間究有何主要之區別？若氯等原子何以又遠較其他如氖等之原子爲活潑？諸此皆化學上向欲就物質之電子說以求解決之若干基本問題也。茲請先將此學說作一極簡單之複述。

165. 原子之電子說——1897 年以前，化學家公認原子爲物質之終極成分而爲不可分割之一學說。英國劍橋卡汾狄士實驗室[1] **湯姆生**[2]（第 94 圖）首舉此牢固之信念推翻之。彼創定

[1] Cavendish Laboratory. [2] Sir J. J. Thomson.

若干新穎而重要之學說如次：電子乃一陰電之原子；一切原子均含有此種電子；而一切電子無論其來自何物，盡屬相同。美國物理學家密爾根[1]繼起奮進，而就電子之質量及電荷作極精密之量測。密氏求知電子之重量爲最輕原子即氫之$\frac{1}{1835}$，而電荷之總量與一價離子所荷者相同。



第 94 圖　湯姆生(1858)英國之物理學家，長劍橋大學之卡汾狄士實驗室多年。得諾貝爾物理學獎金。創定電子說。

166. 有核之原子——第二步之進展，則約在 1913 年。其時羅澤福特[2]（第 95 圖）指陳原子中有一陽性核，以中和陰性之電子。羅氏以運動迅速而荷電之氦原子襲擊氮、鈉、鋁及其他元素之原子，使其分裂時，發見此事。每次均得荷陽電之氫原子。彼遂斷定，一切原子之核心中必均存有一個或多個此種荷陽電之氫原子，彼稱之爲質子。[3]

根據此一起點，各科學家——丹麥之物理學家蒲爾[4]——從而樹立極籠統但亦簡略之原子結構學說。大致如次：一切原子皆可認爲由電子（陰電荷）及質子（陽電荷）所構成。因一切

[1] Robert A. Millikan. [2] Lord Rutherford. [3] proton. [4] Niel Bohr

原子均爲電中性，故每一原子之電子數亦與質子數相等。但92種互異之元素，其原子內電子及質子之數及排列，彼此各不相同。換言之，任一元素之原子，即在其電子及質子之數及排列，而與每一他元素不同也。原子之全部質量可認爲幾盡集中於核心上。最簡單之原子，爲氫原子。氫原子視爲由一個作爲核心之質子及一個以極大速度繞此核心運動之電子所構成（第96圖）。故此有核原子之圖形，宛如一種太陽系，具有一質重之『太陽』式之核心，其周圍在較遠之距離外，有『行星』式之電子，圍繞迴轉。其他一切之原子，其核內均含較多之質子，而外繞較多之電子。最重之元素，鈾圍繞核心之外，具存92個電子。核心所具之陽電荷適足中和此92個電子。

第95圖

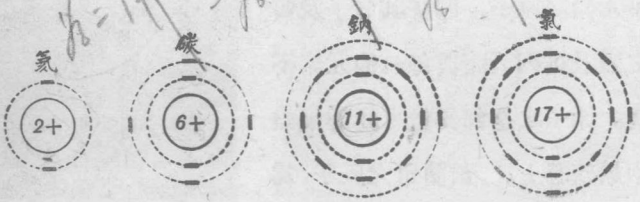
羅澤福特（1871）現任卡汾狄士實驗室主腦。1908年得諾貝爾化學獎金。於創定有核原子多所致力。

第96圖

氫原子之圖解

167. 電子之排列若何——關於原子內電子圍繞核心之排列及運動，有種種理論。其中一極有成就之學說，即認爲電子排列成

重疊層次或作層圈。[1] 其最先之二電子，作成一較近於核心之全層圈。其第二層圈須有八個電子始克完成，第三層圈又另具八個電子，第四層則有 18 個電子。此等層圈見第 97 圖所示各元素之電子圖形即明。



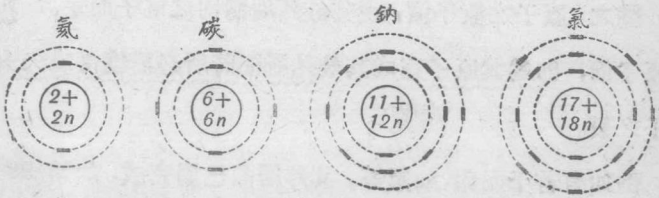
第 97 圖　氦碳鈉氯諸原子之圖解

按此圖即氦原子具有 2 電子，碳原子第一層圈內有 2 電子第二層圈內有 4 電子。鈉原子第一層圈內有 2 電子第二層內有 8 電子，第三層內有一電子。氯原子第一層圈內有 2 電子，第二層內 8，第三層內 7，總計 17 電子。此種電子之空間的排列，在紙上難以表出其三元（即立體的），故通常皆以圍繞核心之間中心環表其層圈。

168. 核心之結構若何——關於原子結構之全部問題，尚屬物理學家與化學家所極力奮進研究之事項。然其間有若干概念，似已差可確立。其一，原子中之所有一切質子，均在其核心中。其二，原子之重量主要繫於核心。其三，欲得一中性原子，

[1] shell

務須其核中質子之數與外層電子之數相等而後可。其四，因欲解釋原子之確切已知之重量，則其核心中除供中和電子之質子外，必尙有若干額外之質子。此際吾人又於電子說上增加另一概念；是卽所謂中子。此項中子尙屬最近所發見，今認其爲質子與電子極密切之結合體。每一中子含一對極小之質子與電子，其大小較正常之氫原子小數百萬倍。總之，任何原子之核，認爲僅含有質子及中子。例如，鈉原子含有 11 質子及 12 個中子，遂得原子量 23（第 98 圖）。是卽，原子量約等於原子核中質子與中子之和。



第 98 圖　氦，碳，鈉，氯諸原子核之圖解

169. 原子價之電子說——吾人應始終切記，任何理論之價值，繫於其應用方面。究有實效否？今如就此種原子之電子圖形以解釋原子價。前見爲便利起見，可將電子作成圍繞核心之同中心層圈而排列。關於電子『衞星』之較新觀念，爲此項元徵之電粒子，並不集中於頂點而分散成帶電雲。但以此項狀態不能以圖解表示，故仍用較舊之模型。

鈉原子前已表如第 97 圖所示，其中核心具有 11 單位之陽電（質子），而 11 個電子排成具 2,8 及 1 個電子之諸環。於此可見鈉原子在最外環內具有一個電子。設其先去此外層之電子，則鈉原子即荷一單位之陽電，遂得原子價爲一。是即鈉離子爲 Na^+。又如氯元素。其原子表如第 97 圖，其中核心荷 17 單位之陽電。此即需 17 個電子，假定其排列如次：內層圈 2 電子，次層圈 8 電子，外層圈 7 電子。於此可見其中外層圈需再多一電子，方始完成。當氯原子借得一電子，則荷一單位陰電。故吾人謂氯之原子價爲一，而以氯離子表作 Cl^-。

總之，原子之原子價，視其最外層圈內之電子而定。元素之原子價，即爲其原子完成其最外層圈時所必需獲得或失去之電子之數。

例如有若干元素，如氖等，其外層圈已屬完成，如第 99 圖所示。氖既不必獲得，亦不必喪失。此等元素其原子價爲零，故在化學上爲惰性。

第 99 圖
氖原子之圖解

170. 就電子說而論金屬及非金屬——吾人尋常歸諸金屬之元素，如銀、銅、金等，爲熱及電之良導體，又若硫等之非金屬爲不良導體，因亦即爲良好之絕緣體。凡此者乃一實驗之事實。物理學家既以電流認作電子之一種流動，故吾人必將意像金屬

中當有若干鬆散或束縛不牢之電子存在，當其運動時，卽產生電流。如一純金屬之電子圖形，則見其最外層圈內，僅有少數之電子（1, 2, 或 3），顯然易自原子中失去。故如鈉或鉀原子中，外層圈上僅有一個電子（第100圖）。此一電子與原子其餘部分，集結之鬆懈，雖一縷光線，已是令其脫散。此乃光電池功能之原理也。帶有電流之銅絲內，吾人儘可假想其銅原子最外層圈內之電子，對於導電作用，佔有重要之地位。尋常無線電收音機所用眞空管內之鎢絲，該金屬藉電流而加熱，遂致其外層圈內之若干電子，震搖鬆懈，於是爲陽電極所吸引。

第 100 圖
鉀原子之圖解

至於非金屬，則吾人意像其外層圈中之電子，與原子之其餘部分束縛較牢。此足以解釋若硫，玻璃，及瓷器等固體之絕緣性。非金屬之外層圈，每屬近於完全祇缺一二電子（第101圖）。其趣向在取得此項必需之電子，因而成一陰離子。大抵凡元素能失去或取得僅一二電子者則其化學活潑性似較大。

第 101 圖
硫原子之圖解

總之，金屬原子中，其外層圈內電子之少，致除舍棄以與他原子外，無成一完全八集

體[1]之可能。在非金屬之原子中，則其外層圈內電子之多，由金屬取得一個或數個電子，即能成全其八集體。在金屬與非金屬化合成化合物時，金屬可謂爲『貸出』電子，而非金屬爲『借入』電子。此時金屬即成爲荷陽電，而非金屬則從而取得一陰電荷。是故，按照電子說，化合物中之離子，乃藉不同電荷之電的吸引力互相牢合者也。

於此可見最外層圈中電子之數，不僅藉以定原子之原子價，且亦左右該元素之化學作爲。例如元素之是否活潑如鈉及氯，抑不活潑如氖，是否能如金屬之導電，抑如硫之不導體，是否爲金屬性，抑非金屬性，皆由此而定焉。

171. 極性及非極性化合物——鹽類當熔融或溶解時，多數能導電流。此等化合物最普通之溶劑爲水。惟有數種鹽類，則溶於酒精等他種液體中，結果所得之溶液亦爲電解質。由前數節，吾人已知鹽類之此種作爲，可就離子說得一解釋。凡在液（熔）態或溶解時易於導電流之化合物，當係由離子構成。此等化合物每稱爲極性化合物[2]。簡單之鹽類，多屬之。至若糖，甘油，脂肪，酒精等物質，本身或溶液均不導電者，每稱爲非極性化合物[3]。在非極性化合物一類，應將氫分子(H_2)，氧分子(O_2)，二氧化碳(CO_2)及其他許多簡單而重要之物質均歸入其內。

[1] octet. [2] polar compound. [3] non-polar compound.

介乎極性化合物（如鹽）與非極性化合物（如糖）二類畛間，有較難斷定之物質甚多。例如氯化氫之水溶液（鹽酸），固爲一種電解質，而液體氯化氫則否。且氯化氫於水以外許多溶劑中之溶液，亦均非電解質。純粹之濃硫酸爲非電解質，其水溶液則又爲極良之導電體。此項物質，於水溶液中，必起有離子化；當純粹時，則其作爲較似非極性化合物。

172. **極性化合物中之原子價**——依今日吾人對於極性化合物之結構之觀念，認爲結晶形固體乃陰陽離子之一種整齊的配置，兩方離子之數，適令其全體成爲電中性。金屬原子失去一個或多個電子而成爲陽離子。非金屬原子（如氯）或非金屬原子之原子團（例如 SO_4），則因獲得電子而成爲陰離子。前已見（§ 169）每一原子（或原子團）成爲離子時所獲得或喪失電子之數，卽爲離子之原子價。茲舉數種普通離子之原子價如下表。

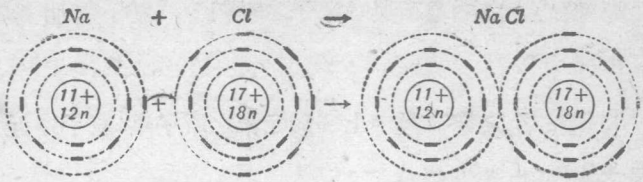
數種普通離子之原子價

陽離子			陰離子		
一價	二價	三價	一價	二價	三價
H^+	Ca^{++}	Al^{+++}	OH^-	SO_4^{--}	PO_4^{---}
Na^+	Ba^{++}	Fe^{+++}	Cl^-	CO_3^{--}	
K^+	Mg^{++}		Br^-	SO_3^{--}	
Ag^+	Cu^{++}		I^-	S^{--}	
	Zn^{++}		NO_3^-		
	Fe^{++}		OCl^-		

如是，則鈉與氯化合成氯化鈉時，鈉原子卽失去一電子而氯原子獲得一電子(NaCl)。惟當金屬鈣與氯相反應時，則每個鈣原子釋出二電子，而成帶二倍電之鈣離子；引取此二電子，勢需二個氯原子。故其化合物爲二氯化鈣 $CaCl_2$。當金屬鋅溶於硫酸中，鋅原子失去二電子而成鋅離子，此項電子轉移至二個氫離子上，使後者成爲氫原子。將溶液蒸發，則每個帶二倍電之陽性鋅離子，吸引一個帶二倍電之硫酸根離子。所得之固體是爲硫酸鋅 $ZnSO_4$。

熟記離子之原子價，對於作鹽類之分子式，甚有裨益。苟同時記及凡各化合物皆屬電中性，則其中必有若干原子互相化合，不難知之矣。例如，硫酸根離子旣帶二倍陰電，則於硫酸鈉中，勢須有二個陽離子與之結合，蓋如欲得電中性之分子，則總電荷之代數的和值，必須等於零也。同樣，硫酸鈣必爲 $CaSO_4$ ($Ca^{++}SO_4^{--}$)，硫酸鋁必爲 $Al_2(SO_4)_3$ ($2Al^{+++}3SO_4^{--}$)；舍此以外之結合，則非陰電荷過剩，卽陽電荷過剩矣。

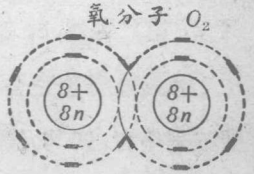
173. 就電子說而論化合——當氯與鈉相接觸時，鈉原子將其外層圈上之單一電子，給與氯原子。因此鈉卽荷陽電，而氯旣得此額外電子之後，遂荷陰電矣(第 102 圖)。吾人認爲兩元素之所以能互相牢合，端在此種相異電荷間之吸引力。此種在外層圈上轉移或共享電子，底於穩定之作用，乃極性化合物所



第 102 圖 鈉與氯化合之電子圖解

特具者。

此外有極多之化合物，如非極性化合物等，其中原子似不若是之化合成分子者。例如，取氧分子(O_2)言之。此中似無從一原子向他原子轉移電子之情形，祇共享一對之電子而已。此種作用，每稱爲共價連結[1]。就右列圖解（第 103 圖），或較爲明瞭，此中當見氧原子之外層圈上有六個電子，需再有二個電子，始成最穩定之狀態。其二個氧原子密接之近，使共享有兩對之電子。如是令每一核心，其外層圈上得一八集體。



第 103 圖
氧分子之電子圖解

第十四章 提要

1. 原子含有一小而密之核心，核心荷陽電，原子之質量，幾全部集於核中，核之四周有電子圍繞，電子占比較空曠之空間。

[1] covalent linkage

2. 核心上之陽電荷與陰電子之數相等，原子整個爲電中性。

3. 核心上之電荷數字上等於元素之原子序；原子序近乎原子量之次序，但非盡然。

4. 電子爲所能獲得之最小陰電荷量。

5. 原子之核由質子及中子構成。質子爲氫原子之核。中子爲質子與電子極密切之結合體。

6. 電子可以排成數重之『層圈』，作圖解的表之：第一層爲 2，第二層爲 8，第三層爲 8，第四層爲 18。

如最外層圈完全者，其元素爲惰性，如氖或氬。如最外層圈不完全者，則其元素能起化學作用。

金屬之原子，其最外層圈上電子較少(1,2，或 3)。此等原子在化學作用時有失去電子之傾向。

非金屬之原子，其最外層圈上電子較多(5,6，或 7)，在化學作用時有獲得電子之傾向。

原子之價，乃原子起化合作用時獲得或失去電子之數。凡失去電子之原子，謂爲具有陽性原子價。而獲得電子之原子，爲具有陰性原子價。

離子者乃帶有電荷之原子或原子團（根）。

離子之原子價，卽爲每一原子（或原子團）成爲離子時獲得

或失去電子之數。

金屬原子由失去一個或多個電子而成爲陽(+)離子。

非金屬原子或非金屬原子團由獲得電子而成爲陰(－)離子。

極性化合物在熔融態或溶解時能導電，係由離子所構成。

非極性化合物本身及溶解時均不導電。

問 題

1. 試舉對於吾人原子結構之知識，最初作重要貢獻者之三科學家姓名。每一貢獻約略如何？

2. 原子中電子數較其質子之數應爲若何？ 何故？

3. 原子之重量由何而定？

4. 原子之核由何者構成？

5. 電子與質子於 (a)電荷上；(b)重量上；(c)在原子內之部位上，區別各若何？

6. 質子之重量較中子之重量爲若何？

7. 試將下列各名稱各作定義：電子，質子，中子。

8. 構成 (a)第一全層圈；(b)第二；(c)第三，各有若干電子。

9. 原子之完成其外層圈，一般依何二法？

10. 原子結構內，何者定其原子價？

11. 試舉易於貸出電子之元素三種，及渴求借入此項電子者三種。

12. 試舉有完全外層圈之元素四種。 此等元素顯異之特性爲何？

13. 試就電子說解釋荷陽電物體之意義。 荷陰電物體之意義。

14. 原子結構學說如何解釋化合作用？

15. 質子與中子於 (a)電荷上；(b)"組成"上有何區別？

* * *

16. 以元素鋰爲例，試就蒲爾學說說明原子結構何以與太陽系相似。

17. 極活潑之元素，其最外層圈上電子之確數爲若何？

18. 氯及鉀均爲一價。但一爲顯明之非金屬，一則爲活潑之金屬。試就原子結構學說以解釋之。

19. 氫之原子價爲何？由此如何以解釋其化學上的惰性。

20. 試就電子以解釋金屬絲內電流之流動。

21. 試比較電流經過眞空管及經過銅絲之流動情形。

22. 試按照蒲爾學說作圖解以表 (a)氬；(b)氖；(c)氧；(d)氮；(e)鈉諸元素之原子結構。

23. 試作原子結構圖解之方程式以表鈉與氯化合而製成食鹽時之情形。

24. 抄錄下列字句而完成之：元素之原子價，卽爲其原子完成其——層圈時所必需——或——之——之數。

25. 抄錄下列字句，而填出空隙之字：原子中之所有一切質子，均在其——中。原子之重量繫於其——及——之數。欲得一中性原子，務須其核中——與外層——同樣多少而後可。原子中之所有一切中子皆在其——中。

第十章至十四章複習問題

1. 試詳述製氫氧化鈉之二法。

2. 試作電子，質子，中子，原子價，極性化合物之定義。

3. 試作氯與 (a)水；(b)氫；(c)鋅；(d)銅；(e)磷之反應之方程式。

4. 製取下列諸氣體時，每一氣體應如何收集之：(a)氧；(b)氮；(c)氯；(d)氯化氫？何故？

5. 試作下列諸反應之方程式：(a)鈉與水之作用；(b)氯化鈣與碳酸鈉；(c)氫氧化鈉與硫酸。

6. 試就 (a)常溫時之活潑性；(b)密度；(c)顏色；(d)溶解度；(e)對於氫之親和力以比較氯與氧。

7. 試作下列諸反應之方程式：(a)氯化氫之製造；(b)由氯化氫之水溶液製氯；(c)硝酸銀與氯化氫之水溶液之作用。

8. 設有一種無色液體，料其爲鹽酸，如何可由化學的檢驗法證明其爲鹽酸？

9. 離子化作用對於電解有何關係？有不經電解之離子化否？有不起離子化之電解否？

10. 試作下列各反應之離子方程式：

鋅 + 稀硫酸 →

氯化鋇 + 硝酸銀 →

鋁 + 鹽酸 →

氫氧化鉀 + 稀硫酸 →

氫氧化鈣 + 硝酸 →

試述各反應何以均能頗於完成。

* * *

11. 試作敘述某物質之電解一段文字，其中正確運用下列諸名詞：電解質；陽極；陰極；陽離子；電解；電極；陰離子；電子。

12. 按照原子結構之學說，(*a*)質子總數須等於電子總數否？ (*b*)所有電子在何處？ (*c*)元素之化學"性質"由何而來？

13. 就原子結構學說之觀點，何者定 (*a*)元素之原子價？ (*b*)元素之原子之重量？ (*c*)元素之爲金屬抑非金屬？

14. 在 (*a*)食鹽等之極性化合物，及 (*b*) 二氧化碳等非極性化合物中，所謂"分子"一名詞，其意義有何不同？

15. 就分子之數而論，等克分子濃度之一切溶液，其等體積中應屬若何？ 等規定度之一切酸類及鹽基類溶液，其等體積中，按照中和力，應屬若何？

16. 設於 U 管中電解硫酸鈉之溶液，經十分鐘後，將其內容物攪和之，其溶液仍屬中性；惟如依法將氯化鈉之溶液電解十分鐘而攪和其內容物，則溶液爲鹽基性。試解釋之。

17. (*a*)氫分子，氫原子，氫離子，其間主要區別如何？ (*b*)何種可利用之設備可將氫分子變爲氫原子？ (*c*)試作其方程式。 (*d*)使氫離子變成氫原子（終且變成氫分子）可用何二種方法？ (*e*)試作方程式以分別表每一方法。

* * *

18. 設有一溶液，含氫氧化鈉 40 克，與一含有氯化氫 40 克之溶液相混和，而將結果所得液體蒸至乾，(*a*)其餘滓當爲何物？ (*b*)其重量爲幾何？

19. 實驗室中之濃鹽酸，比重爲 1.20，含純 HCl 38%。試計算 (*a*)其規定度；(*b*)其克分子濃度。

20. 以氫氧化鋇之 0.2 克分子溶液中和由氯化氫 11.2 立蒸於水中所生成之鹽酸，應需體積幾何？

第十五章

硫及硫化物

硫之產地——採取——性質——同素異形物——化學作爲——硫於橡皮製造中之用途。

硫化氫之產地——製取——性質——分析上用途。二硫化碳。

174. 硫之重要及其產地——元素硫之爲人所知，由來甚早。用硫與硝石(KNO_3)及木炭(C)相混以作黑火藥[1]，爲時已久。樹木上噴灑之灰硫藥[2]中，亦含有硫。硫又以製二氧化硫，以供漂白，消毒及清涼之需。據較近之實驗，知鐵路枕木，可令其吸收熔硫，俾收防腐及耐酸之效。其最重要之用途，殆爲硫酸之製造；硫酸於他種化學物品製造上，佔有重大而切要之地位。

遊離狀態之硫（即形成元素本身者），其大礦牀產於西西里[3]，塔克薩斯[4]，及路易西那[5]。常見於噴泉周圍及火山附近，乃至非火山區域。硫化合物亦有大礦牀，如金屬硫化物，有：黃鐵礦即愚人金[6](FeS_2)；方鉛礦(PbS)，及閃鋅礦(ZnS)；又硫酸鹽亦

---

[1] black gunpowder. [2] lime-sulfur mixtures. [3] Sicily. [4] Texas. [5] Louisiana [6] fool's gold

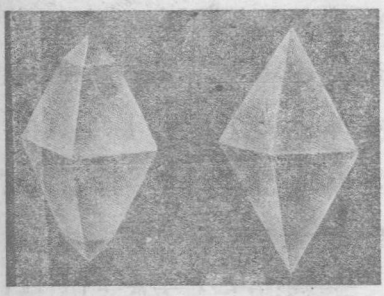
然，如石膏($CaSO_4,2H_2O$)。我國硫化金屬礦河北、遼寧、河南、山西、浙江皆有之。

175. 工業採取——在美國硫礦牀在地面下 500—1500 英尺者。以其四圍有黏土流砂及岩石，非尋常掘隧道之方法所能開採。美國化學家弗拉希[1]費十年之苦心，規劃一最巧妙而有效之方法，以取得此種之硫。其方法之大要爲：鑿一孔穴，達硫礦牀之底。於此孔穴內插入六英寸之鐵管，管內復貫有較小之管二，兩相套合(見書首插圖)。次於壓力下(每方英寸100磅)將水加熱至遠高於其沸點之温度(170° C.)，而強灌入六英寸之管中。此項熱水令硫熔融，而使地底之礦層，一變而爲熔硫之地下湖。於是將壓縮之熱空氣(約每方英寸 500 磅)壓入最小之管中，與熔硫及熱水成爲泡沫。因熱水及壓縮空氣之壓力，迫此泡沫，經中間之管上昇，放入木槽中；木槽之大小，約 150×250 英尺，高 60 英尺。如此可使大量之硫熔融，而湧出地面。產品純爲純粹(99.5% 以上)。迨固結之後，將大塊擊碎，運裝車運出，以供種種之使用，不再精製。有時一整大塊，有硫十四萬噸之多。

176. 硫之性質——硫爲淡黃色而質脆之固體，重於水約二倍。不溶於水，亦無特顯之味或臭。加熱至 114°C.，即熔融

[1] Herman Frasch.

成稻藁色液體。溫度昇高，液體卽漸黝暗，且漸呈膠黏性。至達約 235°C. 則幾成黑色，而稠厚至不能在器中流動。此後更加熱，則又復漓薄，而沸於 445°C.（§ 9）。固體之硫爲熱及電之極良絕緣體。



第 104 圖　斜方形硫結晶

177. 三種之硫 —— 如將尋常之硫條少許溶於少量之二硫化碳（CS_2 一種易燃液體）中，而以溶液傾入結晶皿中，則溶劑徐徐蒸發，而餘剩小結晶體形之硫。

此項實驗，設以較大規模而加相當注意以爲之，則當可生成形狀較完整之結晶體，如第 104 圖所示。此項結晶，一般皆有八邊（八面體），屬於斜方晶系。故此種硫稱爲**斜方形硫**。天產之自然硫，爲斜方晶。硫條及硫華大部卽爲此種極小之結晶。

如先將硫熔融而後令其徐徐冷卻，則可得另一種之結晶形硫。此於瓷蒸發皿中爲之，頗爲適宜。當熔硫起始固結時，表面卽生成薄皮。設將此皮戳二孔，而由一孔傾出其下之液體硫，卽見有硫鬚之針形結晶（第 105 圖），滿布皿之內面。

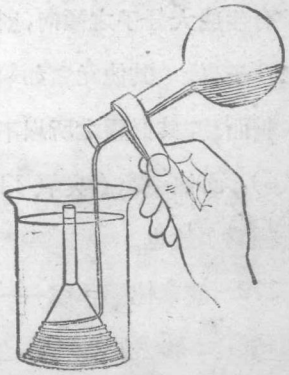
此等結晶成於液態硫中者，乃單斜晶或柱狀晶[1]之一種。爲長而透明之淡黃色針形物，其橫截面幾爲長方形，而於尖端處略呈斜欹。溫度在 96°C. 以上，及其熔點以下，此種形式之硫，永可保持；如令其冷卻，則色徐轉黝暗。此蓋以其變成斜方晶

[1] prismatic crystal.

硫之粒子也。

今將尋常之硫條置小燒瓶中加熱，至幾及沸騰，而後以此熱硫成細綫傾入冷水燒杯中，如第 106 圖所示。杯中宜置一漏斗，將硫迴綫傾注。於是卽易取出漏斗及附於其上之固結硫。此時之硫，不復鬆脆，而狀若樹膠矣。

第 105 圖　製取硫結晶



第 106 圖　製彈性硫

此種由熔硫於冷水中驟冷而得之麵條狀物，稱爲彈性硫[1]，以其無結晶形，故又稱無定形硫。此種之硫不穩定，由其經數年後，卽變成斜方晶硫，可以知之。硫之結晶形體，可溶於二硫化碳；無定形體則不然。

元素之硫尙有其他之形體多種，此處無須詳論之。

178. 同素異形體——一種元素之各種不同形體，如頃所述之硫，稱爲同素異形體[2]，或簡稱同素體。惟決不可以爲此等變體中，硫原子本身有何不同。此種形體之互異，或由於硫分子

[1] plastic sulfur.　[2] allotropic forms.

中原子結合之數目不同而然。無論如何，不同形體之硫所含能量亦不同。此或由於其電子及質子之排列有異。就硫而言，吾人固猶未知每種不同形體之分子中，究有若干之硫原子。惟硫原子有生成大分子之傾向，則已知之，蓋氣態之硫，含有具八原子之分子也。其他元素如氧、磷、碳等亦具有同素體。就氧之同素體而言，其形體之所以不同，已知其由於一種每分子有二原子(O_2)，而他一種（臭氧）則有三原子(O_3)，所含能量較尋常之一種爲多故也。

179 硫之化學作爲——硫之諸種形體，其化學作爲彼此均甚相類似。硫燃於空氣中，生刺戟性之氣體，卽二氧化硫(SO_2)。多數金屬如與硫共熱，卽與之直接化合，而生成金屬硫化物。

硫與鋅、鐵、銅間之反應，亦吾人最早所研究之化學反應也。其間生成各種硫化物。此等反應之方程式如下：

$$Zn + S \rightarrow ZnS$$

$$Fe + S \rightarrow FeS$$

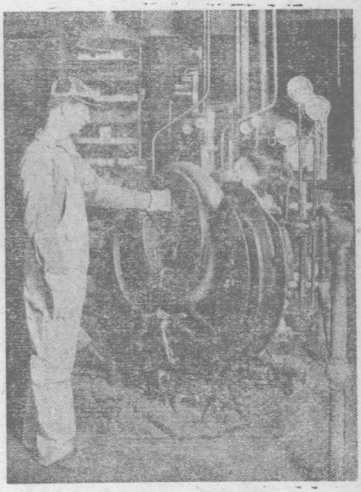
$$Cu + S \rightarrow CuS$$

180 硫於製造橡皮上之用途——橡樹（第 107 圖）大抵產於熱帶，生有一種乳狀之液汁，稱爲乳液[1]。此汁加以醋酸，卽可製成生橡皮(§ 371)。此時稱之爲彈性樹膠[2]，主體爲一種氫

[1] latex. [2] caoutchouc.

第 107 圖　自橡樹採集乳液

與碳之化合物。柔軟而具彈性，惟以其於空氣中漸次氧化而成鬆脆之物質，故不適於多種用途。因此每與 10% 之硫及某數種金屬化合物相混，而後隔離空氣加熱至約 150°C.。如此可使成爲較堅強，更富彈性而遠較耐久矣。此法稱爲加硫[1]，得一種商品，卽爲橡皮[2]（第 103 圖）。

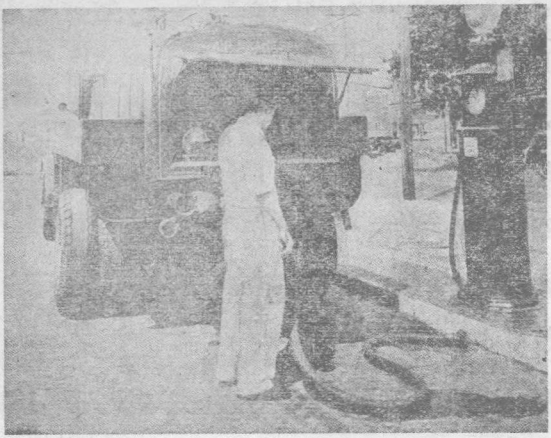


第 108 圖　汽車裏胎之加硫

[1] vulcanize.　[2] rubber.

硬橡皮亦稱硬硫橡皮，由彈性樹膠與30至50%之硫相混，而後熱至較製柔軟之加硫橡皮時之溫度更高30度而製成。硬橡皮用以製鈕扣及自來水筆桿等物件。亦爲電機械上之可貴絕緣原料。

較近人造橡皮（第109圖）之製成已確知可能。人造品與天產品幾全相同。合成法從二碳化鈣着手，二碳化鈣則取自煤及石灰石。此二碳化鈣用以製乙炔（C_2H_2）氣，乙炔氣又行聚合[1]；卽令乙炔分子與分子間藉一種觸媒而互相聯結也。最後將此物料（一乙烯代乙炔[2]）用鹽酸處理而生成氯丁二烯[3]（C_4H_5Cl）。新製之氯丁二烯爲稀薄清澄之液體，惟不穩定，旋卽



第109圖 人造橡皮（杜白倫）製之長皮管

[1] polymerize [2] monovinylacetate [3] chloropren

自行變成彈性固體，此即今日市售商品名杜白倫[1]者是也。據稱此物對於溶劑及其他化學藥品作用之抵抗力，遠勝於尋常之加硫橡皮。然其價值尚不能與天產橡皮相競爭。結果各大橡皮製造廠仍有賴於熱帶廣大之橡樹園以維持所需橡皮之供給。

131　回製橡皮——破損車胎之陳舊橡皮，大都可加以回製。即將車胎軋成小塊而入蒸汽套圓筒（脫硫器）中，與苛性鈉溶液共熱，以毀壞其棉纖維。此混合物在每方英寸125磅之蒸汽壓下熱約20小時後，洗滌而乾燥之。最後將此粗製之舊料，經過一組蒸汽加熱之轆轤，以除去各種雜質。餘留約原料70%之回製橡皮，又適於使用。

硫　化　物

182　硫化氫之所在——此乃吾人於含硫動物質腐敗時，嗅得之氣體（H_2S）。如不良之蛋，即常見之例。數處硫泉內亦溶有此氣，又見於火山噴氣中。

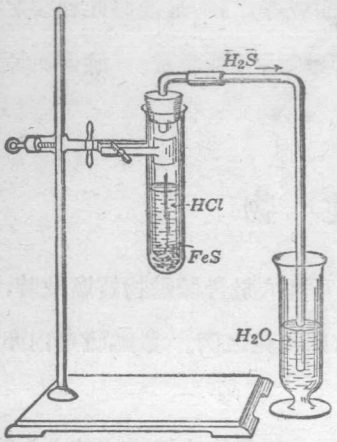
183　硫化氫之實驗室製法——當氫徐徐通過熔硫之上時，二者即化合而生成硫化氫。祇須數分鐘之後，用浸濕醋酸鉛（$Pb(C_2H_3O_2)_2$）溶液之紙條，能驗知其即僅微量之氣體。紙條漸變暗黑，蓋生成黑色之硫化鉛（PbS）也。

[1] DuPrene

實驗室內製硫化氫常用之法，則由稀鹽酸或硫酸作用於硫化鐵(FeS)：

$$FeS + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2S \uparrow$$

如僅需少量之氣體，則用第110圖之裝置頗爲便利。此乃一大試管，內盛硫化鐵數塊及稀鹽酸。其氣體經彎玻管導出。惟如需大量之氣體，則以啓普發生器爲佳，其作用爲自動的（第37圖）。此氣有毒，故凡用此氣之實驗，均於換氣利暢之盤廚內或露天行之。



第110圖
實驗室用硫化氫發生器

184. 硫化氫之性質——此氣無色，微重於空氣。具極不快溴。頗易溶於水中。故於實驗室內，用其溶液較便。純粹者具毒性作用，雖爲多量之空氣沖淡，亦足令人起頭痛惡心；幸有厭惡之臭，足以辨知其存在。

此氣易於燃燒，舉藍色火焰，生成水及二氧化硫：

$$2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2H_2O + 2SO_2 \uparrow$$

設於瓶內燃燒，氧之供給不足以與硫及氫並起化合。此時祇有氫燃燒而析出硫：

$$2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S\downarrow$$

硫化氫不甚穩定。 以冷瓷皿持臨硫化氫火焰中即可知之(第 111 圖)。皿上當見有黃色斑點,即由於硫凝着於皿面。蓋其本身火焰內部之氣體,被熱所分解而爲成分元素也。

此氣之水溶液,爲極弱之酸,稱爲氫硫酸。其對於石蕊實紙之效應,與碳酸(H_2CO_3)相彷彿。氫硫酸爲一種鹽基所中和,即生一種鹽類。此鹽稱爲硫化物,可由蒸發溶液而得。

第 111 圖
燃燒硫化氫時析出硫

185. 硫化氫爲一毒物——此氣體對於一切生物具有劇烈之毒作用,世人類多不知。溝渠內之空氣常含多量之硫化氫,足能致命。其毒作用由於其自血液中紅血球內取去氧。有數處石油礦,如美國之塔克薩斯,亦有硫化氫存在,該地之人已慣於其臭,致不復辨覺,故尤爲危險。家常則煤氣中含有此氣,每能由嗅覺,或其對於植物之作用,對於銀器之變黑等而察知之。

186 弱酸類及弱鹽基類——有多種酸類之水溶液,其導電性,較分子濃度相同之氯化氫或氯化鈉之溶液爲弱。此等酸類於鋅及其他金屬之作用亦至緩。就種種情形觀之,一若其溶解之分子,僅一小部分能產生氫離子者。此等酸類,因此稱爲弱酸

類。按離子說而言，其溶液當含有許多不離解之分子，所離解者僅佔總分子數之一極小部分。可以方程式表此可逆作用：

第一步 $H_2S \rightleftarrows H^+ + HS^-$

第二步 $HS^- \rightleftarrows H^+ + S^{--}$

同樣，鹽基類亦有僅稍稍離解者，如氫氧化銨等，稱爲弱鹽基。故須知凡比較各種酸類及鹽基類之強弱，卽比較其於稀溶液中離解之相對程度是也。欲比較二種酸類稀溶液之性質，務須取分子濃度相同之溶液，俾其每種溶液一定體積中分子之數相等。在此種等分子溶液中，其酸類之強弱，當與氫離子之數成正比例。

鹽酸及硝酸均爲強酸。於稀溶液中完全離解。硫酸亦爲一種強酸。醋酸及亞硫酸爲弱酸，硫化氫及碳酸，爲極弱之酸類。氫氧化鈉、鉀、鈣爲強鹽基；氫氧化銨之爲弱鹽基，大致由於溶解之氨於溶液中大部作 NH_3 存在故也(§ 266)。

187. **硫化氫於實驗室內之用途** —— 硫化氫能與金屬溶液起作用，故於分析化學上，用途甚多。所生成之金屬硫化物，各具特異之顏色，可作該金屬存在之簡便檢驗。

例如，試取三種溶液以供實驗：(1)於試管內溶醋酸鉛($Pb(C_2H_3O_2)_2$)少許於水中。(2)溶白砒(As_2O_3)一小片於數滴鹽酸中而後加水。(3)溶少量之銻鹽(吐酒石)於水中。於是依次通硫化氫氣泡少許入各溶液中。於第一試管中得黑色之沈澱(PbS)，第二試管中得黃色沈澱(As_2S_3)，第三試管中得橙黃色沈澱(Sb_2S_3)。

於此可見某數種不可溶於水或稀酸中之金屬硫化物，可由通硫化氫入各該金屬鹽之水溶液中以製取之。

茲試就鹽溶液實驗之，其中有數種遇石蕊質呈酸性反應。製成硫酸銅($CuSO_4$)、硫酸鐵($FeSO_4$)、及硫酸鉀(K_2SO_4)之稀溶液，而各通入硫化氫之氣泡少許。當於銅溶液中得黑色沈澱，於他二溶液中則無沈澱。如於此二溶液中加氨水數滴，則鐵溶液中得黑色之沈澱，而鉀溶液中又無所得。

由此實驗知硫化銅(CuS)可於酸性溶液中澱出，硫化鐵(FeS)可於鹼性溶液中澱出，而硫化鉀則酸性鹼性溶液中均不起沈澱。此可供作分離銅、鐵、鉀三者之方法。其反應藉下列方程式可以瞭然：

$$CuSO_4 + H_2S \rightarrow CuS\downarrow + H_2SO_4$$

在硫酸鐵，則屬一種所謂可逆反應(§ 186)，以雙箭表之：

$$FeSO_4 + H_2S \rightleftarrows FeS + H_2SO_4$$

硫化鐵可為反應內所生成之稀硫酸所作用。惟如加以氨，則將此酸中和，因得生出硫化鐵。此種反應隨情況之略加改變，而定向一方或他方進行。

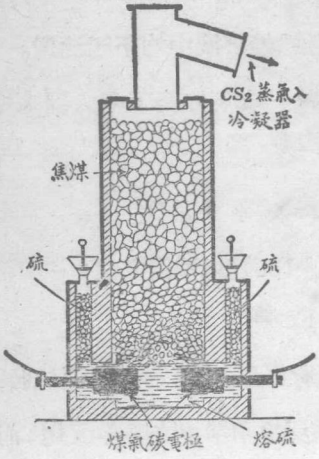
若銀鉛等數種金屬，則能與硫化氫直接反應，生成金屬硫化物。家常銀器之轉黑，大抵卽由於因煤氣管之微漏，或煤之燃燒。燃煤氣雖謂除盡此氣，惟尋常每含有微量。

188　二硫化碳(CS_2).——前已見(§ 177)此物乃一種可貴之溶劑，以其能溶硫、橡皮及其他數種不溶於水中之物質。此

物由碳與硫製成:

$$C + 2S \rightarrow CS_2 - 28,674 \text{ 卡}$$

此意卽該反應中每用一克原子量,需供給 28,674 卡之熱也。故二硫化碳稱爲一種吸熱化合物。實際此反應確需極高之溫度,工業上常用電爐(第112圖)。爐中大部盛以焦煤硫則自漏斗中加入。電極近於爐底。所生之熱,使硫氣化。硫氣與熱碳化合成二硫化碳。



第 112 圖 製二硫化碳之爐

二硫化碳爲無色而質重之液體,沸點 46°C.。純粹之液體,謂有芳香,惟略起分解,卽發極惡劣之臭。極易着火。其蒸氣與空氣相混,有爆發性,故凡用二硫化碳時,切勿接近火焰。

二硫化碳之價值,除爲溶劑之外,對於殺滅蟻類及四他害蟲,頗爲適用。亦有用以殺草狗及鼠類。在人造絲(§435)及四氯化碳之製造中,均應用之。

第十五章 提要

硫有成遊離狀態產出者。亦有成硫化物及硫酸鹽者。

在美國路易西那，塔克薩斯用過熱之水使硫於地下熔融而迫昇地面。

商品之硫，有爲硫華，有爲硫條或硫塊。

硫之同素異形體有斜方晶、柱狀晶、及無定形三種。

斜方晶體爲穩定之一種，熔點 114°C.，沸點 445°C.。重於水約二倍，不溶於水而溶於二硫化碳。

硫燃於空氣中，生成二氧化硫。硫能與許多元素直接化合，生成硫化物。

硫用於製造火藥、灰硫噴藥、二硫化碳、二氧化硫、硫酸、及加硫橡皮；又用於木材防腐。

硫化氫於自然界中，由含硫之有機物腐敗而生成；亦產於火山噴氣及硫泉之水中。

實驗室內，由稀鹽酸或硫酸與硫化鐵作用，以製取硫化氫。

硫化氫之性質：無色之氣體，具特異之惡臭，頗易溶於水中，重於空氣。於多量之空氣中燃燒，卽成水及二氧化硫，惟於有限空氣中，則生水及硫。

其水溶液稱爲氫硫酸；爲一種弱酸，與大多數金屬鹽溶液生成硫化物。於化學分析上用以分離金屬。

弱酸及弱鹽基均僅稍稍起離子化，

問題

1. 試舉產遊離硫之大礦區三處。
2. 試舉自然界中出產豐富之硫化合物三種。
3. 試以註釋之圖解，以說明弗拉希方法之主要點。
4. 試述元素硫之三種用途。
5. 於實驗室內欲證明一種黃色粉末爲硫，試述應若何進行。
6. 硫之同素異形體所共具之性質爲何？
7. 試將硫與氧從若干方面比較之。
8. 試作同素異形之定義，並舉述前此已讀見諸元素，其具有同素異形體者。
9. 欲得一物質之完好結晶，有何二種方法？ 試以硫爲例。
10. 試將硫化氫之物理性列成一表。
11. 硫化氫於水中之溶液爲一種弱酸。 試解釋之。 其名爲何？
12. 在都市空氣中，銀之生鏽及鉛白油漆之轉黝均極迅速。 試解釋之。
13. 療病之溫泉，有所謂"硫"水者爲何物？
14. 試舉五種金屬硫化物及其相當之氧化物之名稱及式。
15. 試作下列反應之方程式：
    (a) 硝酸鉛($Pb(NO_3)_2$)與硫化氫；
    (b) 硝酸銀($AgNO_3$)與硫化氫；
    (c) 氯化鋅($ZnCl_2$)與硫化鈉；
    (d) 氯化銅($CuCl_2$)與硫化氫。

* * *

16. 若干大硫礦床，如美國塔克薩斯礦，僅位於地下 1000 英尺之處。何以不用採煤法採取之？
17. 弗拉希方法之成功，憑賴於硫之何種性質？
18. 試舉硫之同素異形體之名稱。 何稱結晶體含較多之化學潛能？ 何種於室溫時較不穩定？
19. 設有原料硫、鹽酸、及硫，如何可進而製取硫化氫？
20. 實驗室內，用何法以認知硫化物？
21. 試作硫化銀之三種不同製法之方程式。
22. 當硫化氫通入硫酸鋅溶液中，其反應爲可逆的。 當用何法使之完成？

23. 如令硫化氫之水溶液於瓶中放置有時，硫卽澱下。試解釋之。

*　　*　　*

24. 由 100 克硫化鐵可得硫化氫若干克？

25. 用稀硫酸與硫化鐵作用，於標準情況下，欲生硫化氫 100 立，應需硫化鐵若干克？

進究題材

橡皮——最初利用橡皮爲何時？近二十年間何以成爲若是之重要？橡皮如何可合成製得之？種植之橡樹，與天然橡樹，有何不同？（Slosson's *Creative Chemistry*, 化學之創造。Tilden's *Chemical Discovery and Invention, Chemistry in Industry* Vol. I.）

硫之史料——在西西里提硫之法若何？西西里及意大利之控制硫之市場者數百年。在約 1904 年其地位由何而變動？試舉用硫爲原料之六大工業，以耗用硫量多寡爲序。（*Sulfur, An Essential to Industry and Agriculture*, Texas Gulf Sulfur Co., 75 E. 45th St., New York.）

第十六章

硫之氧化物及其酸類

二氧化硫——製取及性質。亞硫酸——其用途——亞硫酸鹽類及酸性亞硫酸鹽類。

三氧化硫——製取及性質。硫酸之製造——濃稀硫酸之性質——硫酸鹽類——SO_4 離子之檢驗。

酸及鹽基之縮水物。

189. 硫酸，一基本化學藥品——1843 年德國大化學家李比希[1]稱一國工商業之繁榮可由其硫酸之消耗量以衡定之。此言之確鑿，在今日與百年以前均屬無可置疑。有人估計，僅就美國一國，每年產硫酸之價值約七千五百萬美元。所以需此巨量者，蓋以其乃一重要之化學藥品，對於吾人所用之一切物品之製造上，幾盡有硫酸以種種之方式參預其間。貯積者甚少，故每隨需要而製造之。此酸之市場，因此可認爲一國經濟繁榮之晴雨計。因其製造時主要之物質爲二氧化硫，故本章以此化合物爲始。

[1] Justus Liebig.

二氧化硫及亞硫酸

190. 二氧化硫之製取——前見(§ 30)硫燃於空氣中，生成一種氧化物，稱爲二氧化硫(SO_2)。此氣具窒息力，通常稱爲'硫黃臭"。其方程式如下：

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

工業上則將硫置迴轉鼓中燃燒之。另一製法則將黃鐵礦(FeS_2)或閃鋅礦(ZnS)等之金屬硫化物，於空氣中強熱或煅燒之。當生金屬氧化物及二氧化硫：

$$2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 2SO_2$$

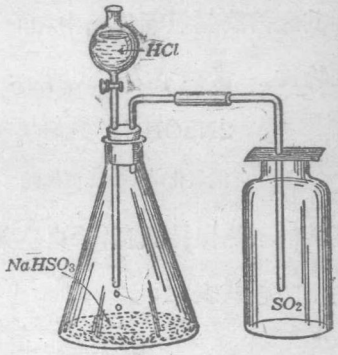
於實驗室內欲製不含氮及過量空氣之二氧化硫，可將鹽酸徐徐滴於酸性亞硫酸鈉之結晶上即得(第 113 圖)：

$$NaHSO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2SO_3$$

酸性亞硫鈉　　亞硫酸

$$H_2SO_3 \rightarrow H_2O + SO_2 \uparrow$$

此反應僅爲一種複分解作用，其中一種產物亞硫酸(H_2SO_3)不穩定，而分解爲水及二氧化硫，如第二方程式所示。



第 113 圖　二氧化硫之製取

191. 二氧化硫之性質——此氣爲無色而帶特殊敏銳之味及臭。重於空氣二倍餘[1]，爲已知氣體中最易液化之一。液化

[1] SO_2 之分子量爲 64；空氣 22.4 立重 29 克。

氣體在常壓下沸於 −8°C.。於常温時，其液體可保存於堅牢之玻瓶或金屬圓筒中，以其壓力僅三四氣壓也。此氣體甚易溶於水中（於 15°C. 時約 40 體積溶於水 1 體積中），不起燃燒，且亦不助燃。

192. 亞硫酸——二氧化硫不僅可溶於水，且與水起化合，生成一種酸，稱爲亞硫酸（H_2SO_3）。當其水溶液加熱，酸卽分解而爲水及二氧化硫。故其反應爲可逆：

$$H_2O + SO_2 \rightleftarrows H_2SO_3$$

亞硫酸爲極不穩定之化合物，不能脫離所溶解之水而存在。實際，所以認其有存在之重要原因，蓋可製成此酸之鹽類耳。如其酸溶液爲氫氧化鈉中和而蒸發時，卽得相當於 Na_2SO_3 式之物質。當如下方程式所示：

$$2NaOH + H_2SO_3 \rightarrow Na_2SO_3 + 2H_2O$$

氫氧化鈉　亞硫酸　亞硫酸鈉　水

亞硫酸不能保持久長，徐自空氣中吸收氧而變成硫酸。此變化可由下方程式表之：

$$2H_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2H_2SO_4$$

亞硫酸　氧　硫酸

以其易與他化合物中之氧相化合，故爲一種強有力之還元劑。

［例］ 高錳酸鉀($KMnO_4$)爲極佳之氧化劑。將其結晶溶於水中，即得深紫色之溶液。今以此有色液體傾入亞硫酸溶液。結果顏色立即消除，蓋亞硫酸已自高錳酸鹽中奪取一部分之氧，而餘無色化合物硫酸鉀及硫酸錳於溶液中也。

193. 二氧化硫之用途——含水分之氣體(即亞硫酸)，用以漂白紙粕、草蓁、絲、毛等。此等物料皆不宜用氯漂白，以其易致堅硬鬆脆之故。然其漂白效能，逾時即失，故用二氧化硫漂白之物料，歷時仍翻黃。二氧化硫能還元有色物質，即刼奪其中之氧，而使其變爲無色之化合物。但空氣仍能令其起再氧化作用而回復其色。

第 114 圖
用二氧化硫漂白花色

此項性質，可由下述實驗表明之。取帶溼之有色花朵，置近燃硫之處，而併罩入玻鐘內(第 114 圖)。少時，花即成白色矣。

乾果及罐藏之玉蜀黍及櫻桃等食品，有時即用亞硫酸漂白。此酸亦具防腐性，故能防止糖、甜果汁及各種糖果蜜餞等之發酵。然其能否用作食物保藏劑，則尙屬疑問。其於植物生命，確有危害，由烽礦廠及有此種氣體散放之化學工廠鄰近植物之凋萎可以見之。

二氧化硫常用於無冰冷凍器。此氣體先爲電動壓縮器所液化，然後令其膨脹而蒸發。此項膨脹及蒸發須吸收熱力，遂保持冷凍器之冷卻。

但二氧化硫最重要之用途厥惟硫酸之製造。

194. 亞硫酸鹽及酸性亞硫酸鹽——亞硫酸爲鹽基中和時，所生之鹽類稱爲**亞硫酸鹽**。如將過量之二氧化硫通入鹽基之溶液，卽生成**酸性亞硫酸鹽**($NaHSO_3$)。例如：

$$NaOH + H_2SO_3 \rightarrow NaHSO_3 + H_2O$$

氫氧化鈉　亞硫酸　酸性亞硫酸鈉　水

酸性亞硫酸鹽中有一個氫原子未被取代，在亞硫酸鹽中則所有氫原子盡被取代。製取酸性鹽，或由僅半分足量之鹽基處理其酸以中和之，或加過量之酸於中性鹽均可。

如碳酸(H_2CO_3)、氫硫酸(H_2S)、亞硫酸(H_2SO_3)及硫酸(H_2SO_4)等酸類，每分子中均具有二個可取代之氫原子。故概稱爲**二鹽基酸類**[1]。鹽酸及硝酸(HNO_3)，每分子均祇有一個可取代之氫原子，故爲**一鹽基酸類**[2]。磷酸(H_3PO_4)爲**三鹽基酸類**[3]。

195. 亞硫酸鹽及酸性亞硫酸鹽之用途——氫氧化鈣($Ca(OH)_2$)或消石灰之溶液中，如以二氧化硫連續通過之，俾爲過量之亞硫酸所處理，其產物爲酸性亞硫酸鈣($Ca(HSO_3)_2$)。反應如下：

$$Ca(OH)_2 + 2H_2SO_3 \rightarrow Ca(HSO_3)_2 + 2H_2O$$

氫氧化鈣　亞硫酸　酸性亞硫酸鈣　水

製較低廉之紙時，將木材切成碎片，而與酸性亞硫酸鈣之溶液共煮。將木材中膠狀物質（木纖維）溶出，而餘純粹之纖維素，方

[1] dibasic acids.　[2] monobasic acids.　[3] tribasic acids.

爲製紙所需之原料。

亞硫酸鈉(Na_2SO_3)每以與白色結晶之草酸相混和，用以漂白草帽。此等物質乾燥時不生作用，惟加水時則兩者均溶解而離子間起反應。

三氧化硫及硫酸

196. 硫酸之重要——硫酸今有被稱爲化學品之王者，蓋今日之工業，鮮有不直接或間接仰賴於硫酸者也。其用途何以若是之廣？究作何用？其自硫製造之情形若何？

吾人於置答此項問題之前，宜先一考三氧化硫，以其在硫酸製造上佔一重要之階段也。

197. 三氧化硫之製取——二氧化硫加熱時，可使與氧略起化合而成三氧化硫(SO_3)。惟此反應非常緩慢。如用氫與氧化合時所用之觸媒(§ 50)，即細鉑粉，則可令其急速化合。反應爲可逆的，如下：

$$2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$$

在約 400°C. 時，二種氣體幾全相化合。惟過此溫度以上，則起逆作用。

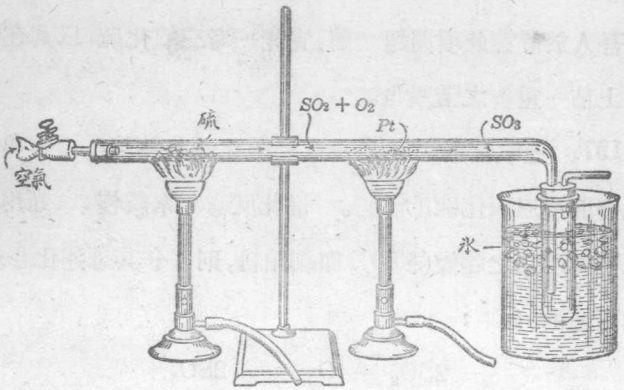
用第 115 圖之裝置，可以解明此項反應。先置鉑石棉[1]若干於頸玻管中。

[1] 將清淨之石棉，浸入較濃之四氯化鉑溶液中，而後於本生燈燃之。細鉑粉即佈滿石棉中。

將硫燃燒，而藉吸氣設備，令二氧化硫與空氣之混合物通過鉑石棉之塞圈 *Pt*。該塞圈微加溫熱。所得之三氧化物，導入大試管內，置管於碎冰及鹽之寒劑中，可以冷凝之。

198. 三氧化硫之性質——三氧化硫爲無色之液體，於約 15°C. 時固結，約 46°C. 時沸騰。有二種同素異形體(§ 178)。一即上所述之液體，一則爲白色結晶形固體，此固體不經熔融而起昇華(氣化)。三氧化硫易與水化合，生成硫酸。如將三氧化硫投入水中，即溶解而生多量之熱。

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$



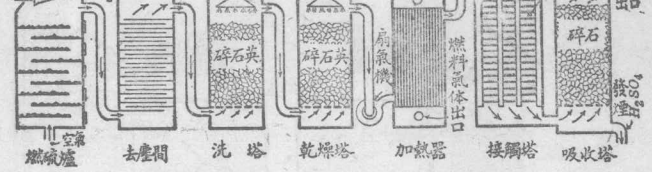
第 115 圖　製三氧化硫

199. 硫酸之製造——今日製造硫酸之法有二種，稱爲觸煤法[1]及鉛室法[2]。二法中，第一步彼此相同，即燃硫或煅燒金屬

[1] contact process.　[2] chamber process.

硫化物，以得二氧化硫。其主要之困難點在第二步，即由二氧化硫變成三氧化硫。此處即利用一種觸媒以控制之，二法間主要之異點亦在此。觸媒法中，用保持在一定溫度之氧化釩或鉑爲觸媒。鉛室法中，則其化學變化甚爲複雜：二氧化硫用水汽、氮氧化物及空氣而變成硫酸。其器械之佈置，務使氮氧化物不能逸去而得循環使用。

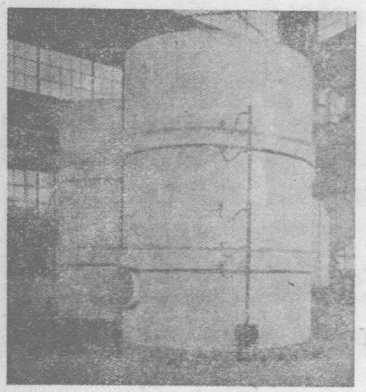
觸媒法(第 116 圖)中所用觸媒，爲氧化釩，或如上述實驗(§197)，用細鉑粉。工業上製造時，二氧化硫與空氣之混合物，應小心除去塵埃及其他雜質；蓋氣體中設不將此等雜質除去，則鉑不久即失去觸媒之效能。其溫度亦須小心調節，保持 400°C.(第 117 圖)。如降至此溫度之下，則反應過緩；如升過此點以上，又將起逆反應。最後，三氧化硫被收於濃硫酸中(不用水)，以其入於水中，有成煙霧而通過逸出之傾向，不能吸取也(第 118 圖)。結果所得之酸，稱爲發烟硫酸[2]。大致即爲三氧化硫於濃硫酸中之溶液。當發煙硫酸用水稀釋，三氧化硫即與水相化合而生成硫酸。



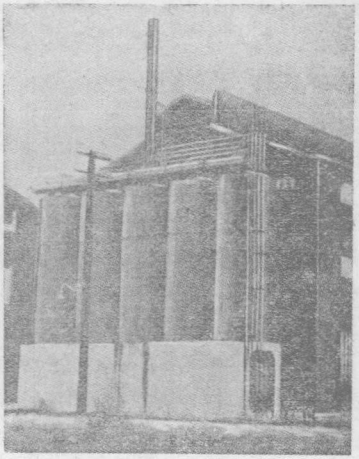
第 116 圖 觸媒法製硫酸之圖解

[1] 譯者按：如用氧化釩之爲觸媒，其效力遠勝於鉑，且對於所有危害鉑粉之雜質，絕無影響，故可免洗去塵埃之手續。由此種改善，其管理既簡捷多多，而成本亦可減低不少，誠最近硫酸工業上之一大進步也。 [2] fuming sulfuric acid or "oleum".

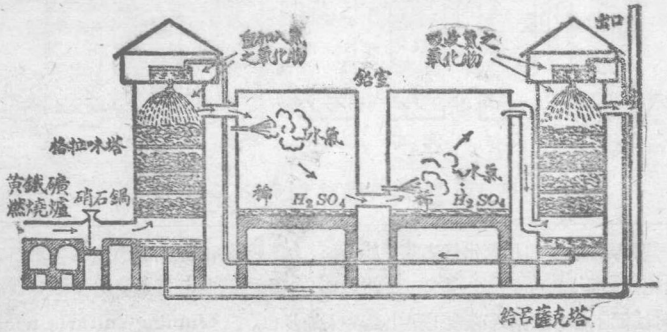
鉛室法(第 119 圖)中用氮氧化物爲觸媒。二氧化硫藉二氧化氮(NO_2 褐色氣體)而氧化成三氧化硫。二氧化氮,被還元成一氧化氮(NO)。惟一氧化氮又自空氣中取得氧而復成較高級之氮氧化物。故此一氧化氮更番爲空氣所氧化,爲二氧化硫所還元,其作用恰成氧之運送器。反應發生於大鉛室中。其間噴水汽入鉛室中,以助進其作用,同時供給三氧化硫變成硫酸所需之水分。



第 117 圖 接觸塔



第 118 圖 吸收塔



第 119 圖 鉛室法製硫酸之圖解

實際上，自硫或黃鐵礦燃爐中所生之氣體，通過一塔（格拉味塔[1]），此塔所以使氣體冷卻，而給與氮氧化物也。自最後一間之鉛室所放出之氣體，又通過另一塔（給呂薩克塔[2]）。在此塔中，氮氧化物爲濃硫酸所吸收。此酸再壓至第一塔之頂端，至此被水稀釋，而放出氮氧化物。

鉛室中所集得之酸，僅爲約 60% 之純粹硫酸氫（H_2SO_4）。鉛室法爲較舊之製法，惟於製不甚濃厚之硫酸時，沿用仍廣。至欲製濃硫酸，則以觸媒法爲優。觸媒法勝於鉛室法之處，即在能直接製成任何濃度之極純粹之酸，而無須昂貴之增濃手續也。

200. 濃硫酸之性質——純粹之硫酸，爲無色油狀之液體，重於水約二倍。商業上有稱之爲礬油[3]者，以舊時係由蒸餾硫酸亞鐵之結晶製得之，而此項結晶向被稱爲綠礬[4]（$FeSO_4$，$7H_2O$）。其沸點甚高(338°C.)。爲腐蝕性極強之物質，沾着皮膚，即致劇烈之灼傷。能與水以任何比例相混，發出大量之熱。濃硫酸對於水有極大之吸收力，故每用以乾燥多種氣體。

與此種嗜水性密切關聯者，即爲此酸之脫水作用[5]。硫酸能自若糖（§ 12）等含有氫氧二元素之多種物質，依成爲水之比例，取除此二元素。

欲明硫酸對於紙（大部爲纖維素（$C_6H_{10}O_5$））之作用，可用玻棒蘸稀硫酸而寫字於白紙上。持至離本生燈焰上稍高之處小心烘乾之。當見寫字之部分轉成黃色而發焦（第 120 圖），蓋因稀酸蒸去水分而變爲濃酸也。

熱濃硫酸爲一種氧化劑。許多物質均可使其還元成二氧化硫及水。例如，置炭於其中煮沸，則炭被氧化：

[1] Glover tower. [2] Gay-Lussac tower. [3] oil of vitriol. [4] green vitriol. [5] dehydrating action.

$$2H_2SO_4 + C \rightarrow 2SO_2\uparrow + 2H_2O + CO_2\uparrow$$

設用銀、銅、汞等金屬，則均變成硫酸鹽，而釋出二氧化硫。鐵則易爲稀硫酸所侵蝕，而不爲濃硫酸所侵蝕。故濃硫酸可裝入鐵製箱桶中，以備運輸。

第 120 圖　紙爲硫酸所灼焦

201. 與鹽類之作用——濃硫酸沸點頗高，故用以製較揮發（卽較易氣化）之酸類，若鹽酸硝酸等。例如製鹽酸時，用最低廉之氯化物，卽食鹽：

$$NaCl + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HCl\uparrow$$

氯化氫在室溫時爲氣體。在上方程式中，當見硫酸氫鈉($NaHSO_4$)爲產物之一。惟如取二倍多之鹽，而將鹽與酸熱至較高之溫度，則得二倍多之鹽酸。此於工業上由大規模爲之。其方程式已見 § 130。

製硝酸時用最低廉之硝酸鹽，卽硝酸鈉($NaNO_3$)：

$$NaNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HNO_3\uparrow$$

硝酸於 86°C. 時卽揮發。如將硝酸鈉之量加倍，而熱至較高溫度，則硝酸起分解卽分成較簡之物質。故所生硝酸之質量，並不加倍。

202. 稀硫酸——將硫酸稀釋時，應特別注意，因發生大量之熱也。此中似是硫酸（或稱硫酸氫 H_2SO_4），還讓其氫離子

(H^+)與水，因而產生一水化氫離子（有時稱爲氫離子 H_3O^+）及一酸性硫酸根離子(HSO_4^-)。應將濃酸以細縷注入水中，勿將水注入酸中。稀酸能與鋅、鐵、鋁等金屬反應，生遊離氫及金屬之硫酸鹽。可爲鹽基類所中和而生成鹽類。稀硫酸無嗜水性，非氧化劑，亦顯然不能供如製鹽酸等之用途。凡此諸點，皆與濃酸不同；此項區別應熟識之。

203 硫酸鹽——硫酸之鹽類，不含氫者稱爲硫酸鹽。其每分子中仍有一氫原子者，稱爲酸性硫酸鹽。許多金屬之硫酸鹽，均極重要，且均屬常用者。例如燒石膏[1]，爲一部分含水之硫酸鈣($2CaSO_4,H_2O$)；瀉鹽爲含水硫酸鎂($MgSO_4,7H_2O$)。此等鹽類大抵爲結晶形固體，可溶於水。至如鋇、鍶、鉛之硫酸鹽，則爲不可溶性。銀及鈣之硫酸鹽僅稍稍可溶。

硫酸鹽之檢驗，即檢驗離子 SO_4^{--}，加可溶性鋇鹽（如氯化鋇）於所欲驗之溶液中即可。如有白色沈澱生成，不溶於鹽酸中者，是即有硫酸鹽存在：

$$BaCl_2 + Na_2SO_4 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + 2NaCl$$

氯化鋇　硫酸鈉　硫酸鋇　氯化鈉

204 硫酸之用途——濃硫酸於實驗室及工業上，均用作乾燥劑。染料之製造，及供作爆炸藥之多數有機化合物生成時，

[1] plaster of Paris

均需鉅量之濃硫酸。以其沸點之高，故於實驗室內又用以自他種鹽類製取各該種之酸。稀酸用於蓄電池及電鍍；亦用以洗淨許多金屬之表面。肥料工業上需量尤大。今日已爲最低廉之化學藥品之一（每噸約美金十元）。硫酸之用途，既若是之繁且廣，故硫酸直可謂爲現代工業之磐石。（見附錄工業一覽表）。

205. 酸及鹽基之縮水物——硫之二種氧化物（SO_2 及 SO_3）與水反應，分別生成亞硫酸及硫酸。凡氧化物之與水化合而生成酸者，每稱爲酸之縮水物或酸酐[1]。又有一例，卽爲二氧化碳，與水反應而生成碳酸（H_2CO_3）。碳酸亦如亞硫酸，不穩定，加熱卽復成酸酐。故其反應爲可逆：

$$H_2O + CO_2 \rightleftarrows H_2CO_3$$

又有一種酸酐，爲燃磷於空氣中而得之白色氧化物。此物與熱水化合，生成磷酸，穩定而不易被變爲酸酐，與硫酸相似。

$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

非金屬之氧化物，均爲酸酐。反之，金屬之氧化物，與水化合，卽成鹽基。例如氧化鈣與水反應，生成氫氧化鈣：

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

非金屬之氧化物與金屬之氧化物，作爲上有此種異點，因稱前者爲酸性氧化物，後者爲鹽基性氧化物，以區別之。

[1] acid anhydride.

第十六章　提要

二氧化硫之製取：

(1) 燃硫或煅燒硫化物；

(2) 鹽酸與酸性亞硫酸鹽作用。

二氧化硫爲無色窒息性之氣體，重於空氣二倍餘。極易溶於水中。

用作殺菌劑、防腐劑、及漂白劑。亦用於某種無冰冷凍器。其主要之用途，則爲製造硫之酸類。

亞硫酸爲二氧化硫之水溶液，不穩定。爲一種還元劑。具漂白及防腐性。可生成二種鹽類，亞硫酸鹽及酸性亞硫酸鹽。

凡每分子有二個可取代氫原子之酸，稱爲二鹽基酸。

三氧化硫由二氧化硫藉一種熱觸媒與氧化合而成。與水化合則生成硫酸。

硫酸之製法： (1) 觸媒法，其中二氧化硫藉一種觸媒而被氧化，(2) 鉛室法，其中氧化作用藉氮氧化物而發生。

濃硫酸具極強之吸水作用。熱時爲氧化劑。以其沸點之高，故熱時可自他種鹽類製成各該種酸類。

稀硫酸能與多種金屬起反應，生氫。可生成二種鹽類——硫酸鹽及酸性硫酸鹽。硫酸鹽除鋇、鍶、鉛外，均爲可溶性。銀

及鈣之硫酸鹽僅能稍稍溶解。

硫酸之用途幾徧及一切工業。

非金屬之氧化物如 SO_2, SO_3, CO_2, P_2O_5 與水反應而生成酸類。稱爲酸酐或酸性氧化物。

金屬之氧化物如 CaO，與水反應而生成鹽基類。稱爲鹽基性氧化物。

問題

1. 試詳述製二氧化硫之三種不同方法。並各作方程式以表之。
2. 燃硫於空氣中，何以不生純粹之二氧化硫？
3. 試舉二氧化硫之三種重要用途，並述每種用途上利用其何種性質。
4. 試舉用以製硫酸之原料之名稱，並列其式。
5. 對於何種程度之酸，觸媒法勝於鉛室法？
6. 沸騰之硫酸，如沾着皮膚，足致劇烈灼傷，試述其二種原因。
7. 硫酸之爲強酸，是否由於其高沸點？ 解釋之。
8. 亞硫酸及硫酸，何者爲較穩定之酸？ 其實驗上之證據爲何？
9. 漂白草帽以何法爲最簡易？
10. 製硝酸時何以用濃硫酸？
11. 製氯化氫及硫化氫之反應，何以皆能進於完成？
12. 濃硫酸對於乾燥某數種氣體，何以若是之有效？
13. 糖及木材與濃硫酸相接觸時，即起焦化，將如何解釋之？
14. 用稀硫酸寫字於紙，將如何解釋之？
15. 設將水傾入濃硫酸（切勿嘗試）當生何現象？

* * *

16. 濃硫酸之用於製較揮發之酸類，恃其何種性質？
17. 二氧化硫之用於電冷凍器，恃其何種性質？
18. 藉何種化學的檢驗法，可以區別氯化氫與二氧化硫？

19. 試就氯及二氧化硫之漂白作用比較之。何類物料必不可用氯漂白，而可用二氧化硫漂白之?

20. 草帽及新聞紙久暴於日光中卽轉黃色。試解釋之。

21. 試解釋何以亞硫酸(H_2SO_3)具有還元劑之作用，而硫酸(H_2SO_4)具有氧化劑之作用。

22. 由熱濃硫酸與銅作用以製二氧化硫，何以可解明濃硫酸之氧化作用?

23. 商品硫酸並不盡屬無色。將如何解釋其色之由來?

24. 有硫酸一瓶，欲確定其爲濃爲稀，當用何法?

25. 化學天秤小櫥內，有時置一盛濃硫酸之燒杯。何故? 放置日久，當見其杯內之液面增高。何故?

* * *

26. 試推算硫酸之百分組成。

27. 煅燒 60% 純度之硫化鋅 100 仟克，可製成硫酸(密度 1.84克 立方厘米及 96% 純度)若干仟克?

28. 煅燒(燃燒)黃鐵礦(FeS_2) 60 克，可製得二氧化硫若干克?

29. 欲製含 4% 水之硫酸一噸 (2000 磅)，應需硫若干?

30. 含無水氯化鋇 26 克之溶液，如爲充分之硫酸所處理，當沈澱出硫酸鋇($BaSO_4$)重若干?

進究題材

工業上之觸媒作用——製硫酸時，觸媒法勝於鉛室法之優點究何在? 何以此法未能全取鉛室法而代之? 其他尙有何種製造，手續上需用觸媒者? 用作觸媒之物質爲何數種? (參讀 Duncan's *Chemistry of Commerce, Chemistry in Industry* Vol. 2).

第十七章

碳及其二種氧化物

碳及其同素異形體：金剛石、石墨、炭及煤——碳之化學作爲。碳原子之結構。

二氧化碳——燃燒及腐敗時之生成——空氣中之存在——檢驗——爲植物所需要。酸類與碳酸鹽作用之製取法——實驗——性質——液態及固態——工業上用途。

一氧化碳——由煤火，由還元作用，由蟻酸而生成——性質及用途。

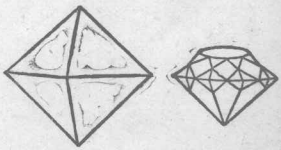
二氧化碳及一氧化碳之組成。

206. 碳之同素異形體——炭[1]、石墨[2]、金剛石[3]三種物質，欲確信其僅乃一元素之不同形體，誠屬費思考之事也。然其物理性之相差雖遠，實則盡爲元素之碳也。就其於氧中均能燃燒而放出二氧化碳爲惟一之產物，可以實驗證明之。適如硫然，碳有二種之結晶形體，卽**金剛石**及**石墨**，與數種無定形體[4]或非晶形體，如炭及燈煤[5]。此等形體彼此得互相轉變。將炭加熱至極高之溫度，而不與空氣接觸，可令變成石墨。卽金剛石亦得由人工製成少許。

---

[1] charcoal. [2] graphite. [3] diamond. [4] amorphous form, [5] lampblack.

207. 金剛石——南非洲、南美洲、南洋羣島等某種區域之砂礫中產有金剛石。取自天產時，絕不類所謂寶石。粗觀之，無異於尋常粗礪之石，幾不透明而略具結晶之外形耳。須經琢磨，使得無數不同之面以反射光線，卽所謂"光芒閃耀，燦爛奪目"，然後始成爲金剛鑽寶石（第 121 圖）。



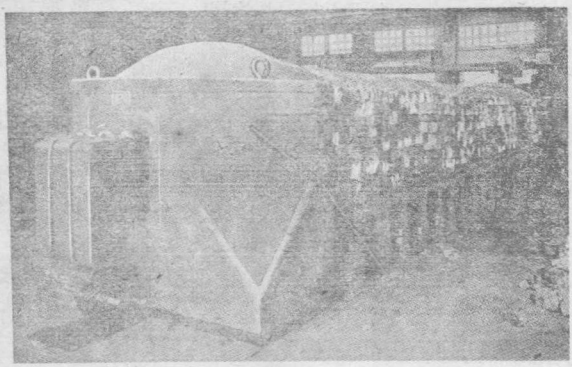
第121圖 金剛石，粗塊及琢成品

金剛石爲已知物質中之最堅硬者。祇能以他金剛石或金剛石粉以琢磨之。金剛石有作棕色乃至黑色者；此等品質，用以切劃玻璃，作金剛石鑽及岩石鑽之琢鑿鋒口。

208. 石墨——結晶形碳之又一形體，是爲石墨。自然界產量雖頗多，然今亦有自硬煤以大規模製造之。硬煤爲一種不純粹之碳，經隔絕空氣而熱至極高之溫度，卽變而爲石墨。此項高溫於所謂電抗爐[1]中得之。於長煤層間通過強有力之電流。煤爲不良導電體，故藉其對於電流之抵抗，產生大量之熱，使全部昇至應需之溫度。此項電流對於此種電爐內所起之化學變化不生關係，徒生應需之熱而已（第 122 圖）。

石墨乃一種閃燦之黑色物質，盡爲粉細之結晶形光滑鱗片。質軟而膩滑，故於製造減摩料，甚廣用之。如與水相混和，則成

[1] electric resistance furnace.

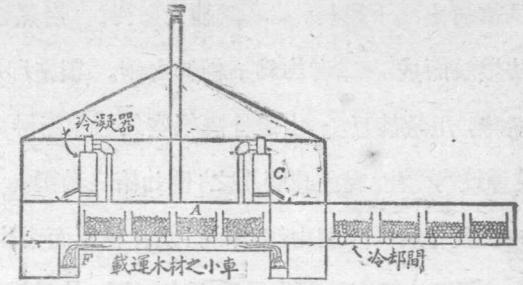


第 122 圖　製石墨之電抗爐

所謂水滑料之浴液，與油相混則成油滑料。又用以製火爐塗飾料及油漆。坩堝亦常有製自石墨者，以其可於極高之温度不熔解也。石墨有稱之爲黑鉛[1]者。尋常所謂"鉛筆"，實不含鉛，乃混以黏土之石墨耳。鉛筆之軟硬，由增減黏土之量而定。

209. **非晶形碳**——碳之非晶形或無定形體，其製法有多種。純粹之無定形碳，可由加熱蔗糖而得，蔗糖爲碳、氫、氧之化合物。加熱時，氫及氧卽成水逸出，而餘剩無定形之碳。木炭[2]係另一種無定形碳，惟含有少量之雜質，卽爲灰分。其製法卽將木材隔絕空氣而熱之，此法稱爲破壞蒸餾或稱乾餾[3]。此際某數種揮發物，如木精及醋酸等，均發散而出。舊法製炭，此

[1] plumbago or black lead. [2] wood charcoal. [3] destructive distillation.



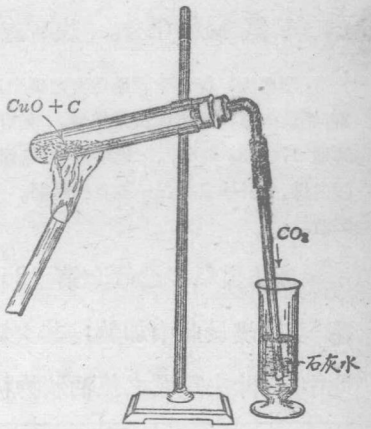
第 123 圖　製木炭之設備

等物質均聽其逸棄，新式之設置（第 123 圖）則均加冷凝而取用之。焦煤[1]又係一種大體爲無定形碳之普通物質。其由煤之生成，與木炭之自木材生成絕相類似。焦煤及木炭均用作燃料，及冶金術上之還元劑。

由碳還元氧化銅可作此項用途之例。將黑色氧化銅與木炭共熱於硬玻璃試管中（第 124 圖），而導其所放出之氣體入石灰水中。所起白色沈澱，即示有二氧化碳。金屬銅則留於管中：

$$2CuO + C \rightarrow 2Cu + CO_2\uparrow$$

譯者註：木炭（尤以由椰子殼製成之炭）可設法製成極度多孔性之炭，能吸收大量之氣體，故軍用毒氣面具內，用量甚鉅，特稱爲活性炭[2]。



第 124 圖　氧化銅爲碳所還元

其他之無定形碳尚多，茲略舉數種。燈煤由數種之油

[1] coke.　[2] activated charcoal.

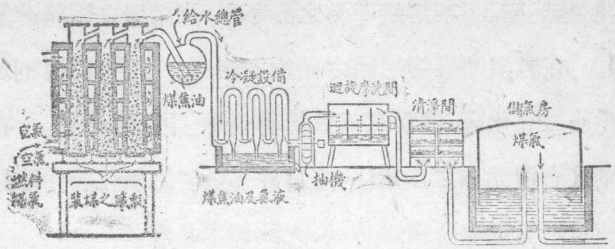
於空氣供給有限之下燃燒，集取其煙灸即得。炭黑粉[1]由天然煤氣同法燃燒而成。二者均爲不純粹之碳。製造印刷墨，油漆及汽車胎時，用量甚巨。由獸骨隔絕空氣加熱而得之炭，稱爲獸炭[2]或骨炭[3]，溶液脫色時廣用之；例如糖之精製。由是可知焦煤、木炭、及骨炭係分別由煤、木材、及骨乾餾而產生者也。

210. 煤——無定形碳中最重要之一種，是爲煤。吾人今日燃燒之煤，固一度爲活植物。因地殼內某種地質的變遷，致久埋於砂層之下，而承受重壓及強熱。結果植物質即起一部分之分解，生無定形碳之主要產物。無煙煤[4]（硬煤）含約 90% 之碳，幾全係非化合狀態者。煙煤[5]（軟煤）含碳略少；其大部與氫、氧、氮、硫相化合。煤有直接用作燃料，亦有用以製造焦煤。

譯者註：煤爲我國最重要之礦產，產地徧及各省。無煙煤以河南山西爲最富，煙煤則推河北遼寧山東爲最。估計全國儲量，無煙煤有 43,593 兆噸，煙煤及其他 174,033 兆噸[6]。近年產量，無煙煤約計每年三百萬噸，煙煤二千萬噸，連他種之煤，共計年產約二千五百餘萬噸。煤礦之開採，新式者均藉機器，且有用電力機者。

產生煤氣之設置（第 125 圖）大致分下列各部：鐵甑[7]或窰[8]，軟煤於此中加熱；其次爲一組之塔及摩洗間[9]，氣體通過此中，以除去重厚之焦油狀物料（煤焦油[10]）、氨氣、及硫化氫；

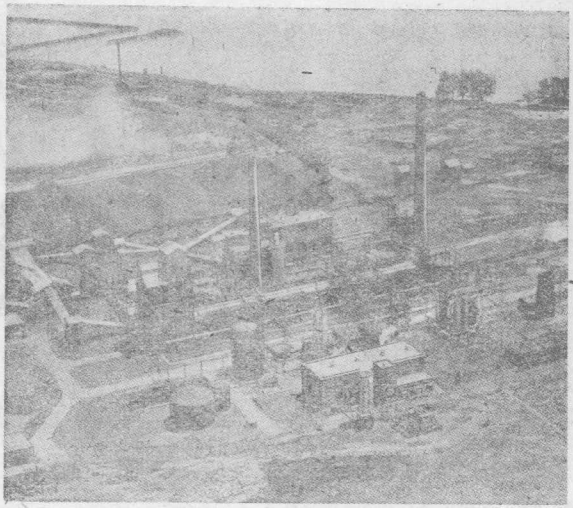
[1] carbon black. [2] animal charcoal. [3] bone black. [4] anthracite coal. [5] bituminous coal. [6] 據地質調查所第二次中國礦業紀要 (1926).
[7] iron retort. [8] oven. [9] scrubber. [10] coal-tar.



第 125 圖 製煤氣及其副產物之設備之圖解

儲氣房[1],以收集提淨之煤氣者。焦煤則留於甑內。煤焦油及氨,以及煤氣及焦煤,均於工業上具有甚大之價值(第 126 圖)。

211. **碳之化學作爲**——碳之各種形體,均不能與鹽基類



第 126 圖 副產焦煤窰工廠

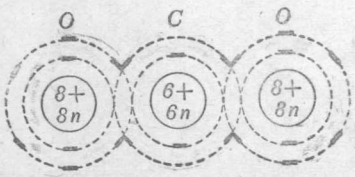
[1] gas holder.

或酸類起反應。不溶於尋常之溶劑中，惟熔融之鐵能溶解若干之碳。在常温時各種形體之碳均不活潑。惟在高温則均能燃燒，生成二氧化碳，或當氧氣供給有限時，生一氧化碳。在高温時，碳且有還元劑之作用，故可自許多金屬之氧化物中取除氧元素。自礦石提取金屬之方法，大致卽本是理。

212. 碳原子之結構——碳原子之電子圖形（第 127 圖）示核心內有 6 個質子之陽電荷，圍繞以 6 個電子。二個電子在內層圈上，四個在外層圈上。因此可料知碳原子或則失去 4 電子而作用如一金屬，或則獲得 4 電子而作用如一非金屬。總之，可謂碳之原子價爲正 4 或負 4，視與其反應之元素而定。此種元素，其作爲若一金屬或若一非金屬者，稱爲兩性的[1]。

第 127 圖 碳原子之電子圖解

二氧化碳（CO_2）爲一非極性化合物。其電子結構如第 128 圖所示。於此當見每一氧原子與碳原子共享 2 電子。其意卽碳原子本身與 2 個氧原子共享 4 電子。在非極性化合物，元素之原子價等



第 128 圖 二氧化碳分子之電子圖解

[1] amphoteric.

於共享電子之數。

碳原子之可作用若一金屬或若一非金屬，以及該原子之有與他原子共享電子之顯著傾向，此卽所以碳化合物之能有無量數也。但碳原子從不成爲碳離子 (C^{++++})。事實上此等化合物之研究，至爲重要，勢須在化學上另闢一專門之部份，是卽所謂有機化學也。

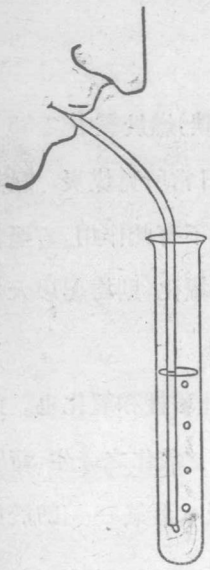
二氧化碳

213. 二氧化碳之生成——設將木炭(碳)燃於氧中(§35)，其產物爲一種氣體，稱爲二氧化碳。吾人日常所見煤炭、焦煤、木柴等，凡主要成分爲碳之燃料，燃燒時，無不有此作用。至若木材落葉之腐敗，以及動物體內食物之緩緩氧化，則均屬以大規模產生此項氣體也。

動物生活要素之一卽爲其所食食物之此項緩和氧化也。此項氧化作用，亦放出熱量，使保持身體温暖。氧化之發生，藉所吸得空氣中之氧。其產物——二氧化碳及水蒸氣——卽於每次呼吸時呼出。

214. 存於空氣中——空氣中常存有二氧化碳，惟爲量必不大耳。鄉野之間，存量約佔萬分之四，人衆密集之室，則約佔百分之一。天然水及泥土中亦有存在。若干火山區域，每有此

氣自地殼之罅隙間逸出。例如那普勒斯[1]相近，有一洞窟，其底部之空氣，含極多量之二氧化碳，足令犬窒死。美國黃石公園[2]有一窪地，動物入內，每因吸受二氧化碳而窒死。數種礦穴中亦常集有此氣，礦工稱之爲"窒氣[3]"。古井、水池、以及溝道之排洩槽等之底部，亦每存有之。以無從辨知其存在，往往有人因而喪生。如攜燈火試之，當可免此危險。如燈火熄滅，卽爲該處氧分不足維持生命之徵。



第129圖 吹氣入石灰水

215. 二氧化碳之檢驗——呼氣中存有二氧化碳，藉簡單之實驗，卽易證明之。以玻管吹氣入試管內清石灰水[4]中，如第129圖。初時呼出之氣泡幾不生變化。但當繼續自肺部呼氣吹入，則清液轉成乳濁。是卽有二氧化碳存在之證。石灰水中乳濁之產生，乃二氧化碳之特性。

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O$$

石灰水　　沈澱

$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$$

欲證明碳化合物燃於空氣中，有二氧化碳產生，

[1] Naples. [2] Yellow-stone Park. [3] choke damp. [4] 石灰水之製法：置消石灰粉一撮入大瓶中，盛滿冷水。塞以木塞而搖盪一分鐘。於是放置一宵，令其澄清，翌晨傾出清液以供用。

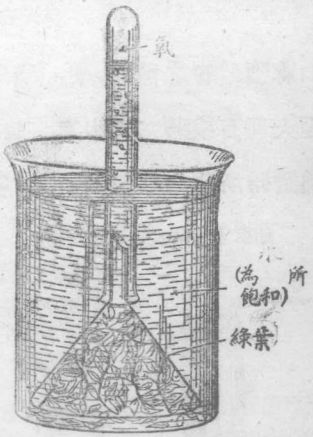
可將紙片燃點，當其燃着時，投入乾燥之瓶中。於是傾入石灰水少許，蓋玻片而搖盪之。

又可取一乾燥瓶，倒置燭火之上，而用石灰水證明燃燒之產物內有二氧化碳存在。

216. 植物需要二氧化碳——二氧化碳之產生既若是之多且不絕，初視之當以爲大氣中必將爲此氣所充塞。實際則如將鄉野間清潔空氣分析，其所含二氧化碳之量，從無超過萬分之三或四者。此蓋因植物大都營與動物相反之作用，自空氣中吸取二氧化碳而放出氧也。在日光下一切綠色植物，均能將二氧化碳及水變成爲糖及澱粉：

$$6CO_2+2H_2O\rightarrow 6O_2\uparrow+C_6H_{10}O_5$$

澱粉



第 130 圖

植物之取二氧化碳而釋出氧

氧之釋出，至易見之。取新鮮綠葉置大玻杯之水內，水中已先爲二氧化碳所飽和，如第 130 圖，於是將瓶置日光下。當見有氣泡生於葉際，漸次膨大，而後脫離上昇水面。此氣可集於試管而以燃着之木片驗之。是爲氧。

讀另章（第十九章）當知空氣中所存少量之二氧化碳殊少變動。此點至爲重要，蓋與一切動植物之生活均有密切之關係者也。

217. 實驗室內純粹二氧化碳之製取——燃炭於氧中，固

可製得純粹之二氧化碳。惟其與未用去之氧殊難分離。實驗室內常由酸類與大理石作用以製之。大理石乃一種化合物，稱爲碳酸鈣，由鈣、碳、氧三元素所構成：

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$

大理石

$$H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2 \uparrow$$

如將鹽酸等之稀酸，與一種碳酸鹽相接觸，卽猛烈湍泡[1]。如是至大理石或酸二者中有一告罄爲止。此種湍泡與沸騰略似，惟沸騰時所生之蒸氣，常與其所由來之液體爲同一物質耳。

如欲收集此項化學作用中所生之氣體，可利用製氫之裝置（第 36 圖）。將大理石小塊置瓶中，由長頸漏斗注入稀鹽酸。作用立卽發生，所生氣體，可依常法在水槽上收集於瓶內。

第 131 圖
二氧化碳熄滅燭火

218. 二氧化碳之實驗——欲研究此氣之性質，可作下列諸實驗：

(1) 取點着之小燭，伸入盛有此氣之瓶內（第 131 圖），燭火立滅。此示其具有何種性質？

(2) 將玻棒浸入石灰水，少時取出，其下端當懸有清澄之一滴。如以之伸入盛有此氣之瓶內，則立呈渾濁或乳濁狀。此乃二氧化碳之一種檢驗法。

(3) 取點着之小燭伸入廣口燒杯內，而後自瓶中傾此氣於燭上。燭火卽滅。由此可知此氣體與空氣之相對密度爲如何？

(4) 以所謂石蕊質之一種染料溶液數滴，注入水中，

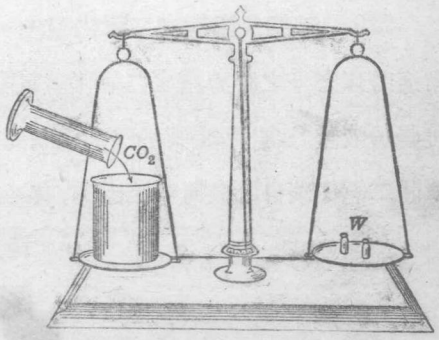
[1] effervescence.

使呈有色。自發生瓶通入此氣約數分鐘。不久當見石蕊質轉成紅色，是乃有酸類存在之證。二氧化碳稍稍溶於水中，其所成之溶液，即如頃所見者，爲一種酸。以此之故，通俗每稱此氣曰"碳酸氣[1]"。

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

碳酸

219. 二氧化碳之性質——由上述之實驗，知二氧化碳爲無色無臭之氣體。以其重於空氣一倍半強，故可自一器傾入他器，宛如水然（第 132 圖）。二氧化碳略能溶於水中。其溶解度因壓力加高而大增，反之因壓力降低而減小，與一切氣體相同。製碳酸水[2]（俗稱之汽水、荷蘭水、或蘇打水[3]皆是）及啤酒等多種飲料，即利用此點。此等飲料即於高壓下通入二氧化碳，因而溶入多量之氣體。盛液之瓶，仍在高壓下封固。迨後去塞，氣體即逸出而生常見之湍泡現象（第 133 圖）。

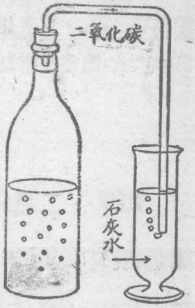


第 132 圖　二氧化碳重於空氣

二氧化碳最特殊之化學性，即其惰性，亦即化學的不活潑性。既不能燃，又不助燃。易與水化合而成碳酸。碳酸又易

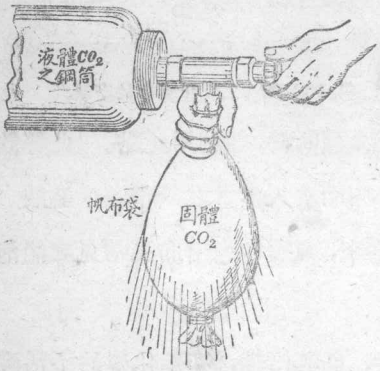
[1] carbonic acid gas.　[2] carbonated water.　[3] soda water.

與所謂鹽基類之物質相反應，生成稱爲碳酸鹽之化合物。消石灰爲一種鹽基類，化學上稱爲氫氧化鈣。石灰水與二氧化碳反應而生成之白色沈澱，是爲碳酸鈣。此項碳酸鈣與尋常之大理石完全爲同一化合物，特稱爲"沈澱白堊[1]"。



第 133 圖 薑啤酒中放出二氧化碳

220. 液態及固態之二氧化碳——如於常温時以充分之壓力施之二氧化碳氣體，即可凝成液體。此液體裝於堅固之鋼筒中，作爲商品出售。當液體二氧化碳自此種筒中流出時，其一部分即起急速之蒸發，而耗去多量之熱，致其餘部分凝成雪狀固體。



第 134 圖 製"乾冰"

取二氧化碳一筒，橫平放置，如第 134 圖。其出口處包紮堅牢之帆布袋，而將活栓大開。經數分鐘後，即見袋中積有雪狀固體。此種固體，具有極迷離撲朔之性質。如隨其放置，則立消失不見，蓋其變成氣體至速。取少許置水上，不久即起蒸發，惟此時自水中取出熱量，致水凝固。

如將此固體置燒杯內而和以

[1] precipitated chalk.

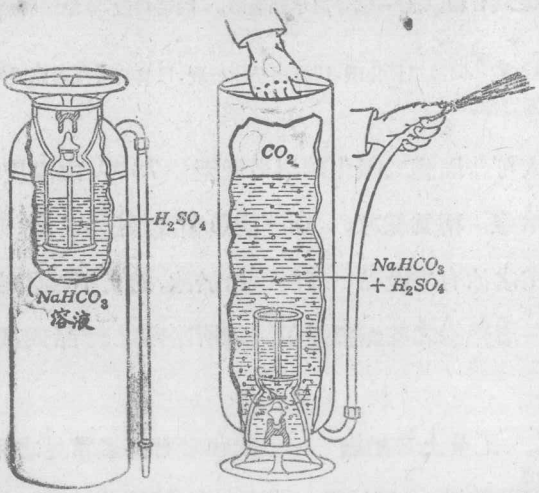
醚[1]，所成之混合物，足令一試管之水銀凝固。醚之功效，在急速將熱自試管移至固體也。

［注意］取移固體二氧化碳，切忌用手指持取，以其有令皮膚感受寒風之創痛，情形與灼傷無殊。

吾人可藉固體二氧化碳以得低至 −78°C. 之温度。故有時用以供冷藏，稱爲乾冰。如運輸魚類及遞送冰淇淋等皆用之。較之尋常之冰有二優點：即既遠冷於冰，而又不熔入液體中。能變成一層絕緣之乾燥氣體包圍於所冷藏之物品四周。故有此名。

221. 工業上之用途——二氧化碳有許多常見之用途。其用於製碳酸飲料，前已述及。藥房中之蘇打水，原爲焙碱[2]之溶液與少許果酸相混和而製成，今則由二氧化碳筒與水管相連接以製之，其連接之情狀，適使龍頭捩開時，即得二氧化碳之溶液。滅火器中有一種（第 135 圖）其功效係利用二氧化碳者。器內滿貯一種碳酸鹽之溶液，尋常用酸性碳酸鈉（焙碱）。頂部有一小瓶，內盛硫酸。如將滅火器倒轉，酸即與碳酸鹽相接觸，而產生二氧化碳。所生氣體，迫使溶體自皮帶射出，而其自身亦噴出。二氧化碳既重而不可燃燒，即降集於火焰上，使與空氣中之氧，一部隔絕。因得助水之灌滅火焰。此種滅火器效力至大，惟攜取略嫌笨重耳。

[1] ether. [2] baking soda.



第 135 圖　二氧化碳滅火器

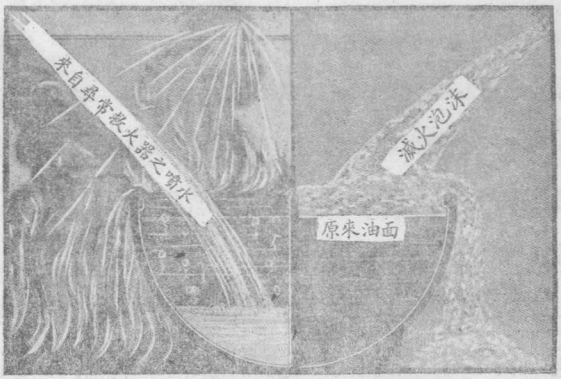
電力工廠中每設置鋼筒一聯，內盛液體二氧化碳，其佈置方法使失火之時，氣體能自動放出。盛同樣液體之小鋼瓶，於撲滅汽車上汽油等之失火，甚爲有用（第 136 圖）。

222. **二氧化碳泡沫**——二氧化碳滅火器之一弊點，即其氣體溷散至速。今有一方法，將二氧化碳氣體範於黏韌而經久之泡沫中。此項泡沫能浮於燒着之油上，或黏附於燃燒物面上。其法即稱爲泡沫劑法[1]，對於撲滅石油火災及其他之失火火勢未盛時，均已著有特效。其中二氧化碳即由酸性碳酸鈉（焙碱）與硫酸鋁（明礬）之溶液間起作用而發生。泡沫劑則由甘草根

[1] foamite method.

第 136 圖　用小鋼瓶內之液體二氧化碳，以撲滅汽車失火。

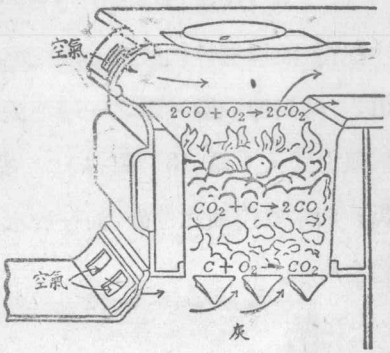
中提得，而與酸性碳酸鈉溶液相混和。其目的在防止氣體之逸出。結果卽成數寸厚之一層泡沫，浮於燃着之液體上，而杜絕氧氣之闌入（第 137 圖右）。苟用自噴射器之水灌救石油火災。則水取代油之位置，油輕於水，因使火焰反而蔓延如第 137 圖左所示。



第 137 圖　泡沫劑生成一層之二氧化碳

一氧化碳

223. 煤火中生成一氧化碳——此氣體爲碳之一種氧化物，所含之氧較少於二氧化碳，其性質亦絕異。當炭或含碳之物質燃於有限空氣或氧氣中，其意卽稍隔絕空氣之自由流通，卽生一氧化碳。惟當其與空氣接觸而燃點時，則舉特殊之藍色火焰，而生成二氧化碳。煤竈中之煤火之燃燒，乃此事之極有意味之例（第138圖）。爐墊上之熱煤，與下方送進之空氣中之氧接觸，卽燃成二氧化碳。惟此二氧化碳經過上層灼紅之煤，其間空氣供給稍加隔絕，卽被還元成一氧化碳。當熾燒煤層之頂，空氣之入路暢通，一氧化碳又復舉藍色焰而再燃成二氧化碳。如此所生之一氧化碳俗稱"煤氣"，凡用無烟(硬)煤者，莫不知之。



第 138 圖 煤火中碳之氧化物之生成

224. 實驗室製法——實驗室內將二氧化碳通過盛炭之管，可以製成一氧化碳。炭須燒至紅熱，放出之氣體，須通過苛性鈉溶液。此所以吸收餘剩未起分解之二氧化碳。最後所得之

氣體，即一氧化碳，可依常法於水上集取之。

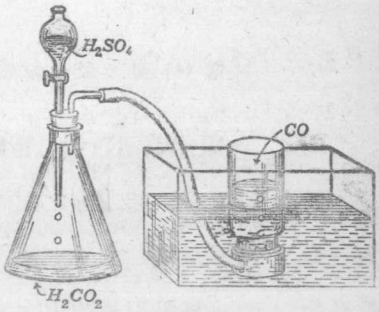
有一較此簡易之法，即用溫熱之濃硫酸與蟻酸[1]作用。硫酸令蟻酸起分解，成水及一氧化碳。其裝置如第 139 圖。

$$HCOOH + H_2SO_4 \rightarrow H_2SO_4, H_2O + CO \uparrow$$

蟻酸

硫酸用以與所生成之水相化合，而促進反應者也。

225. 一氧化碳之性質——一氧化碳亦爲無色之氣體，如二氧化碳然。幾無臭，稍輕於空氣，頗難溶於水中。又爲難於液化之氣體之一種。其最明顯之化學性，即爲燃於空氣或氧中，舉藍色之火焰，生成二氧化碳。此物亦具還元劑之作用，能自金屬氧化物，如氧化銅氧化鐵等內取除氧。讀本書第三十二章，當見工業上即用此氣於鼓風爐中使鐵礦還元。



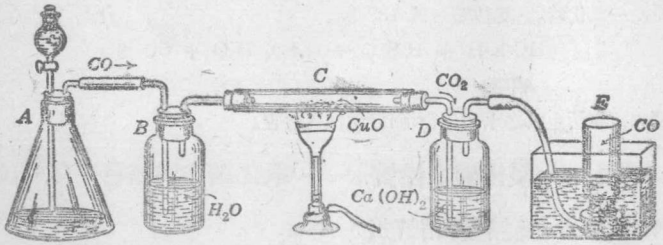
第 139 圖 實驗室內製一氧化碳

一氧化碳之還元作用，藉下列實驗，即可瞭然。於燒瓶 A（第 140 圖）中製成氣體。B 瓶中盛少許之水供洗氣之用。硬玻管 C 中，置有已加熱之黑色氧化銅。金屬氧化物當被此氣體還元成紅色金屬銅，而一氧化碳則氧化成二氧化碳。二氧化碳之存在，就 D 瓶之石灰水中起乳濁，可以知之。如有未經變化之一氧化碳通過，則可於水面上集於 E 瓶中，而燒除之。

此實驗之結果可簡述如下：

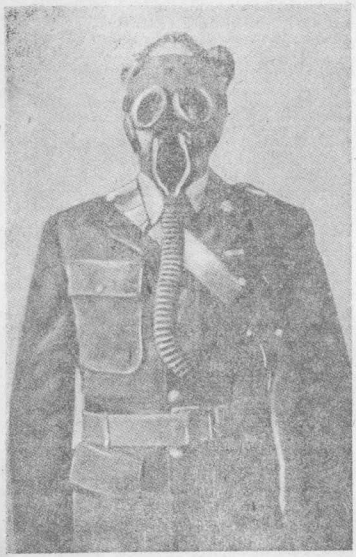
[1] formic acid.（亦稱甲酸）

$$CuO + CO \rightarrow Cu + CO_2$$



第 140 圖　氧化銅爲一氧化碳所還元

226. **一氧化碳爲致命之毒物**——空氣中如含此氣將達百分之 0.5, 卽足令人起劇烈之頭痛, 含量更多, 則於數分鐘內, 可以致命。 冬季於關閉之小車間內修理汽車之人, 每有中毒之事件發生。 蓋自氣油引擎洩出之廢氣中, 含有一氧化碳也。 故小車間之門, 當汽車引擎發動時, 不應關閉。 又室內用煤爐取暖者, 有時因不加適當之通風換氣, 致爐內所生一氧化碳, 散入室內。 每由而中毒致病, 或竟斃命。 燃點之煤氣, 尤以通常所稱之水煤氣, 均含有一氧化碳, 最爲危險, 以其本身幾無臭味, 羼入空氣後, 無從辨知也。 幸燃煤氣中往往含有其他具特臭之物質, 足爲存有此有毒物質之警示。 礦穴爆炸時, 常亦生成一氧化碳; 鳥類對於此項毒物, 感覺特敏, 故援救者往往攜帶金絲雀, 藉以知臨境之安危。 近年發明一種特殊面具 (第 141 圖),



第 141 圖 *A*

兵士所戴之毒氣面具

第 141 圖 *B*

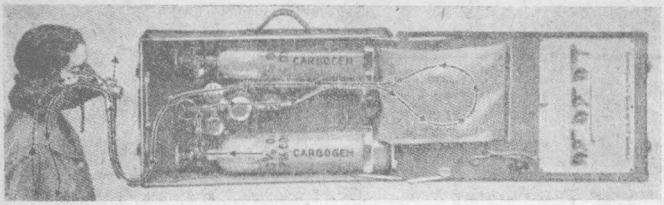
毒氣面具連結法之圖解

內含有"霍潑卡[1]"（錳及銅兩種氧化物之混合物）一層，以供礦工用以防不測。救護時，宜卽用氧 93% 與二氧化碳 7% 之混合物施之患者（第 142 圖）。

一氧化碳之有毒，以其能與血液中之紅血球化合，而阻其自空氣中吸收氧也。人之生命既惟紅血球之吸取氧氣是賴，則一氧化碳不啻促成一種『內窒息[2]』，結果致病，有時且斃命。

[1] hopcalite. [2] internal suffocation.

第 142 圖 *A* 幾瀕溺死者之救護



第 142 圖 *B* 使用氧 93% 與二氧化碳 7% 之混合物之圖解

226a.[1] **二氧化碳及一氧化碳之組成**——化合成二氧化碳之碳及氧之重量，曾有極精密之測定。經多次實驗之結果，知碳與氧重量之比爲 1：2.66。

一氧化碳亦經極謹愼之研究，知其碳與氧之重量比爲

[1] 譯者按：原書於本章首有此一節標題，而索引中亦見之。此處卻無本節文字，疑是遺漏，特從舊版補列如上。

1：1.33，於此可見 2.66 適爲 1.33 之二倍；是卽二氧化碳中與碳化合之氧之重量，適爲一氧化碳中與碳化合者之二倍。此其關係明顯簡單，可以二氧化物及一氧化物之名稱別之。

第十七章 提要

碳有三種同素異形體：金剛石、石墨及炭。

碳在常温時不活潑，惟高温時則起燃燒。能與金屬及非金屬起化合。但不與酸類（除熱 HNO_3 或熱 H_2SO_4 外）或鹽基類起反應。爲一種重要之還元劑。

二氧化碳由碳或碳化合物燃燒或腐敗而成。

製取之法：

（1）燃炭於空氣或氧氣中；

（2）酸類作用於碳酸鹽。

性質：爲無色之氣體，微可溶於水，有窒息作用，但無毒。較空氣約重 1.5 倍。易於液化。將液體蒸發，可得固體之二氧化碳。

檢驗：不起燃燒；於石灰水中起乳濁。與水化合成碳酸，碳酸能與鹽基類起反應。

用於製碳酸飲料；數種滅火器；及製冰機，又以作"乾冰"。

一氧化碳之生成：

(1) 碳或碳化合物燃於有限之空氣中；

(2) 將二氧化碳還元；

(3) 溫熱硫酸與蟻酸作用。

性質： 爲無色氣體，幾無臭，稍輕於空氣，不溶於水。 極毒。 燃時舉藍色焰，生成二氧化物。 具還元劑之作用，能自燒熱之銅或鐵等金屬氧化物中奪取氧。

碳之氧化物之組成： 碳與氧之重量。

在二氧化物中爲 1：2.66；

在一氧化物中爲 1：1.33。

碳之二種氧化物中氧之重量爲 2 比 1。

問 題

1. 試舉碳之無定形體之名稱。
2. 吾人稱"鉛筆"，何以常引人誤會？
3. 石墨之所以適用於作 (a)油漆；(b)減摩料；(c)火爐塗飾料，各利用其何種性質？
4. 碳之最有用之形體爲何物？ 解釋之。 碳之最貴重之形體爲何物？
5. 二氧化碳存於空氣中之量，至多僅萬分之四。 其意此物爲不重要乎？解釋之。
6. 二氧化碳於大氣中之量如何能保持其幾近於恆定？
7. 試作二氧化碳之用途表，並就各項用途述其所憑賴之一種性質（或多種性質）。
8. 二氧化碳用以滅火，所恃之三種性質爲何？
9. 汽水之瓶塞起去時，即起湍泡。 如何證明其氣泡爲二氧化碳？
10. 二氧化碳通過熱鉀粉時，即生成氧化鉀。 其另一產物爲何？

11. 酒精燃燒時生成二氧化碳。藉此可知酒精之組成否?

12. 在美國每年因一氧化碳而毒死之人有 3000 人。試解釋何以能毒死。若何可以防免之?

13. 試作一氧化碳之用途表,並就各項用途述其所憑賴之一種性質(或多種性質)。

14. 二種燃煤氣,一含一氧化碳 6%,一含 33%,何者較毒? 何故?

15. 將硬煤加入煤火中,即有藍色焰搖曳於火面。試解釋之。

* * *

16. 檢驗碳酸鹽之法若何?

17. 古埃及王杜特·安克·亞門[1]之墓陵開掘時,見有炭已歷三千年之久。此可表示碳之何種性質?

18. 抄錄下列字句並填出缺漏之字:碳之三種同素異形體爲____、____、及____。三者具有不同之物理____,但燃燒於充分之氧中,則皆生____。

19. 製造石墨時電爐內電流之功能爲何?

20. 於電爐內製石墨時,極不純粹之煤,變而爲 100% 純粹之石墨。此際煤之礦物雜質均成何物?

21. 由何種化學檢驗法,可以判別二氧化錳粉及炭粉?

22. 一種酸加入一種物料內而發生濕泡,此事可否即證明有二氧化碳存在?

23. 壓力加倍對於二氧化碳於水中之溶解度將有何影響?

24. 濕泡與沸騰如何可區別之?

25. 清石灰水一碟,露空氣中稍久,液面即生成薄層之白翳。試解釋之。

26. 二氧化碳之廣用於冷藏,恃其何種性質?

27. 試將二氧化碳及一氧化碳之性質及用途,列成表格,以爲對照。

28. 一氧化碳與氫,可用何種化學檢驗法區別之?

29. 所謂水煤氣,大致爲氫與一氧化碳之混合物。何以水煤氣於取熱之功用上較佳於發光之功用?

30. 試舉前此已讀得之二種還元劑。

* * *

31. 由碳酸鈣與過量之鹽酸作用,欲產生 88 克之二氧化碳,需碳酸鈣若干克?

---

[1] Tut-Ankh-Amen

32. 欲還元 40 克之氧化銅爲金屬銅，需炭若干克？

33. 燃燒含碳 80% 之焦煤 120 仟克，當生成二氧化碳若干體積（標準溫壓）？

34. 欲令含碳 90% 之煤一噸完全燃燒，需氧若干噸？

進究題材

家用取熱器具——試各自觀察家內廚房中之爐竈。繪一圖解，而指明每處所起之化學反應。家內房屋之取煖法若何？試作全部略圖。有無一氧化碳逸入室內之虞？熱空氣火爐中火箱之襯裏如有毀損，結果將如何？

裴爾特海軍上將對於一氧化碳之經驗——何物產生此氣體？彼若何察覺之？彼之危險若何？(*National Geographic Magazine*, Oct. 1935)。

第十八章

分子量及原子量

氣體之一致性——亞佛加特羅學說——其結論——氫分子有二原子——僅涉及氣體體積之問題——分子量——克分子體積——氣體體積之問題。

原子量之重要——由直接比較，由分子量，由化合量而測定原子量。原子價。度隆及柏第定律。同位元素。求化合物之式。

227. 秤衡原子——分子及原子爲物太小，無法直接秤衡，故應先測定其對於氧原子之比較重量。最初覺此事太不可能，惟經根據各種氣體之性質，而作極精密之推理，當可得其比較重量之近似值。此項重量實爲化學上之一部門卽所謂分析化學之基礎也。

近年物理學家之從事原子結構研究者，對於一原子之絕對重量已能作極精密之測定。例如，由種種不同之方法，確定氫原子之重量爲 1.66×10^{-24} 克。惜關於此項工作之方法，不能詳述於此。

228. 氣體之一致性——由精密之實驗，知一切氣體在壓力下其作爲盡相似。例如某定量之氣體，如温度不變，其體積

與壓力成反比例而變遷。此即波義耳定律[1]也。實驗上，又證明一切氣體關於溫度之效應，作爲亦盡相似。故如某定量之氣體，如壓力不變，其體積與絕對溫度[2]成正比例而變遷，即查理定律[3]也[4]。

讀第六章由水氣之體積合成知

氫2體積 + 氧1體積 → 水氣2體積

讀第十一章又見

氫1體積 + 氯1體積 → 氯化氫2體積

細究由氫與氮直接化合製氨之作用，得下列之結果：

氫 體積 + 氮1體積 → 氨2體積

第 143 圖
亞佛加特 (1776—1856)
意大利杜林[6]之物理學教授

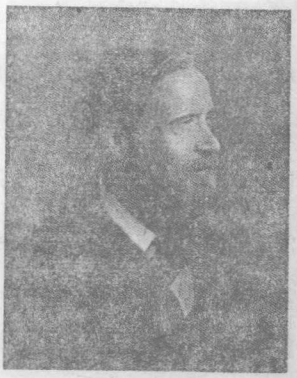
此等實驗的事實，皆足以解明給呂薩克定律：化學變化中所用或所生各氣體之體積，每可以小整數之比率表之。

229. **亞佛加特羅之解釋**——意大利之名學者亞佛加特羅[5]（第 143 圖），因此等關於氣體作爲上一致性之著例，於 1811 年得下列之解釋

[1] Boyle's law. [2] 絕對溫度＝攝氏溫度 ＋273°. [3] Law of Charles.
[4] 此處教師可舉本書附錄所述之氣體定律一翻閱之。 [5] Amedeo Avogadro.
[6] Turin.

亞氏假定等體積之氣體，在同樣之溫度及壓力情況下，含同數之分子。換言之，即：設溫度及壓力之情況相同，則 1 毛立之氫，所含分子之多少，適與 1 毛立之氧、氮、氯、氯化氫或其他任何氣體所含者相等。

此一有名之假說，初未被化學家所公認，直至另一意大利教授卡泥柴洛[1]（第 144 圖）於 1858 年（亞氏死後二年）始說明此說之偉大有用。今則已認爲化學上之一基本原理。



第 144 圖
卡尼柴洛 (1826—1910)
北意大利亞力山大[2]之化學教授

230. 由此項原理所得之結論——吾人當立加注意，此理論未嘗述及氣體 1 毛立中眞實之分子數。惟可藉以得一簡單之方法，由比較氣體之密度，即每單位體積之重量，以比較氣體分子之重量。此點列表示之，當更瞭然：

氣　體	密度（每立克數）	分子之比較重量
氫	0.09	1
氧	1.43	16
氮	1.25	14
氯化氫	1.64	18.2

[1] Stanislao Cannizzaro.　[2] Alessandria.

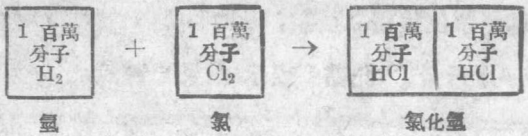
表中密度僅取約值。又以氫作爲比較之標準，卽以 0.09 除每一密度。因此可見第三行，卽爲各分子以氫分子爲標準之比較重量。

231 氫分子含有二原子——由亞氏原理又得另一甚有趣味之結論，卽氫每分子至少含有二原子。試觀其所以然。由氯化氫之合成實驗(§ 139)中，示

氫 1 體積 + 氯 1 體積 → 氯化氫 2 體積

依亞氏之說，則必假定此時氫分子之數，與氯分子之數相同，而氯化氫之分子，爲該數之二倍。設有一百萬氫分子；則必有一百萬氯分子及二百萬氯化氫分子。此等氯化氫之分子，每分子必至少含一氫原子。故綜計自一百萬氫分子中，得二百萬氫原子。此實驗表示氫每分子至少含二氫原子(H_2)。

如以數個正方形，以代相等之體積，則此項關係，尤易想像而得(第 145 圖)：



第 145 圖 表等體積之氫與氯化合之圖解

由同樣之推理，可知氯分子亦至少含二原子。

以下列方程式表此等事實：

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$

此意卽含 2 原子之氫一分子，加含 2 原子之氯一分子，生氯化氫 2 分子，各含氫 1 原子及氯 1 原子。

［註］應知任何偶數，均可取以代二；惟因未見有氫分子分成二部分以上之反應，故可決其分子中必僅有二原子。

就水氣之合成(§ 65)，見 2 體積之氫與 1 體積之氧化合而成 2 體積之水氣：

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

故由同樣之推理，可斷定氧分子含二原子 (O_2)；又研究氨之合成，可決知氮分子亦含二原子(N_2)：

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

232. 關於氣體體積之問題——關於氣體互相反應之方程式，以分子體記之，有種種實際之利便，一卽可得一極簡單之方法，以推算其間各氣體之體積也。

［例］設欲求藉氧 1 立所可燃燒之一氧化碳之體積。

先作方程式

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

等數之氣體分子，既占同等之體積（亞氏原理），則此方程式可讀作：

CO 2 體積 + O_2 1 體積 → CO_2 2 體積

故氧 (O_2) 1 立，需一氧化碳 2 立，而生成二氧化碳 (CO_2) 2 立。

凡屬氣體，於方程式中各式前之係數，卽表該物質之比較體積。

問　題

1. 二氧化碳爲紅熱炭所還元之方程式如下：

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

而一氧化碳燃燒之方程式爲

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

(a) 10 立之二氧化碳還元時，當生成一氧化碳若干體積？ (b) (a)間中所生成之一氧化碳，燃燒時應需氧若干體積？

2. 50 毛立之氫燃於氯中時，生成氯化氫若干毛立？

3. 乙炔完全燃燒時，其化學作用由下方程式表之：

$$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

(a) 20 立之乙炔燃燒時，需氧若干立？ (b) 生成二氧化碳若干立？

4. 在極高溫度時，可由氮與氧依下方程式直接化合而生成一氧化氮(NO)：

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

欲生成一氧化氮 10 立方尺應需空氣若干立方尺？ (假定空氣中五分之一爲氧)。

5. 酒精(C_2H_5OH)蒸氣完全燃於氧氣中時，依下方程式生成二氧化碳及水蒸氣：

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

(a) 20 立之酒精蒸氣，燃燒時需氧若干立？ (b) 此作用中當生成二氧化碳若干立？

233. 分子量之標準——適見氧分子含有二原子(O_2)。又前述(§77)化學家一致取氧之原子量 16.000 爲原子量之標準。於是氧之分子量，當恰爲 32.000；是爲分子量之標準。又記及設已知某氣態物質之式，則立可由其原子之重量相加，而推算出其分子量。例如，氯化氫之式爲 HCl，故其分子量爲 1.008+35.46，即 36.468；乙炔之式爲 C_2H_2，其分子量爲 $2\times12.000+2\times1.008$，即 26.016。

234. 克分子體積[1]——化學家用一種氣體，恆取其以分子

[1] gram-molecular volume.

量爲單位之克數，因稱此重量爲**克分子重量**[1]。故如 32 克爲氧之克分子重量。

32 克之氧在標準情況下佔有體積若干？一立之氧，重約 1.43 克（第 146 圖），是則在標準情況下須 $\frac{32}{1.43}$ 或 22.4 立之氧，始重 32 克。任何氣體，以其密度除其分子量，恆得約 22.4 立。故如：

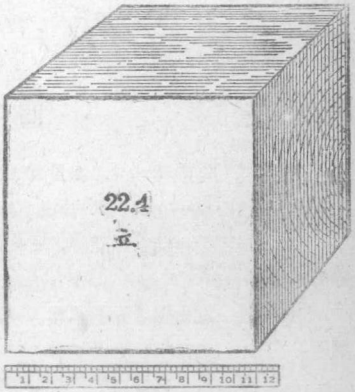
H_2　2 克占 22.4 立

CO_2　44 克占 22.4 立

HCl 36.5 克占 22.4 立

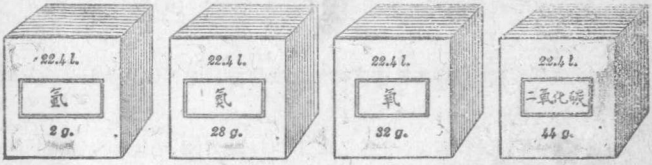
NH_3　17 克占 22.4 立

故可斷言：凡氣體一克分子重量，均佔有 22.4 立之體積（標準溫壓）。



第 146 圖　氣體之克分子體積
（約爲 11 英寸之立方體）

此 22.4 立之氣體體積（第 147 圖），對於化學家在實驗室內至爲重要，蓋可藉以得簡捷之



第 147 圖　任何氣體占 22.4 立之克分子重量

[1] gram-molecular, or molar, weight.

方法，以計算凡可以氣態秤衡之物質之分子量也。祇須由某定體積在標準情況下之重量，以推算 22.4 立應重若干克。故又可斷言：凡氣體（在 0°C. 及 760 毛米壓力），22.4 立之重量克數，等於該氣體之分子量。

[例] 二氧化碳每立重約 1.98 克；故其 22.4 立當重 22.4×1.98，卽約 44 克。於是二氧化碳之分子量約爲 44。

又氮每立重約 1.25 克；故其 22.4 立當重 22.4×1.25，卽約 28 克。於是氮之分子量約爲 28。

問題

1. 二氧化碳 20 立之重量爲幾何？

2. 設沼氣一立，於標準情況下重 0.716 克，問沼氣之分子量爲何？

3. 某種碳化氫在氣體時之密度於標準情況下爲每立 1.27 克。其分子量爲何？

4. 設一氧化碳之分子式爲 CO。試推算其於標準情況下之密度（每立克數）。

5. 設一氧化二氮之分子量爲 44，問此氣體之密度（每立克數）約值爲何？

6. 由附錄中所列之氣體密度表，試推算下列各氣體之分子量：(*a*) 乙炔；(*b*) 氨；(*c*) 一氧化碳；(*d*) 硫化氫；(*e*) 二氧化硫。

7. 氦之密度在標準情況下爲每立 0.178 克，其原子量爲 4.00。問一個氦分子，含有若干原子？

8. 試計算下列各氣體一立之重量（標準溫壓）：(*a*) 氨（NH_3）；(*b*) 二氧化硫 SO_2；(*c*) 丙烷（C_3H_8）。

9. 試將下列諸氣體，依其密度增加之次序排列之：CO；NH_3；SO_2；CH_4；Cl_2；CO_2；O_2。

10. 設有一種氣體，其 150 毛立於 18°C. 及 752 毛米時重 1.50 克，試求其分子量（參閱附錄氣體定律）。

235. 關於重量與體積之問題——問題有並涉及化學反應

中所用或所生固體或液體物質之重量與氣體之體積者。利用克分子體積甚易解答之。

[例] 大理石 2 仟克爲鹽酸所作用，可得標準情況下之二氧化碳若干立？試依僅涉及重量之問題所用之常法進行。

(1) 作完全之方程式：

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

(2) 將眞實之重量及體積，記於各式之上：

2000 克　　x 立

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

(3) 將式量及克分子體積記於下：

2000 克　　x 立

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

100 克　　22.4 立

(4) 作分數方程式：

$$\frac{2000}{100} = \frac{x}{22.4}$$

(5) 解：

$$100x = 2000 \times 22.4$$

$$x = \frac{2000 \times 22.4}{100} = 448 \text{ 立}$$　[答數]

[校核] 2000 克爲 100 之二十倍，故其答數當料其爲約 440 立。

236. 關於重量與體積之又一例題——在標準情況下 10.0 立之氫能還元若干克之磁性氧化鐵(Fe_3O_4)？

x 克　　10 立

$$Fe_3O_4 + 4H_2 \rightarrow 3Fe + 4H_2O$$

$(168 + 64)$　(4×22.4)

232 克　　89.6 立

$$\frac{x}{232} = \frac{10}{89.6}$$

$$x = \frac{10 \times 232}{89.6} = 25.9 \text{ 克} \quad [答數]$$

[校核] 10 立約爲 89.6 立之$\frac{1}{9}$，故當料其 x 約爲 25 克。

[註] 在固體及液體，可照常記其式量；惟如爲氣體，則記其立數，卽分子數乘 22.4。

問題

1. 欲生二氧化碳 10 立，應需純粹石灰石($CaCO_3$)若干克？

2. 如用稀硫酸與鋅作用，欲生氫 100 立（於 0°C. 及 760 毛米時量計），則應需鋅重量若干？

3. 如用稀鹽酸，則欲生同體積之氫，應需鋅重量若干？

4. 電解 15 克之水，可得氫體積若干（在標準情況下量計）？

5. 欲還元 100 克之氧化銅(CuO)，需氫體積若干(在標準情況下量計)？

6. 用鋅 10 克或鎂 10 克自鹽酸中釋出氫，何者所得體積較大？ 較大幾何？

7. 一氫氣發生器內盛有鹽酸及過量之鋅，在標準情況下產生 11.2 立之氫。此外不復見有何反應之產物。何故？ 同時產生其他何種物質？ 其重量爲幾何？

8. 欲生在標準狀況下 44.8 毛立之二氧化碳，應需燒去純碳重若干？

9. 滅火器中酸性碳酸鈉 1 仟克，可發生二氧化碳體積若干(在標準情況下量計)？ 其方程式爲

$$2NaHCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow 2CO_2 \uparrow + 2H_2O + Na_2SO_4$$

10. 欲用鋅自硫酸中取代而得在 15°C. 及 745 毛米時 10 立之氫，應需鋅重若干（參閱附錄氣體定律）

原子量[1]

237. 原子量何以重要——前見(§ 103)化學式在化學方程

[1] 本章此一部分較爲繁難，不妨展緩講授。

式內有量的意義，對於工業上非常重要。元素原子量之精確測定，實爲整個定量化學分析之基礎。水一分子之何以表以 H_2O，硫酸一分子之表以 H_2SO_4，乙炔氣一分子之表以 C_2H_2，前此尙未舉示實驗的證據，以解釋其所以然。茲當討論者，第一爲元素之原子量若何由實驗測定之，第二爲如何利用此等原子量以求化合物之式。

238. 藉直接比較以求原子量——亞佛加特羅原理之另一重要結果，卽與吾人以計算原子之比較重量——卽原子量——之直接方法。前見氧分子重於氫分子約 16 倍，又知氧分子及氫分子均各有二原子。故吾人逕可稱氧原子重於氫原子約 16 倍。氧之原子量既作爲 16，而作爲標準，故氫之原子量爲 1.008。

同樣，可推算氮之原子量爲 14，氯爲 35.5。最初由獲得 22.4 立之重量而測知其分子量。繼知此等分子各含二原子，則取所測得分子量之半，卽得原子量。惜此法僅能適用於凡可得氣態之元素。

239. 原子量與化合量——分析氯化氫，當知氯 35.46 克與氫 1.008 克相化合。此 35.46 之數值，化學家稱爲氯之化合量[1]或當量[2]。元素之化合量或當量云者，乃該元素與 1.008 克

[1] combining weight. [2] equivalent weight.

之氫化合或取代之重量也。於此立可見：此處化合量實與氯之原子量相等，該原子量，前已由比較元素的氣體氯與氫之密度而測定。實則此處化合量必爲其原子量，蓋氯化氫(HCl)一分子，僅由氫一原子與氯一原子相化合而成者也。此法較比較密度之法更爲精準。

特元素之化合量有並不等於其原子量者。分析水(§67)可知氫重量 1.008 分與氧 8 分相化合，故氧之化合量爲 8，即其原子量之半。此蓋因氧一原子(16)與氫二原子(2.016)相化合之故。事實上元素之原子量，一般皆等於其化合量，或爲化合量之倍數。就氧而言，其倍數爲 2。此時當見此項倍數即爲元素之原子價。

試就一種元素不與氫化合，而僅取代之者言之。即如鈉，其化合量可測定如下：設置金屬鈉於水中，即生成氫及氫氧化鈉。此項實驗，如以定量爲之，則當見 23.00 克之鈉，取代 1.008 克之氫。故鈉之化合量爲 23.00。

240. 化合量之測定——此處每易發生問題，凡不與氫化合或取代之元素，其化合量究若何測定之？分析黑色氧化銅，知係 31.8 克之銅與 8.00 克之氧相化合。是即氧之化合量(8.00 克)與銅 31.8 克化合也；因此深信銅與氫化合時，當有 31.8 克之銅與 1.008 克之氫相化合。故銅之化合量爲 31.8。

大凡不與氫化合或取代之元素，其化合（或反應）量，可求其與別一化合量已知之元素化合之重量，以測定之。

241. 原子量之精確測定——元素之化合量，或反應量，可於實驗室內極精密測定之。測原子量之方法，前已述求氣體之密度一法（§238）。惟此法殊難得其準確。求元素之精確原子量，祇須十分精細測其化合量或反應量，而後以某一小整數乘之，適使其結果與約值相符合。化學家因多種理由，覺以氧之原子量恰作 16.00，最爲利便，如是使氫之原子量成爲 1.008。

第 148 圖　禮查(1868–1928)
前美國哈佛大學化學教授。
對於原子量之研究工作，
曾獲得諾貝爾獎金。

是則此等原子量之數值，當均憑藉於化合物之精密分析。此項實驗工作必須極端謹愼而非常之精準。首就原子量作有系統的研究之化學家，柏濟力烏斯其一也。柏氏之法，經其後之化學家大加修改，而今日所公認之原子量，實乃經慘澹辛勞之實驗之結果。禮查[1]（第 148 圖）乃近代關於此方面研究之先進化學家。

242. 由實驗求原子價——讀上文，既知元素之原子量，或與其化合量相同，或爲其倍數。乘化合量以得原子量之因數，是爲原子價。例如，鋅之化合量爲 32.7，其原子量爲 65.4。

[1] Theodore William Richards.

鋅之原子價卽爲二。 又鋁之化合量爲 9.00，其原子量爲 27.0，故其原子價爲三。 換言之，

$$\text{原子量} = \text{化合量} \times \text{原子價}$$

反之，如已有元素之化合量而欲得其原子量，所須知者卽爲其原子價。

243. 度隆及柏第定律[1]——此二法國化學家發見固體元素之原子量乘以比熱[2]，一般皆等於 6.4。

$$\text{原子量} \times \text{比熱} = 6.4 \text{（約值）}$$

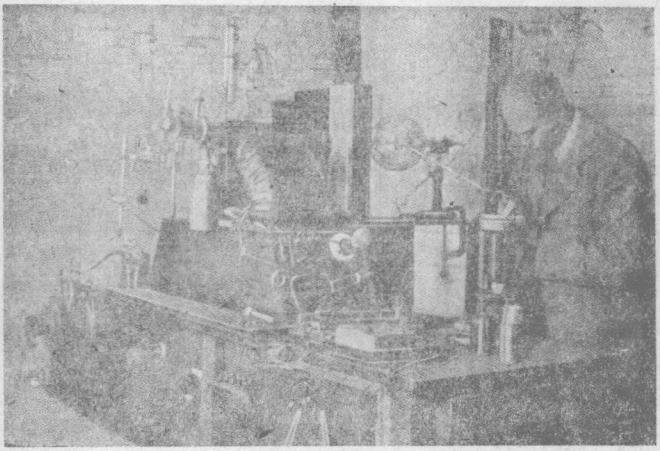
此僅爲一極粗略之定律，惟吾人藉此以比熱除 6.4，可得原子量之約值。 於是如以正確之化合量除此原子量之約值，卽得約略之原子價。 惟吾人知原子價爲整數。 故取其最近似之整數作爲眞確之原子價。 最後以此眞確之原子價乘正確之化合量，其積數卽爲原子量矣。

244. 元素爲混合物。同位元素——上所論者全屬假定一元素之一切原子均相類似。 惟此點今已知其不然矣。 依今日之學說，元素多數係數種不同之原子所組成，惟所謂不同者，僅在原子之比較質量。 故吾人所有此等元素之原子量，實爲平均數。 某一元素之各不同種類，稱爲同位元素[3]或同位素。 此等

[1] Dulong and Petit's law. [2] specific heat. 物質之比熱，等於該物 1 克昇高溫度攝氏 1 度時所需之卡數。 水 1 克昇高溫度 1°C. 所需熱量爲 1 卡。
[3] isotope.

同位素，於一切化學反應上均相同，故對於實用上，元素之作爲宛然一致。

同位元素存在之證據，首由研究放射性物質（§ 561）而得，其後物理學家恩斯吞[1]（第 149 圖）發明比較各個原子之質量之方法，因而發見許多普通元素之同位元素。例如氯之原子量爲 35.46，見其爲原子量 35 及 37 二種同位元素之混合物。下表舉列數種元素及其依照恩斯吞所得之同位元素：



第 149 圖　恩斯吞在卡汾狄士實驗室內用其質量分光照相器工作情形

[1] Francis William Aston (1877—).

元素	原子量	同位元素之最少數	同位元數之原子量（依強弱之次序）
鋰	6.94	2	7,6
硼	10.8	2	11,10
氖	20.2	2	20,22
氯	35.46	2	35,37
溴	79.92	2	79,81

由上表可見各個同位元素之原子量均甚近整數。

實則遠在 1815 年柏勞特[1]即已倡言一切化學元素均僅由氫原子團所構成。今日吾人則認爲一切元素之原子均由電子、質子、及中子所構成。電子之重量既極微渺，可略而不計，則原子之重量必來自質子及中子。惟質子爲氫原子之核心，而中子之重量與氫原子同。故今已重復回至與柏勞特學說極相似之途徑矣。

245. 確定化合物之式——欲求原子量之精準數值，須具極精嫻之技術及堅忍之精神。在大多數之吾人，所重要者，則爲學習使用原子量。

原子量之一極重要之用途，即在求化合物之式，試就確定水，硫酸及乙炔等之式以解明之。

水。 其百分組成求得如次：氫 11.19%，氧 88.81%。由實驗又求得其分子量近於 18。於是解之如下：

	百分組成		原子量		原子比
氫	11.19	÷	1	=	11.2
氧	88.81	÷	16	=	5.55

[1] Prout.

以原子量除百分率（重量），所得之商，即爲每種原子之比數。假定分子中有一個氧原子，則同時必有 2 個氫原子。換言之，即以第三行中最小之商數除各商數也。即如 $11.2\div5.55=2$。是故，水之最簡式爲 H_2O。由此得分子量 2+16 即 18，與所舉實驗的數值相當。

硫酸。設百分組成爲：氫 2.04%，硫 32.65%，氧 65.31%。

	百分組成		原子量		原子比
氫	2.04	÷	1	=	2.04
硫	32.65	÷	32	=	1.02
氧	65.31	÷	16	=	4.08

此等商數顯與分子中各元素原子之數爲同一之比率。即計有氫 2 原子（2.04÷1.02），硫 1 原子（1.02÷1.02），及氧 4 原子（4.08÷10.2）也；而硫酸之最簡式爲 H_2SO_4。此處其分子量甚難測得，故即取認此最簡式。

乙炔。設乙炔之克分子量爲 26.02[1]，而含 92.31% 之碳，其餘爲氫。欲求乙炔之式，可解之如下：

	百分組成		原子量		原子比
碳	92.3	÷	12	=	7.7
氫	7.7	÷	1	=	7.7

最簡式當爲 CH。惟如是則 CH 之分子量，當爲 13。因此，欲與實驗值 26.02 相符，其式勢必加倍。故乙炔之式爲 C_2H_2。

[1] 乙炔之密度爲每立 1.162 克，故 22.4 立重 26.02 克。

問題

1. 鋅之化合量爲 32.69。其比熱爲 0.094。試推算其近似原子量。

2. 某氣體含氮 30.4%，及氧 69.6%。問可用以表其組成之最簡式爲何？

3. 分析某化合物，知係：氫 0.84%；碳 10.05%；氯 89.11%。問表其組成之最簡式爲何？

4. 某種碳化合物，以重量計，含：碳 52.18%；氫 13.04%；氧 34.78%。問其最簡式爲何？

5. 一種礦石分析結果如下：鈾 84.82%；氧 15.17%。試確定其最簡式。

6. 一種銅礦之組成爲：銅 79.45%；硫 20.32%。問其最簡式爲何？

7. 分析某一物質，知係碳 80% 及氫 20%。其分子量求得爲 30。問其式爲何？

8. 分析某一氣體，知其組成如下：碳 73.8%；氫 8.7%；氮 17.5%。其分子量求得爲 160.4。試求此化合物之式。

9. 某氣體 1 立在標準情況下重 0.72 克。由碳 75% 及氫 25% 所組成。試計算其分子量及其式。

10. 某化合物求得其含碳 92.3% 及氫 7.7%，而知其蒸氣 1.10 克在標準情況下占有 314 毛立。問其式爲何？

11. 分析氨氣體，知其 82.4% 爲氮，其餘爲氫。試推算氮之化合量。

12. 爲測定問題 3 中所用之化合物之分子量，作一實驗，知該物質 0.250 克所生之氣體，在 20°C. 及 740 毛米下於水面上集取時，得 53.0 毛立之氣體。試計算該物質之克分子量，並依此修改問題 3 之答案。

13. 由實驗知某化合物之蒸氣 500 毛立重 2.23 克。該化合物含碳 72%，氫 12%，氧 16%。試確定其式。

14. 將問題 4 中之化合物加熱至 150°C.，見其所生之氣體 185 毛立重 0.247 克。(a)其克分子量爲何？(b)該化合物之式爲何？

第十八章 提要

一切氣體之一致性：

某量之氣體，如溫度不變，其體積與壓力成反比例（波義耳定律）。

某量氣體，如壓力不變，其體積與絕對溫度成正比例（查理定律）。

絕對溫度＝攝氏溫度＋273°。

化學反應中所用及所生氣體之體積，每可以小整數之比率表出之（給呂薩克定律）。

亞佛加特羅原理：等體積之氣體，在同樣之溫度及壓力情況下含同數之分子。

由此原理之結論，可斷定氫、氧、氮、氯諸分子均各含二個原子。

氣體之比較體積，由方程式中氣體分子之係數表之。

物質之分子量，爲其分子與氧分子之重量 32 比較而得之重量數值。

任何氣體之克分子重量，占 22.4 立之體積。

克分子重量＝氣體在標準情況下 22.4 立之重量克數。

元素之原子量及表其原子之比較重量之數值。以氧之原子量(16)作爲標準。

元素之化合量或當量，乃該元素與氫 1 克（較精確爲 1.008 克）化合或取代之重量。

原子量或等於化合量，或爲其倍數。

原子量 ≒ 化合量 × 原子價。

原子量 × 比熱 = 6.4 （約值）。

同位元素乃同一元素其原子量略異而化學作爲相似之諸異體。

由百分組成求分子式：以每元素之原子量除其百分率；其商卽爲每種原子之比數。參照分子量，以求其當用最簡式之幾倍。

問題

1. 試作 (*a*)分子量及 (*b*)原子量二名詞之定義。
2. 原子之重量何以不表作若干克？
3. 所謂氯之原子量爲 35.5，其分子量爲 71，試精確說明其意義爲何。
4. 原子量與化合量之區別爲何？
5. 何者之例中原子量等於分子量？
6. 原子量與分子量之區別爲何？
7. 何者之例中原子量等於化合量？
8. 化合量有時係指當量。試解釋此處之所謂"當量"。
9. 何以取氧原子作爲原子量之標準，而不取氫原子？
10. 精確之原子量表何以須時加訂正？

* * *

11. 尋求構成氯等元素之同位元素，何以感覺困難？
12. 本書內謂"原子量＝化合量×原子價"。試用鋁爲例，解釋其何以爲確當。
13. 化學家測定元素之化合量，何以能較氣體之分子量爲精確？
14. 亞佛加特羅原理如何作爲測定(*a*)分子量及(*b*)原子量之根據？

15. 氧8克與氫 1.008 克相化合;鈉 23 克取代同重量之氫;鈣 12 克取代同重量之氫,此皆實驗之事實。(*a*)此等數值對於各元素表其何事? (*b*)其對於此等元素之原子量有何關係?

進究題材

原子量之精確測定——晚近關於原子量測定之方法,涉及許多實驗上之注意;然其基礎的化學事實,則殊簡單。參閱摩黎[1]對於氫及氧之研究(Smithsonian Contributions, No. 980),及禮查對於氯及銀之研究 (Carngeie Publication, No. 69)。

第一章至第十八章總複習題

1. 給呂薩克定律中對於溫度及壓力作何假定?

2. 試作下列名詞之定義,並舉例明之:(*a*)觸媒;(*b*)瀰散;(*c*)同位元素;(*d*)電解;(*e*)核心。

3. 硫化氫比之一氧化碳爲危險性較少之毒物,試解釋之。

4. 碳之各種異形體如何可證明其實皆爲碳?

5. 試約述大氣中氮與氧之分子比較。

6. 由水之分解如何可說明其中氫與氧之比較體積?

7. 試區別(*a*)氫離子,氫原子與氫分子;(*b*)氯離子,氯原子,與氯分子。

8. 試作下列各物質之式:(*a*)氮化鎂;(*b*)次氯酸鈣;(*c*)酸性硫酸鈉;(*d*)氯酸銀;(*e*)酸性碳酸鉀。

9. 試就下列反應,用分子式作完全之方程式:(*a*)(熱)鋅與水(蒸氣);(*b*)氧化鋅與硫酸;(*c*)鎂與鹽酸;(*d*)氫氧化鈉與硫酸;(*e*)氯化銀與硫酸鈉。

10. 如何可"自"硫製成一種酸? 如何可"自"鈉製成一種鹽基? 酸與鹽基相混時起何事故? 試作以上所起諸反應之方程式。

* * *

11. 試簡述科學方法之步驟。

---

[1] Edward W. Morley (1838–1923).

12. 試說明一完備之水族館何以可例解自然界中二氧化碳及氧之循環。

13. (a)試作酸、鹽基、鹽之定義；(b)試作方程式以表製造此等物質每類一種之方法。

14. 一切元素皆可使之呈現三種物理狀態否？一切化合物皆可否？解釋之。

15. 使吾人認氮分子含有二原子之事實及理論爲何？

16. 試述使吾人認氧分子含有二原子之事實及理論。

17. 如無定形硫及斜方形硫兩者均成粉狀混合一起，如何可設法分離之？

18. 不穩定酸與弱酸間之區別爲何？碳酸既爲不穩定酸又爲弱酸。試解釋之。

19. 普利斯特利於 1774 年發見氧。彼如何告成此事？彼明瞭其工作之意義否？試解釋之。

20. 就物質之電子說之觀點而言，金屬與非金屬間之區別爲何？

21. 動物在一氧化碳及二氧化碳氣體中均足斃命。二者致死之原因相同否？試解釋之。

22. 試作方程式以表二氧化硫由下列各物之生成：(a)硫；(b)硫酸；(c)黃鐵礦；(d)一種亞硫酸鹽。

23. 二氧化碳通過一種鹽基之溶液時，生成何物？試列其方程式。

24. 由何種化學檢驗可以鑑定 (a)硫化鈉；(b)亞硫酸鈉；(c)硫酸鈉？

25. 試作硫酸作用於酸性碳酸鈉之方程式。由此項方程式評定何以二氧化碳滅火機中用酸性碳酸鹽而不用碳酸鹽。

26. 試作熱濃硫酸與下列各物反應之方程式：(a)銅；(b)銀；(c)碳。

27. 試就迄今已讀得之下列各類物劑作成一表：(a)漂白劑；(b)氧化劑；(c)還元劑。

28. 試就原子結構學說解釋：(a)鈉與鹽化合時起何事故；(b)氫、氮、及氯之分子何以均爲一原子的。

29. (a)波義耳定律之發見，遠在 1660 年；(b)物質不滅定律約在 1786 年；(c)能不滅定律遲至 1842 年。試解釋此項時期之意義。

30. 試將 SO_3, $NaHSO_4$, HBr, PbO, $Ca(OH)_2$, P_2O_5, H_3PO_4, NH_4OH, MnO_2, CO_2 諸化合物按照下列品目類分之：(a)酸類；(b)鹽基類；(c)中性鹽；(d)酸性鹽；(e)酸酐；(f)氧化物。

* * *

31. 今有二硫化碳燃於空氣中，生成二氧化碳一立。問產生二氧化碳若干立？

32. 設有硫化氫二立，於豐足之空氣中燃燒，當生成二氧化硫若干立？此處應用何定律？

33. 製取氧 134.4 立（標準溫壓），應需氯酸鉀重若干？

34. 欲令 160 克之一氧化銅(CuO)還元成金屬銅，應需乾燥之氫（標準溫壓）若干體積？

35. 試將下列各式之氣體，依照密度之漸減排列之：(*a*) NH_3; (*b*) CO; (*c*) CH_4; (*d*) He; (*e*) NO。

36. 氫一立在標準情況下重 1.78 克。其原子量爲 39.9。問一個氫分子中含原子若干？

37. 假定空氣 22.4 立重約 29 克。試由硫化氫之式推算其分子量，並將其密度與空氣之密度比較之。

38. 某種氣態化合物半立重 1.13 克。分析此化合物，知其含碳 23.8%，氫 5.9%，及氯 70.3%。試計算其分子量及其式。

39. 由實驗知某氣體(標準溫壓) 250 毛立重 0.49 克。此氣體含碳 27.3% 及氧 72.7%。試確定其眞實之式。

40. 欲由觸媒法製含 H_2SO_4 96% 之濃硫酸（比重 1.84）一立，應需硫重若干？

第十九章

氮及大氣[1]

氮之重要——由空氣及分解化合物以製氮——性質。空氣乃一種混合物——液化——氮之工業用途。

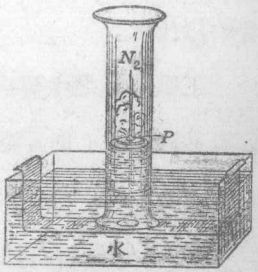
空氣中之稀有氣體——氦之用途。成層圈。空氣之組成——二氧化碳在自然界中之任務——惡劣空氣中之雜質——新鮮空氣及空氣調節。

246. 氮之重要——空氣中約五分之一爲氧，已見前述（第四章）；餘者爲何物？曰，餘者之氣體，幾盡屬氮。某數種礦物中，亦略有氮存在，與他元素化合，如硝石卽是。氮化合物爲人生之要素。一切有生命物質及其腐敗後之一切產物中，皆存有之。再如吾人食物之寶貴成分爲蛋白質，其中含多量之化合氮。土壤及肥料之供作植物之食料，亦全視其所含之氮量而定其功用。晚近各種爆發藥物，如火藥棉，硝酸甘油，炸藥等，均爲不穩定之氮化合物。又若氨及硝酸等之氮化合物，尤於一國之工業佔極重要之地位。氮之化合物之重要既如上述，故當另章詳論之（第二十及二十一章）；今茲所論者，僅及氮元素之本身及空氣耳。

[1] 以下十八章不必全讀。視各校當地之需要及興趣選讀可也。

247. 自空氣製氮——猶記(§33)拉瓦錫發見空氣中含有氧，而令與水銀相化合以去除之。惟如取燐燃燒，則氧之去除，遠較迅速。

取黃燐(小心揩乾)一塊，置甕坩堝中而承於木塞上，將木塞浮於水槽內之水面。用熱鐵絲燒灼之，同時取玻筒急速罩上燃燐之固體，如第150圖所示。燐燃於筒內有限之空氣中，生濃厚之白烟，卽五氧化磷(P_2O_5)，與燃於純氧中相同。於是將筒放置少時，令其冷卻，而使含有燐之氧化物極細固體粒子之烟，可溶於水中。此時當見水昇入筒中約及五分之一，取空氣中與磷化合之氧之地位而代之。設以點着之燭火伸入筒內氣體中，卽立見熄滅。此餘剩之氣體，蓋不能維持燃燒者也。



第150圖
燃燐於空氣中，餘剩氮。

此不活潑氣體，拉瓦錫名之爲azote，意其不能維持生命也。嗣以其存於硝石[1]中，遂名曰nitrogen。吾國譯稱淡氣或氮，則取其化合性之淡然，兼指沖淡空氣中之氧之意。動物不能於氮中生存，非以其有何毒性也，祇因動物必需遊離之氧耳。其於氮中之窒息悶死，與溺死於水中正相等。

248. 實驗室中製取純氮——1894年以前，化學家均以爲自空氣中除去所有之氧及常有存在之少量二氧化碳，卽可製得純粹之氮。但累利[2]及拉姆賽[3]二人發見此種氮中含有約百分

[1] niter，爲saltpeter之別名。　[2] Sir William Ramsay.　[3] Lord Rayleigh (1842—1919)，英國物理學家。

之一之雜質。是乃所謂"稀有氣體",即氬、氦、氖、氪、氙也。

實驗室中製取純氮,最簡便之法,將一種氮之化合物,即亞硝酸銨,NH_4NO_2,加熱可矣。此物分解成氮及水:

$$NH_4NO_2 \rightarrow 2H_2O + N_2 \uparrow$$

然因亞硝酸銨爲不穩定之固體,故每用亞硝酸鈉與氯化銨之混合物以代之。

工業用氮之主要來源爲液體空氣。令此液體蒸發,即因氮較氧易於揮發(即沸點較低),逸出較速,而餘存幾純粹之氧。此二產物(氧及氮)於工業上均有價值。

249. 物理性及化學性——氮無色、味、臭,如氧及氫然。惟其他性質則與後二者絕異。例如不起燃燒,亦不助燃。實際其惟一顯而易見之特性,即爲不易參加化學反應。然有數種元素,如熱至適當溫度,氮固未嘗不能與之化合,特較緩耳。例如與紅熱之鎂化合,生成鎂與氮之化合物,稱爲氮化鎂:

$$3Mg + N_2 \rightarrow Mg_3N_2$$

氮化鎂爲水所作用時,則釋出氨:

$$Mg_3N_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2NH_3$$

然尙有一較直接之方法,即用一種適當之觸媒。因而氮可與氫在稍高之溫度時即起化合而成氨氣:

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

如令電火花通過氮與氧之混合物，則氮當與氧化合而成氮之數種氧化物：

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

此二反應進行雖甚困難，然近年在工業上已佔有重要地位，蓋可藉以令空氣中之遊離氮一變而爲氮之化合物也。氮之化合物，又爲植物生活之要素，故其自空氣中氮之製造，成爲近代化學上異常重要之問題。

250. 何以認空氣爲混合物——前已論及（§ 18）混合物與化合物間之區別，茲當一述空氣中之氧及氮，並非化學的化合。空氣實乃此二氣體及極少量之其他數種氣體之混合物耳。明示空氣爲混合物而非化合物之證據，實甚繁多。

(1) 第一點，純粹之氮及氧可以混合而成"人造空氣"，幾與尋常之空氣全同。二者混合時，既不發熱亦無化學反應之其他徵象。此項人造空氣中各氣體之比例，大可變更，而無傷其產物之化學性。設氧與氮爲化合者，則其化合時必有一定之比例矣。

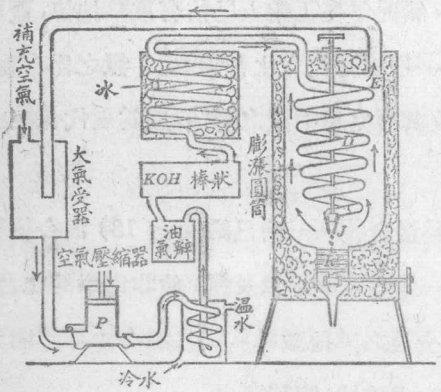
(2) 第二點，水可溶解空氣。如將水煮沸，驅出水中之空氣而分析之，則見其所含之氧較尋常之空氣中約多二倍。氧較氮易溶於水中，故其溶解較多。設氧與氮爲化合者，則溶解之氣體必仍具與空氣相同之組成矣。

(3) 最後，純以物理方法即可將空氣分離成各成分。法將空氣液化而後小心煮沸，蒸去較易揮發之氮。設空氣爲一化合物，則全體當盡於同溫度時沸騰矣。

251. 液體空氣如何製得——氣體雖在壓力下亦必須冷至某定溫度以下，始能化成液體。此即所謂臨界溫度[1]，各種氣體

[1] critical temperature.

盡不相同。在氧及氮，其臨界溫度過低，致在常溫時雖施任何大壓力，終不能使之液化。欲使空氣液化，須令其冷至極低之溫度，同時施加高壓力。此項操作用構造如第 151 圖之裝置以大規模上爲之。



第 151 圖　液體空氣製造機主要各部之圖解

左圖僅示全裝置之主要部分。空氣由抽機 P 壓縮。由壓縮而生之熱，藉空氣經過冷卻之蛇管而去除。壓縮之空氣，經過蛇管 D 後，使自極小之尖口 J，噴入在低壓力下之膨漲圓筒 E 中，乃起急速之膨漲。當空氣經此尖口而膨漲時，吸收極大量之熱。凡氣體壓縮時即生熱，膨漲時則吸熱。在壓力下之氣體，欲取除其此項之熱，即令膨漲之氣體在圓筒內回流經過高壓蛇管 D 之外圍可矣。於是將冷而膨漲之空氣回至抽機 P，再行壓縮。如是反覆進行。最後氣體因本身之一再膨漲，而冷至極低之溫度，終於液化。集於容器 R 中，可隨時取出之。

上述空氣亦由壓力及低溫之合力而液化，如其他多種氣體然。液體空氣實主要爲液體氮（沸點 −195.7°C.[1]）與液體氧（沸點 −182.9C.[1]）之混合物。工業上得令較易揮發之氮與氧相分離。工業用氧，即由此法製造而壓入鋼筒中。氮亦即由同法以大規模製之（第 152 圖）。

252. 液體空氣之實驗——液體空氣今已成爲一種商品，可

[1] 此亦即各該氣體變成液體之溫度。

第 152 圖　將空氣液化以製氮之工廠。注意圖中多數之膨漲圓筒。

以購得。然如以之傾入尋常之玻璃器中，卽立隔玻璃吸取充分之熱，足令完全沸去。故祇能於特種構造之器具中貯藏之或輸運之，卽所謂德華瓶[1]（第 153 圖）是也。此瓶爲二重之玻璃瓶，其中間之空層，用眞空抽機抽去空氣。液體空氣盛於此種瓶中，其四周爲眞空，眞空導熱至緩，故液體不易蒸發。如欲再防止其蒸發，則每於瓶上鍍銀一層，可使熱自外層反射而去。此瓶更小心裝於襯有毛氈等不良導體之籃中，以防有熱自外方竄入。

第 153 圖　德華瓶

[1] Dewar flask，英化學家 Sir James Dewar (1842—1923) 所發明.

尋常之物冷至液體空氣之温度，每呈特種之性質。例如設將小橡皮球浸液體空氣後，而擲之地上，卽裂成多片，有如玻璃然。同樣，導過液體空氣之橡皮管，不久卽成鬆脆而裂成碎片。他如花草，浸於液體空氣中，卽凝成堅塊，取出之後，卽極鬆脆。設將燃燒之木片伸入液體空氣中，則可繼續燃燒。氫或煤氣之火焰，浸入液體空氣液面之下，亦依然燃燒，而所生之水，則起凝結。

253. 氮之數項用途 —— 有數種電燈泡中均用氮。以其性不活潑，不致使燈中之白熱絲起氧化也。水銀温度計之用於300。至500°C.之温度者，管中水銀上方之空間內，每用壓力裝入氮。如此則雖達水銀之正常沸點（357°C.）以上之温度亦可防免水銀之沸騰。遊離之氮又用以製硝酸、氨、及數種含氮肥料（§294），爲量至鉅。

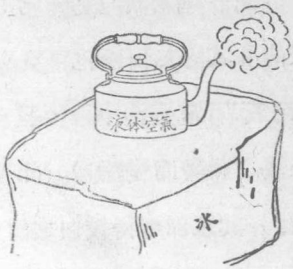
問題

1. 氮何以對於生命有關重要？
2. 動物居於純粹氮之氣圍中，何故足以致死？
3. 氮化合物之在礦物中何以如此之少？
4. 試述自空氣中取除氧氣之三種方法。
5. 試詳述測定空氣中氧之百分成分之實驗。
6. 由何種化學檢驗可以區別氮與二氧化碳？
7. 盛液體空氣之瓶何以不用緊密之塞？
8. 如將盛液體空氣之茶盞，置諸冰塊上，液體卽劇烈沸騰（第154圖）。試

解釋之。

9. 試作下列諸反應之方程式：(a)氮與鎂化合；(b)黃燐自空氣中燃去氧；(c)二氧化碳與石灰水產生白色沈澱。

10. 氫氧炬之火焰較用煤氣及空氣之噴燈之火焰爲熱，知其所以然否？試解釋之（見第五章）。



第 154 圖
茶壺中液體空氣於冰塊上沸騰

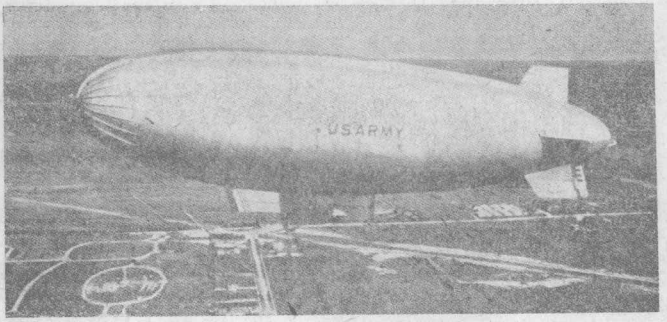
254. 大氣中之稀有氣體[1]——

空氣中存有五種爲量極少之元素——氬、氖、氦、氪、氙——氬猶爲五種中之最多者，存量僅及體積上 1% 中之 0.94。其他四種總計不及空氣之 0.002 %。氬最初於 1894 年爲拉姆賽（第 155 圖）及累利所發見。二氏用化學方法自空氣中除去所有之氧及氮，其手續至爲費時而艱難。其後始知可由空氣液化以製取氬氣，較爲簡易。其餘四稀有元素存量過微，其遊離與探討乃極久長而慘澹之研究工作。

第 155 圖　拉姆賽 (1852—1916) 英化學家，發見空氣中之稀有氣體。

[1] rare gases.

此五種元素均爲非常不活潑之物質。至今除少數特例外，未能令其參加何種化學反應。因氬之此種惰性，常用於普通之"充氣"電燈泡中以代氮。氮及氬又皆足以防免燈泡因燈絲上鎢之蒸發而變黝暗。此等惰性氣體能令燈絲適用於較高之溫度。其意卽可得較白之燈光及較大之效能也。



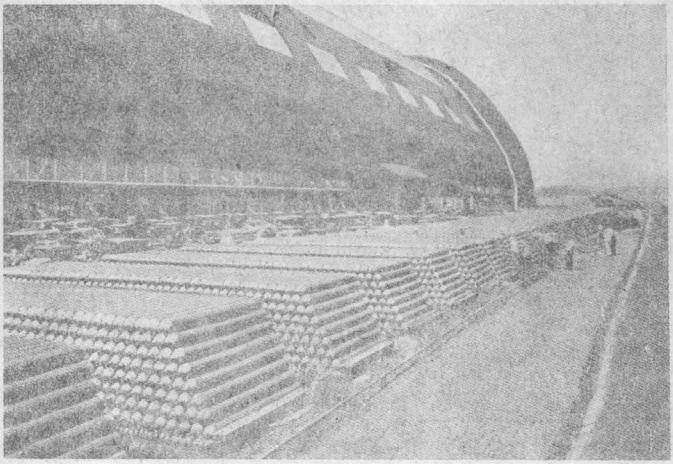
第 156 圖　裝氦之軟式飛艇

今日炫耀街市使用甚廣之霓虹燈(氖燈)，乃一玻璃管，兩端裝有適當之電極。抽去空氣而裝入氖氣。當此種玻管於感應圈等高電壓(約 15,000 伏特)電源相連接，電流卽通過氣體，使其熾熱，發極明亮而鮮橙紅色之光。製藍色管時，用氖及氬之氣體與水銀蒸氣之混合物。欲得綠光，則管中裝與藍色光相同之混合物，惟用琥珀或鈾玻璃以代清明無色之玻璃。氖管之設施極爲經濟。

255. 氦之用途——自 1918 年以後，另一稀有氣體，氦，已成爲實用上有關重要之物質。氦爲氫以外已知氣體中之最輕者，其重量僅及空氣七分之一。以其不可燃燒，故爲充盛氣球及飛艇（第 156 圖）最合理想之氣體。往常因裝氫氣而釀成

巨災，已屢見不鮮。因歐戰時之大量需要，遂有大規模製氦以供航空之用，而此氣之功用，於氣球及飛船之發展上佔極重要之地位。美國得克薩斯[1]地層中所放出之天然燃氣中，含氦有 1% 之多。藉液化方法，可使於 −269°C. 極低温度沸騰之氦與他種氣體相分離。

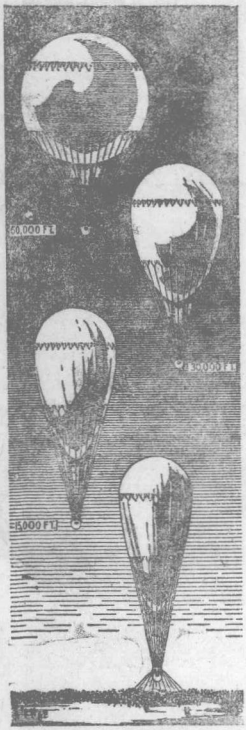
氦向祇爲實驗室中之珍品，每立方英尺值美金 1700 元。當時殆從無能集得此氣 100 立方英尺以上者。大戰後美國政府創設大工廠一所，每日可製出約 50,000 立方英尺，價值每立方英尺約美金 3 分（第 157 圖）。



第 157 圖　裝壓縮氦之鋼筒

[1] Texas.

氦又有一重要之用途，即足以減免潛入深海者之危險。潛水者當自工作所在之高壓大氣中走出時，往往易罹所謂潛水病[1]。以氦代空氣中氮之人造大氣，足以減免此項病苦。



第 158 圖　探究成層圈之氣球其形狀何以有變遷？

256. 何謂成層圈[2]——1931 年畢加特教授[3]以其勇敢之氣球昇空至約十英里之高處，引起世人對於上層大氣之興趣。該處空氣之壓力僅爲 3.2 英寸（約 8.13 釐米），地面上則爲 30 英寸（76 釐米）。畢氏及其同伴攜帶儀器及壓縮氧之供給乘坐於密閉之金屬圓艙內，高入雲霄，凌空生活於此極有限之空間內者六小時（第 158 圖）。彼等所欲探求者爲何？

所謂"成層圈"（亦稱同溫層）一名用以指較低之地上層[4]外全部大氣殼而言，地上層厚約七至十英里。最近藉有聲氣球發見大氣之温度隨上昇而作極有規則之降低，直至成層圈爲止，成層圈之

[1] caisson sick.　[2] Stratosphere.　[3] Professor Auguste Piccard.
[4] troposphere.

温度多少屬於恆定，約爲－50°F。科學家卽欲獲得上層大氣中温度之實際記錄。此外另一極引人入勝之研究事件，卽爲各種高度處之宇宙線[1]。惟本書因篇幅所限，不容涉及此項新物理學範圍之內。

257. 空氣之組成——煉金術士及化學家研究大氣殆2000年，始發見其組成。鄉野空曠處之空氣試樣，除水氣之含量外，其組成每盡相同。此項乾燥空氣試樣之組成如下：

100 體積之空氣含

氮	78 體積
氧	21 體積
氬	0.94 體積
二氧化碳	0.04 體積
氦、氖、氪、氙	微量

在城市及換氣不良之處，空氣之組成每極有出入。常有多少之固體物——塵埃、煤烟、微生物等——浮游於其間。然此種差異，衡之圍繞地球之大量空氣，實無足重要。此一大氣圍，由風及空氣之對流，不絕播動。此卽上述所以取諸空曠處者，其組成每恆定也。

258. 空氣中二氧化碳之任務——一檢上表所列空氣之成分，當見二氧化碳之量，實極少。然卻有極重要之任務，會當

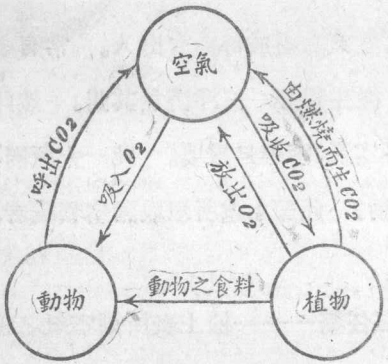
[1] cosmic ray.

知之。

此氣由煙囪、焚物場送入空氣中；凡屬碳化合物燃燒或腐敗時均產生此氣；又爲生物體所呼出。反之，凡屬綠色植物均須自空氣中吸取二氧化碳。此物在葉內與藉根而自土壤中吸得之水分相結合。此項奇妙之合成作用之產物，卽爲澱粉及糖（均爲碳、氫、氧之化合物）與氧，氧遊離放出。植物之於水下生長者，有氧氣泡放出，前已見之矣（§216）。

自無機物（二氧化碳及水）變而爲有生命物質之化學變化，祇能發生於日光之下，且有賴乎葉中之綠色質（卽葉綠素）。此項作用，稱爲光化合成[1]。

由上文植物對於此項氣體之重要利用之簡單敍述，立卽可知動物與植物對於空氣中氧及二氧化碳之供給，實係彼此互相取償。綜其循環情形言之：植物自空氣中取去二氧化碳而令其變爲各種化合物，此項化合物復成爲動物之食料；動物消耗此項食料宛如煤



第 159 圖　二氧化碳之循環

[1] Photosynthesis.

氣引擎之燃耗氣油蒸氣，而呼出二氧化碳（第 159 圖）。

259. 空氣中之雜質影響於人類之安康——人衆集處，換氣不良之室，往往有所謂"惡劣之空氣"。此惡劣之空氣所致之不舒適，吾人均嘗感受之。向者以爲此種空氣中影響於人類安康之要素爲二氧化碳。此說蓋以在人衆麕集而不透風之室內，二氧化碳之含量常多，而氧量較平時爲少故也。惟此項見解今已知其爲謬矣。適合於衞生之空氣，應含某一最低限量之氧，而置身於二氧化碳含量過多之大氣中，足致窒息，固事之當然。但事實上雖換氣極劣之室內，所有二氧化碳之含量，亦遠不至令人窒息之程度。其眞足以左右空氣之適於呼吸與否之要素，實爲(1)水分，(2)溫度，(3)塵埃，(4)人及動物呼出之微量複雜化合物也。

前二項互有密切連絡。人體平常均在 98.6 F.（37°C.）之恒定溫度。此項溫度由身體表面水分之蒸發以資調節。如周圍之大氣，頗爲潮溼，則蒸發之進行困難，而體溫之調節亦隨之困難。極熱而帶潮溼之空氣，工作其中，爲最不舒適之大氣。同樣，如空氣過於乾燥，則身體上水分之蒸發過速。比較溼度[1]常以室溫約 68°F. 時 40—50% 爲宜。其意卽空氣中含水分之量，爲當其完全飽和時所能含之量之十分之四或五。室內空氣中水分含量之適當調節，實爲求身體康適之要務之一。其他一種重要事項，自卽爲溫度之適當調節。

空氣中塵埃之存在，足致感受極大之不舒適。都市及人衆麕集之室內之空氣，含有多量之塵埃，非惟刺戟呼吸器官，且往往含有病原細菌。鄉野雨後之空氣，幾無塵埃，於呼吸上，常較市街久旱後多塵埃之空氣，爽適多多。

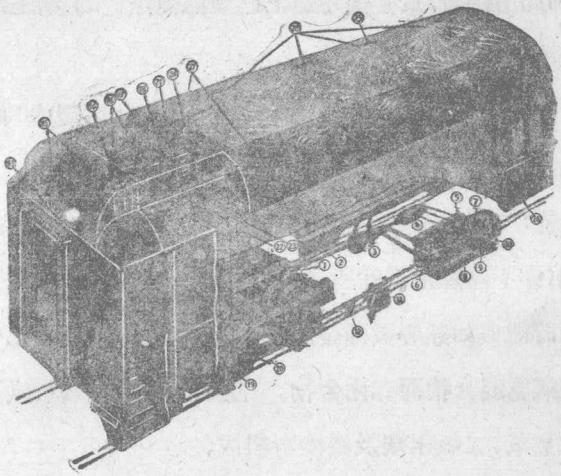
[1] relative humidity.

第四項之影響於空氣，祇於人衆麕集而換氣不良之室中始覺察之。人體常有極少量之物質泄出，足令空氣有對於生理上不舒適之影響。此項微細雜質，大致因其不快之臭，或又因其對於人體實有毒害，而令人不安。無論其理由如何，皆足致人衆集居之室內之空氣，呈昏悶，普遍不舒適，甚至起劇烈的頭痛等。

空氣中之雜質及塵埃，可用一種淋水法以洗除之。裝置極有成效之換氣設備，藉此將空氣驅至室外，經過洗滌，略加乾燥，而再送回室內。此項空氣中二氧化碳之含量雖較高，但此物不生不爽快之影響。此類換氣設備較僅自室外輸送新鮮空氣猶佳，以無需再將多量之冷空氣變成暖熱也。因此即可減省溫暖房屋所需之燃料矣。

260. 新鮮空氣之獲得——鄉野之空氣既屬眞實清潔，人人自以能多居鄉野爲宜。惟以日常事務大部須在都市中室內爲之，故力求房屋之換氣得宜，至爲重要。有以夜晚之空氣爲有害者。然如略加考察，即可知夜晚之空氣，固與日間所呼吸者無以異也。實際臥室換氣之得宜，亦爲健康要素之一。呼出之空氣常較吸入者爲輕且溫暖，故皆升達室頂。故於室頂闢一窗戶，令上層熱空氣散出，室底亦闢一窗，令新鮮空氣送入，是爲最宜。此自非謂人應睡於強烈通風之處。有多處則無妨睡眠於戶外睡廊等處，以得完善之換氣。

近年關於適當供給調節空氣之設備，其發展有長足之進步，不僅限於大會堂、教室、及工廠，即火車上（第 160 圖）及私人住宅內，亦日臻完備。此項設備，能清除空氣中之塵埃，保持溫度之安適（約 68°F.），調整濕度（約 50％），及使空氣常川流動。此一情況，足令人之工作效率增加，而亦適合於人體健康。



第 160 圖　空氣調節之臥車。注意其動力來自輪軸。

1. 調帶　2. 驅動軸　3. 調速器　4. 專備電動機　5. 壓縮器　6. 冷凝器(2)　7. 冷凝器扇　8. 受箱　9. 濾飾　10. 高低壓組及壓力計　11. 專備發動器組　12. 專備插栓　13. 新空氣入口　14. 再循流空氣入口　15. 濾器(2)　16. 吹風扇　17. 蒸發器　18. 滴水道管　19. 吸水管　20. 液管　21. 加熱蛇管　22. 蒸汽入口　23. 蒸汽出口　24. 儲氣室　25. 熱保溫器　26. 冷保溫器　27. 空氣導管　28. 空氣出口

第十九章　提要

元素氮約佔空氣五分之四。氮化合物爲生活之要素，於工業上亦非常重要。

製法：自空氣中製氮，可用燐(或紅熱之銅)，燃去氧氣而

得。如此所得者，於多種用途上已頗稱純粹。工業上之氮，則由蒸發液體空氣而得。

純氮由加熱亞硝酸銨（由亞硝酸鈉與氯化銨製成）而製得，此時生水及氮。

性質：氮爲不活潑之物質，乃無色、無臭、無味之氣體；不起燃燒；亦不助燃或供呼吸；無毒。不易與他種元素直接化合。在高溫時能與如鎂等數種金屬相化合，亦能與氧及氫化合。

空氣爲混合物而非化合物。空氣大致由氮、氧、氬，及不定量之水蒸氣、二氧化碳及塵埃所組成。

空氣可以液化而使較易揮發之氮先行沸去，以分離爲各成分。

氬存於空氣中之量，體積上約近百分之一。尙有極微量之他四種稀有氣體，皆不能使與任何他元素相化合。氬用於"充氣"電燈泡中。

氖用於霓虹燈之發光管中，以其橙紅色之光，透射極強，而設施經濟。

氦爲稀有氣體之一；工業上可由液化某種天然燃氣而製得。不可燃，其重量及空氣七分之一。用於飛艇。

二氧化碳由燃燒及呼吸而攙入空氣中。由綠色植物取去之。綠色植物自空氣中之二氧化碳取得其所有之碳，而生出氧。

此種植物與動物生活之均衡，卽以保持空氣中氧及二氧化碳之量歸於恆定。

空氣之影響於人類之康適，其要素爲(1)水分，(2)溫度，(3)塵埃，(4)人體所泄出之微量雜質。欲得充分新鮮之空氣，則凡工作、游戲、乃至寢睡，皆應在室外。

空氣調節設備卽所以求調整空氣中之此四項要素。

問　題

1. 試舉空氣中五種"稀有氣體"之名稱。
2. 何謂"空氣調節"?
3. 空氣中之二氧化碳有何效用?
4. 空氣之體積組成約爲若何?
5. 試舉空氣中存量可以覺察之四種氣體之名稱。
6. 試舉空氣中存量極微之五種氣體之名稱。
7. 試區別地上層及成層圈。
8. 試舉空氣中所存各元素之發見者姓名及發見日期。
9. 稀有氣體之發見何以如此之遲?
10. 二氧化碳何以不於室之底部集成一層?

* * *

11. 室內空氣之濕度，如何增高之?
12. 空氣之有害及不舒適效應，由於何物?
13. 氮及氫可以何種化學檢驗法區別之?
14. 空氣如有一定之組成，何以不認其爲一種化合物?
15. 吾人吸入空氣中之塵埃，其主要之弊害爲何?
16. 空氣中之何種成分常有存在，惟多寡略變?
17. 試述使睡房內得完善換氣之方法。
18. 如何可證明尋常用水內含有空氣?

19. 綠色植物於夜間何以不能生出與日間同量之氧?

20. 暑天室內電扇之功用如何? 試解釋之。

21. 欲製絕無水蒸氣及二氧化碳之空氣,其法維何?

22. 動植物生活作用所仰賴之能,其來源爲何?

23. 地上層之空氣與成層圈之空氣間組成上存有何種區別?

24. 設有氮與二氧化碳之氣體混合物。試簡述分離二者之方法。

25. 在江河下鑿隧道之工人,及穿潛水衣潛入海中之人,對於氮有何重要之利用?

進究題材

家庭、火車及辦公室之空氣調節——審察課室內之換氣。空氣之氣流可藉點着之燭火而察知之。注意窗戶開閉之影響。今日學校教室、戲院、公共廳堂之新式換氣法如何? 個人家庭之住宅,何以無須換氣設備? 調節溫度及濕度可用何法? 空氣如何可使清淨? (Moyer and Fiff's *Air Conditioning*).

氫之發見——此元素發見之起因爲何? 拉姆賽製造離氫之法如何? 空氣中之此一成分,何以被人忽視至如此之久? (參閱 Tilden's *Chemical Discovery and Invention in the Twentieth Century*).

光化合成——此一名詞之意義爲何? 試證明農業實乃吾人最重要之事農。光化合成中之觸媒爲何物?

可注意之氣球昇空——氣球昇至上層大氣,其目的何在? 其主要困難何在? 化學上何項進步有助於此項實驗? (Fisk's *Exploring the Upper Atmosphere. National Geographic Magazine*, January, 1936).

第二十章

氨及銨化合物　平衡

家常用氨——組成及式——製取——性質——冷凍——氫氧化銨及銨鹽——工業上用途——自煤製造氨及自元素合成。

氮之固定——可逆反應——運動平衡——觸媒之功效。溫度及其他情況對於反應速率之效應。分子濃度定律。

261. 氨在家常中——家常用之一種刺戟性清淨液，其瓶上標以氨或阿莫尼亞，或較確切作氨水[1]。氨之名稱，應屬諸一種氣體，使該清淨液具有特殊刺戟臭者，卽此氣體也。此氣體甚易溶於水中，故尋常均以水溶液出售。其所以具有清淨性者，實由於其溶液爲一種鹽基，卽含有 OH^- 離子。氨及水，二者均屬揮發性，故向有"揮發鹼[2]"之稱。

262. 氨之組成——將氨水加熱，卽得一種氣體，可以見其係氮及氫所組成。欲先證明氨之含有氮，可導乾燥之氣體通過盛有熱氧化銅之管中。當見氧化銅被還元成金屬銅，生成水，而自導管中放出之一種氣體，顯然爲氮。

---

[1] ammonia water.　[2] volatile alkali.

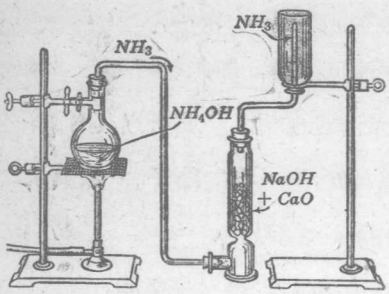
$$3CuO + 2NH_3 \rightarrow 3Cu + 3H_2O + N_2 \uparrow$$

如將該氣體通過盛有熱鎂之管中，則又可確證氫爲氨之一成分。此時放出之氣體卽爲氫：

$$3Mg + 2NH_3 \rightarrow Mg_3N_2 + 3H \uparrow$$

欲確定氨之式，祇須測其氣體之密度。氨一立重約 0.771 克，故其克分子量（卽 22.4 立之重量）爲 17.3。此與 NH_3 之式相當。

263. 實驗室內氨之製取——加熱氨之水溶液，卽可製得純粹之氣體，至爲簡便。如將溶液煮沸，則所溶解之氣體盡被逐出，以其於熱水中較冷水中爲難溶故也。設欲使氣體中全無水蒸氣，則可裝置如第 161 圖，令氨向上通過一乾燥塔，塔中裝有鹼石灰[1]（NaOH 及 CaO）。因此氣體極易溶於水中，故以口向下之瓶，取代其中空氣而集取之。



第 161 圖　製乾燥氨氣

另一簡便之製氨法，卽將氯化銨，卽硇砂[2]（NH_4Cl），及消石灰（$Ca(OH)_2$）之混合物，置大試管中加熱之，如第 162 圖所示。其反應如下：

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O + 2NH_3 \uparrow$$

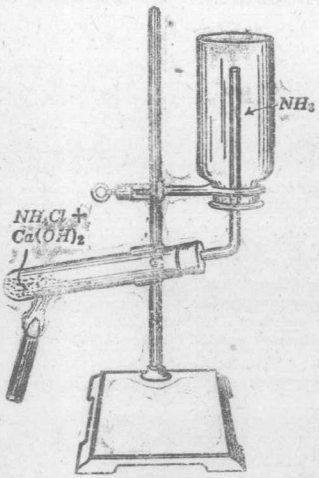
264. 氨之性質——氨除具刺鼻之臭外，其最顯著之特性，

[1] soda lime.　[2] sal ammoniac.

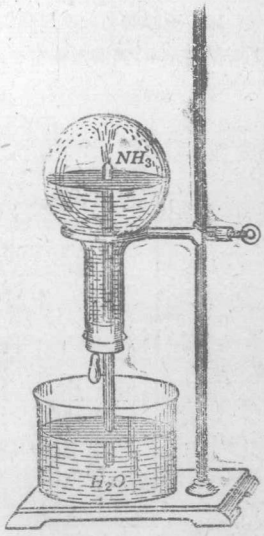
卽爲極大之溶解度。其於水中較氯化氫猶易溶解。

氨氣爲水吸收之迅速，可由下列實驗明之。取大燒瓶滿盛氨，塞以木塞，塞中貫長玻管及一含有水之滴水管。管之下端浸入盛紅色石蕊質溶液（稍帶酸性）之燒杯中。將橡皮頭擠捏，使少許水噴入瓶中。其時燒杯中之液，立卽衝上入於燒瓶中（第 163 圖），而紅色溶液轉爲藍色。

何故?



第 162 圖　製氨



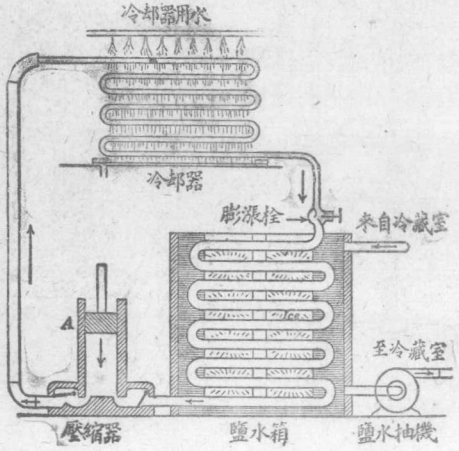
第 163 圖　氨易爲水所吸收

由氨之分子量 17，可想見其重量約及空氣之半（空氣 22.4 立重約 29 克）。其易於液化，法拉第最先知之；在常温時僅需 9 氣壓（每方英寸 132 磅）。

液體氨爲無色。於 −33.5°C. 時沸騰，於 −78°C. 時凝成無色之結晶固體。

265. 液體氨與冷凍——液體氨供製人造冰及產生冷藏設備所需之低溫度，爲用至廣。氨之此項用途，即基於其在常溫時加壓，易於液化，及壓力除去，氣體急速蒸發，即自周圍吸收多量之熱。

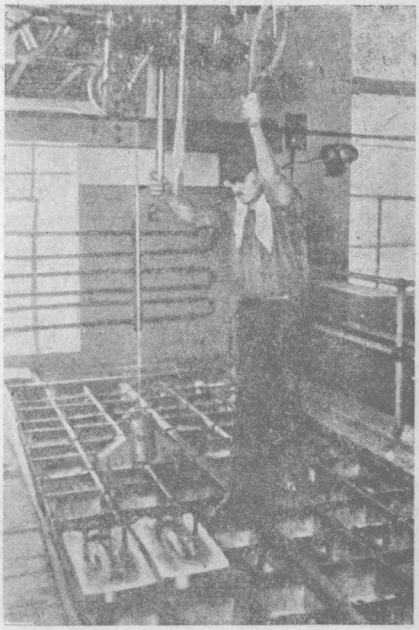
第 164 圖即解明此項原理如何應用以製人造冰。氨氣爲 A 抽機所壓縮，而迫入冷卻蛇管中，其因壓縮而生之熱，至此被流水所除去。迨氨離蛇管時，即在



第 164 圖　製冰機之圖解

室溫及充分壓力下成爲液體。液體氨流過膨漲栓；此栓與一組長蛇管相接。此項長蛇管皆由大管製成，而爲一氣壓。液體至此等管中，即起蒸發（以其在減低之氣壓下也），同時即自周圍之鹽水槽吸收熱量。氣體再回至抽機處，而重作循環。如是鹽水之溫度降至約 $-15°C.$。鹽水乃食鹽或氯化鈣($CaCl_2$)之溶液，於該溫度時不起凝固。盛純水於適宜之金屬器內，而浸入鹽水中，於 24 至 36 小時，即凝成冰塊（第 165 圖）。尋常一種無冰冷箱之作用，即本是理，僅普通用二氧化碳或他種冷凍劑以代氨耳。

如欲保持室內温度低涼，俾適於冷藏，則可將鹽水本身，用抽機循流於安置室內之蛇管中。然後回入置有氨蛇管之箱中再行冷卻。如是室內温度卽可保持至極低，而肉類及其他食物置於其中，可保藏經久，蓋在此低温度時(25°F.)，幾絕不起腐敗之作用也。



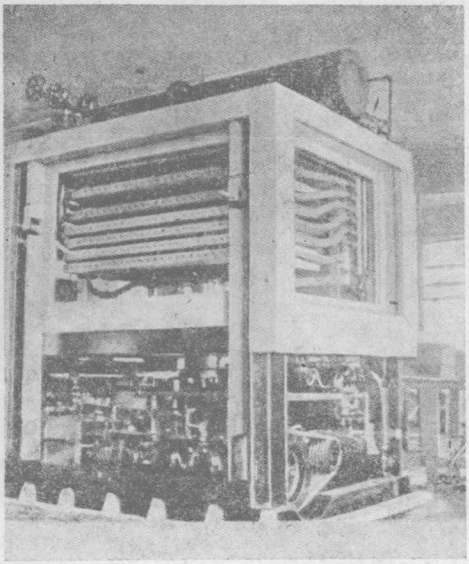
第 165 圖　人造冰塊之舉取

多數都市中，所謂機器冰，全由上述氨法之設備製成。同樣，用氨冷凍機冷卻之冷藏設備，亦遍設於適當之地段，以供大量食物之處置。因此如旅館、飲食店、俱樂部，亦均具有小型之氨冷藏設備。

輓近多數市上已有所謂"涼凍食物[1]"發售。此項食物由工業上所謂"速凍[2]"之方法製成。其中一法，乃將欲凝凍之食物，如肉、魚、果、蔬等置金屬板間。於是將此金屬板由氨之直接膨脹而冷卻，至達約－25°F. 之温度。如食物之包裝厚 2 英寸，則約 90 分鐘卽完全凝凍。但如出骨魚肉或肉餅等食物不加包裝者，

[1] frosted food.　[2] quick freezing.

則在 5 至 10 分鐘即凝凍。製作時，底層之金屬板由水壓活塞使之昇高至所裝食物接及上一層之板，如是再繼續壓上。至所有金屬板均上昇，而食物兩面均與冷凍板相接觸爲止（第 166 圖）。



第 166 圖　製涼凍食品之機械

266. 氫氧化銨——氨之溶於水中，不僅得其氣體之溶液，而亦得一具有鹽基性之新化合物。此物能使紅色石蕊實變藍；觸之覺膩滑若肥皂；能中和酸類，生成鹽類。由此觀之，似必有一部分之氣體，與水起化合。如下方程式所示：

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4OH$$

反應之產物，稱爲氫氧化銨。如將此溶液加熱，則該化合物分

解成氨及水。故上方程式記作表示一種可逆反應。

氫氧化銨之飽和溶液較水爲輕（比重0.88），在室温時含重量約 36% 之 NH_3。氫氧化銨被視作一種弱鹽基，以其分子僅有 1% 起離解。然其用作清淨劑，卽賴其鹽基性，使能溶解油膩，因而去除汚垢。

267. 銨鹽——當氨與氯化氫於常温時化合，卽產生一種白色結晶形固體，稱爲氯化銨（NH_4Cl）：

$$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$$

此反應可用兩藥品瓶表之，一盛濃氨溶液，一盛濃鹽酸。當將兩瓶塞互相取近，卽見有氯化銨粒子之白色煙霧（第 167 圖）。蓋自兩種水溶液中逸出氣體，氨及氯化氫，而起此反應也。

第 167 圖　氨與氯化氫化合

氫氧化銨如爲鹽酸中和，而將溶液蒸乾，卽得白色之固體，與由氣態氨與氯化氫化合而生成者相同。此自卽爲**氯化銨**，卽**硇砂**：

$$NH_4OH + HCl \rightarrow NH_4Cl + H_2O$$

銨根（NH_4）雖從未得其遊離狀態者，然銨鹽則爲數實繁。此NH_4原子團於此等化合物中，作用宛若一價金屬，如鉀、鈉然。

氨與銨切勿混淆。氨爲氣體 NH_3；銨爲根 NH_4，祇存於

化合物中。

氯化銨加熱時，即起昇華；是即直接從固體變成蒸氣。其蒸氣易於凝成固體，即所謂昇華物。[1]

銨鹽熱於乾燥管中，即起分解。多數生氨及一種酸。例如：

$$NH_4Cl \rightleftharpoons NH_3 + HCl$$

當知此處二產物均爲揮發性。惟此等產物冷卻後，即復化合成固體氯化銨。是又屬一種可逆反應之例。

欲使氨自其鹽類中遊離，祇須將任何銨鹽與一種鹼類（如石灰或氫氧化鈉等）共熱，以中和其酸。此時即可嗅得遊離氨明顯之臭。此可作爲銨鹽之一種檢驗。

268. 氨之用途——前已見液體氨用於製冰及冷藏設備，是皆裝於堅固鋼筒而輸運。有多量用於新法製硝酸中（§ 279）。其水溶液即氨水，爲家常及工業上之清淨劑。硫酸銨（$(NH_4)_2SO_4$）爲可貴之肥料，以其含有多量之氮，而如一切銨鹽之甚易溶解也。硇砂（NH_4Cl）在工業上用以製數種之電池。硝酸銨（NH_4NO_3）用於炸藥中，以其易於分解而無固體產物留存也。

269. 氨之製造——氨向全由煤乾餾所得副產物之液體中產生（§ 210）。今則除此來源外，另有多量以合成法製之，即由元素直接化合而成也。如是製成之氨，可供上述之種種用途，

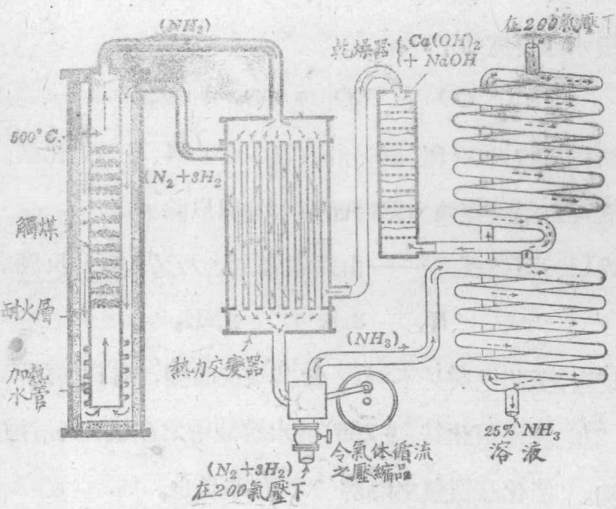
[1] sublimate.

尤以供製硝酸及硝酸鹽爲最多(§ 279)。

270. 氨氣固定——對於氮之所謂固定[1]，其意卽謂將空氣中之氮，變而爲可供工業用之化合物也。如有電火花通過氮及氫之混合物，卽可由二元素合成而產生少量之氨，此固早知之矣：

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

今工業上使此二氣體化合，已有二種方法。二法中均以在壓力下之氮與氫之混合物加熱，至約 500°C。於是通過特製之細鐵粉上，鐵粉具觸媒之作用。原先之哈柏[2]法，用 200 氣壓



第 168 圖　哈柏法合成製氨之圖解

[1] fixation.　[2] Fritz Haber (1868—1934 德化學家).

之壓力，而僅有少量之氣體化合成氨。此少量之氨吸收於水中，或行液化，而餘下之氣體混合物，再通過鐵觸媒上（第 168 圖）。此法後經改良，使於 1000 氣壓下操作，並發見較佳之觸媒，俾其變化超過 50% 以上。令氣體通過一組之反應室，每室中所生成之氨氣，在未及通入次室之前，使其冷卻，凝爲液體氨而取出之。

氮及氫尋常均由水煤氣中製取之。水煤氣大致爲氮、氫、及一氧化碳之混合物，由於水汽作用於熱炭（焦煤）而成。欲除去一氧化碳，可將煤氣與水汽混和而通過一種熱觸媒上，使一氧化碳與水起反應如下：

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$$

結果所得氣體，含有氮（原存於空氣中者）、氫、及二氧化碳。二氧化碳可由氣體經強力壓縮而用水處理以除去之。

271.[1] **可逆反應**[2]——由元素製氨，乃又一可逆反應之例：

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

此種反應，至此已屢見不鮮。當其情況改變，即行"逆退"。碳酸（§ 218）及氫氧化銨（§ 266）於水溶液中之生成，乃可逆反應之二例。氯化銨蒸氣之離解（§ 267）亦是也。

272. 運動平衡——上述氫及氮之混合物，如於壓力下熱

[1] 本章以下部分，在必要時可展緩講授。 [2] reversible reaction。

至500°，而與細鐵粉相接觸，則產生少量亦僅此少量之氨(§270)。如反之，取純粹之氨爲始，於同樣之溫度壓力，及同一之裝置中，則當見幾全部分解成氮及氫，惟當有少量之氨留存不變。如是，在密閉裝置中，無論以氮及氫爲始，或先以純粹氨爲始，其最後事態莫不相同。知其所以然否？

設能將此項密閉反應箱中之混合物，混合後，時時分析之。當見如以氮及氫始者，其氨之量，初時增加甚速；其後較緩，最後反應顯似停止，此時僅生成少量之氨。無論守待多時，不再加增。此時當然或則反應確實停止，否則作用已臻平衡之事態。第一項之解釋似無理由。反應何以進行至某定程度，而分子即停止作用？此一情況甚難想像，而氨分子何以恰於同一點停止分解，亦難解釋。

設捨棄化學作用停止之觀念，而想像氨之生成與分解，同時均在進行，惟兩方反應之進行速率相等，則此迷離之狀況，可得充分完滿之解釋矣。此種事態，稱爲運動平衡[1]。就反應分子之立場而言，則誠非靜止之狀態也。此中混合物（稱爲平衡混合物）之組成，恆定不變，蓋吾人祇察及分子之總數，而不及各個之分子，各個之分子，固不絕在互相化合成氨而又分裂也。

273. 觸媒之效應——氮與氫共置一處，於500°時不生

[1] kinetic equilibrium.

成氨，氨亦可於同溫度時保存而不起分解。然此二者均屬準穩定[1]狀態（不均衡）。設加入適當之觸媒，則不久即有一小部分之元素起化合；如先爲氨，則除一小部分外，盡行分解。觸媒能加速此兩反應之速度，如無存在，則將遲緩至不易覺察。經少時後，即達一均衡之事態（平衡）。觸媒者，所以減少反應混合物到達平衡所需之時間，而不變更平衡混合物之組成。

274. 溫度之效應——平衡混合物之組成，往往隨溫度變遷而不同。就氨而言，溫度愈低，產量愈多。在他種之反應，有適爲相反者。觀於溫度對於氨平衡之效應既若是，則將生疑問：何以作用起於 500° 之高溫度？關於此點，苟記及平衡狀態非瞬息可達，而需經相當之時間者，則不難解答之矣。氨之生成及分解，均以可量計之速度進行。此項速率全視物質之濃度、溫度、及觸媒之有無而定。如有某種觸媒存在，則溫度愈高，平衡之到達愈速。設有製造氨者，欲產生最高量之氨，待之一年，所獲總量雖多至全量之 80%，卒不能使作用抵於完成。於是用最佳之觸媒及高溫度，以加速其作用。彼固志在用儘量低下之溫度，而亦得進行迅速之作用。理想之觸媒，當使於室溫時，或竟於液體氨（NH_3）之沸點時，作用進行迅速。其奈無此種之觸媒何！今所有最佳之觸媒，須於約 500° 或以上，始得

[1] metastable.

迅速之反應。在目前，化學家於此必亦滿意矣。

275. 影響反應速率之因素——溫度昇高對於化學作用之速度之一般效應，上文已舉一要例。其效應每甚大，由此可知實驗室內所以每將物質加熱，以促反應之進行矣。尋常每昇高10°C.，約可使反應之速度增速一倍。

[例] 柯達顯影箱上之說明書，謂溶液如爲 70°F.，則使照相藥膜顯影所需之時間爲 15 分鐘，如爲 65°F.，則需 20 分鐘，60°F.，則需 25 分鐘，55°F.，則需 30 分鐘。此卽謂昇高顯影藥之溫度 15°F.（或 8.3°C.），使作用加速一倍。

增加化學作用速率之又一法，卽爲於某定體積中增多反應物質之一之量。例如前見（§ 30）木炭及他種物料，於純氧中燃燒，較速於空氣中（空氣乃氧之爲氮所沖淡者）。輪船內每將煤於強力通風下燃燒，俾氧之供給加速；是卽隨時增加有效之量也。一物質於某體積中之量，稱爲濃度。因此可謂化學作用之遲速，視反應物質之濃度而定。濃度增加，卽速率亦加增。

276. 分子濃度定律——在實用的化學工作上，往往需求反應之能向一方繼續進行，直至所得產物之量無可再多而止。有時在可逆反應，如增加反應物質之濃度，或減低產物之濃度，亦能獲此結果。關於平衡混合物內，諸物質濃度之關係之一種算學的記述，稱爲質量作用定律[1]。此項重要原理之詳細討論，固非讀本書者之學習範圍內事，惟其一二應用之例，則不妨略

[1] law of mass action.

述之。

設煮沸氫氧化銨溶液（§ 266），則氨氣逸出，而另有一部分氫氧化銨分解成水及氨。最後，所有氫氧化銨盡變成水及氨氣，後者自溶液中沸去。於碳酸溶液亦然。質量作用定律，有時稱爲分子濃度定律[1]，其他種之例，已見第十三章論離子反應中。

第二十章 提要

氨(NH_3)爲無色之氣體，具刺戟臭，重量約及空氣之半，非常易溶於水中。在常溫時易使液化。

自然界中之氨由動植物質之腐爛而生成。實驗室內則常由加熱氨水或加熱氯化銨與氫氧化鈣之混合物而製得。工業上由蒸餾煤以製氨，爲一種副產物，亦由哈柏法合成之，其中氮與氫直接起化合。

化學作爲： 氨能還元氧化銅成銅，生水及氮；氨與熱鎂反應，生成氮化鎂及氫；氨與氯化氫化合，卽生成氯化銨。

氨於水溶液中爲鹽基性，而含有氫氧化銨之 NH_4 及 OH 根。

銨鹽由氫氧化銨爲酸類中和而製成。

氨之用途： 供冷凍之用，作爲一種清淨劑（水溶液），亦爲銨化合物之原料，又用以製硝酸。

[1] law of molecular concentration.

氮之固定，意卽採取空氣中之遊離氮，以製造氮化合物之方法。

可逆反應臻於平衡之情況時，其中兩相反之反應，以同速率進行，而混合物之百分組成則恆定不變。

觸媒能減少反應混合物到達平衡所需之時間。

溫度昇高足以增加化學反應之速度。增加反應物質之濃度，亦足以加增反應之速率。

分子濃度定律謂增加反應物質之一之濃度，或減低產物之一之濃度，則反應可向指定方向更近於完全。

問　題

1. 試詳述實驗室製氨之方法（兩方法）。作其方程式。
2. 試詳述工業上製氨之觸媒法。
3. 工業上化學工事中何以常用觸媒？
4. 氨與銨之區別若何？
5. 製乾燥氨之法若何？
6. 乾燥之氨對於石蕊試紙之作用當若何？何故？
7. 加水於氮化鎂(Mg_3N_2)時，卽覺有氨之刺激臭。試作其方程式。
8. 試將氨之集取方式與前章所見氯化氫之集取方式比較之。
9. 對於氨所作之噴水實驗，可表示氣體之何種性質？
10. 試詳述新式製冰機之主要部分。
11. 家用電冰箱（冷凍器）與工業冷凍設備之比較若何？
12. 冷凍機內之氨何以不用氮代之？
13. 如何可證明氫氧化銨爲一種鹽基？
14. 一種鹽類中有銨根存在，將若何檢驗之？

15. 試說明下列反應在何種情況下爲可逆:

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4OH$$

16. 可逆反應,其意云何? 試就本章,舉述四例。

17. 如將濃氫氧化銨之瓶塞接近濃鹽酸之瓶塞,則生白"煙"。試解釋之

18. 試將氫氧化銨爲下列各酸中和之作用分別作離子方程式: (a)硫酸 (b)硝酸; (c)鹽酸。

19. 如何可實驗的證明: (a)氨中含有氮; (b)氨中含有氫?

20. 如稱氨之水溶液爲"含水氨"或"液體氨",何以不當?

* * *

21. 家用氨(NH_4OH)有時稱爲揮發鹼。何故?

22. 液體氨何以異於氨水?

23. 液體氨是否爲鹽基? 液體氯化氫是否爲酸?

24. 氨如何應用於人造冰之製造?

25. 試舉用於冷凍設備除氨外之數種物質之名。此等物質均有何種共通之性質?

26. 施熱於(a)氫氧化銨; (b)亞硝酸銨; (c)氯化銨; 各起何種效應?

27. 氮之固定何以爲若是重要之化學工事?

28. 何謂運動平衡?

29. 試述分子濃度定律,並說明其應用於哈柏法中,何以使此方法更爲著效而告大成?

30. 指述關於哈柏法中之下列事項: (a)所用藥劑; (b)應保持之溫度; ( )所用壓力; (d)觸媒; (e)產量百分數。改良哈柏法中有何種變更?

進究題材

無冰冷凍——如能參觀冷藏間或人造冰廠最佳。此項冷藏法中所需主要之耗費爲何? 試審察家用冷凍器。用溫度計量家用冷凍器之溫度。冷藏設備內之溫度爲若何? 冰淇淋冷凍器中之溫度爲何? 無冰冷凍器之作用,依據何項原理? (Cressy's *Discoveries and Inventions, Chemistry in Industry*, Vol. 2).

第二十一章

硝酸及氮之固定

硝石——硝酸，製取及性質——氧化劑——王水——與金屬作用——硝酸鹽——NO_3 根之檢驗——用途。

氮之氧化物——一氧化氮——二氧化氮——氧化二氮。

氮之固定——直接氨法，氰氨基化鈣法——炸藥——自然界中氮之循環——氮化合物作肥料。

277. 氮之固定問題——硝酸及硝酸鹽，對於吾人近代之生活，彌切重要，蓋均屬炸藥及肥料製造上之必需品也。硝酸及硝酸鹽之主要來源，向仰給於智利之硝酸鈉礦。此項供給，不僅日趨罄竭，且當發生戰爭等障礙，隨時有與他國阻絕之虞。然大氣中，含有鉅量之氮，今已可取以合成硝酸及其衍生物矣[1]。事實上於此方面具有成效之工業方法，已有多種；統稱爲氮之固定法。第二十章中曾述氨法，本章將論及應用於工業上之他一方法。

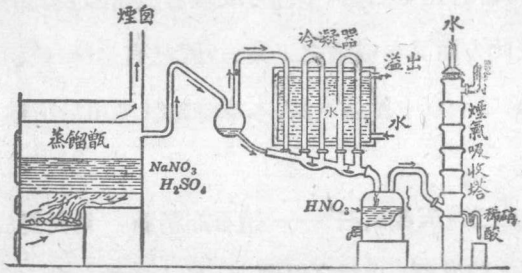
278. 二種天產硝石[2]——硝石亦稱硝，[3] 爲火藥成分之一，又爲肉類之防腐劑，皮貨之保藏劑，殆人盡知之矣。此物以前

[1] derivative. [2] saltpeter. [3] niter.

採自亞洲數處乾旱區域，其地動物質之分解產物，與苛性鉀反應，生成硝酸鉀（KNO_3）。另一同樣之化合物，稱爲智利硝石，則成爲大礦牀產於智利及祕魯。此種天產粗智利硝石[1]，含硝酸鈉 17—50%。

遠在九世紀時，已知如何自硝石製取硝酸（HNO_3）。當時所用之方法，與今日相仿，而稱其酸爲"強水[2]"，取其化學活潑性強大之意也。

279. 硝酸之製造 —— 硝酸一般之製法，與製鹽酸之法極相似；卽由濃硫酸與一種硝酸鹽作用。硝酸鈉爲產量最富價值最廉之硝酸鹽，取以與濃硫酸共置於蒸餾甑中而加熱之。在實驗室內，用連有側管之玻璃曲頸甑爲之，惟工業上製硝酸，則用鐵甑（第 169 圖）。硝酸較硫酸遠易揮發。故被蒸餾出，而



第 169 圖　工業製硝酸法之圖解

[1] caliche.　[2] "aqua fortis" (strong water).

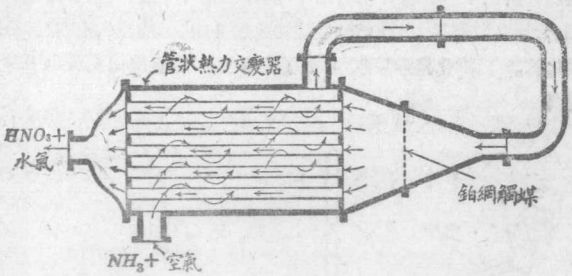
令其冷凝於適當之器具中。甑內所留存之物質，爲酸性硫酸鈉：

$$NaNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HNO_3 \uparrow$$

較近硝酸有多量係自氨起氧化而製成。此法爲德化學家屋斯特伐特[1]所告成。法將氨與空氣之混合物和以鉑等觸媒共熱：

$$NH_3 + 2O_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O$$

其作用進行於較低之溫度，故需能甚徵(第 170 圖)。其中之氨尋常均爲合成品(§ 270)，所生成之硝酸，使成爲硝酸鹽(§ 284)。



第 170 圖　屋斯特伐特氧化氨法圖解

280. 物理性及化學性 —— 純粹之硝酸爲無色液體，沸點 86°C.。露於濕空氣中卽發濃煙。可以任何比例與水相混和；商品之濃酸，含酸約 68%，其餘爲水。如此之混合物，密度爲每毛立 1.4 克，沸點 120°C.。硝酸腐蝕性甚強，皮膚上沾着數滴，卽致劇烈灼痛。硝酸易於水中起離解，成 H^+ 及 NO_3^- 離子。

[1] Wilhelm Ostwald.

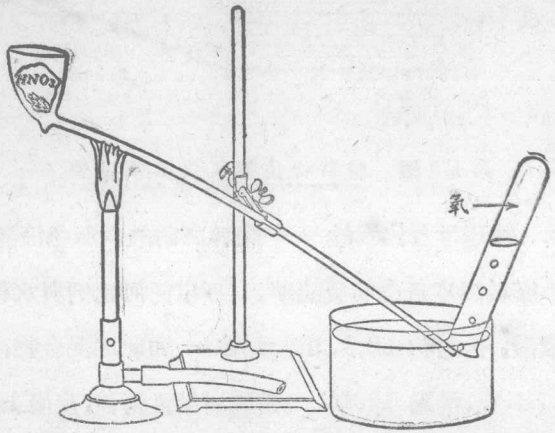
爲三種普通強酸之一。 稀酸亦能令織物及皮膚轉成黃色。

硝酸甚易分解爲水，二氧化氮（NO_2）及氧。 祇須將酸露於日光下較久，卽起此分解。 實驗室之硝酸常帶黃綠色，卽以此故。 當酸受強熱時，分解甚速：

$$4HNO_3 \rightarrow 2H_2O + 4NO_2 + O_2$$

二氧化氮爲紅棕色之氣體，可溶於水中。 如溶於硝酸中，卽令酸呈黃色。 此項氧化物如有多量溶於酸中，卽得所謂發煙硝酸。

硝酸之分解由下列實驗可以明之： 取泥製煙斗一具，將其管莖浸於水下，如第 171 圖。 待莖紅熱後，以濃硝酸數滴注入煙斗中。 酸流入莖內，卽分解成水、氧、及二氧化氮。 二氧化氮溶於水中，故僅集得氧。 當氣泡初見於水中時，可見其紅棕色，是爲二氧化氮之特徵。



第 171 圖 硝酸由加熱而分解

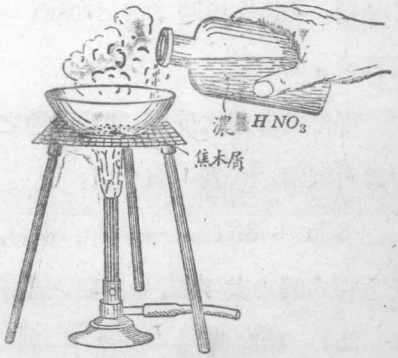
281. 氧化作用 —— 硝酸既易分解而放出氧，當爲一種良

好之氧化劑。通常稀硝酸呈氧化劑作用時之分解作用，其方程式如下：

$$2HNO_3 \rightarrow H_2O + 2NO + 3[O]$$

此處將氧之符號加以括弧，以示所生之氧，當爲他種物質所吸取，而不自遊離。

硝酸之氧化作用，可由下列實驗說明之：取少量之木屑，緩熱之，而注二三滴之濃硝酸於焦屑上。此實驗於坩堝或瓷皿中行之最佳（第 172 圖）。焦屑當立即着火，蓋炭屑自硝酸中取得氧而供其燃燒也。



第 172 圖　碳爲硝酸所氧化

282. 王水——硝酸能令鹽酸氧化成水及遊離氯：

$$HNO_3 + 3HCl \rightarrow 2H_2O + NO + 3[Cl]$$

以此之故，一分硝酸與三分鹽酸之混合物，能徐徐放出氯，所生之氯，當遊離之瞬間甚爲活潑。此二酸類之混合物，稱爲王水[1]，能溶解金及鉑。元素自化合物遊離之瞬間，稱爲入於初生態[2]。元素在此狀態時，多較平常遊離狀態時爲活潑。今以方括弧記於符號上，以表初生態。初生元素之分子情況，尚未得而知，姑記作單原子式。

[1] aqua regia.　[2] nascent state.

283. 與金屬作用 —— 硝酸之作用於金屬，與大多數酸類之作用不同。雖用稀硝酸，亦幾絕不生遊離氫。考其原因，卽爲初時或有生成之氫，當立爲硝酸所氧化成水，而一方酸則被還元成氮之氧化物。其反應之確切產物，視酸之濃度，所用金屬之種類，及起反應時之情況而定。有時氮之氧化物，可爲初生氫再還元而成氨。

可作爲準則之反應，卽爲較稀之硝酸作用於銅。此時之產物爲硝酸銅、水、及一氧化氮：

$$3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO \uparrow + 4H_2O$$

此方程式難求其平衡，能熟記之最佳。

284. 硝酸鹽——硝酸乃一種一鹽基酸，被鹽基中和時，生成鹽類，稱爲硝酸鹽：

$$NaOH + HNO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O$$

硝酸旣能溶解金及鉑以外之一切金屬，又能溶解許多金屬氧化物，如氧化銅等，生成相當之硝酸鹽及水：

$$CuO + 2HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + H_2O$$

凡遇酸卽生揮發性產物之鹽類，如碳酸鹽等，均能與硝酸作用：

$$CaCO_3 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + H_2O + CO_2 \uparrow$$

硝酸鹽不能由沈澱法製成，以一切金屬之硝酸鹽，均可溶於水也。故凡欲得含某種金屬之鹽類之水溶液，往往卽用其硝酸鹽。

硝酸鹽大抵均爲不穩定之化合物。硝酸鹽加熱時，一般分解成金屬氧化物，二氧化氮及氧：

$$2Cu(NO_3)_2 \rightarrow 2CuO + 4NO_2 + O_2$$

惟在硝酸鈉及硝酸鉀，則其產物爲氧及一種亞硝酸鹽：

$$2NaNO_3 \rightarrow 2NaNO_2 + O_2$$

硝酸鹽之檢驗——凡屬硝酸鹽，加濃硫酸而後再與銅共熱，即易認知。所生成之硝酸與銅作用，即呈現棕色蒸氣。微量之 NO_3 根，則可以下法檢知之：加硫酸亞鐵($FeSO_4$)之溶液於試料溶液中。而後徐徐傾入濃硫酸，使於混合溶液之下，自成一層。恰於較重之硫酸面上，如見有暗棕色之環（第 173 圖），即示有 NO_3 根存在也。此暗棕色之化合物之組成，尚未確知，惟或係由於 $Fe(NO)^{++}$ 離子。然此項試驗，至爲銳敏，操作上須有相當之熟練。

第 173 圖　檢驗溶液中之硝酸鹽

285. 重要用途——硝酸用於製造許多有機化合物之用作炸藥及染料製造之中間物者，爲量至鉅。硝酸亦用作清淨劑及溶解某數種金屬。如照相底片製造中之銀。硝酸鹽則以用作肥料，佔極大部分（參見附錄工業一覽表）。

問　題

1. 智利硝石何以若是之可貴？
2. 美國於固定氮（氮化合物）方面何以能不再仰他國之鼻息？
3. 實驗室內製取硝酸時何以必需加熱，而製取二氧化碳時則否？
4. 試舉述硝酸之三種重要性質。

5. 試將硝酸之重要用途列成一表。

6. 何種酸類爲金屬之最佳溶劑？何故？

7. 試舉三種溶於硝酸而不溶於鹽酸之金屬。

8. 何謂王水？

9. 硝酸之鹽類稱爲何物？

10. 硝酸鹽之較重要化學性爲何？

11. 硝酸鹽之溶解度之通則若何？

12. 試作由氨之觸媒氧化產生硝酸之方程式。

13. 試詳述硝酸鹽之棕色環檢驗法（硝酸根離子檢驗法）。

14. 由氨與空氣之混合物，如何可取得硝酸？

15. 將鋅加於硝酸，何以不放出氫？

* * *

16. 硝酸鈉雖易溶於水，然在智利西部存有廣大之礦層。試解釋之。

17. 製硝酸時何以用硝酸鈉而不用硝酸鉀？

18. 濃硝酸中約含水 30%，濃硫酸中約含水 6%。試解釋硝酸中含水何以若是之多。

19. 今有某定量之銅溶於硝酸中。其成爲稀溶液當較其成爲濃溶液需硝酸之量爲多抑爲少？試解釋其緣故。銅與濃硝酸反應之方程式可作如：$Cu + 4\ O_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$。兩方面生成之硝酸銅之重量比較當若何？欲自反應終了之溶液中將硝酸銅成純粹結晶體收回，當用何法？

20. 實驗室藥架內置放較久之濃硝酸作黃色，將如何解釋之？

21. 何以王水能溶金及鉑，而濃鹽酸或濃硝酸則均不能？

22. 試解釋金或鉑溶於王水中，即生成氯化物。

23. 試作當下列硝酸鹽加熱時所生變化之化學方程式：(*a*) $Ca(NO_3)_2$；(*b*) $Cu(NO_3)_2$；(*c*) KNO_3；(*d*) NH_4NO_3；(*e*) HNO_3。

氮之氧化物

286. 氮之氧化物——氮之氧化物已知者有五種；其中僅三種爲重要者。即氧化二氮（N_2O）、一氧化氮（NO）、及二氧化

氮(NO_2)是也。餘如三氧化二氮(N_2O_3)及五氧化二氮(N_2O_5)均爲不穩定之物質，無甚重要。

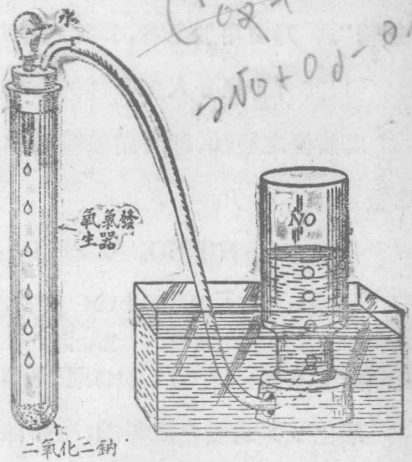
287. 一氧化氮(NO)——一氧化氮之製取，以藉稀硝酸作用於銅爲最易。此項反應之方程式，已見於前(§283)。其裝置與發生氫時所用者相同。此氣體無色，幾不溶於水。

一氧化氮最重要之性質，即其雖於常温時亦能與氧化合，生成紅棕色之氣體，二氧化氮(NO_2)：

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

288. 二氧化氮(NO_2)——當一氧化氮與氧接觸，則生成上氣體，頃已述之，此氣具極不快之臭，吸入肺中有毒。

可依上述製成一氧化氮，於水面上盛滿一試管，於是將氧通入(第174圖)，此氧由滴水於過氧化鈉(Na_2O_2)即易取得。當每個氧之氣泡進入管內，即與一氧化氮化合成紅棕色之二氧化氮。惟其色不久即褪，而水升入管內，蓋此時二氧化氮與水起反應也。



第174圖　一氧化氮與氧相混和

二氧化氮具一有興趣之性質，即與水之作用是，作用後生成硝酸及一氧化氮：

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

二氧化氮冷卻時即變爲淡黃色；其密度成二倍之大。此較淺色之氣體，分子式爲 N_2O_4，稱爲四氧化二氮。在常温時該氣體爲二者之混合物；故以可逆方程式表其關係：

$$\underset{\text{(紅棕色)}}{2NO_2} \underset{\text{高溫}}{\overset{\text{低溫}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{(幾無色)}}{N_2O_4}$$

此乃化學反應之平衡情況隨温度而異之一著例也（§ 274）。於各温度時，此二種氧化物間之比率均有一定。

前於鉛室法製硫酸中已見二氧化氮宛如氧之輸運者(§199)。

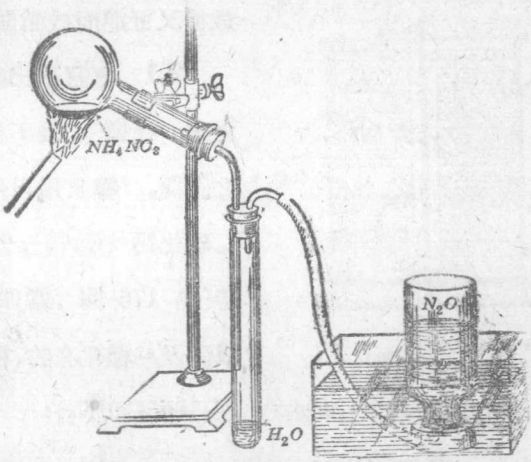
289. 氧化二氮 (N_2O)——氧化二氮爲牙醫用作麻醉劑之"氣體"。乃使用於患者，令其一時失去痛楚感覺者之第一種氣體。以其有時足令人生一種神經病，故有名之曰"笑氣"者。

其簡便之製法，即將硝酸銨加熱。硝酸銨分解成水及氧化二氮：

$$NH_4NO_3 \rightarrow 2H_2O + N_2O \uparrow$$

其裝置如第 175 圖。熱力須小心調節，否則或起爆發。先令硝酸鹽熔融，而後當其起分解時使起沸騰。其產物之一爲水汽，當凝集於集氣瓶中；他一產物爲氧化二氮，於温水上集取之，此氣於温水內僅微起溶解。

氧化二氮爲無色之氣體，略帶甜味。能助燃燒，幾與氧同。惟不能若氧之與一氧化氮化合而生成棕色二氧化物。此氣不助



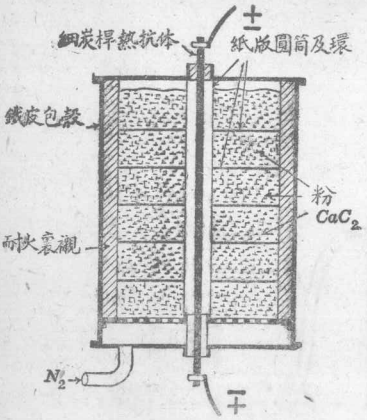
第 175 圖　實驗室內製氧化二氮

硫之燃燒，除非燃燒劇烈時。氧化二氮易於液化，商品卽以此液化體裝於鋼筒中而發售。當較小之手術上使用時，則每令與空氣相混，以免完全杜絕患者所需之氧。

氮之固定[1]

290. 直接氨法——此爲今日最重要之方法　自元素直接合成氨，前旣述之(§ 270)。此項氨可變成銨鹽，而用作肥料，或變成脲素 ($CO(NH_2)_2$)，脲素亦屬可貴之特種肥料。合成氨可

[1] 本章此部分在化學課程較短之學校可以從略。



第 176 圖 製氰氨基化鈣爐之圖解

氧化成硝酸（§ 279），故此法最後又可進而成硝酸鹽。

291. 氰氨基化鈣法——更有一種氨法，惟不如上述者之直捷。尋常用以生乙炔之二碳化鈣（CaC_2），與氮共熱時（第 176 圖），當即化合，生成碳及一種化合物，稱曰氰氨基化鈣（$CaCN_2$）：

$$CaC_2 + N_2 \rightarrow CaCN_2 + C$$

二碳化鈣　　氰氨基化鈣

此化合物（$CaCN_2$）於壓力下以水蒸氣處理之，即起分解，生成碳酸鈣及氨：

$$CaCN_2 + 3H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2NH_3 \uparrow$$

292. 炸藥，舊式及新式——爆炸乃一種極急速之化學作用，其間自所謂炸藥[1]之液體或固體物料產生大體積之熱氣體。作用愈速，其所生氣體之量愈大，爆炸亦愈烈。舊式之黑火藥[2]，爲炭屑，硫及硝酸鉀之混合物。引火點之，即驟然焚燒而放出大體積之氣體。設其作用起於定限之空間，例如鎗膛內，即生

[1] explosive.　[2] black powder.

強大之膨脹力。

新式之炸藥，係含氮及氧之碳化合物。由硝酸作用於多種不同之物質而生成。此等炸藥均具有一種性質，即一經燃點，或有他一種炸藥在極近之處爆發時立起分解。後一種之作用，稱爲爆炸[1]。當其分解時，即產生巨大體積之高温氣體。此項氣體施有可驚之壓力，由此壓力遂行吾人所求於炸藥之功作。

各種大小口徑之鎗礮所用無煙火藥[2]，其基底亦爲一種炸藥，乃由硝酸作用於棉花而製成。棉花爲碳、氫、氧之化合物，稱爲纖維素，而硝酸之作用，即令其變成一種所謂硝酸纖維素[3]之物質。硝酸纖維素，藉某數種溶劑而轉變成漿狀質。再壓成短棒形或條形而乾燥之。在礮管內當用引火藥[4]點引時，即行焚燒，其所生氣體，將子彈衝射而出。三硝基甲苯[5]（T. N. T.）及苦酸[6]（或稱炸藥酸），乃用於猛烈炸彈、開礦鑿山、及水雷地雷等之炸藥；分別由硝酸作用於甲苯[7]及石炭酸[8]而製成。甲苯及石炭酸，均自煤焦油製成。三硝基甲苯（T. N. T.）及苦酸須藉一種較易感應之炸藥（雷管[9]）於其中先行爆發，而後始能炸裂。炸時突然，且極猛烈，致釀成重大破壞。強猛之炸藥，爆炸之速，幾逾黑火藥百倍。

[1] detonation. [2] smokeless powder. [3] nitrocellulose. [4] primary charge. [5] trinitrotoluene. [6] picric acid. [7] toluene. [8] carbolic acid. [9] detonator.

硝酸甘油[1] 亦稱硝化甘油，由硝酸與甘油($C_3H_5(OH)_3$)作用而製成。爲一種極易感應之炸藥，故鮮有單獨用之者。以此硝化甘油浸含於木屑或他種多孔性物中，而與硝酸鈉相混和，卽成**大力炸藥**[2]。大力炸藥過於猛烈，且過於靈敏，不適用於鎗礮或子彈。用以供轟炸，或於土地內開鑿大洞，及戰爭及平時之破壞事業。近時農業上，凡炸毀樹根（第 177 圖），或崩裂巨石，轟掘溝瀆，以及開掘植樹之泥穴等，使用炸藥至廣。新式之無煙火藥，常兼含有硝酸纖維素及硝化甘油。

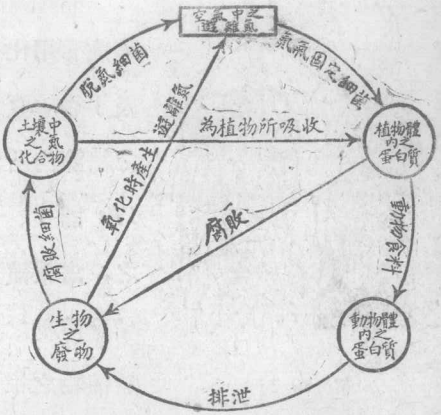
近代之戰爭，全憑各種炸藥使用之出奇制勝，而各種炸藥又

第 177 圖　準備炸毀樹樁

[1] nitroglycerine.　[2] dynamite.

恃乎硝酸以製造之。交戰國之智利硝石來源，一旦爲人封鎖，則非力求他種產生硝酸之方法不可，否則非屯貯鉅量之硝石不可。當上次歐戰時，德國之所以能繼續持戰如是之久長，卽以該國之化學家，告成其自空氣產生硝酸之方法故也。

293. 自然界中氮之循環——氮化合物爲一切活的動植物之主要部分。氮化合物之天產者，稱爲蛋白質；爲碳、氮、氧、氫所組成。植物能自水、二氧化碳及泥土所存之無機硝酸鹽以構成蛋白質。動物體內之蛋白質，完全自其所食之植物或他種動物取得。動植生體之排泄物內，卽含有原來蛋白質中之氮，化合成多種不同之化合物。此項化合物易爲泥土中之細菌所作用，而變爲銨化合物。銨化合物又爲他種細菌氧化成硝酸鹽，可爲植物所吸取（第178圖）。如是氮於動植生體及泥土三界中成天然之循環矣。

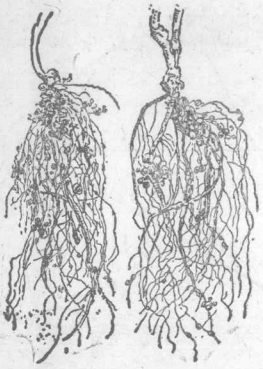


第178圖　氮之循環

294. 氮化合物之作爲肥料——惜有二事足以破壞此項循環。第一、有數種細菌足令泥土中之硝酸鹽一部

分變成遊離氮，因而損失。第二、由於近代文明之進步，凡動植生體之排泄物，已不復容其回入泥土中。大部傾棄於河海，長此歸之無用。以此之故，泥土須不絕添入某種能爲植物所取用之含氮質。如有生物體之排泄物可用，如人糞等，則固最佳之肥料也；惟此項供給，爲量至有限。

化學家所製成之人造肥料，含有銨化合物及硝酸鹽。由氮直接氧化而生成之硝酸，大部分即使變成硝酸鈣，逕作肥料之用。有數區域可直接用氰氨基化鈣爲氮肥料。由此製成之氨，或由直接合成法製成者，均可成爲銨鹽而用之；或可令其氧化成硝酸，而成爲硝酸鹽以用之。此項自大氣中獲取植物所需之有效氮，乃近年經濟上日趨重要之問題也。



第 179 圖

根瘤內含有固定氮之細菌

植物有本身具有使空氣中之氮變成有用化合物之能力者。若豌豆及丁香等豆科植物即然，皆由其根上之結節內所含之某種細菌爲之（第 179 圖）。今日此種細菌可以購致之，當栽植之前，將此細菌接種於豆類等植物之上。如此可保細菌生長於植物之根上，因而由植物本身直接產生一種氮肥料。

第二十一章　提要

硝酸之製造：(1)加熱濃硫酸及硝酸鈉；(2)令氨起觸媒氧化。硝酸爲無色之液體，常與水混合。商品濃酸含水 32%。

硝酸易起分解，生成氮之氧化物及氧。爲強有力之氧化劑。硝酸與鹽酸之混合物，是爲王水；能生初生態氯。

硝酸之異於多數酸類，即與金屬作用，所生遊離氫極少。其產物常爲氮之氧化物；有時或生成氨。

硝酸鹽之製造：由硝酸與下列各物作用：——

(1) 金屬，金及鉑除外；

(2) 氧化物及氫氧化物；

(3) 鹽類，生揮發性產物。

硝酸用以製炸藥、肥料、及染料。**硝酸鹽**中以鈉及鉀之硝酸鹽最爲重要。**亞硝酸鈉**由硝酸鈉加熱而成。

一氧化氮(NO)由稀硝酸與銅作用而製成。與氧接觸則生成二氧化氮 (NO_2)，爲紅棕色氣體，有毒，可溶於水。二氧化氮冷卻時，其分子加倍，變成四氧化二氮(N_2O_4)。

氧化二氮(N_2O)由硝酸銨加熱而製成。能助燃。能令人起麻醉。

氮之固定，意即自空氣中之遊離氮製造氮化合物之方法。

工業上固定氮之方法，有直接氨法及氰氨基化鈣法。

硝酸用於製造一切炸藥。無煙火藥爲硝酸纖維素，係製自棉花。礮彈、地雷等中之炸藥，爲三硝基甲苯(T. N. T.)或苦酸（一名炸藥酸）。大刀炸藥爲硝酸甘油吸收於多孔性物內，與硝酸鈉混和而成。

硝酸鹽爲植物生長之要素。氮於動物界、植物界、及土壤內適成一循環。此項循環爲數種原因所破壞。以此之故，土壤中常須施加硝酸鹽，以爲肥料。

問題

1. 試詳述氧化二氮之製取及性質。
2. 在實驗室內如何可區別氧及氧化二氮？
3. 當銅溶於稀硝酸中，當變成何物？放出何氣？銅之變成何物將如何說明之？
4. 氮之氧化物中何者爲最穩定？
5. 何以雷雨後空氣中存有微量之氮化合物？
6. 試述氮之氧化物所解明之定律。解釋之。
7. 何謂氮之固定？
8. 試舉固定大氣氮之二法[1]。本國氮氣廠用何法？
9. 丁香核植物何以能於其栽植之土壤內，給予肥料？
10. 炸藥中利用氮之何種性質？
11. 炸藥之爆發，其意云何？何種物質供作此用？

* * *

12. 氮之固定何以爲比較困難之方法？對於由氮產生炸藥一點有何關係？
13. 氮之固定爲近代吾人生活上之一重要問題。(a) 試舉由於此事而告成

[1] 譯者註：原書爲三法，但正文已將直接氧法刪去，故只存二法。

之二大化學工業。(b)此二項工業中產物之重要，各繫於氮之何項性質或何項用?

14. 試略述氮之固定之氰氨基化鈣法之各步驟，並就每一步驟記列方程式。

15. 炸藥之膨脹力由於何物?

16. 硝酸何以爲戰事時期之必需品?硝酸對於一國平時之發展上有何貢獻?

17. 藉何種化學檢驗法可以區別一氧化氮與氮化二氮?

18. 藉何種化學檢驗法可以區別一氧化氮與氮?

19. 醚之用作麻醉劑，勝於氧化二氮者何在?

20. 當年新英格蘭拓植時印第安人史廣度教歐洲墾殖民種植玉蜀黍，於每一黍籽堆下種時置入魚一尾。何故?

* * * *

21. 試就 NO 之式以計算一氧化氮之密度(每立克數)。

22. 今有一氧化氮一立，與空氣接觸而變成二氧化氮。問應需空氣若干立(近似值)?

23. 氰氨基化鈣及硫酸銨二者均用作肥料。試推算每種中氮之百分率。

24. 銅與稀硝酸作用，欲其發生一氧化氮 1.12 立(標準情況)，試推算應需銅重量若干。

進究題材

今日之氮氣固定工業——今日工業上所可採用固定氮之方法有幾?一般大規模所用者爲何法?自空氣製造氮化合物，何以爲國家重要事業?(Slosson's *Creative Chemistry*, Duncan's *Chemistry of Commerce*, *U. S. Dept. of Commerce Bulletin No. 52*—Utilization of Atmospheric Nitrogen, Findlay's *Chemistry in the Service of Mankind*, and *Chemistry in Agriculture*.)

炸藥——硝酸及硫酸何以認爲製造炸藥之第一要素?製造戰時炸藥尙須其他何種物質?工業炸藥尙須何種物質?無煙火藥，T. N. T.，雷酸汞，及大力炸藥各物之作用，有何區別?各物若何製成?採礦及農事上用何種炸藥?(Martin's *Modern Chemistry*, Tilden's *Chemical Discovery and Invention*, and *Chemistry in Industry*, Vol. 2.)

第十九章至第二十一章複習題

1. 下列各式之錯誤何在：(*a*)HeO_2；(*b*)A_2；(*c*)NO_3NH_4；(*d*)$(Ca)_2Cl$；(*e*)$Na_2(CO)_3$？ 試各改正重寫之。

2. 何謂氨水、強水、王水、清水？

3. 試舉影響反應速度之三因素。

4. 氫氧化銨何以觸之覺滑膩如肥皂？ 就離子化學說而言，何以家用氨有清淨劑之作用？

5. 試將氧化二氮之製法與化學純氮之製法比較之。 於各方法下記出所起各反應之方程式而注意其類似點。

6. 設硝酸、鹽酸及硫酸三瓶上之瓶簽脫落。 如何可以獲取事證，從而重貼瓶簽不誤？

7. 氮及氧對於人類經濟上均有二重關係：二者均屬既爲生命之保障者，又爲生命之毀滅者。 試解釋此一記述之意義爲何。（參閱 Slosson 著作。）

8. 試舉成爲壓縮體或液化體裝於鋼筒中發售之四種氣體。 每種對於工業上有何用途？ 何種氣體當製成液化體，何種僅成壓縮體？ 何故？

9. 極稀之硝酸作用於鋅而產生氨，如何可以實驗證明之？

10. 以空氣及水爲原料，利用電流及其他一切必需附屬品及器具，詳述並解釋最後可獲得硝酸銨之各步手續。

* * *

11. 試從元素氮、氫、硫、氧起，說明經何項步驟可製成硫酸銨。 列其方程式。

12. 硝酸鈉強熱時，餘剩何種固體產物？ 藉何種化學檢驗法，可以區別此項產物與原來之硝酸鹽？ 作其方程式。

13. 試舉二種爲強氧化劑之酸類。 將其(*a*)於稀溶液及(*b*)於濃溶液中之性質比較之。

14. 乾燥之氨對於石蕊質紙起何作用？ 尋常製成之氨如何可令其乾燥？ 可如許多氣體然，令通過氯化鈣或令其氣泡通過濃硫酸以乾燥之否？ 解釋之。 後二種物質之用於乾燥氣體，各係利用其何種特性？

15. (*a*)氨、氯、氯化氫何以用排空氣法集取而不於水上集取？ (*b*)用排空氣法集取氨，與氯及氯化氫所用之方法有何不同，且何故不同？ (*c*)試作一簡略之圖

解以解明後者二種情形。

16. 製硝酸鹽之一良法爲何？試就製硝酸鉀之方程式以解明之。

* * * *

17. 欲生氧化二氮 88 克，需加熱硝酸銨若干？

18. 硫酸銨爲可貴之肥料。欲測定一種白色固體之是否爲此物，當用何種檢驗法？其中含氮之百分率爲何？

19. 銅 384 克與過量之稀硝酸作用，當放出乾燥之一氧化氮若干體積（標準情況）？

20. 氯化銨 107 克與過量之氫氧化鈣起作用，當發生氨若干體積（標準情況）？

第二十二章

新週期律

元素之族類——性質與原子量——舊週期律及新週期律——原子序——週期分類法。原子序與原子價——金屬及非金屬——電子與原子——電子與原子價。

295. 元素之族類——吾人至此當見有若干元素，可按其化學性質之類似點而分爲各族類，至爲簡易。氟、氯、溴、碘，即成爲如此關係密切之一族（第二十三章）。同樣，鋰、鈉、鉀、銣、銫五元素（第二十四章）亦成一族，所謂鹼族金屬[1]。其他各族類亦若是。此種分列，對於各元素之化學的事項，確立系統，至爲便利，蓋藉此可對於同族之諸元素，作一共通之論述也。例如鹼金屬均能與水起反應，其氫氧化物均可溶而成強鹽基，其離子均爲一價，而普通酸類之鹼金屬鹽類，幾盡可溶於水中。

296 元素之性質與其原子量——今相類元素既有族類之存在，則關於各元素之化學性，可意料其亦有一種基本之定律在焉。俄國之化學家門得雷業夫[2]（第 180 圖）乃釋明元素若何可按照一定系統而排列之第一人。

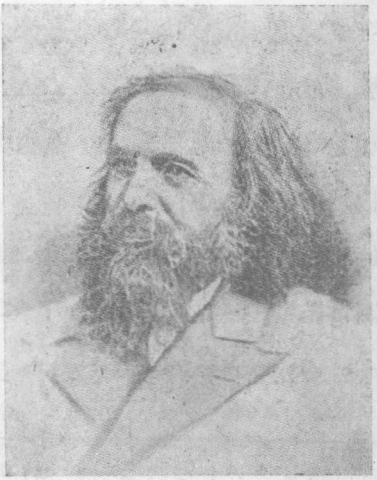
---

[1] alkali metals. [2] Dmitri Ivanovitch Mendelejeff.

設將所有元素，按其原子量之次序（除出氫）排列之，則當見第八及第十六元素，一爲氟一爲氯，二者彼此酷相類似。此項關係在前十六元素中，均易見之。設將其記列如下，則凡相類似之元素，均見於縱列各組；例如鋰與鈉即是。

He(4) Li(7) Gl(9) B(11) C(12) N(14) O(16) F(19)
Ne(20) Na(23) Mg(24) Al(27) Si(28) P(31) S(32) Cl(35.5)

在此順序中，每隔一定之間距，復見其相類似之元素，此其事實，可以元素之性質爲其原子量之週期函數[1]一語解釋之。



第 180 圖　門得雷業夫(1834–1907)俄國化學家，彼按照原子量而排列各元素。

297. 舊週期律[2]——上節所述，乃爲舊週期律，藉以將元素作一完善之分類，著有成效。各族之元素，如鹼金屬等，於此系統中，均獲有自然之位次。然於此舊週期律上，有一二種明顯之例外。例如，將元素切按其原子量而位置之，鉀(39.1)當繼於氬後，然後接氫(39.9)。如就上記之排列而觀之，則其順序必將鉀位於氖及氦之下，而氫位於鈉及鋰之下矣。氫之與

[1] periodic function.　[2] old periodic law.

氫，及鉀之與鈉，在化學方面之相若，自無可置疑。欲求其排列之合理，則鉀之原子量雖略大，勢非位於氫後不可。其他尚有二對之元素，亦有同樣之困難。有以爲此等不規則之元素，其原子量容有謬誤，第經一再實驗，又知其不然也。

298. 舊週期表之價值——門氏所定之週期律，雖有此種例外，然仍不失爲一極偉大之科學的通則。不特幾將一切已知之化學現象，盡歸納成一種有秩序之格局，且能促成門氏作數種大膽之豫言，而其後均經證實。當門氏設計該表時，因欲將性質相類之已知元素歸入同族，勢不得不餘留若干空位。彼卽認此種空位，當代表未發見之元素。且彼依據此種空位之位次，所能確切豫言者，不但此等元素之存在，並其物理性及化學性焉。其預言之經證實者有三例。下表舉述其一。門氏當時所稱之鎵[1]

鎵之性質	豫告者	測知者
原子量…… ……	約 69	69.0
熔點 ……	低	30.1°
比重……	約 5.9	5.93
空氣之作用……	無	紅熱時略起氧化
對於水之作用……	紅熱時分解	高溫時起分解

[1] eka.

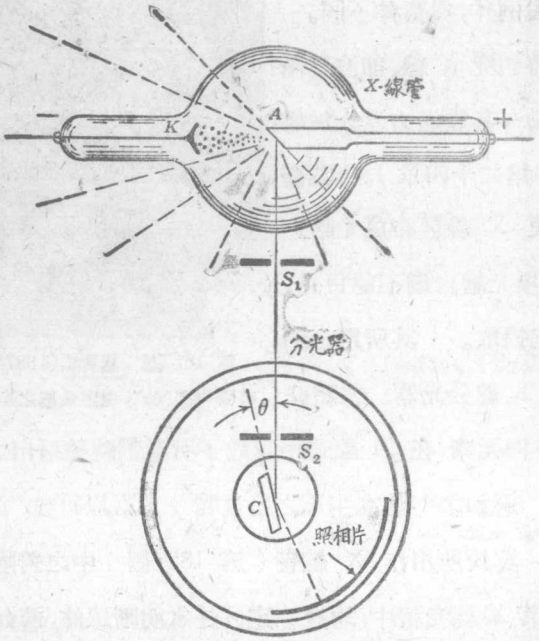
鋁，至發見後，稱爲鎵，其性質彼固亦曾有所豫告者也。歷史上科學的預言，可驚異者莫過於此矣。

299. 新週期律——英國青年莫斯雷[1]（第 181 圖）於 1912 年植立新週期律之基礎，此律無復例外，與舊律不同。莫氏當時研究 X 線，即波長極短之振動[2]，其透過力遠大於尋常之光（第二十四章）。彼發現一種使 X 線展布成光譜之方法，此項光譜自屬不能目見，然可照相攝取。其所用之儀器，稱爲 X 線分光器。彼藉此以研究各種元素，在 X 線管中爲電子所轟擊時發射出之 X 線之性狀。適如多年前本生氏之藉眞實分光器以研究"鈉焰"可見之光。莫氏所用作 X 線管（第 182 圖）中之對陰極之各種金屬，其 X 線光譜中，均有一定波長之明晰線條，適如自許多加熱元素之蒸氣所發可見之光，呈有一定之線也，見光譜表（第 199 圖）。X 線光譜中線條之數，視尋常可見之光譜中所見者

第 181 圖　莫斯雷(1887–1915)
英國物理學家，測定金屬之X線光譜。

[1]Henry Gwyn Jeffreys Moseley.　[2]vibration.

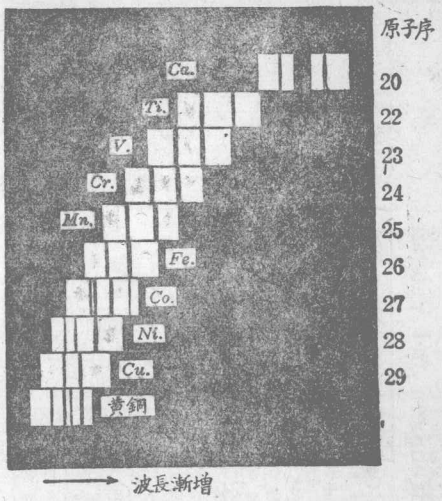
爲少。至此莫氏卽得一極重要之發見，當一元素代以其次原子量較大之元素時，則線條之波長，卽按序減短。如是可將元素依一種次序排列，使每種元素之光譜中之每對線條，自一元素輪至次一原子量較大之元素時，其波長漸減之進程，作連續而按序的變遷（第 183 圖）。



第 182 圖　X 線分光計之圖解。

查此種依據各元素之 X 線光譜之元素排列，與舊有依據原子量者之順序絕相似，惟今則所有各組不規則之元素，盡得其適

當之位次，而不復覺其顛倒矣。　此項元素之排列，適成爲元素之原子序[1]之順序。故可將舊律修改如下：元素之化學性，實爲其原子序之週期函數。　此說持論確當，與舊週期律之就原子量而言者不同矣。



第 183 圖　X 線光譜與原子序。

然元素非盡能適宜於作爲對陰極者，故就已知元素，仍見有若干實驗上之缺陷。　晚近 X 線分光照相[2]對於新元素之發見，貢獻甚大。　如最近發見之鉿[3]、鎝[4]、銲[5]、釷[6]、砹[7]、鈁[8]諸元素，最初即由其 X 線光譜之特殊線條（第 183 圖）而檢知，此種線條，恰具有豫言之波長。

300. 週期分類法——次頁之週期表，即元素以週期分類法排列，與門得雷業夫所訂定者相類，惟以莫斯雷定律爲根據。原子序數列於元素之前；原子量則列於元素之下。

---

[1]atomic number. [2]spectrograph. [3]hafnium. [4]masurium. [5]rhenium. [6]illinium. [7]alabamine. [8]virginium.

Periodic Table showing Atomic Numbers and Valences

Period	Group 0	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI	Group VII	Group VIII
0		1 H (1) 1.008							
I	2 He (0) 4.002	3 Li (1) 6.940	4 Be (2) 9.02	5 B (3) 10.82	6 C (4) 12.000	7 N (5) 14.008	8 O (6) 16.000	9 F (7) 19.00	
II	10 Ne (0) 20.18	11 Na (1) 22.997	12 Mg (2) 24.32	13 Al (3) 26.97	14 Si (4) 28.06	15 P (5) 31.02	16 S (6) 32.06	17 Cl (7) 35.457	
III	18 A (0) 39.944	19 K (1) 39.096	20 Ca (2) 40.08	21 *Sc* 45.10	22 *Ti* 47.90	23 *V* 50.95	24 *Cr* 52.01	25 *Mn* 54.93	26 *Fe* 55.84 27 *Co* 58.94 28 *Ni* 58.69
		29 *Cu* 63.57	30 *Zn* 65.38	31 *Ga* 69.72	32 *Ge* 72.60	33 As (5) 74.91	34 Se (6) 78.96	35 Br (7) 79.916	
IV	36 Kr (0) 83.7	37 Rb (1) 85.44	38 Sr (2) 87.63	39 *Y* 88.92	40 *Zr* 91.22	41 *Cb* 92.91	42 *Mo* 96.0	43 *Ma* ?	44 *Ru* 101.7 45 *Rh* 102.91 46 *Pd* 106.7
		47 *Ag* 107.880	48 *Cd* 112.41	49 *In* 114.76	50 *Sn* 118.70	51 Sb (5) 121.77	52 Te (6) 127.61	53 I (7) 126.92	
V	54 Xe (0) 131.3	55 Cs (1) 132.91	56 Ba (2) 137.36	57-71 Rare-Earths	72 *Hf* 178.6	73 *Ta* 181.4	74 *W* 184.0	75 *Re* 186.31	76 *Os* 191.5 77 *Ir* 193.1 78 *Pt* 195.23
		79 *Au* 197.2	80 *Hg* 200.61	81 *Tl** 204.39	82 *Pb** 207.22	83 Bi* 209.00	84 Po* 210.0(?)	85 ——	
VI	86 Rn (0) 222.	87——	88 Ra* (2) 225.97	89 Ac* 227(?)	90 Th* 232.12	91 Pa* 230(?)	92 U* 238.14		

原子序數列於各元素符號之前，原子量則列於元素之下。原子價電子之數記於括弧內。Po, Ac, Pa 之原子量爲計算標有 * 之各位次，示尙有其他許多元素，大部屬於放射性者，其化學性與表中所列之元素相同，惟原子量略異。

表中元素共分成縱列之九總團，第一列稱爲零團，末一列稱爲第八團。第三橫行起自氫而終於鐵鈷鎳三元素，此三元素位於第八團中。第四橫行無零團之元素，而顯與以前各行略異；其終末爲溴元素。此第三第四兩行合稱爲一長週期[1]；第一及第二行則各稱爲短週期[2]。又第五第六行及第七第八行亦均成長週期。於此可見長週期之正中均有三個元素，併列於第八團中；似若適可補入零團之空位中。長週期之中段，欄以粗線，其元素符號均印斜體。此諸元素各成爲每一總團之副團，其彼此間之關係視之該總團其他元素，更相切近。例如第一團中鹼金屬成爲一族，而銅銀金等又別成相類之一族。

301. 原子序數——此新順序中，設以氫定爲一，各元素位次之序數，稱爲元素之原子序數或簡稱原子序。前見(§166)元素之原子，含有一荷陽電之核，而有一個或多個荷陰電之電子圍繞之。將鐳放射出之α粒子作種種實驗後，可證明原子序數即所以計核上之陽電荷數，故亦即爲圍繞於核之電子之數。

是則以原子序作元素化學性之規範，較原子量爲可靠。元素之原子量乃種種同位元素之混合物之平均重量，而同位素容或爲數頗多(§564)。關於此點，本書末章中當舉述若干相當可靠之解釋。

[1]long period. [2]short period.

302. 表中所示之原子價——在週期表上所應注應最重要之一點，卽凡位於一團中之元素，其原子價盡相同。零團中之元素不起化合作用，其原子價可作爲零。

又當見任一週期內自左向右時，各元素之原子價按次有規則的增加（根據氧化物）。其規則至爲嚴準。設念及此等元素之分類，悉根據其按原子序數而於全順序中所占之位次者，則此種規則尤覺異常。學者於此宜將表中各普通元素之位次熟記之。

303. 非金屬之位次——在爲首兩週期（皆爲短週期）中，其第 VI 及 VII 兩團中之元素，均爲活潑之非金屬；第 I 及 II 兩團之元素，均爲極活潑之金屬。各長週期中，其正中之三個元素，位於第 VIII 團者，均爲頗不活潑之金屬；週期之起點爲活潑之金屬，而其終點爲一活潑之非金屬，如溴是。

304. 金屬之位次——極活潑之鹼金屬，均集於第 I 團內。其爲副團之金屬，屬於長週期之中段（銅、銀、金）者，其原子價在多種化合物中與鹼金屬相同，惟活潑則遠遜之，其氫氧化物亦均爲弱鹽基。凡原子價不止一種且生有色離子之元素，均位於各長週期之中部，例如鐵及銅；是亦頗足玩味。

大體可綜述如次：在週期系中，凡最活潑之金屬均位於第 I 團；最活潑之非金屬均位於第 VII 團。若干頗不活潑之金屬，

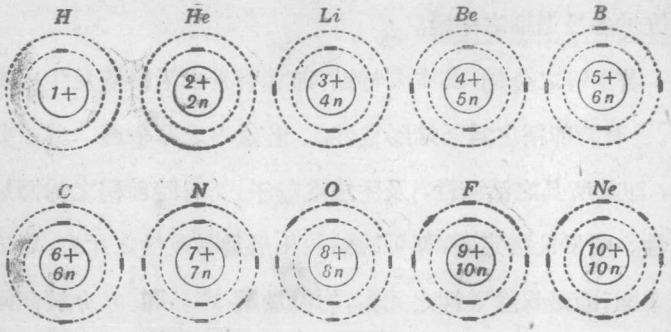
則位於各長週期之中段。

若鈉等之金屬，其主要特點，即其所具之活潑性及生成陽離子。有時即稱之爲極端陽電性。若氟等之非金屬，其主要特點，即其所具之活潑性，及生成陰離子。有時即稱之爲極端陰電性。明於此種定義，即可瞭然於凡最爲陽電性之元素，均位於第Ⅰ團，而最爲陰電性之元素，均位於第 VII 團。介於此兩極端之間，則代表此兩相反電性間許多逐步遞變之元素存焉。

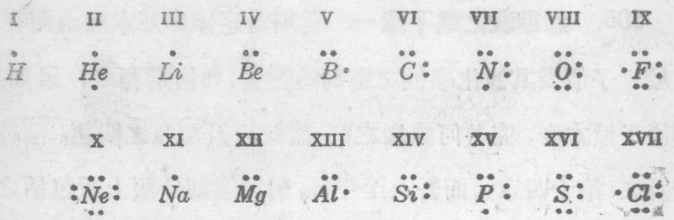
305. 週期表之電子圖——莫斯雷定律之基本理由何在？關於原子價及其他化學性之週期的變異，如何解釋之？果如是，則原子價本身，究若何圖像之？諸此以及類此之問題，前經討論及之（第十四章），而吾人至今日，對於週期分類上所包括之許多化學現象，已有若干可得頗屬完善之解釋。然可疑之點尚多，故現時之解釋，仍祇能視作一種待決之假說，而非科學的結論也。

306. 電子與原子價——爲首二十種元素之極性化合物，其原子價可由原子之電子圖而得圓滿之解釋。稀有氣體中電子之排列，則意其爲：氦中有二個電子在外層圈上，氖中於此二個電子一羣外，復圍有八個電子之一羣，氬則更有一八個電子之層圈。如此之電子排列，認爲極端穩定，稀有氣體之全缺活潑性，即以此解釋之（第 184 圖 A 及 B）。

爲首二十種中其餘各元素，均意其具有一個至七個之電子，



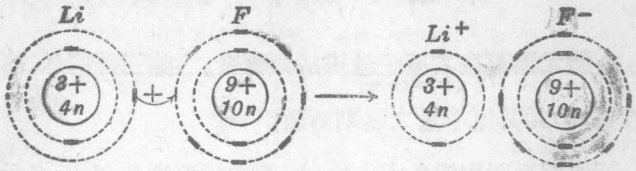
第 184 圖 A 爲首 10 元素之電子圖解。



第 184 圖 B 代表最外層圈中電子較簡便之圖解。符號表原子之剩餘部分。

其化學性（原子價等）卽大部基因於此。 此種原子價電子之數，見週期表中符號後之括弧內。 二種元素起化合作用時，設一元素讓渡電子與他元素，以湊足其八集體，則可得一穩定之排列，如稀有氣體然。 極性化合物生成時，大概卽發生此種現象。例如鋰以其孤零之一個電子讓與氟，氟有 7 個電子；氟原子卽湊成其八個之一羣，而成爲陰性之氟離子。 鋰則失其一個額外之電子，成爲荷陽電之鋰離子（第 185 圖）。在非極性化合物，當由原子結合而得分子，此時一對或多對之電子，爲分子中兩個

原子所共享。



第 185 圖　鋰與氟結合之電子圖解。

307. 電子與原子之性質——化學性之所以具週期性，其理由以此等關於原子結構之近代理論解釋之，頗見確切。由一元素至原子序較高之次一元素，其變遷爲核上之陽電荷增加一，而原子價電子之數亦增一。故如由氫至氟，卽自無外層圈電子之一元素，按序而達有七個外層圈電子之元素。其次變遷至氖，湊成外層圈電子總數八，乃穩定之集團，而又得一稀有氣體。自氖至氯之順序，亦同樣遞進。凡外層圈電子同數之元素，均列於同一團中，彼此上下其位，故其原子價亦相同。於此應特加注意者，卽爲首二十種元素中，諸金屬乃具有少數可以失去之原子價電子之元素。反之，非金屬則爲具有多數原子價電子之元素，再獲得電子以湊足八集體（第 184 圖 B）。

設一元素之原子，於外層圈上有四個電子，例如碳然，則其將失去四個電子或將獲得四個電子，以完成其外層圈，均屬可能。此種元素稱爲兩性的[1]。

[1] amphoteric

第二十二章 提要

全體元素可按其原子量排成如舊表。除三特例外，諸元素之性質，均爲其原子量之週期函數。

新週期系則依據各元素之 X 線光譜而排列者，而各元素之化學性質，爲其原子序數之週期函數。設以氫爲一，相當於各該元素在此新順序中之位次之數，稱爲該元素之原子序數。

新週期系將元素分爲九總團。凡在同一團中之元素，其原子價相同。最活潑之金屬元素均位於第 I 團中，最活潑之非金屬元素，位於第 VII 團中。

依電子說而言，原子含有一個微細之核，其周圍繞有電子。電子之陰電荷，適與核上之陽電荷相抵消。元素之原子序，數字上等於電子之數。金屬元素之原子價，乃其成爲陽離子時，所可失去之電子之數，而非金屬之原子價，卽爲完成其八集體所需電子之數。

問題

1. 試述化學利用週期系之三點。

2. 鈣、鍶、鋇屬於鹼土族。在何種化學作爲上，彼此相類似？試繪代表其原子結構之圖解，而視其何故相類似？

3. 試藉週期分類之第二週期，說明一週期內各元素之性質自左向右漸次變異之情形。

4. 何種自然變化，亦可稱爲週期的？

5. "週期函數"一語作何解?

6. 莫斯雷表中何三處其元素之排列較門得雷業夫表中爲自然?

7. 試略述舊週期律及新週期律。各係何時及爲何人所發見?

8. 試作原子序爲 20 之元素之原子結構圖解。該元素爲金屬抑非金屬?試預言其性質。

9. 鋰之準確原子量爲 6.940。其近似原子量爲何?其原子序爲 3。其(a)原子價爲何;(b)化學活潑性爲若何?爲金屬抑非金屬?

10. 有人稱金屬之原子爲債權者,非金屬之原子爲債務者。試解釋之。

*　　*　　*

11. 元素之原子序數之實驗根據爲何?

12. 試解釋 0 團(不活潑氣體)何以亦切合於週期系。

13. 藉電子說如何可證明鋰、鈉、鉀屬於同一化學的族類中?

14. 由新週期表,可預言鈉與氯及氧與氯當生成一穩定之化合物否?

15. 試舉氧與硫化學性彼此相似之點若干項。作原子結構圖解,藉此以解釋其相似之故。

16. 藉原子結構理論如何解釋同位素?

17. 週期表中尚有若干未甚確定之元素。此等元素應具有何種性質?

18. 某數種元素之原子量爲整數,其他則否,此事將如何解釋之?

19. 試述元素鉀(原子序 19,原子量 39)內質子、中子及電子之數目及地位。

20. 羅澤福特用 α 粒子轟擊氮而游離出荷陽電之氫粒子。試以此與鍊金術士之搜求作比較。

21. 氯及氫及鉀連續排列於週期表中。然一爲活潑之非金屬,其次爲完全不活潑之元素,末者爲強金屬性。試就電子說以解釋鉀與氯化合成氯化鉀時所起之變化。

第二十三章

鹵素族

鹵素族。溴——產地、製法、性質、及用途——氫溴酸——溴化物。碘——氫碘酸——碘化物。鹵素之互代。氟——氫氟酸。鹵素之互相比較。

308. 鹵素[1]——本族諸元素——氯、溴、碘及氟——在週期表上歸入一縱列中（第346頁）。四者均能與金屬直接結合，生成鹽類，所謂**鹵化物**[2]是也。故總稱爲**鹵素**，卽"鹽之生產者"之義。

氯元素及其化合物鹽酸與食鹽等前已論及（第十一章）。一種含氯及氧之酸，所謂次氯酸（HClO），及其鹽類，卽次氯酸鹽，亦已見前述。茲略述本族其他三元素——卽氟、溴、碘；此三元素，與氯相似之點甚多。此族元素之特點，在各物皆爲一價之非金屬元素。就其原子僅再需一個電子以完成其外層圈（八集體）卽可知之。均能生成一價之陰離子，卽所謂氯離子、氟離子、溴離子、碘離子也。諸此離子皆由相當之酸而來，而酸則爲每分子含氫一原子及各該非金屬一原子之氣態化合物之水溶液也。

---

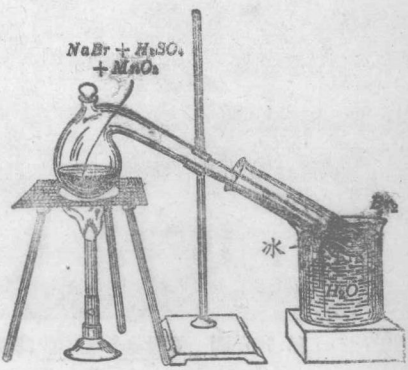
[1] halogens. [2] halide.

溴

溴產於數處食鹽礦床中，成爲鈉及鎂之溴化物。此溴化物可由結晶法提取，以與氯化物相分離。或則可將溴直接析出，而後使變爲任何所需之溴化合物。

309. 溴之製法——溴可由與製氯極相似之方法製取之；即或則由電解溴化鈉之溶液，或則由氫溴酸之氧化。設將溴化鈉與氯化鈉之溶液電解，則溴先氯而於陽極上放出。自上述之鹽礦中獲取遊離溴，即利用此點者也。

實驗室內則用二氧化錳，溴化鈉及硫酸三者之混合物。其方程式與製氯時同：



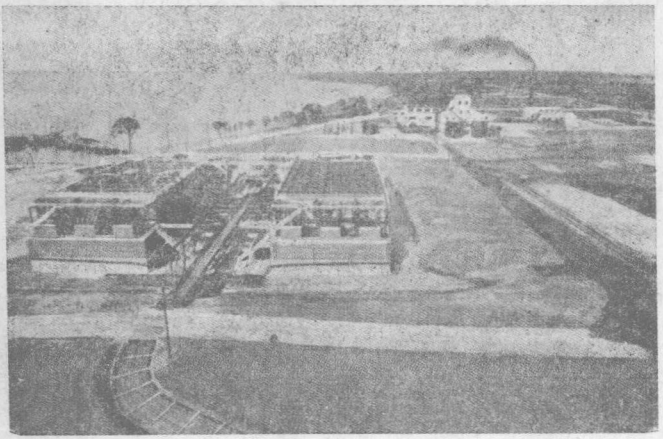
第 186 圖　實驗室製溴法。

$$2NaBr+2H_2SO_4+MnO_2\rightarrow Na_2SO_4+MnSO_4+2H_2O+Br_2\uparrow$$

實驗室內製溴，常用如第 186 圖所示之曲頸甑。以溴化鈉、硫酸及二氧化錳之混合物置之甑中，而徐徐熱之。溴蒸氣先佈滿甑內，而後凝集於冷卻受器中。溴不易與水相混和，受器中不妨豫盛少量之水。於是即可於水下集得一層之溴，而不致有蒸氣逸入大氣中矣。

晚近有多量溴用以製二溴乙烷（二溴化乙烯）($C_2H_4Br_2$)。

此化合物用以加入所謂"乙鉛氣油[1]"中，以防止電花插頭爲止震爆物四乙鉛($Pb(C_2H_5)_4$)中之鉛所壅塞。由於此項用途，今日工業上用氣由海水中以製溴。每得溴一磅約需海水1800加侖（即每仟克約需18000立），是則此項方法之又爲近代工業化學之一大勝利可以想見矣（第187圖）。



第187圖 美國北卡羅利那[2]海岸沙灘上之海水製溴廠。

310. 性質及用途——溴爲深暗之棕紅色液體，重於水約三倍；非金屬元素中，在尋常情況時爲液體者，僅此一種。具有強烈之窒息臭（溴之名，意即一種臭液也），能侵襲鼻喉，如氯然，又能刺戟眼膜。其液體沾於皮膚，即致極痛楚之灼傷，故取用時應特加注意。

[1]ethyl gasoline. [2]North Carolina.

此物稍稍溶於水中，其溶液通常稱爲溴水[1]。亦爲一種氧化劑，如氯之水溶液然。溴之活潑性不若氯之甚，惟與許多元素亦易化合，同時放出多量之熱及光。

歐戰時溴之用以製毒氣爲量甚鉅。即在現時於催淚氣之製造中，用溴之量亦不貲。今日其主要之用途，則在於加諸"乙鉛氣油"中。

311. 溴化氫——溴化氫爲一種氣態物質，與氯化氫頗多相似之點。然以其不穩定，不能由同樣之反應，完善製成之。設將溴化鈉與濃硫酸共熱，固亦產生溴化氫；但此物易爲溫濃硫酸所氧化，致一部分成爲水及遊離溴：

$$NaBr + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HBr$$
$$2HBr + H_2SO_4 \rightarrow 2H_2O + SO_2\uparrow + Br_2\uparrow$$

故欲製溴化氫，每用他種方法。一法即以溴處理紅燐與水之混合物。紅燐與溴化合，而成三溴化磷(PBr_3)之化合物。此化合物立即與水相反應，生純粹之溴化氫及亞磷酸(H_3PO_3)，此酸不揮發：

$$PBr_3 + 3H_2O \rightarrow 3HBr\uparrow + H_3PO_3$$

溴化氫爲無色之氣體，甚易溶於水；其水溶液即所謂氫溴酸。氫溴酸乃一種強酸。較之氫氯酸易於氧化成水及遊離元素。

312. 溴化物——中和氫溴酸而生成之鹽，稱爲**溴化物**。一切溴化物，除銀、鉛、汞之溴化物外，均易溶解。溴化銀爲帶黃色之固體，照相術上廣用之。鈉及鉀之溴化物用於醫藥上，作爲止痛劑。

檢驗溴化物時，可加氯水及二硫化碳於該物質之水溶液中。

---

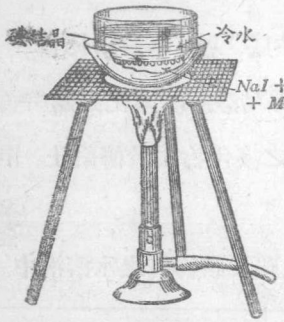
[1] bromine water.

將混合物暢搖之而放置數分鐘。如該物質爲溴化物，則當有一紅色之小球，沈積試管之底。蓋氯水將溴釋出，而溴溶入二硫化碳中也。

碘

碘有少量產於數種鹽礦中，成爲碘化物。智利硝石中亦產有碘酸鈉($NaIO_3$)。此爲碘元素之主要來源，惟有時亦製自燃燒某數種海草所得之灰中。晚近工業上，有由爪哇意大利及加利福尼亞等某數種自流井中取得之。碘在成人人體中雖僅存有約 50 毛克，然於人體之健康機能上實占極重要之地位。此存量之約三分之一，見於頸部之甲狀腺中。如缺乏此元素，即足致重大疾病。

313. 製法及性質——碘之製法與溴及氯絕相同。

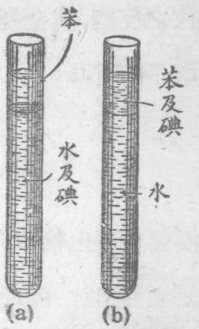


第 188 圖　製碘法

碘之簡便製取，即以二氧化錳、硫酸及碘化鈉三者之混合物，置蒸發皿中溫熱之，其上更座一盛冷水之盆。碘即化成蒸氣而凝集於上盆之底下，成一簇美麗之結晶（第 188 圖）。

碘爲鋼灰色之固體，甚易氣化，其蒸氣呈美麗之紫色，經冷却，則又逕回復爲固體。此種由固體變成蒸氣，而又回復

爲固體，中間不生成液體之作用，乃昇華[1]之又一例。碘僅微溶於水，惟甚易溶於碘化鈉或碘化鉀之溶液中。可溶於苯或二硫化碳，生成紫色液（第 189 圖）。又可溶於酒精中，通常市上卽有此溶液發售，是爲碘酒[2]，大部用作防腐劑。



第 189 圖　碘於水及苯中之溶解度；(a)搖盪之前，(b)搖盪之後。

碘較前述之二種鹵素爲不活潑；然亦能在常温或微熱時與多種非金屬直接化合。

碘有一極特別之反應，卽如有少量與澱粉相接觸，立呈藍色。此反應用以爲碘或澱粉之檢驗。

314. 碘化氫——碘化氫不能由加熱碘化鈉及硫酸而製成，此一普通方法之所以不可能，其理由與氫溴酸同（§311）。此物可由紅燐、碘及水之互起作用而生成。碘化氫易溶於水，而生成所謂氫碘酸之溶液。此酸視之氫溴酸更易被氧化，故爲良好之還元劑。此物爲強酸，中和後生成稱爲碘化物之鹽類。

315. 碘化物——一切碘化物，除銀、鉛、汞之碘化物外，均爲可溶性化合物。碘化銀爲黃色不可溶性物質，亦如溴化銀用於照相術上。碘化鉀爲最重要之碘化合物。用於製造藥劑及數種照相方法。碘本身亦用於醫藥之製造。

316. 鹵素之互代[3]——設通氯氣入溴化物或碘化物之溶液中，則見分別有遊離溴或碘釋出，而生成氯化物。此乃一種互

[1]sublimation.　[2]tincture of iodine.　[3]replacement.

代之反應，與金屬鋅之自氫離子釋出氫之反應相似，惟今則指陰離子而言耳：

$$Cl_2 + 2Br^- \rightarrow 2Cl^- + Br_2$$

$$Cl_2 + 2I^- \rightarrow 2Cl^- + I_2$$

溴能自碘化物中釋出碘；惟碘則不能自溴或氯之鹽類中，令此二元素釋出。故此三元素可列成一順序如右表，上者得令下者之元素自其離子內釋出。

非金屬之互代順序
氯
溴
碘

右表亦示此諸非金屬之活潑性順序，即氯最活潑，而碘最不活潑。

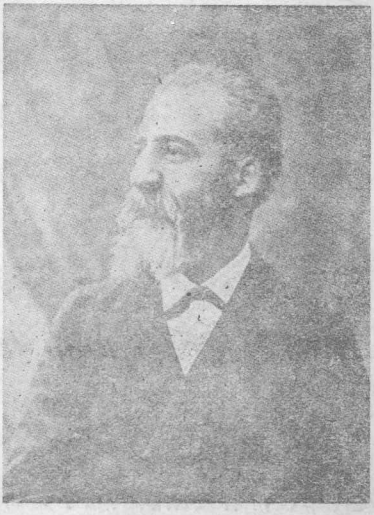
氯價值既廉，而取得亦易，故有時用以自溴或碘之鹽類溶液中釋出溴或碘，而大規模上即依此法以製該二種遊離元素。

氟

鹵素族之第四種，與其他三種略異。此其異點，僅屬表面的，主因即由於氟本身遠較其他鹵素爲活潑，而其化合物亦遠較穩定也。氟爲一二重要礦石之成分，其中可足道者，如螢石[1](CaF_2)及冰晶石[2](Na_3AlF_6)。前一種即爲氟及其化合物之主要來源。氟化合物稍有毒性，製造殺蟲粉時用量頗多。

[1]fluorite. [2]cryolite.

317. 製法及性質——氟爲略帶黃色之氣體，極毒而富腐蝕性，甚難令其液化。氟爲已知元素中最活潑者，在常温時能與大多數之元素起猛烈化合。氟頗難製取。法國化學家莫遜[1]（第190圖）於1886年首創由電解氟化鉀（KF）於液體氟化氫（H_2F_2）中之溶液，而遊離出氟。其實驗於鉑或銅之製器中爲之，以其他一切物料均有爲此氣體所侵蝕之虞也。



第190圖　莫遜(1852-1907)。法國化學家，首將氟遊離，又製出小人造金剛石。

318. 氟化氫——氟化氫可由濃硫酸作用於氟化鈣以製之：

$$CaF_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2F_2\uparrow$$

此物爲一種氣體，甚易溶於水，生成一種酸，稱爲氫氟酸。氟化氫較氯化氫爲穩定，全然不能氧化。易凝成液體，沸點爲19°C.

氫氟酸能生成稱爲氟化物之鹽類。因其能溶解無數之物質，乃至砂(SiO_2)及玻璃等，故頗堪重視。因此須藏貯於蠟製

[1]Henri Moissan.

之瓶中。其與砂作用之結果，生成四氟化矽(SiF_4)氣體及水：

$$SiO_2 + 2H_2F_2 \rightarrow SiF_4\uparrow + 2H_2O$$

其與玻璃所起之作用，與此甚相仿，蓋玻璃乃矽之化合物也。玻璃上欲加蝕刻時每即利用此項氫氟酸於玻璃之作用。量瓶及量筒上製作刻線標記時，即於玻璃上全塗以蠟層，而就蠟層刻劃標線及字樣。然後臨於氫氟酸之蒸氣上(第 191 圖)。隔少時，將由蒸氣凝結成之酸洗去而刮除蠟層，則玻璃之接觸及酸者，均成不透明之痕矣。

第 191 圖　以氫氟酸蝕刻玻璃。

319. 鹵素之互相比較——下表綜合鹵素族之重要物理性及化學性，各元素依其原子量排列。應知諸此元素之活潑性，依自氟至碘之順序而漸減小，其氫化合物之穩定性亦依同一之順序而降低。此又爲彼此互代之順序。氟之活潑性之強，竟能自水中取氧而代之。因其活潑性若是之烈，幾有目之爲本族中之特格；然既認其在本族中列於氯之前，則其性狀似亦不失爲正常，自應較活潑之氯元素更爲活潑也。

名稱	原子量	沸點	狀態	顏色
氟(F)	19.0	−187°C.	氣	淡黃色
氯(Cl)	35.5	−33.6°	氣	黃綠色
溴(Br)	79.9	63°	液	紅色
碘(I)	126.9	184.4°	固	紫黑色

第二十三章　提要

F_2	Cl_2	Br_2	I_2
氣態	氣態	液態	固態
黃色	黃綠色	暗紅色	紫黑色

鹵素均爲一價元素。均能與金屬化合，生成鹽類。均具有二原子的分子。在氣態時均具刺戟臭。

溴由溴化物與二氧化錳及濃硫酸共熱而製之。爲暗紅色之液體，其化學性與氯相似，惟不如其活潑。

氫溴酸以加水於三溴化磷而製之爲最佳。

碘由碘化物與二氧化錳及濃硫酸共熱而製之。爲質重而作鋼灰色之固體，加熱卽起昇華。

氫碘酸爲良好之還元劑。不能由碘化物及硫酸製之。

氟爲已知元素中最活潑者。由特製之裝置行電解法而製之。氫氟酸由加熱氟化鈣與硫酸而製成。用以蝕刻玻璃。

氯能自溴及碘之鹽類中取代溴及碘；溴能取代碘；氟之活潑，足能取代水中之氧。

鹵素酸類之穩定性，按下列順序依次遞減：　HF，HCl，HBr，HI。

問題

1. 一切鹵素所共具之性質爲何?
2. 試將鹵素按其活潑性之遞減而排列之。
3. 鹵素一名之意義爲何? (查閱辭典)。
4. (a)實驗室中製溴之法若何? (b)試將裝置作一簡明圖解。
5. 試將實驗室製溴所應用之反應作方程式。
6. 今日工業上製溴之法若何? 試作其方程式。
7. 溴分子之色若何? 溴離子之色若何?
8. 何二種元素在常溫時爲液體?
9. 實驗室中製碘之法若何?
10. 今日工業上製碘之法若何? 試作其方程式。
11. 試將實驗室中收集溴之方法與收集碘之方法比較之。
12. 遊離碘當以何法檢驗之。
13. 設於手帕上沾有碘漬,將如何去除之?
14. 香囊中有澱粉存在,如何檢驗之?
15. 何謂碘酒?
16. 試舉(a)溴(b)碘各二種重要用途。
17. 試將二元鹵素酸按穩定性遞減之順序表列之。
18. 試作(a)氫氟酸之製取及(b)其於玻璃上之蝕刻作用之方程式。
19. 試述於玻璃板上如何用氫氟酸蝕刻名字。
20. 氫氟酸應貯存於何種瓶中?

* * *

21. 吾人可於實驗室內製氯、溴、及碘。何以不製氟? 此事對該元素之活潑性有何關係?
22. 氯化鈉、溴化鈉及碘化鈉均爲白色固體。如何可以辨別之?
23. 溴蒸氣與二氧化氮如何區別之?
24. 設將溴通入氯化鈉之溶液中,當起何變化? 通入碘化鈉之溶液則若何? 如起有何種反應,試作其離子方程式。
25. 如何可以製取純粹之溴化銀?
26. 試舉一種不可溶性碘化物及一種可溶性者。用可溶性碘化物,將如何

可進而製碘酒?

27. 設有碘與砂之混合物,如何可分離之?

28. 今日美國由加利福尼亞某數處油井泉等來源製取之碘,成品至廉,可不復向智利購買。智利之碘來源爲何?

29. 氫碘酸放置久時,何以其色轉暗?

30. 取用氫氟酸時,應加何種之注意?

* * * *

31. 製溴 80 克,應需溴化鎂重若干?

32. 由碘化鉀 33.2 克可得碘重若干?

33. 試計算螢石(CaF_2)中氟之百分率。

34. 氟化鈣 39 克與硫酸共熱時,當生成氟化氫若干克?

35. 某種化合物,含氫 2.1%,碳 12.8%,溴 85.1%。在 140°C. 及 76 厘米壓力時,其蒸氣 1.00 克占 180 毛立之體積。試計算其分子式。

進究題材

歐戰時之毒氣——歐戰時最先用何種毒氣? 其作攻擊之時日及地點爲何? 其後復用其他何種毒氣? 形態若何? (孫豫壽:"化學戰爭概論", Slosson's *Creative Chemistry*, 及 Auld's *Gas and Flame*.)

莫遜及其發見——莫氏如何將氟遊離? 彼創用何種之爐? 彼如何製成人造金剛石? 彼由於何種功績,而獲諾貝爾獎金? (Harrow's *Eminent Chemistry of Our Time*).

碘與甲狀腺——甲狀腺腫[1]與碘之關係若何? 何謂甲狀腺素[2]? 何謂碘化鹽[3](*Chemistry in medicine*).

---

[1]goiter. [2]thyroxin [3]iodized salt.

第二十四章

鈉及鉀之化合物

鹼，索爾未製造法——鈉之二種碳酸鹽，性質及用途——加水分解——過氧化鈉——其他鈉化合物，

鉀化合物——來源及用作肥料——硝石之製取。

與銨鹽之比較——焰色檢驗——分光器。蒲爾之光譜之解釋。

320. 鹼金屬——週期表（第 346 頁）上第三縱列，冠以第Ⅰ團者，含有鋰、鈉、鉀、銣及銫。 是卽所謂鹼金屬[1]，均爲一價。 化學性均極活潑。 本章僅述鈉及鉀之數種化合物，取其在工業上爲重要者，如碳酸鹽等。

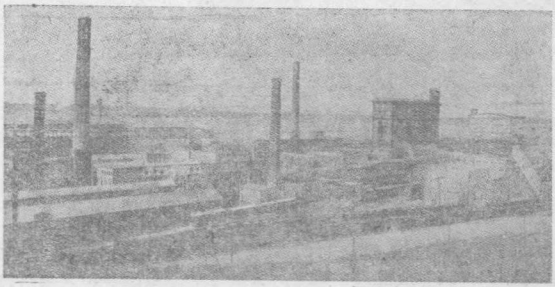
321. 家用上及工業上之鹼[2]——普通而重要之家用品，如焙鹼[3]（酸性碳酸鈉 $NaHCO_3$）及洗滌鹼[4]（碳酸鈉 $NaCO_3$），人盡知之。 大概吾人亦知有時被稱爲鹼灰[5]（洗滌鹼）者，其用於玻璃及肥皂之製造中車載斗量。事實上酸性碳酸鈉及碳酸鈉同爲工業上所用之基本原料。 然則此二種之鹼，究有何種差別；若何製成，何爲而用之？ 今試就第二項入手。

---

[1]alkali metal. [2]soda. [3]baking soda. [4]washing soda. [5]soda-ash.

鹼灰在歐西各國舊時[1]大率取自西班牙鹽澤所產之植物灰中，故得其名。旋法化學家路布蘭[2]，應國家之需求，創由食鹽製鹼之方法。其後有一比人將路氏之法加以改進，而發明一更廉之製法。此人名索爾未[3]，吾人卽從其名而稱該方法。

322. 索爾未法——較舊之路布蘭法，歐洲各國仍有沿用之者，在美國則已大部爲索爾未氨法所取代。如敍拉古斯[4]卽採用此法而以極大之規模以製造碳酸鈉（"洗滌鹼"或"鹼灰"）。（第 192 圖 A）[5]。此法之原理可分三步釋明之：



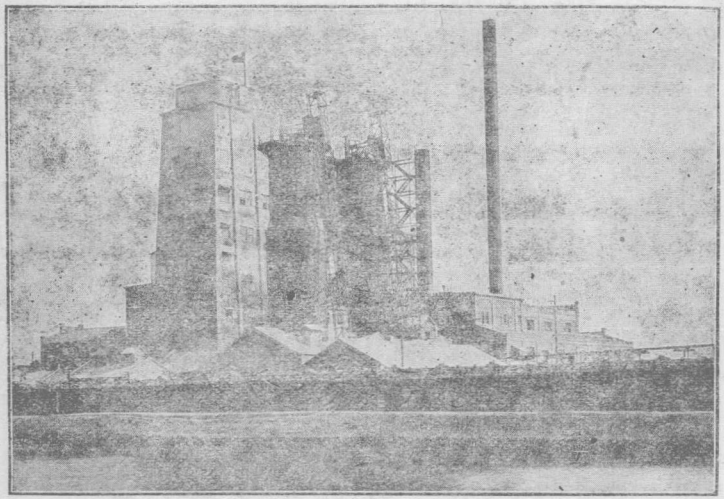
第 192 圖 A　敍拉古斯索爾未廠之外景。

[1] 氨及二氧化碳溶於水中，生成酸性碳酸銨(NH_4HCO_3)。

[2] 此鹽再與氯化鈉反應，生酸性碳酸鈉($NaHCO_3$)及氯化銨。酸性碳酸鈉甚難溶於此溶液中，故卽澱出。

---

[1]譯者按：天然鹼之在中國，已有悠久之歷史。"本草"有石鹼灰鹼之稱，卽是此物。山西、綏遠、察哈爾、蒙古東部，以及陝西、甘肅，均有大量產出。其主要成分爲鈉之碳酸鹽。[2]Nicolas LeBlanc (1742–1806). [3]Ernest Solvay (1838–1922). [4]Syracuse, N. Y. [5]我國塘沽永利製鹼廠（第 192 圖 B）亦用索爾未法。



第 192 圖 B　永利製鹼廠。

[3] 最後，酸性碳酸鈉受熱，生成碳酸鈉。其各步反應如下：

$$NH_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow NH_4HCO_3 \quad [1]$$

$$NH_4HCO_3 + NaCl \rightarrow NaHCO_3\downarrow + NH_4Cl \quad [2]$$

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2\uparrow \quad [3]$$

工業上製鹼時，此項反應以下列之方式進行之：取鹽井中之鹽水，以氨氣飽和之，於是用抽機送入碳酸化塔中。二氧化碳自塔底用壓力送入，爲含氨之鹽水所吸收。酸性碳酸鈉即成細粉而澱下，懸浮於液體中，濾出之。將溶液蒸發，可收回氯化銨，用消石灰處理，以得氨，備後用：

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NH_3\uparrow + CaCl_2 + 2H_2O$$

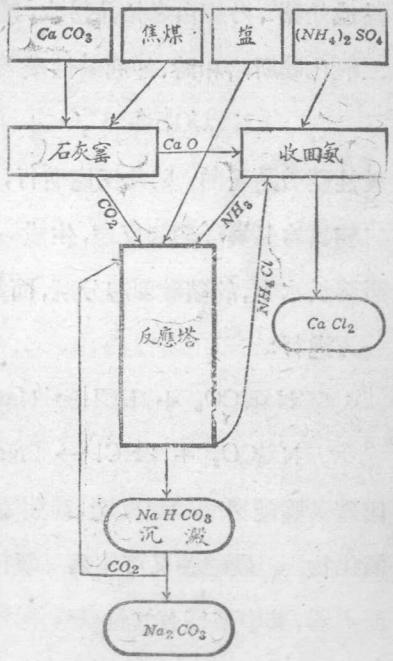
如是則全部作用中氨無損失。二氧化碳由加熱石灰石而得；其另一產物爲氧化鈣，與水作用，即生氫氧化鈣：

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

氫氧化鈣用於使氨再發生而收回之，適已言之。如是可知（第 193 圖）此法中，原料爲碳酸鈣（石灰石）及氯化鈉，二者均可以大量取得，成本至低。其產物爲

碳酸鈉，副產物爲氯化鈣。後者用途甚少，多半棄去之。



第 193 圖　索爾未之圖解。

323. 碳酸鈉——碳酸鈉結晶，常稱爲洗滌鹼，含十分子結晶水($Na_2CO_3,10H_2O$)。此項結晶有弱鹼類之作用，然其鹼性之強度，對於皮膚或織物，無甚傷害。粉狀之碳酸鈉用於苛性鈉、肥皂及玻璃之製造爲量至鉅。此項無水之碳酸鈉，以商品名鹼灰見稱於世已久，業見前述(§322)（參見附錄之工業一覽表）。另有大部，市售所謂洗滌鹼，結晶鹼[1]，或鹼砂[2]($Na_2CO_3,10H_2O$)者，由碳酸鈉之水溶液中結晶而得。此等結晶透明而含十分子之結晶水。在空氣中徐徐崩碎而成白色粉末，即爲多少脫水之物質。此乃風化[3]，即露空氣中自然失去結晶水之作用之一例也。

324. 酸性碳酸鈉($NaHCO_3$)——酸性碳酸鈉有時稱爲焙

[1]soda crystal.　[2]sal soda.　[3] efflorescence.

鹼或焙鹽[1]，乃細白之結晶粉末，難溶於水。碳酸鈉之水溶液爲二氧化碳所飽和時，卽起酸性碳酸鈉之沉澱：

$$Na_2CO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow 2NaHCO_3$$

酸性碳酸鈉受熱，則此反應逆行，如索爾末法之末一步然。此二物質均易與酸類起反應，生成一種鹽及碳酸。二氧化碳既僅微溶於水中，故碳酸卽起分解，而氣體散逸：以此諸故，反應實向一方進行：

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

因碳酸鹽能與酸類起反應，產生鹽類，故可用以代中和酸時之氫氧化物。碳酸鹽又可作爲二氧化碳之來源。§221 中所述之滅火器，其中卽盛有酸性碳酸鈉之溶液。

325. 焙粉[2]——酸性碳酸鈉亦爲焙粉之主成分。此卽所以恆稱之爲焙鹼也。焙粉之其他必須成分，爲若干帶弱酸性之固體物質，如酒石乳[3]、酸性磷酸鈣或明礬等。當碳酸鈉與此酸受水潤溼，卽於離子間起一種反應，結果生大量之二氧化碳。使乾麵團鬆漲者，卽此氣體也。其產生二氧化碳之反應，大致如下：

$$\underset{\text{焙鹼}}{NaHCO_3} + \underset{\text{酒石乳}}{HKC_4H_4O_6} \rightarrow \underset{\text{羅氏鹽}^4}{NaKC_4H_4O_6} + H_2O + CO_2\uparrow$$

[1] saleratus. [2] baking powder. [3] cream of tartar. [4] Rochelle salts.

有時有用酸敗之牛乳代此固體酸者。此時則乳酸與碳酸鈉起反應。焙粉一般含有少量之澱粉或麵粉，以防其敗壞。製鬆軟麵包時，則用釀母菌[1]，釀母菌與乾麵團中之糖反應，經酒精發酵作用而產生二氧化碳氣。

326　加水分解[2]——碳酸鈉之水溶液試以石蕊實時所以呈鹼性反應之理，設一考其所包含之離子反應，即易明之。水本起有極微量之離解：

$$HOH \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

此項離解雖向爲我人所忽視，然今則知其實至重要。當碳酸鈉溶於水中，即得下列之離子化作用：

$$Na_2CO_3 \longrightarrow 2Na^+ + CO_3^{--}$$

碳酸根離子(CO_3^{--})即與得自水中之某定數氫離子(H^+)化合，而產生碳酸(H_2CO_3)。碳酸乃極弱之酸，以其僅起極微之離解也。故溶液中即生成許多不離解之碳酸分子，如下列方程式：

$$2HOH \rightleftarrows 2OH^- + 2H^+$$
$$Na_2CO_3 \rightleftarrows 2Na^+ + CO_3^{--}$$
$$\downarrow$$
$$H_2CO_3$$

每一氫離子，因不離解分子之生成而如是減除時，溶液中即餘剩一氫氧根離子。結果碳酸鈉之溶液所含氫氧根離子，即多

[1] yeast.　[2] hydrolysis.

於氫離子。故呈鹼性反應；惟爲弱性，蓋氫氧根離子之濃度必甚低微，以其僅能就不離解碳酸產生之範圍內生成也。此項水之離子對於溶解之鹽之作用，稱爲加水分解或簡稱水解。凡屬弱酸與強鹽基之鹽，皆起此作用，結果得鹼性[1]溶液。酸愈弱，其溶液當愈爲鹼性。

關於此點，試再一察酸性碳酸鈉之溶液，雖稱酸性，然遇石蕊質却呈中性反應，殊足玩味。

在由強酸與弱鹽基生成之鹽類，亦有加水分解作用。此時產生一定濃度之不離解鹽基，而遊離出當量之氫離子，使溶液呈酸性[2]反應。故如硝酸鉍、硫酸銅、明礬，氯化鋅等溶液，遇石蕊質均呈酸性反應。

$$2HOH \rightleftharpoons 2OH^- + 2H^+$$
$$+$$
$$ZnCl_2 \rightleftharpoons Zn^{++} + 2Cl^-$$
$$\downarrow$$
$$Zn(OH)$$

此弱鹽基氫氧化鋅，離解之傾向小；鹽酸爲一強酸，意即有極大之離解傾向。故氫氧根離子傾向於與鋅離子結合而成不離解之氫氧化鋅。

強酸與強鹽基之鹽類，則不起水解，其溶液呈中性[3]反應。若氯化鈉、硝酸鉀、硫酸鈉皆此等鹽類也。

---

[1]alkaline. [2]acid. [3]neutral.

327. 過氧化鈉——金屬鈉於空氣中燃燒時，即生一種氧化物，是爲**過氧化鈉**（Na_2O_2）。此氧化物較正常之鈉氧化物多含一原子之氧，故爲猛烈之氧化劑。因此其用途亦殊繁。過氧化鈉能與水反應，生成氧，爲實驗室內發生氧之一極簡便方法。金屬鈉之由工業規模製造者，即以供製此物實之用。

328. 鈉之其他重要化合物——前已述（§ 278）硝酸鈉爲可貴之天然礦酸鹽，用作硝酸之來源及一種肥料。其次重要之化合物，則爲硫代硫酸鈉（$Na_2S_2O_3$），由亞硫酸鈉之溶液與硫共煮沸而製成。其含水物即所謂"大蘇打"[1]（$Na_2S_2O_3,5H_2O$），在照相術之定影及漂白工業上使用甚廣。又有一種鹽曰氰化鈉（NaCN），爲白色之固體，其水溶液呈強鹼性。此物於提取金時廣用之，以其在有空氣時能溶解金也。此化合物本身極毒，與酸接觸，則又放出極毒之氫氰酸或即青酸[2]（HCN），用於房屋及果園之熏蒸消毒。

329. 鉀化合物——鉀化合物與鈉化合物甚相類似；今祇須作極簡之討究。以其較爲昂貴，工業上設有相當之鈉化合物適用時，概不用鉀化合物。

鉀化合物分布甚廣。如許多火成岩中亦產有之。惟此項岩石不適於作工業上取得鉀化合物之原料。

330. 鉀鹽之爲肥料——由第二十一章吾人知氮化合物爲植物生長所必需。鉀化合物在此方面，其重要正不亞於氮化合物。人造肥料大都含有鉀鹽，若第 194 圖等所示實驗之結果，可以證明鉀化合物確爲植物之可貴食料。植物焚燒後，鉀化合

[1] "hypo". [2] prussic acid.

物卽變而爲碳酸鉀，見於灰分中。故若木灰之肥料卽復使必需之鉀鹽重入土壤中。用水浸漬木灰，可得碳酸鉀。此乃製取碳酸鉀之舊法，故向有鍋灰[1]之稱。

欲收穫最良之作物，則土壤中非施用鉀化合物不可，因是如何取獲鉀化合物之問題，彌覺重要矣。德國施塔斯阜[2]之混鹽（白鹵鹽[3]）大礦床中，產有氯化鉀，向爲主要之供給來源；此外雖有數處（如美國加利福尼亞茜萊斯湖[4]等）亦有此種天然礦層，惟取用之量甚微。歐戰時德國之輸出杜絕；美國當時大量之鉀化合物，均取自本國之礦源，取自水泥工業（鉀化合物爲此工業中可貴之副產物），亦取自加利福尼亞沿海一二大海藻之灰分中。海草雖大都含鈉化合物而不含鉀化合物，惟此特種之海藻，竟爲重要之例外，亦堪奇矣。

第 194 圖　證明肥料對於番茄草之功效之實驗。I，不用肥料；N，用氮肥料；P，用磷肥料；K，用鉀肥料；NP，用氮及磷肥料，餘類推。皆用瘠土。

331. 重要之鉀化合物——氫氧化鉀或卽苛性鉀(KOH)之

[1]potash. [2]Stassfurt. [3]carnallite. [4]Searles Lake.

製法，一如氫氧化鈉，其物理性及化學性亦與之相似。實驗室內在少數特殊情形下，用以代氫氧化鈉，但二者之反應大概相同。碳酸鉀及酸性碳酸鉀與相當之鈉化合物至相類似，惟酸性碳酸鉀甚易溶於水耳。鉀化合物較鈉化合物爲昂貴，故除作肥料外，用途殊有限。

硝酸鉀（KNO_3）通稱硝石[1]。尋常由硝酸鈉經下列之反應以製之：

$$NaNO_3 + KCl \rightarrow NaCl + KNO_3$$

將硝酸鈉及氯化鉀之飽和熱溶液相混和，即澱出氯化鈉，可濾去之。溶液中留存硝酸鉀並僅極少量之氯化鈉。於是可令溶液冷卻，硝酸鉀即結晶析出，以其於冷水中較熱水中不易溶解也。此反應全恃各該物質在各溫度時之溶解度。其關係見第 209 圖之曲線。

332. 與銨化合物之比較——第二十章已論銨（NH_4）之普通化合物，如氫氧化物、氯化物、硫酸鹽及硝酸鹽。諸此皆屬揮發性化合物，即受熱時當起昇華。此等化合物與相當之鈉及鉀之化合物，均極相類似，如均爲白色固體，均可溶於水，以及銨根之能成一價陽離子等皆是也。

333. 鈉及鉀之焰色檢驗——一切鈉及鉀之化合物，均可

[1] saltpeter.

溶於水，故不能由任何沈澱反應以試驗之。然對於此種元素，有一檢驗法，至爲靈敏，且可藉以與其他每一物質截然判別。此卽一切鈉及鉀化合物，以及二元素之本身，當加熱至高溫度時所生光焰之色也。

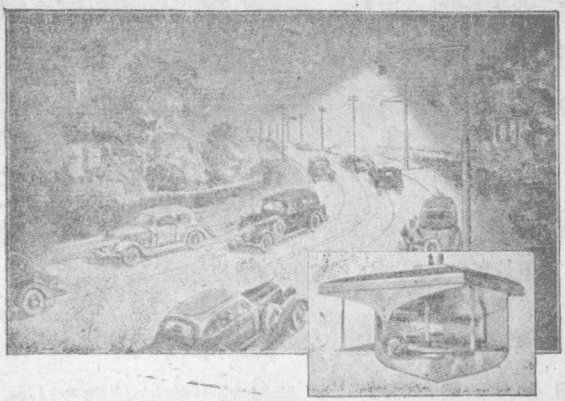
取清淨之鉑絲一枝，持置燈火之藍焰中，俟其焰中所有顏色均行消失。必要時或用一新燈，以免有夾雜物質。於是將鉑絲蘸以鈉鹽，而再置入燈焰之邊緣。次再用鉀之純粹鹽作此實驗。

黃色卽爲鈉之檢驗 此項檢驗至爲準確，在實驗室中一切燈焰中凡用有鈉鹽者必多少呈黃色。

鉀化合物令同樣之火焰呈紫色 此色卽爲鉀及其化合物之檢驗 惟設有鈉存留，則易爲黃色所遮掩。如隔藍玻璃以觀察火焰，卽可解除此項困難，藍玻璃能遮斷黃色光，而使吾人只見所存在之鉀焰。

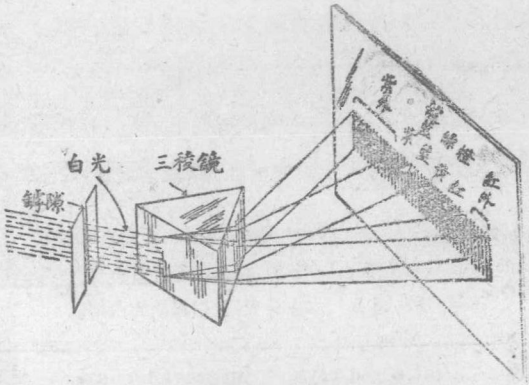
334. 鈉蒸氣燈——此燈之光，發自電流通過鈉之蒸氣，而非自燒熱之燈絲。其電極爲鎢絲圈，鎢絲圈由電灼熱使生電弧。在眞空燈泡內裝有定量之純鈉及少量氖氣。此燈發光輝煌——先因氖氣而發紅光，嗣作金黃色。此項新式燈之效率約三倍於同大小之白熱電燈。鈉蒸氣燈對於馬路上照耀之改進，行見有極大之貢獻也（第 195 圖）。

335. 光由三稜鏡分散——設令日光（或自電弧燈所發之光）一縷，通過狹窄之罅隙而射入暗室，於其徑程間置一玻璃三



第 195 圖　用鈉蒸氣燈照曬通衢。下角附圖示燈之式樣及其反射器。

稜鏡（第 196 圖），則光縷卽爲所彎折或稱屈折。如於屈折光線之徑程間置一白色屏幔，卽生成各種顏色之帶。此帶稱爲



第 196 圖　日光因三稜鏡而分散。

光譜[1]。其最顯明之色爲紅、橙、黃、綠、藍、靛藍、紫。設取一凸鏡，以定其焦點於屏上，則屏上之像更爲清晰。

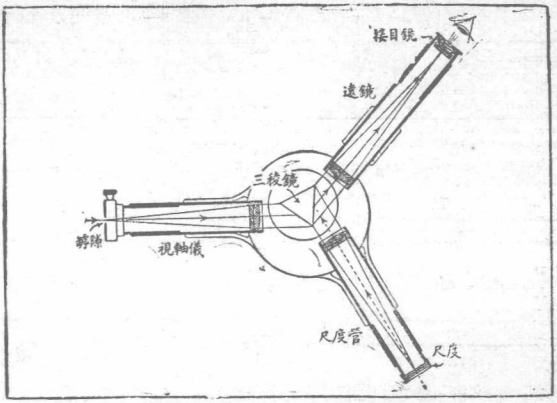
吾人藉敏感之吸熱儀器，已可知太陽射出多種之光波，其波長較吾人目所可覩者爲長。是爲紅外線[2]。又藉日光譜之攝影，發見極短之光波，不及於吾人之目力者。是爲紫外線[3]。

將白色之光分成其各種原色之方法，稱爲分散[4]。分光器[5]即利用此項原理而成者也。

336. 分光器之使用——檢驗鈉及鉀較精準之方法，即用分光器是也（第 197 圖）。此器藉一玻璃三稜鏡，使火焰之

第 197 圖 A 本生分光器，用以研究火焰。

[1]spectrum. [2]infra-red rays. [3]ultra-violet rays. [4]dispersion. [5]spectroscope.

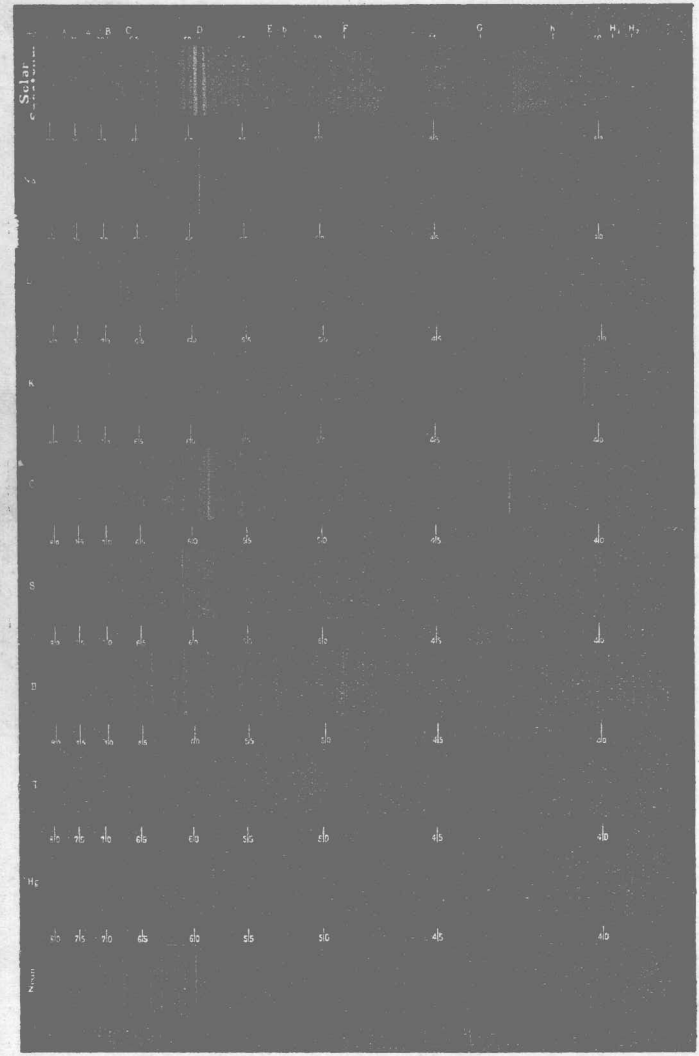


第 197 圖 B　本生分光器之圖解。

光分析成各種光線。設有鈉存在，則顯示一明晰之亮黃色線，即同時火焰中因不止僅此一種物質而呈他種顏色時，亦然。其他物質依此法察之，各呈特殊之線（第 199 圖光譜圖）。其中有具各種顏色之線多條者；惟不同物質之線，無適相疊合者。故同一物質中有數種元素存在時均得檢知之。此種分析方法，本生[1]（第 198 圖）及敢契霍甫[2]二氏即用以發見與鈉及鉀相似之二新元素，即銫及

第 198 圖　本生（1811 1899）德之名化學家，發明常用之實驗室燈，首創光譜分析。

[1]Robert Wilhelm Bunsen.　[2]Gustav Robert Kirchhoff（1824 1887，德之物理學家。）

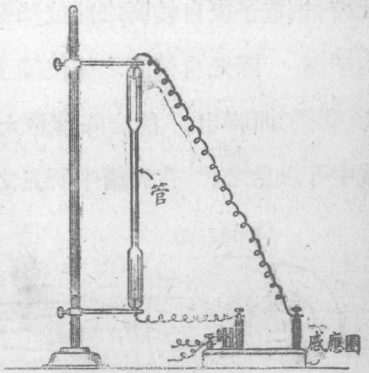


第 199 圖 光譜圖。

鉀。

設細究太陽光譜，當見其隔有許多縱直之暗黑線（第 199 圖光譜圖）。此種線稱爲弗勞霍佛線[1]，由於太陽大氣之外層內，存有許多氣態元素，是項元素各能吸收光之某一特殊部分。在實驗室內，設令白光經過鈉焰而射入分光器中，亦得同樣之結果。當見一條暗黑線，在光譜中適當尋常鈉光譜之 D 線之地位。

337. 光譜之線如何產生——試舉一最簡單之例，氫之光譜。在實驗室中，作一玻璃眞空管如第 200 圖所示，抽出空氣，而導入極少量之氫。然後連繫感應圈於管之兩極，使電流通過氫氣，卽可得之。如察視此種氫管



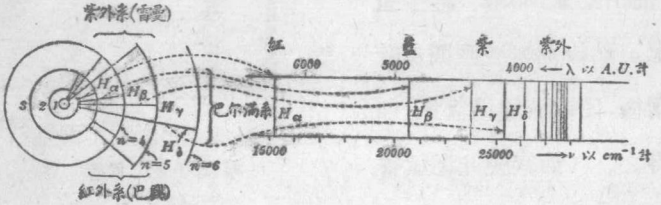
第 200 圖　氫管

中所生之光，卽見一明亮線條之光譜（見光譜圖），含有一組色線。第一線爲紅色，次爲藍色，第三線爲紫色。在紫色線附近及紫外線內尙有他線多條，祇能於攝影片上見之。

丹麥物理學家蒲爾所創原子結構之電子論，對於此種光譜線條之產生，與以極充分之解釋。吾人可假定氫原子係由一個核心及位於環繞該核心四周之空間內之一個單電子所組成。此項電子可想像其占有若干一定之層圈（或能位），層圈自核心

[1]Fraunhofer lines.

起，以 1,2,3,4,5 等計之。在常態之氫原子中，電子每位於第一層圈內。惟當有能加諸原子時，如氫眞空管中放電時，則電子能升至一較高之位次，或較外層圈，如 2,3,4 等。或則此電子甚至可完全騰出原子之外，如氫離子(H^+)之例。但當此激動告止時，則電子復自較高之能位降至較低者；即自較外層圈入於較內層圈。際此自較高之能位降至較低能位之經程內，能即成爲光(光子)而釋出。能之降落愈大，其光之波長愈短。於第 201 圖中可以見之。在光譜中所見之顏色線條，即此光或能也。



第 201 圖　能位 1,2,3,4,5 及氫光譜中之可視線條。

光譜上方之數字表波長(λ)。以盎格斯脫欒單位[1](A.U.)計之。一盎等於一毛米之千萬分之一。光譜下方之數字表每厘米之波數(ν)。於此當知，可視光譜中之線條，實起因於電子自較外層圈(較高能位)降至次層圈或次位。

蒲爾藉能之量子論，締造此項理論，而於各元素之明線光譜中所見之許多線條，解釋尤見精采。能位之說，在蒲氏自屬出於假設而已。茲試究何以有此等能位之存在。

須知蒲爾曾作二種極新穎之假說：第一，電子能於封閉之軌

[1] photons.　[2] Ångström units.

道內旋轉而絕無能之放射；第二，僅在若干個別軌道爲可能。此全由某數項量子情況而定，自非本篇所能具論。然蒲爾之理論，不徒解釋四種氫線條，H_α, H_β, H_γ, H_δ（第一線亦卽最強之線位於紅色部內，第二線位於藍綠部內，第三及第四線位於紫色部內），並於極端之紫外光譜內之同樣線組（雷曼[1]）及紅外光譜內又一線組（巴與[2]），均得藉以闡明。此項氫光譜之理論，證之實驗結果，在數字上亦相切符。惜於其他元素，蒲氏理論又未能作若是完滿之解釋。

第二十四章　提要

凡鈉鹽、鉀鹽及銨鹽至少均相當可溶於水。鈉離子、鉀離子及銨離子均爲陽性，均爲一價。

碳酸鹽產於植物灰中。碳酸鈉由索爾末法製造之。此法卽以二氧化碳作用於氯化物之氨溶液，生成酸性碳酸鈉。將酸性碳酸鈉加熱，卽成碳酸鈉。

碳酸鹽用於洗滌粉及製肥皂、玻璃等。酸性碳酸鈉爲焙粉之一成分，亦用於化學滅火器中。

碳酸鹽之溶液爲弱鹼性，以其與水中之氫離子生成不離解之碳酸而遺留多餘之氫氧根離子也。此項作用，稱爲加水分解。

[1] Lyman.　[2] Paschen.

加水分解爲水與溶解物質之作用，異於簡單之水和作用。由弱酸與強鹽基生成之鹽類呈鹼性反應。　由強酸與弱鹽基生成之鹽類呈酸性反應。

鉀化合物爲陸產植物生長之要素，故用作肥料。其主要之來源爲德國之施塔斯阜礦。

氯化合物與鈉化合物及鉀化合物頗多相似之點

鈉化合物使本生燈焰著黃色；鉀化合物著紫色。

分光器可使吾人由分析火焰之光成各特有之光線，而檢知極微量之鈉及鉀。

問題

1. 試述德斐在化學上之二種重要發現。
2. 古代何以不知有鹼金屬？
3. 金屬鈉有何用途？
4. 試作鈉燃於空氣中所起反應之方程式。
5. 烹廚時何以須用碱或焙粉？
6. 各種焙粉中所共有之成分爲何？
7. 於酵發麵包[1]中，以何物替代焙粉？
8. 植物中之存有鉀化合物，如何可以證明之？
9. 何處有鉀鹽之大礦產？
10. 苛性鈉何以較苛性鉀之價爲廉？
11. 銨鹽與鈉鹽及鉀鹽有何共通之性質？
12. 分光器係何時並何人所發明？
13. 化合物中有鈉存在時，將何以檢驗鉀？

[1] raised bread.

14. 試作氫氧化鉀三種製法之方程式。

15. 氫氧化鈉棒條，露空氣中先成液體，其後如任其放置數月，卽又乾燥而成白色粉末。試解釋之。

*　　*　　*

16 焙粉罐上何以載明須常蓋閉，並置乾燥處？

17. 明礬如與酸性碳酸鈉共用於焙粉中，稱之爲酸性物(§326)。試解釋之。

18. 試解釋碳酸鈉之水溶液何以遇石蕊實呈鹼性反應。

19. 菓子鹽溶於於水中，卽起劇烈湍泡。試解釋之。（菓子鹽裝白紙包者含有酒石酸，裝藍紙包者含酸性碳酸鈉及羅氏鹽。）

20. 如患病者取兩種紙包之菓子鹽分服之，當起何事故？（切勿嘗試之！）

21. 試就(*a*)氯化鈉變成酸性碳酸鈉；(*b*)酸性碳酸鈉變成硫酸鈉時之反應，作應有之方程式以表之。

22. 自然界中所產鉀化合物之多，幾與鈉化合物相仿。何以吾人對於鉀之來源猶若是之關切？

23. 試解釋何以某定量之氫氧化鈉中和酸時，較同重量之氫氧化鉀效力爲大？

24. 鈉或鉀之鹽類溶於水中時，亦有成酸性溶液者否？試解釋之。

25. 試將氯化鈉與硝酸鉀之溶解度曲線（第 209 圖）比較之。由此二種鹽類溶解度上之差別，有何實際上之利用？

26. 碳酸鈉及酸性碳酸鈉在實驗室內如何可區別之？

27. 蒲爾之原子理論如何解釋鈉及鉀之光譜？

*　　*　　*　　*

28. 氫氧化鈉 60 克電解時，可得鈉若干克？

29. 某種滅火機裝有酸性碳酸鈉溶液 20 磅。將此中二氧化碳盡量釋出時，需硫酸(98%H_2SO_4)若干磅？

30. 自 100 磅之酸性碳酸鈉，可得若干磅之碳酸鈉？

進究題材

食鹽——鹽何以稱之爲一切化學工業之基礎之一？其與人生之直接關係爲何？家常有何二種物質係由此製成？鹽之最低廉之來源爲何？(Martin's

Modern Chemistry, 及 *Chemistry in Industry*, Vol. I.)

星光化學——天文學家如何藉分光器而得告示吾人以星體中存有何種化學元素？太陽系之或然起源爲何物？ (Duncan's *Some Chemical Problems of To-day*, 及 J. C. Philip's *Romance of Modern Chemistry*).

第二十二章至第二十四章複習題

1. 試舉列化學上非金屬族及金屬族中各元素之名。

2. 下列鹽類溶解時，各呈何種反應（酸性，鹼類，抑中性）：(*a*)Na_2CO_3; (*b*)NaCl; (*c*)KCl, (*d*)K_2SO_3; (*e*)$CuSO_4$; (*f*)$NaC_2H_3O_2$; (*g*)$Al_2(SO_4)_3$; (*h*)KNO_3?

3. 試作下列諸反應之方程式，用分子式：(*a*)硝酸銨（加熱）；(*b*)銅與硝酸(稀)；(*c*)一氧化氮與氧；(*d*)硫酸銨與氫氧化鈉；(*e*)溴化鈣與氯。

4. 1630 年以前已知何數種元素？何故？何以鹼金屬及鹼土金屬均約於 1807 年發見？何以不早先發見？

5. 尋常之糖加熱時，卽生多量之水而成爲黑塊。洗滌碱加熱時，生多量之水而成白色粉末。試將此二作用之化學原理比較之。

6. 試舉列存於氯水中之八種物質。（須知離子係物質。）

7. (*a*)何種毒氣在歐戰最先用作武器？(*b*)何時並何地實施此項攻擊？(*c*)此後又用其他何數種氣體？(*d*)作何種形態？

8. 試簡述若何(*a*)自氯化銨製氫氧化銨；(*b*)自硝酸鈉製硝酸；(*c*)自碘化鉀製碘；(*d*)自氯化鈉製硫酸鈉；(*e*)自氯化鈉製碳酸鈉。

9. (*a*)鈉化合物之天然來源爲何？(*b*)金屬鈉如何製取之？(*c*)試舉鈉之五種化合物之式及用途。

10. 硝酸鉀與氯化鈉之溶解度大體上比較若何（第 209 圖）？

* * *

11. 試舉述一實驗，以確定(*a*)一溶液之是否爲飽和；(*b*)一無色之水之試樣是否含有溶解之固體；(*c*)水中是否含有溶解之空氣；(*d*)一鹽類之是否爲潮解性；(*e*)一酸溶液之是否爲稀。

12. 試作自碳酸鈉製氫氧化鈉二種方法之方程式。

13. 如有詢德斐何者爲彼之最大發見，彼答曰："法拉第"。試述何故？

14. 所謂一化學元素"由其所偕之夥伴可以知之"，其意爲何？

15. 試依蒲爾理論，作最先十二元素之原子結構之圖解，

* * * *

16. 試推算由氯酸鈉（$NaClO_3$）21.3 克受熱作用時所釋出之氧之體積（在 27°C. 及 740 毛米時計之）。參讀附錄中氣體定律。

17. 欲製 20°C. 及 5 氣壓壓力下之氯氣 2 立，應需氯化鈉若干克？

18. 用索爾未法製造碳酸鈉 50 仟克，(a)當生成硝砂若干仟克，及(b)標準情況下之二氧化碳若干立方米？

第二十五章

磷族

本族特點。 燐，其製取及性質——火柴——捲菸點火機——磷酸——磷酸鹽作肥料——磷酸三鈉作清淨劑——磷化鈣用於信號。 砷及銻。 鉍。 有用合金。

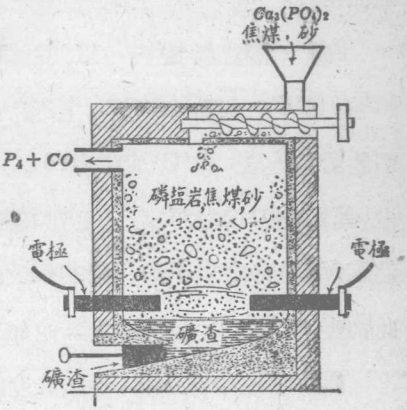
338. 本族特點——氮、磷、砷、銻、鉍諸元素常歸爲磷族或氮族。 查週期表（第346頁）中此等元素爲第V團，而各爲其所居之週期（或短或長）之末第三位。 由前數章所論，可想見本族化學作爲之規例，而實際果然。 例如本族諸元素之氧化物均爲酸性，適如二氧化硫及三氧化硫。 硝酸及其鹽類固已早述之。 磷酸之鹽類爲植物生長之要素，且亦如硝酸鹽，在製造肥料上允爲首要，是乃至可玩味。 磷族較之鹼金屬族或鹵素族，其個別性特強。 卽謂各元素彼此之差異明顯。 然此項差異，實僅乃性質上之一種遞變，依原子量之加增而逐異。

諸此元素之外層圈內均含五個電子，故可料其每原子當再獲取三個電子以完成其外層圈。因此當可認其均爲三價之非金屬。 惟銻及鉍之作爲上偏於金屬性，意卽其失去五個電子較獲取三個電子爲易。 故吾人勢必認本族諸元素中有二種原子價：三價，如 PH_3，及五價，如 PCl_5。

磷

339. 歷史及產地——此元素於十七世紀中葉爲一老哲學家（煉金術士）柏蘭特[1]所發見，其時彼正搜求能令任何物變成黃金之物質。約逾一百年後，瑞典藥劑師社勒自骨中製得燐。惟直至 1833 年開始製造火柴時，方爲人所共知，而價亦低廉矣。

此元素成磷酸鹽而見於自然界中。在摩洛哥及美國之南部及西北部多處，均有極大之磷鹽岩礦藏。骨骼及牙齒含有多量之磷酸鈣（$Ca_3(PO_4)_2$），即藉此而具必要之堅硬及牢固性。動物之筋肉，神經及腦髓含極複雜之有機磷化合物。蔬菜食物幾盡含有磷化合物，即由此而於動物身體中生成此項有機磷化合物。植物之生長則須攝取土壤中之可溶性磷酸鹽。



第 202 圖　電爐中製燐

340. 磷之製取——燐由磷酸鈣礦石與焦煤及砂（SiO_2）共熱於適當之電爐中（第 202 圖）而製得之。

[1]Brandt.

磷酸鈣 ($Ca_3(PO_4)_2$) 可謂爲由兩種氧化物，$3CaO$ 及 P_2O_5 所組成。氧化鈣似與砂化合而成矽酸鈣，熔融而成礦渣，可自底部取去：

$$CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$$

磷酐 (P_2O_5) 爲碳所還元如下：

$$2P_2O_5 + 10C \rightarrow P_4\uparrow + 10CO\uparrow$$

此等氣態產物，經一管逸出，而於水內使磷冷凝。再經提淨，而製成棒形。

電爐之兩極間所生之電弧，卽供應需之熱。此熱由於電流受有抵抗而生，且因熱散發於極有限之空間，故可得作用上應需之高温度。

341. 燐之特性——以此法製得之燐，爲白色蠟狀之固體，熔點 44°C.，沸點 287°C.。極毒。其最特著之性質，乃在低温卽能着火（在 35°C. 起自燃）。故務須貯之水中及於水中切取，蓋卽經刀切之摩擦，已足令其發火也。取用之時，尤須特加注意（愼勿持之以手指），以其所致灼傷，深入皮肉，而又甚毒也。此物幾不溶於水，惟易溶於其他如二硫化碳等數種液體中。

露置暗室中卽灼亮；是卽温度雖低，亦能放出光亮也。尋常凡物發光時，揣其體必熱；事實上物體大都均須熱至 600° 或以上始能發光。然若飛螢、土螢，以及許多燐光海產動物，則均有

此種無熱發光之能力。是謂光耀[1]。

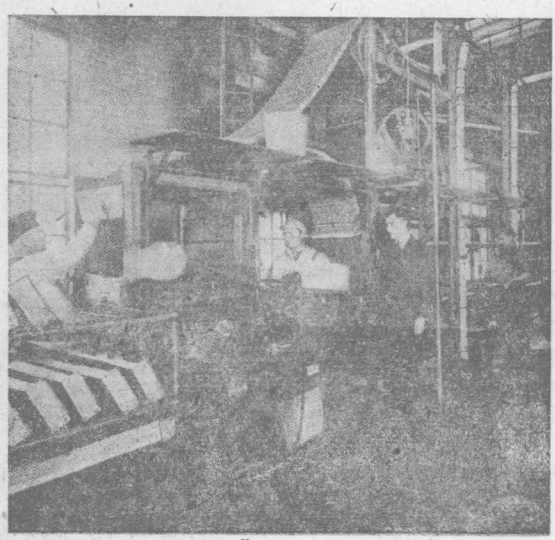
342. 紅燐——上述之白燐[2]（亦稱黃燐[3]）於抽去空氣之器中熱至約 250°C.，即變成一種同素異形物，稱爲紅燐[4]。此物爲暗紅色之粉末，略重於白燐。紅燐之化學性不若白燐之活潑。不溶於二硫化碳，無毒，亦不必貯於水中。紅燐並不熔融，加熱後即直接變成蒸氣。其蒸氣之克分子量約爲 128 克，相當於 P_4 之分子式。設將蒸氣驟冷之，即又生白燐，惟如此生成之白燐，在常温時即漸變成紅燐。

勃立其門[5]又製得另一種之異形物。彼將白燐熱至200°C. 而施以極大之壓力（每方厘米 100 仟克），得一種黑燐[6]，較紅燐猶重。

343. 二種火柴——尋常之摩擦火柴發明於約一百年之前。因燐之低着火温度，故用於火柴製造已久。舊法製火柴，即於木條之端，塗以含白燐明膠，及一種如二氧化鉛（PbO_2）等之氧化劑之漿。塗漿之端乾燥後，蘸以假漆，以隔絕空氣。因製火柴時之持取白燐，致工人遭罹劇重之中毒，今經國際協定禁止火柴廠中使用白燐。一種無毒之磷化合物，所謂三硫化四磷（P_4S_3）已起而代之。此物實與白燐同其適用。擦火柴時，其

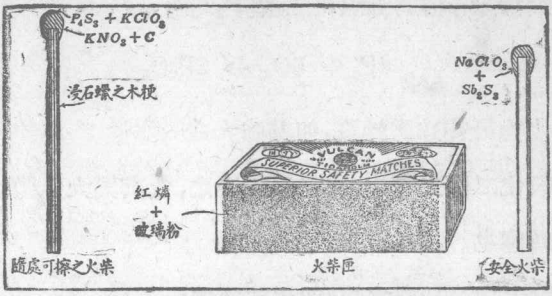
[1] luminescence. [2] white phosphorus. [3] yellow phosphorus. [4] red phosphorus. [5] Bridgman. [6] black phosphorus.

摩擦作用使三硫化物受熱，因氧化劑爲介，卽行着火。由其燃燒之熱點着木條。尋常於火柴頭端浸以石蠟（第 203 圖），俾較易燃着。此項火柴乃隨處可擦者也。



第 203 圖　無量數火柴在製造中。在穿孔板上扦牢之木梗，當沿續繼不絕之鏈帶移動時，卽浸藥而又乾燥。

安全火柴之頭上爲一種氧化劑卽氯酸鈉（$NaClO_3$）與如三硫化二銻（Sb_2S_3）等之可燃性物料混合物。火柴匣之兩側，則塗以薄層之紅燐，少許玻璃粉以增加摩擦，及明膠（第 204 圖）。擦火柴時，產生充分之熱，足令與火柴頭接觸之一小部分紅燐燃着，而使火柴發火。在安全火柴，其最可燃之物料（卽紅燐）與氧化劑彼此分處。火柴通常僅能於此二成分互相摩擦時，始

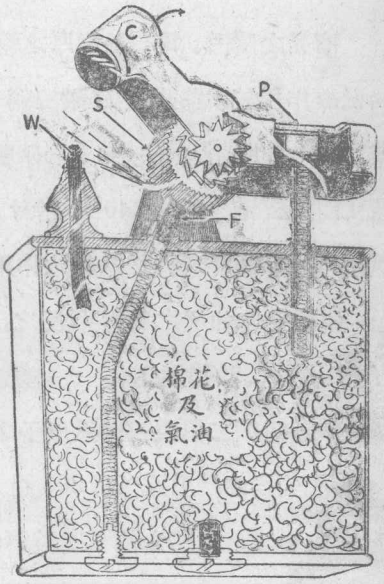


第 204 圖　兩種火柴之組成之圖解。

行點着。故安全火柴須於火柴匣上擦之。

344. 捲菸點火機——數年前，打火石又重見於世，作爲捲菸點火機。以鐵與鈰製成之合金代火石。此合金含鐵 30%，其餘皆爲鈰，鈰乃一種稀有金屬，由產於巴西之一種礦石提取之。機中具一小鋼輪以與鐵鈰齊相摩擦，而擦下少許片屑，此片屑灼熱發光亮，成一簇之火花而點着火絨，如爲浸漬氣油之燈芯尤佳（第 205 圖）。如此可得火焰，較火柴之焰持久而不易吹熄。

一仟克之鐵鈰齊可供給約五千支火石，或近約五百萬次之燃點。



第 205 圖　捲菸點火機。W 燈芯；F，所謂火石，實則爲鐵與鈰之合金；S，鋼輪。於 P 處按捺時，C 帽卽掀起而火花點着氣油蒸氣矣。

345. 製磷酸——燐於供給自由之氧中燃燒時，生

成白色之粉末[1]，稱爲五氧化二磷(P_2O_5)：

$$4P + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$

此五氧化物最特殊之性質，卽其強大之吸水性。氣體可令通過盛有五氧化二磷之管中，以徹底乾燥之，蓋其與大多數之氣體均無化學效應也。

此氧化物溶於沸水時，卽生成磷酸：

$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

商品之磷酸，爲一種稠厚之糖漿狀液體，濃度 85%，昔時由硫酸作用於磷鹽岩[2]（磷酸三鈣）而製成。輓近創有新式工業製法（卽所謂"熱法則"），令磷鹽岩於電爐中經二氧化矽及碳還元而變成燐，如 §340 所述者。所得燐蒸氣再藉導入之空氣，氧化成五氧化物，於是經水作用而變成磷酸。

磷酸並非如燐之爲毒物，反之，且爲動植物生命絕對所必需。

346. 磷酸鹽爲肥料——磷酸既爲一種三鹽基性酸，故可隨其中一個、二個或三個氫原子之被金屬所取代而生成三種之鹽類。美國佛羅里達[4]（第 206 圖）、喬其亞[5]、田納西[6]、加羅林納斯[7]諸地之磷鹽岩礦大都爲磷酸鈣($Ca_3(PO_4)_2$)。此種磷酸鹽幾

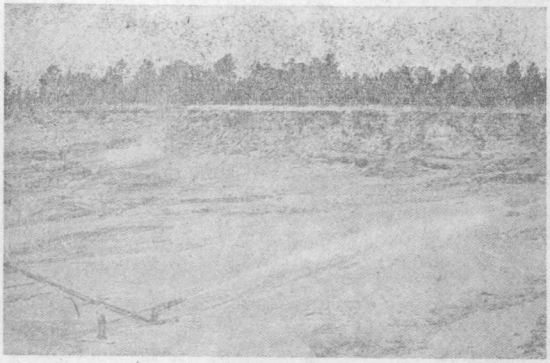
[1]譯者註：此白色之粉末成爲濃厚之煙霧。因此新式戰術上有用白燐以製煙幕彈。同時以其在低溫時卽易着火，亦以製燃燒彈。[2]phosphate rock. [3]thermal process. [4]Florida. [5]Georgia. [6]Jeunessel. [7]Caobirao.

不溶於水，故使與硫酸作用，變成磷酸二氫鈣（$Ca(H_2PO_4)_2$），則較易溶解矣：

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2CaSO_4 + Ca(H_2PO_4)_2$$

結果所得硫酸鈣與酸性磷酸鈣之混合物，卽所謂過磷酸石灰，乃一種肥料也。

熱法製磷酸之工作成本設能減低，則其所得之磷酸，可用以製磷酸肥料矣。此項發展，在最近之將來當能實現。

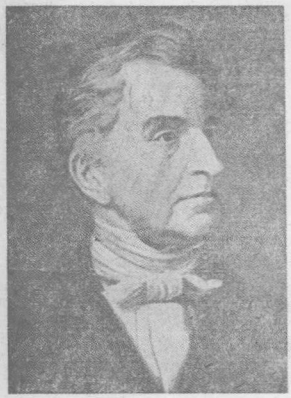


第 206 圖

美國佛羅里達州庇爾司[1] 附近之磷塊磷鹽岩穴之水力採礦場。

347. 何故用肥料——肥料之組成，及其使用之適當，乃農業化學研究上之一重要問題。樹立農業化學之基礎者爲李比喜[2]（第 207 圖）。吾人固知欲保持土壤之肥沃，必給與三種物質：(1)氮化合物，(2)鉀化合物，(3)可溶性磷酸鹽。商品

[1] Pierol. [2] Justus Liebig.



第 207 圖

李比喜 (1803–1873)
德國大化學家，亦爲名教師。
樹立近代農業化學之基礎。

肥料，尋常卽爲此三種基本物料混合物。惟肥料之組成，則視種植之作物之需要及土壤之組成而有不同。例如土壤往往以其中由植物質分解而生成之酸含量過多，而需施用石灰肥者。五穀及草類作物在酸性土壤中不能繁茂，故須播施消石灰 ($Ca(OH)_2$) 以甘沃之。

348. 磷酸三鈉之爲淨洗劑 —— 晚近磷酸三鈉 (Na_3PO_4) 之用作市上種種供家用之去垢粉之主要原料，爲量日增。此化合物之所以有淨洗劑之價值，卽在其水溶液大部按下方程式起加水分解 (§ 326) 故也：

$$Na_3PO_4 + H_2O \rightleftarrows Na_2HPO_4 + NaOH$$

故磷酸三鈉之溶液爲鹼性，而可如氫氧化鈣之溶解膩垢也。因其加水分解僅係一部分，故氫氧根離子之濃度，從不高至與相當之氫氧化鈉溶液中同。因此其中苛性鈉 (氫氧化鈉) 之腐蝕作用大致可以避免。然磷酸三鈉之加水分解，其程度遠過於碳酸鈉 (Na_2CO_3)；故磷酸三鈉溶液之鹼性較強於碳酸鈉或洗滌碱溶液。茲將數種普通之淨洗劑之比較鹼性列如下表：

	一立中 OH 離子之約計克數
氫氧化鈉，0.25 克分子(約 1%)	4.00
磷酸三鈉，0.25 克分子	0.50
碳酸鈉，0.25 克分子	0.05
氫氧化銨，0.25 克分子	0.05

349. 磷化鈣之用於信號——此一鈣與磷之化合物具有 Ca_3P_2 之式。由碳與磷酸鈣相混在電爐中加熱而製成：

$$Ca_3(PO_4)_2 + 8C \longrightarrow Ca_3P_2 + 8CO\uparrow$$

商品之磷化鈣爲紅棕色固體，與水反應即生磷化三氫(PH_3)：

$$Ca_3P_2 + 6H_2O \longrightarrow 3Ca(OH)_2 + 2PH_3$$

特磷化三氫能自燃於空氣中：

$$2PH_3 + 4O_2 \longrightarrow P_2O_5 + 3H_2O$$

霍爾謨信號[1]，即於錫罐中裝二碳化鈣（CaC_2）與磷化鈣之混合物。遇有照明必要時，將罐兩端鑿穿而投之入水中：

$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

由碳化物與水所產生之乙烯 C_2H_2，因磷化三氫之燃燒而着火，遂照耀海面。

砷及銻[2]

本族其次二種，即砷及銻，較不重要，茲略論之。二者外視極類金屬，其物理性與氮或磷均鮮相似之點。然其作爲則實爲

[1]Holmes's Signals. [2]砷銻鉍各節文字，在化學課程較短者不妨刪略之。

非金屬。

350. 產地及製取——二元素均成硫化物而產於自然界中。將礦石煅燒，生成一種氧化物，然後用焦炭還元之。天產硫化物大半多少含有砷。當此等礦石氧化時，卽有二氧化硫成氣體逸出，而三氧化二砷(As_2O_3)則成固體沈積於煙道中。此沈積物爲炭所還元：

$$As_2O_3 + 3C \rightarrow 2As\uparrow + 3CO\uparrow$$

351. 性質及用途——二者皆具銀色光澤。砷在空氣中立卽生錆，銻則絕然不變。製小槍彈時每加極少量之金屬砷（約0.5%）於鉛中。砷足以令溶劑鉛之凝固點降低，當其自製子彈之塔頂滴落時，可延滯其固結。砷亦足以增加熔融鉛之表面張力而給與鉛以應需之硬性，

細粉之銻，卽所謂銻黑粉[1]，用以塗石膏像，俾具有黝暗之金屬外觀。

此二元素燃燒時，均生成氧化物：三氧化二砷(As_2O_3)及三氧化二銻(Sb_2O_3)。三氧化二砷爲普通商品之白砒[2]。極毒，如與一種銅鹽之水溶液相混，卽得一極有效之殺蟲劑，名曰巴黎綠[3]。此等氧化物均爲弱酸之酐，易被氧化成砷酸(H_3AsO_4)及銻酸(H_3SbO_4)。在此項高級酸中，二元素之原子價，均爲五價。鉛及鈣之砷酸鹽，均用以噴灑植物，以防護葉之受蟲害。

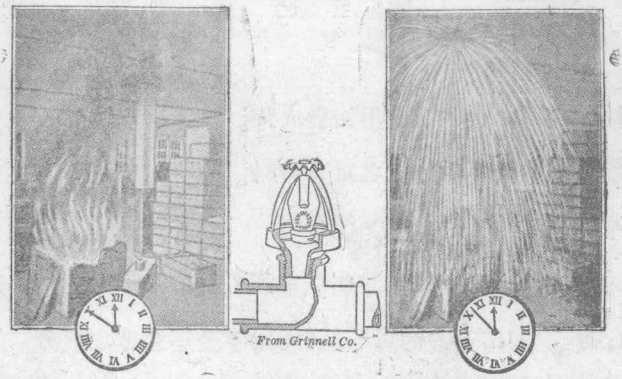
砷及銻亦均略具金屬之特性，如生成數種化合物，其水溶液中得低濃度之離子(As^{+++} 及 Sb^{+++})是也。

[1] antimony black. [2] white arsenic. [3] Paris green.

鉍

352. 鉍及其化合物——本族末一元素爲一種金屬，僅略具些少之非金屬性。乃不甚重要之物質。經強熱卽燃燒，生成三氧化物(Bi_2O_3)。此物實際爲一種鹽基性氧化物，能生成鹽類，如硝酸鉍($Bi(NO_3)_3$)卽是。置此硝酸鹽於水中，則生成一種白色不可溶性之**鹽基性硝酸鹽**($BiONO_3$)，用於醫藥上，稱爲"次硝酸鉍[1]"。

353. 銻及鉍之有用合金——鉍用以製熔點極低之合金。例如**武德金**[2]，卽含鉍、鉛、錫、鎘，熔點 60°C.，較其任何成分之熔點均低。此種合金用於自動噴水器上。設室內裝有此種噴水器，其塞栓（卽俗所謂龍頭）製自此種合金者，則一旦失火，塞栓（第 208 圖）依卽熔化，而任水湧出以滅火。此項合



第 208 圖　易熔塞栓爲自動噴水器之要件。易熔金受熱卽熔融而水噴出。

[1]bismuth subnitrate.　[2]Wood's metal.

金，亦爲保險絲，汽鍋上安全塞栓及自動關閉火門及火簾之設置上之連接鍵之可貴材料。

以銻加入鉛及錫，而共熔合之，所得之合金，稱爲鉛字金[1]（亦稱活字金）。此合金於固結時，有微微膨脹之性，故鑄鉛字或鉛版時樂用之。巴氏金[2]亦含此等金屬，惟比例不同，並加有少量之銅。用以襯墊機械上之軸承。此種抵抗摩擦之合金中，以較硬之粒子壓入較軟之底模（埋窩料）內，俾呈光滑之面。

第二十七章　提要

磷族有氮、磷、砷、銻、鉍。

磷爲動植物之一重要成分。普通之異形物爲白色紅色二種。

白　燐	紅　燐
熔點 44°C.	不熔
極毒	無毒
發火點低	發火點高
可溶於二硫化碳	不可溶
於空氣中生燐光	不生燐光

紅燐及磷之硫化物均用於製火柴。

磷酸鈣爲肥料製造上之重要原料。

砷及銻之物理的外形類似金屬。燃燒於空氣中卽生成氧化物，是爲酸酐。二者均能生成數種可得低濃度之三價陽離子之化合物。砷化合物極毒。銻爲鉛字金等合金之成分。

鉍確爲金屬，用以製數種低熔點之合金，如保險絲、鉛字金、

[1]type metal. [2]Babbitt metal.

及巴弼金等。

問　題

1. 磷係何時並爲何人所發見?

2. 磷工業之主要中心,何以在尼阿格拉瀑布地?

3. 試於磷以外,舉三種有異形物之元素。

4. 試比較白燐及紅燐之(a)活潑性;(b)毒性;(c)二硫化碳中之溶解性;(d)比重。

5. 紅燐何以較白燐爲穩定?

6. 人造肥料中常見之三種元素爲何?

7. 試述過磷酸石灰所以爲良好肥料之三項理由。

8. 磷酸銨鉀有時用作濃肥料。試揣想其目的何在。

9. 若磷酸之一種酸類,每分子中具有三個可取代之氫原子者,當如何命名之?

10. 使用尋常之摩擦火柴有何危險?

11. 在安全火柴頭中,含有何種之磷否?

12. 欲火柴頭燃着較易,應如何爲之?

13. 試將組成(a)尋常摩擦火柴;(b)安全火柴頭端之物料列成一表。何者爲安全物料?何故?

14. 試舉易熔合金之三種實際應用。

15. 砷酸鉛爲今日最有用之砷化合物。試解釋其何故。

*　　*　　*

16. 鉛字金之所以適用,其主要特點何在?

17. 鈉貯於火油內,白燐則貯於水內。試述其故。

18. 磷酸能生成若干種之鹽類?試舉其三種鈉鹽之式。

19. 下列物質各有何用:(a)三硫化四磷;(b)巴黎綠;(c)鉍黑粉?

20. 磷酸三鈉之溶液,令紅色石蕊紙轉藍色?試解釋之。此項作用與其用作淨洗劑有何關係?

*　　*　　*　　*

21. 使磷鹽岩一噸成過磷酸石灰,須用硫酸若干?假定酸爲 50% 純粹之

酸，岩爲 70% 之磷酸鈣。

22. 燐 6.2 克燃燒時，當生五氧化二磷重若干？需氧體積(標準溫壓)若干？

23. 設有不純粹之磷岩鹽 53.4 仟克，含 $Ca_3(PO_4)_2$ 之 58%，於電爐中與充分之焦煤及砂共熱之，當可得燐若干仟克？

進究題材

肥料——土地何以需行施肥？肥料中應有何幾種元素？今日肥料原料之供給量是否富足？除肥料外其他對於作物有關係之因子爲何？(Slosson's *Creative Chemistry*, Duncan's *Chemistry of Commerce*, *Chemistry in Agriculture*, Howe's *Chemistry in the World's Work*, and pamphlets issued by the State and Federal Agricultural Stations.)

第二十六章

溶液，浣液，渾液

溶液之重要。溶劑——飽和溶液——溶解度——結晶——過飽和——溶液之沸點及凝固點——氣體於液體中之溶液——溶液之本性——滲透。

浣液及渾液——膠體——膠體粒子之大小——膠體之重要——布朗運動——膠體之製取——沈澱——保護作用——凝膏——氣體於固體中之分澈。

354. 溶液之重要——溶液不獨對於化學家極爲重要，實乃一切生物生活上之要素也。吾人之食物，必先經消化時之溶解，始可進入血液，而變成肌肉及骨骼。植物僅能自土壤中吸取成爲溶液之含氮物質及礦物質。此等溶液吸入根中，成爲漿液，而輸送至植物之生長部分。

沙漠之地，一經灌溉，即能成肥沃之土。如美國西部多處即然。我國西北廣茫無垠之沙漠地，苟亦能從事灌溉，未始不可變爲膏腴富饒之區。加水入於地中，則溶解其中原已含有之食料，俾供植物之營養。土壤之任何部分，如不先溶解，無可能作爲植物之食料。

於此有一疑問：所謂"乾耕"者爲何？乾旱之地，可藉土壤之深耕及通體而不絕之表面栽植，以防止其有限量水分之蒸發。若干時後，即積存充分之水分，足

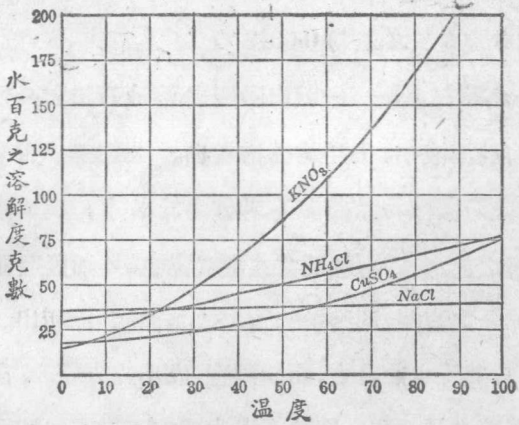
以生長一種作物。在雨量過少之區，一種作物祇能每二年生長一次。乾耕者，乃一種蓄留水分之方法，使植物得有溶解食料所需之水量耳。

355. 各種溶劑——在第六章中，見水爲多種物質最良之溶劑。此於酸類、鹽基類及鹽類等化合物，尤爲確然。水以外尙有數種液體亦頗具溶劑能力者。例如酒精，可溶解多種不溶於水中之物質，若蟲膠片是。至若脂肪、蠟、樹膠等物質，均不可溶於水中，而可溶於某種有機化合物中，如醚、四氯化碳、二硫化碳、氣油[1]（戩司林）等。因此，吾人苟欲製某種物質之溶液，須由實驗探知其最適宜之溶劑。由衣物上去除汚漬，卽本此項事實。如汚漬爲鹽或糖，則用水洗除之。如爲油漬，則用氣油、四氯化碳(CCl_4)、或相類之物質。除去衣物上之油漆，須用松節油或醚，蓋此二物殆爲溶解油漆中所用油料之僅有溶劑。

356. 溶液何時爲飽和——一種溶劑所能溶解物質之量，有一定之限度。此限度隨所溶解物質之本性及溶劑之本性而大相懸殊。例如水 100 克，於 20°C. 時可溶氯化鉀 34 克，氯酸鉀則僅 7 克。溶液之含多量溶解物質者，謂之濃；僅含少量者謂之稀（卽淡）；當其在特定溫度時已儘量含有所能溶解之物質，則謂之飽和[2]。溶劑 100 克中，所能溶解固體之最高量，謂之物質之溶解度[3]。此項數量，常隨溫度而變遷。今以橫座

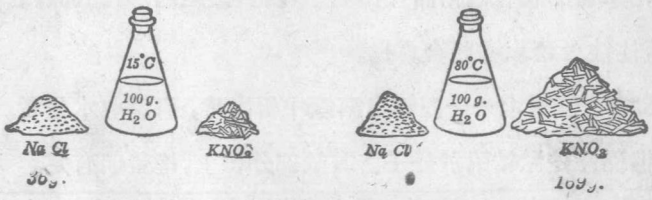
[1] gasoline. [2] saturated. [3] solubility.

標表温度，縱座標表水100克所能溶解之克數，卽可畫成溶解度曲線（第209圖）。一般情形幾盡屬温度愈高，所能溶解之物



第209圖　温度影響於溶解度之曲線

質愈多。例如水100克，在0°C. 時溶硝酸鉀（KNO_3）13克，15°C. 時溶26克，80°C. 時溶169克。惟氯化鈉之溶解度則幾屬恆定：在15°C. 時爲36克，80°C. 時爲38克。溶解度之差殊，視第210圖尤爲顯明。有少數物質，如氫氧化鈣



第210圖　鹽及硝石於冷水及熱水中溶解度之圖解

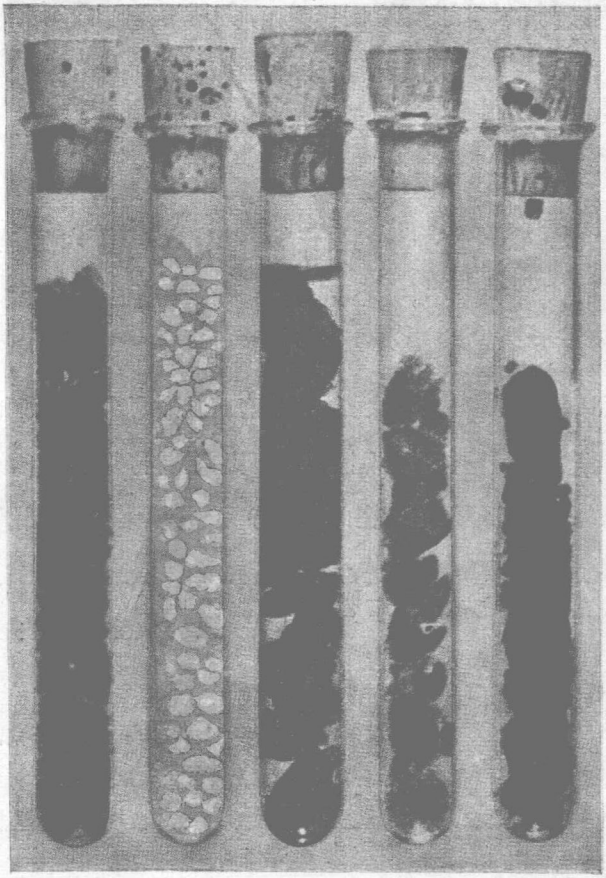
($Ca(OH)_2$)等，溫度昇高反難溶解。物質所能溶解之最高量甚小者，卽稱此物質爲**不可溶**[1]。然嚴格言之，實無絕對不可溶之物質。例如，大理石雖爲不可溶於水中，但在18°C.時其飽和溶液，每水100克含大理石粉0.0013克

357. 各種結晶體——就肉眼視之，溶液乃勻和一致(§18)，蓋物質之溶於溶液中，乃平均徧佈者也。雖放置久時，決不離析而出。此乃機械的混合物（若砂之於水），與眞確之溶液（若糖或鹽之於水），兩者間之主要異點也。如蒸發飽和溶液而除去一部分之溶劑，則溶解物質卽成結晶體[2]而析出。§110中卽有此例，其時水蒸發去，而餘剩鹽，成小立方體。自溶液中得結晶形固體之又一法，卽於高溫時製成一物質之飽和溶液而令其冷却。如物質之溶解度，於較低溫度差遜甚遠，則當有相當數量之固體成結晶體而析出。固體依此等方法而自溶液中析出時，稱爲**結晶**[3]。

結晶可依其幾何的形式，略分成數類。第211圖示數種普通之化學藥品成有色結晶產出者。物質之結晶形，應加詳密審察，蓋往往可藉以鑑別物質也。

358. 涵附水——固體自溶液中析出時，有攜取水分者。此水似係僅疏鬆結附於分子之其餘部分根上，惟量則有定。稱

[1] insoluble. [2] 此自不適用於非結晶物質 [3] crystallization.



1　　2　　3　　4　　5

第 211 圖　數種有色結晶：1，鐵氰化鉀；2，鉻酸鉀；3，硫酸銅；4，重鉻酸鉀；5，二氯化鈷

水[1]，而於式中表作：$CuSO_4,5H_2O$（硫酸銅）。此等鹽類，稱爲**涵水物**[2]，而無涵附水之同樣鹽類，則稱爲**脫涵**[3]或**無水**[4]。例如結晶硫酸銅爲藍色，而脫涵硫酸銅則爲白色。涵附水每可只將物質加熱以驅出之；有少數結附殊鬆，卽於室溫時失去。此最後一種之作用，稱爲**風化**[5]。

有數種鹽類露置時，卽自空氣中吸取水分，而成潮濕，或竟溶解於所吸取之水中。此種物質，稱爲**潮解性**[6]。如氯化鋅、氯化鎂及氯化鈣等，皆潮解性鹽之例也。

359. 過飽和溶液之製成——有時當熱而清澄之飽和溶液冷却至室溫，不見有何結晶體。此乃出人所料，蓋此時溶液中所含物質之 ，已超過溶劑在此溫度時所能溶解者。此種溶液，稱爲**過飽和**[7]。然如將此放置，或加以振盪或猛烈攪拌，則每有結晶體析出。投入該物質之極小結晶一顆於溶液中，往往可令立起結晶。

此種現象可舉例證之。取硫代硫酸鈉卽"大蘇打"($Na_2S_2O_3,5H_2O$)若干，於清潔燒瓶中加熱，至鹽熔融，而溶解於其自有之涵附水中。以棉絮將瓶塞住，以防塵埃，而令其冷却，勿動其瓶。冷却之後，取硫代硫酸鈉小結晶一顆，懸於溶液中，而觀其結晶之迅速生成。

360. 溶液之沸點及凝固點——在正常情況下，純水於0°C.

---

[1] water of hydration. [2] hydrate. [3] dehydrated. [4] anhydrous. [5] efflorescence. [6] deliquescent. [7] supersaturated.

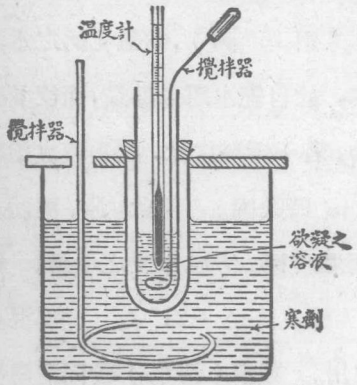
時凝固（結冰），於100°C.時沸騰。如加入任何可溶性固體，則足以降低凝固點而昇高沸點。此種凝固點之降低，即利用於製冰廠中。純水箱四圍之鹽水（第165圖），爲氯化鈣之水溶液。其凝固之温度遠低於純水，故自純水導去熱量，而使其凝冰。又如製成冰與鹽之混合物，若干熔融之冰，成爲鹽之飽和溶液。鹽之飽和溶液於 −21°C. 時凝固。因此，冰、固體鹽及鹽溶液三者之混合物，僅於此温度時，方成永恆之平衡。結果致冰續有熔融，俾吸收熱量，至温度降至 −21°C。此種混合物稱爲寒劑[1]，供製冰淇淋等之用。鹽水（海水）凝固之温度既遠低於純水，故港口海灣，僅於極寒之氣候，始見凍結。

此項原理利用於製造汽車放熱器所用之抗凍溶液[2]。例如50% 之酒精水溶液，非至 −28°C. 不致凍結。惜當引擎熱時，酒精往往急速沸騰。甘油亦常用於汽車散熱器中。抗凍液最佳之一種爲乙二醇[3]（$C_2H_4(OH)_2$）。

361. 量的觀察——試於水1000克中溶入糖（$C_{11}H_{22}O_{11}$）一克分子量，即342克，另取一立之水，溶入甘油（$C_3H_5(OH)_3$）一克分子量，即92克。當見二溶液均於同一温度即 −1.86°C. 時凝固。又見二溶液同於100.52°C. 時沸騰。換言之，即此等溶解物質一克分子，均使一定重量之水，凝固點降低一定之度數，

[1] freezing mixture. [2] antifreeze solution [3] ethylene glycol

而沸點亦昇高一定之度數[1]。由此項實驗，可知凝固點及沸點非繫於一定重量之水中所溶物質之總重量，而實繫於溶液中分子之數。此事實，又供吾人一種測定許多固體及液體之分子量之方法。今此不必詳論之（第212圖）。



第 212 圖　測溶液之凝固點之器具

362. 氣體於液體中之溶解——前此既述固體於液體中之溶液矣。惟每常亦須論及氣體於液體之溶解度。此處設將普通之氣體分成三類，則其重要各點即易識之：

1. **極易溶解：** 氨，氯化氫，二氧化硫。
2. **頗可溶解：** 硫化氫，氯，二氧化碳。
3. **稍可溶解：** 氧，氫，氮，及不活潑氣體（§254）。

壓力增加，每增多氣體溶入溶液之量。至稍可溶解之氣體，其增加量與壓力成正比。此之謂亨利定律[2]，在 1803 年提出。於碳酸水之製造（§219），已見此定律之實施應用。

---

[1] 此一規律，不適用於本身具有蒸氣壓之物質，如乙醇然。

[2] Law of Henry（英國化學家 William Henry 1775–1836 所創定）。

盛冷水於燒杯而徐熱之，即見有無數之空氣小泡集於杯壁，而經過液體昇至水面。初視之，或以爲水汽之氣泡；實則必爲空氣之氣泡，(1) 因其生成於水之沸點以下之溫度，(2) 以其升入上方水之較冷層，並不凝結。

由此簡單之實驗，可知尋常之水含有溶解之空氣。維持魚類之生命者，即此溶解空氣中之氧也。此實驗又說明水中所能容空氣之量，隨温度昇高而減少。是氣體之溶解度，隨温度昇高而減低。

363. 溶液之本性——前論關於溶液之諸事項，使吾人深信溶液在若干點上與氣體甚相同。即吾人意想溶解物質之分子，在溶劑之分子間徧處運動，宛如氣體之分子依運動說(§54)之翱翔飛遊。此種關於溶液之概念，如屬確切，則物質溶於水中時，實即分離成各個之分子，猶如氣化然。因此，溶解分子之比較數所以爲沸點昇高及凝固點降低之要鍵可瞭然矣。

第213圖　凡特荷甫 (1852–1911)
應用氣體定律於溶液

如將有色物質如硫酸銅 ($CuSO_4$, $5H_2O$) 或高錳酸鉀 ($KMnO_4$) 之結晶一顆，置高水筒之底，則見物質之色徐徐佈滿全溶液。此種液體中之瀰散，與氣體瀰散於他氣體中相類。

前見 (§43) 數滴之溴 (紅色液體) 注入高瓶空氣內，則成蒸氣向上瀰散。此

乃氣體瀰散之例也。

由此等實驗，可見正如吾人所謂溶液之結構或與氣體極相類似。循此概念，過去 40 年內，遂有堪稱爲溶液運動說[1]之創立。荷蘭化學家凡特荷甫[2]（第 213 圖）曾舉陳關於溶液運動說最確切之證據。此理論似最適用於稀溶液。對於濃溶液，則不甚確當。此大概由於稀溶液及濃溶液中，溶解物質與溶劑間，均起有化合作用。如氨之與水，已知其然。誠如是，則吾人所意想於溶液中徧處運動之粒子，當非僅爲溶解物質之粒子，而爲溶解物質與溶劑一個分子或多個分子化合而成之粒子矣。若是之意念，卽所以代表吾人今日對於溶液之知識。

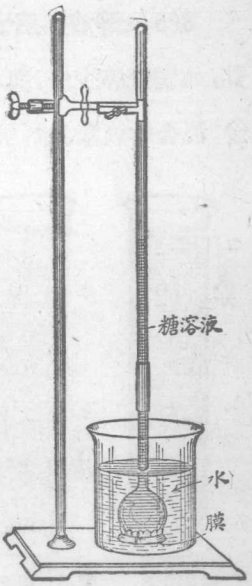
364. 滲透作用——上述物質於溶液中有自行徧佈於全溶劑之傾向。此項傾向，乃爲一種實際之力，是爲滲透壓力[3]，當瀰散被阻時，如藉一薄膜，可以量測之。吾人知動植物質之薄膜，可容水流通易如，而完全阻止多種溶解物質如蔗糖等之通過。今如設計一種裝置，使一溶液藉此種膜層，以與純水相隔離，水卽通入溶液中。此種水之通過膜層而入於溶液中，乃滲透[4]之簡例也。

作下述實驗，可以明滲透壓力及滲透作用。於小玻璃漏斗上蒙緊羊皮紙，其縫口用火漆封密。於是取糖溶液盛於漏斗中，而以橡皮管接一長玻管於漏斗莖

[1] kinetic theory of solution. [2] Jacobus Hendricus van't Hoff.
[3] osmotic pressure [4] osmosis.

上。將漏斗置入燒杯內蒸餾水中，如第214圖所示。溶液昇入管中，蓋有水通過羊紙皮也。數日之後，管中之溶液，當達相當之高度。

凡能容水通過而不令某種溶解物質通過之膜，稱爲半透膜[1]。動植物之膜，多能阻止糖液之通過，而容鹽溶液完全透過。在有生命之動植物，其細胞壁亦爲半透膜。有祇容水透過者，有可容鹽透過，而不容其他如糖等之物質透過者。且當一細胞生活期間，其透過性或有變遷。細胞卽由是而調節其容量及通入之物質。滲透作用常屬淘選性的，而起於由稀入於較濃之溶液中之方向。



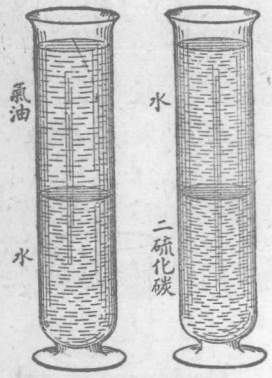
第214圖　表明滲透作用之簡單裝置；水通過於膜層

水及鹽溶液之透入植物根中，爲生物體內滲透作用之一例。水或稀溶液爲根鬚之細胞所吸取，藉滲透作用，由細胞至細胞，漸次深入根中，最後達細管或細孔，再經此而輸入莖及葉。細胞漿之溶液，較土壤中之水爲濃時，此項作用當進行不絕。同樣，吾人所食之食物，亦變成液體，藉滲透作用，通入血液，而輸送身體全部。

[1] semi-permeable membrane.

浞液　渾液

365. 溶液、浞[1]液及渾液間之區別——設取極細之粉狀物質，如麵粉等少許，與水攪和，卽得外表勻和之混合物。然放置後，混合物復漸相離析，固體徐徐沈降於器底，此種混合物，稱爲浞液[2]。泥水卽爲浞液之一種常見之例。



第215圖　二種不可攙和之液體

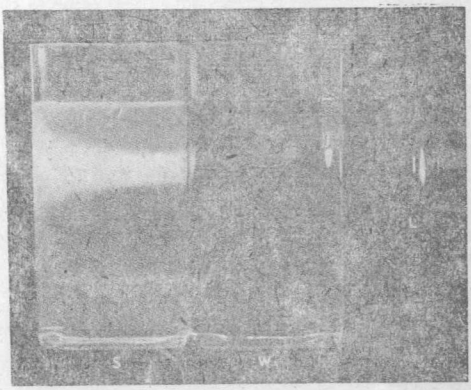
液體與液體，有多數可彼此以任何比例互相溶和；例如酒精之與水。在此項溶液中，其物質謂之可以任何比例相攙和[3]。如欲將水與二硫化碳（CS_2）相混，則立見於此二種不可攙和[4]之液體間，有清晰之界線（第215圖）。有數種液體，如苯酚[5]（C_6H_5OH）與水，在一定限度以內彼此能相溶和，其溶解度，視溫度而定。

油與水乃二種不可攙和之液體，如劇烈搖和，則一液之小珠泡可歷久懸浞他液中。此爲一種機械的混合物，如浞液然，稱爲渾液[6]。生菜拌汁乃一種渾液，由洋橄欖油與醋相搖和而成。

[1]浞讀如宕。[2]suspension.　[3]miscible.　[4]immiscible.　[5]phenol（苯讀如本）.　[6]emulsion.

溶液與淀液及渾液間之區別，大概由於溶解及懸淀物質之粒子之大小不同。在溶液中，係以分子佈滿全液，分子過於微細，雖用最高度之顯微鏡，亦不能辨，且徧處急速運動。在淀液及渾液中，則粒子大於分子數千倍，可以顯微鏡察見之。

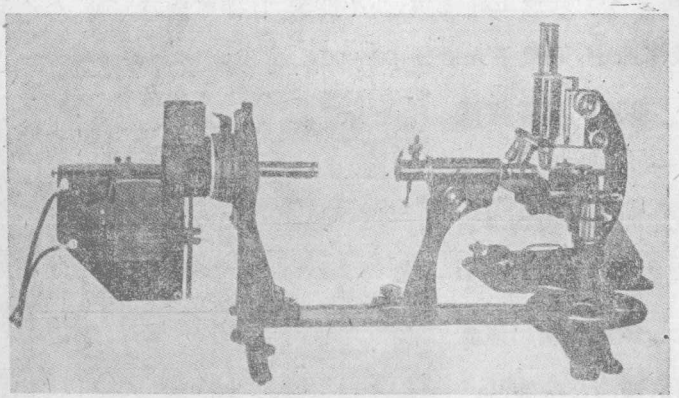
366. 何爲膠體——介乎眞溶液與淀液之間，而與二者均易混視，有所謂膠體[1]者。多數膠體如以尋常之顯微鏡檢視時，似若完全清澄；惟當有光線射過時，則可見其並不完全勻和一致。例如令光線一縷通過鹽之溶液，不見有何明顯之通路。但設通過於清澄之膠體澱粉液，則見有明亮之通路（第216圖）。是因呈膠體態之粒子，其大小足以反射一部分之光線。一縷光線射入塵埃飛揚之室，可以目睹，其理正同。設用顯微鏡檢視膠體中之光路，則可見有無數舞躍之光點。細微之膠體粒子本身，固不能察見，惟其於膠液中徧處運動時所反射之光點，則可得而見。由是，濃度已知之膠液，吾



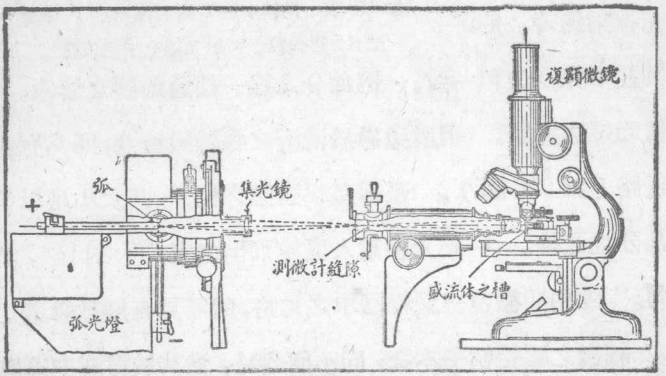
第216圖　光線由燈L射過淨水缸W及皂水缸S。膠體粒子反射光線（丁達效應[2]）

[1] colloid　[2] Tyndall effect.

人可計其中粒子之數，因而得估量粒子之大小。此項工作所用之器械，稱爲限外顯微鏡[1]（第 217 圖）。



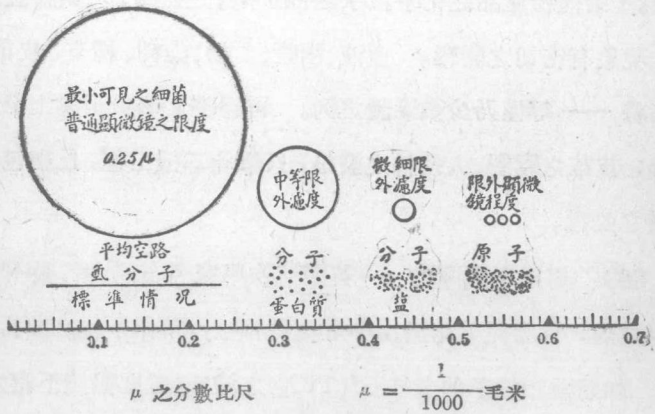
第 217 圖A 研究膠體用之限外顯微鏡



第 217 圖B 弧燈所發之光綫經過橫平縫隙而入於顯微鏡台上之小槽之圖解

[1] ultramicroscope.

367. 膠體粒子之大小——藉限外顯微鏡及其他方法，既可估量某種數膠體中粒子之大小，卽可以之與其他粒子相比較（第218圖）。懸淆粒子可用顯微鏡直接量測，而計算簡單分子之大小。經此比較之後卽可知膠體者，其粒子遠大於簡單分子，



第218圖　極小物體之比較大小之圖解

惟仍極微細，尙不能如淆液中粒子，由沈澱而析出。如此情況下之物質，稱爲呈膠體狀態[1]或膠體分散[2]。若澱粉、食膠、明膠、蛋白等物質，溶解時每成膠體。此或由於其複雜之分子甚大，竟屬於膠體之大小也。其他分子比較簡單之物質，亦每能成膠體態，則其中之粒子，當係許多分子之凝聚體（見後）。尋常作膠體態之物質，每稱之爲膠體；其他之物質，稱爲晶體[3]或非膠體[4]。

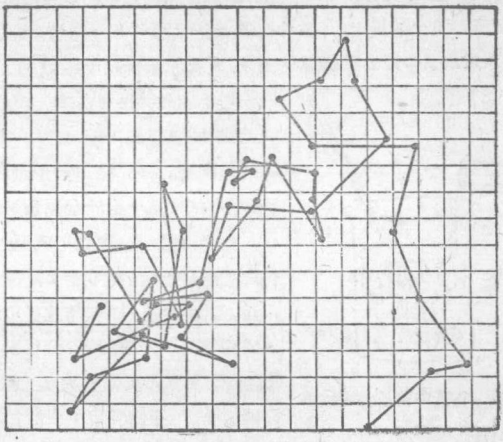
[1] colloidal state.　[2] colloid dispersion.　[3] colloid.　[4] crystalloids

然此等名詞並不確當，因許多晶體（例如金），在某定情況下，均可呈膠體態也。

368. 膠體化學之重要——關於膠體化學之基礎的原理，此後本書將屢屢涉及之。動植物中含有成爲膠體之複雜有機物質。動植物產品之化學，乃至生物本身之化學，均與膠體狀態之現象有密切之關聯。血液、樹漿、食物、染料、橡皮、皮革、人造絲——等僅乃少數膠體之例。再膠體化學於工業上至爲重要：皮革之鞣製，人造絲之製造，只舉此二種工程，已盡包含膠體之知識。

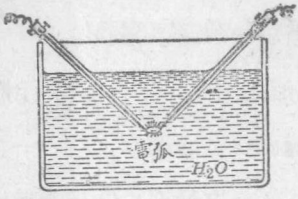
369. 何爲布朗運動——英國植物學家名布朗[1]者，距今約百年之前，曾察見懸浮於水中之花粉細粒，常作不絕之曲折運動。如將極細粒子如金紅石[2](TiO_2)之浮液，置顯微鏡下察之，當見所有粒子，均在作急速而不規則之運動。於限外顯微鏡下可見之粒子，亦然。此之謂布朗運動[3]。凡直徑不及約萬分之一毛米之粒子，皆具此特性。此等微粒子之不規則而永續之運動，乃由於爲常在運動之溶劑分子所撞擊而然。吾人雖不能察見溶劑之分子，而可見被其偏處拋擲之較大物質粒子（第 219 圖）。因可謂由粒子之布朗運動，可想見分子之無窮止之舞躍。

[1] Robert Brown 1773–1858 [2] rutile [3] Brownian movement



第219圖　布朗運動。乳香一粒（直徑約1μ）每30秒鐘連續進行之向位之圖樣（一千倍）

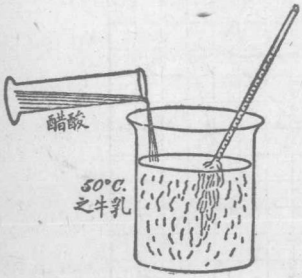
370. 膠體之製取——物質有溶於水中而即成膠體者，例如澱粉、食膠、明膠、阿拉伯膠等。其他之物質，則須經特殊之手續，始作膠體態。例如許多金屬於水中之膠體，其製法可於浸在水中之二金屬棒間造成一電弧（第220圖）。當電流通過時，使金屬機械的崩裂成粒子，其微細之程度，足使呈膠體態。又一法，則由還元金屬鹽之溶液以製金屬。所生之金屬，分碎甚細。例如含有碳酸鈉之溫熱氯化金溶液，如用黃燐之醚溶液數滴處理之，液體即成淡黃色，繼成黃棕色，終成純紅色，而完全清澄。磷與氯化合，餘下之金，成爲呈膠體態之金屬金。他種物質（還元劑），可用以代磷者，而可得紫色或藍色之溶液。其顏色之差別，由於粒子之大小不同而然。更有一例，即爲由硫化氫作用於銻鹽之鹼性溶液，以製成硫化銻之紅色膠體。



第220圖　製金屬膠體

371. 膠體之沈澱——膠體粒子，帶有電。有所有粒子盡帶陰電者，有盡帶陽電者。此等粒子於電力場中移動，若離子然。其電荷等常即由黏附或被

吸着[1]於膠體粒子之離子而來。設一旦吸着電性相反之離子，則電荷爲所中和，而中性之膠體粒子每即沈澱析出。故如金屬及硫化鎘等多種膠體，祇在特殊情況下爲穩定。加入電解質[2]，每令膠體粒子凝集，而成沈澱析出（膠凝[3]）。此項沈澱，一般均不能令其再行溶解，使成膠體。例如，加酸於膠體硫化鎘溶液中，則生成硫化物之紅色沈澱。同樣，加稍多量之酸或鹽於膠體金溶液中，足令生成金屬金之沈澱。



第 221 圖　牛乳中加醋酸使乾酪胜起膠凝

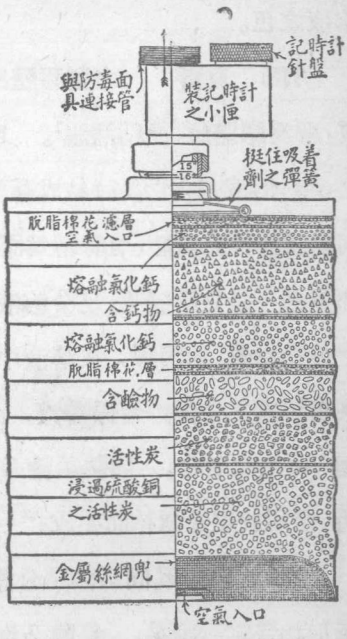
加稀醋酸於温熱之牛乳中，可使膠體物料之乾酪胜[4]起沈澱（第 221 圖）。此時之作用，據謂可逆，蓋乾酪胜仍可溶於稀鹼中，生成膠體也。在用犢胃汁以製造乳酥及製乾酪時，亦有此項乾酪胜之沈澱作用（膠凝）徐徐發生。橡膠乳漿中成膠體存在之生橡皮，亦由加入醋酸而起沈澱。惟不如乾酪胜之可溶於稀鹼類中。然此項沈澱，可溶於許多有機溶劑中，其溶液可稱爲"膠體液[5]"。

372. 保護膠體——少量之膠體物，每足以阻止他種較不穩定之膠體起沈澱。例如有阿拉伯膠存在，足令金屬之膠體液易於製成，此時用少量之鹽及酸類，不復能使生成沈澱矣。蛋白銀[6]爲醫藥用之膠體銀，製造時即需用一種保護膠體[7]。

用保護膠體之實例甚多。油與醋之浴液，不久即自行離析，如加以蛋黃中之膠體質，即能變成持久而稠厚之漿——油蛋黃漿[8]。油蛋黃漿中之膠體粒子爲微小之油滴；保護膠體得

[1] adsorb. [2] electrolyte. [3] coagulation. [4] casein（胜讀如生，蛋白質也）. [5] colloidal solution. [6] "argyrol". [7] protective colloid. [8] mayonnaise.

自蛋中。膠體中分澈粒子爲液體者，稱爲**渾體**[1]，以別於固形之膠體，後者稱爲**淀體**[2]。保護膠體常亦稱作一種**渾化劑**[3]。乾酪胜之於牛乳中，卽具渾化劑之作用，使多量之酪脂保存於溶液中。石墨於水中（水滑料[4]）或於油中（油滑料[5]）之膠體，乃由細石墨粉，及一種溶劑，與保護膠體三者製成。均作減摩劑，爲用甚廣。



第 222 圖　與防毒面具同用以吸澄毒氣之金屬罐之剖面圖

保護膠體之作用，大概由於可將他種膠體黏住，生成一種保護膜。一種膠體黏附於他種膠體，或電解質黏附於膠體，稱爲**吸着**。細粉或多孔者（如炭）之固體，亦均能吸着多量之氣體，歐戰時以此種固體物用於**防毒面具**[6]（第 222 圖）中，卽本此理。木炭及骨炭又能自溶液中吸着許多複雜之有色物質，故於實驗室及工業上用以脫除

[1] emulsoid　[2] suspensoid.　[3] emulsifying agent.　[4] water dag.
[5] oil dag.　[6] gas mask.

溶液之色。

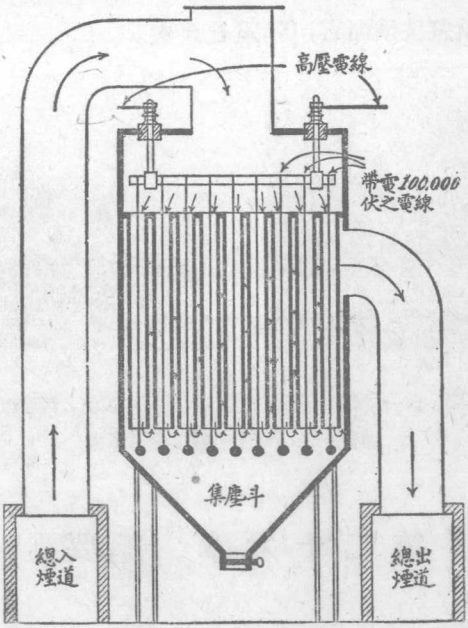
373. 凝膏 多數膠體冷卻或蒸濃時，卽變成凝膏狀物質，稱爲膠滯體，簡稱滯體[1]。 明膠之性狀，爲最常見之例，明膠之5%溶液在18°C.時結成凝膏。 一般若將滯體溫熱或加水，則變成稀薄之液體(有時稱爲膠溶體[2])。 關於滯體最顯異之點，卽爲極少量之膠體物，足令溶液變成堅結而僵硬。 因此較少量之乾燥物質，如明膠，於溶液中可生成大量之滯體。 凡直接從果實製成之果膏，皆係滯體，由果實中存在之膠體物，卽膠體醣[3]，而生成者也。 固體酒精乃飽和醋酸鈣溶液，有脂蠟酸存在時，作用於變性酒精而生成之一種滯體也。

374. 氣體及固體內之分澈—— 微細粒子之分澈於液體中既加相當之討論矣。 氣體乃至固體中，亦可有同樣之事態。煙卽爲極微細之粒子，於一種氣體(尋常爲空氣)中之浴體。 有數種之煙，其中粒子不久卽結合成較大之顆粒而沈降，惟亦有粒子能逗留分澈於氣體中，經時久長者。 如懸浴粒子爲一種液體之在氣體中者，則成爲霧。 泡沫與霧適爲相反，蓋泡沫乃微細之氣泡分澈於液體中也。

煙粒子亦帶有電荷，如他種膠體粒子然。 科屈理爾[4](美

[1] gel. [2] sol. [3] pectin (醣讀如唐，爲碳水化物之學名). [4] Frederick Gardner Cottrell (1877-).

國化學家）曾根據此點而設法令煙流動過帶電之金屬板及絲，以使粒子沈澱（第223圖）。在此電力場內，帶電之粒子，常



第223圖　科屈理爾法之圖解

向帶相反電荷之極板流動，爲所中和，膠凝成塵埃而降落。此科屈理爾法，不僅可免除許多製造事業上之煙害，且可收回向所損失之許多貴重物質。若熔礦廠及鑄造廠所發放之烟中有價值之金屬氧化物，及水泥廠煙中之鉀化合物，均可得沈澱而利用之（第224圖）。

固體，液體或氣體極微細之粒子，可分散入固體物中，而此種固態膠體，每具極不平常而美麗之顏色。例如金在玻璃中之膠體，使玻璃呈紅寶石色。且欲得深濃之顏色，祇須極少量之膠體物。就紅玻璃而言，0.1% 已足矣。

A B

第 224 圖 同一工廠之兩照相：A，所用收集塵埃之科屈理爾沈澱器在未通電流時；B，通過電流

第二十六章 提要

水爲酸類、鹽基類、及鹽類之普通溶劑。多種物質不能溶於水者，往往可溶於酒精、醚、四氯化碳、或氯油。

飽和溶液乃在某定溫度儘量含有所能溶得某一物質之溶液。飽和溶液冷却時，有時成爲過飽和。

溶解度以溶劑 100 克所溶解物質之克數表之。其數值溫度而變遷，一般皆爲隨溫度之昇高，而迅速增高。

結晶形固體由溶液蒸發而析出，或當飽和溶液冷却時析出。

涵附水乃數種物質當自溶液中成結晶體析出時，疏鬆涵結之一定量之水。

風化性物質，在室温時卽失去其涵附水。

潮解性物質能自空氣中吸取水分，而溶解於水分中。

滲透乃水及某數種溶液通過阻止某種溶解物質透過之半透膜之作用。

溶一物質於某定量之溶劑中，足以降低其凝固點，而昇高其沸點，與所存分子之數成比例。

溶液之結構已認爲酷似氣體。溶解物質之分子，在溶劑分子之間偏處運動。

浣液乃固體與液體之機械的混合物；渾液乃不同液體之混合物。其粒子均大，不久卽行沈降。

膠體所含粒子小於尋常浣液中之粒子，而大於眞溶液中之分子。能通過濾器而不起沈降。此項粒子，不能由尋常之顯微鏡察見，惟如爲強烈之光縷映照，則多能反射光線。

食膠、明膠、橡皮及其他多種大分子之有機物質，均爲天然膠體。較小分子之凝聚體，可藉在特殊情況下之沈澱作用，有時或藉機械的研碎而製得。

膠體粒子帶有電荷；如其電荷因吸着相反之電荷而被中和，

則有物質澱出（膠凝）。此作用有可逆者（乾酪胜），有不可逆者（金及橡皮）。

膠體一般可因加一電解質而膠凝。保護膠體足以阻礙他種膠體爲電解質所沈澱。

膠溶體即含有分澈膠體之液體。

膠滯體爲半固體混合物（凝膏），含有吸收若干懸浊液體之膠體。

煙及**霧**均爲**膠體分澈**，前者爲固體分澈於氣體中，後者爲液體分澈於氣體中。藉電澱法，可令煙消除，而收回多種有價值之物料。

問題

1. 試舉製膠體之二法。
2. 試述物質在膠體態時之三特性。
3. 如何可利用丁達效應以區別糖溶液與澱粉之清澄膠體？
4. 欲證明某一溶液爲飽和、爲不飽和、抑爲過飽和，當如何實驗之？
5. (a)自衣物上去油漬，(b)去油漆，(c)去糖漬，當如何爲之。
6. 某種結晶物之含有涵附水（涵水物），將如何證明之？
7. 如謂吸着乃一種揀選作用，其意云何？
8. 布朗運動之原因大概爲何？
9. 如何可製成油（如橄欖油）與水之永久渾液？
10. 許多工業上煙囪內散出之大量濃黑煙，可藉科恩理爾法全部防免之。試解釋之。用此方法又可往往得何種利益？
11. 試舉使膠體粒子澱出之二法，並各舉一例。

12. 由汽車（每行1500英里或稍遜）油箱中放出之油，爲深黑色，而裝入時則原屬作清澄之金色。靜置時黑色物亦不沈下。此究爲何物？何以不能沈下？

13. 試就日常生活中舉下列各名稱之例一則：(*a*)膠溶體；(*b*)膠滯體；(*c*)保護膠體；(*d*)永久渾液；(*e*)吸着。

14. 試區別：(*a*)眞溶液與膠體；(*b*)渾液與浣液；(*c*)膠溶體與膠滯體；(*d*)吸着與吸收。

15. 試作下列各名詞之定義：(*a*)滲透；(*b*)風化；(*c*)潮解；(*d*)飽和溶液；(*e*)結晶水。

* * *

16. 埃及人何以曾用乾草製磚？

17. 如何可證明實驗室空氣中含有水氣？

18. 膠體粒子何點(*a*)類似離子，(*b*)異於離子？

19. 氯化鈉及三氯化鐵，何者於膠體之澱出，作用較大？

20. 如何可以明示三氫氧化鐵於膠體態時之粒子爲荷電者？

21. 設有硫酸銅之大結晶，試述欲將其迅速製成濃溶液，當作何三事。

22. 設將過量之水加入無水硫酸銅，水當作何二事？當見其發生何事？

23. 1934年夏季美國西區中部之大旱，使吾人對於溶液之重要性得何種教訓？

24. (*a*)保護膠體之作用；(*b*)吸着作用中所具有之變化，其主要點爲何？

25. 今有用膠體銀極稀之溶液以提淨飲水，及游泳池之消毒。本章何述有何種藥房製品，用作消毒劑，其中亦含有膠體銀者？

* * * *

26. 試就下列數字材料繪氯酸鈉之溶解度曲線：

溫度 °C. ……	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°
溶解度（H_2O 100 克中 $NaClO_3$ 克數）……	82	99	124	147	176	233	333

試由此曲線視 44° 時之溶解度。

27. 設將乙二醇（潑來司凍[1]）加入汽車冷却器之水中。溶液之凝固點即降低，如下表所示：

[1] Prestone

乙二醇之百分數,以體積計……	12.5	17.0	25.0	32.5	38.5	44.0	4.90
凝固點…… ……	25°F	20°	10°	0°	−10°	−20°	−30°

試繪一曲線,以示凝固點對於乙二醇溶液之濃度間之關係。藉此曲線,確定凝固點 −18°F. 時所需溶液之濃度。

第二十七章

鈣鎂矽

鈣，製取及性質——碳酸鈣——硬水——水之軟化法——石灰——氫氧化鈣——墁泥——水泥——其他鈣化合物。

鍶及鋇

鎂，製取及性質——氧化鎂及氫氧化鎂——鎂鹽類。

矽石——性質及用途——矽酸及矽酸鹽——玻璃——矽——矽鐵。

375. 鈣及鎂之通性—— 本章討論鈣及鎂，屬於週期表第II圍。此二者雖從未有遊離產出，然除鋁及鐵以外，實爲蘊藏最富之金屬元素（第20圖）。其化合物中有許多普通之礦物質，如肥皂石[1]、石棉[2]、大理石[3]、石灰石[4]。石灰石之產量極富，重要建築材料若紙筋泥及水泥等，皆由此經化學方法製成（§386）。

本族有時稱爲鹼土金屬元素[5]，尙包括他二元素，卽鍶及鋇。鐳金屬亦屬此族，惟以其爲極不平常之元素，故當另立一章以論之。諸此元素均爲極活潑之金屬，能生成陽性二價離子。不具非金屬之性質。是以各於外層圈上有易於喪失之二電子。

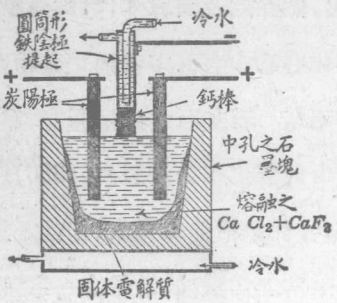
---

[1] soapstone. [2] asbestos. [3] marble. [4] limestone. [5] alkaline earths.

此等元素於自然界中常成矽酸鹽而產出；是卽與矽及氧相結合者也。吾人當猶憶矽及碳爲位於第 IV 族之元素，意卽其外層圈中各具有四個電子者也。矽蘊藏之富次於氧，蓋地殼固體約四分之一盡屬此物也。

鈣

176. 鈣之製取及性質——金屬鈣由熔融之鹽類電解而製成。此處用氯化鈣。



第 225 圖 製金屬鈣

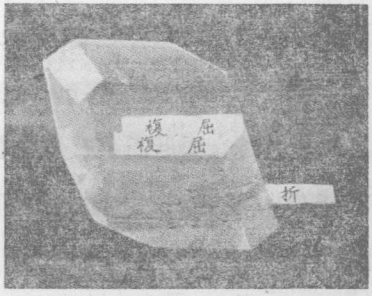
將此鹽熔融於石墨坩堝中，此坩堝卽作爲陽極，而以鐵棒作陰極（第 225 圖）。金屬於鐵棒四周遊離出，卽黏附其上。將鐵棒漸漸提起，自熔融體中曳出金屬鈣之棒，爲銀白色之金屬，堅硬與鉛相仿，用刀不易切割之。具有明亮之光澤，遇濕空氣，不久卽轉黝黑。水遇鈣卽徐起分解，放出氫：

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$$

鈣受熱至其熔點以上之溫度，卽舉橙黃色焰而燃燒，光芒明耀，

生成氧化物(CaO)。金屬鈣在工業上無甚用途。

377. 碳酸鈣($CaCO_3$)——此乃最普通之含鈣化合物。其最純粹者爲**方解石**[1]或稱**冰洲石**[2]，爲結晶形而透明如玻璃者。此物具有顯明之複屈折性質，(第226圖)。其在光學儀器上之有價值卽由於此一特點。大理石亦幾爲純粹之碳酸鈣。爲微細結晶體膠合而成之集塊，常潔白如雪。石灰石乃蘊藏最富之一種，惟其結晶構造則不若大理石之明顯。每因碳酸鎂($MgCO_3$)及矽石(SiO_2)等夾雜物而作雲灰色。吾人今認石灰石係古地質紀時自海產動物之甲殼生成。



第226圖　方解石之呈現複屈折

碳酸鈣不可溶於水，惟可溶於含有碳酸之水中，產生酸性碳酸鈣：

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

碳酸鈣與酸類反應，卽生二氧化碳：

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$

實驗室內製純粹碳酸鈣，將可溶性碳酸鹽加入可溶性鈣鹽

[1] calcite　[2] Iceland spar.

即得：

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

如此製成者爲白色粉末，稱爲沈澱白堊[1]（非繪畫之堊[2]），用以製摩擦粉（牙粉等）。又作爲白料[3]，以與亞麻油相混和，製成油灰[4]。天產之碳酸鈣，除製石灰及二氧化碳以外，尙有許多用途。例如用以作鼓風爐內之熔劑，製碳酸鈉及玻璃，以及作建築石及鋪路用砂礫。粉狀石灰石用以中和酸性土壤。

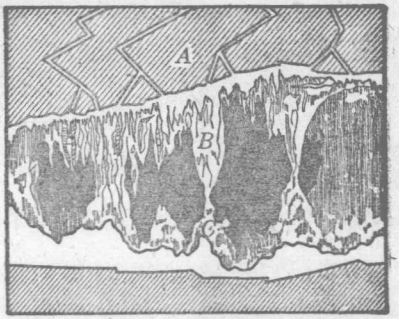
378. 何者使水硬化——除雨水外，一切天然水，均含有若干量鈣及鎂之溶解鹽類。凡含有此種物質多量之水，稱爲硬性。

酸性碳酸鈣及鎂亦屬許多區域之硬水[5]之主要成分。此種物質一經煮沸，甚易析出。其時卽放去二氧化碳，而澱下不可溶性之碳酸鹽：

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

此種鹽類產生所謂一時硬性[6]。至若硫酸鈣及硫酸鎂等鹽類，則不能僅由煮沸以消除之，含此種物質之水，稱爲屬於永久硬性[7]。於數處石灰石區，其附近之水，盡具濃厚之一時硬性。當其自高處滴下，譬如自山洞之頂，則失去一部分之二氧化碳，而徐徐澱出碳酸鈣（第227圖）。碳酸鈣每結積而成長條，形若

[1] precipitated chalk. [2] crayon. [3] whiting. [4] putty. [5] hard water. [6] temporary hardness. [7] permanently hardness.

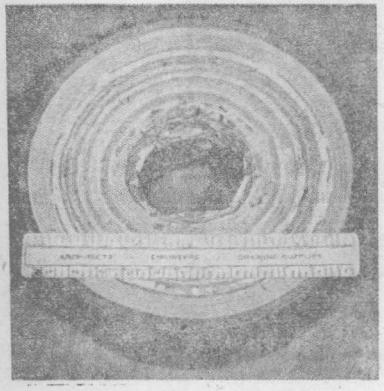


第227圖　石灰石巖洞(A)中之石鐘乳(B)及石筍(C)

冰柱。某數處石灰石岩洞內常由此種經過而成下懸之石鐘乳及上長之石筍（第228圖）。

第228圖　新墨西哥卡爾斯巴達山洞，在地面下750英尺

379. 使用硬水之結果——硬水於工業上及家用，皆甚不宜。在工業上，若以此種水用於汽鍋中，則於汽鍋內面結附厚層殼皮，稱爲鍋皮[1]。此種殼皮極不良於導熱，致汽鍋之效能劇減(第229圖)。在家用上，硬水不適於洗滌，以其不易與肥皂起皂沫也。肥皂與鈣及鎂之鹽類反應，



第229圖 鐵管中塞爲鍋皮所充塞

產生不可溶性之鈣及鎂之脂酸鹽：

$$2C_{17}H_{35}COONa + MgSO_4 \rightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Mg + Na_2SO_4$$

肥皂　於硬水中　鎂皂

此等鹽類（常稱爲鈣皂或鎂皂）不溶於水，而成稠黏之粒子。須如是耗費多量之肥皂，肥皂始成膠態而起皂沫。此自屬太不經濟矣。

380. 家用水之軟化——水之硬性可由種種方法消除之。其作用稱爲水之軟化[2]。一時硬性可將水煮沸少時以消除之。當澱出不溶解之碳酸鹽：

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

一時硬性亦可因消石灰之作用而消除。法以消石灰攪入水中，其量以足能發生下列之反應爲度：

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

其後將沈澱自軟化水中濾出。

---

[1] boiler scale.　[2] softening of water.

永久硬性不能藉此等方法消除之。碳酸鈉可使澱出碳酸鈣及鎂，而消除永久硬性：

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

工業上水之軟化，均以大規模爲之，將沈澱物濾出，然後供用。家常軟化，則往往用數種銷售甚廣之製品，以小規模行之。常使用名爲洗滌碱之碳酸鈉。即於未用肥皂之先，逕將此物少量加諸水中。藉此可除去一時硬性及永久硬性。過多之鈉鹽，對於肥皂亦無所損害。洗滌時，又每用名爲家用氨[1]之氫氧化銨者。此物能使一時硬水以及並含一時及永久硬性之水中，澱出碳酸鈣。蓋自酸性碳酸鈣生成之碳酸銨，其消除永久硬性之作用，與洗滌碱同：

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NH_4OH \rightarrow CaCO_3\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + 2H_2O$$

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 \rightarrow CaCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

鎂鹽則不能如是澱出。又硼砂($Na_2B_4O_7$)爲一種極弱之酸之鹽，故其溶液中含有氫氧化鈉，後者於軟化水時，作用與氫氧化銨同。

331. 工業用水之軟化——使水軟化之又一方法，稱爲交替法[2]，即將水濾過一種人造矽鋁酸鈉[3]。水中之鈣及鎂與交替矽[4]中之鈉相交替，交替矽爲粗糙之砂狀物。一池用12小時後，即裝入鹽水，放置同樣時間，此際鹽水中之鈉，取濾砂內之鈣而代之。於是令氯化鈣溶液流出，濾砂即可再度供用。如是可知祇消耗食鹽，而原有之物料可歷多年。此項作用可表之如下：

$$Na_2 \text{交替矽} + CaSO_4 \rightarrow Ca \text{交替矽} + Na_2SO_4$$

$$Ca \text{交替矽} + 2NaCl \rightarrow Na_2 \text{交替矽} + CaCl_2$$

332. 石灰，或即氧化鈣 (CaO)——石灰石 ($CaCO_3$) 熱至白熱，即放出二氧化碳，而餘剩固體之石灰，即氧化鈣：

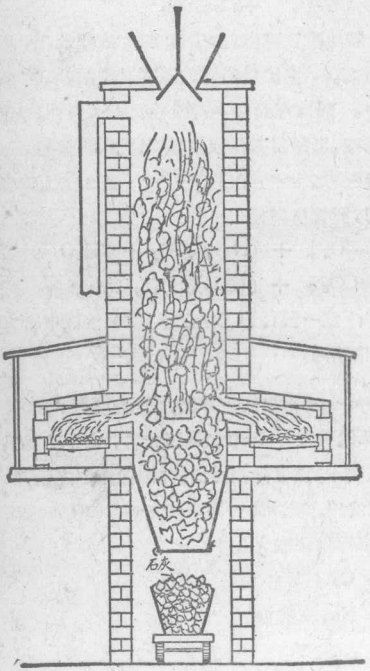
$$\underset{\text{石灰石}}{CaCO_3} \rightleftarrows \underset{\text{石灰}}{CaO} + CO_2\uparrow$$

反應可逆行，除非不絕令氣體放去，則作用當起反向。此法在

---

[1] household ammonia.　[2] permutite process.　[3] sodium silico-aluminate.　[4] permutit.

大規模上，專造一種稱爲窰[1]之爐竈以爲之（第230圖）。



第230圖　直立式石灰窰

自適當之火焰，令熱氣體通過粗碎之石灰石，石灰石即熱至應需之溫度。碳酸鈣依照上列之反應起分解，二氧化碳則由通過全窰之强烈通風而驅出（第231圖）。如是，於約700°至800°C.時，作用遠於完全。其產物常稱爲生石灰[2]。

又有用迴轉窰（第232圖），以其可省人工及燃料也。

333. 生石灰，性質及用途——生石灰（CaO）爲白色之無定形物質。甚難令其熔融。受強熱，即舉明亮之光而熾燒，舊時用於石灰燈[3]中即以此故。設灑水少許於生石灰塊上，即生熱，由其放出水氣可以知之，石灰則裂成白粉，即氫氧化鈣：

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

此反應稱爲消和[4]。生石灰露置空氣中，即徐徐吸收二氧化碳及水分。其產物爲氫氧化鈣與碳酸鈣之混合物。此石灰即謂

[1] kiln.　[2] quicklime.　[3] lime lights.　[4] slake.

之被空氣消和，而不能再供大多數之用途矣。

第 231 圖　直立式石灰窰，用木柴爲燃料

384. 消石灰，或卽氫氧化鈣（$Ca(OH)_2$）——生石灰之主要用途卽以製氫氧化鈣，常稱爲消石灰[1]。氫氧化鈣爲白色物質，僅微溶於水。其澄清之飽和溶液，稱爲石灰水。氫氧化鈣於水中之浞液稱爲石灰乳[2]或石灰漿，凡欲用氫氧化鈣爲粉刷白水時，一般卽用此液。

氫氧化鈣雖以其不可溶解，而不能得濃溶液，然爲頗強之鹽基。其價極廉，故凡需用鹼而不必得濃溶液者，率取用之。此物

[1] slaked lime.　[2] milk of lime.

又用以去除生皮上之毛。土壤中加以細碎之石灰石及空氣消和之石灰，可以中和其酸性。石灰又作刷牆之白水[1]，製紙筋泥及墁泥[3]等，爲用甚廣。牢粉水[4]則爲石灰及沈澱白堊與稀膠液之混合物。其黏着於牆壁，較白水更爲牢固。生石灰一般均裝於不透空氣之鋼鼓或油簍中而發售之，卽稱石灰。

385. 墁泥及紙筋泥 —— 墁泥爲消石灰與砂泥之混合物，於建築房屋牆壁等時用以砌合磚石。此物與多孔之表面相接觸而長時間露於空氣中。在此情況下，卽結爲硬塊，令磚石強力牢合。墁泥之堅結，大致由於較可溶之氫氧化物，漸次溶解，而穩定之涵水物則徐徐結成交錯之結晶。同時漸漸自空氣中吸收二氧化碳，最後使一部分之墁料變成碳酸鈣。涵水氫氧化鈣之結晶，與砂泥交錯夾雜，遂成堅硬而多孔之結構。

紙筋泥亦由新鮮之消石灰與砂泥製成，惟一般均另加有毛髮或碎爛粗紙。毛髮粗紙卽所以令紙筋泥緊合者也。紙筋泥之堅結，與墁泥絕似。輓近有用石灰與水泥之混合物者，則可無須添加毛髮粗紙。當紙筋泥將近乾燥時，塗刷一種罩粉，其中含有石灰及燒石膏，加少許之膠。

燒石膏（$(CaSO_4)_2,H_2O$）由石膏（$CaSO_4,2H_2O$）加熱至涵坍水約驅除四分之三而成：

[1] whitewash. [2] plaster. [3] mortar. [4] calcimine. [5] cement.

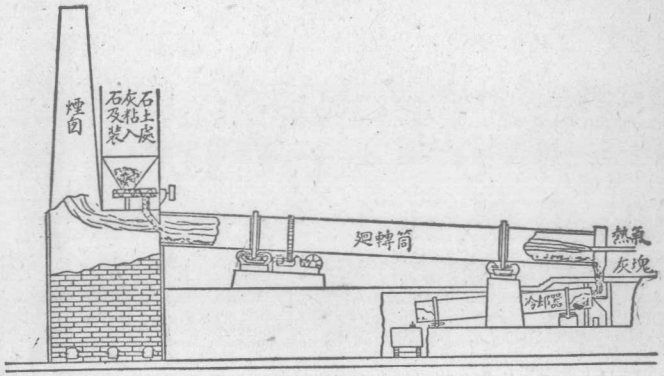
$$2CaSO_4,2H_2O \rightarrow (CaSO_4)_2,H_2O + 3H_2O$$

石膏　　燒石膏

將足量之燒石膏與水相攪和，製成稠黏之漿。於是取一樊章置玻璃板上，二者均塗以油，而將漿狀物傾於樊章上，放置令其乾燥，約半小時。於是取起石膏模[1]。

燒石膏能吸取水，如前所述，而成爲堅硬之塊。其用以製彫像翻模及外科綳帶內卽由此故。又用以罩刷室內牆壁。

386. 水泥——墁泥含稍可溶解之氫氧化鈣，故不能用於水底。另有所謂水泥[2]者，俗稱洋灰，則雖於水中亦能結成堅硬



第 232 圖　迴轉水泥窰之切面

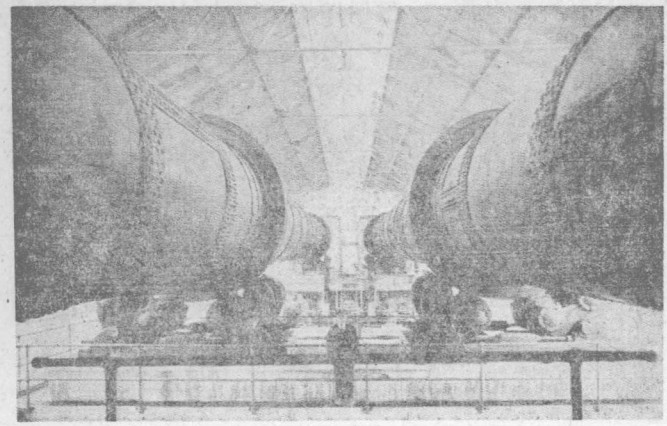
如石之塊質；故可用以築造水隄，橋樁等。其強韌堅實亦勝於墁泥及紙筋泥。

水泥由加熱石灰石與黏土之混合物而製之，或取天然岩石之含有此等成分比例適當者，加熱之亦可。將混合物碾爲細粉，而徐徐送入傾斜之迴轉筒[3]內，筒內

[1] plaster cast　[2] cement.　[3] revolving cylinder.

有來自火焰之熱氣體通過（第 232 圖）。如是則物料平均受應需之熱度，最後自迴轉筒之末端流出。所得灰塊有稱爲"灰渣[1]"，令其冷却，磨成極細之粉（第 233 圖）。當加熱時，混合物中驅出一定量之水及二氧化碳。此項脫水之粉，與水攪和成泥漿後，即徐徐與一部分之水相結合而成堅硬如石之物料。宛如產於英國波特蘭之石塊，故有波特蘭水泥[2]之稱。近又創有特種水泥，於 24 小時內堅結者。

水泥堅結之化學原理，今尚未能盡明。其中當係混合物內之矽酸鹽起涵水作用，或並氧化鈣亦起此作用。涵水矽酸鹽與氫氧化鈣之結晶，互相交結，遂成一種堅實之體質。

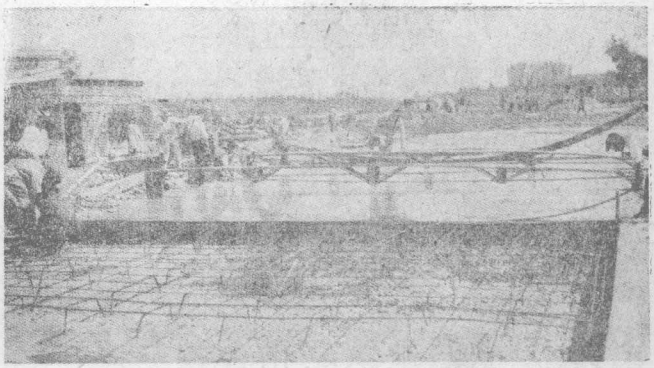


第 233 圖　製石灰及水泥用之迴轉窯

混凝土[3]爲水泥、砂、碎石、或砂礫之混合物，和水製成泥漿。經數日即結成固塊，較純粹之水泥猶爲堅硬而強韌。水泥本無單獨使用者，每爲混凝土之一成分。混凝土近已成爲最重要之建築材料之一。用以築造道路橋梁、屋基、壩隄、人行道、圍牆、

[1] clinker　[2] Portland cement.　[3] concrete.

堡壘，並幾及其他各種可想像之建築物。設此混凝土用以承當劇重之應張力時，如樓面、橋面等，則以鋼桿或鋼條先植於中間，然後裝入混凝土使其堅結。如是得更較強韌之體質；此種材料，稱爲**增强混凝土**[1]，或**鋼骨混凝土**，多用於築路（第 234 圖）。

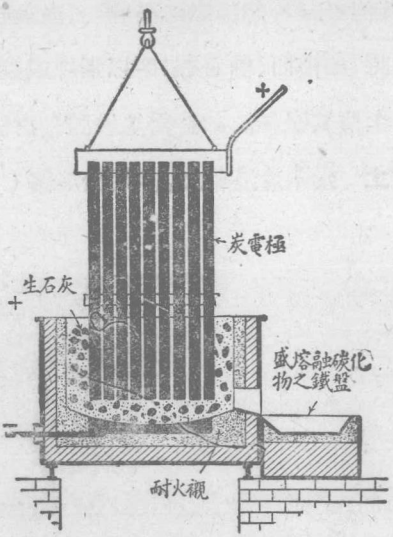


第 234 圖　巨量水泥用於建築鋼骨混凝土路面

387. 其他鈣化合物——其他重要之鈣化合物，有漂白粉（$CaCl(OCl)$）、二碳化鈣（CaC_2）及氰氨基化鈣[2]（$CaCN_2$），均由石灰製之（第 235 圖）。另有所謂氰化鈣者，晚近果園中用作熏蒸殺菌藥。爲一種固體，其式爲 $Ca(CN)_2$，$2HCN$，遇潮濕時生毒性之氫氰酸（HCN）。氯化鈣（$CaCl_2$）見於海水中，亦爲索爾未法之一副產物（§322）。其作顆粒狀之無水物，富潮解性，故用以乾燥氣體。其飽和溶液之凝固點爲 $-48°C.$；冷凍器中之鹽水，即此溶液也。氟化鈣（CaF_2）產於自然界中，爲氟化合物之主要原料。

鈣化合物於本生焰中多數呈橙黃色。

[1] reënforced concrete.　[2] calcium cyanamide.



第 235 圖　二碳化鈣爐

鍶及鋇之化合物

388. 鍶及鋇成硫酸鹽及碳酸鹽而產於自然界中。其化合物遠少於鈣化合物，故其用途亦甚有限。鋇化合物使火焰呈黃綠色，故用以製造烟火。

氯化鋇爲結晶形固體，可溶於水中。用於實驗室內作爲硫酸離子之檢驗，蓋有硫酸鋇之白色沈澱生成也：

$$BaCl_2 + H_2SO_4 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + 2HCl$$

硫酸鋇天產者爲重晶石[1]，乃白色之礦物，用以製造油漆及塗佈

[1] barite.

牌紙等。

鍶化合物使火焰呈亮紅色。其硝酸鹽($Sr(NO_3)_2$)於煙火術上用以製造紅色烟火。

問　題

1. 生石灰桶受潮濕何以有危險?

2. 試區別(*a*)石灰石;(*b*)石灰;(*c*)消石灰;(*d*)石灰水;(*e*)石灰乳;(*f*)氯化石灰。

3. 園丁何以恆於春季灑石灰石或空氣消和石灰於草地?

4. 空氣消和石灰可用以製(*a*)墁泥;(*b*)白水;(*c*)石灰水否?

5. 設將二氧化碳通過石灰水,即先呈乳濁,繼復清澄。試解釋之,並作其間所起諸反應之方程式。

6. 試作一方程式以說明(*a*)燒石膏之製造;(*b*)燒石膏之堅結。(*b*)對於(*a*)有何關係?

7. 何物使硬水具有硬性?

8. 試述硬水何以必使軟化之二原因。

9. 在硬水區域內,茶壺內面生一層堅皮。此皮爲何物?

10. 汽鍋內用硬水生何後果?

* * *

11. 如何自氯化鋇製得硫酸鋇?

12. 試比較墁泥與燒石膏之硬度。

13. 氫氧化鈉溶液何以不宜貯於毛玻璃塞之瓶中?

14. 空氣消和石灰與消石灰可藉何種簡單之化學檢驗法區別之?

15. 檢驗二氧化碳時,可用氫氧化鋇溶液以代石灰水否?

16. 工業上需用氫氧化鈣時,一般均用石灰乳而不用石灰水。何故?

17. 設欲製取石灰水,而所可得之鈣化合物僅有沈澱白堊。將如何爲之?

18. 鹼金屬較鹼土族之金屬爲活潑,將何以證明之?

19. 方解石結晶與石膏相似。藉何種化學檢驗法可以區別之?試作其間所

有之方程式。

20. 下列各物質如何可自大理石製取之：(a)二氧化碳；(b)氯化鈣；(c)生石灰？ 試各舉方程式。

* * * *

21. 由10仟克之石灰石可製成生石灰若干？

22. 分解足量之石灰石，使產生生石灰一仟克，當放出二氧化碳體積若干(標準溫壓)？

23. 自含純粹碳酸鈣97%之石灰石一噸，可製得生石灰若干？

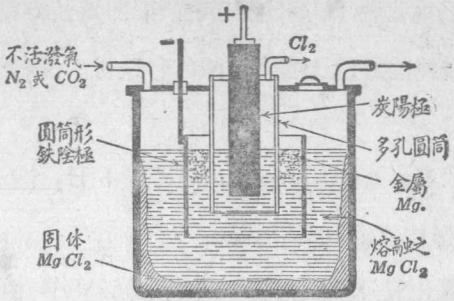
鎂

389. 天產之化合物——鎂成菱鎂礦[1] ($MgCO_3$) 及一種複合碳酸鹽之白雲石[2] ($MgCO_3,CaCO_3$) 而產出。鎂亦有數種天產之矽酸鹽，爲常見而有用之物質。如海泡石[3]、滑石[4]或肥皂石、石棉皆是也。肥皂石用作汚水槽及檯面，磨之成粉卽爲滑石粉或爽身粉[5]。石棉爲一種纖維狀礦物，以製耐火布及牌紙(一種厚紙)。此等礦物滿洲產出甚富，德國斯担斯弗礦中產有鎂，成爲硫酸鹽及與鉀成爲複合氯化物。

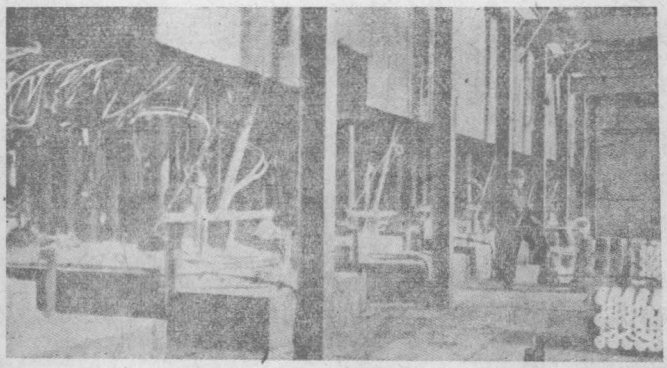
390. 鎂之製取及性質——金屬鎂由熔融之氯化鎂電解而製成，此氯化鎂先於氯化氫氣流中脫去水分。電解作用在四方形大鑄鋼槽中爲之。槽可容數噸之多。鋼槽作爲陰極，陽極則爲石墨棒(第236圖)。作用連續進行，逐日取出金屬鎂。電池內不時補充入脫水之氯化鎂，使保持恆定之平面。亦隨時加入食鹽，使其熔點降低而增進電池之導電性。另加外熱，使電池保持其適當之溫度。金屬鎂較池中之熔融鹽爲輕，故昇浮於上面(第237圖)。

---

[1] magnesite [2] dolomite. [3] meerschaum. [4] tale. [5] French chalk.



第 236 圖　製鎂爐之圖解



第 237 圖　製金屬鎂之爐

鎂爲極輕之銀白色金屬（比重 1.74），質軟而易爲濕空氣所侵蝕，生成白色殼皮，爲鹽基性碳酸鎂。鎂常與鋁製成一種合金，稱爲鎂鋁齊[1]。唐金[2]含鎂 85—94% 曾用以製 1935 年成層圈探險氣球之懸籃。鎂燃於空氣中，舉明耀之白光，產生氧化

[1] magnalium　[2] Dow meta

物(MgO)及氮化物(Mg_3N_2)；閃光粉[1]即爲鎂粉與氯酸鉀之混合物。某數種信號燈及烟火，即含有鎂粉。鎂與沸水能徐徐反應而生氫：

$$Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2 \uparrow$$

其取代冷稀酸中之氫，則甚迅易。

39. 氧化鎂及氫氧化鎂——氧化鎂(MgO)由加熱碳酸鎂而製之；俗稱苦土[2]。爲極不可熔之物質，用以製耐火磚，及高熱爐之裏襯。遇水則徐相結合，生成氫氧化物($Mg(OH)_2$)。氫氧化物爲不可溶性之白色物質，用於醫藥上，稱爲苦土乳[3]。將可溶性之鹽基加入一種鎂鹽，即生此物：

$$MgSO_4 + 2NaOH \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

392. 鎂鹽類——碳酸鎂($MgCO_3$)產於自然界，爲氧化鎂及氫氧化鎂之原料。不溶於純水，而可溶於含有二氧化碳之水中，生成酸性碳酸鎂：

$$MgCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Mg(HCO_3)_2$$

硫酸鎂($MgSO_4,7H_2O$)爲數種天然水之一成分，產於若干鹽礦中。俗稱瀉鹽[4]，具有醫療性。氯化鎂見於海水中。遇熱水則起水解而生鹽酸：

$$MgCl_2 + H_2O \rightarrow MgO + 2HCl$$

[1] flash-light powder [2] magnesia [3] milk of magnesia [4] Epsom salts

此酸能腐蝕金屬，故海水不能用於輪船汽鍋中。

問　題

1. 鎂常與何種金屬製成合金？

2. 藉何種化學檢驗法，可以區別鉑與新擦亮之鎂？

3. 以金屬鎂爲原料，如何製成(*a*)氧化鎂，(*b*)硫酸鎂？

4. 試舉下列各物之化學名稱、式及其一種重要用途：(*a*)**冰洲石**；(*b*)**大理石**；(*c*)石膏；(*d*)方解石；(*e*)菱鎂礦。

5. 試作鎂與(*a*)稀鹽酸；(*b*)氮；(*c*)二氧化碳；(*d*)水氣；(*e*)稀硫酸各物反應之方程式。

* * *

6. 紐約中央鐵路每年恆耗美金百萬元以提淨並軟化沿路之水。試舉水軟化時所包括諸反應之方程式。

7. 抄錄下列句文，而塡入空漏之字：金屬鎂由——氣化鎂電解而製成。金屬遊離於——極上，隨生隨黏附於此極上。

8. 抄錄下列句文，而塡入空漏之字：硬水含有溶解之——及——鹽類。設溶解物爲——化鈣或鎂，則可由煮沸而自溶液中析出。此之謂——硬性。如溶解鹽類爲——，不能由煮沸而消除，則此水謂之——硬性。此種之硬性可加以——而消除之。

9. 有一農人某次背負石灰一袋而驟遇暴雨。石灰即起大熱，該農人因急以之擲於附近之小溪中，冀其"熄火"。試評述之。

10. 試作下列所起化學作用之方程式：(*a*)石灰石區域所成之岩洞；(*b*)此種岩洞中生成石鐘乳及石筍；第一方程式對於第二方程式有何關係？

矽

393. 二氧化矽，矽石(SiO_2)——矽之最普通之化合物，即其氧化物(SiO_2)，稱爲二氧化矽，通常亦稱**矽石**[1]；砂，砂石及其

[1] silica

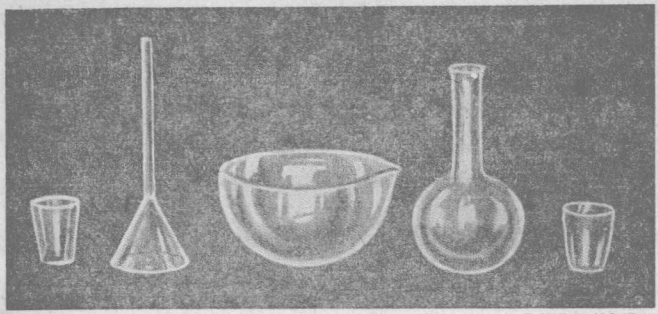
他數種物質，產量極富，均成於矽石者也。其最純粹者爲石英或水晶[1]，成精緻澄淨之六邊柱狀晶而產出。有時因夾有雜質而成有色晶體：如紫晶[2]爲紫色，玫瑰晶[3]爲粉紅色，茶晶[4]爲棕色，乳晶[5]爲白色。他如縞瑪瑙[6]、蛋白石[7]、火石[8]亦皆各種之矽石也。化石木[9]亦爲一種矽石，漸取樹木之木纖維而代之，變爲石質。

矽石亦見於植物體內，葉及莖中凡呈堅硬性之處存量尤多。有數種單細胞之海產動物，具有含矽石之骨骼。此等動物屬於纖毛蟲類[10]。有數地區有極細之砂泥之厚積層，稱爲蟲殼土[11]（見於非洲之屈黎波里[12]，故亦稱屈黎波土）。此種物料於製強炸藥時用以吸收硝化甘油；亦用以去除油之色質及製造摩擦粉。

394. 矽石之性質——矽石爲堅而脆之物質，故用作磨礪料。**矽皮**[13]即以銳利之石英砂膠黏於紙上而成。矽石可於氫氧焰中熔融而作成細絲、管、燒瓶、或坩堝等（第 238 圖）。

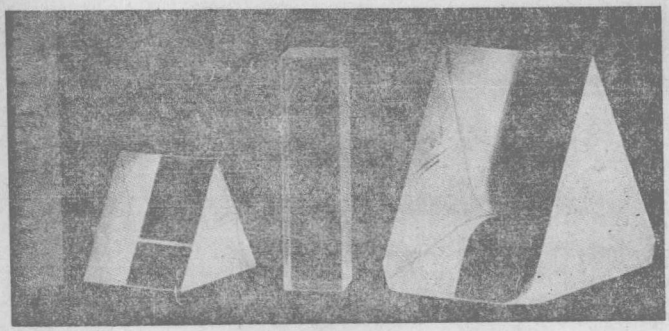
較近工業上藉電爐，用高溫度、高壓力、及高眞空，以製成澄淨之熔石英[14]。其熔點爲 1715°C.，其膨脹係數[15]在一切已知物

[1] rock crystal. [2] amethyst. [3] rose quartz. [4] smoky quartz. [5] milk quartz. [6] onyx. [7] opal. [8] flint. [9] petrified wood. [10] infusoria. [11] infusoria earth. [12] Tripoli. [13] sandpaper. [14] fused quartz. [15] coefficient of expansion.



第 238 圖　石英製之實驗室用具

中爲最小。因此之故，將石英坩堝於噴燈焰上燒至紅熱，而後立投入冷水中，並不破裂。又殆爲世上最透明之固體物，而爲惟一能大量製成使透過紫外線者。此物亦頗能透漏低熱線，故用作電絕緣體，勝於玻璃、瓷器及其他物料。澄淨之熔石英平圓板，有磨成非常光平，至其表面與眞實之平面相差無超過一英寸之千萬分之二以上者（第 239 圖）。



第 239 圖　光學儀器用之澄淨熔石英

石英器具不受普通酸類所侵蝕。然甚易溶於氫氟酸(H_2F_2)中。矽石亦可溶於熔融之鹼類中，生成矽酸鹽[1]：

$$2NaOH + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$$

矽石與濃鹼類溶液共煮沸，亦同樣起此反應。

395. 矽酸及矽酸鹽——二氧化矽乃一種酸類之酐，酸之分子式爲 H_2SiO_3($H_2O + SiO_2$)。惟此酸不能如意料中由矽石溶於水中而生成。其性極弱，祇能自其鹽類即矽酸鹽製得之。鈣、鎂、鋁、鐵之矽酸鹽，構成地殼之大部。普通之岩石，如花崗岩等，多數即成於複雜之混合矽酸鹽之礦物。矽酸鹽大都不溶於水，惟鹼類矽酸鹽則可溶。

水玻璃[2]或矽酸鈉(Na_2SiO_3)由矽石與碳酸鈉熔合而製成：

$$Na_2CO_3 + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2\uparrow$$

矽酸鈉之溶液爲蛋類最良之防腐劑，以其能填塞蛋殼之細孔，使其不透空氣也。又用以使木材及布耐火，並爲玻璃及陶器之黏合劑。當矽酸鈉加酸時，即生矽酸之沈澱：

$$Na_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow H_2SiO_3\downarrow + 2NaCl$$

此酸成膠狀之沈澱而降下，含水之量殊無定。設充分加熱，則膠狀物失去所有之水分而生成矽石。矽酸爲膠體極佳之一例。

[1] silicates. [2] water glass.

396. 玻璃[1]—— 普通玻璃，由矽、碳酸鈉及碳酸鈣熔和而成。當高溫時，碳酸鹽與矽起反應，生成玻璃，玻璃乃矽酸鈉與矽酸鈣之混合物：

$$Na_2CO_3 + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2 \uparrow$$

$$CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2 \uparrow$$

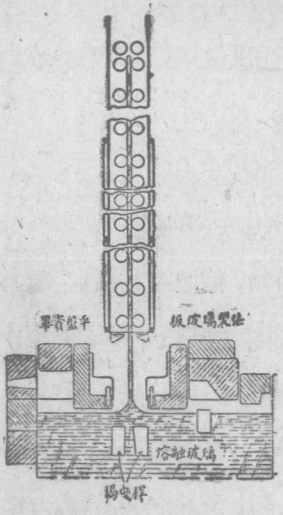
此種矽酸鹽之混合物，冷卻後即起固結，惟並不結晶。成爲一種透明而無定形之體質，可認爲一種矽酸鹽於他種矽酸鹽中之過冷溶體。某數種品類之玻璃，放置久時，即起結晶；結果使玻璃暗糊而性脆。硬玻璃乃矽酸鉀與矽酸鈣之混合物，其熔點較尋常之軟玻璃爲高。晶玻璃[2]含鉛、鋇、及鉀之矽酸鹽。如以硼之氧化物，代一部分之矽石，則所成之玻璃，即含有硼酸鹽，此項玻璃之膨脹係數甚低。派來克司[3]玻璃即硼矽酸鹽玻璃之一例也。

製玻璃時，將成分原料置火泥鍋或釜中，用煤氣焰熱至極高之溫度。其熔融體中之二氧化碳須盡量驅除，否則製品中即有氣泡或條紋。此際或加入微量之金屬氧化物，使玻璃呈各種之顏色。價賤之品質，以含有氧化鐵，每略帶綠色。

玻璃均用人工吹成種種形式（第240圖）

第 240 圖　玻璃器皿在模型中吹成

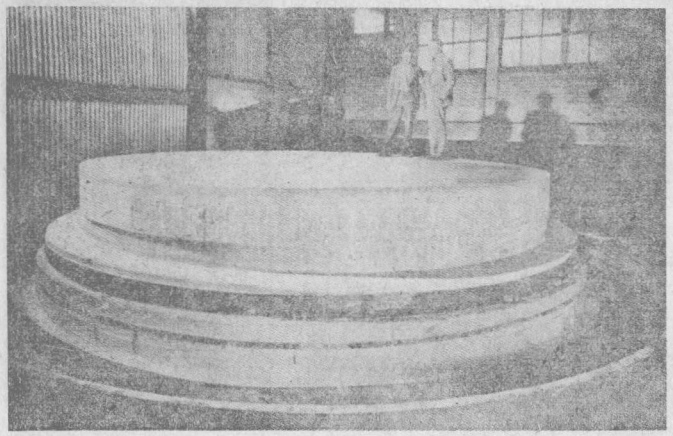
[1] glass.　[2] flint-glass　[3] Pyrex.



第 241 圖　窗玻璃可成薄葉吹起

於長吹管之端蘸取熔融之玻璃一團，熟練之工人即能吹之成大圓筒形或其他所需之形式。窗玻璃即由圓筒製成，趁其尚軟時，切去兩端，就縱直線割開，而滾平之。晚近已有設法運自鍋釜中揚出連續之玻璃長葉（第 241 圖）。玻璃瓶及其他同類之器具，則均將玻璃於模型中吹成，或用機械，或用人工。　製厚板玻璃，則將熔融之玻璃，傾於桌面，以熱輥碾滾平，最後精細磨光之。　晶玻璃具有特殊之光學性，故用以製造某數種透鏡（第 242 圖）。　又以其具燦爛之外觀，故亦以製裝飾品，如車琢玻璃[1]器等。　依其式樣，用剛砂輪車琢，而後以極細之磨礪料磨之。

397. 特種玻璃——不碎玻璃



第 242 圖　此塊玻璃直徑 200 英寸用以製凹面鏡

[1] cut-glass.

或稱安全玻璃，於汽車上使用至多，爲兩薄片之玻璃，用一層之

第 243 圖　淬火玻璃，厚四分之三英寸，三英尺平方，可支重 6800 磅之象（象名"多姿"，在托來獨 Toledo 動物園）

[1] pyroxyline　[2] celluloid

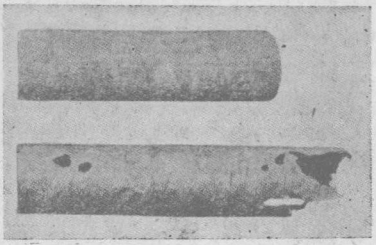
硝棉[1]或賽璐珞[2](§437)黏合而成。

此外又有一種玻璃,可彎曲如鋼,而碎裂如冰糖。此之謂熱淬玻璃[1],乃完成之磨光板玻璃再置電爐中經特種處置而成。該項玻璃先均勻受熱至恰在軟化之前,然後吹冷空氣以急速冷却之。因此急速冷卻,使玻片之外層蓋面或"表皮"起緊縮。如此處置,遂令玻璃具異常之強度(第243圖)。

398 矽——此元素不多見,以其甚難自化合物中還元也。惟將純粹之矽與碳於電爐中共熱至高温,則可製得之:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO\uparrow$$

矽有成棕色粉末之**無定形矽**,及黑色針狀之**結晶形矽**而產出。



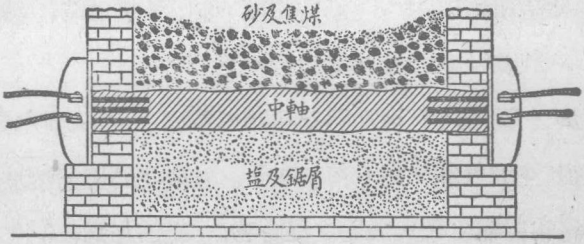
第244圖 尋常之鐵管(下)爲酸性水所侵蝕,而特種合金(上)則爲耐酸

矽用於精鍊鋼時作爲脫氧劑,又以製鐵合金,如耐酸鐵,以各種商品名而發售之(第244圖)。其中含矽約15%。矽鋼含矽4%,電機械上凡磁性變換迅速之處均用之;例如交流機。

399. 如何製成金剛矽[2](SiC)——設矽與碳之反應起於某定情況之下,並有多量之時,則生成此二元素之化合物,稱爲

[1] heat-tempered glass [2] silicon steel.

矽化碳或金剛砂。此處用一電爐(第245圖)，與製造石墨所用者相仿。爐之中軸爲粒狀焦煤。軸之四圍堆裝砂、木屑、焦煤與少許鹽之混合物。當強電流通過焦煤時，所生之熱，足令四圍之混合物內起反應。



第245圖　金剛砂爐。中軸內之焦煤，四圍堆裝砂 木屑、焦煤及鹽之混合物

金剛砂爲一種結晶形之固體，具美麗之紫色。質極堅硬，故用爲磨礪料，作成磨輪及磨石等，又爲一種精細之摩擦粉。

第二十七章　提要

金屬鈣由電解熔融之氯化鈣製成。於常温時能令水徐徐分解。

碳酸鈣天產者有多種，如大理石、石灰石、白堊土均是。此鹽不溶於純水中，而可溶於含有二氧化碳之水中，生成酸性碳酸鹽。

硬水含有溶解之鈣及鎂之鹽類。設溶解物質爲酸性碳酸

鈣或鎂，則可由煮沸使自溶液中析出。此之謂一時硬性。其不能以此法消除之硬性，稱爲永久硬性。

硬水於汽鍋中生成殼皮，遇肥皂溶液則澱出鈣肥皂及鎂肥皂。一時硬性可由(1)煮沸，(2)加消石灰，而消除之。永久硬性可藉碳酸鈉而消除之。家常用碳酸鈉、氫氧化銨、及硼砂以軟化水。工業上則用交替砂以軟化水。

石灰（氧化鈣）由加熱碳酸鈣而製成。石灰與水化合急速而猛烈，生成氫氧化鈣（消石灰）。氫氧化鈣僅微溶於水。

墁泥爲氫氧化鈣與砂泥之混合物。紙筋泥爲氫氧化鈣、砂及粗紙或毛髮之混合物。

水泥爲石灰及黏土一部分脫水之混合物。與水相攪和，則結成堅塊。其堅結由於某種矽酸鹽及氧化鈣之涵水作用而然。混凝土爲水泥、砂及石礫之混合物。

焰色檢驗：鈣化合物呈橙黃色火焰。

鍶化合物呈深紅色火焰。

鋇化合物呈綠色火焰。

金屬鎂由電解熔融之鎂鹽製成。爲活潑之金屬，能與氮化合。燃時發強白光，用於閃光粉、烟火、及製鎂鋁齊之合金。

氧化鎂由加熱碳酸鹽以製之。極不易熔融，故用以製火磚。氫氧化鎂，爲白色不可溶性物質。

矽爲蘊藏極富之元素，屬於碳族。可由矽及碳於電爐內加熱而製成。碳量過多，則生成矽化碳，卽金剛砂。

矽石卽二氧化矽，成爲砂廣佈於自然界。實驗室器具可以熔矽石製之。今工業上已有製造澄淨之熔石英，不僅可製成棒狀或管狀，且可作光學儀器用之塊段或板片。矽石可爲氫氟酸所溶解，於氫氧化鈉中則溶解較緩。

矽酸鹽爲矽酸之鹽類。矽酸受熱卽分解成氧化物及水。除鈉及鉀之矽酸鹽外，各種矽酸鹽均不可溶。

玻璃乃多種矽酸鹽之混合物。爲無定形之固體。尋常之玻璃爲矽酸鈉與矽酸鈣之混合物。硬玻璃含有矽酸鉀，晶玻璃含有鉛、鋇、鉀之矽酸鹽。

問　題

1. 試將碳與矽比較之。
2. 試舉矽石之五種重要用途。
3. 試將本章所述各種磨礪料列成一表，並附各物之式。
4. 水玻璃之溶液過石蕊質，當料其起何種反應？試解釋之。
5. 以石英玻璃製化學器具有何利益？

* * *

6. 交通燈用紅玻璃、黃玻璃及綠玻璃作記號。各該玻璃用何物着色？
7. 今有發售含石英較多之窗玻璃，以供凡有直射日光射入之居室之用。如是可獲何種利益？
8. 何爲(*a*)派來克司玻璃；(*b*)不碎玻璃；(*c*)水玻璃？試各舉其一用途，及各該用途所根據之性質。

9. 試將(*a* 碳酸鈣(*b*)二氧化矽各種不同形體之名稱依縱行列成一表。

10. 石英結晶（水晶）、磨光玻璃晶（水鑽）及琢磨之金剛鑽粗視極相類似。如何可識別之?

* * * *

11. 欲溶解純碳酸鈣 500 克,需含 HCl 38 %（比重1.2）之鹽酸若干立方厘米。

12. 自含 SiO_2 95%之砂一噸,理論上可製成金剛砂重若干?

進究題材

軟水及硬水——讀者本人家內所用之水,爲軟水否? 其遇肥皂時易起皂沫否? 試與自水比較。水壺內面有無沈澱生成? 用洗滌碱以消除所見之硬性,其效力若何? 試用數種號稱可用於硬水之去垢粉或肥皂粉。工業用之水,如何提淨之? (Thorp and Lewis s *Outlines of Indutrial Chemistry*.)

玻璃及陶器——遠在化學未創始以前,已有許多工業及技術之發展。若玻璃及陶器等,熟練之手工藝者,早由經驗探知其製成之方法。近有何種化學原理應用於此等工業上而使其大進步且合於經濟? (Duncan's *Chemistry of Commerce, Chemistry in Industry*, vol. 1 and 2, and Findlay's Chemistry *in the Service of Mankind*.)

第二十五章至第二十七章複習問題

1. 涵水物如何可以例證定比例定律? 試述該定律。

2. 試就離子說以解釋酸類爲鹽基中和所起之諸變化。

3. 試比較 (*a*)氧; (*b*)氮; (*c*)氨; (*d*) 氯化氫; (*e*) 二氧化碳於水中之溶解度。

4. 設砂（主成分爲二氧化矽）一旦可溶於水,則世界將作何改觀?

5. 石膏及洗滌碱並爲涵水物。如各露空氣中若干時,當見其作爲上有何異別?

6. 吸着作用對於(*a*)一物體所呈表面之量有何關係? 對於(*b*)細粉之觸媒

之作用有何關係?

7. 下列各化合物將如何製成之,以元素爲原料:(*a*)過氧化鈉;(*b*)亞硫酸鈉;(*c*)磷酸;(*d*)酸性碳酸鈣?

8. 氯化鈣、濃硫酸、五氧化二磷、及碱石灰均用作乾燥劑。試藉一方程式或他種方法,以示各該物質當如是使用時,其作用爲若何。

9. 石灰在 1808 年以前向認爲一種元素。氯自 1774 年社勒發見之日至 1815年被認爲一種化合物者垂四十年。何一大化學家校正兩者之錯誤?

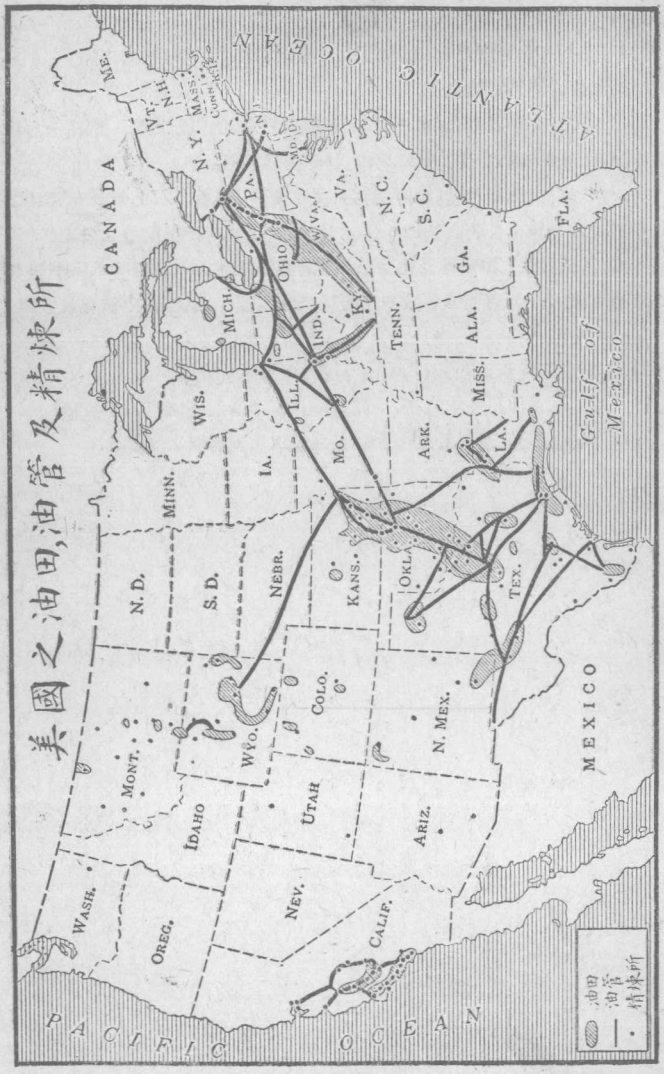
10. 試就製法、穩定性及檢驗法,將碳酸鹽及酸性碳酸鹽與亞硫酸鹽及酸性亞硫酸鹽比較之。如何能使各該中性鹽變成酸性鹽? 試作其中所有之方程式。

* * * *

11. 試推算涵水氯化鋇($BaCl_2,2H_2O$)中氯之百分率。

12. 鈣 80 克作用於水時,當生乾燥而在標準情況下之氫若干體積?

13. 試就規定度說明每立含 5.0 克之氫氧化鈉溶液之濃度。


美國之油田,油管及精煉所
CANADA
ATLANTIC OCEAN
PACIFIC OCEAN
MEXICO
Gulf of Mexico
WASH.
OREG.
CALIF.
NEV.
IDAHO
MONT.
WYO.
UTAH
ARIZ.
COLO.
N. MEX.
N. D.
S. D.
NEBR.
KANS.
OKLA.
TEX.
MINN.
IA.
MO.
ARK.
LA.
WIS.
ILL.
MICH.
IND.
OHIO
KY.
TENN.
MISS.
ALA.
GA.
FLA.
S. C.
N. C.
VA.
W. VA.
PA.
N. Y.
MD.
DEL.
VT.
N. H.
MASS.
CONN.
R. I.
油田
油管
精煉所

第二十八章

煤，油，及燃料氣

煤——熱單位——卡計——燃料及爐。
石油——精煉——氣油——合成氣油——氣油在汽車中——"乙氣油"。燃料氣：天然燃氣、煤氣、水煤氣、發生爐煤氣——煤氣燈及燭焰——乙炔銲接。

煤

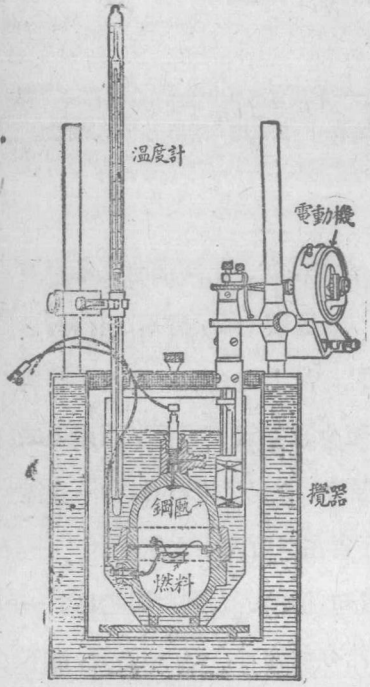
400. 煤之爲燃料——碳之成爲煤者，幾爲推進工廠事業及冬日取暖所需一切能[1]之來源。然僅碳一物，尚不足有爲。須令其燃燒，欲使燃燒則非氧不可。故能之產生，有需乎碳與氧之化合。欲完全燃燒煤一噸，至少需空氣 11.5 噸，而產生二氧化碳 3.7 噸。惟吾人購煤一噸時，所直接措意者，初不在從煙囱逸去之氣體或餘留之灰分，而實在其所產生之能耳。

熱爲能之一種，最爲吾人所習知；惟熱、光、電皆屬能也。一物之能，卽指其作工之力量也。能亦如物質，可互相轉變，惟不能創生或毀滅。此卽所謂能不滅定律[2]也。能無重量，故須就其所產生之效果以量計之。

---

[1] energy [2] law of conservation of energy.

401. 如何量熱——由實驗知硬煤一磅，設能完全燃燒，而所生之熱設盡能用以加熱於水，則水一噸，其溫度當可藉此昇高約 7°F。英美工程師均以一種單位計算燃料之發熱值[1]（即燃燒值[2]），每一單位等於水一磅昇高華氏一度所需之熱量。此項熱單位稱爲英制熱單位[3]，記作 B. T. U.。例如煤一磅之發熱值，自 11,000 至 16,000 B. T. U. 不等。



第 246 圖　量測煤之發熱值所用之鋼匣卡計

其他各國工程師及一切物理及化學實驗室內科學家所用之熱單位，則爲標準制單位，稱爲克卡[4]。一克卡，即水一克昇高攝氏一度所需之熱量。又有用仟克卡[5]者，等於 1000 克卡。此種大卡單位用於計算食物價值。

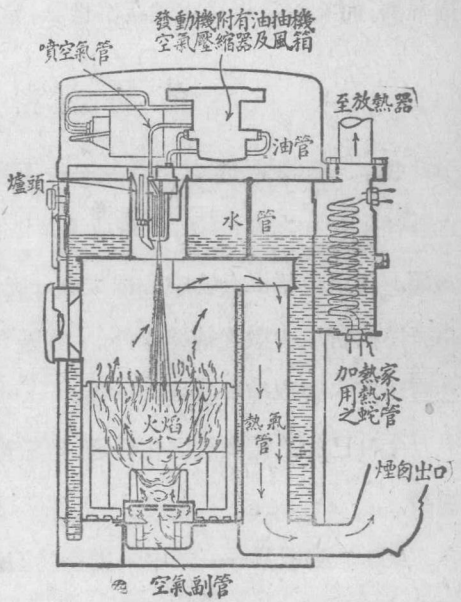
402. 卡計[6]——量測燃料之發熱值所用之器具，稱爲卡計，亦稱熱量計（第 246 圖）。

[1] heat value. [2] fuel value. [3] British thermal unit. [4] gram calorie. [5] kilogram calorie. [6] calorimeter.

此器爲一堅固之鋼甌[1]，上蓋緊密之螺旋帽。 秤取煤之試樣（約1克），置鋼甌內之小盤中；以鉑絲連結甌之兩極而埋入煤中。 於是將帽旋緊，而以相當之壓力迫氧入內。 此時將甌置一水罐內，水罐隔一空氣層，空氣層外，又圍以水，外圍之貯水器上，蓋以氈或絨。 水罐上裝刻至0.001°C. 之溫度計及一攪拌器。 經鉑絲通入電流，而令煤燃燒。 察其溫度之昇高。 由水之重量及其溫度之上昇（校正度），即可推算煤之發熱值。

又有一種燃料卡計，稱爲巴氏過氧化鈉甌[2]，不如上述之用氧氣者。 係以過氧化鈉氧之來源與燃料試樣相混和而置甌中燃燒。 此器成本較廉，供近似之量測，已足準確矣。

403. 燃料及爐——煤、焦煤、木材、木炭，均爲普通之固體燃料。當充分加熱於空氣中，即均起燃燒，產生一氧化碳及二氧化碳。此種化學反應稱爲發熱[3]反應，以有熱量放出也。碳12克（即其克原子量）燃成二氧化碳時，其所生之熱量爲96,480卡。此項熱量既爲反應之重要結果，故可表之如下：



第247圖　用油爐之汽鍋

[1] steel bomb.　[2] Parr's peroxide bomb.　[3] exothermic.

$$\underset{12克}{C} + \underset{32克}{O_2} \rightarrow \underset{44克}{CO_2} + 96{,}480卡$$

在大爐竈中，如空氣之供給不足，或爐竈之建造不宜，則或有多量一氧化碳及成爲細粒之未燒去之煤逸去。此未燒去之煤，卽爲煙之所由來也。都會中凡燃用大量煙煤者，其煤煙之爲害於公衆，實非淺鮮。且煙卽屬燃料之一巨大耗損。若將爐竈之火箱設計合法（第247圖），並調節燃料及空氣之供給，則可得完全之燃燒，而無復煤煙生成矣。此項改良，爲工廠計，旣屬經濟，而爲附近居民之健康舒適計，尤不容或緩也。

液體燃料

404. 石油[1]爲烴[2]之混合物——天產煤油卽石油，乃碳與氫之數種化合物之混合物。碳與氫之化合物，稱爲**碳化氫**，簡稱爲烴。此項複雜混合物中各個之成分究屬何物，幾不之知，蓋化學家僅能析取少數之純粹成分。且吾人對於各個烴之知識，乃在實驗室內製取純粹物質之結果。

今日已知之碳與氫之化合物，殆數百種，可按其組成而類別屬系。

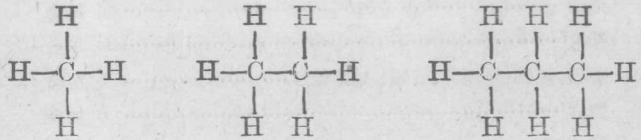
405. 石蠟系——其中一屬稱爲石蠟屬[3]，茲舉其前六種之化合物列如下表：

[1] petroleum. [2] hydrocarbons. [3] paraffins series.

石蠟系烴

名稱	式	分子量	沸點(C.)
甲烷	CH_4	16	−160°
乙烷	C_2H_6	30	− 93°
丙烷	C_3H_8	44	− 45°
丁烷	C_4H_{10}	58	+ 1°
戊烷	C_5H_{12}	72	36°
已烷	C_6H_{14}	86	71°

可見此系以甲烷[1]始，甲烷乃天然煤氣之主成分，而表中每二個連續之化合物，其間均相差 CH_2。又可見每物中氫原子之數均爲碳原子之兩倍加二。可以 C_nH_{2n+2} 之通式表之。設吾人猶憶碳之原子價爲四，氫爲一，則此石蠟系可表作：



甲烷　　乙烷　　丙烷

本系各化合物之沸點，隨分子之增大而遞高。故在尋常情況下，其前四種爲氣體，次十種爲液體，再次則均爲固體。此系化合物之爲人窮究者，至少已達六十烷[2]($C_{60}H_{122}$)之一物。美國賓夕爾凡尼亞[3]所產之石油，以此系化合物之混合物爲主。

[1] methane.　[2] hexacontane.　[3] Pennsylvania.

然此項化合物之系續，雖如是其緜長，猶未囊括一切之烃也。尋常煤氣之所以發光輝，由於有乙稀[1] (C_2H_4) 存在，乙稀乃另一系通式爲 C_nH_{2n} 之第一物也。此外復有一系，以乙炔[2] (C_2H_2) 爲首者，通式爲 C_nH_{2n-2}。諸此烃類，均能相互溶解，可作成任意比量之混合物。

設將上表與醇類同屬系(§423)之表兩相比較，則當見此兩系有密切之關係。不妨謂每種醇，係由相當之烃去一個氫原子而補入一個氫氧基[3]衍生[4]而成者；例如乙烷 C_2H_6 之於乙醇 C_2H_5OH。此項作用，實際固未能實現，惟其相反之作用（即氫氧基爲氫所取代）則有種種方法均可促成之，實驗室內即藉此以製取烃類。

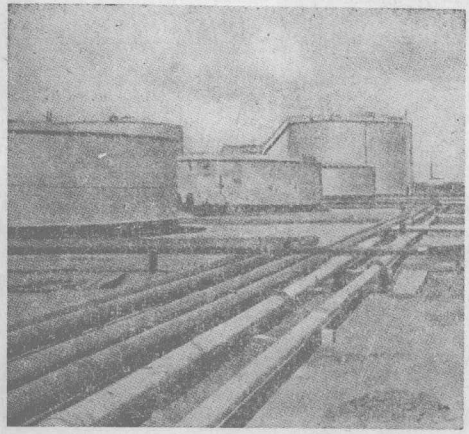
406. 石油之精煉——美國多處(奧克拉荷馬[5]，賓夕爾凡尼亞，加利福尼亞，塔克薩斯)及其他數國（墨西哥，羅馬尼亞，俄國，伊朗）均有石油(粗油)，大量產於地層下。鑿井而汲取之。由粗油 100 加侖所得各產物之量約如下表：

氣油	44 加侖
柴油[6]	36 加侖
雜物；焦煤、地瀝青、石蠟、鋪路油等	8 加侖
燈油[7]	6 加侖
潤滑油[8]	3 加侖
損失	3 加侖

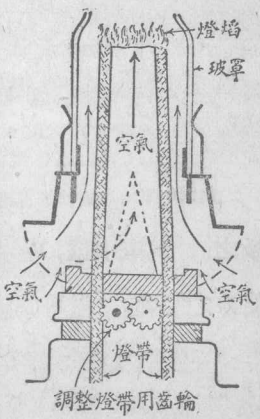
一部分即直接用作燃料而稱爲粗燃油或原油者。然其大部分均由長輸送管（第 248 圖）運送至海口，以供精煉及裝運。精煉之法，即將油蒸餾而去其中具劣臭及焦油狀之物料。

[1] ethylene. [2] ethyne. [3] hydroxyl group. [4] derive. [5] Oklahoma [6] fuel oil [7] kerosene. [8] lubricating oil.

蒸餾時須將其沸點不同之各部分分別集取之。沸點最低之部分（在 70° 與 200°C. 之間）稱爲**氣油**，廣用於汽車及煤氣引擎。其次之部分（沸點在 200° 與 300°C. 之間）稱爲**燈油**（即火油），用作燃點之油。燈油不以直接點火，而於適當之燈中（第 249 圖），浸濕燈帶，即舉舒適而明亮之光焰。



第 248 圖　石油之輸送管及儲油池



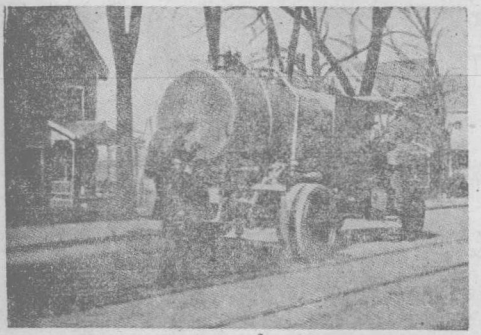
第 249 圖　火油燈之切面

有數種之粗石油，蒸餾時生高沸點之油（**潤滑油**即機械油），及一種固體蠟狀物，即**石蠟**[1]。此等之油，謂爲具有'石蠟基[2]'者。其他各種之石油，則不生潤滑油及石蠟，而得一種黑色稠厚之瀝青[3]，用以蓋屋頂及鋪道路（第 250 圖）。此種油稱爲'地瀝青性油[4]'。美國賓省石油即具有石蠟基；而加省及墨西哥油則大部爲地瀝青性。"液體石油脂[5]"或稱"礦油[6]"乃小心精製之高沸點蒸餾液。多用於醫藥上。

得自石油之各種油，均甚多用作燃料。燃燒時，產生二氧化碳及水。有小部分亦藉燈帶而燃點者，如火油然。大部分則令與空氣或水汽相混，自管口成細霧噴出。將噴霧燃點，可得極長而又熱之火焰（第 247 圖）。車頭及輪船，有時用粗油生火。許多製造事業上有用石油作燃料，室內取暖，亦有用石油以代煤者。粗油用於**第才爾**[7]式內燃機中作燃料。

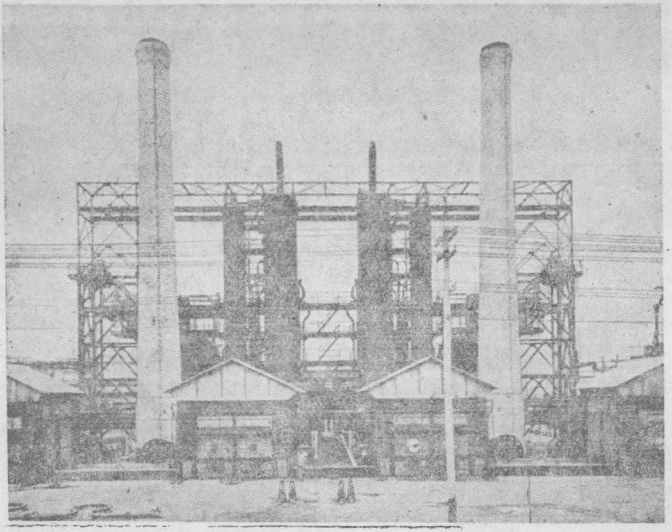
---

[1] paraffin.　[2] paraffin base.　[3] pitch.　[4] asphaltic oils　liquid petrolatum.　[6] mineral oil.　[7] Diesel



第 250 圖　用焦油於道路而得良好之路面

407. 氣油——自石油所得之種種產物中，以氣油爲最有價值。煤氣引擎及汽車之所以能盛行於世，確由於此價廉之液體燃料之產生有以致之。汽車引擎，乃一藉空氣與烴蒸氣之混合物之爆炸而獲得能力之裝置。僅可用較揮發之烴，以其必須自揮化器[1]中混同



第 251 圖　分餾粗油製取氣油之廠

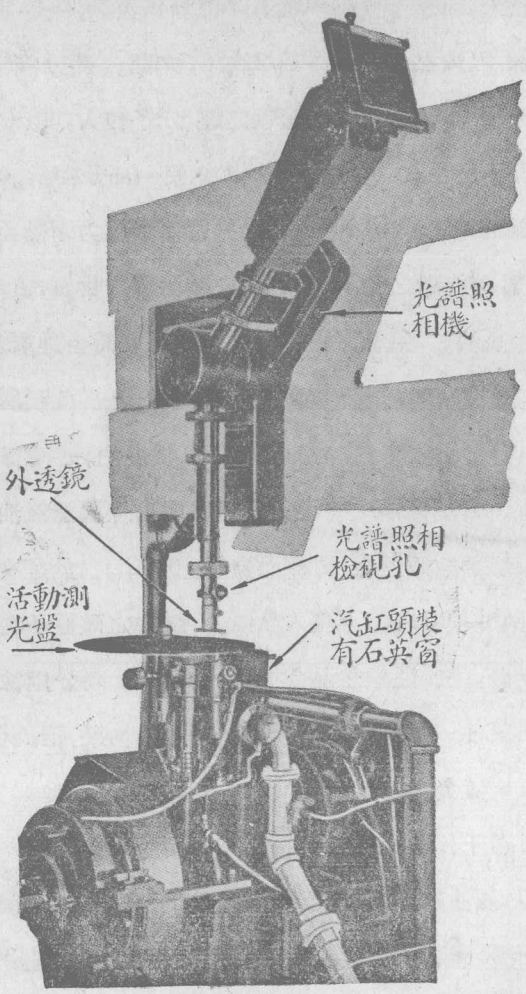
[1] carburetor.

一縷之空氣，而送至汽缸中也（一部分爲蒸氣，一部分爲微點）。常品之氣油，沸點在約 60° 與 222°C. 之間。藉分餾法（第 251 圖）自粗油中析取之。較複雜之烴，分子較大，其揮發性程度，不適於直接使用。可由所謂**分裂法**[1]使一部分轉爲氣油。其法卽將自氣油精煉法中所得之高沸點殘滓於壓力下熱至500°。當此溫度時，較複雜之分子，卽分解成較簡單之物質，其沸點較低，遂得用作氣油。氣油之得自與天然煤氣同時由地層放出之數種蒸氣，爲量亦多，設法收回此項蒸氣卽得。此項所謂**天然氣油**[2]過易揮發，不宜單用，惟如與他種氣油混用，則甚有價值。

408. 合成氣油——德人近有發明由煤製造氣油之方法。法將劣等煤卽所謂煙煤[3]研細而熱至 500°C.。於是在約 200 氣壓（每方英寸 3000 磅）下壓入氫氣。煤中之碳原子在此情況下與氫相結合，生成烴類之混合物，宛如石油。藉分餾法可由此混合物取得氣油。此法乃倍爾鳩斯[4]研究之結果，倍氏在 1931 年獲得諾貝爾獎金。

又有若干化學家發明由石油增加取得氣油量之方法。例如，庚烷乃氣油成分之一，含氫約18%，而癸烷乃燈油成分之一，含氫僅約 15%。在一定壓力及溫度之情況下，利用觸媒可使此種高級烴中加入氫，而增加所產氣油之量。此項方法稱爲

[1] cracking process　[2] casing-head gasoline　[3] lignite　[4] Bergius



第 252 圖　煤氣引擎動作時，研究其內面火焰組成之光譜照相機。光譜照相機乃分光器，而以照相機（頂端）代望遠鏡。

石油之增氫[5]。

409.　汽車汽缸中之經過——汽車之汽缸中所起之化學反應，產生大量之熱。此熱又因反應中所產生之氣體按照習知之查理定律起膨脹，而變成機械能。氣油之平均組成，可假定如C_8H_{18}之式。誠如是，則汽缸中所起之反應，可列之如下：

$$2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O$$

引用化合體積定律(§66)，知反應物質27體積，當生產物34體積，固無大變化也。然此反應中重要之點卽在生有大量之熱。產物之溫度幾昇至約1500°C.，氣態之產物因而起莫大之膨脹。故此項之熱實爲駛行汽車動力之所由來也。此項變化，可於引擎發動時藉光譜照相機（如第252圖所示）以詳究之。

410.　化學計算之應用——依常法計算上述反應中氣油及空氣之重量，則知汽車汽缸中每燃燒氣油一磅約需空氣15磅。考燃燒物質與空氣之種種混合物，各有一定之爆炸範圍。就氣油與空氣而言，此項範圍約在氣油占重量上$1\frac{1}{2}$至6%之間。氣油實不勝其微少也。設空氣中氣油之量超過此數，則混合物不起爆炸。故揮化器之規劃，卽期汽缸中可得含氣油及空氣比例準確之混合物。惜此項比率，須恃氣油之蒸氣壓，而蒸氣壓則因溫度而急變。故欲確保恆得正確之混合物，則逢溫度起何大

[1] hydrogenation of petroleum.

變遷時，其揮化器務必加以調節。

由實驗知在尋常之氣油，當溫度爲 25°C. 時，欲得爆炸性之混合物，其已被氣油所飽和之空氣，須和入約三倍體積之新鮮空氣。溫度祇須低下 10°(15°C.)，則等體積之混合物即能爆炸矣。由此可見溫度數度之變更所生顯明之效應。

411. 震爆防止劑——氣油於汽缸內有時爆炸過急，致不及完全在汽缸內利用，而使引擎受震擊。如有少量之揮發性鉛化合物，即如四乙鉛[1]($Pb(C_2H_5)_4$)，足以防止之。前見(§309)亦有加少量二溴乙烷($C_2H_4Br_2$)於氣油中以防四乙鉛中析出鉛。含有此種化合物之氣油，稱爲乙鉛氣油[2]。壓縮極高之引擎內，宜用此油，蓋較爲有效也。在此等引擎中如用未配合之氣油，則往往震爆甚兇。又有數種烴，如存量較多，亦足以減少震爆。因此，產自數處油廠，及用某種分裂法製成之氣油，往往具有極佳之止爆性。

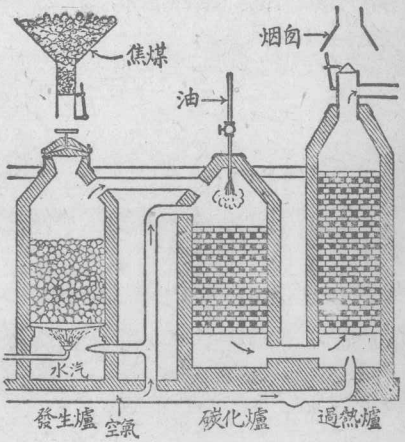
412. 家庭中氣油有危險性——吾人至此須暫停少時，以聲述對於家庭中用氣油供洗滌之告誡。洗衣業及清潔所確使用巨量氣油。惟此處常藉貴重之機械，以特別注意於保持空氣濕度，因而防止幾不可免之爆炸。此在家庭中顯然不可能。當氣油箱啓用之後，其極可燃性而不能目覩之蒸氣立即與空氣相混和；蒸氣沈下，以其較重於空氣。隨成一種空氣，始終存在，設遇熱水爐之引火，或電器之火花，或香煙點火機等在離氣油箱

[1] lead tetraethyl. [2] ethyl gas.

數碼之外，則立釀成凶險之爆炸。故任何種之氣油或以供任何目的，在家庭中皆不宜使用。實無法可使其安全也。

燃料氣體

413. 氣態燃料——在美國某數地區（§406），其地土中放出數種氣體之混合物，稱爲**天然煤氣**[1]。其主要成分爲甲烷[2]（沼氣[3] CH_4）。天然煤氣用管輸送達數百英里。在美國許多城市中用以點燈及取熱，多種工業上亦用作燃料。煤經乾餾後所得之氣體，稱爲**煤氣**[4]。亦含有甲烷，並有氫、一氧化碳、及數種複雜碳化合物，燃時舉光亮火焰，故許多都市中用以點燈。**水煤氣**[5]乃以水汽通過紅熱之煤上，而產生之氫與一氧化碳之混合物。其反應爲：



第 253 圖　水煤氣廠之圖解

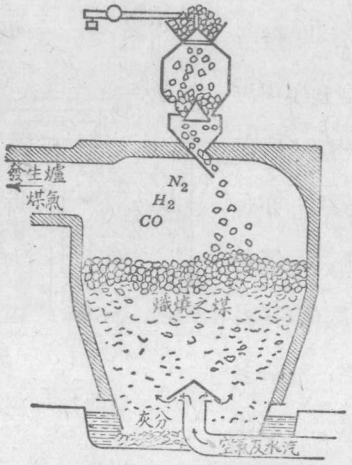
$$H_2O + C \rightarrow CO + H_2 - 26{,}990\text{卡}$$

[1] **natural gas.** [2] methane. [3] marsh gas. [4] coal gas [5] water gas.

可見此反應中乃吸熱者；是卽欲其進行，需給以熱力也。此項反應稱爲吸熱[1]反應。

水煤氣之製法（第 253 圖），卽更番令爐內之煤，先於空氣中燃燒，至成紅熱，然後阻絕空氣，而吹入水汽；此時所生成之水煤氣，設法集取之。俟溫度下降過低，則阻絕水汽而再通入空氣。 氫及一氧化碳，燃時火焰均無光輝，故水煤氣須先設法處理，始可供點燈之用。 法卽加某種揮發性石油。此法稱爲增碳[2]。

此外尙有一種煤氣，用於許多冶金術上，亦作爲煤氣引擎之燃料。是爲發生爐煤氣[3]。其製法卽將空氣壓過發生爐中極厚層之煤火（第 254 圖）。結果所得之氣體混合物，含有空氣內全部之氮，而氧則盡與碳化合成一氧化碳。尋常每令少量水汽與空氣同行導入，使其還元，如製水煤氣時然。 如此製得之發生爐煤氣，大致含氮、一氧化碳及氫。



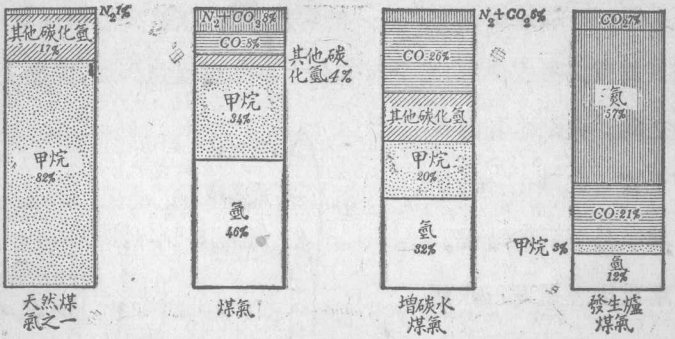
第 254 圖 發生爐煤氣廠之圖解

凡當地煤氣廠之煤氣未能通達之處，往往使用壓縮氣態燃料箱，其中以含丙烷（C_3H_8）爲主。 一種貨品以商名派洛法克[4]著稱於世。 其箱均安裝於房屋之外，求其安全而便於更換也。 然後以管導送煤氣於煤氣爐灶。

---

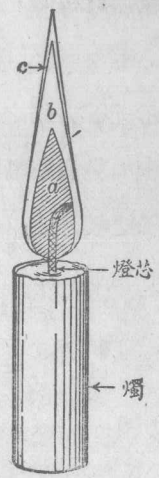
[1] end thermic. [2] enriching. [3] producer-gas. [4] pyrofax

第 255 圖解明上述各種燃料氣體體積上之近似組成。



第 255 圖　各種燃料氣體之近似組成圖解

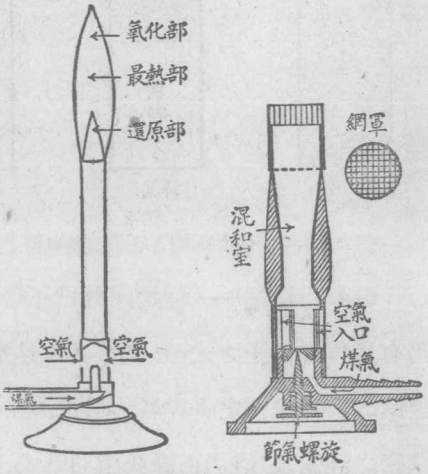
414. 燭焰——蠟燭雖久已不作爲一般室內取光之源，然仍有用作裝飾上之光照。吾人以是對之尙感興趣。德斐及法拉第二氏爲最首之研究者，於蠟燭化學上加以嚴密之注意。蠟燭由蠟或脂肪製成，蠟或脂肪則含碳及烴甚富。點火時，蠟卽熔融，而因毛細作用昇入燈芯，至此遂起氣化。火焰者，實乃蠟蒸氣燃燒，卽與空氣中氧相化合，所占之地位也。第 256 圖表示緊接燈芯四周之空間內，具有一未燃氣之圓錐體。其次有一中間圓錐體，該處氣體受熱，足能分解若干烴，結果釋出一部分之碳成爲白熱。更外一層，則爲幾不可目覩之圓錐，該處生成二氧化碳及水，蓋已完全



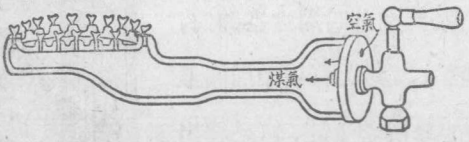
第 256 圖　燭焰

燃燒矣。

415. 煤氣燈及燈焰——於尋常之魚尾燈[1]中燃燒煤氣時，煤氣爲燈口散成薄層，足令有充分之空氣與煤氣接觸，俾燃去全部之碳。火焰本身內有若干複雜之碳化合物受高熱而分解爲遊離碳。遊離碳因燃燒進行，熱至白熱，其火焰之所以具有發光力，卽由於此等白熱碳粒子也。水煤氣無此種碳化合物，故必須增碳。第 257 圖示此種火焰之結構。就中可見有明晰之數部位。光亮之部充滿白熱碳粒子，當此項粒子達較外之一部時，卽全被燒盡，生成二氧化碳。此際燃燒所生之熱，卽保持其火焰應有之熱度。



第 257 圖　尋常本生燈及附有網罩之改良燈（魚尾式）



第 258 圖　煤氣竈上之燈

本生燈[2]（第 257 圖）中則令空

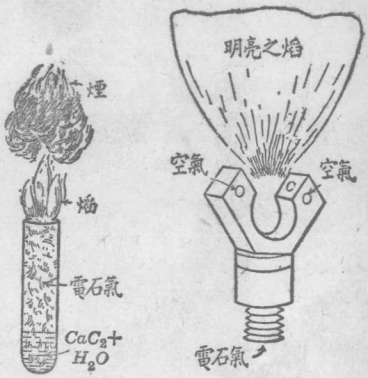
[1] fishtail burner　[2] Bunsen burner.

氣導入火焰之內部。如是使火焰之熱度降冷，至不足令複雜之碳化合物分解爲遊離碳；故其火焰無光輝。本生燈焰之溫度高，因當空氣送入時，火焰卽縮至原來大小之半。煤氣竈上之燈（第258圖）卽爲改製之本生燈，排列許多燈口，俾得一簇之藍色小火焰。

416. 電石氣之用途——電石氣[1]化學上稱爲乙炔（C_2H_2），乃水作用於二碳化鈣所產生之一種氣體，二碳化鈣由碳與石灰於電爐中加熱而製成：

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2 \uparrow$$

此氣或可臨用時製取，或則爲便利起見，可於壓力下溶入一種所謂醋酮[2]之液中而貯於鋼桶內。此種之商名爲"潑來斯托立脫[3]"。當電石氣於特製之燈有空氣送入者（第259圖）中燃燒，卽舉極光亮之火焰。用以供發光者，爲量無多。設令氧氣吹入此焰，電石氣卽起完全燃燒，而可得極熱而無光之火焰。此爲吾



第259圖　於試管中及於規定燈頭中燃電石氣

[1] acetylene.　[2] acetone　[3] prestolite

人所知最熱火焰之一，以其熔融鐵及他種金屬，俱甚易易，故爲用殊廣。

電石氣爲一種吸熱化合物，卽分解時，發生熱量，如下方程式：

$$C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2 \times 49{,}300 \text{卡}$$

電石氣火焰內，除此分解熱外，尙有碳及氫之燃燒熱：

$$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O + 603{,}000 \text{卡}$$

第 260 圖　用電石炬截鋼

如用氧與電石氣比量適當之混合物，則可得約3000°C.之熱度，較氫氧焰猶高，卽所謂電石炬[1]，酷似氫氧吹管，可令鋼熔融而燃燒以截斷之。設令焰尖徐臨鋼鐵，卽於接觸處使其熔融。過量之氧，使熔融之鐵燃燒成氧化鐵，成爲火星，四散迸射（第260圖）。此項燈炬於拆卸鋼鐵建築物時，尤爲合用。鐵或他種金屬之零件，可藉此鍛接，卽將此等另件用電石炬加熱至熔融，而後令熔融之金屬互相熔合。

化學家又已能用電石氣爲原料，製成醋及人造橡皮。

第二十八章　提要

煤爲重要之燃料。熱以卡計量。一卡乃水一克昇高攝氏一度所需之熱量。工程師所用之熱量單位爲B.T.U.（英制熱單位）。

化學反應之放出熱者，稱爲發熱性，有少數反應吸收熱者，稱爲吸熱性。

燃料乃燃於空氣中之物料。其反應爲強烈之發熱性；吾人因需要熱，而造成此項反應。

固態燃料爲煤、焦煤、木材（柴）、木炭。

液態燃料由石油分餾而得。包括氣油、燈油、及柴油。將

[1] oxyacetylene torch.

分裂法中高沸點殘渣分解，可增加氣油之產量。

氣態燃料包括天然煤氣、煤氣、水煤氣及發生爐煤氣。燃料氣體之含有碳化氫者，燃時舉光亮之火焰，以有碳遊離也。

電石氣由二碳化鈣產生。電石炬極熱，供截割及鍛接金屬之用。

問題

1. 一化合物中有碳存在，用何法證明爲簡易？
2. 上好之燃料，其特點何在？
3. 煤之燃燒值及其燃後所餘灰燼之重量間有何關係？
4. 煤燃燒時，放出熱能。煤究何自而獲得此項之能？
5. 試述能不滅定律，而舉一堆煤之燃燒以例解之。
6. 試舉由石油分餾所得數部分之名稱。
7. 試作(a)分餾；(b)乾餾之定律，並舉例解之。
8. 合成氣油之意義爲何？
9. 自石油所得氣油之產量，如何因分裂法而增加？
10. 乙鉛氣油以何時利用爲宜？其功用爲何？
11. 天然煤氣之主要成分爲何？
12. 煤氣工業上之副產物爲何？其價值何在？
13. 近代市用煤氣中常含一氧化碳 34% 之多。家中何以應注意防免煤氣走漏？
14. 燃煤氣燃燒時，如何可證明有二氧化碳及水生成？
15. 如何可解釋水煤氣中有氮存在(見第 253 圖)？發生爐煤氣中有氫存在？
16. 何以吹風足使燭火熄滅？
17. 聽令煤氣燈焰被風吹熄有何危險？
18. 煤氣竈爐與實驗室內所用之本生燈有何類同？有何異別？
19. 試作電石氣完全燃燒之方程式。

20. 參閱圖解（第 255 圖），試就各種燃料氣體之成分舉述 (*a*) 其爲可燃者；(*b*) 其爲有毒者。

* * *

21. 如何量計煤之燃燒值？

22. 設謂煤一磅之發熱值爲 14,000 B. T. U.，其意爲何？

23. 藉何種化學檢驗法可以區別甲烷與氫？

24. 水煤氣與發生爐煤氣，何者具有較高之燃燒熱？

25. 爐內如用柴油燃燒，則其火箱中將若何使其阻免煙之生成？

26. 設煤氣中一成分爲氮，則其火焰之溫度較低，試舉二理由解釋之。

27. 蠟燭中含有氫及碳，如何可以證明之？

28. 設令空氣通入本生燈近底盤之孔中，則生無光之焰，何故？

29. 電石氣 52 克燃燒時，發生熱量 603,000 卡。試舉二理由以說明此項非常之高燃燒熱。

30. 抄錄下列文句而填入遺漏之字：化學反應之放出熱者稱爲____；其吸收熱者（爲數不多）稱爲____。

* * * *

31. 含碳 90% 之煤一噸，欲其完全燃燒，需氧若干噸？

32. 假定水煤氣含一氧化碳 60% 及氫 40%，則欲該氣體 1000 立完全燃燒，需空氣體積若干？

33. (*a*) 欲燃燒電石氣 10 立，需氧若干立？ (*b*) 需空氣若干立？

第二十九章

酒精及其他碳化合物

有機化學。酒精，製取、性質及用途——變性酒精、木精——醚、四氯化碳及三氯甲烷——醛類——醋酸。

417. 有機化學[1]——碳元素所生極重要之化合物，其爲數之衆，非另立一門化學，以專研究之不可。此一科門，是謂之有機化學，與討論其他元素之一切化合物之無機化學相對峙。今日已知之有機化合物殆有 230,000 種以上，而新物質猶不絕發見。此等化合物之大多數，其中之碳僅與少數他元素相化合——常僅與氫一種。此際立起一疑問，即何以此一元素能有如是其多之化合物？其答案即在碳原子能互相結合而成鏈，鏈可含有 2 至 60 或更多個原子。例如，前已見石油乃碳與氫之此種化合物之極複雜混合物也。

418. 製取乙醇[2]——最簡單而最重要之一種有機化合物，是爲乙醇 C_2H_5OH。此物質常稱爲酒精[3]。乙醇乃糖類發酵[4]

---

[1] organic chemistry. [2] ethyl alcohol. [3] spirit of wine, or alcohol. [4] fermentation.

而得之產物，發酵者，卽以微小活植物爲介，而促起之一種化學作用也，其中以釀母菌[1]爲最普通之例。發酵之別一產物爲二氧化碳：

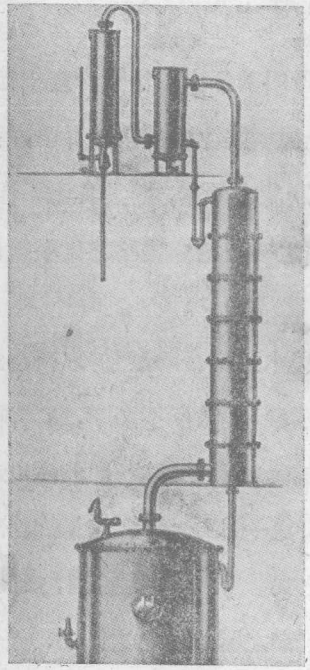
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$$
糖　　酒精　　二氧化碳

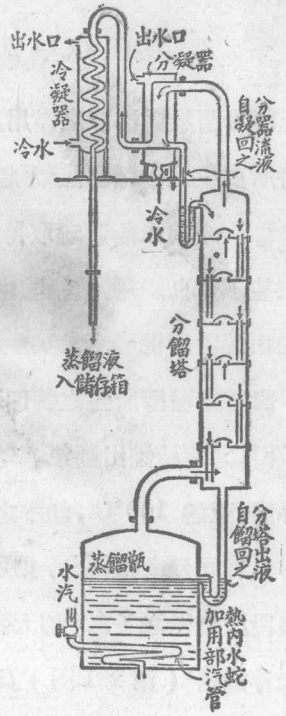
釀母菌於糖溶液之作用，已證明其係由於活釀母菌細胞發育時所產生之一種觸煤[2]而起。此種觸媒生成於自然界中，稱爲酵素[3]。今尙未能遊離取得純粹狀態之酵素，對於其化學性狀猶未甚了了也。動植物體中所起之一切錯綜複雜之化學變化，幾盡由酵素所促發者。

設將糖發酵所生之物卽乙醇與水之混合物蒸餾，以得乙醇，於 78°C. 時始餾出蒸氣。繼續蒸餾，液體漸不濃厚，則其沸點漸昇高，至達 100°C.，卽水之沸點。設將蒸餾液（卽蒸餾出者）按準溫度而分成數部分，則所集得第一部分，含大比量之乙醇，其後段所集得之各部，卽大致爲水矣。大規模之蒸餾，於裝有高大分餾塔[4]（第 261 圖）及分凝器[5]之器械內行之。水蒸氣凝集於分餾塔及分凝器中，而回入蒸餾甑中；其較揮發之乙醇則逸出，直達總凝器。所得蒸餾液爲 95% 之酒精，其回入甑中之液體，大部爲水。此方法稱爲分部蒸餾[6]或分餾。

[1] yeast.　[2] catalyst.　[3] enzyme.　[4] fractional column.　[5] partial condenser.　[6] fractional distillation.

419. 酒精之性質及用途——純粹之酒精爲無色液體，沸點78°C.。爲可燃性物，故有用作一種燃料。尋常含有少量之





第 261 圖　工業上之蒸餾瓶及分餾塔

水，不能由蒸餾而除去。惟與石灰共煮沸，則可去除此水分而成純粹酒精[1]。酒精可與水以任意量相混和，惟於水溶液中不起離

[1] absolute alcohol.

子化；與稀酸類、鹽基類、或鹽類皆不起作用。酒精爲一種優異之溶劑，能溶解許多難溶於水中之物質。製木材與金屬之假漆，以及製造賽璐珞[1]、膠棉[2]、及人造絲等，亦均用此爲溶劑。醇液[3]爲藥物之酒精溶液。香水及香料（如香蘭精[4]）亦多屬酒精溶液。

420. 工業酒精（變性酒精[5]）——純粹乙醇之發售，各國政府均以法律加以嚴厲之限制。須製成不適於作飲料之酒精，始許自由發售而得免稅。是爲完全變性之酒精，尋常卽含有毒性之甲醇[6]（見§422）及他種具有惡臭之物質。供工業用之特種變性酒精，須經政府之檢核，方准使用。

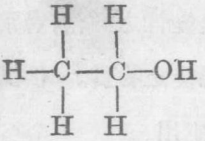
工業酒精或自精煉蔗糖之殘餘物（糖漏[7]），或自穀類，或自馬鈴薯等之澱粉質物料發酵而製成。糖漏可直接發酵產生酒精。如用澱粉質物，則須先經一種存於大麥芽中之酵素（糖化酵素[8]）之作用，使變成糖。

421. 乙醇之式——乙醇之式可書作 C_2H_6O，此卽示其中有2個碳原子，6個氫原子及1個氧原子。此之謂實驗式[9]，表明由物質之百分組成及分子量所引出之諸項事實。此在前此所述大多數之無機化合物固已滿足。惟於有機化學上則不適

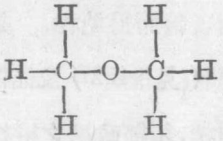
---

[1] celluloid. [2] collodion. [3] tincture. [4] vanilla extract [5] denatured alcohol. [6] methyl alcohol. [7] molasses. [8] diastase. [9] empirical formula.

於用；蓋往往有數種化合物具同一之實驗式者。此種物質稱爲異構物[1]。例如，另有一種物質，稱爲甲醚[2]者，亦具有 C_2H_6O 之式，然此乃一種氣體，其性質與乙醇全然不同。此二異構物間之殊異，必在其原子互相集結之方式。至此當一詢原子究若何連結者，而當於式中表明此項之連結。準此將二者圖解的書之如下：



乙醇



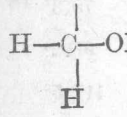
甲醚

由此項圖解式，可以明分子中每個原子如何與他一原子互相連結，故稱之爲結構式[3]。尋常每將若乙醇之式縮作 C_2H_5OH。有機化學上所謂異構物，其數甚多，而在有機化學家惟結構式有眞實之意義者，蓋卽由此。

結構式由何而成，非本書所能備述；祇須明其係根據種種實驗的證據者已足矣。熟練之化學家，知某種之連結，代表某種之反應，故藉結構式卽可知某種物質大概當起若何之反應。有機化合物中碳常爲四價。此點對於結構式之譜記及書寫上，均有利便。

[1] isomer. [2] methyl ether. [3] structural formula.

422. 甲醇[1]，**或木精**[2]——又一習知之物質，爲**甲醇**，俗稱**木精**，其式爲 CH_3OH。其結構式表示甲醇乃甲烷之取代物[3]，其中



OH 基取代 H 原子之位置。其性質多與乙醇相類似，於製洋漆及假漆中用作一種溶劑，以其性極毒，故又用爲使乙醇變性之藥劑。其煙霧性毒，每足致人盲目或死命。以其凝固點之低，故於汽車散熱器中用作"抗凍"液(§360)。

其製法或由木材乾餾，或由一氧化碳藉最近發明之方法合成之。將一氧化碳與氫之混合物（水煤氣），在大壓力及高温度時通過一種觸媒之上，即起如下方程式之反應：

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$$

此項新觸媒法，成本甚低，不久行將取木材乾餾而代之。

423. 他種醇類——醇之一名，雖尋常專指該類之一種物質——乙醇，實係一類物質之總名。茲將數種醇類之名稱及式列表如下，依碳原子數之增多列成一系。此種之系，稱爲**同屬系**[4]。其中每一化合物與前後化合物相差二個氫原子及一個碳原子(CH_2)。此種一系之全體化合物，其化學性多相同者，惟其物理性則依次漸異。

---

[1] methanol or methyl alcohol.　[2] wood alcohol or wood spirit.
[3] substitution product　[4] homologous series.

名稱	式	分子量	沸點 (C.)
甲醇	CH_3OH	32	64.7°
乙醇	C_2H_5OH	46	78.3°
丙醇	C_3H_7OH	60	97.2°
丁醇	C_4H_9OH	74	117.5°
戊醇	$C_5H_{11}OH$	88	137.0°

424. 醚[1]，一種麻醉劑 —— 在某定情況下，以硫酸處理乙醇，則生成二乙醚及水。二乙醚[2]尋常簡稱爲醚，其結構以$(C_2H_5)_2O$式表之，可謂爲氧乙烷[3]。其生成之方程式如下：

$$2C_2H_5OH \rightarrow (C_2H_5)_2O + H_2O$$
乙醇　　二乙醚

於此當見醚中係二個乙烷基[4](C_2H_5)由一個氧原子相連結。醚爲無色液體，沸點 35°C.。工業上以大規模製取之，供作溶劑及麻醉劑[5]，爲用甚廣。吸入過多即失知覺，故自 1846 年美國波士頓之麻省總醫院[6]中第一次公開證明其作爲麻醉劑之價值後，即用於外科手術上。

425. 四氯化碳[7]及三氯甲烷[8] —— 設自一種烴中取除一個(或多個)氫原子，而代入他種原子，則可得所謂取代物之物質。

[1] ether. [2] ethyl ether. [3] ethyl oxide. [4] ethyl group [5] 麻醉劑者即能使暫時的局部或全部失知覺之物質也。 [6] Massachusetts General Hospital. [7] carbon tetrachloride. [8] chloroform.

氯與甲烷起猛烈反應，生成取代物。如將甲烷中四個氫原子均代以氯，則得一種化合物，稱爲四氯化碳（CCl_4）。實際氯與甲烷間之反應，甚難控制，故工業上率藉他種反應以製四氯化碳。二硫化碳（CS_2）易與氯相反應，生成氯化硫及四氯化碳。此二液體，可藉蒸餾以分離之：

$$CS_2 + 3Cl_2 \rightarrow S_2Cl_2 + CCl_4$$

二硫化碳　氯　氯化硫　四氯化碳

四氯化碳爲重而無色之液體，沸點79°C.，其臭與三氯甲烷無殊。易溶解油膩，膠及樹脂等。以其爲不可燃性之溶劑，故工業上使用頗廣。淨滌藥水多以此爲原料。又爲數種小型滅火器（第262圖）中所用液體之主成分。當噴射於火上，卽成極重之蒸氣，籠罩於焚燒物上，隔絕空氣，而熄滅火焰。此物對於石油失火之撲滅，尤爲可貴。此類火災，不能用水灌救，以徒使油浮於水面而繼續燃燒也。

第262圖　用四氯化碳之滅火器

四氯化碳可還元成一種物質，稱爲三氯甲烷（$CHCl_3$），俗稱"哥羅仿"：

$$CCl_4 + 2[H] \rightarrow CHCl_3 + HCl$$

四氯化碳　初生氫　三氯甲烷　氯化氫

三氯甲烷亦可由漂白粉作用於乙醇而製成。爲一種芬芳而揮

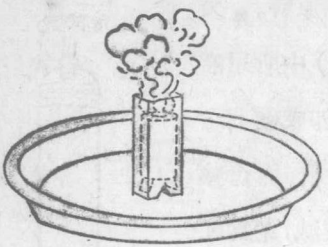
發性之液體，有用作溶劑者，亦作麻醉劑。其爲麻醉劑，不如醚之安全，故僅於特殊情形下用之。

三碘甲烷[1]（CHI_3）爲黃色之固體，具特臭，俗稱黃碘。用作防腐消毒劑。

426. 醛類[2]——甲醇可氧化而成一種物質，稱爲**甲醛**[3]（HCHO），俗稱蟻醛：

$$\underset{\text{甲醇}}{CH_3OH} + [O] \rightarrow \underset{\text{甲醛}}{HCHO} + H_2O$$

設將其式詳列之，則可見氧原子有二鍵連接於碳原子。此



第 263 圖　甲醛燭

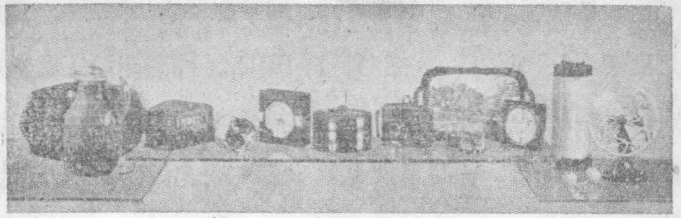
$-\overset{H}{\underset{|}{C}}=O$ 之基，爲所謂醛類之化合物所特具者。

甲醛爲一種氣體，具刺透之臭，刺眼作劇痛。其水溶液用作消毒劑，亦作防腐劑。其 40 %之溶液，市售稱爲福美林[4]。有一種固體化合物，稱爲聚甲醛[5]，當其受熱，即起分解而生此氣體。此物質常製成燭狀（第 263 圖）出售，可燃點於室內，以供消毒。

培珀[6]乃略似硬橡皮之物質。由甲醛與取自煤焦油之**苯酚**[7]（石炭酸[8]）相作用而製成。用以製假牙筷、骨牌、煙咀、鈕扣、

[1] iodoform.　[2] aldehydes.　[3] formaldehyde.　[4] formalin.
[5] paraformaldehyde.　[6] bakelite.　[7] phenol　[8] carbolic acid.

傘柄、筆桿、杯盤、留聲機片及電機件上之絕緣體等(第 264 圖)。



第 264 圖　數種製自培珀之用品

427.　酸類[1]—— 甲醛可再氧化而成一種液體，稱爲甲酸[2] (HCOOH)，俗稱蟻酸。蟻體中存有此酸，故名。由其結構式可知有一個雙鍵之氧原子，與碳原子相連接，並有一個氫氧基[3] (羥基[4])；即如：

$$\begin{array}{c} \quad\;\; O \\ \quad\;\; \| \\ H-C-OH \end{array}$$

甲　酸

COOH 之集團稱爲羧基[5]，爲所謂酸類之有機物質所特具者。皆由氧化相當之醇類而得。酸類共有多系。甲酸爲所謂脂酸系[6]之最低級物質，此系中較低級者均爲液體，較高級者爲固體。均屬一鹽基性酸類，中和後能生成鹽類。較高級酸類中有二種爲固體，即棕櫚酸[7] ($C_{15}H_{31}COOH$) 及脂蠟酸[8] ($C_{17}H_{35}COOH$)，得自脂肪；故有此系名。

醋酸[9] (CH_3COOH) 學名乙酸，乃此系中最重要之低級酸。爲一種頗弱之酸。實驗室內雖可由乙醇氧化而製之，惟工業上

[1] carboxylic acids.　[2] formic acid.　[3] hydroxyl group.　[4] 羥基爲氫氧基之簡稱，羥讀如徑。　[5] carboxyl group，羧讀如酸　[6] fatty acids series.　[7] palmitic acid.　[8] stearic acid.　[9] acetic acid.

則得自木材乾餾，爲一種副產物。醋實卽醋酸之稀溶液，由稀酒精經一種細菌之氧化作用而得。濃醋酸稱爲冰醋酸[1]。爲白色之固體，外表酷似冰。熔點約爲16°C.。醋酸用於工業上凡需弱酸之時。化學上多用濃酸，係由木材乾餾取得，爲副產物。醋酸之合成，今有以大規模爲之。大致乃令乙炔與水藉適宜之觸媒而相化合。先生成乙醛[2](C_2H_4O)，繼氧化而成醋酸。

第二十九章提要

有機化學，乃碳化合物之研究也。

取代物由烴中一個或多個氫原子爲他元素或基所代換而成；如四氯化碳卽是。

醇類可認爲係由烴類以一個或多個氫氧基，取代相當數之氫原子衍生而得者。乙醇由糖發酵而成。甲醇爲木材乾餾之副產物，又可由一氧化碳製取之。變性酒精乃乙醇中加有毒質者。

醚卽氧乙烷　由硫酸作用於酒精而製成。

醛類均含有 $-\overset{H}{\underset{|}{C}}=O$ 基。甲醛爲最普通之醛，由甲醇氧化而成。

有機酸類均含有羧基 $-\overset{OH}{\underset{|}{C}}=O$。可由醛類或醇類氧化而製成。

[1] glacial acetic acid.　[2] acetaldehyde.

問　題

1. 試作葡萄糖($C_6H_{12}O_6$)發酵成酒精之方程式。

2. 酒精發酵時所用之觸媒爲何?

3. 試舉乙醇之四種用途,並述每種用途所憑藉之性質。

4. 汽車散熱器中,何以有時須用酒精與水相混和?

5. 試作酒精燈中乙醇完全燃燒之方程式。

6. 製碘酒時當用木精(甲醇)否? 試解釋之。

7. 何謂醇? 試舉本章所述之三種醇。

8. 一切醇類中共通之基爲何?

9. (*a*)乙醇;(*b*)甲醇;(*c*)培珀;(*d*)三碘甲烷;(*e*)三氯甲烷;諸物之組成爲何?

10. 有機酸類所特具之原子團爲何?

11. 四氯化碳與甲烷組成間之關係爲何?

12. 試舉四氯化碳之二種極不相同之用途。

13. 試舉家常所見之有機物質五種,而各述其若何製成。

14. 有機化學中何以多用結構式?

15. 試作(*a*)甲烷;(*b*)乙烷;(*c*)甲醇;(*d*)乙醇;(*e*)醋酸諸物之結構式。

*　　*　　*

16. 何謂同屬系? 舉例釋之。

17. 以穀類製酒精,何以不經濟?

18. 乙醇與乙酸間之關係若何?

19. 下列各物如何可由 95% 之酒精製成之;(*a*)純粹酒精;(*b*)變性(工業)酒精?

20. 使甜蘋果汁變成醋(醋酸)所用之兩化學步驟爲何? 試列所具諸反應之方程式。

21. 試以異構體與異形體作對比,並舉例。

22. 有機化合物大部分均僅含三種元素:碳、氫、氧。此項化合物今已知有 200,000 種以上。試舉何以可有如許之碳化合物之二種理由。

23. 試述製取甲醇之新合成法。並列方程式。

24. 試圖解的記出(*a*)醛基;(*b*)羧基。

25. 由番薯或玉蜀黍爲原料，均可以製成酒精。 試略述各該方法中之諸步驟。

* * * *

26. 葡萄糖 60 克發酵後，所得二氧化碳有若干立?

27. 設燃燒酒精 69 克，(*a*)生成二氧化碳重若干? (*b*)水重若干?

28. 在標準情況下，甲烷一立重 0·72 克。 試推算(*a*)其分子量;(*b*)其對於氫之比重。

29. 某種醇含碳 52.2%，氫 13%，氧 4.8%。 其蒸氣五百立方釐米(標準溫壓)重 1.02 克。 求其眞確之式。

30. 某種碳化合物，其組成如下:碳 54.7%，氫 9.1%; 氧 36.2%。 其比重(空氣=1)爲 1.53。 試求其式。

進究題材

工業酒精——工業酒精如何製成? 何種法律統制其製造及發售? 何故? 用何法可得利於工業用之廉值酒精? (Duncan's *Chemistry of Commerce* and Martin's *Modern Chemistry*.)

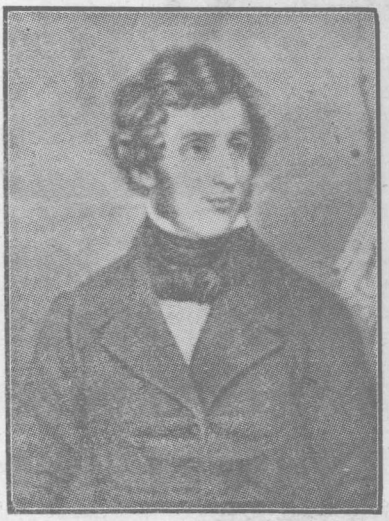
溶劑——工業化學家及製造家何以須用水以外之溶劑? 此種溶劑爲何物? 晚近引用何種新溶劑，其對於油漆工業有何變動? 製藥師、油漆製造家、香料廠及乾洗店用何種溶劑? (*Chemistry in Industry*, Vol. 1.)

第三十章

食與衣

碳水化物：糖、葡萄糖、澱粉、纖維素。 織料及紙——玻璃紙——硝化纖維素。
脂及油——肥皂——食油——油之增氫作用。
食物——種類及用途——食物價值及組成——應需量——活力素。

428. 碳化合物與生物——舊時向以爲有機化合物必有所特異於無機化合物。百年前，一切有機化合物均直接或間接得自生物，故向認爲所謂"生機[1]"或"活力"者，應爲此種化合物產生之要素。此項觀念於1828年爲德國化學家味勒[2]（第265圖）所推翻，彼由溫熱氰酸銨而製成尿素，乃軀體排泄物內之一種氮化合物。氰酸銨則爲可由無機物製成之化合物。其



第265圖 味勒(1800—1882)
德化學家合成尿素並發見鈹及鈦

[1] vital force. [2] Friedrich Wöhler.

後更自若煤、氧化鈣及水等之純粹無機物合成多種複雜有機物質。時至今日，吾人已明有機化合物與無機化合物間，實無重大之區別也。

本章當舉述數種頗複雜之物質，爲動植物生活上之重要產物。此等化合物爲用殊廣，而爲人類及獸類之主要食物。惟今此除概述此等化合物在動植物體內生成之方法外不能多事申述，而僅能論及在生活的徑程內所起之變化。討論此項問題之化學，日益重要，惟此處欲加詳論，自屬過繁。此門之化學稱爲生物化學[1]。

第 266 圖　美國路易西那甘蔗之收刈

碳水化物

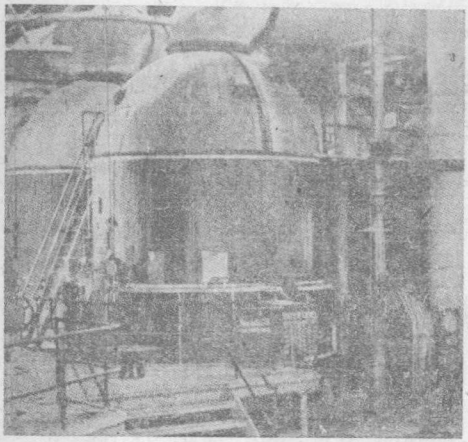
429. 組成 —— 糖[2]、澱粉[3]、棉纖維、及木材纖維皆爲極重要之普通物品。此等物料及其他多種植物生活之產物，皆屬於一類之碳化合物，稱爲碳水化物[4]（學名曰醣）。碳水化物

[1] biological chemistry or biochemistry.　[2] sugar.　[3] starch.
[4] carbohydrates.

均含碳、氫、氧三元素。後二者所存在之比量與水同；故由其實驗式無妨認爲含碳及某定量之水。此自非卽此等化合物之結構，惟碳水化物之名，確由此而起。茲試述數種重要之碳水化物。

第 267 圖　凡蒙糖械產期

430. 普通食糖（$C_{12}H_{22}O_{11}$）——通常所稱糖之一物大部得自甘蔗（第 266 圖）及甜菜，而糖械（第 267 圖）及蜜中固亦含有之。



第 268 圖　蒸發糖汁用之眞空鍋（箱）

取甘蔗置轆轤間軋榨，而將所得之液汁於密閉箱卽所謂眞空鍋中蒸發之，卽得蔗汁（糖漿）。如是則溶液於低溫度卽沸騰（約65°C），可防免大部分之糖起分解。迨糖漿冷卻後，糖卽起結晶，用離心機可令結晶與液體相分離。所得者爲棕色之糖，是爲**紅糖**；尋常再溶之於水，而將溶液濾過骨炭，以精製之。將提淨之糖漿，再置眞空鍋（第 268 圖）中蒸濃之，而令其結晶。自甜菜製

糖，其方法大致相同，產物與蔗糖無異。

糖之種類甚多，故稱普通之食糖爲蔗糖[1]。蔗糖與水共煮沸而以少量之酸，作爲觸媒，則生成二種較簡單之異構糖，即葡萄糖[2]及果糖[3]；此乃加水分解（§326）之又一例，常稱爲轉化[4]：

$$\underset{\text{蔗糖}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \rightarrow \underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{果糖}}{C_6H_{12}O_6}$$

此二種糖均有甜味，惟不若蔗糖之甜，而難於結晶。故如蔗糖溶液，加少量之酸或類似之物質共煮沸，即變成黏性物，不起結晶。各種之糖食，即利用此點而製之。

431. 葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$）——葡萄糖存於多種水果中，葡萄汁中含量特富，故名。可由蔗糖或澱粉製取之。蔗糖之加水分解，證實其分子乃由一分子葡萄糖與一分子果糖互相集結，失去一分子水而成之事實。故澱粉之分子，容或亦即由許多之葡萄糖分子集結而成。當澱粉與極稀之酸共煮沸時，即分裂而成葡萄糖。

設將少許之澱粉，與水共煮沸，水中先加有數滴鹽酸，以作觸媒。於是加足量之碳酸鈉以中和此中之酸，其液即覺有甜味，蓋有葡萄糖生成也。加入斐林溶液[5]（§503），可檢驗葡萄糖，加熱時即生氧化二銅（Cu_2O）之紅色沈澱。

欲明澱粉成爲葡萄糖之變化，應知澱粉之分子甚大，至即欲試列其確切之實驗式亦屬不能。有時列作$(C_6H_{10}O_5)_x$，蓋不知

[1] cane sugar or sucrose. [2] glucose or grape sugar. [3] fructose. [4] inversion. [5] Fehling's solution.

其分子量也。此徒示其分子中原子之相對數，其原子之總數則不詳。該反應中，水令大分子分解，而與全部物質相化合：

$$\underset{\text{澱粉}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + xH_2O \rightarrow \underset{\text{葡萄糖}}{xC_6H_{12}O_6}$$

此處乃一有機水解之例。

此法在工業上大規模用以製造葡萄糖。葡萄糖尋常均製成稠厚之糖漿，即稱爲葡萄糖或玉蜀黍糖漿，或成結晶塊而出售。葡萄糖於製造果子醬、果膏、糖食、糖漿等，使用甚廣。其價值遠低於蔗糖，雖其甜味不如蔗糖，然可用以代結晶糖之處亦頗多。

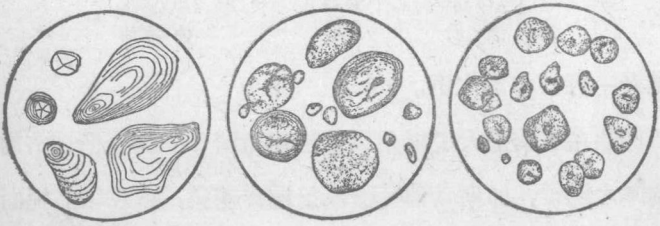
432. 澱粉（$(C_6H_{10}O_5)_n$）——澱粉俗稱小粉，存於多種食用植物中，成白色小粒。例如，米中約含澱粉 75%，玉蜀黍中 70%；馬鈴薯含 20%。一切穀類中似均含有大量。

植物自水及二氧化碳，借助日光之能，而構成澱粉。在植物體內之成就，全賴葉中之綠色物質，即所謂葉綠素[1]之功能。此項奇妙之合成，究屬若何發生，尚未之知；實驗室內未能做製之。甘蔗，糖槭等中所存之糖類，容即由同樣之合成法生成，否則由已爲植物所生成之澱粉一部分分解而成。

商品澱粉常取自米、麥、馬鈴薯及玉蜀黍等。其存於植物質中，形成小顆粒，常包藏於纖維物料之內。植物之細胞結構，因研磨而碎裂。其澱粉粒子，即可用

[1] chlorophyll.

水流洗出而集取之。澱粉幾不溶於冷水中，惟於熱水中，則澱粉粒子漲大而成一種膠黏液。迨冷卻而稀薄時，即成一膠體。澱粉用於洗衣作以漿硬衣物，又用於烹飪、製漿糊及葡萄糖。



馬鈴薯　　小麥　　玉蜀黍

第 269 圖　放大之澱粉粒

澱粉之微粒，其外形視其來源而略有不同（第 269 圖）。某種澱粉試樣之得自何種植物，藉顯微鏡即可辨知之。澱粉既爲一切穀類及馬鈴薯之主要成分，故有極大量作爲人類之食物。此項澱粉質食物，經烹煮後，即較易消化，蓋此時澱粉顆粒被破裂也。然澱粉在被人體攝取之前，須先經消化液之作用，使變成較簡單之糖類。

前章所述澱粉物料之酒精發酵，爲工業用酒精之一種製法。澱粉經水之作用，同時有一種存於麥芽中之觸媒（糖化酵素）存在時，即變而爲糖。尋常即以穀類或他種澱粉原料與大麥芽相接觸。經酵素之作用，澱粉即變成一種糖。於是加釀母菌，糖即起酒精發酵矣。

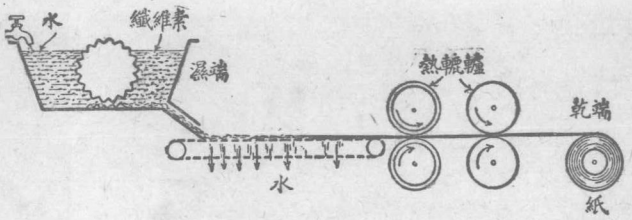
433. 纖維素[1] $(C_6H_{10}O_5)_n$——纖維素乃植物之木材纖維中之主要成分。此物質亦屬一種碳水化物，其化學組成與澱粉

[1] cellulose.

同。其分子之大小不得而知，惟知其顯較澱粉爲複雜；故記作 $(C_6H_{10}O_5)_n$。此物不溶於水及一切有機溶劑中。與酸類共煮沸，則水解而成葡萄糖。

434. 植物織料及紙——植物織料如棉、麻、葛均含有纖維素。各該植物所產生纖維素之各特殊形態，可從而辨知其線紗或織料之性質。紙之精良者，雖有製自麻或破布，然大部皆由木材中所得之纖維素製成。

木材成於較不純粹之纖維素。惟當製紙之際，其雜質之爲有色樹脂狀物者，於木材作成紙粕[1]後，即設法除去。濕紙粕濾於循環不絕之金屬絲網上（第 270 圖），成爲薄層以儘量去除水分。於是通過熱輥轤間。如此得乾燥薄張之多孔質紙，如濾紙等即是，幾爲純粹之纖維素。欲製適於書寫及印刷用之紙，則紙粕中應混入多種無機性固體，如黏土白堊土等。此項物料稱爲塡充料[2]，所以使紙堅實者也。大多數之紙，均更施塗乾酪胜（自牛乳中取得）等之物質一層，使得光滑之外層：可熨壓成堅硬之表面，合於書寫及印刷（第 271 圖 A 及 B）。

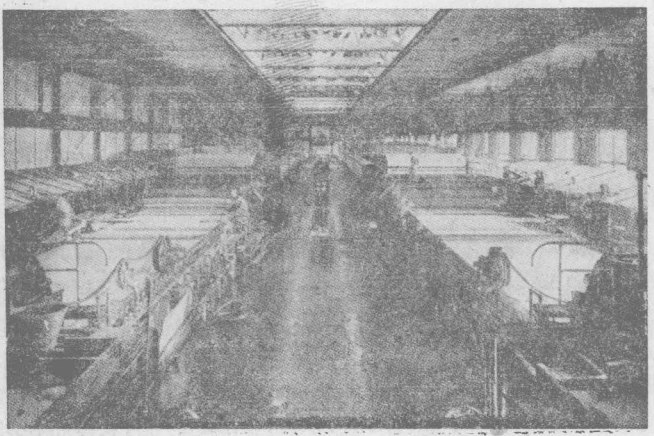


第 270 圖　製紙主要各步之圖解

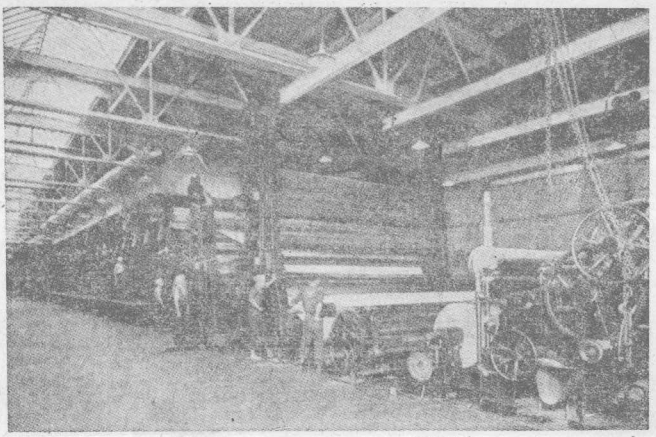
低廉之紙由所謂"機械紙粕[3]"製成。此種紙粕，乃將木材僅經一種之石磨碾壓而成者。所成之紙，含有木材中原來雜質

[1] pulp.　[2] filler.　[3] mechanical pulp.

之大部分，不久卽轉黃色而成脆性。較佳之紙，均由曾用氫氧化鈉、漂白粉、亞硫酸鈉或酸性亞硫酸鈣處理而提淨之紙粕製之。此項化學藥品，可去除纖維素以外之雜質。



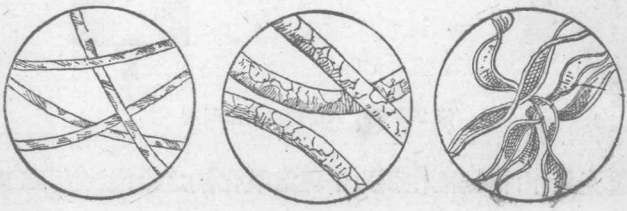
第 271 圖 A　兩架製紙機之濕端



第 271 圖 B　製紙機之乾端

製自機械紙粕之紙，遇苯胺[1]（$C_6H_5NH_2$）之水溶液即呈黃色。新聞紙及包皮紙即有此種現象；書寫之紙，則一般應無此反應。

435. 棉、絲及毛——動物織料，絲及毛，均非碳水化物。乃複雜之氮化合物。然絲與棉外形之主要異點，則在纖維之機械的結構，而不在其化學組成。第 272 圖表示此等纖維結構之不同。絲之線條乃連續之長管形。其使絲織物具習知之外觀者，蓋即此也。

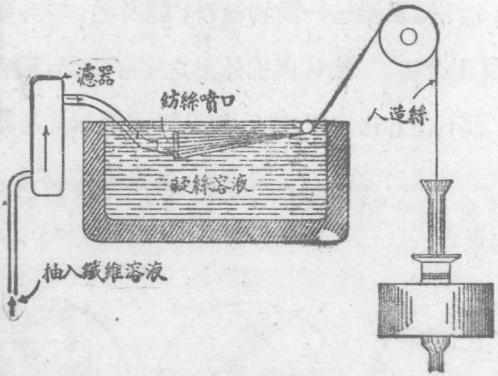


第 272 圖　三種放大之織物纖維

由木粕或棉所得之纖維素均可製成**長纖維**，與絲略似。即將纖維素溶入某數種溶劑中，而後將溶液壓過極細小孔，而入第二種溶液中（第 273 圖）。此液立即使纖維素重行澱結成細長而連續之纖絲。此項纖絲織成織物時，其製品光澤上與眞絲極似，稱爲**人造絲**[2]。然其實質固仍屬纖維素也。在維斯膠法[3]中，將纖維素經二硫化碳及鹼處理，而生黃酸纖維素[4]。另有一種人

[1] aniline.　[2] rayon or artificial silk.　[3] viscose process（爲英國化學家 Cross 及 Baven 於 1892 年所發明）.　[4] cellulose xanthate.

造絲，則製自醋酸纖維素[1]。



第 273 圖　人造絲生成之圖解

絲光棉[2]由棉纖維在張力下經氫氧化鈉之冷濃溶液處理而製成。洗滌乾燥之後，棉料卽略具絲樣之外觀，而較尋常之棉料強韌矣。

436. 玻璃紙[3]——此種透明紙由與製人造絲極相類似之方法製成之。將纖維素之溶液壓過狹窄之金屬罅縫，而入於第二種溶液中，此時纖維素固結成一種透明而柔韌，厚約千分之一寸之薄葉。如塗敷透明漆，可令其耐潮濕。此物今用於包裹雪茄菸、食物、糖果等，凡須保其不受塵埃、汚垢、及水分之侵及者，玻璃紙尤好在不復若尋常之紙之易於燃着。

[1] cellulose acetate. [2] mercerized cotton. [3] cellophane.

437. 硝酸纖維素[1]——以硫酸與硝酸之混合物，處理纖維素，即生成硝酸纖維素，爲纖維素與硝酸之一種化合物。此項作用之發生，或係由於纖維素中存有若干氫氧基之故。依酸之濃度及反應發生之方法，可令不等量之硝酸，與纖維素相反應。其產物總稱爲**硝酸纖維素**。

硝酸纖維素之含氮較少者，稱爲低級硝酸纖維素，用以製無烟火藥。膠棉即爲低級硝酸纖維素於酒精與醚之混合物中之溶液。當此等溶劑蒸發後，即餘留薄膜質，用以塗照相乾片等。膠棉常以"新皮"[2]或"液體宮膏"[3]諸商品名而出售。漆裝汽車用之噴漆[4](§549)爲硝酸纖維素於有機溶劑中之溶液。賽璐珞由樟腦與硝酸纖維素之混合物加熱而製成。故甚易燃着，在某種情況時，燃燒猛烈，帶爆炸性。高級硝酸纖維素包括**火藥棉**[5]，用作地雷、水雷中之炸藥。

脂肪及油

438. 脂肪及油均爲酯類——動物及植物均能生成許多歸入**脂肪**[6]及**油**[7]之物質。植物產品，常爲液體，稱之爲**油**，例如橄欖油、棉子油、豆油、菜油、桐油等。動物體中，由其所食之植物油、亦能生同樣之物質。此等則均屬半固體，稱爲脂肪，如豬油、牛油。脂肪及油與水及一種觸媒共熱，均可分裂。生一種之混合物，內含大分子量之有機酸，與一種有三個 —OH 基之醇——**甘油**[8]（$C_3H_5(OH)_3$）。凡可依此法起加水分解之化

[1] nitrocellulose [2] "new-skin". [3] "liquid court-plaster" [4] lacquer [5] guncotton. [6] fat. [7] oil. [8] glycerol.

合物，總稱酯類。 由脂肪中所得二種最重要之酸，爲棕櫚酸($C_{15}H_{31}COOH$)及脂蠟酸($C_{17}H_{35}COOH$)*。

醋酸乙酯[1]卽爲一種極簡單之酯之例，可由乙醇與醋酸製之：

$$C_2H_5OH + CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

乙醇　醋酸　醋酸乙酯

反應可緩緩逆行，設變換其情況卽可或則製成酯，或則使起加水分解。 小分子量之簡單酯類均爲有香氣之低沸點液體，用以製噴漆(§549)。

439. 肥皂[2]——使酯分解最簡便之方法，卽以與氫氧化鈉共熱：

$$CH_3COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$$

醋酸乙酯　醋酸鈉　醇

設將此法施之動物脂肪，則得大分子量酸類之鈉鹽。 此項鹽類之混合物，卽爲肥皂，其共通之反應，稱爲**皂化作用**[3]。所得副產物之甘油，爲一種稠黏之液體，用以製炸藥。 此項反應以下方程式表之：

$$\underset{\text{脂肪}}{(C_{17}H_{35}COO)_3C_3H_5} + \underset{\text{鹼}}{3NaOH} \rightarrow \underset{\text{肥皂}}{3C_{17}H_{35}COONa} + \underset{\text{甘油}}{C_3H_5(OH)_3}$$

脂蠟酸甘油酯[4]　脂蠟酸鈉

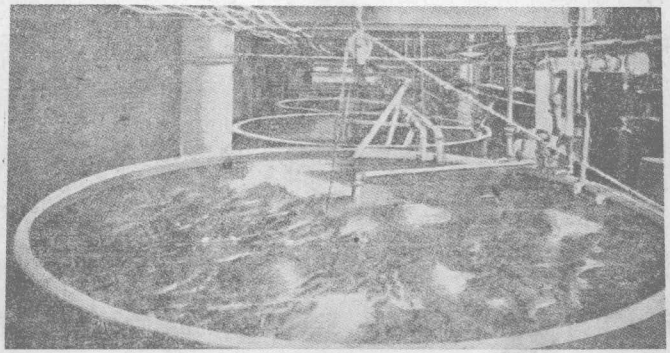
上列方程式自無須強記。 舉列於此，僅以明製皂之反應，實與

[1] ethyl acetate. [2] soap. [3] saponification. [4] glyceryl stearate.

* 學生無庸强記棕櫚酸及脂蠟酸之式。

製醋酸鈉相同耳。鈉鹽僅略溶於水。加入食鹽，可令自反應混合物中析出。製軟肥皂時，用氫氧化鉀以代氫氧化鈉。

工業上製肥皂，將脂肪及鹼置巨釜（第 274 圖）中共熱數日。肥皂經鹽析[1]後而昇浮液面。反應所得之他一產物即甘油，可由蒸餾使自含有廢鹼液[2]之液體中析出。由所用脂肪之種類及作用進行方法之不同，可製成許多種類之肥皂。



第 274 圖　肥皂釜，盛量足可製 10 輛車之肥皂
圖示釜之頂面，釜身直貫三樓

440. 肥皂之清淨力——下文可作爲肥皂及肥皂溶液之清淨力之解釋。肥皂本爲極弱酸類之鈉鹽之混合物。故當其溶於水時，其鹽類幾完全水解成遊離之脂酸及氫氧化鈉。此項強鹽基固無疑可溶解若干油膩。然其遊離脂酸並不起沈澱，而成膠體態，殆因其與未離解之肥皂起化合之故。由是，肥皂之溶液，實即一種鹼性之膠體液，其清淨作用與此點有關係。凡引致

[1] salt out　[2] spent lye.

他種物質同入於膠體態中，而阻止物質自膠體態中澱出者，多少卽屬膠體之通性。故此亦爲膠體相互保護[1]之一例。當油與肥皂溶液相搖和，油卽存留於溶液中，永久懸浮於實乃一種之膠體內。垢汚之微粒，亦如油以同一情形，爲肥皂水引入膠體態，而存留於其中。

441. "非肥皂"之肥皂——普通肥皂之作爲世界標準洗滌助品或**清淨劑**[2]者垂二千年。有多處之天然水爲硬性，卽含有溶解之鎂鹽及鈣鹽。當肥皂與硬水共用，則澱出鈣肥皂，卽皂滓[3]。此卽肥皂之損失，而亦爲澡盆及滌器上"垢漬"所由來也。於硬水中洗滌有色織物時，此項鈣滓卽澱積於織物間，使布色黯暗，而致粗糙不柔韌，且不滲水。此事已久爲紡織物製造者之嚴重問題矣。

近數年在各處化學實驗室已創有數種新穎之淸淨劑。均爲磺酸化醇類[4]之鹽類。至現在爲止，以鈉鹽最爲實用。其中之一，今以商品名"屈來富脫[5]"而出售。具有若干顯異之性質。例如，其溶解度極大，卽於冰水中亦易於起泡沫。不受溶解鈣鹽之影響，故不妨與硬水同用。卽與海水共用亦可。此項淸淨劑今日尙較普通肥皂爲昂貴。

---

[1] mutual protection of colloid. [2] detergent [3] curd [4] sulfonated alcohols [5] Dreft.

442. 食用油[1]——脂肪及油供作食物殊廣。供廚房用者大都必需固體脂肪。故烹飪上用動物脂肪較多於植物油。此等化合物間之差異，祇在數個氫原子之多少耳，蓋油乃一種含氫原子少於脂蠟酸（§438）之酸之酯也。晚近已可設法由人工加入此項氫原子。將植物油加熱，而與一種觸媒相混，尋常用鎳粉。於是吹入氫氣，則因觸媒之效應，氫即被油所吸收。如是產生一種脂酸之酯，其熔點遠高於前。趁混合物熱時，將鎳濾去。冷卻後，液即凝成固體，多方均似動物脂肪。此一方法稱爲油之增氫作用[2]。其產物供作烹飪（如克立司果[3]）及製皂時動物脂肪之代用品。

食　物

443. 各種食物之功用——吾人之食物，有三種明顯之功用：

(1)構成新部分而取代毀廢者；

(2)保持身體應需之溫度；

(3)供給吾人得以從事工作之能。

爲便利計，吾人之食物可依照其組成及功用，分爲五大類。一，**碳水化物**，若澱粉及糖等，供給熱及體能，於構成體內之脂

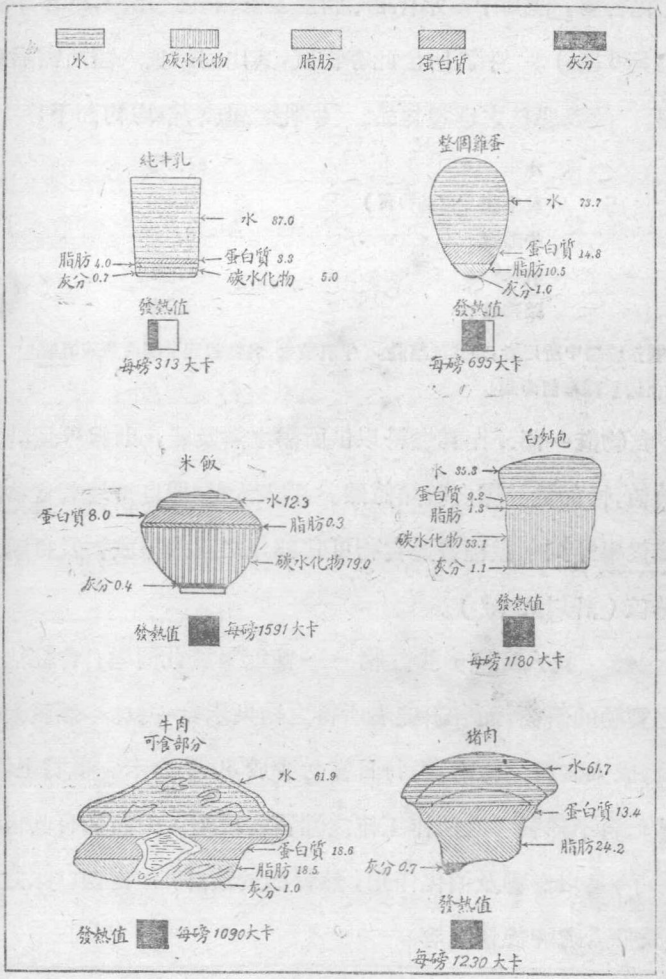
[1] edible oils.　[2] hydrogenation of oil.　[3] Crisco.

肪，亦與有助力。 二，脂肪，若豬油、牛油、肥肉、豆油等，產生熱及能。 一部分構成保護組織層，以作儲備食料。 三，蛋白質，乃化學上極複雜之物質，爲富有氮之食物；例如精肉、蛋白等皆是。此皆足以取代毀廢之肌肉組織者。 德國大化學家斐嘯[1]（第 275 圖）對於蛋白質研究最精。 四，各種無機化合物（礦物質），亦爲身體中所必需，爲用孔多。 至身體內所需鐵、碘、磷、鈣諸元素之量則極微。此等物質尋常均得自所食之食鹽、肉、水果及菜蔬等。最後，食物內除此四種基要成分外，尙需若干輔助品，必須添加此等物品，始得完滿之食糧。 此項重要物品，卽所謂活力素[2]亦稱維他命。 活力素共有六種或更多種，其中至少二種已可遊離出純粹品。

第 275 圖 斐嘯(1852—1919)
德國大有機化學家，研究碳水化物及蛋白質

444. 食物之價值——食物多數含有可以代表上述五類物

[1] Emil Fischer [2] vitamin.



第 276 圖[1]　數種普通食物內碳水化物、脂肪、蛋白質、灰分、及水之百分率之圖解

[1] 譯者注：本圖及下頁之表，爲適應我國情形起見，譯者特採用本國普通之食物以補充之。

質之化合物，惟其中碳水化物、脂肪及蛋白質之比例，殊多不等（第276圖）。牛乳所含此等物質，其比例殆與人體所需者相彷彿。故爲嬰孩之理想食品。牛乳之組成，平均約如下：

水	87.2%
乾酪胜（含氮物質）	3.6%
牛酪脂	3.6%
乳糖[1]	4.9%
礦物質	0.7%

製造乾酪中所用者，即爲乾酪胜。牛乳酸敗，乳糖即起發酵而變成乳酸[2]。此項變化因數種細菌而起。

食物既一部分作爲燃料以供所需之熱及能，則當可量計其發熱值，恰如量計煤之發熱值然。下表大部[3]採自煊曼著食物與營養化學[4]，列示數種普通食物可食部分之百分組成，及每磅之發熱值（計以大卡[5]）。

445. 我人究需多少食物——晚近對於此問題，曾經無數次之實驗的研究，而各研究者所得之結果未克一致。然就大體而論，成人食料之總能值，每日當勿少於3000大卡。事實上，此項數值自不無視各人所作工作之性質爲依歸。因而又有其他種種因子，足以影響及消化作用，然皆難於量計，如食物口味之美惡，及個人之神經情況等。

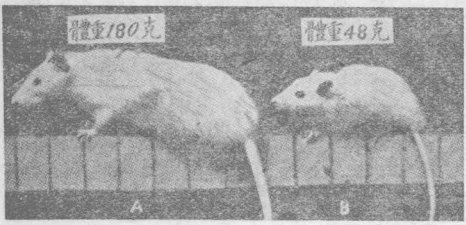
1 lactose or milk sugar. 2 lactic acid 3 參見第276圖譯者註。
4 sherman's *Chemistry of Food and Nutrition*. 5 此處所用者爲大卡，大卡爲水1仟克昇高1°C. 所需之熱量。

食　物	水	碳水化物	脂　肪	蛋白質	灰　分[1]	發熱值
米(飯)……	12.3	79.0	0.3	8.0	0.4	1591
麵包(白)……	35.3	53.1	1.3	9.2	1.1	1199
麵粉……	12.8	75.1	1.0	11.4	0.6	1610
牛肉……	73.8	——	7.9	22.1	1.2	694
豬肉……	61.7	——	24.2	13.4	0.7	1230
雞……	85.2	——	1.4	12.8	0.6	289
魚(青魚)……	85.9	——	3.0	10.6	0.5	315
蛋(生)……	73.7	——	10.5	14.8	1.0	672
大豆類(乾)……	11.5	59.6	2.9	22.5	3.5	1565
菠菜……	93.2	3.2	0.3	2.1	1.2	109
萊菔……	94.6	4.0	0.1	0.9	0.4	91
梨……	86.2	12.7	0.4	0.5	0.2	256
蘋果……	84.6	14.2	0.5	0.4	0.3	285
香蕉……	75.3	22.0	0.6	1.3	0.8	447

構成人體組織及取代毀廢部分所需蛋白質之量，大概較吾人尋常食料中所消費者遠少。吾人所食多餘之蛋白質食物，徒作爲燃料消去耳。切勿以爲單獨蛋白質一物可供代謝及發育之物料。脂肪及碳水化物，雖其主要功用，在供給能，然於代謝及發育上，亦未始無相當之關係。平均成人每日得有 75 克(市制 2兩4錢)之蛋白質卽已足敷；此實遠少於吾人大多數所食者矣。

[1] 灰分指燃燒後所餘剩之礦物質部分。

446. 活力素——除上述之食物外，動物體內尙須適量之水及無機鹽類，此皆可取自食物，無所困難。 較近，積多方有趣味之證據，證明另有極微量之某種化合物，亦屬動物發育及健康所必需（第277圖）。 此等物質卽爲**活力素**。俗稱維他命。今日已知者至少有六種，稱爲活力素 A, B_1, B_2, C, D, 及 E。其中二種已確切鑑定，或遊離出：卽活力素 A 及 D。似屬與觸媒同類之物質。 若脚氣病[1]及壞血病[2]等疾患，已證明其起因於食料中缺少活力素所致。 就大體而論，廣繁之食料可確保此等活力素之供給敷足。



第277圖 圖中二鼠年齡相同，其所得食糧亦相同 A，加飼活力素 B；B，無活力素 B.

人體內所起之反應既極複雜，故關於營養之整個問題，實難於解決。食物之發熱值，若上表所示者，對於確定適當之食料，固可略資借鏡。 然欲由此等不充分之條項，引出何種結論，則自非加十分謹愼不可。此項能值，初未嘗涉及蛋白質之需量，食料之消化性，或活力素之必要也。

447. 內分泌素[3]——身體各部多有「無導管腺[4]」，腺中分泌

[1] beri-beri. [2] scurvy. [3] hormone. [4] ductless gland.

出某種化學產物，稱爲內分泌素。此項內分泌素除進入血液外，別無直接之出口。其分泌物雖卽微量，亦對於生活機官予有極重大之影響。且可認爲化學的調節劑，保持各器官工作正常。

晚近生物化學家直接對於由合成法製取內分泌素曾作不少之研究。結果有二三種獲有成就。最近將來其他內分泌素無疑亦當製成，作爲醫生抗禦疾病之另一有力工具。

第三十章　提要

有機化合物與無機化合物間無根本不同之點。有多種有機化合物可於實驗室內自無機物製成之。

碳水化物乃化合物之含有碳與氫氧化合者，其中氫氧之比例與水中者同。糖、澱粉、及纖維素皆爲重要之碳水化物。

尋常之糖製自甘蔗或甜菜。有酸存在時，與水共煮沸，則起加水分解而成葡萄糖及果糖。

澱粉在工業上得自穀類或馬鈴薯等。澱粉可爲稀酸或麥芽中之酵素所分解而成葡萄糖。穀類及澱粉起酒精發酵之前，亦起此項變化。

纖維素爲一種碳水化物，所以構成植物之纖維料者。棉、麻、紙，皆大體爲纖維素，羊毛及絲則非。

硝酸纖維素由硝酸作用於纖維素而製成。此物爲無煙火

藥、膠棉、噴漆及賽璐珞之原料。

脂肪及油皆爲有機酸類之甘油酯。 植物油之異於動物脂肪，祇在每分子中數個氫原子之相差耳，藉一種觸媒可由人工加入此項氫原子。

肥皂爲高級脂酸之鈉鹽。 由氫氧化鈉作用於脂肪而成。

食物之功用：(1)作燃料以供給作工之能，(2)作燃料以保持體溫，(3)供給生長部分及補充毀廢之物料。

食物五大類爲脂肪、碳水化物、蛋白質、無機化合物及活力素。 脂肪及碳水化物，主要爲供給所需之能。 蛋白質（氮化合物）爲有機體發育之要素，又爲補充耗廢所必需。

平均成人所需之食物，應能供給每日 3000 大卡，而含約 75 克之蛋白質，外及少量而不可缺之無機化合物。

某數種活力素，今已知爲食料中之要素。

內分泌素爲由某種無導管腺之化學分泌物，對於健康、發育及個性影響頗大。

問 題

1. 脂肪與油之區別爲何？
2. 葡萄糖之存在，當如何檢驗之？
3. 製肥皂時所得有價值之副產物爲何？
4. 烃與碳水化物，其組成上之不同若何？
5. 增濃糖溶液，何以須用眞空鍋？

6. 自米麥中取澱粉，何以用冷水而不用熱水？

7. 吾人所食食物之三種顯明功用爲何？

8. 夏日與冬日之食料，應有何種之區別？

9. 由石油製得之油與植物油，其間有何區別？

10. 銀行書記與鐵匠之食料，應有何種之區別？

11. 食物之消化及爲人體所攝取，何以需巨量之純水？

12. 試分別舉富有碳水化物，富有脂肪，富有蛋白質之食物三種。

13. 何爲玻璃紙？　其主要用途爲何？　其可供此項用途所藉之性質爲何？

14. 蔗糖與葡萄糖之區別何在？　膠棉與賽璐珞之區別何在？

15. 市售玉蜀黍糖漿之一種，含葡萄糖 85%。此物如何可由玉蜀黍製成？

*　*　*

16. 濾紙中含有碳，將何以證明之？

17. 置蟻醛液（即福美林）於牛乳中作爲防腐劑，有何危險？

18. 工業上如何製得澱粉？

19. 油用以肥皂，當用石油抑植物油？　何故？

20. 何以可自蔗糖得純碳？　如何可以取得之，且成何種形體？

21. 抄錄下列文句而塡其空字：蛋白質爲含有碳、___、___、___，有時並___及___之錯雜化合物。蛋白質在人體內用以構成___組織。

22. 醫學用溫度計，測有健康人保持之平均正常溫度。此溫度爲何？　人體由於何種化學作用以保持此項溫度？

23. 如用澱粉爲人體之食物，當消化作用進行時起何種化學變化？　何者促起此項變化？　此項變化何以爲人體用澱粉作食物時所必需？

24. 抄錄下文，並塡其空字：平均成人所需食物，應能供給每日約___大卡'且含有___克之蛋白質，此外少量而不可缺之___鹽類及極微量之''神祕小品''稱爲___。

25. 澱粉與含少許鹽酸之水共煮沸時，即變成葡萄糖。如何可藉化學檢驗以證示葡萄糖之產生？　如何可藉化學檢驗，確定何時全部澱粉已盡行變去。

*　*　*　*

26. 自 68.4 克之乾燥蔗糖可得純碳若干克？

27. 某種碳水化物含碳 42.1%，其餘爲氧及氫。　其最簡單之式爲何？

28. 製肥皂（脂肪酸鈉）1 噸(2000 磅)所需之苛性鈉值價若干？　假定苛性

鈉之純度爲 76%，每 100 磅價國幣 9 元。

29. 自 198 磅之脂肪（脂蠟酸甘油酯）可得甘油若干磅？

30. 某一化合物，具有下列之重量百分組成：氫 6.7%；碳 20%；氧 26.6%；氮 46.7%。其分子量爲 60。其式爲何？

第二十八章至第三十章複習問題

1. 乙鉛氣油中何以用溴乙烷？

2. 試解釋下文所述："一切生活體爲能之轉變器"。

3. 試區別(a)分餾，(b)乾餾，及(c)尋常蒸餾。

4. 試述給呂薩克之氣體體積化合定律，而以甲烷之完全燃燒爲例釋明之。

5. 試作下列各名詞之定義，並舉例釋明之：(a)酵素；(b)異構物；(c)"分裂"（烴類）。

6. 當一燃着之蠟燭伸入一瓶之 (a)氫中；(b)氧中；(c)氯中；(d)一氧化二氮中；(e)氫與空氣之混合物中時，試解釋其當起何現象。

7. 下列各物當如何貯藏之：(a)鈉；(b)白燐；(c)醚；(d)氫氟酸；(e)生石灰？試各舉其理由。

8. 試比較水煤氣與發生爐煤氣對於(a)製法；(b)三種佔量最多之成分之名稱及約略百分率（體積）；(c)其功用之範圍。(d)燃燒時何者每立方英尺生較多之熱（二者均於同樣情況下量計之）？何故？

9. 六月中冰水罐外面，起一層潮濕（水）。冷瓶倒持於燃點之燭火上，則其內壁亦起一層潮濕。試解釋兩者之水之來源。

10. 在美國每年由一氧化碳致死者多至 3000 人以上，試解釋其何故。當建議何種方法以阻免之？

* * *

11. 下文之意義爲何：'觸媒乃化學家藉以開啓產物及方法之廣大新境界之鑰匙"。

12. 試解釋木材（主要爲纖維素）於爐火中之燃燒 (1)設令普利斯特利（燃素說之信仰者）解釋之；(2)設令近代化學家解釋之。

13. 設用觸媒解釋：(a)棉子油之增氫作用；(b)石油之增氫作用。兩者各得何種有用之工業產物？

14. 有機化學中碳水化物之加水分解與無機化學中鹽類之加水分解相較爲若何？ 試以澱粉之變成葡萄糖爲前者之例，而以碳酸鈉之加水分解爲後者之例釋明之。

15. 生命之存續，恃乎自然界中之微小事物：(*a*)空氣 10,000 體積中僅有 4 體積之二氧化碳；(*b*)水 100 體積中僅溶解 4 體積之氧。 試說明 (*a*) 之事實何以使地球上得有生物。 試說明(*b*)之事實何以使海中得有生物。

16. 試作下列各物於空氣或氧中完全燃燒之方程式： CH_4; C_2H_2; C_6H_6; $C_{27}H_{56}$（在蠟燭中）; H_2S; CS_2; FeS_2; NH_3; C_2H_5OH; $(C_6H_{10}O_5)_n$（纖維素）。

17. 鼓風燈（用尋常之市用煤氣及空氣）可達約 2000°C. 之溫度；氫氧吹管約 2500°C；氧炔吹炬約 3000°C.；而原子氫炬約 4500°C. 試各解釋之。

18. 設持一亮銅球於無光之本生焰中，則其上立即現水層，惟不久又復消失。解釋之。 再後不久，球上生成一永久之黑翳。 此翳可是鐙炭否？ 解釋之，附帶舉列其生成之反應之方程式。

19. 用下列原料：塔克薩斯之弗拉希硫、石灰石、煙煤、水及空氣。 試說明藉何種化學步驟可製成重要之肥料，即硫酸銨。 舉列方程式（用氰氨基化鈣法或哈柏法。 在後法中當無須石灰石）。

20. 家常製淡啤酒（不含酒精者）時，將調味香精、糖及釀母菌加入微溫之水中。 釀母菌之功用爲何？ 何以水成溫熱？ 何以須勿用熱水？ 如取飲此啤酒過早，則當覺其甚甜而僅微弱碳酸化，何故？ 其後，迨其達最完好時，則當瓶開啓，即猛烈湍泡。 何故？ 此時甜味較强或較弱否？ 何故？

第三十一章

金屬及冶金術

金屬之重要——金屬之特性——礦物界——礦物與礦石——主要冶金法——普通金屬之取代順序——金屬之化學作爲。

448. 金屬之重要——苟無金屬，則製造二字卽顯無近代之意識。且化學對於由礦石提煉金屬之方法，及使金屬製成有用之形體，供獻孔多，致吾人今日得有豐富之低廉金屬，而種類浩繁，爲百年前所夢想不到者。晚近又藉化學家之助力創出許多金屬之特種混合物，稱爲合金[1]或齊，以供特殊之用途。例如，汽車製造者用鋼與錳及矽之合金以造車身；用鋼與鎳或釩之合金以造曲柄軸；用鋼與鎢、鉻及釩之合金以造引擎活門，用鋁與錳之合金造活塞，以鋼與鉻、鎳或釩之合金以造鋼珠軸承。汽車工程師確定合金需具何種性質，而化學家及冶金師則入實驗室內以產生所需之合金。

本章將討論一切普通金屬所具有之若干特點，及由礦石提煉金屬之主要方法。

---

[1] alloy.

449. 金屬之著名特性——金屬若鐵或銅之新磨面具有特殊之光澤，此乃吾人所習知者也。吾人稱之爲金屬光澤[1]。其意卽此項金屬由磨光之表面，反射光線，恰如尋常之玻鏡也。事實上古希臘人及羅馬人卽用磨光之青銅面作爲手鏡。金屬又當有延性[2]，是卽可拉引成絲；及展性[3]，卽可錘擊或碾壓成薄葉也。銅特具延性，而金獨富展性。

然一切金屬尙有他種共通之特性，不若上述之爲人所咸知。當金屬化合物溶入水中，而通過電流於溶液時，金屬卽往往析出於陰極上。其意卽金屬於溶液中成爲陽離子。或換言表之，卽其原子傾向於喪失電子。

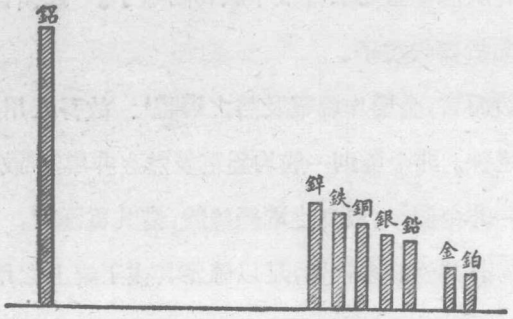
就一般而言，金屬均屬電及熱之導體[4]。故吾人用銅及鋁作導電流之電線。非金屬則一般均屬電及熱之非導體[5]或絕緣體[6]。例如硫乃一非金屬，爲最良之電絕緣體，惜其質極脆。

金屬尙有其他許多性質，足以確定其在工業上之用途者，如强度[7]（負重之能力）、彈性[8]（改變形狀而又回復原狀之能力）、硬度[9]（耐用及抵抗貫穿之能力）、及耐持性[10]（抵抗連續緊壓及震動之能力）。此等機械的性質對於工程師最爲重要，而冶金化學家卽試探其與種種金屬及合金之化學結構之關連。

---

[1] metallic luster. [2] ductile. [3] malleable. [4] conductor. [5] nonconductor. [6] insulator. [7] strength. [8] elasticity. [9] hardness. [10] endurance.

金屬元素約有七十種，在尋常情況下，除汞外均爲固體。吾人每因金屬而聯想及重物。蓋因多數常見之金屬，其比重均大於5。如鐵之比重爲7.8，銅8.9，鉛11.4，金19.3。此皆爲重金屬。然亦有許多重要之輕金屬，其比重小於5者。如鈉之比重爲0.97，鉀0.86，鎂1.74，鋁2.70（第278圖）。此等輕金屬在延性、展性及強度上均遠遜於重金屬。惟化學上則遠較活潑，由其對於空氣、水及酸類之作爲可以見之。一般，當見化學活潑性似約略隨金屬比重之增大而減低。



第278圖　圖中縱柱代表同重量各種金屬之體積

450. 礦物界 —— 古人祇能使用少數金屬，如金及銅（第279圖），因此等金屬不僅遊離存在自然界中，且不爲大氣中氧所侵蝕。其他金屬則彼輩無法使用，以其與他物相化合而存在，彼輩之技術，尙不足自此中提取之。偶然彼輩亦發見第三種且極重要之金屬，可就其所發見之形體供用者。此卽爲一片隕鐵，自

地球範圍內空間降落者。及有人發見鐵除僅由地上偶然檢拾一塊，亦可由較迂迴之方法取得後，人類對於金屬，因及其於各種用器及工具之效能之知識始大增。此項發見，即爲某種紅岩石與木炭相熔融時可使生出鐵一事也。此對於爲人類開闢金屬及礦物世界之第一步，其功績實難估計矣。

第 279 圖　古代之青銅水罐（約在西歷紀元前 455年）

451. 地殼內之礦物——在今日最深之礦層中，有可深入一英里又半，然亦僅地球表面之一掘痕耳。凡屬土壤及植物，掩蔽地面者，其下面即見有所謂岩床[1]。此等岩石均由礦物質所成，其形體乃浩大自然力之結果。岩床之最深者爲呈結晶形結構之火成岩，是爲受猛熱作用之結果。遮於此等岩石之上者，有多處見有所謂沖積岩[2]或碎屑岩[3]，如砂石及石灰石。最後在此岩層之頂上者，即屬多少疏鬆之礫石、黏土及土壤。

岩石或爲簡單之礦物，或爲礦物之凝聚體。例如石灰石大

[1] bedrock.　[2] sedimentary rock.　[3] fragmentary rock.

致爲單獨之方解石礦($CaCO_3$)。惟花崗石則爲長石、石英與雲母等礦物之混合物。所謂礦物，意卽指產於自然界中各有一定化學組成之無機物質，尋常均成結晶體。例如石英或矽石(SiO_2)爲一種礦物。前曾謂(第二章)地殼之99.5%(就吾人自地面所及之處研究而言)，由九十種已知元素中之二十種所構成。其中最多者爲氧、矽、鋁、鐵、鈣、鎂、鈉、及鉀。諸此元素除鋁及鐵外均經討論。此二者當於次章論之，以其在工業上與化學上並極重要也。

452. 礦物與礦石——重要金屬，除銅、銀、金外，大抵成含有氧、硫及矽之化合物而產出。氧既爲若是之活潑而豐多之元素，故自然界中產有極多之氧化物，無足爲奇。例如，三氧化二鐵，卽赤鐵礦[1](Fe_2O_3)；氧化二銅，卽赤銅礦[2](Cu_2O)；礬石[3]，卽氧化鋁(Al_2O_3)；錫石[4]，卽錫之一種不純粹氧化物(SnO_2)；及赤鋅礦[5]，卽氧化鋅(ZnO)。又有非金屬之氧化物，如矽石卽氧化矽(SiO_2)。有多種礦物爲金屬硫化物，與氧化物相類似。此外復有礦物爲天產之金屬碳酸鹽、硫酸鹽或矽酸鹽。凡一礦物[6]，如紅鋅礦(ZnO)，可由其中利獲一元素，一般爲一種金屬者，稱爲礦石[7]。其次一應解答之問題，卽爲獲取之法若何？討論自礦石

[1] hematite [2] cuprite [3] alumina. [4] cassiterite. [5] zincite. [6] mineral. [7] ore

提煉金屬之科學，稱爲冶金術[1]。一般，氧化物、硫化物及碳酸鹽，倘採掘得其比較純粹者，均屬自其礦石提煉金屬方法上最適宜之原料品。

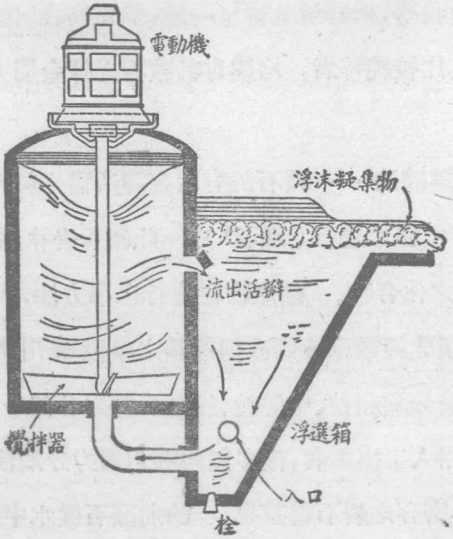
453. 選礦法[2]——礦石鮮有冶金師所需之純粹化合物，幾常雜有較無價值之岩石（脈石[3]）。此卽爲岩牀，由此可採得礦物，卽金屬之化合物。礦產物在施行化學方法，使化合物轉爲元素之前，須先經數種揀選或稱選礦之手續，先用機磨將礦石軋碎，而以篩箕分爲粗粒、中等粒、細粒或粉之各部分。於是進行選礦。有用人工揀選者，惟多數均利用重力分離法[4]，因普通礦石常較其所寄存之岩石爲重也。法將礦石置水中攪拌，至其重而有價值者沈下，其大量輕浮之脈石，則淘洗去之。

晚近浮選法[5]已爲揀選許多劣等礦石之一極有價值之方法，所謂劣等礦石，卽凡僅含少量有價值物質之礦石也。其中特別指銅、鋅及鉛之硫化物礦石。

454. 揀選劣等銅礦——晚近研究得雖含銅量少至僅 2% 之礦石，亦足可供提煉之用。藉泡沫浮選法[6]，可收回約85—90% 之銅。先將礦石碾磨成細粉，於是與含有低廉之油，有時並微量硫酸之水相混合。將此混合物猛攪之，而後令其流入大水槽

---

[1] metallurgy. [2] concentration or sorting. [3] gangue. [4] gravity separation process. [5] flotation process. [6] froth-flotation process.

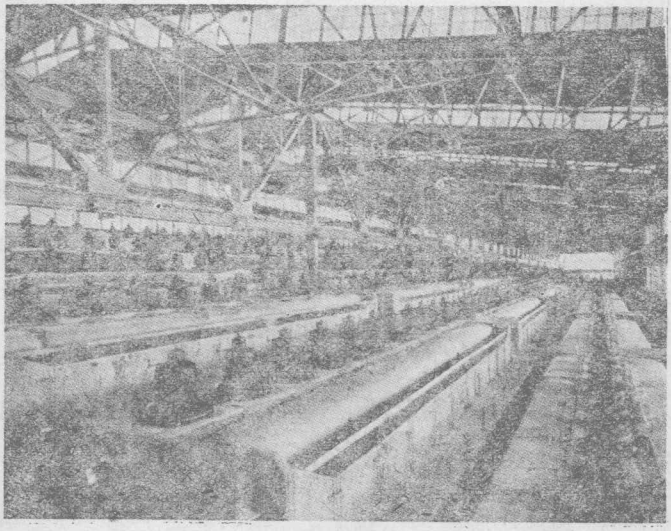


第 280 圖　泡沫浮選法之圖解，用抽氣壓入混有少量油及酸之磨細礦石。油沫及礦石撇而去之

中（第 280 圖）。此時岩石質立卽沈降槽底，而礦石片粒則裹於油沫中而昇騰水面（第 281 圖）。

455. 提煉金屬之三法 —— 礦石旣如上述揀選之後，卽可供施行化學方法，以自化合物中提煉其元素。最舊之方法殆爲火熔[1]或煅燒[2]礦石之法。將尙含有少量脈石之礦石，與一種熔劑共熱，此熔劑須能與岩石質在高溫時相結合而成一種可熔性玻璃狀之礦滓者。礦滓浮於金屬之上，故可去除之。例如，赤鐵礦（Fe_2O_3）與矽石（SiO_2）共產出。故其熔劑爲石灰石或石

[1] fire-smelting.　[2] roasting.



第 281 圖　裝專供提煉劣等銅礦之泡沫浮選器數排之廠

灰，與矽石結合而成礦滓，矽酸鈣：

$$SiO_2 + CaO \rightarrow CaSiO_3$$

矽石　石灰　礦滓

於是用第二種方法，此處之礦石乃一種氧化物，以之與焦煤等一種碳共熱而還元之。碳與礦石中之氧相化合而成一氧化碳氣放出：

$$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO \uparrow$$

此法稱爲還元法[1]。如礦石爲碳酸鹽或硫化物，則須先加熱使得氧化物，而後用焦煤還元此氧化物。實用上此等煅燒及還元方

[1] reduction.

法可同時進行，如在鼓風爐中然(§464)。

第三法，即電解法[1]，可以工業製鋁爲例解明之。鋁遲至1886年猶昂貴如銀，實難置信。乃於是年哈爾[2]當尙在奧柏林大學[3]爲學生時，發明電力取鋁之廉賤方法。彼以氧化鋁(水鋁礦[4])爲原料，水鋁礦產量甚多，且極易熔融。將此礦石溶入熔融冰晶石之槽浴中，以電流通過該溶液，而於陰極上取得金屬鋁。可奇者，恰二個月後，法國化學家黑路[5]亦不約而同發見同樣之方法。

如是可知，鋁由電解取得，鐵由還元，而銅及鋅則由煅燒並還元。此等方法當於後列各章中作較詳之討論。

456. 金屬之腐蝕——金屬之腐蝕乃經濟上極重要之一種化學作用。空氣、水、及其他化學藥品皆連續不絕對於金屬起作用，以破壞可貴之金屬性質，固不論其爲固定之橋梁或可移動之農家機械也。化學家已有三種方法，謀抗禦此項破壞力：(1)塗蓋他種抵抗較強之金屬於該金屬表面如鋅皮鐵[6]及馬口鐵[7]；(2)製成合金，使其較爲耐久，如亮鋼(不銹鋼[8])；(3)塗刷或塗蓋油漆或琺瑯於金屬上，可保護金屬面，迄其自金屬剝落爲止。

457. 金屬之氧化——鐵露於大氣中即生銹，人所熟知，致力於此項變化之化學研究，爲數可驚，其結果絕不簡單或獲有定

[1] electrolysis. [2] Charles M. Hall (1863-1914) [3] Oberlin College. [4] bauxite. [5] Héroult. [6] galvanized iron [7] tin-plate [8] stainless steel.

論。惟鐵之生銹有需乎空氣並潮濕則似屬明顯。棕色之鐵銹似爲三氧化二鐵及多少之水分（Fe_2O_3,xH_2O）。有若干研究者聲稱二氧化碳或酸性之存在亦屬必需。曾見純鐵於有水及空氣存在時，倘二氧化碳杜除絕跡，並不生銹。另有若干研究者則稱銹化乃一種電解作用，由於金屬各部分溶解傾向不同而起。化學家祇須能確定鐵之生銹究實爲何，則於保護金屬之問題，當能更作有效之解決也。

在數種金屬，當就其重要者一論空氣對於各該金屬之作用。今此則先將下列諸事一提卽可。銅於乾燥空氣中不起變化，惟於濕空氣內卽漸漸變成綠色質，乃碳酸鹽與氫氧化物之混合物。純鉛亦不爲乾燥空氣所侵蝕，惟於濕空氣內卽於表面銹化。生成碳酸鹽及氫氧化物，此二物卻保護其裏層之金屬。鋅銹化極慢，故適用於塗鐵（卽鋅皮鐵）。鎂於潮濕空氣中緩緩銹化，而成氧化物（MgO）。

458. 水於金屬之作用——前見某數種金屬，如鉀及鈉，與水起反應，以析出氫而生成金屬之氫氧化物。此反應之必要情況，視金屬種類而異。例如，鉀作用於冷水，惟反應中發出多量之熱，足令鉀熔融，而游行於水面。鈉亦有同樣情事，惟其熱不足令氫燃着，除非水已屬燙熱。金屬鈣能與冷水起反應，惟其比重甚大，致沈於器底。在鎂則與冷水不見有何反應，而與水蒸氣

則反應急疾。銅與水或水蒸氣均不起反應，鐵於純水無作用，惟於水蒸氣流中加熱，則變成四氧化三鐵(Fe_3O_4)而析出氫。一記其反應爲可逆，頗有意義：

$$3Fe + 4H_2O \rightleftarrows Fe_3O_4 + 4H_2 \uparrow$$

是卽如將氫通過熱氧化鐵上，卽生成鐵及水蒸氣。

459. 金屬之取代順序[1]——前見金屬鋅能自酸溶液中取代氫離子而釋出氫氣。又見在鹵素，一元素自溶液中取代他元素，有一定之次序。此種關於金屬之順序，舉列如下。例如將一鋅條，置一含順序中在其下之任何他金屬之鹽類之溶液內，則生成一種鋅鹽而澱出相當之金屬。其反應如下：

$$Zn + Pb(NO_3)_2 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + Pb\downarrow$$

或

$$Zn + Pb^{++} \rightarrow Zn^{++} + Pb\downarrow$$

於此當見氫亦在順序中占一地位，以其亦如金屬，能生成陽離子也。氫以上任何金屬均能自酸類中取代氫元素；例如，鋅與稀硫酸作用：

$$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$$

金屬取代順序	起作用物
鉀、鈉、鈣	H_2O
鎂、鋁、鋅、鐵	稀酸
錫、鉛	熱 HCl
氫	
銅、汞、銀	HNO_3 或熱 H_2SO_4
鉑、金	HNO_3+HCl

[1] replacement series of metals.

或

$$Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{++} + H_2\uparrow$$

氫以下之元素，與酸類接觸時，不能釋出酸中之氫。此順序內較高數種，至爲活潑，竟能分解水。是卽取代水中之氫；水中氫離子之濃度實極低微也。鋁以下之金屬，遇熱水或冷水，均無所作用，故認爲較不活潑之金屬。

460. 酸類於金屬之作用——從上文當見金屬錫及鉛在取代順序中適位於氫之上。二者均能溶於熱濃鹽酸中。在後章中將論及銅、汞、及銀，皆適位於氫下，而僅可爲硝酸或熱硫酸（氧化酸類）所溶解。另一章將述鉑及金，於此項金屬順序中最低下者。此二者稱爲貴金屬，以其祇能爲王水（硝酸與鹽酸之混合物）所侵蝕也。

461. 金屬之化學作爲——在討論若干熟知之金屬之顯明特性以前，當先將其共具之化學作爲上若干事項作一概述。

(1)除金及鉑外，一切金屬均傾向於與氧化合，生成氧化物。例如，鎂於氧中燃燒迅疾，生成氧化鎂：

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO.$$

氧化物乃一種鹽基酐[1]，故與水化合卽成氫氧化鎂：

$$MgO + H_2O \rightarrow \underset{\text{苦土乳}}{Mg(OH)_2}$$

[1] basic anhydride.

因欲防免或至少阻滯金屬之此項氧化傾向，世界上耗費鉅量之金錢。例如，鋼橋必須時常塗以油漆以免腐蝕。

(2)順序中氫以上金屬亦有與水起反應之傾向，而成氧化物或氫氧化物。例如，當水蒸氣通過紅熱之鐵上，即成四氧化鐵及氫：

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2\uparrow$$

惟金屬鈣置於水中，則生氫氧化鈣及氫：

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$$

故見鐵在濕空氣中銹化遠較在乾空氣爲速。

(3)許多金屬之另一特性即爲能與酸類相反應。例如，前見鋅與鹽酸反應，以產生氯化鋅($ZnCl_2$)及氫：

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$$

惟銅與稀硝酸則生硝酸銅及氣體一氧化氮：

$$3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 4H_2O + 2NO\uparrow$$

凡屬此等反應中，酸中之氫均爲金屬所取代而成鹽類。

(4)一切金屬均有與非金屬結合之確定傾向，以成鹽類。例如，銅能直接與氯或硫相結合而成氯化銅或硫化銅：

$$Cu + Cl_2 \rightarrow CuCl_2 \text{ 及 } Cu + S \rightarrow CuS$$

(5)少數金屬能與鹽基反應，析出遊離氫而成鹽類。如，鋅及鋁與氫氧化鈉反應：

$$Zn + 2NaOH \rightarrow \underset{\text{鋅酸鈉}}{Na_2ZnO_2} + H_2\uparrow$$

及

$$2Al + 6NaOH \rightarrow \underset{\text{鋁酸鈉}}{2Na_3AlO_3} + 3H_2\uparrow$$

第三十一章　提要

金屬之性質：

1. 均具有特種光澤，稱爲金屬光澤。
2. 一般均重，卽比重高。
3. 在常温時均爲固體，汞除外。
4. 均爲熱及電之良導體。
5. 均可錘或碾成薄葉——展性。
6. 均可拉引成絲——延性。
7. 一般均屬堅韌——具有大抗張強。

礦物爲無機物質、元素或化合物，見於地殼中。

礦石乃礦物之可由以提煉金屬而獲利者。

冶金術乃由礦石提煉金屬之方法。

選礦可如下爲之：

1. 重力法——金屬之重礦石下沈。
2. 油沫浮選法——金屬礦石黏裹於油沫。

由礦石提煉金屬有下列各法：

1. (*a*) 煅燒，使碳酸鹽或硫化物變成氧化物。

(*b*) 與碳共熱而還元之。

2. 較活潑之金屬，由其熔融之氫氧化物或氯化物行電解法。

金屬之化學作爲，卽其與：

1. 氧生成氧化物

2. 水生成氧化物或氫氧化物

3. 酸生成鹽類及氫或其他數種氣體

4. 非金屬生成鹽類

5. 鹽基類（鋅及鋁）生成氫及鋅酸鹽或鋁酸鹽。

金屬之取代順序卽金屬之一種排列，表中每一金屬可自其下方任何金屬之化合物之溶液中取代該金屬。

問題

1. 試舉三種重要礦石。
2. 礦物之意義爲何？ 試舉二種。
3. 區別礦物與礦石。
4. 礦石中之雜質其名爲何？
5. 試述泡沫浮選礦物。
6. 金屬之何種化合物，較常用作礦石？
7. 試舉揀選不純礦石之二種通用方法。

8. 煆燒礦石其意爲何？何種礦石以之煆燒？

9. 試舉自礦石取得金屬之二種通用方法。

10. 電解時金屬之離子附着於何一電極？

11. 試舉一切金屬涉及其化學作爲之一特性。

12. 金屬之何種物理性質足以確定其於工業上之功用？

13. 試舉金屬所特具之五種化學作爲。

14. 試將鐵與銅之"銹化"比較之。

15. 試作製造氯化鋅之三種方法之方程式。

16. 新式汽車廠何以必須有一研究室？

17. 試舉防免金屬腐蝕之各通用方法，並各舉一例以解明之。

18. 試比較水於下列金屬之作用之猛烈：鉀、鈉、鈣、鎂及銅。

19. 將下列十金屬按其在取代順序中之活潑性排列之：鐵、鎂、銅、金、銀、鋅、鈉、鈣、氫及汞。

20. (*a*)鐵釘置於硫酸銅之溶液中；(*b*)鋅片於食鹽溶液中；(*c*)銅片於硝酸銀溶液中；此時各起何作用？試作所起諸反應之離子方程式。

* * *

21. 氫在何點與金屬相似？

22. 礦物必爲礦石否？礦石必爲礦物否？解釋之。

23. 在 1800 年以前已知有何種輕金屬否？解釋之。

24. 地球上最初發現鐵時，宜若在何物中？

25. 在古代文獻中均以金屬象徵重。何故？

26. 合金勝於純金屬之優點爲何？試舉一例。

27. 在近代實用上何種冶金方法供用漸廣？

28. 試作方程式以解明製硝酸鋅三種方法。

第三十二章

鐵及鐵族

鐵礦——熔煉——鼓風爐——生鐵——熟鐵——鋼——鐵之顯微鏡考察——坩堝鋼——柏塞麥鋼——敞竈法——電爐——鋼之硬煆及淬煆——生鐵硬煆——特種鋼及鐵合金——鐵與鋼之比較。

純鐵——鐵之氯化物——亞鐵及鐵化合物——氧化及還元——鐵之氫氧化物——鐵之氧化物——其他鐵化合物——亞鐵氰化物——鐵氰化物——藍圖——墨水。

鈷及鎳——兩金屬之性質及用途——特著之化合物。

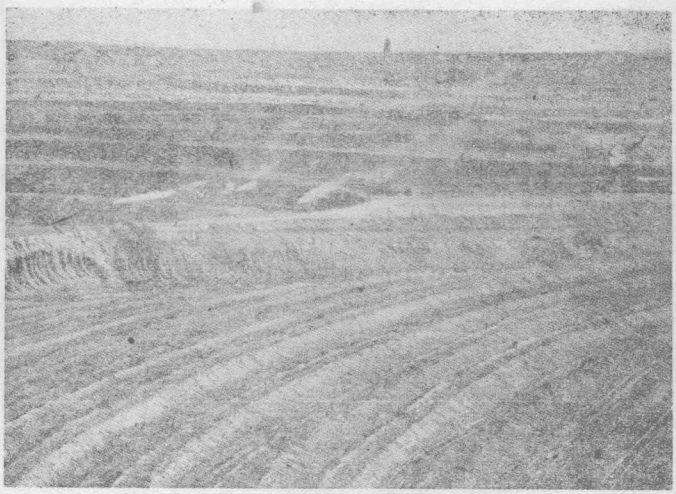
462. **鐵之重要**——鐵無疑爲世界上最有價值之金屬，非以其值錢。其價值正因其低廉及其適用於無窮限也。實際上鐵已成爲吾人近代生活之要件，故謂吾人今方處生於鋼鐵及混凝土之時代也。美國鋼鐵生產工業尤爲發達，其產量之鉅，年額時達約三千萬噸。此項工業之發展及控制，胥賴化學知識及化學工程。本章卽就鐵及鋼之生產方法論述之。

"輓近自鋼中採用錳、鉻、鎢等以來，始有新式機械之創設。錳爲鋼之'鬆發劑'[1]，令低碳鋼增加強度及可鍛性。鎳、釩、鉑則使鋼具必需之廣大彈性限及強大之韌性，俾輕汽車機械之得耐

[1] leavening agent.

劇烈振動[1]。”是可見吾人今又正自鋼鐵時代進入合金時代矣。

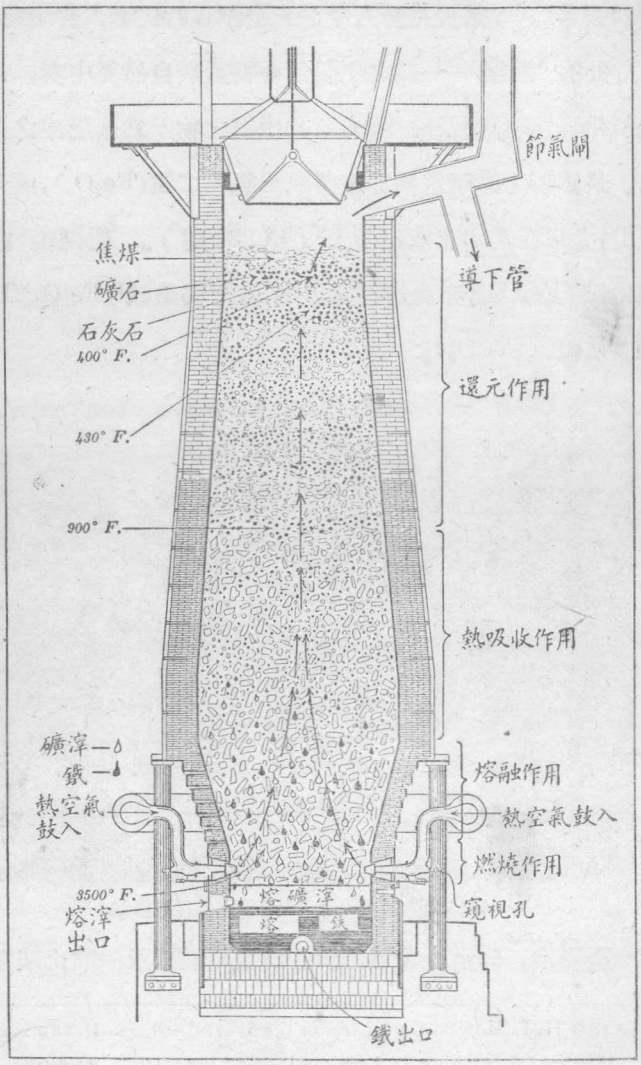
463. 鐵礦——鐵之主要化合物產於自然界中者，爲各種之氧化物、碳酸鹽及硫化物。其中氧化物尤爲金屬鐵之主要來源。最重要之鐵礦當推赤鐵礦或三氧化二鐵(Fe_2O_3)，成大礦牀產出，尤以在美國北敏尼沙太[2]（第282圖）。磁鐵礦[3]或磁性氧化鐵(Fe_3O_4)，亦產於自然界中，並有褐鐵礦[4]($Fe_3O_4,3H_2O$)，及菱鐵礦[5]($FeCO_3$)。



第282圖　敏尼沙太用蒸氣鏟採掘鐵礦

金屬鐵，卽由此等氧化物於高溫時經碳及一氧化碳之作用

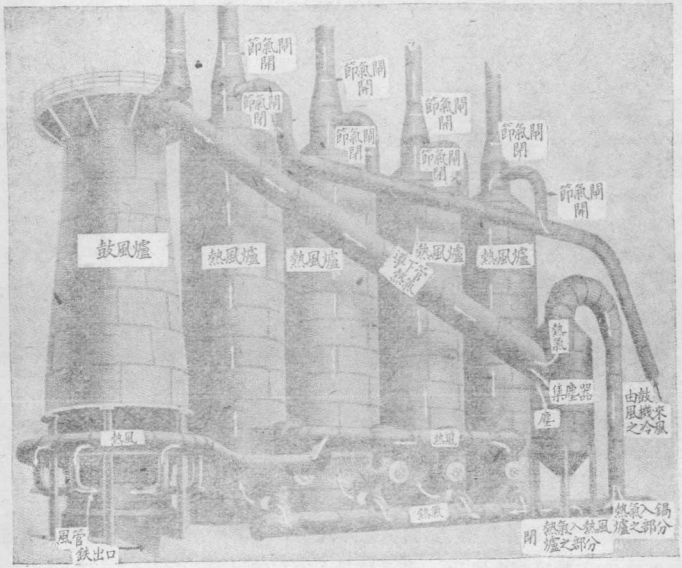
[1] 採自 H. E. Howe's *Chemistry in the World's Work*. D. van Nostrand Co., 1926.　[2] Minnesota.　[3] magnetite.　[4] limonite.　[5] siderite.



第 283 圖　鼓風爐之縱剖面

而取得。凡自金屬之礦石中產生該金屬之方法，每稱爲熔煉[1]。鐵礦從無純粹之氧化物，常含有若干量之他種礦物質，如石英或石灰石等。因此熔煉時必就易於去除此等雜質之方法爲之。

464. 鼓風爐[2]——自鐵礦產鐵，於一種稱爲鼓風爐之器內行之。爐爲鐵製高約 60 至 90 英尺，內襯火磚（第 283 圖）。近爐之底部，有多數之管，稱爲風管[3]（又名羽口），所以使熱空氣流吹入爐內。空氣須經乾燥，每先令冷卻至低溫度，俾水凝結成冰而析出。乾燥之空氣，在未入爐內之前，先用所謂熱風爐[4]豫熱之，第 284 圖中之塔狀物，即熱風爐也。爐內原料，則爲礦石、焦煤及一種所謂熔劑[5]之物質等之混合物。熔劑之功用，所以與礦石中之岩石雜質相化合也。如雜



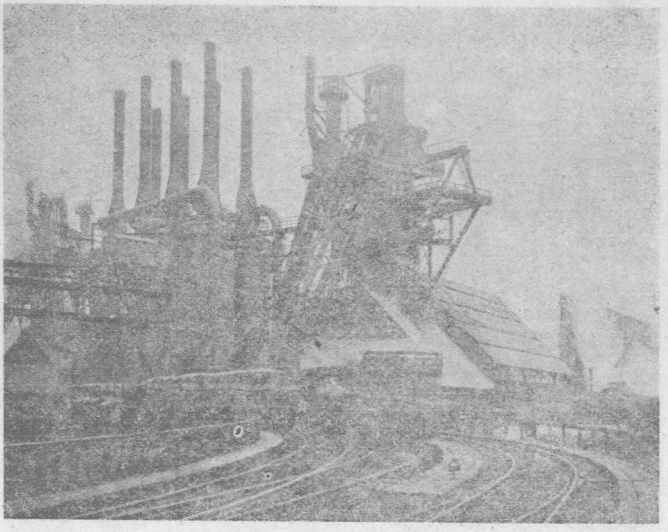
第 284 圖　鼓風爐及其熱風爐之圖解

[1] smelting.　[2] blast furnace.　[3] tuyères.　[4] stove.　[5] flux.

質大部爲矽石，則以石灰石爲熔劑；如雜質爲石灰石，則以矽石爲熔劑。二者結果所得之化合物，均爲矽酸鈣，稱爲礦滓[1]。礦滓之熔融溫度較雜質或熔劑均低，而熔劑則令全部物料於較低之溫度時即起始變軟；故有熔劑（流動物）之稱。作用時所需之熱，得自爐之下半部內焦煤之燃燒。燃時先生成二氧化碳，惟立即爲紅熱之焦煤還元成一氧化碳。一氧化碳即上昇而與爐之上半部之氧化鐵相遇，即於其處令還元成鐵：

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightleftarrows 2Fe + 3CO_2$$

此反應可逆行，須過量之一氧化碳，始可令反應前進。故其逸出之氣體中，含有 20 至 35% 之一氧化碳。此項氣體可供燃燒，而於豫熱通入之空氣之熱風爐內燃燒之。



第 285 圖　生鐵製造廠

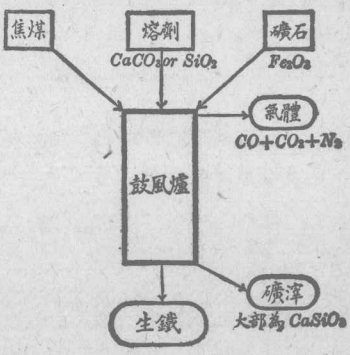
原料經爐頂之漏斗器[2]裝入，而徐徐降入爐中（第 285 圖）。鐵及礦滓當達爐之較下部時，即起始熔融而流動。氧化鐵於是因熱碳而起完全還元：

$$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO\uparrow$$

[1] slag.　[2] hopper.

礦滓及熔鐵分成二層；熔鐵較重，居於底部。視適當之程度，隨時出爐，鐵及滓當分別流出。鼓風爐應保持其連續作業，非至其裏襯有何損壞，不宜間歇。第286圖即以圖解說明送入爐內者爲何物，而產出者爲何物。

465. 生鐵[1]——鼓風爐內之熔鐵流入砂型中，或安置鐵模之長溝中。所得之鐵稱爲生鐵，或鑄鐵。爲不純粹之金屬鐵，含約5或6%之雜質。其中有矽、錳、硫、磷、碳等。碳之存量較多，自3至5.5%不等。其他雜質則較少。純粹之鐵，熔點爲1510°C.。生鐵則因存有雜質，熔點約爲1100°C.，故易令重熔而隨意鑄成所需之形。凝固時起膨脹，故鐵之嵌入模中徧及纖微，而成極完善之鑄物。然其質脆，抗張強度頗低。不能煆接。用以製火爐、熱氣管、裝璜鐵件、機械底板、及其他機器之重部等。



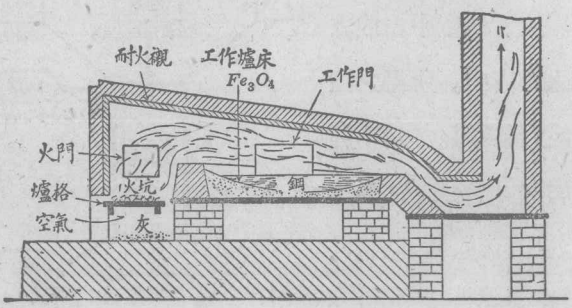
第286圖　鼓風爐送入及產出各物之圖解

466. 熟鐵[3]——生鐵和以鐵礦而再熱之，則可除去其中雜質之大部分。此可於一種倒焰爐[4]亦稱反射爐（第287圖）中行之。燃燒所生之火氣，受低爐頂而折向生鐵，使其熔融。其時工人以長鐵桿將鐵礦牀上之熔鐵攪拌，俾與氧化物充分接觸，以氧化其中之碳及硫，成爲揮發性氧化物。磷及矽亦同被氧化，此項氧化物與所存之石灰或他種鹽基性氧化物化合，而成礦滓。當雜質自鐵中提出後，其熔點即昇高，同時漸次稠厚。最後於桿端結成球形而取出。趁熱時，將球壓成條

[1] pig iron. [2] cast iron. [3] wrought iron. [4] reverberatory furnace.

塊，此項產物，稱爲熟鐵，亦稱鍛鐵。

熟鐵爲近於純粹之鐵，惟每留有少量之礦滓，致成纖維狀結構。熟鐵極堅韌，故可用以製鐵鏈及鐵鏈等須耐劇烈而驟然引張之物件者。其質不脆，故易於煆接。



第 287 圖　倒焰爐之圖解

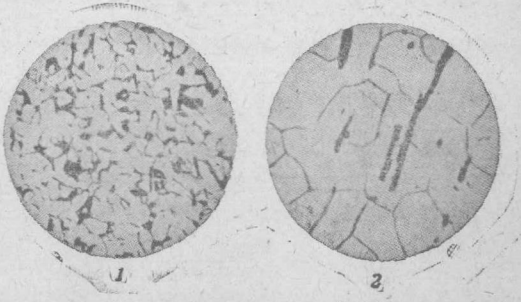
467. 鋼[1]——鐵中含碳之量，於其性質影響甚大。此或成爲一種稱爲碳化鐵[2]（Fe_3C）之化合物而存在。熟鐵含碳不及0.2%；生鐵則前已述自 3 至 5.5%。介於二者之間，有所謂鋼者，含碳常在 0.60 至 1.5%。實際上今所製之鋼（所謂柔鋼[3]亦稱熟鋼），僅就含碳量而言（不及 0.2%），多與熟鐵初無異致。惟鋼較爲勻齊而礦滓較淨耳。其抗張強亦較大。熟鐵常須錘擊成所需之形，鋼則可先傾入模中，而後將鋼塊施加機械之處置，一般均趁熱爲之。鋼具展性，可煆造，可碾壓，與生鐵相反；其質地大抵不脆，可以煆接。鋼之含碳約 0.5% 以上者，可行硬煆[4]

[1] steel.　[2] iron carbide or cementite.　[3] mild steel.　[4] hardening.

及淬煆[1]，成爲極堅硬而脆。熟鐵、生鐵、柔鋼均不能硬煆。

463. 鐵及鋼之顯微鏡考察——較近金屬之結構，每以顯微鏡考察之。設將鐵或鋼之試樣，磨光而用弱酸適度洗蝕，即可於顯微鏡下檢視其特具之晶形結構。第 288 圖即爲熟鐵及柔鋼之此種顯微鏡照相。此項探究，即所謂金屬結晶學[2]。今已成爲尋求金屬之顯微鏡結構與其物理性間之密切關係之一法。

469. 坩堝鋼[3]——將鐵及少量之氧化鐵或炭之混合物，置黏土坩堝內熔合之，可製成少量品質上好之鋼。此中所用之鐵，每爲鋼之屑片、熟鐵，間或用極純粹之生鐵。設鐵中碳量較鋼之所需者爲多，則可加少量之氧化鐵，以使其一部分氧化成一氧化碳而逸去。反之，如鐵中碳量過少，則於初時將木炭置混合物內。製坩堝鋼時，可隨所欲產物之品質，將任何應需之物質加入熔物中。此法實即僅將應需之成分，互相混和而熔合之耳。惟其中須用較純粹之鐵。



第 288 圖　熟鐵(1)及柔鋼(2)之顯微鏡照相

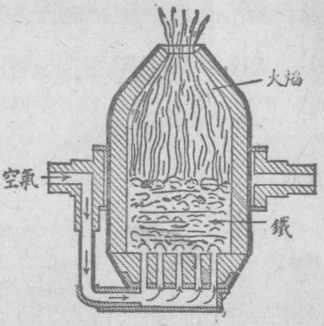
470. 酸性柏塞麥法——將尋常之生鐵變而爲鋼，須除去大量之雜質。此則可用柏塞麥[4]法爲之。然在美國所產之鋼僅百分之十，由此法製之。

法用一所謂迴轉爐[5]（第 289 圖）之器。爐爲鋼製，內常襯以耐火矽石磚。爐下爲假底，得令空氣流之竄入。熔融之生鐵，流入此爐，爐內約可容 15 噸，同時使空氣吹入熔融物內。碳、矽及錳均起氧化，氧飞之熱，足保持熔質常爲流體。雜質先被氧化，迨觀其火焰，覺碳已盡燃去（第 290 圖），即停止操作。此時加入應需量之碳（一般用多碳之鐵合金）。於是將迴轉爐側倒，而使熔質流入鑄杓內。流動之鋼，傾注入鐵模中，其浮起之礦滓，則留於杓內。鋼塊之供製鋼條、鋼絲、鋼桿、鐵

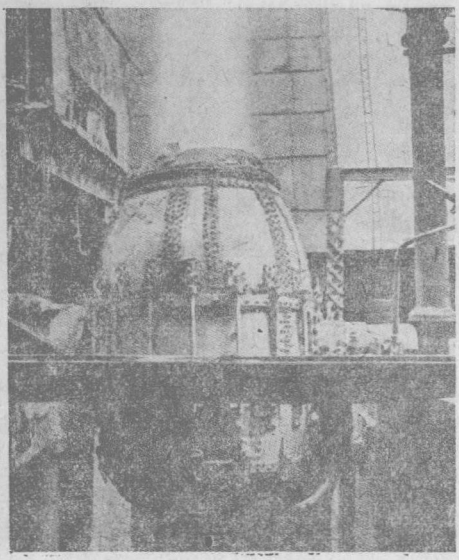
[1] tempering.　[2] metallography.　[3] crucible steel.　[4] Sir Henry Bessemer（1813-1898，英國冶金學家）.　[5] converter

軌用者，常爲六邊形之塊。將此塊趁紅熱時錘擊或碾壓成鋼條及其他適需之物件。

用此方法不能完全除去生鐵中之硫及磷。此二物質，雖少量，亦有害於鋼。磷足致其在常溫時發脆性。硫則當其在紅熱時工作，有同樣之影響。如柏塞麥法中，用含磷甚多之生鐵，則其迴轉爐內必須襯以白雲石（$CaCO_3$,$MgCO_3$）。此乃一種鹽基性裏襯，其煉法即稱爲鹽基性柏塞麥[1]；用矽石裏襯者，稱爲酸性柏塞麥[2]。在鹽基性情況下，磷即被氧化成氧化物，而與鹽基性裏襯化合，生成磷酸鈣，因而自鋼中去除之。



第 289 圖　柏塞麥迴轉爐之切面

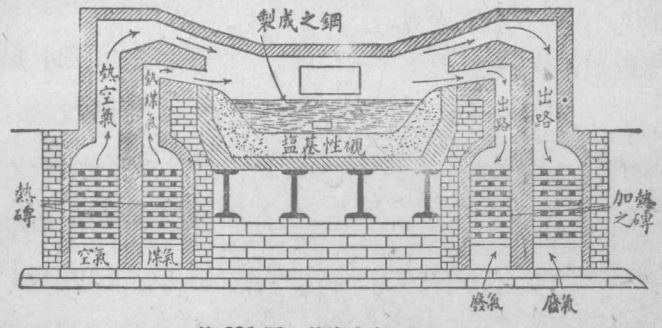

第 290 圖　工作時之柏塞麥迴轉爐

471. 敞竈法[3]——含磷過多之生鐵，不適於酸性柏塞麥法者，今多採用敞竈法以製鋼。其產物較得自柏塞麥法者爲勻齊，以其反應較徐（8至12小時），而管理便易也。

此處將生鐵及氧化鐵，並少許熔劑，共置爐中，以發生爐煤氣熱之

[1] basic Bessemer.　[2] acid Bessemer.　[3] open-hearth process.

(第 291 圖)。因欲得熔融鋼所需之高温度，故用蓄熱設備[1]。藉此則燃料煤氣及空氣，當經過磚楞時，加以豫熱，磚楞先已由爐中所來之熱氣燒熱。



第 291 圖　敞竈爐之圖解

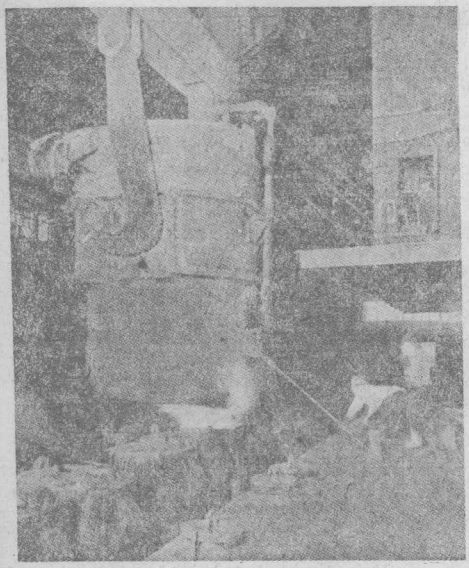
爐之裏襯，或爲矽石，或爲白雲石，前者稱酸性敞竈法，後者稱鹽基性敞竈法。

煉料則爲生鐵（常混以碎鋼屑片）、氧化鐵及石灰。生鐵中之碳分，受氧化鐵之作用而還元：

$$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 3Fe + 3CO$$

氧化鐵陸續加入，熔體沸騰而放出一氧化碳。磷及矽被氧化，而與石灰相化合，入於礦滓中。熔滓浮於熔鋼之面上，可防免鋼受熱焰之作用，致鐵起氧化。熔鋼以大杓取出而傾入塊模中（第 292 圖）。將鋼塊趁熱時碾壓成鐵軌、鋼桁、鋼板等。

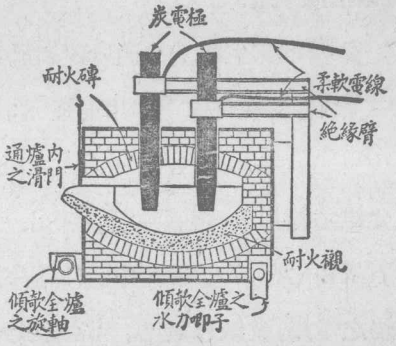
[1] regenerative device.



第 292 圖　大杓鋼鋼於塊模中

熔鋼溶有多量之一氧化碳及其他氣體，冷卻時又放出，致成多孔性結構。如當熔質傾出之前，加入少量之強還元劑，可助其去除溶解之氣體，而得堅實之鋼塊。常用者爲金屬矽（或矽鐵齊，一種鐵之合金）、鈦鐵齊、錳鐵齊亦有用金屬之鋁者。

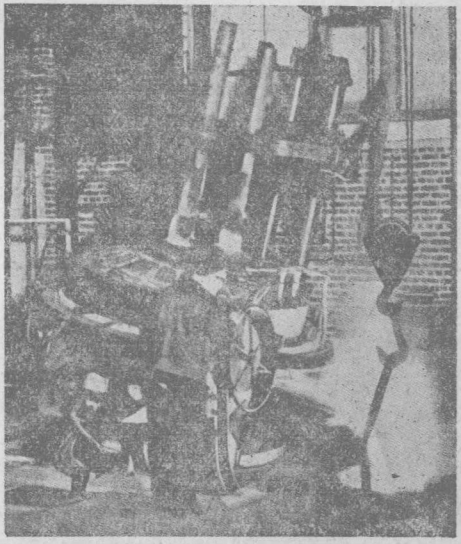
472. 電爐——電爐製鋼，近年頗多發展，且似有若干優點。爐之一種，名曰黑路[1]（第 293 圖），其熱生自炭極與熔鐵間之電弧。電爐內所起之反應，與敞竈爐內絕相類似。



第 293 圖　電爐之圖解

[1] Héroult.

爐內常襯以鹽基性物料，故易於除去磷。硫僅能於還元情況下入於熔滓中。電爐內並無如敞竈爐內之強烈氧化焰，故硫亦得排除。藉電爐可使吾人在鹽基性爐內無氧化作用而得高溫度。故自劣等生鐵及碎鋼屑片製成之鋼，常以此法提淨之（第 294 圖）。



第 294 圖　由電爐傾注熔鋼於杓中

473. 鋼之淬燬——鋼中之碳成碳化鐵而存在。冷卻時，在 770° 至 700°C. 之間，鋼經過許多極複雜之變遷。此一階程之溫度，稱爲臨界程[1]。其間所起之變遷，涉及鐵之數種同素異形體之變化，而析出碳化鐵。

如鋼在此階程內徐徐冷卻，則鐵最後入於一種 α 變體，而碳化鐵則成一種結晶形情況而析出。結果所得之鋼，質較柔軟。設將含碳超過 0.50% 之鋼，自其臨界溫以上之溫度急冷之（擲下水或油中），則其經過臨界程所起之變遷，即被遏制，結果所得之鐵及碳化鐵存留而成極堅硬而脆之鋼。此種之鋼，稱爲硬煆。其由冷卻

1 critical range.

而得之硬度，與鋼中之含碳量略有關係。此種之鋼在多種用途上每嫌其過脆，再熱之至一定溫度，而復急冷之，則可令其軟化至多種硬度。此法稱爲淬煆。淬煆時，鋼加熱之溫度愈高，則所遏制之臨界程內之變遷愈能自達於完全，而鋼即愈形柔軟。其溫度可由鋼加熱時所呈之遜色[1]，以估計之。遜色者，由於薄層氧化鐵之生成。茲將各種工業器件淬煆時之顏色及溫度列如下表。

溫　　度	氧化物膜層之色	各種器件
225°－235°C.	草黃	輕旋工具
236°－250°C.	黃棕	雌雄螺旋切型
251°－275°C.	紫	旋錐
276°－300°C.	藍	鋸及木工用具

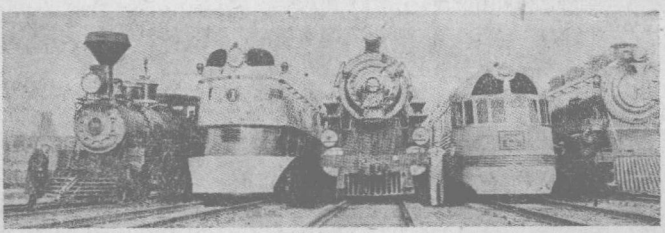
黃色得極硬而脆之鋼，藍色得軟而韌之鋼。

474. 面層硬煆[2]——設將熟鐵或柔鋼與炭粉共熱，則徐徐獲取碳分。碳似係逐漸深入全部。此即製造所謂泡鋼[3]之舊式嵌碳法[4]也。同樣之方法，今日用以使柔軟之鐵上生一多碳鋼層者，稱爲面層硬煆。此種之鋼，以其經適度之硬煆及淬煆，其外表堅硬而內部強韌。此法用以於機械之各種部份得所需之硬性表面，如汽車之齒輪然。製鋼甲等亦用之。

475. 特種鋼及鐵之合金——所謂特種鋼，今已有多種爲某種特殊用途上所必需。此等材料均用敞竈法或坩堝法製之。含鎢 7－20%之鋼，異常强韌而耐用，此物不能以機器製作。用以製碎石機、保險箱、制輪機等。鉻鋼[5]及鎳鋼[6]，其中含一元素或二元素，僅百分之二至五，抗張强度大，用以製汽車零件，至爲

[1] play of colours. [2] case hardening. [3] blister steel. [4] cementation process. [5] chromium steel. [6] nickel steel.

適宜。以其彈性頗大，故合宜於如彈簧、框架、及機軸等有應力之器件。亮鋼含有 12—14% 之鉻。今製有大量，以造種種器物，自利器乃至流線形火車。含鎳 36% 之鋼，稱爲不變鋼[1]。此實已非一種鋼，而爲鐵之合金矣。此物幾無膨脹係數，故於製造科學器械上甚爲可貴。鐘擺每即以此製之。鐵與鎳之一種合金，含鎳 46% 者，稱爲充白金[2]。其膨脹係數與鉑相同，故用以代鉑作電燈泡內之"封接綠"。



第 295 圖

含鉻並多量之鎢或鉬之鋼稱爲高速鋼[3]。可以硬煆，雖熱至低紅熱，亦不失其硬性。因此可用於車牀，或同類之高速機械。此種工具雖至暗紅熱，其鋒口仍甚堅銳。一種所謂釩[4]之元素，如加少量於某種特種鋼中，似亦多優益處。鉻釩鋼[5]及鉻鎳釩鋼[6]均用於汽車業上。

合金鋼之性質，所恃於熱處理者，完全與所恃於化學組成者相同等。

問　題

1. 鼓風爐內須供給何四種物質？
2. 鼓風爐內之主要還元劑爲何？
3. 鼓風爐何以須保持連續作業？
4. 生鐵因有何種性質，致成有用？
5. 試舉生鐵變成鋼之經程中，必須除去之四種元素。
6. 柏塞麥迴轉爐內使鐵常保高熱者爲何物？
7. 用敞竈法製成之鋼，何以一般均較由柏塞麥法製得者爲優？

[1] invar. [2] platinite. [3] high speed steel. [4] vanadium. [5] chromium-vanadium steel. [6] chromium-nickel-vanadium steel.

8. 電爐製鋼內，電流之功用爲何？

9. 製鋼時，於熔體中加鐵錳齊，有何功用？

10. 鐵及鋼之結構如何啓示之？

11. 試作一表格，以比較生鐵、熟鐵及鋼之組成、性質及用途。

12. 試舉四種特種鋼，並各述其適宜之用途二種？

13. 何種之鋼最易煆接？ 試述其故？

14. 製造(a)火爐；(b)鐵鏈；(c)錘；(d)鑽鑿；(e)橋梁，各用何種之鐵？

15. 油漆如何可防護鐵之銹化？

* * *

16. 試討論(a)鐵礦變成生鐵及(b)生鐵變成鋼所有諸化學變化。

17. 試解釋生鐵變成熟鐵之作用。

18. 自然界中何處產金屬鐵？ 鐵之化合物雖甚多，何以金屬鐵卻產出罕少？

19. 鐵是否爲地殼中最多之金屬？ 何以因此價值如是之低廉？ 何以又如此之重要？

20. 決定金屬之價值之要素有何幾種？ 試以鐵、鋁、及鉑爲例釋明之。

21. 鐵之銹化(a)似於燭之燃燒之點爲何？(b)異於燭之燃燒之點爲何？

22. 吹入鼓風爐之空氣，如何且何故先行加熱？

23. 鼓風爐在長時期內連續作業。試舉爐內所生之三事，非此則連續作業爲不可能。

24. 礦滓與矽石何者之熔點較低？ 礦滓與氧化鈣？ 此等事實於鐵及鋼之冶金術內熔劑、脈石及礦滓相互間之關係上有何出入？

25. 柏塞麥迴轉爐內所起之化學變化，何以難於控制？

26. 最近五十年內鐵礦之純度漸減。 此事於做竈鋼在同時期較大之使用上逐漸取代柏塞麥鋼之事實有何關係？

27. 硫使鐵熱時發脆，磷使其冷時發脆。此等事實對於製鋼用做竈法勝於柏塞麥法有何關係？

28. 製鋼時何以鋼之熔點逐漸升高？

29. 製鋼用電爐，其較他舊爐之優點何在？

30. 新工業之中心之一，製鐵及鋼者，在美國爲阿拉巴馬省之柏明罕。該處之所以擇爲鐵鋼中心，除其地人工較廉外，尚有何種理由？

* * * *

31. 欲還元純赤鐵礦(Fe_2O_3) 480 克，需一氧化碳若干體積？

32. 試計算下列各礦石中鐵之百分率：(*a*)赤鐵礦；(*b*)磁鐵礦；(*c*)褐鐵礦；(*d*)菱鐵礦。

33. 某種鐵礦，經分析後知其含金屬鐵 61.59%. 問此表示其中三氧化二鐵(Fe_2O_3)之百分率爲何？

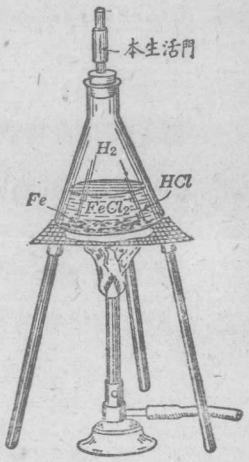
34. 一種鐵礦含碳酸鈣 5%。今有礦石 100 噸，欲盡將此中之鈣成爲礦滓而除去，問應加砂若干噸？

35. 欲將含三氧化二鐵(Fe_2O_3)之鐵礦 100 噸還元，需焦煤(98% 碳)若干噸？

鐵　族

前既述鐵及鋼之製法、性質及用途，今試以鐵作元素觀，而申論其數種之化合物。鐵、鈷、鎳爲週期系之第八團中毗鄰之三元素。居於第一長週期之中央，均具金屬性質。惟較不活潑，且其氫氧化物爲弱鹽基，是與鈉及鉀等元素不同之點也。

476　純鐵——化學的純粹之鐵可由鐵鹽爲氫所還元而製得。具有亮白之金屬外觀，熔點約爲 1500°C.。有感磁性。純鐵爲極不活潑之金屬，不爲冷水所作用。惟能使水蒸氣分解而生成氧化鐵及氫(§45)。又易自稀酸中取代氫(第 296 圖)。設充分加熱之，則能於氧中燃燒而生成氧化物(Fe_3O_4)。



第 296 圖　二氯化鐵之製取

477. 鐵之氯化物——於無空氣處將鐵溶於鹽酸中（第296圖），即生成一種化合物，稱爲**二氯化鐵**($FeCl_2$)：

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2 \uparrow$$

逸出之氣體，一般因尋常之鐵中混有某種雜質而具惡臭。熱鐵與氯氣反應時，則生成暗棕色之固體，稱爲**三氯化鐵**($FeCl_3$)。當鐵溶於王水時，於溶液中亦生有此化合物。鐵之二種氯化物均可溶於水，而均用於實驗室內。

478. 亞鐵及鐵化合物——鐵乃易生成二組化合物之元素；一組中鐵爲二價，另一組中爲三價。凡鐵爲二價之化合物，稱爲**亞鐵化合物**[1]，鐵爲三價者，稱爲**鐵化合物**[2]。頃所稱之二種氯化物，即此二組鹽類之著例。二氯化鐵（亦可稱氯化亞鐵）於水中生亞鐵離子(Fe^{++})，三氯化鐵生鐵離子(Fe^{+++})。

亞鐵及鐵化合物彼此甚易互變。設以氯水之溶液處理二氯化鐵，即依下方程式而轉成三氯化鐵：

$$\underset{\text{亞鐵}}{2FeCl_2} + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{鐵}}{2FeCl_3}\ (\text{氧化})$$

反之，設將三氯化鐵溶液與鐵屑共煮沸。則生成二氯化鐵：

$$\underset{\text{鐵}}{2FeCl_3} + Fe \rightarrow \underset{\text{亞鐵}}{3FeCl_2}\ (\text{還元})$$

479. 氧化及還元——自亞鐵化合物變成鐵化合物，稱爲

[1] ferrous compound. [2] ferric compound.

氧化。反之稱爲還元。此二名詞，前此僅限用於反應內涉及氧者，今則知其意義可推而廣之。當一氧化碳燃燒時，卽增添一原子之氧，其原子價自二增至四。此卽一種氧化反應。碳爲一氧化碳中之陽性元素。凡陽性元素之原子價增大，是爲氧化；凡此種元素之原子價減小，是爲還元。其加入化合物中使增大其原子價之陰性元素，固不必爲氧也。在氯化鐵，加一氯原子於二氯化鐵，卽產生三氯化鐵。此反應與加一氧原子於一氧化碳正相同；故爲氧化。此項關於氧化及還元之新定義，務切記之。

鐵之化合物之氧化及還元，固可無特氧之作用而發生，然其中實往往間接需用氧。例如，過氧化氫可令二氯化鐵之鹽酸溶液急速氧化成三氯化鐵：

$$2FeCl_2 + 2HCl + [O] \rightarrow 2FeCl_3 + H_2O$$
$$(H_2O_2)$$

硫化氫可令三氯化鐵還元成二氯化鐵。氫自三氯化鐵中取得氯而任硫遊離：

$$2FeCl_3 + H_2S \rightarrow 2FeCl_2 + 2HCl + S\downarrow$$

若就離子之氧化及還元而言，則顯見氧化者乃電子之取除，而還元乃電子之增加也。例如鐵離子(Fe^{+++})還元時，卽加入一電子，而陽電荷遂降至二(Fe^{++})。

氧化與還元每常同時進行。此項變化實乃一涉及電子變

移[1]者也。如

$$\text{還元劑} \xrightarrow{\text{電子}} \text{氧化劑}$$

480. 鐵之氫氧化物——加鹽基於鐵鹽（三價鐵）溶液中，即生三氫氧化鐵之紅棕色沈澱：

$$FeCl_3 + 3NaOH \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow + 3NaCl$$

二氫氧化鐵($Fe(OH)_2$)亦可同樣由亞鐵鹽澱出。爲白色物質，爲空氣氧化迅速，轉成綠色，終至棕色，而成三氫氧化鐵。

三氫氧化鐵加熱至紅熱，即變成三氧化二鐵及水：

$$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O$$

鐵銹爲鐵露於濕空氣內後，在表面生成之物質。大致爲三氧化二鐵及三氫氧化鐵之混合物。空氣中如存有碳酸及他種酸性物質有助於鐵之溶解者，則鐵銹之生成加速。鐵銹非如鋁之氧化物，並不黏牢於鐵上，隨時脫落，露出新部分再受作用。因此一塊鐵終將完全成銹。鐵及鋼之品質不同，其起銹之速率亦甚相懸殊，今已有多方設法防止鐵之起此作用。油可用以保護工具之起銹，蓋氧雖能深入油層，而水分則不能入也。

480a. 鐵之氧化物[2]——前見三氧化二鐵（Fe_2O_3）爲最重要之鐵礦。實驗室內由加熱三氫氧化鐵或他種三價鐵化合物製之頗易。

[1] electron transfer. [2] 本節爲新版原書所無，似係遺漏。

鐵之磁性氧化物（Fe_3O_4）天產者爲磁鐵礦或卽磁石[1]，具有磁性。水汽作用於熱鐵時所生之氧化物，卽係此物。爲黑色物，可令其牢吸於鐵上。此氧化物之薄層，足以防止銹化，所謂俄國鐵[2]卽蓋有此層之鐵也。用以製車頭及汽鍋。

481. 其他不重要之鐵化合物——一硫化鐵（FeS）由加硫化銨（$(NH_4)_2S$）於亞鐵鹽而生成。爲黑色不可溶性化合物。常用作硫化氫之來源。又有一種鐵之硫化物，稱爲黃鐵礦[3]（愚人金[4]），其式爲 FeS_2。自然界中產量甚多。有時用作二氧化硫之來源，以其燃燒時卽生二氧化硫及氧化鐵也。

硫酸亞鐵（$FeSO_4,7H_2O$）俗稱綠礬[5]，亦一種鐵之常見化合物，工業上及實驗室內遇需要可溶性鐵化合物時，往往用之。

亞鐵氰化物[6]——亞鐵氰化鉀（$K_4Fe(CN)_6$）爲一種錯合物[7]，由含氮有機物、碳酸鉀與碎鐵之混合物燃燒而生成，用熱水浸得之。能生成黃色大結晶，故俗稱"黃血鹽[8]"（第 211 圖）。

此化合物中，鐵連結於碳及氮之原子上，而成一陰根。亞鐵氰化鉀之水溶液，實際不生鐵離子。祇生鉀離子（K^+）及一錯合之四價離子，稱爲亞鐵氰離子[9]（$Fe(CN)_6^{----}$）。亞鐵氰化鉀與一種三價鐵鹽相混和，卽生成深藍色之沈澱，稱爲普魯士藍[10]。此化合物爲亞鐵氰化鐵。

$$4FeCl_3 + 3K_4Fe(CN)_6 \rightarrow Fe_4(Fe(CN)_6)_3 \downarrow + 12KCl$$

普魯士藍用作顏料，有時亦以製洗衣用之藍粉。惟如浸入此種藍粉之水中之衣物，未將肥皂或鹼洗淨，則於衣物上可生成三氫氧化鐵，而生鐵銹斑玷。

鐵氰化物[11]——以氯處理亞鐵氰化鉀之水溶液，蒸發之，卽得鐵氰化鉀（$K_3Fe(CN)_6$）之柘榴紅色結晶（第 211 圖）：

$$2K_4Fe(CN)_6 + Cl_2 \rightarrow 2KCl + 2K_3Fe(CN)_6$$

---

1 lodestone. 2 Russia iron. 3 iron pyrite. 4 fool's gold. 5 green vitriol or copperas. 6 ferrocyanide. 7 complex compound. 8 yellow prussiate of potash. 9 ferrocyanide ion. 10 Prussian blue. 11 ferricyanide.

鐵氰化鉀俗稱"赤血鹽[1]"，其溶液中生三價離子 $(Fe(CN)_6^{---})$。亞鐵氰化鉀與鐵氰化鉀二式間之差殊，祇須知各化合物中均有六個 (CN) 原子團，此原子團需有充分之金屬元素以完成六原子價，即可得而記之。鐵氰化物中鐵爲三價；亞鐵氰化物中爲二價。

亞鐵鹽遇鐵氰化鉀即生鐵氰化亞鐵之深藍色沈澱（滕氏藍[2]）：

$$3FeCl_2 + 2K_3Fe(CN)_6 \rightarrow 6KCl + Fe_3(Fe(CN)_6)_2\downarrow$$

用鐵氰化鉀可檢驗亞鐵離子；用亞鐵氰化鉀可檢驗鐵化合物。二方均得藍色沈澱。當鑑別亞鐵鹽及鐵鹽時，往往應用此二檢驗法。由鐵鹽與鐵氰化物，或由亞鐵鹽與亞鐵氰化物，均不能得深藍色沈澱。

482. 藍圖——光之作用足令數種錯雜有機酸之三價鐵鹽還元成亞鐵鹽。藍圖[3]即利用此反應而成者也。在暗處將一種三價鐵鹽（草酸鐵[4]）拭於紙上而乾燥之。於是可置照相底片，或墨繪之透光布下，而曬露日光中。凡日光射及紙上之處，其三價鐵化合物即還元成亞鐵，其還元之程度當與光達於紙上之程度成正比例。露光之後，將紙浸入鐵氰化鉀之溶液中。此時凡生亞鐵化合物之處，均成滕氏藍。紙上未受光之處，則無作用，此未起變化之三價鐵鹽，可以洗去。於是即留有藍色及白色之圖，是爲藍圖。

商品之藍圖紙，係塗以檸檬酸鉄與鐵氰化鉀之混合物。檸檬酸鐵鉄爲最合此

---

[1] red prussiate of potash. [2] Turnbull's blue. [3] blueprints. [4] ferric oxalate.

用之三價鐵鹽。顯影劑之鐵氰化鉀，亦先一併塗塗紙上。此種紙露光之後，浸諸水中，立即生成藍色。於是用水洗滌，至未變化之化學藥品盡被去除爲止。其印圖即可永存。

483. 墨水——由數種植物產品（沒食子[1]）可得有一種所謂鞣酸[2]之有機化合物。此物與三價鐵鹽作用，即生深黑色之不可溶性鞣酸鐵。多年前嘗用此物質於水中之膠體液作爲墨水。其後以硫酸亞鐵之略帶酸性之溶液與鞣酸相混，製成較佳之墨水。鞣酸亞鐵爲可溶性而無色，除非其混合物露於空氣中，不生黑色。加入藍色染料，俾書寫時可辨筆跡。迨亞鐵鹽氧化而生成鞣酸鐵，筆跡即徐徐轉黑。此即所謂藍黑墨水[3]是也。鞣酸鐵甚爲持久，故用作書寫墨水，至爲適宜也。

484. 墨水漬及其他漬斑——新鮮之墨水漬，一般祇須水洗即可去除，其中諸成分均屬可溶。然隔時稍久，則墨水漬中即含有不可溶性之鞣酸鐵。此種漬斑，須用還元劑處理，使鐵鹽還元成亞鐵，始能除去。此時宜用草酸銨或草酸之稀溶液。檸檬汁內含有一種有機酸（檸檬酸），乃一種還元劑，故家常每用檸檬以去除墨水漬。

鐵銹漬斑常用與去墨水漬相同之方法處置，令其變爲可溶性。棉布或毛織物上之咖啡及茶漬，設立即用沸水洗之，可以去除。

[1] nutgalls.　[2] tannic acid.　[3] blue-black ink.

絲綢上之漬斑，每難完全除淨。此種物料上，決不可用次氯酸(§127)。

水可取除糖及糖漿之漬斑。惟油漬則須用他種溶劑，如四氯化碳或氯油，同時須墊以吸水紙或潔淨之白布，以吸去溶液，防其滲延。

鈷及鎳

485. 性質及用途——鈷亦如鐵，能生成二組之鹽類，其中鈷爲二價及三價；鎳爲二價。兩元素除用於合金中外，比較上均不甚重要。二者皆如鐵，具有感磁性。

鎳爲白色堅硬而具展性之金屬，可擦成極光亮。此光亮之面，不爲濕空氣所侵蝕，故許多器件往往鍍以薄層之鎳，外觀既美，復足防止受侵蝕。鍍鎳利用電流。

鎳爲許多合金之一成分。洋白銅亦稱蒙尼金[1]，含銅約 60 分及鎳約 35 分。由天產含銅及鎳比率與此相仿之礦石熔煉而成。此合金用以製新式之來福鎗彈，其硬如鋼，而較重 13%。此物較尋常之鋼爲堅强，且具可貴之耐酸性。鎳鋼[2]含鎳約 5%，既硬又韌；故軍艦之鋼甲即以是製之。貨幣用鎳由三分銅一分鎳而成。賽銀亦稱德國銀[3]，含銅、鋅、鎳。此等合金能抵抗濕空氣及化學藥品之侵蝕，故各有特殊之用途。

鈷爲與鎳絕相類似之金屬。用以製數種特殊之合金。純鈷於工業上無大用途，故無以大規模提煉之者。

486. 特著之化合物——鎳及鈷之化合物，其爲用最廣者，爲亞鈷及亞鎳化合物，如二氯化鈷($CoCl_2$)及硫酸亞鎳($NiSO_4$)。四碳醯鎳[4]($Ni(CO)_4$)亦一頗有趣味而稍屬重要之物質。使鎳與銅分離之蒙特法[5]，即藉四碳醯鎳之生成，繼

[1] Monel metal. [2] nickel steel. [3] German silver. [4] nickel carbonyl. [5] Mond process (英國化學家 Ludwig Mond(1839–1909,後入德籍)所發明)。

復分解成純鎳也。此化合物爲揮發性之無色液體，將一氧化碳通過溫熱之鎳粉上而成。加熱至 180°C.，即分解成鎳及一氧化碳。

第三十二章　提要

主要之鐵礦均爲氧化物，此等礦石於鼓風爐內爲碳及一氧化碳所還元。加入一種熔劑以與岩石雜質化合，生成礦滓。

鼓風爐之產物爲生鐵。含雜質 5—6%，大半爲碳。

熟鐵爲近乎純粹之鐵，惟機械的夾雜少許礦滓耳。由生鐵置倒焰爐之氧化鐵層上加熱而製成。熟鐵可以煆接，而具展性。

鋼含碳量常較多於熟鐵，而少於生鐵。可以鑄物，而具展性。亦可煆接。低碳鋼絕似熟鐵；高碳鋼可以硬煆。

鋼可以坩堝法自碎鋼片及熟鐵或極純粹之生鐵製之。鋼可自生鐵製之，用(1)柏塞麥法，(2)敞竈法，(3)電爐法。

柏塞麥法中，熔鐵被空氣所氧化，其矽石、碳、及錳則先鐵被氧化。

鹽基性敞竈爲處置含磷生鐵常用之方法。由一種氧化物促起氧化作用，熱則來自煤氣火焰。磷可完全去除，硫亦稍可減少。

電爐，用以精煉鋼者，無氧化焰而可得高溫度。用此法，磷、硫及他種雜質均可除去。

鋼之硬煆，含碳超過約 0.50% 之鋼，可加熱至所謂臨界程 700°－770°C. 以上而硬煆之。如此階程內之變化，因驟冷而被遏制，則得極堅硬之鋼。此鋼可由重熱而軟化之，或即淬煆；重熱之温度愈高，則鋼愈軟。柔鋼可用面層硬煆法，使其外表成一層高碳之鋼。

特種鋼：錳鋼極強韌。鉻鋼及鎳鋼堅強而略有彈性。均用以製汽車零件。不變鋼爲一種鎳鐵齊，無膨脹係數。充白金（鎳 46%）之膨脹係數與鉑同。高速鋼（鎢鋼及鉻鋼）可以硬煆，用以製在高速時車磨之工具。

鐵、鈷、鎳爲第八團中之毗鄰三元素。

純鐵不爲冷水所作用，惟加熱時能令水汽起分解。設充分熱之，能於氧中燃燒。鐵生成兩組之化合物：亞鐵化合物，其中鐵爲二價，及鐵化合物，其中鐵爲三價。

兩組鐵化合物：亞鐵化合物可氧化成鐵化合物，而鐵化合物可還元成亞鐵化合物。氧化者卽分子中陽性元素之原子價增大之反應；還元則爲減小。

三氫氧化鐵及二氫氧化鐵均爲不可溶性物質。鐵銹爲三氧化二鐵及三氫氧化鐵之混合物。由濕空氣作用於鐵而生成；隨時剝落，故不能保護鐵。

鐵生成氧化物 FeO、Fe_2O_3、及 Fe_3O_4。Fe_3O_4 可由鐵受

水汽之作用而生成薄層，黏着於鐵面而保護之。此種之鐵，稱爲俄國鐵。

亞鐵氰化鉀遇三價鐵鹽，則生普魯士藍。普魯士藍用作顏料及製藍粉。

鐵氰化鉀遇亞鐵鹽則生滕氏藍之沈澱。亞鐵氰化物爲三價鐵鹽之檢驗，而鐵氰化物可爲亞鐵鹽之檢驗。

藍圖卽於紙上拭以可還元之三價鐵鹽及鐵氰化鉀以製之。鐵鹽爲日光還元成亞鐵。以水處理時，鐵氰化鉀與亞鐵鹽卽相化合，生成滕氏藍；未變化之化學藥品則被洗去。

黑墨水製自鞣酸鐵，乃一種黑色不可溶性物料。藍黑墨水含有鞣酸亞鐵，於空氣中徐徐氧化成鞣酸鐵。

鈷及鎳均具感磁性，如鐵然。金屬上每鍍鎳一層，以其既不爲空氣所侵蝕，且可得光亮之面。蒙尼金及德國銀均爲鎳之合金。

問　題

1　由金屬鐵如何製成(a)二氯化鐵；(b)三氯化鐵？

2.　用何種化學檢驗可以區別鐵鹽與亞鐵鹽之溶液？

3.　某溶液中如並含亞鐵及鐵鹽，將何以證明之？

4.　鐵化合物何以較亞鐵化合物爲穩定？

5.　如何可使三氯化鐵變成二氯化鐵？二氯化鐵變成三氯化鐵？試作方程式。

6. 試舉四種鎳合金而各述其用途。

7. 藍圖適於何種特殊之用途?

8. 試作下列各物之式:(*a*)黃鐵礦;(*b*)磨珠賓之鐵紅粉[1];(*c*)綠礬;(*d*)磁鐵礦;(*e*)褐鐵礦。

9. 滕氏藍之組成爲若何? 其製法若何?

10. 洗衣作中用普魯士藍時,須加何種注意?

* * *

11. 氫氧化鉄能自任何鐵化合物之溶液中澱出氫氧化鐵否?

12. 硫酸最大用途之一爲浸漬鋼鑄物,以去除黏着之氧化物。如是產生何種習見之鐵化合物?

13. 試比較亞鐵鹽與鐵鹽之顏色。

14. 如硫酸亞鐵等之不穩定物質,貯存於乾燥時或於溶液中孰善?

15. 除過氧化氫外,尙有何種氧化劑,可用以使亞鐵化合物變爲鐵化合物?

16. 普魯士藍何以不書作 $Fe_6(CN)_{18}$?

17. 碳酸鈉溶液加入三價鐵鹽中,何以澱出氫氧化物而非碳酸鹽?

18. 含鐵墨水之漬斑,何以漸轉棕色?

19. 鐵鉄鎳之前何以須先鍍銅?

20. 鈷及鎳有何性質與鐵爲共通?

* * * *

21. 自純鐵 10^2 克可製成下列各化合物重量若干:(*a*)三氯化鐵;(*b*)綠礬?

22. 欲氧化 1 仟克之二氯化鐵,需氯若干立(在標準情況下)?

23. 普魯士藍中鐵之百分率爲若何?

24. 有三氯化鐵 335 克,欲使其中之鐵全部成三氫氧化鐵澱出,須氫氧化鈉若干克?

25. 問題 24 中之沈澱,加熱至紅熱時,當得三氧化二鐵若干?

進究題材

特種鋼其用途及製造——鋼之"熱處理"之意義爲何? (Slosson's

[1] jeweler's rouge.

Creative Chemistry, *Chemistry in Industry*, Vol. 1, and Spring's *Non-Technical Chats on Iron and Steel.*)

第三十三章

非鐵金屬

天產鋁化合物——鋁之製造——性質及用途——合金——高熱熔劑——礬石——氫氧化鋁——礬類——水之提淨——黏土——陶器及瓷器。

銅之冶金術——性質及用途——銅之氧化物及硫酸鹽。

鋅礦——氧化鋅及氫氧化鋅——氯化物。

鉛之冶金術——鉛之合金——鉛之氧化物——鉛蓄電箱。

電池——電池中之電子——金屬之腐蝕。

錫之冶金術——用途——亞錫及錫鹽。

487. 砂及黏土之用途——砂及黏土二物，不徒爲構成土地之大部，抑亦爲自古及今人類用以製有用並裝飾之品。將某數處特產之黏土焙燒以製陶器瓷器，已千百年於茲。自砂、碳酸鈉及石灰製造玻璃之術，其創始尙遠在西曆紀元以前。

前已見（§393）砂乃非金屬矽之氧化物。黏土乃此種氧化物與金屬鋁之結合物（矽酸鋁）。此二元素——一爲非金屬，一爲金屬——之化合物既甚豐多，故成爲人類創立化學事業之自然出發點。前已提及（§455）哈爾發明由鋁之氧化物製金屬鋁之實用方法。今將略申論此最豐多之金屬。

鋁

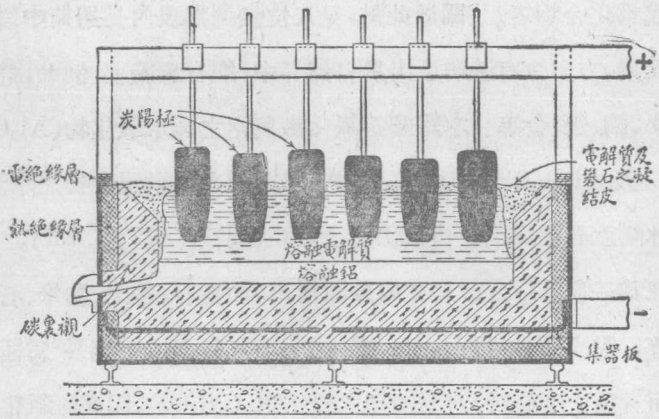
488. 天產之鋁化合物——金屬鋁最初於1827年爲德國化學家味勒遊離得。鋁雖爲最多之金屬元素，然在自然界中僅見其成爲化合物者。關於此點，見凡位於週期表內長週期中段之諸元素，方多少有遊離產出於自然界中，頗有意義。例如鐵（隕鐵）、銅、銀、金等。水鋁礦爲氧化鐵與鋁之涵水氧化物（Al_2O_3，H_2O 及 $Al_2O_3,3H_2O$）之混合物，乃鋁及其多數化合物之來源。格林蘭產有鋁與鈉之複氟化物，稱爲**冰晶石**[1]（$AlF_3,3NaF$）。鋁亦成爲一切普通含矽岩之成分而產出，如長石、黏土、雲母、石板石等。**黏土**爲矽酸鋁，由長石等之岩石風化而成。**剛砂**[2]爲極有用而貴重之磨礪料，乃不純粹之氧化鋁（Al_2O_3），因夾雜氧化鐵而帶棕色。**藍寶石**[3]及**紅寶石**[4]皆名貴之寶石，乃美麗結晶形之氧化鋁。

489. 鋁之製造——鋁元素之化學活潑性極強，故其氧化物不能於電爐中用碳還元之。今日由其氧化物之電解而得之。此法中之電解質，爲氧化鋁於熔融之冰晶石中之溶液。作用之際，冰晶石並不起變化，僅供作溶劑耳。氧化物須極爲純粹，由水鋁礦經久長而小心提淨以製成之。

---

[1] cryolite. [2] emery. [3] sapphire [4] ruby.

電解作用於第 297 圖所示之器械內爲之。 用一鐵箱，內襯無定形碳，碳卽作爲陰極。 陽極爲懸於混合物內之一組炭棒。 電流初通過時，生成多個電弧，令冰晶石熔融。 當電解進行之際，時時加入氧化鋁。在陰極處析出鋁，成爲液體，集於箱底，隨時流出，入於適當之模型內。 陽極處則析出氧，大部分以使炭極燒燬，故此項炭極時須添換。 僅需約 8 伏特之電壓，卽足使作用進行，惟電流則須數千安之大。



第 297 圖　製鋁爐之圖解

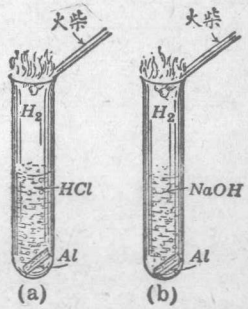
490. 物理性及化學性——鋁爲藍白色之金屬，尋常因被有薄層之氧化物，表面每帶黝暗。重量極輕（比重 2.7），僅及鐵之三分之一，爲熱及電極良之導體。 不宜於車牀作工，亦甚難銲接。

鋁爲頗活潑之金屬。 惟以其每被有薄層之黏結氧化物，故不爲濕空氣、熱水或冷水、稀硫酸或稀硝酸等所作用。鹽酸則與之作用頗速，產生氫（第 298 圖）。能爲氫氧化鈉或鉀所溶解，生

成所謂鋁酸鹽[1]之化合物，並析出氫：

$$6NaOH + 2Al \rightarrow 2Na_3AlO_3 + 3H_2\uparrow$$

491. 其用途及其合金——鋁價尚不能廉如鋼。故其用途，僅限於製以輕爲主之器件，如汽車及飛機之零件等。有時用以代銅作導電體。爲烹飪用具極妥善之物料，不特以其輕便，且能常保明亮，蓋薄層之氧化物既屬透明，而又能保護內部金屬之不再受空氣所作用也。鋁粉多用作油漆，以防護他種金屬之起腐蝕。鋁製之薄箔頗有用以代錫紙。

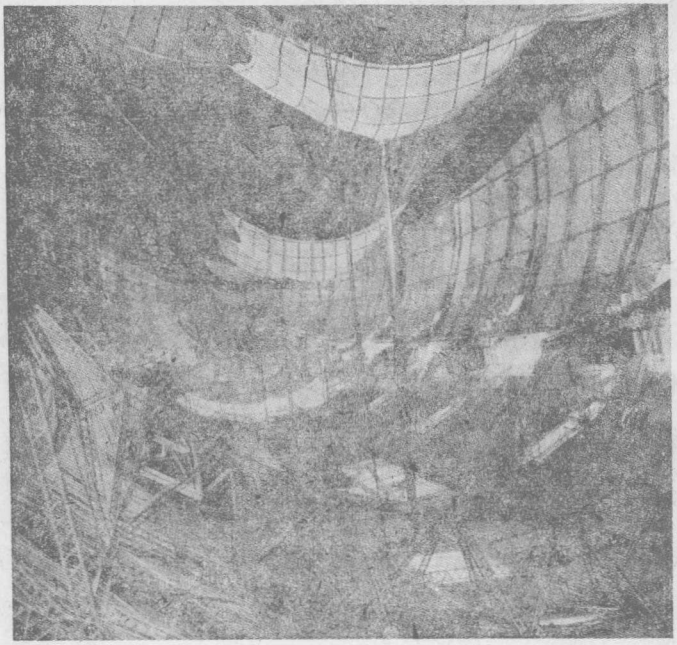


第 298 圖　鋁在(a)鹽酸中及(b)氫氧化鈉溶液中

鋁頗多重要之合金。含鋁 5–12% 之銅稱爲**鋁青銅**[2]。具有明亮之金黃色澤。**鎂鋁齊**[3]含金屬鎂約 10%。**堅鋁**[4]含銅約 4%，鎂 0.5%及錳0.5%。此項合金均較純粹之鋁爲硬，故易於匠作。亦較堅強，製造飛艇（第 299 圖）及全金屬之飛機等多用之。

492. 高熱熔劑[5]**如何工作**——金屬鋁爲極猛烈之還元劑。

[1] aluminates.　[2] aluminum bronze.　[3] magnalium.　[4] duralumin
[5] thermite



第 299 圖　堅鋁爲用於建築飛艇之合金，圖示飛艇內景

其粉狀者能與許多金屬之氧化物反應，產生氧化鋁及遊離金屬。此反應發生時，並放出巨量之熱，故一經促起，進行卽極猛烈。

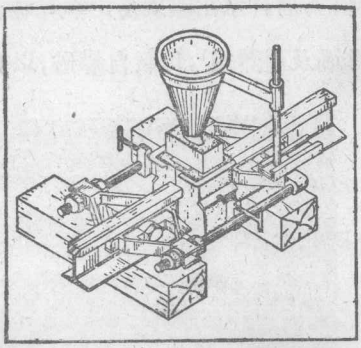
鋁與氧化鐵之混合物，稱爲高熱熔劑。當此混合物用燒着之鎂帶燃點時，卽起反應，可達近 3000°C. 之温度：

$$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe\downarrow$$

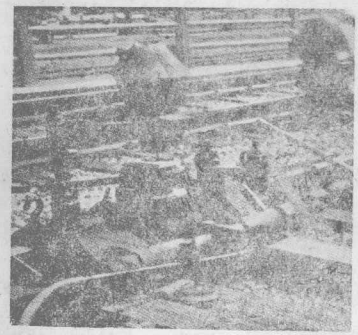
設以高熱熔劑置砂製坩堝內，其頂面裝含過氧化鈉及鋁粉之燃點劑一小堆。燃點劑堆中插鎂帶一片。於是將坩堝座於砂盤內，而燃點鎂帶。此時發巨量之熱，

實驗時宜特加注意。頃刻間坩堝底部得液體鐵，頂面爲熔滓。此乃發熱反應最佳之一例。

焊接鐵軌（第 300 圖）及機軸等件，卽利用此項反應。其反應於圓錐形空底坩堝內行之。當有極熱之熔鐵集於底部，而令其流注於先已燒至紅熱之接口上。熔鐵卽與紅熱之鐵相結合而成堅固之銲接（第 301 圖）。



第 300 圖　用高熱熔劑銲接鐵軌之機械之圖解



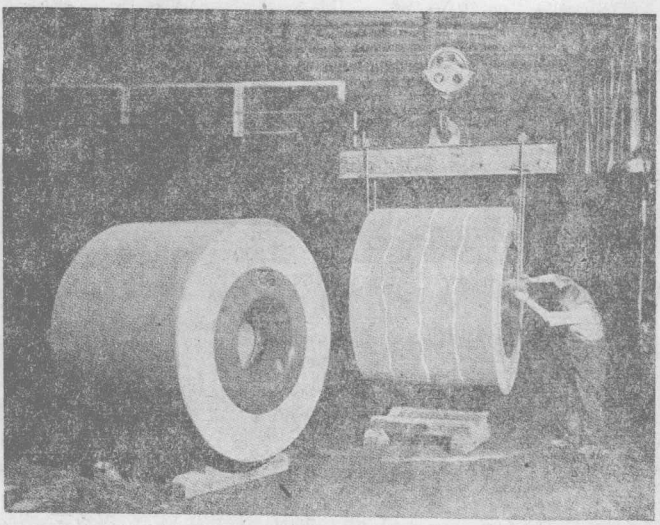
第 301 圖　連接鐵軌頭端之銲接器械圖

自錳及鉻之氧化物，製各該遊離金屬，亦利用此項反應。將鋁粉與各該氧化物之混合物燃着，卽可得遊離金屬。

493. 氧化鋁之用途——氧化鋁亦稱礬石（Al_2O_3），前已述及（§488）。產於自然界中有種種形體，且極堅硬，故多用作磨礪料（第 302 圖）。剛石[1]及剛砂爲供此項用途之二種天產氧化鋁。礬砂[2]爲人造磨礪

[1] corundum.　[2] alundum.

料，乃將自水鋁礦製得之氧化物，於電爐中加熱，適至熔融而成坩堝及迴熱爐[1]，每製自礬砂，以其熔點甚高也。



第 302 圖　將木材製成粕漿之研磨石（人造）

紅寶石及藍寶石均爲天產之結晶形氧化鋁，其顏色由於微量之雜質而來。今由人工製成與此絕類之物質，即將氧化鋁與少量他種金屬氧化物共熔融，可任意得所欲之顏色。用鉻化合物可得紅寶石色，用微量之鈦，則得藍色。此項人造寶石，在化學上，實與天產寶石全同，殊難判別，其製造已成爲極大而獲厚利之工業。

1 muffle.

494. 氫氧化鋁——將氫氧化銨加入鋁鹽之溶液中，即生成氫氧化鋁，作白色之膠體沈澱：

$$6NH_4OH + Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al(OH)_3 \downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

氫氧化鋁加熱，即分解成氧化物及水：

$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O \uparrow$$

氫氧化鋁作用既若酸又若鹽基。意即其離子化向兩方向進行：

$$Al(OH)_3 \rightarrow Al^{+++} + 3\,OH^-$$

$$H_3AlO_3 \rightarrow 3H^+ + AlO_3^{---}$$

惟須記此氫氧化鋁之起離子化僅極微。與大多數之酸類反應，生成可溶性之鹽，與強鹽基類反應，生成鋁酸鹽：

$$Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al(OH)_3 + 3NaOH \rightarrow \underset{\text{鋁酸鈉}}{Na_3AlO_3} + 3H_2O$$

495. 明礬類[1]，重鹽[2]——硫酸鋁溶液與硫酸鉀溶液相混和後蒸發之，即有一種重鹽結晶析出，是爲久已習知之明礬[3]($K_2SO_4,Al_2(SO_4)_3,24H_2O$)。

明礬屬於所謂重鹽之一類化合物。其生成或原子結合方法之原理，尚未知之。有多數重鹽，其結晶形與尋常之明礬即鉀明礬[4]相同，而式亦類似者。如銨明礬[5]($Al_2(SO_4)_3,(NH_4)_2SO_4$,

[1] alums. [2] double salts. [3] alum [4] potassium alum. [5] ammonium alum.

$24H_2O$)，及鉻明礬[1] ($K_2SO_4,Cr_2(SO_4)_3,24H_2O$)。此處當注意，鉻明礬雖稱爲明礬，卻並不含鋁。尋常之明礬，爲吾人所使用鋁化合物最普通之一種。

496. 水之提淨——氫氧化鋁於泥汚水中起沈澱時，有將懸浴之粒子囊括帶下之能力。水之提淨卽利用此一性質。將適當比例之明礬及石灰投入渾濁之給水中。所生成之氫氧化鋁卽囊括水中之懸浴物而沈下。

497. 由黏土製成磚瓦——最純粹之黏土，卽陶土，亦稱高嶺土[2]，乃一種矽酸鋁。爲白色之物質，由長石經長期之風化，起分解而成。長石爲矽酸鉀鋁，徐徐變而爲可溶性鉀化合物及陶土。不純粹或卽尋常之黏土，乃陶土與他種物質之混合物，其中尤以鐵化合物爲多。因此黏土焙燒時帶紅色。

磚、瓦、花盆及其他同類之多孔性缸器[3]，均製自普通之黏土。將黏土模製成所需之形式，然後置窰內焙燒之，窰火一般均用煤氣。所成之多孔性質料，在多種用途上往往須罩以不透水之釉層[4]。法將食鹽與熱器面相接觸。卽生成可熔性之矽酸鈉鋁，而流佈其上，冷卻時，固結成堅硬之質。排水管等均依此製之。含大量矽石之黏土，用以製火磚、火爐裏襯、及其他須受極高溫度之物料。

498. 瓷器[5]**如何製成**——較上等之陶器[6]及瓷器，由純粹之白色陶土、長石、及石英等製成。其製法將各種原料研至極細，和以水，而模製成所需之形式（第303圖）。模製之法，可藉陶工轆轤而以手爲之，或則將混合物傾入燒石膏模型中亦可。迨其乾燥後，以較低之温度焙燒之，至結實堅硬而仍屬多孔質爲

[1] chrome alum. [2] kaolin. [3] stoneware. [4] glaze [5] porcelain or china. [6] pottery

第 303 圖　傾注黏土於模型中，模型繞直軸迴轉

止。於是塗以薄層之長石及矽石，而熱於較高之温度，經時亦較久。薄塗層卽熔融而成一釉層。視加熱時間之久暫及原料之成分，一部分原料亦熔融而與釉相熔和。此種器內，釉層與料坯幾熔成一體。裝色時，則加有色氧化物於後成釉層之塗層中。

銅

499. 銅礦——金屬銅有大量產於美國蘇必利爾湖[1]區。欲析取此種自然銅[2]，祇須將礦石磨碎成粉，於是熱至金屬熔融而流集底部即得。

在美國奧立仲那省[3]，銅成爲鹽基性碳酸鹽即所謂孔雀石[4]($Cu_2(OH)_2CO_3$)，而有數處則成氧化物即赤銅礦(Cu_2O)而產出。碳酸鹽及氧化物礦石，祇須與煤共熱，以除去其氧。

美國之蒙大拿[5]及猶德[6]，銅均成硫化物產出，即黃銅礦[7]($CuFeS_2$)，及輝銅礦[8](Cu_2S)。自硫化物礦石煉銅較難，每需經極複雜之手續。此等銅礦之冶金詳情，過於繁複，非本書所能縷述。

惟大抵即爲將搗碎之礦石加以燻燒，使硫化物變爲氧化物。於是將氧化物於倒焰爐內爲碳所還元。其不純之產物，稱爲銅鈹[9]，含有少許鐵及硫。故置之於迴轉爐內，略爲柏塞麥爐，而於熱空氣鼓風中加熱之，熱風即將硫成二氧化硫而帶去。氧化鐵雜質則爲迴轉爐之矽石裏襯所吸取。產物純度約爲 99%，是爲泡銅[10]。

500. 電解精煉——自熔礦廠所得之泡銅，往往含有少量之他種金屬，若金及銀等。然雖微量之雜質，對於銅之導電性亦大加減少。故須經再行精煉，始可供用。

---

[1] Lake Superior [2] native copper [3] Arizona [4] malachite [5] Montana. [6] Utah [7] copper pyrite or chalcopyrite. [8] chalcocite. [9] matte. [10] blister copper.

精煉之法卽用電解法。於硫酸銅($CuSO_4$)之溶液內，以純銅之薄條作陰極。不純銅之厚板作陽極（第304圖）。令電流通過電池，卽起電解。電流爲銅離子(Cu^{++})導過溶液。金屬銅卽結附於陰極上，而自陽極上溶去。如是於陰極上所得之電解銅[1]甚爲純粹(約99.95%)。大部分之雜質均沈降於槽底，而成所謂陽極渣泥[2]。自渣泥中所收回之金及銀，其量往往儘足抵償此項銅精煉特加手續之費用。

第304圖　銅之電解精煉　　右方附圖示提起之陰極板

501. 性質及用途——銅爲可以展延之金屬。就今日所

[1] electrolytic copper　[2] anode slime.

知，銀以外，銅爲最良之導電體。銅不爲乾燥之空氣所侵蝕，然在尋常之大氣情況下，徐徐被侵蝕而生成一層綠色鹽基性碳酸鹽。此層牢着於銅面，足以防護其金屬之再被作用。

銅絲、銅桿等爲最普用之導電體，以其能抵禦腐蝕，故房屋之金屬屋頂及船底之蓋板均由此製之。

此金屬之合金，使用最廣之二種，爲黃銅[1]，乃銅與鋅之合金，及青銅[2]，乃銅錫鋅之合金。磷青銅[3]乃除此二金屬外，更含有1－4%之磷，磷成爲其中一種金屬之磷化物而存在。磷青銅爲堅硬之合金，不易被腐蝕，用以造船艦之推進機及機軸等。

銅之化合物

502. 兩組之銅化合物——銅亦能生成兩組之化合物，如鐵然：亞銅化合物，其中銅爲一價；銅化合物，其中銅爲二價。亞銅離子(Cu^+)幾爲無色；銅離子(Cu^{++})爲藍色。亞銅鹽較銅鹽爲不穩定。普通之化合物，大率爲銅鹽。

503. 銅之氧化物——最重要之亞銅化合物，爲銅之紅色氧化物，即氧化二銅(Cu_2O)，用斐林溶液檢驗葡萄糖時有此物生成。斐林溶液內含有硫酸銅($CuSO_4$)、氫氧化鉀、及羅氏鹽[4]($NaKC_4H_4O_6$, $4H_2O$)。葡萄糖加入此溶液內，而將混合物煮沸，即有氧化二銅成紅色沈澱析出。

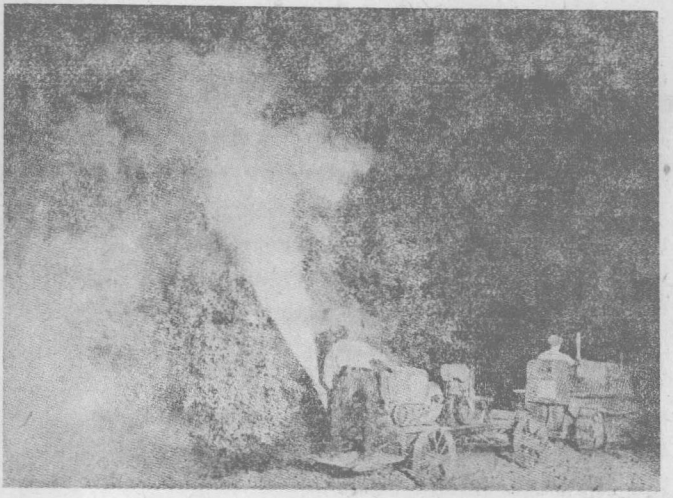
銅之黑色氧化物，即一氧化銅(CuO)，可將銅熱於空氣而製得，加熱二氫氧化

[1] brass. [2] bronze. [3] phosphor bronze. [4] Rochelle salt.

銅、硝酸銅、或碳酸銅，亦可得之：

$$Cu(OH)_2 \rightarrow CuO + H_2O$$

504. 硫酸銅，或膽礬[1] **($CuSO_4,5H_2O$)** —— 涵水硫酸銅或膽石[2]，爲銅之一切化合物中最重要之一種。形成藍色之大結晶。用於電鍍銅及電鑄術[3]中。硫酸銅與消石灰之混合物，卽所謂波多混劑[4]，用作殺菌藥，以噴射果樹（第305圖），葡萄園及馬鈴薯葉。一切銅鹽類如服食大量均屬有毒。設投微量於含有綠色浮游生物之水中，卽足殺死此種植物（藻類）。



第305圖　用波多混劑作殺蟲劑噴射果樹

[1] blue vitriol. [2] bluestone. [3] electrotyping [4] Bordeaux mixture.

問題

1. 鋁在今日何以成爲較低廉之金屬?
2. 淨洗鋁何以不用鹼類?
3. 鋁之最大用途爲飛機及汽車工業。試解釋之。
4. 美國尼阿伽拉[1]何以設有如是許多電化工廠?
5. 試作鋁對於鹽酸之反應之方程式。
6. 如何可製成氫氧化鋁? 試作方程式。
7. 試作氯化鋁水解之方程式。
8. 用作電導體之銅何以必須極純粹?
9. 試述精煉銅之電解方法。
10. 銅之電解精煉中,可收回何種有價值之金屬?

* * *

11. 鋁之市價,何以須視電之成本而定?
12. 碳與鋁,何者爲較有力之還元劑? 解釋之。
13. 試舉三種鋁合金而各述其一種用途。
14. 硫酸鋁溶液對於石蕊實之反應若何? 試釋其理。
15. 氫氧化鋁可溶解於鹽酸及氫氧化鈉溶液中。何故? 試各作一方程式。
16. 試作明礬與消石灰之反應之方程式。
17. 試舉我國有大銅礦藏之地點。又舉產有自然銅之區域。
18. 下列諸名詞意義爲何:(a)自然銅;(b)銅鉱;(c)泡銅;(d)電解銅?
19. 自硫化物礦石提煉銅,何以較爲繁難?
20. 某物質中含有一種銅化合物,將如何證知之?

* * * *

21. 某種銅礦,其式爲 $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$。試確定銅之百分率。
22. 試計算普通明礬中涵附水之百分率。
23. 試推算膽礬1仟克內水之重量。
24. 用鋁粉54克以製高熱熔劑,須混入氧化鐵粉若干克?
25. 由銅32克可以製成膽礬重量若干?

---

[1] Niagara

鋅

505. 冶金 鋅之冶金，理論上甚爲簡單。其主要之礦石爲氧化物，稱爲赤鋅礦（ZnO），及硫化物，稱爲閃鋅礦[1]（ZnS）。硫化物煆燒後，卽生成氧化物：

$$2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 2SO_2\uparrow$$

氧化物與細煤屑相混和，而置瓦器甑中加熱之，使還元成鋅：

$$ZnO + C \rightarrow Zn + CO\uparrow$$

此金屬沸騰於甚易到達之溫度（918°），故可由蒸餾而與雜質相離析。將甑加熱至充分之熱，而令氣態之鋅通入冷瓦器或鐵製之受器內，卽於其中凝成液體。熔融之金屬於是流入模型中而令其凝固。

晚近由如赤鋅礦之鋅礦取鋅，凡在礦區附近有天然煤氣之供給者，均已採用新方法。煤氣中富有甲烷（CH_4），可代還元時所用之煤。故如：

$$ZnO + CH_4 \rightarrow Zn + CO\uparrow + 2H_2\uparrow$$

此反應發生時之溫度較舊法者爲低，且連續不止。還元後之鋅，則如上述方法由蒸餾以提淨之。

此外另有一法，則鋅由硫酸鋅電解而產生。硫酸鋅由溶解

[1] zinc blende.

礦石於硫酸中而製成。

506. 性質及用途——鋅爲藍白色之金屬。尋常由熔煉廠所得者，略具結晶形而脆。在約 100°C. 之溫度時，具展延性，可碾軋成薄葉。

鋅爲許多合金之成分，如黃銅（銅及鋅）、德國銀（銅，鎳，鋅）、靑銅（銅，錫，鋅）等皆是。金屬本身用途有限。可作除蓄電池以外一切電池之陰極。**鋅皮鐵**（俗稱白鐵或鉛皮）卽爲鐵上塗墁薄層之鋅。將鐵浸入熔融之鋅中，或用電鍍法以製之。

鋅之化合物

507. 氧化鋅及氫氧化鋅——鋅充分加熱後，能於空氣中着火，生成白色氧化物（ZnO）。將氫氧化物或碳酸鋅加熱，亦可製成同一之氧化物。氧化鋅用以製鋅軟膏；亦作製造油漆用之白色顏料（**鋅白**[1]）。製造白色橡皮中，用爲塡料尤廣。加氫氧化鈉於鋅鹽中，卽澱出氫氧化鋅（$Zn(OH)_2$）。氫氧化鋅亦如氫氧化鋁，於酸類或鹽基類中均可溶解。

508. 鋅鹽類——氯化鋅（$ZnCl_2$）由鋅溶於鹽酸而得。蒸發之，卽得白色固體，甚易吸收空氣中之水分（潮解性）。因此有時用作乾燥劑。氯化鋅之溶液，能溶解許多金屬之氧化物，故對於金屬銲接前之表面淨洗，頗爲可貴。電桿及枕木等，用此物

浸過者，其抵抗腐朽及崩壞之作用更強。故氯化鋅在此方面用量殊巨。

硫酸鋅($ZnSO_4$)爲又一種普通之鋅鹽。可溶於水而成透明之結晶($ZnSO_4,7H_2O$)，稱爲皓礬[1]。

鉛

509. 由礦石取鉛——最普通之鉛礦爲**方鉛礦**[2]，乃硫化物(PbS)。自礦石提取鉛，有二種方法：一即於倒焰爐中爲之，一則包括用鼓風爐。今多用後法。

如此取得之鉛，含有許多雜質，致其質堅硬。欲得柔軟之鉛，須去除此雜質。將金屬置倒焰爐內，於低温度熱之，即可。此時生成一種渣泥，含大部分之雜質，設法撇去之。其中之銀，用派克法[3]取除之。此當於次章述之。

510. 性質、用途、及合金——鉛爲質軟色白之金屬，其新切面具有明亮之光澤。當爲空氣所氧化，生黏牢之薄膜，可防護其內部。以其易於切割而彎曲，又以其邊緣易於熔融或銲接，故以製鉛管及電線之包皮。鉛亦可碾軋成薄葉，而用作桶箱，電解池等物之裏襯。其主要用途在製造鉛白油漆[4]及鉛蓄電箱[5]。

[1] white vitriol　[2] galena.　[3] Parkes process.　[4] white lead paint
[5] lead storage battery

鉛爲一種低熔點之金屬，故爲許多低熔合金之成分，如鉛字金[1]（鉛，鋅，銻；舊稱活字金）、銲藥[2]（鉛及錫，亦稱鑞）、及鉛彈（含有砷或銻）。

鉛之化合物

鉛之普通化合物中，鉛元素均爲二價，而生 Pb^{++} 離子。鉛亦生少數四價之化合物；惟無大重要。

511. 鉛之氧化物——密陀僧[3]（PbO），爲鉛之一種黃色氧化物，由鉛熱於空氣中而製得。製造油漆、假漆、及其他鉛化合物時，用途甚廣。密陀僧與甘油之混合物，能結成極硬之質，爲實驗室內有價值之膠合劑。

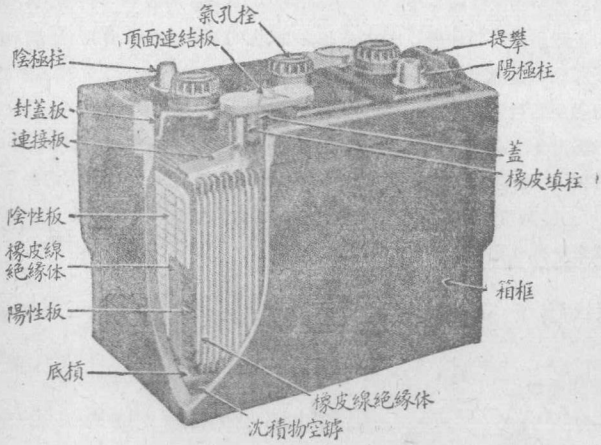
另一鉛氧化物，由金屬鉛或密陀僧於空氣中加熱至切當之溫度（約 400°C.）而成。爲一種紅色之物質，即所謂鉛丹[4]（Pb_3O_4）。作爲顏料，加入油漆中。亦爲亞麻仁油等催乾劑之一。製自鉛丹之油漆，甚多用於鐵工，以其遮蓋力既完善，而價又低廉也。

二氧化鉛（PbO_2）爲棕色之粉末，由硝酸處理鉛丹而成。爲一種強氧化劑，而用以製鉛蓄電箱。

---

[1] type metal. [2] solder. [3] litharge. [4] red lead or minium.

512. 鉛蓄電箱——蓄電箱今日已成爲汽車上點燈及發動設備之要件。又爲電力站蓄電設備之重要部分。蓄電箱非儲蓄電力，以備他日取用之器具，實乃用電能以產生化學反應之設備耳。當此化學反應反向進行，其電池即放出電流。是其充電時，電能即變成化學能，迨其放電時，復可回復成電能也。



第 306 圖　汽車蓄電箱，其剖面部示鉛板

尋常之汽車蓄電箱(第 306 圖)，或爲三池(6 伏特)或爲六池(12 伏特)。每一池中有若干鉛板浸於稀硫酸中。鉛板之一組，稱爲陰性板(－)，爲灰色而含細碎之純鉛。其另一組鉛板，稱爲陽性板(＋)，爲深棕色而蒙有二氧化鉛(PbO_2)一層。一池內所有陰性板均互相連結，陽性者亦然。二組交相夾置，其間介以多孔之絕緣體。每池中陰性板往往較陽性板多一枚。

充電及放電時所起之可逆反應如下。

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \underset{\text{←充電}}{\overset{\text{放電→}}{\rightleftarrows}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

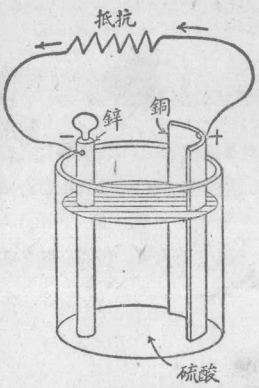
放電時，兩板入於同一情況($PbSO_4$)，而酸因硫酸之耗用更成稀淡。實際上電池從不令其完全放電。充電時將陽電極(＋)連於直流發電機之陽極，鉛板即恢復原來情況，而酸又成較濃矣。

513. 電池——前已見（§160）鋅溶於酸中，卽有陽電荷自氫離子上遷至鋅原子上：

$$Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{++} + H_2$$

設將純鋅一條及純銅一條，置盛稀硫酸之燒杯內，卽成一極簡單之電池。應知純鋅對於稀酸之作用極緩。故鋅與酸之間，僅可見極輕微之作用，於銅則絕無作用。然設將此二金屬條以銅絲連結之（第 307 圖），則當見銅上起無數之氣泡（氫）。如任作用繼續進行若干時，卽見鋅條顯然耗損，而溶液內含有鋅離子。銅則不變，惟自其上釋出多量之氫。若以感電極敏之電表（安計）連結於二金屬條之間，則見有電流自銅（陽極）經過銅絲而流至鋅（陰極）。電解質之離子載運電池內之電，自鋅至銅。是卽利用鋅與酸之化學作用，以發生電流也。電池者，乃令化學能直接變成電能之一種設備也。

取代順序（§459）內，任何二種金屬，置之適宜之電解質內，卽構成一電池，其在順序內較高之金屬爲陰極，較低者爲陽極。順序內任何二金屬相距愈遠，則當用於一電池內時，所生之電壓亦愈大。故此取代順序，有時亦稱爲電動力順序[1]。



第 307 圖　簡單電池

514. 電池內之電子——當上述電池中之鋅生成鋅離子時，每一鋅原子失去二個電子：

$$Zn - 2e \rightarrow Zn^{++}$$

[1] electromotive series.

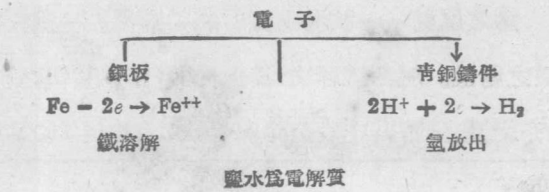
此等電子自鋅經過銅絲而流至銅條上。即於其處供給氫離子變成氫原子及分子所需之電子：

$$2H^+ + 2e \rightarrow 2H \rightarrow H_2$$

如是，構成一完全之電道，電子即可經此電道而於溶液之他方與氫離子相遇，因使鋅之溶入溶液中，即較速於其所反逆之作用。吾人須常切記電流（此名爲電工程上所慣用）之流向，適與電子流之流向相反。

515. 金屬之腐蝕——曩見(§46)氫氣發生器中，如加入硫酸銅，則酸之作用於鋅大速。此其理由，頗足玩味，即爲少許之銅附着於鋅上，而構成無數之局部小電池也。不純粹之鋅及鐵溶解於酸中甚速，而絕對純粹之金屬則極緩，亦此理也。

故可謂金屬器物與水或濕地相接觸而起腐蝕，亦大致係電化學作用。當二種不同之金屬，於有水存在時，互相接觸，即成一電池，而較活潑之金屬起腐蝕。例如船艦之鋼板，凡與數種青銅鑄件（銅與錫之混合物）相接觸之處，鋼幾常起特殊之腐蝕，蓋鐵於取代順序內，位於銅之上也：



凡金屬建築物等，如與水或潮濕之地土相接觸，多有同樣情形之電化學腐蝕作用發生。例如一塊之鐵或鋼，卽單獨放置，亦每作同樣之腐蝕，蓋其表面上，金屬與較不活潑之雜質間，構成無數微小之電池也。在電化學電池內，溶解之作用甚速；然用純水，則作用甚緩，以此時僅存少許之氫離子也。鹽類及氧之存在，足以增進腐蝕之速率。鹽類之作用，在增加導電性（有時因加水分解而增加酸性）。氧之作用，似係與較不活潑之金屬上所釋出之初生氫相反應，因而催進電池之作用。

舍電化學腐蝕外，亦當計及空氣中氧之作用。此項作用直接使生成氧化物，設氧化物之色與金屬不同者，卽稱此金屬起'錆化[1]"。此項作用在鋅及鋁，不易見之，以其氧化物色白如各該金屬。惟在鐵及濕空氣中之銅，則至爲明顯。鋁（§490）在空氣中立卽起薄層之氧化皮，可防護再起氧化。錫、鉛、銅於尋常空氣中錆化甚緩，惟當空氣中存有過量之水分或酸霧時，則作用特速。錫能常保明亮之外觀，殆較任何其他白色之普通金屬均佳，幾不受帶濕氧所作用。

516. 鐵之腐蝕——試將上文所述，應用於一重大之工業問題；卽鐵之腐蝕。絕對純粹之鐵，遇稀酸，作用甚緩，故其受大氣之侵蝕亦絕慢。惟其中設有雜質，如常有之例，卽易構成微

[1] tarnish.

小之電池，使鐵之溶解大速。質言之，不純之金屬，其腐蝕作用每較極純粹者爲速。防止鐵之腐蝕，有三種通用方法。

第一法祇以數種阻禦腐蝕之油漆塗於鐵上，可牢黏不脫，而儘量隔絕空氣、二氧化碳、及水。同法，塗以數種可熔性矽酸鹽之薄層，以代油漆。各種品類之瑯瑯器即如是製之。

第二法即於鐵上塗若鋅（鋅皮鐵）等於取代序內位於鐵以上之金屬。驟視之，較活潑之金屬，反能防護鐵之起腐蝕，寧非奇事。實則鋅既較鐵活潑，則行溶解，而自溶液中釋出氫於鐵面上，故鐵不受侵蝕也。凡有鋅之塗層留存時，則當代鐵而溶解。鐵即因是而受保護矣。

第三法則以較不活潑之金屬若錫（馬口鐵）等塗於鐵面。此時即恃錫之不活潑性，全然阻止腐蝕。凡錫層完美無缺時，則其防護甚妥實也。惟設一且因錫耗損而發生腐蝕作用，則鐵及錫均與微酸性之溶液相接觸，極惡劣之情況不旋踵而至矣。鐵既較錫爲活潑，故行溶解，氫則附於錫面，錫不起變化。故馬口鐵一且起始腐蝕，其破爛較純鐵猶速。

錫

517. 冶金——氧化錫（SnO_2）爲惟一重要之錫礦。錫即由此氧化物與碳於倒焰爐內共熱而產生：

$$SnO_2 + C \rightarrow Sn + CO_2\uparrow$$

將集於爐底之熔錫取出而鑄成錫塊。其後將錫塊再緩熱而熔融之，使純粹之金屬離雜質而流出。

518. 錫之用途——錫爲白色之金屬，柔軟而有展性。純錫即尋常之所謂錫錠[1]。錫對於尋常大氣之侵蝕，抵抗力極大，

[1] block tin.

因此多用作他種金屬之防護層。對於食物內之酸類亦有高強之抵抗力。尋常之洋鐵皮[1]（馬口鐵），即爲鐵皮或鋼皮，浸入熔錫中，塗得薄層之金屬錫者也。此項物料常誤單稱爲"錫"。例如，"錫罐"即由此製成。事實上，由礦石所採得之錫，大部分以供製洋鐵皮之用。

錫紙爲錘擊或碾軋成薄葉之錫。然多數錫紙，常含有多量之鉛。錫用以製許多合金，已見前述。

錫之化合物

519. **錫之兩種鹽類**——錫成兩組之化合物：亞錫鹽其中錫爲二價，及錫鹽，其中錫爲四價。亞錫化合物，具有變成錫化合物之極明確之傾向，故爲強還元劑。例如如三氯化鐵即可爲二氯化錫所還元：

$$2FeCl_3 + SnCl_2 \rightarrow 2FeCl_2 + SnCl_4$$

三氯化鐵　二氯化錫　二氯化鐵　四氯化錫

第三十三章　提要

鋁成氧化物及矽酸鹽產出極廣。其金屬由溶於熔融冰晶石中之氧化物電解而製得。

鋁金屬不爲潮濕或空氣所侵蝕，以其蒙有薄層之氧化物也。

[1] tinware.

能溶於鹽酸及鹼類溶液中。

高熱熔劑爲氧化鐵與金屬鋁之混合物。當其燃燒，在極高之温度時產生金屬鐵。高熱熔劑用於煆接中。

氧化鋁（礬石）用作磨礪料，亦以製人造寶石。

氫氧化鋁作用如酸亦如鹽基。遇酸類生成鹽類，遇鹽基類生鋁酸鹽。某數種重鹽含兩種金屬及一酸根者稱爲明礬類。

黏土大致卽爲矽酸鋁。可焙燒成堅硬多孔之體質。用適當之方法，可以施釉柚層以製瓷器。

銅成自然銅、氧化物、鹽基性碳酸鹽、及硫化物等產出。氧化物及碳酸鹽，可用煤還元之，硫化物則處置較難，且手術繁複。

電解銅由電解而製成，電解時其陽極爲不純之銅板，電解質爲硫酸銅溶液，而純銅則結着於陰極上。

銅之用途——導電體、屋頂、船底蓋板，又爲許多合金之成分，如黃銅、青銅等。

硫酸銅爲最重要之銅化合物。用作殺蟲藥，又用於電鍍，及數種電池中。以斐林溶液檢驗葡萄糖時，生成氧化二銅。

鋅由氧化物爲碳所還元而蒸餾取得。爲黃銅及青銅之成分。用於電池，亦以塗鐵（鋅皮鐵）。

氧化鋅用以製鋅軟膏及油漆中之顏料。氫氧化鋅遇強酸，呈鹽基之作用，遇強鹽基，則作用如酸類。氯化鋅用於銲接前

淨洗金屬，又爲木材防腐劑。

鉛大致成硫化物而產出。其礦石先行煅燒，然後於鼓風爐中還元之。用以製管件、電線之包皮，又用於合金中，如鉛字金、銲藥、及槍彈等。

鉛能成數種之氧化物：密陀僧、鉛丹、二氧化鉛。前二者用於油漆中，後者用於蓄電箱中。

鋅皮鐵腐蝕時較活潑之金屬鋅起溶解；在馬口鐵則鐵起溶解。錫之防護鐵，僅於鐵面塗蓋完密時爲有效。

錫由氧化物爲碳所還元而得。不爲大氣所腐蝕，故用以塗鐵。

錫能成兩組之化合物：亞錫（二價）及錫（四價）。二氯化錫（卽氯化亞錫）由鹽酸作用於錫而製成。用作還元劑。

問題

1. 試寫方程式以解釋鋅冶金中所包括之反應。
2. 氯化鋅溶液對於錫匠有何用途？
3. 油漆中用鋅白優於鉛白者何在？
4. 試舉鉛之三種氧化物之名及式。
5. 試舉鉛之二種用途，並述此項用途所憑依之性質。
6. 鉛蓄電池充電時之化學變化，其方程式爲若何？
7. 鉛蓄電箱放電時，其中電解質之密度有何變化？
8. 何謂鋅皮鐵？
9. 與蘇打水噴器相連之管，何以一般用錫製之？

10. 何謂(*a*)波多混劑;(*b*)黃銅;(*c*)鎂鋁齊;(*d*)堅鋁;(*e*)鉛丹?

* * *

11. 防鐵腐蝕有何三種方法?

12. 如何可以檢驗鋅?

13. 用馬口鐵蓋屋頂有何弊點?

14. (*a*)如何可檢認鉛? (*b*)如何可檢驗水樣內之鉛?

12. 以鉛製水管,優點何在? 弊點何在?

16. 蓄電箱放電時,鉛板間起何變化? 充電時起何變化?

17. 試藉電子說解釋電池內之化學作用。

18. 試就鐵之銹化與鋁之銹化比較之。

19. 二氯化錫($SnCl_2,2H_2O$)遇石蕊試紙呈酸性反應。試作可能之解釋。

20. 試就金屬取代順序所習得之事實,綜賅其大要而述之。

* * * *

21. 80%純粹之閃鋅礦(ZnS)一噸,加以煆燒而後還元之,可得鋅重若干?

22. 還元一噸之氧化錫需焦煤(碳)若干?

23. 將乾氫氣流通過一氧化鉛(PbO)6.69 克上,至完全還元成金屬。當得金屬重若干?

24. 含鋅 22.7%,硫 11.1%,氧 22.3%,水 43.9%之化合物,其最簡單之式爲若何?

25. 某實驗示鋅 0.375 克溶解於鹽酸中,在 15°C. 及 780 毛米壓力時釋出氫 135 立方釐米。試推算鋅之當量。此與原子量之關係爲若何?

第三十一章至第三十三章複習問題

1. 有何三種工業之發展係由於近年汽車之需要所促成?

2. 試作下列諸名詞之定義,並舉例釋之:(*a*)礦石;(*b*)脈石;(*c*)熔劑;(*d*)礦滓;(*e*)還元劑。

3. 電動力順序內之金屬,何者爲古代已知?

4. 在鐵冶金中,每將礦石運至煤區,而不將煤運至礦區。何故?

5. 試討論較近於實用合金內使用鎂及鋁等輕金屬之傾向。

6. 試作方程式以例解(a)製取金屬之可溶性鹽類之四種不同方法;(b)製取其不可溶性鹽類之一法。

7. 試區別某一工業方法之主產品及副產品。

8. 試就鋅、鋁、及銅之銹化與鐵之銹化比較之。此與此項金屬之用途上關係若何?

9. 試概述製造純粹之下列各物之方法:(a)硫酸鉛;(b)乾燥一氧化二氮;(c)氯化銀結晶。

10. 美國有人估計,因鐵之銹化及各金屬之腐蝕,致全國每年損失達一千萬美金以上。試解釋之。如何可以使此損失減少?

* * *

11. (a)試略述產生金屬鋁之工業方法。(b)鋁於空氣中能保持其光亮之外觀,試解釋之。(c)如何可用鋁以自他種金屬之氧化物中產生該金屬?

12. 鐵與鋁何者較難自其礦石取得?查檢此二金屬發現之時日,並察此項時日與上問之答案間有何關係否。

13. 鐵56克與氯71克相化合。鐵56克亦與氯106.5克相化合。此事例解化學上何種基本定律?試述該定律。

14. 試作在下列情形時所起反應之離子方程式:(a)硝酸銀溶液加入氯化鋇溶液;(b)氫氧化鈣爲硝酸所中和;(c)氫氧化銨加入三氯化鐵溶液;(d)鋁浸入硫酸銅溶液。

15. 火爐均用石墨塗刷;金屬器具用油漆;錫罐則由塗錫之鐵皮製之。試討論各該防護方法之效能。

16. 銅在電動力順序中位於氫下,然與硝酸反應迅疾。試解釋之。

17. 試將氧化鋁與二氧化矽就物理性及化學性以比較之。設二者共熱至極高之溫度,當起何現象?

18. 石灰之熔點與由石灰與二氧化矽結合而生成之矽酸鈣之熔點比較若何?此事實在冶金作業上何處成爲特別有用?且如何應用之?

19. 試述在下列各設備內電流之功效係電熱的(加熱),抑電解的(抑二者兼具):(a)石墨爐;(b)製金屬鈉之電池;(c)製氫氧化鈉之電池;(d)磷爐;(e)鋁爐;(f)銅爐;(g)金剛砂爐。

20. 試作下列諸反應之方程式,完全用式:(a)鐵+硫(加熱)⟶;(b)一氧化汞(加熱)⟶;(c)氯酸鉀(加熱)⟶;(d)鋁+三氧化二鐵(加熱)⟶;(e)

氫十一氧化銅（加熱）⟶。各例中明白指出其電子之遷移，並述(*a*)何者被氧化及(*b*)何者爲還元劑。

第三十四章

較不普遍之金屬及其用途[1]

汞——一氯化汞及二氯化汞。

銀之冶金術——硝酸銀——鹵化銀——照相術。

金——產地及提煉——性質——用途。 鉑——性質——用途。 錳——二氧化錳——高錳酸鹽。 鉻——氧化物及氫氧化物——鉻酸鹽及重鉻酸鹽。 鎢、鉬、釩。 金屬之分族。

吾人已習六種較重要之金屬及其化合物若干種。 本章將討論汞，乃在尋常情況下惟一爲液體之金屬，以及三種雖屬習知卻較稀少之金屬——銀、金、及鉑。 其後當略論數種不甚普通卻有一種或多種重要化合物或重要用途之金屬。

汞

520. 產地及冶金—— 此一獨特金屬之主要礦石爲硫化物(HgS)，稱爲**辰砂**[2] 其著名礦地在意大利西班牙及美國之加利福尼亞及塔克薩斯。

汞乃揮發性之液體而不易氧化，故其金屬甚易取得。 將碾碎之礦石與少量之炭相混，而於空氣流內煅燒之。 硫即燃燒成

[1] 第三十四，三十五及三十六章如學程短促，不妨刪略。 [2] cinnabar

爲二氧化硫，汞則氣化而凝結之：

$$HgS + O_2 \rightarrow Hg\uparrow + SO_2\uparrow$$

所得金屬，再行蒸餾以提淨之，裝於鐵瓶內發售，每瓶約容75磅。

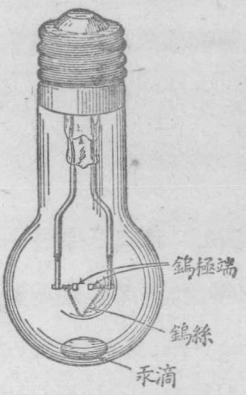
521. 性質及用途 —— 汞卽爲吾人熟知之銀白色之水銀。乃一種液體，重於水13.6倍。

將汞注入玻杯，而置鐵球於其中，鐵（比重7.9）卽上浮。

汞凝固點約 −39° C.，沸點357° C.。與一切金屬幾均能成爲合金（稱爲汞齊[1]）。鐵與鉑爲例外。

與水比較，汞之沸點甚高，故有用於原動力廠之鍋爐中以代水。有裝設一組鍋爐，需汞達250,000磅之多。惟以每磅美金$1.60計，則其蒸氣固屬水蒸汽之極貴昂之代用物矣。

汞蒸氣熱時爲電之良導體。所謂哥白希維特燈[2]乃藉熱汞蒸氣導電流之弧燈。此燈效力極強，惟缺乏紅色光波。所謂太陽燈[3]（第308圖）者，乃一種玻璃燈泡，其中有在兩鎢極端間之電弧並少許汞蒸氣以得紫外或極短之光波。



第308圖　"太陽燈"泡

汞之比重既大，故用以充盛氣壓

[1] amalgams.　[2] cooper-Hewitt lamp　[3] sun lamp

計內，又以其膨脹均勻，故用以裝溫度計內。 供此項用途者，須除淨他種金屬。 在取代順序內居於其上之金屬，可由與稀硝酸共搖盪以除去之。

汞之化合物

522. 一氯化汞，或甘汞[1] ($HgCl$)——此爲三種不可溶性氯化物之一，故可由加一種可溶性氯化物於硝酸亞汞溶液中而澱出：

$$NaCl + HgNO_3 \rightarrow HgCl\downarrow + NaNO_3$$

爲白色固體，常用於醫藥中，以刺激產生分泌之器官。

523. 二氯化汞，或昇汞[2] ($HgCl_2$)——二氯化汞乃劇烈之毒物。 爲白色固體，可溶於水，工業上由食鹽與硫酸汞之混合物共熱而製成。 硫酸鹽由濃硫酸作用於汞以製之。 二氯化汞極稀之溶液用作外科用具之消毒劑。

銀

524. 自礦石提銀——銀極大部分係藉派克法經鉛中脫銀[3]以得之，因多數銅及鉛之礦石中，均附帶有少量之硫化銀也。將熔融之鉛，以少量鋅處理之，從而成鋅與銀之合金，浮昇液面，可撇取之。 此合金中或亦含有金。 於蒸餾甑中加熱之，鋅乃

[1] calomel. [2] corrosive sublimate. [3] desilverization of lead.

揮發性之金屬，可蒸餾出。餘滓內含有鉛、銀、及金，置淺皿中而入敞爐內熱之。鉛卽氧化成氧化物，熔融而流去，結果餘剩熔融顆粒之銀及金。

將此顆粒溶於熱濃硝酸中，卽可使銀與金相分離。銀入於溶液中，成硝酸銀，而金則不起變化。懸銅板於此溶液中，可使析出金屬銀：

$$2AgNO_3 + Cu \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2Ag\downarrow$$

此時金屬之銅則入於溶液中，取代銀之地位。

525. 性質及用途——銀爲熱及電已知之最良導體，其展延性次於金。氧對之無作用，惟銀露於空氣中，因生成硫化物膜層而起銹化。主要用以鑄貨幣、鑲珠寶、作飾品、並食具電鍍等。鑄貨幣時，與約10%之銅作成合金，使其較能抗耐通用時之耗損也。英國銀幣含銀92.5%。此種合金，卽所謂英鎊銀[1]，常用作眞銀食具。

526. 銀之淨洗——銀器每因生一層黑色之硫化銀（§ 187）而起銹化。此種銹痕，尋常可用細磨磋粉擦去之。新法則以銀器置盛有碳酸鈉溶液之鋁器中煮沸。與銀及溶液相接觸之金屬鋁，卽成爲一電池之陰極。銀作爲陽極。鋁於陰極處起溶解，而陽極處則生出氫。氫還元硫化銀成金屬銀。如是，所有硫化銀，卽漸漸盡變成金屬銀矣。其方程式爲：

$$Al - 3e \rightarrow Al^{+++}$$

$$2H^+ + 2e \rightarrow 2[H]$$

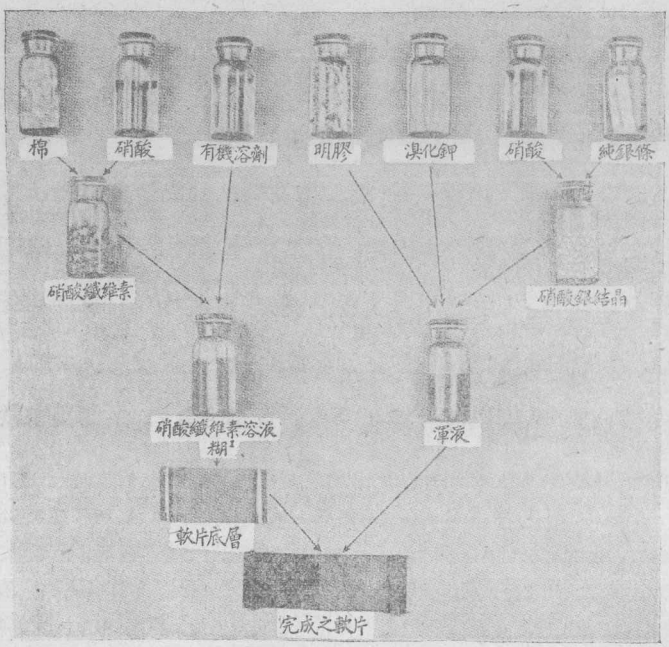
$$2[H] + Ag_2S \rightarrow 2Ag + H_2S$$

[1] sterling silver.

銀之化合物

527. 硝酸銀($AgNO_3$)——溶解銀於硝酸而蒸發其溶液，即易製得此化合物：

$$3Ag + 4HNO_3 \rightarrow 3AgNO_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$



第 309 圖　製照相軟片所用之原料

此物易熔融而不起分解，可製成棒狀（苛性銀筆[2]）。外科上

1 "Dope"　2 lunar caustic.

有時用以蝕消肉疣。又爲他種銀化合物之主要來源。

523. 鹵化銀——每年約有銀150噸，用以製鹵化銀，以供照相術(第309圖)。前已述將可溶性氯化物加入銀鹽之溶液，即生成白色凝乳狀沈澱，即**氯化銀**(AgCl)：

$$AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl\downarrow + NaNO_3$$

同樣可以製得**溴化銀**(AgBr)及**碘化銀**(AgI)。此等銀之鹵素鹽，因其感光性，均見著稱。白色之氯化銀露日光下，即變成紫色。

529. 照相化學——照相之成就，當分爲二步述之：第一步底片之製成，第二步像片之印成。

吾人購得之玻璃乾片或軟片上，係塗有明膠及沈澱溴化銀(有時並有少許碘化銀)。將如此製成之乾片，裝入照相機，使就物像露光，物像由對於攝影物體適度校準焦點之透鏡而成。如此時取視乾片，似未嘗有何可見之效應產生。設進而施行第二步，即所謂顯像[1]，則可辨知露光之乾片上，恰按照各部受光强弱之比例，而開始起還元作用。

顯像時，即將露光乾片置顯像劑溶液中，此溶液含有一種還元劑，如焦性沒食子酸或對苯二酚[3]。顯像劑於乾片感光愈强之部分，作用愈速。還元銀成黑色膜層黏着於乾片上。如是，乾片即成爲凡物體最明亮之部分，片上最黑暗，反之則反是；故此底片稱爲反像[4]或陰片(第310圖*A*)。其不起變化之溴化銀於是由置入硫代硫酸鈉(大蘇打[5])之溶液中而洗除之。此之謂底片之定像[6]。最後洗滌乾燥之。上述全部手術，均須於暗室內或不透光之箱櫃內行之，尤須小心核計時間。

印像[7]時，用感光紙，紙上塗有與照相乾片或軟片上絕相類似之化合物。將底

[1] developing.　[2] pyrogallic acid.　[3] hydroquinone.　[4] negative.
[5] hypo.　[6] fixing.　[7] printing.

片覆於紙上，而令紙露光，務使光能透過底片。如是，明亮及黑暗之部分，又反其道而行，遂復得正像[1]（第 310 圖 B）。印像之顯像及定像與乾片同。印像可以調色，浸於金或鉑之鹽類之溶液中即得。此時銀溶入溶液中，取代此等金屬，而金或鉑則取銀之地位而附着於紙上。金令照相呈紅棕色，鉑則令呈鋼灰色。

A B

第 310 圖　已故愛利烏特[2]肖像。A，反像；B，正像

問　題

1. 汞之提煉及提淨，利用其何種性質？
2. 北極探險人弔之溫度計，何以不用汞？
3. 試說明汞之二種氯化物如何可作倍比定律之例證。
4. 取二氯化汞藥片時，應加何種特別注意？
6. 含有雜質鋅之汞，如何可提淨之？
6. 銀起銹化時，生成何種化合物？
7. 顯像劑之用於照相上，其功效爲何？
8. 底片何以須在暗室內僅淡薄之紅光下顯像？
9. 大蘇打於照相上之功用何在？

[1] positive.　[2] Charles W. Eliot.

10. 照相像片之調色，目的何在？

* * *

11. 甘汞及昇汞均爲白色固體。如何可以區別之？

12. 銀之有用於貨幣、飾品及食具，利用其何種性質？

13. 銀之銹化何以於城市空氣內較速？

14. 銀是用於蛋類何以轉黑？

15. 英幣銀之組成及性質與純銀之差殊若何？

16. 如何可以證明英幣銀中含有銀並銅？

17. 銀、鉛、及亞汞在定性分析上成爲一族。解釋之。

18. 銀之淨洗，可將銀置於碳酸鈉溶液中煮沸，而碳酸鈉溶液則盛於放鋁板一塊之皿中，或盛於鋁器中。試藉電子方程式以解釋此項淨洗作用。

19. 試解釋照相化學，自乾片或軟片之露光至印像之調色。

20. 印像可用銅鹽調色否？

金

230. 採礦及提煉——金幾盡成遊離狀態而產出，常散雜於石英或砂中。提煉之法，卽令其與大量之夾雜物相分離也。有時祇須利用金之遠重於夾雜之他種礦物一點卽可。其產於沖積層者，可置淺盆淘洗砂礫，使較輕之砂，被水沖去，而沈重之金屬則降於盆底，可集取之。正式之砂金採集[1]，則將礦石於水流內沿長槽沖下。金沈於槽底，爲釘於槽底之木條（楔）所擋住。又有一種採礦法，則將礦石置碎石機[2]中碾碎，而令細碎之礦石通過塗有汞之銅板上。汞易溶解金，生成汞齊。自銅板上剝下汞齊，而使汞蒸餾出，與金分離。更有一法稱爲氰化法[3]

[1] placer mining. [2] stamping mill. [3] cyanide process.

用以提取留於尾渣[1]或廢渣中之金。金屬金有空氣存在時，可溶於氰化鈉(NaCN)溶液中，而生成一種化合物，卽亞金氰化鈉($NaAu(CN)_2$)。此溶液內之金，可爲鋅所取代，或由電解而析出。

531. 性質及用途——金爲極重之黃色金屬（密度 19.3 克/立方釐米）。爲金屬中最富展延性者，又爲電之良導體。熔點約 1100°C.。質甚軟，故每與銅製成合金，以鑄金幣及其他金器。純粹之金，稱爲足赤，又稱爲 24 開[2]，用作飾品之金常爲 18 開。

金爲極不活潑之金屬，不爲濕氣、氧、或普通之酸類所侵蝕。能直接與鹵素相化合，故可溶於王水（鹽酸與硝酸之混合物）。**三氯化金**($AuCl_3$)可由金與氯相作用而製成。此物易溶於鹽酸中，生成氫金氯酸($HAuCl_4$)，金溶於王水中亦得此物質。此酸能起離解，生 H^+ 及 $AuCl_4^-$ 之離子。

金之主要用途，迄今爲貨幣及匯兌之標準，世界各國幾均採用之。金可錘成薄葉（金箔），薄至僅 $\frac{1}{25000}$ 英寸之厚，用以包飾。氫金氯酸之鉀鹽($KAuCl_4$)用於照相調色。於鈉及金之複氰化物槽浴中，用金爲陽極，可令電鍍於銀或他種金屬上。

[1] tailing [2] carat.

鉑

鉑俗稱白金，成遊離狀態而存於沖積砂中，以俄國烏拉嶺[1]下之溪流爲最著。鉑常與鐵及鉱二種金屬混雜產出，其分離手續至爲繁複。

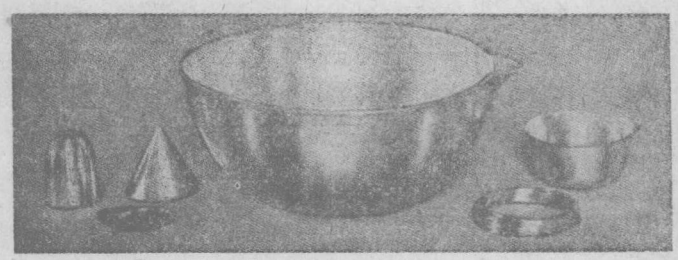
532. 性質——鉑爲帶白色之重金屬，易展延。熔點頗高(1800°C.)，惟於本生焰內不能熔融。其所能受侵蝕之藥劑甚少，然可溶於王水中，生成氫鉑氯酸(H_2PtCl_6)，如金然。

氫鉑氯酸之銨鹽燃燒後，卽餘留多孔質之鉑，是爲鉑海棉[2]。設將石棉浸於氫鉑氯酸中而加熱之，其表面卽佈有此項海棉狀物。如是所成之物，稱爲鉑石棉[3]，有用於數項工業上，蓋鉑海棉及鉑石棉均爲氣體反應上極強有力之觸媒。鉑黑粉[4]者，乃以一種還元劑作用於鉑鹽溶液而製成之鉑粉也。鉑黑粉亦爲一種良好之觸媒，常用其乾燥者，或其懸浊於一種液體內者。

533. 用途——鉑之熔點既甚高，且大多數化學藥品均不能侵蝕之，故爲實驗室內之有用物料。作成絲或坩堝(第 311 圖)而用之。其膨脹係數與玻璃同，故昔時凡需熔嵌金屬絲於玻璃器件中時，向卽以此物爲之。如用銅絲，則玻璃必易炸裂，蓋

[1] Ural Mountains.　[2] platinum sponge.　[3] platinized asbestos　[4] platinum black.

冷卻時銅與玻璃收縮率不同也。鉑之此一用途，今已放棄而用充白金（§475）代之。鉑雖熱時亦不爲空氣所氧化，故又曾用於電具中作接觸端。惟今爲鎢所取代，蓋後者質既堅硬而價又低廉也。鉑有用以製戒指及其他飾品。今日（1933）其市價幾同於金。



第 311 圖　實驗室用之鉑坩堝、圓錐、皿、及紗

錳

錳之特點，在其能生成許多之氧化物。其意卽錳能生成原子價各各不同之多種化合物。有數種內，錳之作用若一金屬，而生成陽離子，又有數種內，則成爲陰離子之一成分。其化合物既不勝多，自非本書所能備述。

亞錳鹽中錳元素爲二價，均作粉紅色。略與亞鐵鹽相當。錳之其他化合物，以含有氧者爲重要。

534. **二氧化錳**——此物質遊離產於自然界中，卽所謂軟

錳礦[1](MnO_2)。爲一種強氧化劑。前自鹽酸製氯曾用之：

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + 2H_2O + Cl_2\uparrow$$

當見在此反應內，錳之原子價自 4 變而爲 2。二氧化錳亦用於製造乾電池。在黑色油漆製造上用作氧化劑。

金屬錳及其與鐵之合金（鐵錳齊[2]），可由軟錳礦爲鋁還元而製成之（哥氏法）。錳於製造特種鋼亦有若干用途。

535. 高錳酸鹽 —— 二氧化錳與氫氧化鉀及一種氧化劑（如硝酸鉀）共熱時，即得綠色之熔質。用水抽取，可得錳酸鉀(K_2MnO_4)之溶液。將綠色溶液用水沖淡，即變成紫紅色，而澱出二氧化錳。蒸發紫紅色液，可得高錳酸鉀（$KMnO_4$）之針形結晶。此鹽溶解時，生 K^+ 及 MnO_4^- 之離子。爲一種極強之氧化劑，易放出氧以給與他物質，而生成二氧化錳或一種亞錳鹽。高錳酸鉀於實驗室內用作強烈之氧化劑，於醫藥上作爲消毒劑及防腐劑。

鉻

鉻爲居週期表第 VI 團，而位於一長週期之中央之金屬。亦能生有多種不同原子價之鹽類，如錳然。其原子價較高者，成爲氧化酸之陰離子之一成分。

[1] pyrolusite.　[2] ferro-manganese.

536. 氧化物及氫氧化物——鉻有兩種重要之氧化物：綠色三氧化二鉻(Cr_2O_3)，及紅色鉻酸酐(CrO_3)亦稱鉻酐。前者爲一鹽基即三氫氧化鉻($Cr(OH)_3$)之酐。由此鹽基，可製成各種之鉻鹽，其中以硫酸鹽($Cr_2(SO_4)_3$)爲重要。三氫氧化鉻($Cr(OH)_3$)可由硫酸鹽起沈澱而製成，於染色上用作媒染劑(§544)。

金屬鉻可自天產之三氧化二鉻用鋁還元(哥氏法)而取得。鉻用於製造特種鋼，如錳然。

537. 鍍鉻——化學家能由電解以鍍着金屬鉻，已歷多年，然於尋求製成厚層鍍着而可堅牢黏附之適當情況一問題，直至最近始得解決。欲鍍之物件，先鍍以銅，然後鍍以鎳。俟結果所得之表面經適當配備後，即以之置鉻酸溶液中作爲陰極。陽極爲鐵板或鉛板。溶液中亦須存有若干硫酸根離子。鍍鉻之面，如吾人於汽車另件及鉛管裝置等所習知者，均極光亮，不易銹化或起痕。

538. 鉻酸鹽及重鉻酸鹽——鉻酸酐(CrO_3)易溶於水，而成鉻酸(H_2CrO_4)。此酸之鹽類，稱爲鉻酸鹽。鉻酸鉀(K_2CrO_4)爲黃色結晶形固體，可溶於水。鉻酸鉛爲不可溶性固體，乃一種黃色顏料，前已見之。

重鉻酸鉀學名一縮二鉻酸鉀($K_2Cr_2O_7$)，由鉻酸鉀之溶液

於有硫酸存在時蒸發而生成：

$$2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$$

重鉻酸鉀之異於鉻酸鉀，僅相差一分子之鉻酐（K_2CrO_4, CrO_3）。用以鞣製皮革。鉻酸鹽及重鉻酸鹽於酸溶液中均爲強氧化劑，當被還元成鉻鹽。二者於實驗室內均用作氧化劑，工業上亦有作此用者。重鉻酸鉀又用於鞣製淡色皮革方法中，以其有還元劑存在時，即於皮革間澱出三氫氧化鉻也。鉻酸酐於濃硫酸中之溶液，大致爲鉻酸與硫酸之混合物。此物於實驗室內常用作清淨溶液，以其易於溶解油膩及其他物質也。

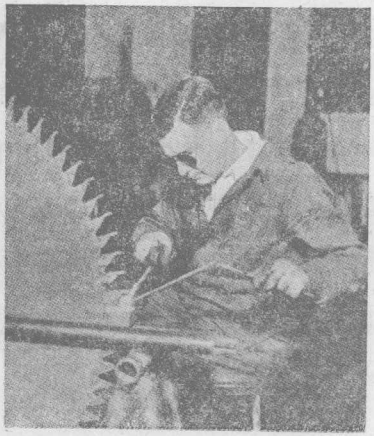
鎢　鉬　釩

此三金屬，亦如錳及鉻，能生成多種不同原子價之許多化合物，且有呈酸性者，有呈鹽基性者。其主要用途，即以製特種鋼。純粹之金屬本身，甚鮮製之。其合金，所謂鐵齊，含鐵約50%者，均有重要之用途。此等金屬在鋼鐵工業上之地位，前已述之（§475）。

539. 鎢——鎢成爲鎢錳鐵礦[1]（$Fe, MnWO_4$）及重石[2]（$CaWO_4$）而產於自然界，我國湘贛粵產量甚富。爲白色之金屬，用以製高速鋼（第312圖）。熔點極高（約 3000°C.），故爲

[1] wolframite.　[2] scheelite.

電燈泡中燈絲之極佳原料。此金屬可拉成極細之絲，仍甚強固。鎢絲燈所耗之電流，僅約及舊時炭絲燈之三分之一。鎢又以替代汽車振片上之電接觸端所用之鉑。



第 312 圖　用氧炔炬於鋸齒上銲接特種鋼合金

鎢與碳化合而生成碳化物，爲結晶形物質，其堅硬幾與金剛石同。輓近有將此項結晶嵌入金屬鉆中而製成一種車牀工具。以商品名碳鎢齊[1]著稱，用以在硬玻璃上刻線。

540. 分析上金屬之分族——前此已見(§162)種種之金屬生成不同之不可溶性化合物。例如銀、鉛、及亞汞鹽類，生成不可溶性之氯化物。依據某數種鹽類之不可溶性，已制成金屬定性分析[2]之體系。金屬可藉試劑而分族，某種試劑使某族中一切金屬之一種鹽類盡起沈澱。此種分族法，對於吾人分析含有任何一種或全部普通金屬之溶液，甚爲便利，先將溶液之成分分爲各族之後，即可施行較特殊而複雜之方法，以檢定該族中有

[1] carboloy.　[2] qualitative analysis.

何特種金屬存在。

第三十四章　提要

汞祇須將硫化物煅燒即得。爲重沈之液體，用於氣壓計及溫度計內。

甘汞即一氯化汞，用於醫藥中。昇汞即二氯化汞，爲致命之毒物，其極稀之溶液，用作消毒劑。

銀大部由派克法鉛之脫銀而得。於大多數用途上與銅製成合金。

硝酸銀由溶解銀於硝酸中而製成。用以製他種銀化合物。鹵化銀均爲不可溶性化合物，具有感光性。

照相乾片塗有溴化銀，溴化銀露光後，可爲顯像劑所還元。其未還元之銀鹽，爲硫代硫酸鈉所溶解。印像成於塗有鹵化銀之紙上。

金遊離產出，由機械的分離法、混汞法、或氰化法，以自夾雜之岩石中取得。金爲重而軟之易展性金屬。常與銅製成合金，以增其耐耗力。於大多數藥劑中均不溶解，而可溶於王水中，生成氫金氯酸。

鉑產於自然界中與相類之金屬成爲合金。極重，熔點高，能與之作用之化學藥品甚少。可溶於王水，生成氫鉑氯酸。細粉

之鉑爲氣體反應上良好之觸媒。

錳生成多組之化合物，其中原子價各各不同。二氧化錳（軟錳礦）產於自然界。高錳酸鹽爲強氧化劑。

鉻生成二種氧化物：Cr_2O_3爲鹽基性，CrO_3爲酸性。前者與鉻鹽相當，後者與鉻酸相當。鉻酸鹽及重鉻酸鹽均爲強氧化劑。

鍍鉻較善於鍍鎳，以其不起銹化，且極堅硬。

鎢、鉬、釩之製成鐵齊者，均用於製造特種鋼。電燈絲用鎢製之。

金屬可以分族，卽利用某數種化合物之不可溶性。此種由加以不同之試劑而分金屬成諸族之法，爲定性分析體系之基礎。

問題

1. 試述自金礦中提煉金之三種方法。
2. 金之提煉中用汞，係利用其何種性質？
3. 化合物大用之一，卽爲用氰化鈉於金之提煉。如何使用之？
4. 二氧化錳之數種用途，係藉其何種性質？
5. 何種反應曾用二氧化錳爲觸媒者？
6. 人類最早使用之金屬爲金及銀。試述其故。
7. 何種金屬具有最大之密度？具有最高之熔點？
8. 鉑溶於王水中時，生成何種化合物？金溶於王水中時？
9. 試有一溶液含有硝酸銀、硝酸亞汞及硝酸銅。如何可使銅與其他物質相分離？
10. 試舉二種熔點低之金屬，又二種熔點極高之金屬。
11. 鎢因有何種性質，而適用於電燈絲？

12. 試舉下列各物之化學名及式：(*a*)甘汞；(*b*)苛性銀筆；(*c*)軟錳礦；(d)辰砂；(*e*)昇汞。

13. 下列諸金屬何處見有較重要之礦藏（一種或多種）：(*a*)金；(*b*)汞；(*c*)鉑；(d)釩？

14. 化學實驗室中通用之"清淨溶液"如何製成之？此液對於何種之物尤爲合宜？

15. 何以近數年來鉻鎢之爲用激增？

*　　*　　*

16. 試作關於(*a*)金及(*b*)金剛石所用之"開"之定義。

17. 金與黃銅如何區別之？

18. 試設計分離銀與金之方法二種。

19. 試設計一種化學方法以測定一金幣內或一金首飾內金之百分率。

20. 如何可自三氯化金中收回金？

21. 試作氫鉑氯酸爲熱所分解之方程式。

22. 實驗室之坩堝，用鉑較用金爲優之處何在？

23. 用鉑器時應加何種注意？

24. 取細鉑粉臨氫氣之噴口，可令氫燃燒。試解釋之。

25. 錳酸鹽類與高錳酸鹽類何者較爲穩定？

26. 試作鹽酸爲高錳酸鉀氧化之方程式。假定錳量後成爲二氯化錳。

27. 我國輸出錳及鎢。須輸入何種金屬？

28. 二氧化硫之一種通用檢驗法（以與氯化氫等氣體相區別），即以之與高錳酸鉀之溶液共搖盪，或通過該溶液。如紫色消除，則該氣體爲二氧化硫。試解釋之。

29. 鉻酸鉀與重鉻酸鉀間，其組成及性質之異點爲何？

30. 高速鋼常含有鎢。試解釋之。何謂碳鎢齊？何以此物可替代鎢鋼？

*　　*　　*　　*

31. 含 HCl 20% 之鹽酸（比重 1.1）50 立方釐米，與過量之金屬錳起反應，可得氫若干立方　米（標準情況）？

32. 自 100 磅之軟錳礦可製得高錳酸鉀（$KMnO_4$）若干磅？假定礦石中之錳全行用盡，而該礦石係含 85% 之二氧化錳（MnO_2）。

33. 溶鉑 4.10 克於王水中，可得氫鉑氯酸（H_2PtCl_6）若干克？

34. 自 1 仟之克三氧化二鉻（Cr_2O_3）用哥氏法以取得所有之鉻，需用去鋁粉

若干克?

35. 銅與銀之一種合金,重 2 克,溶於稀硝酸中,而加入過量之鹽酸。如是澱出之氯化銀重 2.2 克。試計算合金中銀及銅之百分率。

進究題材

照相化學——照相乾片究如何造成?露光時起何變化?顯像槽內通用何種顯像劑?何故?定像、洗滌、乾燥時,應加何種注意?藍圖印像、銀印像、鉑印像、及炭印法之化學爲若何?(Louis Derr's *Photography for Students of Physics and Chemistry*, *Chemistry in Industry*, Vol. 1; 照相用品製造廠之特種小册子,如柯達克之 *How to Make Good Pictures*.)

工業上之稀有元素——輓近學術進步,向所視爲僅具科學的意味之若干稀有金屬,今因明其所具之性質,使其一躍爲工業上極占重要之物質。是此等物質之科學的研究,已有相當之報酬。何種稀有元素在工業上屬重要?各有何用途?(Slosson's *Creative Chemistry* and Duncan's *Chemistry of Commerce*.)

第三十五章

染料及漆料

顏色之關於其物理的及化學的方面，

染料——藍靛及茜素——媒染劑——澱色質——煤焦油產物。

漆料——水繪料——蟲膠漆及假漆——油漆——噴漆——顏料、鉛白、鋅鋇白、及其他普通顏料。

顏色物質之化學，實用上及科學上俱見有重大之意味。人類自有嗜愛美麗顏色以來，適宜之染料[1]及漆料[2]之尋求，即與時俱進。最初限於自然物質，——無機及有機——而應用此等顏色於陶器、織物、石器、木器上之技術，亦徐徐由嘗試及謬誤之方法而發展。數百年來，此項技術，固已多更張與改良。自吾人有解乎化合物之若干事項，對於舊時色質之製取及應用，宜有以謀較佳之方法矣。迨至最近五十年，因化學之長足進步，合成衆多之新染料及顏料[3]，幾盡取舊時色料之地位而代之。

541. 關於顏色物理學有趣味各點——由玻璃稜晶之實驗及迴折格子之實驗，知白光乃相當於光譜中不同顏色之不同波長[4]之光所組合而成。設有一種液體，其透過一種可目覩之光，

[1] dyes or dyestuffs. [2] paints. [3] pigments. [4] wave lengths.

較易於其他各種，則於吾人眼簾呈顯有色。設白光投射於極平滑之物面，則可成一縷之光而反射出，如玻鏡卽其例也。然於大多數之物面，均成分散反射[1]（亂反射[2]）。按物面之物理的或化學的本性，或有一種或他種波長，大部爲所吸收，而不起反射者。此時其物面卽呈顯有色。如一切可目覩之光，均被吸收，物面卽成黑色；設均作同等角度之反射，則物料爲白色或灰色。是可知物面對於所反射散光[3]之量及光之波長，均容有變異。藉特種之分光器，可量計此項顏色之量。故漆料及染料之使用者，今亦知利用確切之科學術語，以標別其原料及成品矣。

542. 顏色化學 —— 物質之可反射或透過有色之光，或則由於其物理的情況使然，或則由於分子（或離子）之固有的（化學的）本性而然。膠體液之色卽所謂物理色[4]之一例；如紅寶石色玻璃[5]（膠體金）前已述之矣（§374）。許多澱色質[6]之藍色或綠色，亦由於膠體物而來，而蔚藍之天空，今已知其乃由於大氣中分散之膠體物。設此種生種種顏色之膠體物，能設法集成一堆，則將見其與膠體液之色截然不同。

前已見（§304）週期表內長週期中段各元素，每具有有色之離子，而與無色元素生成有色之化合物。本章將見此項通則之

[1] diffuse reflection. [2] scattered reflection. [3] diffuse light.
[4] physical colour. [5] ruby glass. [6] lakes.

許多例證。有機化學家查知碳原子與氮原子數種特殊之集結，使一種化合物呈顯顏色。而關於此方面之科學，今已發展至能預測向未製過之某一化合物之色度[1]，頗爲準切。如是則新有機色質（染料）之製得，已非復反覆嘗試之方法，實已按科學法則而直前邁進矣。

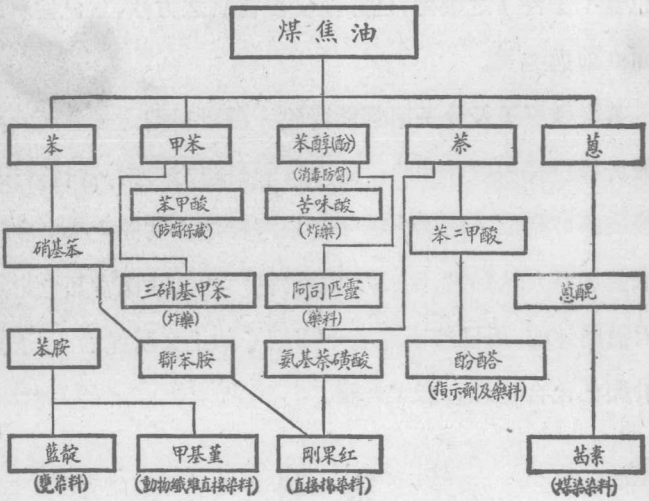
某數種原子及分子何以能吸收一種可目覩之光，而有許多則無此種選擇吸收作用[2]？此一科學問題之答案，當留待來日。最後或終可藉原子結構之電子說以解釋之。其間化學家與物理學家對於吾人已知者，隨時增加新得。故彼輩雖當顏色之基本原因猶屬神祕，而已能表述若干通則（如上文所述者），予吾人對於顏色化合物以豐富之知識。

染　料

施加顏色於織物，稱爲染色[3]。染料者，卽能直接或藉一種無色化合物卽所謂媒染劑[4]，牢着於織物之有色物質也。今日所用之種種染料，均屬製自煤焦油之複雜有機物質（第313圖）。其式之複雜，非本書所能備論。其最重要而有意味之二種，爲茜素[5]及藍靛[6]。數百年來，此二物質均取自植物。至十九世紀

[1] shade.　[2] selective absorption.　[3] dye.　[4] mordant.　[5] alizarine.　[6] indigo.

之下半葉，化學家發見其分子之結構，而經多次之實驗，設法自煤焦油中製取之。藍靛之結構，爲德人拜耳[1]（第 314 圖）所確立，拜耳在當時允爲最聞名之有機化學家。

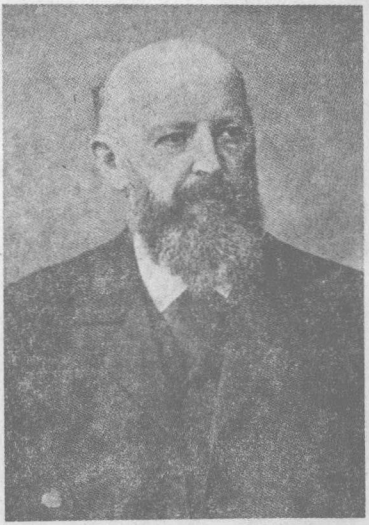


第 313 圖　自煤焦油所得一部分產物之圖解

543. 藍靛爲深藍色之粉末，於一切溶劑中幾盡不可溶。然可還元成可溶性化合物。設將衣物浸以此項還元之藍靛，而後露於空氣中，則氧化而重生藍靛，令衣物染成極永久之藍色。此卽應用染料之一種重要方法（甕染[2]）之例也（第 315 圖）。今日又製成許多顏色不同之新化合物，其染色之性質與藍靛相類者。此等甕染染料[3]多用於染棉。

[1] Adolf von Baeyer.　[2] vat dyeing.　[3] vat dyes.

染料多可溶於水中者，當以衣物置此種濃色溶液中，染料卽牢着於衣物上。此乃直接染法[1]，動物性織物（絲及毛）以此法尤易染色。例如將絲或毛之織物一塊，與苦酸之溶液共煮沸，卽可染成淡黃色。考染料與衣物間之結合，雖吸着作用（§372）無疑占有重要關係，然大多數屬於化學的化合也。



第 314 圖　拜耳(1835—1917)
著名之德國有機化學家；確立藍靛之結構

544. 媒染劑 —— 有色物質有多種須與一種稱爲媒染劑之金屬氫氧化物同用，方可作爲染料。茜素卽爲一種媒染染料[2]。此物爲黃色之粉末，當懸浮於溶液中時，與新澱出之氫氧化物起反應而生成不可溶性之有色化合物。此種化合物稱爲澱色質，製造漆料時用之（§553）。

設氫氧化物（媒染劑）有染料存在時澱積於衣物上，則足令色質牢着於織物。故媒染劑者，乃一種與染料化合而生成有色化合物之物質，同時亦爲織物所牢持。換言之，媒染劑在染

[1] direct dyeing.　[2] mordant dyes.

料與織物間實有如泊錨之妙用。氫氧化鋁、氫氧化鐵、二氫氧化錫、及四氫氧化錫、均屬普通之媒染劑。先將織物用金屬之鹽類處理，而後用染料溶液處理，最後用蒸汽蒸之。水蒸氣足令鹽類起加水分解，而澱出氫氧化物。

第 315 圖　染疋頭之染色工場

染料有因媒染劑之不同，而所生顏色亦互異者（例如茜素即是），故一次染色時，可於同一衣物上染成各色花樣。法將衣物各部，按照所需花樣分別浸以各種不同之金屬鹽，當此衣物與染料共煮沸，即呈現彩色之花樣。其色樣與所用之各種媒染劑相當。

545. 四氯化錫（$SnCl_4$）作爲媒染劑——金屬鹽之最常用作媒染劑者，爲鋁、鐵、錫之鹽類。首二者前已述之（§480）。四氯化錫，爲錫之普通鹽類，由氯作用於馬口鐵以去除錫之方法製成大量：

$$Sn + 2Cl_2 \rightarrow SnCl_4$$

此物爲無色之液體，於空氣中發煙，遇水卽生成結晶形涵水物，商品每卽爲此物。

四氫氧化錫 ($Sn(OH)_4$) 由氫氧化鈉加於四氯化錫之溶液而澱出：

$$SnCl_4 + 4NaOH \rightarrow Sn(OH)_4 \downarrow + 4NaCl$$

此項氫氧化物具有酸性較鹽基性尤爲確定，故有時稱爲錫酸。此物易溶解於過量之氫氧化鈉，生成錫酸鈉：

$$Sn(OH)_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SnO_3 + 3H_2O$$

錫酸之成爲鹽類者，廣用於製造絲製品。將絲織物用錫鹽之溶液處理，而後用氫氧化鈉處理。結果織物卽飽漬四氫氧化錫，此物成爲一種固態膠體而遍佈於織物纖維間。遂使貨品獲得所需之重量及光澤。棉製品經同樣之處理，可令其成爲不可燃性。棉及絲所能攝取而牢持之錫酸，其量甚堪驚異。絲每可含二倍其本身重量之成爲錫酸之金屬錫。

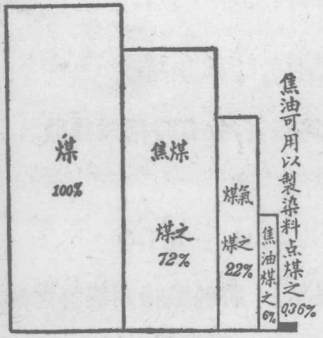
有數種含有鹽基團者，爲毛及絲之直接染料，於棉則否。如欲用於棉織物時，須先將織物浸以鞣酸(一種天產物)，鞣酸於此項染料，作用亦如媒染劑。

於溫熱之孔雀石綠[1]或瑪琴紅[2] 1% 之溶液中，置入下列諸種織物各一條：毛、

[1] malachite green.　[2] magenta.

絲、棉（先浸過 5% 之鞣酸者）。經數分鐘，取出以肥皂及水洗透。除未經媒染之棉料外，均能上染。

546 可貴之煤焦油產物——製焦煤時（第 316 圖）所得焦黑而稠厚之副產物，含有少量之某數種碳化氫，稱爲**芳香族化合物**[1]。此等碳化氫可由蒸餾法，而自焦油中析出。自此等物質中，可製得大宗甚有價值之物，今日所用之染料，盡在焉。醫藥製品、[illegible]料）、照相顯像劑、乃至炸藥（例如苦酸亦稱炸藥酸）亦均自此芳香族烴製得。故藥料及染料每稱爲"煤焦油產物"。然愼勿以爲焦油中存在現成之藥料或染料，而僅須設法以提取之。遠非若是簡單。煤焦油產物之製取，先以一種芳香族烴（由煤焦油製成）爲出發點，由此經精密詳愼按步就班製成大宗之化合物，最後始生成一種化合物，卽所需之染料或藥料。茲將重要之煤焦油烴表列如次：苯（C_6H_6），甲苯（$C_6H_5CH_3$），二甲苯[2]（$C_6H_4(CH_3)_2$），均爲液體，常用作溶劑；萘[3]（$C_{10}H_8$，亦稱骈苯，爲一種固體，卽普通市售之樟腦丸）及蒽[4]（$C_{12}H_{10}$），亦爲一種固體。



第 316 圖　蒸餾煤所得副產物之比量之圖解

[1] aromatic compounds. [2] xylene. [3] naphthalene. [4] anthracene.

漆料

547. 其二種主要成分——染料之使用，最初自在使衣物之加增悅目，令人發生美感。至於漆料之使用，則目的既在裝璜，又以防護侵蝕及腐敗。凡屬漆料，均由一種**展色料**[1]（或媒液[2]）及一種**顏料**所組成。展色料爲一種液體，其薄層露於空氣中，多少易變成柔韌而透明如角質之物料。此其變化，或爲液體起氧化之結果，或其中一種成分蒸發之結果。油漆料[3]因氧化而"乾燥"。水繪料[4]、硝棉漆[5]（噴漆[6]）、及酒漆[7]（蟲膠漆[8]），則均由一種成分之蒸發而乾燥。顏料爲漆料中之固體部分，常加之於展色料中，使得所需之顏色。

水繪料中之展色料爲膠及水。水蒸發後，顏料卽留存於固體膠層內。有數種之水漆[9]，由一種露於空氣中卽徐徐變成不可溶性之膠製成。此種水漆，不再爲水之作用所影響。

蟲膠漆及假漆[10]由天然樹膠及人造樹脂所製成。不用顏料。最精良之假漆由化石樹膠與油類共熱而製之。其乾燥大率藉氧化作用。蟲膠，乃由熱帶某種樹上許多小蟲所產生之一種樹膠。

---

[1] vehicle. [2] medium. [3] oil paints. [4] water colours. [5] pyroxylin paints. [6] lacquers. [7] spirit varnishes. [8] shellac. [9] water paint. [10] varnishes.

溶於酒精中，將其溶液蒸發乾燥，即餘剩一層之蟲膠漆。酒漆乃他種樹膠於種種溶劑中之同類溶液。

548. 油漆——有數種植物油，能吸收氧，其結果生成一種極強韌，不透水而透明之物質。塗油一層於物面，而放置數日，即起此變化。此等之油，稱爲**乾性油**[1]（雖其作用實非乾燥）。就中以桐油及亞麻仁油[2]最爲重要。

催乾劑[3]乃鉛、錳、鈷製之肥皂等之物質，加入油漆中，以催速油之氧化者也；其作用爲觸媒性。

油漆中之**顏料**，乃能反射多量光線（即極不透明）之物質。尋常均爲白色物質，如鉛白。設欲得有色油漆，則加入有色顏料。**油漆**往往用**松節油**[4]（由數種松樹所得之漿汁）沖薄，蓋既可藉其觸媒作用，又藉蒸發，以促進油漆之乾燥也。

549. 噴漆(硝棉漆)——此名專用於乾燥迅速之油漆，歐戰後盛用於汽車工業。其中所用顏料，與油漆中者幾相同。惟其展色料則爲**硝棉**[5]（可溶性硝酸纖維素，§437），及數種沸點極高之有機液體（黏軟劑[6]）於有機溶劑之溶液。溶劑蒸發後，即餘剩硝棉及黏軟劑，成爲強韌而不透水之一層。此種油漆，由蒸發而乾燥，其作用非常迅速。因展色料之性質，硝棉漆之塗裝常

[1] drying oils. [2] linseed oil. [3] dryers. [4] turpentine. [5] pyroxylin. [6] plasticizer.

用噴射法（第 317 圖）或浸漬法。此法較用刷帚塗裝者既低廉而又迅捷。此種噴漆，今於汽車及家具業廣用之。金色及銀色噴漆則爲青銅粉或鋁粉在硝棉溶液中所成之浴液。

此項新發展之工業，所用溶劑甚多。其中可舉二種有機酯述之，即：醋酸乙酯（§438）及丁醇之醋酸酯，後者由玉蜀黍經特殊之發酵而製得。所用溶劑與黏軟劑之結合物，務求其蒸發迅速，但亦勿過速，而結出一層不起皺縮之硝棉漆。

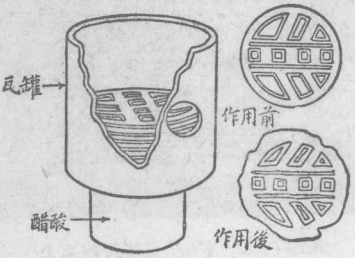
第 317 圖　噴射快乾漆於汽車上

550. 白色顏料——§548 中所述之白色顏料可作爲油漆及噴漆之漆底，而油漆之所謂遮蓋力即特此物。**鉛白**爲最古之物，今猶多沿用之。**鋅鋇白**[1]爲較新之製品，使用甚廣。**氧化鋅**或鋅白（ZnO）爲另一種重要之白色顏料。硫酸鋇（重晶石）、碳酸鈣（白料[2]）、及硫酸鈣（石膏）常用以混入他種白色顏料。統稱爲攙和料[3]，以其供沖稀密厚之顏料，其本身之遮蓋力則甚弱也。

55. **鉛白**（$Pb(OH)_2,2PbCO_3$）——此物實製自氫氧化鉛

[1] lithophone.　[2] whiting.　[3] extender.

與碳酸鉛（稱爲鹽基性碳酸鉛）。爲質重之白色不可溶性物質。用鉛白之缺點，卽其與硫化氫相接觸，因生成黑色之硫化鉛（PbS）而轉黑。城市空氣中，每存有少量之硫化氫，故白色油漆，常轉成黝暗。氧化鋅及鋅鋇白於此點上勝於鉛白。含鋅之白色顏料不轉暗，蓋硫化鋅本身亦爲白色也。



第 318 圖　鉛白棚及瓦罐

鉛白之製法甚多，但均賴於有醋酸等之弱酸存在時，由水、空氣、及二氧化碳之作用於金屬鉛。舊荷蘭法，今仍沿用之，可得極優良之製品。法將鉛棚[1]置瓦罐中，如第 318 圖。罐底盛稀醋酸（醋）。於是將罐埋置潮碎樹皮或肥料堆內（第 319 圖）。肥料或樹皮中有機物之分解，生二氧化碳及水分，同時亦放出熱力。此時稀醋酸之蒸氣卽侵蝕溫熱之鉛，而生成醋酸鉛，二氧化碳及水，則與之反應而產生鉛白。經三四月之後，鉛完全被腐蝕，其原來地位均成爲鉛白。此時將已成之顏料與未變化之鉛相分離（第 319 圖）。於是研磨而篩過。最後和入亞麻仁油而研磨之，成稠厚之油漿發售。今有用數種較新之方法者，在較短之時間內起同樣之反應。

55. 鋅鋇白 —— 硫酸鋇與硫化鋅之一種混合物（鋅鋇白），由硫化鋇作用於硫酸鋅而製成：

$$ZnSO_4 + BaS \rightarrow ZnS + BaSO_4$$

鋅鋇白遮蓋力既大，且無毒，遇硫化氫亦不轉黑，故用作牆壁油漆甚廣。

[1] lead buckle.

第 319 圖　於罐中裝入鉛柵（左）及醋酸（右）

553. 有色顏料——向所用之顏料，全屬原來有色之礦物。其中多數今仍用之，尤以畫家所用貴重之油繪料及水繪料。自包括入工業上製成之有色化合物，及製自種種合成有機染料之澱色質（§544）後，顏料項目乃大增。鉻、鐵、銅等元素，居週期表第一長週期之中段者（第346頁），其成爲化合物產出者均較豐多，而均可生成極有價值之顏料。鉛及汞（居第二長週期中）之化合物亦有用之者，特汞化合物供尋常之油漆用，價值過昂耳。燈烟或炭黑粉，幾爲一切黑色油漆之色底。

羣青[1]由矽酸鋁、碳酸鈉、硫酸鈉、硫、木炭共熔和而製成。

[1] ultramarine

其所以呈藍色者，當由於硫於固體中之一種膠淀體而然。此物外觀上，與貴重之礦石琉璃[1]絕同。

554. 顏料之他種用途——多數顏料用以製有色印墨。此項印墨乃顏料於亞麻仁油中之淀液，將油熱至沸點，成爲黏厚之質而止。黑色印墨則爲燈炭於此媒液及松節油中之淀液。陶器之着色，用不受強熱所變化之無機顏料。其施用方法於 §498 中已論之。

第三十五章 提要

物體之顏色，恃自其及於眼簾之光之波長。物質可反射或透過色光。

有數種顏色由於物料之物理情況，有由於分子或離子之化學性。

染料今幾全由煤油製成。

染料可分類如下：

(1) 直接染料，直接與織物纖維相結合，如苦酸之與動物纖維；

(2) 媒染染料，如茜素，需一種中間物質（金屬氫氧化物）

[1] lapis lazuli.

以固着顏色於纖維上；

(3) 由纖維間氧化而生成之染料（甕染料），如藍靛。

漆料大致含有下列三部分：

(1) 顏料，乃細碎之不溶性有色粉末；

(2) 展色料，乃盛載顏料之液體，於空氣中氧化，生成堅硬之彈性面；

(3) 催乾劑，乃催進乾燥作用之物質。

噴漆卽硝棉漆。此等快乾油漆，用硝棉溶液爲展色料，硝棉溶液爲溶於有機溶劑中之數種低級硝酸纖維素及沸點極高之有機液體。

問　題

1. 最近五十年內關於製造染料及漆料之方法，有何重要之變遷？
2. 黑色紙板與白色紙板間有何物理的差殊？
3. 紅色顏料何以呈紅色？
4. 舉試數百年來得自植物而今日盡由化學工廠製取之二種染料。
5. 試解釋用藍靛甕染之方法。
6. "堅牢"及"易褪"二名稱，用於染料上，其意義爲若何？
7. 甕染法是否堅牢抑易褪？
8. 何謂直接染色？試舉一例。
9. 何謂媒染劑？試舉四種媒染劑，並各列其式。
10. 試解釋媒染劑使染料牢着於纖物上之情態。
11. 如何可用若孔雀石綠之鹽基性染料棉纖物？
12. 試舉四種直接得自煤焦油之物質。

13. 試解釋如何可用同一染料得不同之顏色。

14. 漆料之三主要部分爲何？ 各盡何種功效？

15. 漆料與假漆，區別何在？

16. 油漆中往往加入松節油，其功用爲何？

17. 織物每分爲動物性及植物性。 試將下列各種織物類分之：(a)絲，(b)麻(c)人造絲，(d)法蘭絨，(e)麻袋布。

18. 噴漆之用於汽車工業上，何以若是之普遍？

19. 試舉含鉛之三種顏料，並列其式。

20. 何數種金屬元素供給有價值之顏料最多？ 此等元素位於週期表中何處？

* * *

21. 第一種煤焦油染料係何時製成，且爲何人製成？

22. 藍色衣服在燈光下何以有時視若黑色？

23. 試解釋絲織物如何可用四氫氧化錫'加重'。

24. 油漆與噴漆之乾燥，其不同爲若何？

25. 試舉評定一種漆料之價值所須顧及者之五點。

26. 油漆與硝棉漆相較，其優點何在？

27. 漆料中之亞麻仁油，可用棉子油代之否？

28. (a)試舉良好假漆所具之五種特性。 (b)假漆之檢驗如何？

29. 化學實驗室油漆時，何以不宜用鉛白？

30. 鋼鐵工業及煤氣工業上均行煙煤之乾餾。 試舉兩方面之主要產物及二種副產物。

進究題材

藍靛之歷史——天然藍靛產自何處？ 自植物製取藍靛，其法若何？ 合成藍靛化學上與天然藍靛相同否？ 合成藍靛之原料爲何？ 其值價由何而定？ (Slosson's *Creative Chemistry*; 參讀大英百科全書)。

漆料及假漆之實用的檢驗——查美國標準局第69號公報"漆料及假漆"中所揭示之實用的檢驗方法試爲之。 於是將作爲例證之樣品塗於厚紙上，而作註文。 此足爲實用化學課程揭貼材料。

煤焦油對於文化之影響——試作一圖表，臚列製自煤焦油之若干重要之染料、藥料、照相顯像劑、炸藥、香料、及調味料。於圖表中明示其製造時較重要之步驟。(*Chemistry in Industry*, Vols. 1 and 2; Caldwell and Slosson's *Science Remaking the World*, and Slosson's *Creative Chemistry*.)

第三十六章

放射能及元素之轉變

放射能——鐳——鐳射物，氣——鐳之用途——蛻變系——放射性元素與週期表——原子核之蛻變——萬物之可能本位。

元素之轉變——人工蛻變。

555. 放射能[1]——化學元素有許多能放出特殊之放射物[2]，其效應酷似 X 線。換言之，即能透過若黑紙等物、感應照相乾片、使驗電器放電、及令某數種礦物起螢光等。此等效應最初於 1896 年爲法國科學家柏克勒爾[3]檢視鈾元素之一種鹽類之結晶時所發見。其共通之現象，稱爲放射能。法國物理學家居禮[4]及其夫人[5]（第 320 圖），根據此項發見，得遊離出二三種放射性遠強於鈾之其他元素。最先取得者爲釙[6]，其西文原名居禮夫人命之以紀其祖國波蘭也。惟另一放射性元素鐳，所得之量較多，而爲三種中最重要者。

鐳有極微量存在瀝青鈾礦[7]（一種不純粹之氧化鈾）之中。

---

[1] radioactivity. [2] radiation. [3] Antoine Henri Becquerel (1852–1908). [4] Perre Curie (1859–1906). [5] Marie Sklodowska Curie. [6] polonium. [7] pitch blende

每三噸礦石，僅得一克之鐳。此元素之離析，乃一艱難複雜而繁累之化學方法，概可想見。鐳爲金屬中之最貴重者，今日市價每英兩（盎斯）值美金 1,000,000 元。

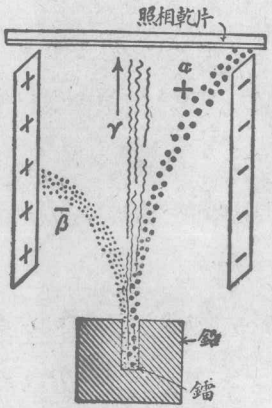
第 320 圖　居禮夫人(1867—1934)及其女伊蘭女士[1](1897—　)。
二人均因其對於放射能之工作而獲得諾貝爾獎金

556. **最貴重之金屬** —— 鐳爲化學上酷似鋇之一種金屬，在週期表內，實亦爲居鋇下之次一元素。今已製得其多種之鹽類及遊離之金屬本身。就純粹的化學性而言，與鈣族其他元素之區別至微。

然鐳及其一切鹽類，均極富放射性。此一性質與鹽類之本性完全無關，在溴化鐳中其性狀之明顯，一如在遊離之金屬。今

[1] Irene Curie Joliot

日通俗有時所稱之"鐳",實際卽溴化鐳鹽。是爲保存及使用該元素最普通之物也。是放射能當係鐳原子之一種性質,與其化學的結合無關。鐳及其鹽類之強烈放射能,由其對於照相乾片之效應、驗電器之放電、或一種螢光屏,可以知之。



第331圖 由靜電場分離三種放射物

557. 由鐳放出之三種放射物——據研究知鐳鹽實能放出三種之放射物,三者之透過力及其受電場效應之方式迥異。第321圖所示之實驗,可例證電場對於鐳射線[1]之效應。所謂α微粒子[2]者,其透過力甚小,且察知其爲荷陽電之氦[3]之微粒子或原子。β線透過力遠強,實卽僅爲一縷之電子,與眞空管中所見者絕相似。γ線則不受電場之效應,而實無他,卽由β線作用於所通過之固體物而產生之X線而已。鐳之所以有強烈放射能,最先爲吾人所察覺者,蓋卽此等γ或X線也。

558. 鐳之能——鐳及其鹽類另一極堪驚異之性質,卽其放射能之質及量,與溫度及其他旣知情況均截然無關。化學家

[1] radium ray [2] α-particle. [3] helium.

對於鐳之放射能，無法加何改變。其強度，在液體空氣內，與在極高之溫度時相等。是與尋常之化學反應，每受溫度之大影響者，迥然不同者也。

鐳鹽尚有一顯異之性質：即均繼續不絕產生熱力，一般較其周圍之大氣，溫暖3－5度。放熱之量，曾有加以量測者，知每一克鐳鹽，每小時放出100卡。此種持續之放熱，顯屬無窮期進行。惟事實上，讀後文當知其不然，鐳之既知量實漸次消失，至滿約1600年即消失一半。是則，鐳實未嘗如一般人所謂，無窮量能之源泉也。

559. 鐳射物[1]，氡[2]——上文述β線乃電子流。α微粒子則又知其爲荷陽電之氦原子。此一顯異之點，迭經充分收集此項微粒子，以產生氦之特殊光譜，而證明之。

除氦外，由鐳復可得另一種氣體，初時稱之爲鐳射物，今則名之曰氡。鐳化合物繼續不絕發放此項氣體，可用抽機自鐳鹽抽取，而得其十分純粹者。氡顯爲一種確定之元素，於週期系中占有一位置，爲稀有氣體族之末一元素。化學性不活潑，爲單原子物，分子量爲222，適較鐳之原子量少四。是可知，由鐳可得二種個別之元素，一爲已知之氦，一則爲氡。於一切鐳化合物中，氦及氡之生成，進行不絕。此必由於鐳原子本身之蛻變作

[1] radium emanation　[2] radon (or niton)

用[1]而然。故一元素之原子，今已知其確可變而爲他二元素之原子矣。氡之原子量，卽因此點而彌覺有重要意義。其原子量適爲鐳與氦之原子量之差。鐳原子之此種蛻變作用，化學家不能加何改變或控制之。彼輩徒能觀察之耳。由是觀之，吾人誠不得謂化學家能變鐳爲氦及氡，而縱盡化學家之所能，依然但可謂鐳原子自行分裂爲二元素也。

560. 鐳之用途——鐳所發放之放射物（尤以 β 線及其次產物，γ 線）均極活潑。藉此種放射物，可以攝得照相圖形，適如電流於眞空管內所生之X線然。然鐳射物對於一切生物體均有極強烈之作用，故頗有設想其當有功於療治各種疾病者。其結果則未嘗如初料之有成效。惟於處治數種癌腫及相類之贅疣等，則鐳似甚有益。然鐳價甚貴，重一克約值美金 75,000元。惟其能不絕產生鐳射物，處治疾病常用此鐳射物以代鐳。每日可用油機自鐳鹽抽取鐳射物，而集於極小之玻管內。於是可將此等小管嵌入近癌腫之肌肉內。管中之鐳射物，經過一組之變化，終至於鐳 G，而產生 α, β, 及 γ 線。治療之能力，卽基此於等射線對於疾患組織之作用。

某數種不純粹之放射性元素，有用以製夜光漆料。製時與硫化鋅相混和，自鐳放出之射線射擊硫化鋅，卽起螢光。

[1] disintegration.

561. 蛻變系[1]——鐳鹽樣品發放之 β 線，並非鐳之分解成鐳射物之一部分，實爲其隨後諸變化之結果。鐳射物本身變成另一元素，爲一固體，稱爲鐳 A，同時產生另一 α 粒子（荷電氦原子）。鐳 A 蛻變，連續生成鐳 B、C、D、E、F。當鐳 F 分裂時，生成一種元素，鐳 G，其原子量爲 206。每一度變化，隨有一個電子或一個 α 粒子產生。鐳原子蛻變之末後各步所射出之電子，卽鐳鹽所發放之 β 線也。

於此當見變化之最後產物爲鐳 G。此物不復有放射性，蓋不再起何變化而不發放荷電之粒子矣。此物質具有尋常鉛之一切化學性，除其原子量較低及密度不同外，與鉛無區別。換言之，鐳 G 爲尋常之鉛之一種同位素（亦稱異量物）。

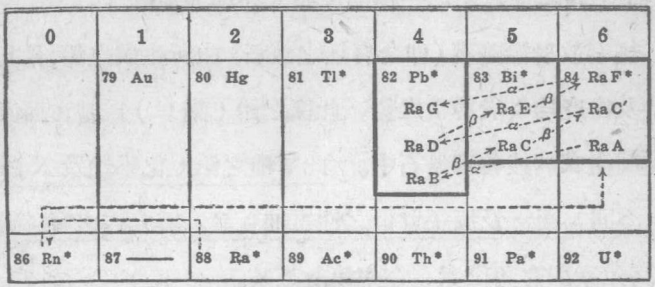
細察放射性礦石（卽含有鐳之礦石）中所生成之鉛，見其原子量及密度均異於尋常之鉛。此種之鉛（鐳 G）或當由鐳原子蛻變而生成於該特種礦石中。此二種之鉛，化學性及 X 線光譜均全同，而涉及原子質量之性質則互異，其存在之實驗的證明，爲元素間有同位素存在之第一證據。

元素每點逐一個成一 α 粒子之氦原子後，其原子量卽減低 4（卽氦之原子量）。鐳與終極鐳（G）之間，共有此項之變化五次。自鐳之原子量(226)減去此項二十單位(5×4)，卽得鐳 G

[1] disintegration series.

之原子量 206。自純粹鐳礦所得之鉛，由實驗測知之原子量，比之尋常之鉛 207.2，幾適爲 206。此種"鉛"之實爲鐳 G，似已確切無疑，而吾人對於鐳之蛻變作用之一般的概念，至此亦已完成矣。

562. 放射性元素與週期表 ——次頁附表表示鐳之各種蛻變產物於週期表中之位次。此等元素之位次，均由其 X 線光譜而確定，更由其化學性而證實。於此可見，於第 IV 團中，有三種元素，均爲尋常之鉛之同位素。就中二種，卽鐳 B 及鐳 D，均爲放射性，餘一種鐳 G 則不活潑，已述於上。同樣，第 V 團中有二種放射性元素，爲尋常之鉍之同位素。



第 322 圖　週期表之末二列，表示鐳之蛻變產物之位次。記有星標(*)之位次，卽爲上述諸元素及爲釷系及鈾系之蛻變產物所占居。

除鐳系外，尙有其他之蛻變系。釷似亦爲一系放射性元素之起點。鐳本身且或係由鈾之放射性蛻變而徐徐生成之一種產物，故實不能作爲起點，而祇爲一系之中段。釷系及鈾系所生成

之元素於週期表上應占之位次，上圖（第322圖）中以星標記出之。

163. 原子核之蛻變——放射性蛻變最可靠之解釋，其惟今日關於物質結構之新觀念。前已見（§166）原子可想像其由於一個爲電子圍繞之陽性核而成。放射性元素之蛻變，視若卽核之蛻變。故如，當一種放射性元素蛻變時，或則自核心中間射出一個電子（一β粒子），或則自同一源地射出一個二倍電荷之氦原子（一α粒子）；或則二種變化同時發生。核心失去一個電子，卽足令淨陽電荷（原子序數）增一；故其新生成之元素，屬於週期表上其右方之次一位。反之，失去一個二倍電荷之氦原子，卽令淨核電荷減二，其新元素必位於左二圍中。如放出二個電子及一個α粒子，則新元素仍具同樣之核電荷及原子序數，而與其母體爲同位素。上圖（第322圖）卽例證此項變化。此皆經將蛻變時各元素所放射出之特殊放射物，作物理的量測，而研究者。其中一種元素之壽命往往甚爲短促，有在數分鐘內卽起半蛻變。其所包括物質之量，幾盡屬甚爲微少至不可目覩，或竟亦難以秤衡。然其結果固無庸置疑，蓋自此等自動破裂之核，所射出電子及α粒子之特性，幸已有極精準之物理方法以量測之也。

放射性元素之此種核的分解，常應切記其並不稍涉及核心外之電子。此項電子徒於新生成之元素內，自相重行排列，以適

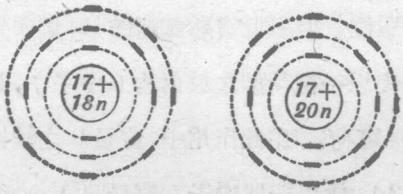
應核心上之電荷耳。某一元素不論其是否由放射性變化之結果而生成，其繫於此等電子（尤指外圍或原子價電子）排列之化學性則一。前於鉛之例已述及之，以其爲放射性變化之終極產物，故本身不活潑。其相異處僅能於原子量及密度之測定上見之。

564. 萬物之可能本位 —— 放射性變化，確立數種原子能分裂而生成新元素、氦原子、及電子之事實。設此等變化中涉及原子之核者，則核本身必屬一複雜之結構。一切原子之核心，今已認爲由**質子**及**中子**所構成(§168)。在放射性變化中，當可假定凡射出一個 α 粒子，卽有一個質子（荷電之氫原子）脫去。

設一切元素均由質子、中子、及電子所構成，則其原子量當幾爲整數，蓋氫之原子量近於一，而電子之質量可以略而不計也。然許多元素之實測原子量均離整數甚遠。恩斯吞等申明此徒因吾人所知之元素，實均爲諸同位素之混合物耳(§244)。各種同位素之原子量，則幾爲整數而非完全整數。故吾人可意想每種同位素係由質子、中子、及電子所構成。

按照此項理論之物質結構新概念，可就氯元素概括之。氯有二種同位素，原子量爲 35 及 37。原子序數均爲 17；是卽其核心外圍有電子 17，分羣排列如下：2, 8, 7。核心具陽電荷 17。此項陽電荷，當係由於 17 質子之結果。對於原子量 35 之同位

素，可想像其具有 17 質子（得陽電荷 17）及 18 中子。原子序數爲 17。同樣，原子量 37 之同位素，必有 17 質子及 20 中子，以其原子序數仍如前也；然核之質量，因而其原子量，固不同也（第 323 圖）。



同位素 35　　同位素 37

第 323 圖　氯之同位素

565. 元素之轉變[1]——由一切原子之核均屬組合而成之觀念，立即聯想及複雜原子分裂爲較簡原子之可能，——是即元素之轉變。此一作用，在放射性元素係常在進行。惟吾人尚無法以催進或阻滯之。英國物理學家羅澤福特曾作數種實驗，結果得證明氮原子爲 α 粒子所炸破時，即生成若干氫原子。惟所起變化之物質，其量微渺，所得之氫原子除用物理的量測，不能以化學方法檢知之。羅氏之實驗，非所謂人工蛻變[2]之惟一事例。

566. 近代之原子轉變——前已見欲令一種物質變爲他種，嘗爲煉金家之迷夢。最近之實驗，證示此項轉變卻屬可能，至少在極小之規模上。吾人已習得如何擊襲原子之核，而在若干例

[1] transmutation of element.　[2] artificial transmutation.

中使其永久分裂。其一法卽用如α粒子等運行極速之微粒子以炸擊其核。依此法至少已有十二種較輕之元素爲所變化。每一事例中均有質子逐出。每一事例中攫取α粒子(質量 4)而逐出質子(質量1)。如是成一新原子,其質量較原來之原子大3單位,其電荷高1單位。但以此實驗試諸鈹(質量 9)時,則不見其有質子逐出,而代以一種新型之放射物(中子),具有與質子之同樣質量1,惟無電荷。在此作用中,質量9之鈹核變而爲一個碳原子(質量12),逐出一個中子(質量 1)。須切記依此法所產生之新物質,其量非常微少。事實上,微少至遠非尋常化學方法所能檢知。自計數物質之單個原子,創有極精密之方法後,此實驗始克臻成就。

中子本身已證明其爲一種性質顯異之發射物,以其不具電荷也。中子能自由通過物質之原子,卽有何損失能,亦屬極微。例如氧及氮原子均能因疾速之中子而起變遷;且卽碳及氖之原子亦能爲之變遷。最初,此等疾速運行之微粒子,用以炸擊原子之核者,其本身係由放射性元素自動蛻變而被逐出。今則已可獲得質子之強烈射流,用五十萬弗之電壓加速之,可適於炸擊之用。

重氫[1]之發見,亦供吾人以一種質量2之發射物,其在二百

[1] heavy hydrogen.

萬弗之電場內，令許多元素起蛻變之效應，較質子尤強，美國勞倫斯[1]（第324圖）在加省柏克萊[2]城之驚人實驗已證示之。九十種已知元素，在過去數年內幾已逐一藉質子、複子[3]、中子、或α微粒子之炸擊，而起蛻變。例證：當硼之靶子爲此等四種發物射所炸擊時，至少知其起十種顯異之反應，其中三種結果得有放射性產物。

第324圖　勞倫斯。柏克萊城加省大學理學物教授。氏藉上圖所示之大電磁石，以極度加速之離氫子告成原子擊破[4]之實驗

輓近對於核心之結構，及對於隨意產生此項轉變之方法，爲人研知者儘多，於不遠之將來，行見可能合成任何所需之化學元

[1] Ernest Orlando Lawrence (1901-)　[2] Berkeley　[3] deuteron.
[4] atom-smashing.

素，實非過望。

設本書尚有篇幅，一述此等轉變中所包括之能之變化，當饒有興味也。惟今將僅述似屬適應於此等強烈核心炸裂之一般能不滅定律。依據吾人新觀念，一物體之質量與其中所儲藏之能間有密切之關係存焉。一體系之質量上有何減少，卽隨有一定量之能，以其一種之特殊方式而發放。

茲請自羅澤福特最近之講演[1]，援引數語，以結束此項關於原子之轉變之簡略綜覽："聽講諸君自可質問，此項對於轉變之實驗，何以能引起科學界如是之興趣。此非實驗者在搜求能力之新源泉，或藉新方法以產生稀有而貴重之元素。其眞實之原因，蓋猶深遠焉，而乃因搜求之激勵與引誘，遂潛心一致，以深入自然界最奧淵之祕密之一"。

第三十六章 提要

數種礦物能發放若 X 線之放射物，稱爲放射性礦物。鐳元素放射性最強，自一種鈾之礦石中，可遊離得極少量。

鐳化學上頗似鋇。其放射能與元素之化學的化合無關。一般均用其溴化物。

鐳放出三種之射線 α 粒子，卽荷電之氦原子；β 線，卽電

[1] 此講演由英國廣播公司於 1933 年十月十一日廣播。

子；γ線，即由電子產生之X線。

鐳能放出熱力，徐緩而不絕。產生一種新元素，稱爲鐳射物，即氡，爲一種稀有氣體。鐳原子之蛻變成氦原子及氡原子，繼續進行不絕，不能稍加控制或變更之。氡亦起蛻變，自鐳所生之蛻變產物成爲一系。其終極物爲鐳G。鐳G在化學上與尋常之鉛相似，惟原子量不同。此二種之鉛稱爲同位素。

原子說今已因放射性物質之研究而大張。放射性元素之原子，由於或種原因而不穩定，起炸裂而排出電子或氦原子，或二者並被排出。大多數元素之原子則屬穩定，而大概係由一陽性核（質子及中子）及許多圍繞核心旋轉之電子所構成。

鐳用以治癌症。不純粹之放射性元素有用以製夜光漆者。

問　題

1. 何人發見放射能？此項發見引起何事？
2. 鐳之主要天然來源爲何？
3. 自鈾礦石取得之放射性元素，其放射能與鈾本身之比較若何？何故？
4. 物質之是否爲放射性，如何可證知之？
5. 鐳所發放之α，β，及γ放射物，其互相判別之性質爲何？
6. 試舉鐳以外爲放射性之元素二種。
7. 鐳何以爲若是價昂之金屬？
8. 放射能與尋常之化學作用，如何不同？
9. 氡屬於何族之元素？
10. 何謂夜光漆？其作爲若何？

* * *

11. 居禮何以將其所發現之第一種放射性元素命名爲 polonium.?
12. 放射性物質之活潑性，如何可檢驗之?
13. 鐳與鋇間最顯著之差別爲何?
14. 所謂鈾爲一系放射性元素之"母元素"，而鉛爲"終產物"，其意云何?
15. 由鐳之實驗，對於吾人之原子說，引起何種重要之變更?
16. 何謂同位素? 試以放射性元素例證之。
37. 何以前此有認爲放射能反悖於能不滅定律?
18. 試就原子結構新說，以論述"元素轉變"之作用。
19. 大多數元素之原子量何以離整數甚遠?
20. 放射性元素何以均屬高原子量?

進究題材

新煉金術——古代之煉金家企圖將一元素變成他元素；結果無成。今日之化學家則能觀察一元素自動變成他元素，惟彼輩對於此項轉變作用，既不能催進，又不能阻滯。"新煉金術"何以異於古代者? (Martin's *Modern Chemistry*, Russel's *A B C of Atoms*, and Tilden's *Chemical Discovery*.)

第三十四章至第三十六章複習問題

1. 下列各物均具有電荷：鉑離子，鉑電極、鉑陽極、鉑陰極、α 微粒子。就電子說以解釋之。

2. 試作下列各物名之定義：(*a*)噴漆；(*b*)顏料；(*c*)澱色質；(*d*)攙和料。

3. 乾燥劑於漆料中之功能爲何?

4. 試舉三類之染料，並各舉一例?

5. (*a*)試舉三種可溶於鹽酸之金屬。作方程式。(*b*)試舉三種不溶於鹽酸而溶於硝酸之金屬。解釋之。(*c*)試舉二種不溶於硝酸之金屬。如何可使此金屬溶解? 當其溶解時，生成何種化合物? 試作諸此反應之方程式。

6. 汞祇須將其硫化物礦石(辰砂)煅燒即可取得，而鋅自其硫化物礦石(閃鋅礦)則不能如是取得。試解釋之。

7. 下列各金屬受濕空氣之作用後，所生成之膜層各爲何物：(*a*)鋁；(*b*)鋅；(*c*)鐵；(*d*)銀；(*e*)銅？

8. 金及銀備工業用時何以均須加入銅？

9. 設有銀及金二種金屬。此二金屬對於下列各試劑之作用當各若何：(*a*)鹽酸；(*b*)稀硫酸；(*c*)濃硫酸；(*d*)硝酸；(*e*)王水？設試劑業經加熱，則其結果有何差別否？

10. 試討論元素轉變之新概念。

一般複習問題

1. 何謂酵素？

2. 試將由電解製成之金屬列成一表。

3. "氮之固定"何以爲若是重要之化學問題？

4. 試作將氫氧化鈣製成酸性亞硫酸鈣($Ca(HSO_3)_2$)之方程式。

5. 試作產生初生氫及利用之以還元三氯化鐵之方程式。

6. 氣分子、氯原子、氯離子三者間之主要區別爲何？

7. 物質之生成熱與其穩定性間有何關係？

8. 如何可證明火油燃燒後生成二氧化碳及水？

9. (*a*)青銅；(*b*)綠礬；(*c*)水滑料；(*d*)滅火泡沫；(*e*)"安全去漬劑[1]"？

10. 試舉由礦石利用電法取得之諸金屬。

11. 試舉新式汽車上所用之五種鋼合金，並述應用此項合金之各機件。

12. 試舉能產生(*a*)熱；(*b*)光；(*c*)電；(*d*)機械能之化學變化之例各一。

13. 試辯護下文所述："一氧化碳乃化學上所研究諸氣體中最危險者之一，最表裏相反者之一，亦最有用者之一。"

14. 化學上提淨一種含有少量可溶性雜質之可溶性固體，其通用方法爲何？

15. 試將蓄電法製成之化合物，列爲一表。

16. 試略述如何可證明大氣中含有(*a*)氮；(*b*)二氧化碳；(*c*)水蒸氣。

17. 試作製取(*a*)過氧化氫；(*b*)硫化鋁；(*c*)過氧化鈉；(*d*)氮化鎂之方程式。

18. 試作下列各名詞之定義並各舉一例：(*a*)昇華；(*b*)冶金；(*c*)吸着；(*d*)風化；(*e*)湍泡。

---

[1] carbona，一種含有四氯化碳之去漬藥水。

19. 製取不可溶性鹽類之通法爲何？試舉此種鹽類八種，而作每種製取時所包括之方程式。

20. 試作一方程式以例解二氧化硫藉涉及(a)氧化；(b)還元；(c)複分解之一種製取方法。

21. 試舉(a)鐵及鋼之冶金中所涉及之二種酸酐；(b)二種鹽基性氧化物。一種鹽基性氧化物與一種酸酐共熱時起何現象？此點在鐵及鋼冶金中有何利用？

22. 試作下列各物之化學式並每種之一項用途：(a)金鋼砂；(b)鉛丹；(c)矽(純)；(d)生石灰；(e)燒石膏。

23. 試舉一種金屬(a)較輕於水者；(b)密度極大者；(c)易於銹化者；(d)不起銹化或銹化者；(e)自酸類中取代氫者；(f)不自酸類中取代氫者。

24. 試舉全書中所習得之元素之用以製特種鋼者。每種事例中該元素所施於鋼之性質爲何？

25. 尋常之鋅溶於鹽酸中，所生成之溶液，呈黑色點斑。是爲何物？何以產生？

26. 試將下列方程式完成而平衡之，全用式：(a)二氧化硫與水及氫氧化鈉；(b)氨(氣)與氯化氫；(c)二氧化錳及鹽酸；(d)氯化銨與苛性鈉。

27. 下列諸作用，何者間歇進行，何者連續不絕：(a)鼓風爐；(b)鉛爐；(c)鋅甑；(d)二硫化碳爐；(e)水煤氣發生器？

28. 用分光器，藉其連續光譜，證示白光係由數種色澤組合而成，即：紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫。則(a)當此白光通過藍玻璃；(b)當其擊射於一塊藍布上，必各起何種現象？

29. (a)水中之硬度，意義爲何？(b)試舉一種區別硬水與軟水之方法。(c)解釋"永久"硬性之原因。(d)如何可消除永久硬性？(e)試舉飲水中雜質之二種重要檢驗法。

30. 試作下列諸反應之方程式，全用式：(a)氯化銀與硫酸鐵；(b)二硫化鐵與鹽酸；(c)硝酸銀與硫化氫；(d)三氯化鐵溶液與金屬鐵；(e)磷酸與氫氧化鋁。

31. 試舉一關於鋼之論文約，三百字。以各主要產地之赤鐵礦、煙煤、及石灰石起，解釋產生敞竈鋼手續上之主要步驟。文中包括所起之諸反應，並附一鼓風爐及敞竈爐之簡單圖解。舉述三種鋼合金每種之名稱、組成、及其一重要用途。

32. 試作一關於酸性碳酸鈉及碳酸鈉製造之論文，約三百字。其廠設立之地點，何以有一定？該方法中需用何項原料？述該方法之主要步驟，附方程式。說明該方法何以屬經濟的自制而效力强。此法中主產物及副產物較重要之用途爲何？

附　錄

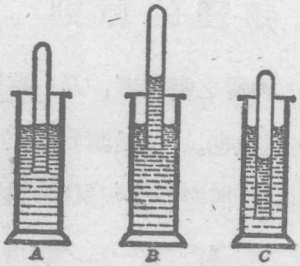
氣體之物理的原則

氣體之標準情況[1] —— 物質之密度者，乃一單位體積之重量；卽每立方釐米或每立之克數也。惟於測定如空氣、氧、氫等氣體之密度時，卻有頗屬困難之問題。蓋因氣體皆甚輕，難於秤衡，且因氣體常充滿於所貯之容器內，無一定之體積。其時，氣體之體積，因所受之温度及壓力，亦極有影響。故吾人必須於已知温度之情況下，以秤衡某一體積之氣體，然後從而推算其在標準情況下之體積當爲何。化學家今已一致以攝氏零度(0°C.)及760毛米(mm.)壓力作爲氣體之標準或規定之温度及壓力。吾人無須於0°C.(熔冰時之温度)及760毛米(海面大氣之平均壓力)時計量氣體；既知實際之温度及壓力，卽可計算在此等標準情況下氣體之體積當爲何矣。

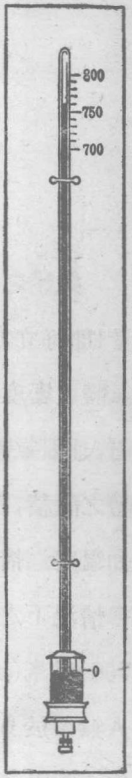
大氣壓力之量測 —— 吾人每於集氣槽之水面上集取氣體，而令量管或內方之水平面與外方之水平面相同(第325圖*A*)，

[1] standard condition.

是卽令氣體承受大氣壓力也。欲量測大氣之壓力，讀氣壓計卽得。水銀氣壓計（第326圖）具有一水銀之柱，其量適與大氣之壓力相抗衡。



第325圖　量管內外水平之差影響及氣體之體積
A，同；*B*，高出；*C*，低於筒內之水平

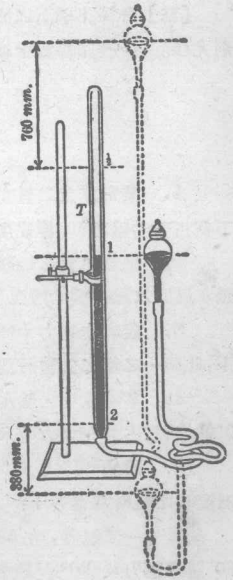


第326圖
水銀氣壓計

此器尋常卽爲一堅牢之玻管，長約一米，一端封閉。先盛滿水銀而倒置之，令其開口之端，浸入水銀杯或貯器中。在海面上，管中水銀卽降至高出杯內水銀面約760毛米之面。管內水銀上方之空間除有少量之水銀蒸氣外乃係眞空。實際此中可認爲吾人所能作成之最完全之眞空。所謂"讀氣壓計"者，意卽精確量計水銀柱高出器內液面之高度耳。此項氣壓計指示大氣壓力逐日因大氣本身之漲落而起之變異。亦表示因觀測者所處地點之高下而生之壓力變遷。

氣體體積隨壓力而變更 —— 此事最初由波義耳（1626—

1691)就空氣之情形研究之。其實驗之結果，證明設先有若干體積之空氣，承受某一壓力，其後壓力加倍，則空氣之體積當減小一半（第327圖）。設壓力增至三倍，假如空氣之溫度保持恆定，則體積當減至三分之一。此項關係，旋知其乃適合於一切氣體之共通原則。是爲波義耳定律，可簡述如下：某定重量之氣體，在恆定溫度時，其體積與壓力成反比例而變更。



第327圖　波氏定律儀器

此定律亦可以符號表之，如：

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{P_2}{P_1}$$

或　　$P_1V_1=P_2V_2$（熟記！）　　(I)

V_1 及 P_1 表某定重量之氣體，在某溫度時之體積及壓力，V_2 則爲在別一壓力 P_2 下而溫度仍同時之體積。

【例】設有某定重量之氣，於740毛米時，測得其體積爲1200立方釐米。問在標準壓力(760毛米)下，如溫度依舊，則其體積當得若干？

依波氏定律

$$P_1V_1=P_2V_2$$

將題中所設之值代入，則得

$$760V_1=740\times1200$$

或

$$V_1=\frac{740\times1200}{760}=1160\text{立方釐米}$$

觀該氣體在標準壓力下所受之壓力當視前爲大，因而其體積當較小，卽爲上項結果有力之校核。

【註】解答化學上之此項問題，利用四位對數表可省去不少時間，如能用計算尺則尤佳。一般在答案中算得三位重要之數字(§106)已足敷準確矣。

問題

1. 某定重量之氫在 780 毛米壓力下占 100 立方釐米。問在 390 毛米壓力下當占若干體積？假定溫度無變化。

2. 某定重量之氣體在 0°C. 及 38 釐米時占 800 立方釐米。問同重量之氣體在溫度及壓力標準情況下當占若干立方釐米？

3. 設有在壓力 780 毛米及溫度 20°C. 之氫 500 立方釐米。問在何種壓力下，此同一之氫之體積將爲 250 立方釐米（溫度依舊不變）？

4. 某定重量之氮在溫度及壓力標準情況下占一立。問在 780 毛米壓力及 0°C. 時當占若干立方釐米？

5. 設於 15°C. 及 570 毛米壓力時量得氧 100 立方釐米，則在 760 毛米及同溫度時之體積當爲若干？

6. 一種氣體，在 60 釐米壓力及 20°C. 時，其體積爲 645 立方釐米。問在 80 釐米壓力及 20°C. 時體積當爲若干？

7. 氧裝於鋼筒中而發售，其中壓力爲每方英寸 150 磅。取用氣體時壓力卽減低。當減低至 30 磅時，問筒內尙存原有氣體幾分之幾？

8. 某量之氣在 700 毛米壓力時占 115 立方釐米。問在 300 毛米壓力時，如溫度恒定，則此氣體當占若干體積？

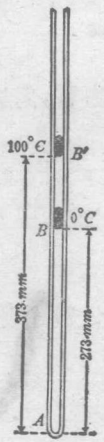
9. 有空氣若干，在一氣壓（760 毛米）之壓力時，占 245 立方釐米。設導之入一容 2 立之眞空瓶內，則該瓶內之壓力當爲若干？

10. 在 70 釐米壓力時量得之氫三立，須以之壓縮入一容 2100 立方釐米之瓶內。問其壓力當需增高若干？

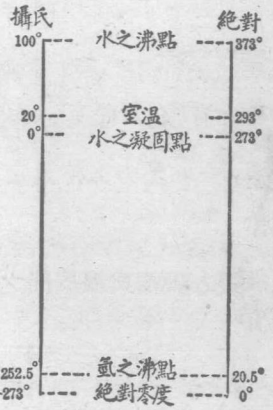
氣體體積隨溫度而變更 —— 萬物受熱幾咸能膨脹，人盡知之。例如溫度計中之水銀或酒精受溫熱時，卽起膨脹，因於幹中上昇。然氣體受溫熱後之膨脹，遠甚於液體，此事或非吾人所習

知；如空氣之膨脹約九倍於水。然有更堪注意者，即一切氣體之膨脹率，均近於同等。

氣體膨脹之量，粗略測計頗易爲之（第328圖）。設於實驗中先取在 0°C. 時體積 273 立方釐米之空氣，令其自 0°C. 冷至 −1°C.，則體積當減至 272 立方釐米；如冷至 −10°C.，則空氣之體積當成爲 263 立方釐米。自是設空氣不絕冷卻，則當依同樣之率而繼續縮小，至 −273°C. 時，空氣之體積當成爲零。事實



第328圖　盛乾燥空氣及一水銀球之管



第329圖　攝氏温度與絕對温度計

上吾人從不能有一種氣體冷至若 −273°C. 之低温度，蓋所有已知氣體，均不待冷至此温度，已轉而成液體矣。然此 −273°C.

之温度，乃氣體之研究上一有非常意味之温度。稱之爲絕對零度[1]，而以此點爲零起，量測之温度稱爲絕對温度[2]。絕對温度可以A.表之。故如 0°C. 爲 273°A., 50°C. 爲 323°A., 100°C. 爲 373°A.。由攝氏任何温度換算成絕對温度，祇須加以 273 度即得（第 329 圖）。

在化學實驗室內用攝氏計。惟在日常事項，則吾人仍用華氏計。因水之凝固點爲 32°F. 而沸點爲 212°F., 故 180 華氏分度與100攝氏分度相當。依下方程式可以自一種計化成他種計：

$$C=\frac{5}{9}(F-32)。$$

查理定律——此一新温度計就下列之事實，對於化學家具有特殊之意味。即某定重量之氣體，在兩不同之温度時所占有之體積，假如壓力保持恆定，則與絕對温度成正比例。是爲查理定律。

氣體之體積與温度間之此項關係，可以代數式表之，甚爲簡明：

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{T_1}{T_2} \qquad (II)$$

V_1 及 V_2 表某定量氣體於同壓力而相異之絕對温度 T_1 及 T_2 時之體積。設體積爲 V_1 時攝氏計上之温度爲 t_1，則 $T_1=273+t_1$；同樣 $T_2=273+t_2$。

[1] absolute zero. [2] absolute temperature [3] Fahrenheit scale.

【例】設有某量之氣體，溫度 15°C. 時量得爲 320 立方釐米。問在 0°C. 時假如壓力保持恆定，當占有體積若干？

先將題中所設之攝氏溫度加 273，化爲絕將溫度，然後代入查理定律之方程式中：

$$\frac{V_1}{320}=\frac{273}{273+15}$$

或

$$V_1=\frac{320\times 273}{288}=303 \text{ 立方釐米}$$

【註】解答此項問題時，學者宜將所得之結果與原有之體積互相比較，視其合理與否。如於實驗室內計量之氣體，其溫度爲 20°C.，則在標準情況下，當縮小約百分之七。

問　題

1. 在波義耳定律及查理定律之條文中，均有"某定重量之氣體"一語。此語是否爲條文中之一主要部分？就分子而言，其意義爲何？

2. 有在 0°C. 時之空氣 100 立方釐米。將溫度昇至 546°C.。問此氣體之新體積爲何？

3. 在 200°C. 時之氣體 2 立冷至 0°C.，設壓力不變，則其體積之變遷當若何？

4. 在 17°C 量計之氧 160 立方釐米，於 0°C. 時假如壓力依舊恆定，當占有體積若干？

5. 某定重量之氣體在 27°C. 時量計，占 100 立方釐米。問在何溫度時，此同重量之氣體，將占有 200 立方釐米（壓力依舊恆定）？

6. 某定重量之氣體在 −23°C. 及 760 毛米壓力時占 250 立方釐米。問在標準情況下，此同重量之氣體之體積爲若干？

7. 某定量之氫氣在 20°C. 及 760 毛米壓力時占 1000 立方釐米。問欲令此氫之體積變成爲 500 立方釐米（壓力依舊恆定），須將其冷卻至何種攝氏溫度？

8. 有氧若干在 17°C. 時占 39 立方釐米。試將其體積校正至標準溫度。

9. 有一氫之樣品，在 91°C. 時其體積爲 18 立方釐米。將溫度降至 0°C.。試推算氫之最後體積。

10. 設在 0°C. 時有 78 立方釐米之氣，欲使該氣體占有 234 立方釐米，須昇高溫度若干？

氣體方程式[1] —— 化學家在實用上將氣體之體積化至標準情況時，往往須同時校正壓力及溫度。故將波義耳定律及查理定律併合成一方程式，則有助於此焉；

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2} \qquad \text{(III)}$$

於此立可見，當 $T_1=T_2$，則此方程式即可化成方程式 I（波義耳定律）；如 $P_1=P_2$，則方程式成爲 $V_1/T_1=V_2/T_2$，是爲方程式 II 之又一變式（查理定律）。方程式 III 稱爲**氣體方程式**[2]。

【例】設有某量之氣體，已知其於 15°C. 及 740 毛米之壓力下，占有 1200 立方釐米，欲求其在標準情況，即 0°C. 及 760 毛米壓力下之體積。

代入方程式 I.I，得

$$\frac{740\times1200}{273+15}=\frac{760\times V_2}{273+0}$$

由是

$$V_2=\frac{740\times1200\times273}{760\times288}=1100 \text{ 立方釐米}$$

水蒸氣壓力之校正——一種氣體於水面上集取而其量器內外之水平面相同時，則器內封閉之氣體，即在大氣壓力下。惟水多少有向器內蒸發，則其封閉之體積，一部分當屬之水蒸氣，而非該氣體也。此項水蒸氣施有相當之壓力，視溫度而定。溫度昇高，則水蒸氣之壓力急遽增加，如本附錄之表所示。

---

1 gas equation. 2 此等氣體定律，有若干差歧之點，其詳情非本書範圍所能討論。僅理想氣體與上述之定律相符合。

於水面集取之氣體一瓶，其瓶內之壓力乃氣體之壓力加水蒸氣之壓力，與瓶外之壓力相等，瓶外者僅乃大氣壓力也。然吾人所須知者，僅所集得之氣體所施之壓力耳。水蒸氣不易除去。惟吾人可謀求所以成就此事者。自氣壓減去水蒸氣壓力（水氣張力）之水銀毛米數，其結果即爲乾燥氣體之壓力，即校正壓力[1]是也。計算上均用此值。

【註】本附錄之一表內列有水蒸氣在各種溫度時之壓力。

【例】設有一種氣體，於水面上量計爲 300 立方釐米，其時氣壓爲 710 毛米，溫度 25°C.。問在標準情況時，其體積當爲若干？

查水氣張力表，知水蒸氣在 25°C. 時之壓力爲 24 毛米；故其校正壓力爲 740−24 即 716 毛米。

代入氣體方程式，得

$$\frac{716\times 300}{298}=\frac{760\times V_2}{273}$$

由是

$$V_2=\frac{716}{760}\times\frac{273}{298}\times 300=\mathbf{259}\ \text{立方釐米}$$

液面差殊之校正——前此均係假定氣體在瓶內水銀或水面上集取，而管之內外液體之平面均相同。有時裝置不能準此安排，因而對於液面差殊，須作校正。當管內液面低於管外之液面（第 325 圖 C），則其壓力大於大氣壓；當內液面較高（第 325 圖 B），則其壓力小於大氣壓。設液體爲水銀，則將氣壓計之高度加上或減去液面之差。水之重量約及水銀之十三分之一，故對於水平面差殊之校正，僅爲水銀之十三分之一。

[1] corrected pressure.

【例】設於一瓶內水面上集得氣體 210 立方釐米，瓶內水面高出瓶外槽內 8.0 釐米，而溫度爲 22°C.，氣壓計爲 764 毛米。試求在標準情況下之校正體積。

【解】查本附錄之表，得水蒸氣之壓力在 22°C. 約爲 20 毛米。故其校正壓力如下：

$$764 - 20 - \frac{80}{13} = 738 \text{ 毛米}$$

（水蒸氣　水面差）

作此項校正時，取最近似之整數毛米可矣，蓋其差誤一般均小於氣壓或體積之記錄上之差誤也。

於是代入氣體方程式，得

$$\frac{738 \times 210}{295} = \frac{760 \times V_2}{273}$$

$$V_2 = \frac{738}{760} \times \frac{273}{295} \times 210 = 189 \text{ 立方釐米}$$

【校核】於此可見壓力減小體積約 3%，而溫度減小約 7%；故溫度及壓力兩共減小體積約 10%。

問　題

1. 設有在標準情況下乾燥氮 2 立，試計算在 273°C. 及 380 毛米壓力時當占有之體積。

2. 某定量之乾燥氫，在 −173°C. 及二氣壓之壓力時占 1000 立方釐米。問在標準情況下之體積當爲若干？

3. 某體積之乾燥氣體，於 127°C 及 370 毛米壓力時量得爲 1050 毛米。問在 −73°C. 及 740 毛米壓力時當占若干體積？

4. 一壓縮氣體之鋼筒，於 30 氣壓及 27°C. 時容有 40 立之氣體。此筒旋於壓力爲一氣壓，溫度爲 17°C. 之處裂破。問其氣體之體積當爲若干？

5. 於水銀上集取之一種氣體，當管內之液面低於管外者 18 毛米，溫度爲 18°C. 而氣壓計內爲 745 毛米時，其體積爲 40 立方釐米。求其在標準情況下之體積。

進究參考書目

［註］本書目經極縝密之選擇，各學校當可全行購備。
凡極端需要之書而宜儘速購者記以*。
凡屬不可缺少之書，而各校圖書館應備有者，記以**。

Arrhenius, Svante, *Chemistry in Modern Life.*
D. Van Nostrand & Co., N. Y., 1925.

*Boyd, T.A., *Gasoline, What Everyone Should Know about It.*
Frederick A. Stokes Co., N. Y., 1929.

Boyd, T. A., *Research—The Path Finder of Science and Industry.*
D. Appleton-Century Co, N. Y., 1925.

*Bragg, Sir William, *The Universe of Light.*
The Macmillan Co., N. Y., 1933.

Caven and Cranston, *Symbols and Formulæ in Chemistry.*
Blackie & Son, London, 1928.

**Chamberlain, J. S., *Chemistry in Agriculture.*
The Chemical Foundation, Inc., N. Y., 1926.

**Conant, James B., *The Chemistry of Organic Compounds.*
The Macmillan Co., N. Y., 1933.

Curie, Mme. Marie, *Pierre Curie.*
The Macmillan Co., N. Y., 1923.

Deming, H. G., *In the Realm of Carbon.*
John Wiley & Sons, N. Y., 1930.

Duncan, R. K., *Chemistry of Commerce.*
Harper & Brothers, N. Y. 1907.

Fabre, Jean Henri, *The Wonder Book of Chemistry.*
The Century Co., 1930.

Faraday, Michael, *The Chemical History of a Candle.*
Republished by E. P. Dutton & Co., N. Y., 1933.

Findlay, Alexander, *The Spirit of Chemistry.*
Longmans, Green & Co., N. Y., 1930.

*Fisk, Dorothy, *Exploring the Upper Atmosphere.*
Oxford University Press. 1934.

**Foster, William, *Romance of Chemistry.*
The Century Co., N. Y., 1927.

Holmes, Harry N., *Out of the Test Tube.*
Ray Long and Richard R. Smith, N. Y., 1934.

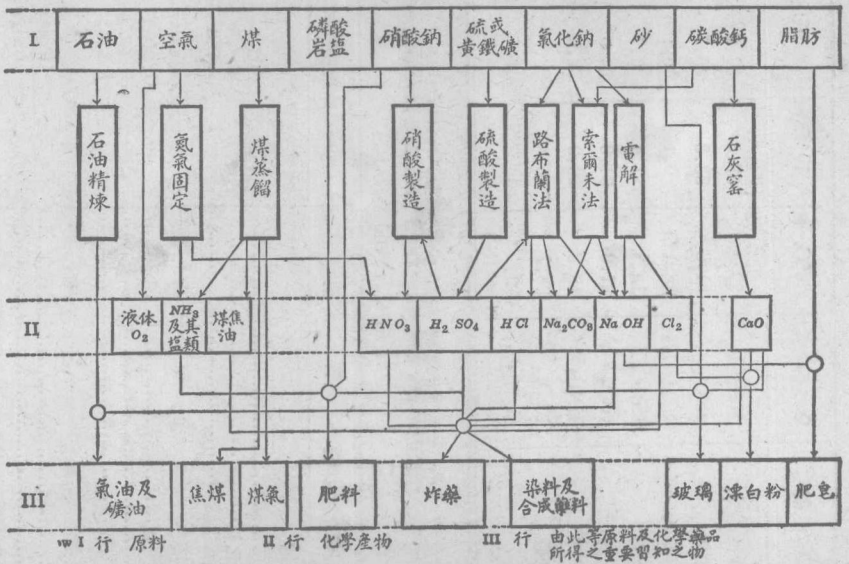
*Holmyard, E. J., *Makers of Chemistry.*
The Clarendon Press, Oxford, 1931.

**Howe, H. E., *Chemistry in Industry*, 2 volumes.

The Chemical Foundation, Inc. N. Y., 1925.
Howe, H. E., *Chemistry in the World's Work.*
D. Van Nostrand Co., N. Y., 1926.
Howe and Turner, *Chemistry and the Home.*
Charles Scribner's Sons, N. Y., 1927.
Jaffe, Bernard, *Crucibles, the Lives and Achievements of the Great Chemists.*
Simon and Schuster, N. Y., 1930.
Johnson, Bertrand L., *Nitrogen and Its Compounds.*
U. S. Bureau of Mines Circular. No. 6385 (1931). (Supt. of Doc.)
Kendall, James, *At Home among the Atoms.*
The Century Co., N. Y, 1929.
Langdon-Davies, Johnson, *Inside the Atom.*
Harper & Brothers, N. Y., 1933.
Little, A. D., *The Handwriting on the Wall.*
Little, Brown & Co., Boston, 1928.
Lowry, T. M., *Historical Introduction to Chemistry.*
Macmillan & Co, London, 1926.
Martin, Geoffrey, *Triumphs and Wonders of Modern Chemistry.*
D. Van Nostrand Co., N. Y. 1911
**McPherson and Henderson, *A Course in General Chemistry.*
Fourth Ed., Ginn and Co., Bosion, 1933.
*Moore, F. J., *History of Chemistry.*
McGraw-Hill Book Co., N. Y., 1931.
Philip, J. C., *The Romance of Modern Chemistry.*
J. B. Lippincott Co., N. Y., 1912
Rogers, Allen, *Industrial Chemistry.*
D. Van Nostrand & Co., N. Y., 1925.
**Slosson, Edwin E., *Creative Chemistry.*
The Century Co., N. Y., 1919.
Smith, E. F., *Chemistry in America.*
D Appleton & Co., N. Y., 1914.
Spring, L. W., *Non-Technical Chats on Iron and Steel.*
Frederick A. Stokes Co., N. Y., 1917.
*Stieglitz, Julius, *Chemistry in Medicine.*
The Chemical Foundation, Inc., N. Y. 1928.
*Thorp and Lewis, *Outlines of Industrial Chemistry.*
The Macmillan Co., N. Y., 1916.
Thorpe, T. E., *Essays on Historical Chemistry.*
The Macmillan Co., N. Y., 1923.

工業一覽表

數種較重要之化學方法其原料及產物



固體於水中之溶解度

此表示無水之固體物溶於 100 克之水中，在所記各溫度時製成飽和溶液所需之克數。

物質	分子式	0°C.	10°C.	20°C.	100°C.
氯化銨	NH_4Cl	29.4	33.3	37.2	77.3
氯化鋇	$BaCl_2$	31.6	33.3	35.7	58.8
氫氧化鈣	$Ca(OH)_2$	0.185	0.176	0.165	0.077
硫酸銅	$CuSO_4$	14.3	17.4	20.7	75.0
氯化鉀	KCl	27.6	31.0	34.0	56.7
硝酸鉀	KNO_3	13.3	20.9	32.0	246.
氯化鈉	$NaCl$	35.7	35.8	36.0	39.
糖	$C_{12}H_{22}O_{11}$	179.	190.	204.	487.

各種氣體於水中之溶解度[1]

（15°C. 及 760 毛米）

氣體名稱	一立水所能吸收之體積
極易溶	
氨	802. 立
氯化氫	458. 立
二氧化硫	47.3 立
尚可溶	
硫化氫	3.05 立
氯	2.63 立
二氧化碳	1.02 立
微可溶	
氧	0.034 立
氫	0.019 立
氮	0.018 立

[1] 根據 Kaye and Laby's *Physical and Chemical Constants*, Longmans, Green and Co. 之記載。

原书缺页

原书缺页

物質之硬度

二物料之硬度，可將其互相摩擦而比較之；較硬者當括起或劃出另一種之痕。硬度表習用已久，共有 1 至 10。化學及物理之手册中均有下列之表：

莫氏[1]硬度表

礦物	硬度	礦物	硬度
滑石	1	長石	6
岩鹽	2	石英	7
方解石	3	黃玉	8
螢石	4	剛石	9
磷灰石	5	金剛石	10

熟記一種物質，如石膏 (2) 可爲指甲刮痕，而磷灰石 (5) 不難爲刀所刮痕，當屬有益。

比重或相對密度

標準物質爲取自 4°C. 時之純水。一物質與水之密度比較而得之密度，稱爲該物之比重。例如硫之比重爲 2，意即硫密於水二倍。因水之密度爲每立方釐米 1 克，故任何物質之密度，就米制（克/立方釐米）而言，數字上自即等於其比重。

[1] Mohs

化學元素表，附符號、原子序、及原子量(1940)

元素	符號	原子序	原子量	元素	符號	原子序	原子量
鋁 Aluminium	Al	13	26.97	汞 Mercury	Hg	80	200.61
銻 Antimony	Sb	51	121.76	鉬 Molybdenum	Mo	42	95.95
氬 Argon	A	18	39.944	釹 Neodymium	Nd	60	144.27
砷 Arsenic	As	33	74.91	氖 Neon	Ne	10	20.183
鋇 Barium	Ba	56	137.36	鎳 Nickel	Ni	28	58.69
鈹 Beryllium (Glucinum)	Be(Gl)	4	9.02	氮 Nitrogen	N	7	14.008
鉍 Bismuth	Bi	83	209.00	鋨 Osmium	Os	76	190.2
硼 Boron	B	5	10.82	氧 Oxygen	O	8	16.000
溴 Bromine	Br	35	79.916	鈀 Palladium	Pd	46	106.7
鎘 Cadmium	Cd	48	112.41	磷 Phosphorus	P	15	30.98
銫 Cæsium	Cs	55	132.91	鉑 Platinum	Pt	78	195.23
鈣 Calcium	Ca	20	40.08	鉀 Potassium	K	19	39.096
碳 Carbon	C	6	12.010	鐠 Praseodymium	Pr	59	140.92
鈰 Cerium	Ce	58	140.13	鏷 Protactinium	Pa	91	231
氯 Chlorine	Cl	17	35.457	鐳 Radium	Ra	88	226.05
鉻 Chromium	Cr	24	52.01	氡 Radon	Rn	86	222
鈷 Cobalt	Co	27	58.94	錸 Rhenium	Re	75	186.31
鈮 Columbium (Niobium)	Cb(Nb)	41	92.91	銠 Rhodium	Rh	45	102.91
銅 Copper	Cu	29	63.57	銣 Rubidium	Rb	37	85.48
鏑 Dysprosium	Dy	66	162.46	釕 Ruthenium	Ru	44	101.7
鉺 Erbium	Er	68	167.20	釤 Samarium	Sm	62	150.43
銪 Europium	Eu	63	152.0	鈧 Scandium	Sc	21	45.10
氟 Fluorine	F	9	19.00	硒 Selenium	Se	34	78.96
釓 Gadolinium	Gd	64	156.9	矽 Silicon	Si	14	28.06
鎵 Gallium	Ga	31	69.72	銀 Silver	Ag	47	107.880
鍺 Germanium	Ge	32	72.60	鈉 Sodium	Na	11	22.997
金 Gold	Au	79	197.2	鍶 Strontium	Sr	38	87.63
鉿 Hafnium	Hf	72	178.6	硫 Sulphur	S	16	32.06
氦 Helium	He	2	4.003	鉭 Tantalum	Ta	73	180.88
鈥 Holmium	Ho	67	163.5	碲 Tellurium	Te	52	127.61
氫 Hydrogen	H	1	1.0080	鋱 Terbium	Tb	65	159.2
銦 Indium	In	49	114.76	鉈 Thallium	Tl	81	204.39
碘 Iodine	I	53	126.92	釷 Thorium	Th	90	232.12
銥 Iridium	Ir	77	193.1	銩 Thulium	Tm	69	169.4
鐵 Iron	Fe	26	55.85	錫 Tin	Sn	50	118.70
氪 Krypton	Kr	36	83.7	鈦 Titanium	Ti	22	47.90
鑭 Lanthanum	La	57	138.92	鎢 Tungsten	W	74	183.92
鉛 Lead	Pb	82	207.21	鈾 Uranium	U	92	238.07
鋰 Lithium	Li	3	6.940	釩 Vanadium	V	23	50.95
鎦 Lutecium (Cassiopeium)	Lu(Cp)	71	174.99	氙 Xenon	Xe	54	131.3
鎂 Magnesium	Mg	12	24.32	鐿 Ytterbium	Yb	70	173.04
錳 Manganese	Mn	25	54.93	釔 Yttrium	Y	39	88.92
				鋅 Zinc	Zn	30	65.38
				鋯 Zirconium	Zr	40	91.22

較重要之元素表

附元素符號、原子量近似值、及原子價

元素	符號	原子量近似值	原子價	元素	符號	原子量近似值	原子價
氫	H	1	I	錳	Mn	55	II IV
氦	He	4	—	鐵	Fe	56	II III
碳	C	12	IV	鎳	Ni	58.7	II
氮	N	14	III V	銅	Cu	63.6	I II
氧	O	16	II	鋅	Zn	65	II
氟	F	19	I	溴	Br	80	I
鈉	Na	23	I	銀	Ag	108	I
鎂	Mg	24	II	錫	Sn	119	II IV
鋁	Al	27	III	碘	I	127	I
矽	Si	28	IV	鋇	Ba	137	II
燐	P	31	III V	鎢	W	184	VI
硫	S	32	II IV VI	鉑	Pt	195	IV
氯	Cl	35.5	I	金	Au	197	I III
鉀	K	39	I	汞	Hg	200	I II
鈣	Ca	40	II	鉛	Pb	207	II IV
鉻	Cr	52	II III VI	鐳	Ra	226	II

中外度量衡換算表

標準制——市制——英美制

10 毛米(mm.)	= 1 釐米(cm.)	= 3 市分	= 0.394 英寸(in.)	
100 釐米	= 1 米(m.)	= 3 市尺	= 3.281 英尺(ft.)	
1000 米	= 1 仟米(km.)	= 2 市里	= 0.6214英里(mil.)	
1 立方釐米(c.c.)	= 1.000027 毛立(ml.)			
1000 毛立	= 1 立(l.)	= 1 市升	= 0.22 加侖(gal.)	
10 毛克(mg.)	= 1 釐克(cg.)			
100 釐克	= 1 克(g.)	=3.2 市分	= 1.543 格冷(gr.)	
1 毛立水於 4°C. 時重 1 克				
1000 克	= 1 仟克(kg.)	= 2 市斤	= 2.20 磅 (lb.)	

市制——標準制——英美制

10 市分	= 1 市寸	= 3.33 厘米	= 1.31 英寸	
10 市寸	= 1 市尺	= 0.33 米	= 1.09 英尺	
1500 市尺	= 1 市里	= 0.5 仟米	= 0.31 英里	
	1 市升	= 1 立		
10 市分	= 1 市兩	= 31.25 克	= 1.1023 盎斯(oz.)	
16 市兩	= 1 市斤	= 0.5 仟克(500克)	= 1.1023 磅	

英美制——標準制——市制

	1 英寸	= 2.54 厘米	= 0.76 市寸	
12 英寸	= 1 英尺	= 0.31 米	= 0.91 市尺	
3 英尺	= 1 碼(yd.)	= 0.92 米	= 2.74 市尺	
1760 碼	= 1 英里	= 1.61 仟米	= 3.22 市里	
1.1507 哩	= 1 海里	= 1.85 仟米	= 3.70 市里	
	1 加侖	= 4.55 立	= 4.55 市升	
437.5 格冷	= 1 盎斯	= 28.35 克	= 0.91 市兩	
16 盎斯	= 1 磅	= 453.5 克	= 0.91 市斤	
2000 磅	= 1 噸	= 1016 仟克	= 20.32 市擔	