

民國二十六年四月教育部核定

復興高級中學教科書
物理學
下冊

周昌壽編著
商務印書館發行

依照教育部修正課程標準編輯

復興高級中學
物理學教科書

理

學

下冊

周昌壽編著
商務印書館發行

中華民國二十六年六月審定本第一版
中華民國三十三年五月發縣第八版

(5703.1.1B)

高級中學用

復興教科書 物理學 二冊

下冊原定價國幣壹元零肆分

開辦公議 如五發售 實售國幣壹元伍角陸分

外加運費 函費

編者 周昌

主編 王雲五
吳鴻南 正 師

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

版權所有 必究

編輯大意

(1) 本書係根據民國二十五年四月教育部頒行之修正課程標準，編輯而成，以供高級中學校教科書之用，兼作師範學校職業學校等之參考書之用。

(2) 初中畢業生，對於物理學雖已具有相當之認識，對於數學，亦有相當之根底。但初中所習者，注重在日常習見之簡單現象，並未受系統之訓練，應用數學之能力，更說不上。一方面國內初中程度，亦大有參差，萬難一致。故本書敘述事項，一律從初步入手，循序而進，自成一整個系統。即令初中習過者，偶或遺忘，使用本書亦無妨礙。

(3) 本書專為課室講演而編，採用實驗，大都輕而易舉，雖經濟能力不充足，亦不至感受設備上之困難。至於實驗室專用之課本，則已別成一冊，名為「復興高級中學教科書物理學實驗」，與本書互相銜聯，極便採用。

(4) 編者前有新時代高中物理學兩冊，在教育部之暫行課程標準未定以前，自出版以來，曾一度提高高中學生程度，內容未必失之遺缺。該書雖盛行於世，但據數年來自行試用之經驗，殊嫌冗繁。又承各地同人，時加指示，亟需簡化之必要。遂及成，乃遺一二

八之劫，種種稿件，悉付一炬。今則既行標準，又成過去，遂徹底改編而成此冊。一切標準，均遵照部定，但資料仍有一部分取自前書。所取者，均極平易，所增者，尤切實用，至於前書中稍涉理論之項目，現已一律刪去。採用前書所成之種種不便，在本書中均一掃而盡矣。

(5) 本書使用各種名詞，全係中國物理學會所決定而經教育部頒行者，此種名詞，用之於書中者，以本書為第一種，於初學物理學時，即開始使用，不特一勞永逸，節省精力不少，並對於國內此後出版之物理書籍，亦不致觀面不識，即自身欲有所表白，亦當不難於遣辭矣。

(6) 本書於每章之後，各附以問題若干條。一則使學生根據所習原理，解釋自然現象，一則訓練之使其應用定律，計算各種量間之數理關係。命題概重實用，含義亦極淺明，使用數學又都限於平面幾何代數等極淺近之一部分，雖平面三角，亦盡力避去，以免教學困難。卷末並附答案，以資複對。

(7) 本書編輯排校，雖極注意，但錯誤仍將難免，尚望採用者，隨時賜教，以便更正。

民國二十三年二月 編者識

民國二十五年九月 修正

改排第十四版序言

本書出版以來，恰滿兩年，其間每一次發覺錯誤，立即修改一次，總計此兩年中，修改次數當不在六七次以下。最初不過挖改紙版而已，其後竟須改排一部分，始足濟事。今蒙教育部頒佈修正課程標準，乃不得不從頭改編，以符功令。舉凡新標準中所規定之項目，莫不一一遵照增補，並嘗列入各節標題之中，俾其醒目。舊版僅有374節，茲已增至417節，插圖亦增多十餘幅。與前相較，雖不至判若兩書，然其面目確已大改舊觀矣。雖尚不敢引為自滿，但既承各方面指正之後，似無大疵，則可斷言。其中得力於國立編譯館者，尤為不少，用誌端末，聊表謝忱。

二十五年九月九日 編者識

新 華 大 學

下 冊 目 次

第五篇 光學

第一章 光之直線傳播

216. 光源.....	251	223. 影.....	284
217. 光之本性.....	252	224. 日月之蝕.....	285
218. 微粒說.....	252	225. 小孔成像.....	286
219. 波動說.....	252	226. 照度及光度.....	287
220. 電磁說.....	253	227. 光度計.....	288
221. 光學.....	253	228. 光之速度.....	290
222. 光之直線傳播.....	254	問題第十八.....	290

第二章 反射及折射

229. 光之反射.....	292	235. 連續幾次之折射.....	299
230. 平面鏡.....	293	236. 全反射.....	300
231. 球面鏡.....	294	237. 在平面境界面折射時之像.....	301
232. 球面鏡所成之像.....	296	238. 稜鏡.....	302
233. 光之折射及折射率.....	297	239. 全反射極限.....	304
234. 折射率之作圖法.....	298	問題第十九.....	305

第三章 透鏡

240. 透鏡.....	309	243. 透鏡所成之像.....	313
241. 透鏡之折射.....	310	問題第二十.....	316
242. 光心.....	312		

第四章 光學儀器

214. 眼之構造.....	318	250. 天文望遠鏡.....	323
215. 眼之調節.....	319	251. 地上望遠鏡.....	327
216. 眼鏡.....	320	252. 潛望鏡.....	329
217. 視覺暫留.....	322	253. 照相機.....	330
218. 放大鏡.....	323	254. 映畫器.....	331
219. 顯微鏡.....	324	問題第二十一.....	332

第五章 色散 干涉 繞射

225. 光之色散.....	335	234. 色之混合.....	347
226. 分光鏡.....	338	235. 光之干涉.....	348
227. 夫寧因和獲姆線.....	337	236. 薄板之顏色.....	350
228. 消色差棱鏡及直視物鏡.....	338	237. 牛頓圓.....	350
229. 消色差透鏡.....	339	238. 光之繞射.....	351
230. 虹霓.....	340	239. 繞射光譜.....	353
231. 光譜.....	343	270. 繞射光譜.....	355
232. 日光譜.....	345	問題第二十二.....	355
233. 物體之顏色.....	346		

第六篇 磁學

271. 磁鐵.....	357	278. 地磁.....	364
272. 磁極.....	358	279. 磁盤.....	368
273. 磁力及磁量.....	359	280. 磁之感應.....	367
274. 惠俞之磁力定律.....	360	281. 磁性.....	368
275. 單位強度之磁極.....	361	282. 磁磁係數.....	369
276. 磁場.....	361	283. 分子磁鐵說.....	370
277. 磁力線.....	362	問題第二十三.....	373

第七篇 電學

第一章 靜電

284. 靜電現象.....	375	293. 由感應而起之引力.....	353
285. 靜電與液電.....	375	294. 由靜電感應使驗電器帶電之方 法.....	353
286. 導體與絕緣體.....	376	295. 靜電之分佈.....	384
287. 驗電器.....	377	296. 表面密度.....	385
288. 電之本性.....	378	297. 尖端作用.....	386
289. 庫倫靜電定律.....	380	298. 起電盤.....	387
290. 電量之單位.....	381	299. 感應起電機.....	388
291. 介質常數.....	381	問題第二十四.....	391
292. 靜電感應.....	382		

第二章 電勢及電容

300. 電場.....	392	306. 容電器.....	399
301. 電力線.....	392	307. 自由電及束縛電.....	401
302. 電屏.....	395	308. 來價瓶之放電.....	402
303. 電勢.....	396	309. 空中之電.....	403
304. 勢差及單位.....	397	310. 羅姆針.....	404
305. 電容.....	398	問題第二十五.....	404

第三章 電流

311. 電流.....	406	319. 電阻.....	415
312. 電池.....	407	320. 電阻定律.....	415
313. 電動勢.....	407	321. 電阻之變化.....	416
314. 極化作用.....	407	322. 歐姆定律.....	418
315. 局部作用.....	408	323. 電阻之聯結法.....	419
316. 濕電池及乾電池.....	409	324. 電池之端電壓及內電阻.....	422
317. 蓄電池.....	412	325. 電池之聯結法.....	423
318. 電流之強度.....	414	326. 萊斯登電機.....	424

827	電阻箱	425	問題第二十六	428
828	各種變阻器	427		

第四章 電流之熱效應

829	電流之熱效應	433	835. 電燈	437
830	電能與熱量	433	836. 氣燈	439
831	電功率	434	837. 電鍋	440
832	電能	435	838 電爐	440
833. 電熱斗	435	問題第二十七	441	
834. 弧光燈	436			

第五章 電流之化學效應

839	電解	444	844. 電鍍	449
840	法拉第電解定律	445	845. 電鍍	450
841. 游離子之電荷	447	846 電鍍	451	
842. 電量計	448	847. 電鍍	451	
843. 電化學之應用	449	問題第二十八	452	

第六章 電流之磁效應

848	電流之磁效應	453	856 磁場對於直線電流作用之力	461
849. 安培定則	454	857 量電器具	463	
850 圓形電流之磁場	454	858 迪松管測電流計	463	
851. 螺線管之磁場	455	859 衝擊電流計	464	
852 電磁鐵	456	860. 安培計	465	
853 電鈴	457	861. 伏特計	466	
854. 斷路器	458	問題第二十九	468	
855. 電報	459			

第七章 應電流

862	電感感應	468	864 應電動勢	471
863. 楞次定律	469	865. 自感及互感	473	

366. 感應係數.....	478	376. 電扇及電車.....	497
367. 地磁感應器.....	474	377. 瓦特小時計.....	498
368. 傳料電流.....	476	378. 變壓器.....	489
369. 發電機原理.....	477	379. 自耦變壓器.....	490
370. 直流與交流.....	479	380. 直流變壓器或電動發電機.....	491
371. 發電機.....	480	381. 感應圈.....	492
372. 環形電樞.....	481	382. 電話.....	494
373. 鼓形電樞.....	482	383. 整流器.....	496
374. 橋形鐵之激磁.....	483	問題第三十.....	498
375. 電動機原理.....	488		

第八章 電波

384. 來福頓之振動放電.....	501	393. 真空管振動器.....	517
385. 電磁波.....	502	394. 放大作用.....	518
386. 電共振.....	504	395. 檢拍接收法.....	519
387. 接收電路.....	506	396. 無線電話.....	521
388. 無線電報.....	508	397. 無線電話接收法.....	524
389. 晶體檢波器.....	509	398. 交流接收法.....	526
390. 三極真空管.....	511	399. 短波及無線電.....	526
391. 真空管檢波器.....	513	問題第三十一.....	527
392. 再生接收法.....	515		

第九章 真空放電

400. 真空管中放電.....	539	406. 光電管.....	539
401. 陰極射線.....	531	407. 有聲電影.....	540
402. 電子.....	534	408. 真空管.....	542
403. X射線.....	535	409. 電視.....	544
404. X射線之特性.....	537	問題第三十二.....	545
405. X射線之本性.....	538		

第十章 放射性及物質構造

410. 放射質.....	547	411. 放射質之射線.....	547
---------------	-----	------------------	-----

412 放射質之改變.....	549	416. 陽核及電子之作用.....	554
413 放射性元素之系統.....	551	417. 陽核之電荷及質量.....	555
414. 物質之構造.....	553	問題第三十三.....	558
415. 陽核.....	554		

附 錄

下冊問題答數.....	557
英文索引.....	1
四角號碼索引.....	1

418.....	558	419.....	559
420.....	560	421.....	561
422.....	562	423.....	563
424.....	564	425.....	565
426.....	566	427.....	567
428.....	568	429.....	569
430.....	570	431.....	571
432.....	572	433.....	573
434.....	574	435.....	575
436.....	576	437.....	577
438.....	578	439.....	579
440.....	580	441.....	581
442.....	582	443.....	583
444.....	584	445.....	585
446.....	586	447.....	587
448.....	588	449.....	589
450.....	590	451.....	591
452.....	592	453.....	593
454.....	594	455.....	595
456.....	596	457.....	597
458.....	598	459.....	599
460.....	600	461.....	601
462.....	602	463.....	603
464.....	604	465.....	605
466.....	606	467.....	607
468.....	608	469.....	609
470.....	610	471.....	611
472.....	612	473.....	613
474.....	614	475.....	615
476.....	616	477.....	617
478.....	618	479.....	619
480.....	620	481.....	621
482.....	622	483.....	623
484.....	624	485.....	625
486.....	626	487.....	627
488.....	628	489.....	629
490.....	630	491.....	631
492.....	632	493.....	633
494.....	634	495.....	635
496.....	636	497.....	637
498.....	638	499.....	639
500.....	640	501.....	641
502.....	642	503.....	643
504.....	644	505.....	645
506.....	646	507.....	647
508.....	648	509.....	649
510.....	650	511.....	651
512.....	652	513.....	653
514.....	654	515.....	655
516.....	656	517.....	657
518.....	658	519.....	659
520.....	660	521.....	661
522.....	662	523.....	663
524.....	664	525.....	665
526.....	666	527.....	667
528.....	668	529.....	669
530.....	670	531.....	671
532.....	672	533.....	673
534.....	674	535.....	675
536.....	676	537.....	677
538.....	678	539.....	679
540.....	680	541.....	681
542.....	682	543.....	683
544.....	684	545.....	685
546.....	686	547.....	687
548.....	688	549.....	689
550.....	690	551.....	691
552.....	692	553.....	693
554.....	694	555.....	695
556.....	696	557.....	697
558.....	698	559.....	699
560.....	700	561.....	701
562.....	702	563.....	703
564.....	704	565.....	705
566.....	706	567.....	707
568.....	708	569.....	709
570.....	710	571.....	711
572.....	712	573.....	713
574.....	714	575.....	715
576.....	716	577.....	717
578.....	718	579.....	719
580.....	720	581.....	721
582.....	722	583.....	723
584.....	724	585.....	725
586.....	726	587.....	727
588.....	728	589.....	729
590.....	730	591.....	731
592.....	732	593.....	733
594.....	734	595.....	735
596.....	736	597.....	737
598.....	738	599.....	739
600.....	740	601.....	741
602.....	742	603.....	743
604.....	744	605.....	745
606.....	746	607.....	747
608.....	748	609.....	749
610.....	750	611.....	751
612.....	752	613.....	753
614.....	754	615.....	755
616.....	756	617.....	757
618.....	758	619.....	759
620.....	760	621.....	761
622.....	762	623.....	763
624.....	764	625.....	765
626.....	766	627.....	767
628.....	768	629.....	769
630.....	770	631.....	771
632.....	772	633.....	773
634.....	774	635.....	775
636.....	776	637.....	777
638.....	778	639.....	779
640.....	780	641.....	781
642.....	782	643.....	783
644.....	784	645.....	785
646.....	786	647.....	787
648.....	788	649.....	789
650.....	790	651.....	791
652.....	792	653.....	793
654.....	794	655.....	795
656.....	796	657.....	797
658.....	798	659.....	799
660.....	800	661.....	801
662.....	802	663.....	803
664.....	804	665.....	805
666.....	806	667.....	807
668.....	808	669.....	809
670.....	810	671.....	811
672.....	812	673.....	813
674.....	814	675.....	815
676.....	816	677.....	817
678.....	818	679.....	819
680.....	820	681.....	821
682.....	822	683.....	823
684.....	824	685.....	825
686.....	826	687.....	827
688.....	828	689.....	829
690.....	830	691.....	831
692.....	832	693.....	833
694.....	834	695.....	835
696.....	836	697.....	837
698.....	838	699.....	839
700.....	840	701.....	841
702.....	842	703.....	843
704.....	844	705.....	845
706.....	846	707.....	847
708.....	848	709.....	849
710.....	850	711.....	851
712.....	852	713.....	853
714.....	854	715.....	855
716.....	856	717.....	857
718.....	858	719.....	859
720.....	860	721.....	861
722.....	862	723.....	863
724.....	864	725.....	865
726.....	866	727.....	867
728.....	868	729.....	869
730.....	870	731.....	871
732.....	872	733.....	873
734.....	874	735.....	875
736.....	876	737.....	877
738.....	878	739.....	879
740.....	880	741.....	881
742.....	882	743.....	883
744.....	884	745.....	885
746.....	886	747.....	887
748.....	888	749.....	889
750.....	890	751.....	891
752.....	892	753.....	893
754.....	894	755.....	895
756.....	896	757.....	897
758.....	898	759.....	899
760.....	900	761.....	901
762.....	902	763.....	903
764.....	904	765.....	905
766.....	906	767.....	907
768.....	908	769.....	909
770.....	910	771.....	911
772.....	912	773.....	913
774.....	914	775.....	915
776.....	916	777.....	917
778.....	918	779.....	919
780.....	920	781.....	921
782.....	922	783.....	923
784.....	924	785.....	925
786.....	926	787.....	927
788.....	928	789.....	929
790.....	930	791.....	931
792.....	932	793.....	933
794.....	934	795.....	935
796.....	936	797.....	937
798.....	938	799.....	939
800.....	940	801.....	941
802.....	942	803.....	943
804.....	944	805.....	945
806.....	946	807.....	947
808.....	948	809.....	949
810.....	950	811.....	951
812.....	952	813.....	953
814.....	954	815.....	955
816.....	956	817.....	957
818.....	958	819.....	959
820.....	960	821.....	961
822.....	962	823.....	963
824.....	964	825.....	965
826.....	966	827.....	967
828.....	968	829.....	969
830.....	970	831.....	971
832.....	972	833.....	973
834.....	974	835.....	975
836.....	976	837.....	977
838.....	978	839.....	979
840.....	980	841.....	981
842.....	982	843.....	983
844.....	984	845.....	985
846.....	986	847.....	987
848.....	988	849.....	989
850.....	990	851.....	991
852.....	992	853.....	993
854.....	994	855.....	995
856.....	996	857.....	997
858.....	998	859.....	999
860.....	1000	861.....	1001

第五篇 光學

第一章 光之直線傳播

§ 216. 光源 紅外線 (infrared) 爲波長在 0.75×10^{-6} 至 10^{-4} 公尺之間者，其波長在 10^{-6} 公尺以上者，對於熱之作用，曰熱波 (heat)。

常見之物體中，如太陽，電燈等自能發光者，曰發光體 (luminous body)，或曰光源 (luminous source)。反之，如地球，衛星等，非受外來之光照及，不能認知其存在者，曰不發光體 (non-luminous body)。又如玻璃，水等類物質，光經其內，通行無阻者，曰透明體 (transparent body)；與此相反，如木石金屬等物質，爲光所絕對不能透過者，曰不透明體 (opaque body)。介在透明體與不透明體之間，尚有一種，如油浸之紙及蠟甲等，雖能容一部分之光透過，但不能使人明白察見其後面之狀況者，曰半透明體 (translucent body)。

物體之透明與否，純爲相對的而非絕對的。例如金屬本屬於不透明體，但若錫之成箔，則可透過少許暗綠色之光，一變而類於透明矣。反之，如水本屬於透明

體，但若積之過深，即作暗黑色，遂成不透明矣。

§ 217 光之本性

關於光之本性，學說頗多，其最著者有微粒說，波動說，及電磁說等，分節述其大略如次：

§ 218. 微粒說

此說創自牛頓，以爲光乃由物體射出之一種微粒曰光粒 (light corpuscle)，以極大速度由發光體四向射出，達於眼中，始生光之感覺，是爲微粒說 (emission theory)。光之重要性質，如直線傳播，反射及折射等，均可由此說明，但對於稍涉複雜之現象，如干涉，繞射，及偏極化等，即不能解釋矣。

§ 219. 波動說

此說創自惠根斯 (Huyghens) 及 夫累涅爾 (Fresnel) 等，以爲宇宙間瀰漫有一種稀薄而具彈性之介質，曰以太 (ether)。物體發光，則其電子振動，經周圍以太，次第相傳，而達於遠，成爲一種橫波，進入吾人眼中引起光感，即此橫波，並無所謂光粒，此說曰波動說 (undulatory

theory)。用微粒說不能解釋之現象，改用此說均可得簡單之說明。本理論謂以太中起之波動，其波長在 0.000,04 至 0.000,08 厘米之間者，進入眼中均能引起光感，是為光波 (light wave)。超過此項範圍者，雖進入眼中，亦不能引起光感。其中波長在 0.000,08 厘米以上者，富於熱之作用，曰熱波 (heat wave)，或稱為紅外線 (infra-red ray)，波長在 0.000,04 厘米以下者，富於化學作用，曰化學線 (actinic ray)，或曰紫外線 (ultra-violet ray)。又統括之，凡能引起光感之以太波，曰可見射線 (visible ray)，不能引起光感者，曰不可見射線 (invisible ray)，總稱之則曰輻射 (radiation)。

§ 220. 電磁說。此說創自馬克士威 (Maxwell)，以為光非以太自身之運動，而為以太中之電磁變化，次第傳播而來，與電波無異，故光乃電波中之一種，是為電磁說 (electromagnetic theory)。

波動說中所遭遇之困難，至此始一掃而盡。

§ 221. 光學。研究光之現象之學科，曰光學 (optics 或 light)。

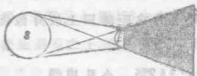
研究光之現象之學科，曰光學 (optics 或 light)。

學中關於透鏡及各種光學儀器，不涉及光之本性，僅用直線傳播、折射及反射等定律，即可說明之部分，曰幾何光學 (geometrical optics)。至於干涉、繞射，及偏極化等非用波動假定不能說明之部分，曰物理光學 (physical optics)。

§ 222. 光之直線傳播 (Rectilinear propagation of light) 如有一不透明體，介在眼與注視點之間，則注視點被其遮蔽，不可得見。由窗孔射入室內之日光，照及塵埃，現為一條直線。凡如此類，光在組織均一之介質內，恆沿一直線進行之現象，曰光之直線傳播 (rectilinear propagation)，此直線曰光線 (light ray)，即波動說之波射線，非達於兩種介質之境界處，決不改其進行之方向。

§ 223. 影 (Shadow) 光因沿直線傳播之結果，在不透明體背後，生一暗黑部分，無光可達，是曰影 (shadow)。光源如為一點，則由此點引一圓錐與不透明體之周圍相切，在不透明體背面，且在此圓錐內之部分，均成為影。光源如非為一點，則由其各點，各作一圓錐，其理仍同。此時各圓錐之共

通部分，如圖 171 中塗
黑之部分，成爲完全暗
黑，是曰本影(umbra)。



在本影周圍，如圖中稍
淡之部分，可見一部分
之光之處，曰半影(penumbra)。

圖 171. 本影及半影

§ 224. 日月之蝕。

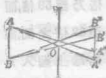
影之實例，如天體之蝕(eclipse)。月運行於太陽與地球之間，地球如進入月之影內，則太陽爲月遮蔽，這成爲日蝕(solar eclipse)。地球運行至於日月之間，則月進入地球之影內，太陽之光，不能全達於月上，這成爲月蝕(lunar eclipse)。

月之本影之長，等於地球半徑之 57 倍乃至 59 倍，而地球與月之距離，則在地球半徑之 55 倍至 62 倍之間，故月之本影，有時能達於地球，有時則否。地球上進入月之本影之地點，所見者爲全蝕(total eclipse)；進入其半影之部分，則所見者爲偏蝕(partial eclipse)。如月之本影之長，不能達於地球之表面，則在地球上正對此本影錐體之地點上，所見者爲環蝕(annular eclipse)。

又地球本影之長，等於地球半徑之 216 倍，遠在地球與月之距離以上，故月蝕僅有全蝕及偏蝕兩種。

§ 225. 小孔成像

在暗室壁上開一小孔，室外物體發出之光，經小孔入室，在其對壁，造成與室外物體，完全同一形狀之圖形，僅上下倒置而已。此種圖形，通稱之曰像(image)，而原有之物體，則曰實物(object)。可由光之直線傳播說明之。即由實物上一點發出之光線中，僅有通過孔穴者能到達壁上，其他均被遮斷。故孔穴如小至一點，物體上每一點只有一條光線，到達對壁，順次排列，成爲實物原有之形狀。如孔穴略大，如圖 172 之 O ，則由物體上一點 A 發來之光線中，其能入室者，不僅一條，而爲 $A'A''$ 之



一部分。同樣，其由 B 而能入室者，爲 $B'B''$ 之一部分，故其壁上造成之像爲 $A'B'$ 及 $A''B''$ ，有一部分，互相重疊。孔

徑愈大， $A'A''$ 等亦隨之而大。故欲得鮮明之像，必須用極小之孔，否則各點相重，輪廓必不清楚。如是極小之孔，曰針孔(pin-hole)

§ 226. 照度及光度。

於暗室內取同樣洋燭4支，緊排如圖173中之B，使其光照及不透明體O，於後面屏C之上，造成其影。再於另一點A上，立一同樣洋燭，使屏C上於前影之外另生一影，兩影相並而立，如圖中所示形狀。由



圖 173. 倫照總光度計

A發出之光，可以照及B所生之影，由B發出之光，亦可照及A所生之影。如A、B之位置選擇得宜，可使此兩影，成爲同一黑暗。此時距離AC，恰等於BC之半。如在B處燃燭九支，A處仍爲一支，則非AC等於BC之三分之一，兩影不能成爲完全相等之黑暗。由是可知照度 (intensity of illumination) 與距離之平方爲反比例。照度言光源照及物體表面之明暗，其值隨距離而異，不足以判斷光源本身之強弱。通常論光源之強弱時，係以距離等於單位長度時之照度爲據，曰照光本價 (illuminating power)，亦稱光度。

光度之單位不能由基本單位導出，通常爲便利計取一定之蠟燭或燈光，以作比較之標準。此種標準，各國並不一律，甚至一國而用數種標準者，通常則均採用

英國標準蠟燭，即用鯨蠟製成之燭，每 2 厘米，重 $\frac{1}{6}$ 磅，每時間燃去 120 份 (grain) (1 克 = 15.44 份)，焰高 45 毫米時之光度，定為光度之單位，曰 1 燭光 (candle power)。

此外尚有一種照度單位，曰米燭光 (meter candle)，即標準蠟燭對於 1 米遠處之照度。通常燈下讀書，至少須有 10 米燭光之照度，方適於眼之衛生。

§ 227. 光度計

量度光源之光度，使用光度計 (photometer)。前圖 173 所示者，即其中之一種，稱為倫福德光度計 (Rumford's photometer)。

實際常用者，為本生光度計 (Bunsen's photometer)，如圖 174 所示。中央紙屏 D 上有一油點，與標準光源 S ，及欲測之光點 X ，在同一直線上。沿槽移動 S 及 X ，

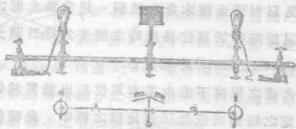


圖 174. 本生光度計

使油點與紙面同樣明亮，不復能得分辨。此時由兩光源而來之照度相等，命 A 及 B 表其對於紙屏 D 之距離，則由 $X:S=A^2:B^2$ ，即可算出光點 X 之光度。

爲欲精確比較兩方之照度，特由法

將紙屏 D 裝在盒內，如圖 175 所示。

在盒之左右各開一孔，以容 A, B 之光射入，觀測者則從 E 觀之。在屏

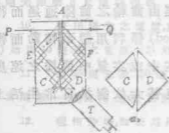
兩側，各立一平面鏡，如 m_1, m_2 ，俾能

屏雙方之明暗，可以同時看出。

欲作更精密之量度，則用露麥布洛輝光度計 (Lummer-Brodhun's photometer)，如圖 176。

AB 爲磺酸鎂之薄板， C, D, E 及 F 同爲直角稜鏡。其中 C 之斜面磨成圓形，與 D 之斜面相接。由 P 傳來之光，經 AB 反射至 E ，更由全反射至 CD ，由接合部通過，餘均折回。由 Q 而來者，亦同樣經 AB 及 F 之反射而達於 CD ，與接合部相遇之部分通過，餘均由 D 之斜面反射而回。故用望遠鏡 T 正對 CD 之接合部分觀測之，所見

圖 176. 露麥布洛輝光度計



者當如圖 177 之狀況，適宜移動左右兩方之光源，使
 望遠鏡中所見之內外兩圓，明暗相同，不能分別，則兩者對於 AB 之照度相等，故由此時光源與 AB 間之距離，仍用前式，即可算出所求之光度，其結果極為準確。



圖 177.

§ 223 光之速度

光之傳播，亦須時間，自古以來，即已設法量度其速度，方法甚多，其中著名者為勒寧法 (Römer's method)，係觀測木星 (Jupiter) 之衛星成德而得。又有菲佐法 (Fizeau's method)，係利用光經由齒輪之齒隙通過而得。又有佛科法 (Foucault's method) 係利用鏡面轉動而得。由此種種方法量得光在真空中或空氣中傳播之速度，大致為 3×10^{10} 每秒厘米，其值甚大，故對於日常生活上，不易察見。

問題第十八

1. 日光由窗射入室內，地面所映出窗棂之影，大部模糊不清，其故安在？

2. 小孔所生之像,與小孔之形狀,有無關係?其理安在?
3. 小孔造成之像,大小與實物大小,有何關係?
4. 白晝日光之下,只見電線桿之影而不見電線之影,其理由安在?
5. 月能否使全地球上各處同時皆得見太陽之全蝕?
6. 試區別燭光,照度,及光度等之異同。
7. 在暗室內立一四方紙屏,每邊 4 尺,小孔距屏 5 尺,在室外正對小孔處有一照壁,距離小孔 100 尺遠。在室內紙屏上可以看見照壁上多少部分?
8. 距離 120 厘米之 4 燭光電燈,與 16 燭光之電燈距離若干遠時之照度相等?
9. 設有一電燈對於距離 6 尺遠之物體上之照度與 82 燭光距離 8 尺遠時相等。求此電燈之光度。
10. 將 16 燭光之電燈,放在距離 2 尺處,讀書頗覺適宜。(1) 如用 10 燭光之電燈, (2) 用 5 燭光之洋油燈,應放在何處?
11. 有 25 燭光及 100 燭光之電燈兩盞,相隔 16 尺。試求其間求一點,使兩光源之照度恰好相等。
12. 曬相片時,如使用 50 燭光之電燈,隔 2 尺遠,需時 10 秒,如改用 100 燭光之電燈,距離 3 尺遠,需時幾何?

第二章 反射及折射

§ 229 光之反射

波動論所述關於波動之一切性質，對於光波，完全適用。光波之波射線特稱光線，或泛言之曰射線(ray)。波動所從發出之源點，或波動集合之點，曰焦點(focus)。一切射線，均必通過之。如波動本不能集合，其射線均作發散形狀，則可向其反對方向延長之，此等延長線所集合之一點，曰虛焦點(virtual focus)，與此相對，實際集合之點，曰實焦點(real focus)。不問焦點為虛為實，與其源點併合稱之，則曰共軛點(conjugate foci)。

光波傳至兩種介質之境界面，有一部分反射而回之現象，曰光之反射(reflection of light)。其關係與一般之波動同，即(1)入射面與反射面，在同一之平面內；(2)入射角等於反射角。

如境界面凹凸不平，則以一定方向投射而來之平行光線，反射後四向分散折回，是曰散射(scattering)，折回之光曰散射光(scattered light)。從任何方向，均能認識物體之存在，即由於此。

§ 280. 平面鏡.

由表面成一平面之鏡，曰平面鏡 (plane mirror)。由鏡前一點 S 發出之光波，如圖 178 所示，波前為同心球面，中心在 S 。此波前傳至 C 與平面鏡 MN 相遇。假使無此平面鏡存在，則次一瞬間之波前應在 APB 處。今既為平面鏡所阻，折回成 Q 。以後之波，亦如是。由波動論，知反射波之中心，為 S_1 ，在鏡後，對鏡為 S 之對稱點。即

$$SC = CS_1.$$

由射線求此關係，當



圖 178. 平面鏡之反射波

延易。因入射角 i 等於反射角 r ，而 r 又等於 i' ，故

$$i = i'.$$

由此可以證明 $SC = CS_1$ 。

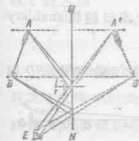


圖 179. 實物及像

又如圖 179 所示，在平面鏡 MN 之前，放一實物 AB ，將其上各點之共軛點求出，均在平面鏡後方，連續成爲 $A'B'$ ，形狀與實物相

似，即成爲 AB 之像。又因此時之像，由虛焦點集成，故曰虛像 (virtual image)，反之，如小孔造成之像，光線確由其處通過者，曰實像 (real image)，以相區別。

§ 231. 球面鏡。

反射面爲球面之一部分者，曰球面鏡 (spherical mirror)。球面鏡中以球之裏面爲反射面者，曰凹鏡 (concave mirror)，以其表面爲反射面者，曰凸鏡 (convex mirror)。

圖 180 之 ADB 表球面鏡，其球心 O ，曰曲率中心 (center of curvature)。鏡面之中點 D ，曰頂點 (pole 或 vertex)，由鏡緣引至中心之直線間所夾之角度 ACB ，曰孔徑 (aperture)，連結球心與頂點之直線 DC ，曰主軸 (principal axis)。



通過曲率中心之任何直線，如 CP ，曰副軸 (secondary axis)，或曰輔軸 (auxiliary axis)。

由主軸上一點 S ，如圖 181，而來之光線中， SD 因與鏡面垂直，故反射後，仍沿原路折回； SP 與在 P 所作之法線 PC ，成入射角 θ ，依



圖 181. 球面鏡所成之像

反射定律,其反射線 PS_1 與 PC 亦作 θ 之角度,且

$$\gamma = \beta + \theta,$$

$$\beta = \alpha + \theta,$$

故 $\alpha + \gamma = 2\beta$.

再由 P 引垂線與主軸相交於 P' . 因各角之數值均甚小,可用其正切代之,即

$$\frac{PP'}{SP'} + \frac{PP'}{S_1P'} = 2 \frac{PP'}{CP'},$$

$$\frac{1}{SP'} + \frac{1}{S_1P'} = \frac{2}{CP'}.$$

孔徑甚小時, P' 與 D 甚近,可以看作同一之點,故可用 CD 代替上式中 CP' , 用 S_1D 代替 S_1P' , 用 SD 代替 SP' , SD 表光點與鏡面間距離,通常以 u 代之; S_1D 表像點與鏡面間距離,通常以 v 代之; CD 為鏡面之曲率半徑,通常以 r 表之,即

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}.$$

如將光點放在無窮遠處,則入射光成平行光線,此時之 u 成爲 ∞ , 由上式得 $\frac{1}{v} = \frac{2}{r}$. 即反射線集合於一點,此點與鏡面間距離,等於曲率半徑之半。如是之點曰主焦點 (principal focus), 其與鏡面間距離 f , 曰焦距 (focal

distance) 上式遂成

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

是為球面鏡反射之一般公式

§ 232. 球面鏡所成之像

球面鏡成像之原理如下。(1)由一點發出之光線，反射後復集合於一點。(2)與主軸平行之一切光線，反射後均集合於主焦點 F ；反之，通過主焦點 F 之一切光線，反射後悉成與主軸平行之光線。(3)通過曲率中心 O 之光線，反射後均遵原路而回。

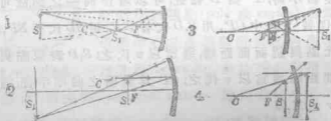


圖 182 球面鏡成像之作圖法

依照上述原理，由作圖法求光點經球面鏡造成之像，極為簡便；如圖 182。實物在 S ，則像生於 S_1 ；反之，實物在 S_1 ，則像生於 S 。圖中之(3)(4)兩種， S_1 如為實物，即成凸鏡，其他仍為凹鏡。又(1)及(2)造成者，為倒立之實像；(3)及(4)造成者，為直立之虛像。

再就球面鏡之一般公式而言，無論對於凸面凹面之鏡，均一律適用。實物之距離 u ，恆取正號，凹面鏡之焦距 f 取正號，凸面鏡之焦距 f 則取負號。像之距離 v ，如為正數，則表實像，如為負數，則表虛像。

命 S 表實物之長， S_1 表像長，則由圖 182，根據相似三角形定理，即可證明

$$\frac{S_1}{S} = \frac{v}{u}$$

式中之 u, v 表實物及像與鏡之距離，即像與實物大小之比，等於兩者與鏡之距離之比。

§ 233. 光之折射及折射率

光波達於兩介質之境界面，有一部分反射而回原介質，餘一部分則以不同之速度，進入第二介質之中，此現象曰光之折射 (refraction of light)。其關係亦與一般之波動同，即 (1) 折射線與入射線各在法線之一邊，且在同一平面內； (2) 入射角之正弦對於折射角之正弦之比，等於光波在第一介質內傳播之速度，對於其在第二介質內傳播之速度之比； 此比曰由第一介質進入第二介質時之折射率 (index of refraction)

試命 i 表入射角, r 表折射角, v_1 表光在第一介質內之速度, v_2 表其在第二介質內之速度, ${}_1\mu_2$ 表光由第一介質進入第二介質時之折射率, 則其關係當為

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1\mu_2$$

當 ${}_1\mu_2 > 1$ 時, $v_1 > v_2$, 故 $r < i$, 即折射线較諸入射线更與法线接近。當 ${}_1\mu_2 < 1$, 即 $v_1 < v_2$ 時, $r > i$, 即折射线較入射线更與法线離遠。前者第二介質較第一介質為光密 (optically dense), 後者則為光疎 (optically rare)。例如光由空氣進入水內, 其折射率為 $\frac{4}{3}$, 由空氣進入玻璃, 其折射率為 $\frac{3}{2}$, 均大於 1, 故水及玻璃, 均較空氣為光密。光密與光疎, 完全就光學上之折射率大小而言, 與介質本身之密度無關係。例如醇之折射率為 1.37, 較水之折射率大, 但若就水及醇之密度本身比較之, 則適與此相反。

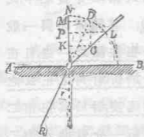


圖 183 折射线之作圖法

§ 234. 折射线之作圖法

既知折射率之值, 則對於任何入射角, 均可由作圖法求得其折射线。圖 183 之 AB 表兩介質之境界面, 於入射线 LO

上,取任意之長 OC , 作長之單位,取 OL 等於 ${}_1\mu_2$. 以 OL 爲半徑畫圓 LDN , 與通過 C 之垂線相交於 D . 連結 DO , 延長之, 得 OR , 卽所求之折射線, 其證明如下:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{LP}{DM} = \frac{LP}{DM} = \frac{LP}{CK} = \frac{OL}{OC} = {}_1\mu_2.$$

§ 235. 連續數次之折射.

光由透明之薄板通過時, 狀如圖 184 所示, 其第一介質爲空氣, 第二介質爲平板之物質, 故第一次折射時,

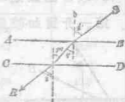


圖 184. 連續之折射

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1\mu_2.$$

第二由板出空氣時,

$$\frac{\sin r'}{\sin i'} = \frac{v_2}{v_1} = {}_2\mu_1.$$

因 $r = r'$,

故得 $i = i'$,

$${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_1 = 1, \text{ 或 } {}_1\mu_2 = \frac{1}{{}_2\mu_1}.$$

卽第一介質對於第二介質之折射率, 等於第二對於第

一之折射率之倒數。例如水對於空氣之折射率為 $\frac{4}{3}$ 故知空氣對於水之折射率為 $\frac{3}{4}$ 同樣兩平行板相重時

$${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_3 \times {}_3\mu_1 = 1, \text{ 或 } {}_2\mu_3 = \frac{1}{{}_1\mu_2}$$

例如水對空氣之折射率為 $\frac{4}{3}$ ，玻璃對空氣為 $\frac{3}{2}$ 由上式可知玻璃對於水之折射率為 $\frac{3}{4} \times \frac{3}{2}$ 即 $\frac{9}{8}$

§ 236 全反射

第一介質如較第二介質為光疎，則對於任何入射角，均可由折射定律求出其折射角。反之，如第一介質較第二介質為光密，則此時

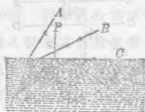


圖 185. 全反射

因 ${}_1\mu_2 < 1$ ，對於圖 185 中之 B 及 Im 等，雖仍相同，但對於 In ，即 $\frac{\sin i}{{}_1\mu_2} = 1$ 之入射角

時，其折射角 PnO 恰為 $\frac{\pi}{2}$ 。此後 i 再增大，例如 IoP 則因 $\sin r > 1$ ，成爲不可能。換言之，此時全部光線，僅能反射復回第一介質，不能進入第二介質之中。如是之現象曰全反射 (total reflection)，發生全反射之最小角度，即

$$\sin i_c = \frac{1}{\mu_2}$$

稱曰第一介質對於第二介質之臨界角 (critical angle)。

反之，由第二進入第一之一切光線，均在以 I_0 為邊之圓錐內。由水中所見岸上之風景，宛如水面穿有一圓孔者然。圓孔以外毫無所見，即由於此。茲將數種常見物質對於平均 D 線之折射率及其臨界角之數值，列表表示之，如表 15。

表 15. 折射率及臨界角

介質	空氣至介質	介質至空氣	臨界角
冕牌玻璃	1.5	0.68	41.0°
火石玻璃	1.8	0.62	58.0°
重鎘玻璃	1.75	0.57	85.0°
岩鹽	1.54	0.65	40.5°
金剛石	2.43	0.41	24.0°
糖	1.33	0.74	48.0°
水	1.33	0.75	48.6°
二硫化碳	1.63	0.62	35.0°

§237. 在平面境界面折射時之像。

兩介質沿一平面，如圖 186 之 AB ，相接，假定在上之介質，較在下之介質為光疏。由 L 處在下方之 L 處之像，當較實際略高。如在各點之視線 $KL, L'M$ ，其臨界角為 LMH 。眼在 L 處時，則像 L' 僅有垂直方向之位移 LL' 。眼在側斜位置時，除垂直方向之位移外，

圖180. 折射之像

圖中顯示以直視物體時，尚有水平方向之位移。若眼在直上時，求 LL' 之值，就光線 LEF 而言，其關係如下：

圖180. 折射之像

$$CL \tan r = CT \tan \epsilon,$$

$$\therefore CT = \frac{OL \cos \epsilon}{\mu \cos r}.$$

當眼在直上時， C 與 B 極相接近， ϵ 與 r 之值均甚小，故

0.12	$\cos \epsilon = 1,$	CT
0.22	$\cos r = 1$	CT
0.32	$CT = CL'$	CT
0.42	$CT = \frac{1}{4} CL$	CT
0.52		CT
0.62		CT
0.72		CT
0.82		CT
0.92		CT
1.02		CT

代入上式，即成

$$CT = \frac{1}{4} CL.$$

如上方為空氣，下方為水，則 $\mu = \frac{4}{3}$ ，故由水面上直下望

見水內物體之深，僅其實值之 $\frac{3}{4}$ 而已。

§ 233. 稜鏡

由水晶、玻璃等透明體而成之三角柱，曰稜鏡 (prism)。其兩側面特別磨光，容光線通過，此兩面相交之稜，曰折

射邊(refracting edge). 此間所夾之角,曰稜角(refracting angle). 光由空氣進入玻璃之稜鏡時,折射線恆偏向稜鏡較厚之一方.



圖 187. 稜鏡之折射

求通過稜鏡之光線方向,可用圖 187 之作圖法.

命 μ 表稜鏡之折射率, LO 表入射線. 以 A 為圓心, 以 1 及 μ 為半徑, 各作一圓, 引 LA 與 LO 平行, 與內圓相交於 d , 引 AN, AN' 各與 AB, AC 垂直. 引 de 與 AN 平行. 連結 eA 延長之, 得 f , 引 fg 與 $N'A$ 平行. 如此 eAf 表光線在稜鏡內部所取之方向; Ag 表光線由稜鏡透出後所取之方向. 故引 $OO', O'R$ 各與 eAf, Ag 平行, 所得之 $OO'R$ 即所求之折射線.

凡由稜鏡中透過之光線, 均向稜鏡較厚之一方彎曲. 原入射線 LO 與最後透出稜鏡之光線 $O'R$ 間之角, 表示光線因透過稜鏡而生之方向變化, 通稱之曰偏向(deviation). 偏向之大小, 隨入射角而異, 其中有一最小之值, 曰稜鏡之最小偏向(minimum deviation). 最小偏向與稜角及稜鏡之折射率, 有一定不移之關係, 故多

利用之以求各種物質之折射率。

§ 229. 全反射稜鏡。

平鏡反射之缺點頗多，故通常多用稜角等於直角之稜鏡代之，是為直角稜鏡 (right-angle prism)。圖 188 之 ABC 為直角稜鏡，即其稜角 C 等於一直角。入射線



圖 188. 直角稜鏡



圖 189. 正像稜鏡

與 AC 垂直，進入稜鏡不起折射，但對於 AB 之入射角則為 45° ，在玻璃之臨界角 42° 之上，故成全反射，而沿 BC 之垂直方向射出。又圖 189 所示者，曰正像稜鏡 (erecting prism)，亦與此目的相同。光線 x 及 y 本為平行，進入稜鏡內受折射後達於 AB ，此時之入射角遠在臨界角以上，故在此均成為全反射，然後由 BC 射至外方。用此

稜鏡造成之像，上下恰相倒置，如圖之右方所示，可將倒立之像，轉為正立，故名。

問題第十九

1. 晝間太陽為雲所蔽，仍能見物，何故？
2. 白晝在室內所見之物，無影，夜間即有影，何故？
3. 日光由壁隙射入，所經之路，可見塵埃飛舞，其餘則不見，何故？
4. 在鏡上貼一白色紙片，使日光照及鏡面，反射至壁上，即見紙片所貼處，現為黑暗之影，何故？
5. 晝間在室內之人觀玻璃窗，可見室外景物而不能見自身之像，夜間則正相反，只見其本身之像而不能見室外之景物，何故？
6. 在窗外之人，由玻璃窗內觀，晝夜有何不同？其理如何？
7. 細管入杯內水中，即見在水面處似被折為兩段者，其故安在？
8. 近望湖水，可見其底，遠望則只見倒立樹枝之像，不能見其底，其故安在？
9. 設有平面鏡兩架，互成垂直，如在其間放一實物，可以造成若干像？試繪圖將各像之位置表出。
10. 上述之兩平面鏡，如相向而立，互相平行時，在其間

實物，可以造成若干像？能否在圖上將各像之位置畫出？

11. 在鏡內窺見時鐘指針正指 8 點 24 分，究係何時？

12. 欲知玻璃磚造成之鏡有若干厚，有何簡便方法？

13. 欲在屏上造成電燈之像，能否使用 (a) 平面鏡，(b) 凹鏡，(c) 凸鏡？

14. 一人在鏡前，凡鏡中映出之像，該小且頭在下而足在上，究係何種鏡？

15. 一人立於鏡前，伸手指六，見鏡中映出之手則指地。(a) 此時映成之像為虛像抑為實像？(b) 此鏡係凸鏡抑係凹鏡？

16. 汽車上均裝一凹鏡，在開車人坐旁，以便窺見車後路上情景。為何不用凸鏡？

17. 設有一面光鏡，斜射至平面鏡上，其傾斜角度為 25° ，求入射線與反射線間之角度。

18. 前題之平面鏡，如轉動 1° ，使光線與平面鏡之傾斜角度增至 26° ，則其反射線將轉動若干角度？

19. 一人身長 5 尺 6 寸，立於鏡前，距鏡面 4 尺遠，在鏡中恰足照見全身，求鏡長。

20. 共備車輪等物，照廣米之凹鏡前，有一實物，距鏡面 15 厘米，其像距鏡面若干遠？係虛像抑係實像？係正立抑係倒立？

21. 前區中之實物，如有 3 厘米長，則其像之長若干？若在凹鏡前 10 寸遠之燭光，如在鏡前 30 寸處之屏上，

映成鮮明之像，則鏡之曲率半徑當為若干？

23. 用焦距等於 10 厘米之凹鏡，欲在鏡前 35 厘米

之屏上映成鮮明之像，實物應放在何處？

24. 將鉛筆立在曲率半徑等於 12 寸之凹鏡前 10 寸處，

此時映成之像為實物若干倍大？

25. 前題之鉛筆如放在鏡前四寸處，求像之位置、長短、

及其性質。

26. 若在凹鏡前 12 寸處，在距離鏡面五寸處之屏上，映成

鮮明之像，如將燈由鏡前移進 4 寸，則其像應位於何處？

27. 用曲率半徑等於 12 寸之凹鏡，欲將一燭燈之光，反

射成爲平行光線，須將燭燈放在何處？

28. 一人立在焦距等於 2 尺之凹鏡前，欲見已身二倍

大之正立像，應立於鏡前何處？

29. 試將下列凹鏡成像之實全部填出。

實物位置	像之位置	虛像或實像	放大或縮小	正立或倒立
在 F 以內				
在 F				
在 F 與 C 之間				
在 C				
在 C 以外				

F 表主焦點， C 表曲率中心。

30. 身長 5 尺 4 寸之人，立在凸鏡前 15 尺遠，知凸鏡之

曲率半徑等於 1 尺，求像長。

81. 光線由空氣射入玻璃，入射角等於 68° ，折射角等於 43° ，試從作圖法求其折射率。

82. 光線以 45° 之入射角進入一種液體中，其折射率為 1.68，試從作圖法求在液體中之折射角。

83. 冕牌玻璃 (crown glass) 之折射率為 1.5，試從作圖法求其臨界角。

84. 水晶之臨界角為 40° ，試從作圖法求其折射率。

85. 光線由冕牌玻璃射出空氣中，入射角等於 30° ，求折射角。

86. 入射線與水面成 45° 之傾斜，求折射線之方向。

入射角	入射線與法線之夾角	入射線與界面之夾角	入射線與界面法線之夾角	入射線與界面法線之夾角
45°	45°	45°	45°	45°
30°	30°	30°	30°	30°
60°	60°	60°	60°	60°
90°	90°	90°	90°	90°

圖曰又雙面凹 (lens of concave) 雙面深會曰又雙面凸

第三章 透鏡 (lens) 雙面深

§ 240. 透鏡 透鏡之種類

將玻璃、水晶等透明體磨成薄片，使其兩面均成球面之一部分，或一面為平面形狀者，曰透鏡 (lens)。中央部分較厚者，曰凸透鏡 (convex lens)，其中如圖 100 之 A、



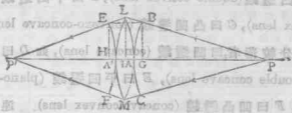
圖 100. 透鏡

兩凸透鏡 (double convex lens), B 曰平凸透鏡 (plano-convex lens), C 曰凸凹透鏡 (convexo-concave lens)。中央部分較薄者，曰凹透鏡 (concave lens)，如 D 曰兩凹透鏡 (double concave lens), E 曰平凹透鏡 (plano-concave lens), F 曰凹凸透鏡 (concavo-convex lens)。連結透鏡兩球面中心之線，曰透鏡軸線 (axis of lens)。如透鏡之折射率較外面介質之折射率大，則光線經凸透鏡折射後，有會聚之性質，經凹透鏡折射後，有發散之性質，故

凸透鏡又曰會聚透鏡(converging lens),凹透鏡又曰發散透鏡(diverging lens)。

§ 241. 透鏡之折射。

由圖 191 之透鏡 LM 之軸線上一點,發出球面波 BAC 。如透鏡之孔徑不大,則透過透鏡後之波,亦集合於一點 P ,即成爲以 P 爲中心之球面波。因經由透鏡中心部分者,其行較遲,而經由透鏡邊緣者,其行較速,透過波之曲率變更,即由此所致。波面在空氣中進行 BLE ,在透鏡內僅進行 AA' 。引 BE 與透鏡軸線平行, BE 之長可看作與 BLE 相等。再引 BG, LI , 及 EH 與軸線垂直,大致上 BE 之長又與 GH 相等。



命 V_0, V 表波在空氣及透鏡內之速度, μ 表透鏡之折射率,則得

$$\mu = \frac{V_0}{V}$$

故在空氣中進行 BE 之時間 $= \frac{BE}{V_0} = \frac{GH}{V_0}$

$$\left(\frac{1}{v} + \frac{1}{v'}\right) \frac{y}{2} = \mu \Delta + \Delta A = \frac{GA + AA' + A'H}{V_0},$$

在透鏡內進行 AA' 之時間 $= \frac{AA'}{V}$

此兩者既相等，則

$$GA + AA' + A'H = AA' \frac{V_0}{V} = \mu AA',$$

故 $GA + A'H = (\mu - 1) AA'$

命 r_1, r_2 表兩透鏡面之曲率半徑； u 及 v 表光點 P 及像點 P' 至透鏡面之長，即

$$u = PA, \quad v = A'P';$$

又命

$$BG = LI = EH = y,$$

得

$$GA = \frac{y^2}{2u},$$

$$A'I = \frac{y^2}{2v},$$

$$A'H = \frac{y^2}{2v},$$

$$A'H = \frac{y^2}{2v},$$

故 $GA + A'H = \frac{y^2}{2} \left(\frac{1}{u} + \frac{1}{v} \right)$

而 $AA' = AI + IA' = \frac{y^2}{2} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$

代入前得之 $GA + A'H = (\mu - 1) AA'$ 之關係中，消去 $\frac{y^2}{2}$ ，
即得

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = (\mu - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

如投射波為平面波，即 $u = \infty$ ，與此相當之 v ，成一常數，即透過波亦集中於一點，曰透鏡之主焦點 (principal focus)，或略稱焦點 (focus)，通常以 F 代之。此時 v 所成之常數，即 F 至透鏡之距離，曰透鏡之焦距 (focal length)，通常以 f 代之。於是上式遂成爲

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

此即透鏡之一般公式

§ 242. 光心.

對於透鏡之投射線，除沿透鏡軸線而來者外，透過後，均必改變方向。但各透鏡均有一特殊之點，經過此點之光線，在透過透鏡之前後，恆成平行。如圖 192。由

$$\begin{aligned} a+b &= c \\ -a+e &= c+d \\ \hline b-e &= \end{aligned}$$

透鏡之曲率中心 A 及 B , 任意引平行線 AC 及 BD 在 C 及 D 各作切平面, 則此兩平面, 互相平行。故經由

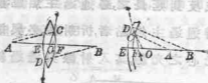


圖 192. 光心

CD 之路而來之光線, 與由一平行板中通過者無異, 故其前後之光線, 互成平行。再就 $\triangle ACO$ 及 $\triangle BDO$ 而言為相似形, 故有下列之比例關係:

$$\frac{AC}{BD} = \frac{AO}{BO} = \frac{AF}{BE} = \frac{AF - AO}{BE - BO} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{OF}{OE}$$

但 $\frac{r_1}{r_2}$ 為一常數, 故由 $\frac{OF}{OE}$ 所決定之 O 點, 為一定點, 即上所述之特殊點, 曰光心 (optical center), 通過光心之光線, 則曰中央光線 (central ray)。如透鏡兩面之曲率中心均在透鏡同一側, 則光心在於鏡外; 如兩曲率中心各在透鏡之一邊, 則光心即在透鏡內, 如有一面為平面, 則其光心即在曲面上。

§ 243. 透鏡所成之像

(1) 由一點發出之光線，經透鏡折射後，重行集中於一點。(2) 與透鏡軸線平行之光線，折射後，或反對延長之，必通過主焦點；反之，通過主焦點或延長時通過主焦點者，折射後，必與透鏡軸線平行。(3) 通過光心之光線，其入射線與透過線平行。



若無非此圖中對準平一由與，則次之來而而之

(2) 若無非此圖中對準平一由與，則次之來而而之



圖 193. 透鏡造像之作圖法

依照上述原理，由作圖法求透鏡對於物體造成之像極爲簡便，如圖 193。S 爲實物，S' 爲其像。又 (1) 爲實際光線通過者，成實像，物與像之位置可對調。(2) 及 (3) 爲反對延長光線所成，故爲虛像，物與像不能對調。

再就透鏡之一般公式而言，無論對於凸透鏡或凹透鏡，均一律適用。實物之距離 u 恆取正號與球面鏡時相同。凸透鏡之焦距 f 取正號，凹透鏡之焦距 f 取負

鏡，像之距離 v ，如爲正數，則表實像，如爲負數，則表虛像。

命 S 表實物之長， S_1 表像長，則由圖 193，根據相似三角形定理，立可證明

$$\frac{S_1}{S} = \frac{v}{u}$$

即像與實物大小之比，等於兩者對於透鏡之距離之比

由上述結果，可知透鏡所成之像，與球面鏡所成之像，關係幾完全相似。

問題第二十

1. 用雙凸透鏡在何種情況，可以造成 (a) 實像，(b) 虛像。
- (c) 倒像？
2. 試作圖說明雙凸透鏡造成之虛像，必較實物爲大。
3. 試由作圖法，將 (c) 實物在主焦點上時，(b) 實物在主焦點與透鏡之同時，由實物發出之一束光線，通過雙凸透鏡後，成何形狀？
4. 盛在玻璃圓筒內之水裏，看去似比實際略大，何故？
5. 日光從球形水瓶中通過，可以使火柴點燃，何故？
6. 用球面鏡及透鏡造成之像，凡屬實像，是否均係倒立？

7. 將一物放在焦距為16厘米之凸透鏡前 (a) 10 厘米遠, (b) 50 厘米遠, (c) 10 厘米遠. 求像之位置及其性質.
8. 在透鏡一方, 離透鏡 60 厘米處放一燈火, 在透鏡他一方距透鏡 20 厘米處, 造成鮮明之像. 求透鏡之焦距.
9. 讀者用放大鏡, 即一凸透鏡, 其焦距為 15 寸, 與書隔 10 寸遠, 可以詳細讀出文字, 求像與透鏡間之距離.
10. 前題所見之像, 與實物大小之比如何?
11. 用凸透鏡造成之像, 如與實物大小恰相等, 則像與透鏡間之距離, 等於焦距之倍. 試證明之.
12. 設有焦距等於 8 厘米之凸透鏡, 在鏡前 6 厘米處, 放一實物. (a) 求像在何處? (b) 像與實物之大小之比如何? (c) 像之倒正如何? (d) 虛實如何?
13. 實物在透鏡前 80 厘米, 像亦在距鏡 8 厘米. 其焦距幾何? 係凸透鏡抑係凹透鏡?
14. 用焦距等於 10 厘米之凸透鏡, 映出電燈泡之像, (a) 欲使實像較實物增大一倍, (b) 欲使虛像較實物增大一倍, 求電燈泡之位置.
15. 電燈與屏相距 4 尺. 在兩者之間放一透鏡, 使透鏡與電燈相隔 1 尺, 即可在屏上造成電燈之像. 如移動透鏡, 又可在另一位置上, 亦同樣能在屏上造成電燈之像. 求第二位置. 並比較此兩種像之大小.
16. 實物在凹透鏡前, 50 厘米, 欲造成實大 $\frac{1}{6}$ 之虛像, 求用焦距若干?

17. 電燈與屏相隔 90 厘米，欲在此兩者之間放一凸透鏡，使屏上成成之象，有電燈三倍大。求透鏡之焦距。



此處之文字係因掃描或印刷錯誤所致，內容極度模糊且多為亂碼，無法辨識其具體內容。圖中文字亦因同樣原因而模糊不清。

第四章 光學儀器

§ 244 眼之構造

眼球之水平截面，如圖 194 所示，其外面有一層堅牢之膜，在前方者為透明部分，如 *H*，曰角膜 (cornea)，在後方者為白色而不透明之部分，曰鞏膜 (sclerotic)，如 *S*。角膜較其他部分，突出外方。



圖 194. 眼之水平截面

角膜後面，有著色之彩簾 (iris) *I*，宛如使前方突起部分，與眼球其他部分離者然。從前方望彩簾中央，有黑色圓孔 *P*，曰瞳孔 (pupil)，在彩簾及瞳孔後方，有透鏡狀之物，如 *K*，與彩簾及瞳孔緊接，曰睛珠 (crystalline lens)，由透明之彈性膜包裹而成，固著於眼球內部。在角膜與彩簾之間，充滿一種透明液體，如 *A*，曰前房液 (aqueous humor)，在睛珠後方則充滿透明之膠質，如 *V*，曰玻璃狀液 (vitreous humor)。當眼注視遠處時，睛珠前面之半徑約 11 毫米，後面之半徑約 8 毫米。

睛珠經由具毛肌肉(ciliary muscles) M 與鞏膜內面之黑
衣(choroidea) C 相連,即用具毛肌肉,使睛珠之兩面,適
宜變更其彎曲程度,尤以使睛珠前方之彎曲度變更爲
最多。黑衣佈於眼球內部,其色黑,故名。因其色黑,故
可防止眼球內部之光之反射,俾免造成不明瞭之像。
黑衣內面有視神經(optical nerve)末梢,散佈成網,如 R
曰網膜(retina),外物之像,即生於其上。睛珠軸線與網
膜相交處有圓形之黃色部,如 Y ,曰黃斑(yellow spot),對
於光感,特別敏銳。又視神經由腦進入眼球處,如 B ,特
別粗大,缺乏光之感覺,故曰盲點(blind spot)。

由外物 AB , 如圖 195, 發出之光, 進入瞳孔, 經睛珠

(eye) 之屈折, 成爲倒立實像 ab , 神經經此像

之刺激, 傳達於腦, 始知有直立之物體 AB 存在。

折射後, 集中於網膜上, 成爲倒立實像 ab , 神經經此像

之刺激, 傳達於腦, 始知有直立之物體 AB 存在。

折射後, 集中於網膜上, 成爲倒立實像 ab , 神經經此像

之刺激, 傳達於腦, 始知有直立之物體 AB 存在。

折射後, 集中於網膜上, 成爲倒立實像 ab , 神經經此像

之刺激, 傳達於腦, 始知有直立之物體 AB 存在。

折射後, 集中於網膜上, 成爲倒立實像 ab , 神經經此像

之刺激, 傳達於腦, 始知有直立之物體 AB 存在。



圖 195. 眼中所映之像

折射後, 集中於網膜上, 成爲倒立實像 ab , 神經經此像

之刺激, 傳達於腦, 始知有直立之物體 AB 存在。

眼之主要部分，爲睛珠，其彎曲程度隨其毛筋肉之伸縮而變。其毛筋肉收縮，則睛珠由其本身之彈力成爲圓形，結果半徑減小，折射本領增大。反之，其毛筋肉伸長，則睛珠之焦距加長，折射本領減小。故對於遠近之物體，均能自由伸縮以適應之，使其鮮明之像，恆成於網膜上，引起明瞭之視覺。如是之作用，稱曰眼之調節 (accommodation of the eye)。由調節作用所能明瞭察見最遠之點，曰遠點 (far point)，最近之點曰近點 (near point)。此兩點間之距離，因人而異，並無一定。視覺健全者，遠點可達於無窮遠，對於平行而來之光線，亦能在網膜上造成鮮明之像，如是之眼，曰正視眼 (emmetropic eye)。反之，遠點在於有限之距離者，曰非正視眼 (ametropic eye)。同在調節可能之範圍內，其距眼愈近者，在網膜上造成之像愈大，視覺亦愈明瞭，但同時睛珠之彎曲程度愈甚，故不免有疲勞之感。在調節範圍內，使眼不成疲勞，又能得最明瞭之視覺之距離，如讀書時書與眼間之距離，曰明視距離 (distance of distinct vision)。

§ 243. 眼鏡

正視眼可使平行光線會聚於其網膜上，如圖 196

之(1),非正視眼則不能使平行光線會聚於其網膜上,可用一枚透鏡,以矯正之,是爲眼鏡(spectacles),非正視之性質不同,眼鏡之種類亦異,分別述之如下:

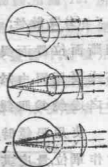


圖 196. 非正視眼及眼鏡

(1) 近視: 因眼之軸線過長或折射本領過強而起之非正視,曰近視眼(short-sighted eye)。此眼對於平行光線造成之像,在於網膜之前,如圖 196 之(2),此時如用一適宜之凹透鏡,使平行光線預行發散,然後進入眼中,則其像即移後,生於網膜之上。

(2) 遠視: 因眼之軸線過短或折射本領不足而起之非正視,曰遠視眼(far-sighted eye)。此眼對於平行光線造成之像,在於網膜之後,如(3)。此時如用一適宜之凸透鏡,使平行光線預行會聚,然後進入眼中,其像即可移前,生於網膜之上。

(3) 老視: 因年齡過高,睛珠失却伸縮能力而起之非正視,曰老視眼(presbyopic eye)。此眼對於遠點,並無關係,僅對於近點不能造成鮮明之像,故用凸透鏡矯正

之。

(4) 像散性：因包含眼之光軸之斷面內，折射狀況隨斷面位置而異，各方不能一律，曰像散性(astigmatism) 其主要原因由於角膜表面之半徑，各方互異，宜用圓柱面之透鏡為眼鏡，以矯正之。

— 使用眼鏡時，其焦距愈短者，作用愈強，舊時概用英寸作單位，量度其焦距，即以此數表眼鏡之程度。例如20度之眼鏡，即焦距等於20英寸之透鏡。新法用米作單位，量度其焦距，而以此數之倒數，表眼鏡之作用程度，稱之曰度(diopter)。例如新法2度之眼鏡，即焦距等於50厘米之透鏡。

§ 247. 視覺暫留。雨自雲中降下，本為滴狀而映入眼中，則連成一線，但在暗夜用電花等類瞬時之光照之，依然成為滴狀。又電扇急轉時，其葉片亦連成一片，用電光照之，亦能分開。此種現象，由視覺暫留 (persistence of vision) 而來，即光感有暫時殘留之性質，雖將光源取去，其在網膜上造成之像，並不隨之立時消滅，尚能延長至相當之久，據實驗，知其暫留之時間為 $\frac{1}{10}$ 秒。利用此理，可得活動影

鏡(cinematograph) 對於運動中之物體，用圖 197 所示之影片照相機，約每隔 $\frac{1}{16}$ 秒，為之各照一相片，各片連成一條，是為影片(film)。將影片裝入映畫器中，自後用強光照及擴大後在幕上現成其像，仍以同一速度，即每隔 $\frac{1}{16}$ 秒換一次，則在網膜上現成之像，前者未去，後者已來，遂不覺其間斷，融合成爲一片矣。

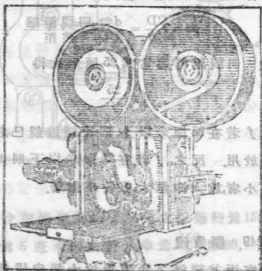


圖 197 影鏡器

§ 249. 放大鏡

物體在凸透鏡之焦距內，則成正立虛像，且較實物更大。利用此理，在眼前放一凸透鏡，如圖 198，使實物

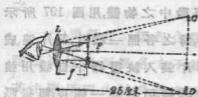


圖 183. 放大鏡

物 AB 之放大虛像 CD ，生在明視距離處，俾便詳加考察，如是之凸透鏡，曰放大鏡 (magnifier)，或曰單顯微鏡 (simple microscope)，

像與實物之大小之比，曰放大率 (magnification)，通常以

$$M = \frac{CD}{AB} = \frac{d}{f} = \frac{\text{明視距離}}{\text{焦距}}$$

表出之。明視距離通常為 25 厘米，故得

$$M = \frac{25}{f}$$

按焦距 f 若在 25 厘米以上，則像離透鏡已超過明視距離，不適於用。反之， f 若在 25 厘米以下，則由上式可知其值愈小者，放大率愈大，功效亦愈著。

§ 249. 顯微鏡

觀察極其細微之物體，用放大鏡尚嫌放大率不足，則用顯微鏡 (microscope)，由兩套透鏡合成，外形如圖 199 左方，其主要部分為一直立圓筒，上下各有一套透鏡。下方之透鏡 L ，曰物鏡 (objective)；上方之透鏡 E ，曰目鏡 (eyepiece)。實物 AB 在於物鏡之焦點附近，經物鏡造

成放大實像 CD ，再從目鏡中窺見，更經一度放大而成虛像 $C'D'$ ，其與眼之距離恰等於明視距離。

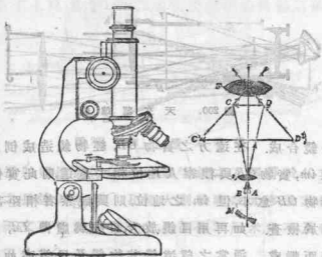


圖 199. 顯 微 鏡

通常之顯微鏡，其 CD 與 L 間之距離約為 150 毫米，如 L 之焦距為 5 毫米，則其放大率為 $\frac{150}{5}$ 即 30。如 E 之放大率為 10，則此顯微鏡之合成放大率應成為 30×10 即 300 倍。現今使用之顯微鏡，其放大率有至 2500 倍者。

§ 250. 天文望遠鏡

將遠處物體造成放大之像以供觀察之器，曰望遠

鏡(telescope),其中最簡單者,爲天文望遠鏡(astronomical telescope),構造原理如圖 200 所示,亦由物鏡及目鏡兩

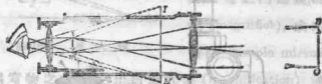


圖 200. 天文望遠鏡

套透鏡合成。在遠方之實物 OB , 經物鏡造成倒立之實像 im , 實物 OB 與觀察人地位相去愈遠, 則此實像 im 較實物 OB 愈小, 但 im 之地位, 則與觀察者相距甚近, 極便於檢查。如再用目鏡放大, 即成爲虛像 IM , 生於明視距離處。通常之望遠鏡, 其物鏡及目鏡, 亦如顯微鏡, 裝在圓筒之兩端, 圓筒之長度, 可以任意伸縮, 如觀極遠之物, 如天體等, 則將圓筒縮短, 使兩透鏡接近, 如觀較近之物, 則將圓筒伸長, 令兩透鏡遠離。

此種望遠鏡中所見者, 恆爲倒像, 對於天體觀測, 並無不便, 故天文學上多用之, 因有天文望遠鏡之名, 但有時即令觀測天體亦有不便, 故如圖 201 所示, 目鏡改用凹透鏡, 即將倒像 $A'B'$ 再行倒轉成正立之 $A''B''$, 是曰伽利略望遠鏡 (Galilean telescope)。

望遠鏡中之物鏡，爲最重要之部分，世界中望遠鏡最大者當推立克 (Lick) 天文臺及葉耳歧茲 (Yerks) 天文

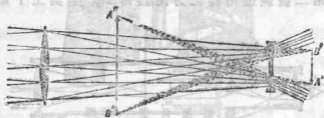


圖 201 伽利略望遠鏡

臺之折射望遠鏡 (refractor)，其物鏡之孔徑，等於 40 英寸，鏡筒之長達 63 英尺。孔徑大，則收容之光多，故其像明。我國天文研究所中現有者，孔徑僅 20 厘米，尚不及 40 英寸之五分之一。

§ 251. 地上望遠鏡。

對於地面物體用望遠鏡觀察之時，更非正立之像不可，如是者曰地上望遠鏡 (terrestrial telescope)。如圖 202，在物鏡及目鏡之間，插一間隔透鏡，即可得見正立放大之像 MI 。或如圖 203，將兩枚間隔透鏡插入物鏡與目鏡之間，亦可使倒像 $A'B'C'$ 倒轉成爲正立之像 ABC 。又或如圖 204 所示，用一對全反射稜鏡 A, B 代替

間隔之透鏡亦可，此時兩稜鏡之稜，互相垂直，是曰坡耳洛稜鏡 (Porro's prism)。光線進入第一稜鏡時之方向，與由第二稜鏡透出時之方向，共轉 180° 度，與上下顛倒。

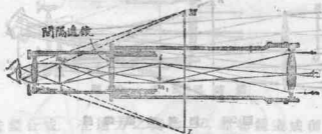


圖 202. 地上望遠鏡



圖 203. 正立望遠鏡

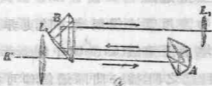


圖 204. 坡耳洛稜鏡

之關係完全相同，如圖 205 之觀劇鏡 (opera glass)，又名稜鏡式雙筒望遠鏡 (prism binocular)，即由此理製成。



圖 205. 雙筒望遠鏡

§ 252. 潛望鏡

望遠鏡之一種應用，為在潛水艇內觀察水面情況時所使用之潛望鏡(periscope)，其構造如圖 206，由全反射稜鏡及通常之望遠鏡 E 聯合而成。由外而來之光，先經稜鏡 P_1 全反射後折入筒內，成為平行線，與筒軸平行。故若在 P_1 下面觀察，所見之像，異常微小。此項平行光線，沿筒內進行，受下方望遠鏡中物鏡 O 及目鏡 E 之作用，使其放大。其合成之放大率，



圖 206. 潛望鏡

約為 $1\frac{1}{4}$ 。又由 O 透過之光線，尙未集合以前，須經全反射稜鏡 P_2 之作用，改成水平方向，造成實像。再經目鏡 E 放大，成爲虛像，且係正立，與外界實物之情況完全一樣，極便觀察。又全筒可繞軸線自由轉動，以便察看由各方向發來之光。

§ 253. 照相機。

利用前述針孔所成之像，可以照取室外風景之相片，爲此而設之器，曰針孔照相機 (pinhole camera)。係於針孔對壁，放一照相片 (photographic plate)，或膠製之軟片 (film)，其上塗有氯化銀或溴化銀等藥品，受光照及發生化學變化，其程度隨光之強弱而異。既受光後，投入特製之藥液內，其受光部分變作黑色，濃淡隨光之強弱而定，是曰顯像 (developing)。再投入另一種藥液內，將殘餘之感光藥品溶去，其已變黑者，仍留其上，後雖再受光照及，亦無變化發生，是曰定像 (fixing)。如是而成之畫，明暗與所照景的恰相反，故曰底片 (negative)。將底片放在塗有感光藥之紙上，露出光中曬之，然後再同樣經顯像定像，即得明暗與原物一致之畫，即相片 (photograph)。

利用針孔，固可照取相片，但孔大則像模糊，孔小又需時頗久，不適於用。一方面，凸透鏡亦同樣可以造成實像，且能會聚多量之光，又不致模糊，故通常之照相機 (photographic camera) 概用透鏡。同時其構造亦異，如圖

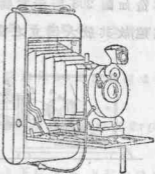


圖 207. 照相機

207，由折疊之軟殼而成，可伸可縮，俾插放照相片處，恰在鮮明之像之位置。使用之透鏡曰照相物鏡 (photographic objective)，俗稱鏡頭，通常均由三個以上之透鏡合成，以求避免種種誤差。又節制光量之設備，曰光闌 (stop)，其孔徑大小，可以任意配合，光暗則將光闌開大，光強則將光闌開小。

§ 254 映畫器

映畫器 (projecting lantern) 之要部，與照相機無甚差別，僅將實物與像之位置，互相交換而已。在照相機係將遠處物體之縮小倒立實像，造成於照相片之上，照相片之位置較透鏡之焦距略遠。在映畫器則反是，其

構造如圖 208 所示,實物 P 與透鏡 L' 間之距離,較焦距略遠,故其放大倒立之實像,生於遠處紙屏 S 之上。

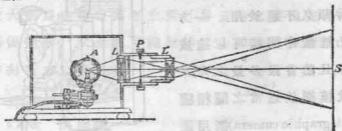


圖 208. 映 畫 器

映畫器中之實物,通常用透明畫片,以極強烈之光 A 照之,在屏上現出之像,恆大於畫片若干倍,其放大率即以 $\frac{L'S}{PL'}$ 表之。光源 A 與畫片 P 之間,通常更用一套會聚透鏡 L , 將多量之光集中於 P 之上,俾其加倍明亮,此 L 通器為聚光器(condenser)。

問題第二十一

1. 凡初入已在閃爍之影戲場中,覺暗黑如漆,一經所見,及坐定以後,對於座旁情況,仍能察見,其故何在?
2. 電扇轉動時,在其後面之物體,可以看見,宛如電扇之葉板成為透明體然,其故何在?
3. 白晝雨落如線,晚間雷雨交作時由電閃照見之雨則為滴狀,何故?

4. 「眼觀四面」能否辦到?

5. 彎曲程度並不甚多之眼鏡，有何簡便方法辨別其為遠視近視?

6. 在照相機中照相片上映成之像(a)是虛像抑或實像?(b)放大抑或縮小?(c)正立抑或倒立?

7. 在眼球中網膜上映成之像(a)是虛像抑或實像?(b)放大抑或縮小?(c)正立抑或倒立?

8. 有種人所戴之眼鏡，分為上下兩部分，上部分看遠處，下部分看近，稱為雙焦距透鏡(bifocal lens)，適於何種眼?其理由如何?

9. 寫字時光要從左邊來方覺便利，何故?

10. 如像映畫器在屏上映出之像過小，有何簡便方法使其加大?其理由如何?

11. 用照相機攝取100尺遠之汽車，照相片與透鏡間之距離為8寸。如汽車已行至10尺遠時，透鏡與照相片間之距離，應為若干?此時究竟係縮短距離抑或加長?

12. 用焦距1尺長之透鏡，照身長6尺之人之全身相，人立鏡前10尺。求照相機板與鏡頭間之距離，及照得相片之高。

13. 映畫器之透鏡之焦距為5寸，屏與鏡間之距離為60尺，求書片與透鏡間之距離。

14. 將焦距等於2寸之放大鏡，放在布上 $1\frac{2}{3}$ 寸高處，觀察布紋，(a)所見之像屬於何種?(b)像生於何處?(c)放大成若干倍?

(green), 藍(blue), 靛(indigo), 紫(violet)等中包有一切之色。

15. 用焦距 8 寸之放大鏡，欲放大成爲 4 倍，鏡與書面之距離幾何？

16. 如圖 199 中所示之顯微鏡，其物鏡 L 之焦距爲 1 寸，實物 AB 與物鏡間之距離爲 1.1 寸。 (a) 求 CD 與物鏡間之距離。 (b) 求物鏡之放大率。 (c) 假定目鏡 E 之放大率爲 20，則此顯微鏡之總放大率幾何？

17. 有近視者，不用眼鏡時之明視距離爲 15 厘米，欲在 60 厘米處之物，須用焦距若干之眼鏡？

18. 甲之明視距離爲 18 厘米，乙之明視距離爲 75 厘米，此兩人須用何種眼鏡，始與普通人之明視距離相同？

第五章 色散 干涉 繞射

§ 255. 光之色散.

以上各章所論之光，均就其振數一定不變者而言，如是者曰單色光 (monochromatic light)，而其波射線則曰單色射線 (homogeneous ray)。實際之光，決無如是簡單者，大都由振數不等，即波長不同之若干光波，混合而成，是曰複光 (compound light)。透過細孔之日光，經稜鏡在上方之稜鏡折射後，在對壁現成一列彩色，如圖 209，

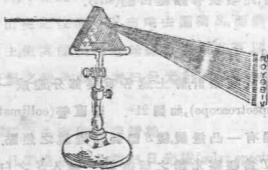


圖 209. 光之色散

色之次序，由上而下為紅 (red)，橙 (orange)，黃 (yellow)，綠 (green)，藍 (blue)，靛 (indigo)，紫 (violet) 等，中包含一切之色。

此七種僅就其大致而言。此種現象，曰光之色散(dispersion)。如用透鏡將此各色之光會聚成爲一點，則仍成爲白光。由是可知，白光實由折射率不同之無數單色光合成。複光經稜鏡色散後，各按其折射率次序，排成一列之彩色，曰光譜(spectrum)。透過細隙之光，不僅一條，故在對壁造成之光譜，亦不免有若干單色光，重疊在同一之點上。欲免重疊，可將透過稜鏡後之光，用一透鏡會聚之，則各單色光，各集中於不同之點，決不混同，如是而得之光譜，曰純光譜(pure spectrum)。或將日光所透過之細孔，極力收縮，成一狹窄細縫，亦可減少各光相重之機會，此項狹窄細縫曰縫 slit。

§ 256. 分光鏡。

爲便於觀察計，將上述各重要部分，連成一套，是爲分光鏡(spectroscope)，如圖 21^a。準直管(collimator)爲一圓筒，一端有一凸透鏡，縫 S 即裝在透鏡之焦點。中央 p 爲稜鏡， T 爲觀察光譜之望遠鏡。進入 S 之白光，經透鏡折射後，成爲平行光線射至稜鏡，由此透過之色散光，再透過望遠鏡之物鏡，始結成純光譜。器內尚有另一圓筒 S_0 ，一端有凸透鏡，在其焦點處裝有精密之標度，

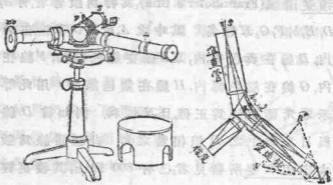


圖 210. 分光鏡

自後用燈光照之，使其射至稜鏡時已變成平行光線，再經稜鏡反射後，成爲實像，即生於純光譜出現之處。在望遠鏡內，可見純光譜與標度相並而立，極便於研究各單色光出現之位置。又有略去圓筒 S ，而將 T 裝在標度圓盤上，使其能繞垂直軸線而轉，由此可以量度折射率及稜鏡之稜角，如是者，曰分光計(spectrometer)。

§ 257. 夫本因和斐譜線。

由日光造成之光譜，曰日光譜(solar spectrum)，由分光鏡之望遠鏡中觀察，乍見其由紫至紅，連續成爲一片，但細察之，即見其中實含有無數暗線(dark line)，如對面三色版圖 211 中之第一列，從其發見者之名，稱曰夫本因

因和斐譜線(Fraunhofer's line),其特別顯著者,有 $A, a, B, C, D, E, b, F, G, H$ 等名。其中之 A, a, B, C 等線,在於紅色部內, D 線在黃色部內, E, b 線在綠色部內, F 線在藍色部內, G 線在靛色部內, H 線在紫色部內。用此等暗線表示單光種類,較為正確,且又便利。例如言 D 線時,即指與日光譜中之 D 線相當之光。此種暗線,為數頗衆,經夫牢因和斐所發見者,已有 600 以上,其後更經部盧斯脫(Brewster),托龍(Thollon)等詳加檢查,知其確數,當在 4,000 以上。各暗線在譜中各佔據一定之位置,但有若干條須太陽接近地平線,始能出現,或縱能出現,但非至此時不十分顯明者。此種暗線,大約由於地球周圍之空氣層及水汽等之作用而來,特曰地上線 (telluric lines)。又投食鹽入本生焰內,則發黃光,為鹽中之鈉所特有之光,恰與 D 線相當。此光隨時可得,對於視覺極易感受,故多用之以作量度折射率之光源。又在稀薄氫氣內放電,則發與 C 線及 F 線相當之光,亦為常用之光源。

§ 258. 消色差稜鏡及直視稜鏡

如用折射率不同之兩種玻璃,各造成一稜鏡,互相

重合,使其一反一正,只須稜角適宜,即可造成無色散之偏向,或無偏向之色散。例如圖 212 所示,一用冕牌玻璃(crown glass) C ,一用火石玻璃(flint glass) F 前者所起之色散,恰與後者相抵消,則合成之結果,仍與一個單獨之稜鏡相同,僅無色散而已,如是者,曰消色差稜鏡 (achromatic prism)。又如圖 213 所示之兩

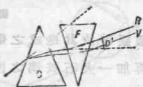


圖 212 消色差稜鏡

稜鏡,其偏向互相抵消,僅餘色散依然存在,故在入射光線方向上,可見其光譜,如是者曰直視稜鏡 (direct-vision prism)。用此種稜鏡造成之分光鏡,曰直視



圖 213 直視稜鏡

分光鏡 (direct-vision spectroscopy)。

§ 259. 消色差透鏡。

由 300 頁 § 241, 知透鏡之焦距 f , 與 $\mu - 1$ 成反比例, 故紅光之 f , 應較紫光之 f 長。故白光通過冕牌玻璃之透鏡後, 如圖 214, 紫色集合於 V , 紅色集合於 R , 像點不相一致是曰色像差 (chromatic aberration)。透鏡因有此

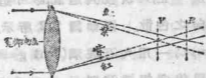


圖 214 色像差

種誤差，故其造成之像，不能鮮明。欲避免之，當如圖 215，再加一火石玻璃之凹透鏡，即可將 V 處之紫光及 R 處之紅光，移至同一點上，如是者曰消色差透鏡 (achromatic lens)。



圖 215. 消色差透鏡

§ 263. 虹霓。

自然界中出現之光譜，為虹霓 (rainbow)，如空中有多數水霧，受日光照及，太陽又不甚高，只須背太陽，即可得見。如注意觀察，即見其同時有兩條出現，一濃一淡，濃者曰虹 (primary rainbow)，淡者曰霓 (secondary rainbow)。虹之視角約為 41° ，霓之視角約為 52° 。虹為內紫外紅，霓則與之相反。

如圖 216, SA 表由太陽而來之光線, 遇水滴 ABC , 在滴內當受反射, 而出入水滴, 又須受折射。如圖 217,

則表光線在滴內受兩度

反射之情況。實線表紫

色光之路徑, 虛線表紅色

光之路徑, 其偏向程度均

不及紫色者為甚。圖中

E 表觀測者之眼, 直線 ED

與入射線 SA 平行。僅

在水滴中作一度反射者, 其角 GED 對於紫光成爲 $40^{\circ}36'$,

對於紅光則成爲 $42^{\circ}22'$ 。在滴內連續兩次反射者, 其

角 GED 對於紫光成爲 $53^{\circ}36'$, 對於紅光則成爲 $50^{\circ}24'$,

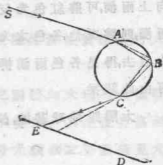


圖 216. 日光在水滴中一度反射

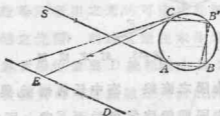


圖 217. 日光在水滴中兩次反射

設想空中有無數雨滴, 如圖 218 所示之 $ABCD$ 等, 自觀測者之眼 E 引直線 EF 與入射之日光平行, 如角

AEF 恰等於 $40^{\circ}36'$ ，則在 EA 方向上之雨滴，可將紫色光反射進入眼中，如角 BEF 恰等於 $42^{\circ}22'$ ，則在 EB 方向上雨滴，可將紅色光反射進入眼中。此兩者間之各雨滴，則將其他各色之光反射入目。故從 E 處向 B 及 A 望去，得見各色雨滴排列成爲光譜形狀。對於霓亦可由此類推。

太陽距地球甚遠，故直線 EF 可看成通過觀測者

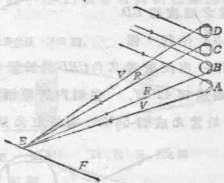


圖 218. 虹之成因

眼中引至太陽之直線。空中任何雨滴，與 EF 能作 40 度角度者，均同樣能將紫色送至 E 處。同樣任何方向上之水滴，只須與 EF 成爲 42 度之傾斜，均能將紅光送至 E 處。對於霓亦可類推。故若以 EF 爲軸線，則 AB 之軌跡，成一弧形，即在 E 處所見之虹之位置，而 CD 之

軌跡亦成一弧形，即在 E 處所見之霓之位置。

§ 261. 光譜。

由色散造成之光譜，形狀隨光源性質而異，可大別之爲三種：

(1) 固體之光譜：耐熱之固體，如大理石，金屬等，受熱時，最初僅有熱線射出，而不發光。其溫度升高至於 600°C . 時，始有紅光射出，用分光鏡察之，亦僅能見光譜中紅色之一部分。溫度再昇至 $1,000^{\circ}\text{C}$. 時，黃色部分，相繼出現，至 $1,600^{\circ}\text{C}$. 時，固體達於白熾狀態，全部光譜亦同時完成，由紅而紫，連爲一片，與日光譜相似，而無夫 牢 因 和 斐 線，故曰連續光譜 (continuous spectrum)。如燭光，洋燈，電燈等所發出之光，均可造成此種光譜。

(2) 氣體之光譜：前述食鹽在本 生 焰 內所發黃光，其光譜現爲黃線，位置與 D 線相當，如圖 211 之第二列細察之，此黃線實由兩條細線並列而成，係鈉汽之光，通過縫中造成之像。故知白熾之鈉汽發出之光，爲波長不同之兩種單色光，在氫氣中放電時現出之 C 線及 F 線，亦然。凡在光譜內現出之線，曰光譜線 (spectral lines)，因其有光，又曰明線 (bright lines)，其譜則曰明線光譜。

(bright-lines spectrum), 簡稱線光譜 (line spectrum)。譜中現出之線數及其位置, 為各種金屬之特徵, 與使用之鹽類無關。利用此性質, 由一種物質之光譜, 可以檢出其所包含之各種金屬, 是曰光譜分析術 (spectral analysis)。在化學上為強有力之分析法, 鈉 (caesium), 鉍 (thallium), 錫 (indium), 銣 (rubidium), 氖 (neon), 氬 (krypton), 鐳 (europium) 等之發見, 均由此法。

(3) 吸收光譜: 在發生連續光譜之光源, 如洋燈弧燈等, 與縫間, 夾入溶液或汽, 則其光譜中即有若干條之暗線或暗帶 (dark band) 出現。與此等暗黑處所相當之光, 在通過溶液或汽時, 被其吸收, 故成此狀, 是曰吸收光譜 (absorption spectrum), 與此相對, 前兩種則曰發射光譜 (emission spectrum)。各物質所吸收之光, 各有一定, 故利用吸收光譜亦可分析物質。圖 219 之弧燈表光源。



圖 219. 光譜線自發之實驗

對於其他之天體，亦可同樣檢出其含有之元素。月光譜與日光譜全同，因月光純由日光反射而來所致。其他之行星恆星等之光譜，亦大同小異，可知其構成之物質，大致與地球相似。天體中間亦有現明線光譜者，可以推知其為尙未凝固之氣體。

§ 263. 物體之顏色。

射至物體表面之光，一部分在表面上受散射，一部分則透入物體內部，進入其中少許距離，始重行反射而出。當其透入之時，受物體之選擇吸收，退出者為殘餘之部分，進入吾人之眼，由此而識其色。物質對於入射之白光中之各單色光，均以同一之比例射回者，現為白色；全部吸收無餘者，現為黑色。例如玫瑰，對於入射光除紅色光外，全部吸收，故在白光中現為紅色；以其他之單色光照之，即現為黑色矣。

有種物質所現出之色，隨入射光透進其內之深淺不同而異。例如葉綠素(chlorophyll)，透過其薄層者現綠色，而透過其厚層者，則現紅色。因此物質對於綠光之吸收本領較紅光為強，如入射光中綠色較紅色為強，透入愈深，綠光被吸收之量愈多，其殘餘之部分中，紅光

應較強，故現為紅色。如是之現象，曰兩色性 (dichromatism)。有種物質對於某一種單色光，絲毫不容許其侵入，僅能由其表面全部反射而回。據理論及實驗，知能由一物質表面全部反射而回之單色光，亦即此物質最為吸收之單色光，故透過此種物質之光，與由其表面反射之光，色各不同。例如金箔反射之光現黃色，而透過之光，則現藍綠色，如是之現象，曰表面色 (surface color)。

§ 264. 色之混合。

欲由實驗研究色之混合，以用圖 220 之牛頓色板 (Newton's color disk) 為便。各扇形塗作光譜中各色，急轉之，由視覺暫留，前一扇形在網膜上引起之色感未退，後一扇形已接踵而來，彼此相重，結果與色之混合無異，成為白色。如變更扇形上所塗之色，結果當然亦隨之而異，如表 17。表中紅綠藍三色，雖可混成白色，但如將其中各成分之比例分量偏輕偏重，即可成為自然界內一切之色光。換言之，任何色光均可由



圖 220. 牛頓色板

紅綠藍三種單色光配合而成，故

此三色曰原色 (primary colors)。

又白色不限於由三原色合成，例

如由黃與藍，或紫與綠，均可混成

白色，觀表自明，如是互相混合可

成白光之兩色，曰互補色 (complementary color)。

又染色之溶液或得畫用顏料 (pigment) 等，互相混合之時，其性質又與色光之混合不同。例如黃光與藍

光混合，應生白色，而黃色顏料與藍色顏料混合，則成綠色。

用分光鏡檢查之，即知由顏料反射而出之光，決非單色光。例如由黃色顏料反射者為紅，黃，及綠色之光，

由藍色顏料反射者，為藍，綠，及紫色之光，其餘各色單光，悉被吸收。故此兩色顏料混合後，所能共同反射者，唯

綠耳，故現為綠色。圖 211 所示之三色版 (three color

printing)，即由紅黃藍三種顏料混成。

表 17. 色之混合

紅 + 綠 = 黃
綠 + 藍 = 孔雀藍
藍 + 紅 = 紫
紅 + 綠 + 藍 = 白

§ 265. 光之干涉

聲波有干涉現象，光波亦然。由兩光源發出之光，波長相同者，互相重合時，兩波峯或兩波谷相遇，其明增

強，峯谷相遇，其明銳減，結果成為明暗交錯之現象，曰光

之干涉(interference of light).

發生干涉之必要條件，爲由兩光源發出之光，波長須絕對相等。事實上，頗不易得絕對相

等之波長之兩光源，通常均用同一光源而以其由反射或折射造成之兩像代替之。

圖 221 之夫累涅爾之鏡實驗(Fresnel's mirror experiment)，即本此而成。用鈉光

照鉛直之縫 S ，作成光源。兩平面鏡 PQ 及 QB 相交之稜 Q ，亦成鉛直線，其夾角

PQR 幾等於 180° 。 S 經此兩平面鏡造成兩像如 A 及 B ，此即實驗所用之兩光源，由圖知 HQG 爲兩光源共同照及之處，干涉現象應在此處出現。

光源爲鉛直線干涉結果，成爲明暗交錯之雙曲線柱，若自 GH 用望遠鏡觀察，即見明暗交錯之一列直線，曰干涉條紋 (inter-

ference fringe)。

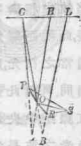


圖 221. 夫累涅爾之鏡實驗

不用兩平面鏡而以

雙稜鏡 (biprism) 代之，如圖 222，亦可。由光源

S 發來之光，經雙稜鏡 F 折射後，透過光線宛如自



圖 222. 雙稜鏡

A 及 B 發出者然干涉結果，亦現為明暗交錯之條紋。

作夫累涅爾實驗時，使用光源之波長不同，則干涉條紋中相鄰明暗兩線間之距離，亦隨之而變。波長愈長，此項距離愈遠。故若實驗時所用者非單色光，而為通常之白光，則其干涉條紋，即成一彩色帶，與光譜之狀相同。由此亦可證明光色之異，由波長不同而生。又紅線距中央最遠，紫線距中央最近，故知各色光中，以紅色光之波長為最長，紫色光之波長為最短。

§ 263. 環狀之顏色。

白光射至透明薄板上，其反射光及透過光均現為彩色，且兩者恰成互補色。例如水面油層所現之色，隨其厚薄而異。如用單色光實驗，則反射光及透過光，均現為明暗交錯之條紋。此乃由表面反射之光，與由底面反射者，互相干涉而成之結果。至於透過光，則由直接透過者，與在內部經過內反射(internal reflection)後始行透出者，互相干涉而成。

§ 267. 牛頓圓

平板上載凸透鏡，其接觸點周圍成空氣薄層，自上

用單色光照之，即見接觸點成爲暗黑，周圍現出若干層明暗條紋，作同心之圓形，如圖 223 所示，曰牛頓圓(Newton's ring)。如改用白光照之，則成爲彩色圈。此乃光由空氣層頂上反射而回者，與由空氣層底下反射而回者，互相干涉而成之結果。



圖 223. 牛頓圓

§ 269. 光之繞射。

導日光由縫中進入暗室，再經第二縫中通過，其狹窄更甚於第一縫。此時對壁上，在通常之縫像左右，各有一列彩色現出，與由稜鏡造成之光譜相似。如用紅

玻璃蓋在第二縫上，對壁中央即現一紅線，左右各現明暗交錯之線。據光之直線傳播而論，左右成影，不應有光通過。此種違背直線傳播之現象，曰光之繞射 (diffraction of light)，可由波動說解釋之。如圖 224，縫 AB 與

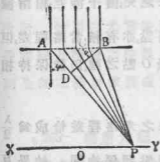


圖 224. 繞射

對壁 XY 相隔甚遠。平行光線達於縫上時，其上各點均成爲振動之新中心，由此各有小波發出。縫既窄小又與對壁相隔甚遠，故其上各點與正對縫隙之 O 點之距離，可以看成彼此相等。故由各點發生之波，均以同一之相，到達 O 點，結果使 O 處之光增強。在其傍之 P 點則否，由 A 及 B 傳至 P 之光，其相決不能相同。試引 BD 與 AP 垂直，在 BD 上之各點，對 P 可認爲等距離，而 A 及 B 對於 P ，應有 AD 之路程差 (path difference)。命 φ 表法線與 AP 間之角，則 $\angle ABD$ 亦等於 φ ，此角曰對於方向 AP 之繞射角 (angle of diffraction)。命 d 表縫寬則 AD 應等於 $d \sin \varphi$ 。如 P 之位置不同， φ 及 AD 之值亦隨之而異。

設 $AD = \frac{\lambda}{2}$ ，則由 A 及 B 而來之光，因干涉互相消滅。較此略近中央仍作等距離之兩點，亦有相當路程差，但愈近 C ，其值愈小，故結果雖不及 O 點之強，仍能保持相當之照度。

設 $AD = \lambda$ ，則由 C 及 A 而來之光，路程差恰成爲 $\frac{\lambda}{2}$ 。凡與 A 及 C 作等距離之任何兩點，關係均同。結果互相干涉成爲暗黑。

設 $AD = \frac{3}{2}\lambda$, 將 AB 分作三等分, 其與 B 接近及中央之部分, 關係與前條相同, 成爲暗黑, 結果只餘 $\frac{1}{3}$ 之一部分有光照及。

設 $4D = 2\lambda$, 將 AB 分作四等分, 第一與第三, 互相消滅, 第二與第四亦然。結果全體仍成暗黑。

綜括之, A 及 B 傳來之光, 因經過路程, 彼此不同, 如其相差, 成爲 $\frac{\lambda}{2}$ 之偶數倍, 則生暗線; 如成爲奇數倍, 則生明線, 如圖 225

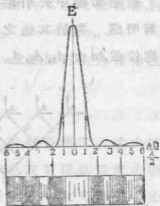


圖 225. 繞射之線

所示。如用白光實驗, 因各色光之 λ 各不相同, 相應之各明線及暗線之位置互異, 遂成一列彩色。如縫過寬則全部之繞射像與直射像混而爲一, 不復能辨別之矣。

§ 269. 繞射光柵。

將多數細縫, 排成一列, 互相緊接且作等距離, 是曰繞射光柵 (diffraction grating) 其中相鄰兩縫間之距離

曰光柵常數(constant of grating),或曰光柵之寬(width of grating). 用金剛石在玻璃平板上劃密集之平行細線,劃痕不透明,兩痕之間與縫之功用相同,遂成此繞射光柵.

通過光柵中央引法線,在此方向上之光輝最強,故現為明處. 對於其他之平行光線,如圖 226, 由各縫之相應位置,如由 A_1, A_2, A_3, \dots 而來者,其路程之差 $A_1C_1,$



圖 226. 繞射光柵

A_2C_2, A_3C_3, \dots 如各等於 $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$, 則互相增強而生明亮;如各等於 $\frac{\lambda}{2}$, 則互相消滅成為暗黑;如各等於 $\frac{3}{4}\lambda$, 則第一與第三, 或第二與第四, 路程差均各等於 $\frac{3}{2}\lambda$, 亦成暗黑;又如各等於 $\frac{1}{6}\lambda, \frac{5}{6}\lambda$, 或 $\frac{1}{8}\lambda, \frac{3}{8}\lambda, \frac{5}{8}\lambda, \frac{7}{8}\lambda$, 則第一與第四, 第二與第五, 或第一與第五, 第二與第六, 互相消滅, 故中央之極大光輝與由繞射而生之第一極大光輝之

間,含有多數之暗線。換言之,此兩者之間,成爲暗黑部分,第二極大與第三極大之間亦然。故由遠處用望遠鏡觀察,正對中央時可見其直射像,稍偏成爲暗黑,再偏至第一光輝之處,始見第一繞射像,餘準此。命 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ 表與此等繞射像相應之繞射角, d 表光柵常數,則有

$$\lambda = d \sin \varphi_1, \quad 2\lambda = d \sin \varphi_2, \quad 3\lambda = d \sin \varphi_3, \dots$$

關係成立,如能量度 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ 之值,即可由此算出波長。

§ 270. 繞射光譜。

用白光照繞射光柵前之縫,則各色光造成之繞射像,位置各不相同。中央爲白色直射像,是爲零次極大,左右各生第一次,第二次,第三次,……之光譜。各光譜之中,以波長最短之紫光,與中央相隔最近,紅色光最遠,其餘各色均介在此兩者之間,次序與通常之光譜中相同,是曰繞射光譜 (diffraction spectra)。繞射光譜有種種特長,爲用稜鏡造成之光譜所不能及,故極爲重要。

問題第二十二

1. 不透明體之色,由何而定? 透明體之色,由何而定?
2. 綠玻璃在紅光中,當現何色? 何以現成此色?

3. 何謂黑白?
4. 冰雪均同爲水之結晶，何以冰透明而雪則現爲白色?
5. 戴藍色眼鏡看雪，亦作藍色，何故?
6. 戴藍色眼鏡看黃色物體，應作何色?
7. 假定虹現於晨，應出現於空中何方?
8. 何以知太陽中有鎊存在?
9. 從分光鏡中觀察月光，常見何種景象?
10. 設有數種藥品，欲用水生燈，發鏡，及一鏡，如何能決定藥品中有無鎊之成分存在?
11. 照像暗室中所用燈光，必用紅色，何故?
12. 湯布何以概現爲白色?
13. 雲爲水滴集成，何以成爲白色?
14. 多種顏料混合一起轉成黑色，何故?
15. 玩具中有 X 光鏡，據云可以察見手指中之骨，確否?其所見者，究爲何物?
16. 試比較聲波與光波之異同。
17. 照相機所用之濾色器(filter)，用意安在?
18. 有種電燈泡名爲“日光燈泡”(daylight lamp)，有何不同?有何用處?

第六篇 磁學

§ 271. 磁鐵。一不銹鋼各級中之磁鐵類
 磁石中有名磁鐵礦(magnetite, Fe_3O_4)者,能吸鐵不落,此外如磁黃鐵礦(magnetic pyrite, Fe_nS_{n+1} , n 通常為 11, 有時亦可為 5, 7, 8, 或 16 等數)及鈷錄等之磁石,亦有同樣性質,以之近鐵針,鐵針均蠕集於其上,如圖 227 所示。凡如是者,曰磁鐵(magnet),其出於天然者,曰天然磁鐵(natural magnet),而由後述鐵之磁化性質,以人力造成者,曰人造磁鐵(artificial magnet)。磁鐵有種種形狀,其名稱亦隨之而異,如圖 228,長如一棒者,



圖 227. 磁鐵吸鐵針



圖 228. 各種人造磁鐵

曰條形磁鐵(bar magnet),曲作馬蹄鐵狀者,曰蹄形磁鐵(horse-shoe magnet),兩端磨尖,全體成一細針者,曰磁針(magnetic needle)。磁針通常以其中點,支於一鉛直軸

上,成水平位,且能在水平面內自由轉動。

§272. 磁極

磁鐵吸鐵屑之作用,全體並不一致,以近兩端處最著,如圖 229。其作用最強處,曰磁極(magnetic pole),連結兩磁極之直線,曰磁石之磁軸線(magnetic axis)。

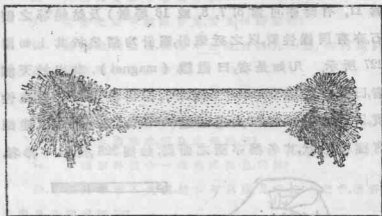


圖 229. 磁鐵吸鐵屑

支在鉛直軸上之磁針,平衡時,兩極恆指一定之方向。其所指之方向,雖隨地略異,但大致則與南北方向相差不遠。其向北之極,曰指北極(north-seeking pole)或省略之作北極(north pole),通常以 N 表之,故又名 N 極(N pole);其向南之極,曰指南極(south-seeking pole),或

省略之作南極 (south pole), 通常以 S 表之, 故又名 S 極 (S pole). 兩極必共同存在, 不能獨立.

§ 273. 磁力及磁量.

令條形磁鐵之一極與磁針之一極接近, 如兩者同為 N 極或 S 極, 則互相排斥; 如一為 N 一為 S , 則互相吸引, 此時所表現之力, 曰磁力 (magnetic force) 即同名之極相斥, 異名之極相引. 由磁力之大小, 可以判別磁鐵中所含有之磁量 (quantity of magnetism) 之多寡. 例如 A, C 兩極, 隔一定距離時, 其作用之磁力為 f ; 而 B, C 兩極, 隔同一距離時, 其磁力為 f' . 如 $f=f'$, 則 A, B 兩極之磁量, 彼此相等. 如 $f=mf'$, 則知 A 之磁量為 B 之磁量之 m 倍. 用同一磁鐵之兩極, 對於其他一定之磁極行此實驗, 可以證明其作用之力, 雖有引斥之分, 但無大小之別. 即同一磁鐵之兩極, 對外作用之力, 性質固相反, 而其磁量則相等, 頗與代數學上使用之正負號相類. 便宜上, 規定 N 極為正極 (positive pole), S 極為負極 (negative pole) 一磁極所含有之磁量, 曰磁極強度 (strength of pole)

§ 274. 庫倫之磁力定律.

用細銀線懸磁針 NS , 使成水平, 如圖 230, 且令磁針在磁子午線(參照 §278)時, 銀線不呈扭轉

由外另持來一垂直磁針 $N'S'$, 命 d 表 N 與 N' 間水平距離. 如 NS 可以自由轉動, 則因

受磁力作用之結果, 必生偏轉 (deflection). 如扭轉銀線, 至 NS 恢復其原有之位置為止. 此時銀線所受之扭力, 恰與磁極間作用之斥力相等, 故由

扭轉角度, 可將作用之扭力求出, 此力即所求之磁力. 如是之器具, 曰扭秤

(torsion balance). 用扭秤量得兩極間之磁力 f , 與兩磁極強度 m 及 m' 之乘

積為正比例, 與其距離之平方 d^2 為反

比例, 是曰庫倫定律 (Coulomb's law). 再經比較, 知兩磁極間之介質, 亦有關係, 命 μ 表其導磁係數 (permeability 見 § 282); r 表兩磁極間之距離, k 表比例常數, 則庫倫定律如下:

$$f = k \frac{mm'}{\mu r^2}$$

圖 230. 扭秤



§ 275. 單位強度之磁極。

假定有兩磁極，其強度相等，在真空中隔 1 厘米之距離，相互以 1 達因之力作用，如是之磁極，定為磁極之單位，而稱之曰單位強度之磁極 (pole of unit strength)。如為 N 極，則略稱單位正極 (unit positive pole)。單位正極所含有之磁量，定為磁量之單位，曰 1 C. G. S. 單位 (1 C. G. S. unit)。如用此項單位，則庫侖定律成爲

$$f = \frac{mm'}{\mu r^2}$$

在真空或空氣中， μ 等於 1，更成爲

$$f = \frac{mm'}{r^2}$$

§ 276. 磁場。

由磁鐵相互作用及磁鐵對於鐵粉之吸引作用，知磁鐵周圍之空間，具有一種特殊之性質，與無磁鐵存在時不同。凡有此項特性之空間，曰磁力場 (magnetic field of force)，或簡稱之曰磁場 (magnetic field)。

單位正極在磁場內一點所受到之磁力，曰在此一點之磁場強度 (magnetic field intensity)，其方向即表磁場之方向。例如磁極所有之磁量為 m "C. G. S. 單位，"

所在一點之磁場強度為 H ，此時作用之力為 f 達因，則其關係如下：

$$f = mH,$$

用 C. G. S. 單位時之磁場強度之單位，曰高斯 (gauss)

§ 277. 磁力線



圖 231. 磁力線

小磁針在條形磁鐵近傍靜止時所取之方向，隨地而異，並不能如單獨存在之小磁針取南北之

方向。試將小磁針放在

A 點，如圖 231，則其 S 極被條形磁鐵吸住，N 極正指右方。用鉛筆將此時之 N 極所在處記於紙上，然後移動



圖 232. 條形磁鐵之磁力線

小磁針,使其 S 極與前記之點相重,再將 N 極所在處記下,如是陸續記出之點,連結成爲一條連續曲線 AGB ,其上各點之切線,恰與小磁針在此點所取之方向一致,如是之曲線,曰磁力場之力線 (lines of force of magnetic field of force),或簡稱之曰磁力線 (magnetic lines of force)

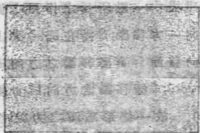


圖 233. 異極間之磁力線

按小磁針在條形磁鐵之磁場內時,針之 N 須受條形磁鐵之 N 之斥力及其 S 之引力作用,同樣針之 S , 受

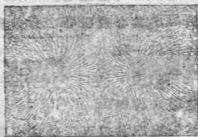


圖 234. 同極間之磁力線

條形磁鐵之 N 之引力及 S 之斥力作用。平衡時，此四方對於針之支點之合成力矩，應等於 0。故磁針靜止時之方向，與其兩極所受之合力方向一致，即通過任何一點之磁力線方向，可表由條形磁鐵兩極而來之磁力之合力之方向。

N 極在磁場內一點所受之作用，在使其沿經過此點之力線，而向一方移動； S 極在同一點上，則沿同一力線之反對方向移動。 N 極移動之方向，曰力線之正向 (positive direction)； S 極移動之方向，曰力線之負向 (negative direction)。故一條形磁鐵之力線，必始於其 N 極而終於其 S 極，如圖中所示。實際求磁力線時，可將紙片或玻璃板放在磁鐵上，撒鐵屑後略加敲擊，鐵屑即排成磁力線形狀，如圖 232, 233, 234 等所示。又磁力線成爲平行線處之磁場，曰均強磁場 (uniform magnetic field) 兩磁鐵同放於一處，其合成磁場之力線，與兩磁鐵之合成磁力之方向，恆相一致。

§ 278. 地磁.

地球爲一大磁鐵，其表面近傍成一磁場，在範圍較小之區域內，各地點之磁場強度無顯著變化，可以看成

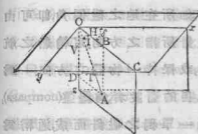
均強磁場。能在水平面內轉動之磁針，受地磁力作用，當取一定之方向靜止。通過磁軸之鉛直平面，曰磁子午面(magnetic meridian)，磁子午面與同地之地理子午面(geographical meridian)間之角，曰磁偏角(declination)。

能繞通過重心之水平軸線而轉之磁針，其磁軸如在磁子午面內，當與水平面作一定傾斜而成靜止。通常在北半球時，磁針之 N 極向下；在南半球時，其 S 極向下。此傾斜角，曰傾角(dip 或 inclination)。可用圖 235 所示之磁傾儀(dip circle)測定之。傾角由於磁針正向地磁力而來，故即等於地磁力之方向與水平面間之角度。



圖 235. 磁傾儀

各地點之地磁力在水平方向之分力，曰水平部分(horizontal component)，



或曰水平強度 (horizontal intensity)。由磁偏角，傾角及水平部分之值，可完全決定地磁力之大小及其方向。故此三者曰地磁之三要素

或曰地磁三要素 (three elements of terrestrial magnetism)。

圖 236. 地磁三要素

magnetism). 如圖 236, Oy 表水平面, Ox 向北, Oy 向東, Oz 鉛直向下. 假定在 O 點之地磁力爲 OA , 以 T 代之. 通過 OA 之鉛直面, 與 xOy 相交於 OG , 則 COz 卽此點之磁子午面, 而 xOz 則爲地理子午面. 此兩者間所夾之角 xOG , 卽磁偏角, 以 δ 代之. 又 $\angle BOA$, 卽此點之傾角, 以 I 代之. 自 A 引鉛直線 AB , 得 B , 而 OB 卽此點之水平磁力, 以 H 代之, 故

$$T \cos I = H; \quad \text{或} \quad T = H \sec I$$

由 H 及 I , 可知 T 之值; 又由 δ 及 I , 可知其方向.

在水平面內自由轉動之磁針, 但在磁子午面內, 正向磁極而成靜止. 利用此事實, 如已知所在地之磁偏角, 卽可由磁針所指之方向, 定輪船之航路, 或保持一物體之方向. 爲此目的而設者, 爲羅盤 (compass).



圖 237 所示者, 卽其一種, 由一單獨之磁針而成, 通稱爲指南針. 欲得精確之結果, 則須使用圖 238 所示之航

海用羅盤，中央有 8 個平行小磁針，以兩條絲線連結而成，周圍爲鋁製之環，分作 32 主要區分。

全體之質量約 11 克，振動時之週期甚大，雖遭風浪，亦可保其平衡。

盤軸裝在游動環上，環有互相垂直之兩軸，使羅盤恆取水平位置。

更有補正磁鐵，免磁針受船體之影響。



圖 288. 航海羅盤

§ 280. 磁之感應

軟鐵片本無磁性，但在磁場內，即變成磁鐵，亦能吸引鐵粉，此現象曰磁之感應 (magnetic induction)，使軟鐵化爲磁鐵之作用，則曰磁化 (magnetization)，由此而得之磁曰應磁 (induced magnetism)。原有之磁鐵，曰感磁鐵 (inducing magnet)，受其磁化作用由軟鐵一變而成之磁鐵，曰應磁鐵 (induced magnet)。試將條形磁鐵之 N 極，持近一軟鐵片，則與 N 接近之一端，現出 S 極，他端現

出 N 極。兩磁鐵之異名之極，既相隔甚近，當受引力作用，如軟鐵片可以自由移動，必被條形磁鐵吸引而去。反之，以條形磁鐵近鋁片，則與磁鐵 N 極相近之處現 N 極，他端現 S 極，故磁鐵與鋁之間，有斥力作用。但鋁之效應甚微，不易察見而已。

一切物質在磁場內所受之感應，均不出上述兩種。其與鐵同類者，曰順磁體 (paramagnetic bodies)；其與鋁同類者，曰反磁體 (diamagnetic bodies)。順磁體中，以鐵、鎳、鈷三種之效應最著，特曰鐵磁體 (ferromagnetic bodies)。順磁體之例，如鐵、鋼、鎳、鈷、鎂、鎳、鈾、鈾、鉑，及上列各金屬之鹽類、氧氣、臭氣等。反磁體之例，如鋁、磷、錒、汞、鉛、銀、銅、金、水、醚、硫、及碲等。

§ 201. 頑磁性

軟鐵塊受成磁鐵之作用後，變成應磁鐵，雖極容易，但若將成磁鐵移開，軟鐵亦即恢復原狀，不復保有磁性矣。反之，鋼受磁化作用，最初固覺困難，然一旦變成應磁鐵以後，雖將成磁鐵取開，仍能將大部分之磁性，保留於其上。此種開始阻礙磁化，其後又保留磁化之特性，曰頑磁性 (retentivity)。即鋼之頑磁性大於軟鐵之頑

磁性，故通常人造磁鐵均用鋼製成，無用軟鐵者。

§ 262 導磁無敵。磁場不可穿過其外中磁鐵。

軟鐵在磁場內，大多數之磁力線均集中於軟鐵上，如圖 239 表磁鐵左方有一小軟鐵塊時之磁力線分佈



圖 239. 軟鐵與磁力線(1)

狀況。圖 240 表兩異性磁極間有一小軟鐵環時之磁力線分佈狀況。由圖可見軟鐵在磁場中時，其兩端各有



圖 240. 軟鐵與磁力線(2)

磁力線發出，與由一獨立磁鐵發出之磁力線無異，故能成爲磁鐵。再改用鎳、鈷等代替鐵作實驗，亦各有若干磁力線集中於其上，但決不及集中於軟鐵上者之多。故由磁力線集中之程度，可以判斷其受感應程度之強弱。表示磁力線集中之程度，用導磁係數(permeability)即前在 § 274 所述庫侖定律中之 μ ，其值恆爲正，在真空中， μ 等於 1，在空氣中 μ 之值亦與 1 極相近，通常均視爲 1。各種順磁體之 μ 恆較 1 爲大，鐵之 μ 在五干至一萬之間，鎳之 μ 爲三百，鈷之 μ 爲二百。反磁體之 μ 恆較 1 爲小，例如銻之 μ 等於 0.99997。

§ 283. 分子磁鐵說

試取一細條磁鐵，折爲兩段，即見折斷處有新磁極現出，亦能吸引鐵屑，使各段各成爲一完全之磁鐵。再折爲四，亦然，如圖 241 所示。此現象可用攸英(Ewing)之分子磁鐵說(theory of molecular magnet)解釋之。即



圖 241. 折斷之磁鐵

圖 242. 分子磁鐵

鐵之分子，均為小磁鐵。在尋常狀態時，此等小磁鐵之軸線，縱橫交錯，至不整齊，如圖 242 所示，其作用互相抵消，故不呈磁性。但受磁化作用以後，則此等小磁鐵，次第轉向一定之方向，如圖 243 所示，遂略呈磁性。如磁化作用增強，則其全部分子磁鐵，均能排列整齊，如圖 244 所示，表示之磁性甚強。試用玻璃管盛鐵粉，放在磁場內，鐵粉均成小磁鐵，其軸與管平行，故此玻璃管之全體，成為一磁鐵。但若將磁場取去，將管略為搖動，則鐵粉



圖 243. 受一部分磁化後之狀態

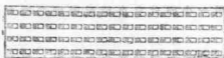


圖 244. 完全磁化後之狀態

排列，又復錯雜如初，不呈磁性矣。鋼之分子，轉動不如鐵分子之易，故最初入磁場時，不易化為磁鐵，同時既排成一定方向以後，非用強大之力打擊，或加以熱，決不易恢復舊態。換言之，即鋼不易磁化，亦不易失去其磁性。

又鐵之磁化，必有一定之限際，亦可由此說為之說明。即全體分子均已排列成為磁化力之方向以後，如圖 244 所示，其磁性已達於極限，以後雖再增加磁化力，亦無使磁化強度更行加大之理。

問題第二十三

1. 一磁鐵上能否有二個以上之磁極？
2. 用一指南針，如何測出條形磁鐵之兩端，何者為 N 極，何者為 S 極？
3. 用一指南針，能比較兩條形磁鐵之磁極強度否？
4. 試測本地之傾角為若干？
5. 在赤道上之傾角為何？
6. 在兩極上之傾角為何？
7. 試用一小磁針，求出蹄形磁鐵之磁力線，並用鐵屑法檢驗之。
8. 四條條形磁鐵裝在盒內時，應如何裝法？
9. 在北半球上，如將一條鐵棒，豎立地面，則其下端，能將指南針之 N 極推開，何故？
10. 前圖所取之鐵棒，如再用錘敲打，其效應將因此增加抑或減小？其理由如何？
11. 船在港內，受風波飄盪不定，有何方法，使指南針保持其水平地位？

12. 欲知一磁針已否受磁化，何以必先見其相斥與否，始能決定？

13. 設有一磁極，其磁極強度為 80 單位，與另一磁極，其磁極強度為 30 單位，兩者相隔 20 厘米之距離，求作用之磁力。

14. 設有強度為 6 單位之磁極，對於強度為 16 單位之另一磁極，以 6 達因之力作用。求兩磁極間之距離。

§ 204. 帶電膠卷

用乾布擦火漆板，或用綢紗擦磁板，則磁板引鐵屑，如磁板紙屑等，如圖 215。凡物體具有此種性質時之狀態，曰帶電 (electrical state)。伏打發火及由磁之摩擦自能電或帶電 (to electrify) 之過程，其物體帶電之負化可謂為現象 (electrification)，而其反例，則謂之正電 (positivity)。



L. 215. 帶電

§ 205. 帶電膠卷

用絲綢擦磁球 (pith ball) 以帶電板之物體近之，如圖 240，是先被吸引而接觸後，一部分之電傳於球上，兩物俱行分離。如是則所用之帶電體為正電體，其取

其見效甚速。其所以能如此者，蓋因其含有大量之水分，且其分子之排列，亦極其鬆弛，故其熱傳導力，亦極其強。此其所以能如此者，蓋因其含有大量之水分，且其分子之排列，亦極其鬆弛，故其熱傳導力，亦極其強。此其所以能如此者，蓋因其含有大量之水分，且其分子之排列，亦極其鬆弛，故其熱傳導力，亦極其強。

此項之熱傳導力，其值之大小，與溫度之高低，亦有一定之關係。

附錄二十三

1. 試求下列各物之熱傳導力：
 (a) 銅 (b) 鐵 (c) 鋁 (d) 鉛 (e) 錫 (f) 鎳 (g) 鉻 (h) 鎳 (i) 錳 (j) 鈷 (k) 鎳 (l) 錳 (m) 鈷 (n) 鎳 (o) 錳 (p) 鈷 (q) 鎳 (r) 錳 (s) 鈷 (t) 鎳 (u) 錳 (v) 鈷 (w) 鎳 (x) 錳 (y) 鈷 (z) 鎳 (aa) 錳 (ab) 鈷 (ac) 鎳 (ad) 錳 (ae) 鈷 (af) 鎳 (ag) 錳 (ah) 鈷 (ai) 鎳 (aj) 錳 (ak) 鈷 (al) 鎳 (am) 錳 (an) 鈷 (ao) 鎳 (ap) 錳 (aq) 鈷 (ar) 鎳 (as) 錳 (at) 鈷 (au) 鎳 (av) 錳 (aw) 鈷 (ax) 鎳 (ay) 錳 (az) 鈷 (ba) 鎳 (bb) 錳 (bc) 鈷 (bd) 鎳 (be) 錳 (bf) 鈷 (bg) 鎳 (bh) 錳 (bi) 鈷 (bj) 鎳 (bk) 錳 (bl) 鈷 (bm) 鎳 (bn) 錳 (bo) 鈷 (bp) 鎳 (bq) 錳 (br) 鈷 (bs) 鎳 (bt) 錳 (bu) 鈷 (bv) 鎳 (bw) 錳 (bx) 鈷 (by) 鎳 (bz) 鈷 (ca) 鎳 (cb) 錳 (cc) 鈷 (cd) 鎳 (ce) 錳 (cf) 鈷 (cg) 鎳 (ch) 錳 (ci) 鈷 (cj) 鎳 (ck) 錳 (cl) 鈷 (cm) 鎳 (cn) 錳 (co) 鈷 (cp) 鎳 (cq) 錳 (cr) 鈷 (cs) 鎳 (ct) 錳 (cu) 鈷 (cv) 鎳 (cw) 錳 (cx) 鈷 (cy) 鎳 (cz) 鈷 (da) 鎳 (db) 錳 (dc) 鈷 (dd) 鎳 (de) 錳 (df) 鈷 (dg) 鎳 (dh) 錳 (di) 鈷 (dj) 鎳 (dk) 錳 (dl) 鈷 (dm) 鎳 (dn) 錳 (do) 鈷 (dp) 鎳 (dq) 錳 (dr) 鈷 (ds) 鎳 (dt) 錳 (du) 鈷 (dv) 鎳 (dw) 錳 (dx) 鈷 (dy) 鎳 (dz) 鈷 (ea) 鎳 (eb) 錳 (ec) 鈷 (ed) 鎳 (ee) 錳 (ef) 鈷 (eg) 鎳 (eh) 錳 (ei) 鈷 (ej) 鎳 (ek) 錳 (el) 鈷 (em) 鎳 (en) 錳 (eo) 鈷 (ep) 鎳 (eq) 錳 (er) 鈷 (es) 鎳 (et) 錳 (eu) 鈷 (ev) 鎳 (ew) 錳 (ex) 鈷 (ey) 鎳 (ez) 鈷 (fa) 鎳 (fb) 錳 (fc) 鈷 (fd) 鎳 (fe) 錳 (ff) 鈷 (fg) 鎳 (fh) 錳 (fi) 鈷 (fj) 鎳 (fk) 錳 (fl) 鈷 (fm) 鎳 (fn) 錳 (fo) 鈷 (fp) 鎳 (fq) 錳 (fr) 鈷 (fs) 鎳 (ft) 錳 (fu) 鈷 (fv) 鎳 (fw) 錳 (fx) 鈷 (fy) 鎳 (fz) 鈷 (ga) 鎳 (gb) 錳 (gc) 鈷 (gd) 鎳 (ge) 錳 (gf) 鈷 (gg) 鎳 (gh) 錳 (gi) 鈷 (gj) 鎳 (gk) 錳 (gl) 鈷 (gm) 鎳 (gn) 錳 (go) 鈷 (gp) 鎳 (gq) 錳 (gr) 鈷 (gs) 鎳 (gt) 錳 (gu) 鈷 (gv) 鎳 (gw) 錳 (gx) 鈷 (gy) 鎳 (gz) 鈷 (ha) 鎳 (hb) 錳 (hc) 鈷 (hd) 鎳 (he) 錳 (hf) 鈷 (hg) 鎳 (hh) 錳 (hi) 鈷 (hj) 鎳 (hk) 錳 (hl) 鈷 (hm) 鎳 (hn) 錳 (ho) 鈷 (hp) 鎳 (hq) 錳 (hr) 鈷 (hs) 鎳 (ht) 錳 (hu) 鈷 (hv) 鎳 (hw) 錳 (hx) 鈷 (hy) 鎳 (hz) 鈷 (ia) 鎳 (ib) 錳 (ic) 鈷 (id) 鎳 (ie) 錳 (if) 鈷 (ig) 鎳 (ih) 錳 (ii) 鈷 (ij) 鎳 (ik) 錳 (il) 鈷 (im) 鎳 (in) 錳 (io) 鈷 (ip) 鎳 (iq) 錳 (ir) 鈷 (is) 鎳 (it) 錳 (iu) 鈷 (iv) 鎳 (iw) 錳 (ix) 鈷 (iy) 鎳 (iz) 鈷 (ja) 鎳 (jb) 錳 (jc) 鈷 (jd) 鎳 (je) 錳 (jf) 鈷 (jg) 鎳 (jh) 錳 (ji) 鈷 (jj) 鎳 (jk) 錳 (jl) 鈷 (jm) 鎳 (jn) 錳 (jo) 鈷 (jp) 鎳 (jq) 錳 (jr) 鈷 (js) 鎳 (jt) 錳 (ju) 鈷 (jv) 鎳 (jw) 錳 (jx) 鈷 (jy) 鎳 (jz) 鈷 (ka) 鎳 (kb) 錳 (kc) 鈷 (kd) 鎳 (ke) 錳 (kf) 鈷 (kg) 鎳 (kh) 錳 (ki) 鈷 (kj) 鎳 (kk) 錳 (kl) 鈷 (km) 鎳 (kn) 錳 (ko) 鈷 (kp) 鎳 (kq) 錳 (kr) 鈷 (ks) 鎳 (kt) 錳 (ku) 鈷 (kv) 鎳 (kw) 錳 (kx) 鈷 (ky) 鎳 (kz) 鈷 (la) 鎳 (lb) 錳 (lc) 鈷 (ld) 鎳 (le) 錳 (lf) 鈷 (lg) 鎳 (lh) 錳 (li) 鈷 (lj) 鎳 (lk) 錳 (ll) 鈷 (lm) 鎳 (ln) 錳 (lo) 鈷 (lp) 鎳 (lq) 錳 (lr) 鈷 (ls) 鎳 (lt) 錳 (lu) 鈷 (lv) 鎳 (lw) 錳 (lx) 鈷 (ly) 鎳 (lz) 鈷 (ma) 鎳 (mb) 錳 (mc) 鈷 (md) 鎳 (me) 錳 (mf) 鈷 (mg) 鎳 (mh) 錳 (mi) 鈷 (mj) 鎳 (mk) 錳 (ml) 鈷 (mm) 鎳 (mn) 錳 (mo) 鈷 (mp) 鎳 (mq) 錳 (mr) 鈷 (ms) 鎳 (mt) 錳 (mu) 鈷 (mv) 鎳 (mw) 錳 (mx) 鈷 (my) 鎳 (mz) 鈷 (na) 鎳 (nb) 錳 (nc) 鈷 (nd) 鎳 (ne) 錳 (nf) 鈷 (ng) 鎳 (nh) 錳 (ni) 鈷 (nj) 鎳 (nk) 錳 (nl) 鈷 (nm) 鎳 (nn) 錳 (no) 鈷 (np) 鎳 (nq) 錳 (nr) 鈷 (ns) 鎳 (nt) 錳 (nu) 鈷 (nv) 鎳 (nw) 錳 (nx) 鈷 (ny) 鎳 (nz) 鈷 (oa) 鎳 (ob) 錳 (oc) 鈷 (od) 鎳 (oe) 錳 (of) 鈷 (og) 鎳 (oh) 錳 (oi) 鈷 (oj) 鎳 (ok) 錳 (ol) 鈷 (om) 鎳 (on) 錳 (oo) 鈷 (op) 鎳 (oq) 錳 (or) 鈷 (os) 鎳 (ot) 錳 (ou) 鈷 (ov) 鎳 (ow) 錳 (ox) 鈷 (oy) 鎳 (oz) 鈷 (pa) 鎳 (pb) 錳 (pc) 鈷 (pd) 鎳 (pe) 錳 (pf) 鈷 (pg) 鎳 (ph) 錳 (pi) 鈷 (pj) 鎳 (pk) 錳 (pl) 鈷 (pm) 鎳 (pn) 錳 (po) 鈷 (pp) 鎳 (pq) 錳 (pr) 鈷 (ps) 鎳 (pt) 錳 (pu) 鈷 (pv) 鎳 (pw) 錳 (px) 鈷 (py) 鎳 (pz) 鈷 (qa) 鎳 (qb) 錳 (qc) 鈷 (qd) 鎳 (qe) 錳 (qf) 鈷 (qg) 鎳 (qh) 錳 (qi) 鈷 (qj) 鎳 (qk) 錳 (ql) 鈷 (qm) 鎳 (qn) 錳 (qo) 鈷 (qp) 鎳 (qq) 錳 (qr) 鈷 (qs) 鎳 (qt) 錳 (qu) 鈷 (qv) 鎳 (qw) 錳 (qx) 鈷 (qy) 鎳 (qz) 鈷 (ra) 鎳 (rb) 錳 (rc) 鈷 (rd) 鎳 (re) 錳 (rf) 鈷 (rg) 鎳 (rh) 錳 (ri) 鈷 (rj) 鎳 (rk) 錳 (rl) 鈷 (rm) 鎳 (rn) 錳 (ro) 鈷 (rp) 鎳 (rq) 錳 (rr) 鈷 (rs) 鎳 (rt) 錳 (ru) 鈷 (rv) 鎳 (rw) 錳 (rx) 鈷 (ry) 鎳 (rz) 鈷 (sa) 鎳 (sb) 錳 (sc) 鈷 (sd) 鎳 (se) 錳 (sf) 鈷 (sg) 鎳 (sh) 錳 (si) 鈷 (sj) 鎳 (sk) 錳 (sl) 鈷 (sm) 鎳 (sn) 錳 (so) 鈷 (sp) 鎳 (sq) 錳 (sr) 鈷 (ss) 鎳 (st) 錳 (su) 鈷 (sv) 鎳 (sw) 錳 (sx) 鈷 (sy) 鎳 (sz) 鈷 (ta) 鎳 (tb) 錳 (tc) 鈷 (td) 鎳 (te) 錳 (tf) 鈷 (tg) 鎳 (th) 錳 (ti) 鈷 (tj) 鎳 (tk) 錳 (tl) 鈷 (tm) 鎳 (tn) 錳 (to) 鈷 (tp) 鎳 (tq) 錳 (tr) 鈷 (ts) 鎳 (tt) 錳 (tu) 鈷 (tv) 鎳 (tw) 錳 (tx) 鈷 (ty) 鎳 (tz) 鈷 (ua) 鎳 (ub) 錳 (uc) 鈷 (ud) 鎳 (ue) 錳 (uf) 鈷 (ug) 鎳 (uh) 錳 (ui) 鈷 (uj) 鎳 (uk) 錳 (ul) 鈷 (um) 鎳 (un) 錳 (uo) 鈷 (up) 鎳 (uq) 錳 (ur) 鈷 (us) 鎳 (ut) 錳 (uu) 鈷 (uv) 鎳 (uw) 錳 (ux) 鈷 (uy) 鎳 (uz) 鈷 (va) 鎳 (vb) 錳 (vc) 鈷 (vd) 鎳 (ve) 錳 (vf) 鈷 (vg) 鎳 (vh) 錳 (vi) 鈷 (vj) 鎳 (vk) 錳 (vl) 鈷 (vm) 鎳 (vn) 錳 (vo) 鈷 (vp) 鎳 (vq) 錳 (vr) 鈷 (vs) 鎳 (vt) 錳 (vu) 鈷 (vv) 鎳 (vw) 錳 (vx) 鈷 (vy) 鎳 (vz) 鈷 (wa) 鎳 (wb) 錳 (wc) 鈷 (wd) 鎳 (we) 錳 (wf) 鈷 (wg) 鎳 (wh) 錳 (wi) 鈷 (wj) 鎳 (wk) 錳 (wl) 鈷 (wm) 鎳 (wn) 錳 (wo) 鈷 (wp) 鎳 (wq) 錳 (wr) 鈷 (ws) 鎳 (wt) 錳 (wu) 鈷 (wv) 鎳 (ww) 錳 (wx) 鈷 (wy) 鎳 (wz) 鈷 (xa) 鎳 (xb) 錳 (xc) 鈷 (xd) 鎳 (xe) 錳 (xf) 鈷 (xg) 鎳 (xh) 錳 (xi) 鈷 (xj) 鎳 (xk) 錳 (xl) 鈷 (xm) 鎳 (xn) 錳 (xo) 鈷 (xp) 鎳 (xq) 錳 (xr) 鈷 (xs) 鎳 (xt) 錳 (xu) 鈷 (xv) 鎳 (xw) 錳 (xx) 鈷 (xy) 鎳 (xz) 鈷 (ya) 鎳 (yb) 錳 (yc) 鈷 (yd) 鎳 (ye) 錳 (yf) 鈷 (yg) 鎳 (yh) 錳 (yi) 鈷 (yj) 鎳 (yk) 錳 (yl) 鈷 (ym) 鎳 (yn) 錳 (yo) 鈷 (yp) 鎳 (yq) 錳 (yr) 鈷 (ys) 鎳 (yt) 錳 (yu) 鈷 (yv) 鎳 (yw) 錳 (yx) 鈷 (yy) 鎳 (yz) 鈷 (za) 鎳 (zb) 錳 (zc) 鈷 (zd) 鎳 (ze) 錳 (zf) 鈷 (zg) 鎳 (zh) 錳 (zi) 鈷 (zj) 鎳 (zk) 錳 (zl) 鈷 (zm) 鎳 (zn) 錳 (zo) 鈷 (zp) 鎳 (zq) 錳 (zr) 鈷 (zs) 鎳 (zt) 錳 (zu) 鈷 (zv) 鎳 (zw) 錳 (zx) 鈷 (zy) 鎳 (zz) 鈷

第七篇 電學

第一章 靜電

§ 284. 帶電現象

用絨布擦火漆棒，或用綢擦玻璃棒，均能吸引輕物，如塵埃紙屑等，如圖 245。凡物體具有此項性質時之狀態，曰電態 (electrical state)。

使物體表現此態之手續，曰起電或帶電 (to electrify)，由通常狀態達電態之變化，曰帶電現象 (electrification)，而其原因，則歸之於電 (electricity)。



圖 245. 帶電現象

§ 285. 陽電與陰電。

用絲線懸通草球 (pith ball)，以帶電後之物體近之，如圖 246，球先被棒吸，既接觸後，一部分之電傳於球上，兩者復行分離。如最初所用之帶電體為玻璃棒，於球

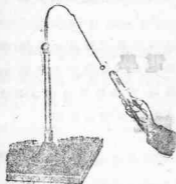


圖 243 通草球實驗

棒分離後用帶電之火漆棒近之，球又被其吸引。反之，先用火漆棒後用玻璃棒，亦然。由此可見電有兩種，性質恰相反。用綢在玻璃上擦出者，曰陽電 (positive electricity)；用絨布在火漆上擦出者，曰陰電 (negative electricity)。

同種之電相斥；異種之電相引。

§ 205. 導體與絕緣體。

用毛布擦木炭，不能起電，但若在木炭上裝一玻璃柄，以手執柄，然後擦炭，即可帶電。如在木炭上，結一銅線，則帶電後，銅線最遠之一端，亦呈電態。如木炭金屬等，一部分若有電發生，立即傳至其他各部分者，曰導體 (conductor)。反之，如火漆玻璃等，一部分帶電不能移至他部分上者，曰非導體 (non-conductor)，或稱介質 (dielectrics)。地球為導體，故帶電體與地接觸，電即傳至地球全部；人體亦為導體，故手與帶電體接觸，電即經手傳至

地上。手執炭塊，不能使其帶電，即由於此。如用一玻璃棒，隔斷炭塊與手之接觸，電因無路可傳，故仍留於炭上。用此方法隔斷電之連絡，曰絕緣 (to insulate)，故非導體又有絕緣體 (insulator) 之稱。

導體之例，如金屬，木炭，石墨 (graphite)，酸類 (acids) 及鹽類 (salts) 之水溶液，不純粹之水等。非導體之例，如硬橡皮 (ebonite)，蟲膠 (shellac)，琥珀 (amber)，火漆 (sealing wax)，硫黃，玻璃，綢，毛皮，瓷器，乾紙，油，橡皮 (Indian rubber)，馬來樹膠 (gutta-percha)，松香 (resin)，乾燥之空氣等。此兩者並非性質上有異，僅傳道之程度有差。故介於此兩者之間，如酒精，乾燥木材，紙，稻草，潤溼空氣，純粹之水等，既非良導體，而傳電又不多者，曰半導體 (semi-conductor)，或稱不良導體 (poor conductor)。

§ 237. 驗電器。

檢查物體是否帶電，或所帶之電為陰為陽，可用圖 247 所示之驗電器 (electroscope)。在玻璃瓶 G 之軟木塞 K 中，插入金屬棒 C ，下附金箔二枚，如 A, B 。塞上塗蠟，使棒絕緣，棒之上端



圖 247 驗電器

附一金屬板 D 使欲檢查之物體，與 D 接觸，其電之一部分傳至 D, C 及 A, B 。 A 與 B 既帶同種電，應受斥力作用，互相分開，故見金箔張開，即知確係帶電，金箔閉合則否。如先令帶電之玻璃與 D 接觸，使金箔得陽電後，再令欲檢之物體與 D 接觸，如金箔角度增加則為陽電，減小則為陰電。

由驗電器可以證明無論由摩擦或其他方法發生之電，陰陽兩種必同時發生，且量亦必相等。例如用絨布套在火漆棒上，使絨布與火漆摩擦，然後持絨布或火漆，各各單獨與驗電器之頂接觸，均可使金箔張開。故知兩者均各帶電。但若將此兩者同時與驗電器接觸，則金箔閉垂如故。故知兩者所帶之電，其量恰相等，而其性質，則恰相反。

§ 283. 電之本性。

關於電之本性，歷來有各種學說，茲分條述之如次：

(1) 流體說：此為 1870 年以前之舊說，中又分兩派：一派創自 辛麥 (Symmer)，曰兩流體說 (two fluids theory)，以為陰電及陽電，同為無重量之流體，性質相反，如等量混合，則成中和 (neutralization)，不現帶電性質。一切物

體，當其在自然狀態，均含有此兩種流體之等量而成中和。但一經與他物體摩擦，則陽電移至一物體，陰電移至他一物體，兩者互相分離，遂成爲一帶陽電，一帶陰電。且同種流體相斥，異種流體相引。

此外尚有一派，創自佛蘭克林 (Franklin)，曰單流體說 (one fluid theory)，以爲流體僅有一種，一切物體均含有其相當之分量，是爲其通常之狀態。如與他物體摩擦，則流體由此移彼，結果一方所餘者較通常少而帶陰電，他方較通常多而帶陽電。

以上兩說，均主張兩帶電體間之作用，可以超越距離進行，是爲超距作用 (action at a distance)，與介在兩者間之介質無關。

(2) 介質說：此說盛行於 1870 年至 1900 年間，以爲超距作用不合於理，一切電磁作用，均可歸之於其周圍之介質中發生之變化，此項介質，亦即解釋光現象時所假想之以太 (ether)。即一切電磁現象，均可用以太中所起之應變及運動表出。此說最初創自法拉第 (Faraday)，後經馬克士威 (Maxwell) 由數學上研究成爲光之電磁說 (electromagnetic theory of light)，最後更得赫芝 (Hertz) 之實驗證實，較流體說確與事實更近一步。

(3) 電子說: 本世紀以來更有電子論 (electron theory), 係折衷前兩說而成。以爲一切物質之原子, 均由帶陽電之核 (nucleus) 及若干帶陰電之電子 (electron), 環繞於核周而成。物質種類不同, 則其電子數亦異, 但電子之總電量, 必與其核之自由陽電量相等。假使電子數較通常應有之數略少, 則此原子即帶陽電; 略多則帶陰電。由此可見其認電爲物質之點, 與流體說同。但又主張一切電磁現象, 由於電子對於周圍以太之作用而來, 故其否認超距作用, 同介質說。

§ 280 庫倫靜電定律

由實驗求得作用於兩帶電體間之引力或斥力, 與兩者之電量之乘積爲正比例, 與其間距離之平方爲反比例。此關係, 曰庫倫定律 (Coulomb's law)。更經比較結果, 知作用之力之大小, 與周圍介質種類, 亦有密切關係, 與 § 274 相似, 命 q, q' 表兩帶電體所有之電量, r 表其間之距離, f 表作用之力, 則得

$$f = c \frac{qq'}{Kr^2}$$

由選擇之單位而定, K 由介質之種類而定; 同即常數

§ 290. 電量之單位。

設想真空中有兩球，球心相距 1 厘米，球上帶同種且等量之電，此兩者間作用之斥力等於 1 達因時，各球上所有之電量定為電量之靜電單位 (electrostatic unit of quantity of electricity)。

上定之電量單位過小，不適於用，故又取其 3×10^9 倍，定名曰 1 庫侖 (coulomb)，是為電量之實用單位 (practical unit of quantity of electricity)，與靜電單位相對。

又帶電體所具有之電量，曰帶電體之電荷 (electric charge)。

§ 291. 介質常數。

根據前節所述電量之靜電單位之規定，則在真空內，電量等於 q 及 q' 之兩帶電體互相作用之力，應為 $f = \frac{qq'}{r^2}$ 達因。在他種介質中，則為 $f = \frac{qq'}{Kr^2}$ 達因。故使用此種單位時，庫侖定律中之 c 成為 1， K 則由介質之性質而定，曰介質常數 (dielectric constant 或 specific inductive capacity)。在尋常大氣壓力下之空氣中 $K=1.000590$ ，故即看作 1 亦無礙。

§ 202. 靜電感應

取一中空之絕緣金屬圓筒或網套，如圖 248 之 A ，與驗電器相連，用絲線懸帶電體 B 入內，觀箔則可知 A 已帶電。如 B 與 A 未接觸，即將 B 取出，則箔隨即垂合，知 A 上之電同時消滅。凡如是一帶電體能使遠隔之

他物體帶電之現象，曰靜電感應 (electrostatic induction or influence)。

引起此現象之本源，即原帶電體 B ，曰感體 (inducing body)；受其感

應作用而帶電者，即物體 A ，曰應

體 (induced body)。又由實驗可

以檢出應體上與感體接近之一部分帶異種之電；遠隔之一部分，帶同種之電。例如 B 為陽電，則 A 之內面帶

陰電，外面帶陽電。去 B ，箔復合，故知在 A 上由感應而生之兩種電，其量恆相等。

如感體全部，為應體包圍，則應體內外面所帶之電，均各與感體之電荷相等，此事仍可用前述實驗證明。

先將 B 垂下，則箔張開，使 B 與 A 接觸，箔張如故。取出 B 察之，其上電荷已失，可知非與 A 內面之陰電量相等，

不能如是中和。又將 B 垂入 A 內，使 A 與地相連，則 A 之

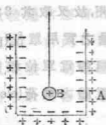


圖 248. 靜電感應

陽電傳入地，金箔因而閉合垂下。此時使 A 與地之連絡斷絕，令 B 與 A 之內部接觸，箔仍不開。因 B 上之電已與 A 內之電中和使然。但若斷絕 A 與地之連絡，不令 B 與 A 接觸，即將 B 取去，箔又張開。可知 A 內所生之陰電，其量恰與 B 之陽電量相等。

上述實驗創自法拉第，當時使用之中空導體為一冰桶，故此實驗曰法拉第之冰桶實驗 (Faraday's ice-pail experiment)。

§ 293. 由感應而起之引

執帶電玻璃棒 A ，引絲線所懸之小金屬球，如圖 249，球上與棒接近之端 B 帶陰電，遠方 C 帶陽電。因 BA 近而 CA 遠，故引力大過斥力，球被棒引去，即由於此



圖 249. 感應之引力

§ 294. 由靜電感應使驗電器帶電之方法
帶電體不必與驗電器之頂直接接觸，只須在其近

傍，金箔即可張開，此現象亦可由靜電感應釋明，即與帶電體相近之頂，由感應作用得異種電，遠隔之金箔得同種電。如於此時，使頂與地相連，則遠處變成地球，同種電應移至地面，故箔垂下。再將感體取去，同時斷絕驗電器與地面之連絡，則原在頂上發生之電，傳至箔上，故箔又張開。

§ 295. 靜電之分佈。

非導體上如有一部分帶電，應即限於原處，不能任意傳佈。在導體上則否，一部分帶電，立即遍傳各部。由庫倫定律，不難證明導體上之電，均必在其表面上，內部決不能有少許之電存在。茲由實驗證之如下：

取一中空導體，全部閉合，僅留一小穴，放在絕緣臺上，令其帶電。再取一小銅板，上附玻璃柄，名曰驗電板（proof-plane），以手執其柄，使銅板與導體內外各部分相接觸，然後檢查之，即知表面上各處均有同樣之電，而其內部則否。

或用圓錐形麻袋放在絕緣臺上，附絲線兩條於其尖端，曳線可令麻袋之表裏自由翻轉。如前使袋帶電，用驗電板檢查之，無論表裏如何翻轉，電恆在於袋之外。

面。設用一圓形薄紙，對圓心，作一垂直之圓，其半徑與圓心之距離，以爲法線，其長度與表面密度之乘積，即得此小面積上之電量，以面積除之，即得單位面積上所有之電量，曰表面密度 (surface density)，通常以 σ 代之，即

§ 290. 表面密度。

導體表面上存在之電量，各部分不必盡同。就表面上任意一點而論，在此點周圍取一小面積，量得此小面積上之電量 q ，以面積 S 除之，即得單位面積上所有之電量，曰表面密度 (surface density)，通常以 σ 代之，即

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

如電在表面上配布不均，則以此表其平均表面密度。



圖 250. 表面密度

絕緣球體之近傍，如無他導體或帶電體存在，則其表面上之電，配布極勻，各點之 σ 均相等。如在各點引法線，取其長與 σ 成一定之比例，即以此法線之高，代表所在點之表面密度，連結各法線之頂點而得之軌跡，成

一同心球，如圖 250 之 *a*。同樣，對於絕緣圓筒，兩端作圓形者， σ 以曲率大處最大，如 *b*。相切兩球，以切點之 σ 最小，距此愈遠愈大，如 *c*。如此兩球大小不同，則小球上之 σ 較大。橢圓體則以尖端處之 σ 最大，如 *d*。平面圓板之平面部分， σ 大致相同，但愈近其邊緣，其值愈大，如 *e*。

§ 207. 尖端作用。

由前節所述，可見導體表面平滑處所聚之電少，尖銳處所聚之電多。與此種尖銳部分接觸之空氣粒子，亦取得一部分之電，受原導體上同名電之斥力作用，離導體而去，另易其他之空氣粒子而來，與之接觸後亦復帶電被斥，如是繼續作用，原導體上所帶之電，逐漸減少，最後直至全部逸散於空中，如圖 251 所示，此作用曰尖端作用 (point action)。又如圖 252，在起電機之一極上



圖 251. 尖端作用

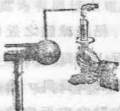


圖 252. 電扇

裝一屈成直角之針，因電由尖端傳至近傍之空氣，空氣與針尖，均帶同種之電，應受斥力作用，空氣不得不離開尖端流去。繼之而來之新空氣，不久亦受同樣作用流開，以燭火近之，即可見其被吹向一方，是為電風 (electric wind)。又如圖 253，於直立針上支一水平之輕金屬架，架上尖端一律曲成同一方向，全架能在支點周圍轉動，則各尖端同受空氣之反動，全體應向箭頭所示之方向轉動，是曰哈密爾頓之電反動風車 (Hamilton's electric reaction mill)。

導體上之電，受尖端作用，放出空中後，失去其所帶之電之現象，曰放電 (discharge)。



圖 253. 電風車

§ 298. 起電盤

欲得多量之電，須用特殊之器具，曰起電機 (electric machines)，其種類頗多，最簡單者，當推圖 254 所示之起電盤 (electrophorus)，由兩部分而成：一為硬橡皮圓板，放在木臺上，如 *B*，一為略小之金屬圓板 *A*，附玻璃柄用貓皮摩擦或敲打 *B*，將 *A* 蓋上，以手指略觸 *A*，執柄取去之，其上即帶電。令 *A* 上之電移至其他導體後，再蓋在 *B*



圖 254. 起電盤

上，仍照前法以手指觸 A ，隨即取去，又復得電。如是反覆行之，即可蓄積多量之電。其理如下：貓皮與 B 摩擦，則 B 得陰電，但 B 之表面凹凸不平，故 A 在其上時，真正接觸處不過三五點而已，其餘部分均由靜電感應，使 A 之下面生陽電，上面生陰電，如圖中左上方。觸 A ，則陰電經手移入地，提起 A ，陽電即遍佈其上。且 B 上之電，並不因此減少，如圖中左下方，故可反覆行之。

§ 239. 感應起電機

比起電盤更進一步，則有種種之起電機，其中最著名者為威姆胡斯特感應起電機 (Wimshurst's influence machine)，如圖 255 所示。主要部分為兩圓板，上塗油漆 (varnish)，均可轉動，但轉動方向，一反一正，兩板外面

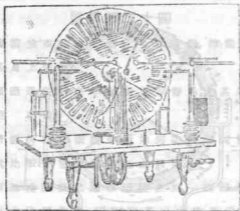


圖 255. 起電機

各貼若干枚錫箔，箔前有金屬刷 (brush) 各二，由金屬棒相連。板面轉動，則刷次第與各錫箔接觸而過。連結兩板前之刷之金屬棒，互成垂直。此外尚有絕緣之金屬梳 (comb)，左右各一，齒對圓板，與板相近，但不相連。用金屬導線將兩梳各連至放電器之一極 (electrode)。主為多蓄電起見，在放電部分下各裝萊頓瓶 (參照 § 306) 一個。

圖 256 之兩圓，即表兩玻璃板，一內一外，內圓表前面之板，外圓表後面之板。前板作順時針轉，後板作反時針轉，刷 n_1, n_2 與前板錫箔相觸， n_3, n_4 與後板之錫箔相觸。假定後板上之錫箔，開始時帶有少許陽電，此箔

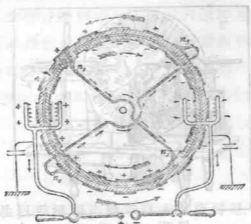


圖 250. 起電機之原理

向左轉去，至於 n_1 之位置時，由靜電感應，在 n_1 及與之相接之前板錫箔上發生陰電，於 n_2 及與之相接之錫箔上發生陽電。又與 n_1 一度接觸後，此帶陰電之箔，轉至 n_3 時，在此處當由感應作用而生陽電，於 n_1 生陰電。如是，上半段之前板上錫箔，恆生陰電；後板上錫箔，恆生陽電，下半段與此正相反對。即錫箔一方面有感體之職務，他方面又有輸送電量之任務。板轉愈速，所發之電愈強。梳之位置，在前後兩板有同種電之兩處，左右各一。右邊之梳，齒向陰電，左邊之梳，齒向陽電，藉尖端作用，各將其附近之電荷，傳至於其相連之電極。

問題第二十四

1. 將箔放在玻璃桌上，令其打滾，即備將桌上香燭

層吸引於其身上，何故？

2. 感應起電，在冬季較在夏季容易，尤其是雷雨期中，

試亦不驗，何故？

3. 前題所設之環境中，須如何方能達到目的？

4. 試比較帶電體與磁極之異同。

5. 用絲線懸掛之通草球檢查別一物體是否帶電，究竟觀察其斥力作用為佳，抑觀察其引力作用為佳？其理由安在？

6. 只有一金箔驗電器，一玻璃棒，一棉巾，如何能檢出其他物體上所帶之電為陰為陽？

7. 試用一玻璃棒使金箔驗電器帶電，然後用熱紙擦擦衣服後，執近驗電器。如金箔之角度增大，則紙上所帶之電為陽抑為陰？如其角度減小，又何如？

8. 設有一帶陽電而又絕緣之球，欲使其自之兩球，一帶陰電，一帶陽電，且不致因此損失第一球上之電，其法如何？

9. 由靜電感應使金箔驗電器帶電時，為何為移去手指而後始撤去感應？

10. 設有兩小球，帶同種電，其電量之比為3:5。今使兩球一度接觸後，又復分開，令其距離成為前此之距離之半，求前後作用之斥力之比。

四十二章 電場

第二章 電勢及電容

§ 300. 電場.

在帶電體之近傍另放一帶電之小球，即見兩者之間，有引力或斥力作用。由此可知，帶電體周圍之空間，亦具有特殊之性質，與磁場相似，是曰靜電力場 (field of electrostatic force)，或簡稱之曰電場 (electrical field)。帶電小球在電場內任意一點所受之電力，由小球上所帶之電量多寡而定。如不問小球所帶之電量如何，專就場內各點而比較其處作用之電力時，則設想一質點，帶有單位陽電荷，通稱之曰單位正荷 (unit positive charge)。單位正荷在場內一點所受之電力，曰電場強度 (intensity of electrical field)，有時亦稱之曰電場度，如以 E 表之，並命 q 表在場內一點之電荷， f 表作用之力，則其關係如下：

$$f = qE.$$

§ 301. 電力線.

在電場內，設想一曲線，其各點之切線方向，與單位

正荷在同點時所受之電力之方向一致，如是而得之曲線，曰電力線 (electric lines of force)。即電力線所向之一方，爲帶有小量陽電荷之輕物體能運動時所取之方向。故電力線恆始於帶陽電之物體而終於帶陰電之物體，頗與磁力線相類。在電場內，設想一單位面積，與電場垂直，通過其上，如引 $\frac{E}{4\pi}$ 條力線，即可以此項力線數代表其電場強度。用此規定，則帶有陽電量 q 之物體發出之電力線總數應爲 q 。此規定與磁力線之規定略有不同，須注意及之。

又磁鐵之 N, S 兩極，不能分離，其強度相等，故由一磁鐵發出之力線總數，恆與終於其 S 極之力線數相等。電荷則否，陰陽均可獨立存在，故電力線或由帶電體向外發出，不復再返；或全數由外部進入帶電體內，決不再出；前者爲陽電，後者爲陰電。帶電體之表面上任何部分，如有單位電荷存在，即有一條電力線或由此發出，或由此沒入。故若單位面積上有 σ 條電力線，即知其處存在之電荷，爲 σ 單位。故此 σ 即帶電體之表面密度。

如有兩帶電體，一帶陽電，一帶陰電，則其力線，當如圖 257。如兩者均帶同類之電，則其力線如圖 258。

假定沿力線之方向上，有張力作用，其直角方向上

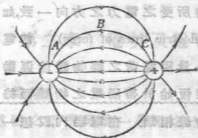


圖 237. 異荷力線

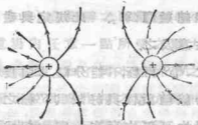


圖 238. 同荷力線

有壓力作用，即可說明同荷相斥及異荷相引之理。物體上之電荷分布狀況，如有變動，則各單位電荷必連同其力線，在物體之表面上移動。但力線方向上，既假定有張力作用，故有意縮愈短之傾向。如有非導體介在兩導體之間，則力線不能作無限縮短。如兩導體間有一線之連絡，則力線之端，即沿此連絡線上移動，縮成無限短小，結局遂消歸烏有。

又可 § 302. 電屏.

如有一接地之導體，將帶電之絕緣導體，完全包圍在內，則由帶電體上發出之電力線，全部包羅在此兩導體之間，接地導體之外部，絲毫不受其內部荷電之影響。反之，在接地導體包圍中之導體，亦絲毫不受外部荷電之影響。通常牆壁均為接地之導體，故在室內作任何實驗，其力線均限於室內，不能出於室外。此時之接地導體，作用與屏障相似，能將電力線隔斷，故此作用稱為電屏 (electric screening)。試用金屬網製成之罩，罩在驗電器外面，罩下與桌面相接，即成為接地之導體，在罩外持帶電體近罩，驗電器之金箔並不張開。次將此罩倒轉，使罩口向上，立在驗電器近傍，然後將帶電體，放入罩內，但不與罩接觸，金箔亦不張開。再取去網罩，將帶電體持近驗電器，即見金箔張開，此時若在驗電器與帶電體之間，插入一接地之金屬板，金箔立即垂下，可見此時之金屬板，已發生電屏作用。但如所用之金屬板，並未接地，則金箔依然張開，可見未接地之導體，不能有電屏作用。凡欲避免受其他電場之影響，均須使用電屏。無線電機件中，尤為常見。

§ 303. 電勢

電勢 303 §

設有一球體帶正電 q ，在其場內一點 Q ，如圖 259，放一單位正荷之質點，命此兩者間之距離為 r ，則此質點所受之斥力，應為 $\frac{q}{r^2}$ 。不欲反抗此項斥力作用，將質點移近帶電球體，勢非由外供給以功不可。兩者相隔愈近，斥力愈大，所供給之功亦隨之而增。若由 Q 將質點移近至 P 點，則其間所供給之功，即蓄積於介質內部，其值等於 P, Q 兩點之勢能之差，其情形頗與壓縮空氣蓄積由外得來之能相似。由 P 及由 Q 移動至一定位置，所需之功，各不相同，其差即 P, Q 兩點之勢能差。在地面舉高物體，勢能之增加等於舉物時所作之功，其情形亦與此同。

如質點與帶電球體之距離，成為無窮大，則斥力成為零，故質點對於球體 O 之電勢，亦等於零。如將此時質點之勢能，定為標準，則當其在 P 時，所有之勢能，即等於從無窮遠處將此質點移至 P 時所需之功。此功曰 P 點之電勢 (electrical potential)。即電場內任意一點之電勢，係將單位正荷從無窮遠移至此點時所要之功。

又可云電場內一點之電勢，係單位正荷在此點時所有之勢能，但以單位正荷在無窮遠時，為計算勢能之標準。

在帶陽電之物體之場內，單位正荷愈近此帶電體其電勢愈大，同時受帶電體之斥力作用，有離去帶電體之傾向。故在帶陽電體之場內，陽電荷有由勢高處移向勢低處之傾向。反之，在帶陰電體之場內，單位正荷受引力作用，不必自外得功，亦能自行移向帶電體。故帶陽電體之場內，其電勢如為正，則帶陰電體之場內其電勢應為負。此時單位正荷反抗引力作用，由帶電體離去愈遠，所需之功愈大。但同時既受引力作用，陽電仍有由勢高處移向勢低處之傾向。故不問帶電體所帶之電為陰為陽，在其場內之陽電荷，恆由勢高處移向勢低處，與水由高向低，熱由高溫移向低溫相同。

電容之單位 (electrostatic capacity) 容電之單位

§ 304. 勢差及單位

如將單位正荷由一點移至他點時所需之功為 1 爾格，用此兩點間之電勢之差定為 C. G. S. 靜電制之單位勢差 (C. G. S. electrostatic unit of potential difference)，並以其 $\frac{1}{300}$ 定為實用單位 (practical unit)，曰 1 伏特 (volt)

即 (C. G. S. electrostatic unit of capacity)

1 伏特 = $\frac{1}{300}$ C. G. S. 靜電單位。

換言之，將帶有 1 C. G. S. 靜電單位之電量，由一點移至他點，如其所需之功，等於 $\frac{1}{300}$ 爾格，則此兩點間之勢差，為 1 伏特。故 1 庫侖之電量，在勢差等於 1 伏特之兩點間移動時，所需之功，應為 $\frac{1}{300} \times 3 \times 10^9 = 10^7$ 爾格 = 1 焦耳。即

$$1 \text{ 伏特} \times 1 \text{ 庫侖} = 1 \text{ 焦耳}$$

1 庫侖之電量在勢差等於 1 伏特之兩點間移動時，所需之功適為 1 焦耳。或 1 庫侖之電量，在兩點間移動時，如其所需之功等於 1 焦耳，則此兩點間之勢差，適為 1 伏特。

§ 305 電容。

使導體之電勢升高 1 單位勢差所需之電量，曰此導體之電容 (electric capacity)，通常以 C 代之。如命 q 表導體上所有之電量， V 表其電勢，則得

$$q = CV$$

之關係。

用單位電量可以使導體之電勢升高 1 單位勢差時，此導體之電容，即定為 C. G. S. 靜電制之單位電容 (C. G. S. electrostatic unit of capacity)。

當金質用上之電容單位爲法拉(farad),係以1庫倫之電量加於導體上,使其電勢能昇高1伏特時之電容。

計換當量 1庫倫 = 3×10^9 (C. G. S. 靜電單位),

1伏特 = $\frac{1}{300}$ (C. G. S. 靜電單位),

故 1法拉 = $3 \times 10^9 \div \frac{1}{300}$

= 9×10^{11} (C. G. S. 靜電單位)。

可見法拉之單位,失之過大。以地球而論,其電容亦不過萬分之七法拉而已。通常之導體,形體遠在此下,故用法拉計其電容,極感不便。通常取法拉之百萬分之一,以作電容之單位,曰1微法拉(microfarad),即

1微法拉 = 10^{-6} 法拉。

= 9×10^5 (C. G. S. 靜電單位)。

§ 306. 容電器。

如圖 260, 連結一絕緣導體 A 於驗電器上,使其帶



圖 260. 容電器之原理。

陰電金箔張開。持一接地(earthed)之導體 B 近之金箔即垂下。可見 A 上電量雖未減，但近傍有 B ，其勢即降。再加陰電於 A ，使金箔張開角度如前，所需電量當數倍於前。

即凡有接地導體在其近傍時，其電容當較平時增加頗多。如使 A 與電勢一定之電源相連，其上即可容多量之電，容電器 (condenser) 即本此理而成，其電容 C ，由兩板間之絕緣體而定，如其為空氣，則曰空氣容電器 (air condenser)。

實際之容電器種類頗多，其中最簡單而又為日常所見者，為平行板容電器 (parallel plate condenser) 係用若干層鋁箔交錯夾入蠟母或蠟紙層中，用金屬導線連成兩組，如圖 261 所示。



圖 261. 平行板容電器

又或用若干扇形金屬薄板裝在軸上，分為兩組，一組固定不動，他一組可在軸周任意轉動，其電容隨兩組之相對位置而異，如圖 262 所示之狀況，曰可變容電器 (variable condenser)，無線電中多用之。

又圖 263 所示之萊頓瓶 (Leyden jar)，係在玻璃瓶

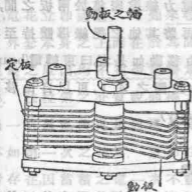


圖 202. 可變容電器



圖 203. 萊頓瓶

壁上，表裏各貼一層錫箔而成，亦最常見之一種容電器，實亦平行板容電器之一變相。在內之層曰內套(inner coating)，在外之層曰外套(outer coating)。由瓶口插入一金屬棒，下垂銅鏈，與內套接觸。

§ 307. 自由電及束縛電。

單獨存在之金屬板帶電時，電當立即遍布於其全表面，此時之力線，如圖 264 左，其電容不大，如有其他之導體

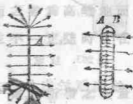


圖 264. 自由電及束縛電

與之接觸，其上之電即移一部分至此導體之上。但若同時與一接地之金屬導體相對而置，如石，成爲容電器

時，因陰陽電相引之結果，電力線遂密集於兩板之間，不能自由移動。此時縱令再將其他之絕緣導體持至其近傍，板上之電，仍不能自由移動，如是者，曰束縛電 (bound electricity)。與此相對，如左圖之 A 上，可以自由移動之電，曰自由電 (free electricity)。

§ 303. 萊頓瓶之放電

金屬製成之鈹，端作球形，柄為絕緣質之物，曰放電叉 (discharging tongs)。持放電叉之柄，使其一球與萊頓瓶 瓶之外套接觸，徐徐放開叉腳，使他一球漸次與萊頓瓶 頂上之球接近，即見有電，突破其間之空氣而過，以相中和，如圖 265 所示。如是之現象，曰放電 (discharge)，此時飛過之電，則曰電花 (electric spark)。



圖 265. 放電

如不用通常之萊頓瓶，而用

一隻玻璃瓶於內外各加一鉛皮筒，造成其內外兩套，放在絕緣臺上，使其帶電，與萊頓瓶之功效，完全相同。如用絕緣棒將內面鉛皮筒取出，與外面之鉛皮筒相接，並不發生電花。再將內鉛皮筒裝入玻璃瓶內，用放電叉試

之，電花立即通過。可知來頓瓶中蓄積之電，絕不在於內外套本身之上，而在於其間之玻璃之內。即一切電現象之原因，均不在帶電體本身，而在其周圍介質之內也。法拉第之介質說，頗得力於此事實。又來頓瓶經過一次放電後，再用放電叉檢之，仍有二次放電發生，但不如第一次之甚耳。更加注意，可知其尚有三次以上者存在，因蓄積之電，一次不能盡，尚有少許殘留所致，此項殘留之電，曰剩餘電荷(residual charge) 剩餘電荷之或多或少，隨介質之性質而異，如以空氣代替玻璃，即無剩餘電荷矣。

§ 309. 空中之電。

空中各點通常均呈帶電狀況，其情況大致如下：

一般快晴之日，大氣之電勢較地面之勢為高，離地面愈遠者，其電勢亦愈大。此項電勢並不一定，隨時皆在變動中，尤以風雨時，變動最烈。

空中之雲通常均帶有相當之電，如所帶之電量過多，則帶陽電之雲，與帶陰電之雲，可突破其間所隔之空氣而行放電，此時表現之光，曰電閃(lightning flash)，同時發出之音，則曰雷(thunder)，如直接落於人畜身體之上，

必傷及生命，是曰雷擊(thunder-strike)。又帶電之雲與地面接近，則由靜電感應，在地面上發生反對之電，當此兩者放電時，人畜身體所帶之多量之電，驟然消去，因此而遭雷擊者，曰反擊(return shock)。

§ 310 避雷針

防止雷擊之設備，曰避雷針(lightning conductor)，目的在使電量不致蓄積太多，即爲之開一放電之路，以免人畜受害。法用一金屬棒，立於屋頂，上端削尖，下端用粗導線引入池水底下，或鐸連於深埋地下之鋅板等上面。當帶電之雲，行近此棒，由靜電感應，在其尖端上誘起反對之電，但受尖端作用，隨生隨即逸出，與雲中之反對電相中和，因此可以避免直接之落雷。

問題第二十五

1. 將萊頓瓶放在絕緣導線上，結果將如何？
2. 將萊頓瓶放在掌上，使其帶電，雖容電極多，而掌上並不感覺，且亦不致由掌上將其上所帶之電傳導他去，何故？
3. 使萊頓瓶放電，必如何方可避免危險？
4. 既有一帶陰電之絕緣球，如何可令其他數個絕緣金屬球僅帶陽電，且不損及原帶陰電之球上之電？

第三章 電流

§ 311. 電流.

用金屬之導線連結浸在稀硫酸內之銅板及鋅板，如圖 266，則銅上有陽電經由導線向鋅流去，鋅上有陰電亦經導線上向銅流去。



圖 266. 電池

可見未用導線連結以前，此銅板與鋅板，電勢應有高低差別，既經用導線連結以後，原有之電，即互相中和，勢差應成爲零。但同時硫酸與鋅，發生反應，使銅再得陽電，鋅得陰電，兩板之間，又有勢差成立，

其值略遜於未使用以前，但相差亦不遠。故用導線將浸在稀硫酸內之銅鋅兩板連結，陽電即陸續不絕由銅移至鋅。此項電之移動，曰電流 (electric current)，通常定陽電移動之方向，爲電流之方向。故在導線內，電流之方向係由銅向鋅，而在液內則由鋅向銅。電流所經由之路，曰電路 (circuit)。用導線連結兩板造成電路，使電流可經由其上通過之動作，曰通 (to close 或 to make)；

截斷導線使電流停止之動作曰斷 (to open 或 to break) 電路既通以後，電流立即達其定值，此時每秒間通過橫截面之電量，曰電流強度 (strength of current)

§ 312. 電池.

由上節所述利用化學作用而得陸續不斷之電流之器，曰電池 (cell)，其兩端之板，曰電池之極 (pole) 勢高之一極，如前例之銅，曰陽極 (positive pole)，勢低之一極，如鋅，曰陰極 (negative pole)。

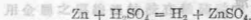
§ 313. 電動勢.

當電池之電路未通以前，兩極之勢差，由兩極之物質種類及液體之種類而定，與極之形狀大小及液體之多寡無涉。此項勢差，即使電池發生電流之主要原因故曰電池之電動勢 (electromotive force)，通常用 emf 或 E. M. F. 等記號代之，在電工學上，又有電壓 (voltage) 之稱。

§ 314. 極化作用

用鋅銅及稀硫酸造成之電池，如鋅質純粹，則當電

路未通以前，無化學作用發生，電路既通之後，硫酸分解成爲 H_2 及 SO_4 。其中之 H_2 攜同陽電由鋅移至銅，而 SO_4 則攜同陰電由銅移至鋅，與鋅化合，成爲硫酸鋅，其反應式如下：



所生之氫氣爲非導體，如積在銅上之量過多，足以妨礙電流，與受有一反電動勢 (counter electromotive force) 作用之結果相同，其效應使電流減弱。如是之現象，曰電池之極化 (polarization of cells)。欲得善良電池，非除去極化不可，其法有二：一爲化學方法 (chemical means)。

係添加氧化物，俾其與氫化合，以除去之。一爲電化學方法 (electro-chemical means)，使用兩瓶，令一瓶內發生之氫，進入他一瓶內，與其液體化合，結果以固體之金屬代替氫，附着於陽極之上。

§ 315. 局部作用。

通常之鋅，大都含有雜質，尤以鐵爲最多。在硫酸中，鐵對於周圍之鋅，與銅有同一作用，故造成一小電流，由鐵至鋅，再經液內而返於鐵，是曰局部電流 (local current)，使鋅受無益之損失。欲免此弊，先用硝酸洗鋅，浸

入汞內，成爲汞齊(amalgam)，滿佈鋅上。誠則不能有此作用，故不生局部電流。

§ 316. 濕電池及乾電池.

電池之種類極多，大別之，可分爲三種，分述如下：

第一種：使用化學方法除去極化作用者：此種

電池概用兩種液體，一爲溶解鋅之稀薄酸類，曰激發劑(excitant)，一爲除去極化之強烈氧化物，曰去極劑(depolarizer)，其重要者如下：

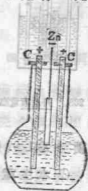


圖 267 所示者，曰重鉻酸電池

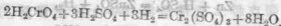
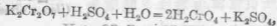
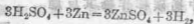
(dichromate cell)，其兩極及液體爲

重鉻酸鉀 (potassium dichromate

$K_2Cr_2O_7$) 12 分，水 100 分，硫酸 25 分，及

圖 267. 重鉻酸電池

汞齊之鋅板與碳板。此種電池之反應式如下：



電動勢約 2.1 伏特，大抵實驗室中及醫學上，使用此種電池。欲得短時間之強電流，用此最便，但去極劑不足，

不耐久用。

第二種：使用電化學方法除去極化作用者：此種電池概用兩瓶，分盛不同液體，以免極化作用，屬於此類者，為數頗多，分述之如次：

(1) 丹聶爾電池 (Daniell's cell) 如圖 268，內瓶為生瓷器，



圖 268. 丹聶爾電池

內盛水 12 分，硫酸 1 分，中插汞齊鋅板。外瓶為玻璃或瓷器，內盛稀硫酸銅之飽和溶液，中插銅板。其反應式如下：



電動勢為 1.02 伏特，其值定而不變，電局中多用之

(2) 本生電池 (Bunsen's cell) 如圖

269，外瓶為瓷器，內盛水 12 分，硫酸 1 分，中插汞齊鋅板。內瓶為生瓷器，內盛濃硝酸，中插碳棒作極，其反應式如下：



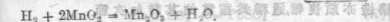
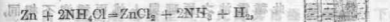
圖 269 本生電池



電動勢為 1.94 伏特，但時有變動，不能如 丹聶爾 之一定

大抵使用於實驗室內。

(3) 勒克蘭社電池 (Leclanché's cell), 如圖 270, 外瓶爲玻璃缸, 內盛氯化銨 (ammonium chloride NH_4Cl) 之飽和溶液, 中插汞齊之鋅板作極, 內瓶爲生瓷器, 內盛二氧化錳及碳粉, 中插碳板作極, 其反應式如下:



電動勢爲 1.46 伏特, 大抵用於電鈴或

圖 270 勒克蘭社電池

電報之一部分。此種電池之去極劑, 進行異常緩慢, 故若長時間使用後, 內瓶中之氫氣, 未能完全氧化, 遂由極化作用, 使其電動勢減弱。但若電路暫斷, 氫氣不久完全氧化, 極化亦隨即停止。故此種電池, 可以放置數月之久, 不必加以修理, 仍可繼續使用。如不用生瓷圓筒而用二氧化錳及碳粉搗捏而成之圓筒, 以代陽極, 懸入氯化銨之飽和溶液內, 且與鋅隔開, 卽成拉克利得電池 (Lacleade's cell)。

(4) 乾電池 (dry cell) 爲最常用之勒克蘭社電池, 如圖 271, 碳棒 C 之周圍, 如 A, 爲二氧化錳, 碳粉, 石墨, 及氯化銨溶液等混合而成之黑色糊狀物。在外更有石膏

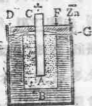


圖 271. 乾電池

及氯化銨溶液混合而成之白色糊狀物，如 B 。最外一層為鋅箱，如 Zn ，作電池之陰極。其餘如 D ，為放氣孔， E 為矽酸綿， F 為瀝青， G 為厚紙。此種電池之電動勢為 1.48 伏特，電鈴及電話用之。

第三種：此種電池之原理，與上述兩種迥不相同，構造亦頗複雜，通稱為蓄電池，其詳如次節。

§ 317. 蓄電池。

浸鉛板兩枚於稀硫酸中，用一導線在外連結之，於電路中插入電流計，指針不動，知無電流通過。但若於電路中，再加一電池 B ，如圖 272，即見電流自 A 流入稀硫酸中，自 K 流出於外。如是暫時之後，除去 B 再察之，即見有與前相反之電流流過。此項電流，由於連 B 時所生之極化作用而來。鉛在硫酸內，經

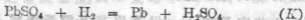


圖 272. 蓄電池原理

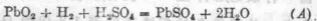
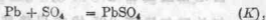


生成之硫酸鉛，不溶於水，故佈滿鉛板之表面，並未進入

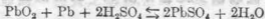
其內部，由 B 送電入內，則其陰極 K 及陽極 A 之變化如下：



即在 K 上成爲海綿狀之鉛，在 A 上生 PbO_2 。但 PbO_2 對於 Pb 之關係，與銅對鋅之關係同。故去 B 而連 A, K ，電流即由 A 流出，經導線至 K 。此時其兩極之變化如下：



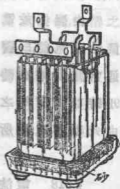
進行至 A, K 之上，均爲 PbSO_4 佈滿，變化始停止，電流亦必至此時始停。再將上列四種反應式統括之得



由右而左之變化，曰蓄電 (to charge)；

由左而右曰放電 (to discharge)。

利用此理而成之電池，曰蓄電池 (storage battery 或 accumulator，又因其利用極化作用，將第一次通電時之能，儲蓄於內，以供隨時取用，故西文亦稱 secondary battery)，如圖



273. 一蓄電池所能儲蓄之電，有一 圖 273. 實際之蓄電池組

定分量，即其容量有一定限制。上述之鉛板所受變化，止於其表面，不能深入內部，而表面又極平滑，面積不能大，故其容量較小。但若使其連續受充電及放電至數十回以上，則因生成之二氧化鉛及海綿狀鉛頗多，板面成爲凹凸不平之狀，無異增加其與酸類接觸之面積，故其容量亦大，適於實際使用。

蓄電池盡量蓄電滿足時，其電動勢約爲 2.5 伏特，但一行放電，即降至 2.05 伏特，以後即保持此值，不復再降矣。放電過久，始行降下，降至 1.8 伏特，已不堪使用，非重行充電不可。又充電時，生出硫酸液體之比重增加；放電時硫酸減少，比重亦減小。故由液體比重，可察知其放電程度。

由開始放電至電動勢降至 1.8 伏特爲止，電池所能供給之電能，曰蓄電池之容量 (capacity of storage battery)，通常用安培小時 (ampere hour) 作單位表示之，1 安培小時即 1 安培之電流連續放電達一小時之久，在其間由此項蓄電池所供給之能。

§ 319. 電流之強度。

每秒間由電路之截面有單位電量流過之電流，定

爲電流強度之單位。在實用單位，爲每秒間通過 1 庫侖之電量之電流強度，曰 1 安培 (ampère)。故 i 安培之電流，在 t 秒間由電路之截面通過 q 庫侖之電量時當有下列之關係：

$$i = \frac{q}{t} \text{ 安培,}$$

而 1 安培 = 3×10^9 C. G. S. 靜電單位。

§ 319. 電阻

電流之強度不僅與電動勢相關，且隨所用之導線而變，即同一性質之導線，在同一電動勢之下，線粗者電流強度大，細者強度小，與水流經粗細導管流過時，須受管內阻礙之情形相類似，故對於電流之阻礙，即稱之爲電阻 (resistance)，其實用單位曰歐姆 (ohm)。1 歐姆即導線兩端受 1 伏特之勢差作用時，其電流強度恰爲 1 安培之電阻。此值又與截面 1 平方毫米，長 106.3 厘米之汞柱在 0°C . 時對於電流所呈之電阻相同。

§ 320. 電阻定律

導線之電阻與導線之長度爲正比例，與其截面積

爲反比例，此關係曰電阻定律(law of resistance)。如命 l 厘米表導線之長度， S 平方厘米表其截面積， R 歐姆表其電阻，則其關係如下：

$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ 歐姆.}$$

式中之 ρ ，表一常數，由導線之物質種類而定，曰各物質之電阻係數(specific resistance) 如 $l = 1$ 厘米， $S = 1$ 平方厘米，則 $R = \rho$ 歐姆。故各種物質之電阻係數，等於其物質長 1 厘米，截面積 1 平方厘米之電阻，或其物質每 1 立方厘米所有之電阻。

又電阻之倒數 $\frac{1}{R}$ ，曰各物質之電導(conductance)，而長 1 厘米，截面積 1 平方厘米之導線之電導，則曰電導係數(specific conductance 或 conductivity) 電導之單位，曰姆歐(mho)，係將電阻單位之歐姆(ohm)一語反轉而成，例如電阻等於 r 歐姆之導線，其電導當等於 $\frac{1}{r}$ 姆歐。

§ 321 電阻之變化。

溫度不同，則電阻亦異，但在溫度變化不甚大時，電阻之增減，恆與溫度之變化相比例。如命 R_0 及 R_t 表在

0°C. 及 $t^{\circ}\text{C.}$ 時同一物質之電阻,則其關係如下:

$$R_t = R_0(1 + at).$$

a 爲一常數,由物質種類而定,曰電阻之溫度係數 (temperature coefficient of resistance). 各種重要物質之電

阻係數及其溫度係數,如表 18:

表 18. 電阻係數及其溫度係數

物質	電阻係數 (歐歐姆)	溫度係數 (1°C.)	物質	電阻係數 (歐歐姆)	溫度係數 (1°C.)
軟銀	1.492	0.004,00	鎢	6×10^{10}	
硬銀	1.620	0.003,84	石墨	2400-42000	-0.000,82
軟銅	1.570	0.004,28	弧燈用炭棒	約4000	-0.000,314
硬銅	1.603	0.003,20	德銀(Cu 60, Zn 35, Ni 14)	20.76	0.000,36
金	2.077	0.003,67	鉑銀齊(Pt 33, Ag 67)	31.58	0.000,348
鈾	2.888	0.003,90	雲鉑(Cu 59, Zn 25.5, Ni 14, W 1.5)	32.5	0.000,20
鉑	8.962	0.002,22	錳銅(Cu 84, Mn 12, Ni 4)	46.68	0.000,024
鐵	9.638	0.005,31	鎳銅(Cu 60, Ni 40)	50.00	0.000,020
鉛	19.03	0.003,95	SS	100.00	0.000,044
汞	94.34	0.000,893	SS II(鎳鎢)	660.00	0.000,006

據表,知德銀或其他合金之溫度係數,爲值均甚小,故多利用之以作電阻線圈(resistance coil). 其中尤以錳銅及鎳銅最甚,不及純粹金屬之百分之一,極適於製造標準之電阻線圈. 如 SS, 或 SS II, 其電阻特大,熔點亦高,故電爐等用之.

利用鉑之電阻變化,可以測定高溫,此種器械稱曰



圖 274. 鉑高溫計

鉑高溫計 (platinum pyrometer), 狀如圖 274, 要部爲一細鉑線, 捲在石棉堆 B 上, 兩端連結較粗之鉑線, 如 P_1 及 P_2 , 裝入玻璃或瓷管內。又另裝一與 P_1 及 P_2 相同之鉑線 C_1, C_2 , 以測中途之電阻, 由此可以求得在極 B 周圍之細鉑線之純粹變化。

§ 322. 歐姆定律. 如電流強度 i 之單位用安培, 電阻 R 之單位用歐姆, 電動勢 E 之單位用伏特, 經歐姆 (Ohm) 實驗之結果, 其間之關係如下:

$$i = \frac{E}{R}.$$

即一電路內之電流強度, 與其兩端之電動勢爲正比例, 與其間之電阻爲反比例。此關係曰歐姆定律 (Ohm's law).

歐姆定律對於金屬及電解質 (參照 § 339) 亦完全適用。但對於尋常認爲絕緣體因受特殊之高壓而有

電流通過時，或在低壓之氣體內有電流通過時，均不適用。
(connected in parallel) 每並次聯法之電阻與反比例。

§ 823. 電阻之聯結法。

順次結連若干條導線，使電流次第由其中通過，此種聯用法，通稱為串聯 (connected in series)。如圖 275，順次命各接頭處之電勢為 $V_0, V_1, V_2, \dots, V_{n-1}, V_n$ ，各導線



圖 275. 串聯之電阻

之電阻為 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_{n-1}, r_n$ ，命 i 表通過全線之電流強度，則 i 曰總電流 (main current)。就各部分導線言，應為 $(V_0 - V_1) / r_1, (V_1 - V_2) / r_2, (V_2 - V_3) / r_3, \dots, (V_{n-1} - V_n) / r_n$ 。

相加得 $i(r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n) = V_0 - V_n$ 。

但 $V_0 - V_n$ 表兩端間之勢差，即 E ，如命 R 表總電阻，則由歐姆定律，知 $i = \frac{E}{R}$ ，代入上式，即得

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n.$$

即串聯導線之全電阻，等於各導線電阻之和。

次論電路之一部分由若干條導線並列而成，此種聯用法，通稱為並聯 (connected in parallel)，如圖 276。命



圖 276. 並聯之電阻

r_1, r_2, r_3, \dots 表各部分之電阻， i_1, i_2, i_3, \dots 表通過各部分之電流強度； i 表未分開以前，及復合為一以較之總電流， V_A, V_B 表 A, B 兩分合點之勢差，則成爲

$$V_A - V_B = i_1 r_1 = i_2 r_2 = i_3 r_3 = \dots$$

但 $i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$

$$= \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots \right) (V_A - V_B)$$

命 R 表此一段之全電阻，則應成爲 $V_A - V_B = iR$ ，故得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots$$

即並聯導線之全電阻之倒數，等於各導線電阻之倒數之和。 又通過各部分導線之電流強度，則有

$$i_1 = \frac{R}{r_1} i, \quad i_2 = \frac{R}{r_2} i, \quad i_3 = \frac{R}{r_3} i, \dots$$

等之關係，即與各該部分導線之電阻爲反比例。



圖 277. 並聯之兩電阻

其最簡單之例，

如圖 277 所示，由兩電阻並聯而成，即

$$i_1 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = \frac{i}{r} \therefore i_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} i;$$

$$i_2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = \frac{i}{r} \therefore i_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} i;$$

利用此理，遇有強電流不便直接量度時，用電阻相

差頗遠之兩導線

並聯插入電路中

如圖 278，在電阻

較大之一方加電

流計 G ，則由 AGB 中通過之電流，僅總電流之一部分而

已，故量度較易。 ACB 曰 AGB 之分路 (shunt)。實際分

路之電阻爲電流計電阻之 $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ 倍，故經由電流

計中之電流不過原電流之 $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1,000}$ 而已。



圖 278. 分路

流計 G ，則由 AGB 中通過之電流，僅總電流之一部分而

已，故量度較易。 ACB 曰 AGB 之分路 (shunt)。實際分

路之電阻爲電流計電阻之 $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ 倍，故經由電流

計中之電流不過原電流之 $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1,000}$ 而已。

§ 324. 電池之端電壓及內電阻.

試將乾電池之兩端，用導線各連至伏特計 (§ 361) 之一端，即見乾電池之電動勢約為 1.5 伏特。如再用一條電阻極大之線圈，約等 1000 歐姆，逕直連結乾電池之兩極，使電路通，即見伏特計上所指示者，仍為 1.5 伏特或與之異常相近。如再改用一條粗導線，代替前次使用之線圈，連結電池兩極，俾電池中之電，受極小之電阻即可流過，是為決流 (to short circuit)。此時即見伏特計上所指示電池兩端之電壓，大不如前。電池兩端之電壓，通稱為端電壓 (terminal voltage)，由此可知電路未通以前，電池兩端之電壓，即其電動勢，與電路既通以後之端電壓不同。其所以減少，則由於電池內部亦具有相當之電阻，通稱為電池之內電阻 (internal resistance)。

適用歐姆定律時，對於電池之內電阻，及外面電路之電阻，均須同樣處理。如命 E 表電池之電動勢， r_i 表內電阻， r_o 表外面電路之電阻， i 表通過之電流，內外電阻，成爲串聯，故其關係如下：

$$i = \frac{E}{r_i + r_o}$$

§ 325. 電池之聯結法.

若干電池聯合使用時，曰電池組 (battery)，其聯結方式，亦分串聯與並聯兩種：

(1) 串聯：如有電動勢 E

伏特，內電阻 r_i 歐姆之電池 n

個，順次將第一電池之鋅與第二電池之銅相連，而第二電池之鋅，又與第三之銅相連，如圖 279，成爲串聯，此時全部之電動勢爲 nE 伏特，全體之內電阻爲 nr_i 歐姆。如是連成之電池組，如更用電阻爲 r_a 之導線將其兩端接合，令 i 表通過其中之電流強度，則由歐姆定律，知

$$i = \frac{nE}{nr_i + r_a} \text{ 安培.}$$

如 r_a 遠在 r_i 之上，則 r_i 可以從略，此時 $i = \frac{nE}{r_a}$ ，即全電流等於各電池電流之 n 倍。故外電阻較大時，用串聯法可得強電流。反之，如 r_a 遠在 r_i 之下，則 r_a 可以從略，此時 $i = \frac{nE}{nr_i} = \frac{E}{r_i}$ ，即全電流等於一個電池之電流。故內電阻較大時，無論如何增加電池之數，亦不能得強電流。

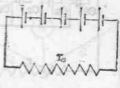


圖 279. 串聯之電池

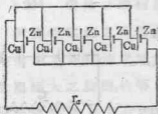


圖 280. 並聯之電池

(2) 並聯: 如圖 280.

將各電池之銅極連為一組, 鋅極亦另連為一組, 此兩組之電動勢, 仍與單獨一個電池之電動勢同, 但其內電阻則成為 $\frac{r_i}{n}$, 故此

時之電流強度, 由歐姆定律, 知其為

$$i = \frac{nE}{nr_a + r_i} \text{ 安培.}$$

如 r_a 遠在 r_i 之下, 可以從略, 則成為 $i = \frac{nE}{r_i}$, 即等於一個電池時之 n 倍. 反之, 如 r_i 遠在 r_a 之下, 可以從略, 則成為 $i = \frac{E}{r_a}$, 與使用一個電池相同.

總之, 欲得強電流, 遇 r_a 大於 r_i , 宜用串聯; r_i 大於 r_a 宜用並聯.

§ 326 惠斯登電橋

利用導線之聯用, 可以量度電阻, 如圖 281, 即其一例, 稱曰惠斯登電橋 (Wheatstone's bridge). 插有電池之電路, 自一點 A 分為兩路, 在另一點 B 復合為一. 全

共由 AC, CB, BD, DA 四導體而成，各曰橋臂 (arms of bridge)。因 A 之勢高於 B ，故由 A 或經 C 至 B ，或經 D 至 B ，其勢均次第降低。故在 ACB 上任取一點 C ，同時必可在 ADB 上

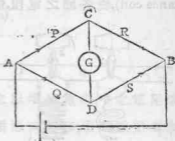


圖 281 惠斯登電橋

求得一點 D ，其勢與 C 相等。用導線連結如是之 C 與 D ，其中插一電流計 (參照 § 353)，如 C 與 D 同勢， G 之指針不呈偏轉。命 P, Q, R, S 表各臂之電阻， V_A, V_B, V_C, V_D 表各接合點 A, B, C, D 之電勢，則因

$$V_C = V_D,$$

且
$$\frac{V_A - V_C}{P} = \frac{V_C - V_B}{R};$$

$$\frac{V_A - V_D}{Q} = \frac{V_D - V_B}{S};$$

$$\therefore P : Q = R : S.$$

如 P, Q, S 爲已知數，則 R 立可算出。

§ 327. 電阻箱。

用德銀或鎳銅，錳銅等，造成各種電阻總圖 (resis-

tance coil),使各國之電阻,恰為歐姆之種種整數倍,且為

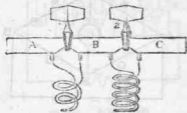


圖 282. 電阻線圈

防自感應(參照 § 385)計各線圈均捲作往返雙線如圖 282 所示,兩端各連於黃銅塊 A, B, C 等上,各黃銅塊,均在硬橡皮板上固定不動,成為箱蓋。

各塊斷而不連,但如插入黃銅插頭(plug),即連成一片電流經由黃銅塊上流過。拔去插頭,則電流必經由塊下之電阻線圈,始能達次一銅塊。如是配合種種適宜之電阻線圈而成之箱,曰電阻箱(resistance box),如圖 283。其上並有特殊設備,可供惠斯登電橋之用,通常在一箱內所配合之電阻,由 1 歐姆至 4,000 歐姆,全體約

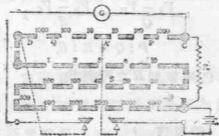


圖 283. 電阻箱

共有電阻 13,300 歐姆之多。此箱郵局中多用之，故又名郵局電橋(post office bridge)。

§ 328. 各種變阻器。

不作精密之量度，專用之以增減電路中之電阻者曰變阻器(rheostat)。其種類形式甚多，舉其重要者如下：

(1) 滑動變阻器：用鎳銅線，如圖 284 所示，繞在絕



圖 284. 滑動變阻器

緣圓筒上，相鄰部分各不接觸，兩端各連於接線柱(binding post)上。上部有一金屬棒，與第三之接線柱相連，棒上套一銅片，由彈條將其壓緊，使其與筒上之鎳銅線接觸，且可左右滑動，故曰滑動變阻器(sliding rheostat)。用時，將任一接線柱及第三之接線柱插入一電路中，滑動圓筒上之接觸銅片，即可任意變更其電阻。

(2) 曲柄變阻器：如圖 285，在黃銅塊 0, 1, 2, 3, 4



圖 285. 曲柄變阻器

入器內，由 M 流出。

(3) 電燈變阻器：將若干個碳絲電燈，並聯插入電路中，如圖 286，變更其電阻，是曰電燈變阻器 (lamp rheostat)。如欲增加其電阻，只須任意拔去數個燈泡即可。

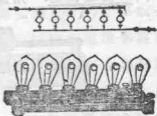


圖 286. 電燈變阻器

(4) 液體變阻器：將食鹽水等類之電解液盛入一容器內，外裝接線柱兩個，用導線各連結一金屬板，將此兩板平行浸入液體之中，使一板之位置固定不動，而移動其他之一板，即能增減此電路中之電阻。此種變阻器，通稱為液體變阻器 (liquid rheostat)。

問題第二十六

1. 將鹽水放入家用之鉛桶內，再用銅線懸一碳塊，浸

入鹽水中，即可造成一電池。試自行實驗之。

2. 伊池之電動勢，與兩極板之形狀及遠近有無關係？如何可以證明？

3. 量度電池之電動勢，何以必須使用電阻極大之電流計？

4. 截面積相等之銅線及鐵線各一條，如其電阻值相等，則何者較長？

5. 常用之電池除乾電池及蓄電池而外，當推何種？

6. 乾電池之優點為何？

7. 乾電池是否絕對乾燥？果真乾燥以後，又如何？

8. 用乾電池並聯使用，以何時為有利？

9. 12 伏特之電動勢，0.25 歐姆之電阻，可發生幾何電流？

10. 汽車上所裝之電池，其電動勢為 6 伏特，全電阻如為 20 歐姆，則通過之電流為幾安倍？

11. 如電路之電阻為 (i) 2 歐姆，(ii) 50 歐姆，欲得 2.5 安培之電流，須要若干大之電動勢？

12. 設有一燈泡，其端電壓為 115 伏特，通過電流為 0.4 安培，求其電阻。

13. 設有一烘麵包器，當其燒熱之後，全部電阻為 22 歐姆，欲得 5 安培之電流，當用若干大之端電壓？

14. 一電磁鐵須從電壓 115 伏特之電線中，受到 5 安培之電流，方能作用。現如用電壓 280 伏特之電線供給，則由其

中流通之電流幾何？

15. 起直用之電磁鐵，其電阻為 6 歐姆，最大只能容許 6 安培之電流，然則電壓最高應為如何？

16. 由電壓 115 伏特之電源，使電熱器生熱，通過之電流為 1.2 安培，求其電阻。

17. 如將一電路中之電阻增加一倍，則對於電動勢須如何處理，方能得同一強度之電流。

18. 電話聽筒之電阻為 80 歐姆，須要 0.007 安培之電流，應以何種電壓施於其上？

19. 一種鐵線長 600 尺時之電阻為 32 歐姆，欲得 48 歐姆，須用若干是方足？

20. 電燈泡上記有 110—120 伏特字樣，如插入 (a) 220 伏特，(b) 50 伏特之電源上，結果如何？

21. 設將 200 歐姆，200 歐姆，40 歐姆之三種電阻，串聯加入 220 伏特之電線上，結果電阻應有若干？通過之電流幾何？

22. 將電阻等於 45 歐姆之一電燈泡，與一電阻線圈串聯插入 110 伏特之電路中，結果得到 2 安培之電流。求線圈之電阻。

23. 汽車上所裝有四盞電燈，係串聯插入，每盞電燈須要 6 伏特之電壓，通過電流為 3 安培。求總電阻。

24. 設將 55 歐姆之電燈泡一個，30 歐姆之電燈泡一個，及 15 歐姆之電阻線圈一個，串聯一起。如 30 歐姆之電燈泡，

受到 120 伏特之電壓。求 (a) 通過之電流; (b) 55 歐姆之電燈泡所受到之電壓; (c) 全路之總電阻。

25. 設有 30 歐姆之電阻與 40 歐姆之電阻, 及一未知之電阻, 三者串聯後, 量得通過電流為 2.5 安培, 總電壓為 225 伏特。求 (a) 未知之電阻究為若干? (b) 在 30 歐姆之電阻所受到之電壓幾何? (c) 在 40 歐姆之電阻所受到之電壓幾何?

26. 設將 250 歐姆之電燈泡 5 個並聯使用時, 總電阻若干?

27. 如將 10 歐姆及 60 歐姆之兩電阻並聯使用, 其總電阻之電阻幾何?

28. 設有 4 歐姆之導線與一未知電阻之導線, 並聯使用, 結果成為 3 歐姆之電阻。求此未知導線之電阻。

29. 將同樣電燈泡十個, 並聯使用, 結果成為 25 歐姆之電阻, 求每一個電燈泡之電阻。

30. 將 4 歐姆及 12 歐姆之導線, 並聯使用, 欲得 9 安培之電流, 須加以若干電壓?

31. 將電燈泡三個並聯接入 112 伏特之電線上, 若每一電燈須要 0.5 安培之電流, 則此三燈之總電阻應為若干?

32. 設有蓄電池 12 個, 每個為 2 伏特及 0.006 歐姆, 聯合成一電池組。 (a) 當其成為最大之電動勢時, (b) 當其成為最小之電阻時, 此電池組之電壓及電阻各為若干?

33. 設有乾電池 8 個, 每個電動勢為 1.5 伏特, 內電阻為 6.12 歐姆, 外電阻為 10 歐姆。 (a) 全部串聯, (b) 全部並聯時,

得若干電流?

84. 設用電動勢 1.5 伏特之乾電池 6 個，送電流 2.7 安培進入 3 歐姆之電阻線圈中，全部均為串聯，求每個電池之內電阻。

第四章 電流之熱效應

§ 329. 電流之熱效應.

電流由電路中流過，必有熱相伴發生。家用之電熨斗，即其最顯著之一例。此外如電燈，電爐等，亦莫不利用電流之熱效應，爲人所盡知者。

§ 330. 電能與熱量.

凡由電流而生之熱量，與電流強度之平方，電路之電阻，及經歷之時間等爲正比例，此關係曰焦耳定律 (Joule's law)。 設想有一電路 AB ，其電阻爲 R 歐姆，電流強度爲 i 安培，經歷時間 t 秒，所生之熱量爲 H 克卡，則此數者之間，恆有下列之關係存在：

$$H = 0.24 \times i^2 R t \text{ 克卡.}$$

合金中之鉛錫齊等，熔點頗低，用此製成之細線，曰保險絲 (fuse wire)。電路中如插有此種導線，遇過量之電流過，即由其所生之熱，將線熔化，截斷電流，即可防止危險。

§ 331. 電功率.

在電路中某一部分上,每秒間所作之功,曰此一部分之電功率 (electric power). 以每秒間經由此一部分流過之電量,即電流強度與兩端之電勢差之乘積測定之,即

$$\text{電功率} = \text{電流強度} \times \text{電壓}.$$

實用上,以 1 安培之電流經由 1 伏特之電壓流過時之功率,定為電功率之單位,曰 1 瓦特 (watt), 即

$$\text{瓦特數} = (\text{安培數}) \times (\text{伏特數})$$

如是決定之單位瓦特,實嫌過小,通常均取其千倍之仟瓦特 (kilowatt) 代替之.

一般在 E 伏特之電壓間,有 i 安培之電流通過時,命其電功率為 P 瓦特,則

$$P = Ei.$$

由歐姆定律,知

$$E = iR,$$

故

$$P = i^2R.$$

功率之單位,尚有一種,即馬力 (horse power), 與瓦特之關係為

$$1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦特},$$

$$1 \text{ 仟瓦特} = 1.34 \text{ 馬力}.$$

§ 332. 電能.

功率係單位時間內所作之功,故在一定時間內所作之功,即等於功率乘時間之乘積,就電功率而言,則為電能 (electric energy). 例如發電機以 15 仟瓦特之功率,繼續發出電流歷 8 小時之久,在此期間內所作之功即其電能,應為 8×15 即 120 仟瓦特小時. 通常以此仟瓦特小時 (kilowatt hour) 定為電能之單位. 日常電燈計費,即用此種單位.

在實驗室中,使用仟瓦特小時,計算電能,有過大之嫌,故改用瓦特秒 (watt second), 1 瓦特秒恰等於 1 焦耳. 例如電路中某一部分之兩端間之電壓為 E 伏特,通過之電流強度為 i 安培,經歷之時間為 t 秒,則在此部分內所消耗之總電能 W (焦耳),當為

$$W = iEt,$$

即 焦耳數 = 安培數 \times 伏特數 \times 秒數.

§ 333. 電熨斗.

電熨斗 (electric flatiron) 為利用電能變為熱量最常見之用具,其形狀如圖 287 所示. 右為外形,左為內部之主要部分. 外部為一沉重鐵壳,底面平滑,頂有柄,電



圖 287. 電 熨 斗

流從旁邊插頭流入，經過左方所示之線圈後，即發生 $0.24 \times i^2 R t$ 克卡之熱。由此可知欲以一定電流，發生大量之熱，必須選用 R 較大之金屬以作導線。即導線之材料，以用電阻係數愈大者愈佳。不過同時又須顧及，雖溫度升高，導線亦不受氧化，方能耐久。通常爲此目的，多選用鎳與鉻之合金，作製造導線之材料，其最著名者爲鎳鉻 (nichrome)，此外尚有 chromel, excello, superior, climax, advance 等，名目雖殊，實亦大同小異，不過商品上之區別而已。

§ 334. 弧光燈。

電流在電路上發生之熱，如爲重過大，即輻射成光。用碳棒兩條使其端相接，電流自其內通過，然後使其略微分離。因分離而生電花，使碳棒發生半導體之碳汽，電流仍可由間隙處通過。於是兩棒之間，有弧狀火焰

現出，如圖 288，是曰電弧(electric arc)，其光甚烈，可作光源之用，故又名弧光燈(arc lamp)。弧之溫度約 $3,500^{\circ}\text{C}$ ，陽極約 $3,000^{\circ}\text{C}$ ，陰極約 $2,500^{\circ}\text{C}$ 。碳粒隨同電流由陽極飛至陰極，除一部分氧化外，餘均附着於陰極之表面。故陽極凹下，曰陷口(crater)，陰極則凸起。陷口之光甚強，尤以對於水平線作 40° 傾斜角度之方向最



圖 288 弧光燈

甚。弧燈所要之電壓，直流約 50 伏特，交流約 85 伏特。每 1 燭光所耗之功，在最大燭力約 0.25 瓦特，在平均球面燭力，約 0.8 瓦特。陽極愈燒愈低，空隙距離隨之增大，終至熄滅，欲其長明，非設法使碳棒間保持一定之距離不可。

§ 335. 電燈.

電弧之光過強，不適於實用。通常之電燈(electric lamp)，概屬白熾燈(incandescent lamp)，最初發明者，係在玻璃燈泡(bulb)內，封入碳絲(carbon filament)，兩端用鉑



圖 289. 碳絲燈

線導出泡外，泡內空氣排盡後，通電入內，碳絲因受白熾發光，是為碳絲燈 (carbon filament lamp)，其形狀如圖 289。碳不易熔，其電阻又大，且溫度愈高，電阻愈減，故極便使用。此燈每 1 燭光約需 3.5 瓦特之電能，着火時之溫度約 $1,800^{\circ}\text{C}$ ，壽命 (life) 約 1,000 小時。

白熾體之溫度愈高，輻射而出之可見射線之能愈大，至絕對溫度 $5,880^{\circ}\text{C}$ 時，而達於極大。但如是之高溫，惟有太陽而已，人力不能達到，碳絲燈之溫度，去此甚遠，不合於用，現今多改用不易熔化之金屬絲燈 (metal filament lamp)，以代替之。最初使用者，為鎢絲燈 (osmium lamp)，實用溫度為 $1,900^{\circ}\text{C}$ ，每燭光需 1.5 瓦特。但鎢為稀有金屬，且極脆，故價昂而壽命短，不合於用。其次發明者為鉭絲燈 (tantalum lamp)，實用溫度為 $2,000^{\circ}\text{C}$ ，每燭光需電 2 瓦特，壽命約 600 小時。現今使用最廣者為鎢絲燈 (tungsten lamp)，其形狀如圖 290，*w* 為鎢絲一端由插頭之底 *A*，他端由其側面 *B*，導出外方。實用溫度 $2,300^{\circ}\text{C}$ ，每燭光需 1 瓦特，壽命 1,000 小時。

如在泡內再封入不活潑之氣體，如氮或氬等，可使

鎢之蒸發減遲，故鎢之溫度，更可升高至 $3,700^{\circ}\text{C}$ 。同時

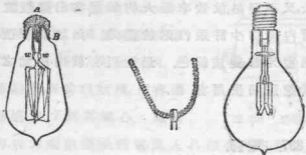


圖 290. 鎢絲燈



圖 291 裝氣燈

將鎢絲繞成蜿蜒之螺線形狀，如圖 291 左方所示。此種燈泡名爲裝氣燈(gas-filled lamp)，每燭光約需半瓦特即足，故此種燈泡又有半瓦特燈(half-watt lamp)之稱。

§ 336. 氖燈.

近年都市商店用作裝飾招牌之氖管(neon tube)，係用直徑15厘米之玻璃管，屈成各種文字或圖畫，如圖 292 所示。各字相連處用黑漆塗上，兩端封入金屬極，內用空氣唧筒抽成高度真



圖 292. 氖燈

空後，再導入少許之氖，兩極上施以 5,000 乃至 10,000 伏

特之電壓，由放電而發出氬所固有之紅光，此燈之光力既大，又不發熱，故效率極大，約為通常白熾燈之20倍，如於管內再加少許汞汽，則放藍光，如玻璃管改用黃色者，則藍光即變成綠色，最近更有放出白光之氬燈，可供實際照明使用者。

§ 337. 電鐔.

使強電流由兩種金屬接觸之處通過，因電阻而生大量之熱，歷時不久，接觸面均變成柔軟，此時如由外面施以相當壓力，即可接合為一，如是之方法曰電鐔 (electric welding)。例如直徑2英寸之鋼棒，使用此法，不及1分鐘，即可鐔畢。通常接合電車等之軌道，即用此法。

§ 338. 電爐.

利用電弧所生之熱，可使熔點極高之物體熔化，及作各種高溫度之實驗，如是者曰電爐 (electric furnace)，



圖 203. 抹狀電爐

其最簡單者如圖203。在大珉石之槽內插入碳棒，由其電弧所生之熱，使槽內之物質熔化，此爐通稱

曰抹散電爐 (Moissan furnace)。較此略為複雜者，如圖 294，曰感應爐 (induction furnace)，鍊鋼時使用之。其原理與交流變壓器 (參照 § 378) 完全相同， P 為其原線圈， S 為環狀槽，用非導體之磚造成， T 為其鐵心。鐵放於槽內，成為副線圈，故送電流入 P ，即在 S 內發生強大之電流，使鐵熔化。

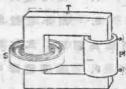


圖 294. 感應爐

問題第二十七

1. 通過 20 安培之保險絲與通過 10 安培之保險絲，孰粗孰細？其理由安在？
2. 只許有 15 安培之電流通過處，如其使用 30 安培之保險絲，有無危險？
3. 通常家用電燈之電壓為 110 伏特，而汽車上之電燈則只須 6 伏特之電壓即足。假使將家用電燈泡，放在汽車之電池組上，結果如何？試說明之。
4. 電燈泡打破時，有發出炸聲者，有聲無所聞者，何以有此區別？
5. 25 瓦特之燈泡與 50 瓦特之燈泡，何者之電阻較大？何以如此？

6. 用鎢絲作電燈,有何長處?
7. 使用電熨斗時,應當如何注意?
8. 用小電燈泡裝飾聖誕樹時,應如何聯結? 何以必須如此聯用? 其不利之點如何?
9. 通過電路中之電流,假使增加一倍,其功率將因熱受到幾何之損失?
10. 如某處電燈費每件瓦特小時為 3 角,裝用 50 瓦特之電燈 100 盞,用 3 小時之久,共需費若干?
11. 房中裝有電燈 5 盞,每盞中經過之電流為 0.4 安培,電壓為 110 伏特,求電功率。
12. 一電燈泡上標明為 110 伏特及 50 瓦特,需要幾何電流? 其電阻幾何?
13. 某處發電廠送至電車路上之電流為 1500 安培,電壓為 550 伏特,其電功率為若干仟瓦特?
14. 400 瓦特之烤麵包器,係在 115 伏特之電源上使用,其電阻幾何?
15. 用 30 歐姆之電熨斗,在 115 伏特之電線上,比在 110 伏特之電線,多需功率若干?
16. 洗衣店共用電熨斗 5 個,並聯在 110 伏特之電線上,每個電阻為 20 歐姆,求功率。
17. 每一電燈在 110 伏特之電燈線上,需 0.5 安培電流,如該電網之功率為 10 仟瓦特,共能供給電燈幾盞?
18. 設保險絲只容許 10 安培之電流通過,今有 50 瓦特

之電燈 10 盞，400 瓦特之電扇一架，在 115 伏特之電線上，並聯使用，保險絲能保持不被燒斷否？何以如此？

19. 如電車上裝設之兩部電動機，每部需要 25 安培之電流，假電線之電壓為 550 伏特，求電車有若干馬力？

20. 40 瓦特之電燈在 10 分鐘內共消耗電能若干焦耳？

21. 設有 4 安培之電流通入電熨斗內，其電阻為 30 歐姆，每小時可發若干卡之熱？

22. 上題中之電熨斗，使用 4 小時，需電費若干？此項電費每仟瓦特小時僅需 5 分。

23. 假使電燈泡每 1 燭光，需要 1.2 瓦特之功，則 60 瓦特之燈泡可發若干燭光之光？

24. 設有 112 伏特之電燈泡四個，每個需要 0.5 安培之電流，並聯使用時，共需電流若干？全體之電阻幾何？

25. 在 110 伏特之電線上，裝有 10 安培之保險絲，用 40 瓦特之電燈，至多可裝幾盞？



第五章 電流之化學效應

§ 339. 電解.

液體可因其對於電流所呈之性質，大別之為三類：第一類如各種之油，不能導電。第二類如汞，或其他熔化後之金屬，既善導電，又不為電流引起分解。第三類如各種酸類，鹽類，及鹼類之水溶液等，亦能導電，但同時有分解作用，相伴而生。屬於第三類者，特稱曰電解質 (electrolyte)，由電流使液體分解之現象，曰電解 (electrolysis)。電流出入液體處曰電極 (electrodes)，其進入之極，曰陽極 (anode)，其由液內流出之極，曰陰極 (cathode)。

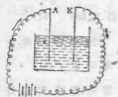
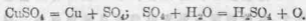


圖 295. 電解

如圖 295，浸鉛板 A 及 K 入硫酸銅溶液中，自外用導線連結，中插一電池，使電流由 A 流入，由 K 流出，則 CuSO_4 分解成爲 Cu 及 SO_4 ，其中之 Cu 附着於 K 上，成爲薄層， SO_4 應

現於 A ，但此物不能獨立存在，故與水化合成爲硫酸及氧氣。結局有氧氣成泡，出現於 A 上，即



電流不斷，附於陰極之銅亦不絕，液體遂漸呈酸性。如不用鉑而用銅作極，則 A 上不生氧氣，其銅漸次溶解附於 K 上。凡如此類，液體因受電流作用，分解為二原子或根 (radical)，附於兩極之現象，曰游離 (ionization)，分成之原子或根，曰游子 (ion)，其趨向陽極者，曰陽向游子 (anion)；趨向陰極者，曰陰向游子 (cation)。

§ 340. 法拉第電解定律。

以一物質之原子價 (valency) 除其原子量 (atomic weight)，所得之商，曰此物質之化學當量 (chemical equivalent)。據法拉第之實驗：(1) 同一電流通過各種電解質，在同一時間內，各電極析出之游子量，與其化學當量為比例；(2) 在一定時間內，各電極析出之游子量，與電流強度為比例。此關係，曰法拉第定律 (Faraday's law)。

又 1 安培之電流，在 1 秒間析出之游子量，如用克作單位表出，其數值曰電化當量 (electro-chemical equivalent)。故上述之定律，又可改為：由電流析出之游子量，與流通之電量及游子之電化當量之乘積相等。命 e 表電化當量，則電流 i 安培在 t 秒內應析出之量 m 克，

當由下式決定之，即

$$m = zit \text{ 克}$$

如有一種元素之電化當量為已知，則其餘各種元素之電化當量，均可由其化學當量算出。

據實測，銀鹽溶液在1秒間由1安培之電流析出之銀為0.001,118克，即銀之電化當量應為0.001,118每庫侖克。

銀之原子量為107.88，其原子價為1，均屬已知者，由此可以求出其他元素之數值。例如氫之原子量為1.008，原子價為1。

故氫之電化當量 = $\frac{0.001,118}{107.88} \times 1.008$ 即 1.0446×10^{-6} 每庫侖克。

同樣，氧之電化當量 = $1.036,8 \times 10^{-6} \times \frac{16}{2}$ 即

8.290×10^{-6} 每庫侖克。如元素之原子價不止一種，則

表 19. 電化當量

元 素	電 化 當 量
+ 氫	0.000,010,446
- 氧	0.000,082,00
- 氯	0.000,867,44
- 銅	0.000,048,33
+ 鋅	0.000,886,7
+ 鐵(二價)	0.000,286,4
+ 鐵(三價)	0.000,192,8
+ 銅(一價)	0.000,658,8
+ 銅(二價)	0.000,329,4
+ 銀	0.001,118,0

其電化當量亦不止一種。各物質之電化當量，如表 19。

§ 341. 游子之電荷。

以克作單位之化學當量，即以原子價除克原子而得之商，稱之曰克當量 (gram equivalent)。按 1 庫侖之電量，可以析出 0.001,118 克之銀，故欲析出 1 克當量之銀，應須 $\frac{107.88}{0.001,118}$ 即 96,500 庫侖之電。此值對於任何種類之游子均不變。故每有 96,500 庫侖電量通過必能析出 1 克當量之游子。此 96,500 之定數，曰法拉第常數 (Faraday constant)。

據實驗及理論研究，游子之電荷為一最小電量之整數倍。其最小電荷，即一價之游子電荷，如命之為 e ，則

$$e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位}$$

二價之游子電荷，照此加倍，餘倣此。

試命 m_H 表氫原子之質量，則

$$m_H = \frac{1.008}{6.082 \times 10^{23}} = 1.663 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

以此除氫游子之 e ，即得

$$\frac{e}{m_H} = \frac{4.774 \times 10^{-10}}{1.663 \times 10^{-24}} = 2.872 \times 10^{14} \text{ 每克靜電單位。}$$

或 $\frac{e}{m_e} = 0.957 \times 10^8$ 每克電磁單位
 為電子學中最重要之事實。

§ 342. 電量計

應用法拉第定律，在一定之時間內，量度其析出之
 游子之量，即可算出電流強度，此種
 器械曰電量計(voltameter)。



圖 296. 水之分解

(1) 水銀電量計(water voltameter):

電解質用水，內加少許硫酸，通電入
 內，如圖 296 所示，氫氣集於陰極，氧
 氣集於陽極。讀出集得之氣體，即
 可求出通過其中之電流強度。通
 常以由氫氣之容積計算者，最為可
 靠。

(2) 炸氣電量計 (knallgas volta-

meter): 係將兩極共同裝在一玻
 璃管之底，由此析出之氫氣及氧氣

混合存在。即由此混合氣體之容積，亦同樣可以計算
 通過之電流強度。

(3) 銅電量計 (copper voltameter): 用硫酸銅溶液

作電解質，以銅板作電極，由陰極銅板上增加之銅量，即可計算通過之電流強度。

(4) 銀電量計(silver voltameter): 用硝酸銀溶液作電解質，銀棒作陽極，鉛板作陰極。由鉛板上析出之銀量，即可計算。命析出之銀為 m 克，時間為 t 秒，則所求之電流強度為

$$i = \frac{m}{0.001,118 \times t} \text{ 安培。}$$

§ 343. 電化學之應用。

工業上應用之電化學，約有四種，即電鍍，電鍍，電鍍，電刻，總稱之則曰電冶金(electro-metallurgy)。茲分節說明之如下：

§ 344. 電鍍。

電鍍(electro-extraction)為由礦物內提煉金屬之通稱。例如將氧化鋁(Al_2O_3)及小碳塊裝於電爐內，插入碳棒兩條，作其電極，用 50 伏特及 5,000 安培之電流通過其中，使氧化鋁熔解。通常氧與碳化合，故由此可得鋁，但恆有二倍於氧化鋁之銅混在其內，故析出者為鋁與銅合成之鋁銅(aluminium bronze)，光澤極美，頗類金，對於空氣及酸，抵抗力頗大，彈性亦強，可作鋼之代替品。

§ 345. 電鍍.

電鍍 (electro-plating) 為在各種金屬外面, 包蔽一層金或銀, 鎳銅, 鉻等之通稱。先將欲鍍之物品洗淨, 再換用苛性鉀或苛性鈉洗過。如為銅或黃銅, 則用酸浸過, 再以水洗之。洗畢, 立浸入鍍槽內, 通電即得。鍍槽內之電解質則隨所鍍之目的而異, 茲舉其重要之數種如下:

(A) 鍍金:	氯化金	1.10 克	} 陽極	} 陰極		
	氰化鉀	10.00 克			} 純金	} 鍍品
	水	100.00 克				

(B) 鍍銀:	氰化銀	0.88 克	} 陽極	} 陰極		
	氰化鉀	1.50 克			} 銀板	} 鍍品
	水	100.00 克				

(C) 鍍鎳:	硫酸鎳	15.00 克	} 陽極	} 陰極		
	水	180.00 克			} 純鎳板	} 鍍品
	此中須再加少許					
	硫酸或氨, 使成中					
	性, 略帶酸性尚無					
	礙, 略帶鹼性則絕					
	對不可,					

(D) 鍍鉻:	鉻酸	25.00 克	} 陽極	} 陰極
	硫酸	.25 克		
	水	100.00 克		
			} 鉻板	} 鍍品

圖 297 所示，即鍍銀時之作

用。

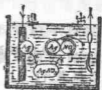


圖 297 電鍍

§ 346. 電鍍。

電鍍 (electrotyping) 係使用

金屬鑄成各種物體之模型，如銅板，肖像之類。法先用馬來樹膠或石膏，火漆，蠟等範成模型，如用馬來樹膠，則於其上遍塗石墨，俾成導體。將此模型浸入硫酸銅溶液，此項溶液中含有硫酸銅 278 克，強硫酸 94 克，水 1,800 克。用銅板為陽極，此模型為陰極，送電流入內。析出之銅，即附着於模型表面，成為銅板。如猶嫌其薄，則於內部加錫或鉛字所用之合金等。

§ 347. 電刻

電刻 (electro-engraving 或 electro-etching) 係利用電流製成之各種彫刻之稱。法在銅板上，先用油漆繪成圖樣文字，然後浸入硫酸銅溶液內，作成陽極，另用一

銅板作陰極。送電流入內，則書畫處凸起如彫刻之形狀。例如市上出售之假銀盾銀屏，即由此法作成後，再加鍍銀即得。

問題第二十八

1. 硝酸銀溶液中內有 0.5 安培之電流通過，1 小時內可析出銀若干？

2. 在 30 分鐘內分析而得銅共 11.94 克，求電流之強度

3. 用 1 安培之電流，從硝酸銀溶液內欲析出 1 克之銀，須時幾何？

4. 前題之電流如通過銀之鹽類溶液中，在同一時間內，能析出銀幾何？

5. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

6. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

7. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

8. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

9. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

10. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

11. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

12. 欲在 1 小時內析出 1 克之銀，求電流之強度

之磁場，係由南而北，即與水

第六章 電流之磁效應

§ 343. 電流之磁效應 在圖 298 中，

有一導線 AB 由紙穿過，如圖 298，導線中如有電流通過，紙上鐵粉即聚成若干同心圓，表示導線周圍之磁力線，以所穿之一點，為其共通中心。在直線電流周圍之小磁針，靜止時所取之方向，即此等同心圓之磁力線

之切線，其 N 極所指之方向，如用小箭頭表出，則如圖

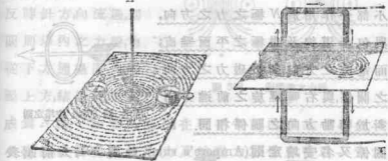


圖 298 直線電流之磁場



圖 299 電流方向與磁場

之切線，其 N 極所指之方向，如用小箭頭表出，則如圖 299 所示，電流之方向反轉，則小磁針之方向，亦隨之而異。設如圖 300，使導線 AB 取磁子午線之方向，且成



圖 300. 電流與磁針

水平，電流由南向北，則在下方之磁針，當如箭頭所示，S極向東，N極向西偏轉，直至地磁對此小磁針作用之力，

與電流作用於其上之力，恰成平衡之地位，始行靜止不動。

§ 349. 安培定則。

由上述實驗，知電流所生之磁效應如下：電流之一小部分作用於N極之力之方向，與包含導線及磁極之平面垂直；而電流之方向對於磁力之方向之關係，與右轉螺旋之前進方向對於轉動方向之關係相同。此

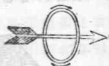


圖 301. 安培定則

關係又名安培定則 (Ampere's rule)，如圖 301，大箭頭表電流之方向，小箭頭表電流作用於磁極之力之方向，即電流周圍所生之磁場之方向。

§ 350. 圓形電流之磁場。

設有圓形導線，其中有電流流過，則其周圍所發生

之磁力線，可用下法檢出。

即通過圓心，引一平面與圓垂直，佈鐵粉於其上，電流由此圓形導線上通過時，鐵粉即排成圖 302 下半段所示之磁力線形狀。即電流在圓周上如沿順時針方向

流過，則圓周內之力線，均從上方通過圓內而至下方，結果使上面成爲 S 極。

如電流在圓周上沿反時針方向流過，則圓周以內之力線，均從下方通過圓內而至上方，結果使上面

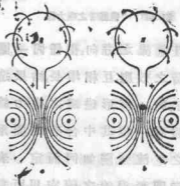


圖 302. 圓電流之力線

成爲 N 極。如將此圓放在磁子午面內，在其中心放一小磁針，磁針受電流之力及地磁力之作用，當取一定之方向平衡，其與子午面所作之角度，有一定之值，正切電流計 (tangent galvanometer) 即由此製成。

§ 351. 螺線管之磁場

將導線曲成螺線形，如圖 303 中所示之粗線，可以

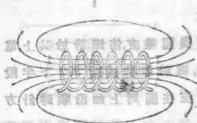


圖 303 螺線管之磁力線

水,出,着成由若干個圓形導
線,串聯而成。如是形
狀之導線,稱曰螺線管
(solenoid)。螺線管之
每一圓形導線,均應造
成前圖 302 所示之磁

場,且電流之方向,在任何一圓形導線中,均相同,故此等
磁場之效應,互相增長,結果造成一總磁場,形狀如圖中
所示,與一條形磁鐵之磁力線完全相同。螺線管之磁
力強弱,一視其中含有之圓形導線數之多寡及通過其
中之電流強弱如何而定。表示電流之強弱,用安培數
表示圓形導線之疎密,用匝數(number of turns)。即以
此兩者之乘積,表示螺線管之強度,而稱之曰安培匝數
(ampere turns)。

§ 352. 電磁鐵
螺線管中如有電流通過,其效應與一條形磁鐵相
同,已詳前節。若再於螺線管內,插入一軟鐵條,則其磁
力更強。此時所加入之軟鐵,稱為鐵心(iron core),具有
鐵心之螺線管,曰電磁鐵(electromagnet),圖 304 所示,即

電磁鐵之一種，通電入其線圈中，即變為磁鐵，將下面之軟鐵塊 *A* 吸住。停止電流，磁性立失，*A* 亦自行降落。如是之 *A*，曰電磁鐵之銜鐵 (armature)。



圖 304. 電磁鐵

電磁鐵之應用極多，異常重要。茲擇其重要者分節敘述如下：

§ 353 電鈴

圖 305 為電鈴 (electric bell) 之構造，由鈴 (bell) *G*，槌 (hammer) *H*，電磁鐵 *M*，鈕 (push button) *D*，及電池 *C* 而

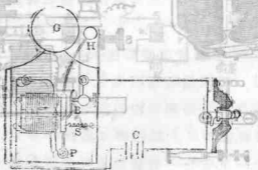


圖 305. 電鈴

成。槌柄之中央 A ，由軟鐵製成，在 M 之前，爲其銜鐵，後方有彈條 S 牽引之，並有一銅片 B ，與調整螺釘接觸。按鈕，則電流通過， M 成爲磁鐵，引 A 向左，槌擊鈴作聲。同時電路在 B 切斷， M 失去磁性， S 引 A 向右，再與螺釘相接，電路又通，故鈴又響。

§ 354 斷續器。

無線電試驗所用之斷續器(interrupter)，其原理亦與電磁鐵相同，構造式樣雖多，要都在以極大速度使電流或斷或續，由此引起振數極大之電振動。茲舉其一

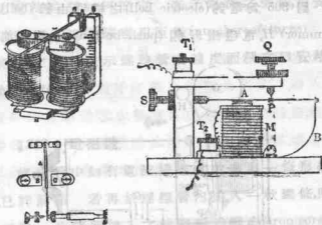


圖 300. 斷續器

例，如圖 306 所示， M 爲電磁鐵，其銜鐵爲長約 2 英寸之鋼線，上附軟鐵片 A ，鋼線之一端與彈條 B 固着，他端則與調準螺旋 S 固着。轉動 S 可使鋼線之張力，任意變更。 P 爲接觸點，由鉑或銀製成， Q 爲調準螺旋，其尖端附有鉑線。如將接線柱 T_1, T_2 與電池及發生電振動之電路連結，鋼線即以極大速度，來回振動。變更鋼線張力，振數亦隨之而變。

§ 355 電報。

利用電流之磁性，可供遠處通信之用，曰電報 (telegraph)，如圖 307 所示，假定左方之甲局爲發報局 (trans-

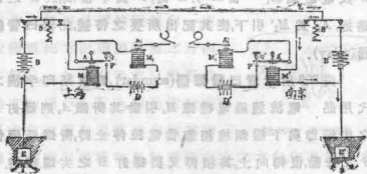


圖 307. 電報之原理

mitting station), 右方乙爲接收局(receiving station), 兩者之間, 以電線(line) LL 連結之。乙之電路內有電磁鐵 M , 其上方之銜鐵 A' , 在未通電前, P 與 Q' 分而不連。 M 下端連一銅板 E' , 深埋地內, 曰地板(earth plate)。甲局有電池 B , 一端連其地板 E , 他端與電鑰(key) S 相連。未通電時, B 與電線不連。

發報時, 按 S , 則 B 與 L 連, 電流經 L 流過 S' , M , E' , 及 E , 成一通路, 因此 M 將 A' 引下。由此運動或使鈴發聲或使模斯印字機(Morse writer)畫出點(dots)與線(dashes), 即可達意。如甲乙相去太遠, 通過 M 之電流過弱, 不足以引動之時, 則加一局部電池組(local battery) D' 及電磁鐵 M_1' 。當 M 引 A' 時, P 與 Q' 接觸, 故 D' 之電路通, A_1' 爲 M_1' 引下, 使其記出所要之符號, 此器曰替續器(relay)。

圖 308 所示者曰發聲器(sounder), 爲模斯印字機之代用品。電流通過電磁鐵 M , 引動其銜鐵 A , 則螺釘 D 之尖端, 即與下端銅塊相擊, 當電流停止時, 銜鐵受彈條 S 之牽動, 復轉向上, 其槓桿又與螺釘 B 之尖端相擊。即一上一下, 各有一音發出, 由此兩音相隔之時間, 或長或短, 即可代表線與點。又由點線之種種配合, 可以代

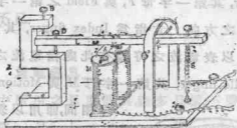


圖 308. 受報器

表各種字母，曰模斯電碼(Morse alphabet)。

§ 353. 磁場對於直線電流作用之力

設將一條導線，放在水平位置，兩端用線懸住，使其容易橫向擺動。將此水平導線放在垂直磁場內，通電流入導線，即見導線被推向一方。

改變電流方向，導線被推之方向，亦相反。如伸左手前三指，互成垂直，如圖 309 所示，以姆指向磁場方向，食指向電流方向，則其中



圖 309. 左手定則

指所示者，即磁場作用於導線之力之方向，即其運動之方向。用此方法，決定導線運動之方向，為事極便，通稱之為左手定則(left hand rule)。暗記時，只須認姆指為

First finger, 其第一字母 F , 與 Field 之第一字母相同, 即表示磁場之方向。食指為 Index finger, 其第一字母 I , 即通常用以表電流之符號, 在此處指電流之方向。中指為 Middle finger, 其第一字母 M , 與 Motion 之第一字母相同, 即用以表運動之方向。



圖 310. 合成之力線

圖 310 表示磁場原有之力線, 與在導線周圍之力線合成時之狀況。此時磁場係由西向東, 電流係自鉛直上方而下, 故合成結果, 北方之力線稠密, 南方之力線稀疏。

據磁力線有力求縮短之性質而論, 遂不得不將導線推向南方, 故其運動方向, 如圖中箭頭所示, 與由左手定則推得者, 恰相一致。

圖 311 所示為巴羅輪 (Barlow's wheel), 用水平軸支住, 下端浸在汞槽內, 如放在蹄形磁鐵之兩極間, 使電流從上向下流過, 則輪之下部即按照左手定則所示之



圖 311. 巴羅輪

方向，轉動不已。

§ 357 量電器具。

電學中所用之量度器具，既多且繁，不勝枚舉，總稱之曰量電器 (electrical measuring instruments)。茲就其大致上分別之，凡應用電流之各項效應以量度其電流強度者，曰電流計 (galvanometer) 電流計上之標度直接指示其安培數者，曰安培計 (ampere meter 或 ammeter)；其直接記出其兩點間之電勢差之伏特數者，曰伏特計 (voltmeter)。測定一電路內任何兩點間所消費之電功率者，曰瓦特計 (wattmeter)。各種常見之量電器，分條述之如次。

§ 358 達松發爾電流計

用途最廣之電流計，其要部如圖 312 所示，利用線圈中有電流通過時所發生之偏轉 (deflection)，以量度通過電線之強度，此種電流計稱曰達松發爾電流計 (D'Arsonval's galvanometer)。其固定磁鐵 NS 裝在木板上，或懸於壁，或置桌上均可，磁鐵上部有孔，附一銅管，內藏一含磷青銅線，上端固定，下懸一小鏡，鏡下更懸一短

瞬即過，此類電流通過電流計內，僅能使其可動部得瞬間之衝動。故若加重於其指針，使其振動週期增至6秒或10秒，即便觀測。因衝動而生之偏轉角度，與由其中通過之電量為正比例。故使用此種電流計，可以將其電量算出。如是之器具，稱曰衝擊電流計 (ballistic galvanometer)。



§ 360. 安培計

圖 313 之西斯特登直流安培計 (Weston direct current ammeter)，為最精密之一種

電流計，係將達松發爾之可動線圈裝於鉛直軸上，並附一細彈簧，以節制其振動。



使用小安培計量度強

大電流時，可用電阻及溫度

圖 313. 安培計

係數小之合金，造成安培計之分路，俾由安培計中通過之電流，僅為其一小部分，以便觀測。故一切安培計，均附有各種分路，以備選擇使用，即對於各種大小範圍之電流，均可用同一電流計測定之。

§ 361. 伏特計。

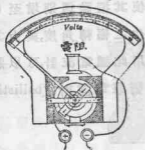


圖 314. 伏特計

伏特計與安培計，僅電阻大小不同而已，故衛斯吞安培計之可動線圈中，如加一串聯之電阻線圈，即可量度兩點間之勢差，是曰衛斯吞直流伏特計(Weston direct current voltmeter)。其構造

如圖 314。與圖 313 比較，即見其只多一電阻而已。

問題第二十九

1. 設將一導線放在小磁針之上方，導線方向與磁針靜止時之方向平行。送電流入導線，即見磁針之 N 極偏轉而向東方。求電流方向。若導線在磁針之下方，又當如何？
2. 設將可以轉動之導線，放在蹄形磁鐵之上方，使導線與磁鐵互成平行，通電流入內，導線將如何？
3. 磁針近傍若有強烈電流通過之電線，則其方向即不準確，其理如何？
4. 欲在前門及後門各裝一鈴，而只用一電池及一電鈴，當如何連結？
5. 有一電磁鐵，證其略弱，將用何法使其增強？

6. 電磁鐵內之鐵心，常用軟鐵，何以不用鋼？
7. 試繪一圖，表出一蹄形電磁鐵，從其兩端望去，繞圈中電流之方向在 N 極及 S 極兩方面，各應如何？試用箭頭表出之。
8. 一螺線管共有 70 匝，其中電流為 3 安培，第二螺線管共有 50 匝，其中之電流為 4 安培。此兩者之磁力孰強孰弱？



第七章 應電流

§ 362. 電磁感應

設用導線繞成匝數甚多之線圈，與一靈敏電流計相連，自上方驟然將一條形磁鐵插入，如圖 315 所示，即

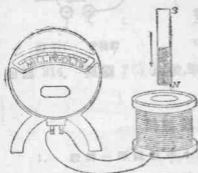


圖 315. 磁鐵激發之應電流

見電流計上之指針向一方偏轉。再將磁鐵由線圈內提出，指針又向反對之一方偏轉。磁鐵無論在線圈內，或在其外，如不運動，電流計之指針亦不動。

次用兩獨立線圈，如圖 316 所示， P 連電池， S 連一靈敏之電流計。 P 中通電後，將其插入 S ，電流計上之指針，即向一方偏轉，從 S 中提出時，則向反對之一方偏轉。如 P 不動，則無論在 S 內或在其外，指針均指零位，並不偏轉。

又如在 P 之電路中，加一電鎗，令 P 在 S 內，不必移動，但將電鎗按下，使 P 內有電流驟然通過，指針亦起偏轉，

將電鑰放開，使 P 內電流驟斷，指針即向反對之一方偏轉。

又如用磁鐵之反對一極，或將電流之方向反轉，復作上述各種



實驗，結果所得指針之偏轉方向亦依次相反。

凡因磁鐵或有電流注過之線圈之運動而生之瞬時電流，曰應電流 (induced current)；發生此項電流之電動勢，曰應電動勢 (induced electromotive force)；原有電流流過之線圈 P ，曰原線圈 (primary coil)，在其中流過之電流，曰感電流 (inducing current)；與此相對，應電流流過之線圈 S ，曰副線圈 (secondary coil)；此種現象，則曰電磁感應 (electromagnetic induction)。

§ 363. 楞次定律。

由上節所述之實驗，可知由副線圈內橫貫而過之磁力線數發生變化時，線圈內有應電流發生，如變化停止，即磁力線數成爲一定時，應電流亦隨即停止。更由

理論及實驗，知磁力線減少時所生之電流方向，對於力線方向之關係，與右轉螺旋之轉動方向對於前進方向之關係，完全相同。磁力線增多時，與此相反。換言之，感應電流之方向，在由其電流反作用以阻止引起此項電流之運動。此關係曰楞次定律(Lenz's law)

例如圖 316 之 P 內有電流通過時，其磁力線之一部分當橫貫 S 而過。此時如將 P 內電流切斷，磁場隨之消滅，橫貫 S 而過之力線數，爲之減少。按照楞次定律，此時所發生之應電流，方向當與原在 P 內之電流相同。如此，則由應電流而生之磁場，與 P 內原有電流造成之磁場方向相同。故由應電流發生之磁力線中，有一部分由 P 橫貫而過，宛如阻止 P 內之磁力線，使其不得消滅者然。雖實際上 P 內之電流已斷，但賴 S 內之應電流之力，磁場仍可暫時維持。反之，當 P 內電流初通之時， S 內本無磁力線者，一旦驟增，因此感應而來之電流方向，與 P 內之電流相反，即兩線圈之磁場相反。故 S 之磁力線之一部分穿過 P 內，宛如阻止 P 之磁力線，使其不得發生者然。雖實際上 P 內之電流已通，但賴 S 內之應電流之力，仍可暫時維持其無磁場之狀態。

§ 364. 應電動勢。由上述之楞次定律，僅指示出應電流所發生之方向，更進一步，如欲求其應電動勢之量，則有訥伊曼定律 (Neumann's law)，即在線圈內發生之應電動勢，等於橫貫線圈而過之磁力線之減少率。故如命 E 表應電動勢， t 表變化之時間， N_1 表開始之磁力線數， N_2 表臨末時之磁力線數，則得

$$E = -K \frac{N_2 - N_1}{t}$$

如 E 之單位用伏特，則 $K = 10^{-8}$ 。若有一直線導體，沿磁場垂直之方向上運動，所生之應電動勢之方向，可用圖 317 之方法決定，是為佛來銘之右手定則 (Fleming's right hand rule)。



圖 317. 右手定則

即伸右手三指，互成垂直，以拇指向磁場，中指指向運動方向，則食指所向着即為應電流之方向。此定則暗記方法同 § 356 之左手定則。

設有一強度為 F 之均磁場，在其力線垂直之方向

上，每單位面積內，必有 F 條力線橫貫而過。如有導線一條，長為 l ，以速度 v 在場中運動，且運動方向與此直線及場之方向同時垂直，則每單位時間內，由此直線掃過之面積，應為 vl 。故單位時間內經此直線橫貫而過之磁力線數，等於 vlF ，即橫貫此導體而過之力線數之增加率，放在此導體內所感應而生之電動勢，等於 vlF 。

§ 365. 自感應及互感應。

當一線圈內之電流初通或初斷之瞬時，不僅對於在其近傍之電路，激起應電流，即對於其本身電路，亦然因橫貫線圈而過之磁力線數如有變化，必在此線圈之電路中激發出應電動勢。不問磁力線數之變化原因何在，均必如此。所以用磁鐵，或用其他之電流，均可辦到。其次一電路中如有電流流過，必在其周圍發生與電流強度相應之磁力線，此種磁力線，又可橫貫其本身電路而過，如前圖 303 所示之狀況，電流初通時，磁力線驟增，初斷時磁力線驟減，既有此項磁力線數之變化，當然可期望電路本身中有應電流發生。每當一電路初斷時，可見斷開部分現一電花，即其明證，因此時磁力線驟然消滅，按照楞次定律，應發生一種電流阻止磁力線

之消滅即應發生與原電流同一方向之電流。但電路已斷，遂現爲電花。

設將一電燈，一電源及一線圈並聯之，如圖 318。按 K ，使電流通過，因電燈 I 之電阻遠大於線圈 M 之電阻，故電流之大部分，由 M 流過，不能使 I 發光。放開 K ，電流驟斷，磁力線消滅，按楞次定律當發生應電流以妨止磁力線之消滅，此時之應電流，方向與感電流相同，故在此一瞬間， I 可發光。如以急快之速度使 K 斷續不已， I 亦繼續發光不熄。



圖 318. 自感應

凡如此種引起感應作用之原因，不在外面而在於線路之本身者，曰自感應 (self-induction) 與此相對，如前節所述，因受其他電路之影響而生之感應作用，曰互感應 (mutual induction)。

§ 366. (感應係數)

設想有一 n 匝之線圈，其中有單位強度之電流通過，命 N 表其每一匝中之磁力線數，則全線圈之磁力線總數應爲 nN ，通常以 L 代之，其值由線圈之形狀，匝數，及感應體之性質而定，與通過線圈內之電流強弱無關，爲

一常數，曰自感係數 (coefficient of self induction 或 self-inductance)。如電流每秒增加 x ，則橫貫此線圈而過之磁力線數，亦每秒增加 Lx 。故由自感應而生之電動勢即等於 Lx 。換言之：由自感應發生之電動勢，等於自感係數及電流變化率之乘積。

同樣，如有 A, B 兩線圈，相距不遠，在 A 內有單位電流通過，使 B 內發生 M 條力線橫貫而過，則 M 亦為一常數，曰互感係數 (coefficient of mutual induction 或 mutual inductance)，其值由兩線圈之形狀，匝數，感應體性質，及兩線圈之相對位置而定，與 A 內之電流強度無關。若 B 內如有單位電流通過時， A 所得之力線數，亦同為 M 。又兩者之中，如有一線圈之電流，每秒增加 x ，則對於其餘一線圈所發生之應電動勢，即等於 Mx 。換言之：由互感應而生之電動勢，等於互感係數與電流變化率之相乘積。

又感應係數之實用單位為亨利 (henry)，即電流每秒變化 1 安培而生 1 伏特之應電動勢時之感應係數。茲氏第 367 章地磁感應器，其多列之磁通量，係由一線圈，橫貫之而過之磁力線數，在極短時

間 t 之間，減少 n 條，則其應電動勢當為 $\frac{n}{t}$ 。此時如將線圈之兩端連結，俾電流可由其中通過，命 R 表其全電阻，則流過其內之電流強度當為 $\frac{n}{tR}$ 。換言之，即在短時間 t 內通過線圈內之電量等於 $\frac{n}{R}$ ，其值與發生感應之時間 t 無關，僅由電路之電阻 R 及變化之磁力線數 n 而定。

將上述之線圈，裝在架上，使其能繞水平及鉛直軸線而轉，曰地磁感應器(earth inductor)，如圖 819。命 H 表所在地之地磁水平部分， V 表鉛直部分， S 表線圈面積， R 表線圈內之電阻，先將線圈放在鉛直方向，令線圈面與 H 垂直，則橫貫而過之磁力線數，應為 HS 。由此位置起，令其繞鉛直軸線轉動 90° ，其力線即減成零。繼續由此位置向前再轉 90° ，力線又由 0 而增加至 HS ，同時其線圈面與先前相反，故在線圈內發生之應電流之方向仍與前同。即此線圈繞鉛直軸線每轉 180° ，必生 $2HS$ 之力線數變化，故由線圈內流過之總電量為 $\frac{2HS}{R}$ 。如將線圈之兩端連結一彈動電流



計，讀其指針最初一次之偏轉，即

圖 819 地磁感應器

可將此電量算出。同樣將線圈軸放在水平與 H 平行，與 V 垂直，照樣繞水平軸線轉過 180° ，則由線圈內通過之總電量 $\frac{2VS}{R}$ ，亦可算出。此兩者之比，即 $\frac{V}{H}$ ，為傾角之正切。故用此器立可將各地點之傾角量度而出。

§ 338. 佛科電流。

任何形狀之導體均可以發生應電流，並不限於線圈。例如在均磁場內轉動之銅板，其每一半徑，均可看成一條導線，其上均應當有應電流發生。如命 r 表銅板之半徑， n 表其每秒之轉數， H 表均磁場之強度，則每一半徑每秒間橫掃而過之力線，等於 $\pi r^2 n H$ ，即板心 O 與板緣之間，當發生 $\pi r^2 n H$ 之應電動勢，但在板內並無電流通過。其次設想此銅板在一蹄形磁鐵之兩極間轉動，如圖 320，僅有一部分橫貫力線而過。此時之應電動勢所發生之方向，在使電流由板心向夾在磁鐵間



圖 320. 佛科電流

之板緣，其餘部分，並無電動勢發生，故實際電流之方向，當如圖中虛線所示，成為渦狀，故名渦電流 (eddy current)，或因研究者之名，曰佛科

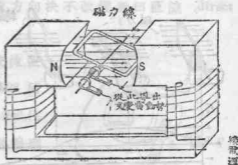
電流 (Foucault current)

同樣，磁針在銅板上振動，亦可引起佛科電流，妨止其運動，達松發爾電流計中所用之阻尼法，即本此理而成。

電流發生，同時必伴以熱效應，取給於銅板之動能為一種純粹之損失，曰渦電損失(eddy current loss)。欲免此弊，可於板上造若干條細孔，成輻射狀，將渦電流之電路切斷，即可使其無從發生。

§ 369. 發電機原理

設想有一矩形導線圈，在磁場內，其位置如圖 321 所示，線圈平面與紙面相垂直。將此線圈裝在架上，俾能繞軸而轉，其軸線則與紙面垂直，且通過矩形之中心。線圈兩端各與一金屬環銲接，環則固著於轉動之軸棒上。再用金屬刷二個，各與一環接觸。



當線圈面最初在鉛直面內時，

圖 321 在磁場內轉動之線圈

各條導線之運動方向，恰與磁力線平行，故橫貫線圈之磁力線無變化，此時在線圈中因感應作用而生之電動勢，應成爲零。但在其餘之位置上，因圈內磁力線數起相背變化，故均有相應之應電動勢。假定線圈作等速度之轉動，每秒間橫貫線圈磁力線數之變化，當以線圈成爲水平時爲最多。若繼續轉滿一周，每當其通過鉛直面之一瞬時，電動勢必改變其方向。故若沿縱軸取 E 表電動勢，沿橫軸取 θ 表線圈從鉛直面起轉過之角度，則得圖 322 下方所示之曲線。開始時 $\theta=0^\circ$ ，電動勢亦等於 0。以後 θ 增加，電動勢亦隨之而增。至 θ 成爲 90° 時， E 增至最大。以後 θ 若再增加， E 反而減小。至 θ 達於 180° 時， E 即減成爲 0。以後線圈再繼續轉動，則

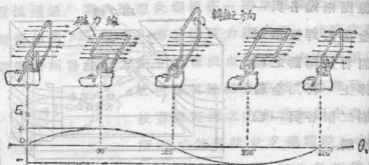


圖 322. 線圈位置與電動勢之關係

矩形之上下兩邊，已與 $\theta=0^\circ$ 時，位置恰相反轉，故在線圈中由感應而生之電動勢，成爲負值。至 θ 成爲 270° 時 E 之負值亦達於最大。過此以後， θ 漸增， E 亦漸趨向於 0。至 θ 成爲 360° 時，即完成其一轉時， E 亦成爲零。

§ 370 直流與交流

由前節所述，可見線圈每轉 180° ，其中所激發之應電動勢，必改變一次方向，如是之電動勢，曰交變電動勢 (alternating electromotive force)，由此種電動勢而生之電流，曰交流 (alternating current)。矩形線圈每完成一全轉，即 θ 每轉 360° ，稱爲交流之一循環 (cycle)。通常都市中用電流，大都爲每秒 50 循環或 60 循環之交流，與此相對，由電池而得之電流，方向決不改變者，曰直流 (direct current)。

如欲改上述之交流，使其成爲直流，可用圖 323 所示之整流器 (commutator)，代替上述收集電流之兩銅環。此器爲一銅環，縱剖爲二，用絕緣質隔開，使兩半環互相



圖 323 整流器

絕緣。令矩形導線圈之兩端，各與一半環銜合，如圖中 $ABCD$ 所示之狀況。兩金屬刷 R 及 S ，亦各與一半環接觸。全體裝置情形，則如圖 324 所示。如此，則每當 θ 成爲 180° 之瞬時，矩形線圈雖必上下倒置，但與同一之刷

相接觸之半環，亦同時彼此交換。

故由同一之刷引出外方之電流，如仍照前法沿縱橫

軸將 E 與 θ 之關

係曲線畫出，則成圖 325 所示之狀況。電動勢之數值，雖隨矩形線圈之位置而異，但其方向，則始終不變，成爲

直流。

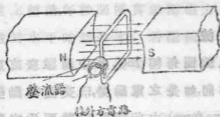


圖 324. 直流發生器

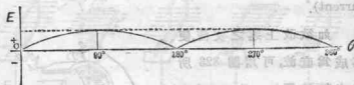


圖 325. 整流後之電動勢

§ 371. 發電機。

利用上述原理，使多數線圈在磁場內轉動，即可發

在大量電流，即由機械能一變而成電能，為此特設之器，曰發電機(dynamo)，而用以造成此磁場之磁鐵，曰場磁鐵(field magnet)，在場內轉動之線圈，曰電樞(armature)，由發電機導出之電流，具有一定之方向者，曰直流發電機(direct current dynamo)；其方向迅速變化時反時正者，曰交流發電機(alternating current dynamo)。

§ 372. 環形電樞。一取磁場帶若干卷合，用整流器將發電機發生之交流改為直流，然後導出外面，雖可得方向不變之電流，但其強度變化太大，仍不適於使用。欲免此弊，須用圖 326 之環形電樞(ring armature)，即可得強度一定之直流。先用塗漆鐵線，束為鐵心，曲成環形，再用絕緣銅線繞於環周，造成串聯線圈若干個(在圖中則為 8 個)。整流器與線圈同數。線圈與線圈相接續之點，必有二導線，連至整流器之一部。



圖 323. 環形電樞

圖中右邊近 N 極之各線圈中，電流之方向均同，左邊近 S 極之各線圈中之電流則相反。又各線圈對於兩刷

之關係，則完全相同，故由此引出一定方向之電流。各線圈內之電動勢，雖各有優差，但右邊四線圈中之電動勢之和，則大抵一定，左邊四線圈中之和亦然。各線圈位置，隨轉隨變，但半數之線圈中，電動勢之和，仍無變化，故電流強度得保持其一定之值。

§ 373. 鼓形電樞

釘合若干枚薄鐵板，製成一圓柱，將銅線繞於柱上，使成若干個串聯線圈，各線圈均與柱軸垂直，且相鄰兩線圈面間之角度一律相等。各線圈與換流器接合處，用導線一條連接至整流器之電刷上，即成爲鼓形電樞 (drum armature)。

實際之鼓形電樞，如圖 328 所示，此樞僅有兩部分繞有線圈，而繞於之線圈，即嵌入槽中，其兩端即與在整



流器接合。中國立) 附于各

圓形電樞在換極間運

轉時，各線圈中僅有額外之

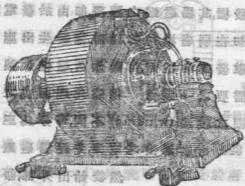
一部分，橫其磁力線而過，其

兩端以及環內之部分，均不

生關係，僅供引導電流之用

圖 327 鼓形電樞

而已。鼓形電樞則否，其各線圈之兩半部，均同樣能橫貫力線而過。其不生作用專供引導電流者，不過在鐵柱兩端之部分而已。故就同一容量之電樞而言，因 iR 而生之損失，環形者恆較鼓形者大。就別一方面言之，環形者各線圈之相互絕緣，比較良好，修理亦易。故高壓之直流發電機，一般均用環形電樞。



§ 374. 場磁鐵之激發

發電機之場磁鐵，多用電磁鐵，使其磁化，稱曰激發 (excitation)，因激發方法不同，遂有種種名稱，茲舉其較爲重要者如次：

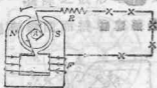
(1) 磁鐵發電機：使用鋼製之永久磁鐵作場磁鐵，

亦同樣可以發生電流，如是者，曰磁鐵發電機 (magnet machine)。其激發磁場之電流，係由外部供給，其激發之電流，與發電機之電流，係由同一電路中取出。

(2) 併激發電機：將傳送電流入電磁鐵內，使其激發而成磁場者，曰分激發電機 (separately-excited dynamo)，此項送電之器，曰激發機 (exciter)。

(3) 串繞發電機：以下所舉三種，既不用外部磁鐵，亦不用激發機，其場磁鐵之激發，即由於發電機之本身。當電樞最初在弱磁場內轉動時，應發生出應電流，即以此項電流激發其場磁鐵，轉動愈久，磁性愈強大，最後遂可達到所需要之一定值。根據此理而成之發電機，又因其各線圈之繞法 (winding) 不同，可分為三種。

如圖 329，由刷導出之電流，先經場磁鐵周圍通過，



然後始出外部，即其激發之電流，與導出外部之電流相同者，曰串繞發電機 (series-dynamo)。

通常激發之一部分，用較粗之導線，匝數較少，當全部電路未通以前，電流不能流通，此時雖轉動電樞亦不生效。外部之電阻增大，則激發之電流減弱，結果使發生之電流減衰。欲免此弊，須加一並聯之變阻器，

與激發線圈並立，適宜變更此變阻器之電阻，即可保持一定強度之電流，送至外部。

(4) 分繞發電機：如圖 330，將激發線圈與導至外部之導線，並聯於刷上者，曰分繞發電機 (shunt dynamo)。因電流強度與電阻成反比例，故激發線圈用細導線，匝數亦較多，如綫線所示。外部之電路未通以前，此器之場磁鐵，亦在激發狀態，故立可得強大之電流，但俟兩刷之電壓增高後，再使外部

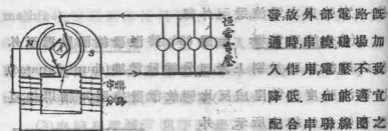


圖 330. 分繞發電機。

電路通，則通過電樞中之電流去，通過場磁鐵中之電流小，結果使兩刷之電壓降低，故由外部之總負 (load) 增減，可影響及於兩刷之電壓。如擔負不大，則用一變阻器與場磁鐵導線串聯以調整之。如擔負變化過大，即無法處理之矣。故此種發電機，只能使用於擔負不起變化之處，如使蓄電池之漚電，及電鍍之類。

(5) 複繞發電機：如聯合上述兩種繞法而用，如圖 331，則曰複繞發電機 (compound dynamo)，綫線處所表者，為分繞磁場 (shunt field)，綫線所表者為串繞磁場

(series field)。外部電路未通以前，由分繞磁場使其激發，故外部電路既通時，串繞磁場加入作用，電壓不致降低，如能適宜配合串聯線圈之匝數，雖擔負變化



只須調整分繞磁場之變阻器，即可保持一定之電壓。此種市電燈及電車等，多使用此種發電機。

§ 375. 電動機原理

將發電機逆用之，即由外面將電流送入電樞，受場磁鐵之作用，電樞即生轉動，是

為電動機 (electric motor)。電動機之電樞概用鼓形，導線嵌入之槽，排列於鼓外，如圖 332



所示，左半各導線，同引電流入內，右半各導線，則同引電流出外。故圖中左邊各導線受磁場作用後，按照左手定則，應被推向下方，同樣，右邊各導線，應被推向上方。結果電樞受此力偶作用，遂

作反時針轉動。其轉動遲速，由於電樞上導線之長短，送入電流之強弱，及磁場之強度等而定。

§ 376. 電扇及電車。

電動機之應用雖廣，除工廠中用作發動機而外，家庭用具亦多使用之。如夏日送風之電扇 (electric fan)，新式留聲機之運轉，均其實例。又規模較大者，則有電車 (trolley car)，大部使用直流電動機，其電壓約為 550 伏特。由發電廠送出之電流，經圖 333 所示之饋電線

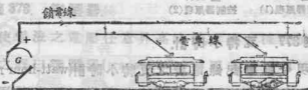


圖 333. 電車中電流之路徑

(feeder) 而達於電車線 (trolley wire)。此兩條導線，互相平行，每隔若干長，橫架小導線為之連結，俾多數電車同時開動時，不致受電壓降低之影響。電流所經過之路程，如圖中箭頭所示，即由電車線而來，從車頂進入車內之控制器 (controller)，再經下方之車輪輸入於軌道，由此復回廠中。控制器係由若干個電阻線圈及開關板而

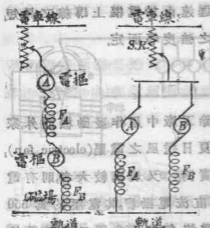


圖 334.

控制器原理(1)



圖 335.

控制器原理(2)

成。車體最初開動時，車中之兩個電動機成爲串聯，如圖 334。既已開動以後，再由槓桿逐漸減去開關電阻，最後兩電動機遂成爲並聯，如圖 335。故初開時各電動機均僅受到一半之電壓。至開足全速時，又均受到全部電壓。

§ 377. 瓦特小時計。

現今自動記錄電費之瓦特小時計(watt-hour meter)，俗稱電表，其構造如圖 336 所示。主要部分係一無鐵之電動機，A 爲其電樞，通入其內之電流，與幹線間之電壓爲正比例，通過場磁石 P 中之電流，即爲用戶實際所用之電流(例如電燈電扇或電壺等所用)。故 A 發生轉動之力，即作用於 A 與 P 間之力，此力與通過之

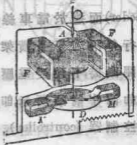


圖 336. 瓦特小時計

電流之安培數及其伏特數之乘積爲正比例，亦即與消費之瓦特數爲正比例。 A 之下端有一鋁質圓盤 D ，在 D 之上下裝有強力磁鐵 MM 。當 D 在此磁極間轉動時，應發生應電流。由此項應電流與兩磁極間之作用，使 A 之轉動，不致過快。故瓦特小時計上指針進行之速度，能與消費電能之瓦特數，成爲正比例，而其全體之轉動，則與在此時期內消費之總能量，即瓦特小時數成爲正比例。

§ 378. 變壓器

使電流之電壓任意升高降低，或使直流交流互相轉變之器，曰變壓器 (transformer)。因其使用目的不同，名稱形狀亦不一樣，茲先就交流使用者論之，是爲交流變壓器 (alternating current transformer)。

電力輸送，以高壓爲最經濟。如發電機發生之電壓不足，則用變壓器使其升高，始行送至用戶。若在用戶處如嫌過高，或防危險，又再用一變壓器，使其降低。爲此目的而設之變壓器，既無整流器，又無運動部分，損失頗小，效率甚大，其用以升高電壓者，曰昇壓器 (step-up transformer)，其用以降低電壓者，曰降壓器 (step-down

transformer). 其原理與感應圈同, 重疊若干層薄鐵板為

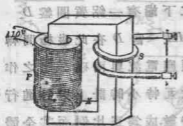


圖 337. 變壓器

鐵心, 周圍繞有獨立線圈兩個, 如圖 337 所示. 原線圈 P 之導線細, 匝數多; 副線圈 S 粗而少. 高壓電流通入 P 內, 則 S 內發生感應電流. 命 E_1, i_1 及 E_2, i_2 表兩者之電動勢及電流強度, 假定變壓進行中不受漏電流等之損失, 則得

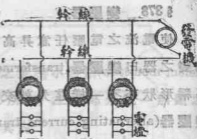
$$E_1 i_1 = E_2 i_2$$

命 P 之匝數等於 S 之匝數之 n 倍, 則

$$E_2 = \frac{1}{n} E_1$$

故 $i_2 = n i_1$

故一方將伏特數減低, 同時又將其安培數加大, 電燈用電流, 多用此法供給, 如圖 338.



同時又將其安培數加大, 電燈用電流, 多用此法供給, 如圖 338.

圖 338. 自耦變壓器

自耦變壓器, 其原理與變壓器同, 但只有一匝, 且其匝數多, 故其效率較變壓器為高.

§ 379. 自耦變壓器, 其原理與變壓器同, 但只有一匝, 且其匝數多, 故其效率較變壓器為高.

前節所述之變壓器, 多用於昇降至 10 倍或 20 倍時,

變步亦須 $\frac{1}{2}$ 格或一半，若屬相當，再少則可插入變阻器，但因此頗蒙損失，不適於用。專為小倍數而設之變壓器，有圖 339 所示之自耦變壓器 (auto-transformer)，係將原線圈 P 及副線圈 S ，合併為一而成。試加交流之電壓於 P ，則其每一匝上所發生之應電動勢，均與適用之電動勢相反。故在兩者之共通部分上發生之電動勢一方面與原電動勢相反，一方面則又引起應電流，使由副線圈中流過。結局在其通部分上流過者，係此兩種電流相合而成之電流。用此器不特可省銅線，又可隨意昇降其電壓。例



圖 339. 自耦變壓器

如將此圖之 P 連於高壓，則由 S 即可取用低壓電流；反之，如將 S 連於低壓，即可由 P 取用高壓電流。

§ 360. 直流變壓器或電動發電機。

將電動機及發電機聯合使用時，則成直流變壓器 (continuous current transformer)，亦稱電動發電機 (motor-dynamo)。例如以 1,000 伏特之電壓及 10 安培之電流，供給電動機，使其轉動，由此運轉發電機，假定由發電機

所得之電壓爲50伏特，則其電流強度可達於200安培以上。且此種發電機與電動機，並無互相分離之必要，只用一共同之鐵心，繞兩線圈於其周圍，另用整流器兩個，將其一線圈連結至電動機之電樞上，其他一線圈連結至發電機之電樞上，即成。

§ 381. 感應圈.

利用感應電流，可以得高壓之電流，爲此而設之儀器中，以魯爾科夫之感應圈 (Rhumkorff induction coil) 最爲著名，其構造如圖 340。

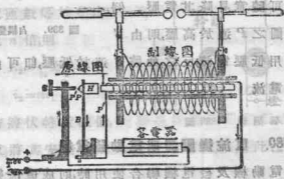


圖 340. 感應圈之構造

爲用塗油漆之鐵條若干，束作鐵心，外繞絕緣粗導線成原線圈，其外套橡皮管，管上再用絕緣細導線繞多

致線圈，成副線圈。副線圈之兩端連於放電棒 (discharging rod)，放電棒之一端爲硬橡皮柄，他端爲金屬球。兩球間之距離可以自由增減。鐵心之端，稍露於外，其所對衝鐵 H 之下，附黃銅彈條 B ， H 前面有鉛點 P ，轉螺旋 S ，使其尖端 P 與 P 之距離合宜。原線圈之一端連 H ，他端連電池之一極，其餘一極則連於 S 。彈動 H 使 S 之尖端 P 與 P 接觸，則原線圈內有電流通，使鐵心變成磁鐵，牽動 H ，使其與 S 分離，電流被斷，同時 H 受 B 之彈力復回左方，再使 P 與 P 接觸，電流又通。如是， H 以一定之規律，左右振動，則原線圈中之電流以一定之週期或通或斷，因此在副線圈內發生應電流。副線圈係由多數之細導線繞成，故所得應電動勢頗大，結果遂令放電球間之空氣，被其衝破，而呈電花放電之現象。

通常更於感應圈之座下，裝有容電器，用蠟紙或雲母片夾錫箔而成，一端連彈條 B ，他端連螺旋 S 。當電路斷時，空隙之兩端因自感應而生勢差，其值頗大，成爲電花，使鉛受損害。但容電器與此兩端相連，故電均蓄積於其內，不致發生電花，因此原線圈內之電流開閉愈速，副線圈內所生之應電動勢愈大。又當原線圈之電路通時，此容電器之兩板，勢各不同，所帶之電荷各異，由

PP 處空隙隔斷其交通，而牠一面則由電池及原線圈連而為一。故此項勢差，不能持久，立即放電。此時之電流方向係沿圖中箭頭所示之方向而過，與原線圈內由自感應而發生之應電流，同為防止原線圈內電流之增加，即其作用，在使電路通時之感應減少。如始放電時之距離大，則原線圈之電路通時，無電花出現，而當其斷時，則有電花適逐，如此可使副線圈之兩端之極，成為一定性質。

由副線圈之另一種應用為電話 (telephone)，由發送機及接收機而成。

(1) 發送機 (transmitter) 中最重要之一部分，為發音器 (microphone)，係利用炭之電阻隨接觸狀態而變之特性製成。而在兩條水平炭棒間，橫架另一炭棒，與水平兩炭棒略接觸，

並同裝在共振箱上。設在此箱上放錶，而將電池炭棒及接收機三者串聯如圖 841，則由錶之振動率及箱之振動，使炭棒接觸狀態發

圖 841. 發音器

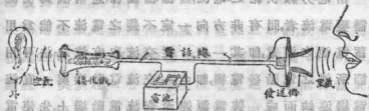
圖 841 顯示了發送機 (transmitter) 的電路佈局。圖中包括一個發音器 (microphone) 裝置，由兩根水平炭棒和一根橫架炭棒組成。此外，還有一個電池、一個接收機以及一個振動錶。這些元件通過導線串聯在一起，並安裝在一個共振箱上。

生變化故在接收機內，可明瞭聽見餞中機械運動之音。

利用微音器而成之發送機，如圖 342，膜片(diaphragm)用鋁製薄板，由螺旋裝在炭板上，炭板則盛在金屬盒內，使成絕緣。更有一炭板，與此相對而並置於後方。兩板之間及裝兩側，充滿炭之細粒，但與金屬盒絕緣。故電流之通路，成爲由外而來，經過膜片前方之炭板，炭粒，後方之炭板，復出於外。將此兩端經電池連至接收機，口向膜片發音，則由膜片之振動引起炭粒接觸變化，發生變化電流傳達於接收機。其全體之聯絡如圖 343 所示。



將此兩端經電池連至接收機，口向膜片發音，則由膜片之振動引起炭粒接觸變化，發生變化電流傳達於接收機。其全體之聯絡如圖 343 所示。



(3) 接收機(receiver)之構造，如圖 344，在蹄形磁鐵 A 之兩端，附軟鐵片，使成磁心。將繞法相反之兩線圈 B

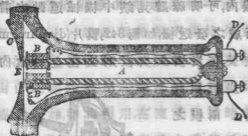


圖 344. 接收機

B_2 串連於結

線柱，線圈傍

有鐵質之膜

片 E ，厚 0.25

毫米，用導線

由結線柱經

電池連至發

送機。由發送機傳來之變化電流，使接收機線圈之磁場亦隨之而變，引起膜片之振動，成爲聲波，與原發之聲相同。

§ 333. 整流器

由電力廠供給之電流，因種種關係，通常概爲交流。但需要電流者，間有非方向一定不變之電流不能爲用。如蓄電池之灌電，卽其一例。從交流取直流之法，可用前節所述之電動發電機，卽由一交流電動機與一直流發電機連結而成。將電源連至交流電動機上，先使電動機轉動，牽動直流發電機，故由此發生之電流成爲直流。此法適於大規模之轉變，對於小範圍之用途，殊不相宜，例如汽車上所備之電池組，以及無線電中，亦甚需

要小量之直流電，通常則用真空管整流器 (vacuum tube rectifier)，亦稱鎢絲整流器 (tungar)，極為簡便。此器為一真空管，內裝鎢絲 F ，如圖 345 所示，管之上端多一炭極 A 。管內雖無空氣，

却有鈍氣 (inert gas)，但氣壓極低。從電源送來之交流電，先經變壓器將電壓降低後，再流入管內，使鎢絲發光，放出帶陰電之電子。如鎢絲對於在其近傍之炭極成爲陰極，則管內

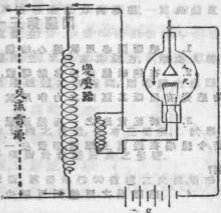


圖 345. 整流器

之稀薄鈍氣，起游離作用，成爲電流之導體，致令從鎢絲發出之電子，陸續向炭極流去。假使照圖 345 所示，將鎢絲 F 與炭極 A 各連至交流電源之一端，則每當炭極成陽極，鎢絲成爲陰極之半周期中，因電子之游離作用，電流可從管中流過。反之，每當炭極成爲陰極，鎢絲成爲陽極之半周期中，電子不能出鎢絲外一步，故管內鈍氣仍保持其非導體原性。故交流每一周期中，只有空

轉，可從管內通過，如導而得之電流雖強，度仍不免有所變化，但方向則一定不變，以之供電，油類之漏電，最為相宜。



問題第三十 (30th problem) 關於電磁

1. 感應圈必用軟鐵心，始能得強而之電流，何故？
2. 在軟鐵圈上每移動磁體，或在磁體附近移動磁鐵，均感覺有阻礙其運動之力作用，試說明其理。
3. 將乾電池之一極連一磁針一端，他一端用銅線連一磁針內管入磁針，磁針旋轉，令磁針在磁針上旋轉，即發生一火花，何為其因，試說明之？

4. 一原線圈之原線圈匝數少，而副線圈之匝數多，何故？
5. 假將一線圈平放在桌面上，拖玉方磁鐵之磁針，磁針插入線圈中，此時在線圈內發生之電流方向如何？試說明之。

6. 假用楞次定律說明(1)電磁機及(2)發電機。
7. 用感應圈發生之火花長度，有四種原因決定之，試將此四種原因舉出。
8. 感應圈之原線圈中之電流，與其副線圈中之電流，有何重要差別？

當原線圈之兩極上發生火花時，係斷接時之原電流磁場之一瞬時，而非磁場之瞬時，試說明之。

10. 如電話線與交流之電燈線，彼此平行，且極相鄰近，則在電話機內，時時聽見嗡嗡不絕之聲。試言其理。
11. 設有一完全電路，其中有一部分取鉛直方向。(a) 如令一條形磁鐵之 N 極，沿水平方向移動；(b) 如令其 S 極沿水平方向移動；(c) 如令其 N 極沿鉛直方向移動。一問此鉛直部分之導線中，有無感應電流發生？如有，其方向如何？
12. 一人正對電磁鐵而立，其極在正前方。如島人將一條鉛直導線插向前方通過磁鐵之兩極間，則導線內感應而生之電流方向當如何？
13. 決定發電機發生電流之電壓，共有三項。試舉出此三項之名稱，並詳言各項對於電壓所具之影響。
14. 使用單極一對磁極，欲得每秒 60 循環之交流，矩形線圈每分鐘須轉若干次？
15. 如使用極磁鐵全體共有八極，則得每秒 60 循環之交流，其矩形線圈，每分鐘須轉若干次？
16. 設有一發電機，如轉動速度一定不變，而外電路之電阻增大時，電勢當受何種影響？
17. 試舉三種倘非用直流不可者；並說明其理由。
18. 與電動機串聯之安培計上，指出已在轉動中之電流強度為 8 安培。當當初開動時，安培計上之讀數，應較 8 安培為大抑較為小？並說明之。
19. 在直流電路上，為何不用使用保險器？
20. 設欲將 110 伏特之電壓降成 220 伏特，其原理圖與

則該圓之面積，應成何比例？
 21. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。
 22. 今有一 (4) 個電阻，其阻值各為 $10, 20, 30, 40$ 歐，若將
 其自左至右，以一連串之阻值，則其阻值為 $10, 20, 30, 40$ 歐，
 則該線路中之電流為 10 安培，電壓為 200 伏特，求該線路中
 之電流強度及電阻。
 23. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

24. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。
 25. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

26. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

27. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

28. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

29. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

30. 一電阻為 R 之線路，其電流為 1000 安，則該圓之面積
 為 50 ，若入原線路中之電流為 20 安培，則求該線路中之電流
 強度。

第八章 電波

§ 384. 來頓瓶之振動放電。

如用一導線連結來頓瓶之內外套，如圖 346 之 C ，中途插一自感線圈 L ，及電鍵 K ，令 K 開放。先使 C 帶電，如圖中所示。 C 之內外兩套之間，有相當之電勢差成立。然後按鍵，來頓瓶即開始放電，有電流在線圈 L 內流過，因此，遂令 C 之勢差，次第減小以至於零。但因 L 有自感應，與物體之有慣性相同，雖 C 之兩套，電勢差已減至零，而電流仍以同一之方向，繼續流過，直至電勢差與開始時相反（其絕對值幾相等），此時電流即開始向反對方向通過，同時電勢差之絕對值，又復次第減小，以至於零時，電流仍繼續通過，直至兩套之勢差幾乎完全恢復開始放電時之狀態。如是「反—正—反」繼續不止之放電，曰振動放電 (oscillatory discharge)。但從一方面而論，電流通過電路中電，在電路上應生焦耳熱，故須消耗去一部分之能，同時又有電磁波四向輻射而出，損失

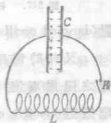


圖 346. 來頓瓶放電

亦不小。故來頓瓶上所帶之電，不得不隨之逐漸減少，數次振動放電後，原帶之電已完全失去，振動亦即停止，如沿橫軸取經過之時間，沿縱軸取振幅，則其狀況如圖

圖 347 所示。

凡如此種振動，其振幅次第減小，卒

圖 347. 經阻放電。其內之成爲零者，即阻尼振動(damped oscillation)

又此時電路之電阻，如次第增大，焦耳熱亦加多，所受之阻尼更速。故使其電阻充分增大，即可免去此項電振動(electric oscillation)矣。此時電流由陽極遷向陰極流去，電荷次第消滅，直至於零，成爲通常之放電，不起振動。

來頓瓶之放電，週期約在 10^{-4} 秒至 10^{-3} 秒之間，使用旋鏡(rotating mirror)將電花之相照下，即可研究之最初電阻尚小時，相上現爲若干光線斷片，互相分離，可知其爲振動的。次增加電阻，光片逐漸相連成帶，可知其漸成爲非振動的矣。

去神帶。

共冊 § 385. 電磁放。

第 4 卷第 1 冊

電之振動，不限於萊頓瓶，如圖 348，將兩鋅片 A, B ，各連於感應圈之副線圈之兩端， A 與 B 相對處，各有一金屬球，通電入原線圈，調整兩小球間距離，即有電花由其間通過，亦成電振動。凡能發生電振動者，曰電振器 (electric oscillator)，電花所通過處曰電花隙 (spark gap)。



圖 348. 電振器

假定開始時 A 帶陽電， B 帶陰電，則其電力線當如圖 349，周圍以大中，均呈一種電之應變。

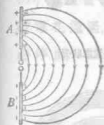


圖 349. 電力線

迅速之電振動時，最初陽電由 A 向 B 流去，陰電由 B 向 A 流去；其次方向與此相反。故力線之變化狀況次第成爲個個之閉鎖曲線，在通過 AB 之平面內進行，即電力在通過 AB 之平面內，一面作單振動之變化，一面則由振動器四向傳播而去。由此而成之波，曰電波 (electric wave)。

以上係就直線電流而言，其周圍除電力線而外，尚有磁方線，應與此直線電流垂直，即以此直線爲圓心，成爲若干同心圓。故當 GD 上之電流作振動的放電時，

其周圍磁力線之圓，亦交互改變其方向，在 OD 之垂直面內，四向傳播而去，如圖 350。即磁力在 OD 之垂直面內，亦一面作單振動，一面由振動器四向傳播而去。由此而成之波，曰磁波 (magnetic wave)。

總括電波及磁波而言，則曰電磁波 (electromagnetic waves)，其傳播之狀況，如圖 351。為振動方向互相垂直之以太波。



圖 350. 磁波 圖 351 電磁波之狀況

§ 336 電共振

前在聲學，曾述及兩聲波之振數相同，即可引起共鳴，實則此項現象，不僅限於聲波，一切之振動體均然。總稱之曰共振 (resonance)。來頓瓶之放電，為一種振動，其振數由來頓瓶之電容，全電路中之電阻及感應係數而定。如有兩來頓瓶，各在一電路內，如圖 352 中之 A, B ，其大小及玻璃之厚薄均完全相同。若 A 之電路為一短

形粗導線，一端與外套相接觸，他端成一小球，與來頓瓶頂小球，對立成爲電花隙。B之電路亦與此相似，僅矩形之一邊CD，可以自由滑動，並無電花隙。用一條錫箔，搭在B

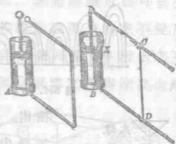


圖 352. 來頓瓶電路之共振

上，如X，使其內外套互相連接。將此兩電路放在平行位置上，相隔約1尺，然後由感應圈使A放電，一面移動CD，至適當之地位，即見B上之錫箔條X處縫隙，有細微電花通過。CD一旦離開此地位，或前或後，電花均必停止。如是之現象，曰電共振(electric resonance)。

無線電之發送及接受，全賴乎此。設有圖 353 及圖 354 所示之電磁力線組成之波，由A發出，傳至遠地與另一導體相遇，即在其中誘起電動勢，其振數亦與原在A中之振數相同，即起而共振。



圖 353. 發送出之電磁波

是否有電磁波傳到，即由此



圖 354. 要送此之電磁波至 B 點。

檢出。欲傳遞至較遠之距離，則對

於發生電振動之電路，須有特殊之

構造，其主要部分，如圖 355 所示，在

發送處及接收處，均同此法。方曰天

線 (antenna)，電磁波即從此傳出，下

與地面相接，兩者合成一容電器。

中更插入一線圈，代替上述之矩形

電路，以作發生電振動之電路。



天線

感應線圈

電花管

地面

138 § 387. 接收電路

接收傳來電波之電路，由發生共振之電路，天線，檢

查電波之檢波器 (detector) 及收話器 (telephone receiver)

或聽筒 (earpiece) 等各部分合成。

中發生共振之電路，又稱為調諧電路 (tuned circuit)，

係將一感應線圈與一容電器串聯而成。發生之共振，

由線圈之感應係數與容電器之電容之乘積而定。故

只須任意變更此兩項之一，或二者同時變更，即可發生共振。但大多數之接收器，其感應線圈，多固定不變，只電容變動而已。欲變更電容，可使用圖 856 所示之可變空氣容電器。其動板與固定板間之相對位置，由轉軸上所附之標度，即可決定。

與固定感應線圈相聯，尚有一第二線圈，兩者成爲一種變壓器形狀，不過通常之變壓器須用鐵心，而此處則

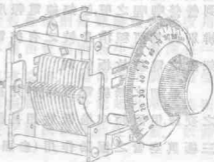


圖 356 無線電用可變空氣容電器

以空氣代替鐵心，如是之聯絡，通稱爲耦合 (coupling)。與天線串聯者，成爲原線圈，與之耦合者則爲副線圈，如圖 857 所示。使用此種天線電路時，則須變更其線圈之匝數，俾與來波相應發生共振。



圖 857 同調副線圈

§ 383. 無線電報。二、一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九、三十、三十一、三十二、三十三、三十四、三十五、三十六、三十七、三十八、三十九、四十、四十一、四十二、四十三、四十四、四十五、四十六、四十七、四十八、四十九、五十、五十一、五十二、五十三、五十四、五十五、五十六、五十七、五十八、五十九、六十、六十一、六十二、六十三、六十四、六十五、六十六、六十七、六十八、六十九、七十、七十一、七十二、七十三、七十四、七十五、七十六、七十七、七十八、七十九、八十、八十一、八十二、八十三、八十四、八十五、八十六、八十七、八十八、八十九、九十、九十一、九十二、九十三、九十四、九十五、九十六、九十七、九十八、九十九、一百。

利用上述之接收電路，可以接收遠處傳來之電磁波，是為無線電報 (radio telegraphy 或 wireless telegraphy) 時常在接收廣播電台 (broadcasting station) 之節目中，聽到營營唧唧之聲，即無線電報所傳遞之電碼，習此者可辨別其為何種消息，較之有線電報，可省去收發兩站間架設之電線，故極便利。

最初之無線電報，係利用感應圈之電花隙間所生之交流，但因頻率過低，效用甚微。其後迭經改良，利用三極真空管之振盪作用 (參照 § 393)，頻率大增，遂成今日之無線電報。

無線電報所適用之電磁波，通稱為無線電波 (radio wave)，亦稱赫茲波 (Hertzian wave)，其傳播速度與光波之速度相等，即每秒鐘可行 3×10^8 千米之遠。

速度 = 頻率 \times 波長

故 1,000 仟週 (kilocycle)，即每秒有百萬循環之交流，所發生之無線電波，波長竟達 300 米。通常光波之波長，不過 0.000,04 至 0.000,08 厘米而已。對於此種波長奇大之無線電波，應如何方能覺察，又如何方能盡其功用，當於以下各節詳述之。

§ 389. 晶體檢波器。

前用兩奈頓瓶作電共振之實驗時，由架在內外套間之錫箔條處發生之電花，而知其有電能之存在，但一電花之發生，須有相當大量之能，故此項實驗，只能在數尺遠之距離處，方能生效，愈遠則愈難驗證。若改用聽筒接受，即無此弊。不過由電振動而生之電流，每一秒間正負交變達一百萬次之多。聽筒中之膜片，因受慣性作用，不能作此迅速振動。即令能起此項迅速振動，亦已超出聽官所能及之範圍以外，無從覺察。故非另行設法不可。

查使用感應圈發送而出之電波，其斷續器每往返一次，容電器亦放電一次，各次均成爲一系列高頻阻尼波 (high-frequency damped wave)，其頻率通稱爲射頻 (radio-frequency)。射頻雖高，但此種波列，每一秒間不過數百至一千左右，即波列之頻率，已在可以覺察之範圍內，是曰音頻 (audible frequency)。如能於接收電路中，插入一器，對於每一列電波，可以引起聽筒中之膜片振動一次，即有音發出，可知有電波傳到矣。如是之器，曰檢波器 (detector)。

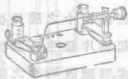


圖 389. 晶體檢波器。

檢波器之最簡單者，如圖 358 所示，曰晶體檢波器 (crystal detector)，由一塊矽 (silicon) 或方鉛礦 (galena)，盛在金屬盒內，上方有一金屬尖錐壓於其上而成。振動電流如經由此器中流過，則僅容一方向之電流流過，其反對方向者，幾全被阻斷，故其作用，與整流器 (rectifier) 同。將此器插入接收電路中，如圖 359 所示，則在接收

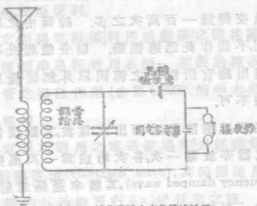


圖 359 接收電路中之晶體檢波器

電路中由共振而生之波列，本如圖 360 中 *a* 之形狀，但經此晶體整流後，即成爲 *b* 所示之形狀，即每一波列對於聽筒中之膜片板所發生之整個作用，如 *c* 所示，即引起膜片發生一次振動，成爲聲音。傳來之波列，爲數如多，則聽筒所生之聲亦長，波列數少，則其聲亦短，按照電碼規則，拼合此項長短聲音，即可傳達消息。

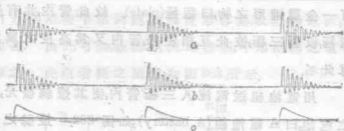


圖 360. 檢波器通過之電波

§ 380. 三極真空管.

現今之檢波器，以三極真空管(three electrode vacuum tube)為最便利，簡稱為三極管(triode)，形如一電燈泡，如圖361所示，玻璃裏面通常均鍍

有鎂鈉銻等類極易氣化之金屬，以備掃除管中殘餘氣體，下方插頭有互相絕緣之管四個，露出外方。泡內燈絲(filament)用鎢與鈦之合金製成，由下端FF導出管外，俾與電池相連。燈絲周圍有一導線製成之網狀物，曰柵極(grid)，由下端G導出管外。燈絲與柵之外方圍



圖 361. 三極管

有一金屬罐形之物，曰板極(plate)。故此管內，共有燈絲、柵極、板極三極，彼此互相絕緣，管內又為高度之真空，故有此名。

用電池組送電流入三極管內，使其燈絲發光，如是之電池，曰A電池組(A battery)，如圖 362。

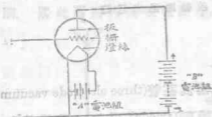


圖 362. 三極管之連接

因受熱而起激烈運動，放出電子，逸散於四周。再用一第二電池組，以其陽極連至板極，陰極連至燈絲，全體之電勢差約 20 伏特以上，此電

池組通稱為 B 電池組 (B battery)，如圖中所示，其效應在使板極帶陽電。由燈絲放出之電子，帶陰電，應受帶陽電之板極之吸引，穿過柵極中縫隙而至於板極，再經由 B 電池組中復返於燈絲。如是繼續流過成爲一種電流，通稱為板極電流 (plate current)。

假定燈絲之電勢爲 0，如柵極之電勢爲負，則由燈絲放出之電子，受柵極之斥力作用，不能穿柵而過，只能存在於燈絲附近，因此板極電流，爲之減弱。反之，如柵極對於燈絲之電勢爲正，則由燈絲放出之電子，受柵極

之引力作用，較平常到達板極更形容易，故板極電流，爲之加強。由此可知，板極電流之強弱，可用柵極之電勢調準之。此兩者間之關係，如圖 363 所示。

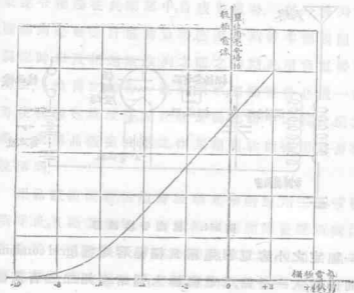


圖 363. 板極電流與柵極電勢之關係

§ 391. 真空管檢波器.

三極管內由燈絲放出之電子，大部分雖可到達板極，成爲板極電流，然柵極之電勢若爲正，必將有一部分之電子，受柵極之吸引。利用此性質，可用三極管爲檢

波器,以代晶體檢波器,連接方法如圖 364 所示。其天線,地線,及調諧電路與用品體檢波器時完全相同。但與檢波器,並不直接相連,而將可變容電器之一邊,連至

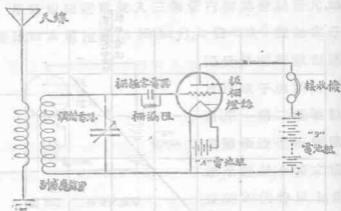


圖 364. 真空管檢波器

一固定之小容電器,通稱為柵極容電器(grid condenser),同時插入一分路,其電阻極大,通常多用二三百萬歐姆,而稱之為柵漏阻(grid leak)。再將柵極容電器之他一端連至三極管中之柵極,可變容電器之他一端,則連至燈絲。

如有電波傳到,則在調諧電路中,發生交流,經由柵極容電器,而灌電於柵極,使其電勢或正或負,交替變化。每一電波,可使柵極之電勢,成為正負各一次。當其電

勢爲正時，可以吸收一部分電子，此項電子，僅由柵漏阻內，始能逸去。但柵漏阻之電阻太大，在柵極電勢成爲正時所吸得之電子，欲在其爲負時，完全流去，決不可能。結果遂令柵極在此期間中，自成負電勢。每一波列到來，柵極均必如是自成爲負勢，直至波列後半部，因阻尼減弱之時，以及相連兩波列之間之時期，此項負電勢方行消去。換言之，即每一波列到來，柵極電勢必成一次負勢，使板極電流減弱，因此而牽動聽筒中之膜片，使其振動一次，與晶體檢波器之作用相同，故能檢出是否有電波傳到。

用品體檢波器，須隨時校準其接觸點，用三極管即無須乎此，且極其靈敏。因實際引起聽筒發聲所需之能，取給於A電池組及B電池組，傳來之能，僅用於調準板極電流，所需之量並不多，雖微弱電波亦可覺察得到。

§ 392. 再生接收法

用三極管接收電波，如照前法，已較使用晶體時爲靈敏，但若使用再生法 (regeneration)，其程度當更爲增高。因板極電路中所需要之能，遠大於柵極電路，故可使板極電路中之能之一部分，復回入柵極電路中。其

法係在板極電路中，串聯一線圈，使其與調諧電路中之線圈，成爲耦合，如圖 365 所示。此項板極電路中之線

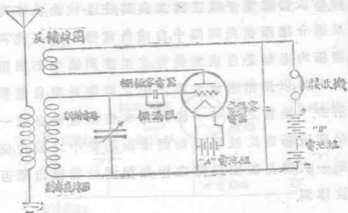


圖 365 再生接收法

圈，通稱爲反饋線圈(tickler)。傳來電波在調諧電路中引起振動電流，通過柵極後，引起板極電流。更將板極電流之一部分之能，復行送回調諧電路，於是又影響到板極電流。如是互爲因果，效應愈積愈大，雖微弱之電波，亦可發生莫大之效應。

又圖中多一旁路電容器(by-pass condenser)，使高頻電振動之能，由板極經由反饋線圈後，逕回燈絲，不致受聽筒與 B 電池組之阻礙。

又不用反饋線圈，而使板極電路與柵極電路，同樣

成爲調諧電路，亦可發生再生作用。

§ 383 真空管振動器

在非再生接收法中，其調諧電路內由感應而生之電流，須受本電路中之電阻作用，故其強度當然有限。然在再生法中，則同一之微弱電波，可以發生較強之電流。故再生之效應，與減少電阻同。反饋線圈與副線圈之耦合程度愈高，調諧電路之電阻愈減，耦合密至相當程度時，調諧電路之電阻，直成爲零。此時在調諧電路中如有電流發生，必將永流不息。往往接收機因靈敏度過於增高之結果，發生怪叫之聲，即由於此。此時之三極管，已成爲真空管振動器(vacuum tube oscillator)矣。在接收機內，對於此項作用，固應避去，但亦大可利用。接收機所起之振動，雖與調諧電路之頻率相同，但若變更其電容或感應係數，即可使其頻率隨意變化。由此可見真空管振動器可以發生高頻交流，其頻率能任意變化。此性質恰合發送無線電波之用，在接收電路中可用之能量誠小，然由此發送而出之電波，雖數英里之遠處亦能聽見。如須更大之功率，可聯合若干個三極管使用，或用其大形者。現今大形之真空管有一

管而具有 100 仟瓦特之功率者，僅添水管使板極冷卻而已，其板極電勢高至 2 萬伏特。新式無線電報 (radio telegraph)，及廣播電臺 (broadcasting station)，均使用此種振動器。

§ 394 放大作用。

如嫌接收而得之交流過於微弱，又不欲變更其波形及頻率，則利用三極管之放大作用 (amplification)。且不僅接收，即廣播，長途電話，放聲器，電收音機，以及其他種種方面，均利用之。試觀圖 363 所示之曲線，即見其大部分成爲直線形狀。設將柵極電勢由 -5 伏特變至 0，則板極電流即由 2 毫安培變成 7.7 毫安培。在此範圍內，柵電勢若有漲落 (fluctuation)，則在板極電路

中亦有與之相當之漲落出現。但柵極所需要之能，則遠遜於板極。利用此項性質，將若干

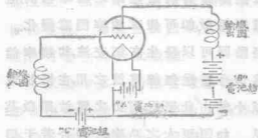


圖 363. 單管放大法

使用，即可將微弱電流放大。圖 366 所示者，為單管放大法，對於上述各種目的，均可使用。由圖可見除 A, B 兩電池組而外，尚有第三之電池組，通稱之曰 C 電池組 (C battery)，其目的在於將柵極電勢固定於圖 368 所示曲線中之直線部分上。即經由輸入線圈而來之交流進入柵極後，使柵極電勢在此固定點上下漲落，結果引起板極電路中，發生漲落與之相應。更經由輸出線圈將此放大後之能送至需要處以供使用。

§ 395. 他拍接收法。

用真空管振動器發生之電振動，其振幅歷久亦不減小，與由感應圈放電時情形不同。如沿縱軸取板極電路中之電流，沿橫軸取所歷之時間，則如圖 367 中 a 所示之形狀，由天線發出之電波，當然亦與此相同，是為無阻尼電波 (undamped electric wave)。在接收處收到此種電波，經過整流作用後，只有上半段通過，下半段被其阻斷，故通過聽筒中之電流，如 b，在其膜片所生之振動如 c。

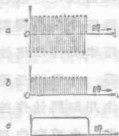


圖 367. 無阻尼電波

來波如繼續不已流過，則膜片之位移亦不變動即除最初受到來波之一瞬時，有微音發出而外，以後即寂然無所聞見。

接收此種無阻尼電波，別有其法，種類甚多，最著名為他拍接收(heterodyne reception)。

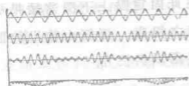


圖 368. 他拍接收原理

係由接收機內自行發出一種新振動，其頻率與傳來者略有差別，使此兩頻率之差，即拍之頻率成為音頻。

如圖 368，第一曲線表傳

來電波，第二曲線表接收機內自行發出之局部振動，第三曲線表此兩者合成之拍，第四曲線表接收機內應用柵極容電器對拍加以整流後之狀況。

圖 369 即應用此理而成之接收法之一例。局部振動即發生於 L_2C 之電路中。先變動 L_1C_1 ，使其頻率，與傳來電波之頻率相等。此電路受傳來電波之作用，即開始作強有力之共振。由感應作用使柵極電勢亦生振動，其次變更

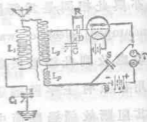


圖 369 他拍接收法

電路 L, C , 使其發生局部振動, 且頻率與天線電路之頻率相差不遠。此振動對於柵極電勢, 又自有其振動。如是兩項振動相合成拍, 遂引起接收機內之膜片發而為音。圖中插有一旁路容電器 S , 目的在吸收局部振動之高頻振動電流, 以防其流入聽筒及板極電路中。此圖係單管檢波器及發振作用。如增多管數, 其作用更強。

§ 396. 無線電話。

前述之無線電報, 當發送局之電鍵按而未放, 即有振幅一定不變之高頻電波, 由其天線傳出。接收處接到此項電波, 經整流後, 有一定方向之直流, 在聽筒內流過, 但不足以使其膜片發音。若使天線中交流之振幅發生變化, 則在接收處整流後, 即成為一定方向之變電流, 在聽筒內通過。如天線電路內之振幅變化, 適成為音頻, 即由人所發出之聲音, 則在接收處之膜片亦當應之而生同樣變化, 發為同一之音。此原理即為無線電話 (wireless telephony), 而在發話器處用人聲變更振動之方法, 曰調幅 (modulation), 所使用之器械, 曰調幅器 (modulator)。人與圖 37c 所示之微音器 (microphone) 發

聲，則其膜片即應變而作振動，其中炭粒受壓而時鬆時緊，變更電阻，結果使電流發生漲落，此種漲落之電流，通稱為聲電流(voice current)。聲電流經放大後，始進入調

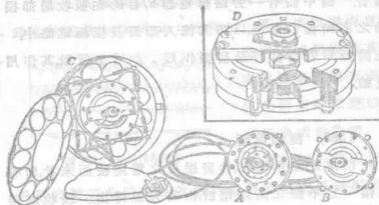


圖 370. 無燈電器用微音器

A, B 為金屬框架，膜片即裝在其上，在膜片之兩面，各有一個電器，如 D 所示。C 表用彈簧懸掛之狀況，免受靜壓之質動。

幅器。茲舉一簡單之連結法表明之。如圖 371 之 K 表一感應係數甚大之線圈，匝數頗多，且具鐵心，通稱之為抗流線圈(choking coil)，串聯入板極電路中。M 及 O 為完全同樣之三極管，並聯於此電路中，故由 B 電池而來之直流，分流入於其內，經過各管之分流，與各管之

內外電阻成反比例。 M 稱曰調幅器 (modulator)，其柵極電路由變壓器 G 與微音器之電路相耦合。 M 之柵極與燈絲間因聲電流而發生電勢變化。 電阻既

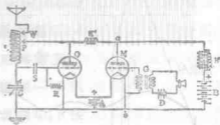


圖 371. 無線電話之調幅接

變， B 送至 M 及 O 之電流分配亦變。 其他之一三極管 O ，為振動器，其柵極電路及板極電路由感應線圈 L 及容電器 C 與天線電路耦合。

由振動器 O 發出之高頻無阻尼波之振幅，與 B 供給於 O 之直流為比例。 人向微音器說話，則調幅器之柵極電勢及內電阻，均應之而變。 故板極電流亦不得不變。 但由 B 供給至 M 及 O 之總電流，既為一定，而 M 之板極電流又已發生變化，其結果當然使 O 之板極電流，亦同時隨之而變。 結局在天線電路中之電流，其振幅亦發生變化，成為電波，四向輻射而出。 如圖 372 所示， a 表振動器 O 中之電流， b 表聲電流， c 即調幅後之載波電流 (carrier current)。 由此可見調幅之作用，僅變更電波之強度，對於頻率，並無絲毫之影響也。

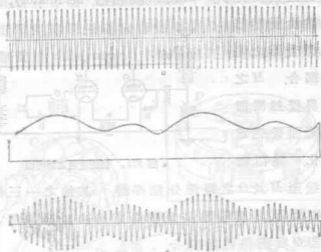


圖 373. 載波檢波

§ 397. 無線電話接收法.

由發送電臺之天線送出之電波，經接收處之天線，引入調諧電路，受檢波作用改爲直流，其形狀與圖 372 中 *b* 所示之聲電流相似，故可使聽筒中之膜片由振動發聲。但因來電過弱，僅用一單獨之三極管，有時嫌力不足，通常均聯用數個三極管，使其放大。放大方法，分爲兩種，一種係在其未入檢波器之前，即預行放大，是爲射頻放大器 (radio-frequency amplifier)，又一種則將檢波器

所發出之聲電流放大，是為音頻放大器(audio-frequency amplifier)尤以不用聽筒而用揚聲器(loud speaker)時，音頻放大更為需要。

揚聲器最初多使用一喇叭管，與留聲機上使用者相似，下接一較大之聽筒。此種揚聲器所發之聲雖較大，但因喇叭管對於頻率有選擇性，不能得真實聲音。現今大都使用錐形揚聲器(cone speaker)，係用硬紙造成之錐形，



圖 373 錐形揚聲器

其構造如圖 373 所示，因錐面甚大，故無須使用喇叭管，即可成為洪大之聲。



圖 374 動力變壓器

又如圖 374 所示

者，為動力揚聲器(dynamic loud speaker)，係利用強有力之電磁鐵直接作用之導線圈而成。電流進入可動線圈後，即被電磁鐵吸引或推斥。可動線圈之匝數甚少，即固着於錐體頂端。由放大器而來之電流，經降壓器後始流入此可動線圈。可動線圈與小錐體必須甚輕，俾遇高頻之電流，亦易發生振動。

§ 398. 交流接收法。

通常都市電燈，概用交流，而用真空管之接收機，則非有直流電不可。最近盛行之交流接收機，即係利用供給電燈之交流，以接收無線電話，不必使用各種蓄電池。其附加要件為整流器(rectifier)，濾波器(filter)，及降壓器等。整流器與濾波器之作用，在將交流電變為正當之直流，以供板極電路及柵極電路之用。變壓器則將通常電燈所用之電壓(200伏特或100伏特)降至數伏特，以供燈絲之用。此種接收法，可以省去蓄電池，故佔地不多，而又極便於普通用戶。

§ 399. 短波長無線電。

無線電報使用之天線，有將一部分埋在地下者，故

由此種天線發出之電波，一半在地表面上，一半在地表面下，沿地表面四向傳播而去，如是者曰地波 (ground wave)，同時如全部天線均在地表以上，則由此發出之波與地面無關，在空中傳播而去，如是者，曰天波 (sky wave) 通常通信使用之電波，大都為沿地表面傳播之地波。此項電波，傳播愈遠，受地面吸收之影響愈大，故欲作長距離之通信，必須有鉅大之電力，方足濟事。更據實驗證明，波長愈短之電波，此項吸收作用愈大，故用波長較短之電波，作長距離通信，殊不相宜。但此係就地波而言，如改用天波，關係當然不同。按上層空氣中，有所謂赫維賽德層 (Heaviside layer) 者，其狀態與下層空氣頗異，含有多數之帶電粒子，亦稱離化層 (ionization layer)，距地面之高在 100 仟米至 150 仟米之間。短波 (short wave) 沿地表雖不便於遠距離之傳播，但其天波，傳至赫維賽德層，因有多數電子存在，遂使電波受折射作用，結局折回地面，而達於與發波處距離較遠之地。此種傳播，既不依賴地表面，致被吸收之損失較少，故射程雖遠，亦無須鉅大之功率。

1. 電波能否看見？能否聽見？
2. 任何收音機中，均有一檢波器，何故？
3. (a) 將天線引入屋內，何以接頭處必須銜合？ (b) 繞線至自來水管上最佳，連至煤氣管何以不好？
4. 試用圖輸出數程方法，利用天線以作避雷針，這避雷針何以不必加入一小段保險絲？
5. 時常看見之天線，有幾種形式？
6. 在發送電報將變波變成電波，在接受電報又將電波復原成爲變波，其主要原理爲何？
7. (a) 試比較波長 30 米之電波，與其力能及之最高頻數（每秒振動二萬次）之頻率； (b) 無線電波，何以不能直接發出？
8. 三極真空管使用之 A, D 兩電池組，其功用如何？
9. 假使將 D 電池組，既連至 A 電池之地位上，三極管將受何種影響？
10. 無線電使用之 A, D 兩電池組，用何方法檢查？
11. 收音機內何以須用變壓器？

第九章 真空放電

§ 400. 真空管中放電

在通常狀態之氣體，幾為完全絕緣體。氣體中任何兩點，如有電勢差，則其間之氣體即生應變，其程度隨勢差而增，但有一定極限。超過極限後，若再增高其勢差，氣體不復能堪，遂呈放電。在通常大氣壓力之空氣中，欲其發生長 1 厘米之電花，非有數千伏特之電勢差作用不可，其確值須視兩極形狀，氣體性質，及氣壓大小而定。

圖 375 為各種程度之真空管，兩端封閉，一端有鋁板 C ，他端有鋁線 A ，用導線連至電池，或感應圈，起電機等之陽極及陰極。管內如有空氣，且係通常之大氣壓力，則無放電現象。但如抽去空氣，減小其氣壓，即行放電。放電形狀，隨管內真空程度而異。如管內氣壓已減至 $\frac{1}{3}$ 毫米，則成圖 376 之狀況。陰極 C 之周圍，為青光包住，頗為美觀。其次為暗黑部分，曰第二暗區 (second dark space)，或曰克魯克斯暗區 (Crookes' dark space)，如 D 。再前則有光芒如 N ，曰陰極區 (negative column)，或

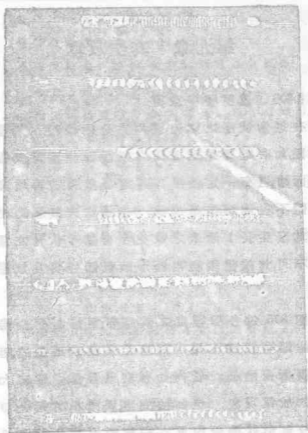


圖 376. 真空管放電



圖 377. 真空管之放電管

陰極電輝(negative glow)。更前又成暗黑，曰第一暗區(first dark space)，或法拉第暗區(Faraday's dark space)又前爲明暗交錯之層，如 P ，曰陽極區(positive column)，或曰陽極電輝(positive glow)，其作帶狀之部分，曰輝紋(striation)，以其間面正對陽極。真空管放電，隨真空程度不同，而生顯著差別者，卽此輝紋之一部分，如圖 375 所示。

氣壓降至數厘米或數毫米之真空管，曰蓋斯勒管(Geissler's tube)。此種真空管放電時所現出之光色，隨其氣壓而異，如用分光鏡檢查，卽可見此氣體所特有之明線。又此種光最易引起螢光及熾光，故若用鈷玻璃造成真空管，則放電時卽有綠色螢光放出。或在管外附一玻璃管，內盛硫酸雞納或其他放螢光之液體，亦同時呈各種奇異之色彩。

§ 401 陰極射線

再將蓋斯勒管內之氣壓減小，陽極電輝當漸次收縮，陰極電輝隨之膨脹。氣壓降至千分之一毫米時，陽極電輝已消盡，陰極近傍之暗區，充滿全管，但此時有物自陰極之板面沿法線方向射出，適於對壁，現出螢光！



圖 377. 陰極射線之直線傳播

其色隨管之玻璃性質而異，遇火石玻璃則藍，遇冕牌玻璃則綠。此種放射物曰陰極射線(cathode ray)，此種程度之真空管，曰克魯克斯管(Crookes' tube)。在此種管

內，如預行封入各種磷光體或螢光體，放電時之光彩，更為奪目。

陰極射線如遇金屬或雲母薄板，則被遮斷，在其對面，現出與板形相似之陰影，如圖 377，其上無螢光，可見陰極射線亦沿直線傳播，與通常光線相同。

又如圖 378，用圓面鋁板作陰極，在其球心裝一鉛板，放電時鉛板受陰極射線照及，結果成爲白熾。又如圖 379，



圖 378. 陰極射線之熱效應

在管內裝兩金屬板 a 及 b ，均可用作陰極，在其前方放一金屬板，上開兩窗，如 d 及 e ，則有陰極射線由窗通過。單用 a 作陰極時，陰極射線由 d 而進；單用 b 作陰極時，由 e 而進； a 及 b 同時使用

時，則成爲沿 dg 及 eh 而進之兩條陰極射線流。



圖 379 陰極射線之相互排斥

由此可證陰極射線有互相排斥之作用。又在陰極射線進行之垂直方向上適用磁場，則其進路即生偏轉，如圖 380。

設有導線一條，可以自由運動，其中有電流自陽極流向陰極，如受磁力作用，所起之運動方向，恰與陰極射線之偏轉一致。

陰極射線對於強電場亦生偏轉，但其方向則與電場之方向，正相反對。

如在陰極射線管上開一小窗，用厚約 $\frac{1}{400}$ 毫米之鋁板蓋住，使管內發生之陰極射線，正對此窗口射來，則窗板自成一源，由此向管外各方，亦有陰極射線射出。但陰極射線在空氣中不易通過，故只能在窗口近傍存在，稍遠即滅。此種出於真空管外面之陰極射線，曰勒納爾射線 (Lenard ray)，性質與陰極射線同，有引起熾光或螢光，使照相片感光，及使氣體游離以增加其導電本領等類作用。

圖 380 陰極射線之磁效應

圖 380 陰極射線之磁效應

圖 380 陰極射線之磁效應

圖 380 陰極射線之磁效應

圖 380 陰極射線之磁效應

§ 402. 電子.

由陰極放射而出之陰極射線，經上述各種實驗，知其由帶陰電之粒子組成。如命 m 表此項粒子之質量， e 表其電荷， v 表其速度，而 $\frac{e}{m}$ 則曰荷質比 (specific charge)，由實驗求得

$$\frac{e}{m} = 1.769 \times 10^7 \text{ 每克電磁單位.}$$

不問發生方法如何，用作電極之物質種類如何，此值均不變。在電解現象中， $\frac{e}{m}$ 之最大值為氫游子之荷質比，

$$\text{即 } \frac{e}{m_H} = 0.957 \times 10^8 \text{ 每克電磁單位.}$$

兩相比較，可知陰極射線粒子之荷質比，約等於氫游子之荷質比之 1,800 倍。又據實驗知氫游子之 e ，與陰極射線粒子之 e 同，故陰極射線粒子之質量，約等於氫游子質量之 $\frac{1}{1,800}$ ，實為現今所知各種質量中之最小者。此項質量最小之粒子，曰陰粒 (negative corpuscle)，亦稱電子 (electron)。電子速度 v ，雖亦可由上法推算，但其值並不定，與放電時之電壓 V 有密切關係。如 V 之單位用伏特，則其關係應為

$$v = 5.95 \times 10^7 \sqrt{V} \text{ 每秒厘米.}$$

例如 $V = 20,000$ 伏特時，放出電子之 v ，當為 8.4×10^9 每秒厘米。

§ 403. X射線

陰極射線與玻璃管壁碰撞，則發螢光，同時由此另有一種放射線四向射出，其性質與陰極射線及通常光線均不同，曰X射線(X-ray)，或稱倫琴射線(Röntgen ray)可照圖 381 之法實驗之。陰極用鋁製成，作凹球面形

其軸與對陽極作 45° 之傾斜，由陰極發生之陰極射線，與球面各部分均垂直，故集中於其焦點。在此焦點位置上裝一鉛製之靶(target)，故此種X射線管(X-ray tube)又有焦點管(focus tube)之稱，為發生X射線最簡單之物。陰極射線集中後，與鉛



圖 381. X射線管

靶作猛烈之碰撞，結果成為X射線，四向射出。

如取照相片一枚，裝在暗盒內，或用不透過通常光線之黑色厚紙包住，放在X射線通路中，而將一手平放於其上，經X射線照後，紙內之照相片，即已感光，結果成為圖 382 所示之X相片。

此管用久，因內部氣體逐漸稀薄，不堪使用，故由個



圖 382. X 光片

作陰極，如圖中左方。陽極為一鎢板，在圖中右方。管內真空程度極高，更在焦點管千倍以上。雖將兩極連至高壓電源亦不放电。使用時，先連鎢絲於電池組 B，使其中約有 4 安培之電流通過，因此成爲白熾，由鎢絲發射電子，然後方能放电。鎢絲外面所套之銅

面預行封入一銅管，而用玻璃管保護之。如管內真空太高，則除去其玻璃管，用酒精燈燒熱銅管，使氬氣透入管內以作補充。

比焦點管更進一步，則有古力瑪管 (Coolidge tube)，其構造及形狀如圖 383。

用鎢絲繞成螺線，外套銅管

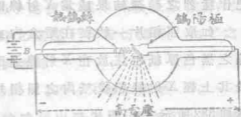


圖 383. 古力瑪管

管，目的在使電子集中，以高速度向陽極射去，由此激發 X 射線。管內真空程度愈高，所發生之 X 射線之透過物質之本領愈強，如是者，曰硬性 X 射線 (hard X ray)。反之，透過本領較弱者，曰軟性 X 射線 (soft X ray)。

§404. X 射線之特性

X 射線與陰極射線不同，對於玻璃管及大多數不透明之物質，均能透過；對於磁力作用亦不起偏轉。此種放射線又與通常光線不同，決不能使用通常方法發見其反射、折射、干涉，及偏極化等現象。其重要性質如下：

(1) 激發螢光作用：硫酸鋯或鉍氟化鋇等之晶體，受 X 射線照及，即發螢光。故用此種物質塗於板上，以承 X 射線，板上即現螢光，是為螢光板。

(2) 透過物質作用：各種物質對於 X 射線之吸收程度，各有不同。例如放螢光板於 X 射線管以前，使其背面正向 X 射線管，以手掌夾於板與管之間察之，因骨較肉，吸收 X 射線之量多，故掌內之骨，可以明瞭看出，與圖 382 所示者，完全相同。對於鉛板可透過數毫米之厚，但一般金屬，對於 X 射線之吸收力，均頗強大。

(3) 感光作用: X射線對於紙張,亦能透過,故遇用黑紙密封之照相片,亦通行無阻,如圖 382 即用此法照取之 X 相片。

(4) 氣體游離作用: X射線由空氣中通過,則空氣發生游離,成爲導體。故帶電後之驗電器,一遇 X 射線,其張開之金箔,立即垂下。

§405. X射線之本性

關於 X 射線之本性,有斯托克斯(Stokes)之學說,以爲 X 射線係在極短促之時間內發生之以太的脈動,而非連續之振動。因陰極射線與管壁碰撞時,以極大速度飛來之電子驟然停止,遂令電磁力發生劇烈變化,成爲電磁波,四向傳播而去。電子形體極小,遠在陰極射線中各電子相互距離之下,故一電子與器壁碰撞後,須更歷相當長久之時間,次一電子方能到達器壁,造成第二次之新波。此種各個隔離之電波,陸續發出,即成爲 X 射線。

表 20 各種電磁波之波長範圍

名稱	波長範圍
微波	$2.4 \times 10^3 - 0.083,15$ 厘米
紅外線	$0.084,3 - 7.5 \times 10^{-5}$ 厘米
可見線	$0.7 \times 10^{-5} - 3.6 \times 10^{-5}$ 厘米
紫外線	$3.6 \times 10^{-5} - 23.125 \times 10^{-5}$ 厘米
X射線	$12.55 \times 10^{-5} - 0.123 \times 10^{-5}$ 厘米
γ射線	$0.071 \times 10^{-5} - 0.03 \times 10^{-5}$ 厘米

經用品體研究，得認識 X 射線之干涉，折射，及反射等現象。即 X 射線與通常光線相異之點，僅波長不同而已。茲將各種電磁波之波長範圍列舉之，如表 20。即 X 射線之波長約為最短之紫外線波長之 $\frac{1}{4}$ 。

§ 406. 光電管。

絕緣之金屬板，如遇有波長適宜之紫外線照及，即有電子自金屬板中逸出，結果使此板帶陽電。氣體如遇波長適宜之輻射線照及，則起游離作用。凡如此類由光之作用使氣體，金屬板或其他之物質，發生電子分離之現象，曰光電效應 (photo-electric effect)，由此逸出之電子，曰光電子 (photo-electron)。

各種物質之中，以鉀，鈉，銣等類之鹼土金屬之光電效應，特別顯著。如於真空球內壁，塗上此種金屬一薄層，如圖 334 之 *O*，僅留左邊小孔不塗，且此處管壁，特用水晶製成，以防吸收紫外線。再於真空球中央懸一金屬輪或板，



圖 334. 光電。

如A作陽極，塗鉀之層作陰極，使光由左方進入球內，則鉀層受光電效應，有電子發出。將A及C連結於乾電池B之陽極及陰極，中插入一電流計G，即見沿圖中箭頭所示之方向，有電流通過。如是之真空管，曰光電管 (photo-electric cell)，由此通過之電流與所受之光成正比。由光電管中通過之電流雖微弱，但可用三極管放大，且異常敏銳，現今盛行之有聲影片，電視等，均利用此管而成。

§407 有聲電影

現今盛行之有聲影片 (talkie)，種類頗多，式樣各別，其最簡單者為維他風 (vitaphone)，係將通常之影片與留聲機結合而成，使影片之轉換速度，與留聲機之轉盤轉動速度，同一步驟。將唱針之振動傳入於磁場內之小線圈，由此發生一種振動電流，與留聲機所發之音相應，再將此項振動電流放大後，用揚聲器放出即成。此法雖極簡單，但因完全同一步驟，頗非易事，往往有言行不能一致之缺憾。更進一步，有羅托風 (photophone) 摩飛遜 (movietone) 等，其原理完全不同，用通常影戲機將實物之動作照下，用微音器將同時所發之音，轉變成

為強弱變化之電流，再用若干三極管合成之功率放大器 (power amplifier) 加以放大，然後用導線送入影戲機後方，使其中裝設之電燈，隨電流強弱而生明暗變化，照在畫片之傍，遂成為淡淡條痕。

通常影片中之圖畫，其寬約為 22 毫米，而此種條痕之寬，僅 3 毫米而已，由此照

成之影片，如圖 385，在其右側，多一系列淡淡條痕，夾於圖畫與邊之間，即聲跡 (sound track)。



聲跡

圖 385 有聲影片

開演時之理，

與前正相反對。

於通常影戲應有者外，須加一揚聲器 L ，如圖 386，放大器 A ，光電管 P ，及電燈 O 。由 O

發出之光，強度恆

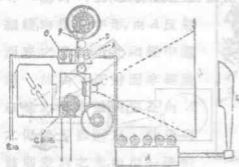


圖 386 開演有聲影片之設備

一定不變，經前面透鏡集中後，射至聲跡上，使透過之光隨之成爲強弱。此種強弱變化之光，達於光電管，引起強弱變化之電流，經放大器放大後，再由揚聲器發出強大之聲，與照取時之聲相同。故一面觀畫，一面可聞其聲。

§ 403. 傳真電報。

傳真電報 (telephotography) 亦係利用光電管而成其構造分發送及接收兩部。發送部如圖 387，將字畫或相片貼在圓筒 A 上，由強光源 B 照相上一點，經相片反射入於 D 內，進入光電管 C 。相上之點暗黑，則進入 C 之光弱；相點明亮，則進入 C 之光強。故經此光電管通過之電流，隨相點明暗而生強弱變化。一方面 A 以

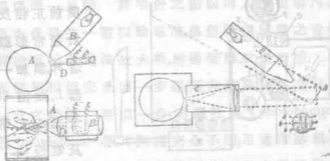


圖 387 發送部

圖 388 接收部

一定速度繞軸而轉，隨轉隨沿軸線方向略進。因此 B 所照及之點，遍及於相片全部，無一遺漏。結果成爲強弱不同之電流，次第由光電管通過。更用若干個三極管，將此微弱電流放大，傳至遠地。接收時，如圖 388，由遠地傳來之電流，經由一種感覺極敏之電流計，曰示波器 (oscillograph) 中流過。來電強，則示波器之偏轉大；來電弱，則示波器之偏轉小。器中裝一小反射鏡 A ，另用一強烈之光源 B 照之。如鏡 A 之偏轉愈大，反射後之光愈降至下方。此處亦裝有一圓筒 C ，其右端有數條細綫，均作 J 字形，由 A 反射而來之光，即由此細綫中通過。故由 A 反射而來經過細綫之光之強弱，完全由 A 之偏轉多寡而定，此項有強弱差別之光，如用一透鏡集中後，射至圓筒上所捲之



圖 389. 由德國柏林用無線電送至南京之傳真電報

或光紙上，即應其強弱，現為淺淡之光點。紙與圓筒，亦與發相處之圓筒，以同一速度隨轉隨進，俾光點遍及於紙上。將受光後之紙取下顯像後，即成為與所發之相或字畫完全相同之相片。

以上係就有線電之方法而言，近更擴充之可用無線電傳達，其原理仍大致相同。第一次由德送至京之傳真電報，如圖 389 所示。

§ 409. 電視

傳真電報須時 4 分鐘始克完成一六英寸大小之照片或字畫，而電視 (television) 則須與活動影戲同一速度，即每 $\frac{1}{16}$ 秒，必更換一片，方能使視覺連成一片。其法係用一圓板，周圍開若干細孔，孔內各有一透鏡，排列成螺旋狀，經此等透鏡造成之像，當然不在同一點上。由物反射而來之光，通過此等透鏡後，再經由一圓板上之細孔，分割成為若干小光點，而達於第三板，其上有螺旋形細縫一條，每分鐘約轉動四千次，使各光點或通或斷，通過者即達於光電管上，隨其明暗而生強弱不同之電流，經三極管放大後，再用電線或無線電送至遠處，如圖 390 所示，在接收處受到此項強弱不同之電流，再經

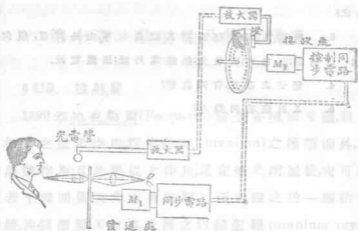


圖 300. 電視

一度放大，然後用氖管接受之。氖管中之光亮即隨電流強弱而變。仍用同一之孔板，即可將各光點造成之像，聯合成爲一氣。如收發兩處使用之孔板之孔數，及轉動之速度，完全同步 (synchronous)，則聯合後即現成同一之像，步調略有參差，像即不明。且每 $\frac{1}{16}$ 秒，更換一片，放在觀者眼中，與看活動影戲相同。

問題第三十二

1. 每一電花出現，即發生一列之以太波，有何證據？
2. 陰極射線爲帶陰電之微粒，有何實驗證據足以證

第十章 放射性及物質構造

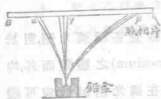
§ 410. 放射質.

1899年柏克勒爾(Becquerel)檢查各種磷光體，對於照相片之感光作用，證實除鈾(uranium)之鹽類而外，均無此種作用；且此項感光作用，雖在磷光消滅後，尚可繼續若干時間，與磷光本身無關。因此歸之於一種新放射線，性質頗類X射線，而稱之曰鈾射線(uranium rays)或曰柏克勒爾射線(Becquerel rays)。其後經斯密德(Schmidt)發見釷(thorium)之鹽類，亦有此現象。於是凡能自然放射類似於X射線之物質，均稱之為放射質(radio-active substance)，其性質則曰放射性(radio-activity)。放射性最顯著之物質為鐳(radium)，由居里(Curie)夫婦發見。

§ 411. 放射質之射線.

由放射質發出之放射線，有感光作用，有激發磷光作用，有使氣體游離之作用等。此外受磁場作用或受電場作用時，放射線不作直線傳播而生偏轉，且其偏轉

亦種種不一，情形頗複雜。又遇有阻礙之物質時，其透過之本領亦強弱互異。由此種種差別，可知此種放射線並不單純，更經種種檢察，始判明其由三種放射線混



合而成。圖 391 之鉛盒，為

盛鐳鹽之器，作用之磁場方

向與紙面垂直，且自上而下

時，此三種放射線之偏轉，各

不相同。偏向左方，偏角不

甚大者，曰 α 射線 (α -ray)；偏向右方，角度較大者，曰 β 射線

(β -ray)；完全不偏者，曰 γ 射線 (γ -ray)。此三種放射線

透過物質之本領之比約為 1 : 100 : 10,000，而其對於氣體

之游離作用之強弱，則與此為反比例。

經種種研究，知 α 射線，實為一種微粒，故又稱為 α

質點 (α particle)，與帶有陽電之氦原子完全相同。 β 射

線則帶陰電，故其在磁場內之偏轉，與帶陽電之 α 微粒

相反，其種種性質，均與通常之陰極射線相同，故 β 質點

(β particle) 不外通常之電子而已。 γ 射線不受磁場影

響，故與 α 射線及 β 射線，性質迥異，實為波長極短之 X

射線。鐳之所以能使照相片感光，即由於 γ 射線之作

用而來。

§ 412. 放射質之蛻變。

鐳之原子量為 226，由鐳通常有一種氣體發生，曰鐳射氣 (radium emanation)，實為一種元素，曰氡 (radon) 其原子量等於 222，用圖 392 所示之方法，即可證明之。A 內盛溴化鐳溶液，B 及 C 內盛螢光性物質。轉閉管塞 P 及 R，放開 Q，則 B 內即有螢光現出，閉 Q 開 P，則 C 內現出螢光，B 內之光轉弱。如將 C 浸入液態空氣，使其冷卻，則 B 內之光，即完全消滅。由於 B 內之氣，受冷凝結於 C 內所致。再將 C 由液態空氣內取出，B 內又有螢光可見，即前此凝結之氣，又汽化成為氣體矣。再開 Q，又有氣送出，B、C 同時復發螢光。將 P 閉塞，螢光減小，約歷 4 日，此之強度減去一半，可知氡又變為其他之物質矣。



圖 392.
放射質之實驗

同樣一切放射質均次第變化成為別種物質之現象，曰蛻變 (disintegration)。鐳蛻變成氡，氡又蛻變成鐳 A (radium A)，鐳 A 又蛻變成鐳 B (radium B)，如是遞次蛻變，最後達於非放射質始已。每一變化，均有一定不移之期間。不僅鐳如此，其他之放射質，莫不如此。例

如鈾 X (uranium X), 約歷 25 日, 必減去一半, 即有一半已蛻變成爲他物。一切放射質, 其作用減成一半所要之時間, 曰其半化期 (half value period), 其值愈小者, 蛻變愈速, 同時放出之放射線愈強。如以 0.693, 15 除半化期, 即得放射性減成 37% 所要之時間, 是曰平均壽命 (average life)。如命 P 表其半化期, L 表其平均壽命, 兩者間之關係當如下:

$$P = 0.693, 15 L$$

命 λ 表 L 之倒數, 即 $\lambda = \frac{1}{L}$, 此 λ 曰蛻變常數 (constant of transformation), 即蛻變常數之值愈大者, 其變化之進行愈速。

由鐳變成之氣, 歷時愈久, 所積愈多, 但同時氣又必蛻變成爲鐳 A, 故不能無限增多, 應有一極大值; 超過此數以後, 或暫時不變, 或轉形減少。凡由甲變成乙之速度, 與由乙變丙之速度如恰相等, 則乙之量即成爲定值, 而甲與乙之比, 亦保持定值, 如是之狀態, 稱曰放射平衡 (radio-active equilibrium)。與鐳 1 克成爲放射平衡之氣之質量, 定爲測鐳之單位, 曰 1 居里 (curie)。鐳之分量極微, 不敷用 γ 射線量度時, 可間接比較氣之分量推出之。通常量度溫泉中所含有之鐳之分量, 即用此法

§ 413. 放射性元素之系統

元素中具有放射性者，曰放射性元素 (radio-active elements)，其數頗多，且有一定系統，遞變而成。統計獨立系統有三：(1) 曰鈾系 (uranium system)，係由鈾變而成者；(2) 曰錒系 (actinium system)，係由錒變而成者；(3) 曰釷系 (thorium system)，係由釷變而成者。但據最近研究，錒系實為鈾系之一分枝，故嚴格言之，僅有兩系而已，如表 21。

表 21. 放射性元素之系統

原子序數	鈾系	錒系	釷系	名稱
92	U			U
91	U ₂₃₄			U ₂₃₄
90	U ₂₃₅			U ₂₃₅
89	Pa			Pa
88	Th			Th
87	Th			Th
86	Th			Th
85	Th			Th
84	Th			Th
83	Th			Th
82	Th			Th
81	Th			Th
80	Th			Th
79	Th			Th
78	Th			Th
77	Th			Th
76	Th			Th
75	Th			Th
74	Th			Th
73	Th			Th
72	Th			Th
71	Th			Th
70	Th			Th
69	Th			Th
68	Th			Th
67	Th			Th
66	Th			Th
65	Th			Th
64	Th			Th
63	Th			Th
62	Th			Th
61	Th			Th

表中 \rightarrow 表放射 α 射線， \rightarrow 表放射 β 射線，同列者為同位素，又各種常數之值，如表 22。

表 22. 放射性元素之各種常數

元素	原子序	原子序	同位素	放射線	半化期	平均壽命	變換常數
UI	238	92	U	α	4.5×10^8 年	6.5×10^8 年	4.8×10^{-18}
UX ₁	234	90	Th	$\beta\gamma$	28.8 日	34.4 日	8.37×10^{-7}
UX ₂	234	91	Pa	$\beta\gamma$	1.17 分	1.69 分	9.9×10^{-3}
UZ	234	91	Pa	β	6.7 時	9.7 時	2.87×10^{-3}
UH	234	92	U	α	0.9×10^5 年	1.3×10^5 年	2.4×10^{-14}
UY	230	90	Th	β	24.6 時	36.5 時	7.81×10^{-6}
Io	230	90	Th	$\alpha\gamma$	9×10^4 年	1.8×10^5 年	2.4×10^{-13}
Ra	226	88	Ra	$\alpha\beta\gamma$	1,580 年	2,260 年	1.89×10^{-11}
Ru	222	86	Rn	α	3.826 日	5.518 日	2.007×10^{-6}
RaA	218	84	Po	α	3.05 分	4.40 分	3.78×10^{-2}
RaB	214	83	Pb	$\beta\gamma$	26.8 分	38.7 分	4.31×10^{-4}
RaC	214	83	Bi	$\alpha\beta\gamma$	19.5 分	26.1 分	5.98×10^{-4}
RaC'	214	84	Po	α	約 10^{-8} 秒	約 10^{-8} 秒	$10^{11} (?)$
RaD	210	82	Pb	$\beta\gamma$	16 年	23 年	1.87×10^{-9}
RaE	210	83	Bi	$\beta\gamma$	4.85 日	7.0 日	1.08×10^{-8}
RaF	210	84	Po	$\alpha\gamma$	136.5 日	197 日	5.88×10^{-9}
RaG'	206	82	Pb	—	—	—	—
RaC''	210	81	Tl	$\beta\gamma$	1.32 分	1.90 分	8.7×10^{-3}
RaD''	206	82	Pb	—	—	—	—
Pa	?	91	Pa	$\alpha\beta\gamma$	2.0×10^4 年	2.9×10^4 年	1.09×10^{-12}
Ac	?	89	Ac	β	29 年	29 年	1.08×10^{-9}
RdAc	?	90	Th	$\alpha\beta\gamma$	18.9 日	27.3 日	4.24×10^{-7}
AcX	?	88	Ra	$\alpha\beta\gamma$	11.2 日	16.2 日	7.14×10^{-7}
An	?	88	Ra	α	8.82 秒	8.83 秒	0.177
AcA	?	84	Po	α	1.5×10^{-8} 秒	2.1×10^{-8} 秒	4.7×10^3
AcB	?	82	Pb	$\beta\gamma$	59.0 分	51.9 分	8.21×10^{-4}
AcC	?	83	Bi	$\alpha\beta$	2.16 分	6.12 分	5.35×10^{-3}
AcC'	?	84	Po	α	約 5×10^{-8} 秒	7×10^{-8} 秒	140
AcD'	?	82	Pb	—	—	—	—
AcC''	?	81	Tl	$\beta\gamma$	4.76 分	6.87 分	2.43×10^{-3}
AcD''	?	82	Pb	—	—	—	—
Th	232	90	Th	α	1.65×10^{10} 年	2.4×10^{10} 年	1.8×10^{-16}
MsTh ₁	235	88	Ra	β	6.7 年	9.7 年	3.26×10^{-9}
MsTh ₂	228	89	Ac	$\beta\gamma$	5.95 時	8.47 時	3.28×10^{-6}
RdTh	228	90	Th	$\alpha\beta\gamma$	1.90 年	2.74 年	1.16×10^{-8}
ThX	234	88	Ra	α	3.84 日	5.25 日	2.20×10^{-6}
Ta	230	86	Rh	α	54.5 秒	78.7 秒	1.97×10^{-2}
ThA	216	84	Po	α	0.14 秒	0.29 秒	4.95
ThB	212	83	Pb	$\beta\gamma$	10.6 時	15.3 時	1.62×10^{-6}
ThC	212	83	Bi	$\alpha\beta$	60.5 分	87.8 分	1.91×10^{-4}
ThC'	212	84	Po	α	約 10^{-11} 秒	10^{-11} 秒	10^{11}
ThD'	208	82	Pb	—	—	—	—
ThC''	208	81	Tl	$\beta\gamma$	2.20 分	4.62 分	3.61×10^{-3}
ThD''	208	82	Pb	—	—	—	—
K	39.1	19	K	β	—	—	—
Rb	85.1	37	Rb	β	—	—	—

由鐳、錒、釷、釷等放射質蛻變而成之最後之物質，其原子量等於 206, 208 及 208，其化學性質及物理性質，均與通常之鉛相同，任任何種化學方法，均不能分離之，如是者曰同位元素 (isotopes) 不僅放射性元素而已，即其他之元素亦然，均各有其同位素混合存在。週期表內，同位素占同一之位置。

§ 414 物質之構造

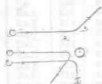
由真空放電及放射性之研究，知元素陸續射出電子，遞變而成別一元素，其放出之電子，異常渺小，但其質量及電荷，均有一定不變之值。由此可知，物質之終極應為電子而非原子，原子有若干種，電子只有一種而已。

氣體在高溫，則生光譜，但若光源在磁場內，則一明線分成數條，此種現象稱為最曼效應 (Zeeman effect)，由此可知其光源應為帶電體，由是推算其 $\frac{e}{m}$ ，結果與電子之荷質比完全相同，且知其為陰電，即由電子振動而成此電磁波。

各元素中之電子，各有一定分布，光譜線即由分布狀況而定，受磁力作用而生之光譜線分解，遂亦各不同。

§ 415. 陽核

在通常狀態之原子，不呈電性，故知原子中除電子外，尚有帶陽電之物存在，其電荷之大小與電子之電荷總和相等，符號則相反。由實驗得知 α 質點往往突然改變其徑路，由此可以察知原子內某處有電子存在，某



處有帶陽電之物存在，如圖 333。如用金箔承受此項 α 質點，即可量度其偏轉角度，由此不難算出 α 質點與陽電部分可以接近之最短距離。實驗

圖 333. 陽核之存在

結果，此項最短距離，較原子直徑遙小。

原子直徑為 10^{-8} 級之數字，而此項最短距離，則在 3×10^{-12} 厘米至 3.6×10^{-12} 厘米之間。故知陽電部分之直徑，約為原子直徑之 10^{-4} 倍，

為原子之中心，曰陽核 (positive nucleus)，其電荷亦由此實驗推算之。例如氧之陽核為 $+8e$ ，碳為 $+6e$ 。

§ 416 陽核及電子之作用

陽核在於原子中心，電子在其周圍。陽核之直徑雖小，其質量卻甚大。一原子之質量，大部分均在其陽核上，故將陽核質量，看成原子全部之質量，亦無不可。

由原子射出之光線，X射線，及其他種種輻射線，均由於其電子之作用，而原子與原子之化合，亦其電子使然。陽核之性質如不同，則其周圍存在之電子數及其分布狀況，均隨之而異，同時化學作用亦有差別。故陽核對於化學作用，亦有間接之影響。故欲研究原子之構造 (atom structure)，非從其陽核及電子兩方面着手不可。

§ 417 陽核之電荷及質量

由放射質射出之 α 質點，帶有陽電荷，故知其出自陽核。又此時放出之 β 射線，由其關係亦可斷定其由陽核而來。簡言之，放射作用為陽核所起之現象。陽核上亦有若干之陰電，其陰陽兩種電荷之差，即等於周圍電子電荷之和。準此，則原子放出放射線，及與他種物質化合，均屬於其電荷，與其質量無涉。且陽核之電荷為電子電荷之整數倍，故若依此倍數大小，將原子排列，則其特性，即按此順序逐漸變化而去。如是之數字曰原子序數 (atomic number)，其值約等於各原子量之半，用此表示各元素之特性，較之用原子量，更為切當。

據刺德福 (Rutherford) 之研究，氦原子之陽核，與一

電子恰相當，不能再行分割，是曰質子(proton)，一切元素之原子，均由質子與電子合成。質子之質量即氫原子之質量，其電荷則為 $+e$ 。例如 α 質點之電荷為 $2e$ ，其質量等於氫原子質量之4倍，故氦之陽核，係由4質子及2電子合成，周圍則有2電子環繞於外。其他各種元素之原子構造，均已闡明。

問題第三十三

1. 放射性與通常之化學作用有何不同？

2. 有何簡易方法鑑別物質是否具有放射性？

3. 試舉出目力所不能見之四種放射線，並各舉出一種用途。

4. 假定鉛原子放射出一個 α 質點，變成另一物質，此新物質又再放出一個 α 質點，又成第三物質。則此第三物質之原子量若干？

附 錄

下 冊 問 題 答 數

問題第十八(290頁—291頁)

- (7) 320 平方尺, (8) 240 釐米, (9) 18 燭光, (10) (i) 1.58 尺;
(ii) 1.12 尺, (11) 距 100 燭光 $10\frac{2}{3}$ 尺, (12) $11\frac{1}{2}$ 秒。

問題第十九(305頁—308頁)

- (17) 130° (18) 2° (19) 2 尺 8 寸, (20) 10 釐米, 實, 倒;
(21) 2 釐米, (22) 15 釐米, (23) $22\frac{1}{2}$ 釐米, (24) 1 倍中,
(25) 12 釐米, 3 倍長, 虛像正立, (26) $6\frac{6}{7}$ 寸, (27) 6 寸,
(28) 3 尺遠, (29) 1 寸 7 分, (35) $19^\circ\frac{1}{2}$, (36) 32° ,

問題第二十(315頁—317頁)

- (7) (a) 16.3 釐米, 倒立, 實像; (b) 23.5 釐米, 倒立, 實像; (c)
 $26\frac{2}{3}$ 釐米, 正立, 虛像, (8) 15 釐米, (9) 30 寸, (10) 3 倍大,
(12) (a) 24 釐米, (b) 3 倍大, (c) 正立, (d) 虛像, (13) $3\frac{1}{3}$ 釐米,
凹透鏡, (14) (a) 15 釐米, (b) 5 釐米, (15) 3 尺; 1 : 9,
(16) 12.5 釐米, (17) 16.875 釐米。

問題第二十一(332頁—334頁)

- (11) $23\frac{4}{7}$ 寸, 伸長, (12) $1\frac{1}{9}$ 尺; $\frac{2}{3}$ 尺, (13) 5.04 寸
(14) 正立虛像, 明視距離, 6 倍, (15) 7 寸 5 分, (16) (a) 11 寸;

(b) 10 倍; (c) 200 倍. (17) 20 釐米. (18) 甲 03.5 釐米; 乙 37.5 釐米.

問題第二十三(372 頁—373 頁)

(13) 6 達因 (14) 4 厘米.

問題第二十四(391 頁)

(10) 64:15.

問題第二十六(428 頁—432 頁)

(9) 48 安培 (10) 0.3 安培. (11) (i) 5 伏特; (ii) 125 伏特.
 (12) 287.5 歐姆. (13) 110 伏特. (14) 10 安培. (15) 90 伏特.
 (16) 95.83 歐姆. (18) .56 伏特. (19) 900 尺. (21) 448 歐姆.
 0.5 安培. (22) 10 歐姆. (23) 8 歐姆. (24) (a) 4 安培;
 (b) 220 伏特; (c) 400 伏特. (25) (a) 20 歐姆; (b) 75 伏特; (c) 100
 伏特. (26) 50 歐姆. (27) 24 歐姆. (28) 12 歐姆. (29) 250
 歐姆. (30) 27 伏特. (31) $74\frac{2}{3}$ 歐姆. (32) (a) 24 伏特;
 0.072 歐姆. (b) 2 伏特; 0.0005 歐姆. (33) (a) 0.80 安培; (b) 0.140
 安培. (34) 0.556 歐姆.

問題第二十七(441 頁—443 頁)

(10) 3 元. (11) 220 瓦特. (12) $\frac{5}{11}$ 安培; 242 歐姆. (13)
 825 仟瓦特. (14) 33 歐姆. (15) 37.5 瓦特. (16) 3,025 瓦特.
 (17) 181 磅. (19) 38.8 馬力. (20) 24,000 焦耳 (21) 414,720 卡.
 (22) 9 分 8 釐. (23) $41\frac{2}{3}$ 燭光. (24) 2 安; 56 歐姆 (25) 27 達.

問題第二十八(452 頁)

(1) 2.0121 克. (2) 20 安培. (3) 14 分 56 秒. (4) 0.302 克.

英 文 索 引

A

A battery A 電池組 512
 absolute 絕對的 17
 absolute temperature 絕對溫度 185
 absolute unit of force 力之絕對單位 42
 absolute zero-point 絕對零度 186
 absorption 吸收 169
 absorption pressure 吸收壓 ... 169
 absorption spectrum 吸收光譜 344
 acceleration 加速度 26
 acceleration of a falling body 落體之加速度 30
 acceleration of gravity 重力加速度 30
 accommodation of the eye 眼之調節 320
 accumulator 蓄電池 413
 achromatic lens 消色差透鏡 ... 339
 achromatic prism 消色稜鏡 ... 339
 acids 酸類 377
 acoustics 聲學 244
 actinic ray 化學線 283
 actinium system 錒系 551
 action at a distance 超距作用 379
 adhesion 附着力 132
 adsorption 吸附 169
 advance 飛躍 436
 aeroplane 飛機 60
 air column 氣柱 263
 air condenser 空氣容電器 ... 400
 air pump 空氣唧筒 159
 air thermometer 空氣溫度計 ... 187
 airship 飛艇 157
 alloy 齊 166
 alternating current 交流 ... 479
 alternating current dynamo 交流發電機 481
 alternating current transformer 交流變壓器 489
 alternating electromotive force 交流電勢 479

aluminium bronze 鋁銅 449
 amalgam 汞齊 409
 amber 琥珀 377
 anisotropic eye 非正視眼 320
 ammeter 安培計 463
 ammonia 氨 204
 ammonium chloride 氯化銨 ... 411
 amorphous body 非晶體 167
 ampere 安培 415
 ampere hour 安培小時 414
 Ampere's rule 安培定則 454
 ampere turns 安培匝數 456
 amperometer 安培計 463
 amplification 放大作用 513
 amplitude 振幅 90
 aneroid 無液氣壓計 153
 angle of amplitude 幅角 92
 angle of diffraction 繞射角 ... 353
 angle of friction 摩擦角 99
 angle of incidence 入射角 238
 angle of reflection 反射角 238
 angle of refraction 折射角 238
 angle of repose 靜止角 100
 angular acceleration 角加速度 78
 angular displacement 角移 ... 77
 angular quantity 角量 78
 angular velocity 角速度 77
 anion 陽面游子 445
 annular eclipse 環蝕 285
 anode 陽極 444
 antenna 天線 503
 aperture 孔徑 264
 apparent coefficient of expansion 視膨脹係數 161
 apparent weight 視重量 139
 applied force 運用力 107
 aqueous humor 前房液 318
 arc lamp 弧光燈 437
 Archimedes' principle 阿基米得原理 139
 arithmetical addition 算術加法 21
 arm of bridge 橋臂 425
 arm of couple 力偶臂 83

- arm of lever 槓桿臂 112
 armature 電樞 481
 armature 銜鐵 457
 artificial magnet 人造磁鐵 357
 astigmatism 像散性 322
 astronomical telescope 天文望遠鏡 328
 astronomical unit of mass 天文學上之質量單位 55
 atherman 不透熱射熱體 190
 atmosphere 大氣 161
 atmospheric pressure 大氣之壓力 151
 atmospheric pressure 大氣壓 153
 atom 原子 121
 atom structure 原子之構造 555
 atomic number 原子序數 555
 atomic weight 原子量 445
 audible frequency 音頻 509
 audio frequency amplifier 音頻放大器 525
 automobile 汽車 225
 auto transformer 自耦變壓器 491
 auxiliary axis 輔助軸 294
 average life 平均壽命 550
 average velocity 平均速度 25
 axis of abscissa 橫軸 17
 axis of lens 透鏡軸 309
 axis of ordinate 縱軸 17
 B
 B battery B 電池組 512
 balance 天平 14
 ball-bearing 球軸承 108
 ballistic galvanometer 衝擊電流計 465
 balloon 氣球 155
 bar 巴 139
 bar magnet 條形磁鐵 357
 Barlow's wheel 巴羅輪 462
 barograph 氣壓記錄器 154
 barometric height 氣壓高度 151
 battery 電池組 428
 beam 梁 14
 beat 拍 252
 Becquerel 柏克勒爾 547
 Becquerel rays 柏克勒爾射線 547
 bell 鈴 487
 bending stress 彎曲應力 125
 binding post 結線柱 427
 biplane 雙翼機 60
 biprism 雙稜鏡 349
 blade 葉板 144
 blind spot 盲點 319
 block and tackle 滑輪組 113
 blue 藍 885
 bob 單錘 91
 body 物體 2
 boiler 鍋爐 191
 boiling 沸騰 211
 boiling point 沸點 175, 311
 bound electricity 束縛電 403
 bow 弓 237
 bowed instrument 拉弦樂器 270
 Boyle-Charles' law 波義耳查理定律 185
 Boyle-Gay-Lussac's law 波義耳耳給呂薩克定律 185
 Boyle's law 波義耳定律 153
 brass instrument 金屬吹奏樂器 271
 break, to 斷 407
 breaking strength 斷點強度 136
 Brewster 布魯斯特 333
 bridge 橋樑 257
 bright-lines spectrum 明線光譜 344
 broadcasting station 廣播電台 508, 518
 Brownian motion 布朗運動 121
 brush 刷 389
 bulb 燈泡 437
 Bunsen's absorption coefficient 本生之吸收係數 169
 Bunsen's cell 本生電池 410
 Bunsen's photometer 本生光度計 238
 buoyancy 浮力 139
 by-pass condenser 旁路電容 516
 C
 C. G. S. electrostatic unit of capacity C. G. S. 佛克制之單位電容 396
 C. G. S. electrostatic unit of potential difference C. G. S. 佛克制之單位勢差 397
 C. G. S. system 厘米克秒制 12
 C. G. S. unit C. G. S. 單位 391
 calorimeter 卡計 192
 calorimetry 量熱學 192
 candle power 燭光 283

capacity 容量 11	clock 鐘 92
capacity of storage battery 蓄電池之容量 414	clock and watch 鐘錶 10
capillary phenomena 毛細現象 170	clockwise 順時計 13
capillary tube 毛細管 171	close, to 趨 406
capillary waves 表面張力波 ... 232	closed manometer 閉管壓力計 159
carbon filament 碳絲 437	closed pipe 閉管 263
carbon filament lamp 碳絲燈 438	cloud 雲 210
carrier current 載體電流 ... 523	coefficient of cubic expansion 體脹係數 178
catgut string 腸腸弦 257	coefficient of friction 摩擦係數 99
cathode 陰極 444	coefficient of kinetic friction 動摩擦係數 101
cathode ray 陰極射線 532	coefficient of linear expansion 線脹係數 177
cation 陰向游子 445	coefficient of mutual induction 互感係數 474
cause 因 4	coefficient of rolling friction 滾動摩擦係數 101
cell 電池 407	coefficient of self induction 自感係數 474
cello 大提琴 270	cohesion 內聚力 122
Celsius scale 攝氏溫度 175	collimator 準直管 336
center of buoyancy 浮力中心 130	colloid 膠質 168
center of curvature 曲率中心 294	comb 梳 359
center of gravity 重心 86	combination of pulleys 滑輪組 113
center of mass 質量中心 80	communicating tubes 連通管 135
center of parallel forces 平行力之中心 84	commutator 整流器 478
centigrade 百分度 175	compass 羅盤 306
centimeter 厘米 8	compensated pendulum 補償擺 180
centimeter-gram-second system 厘米克秒制 12	complementary color 互補色 ... 348
centimeter per second 每秒厘米 25	component displacement 分位移 20
centimeter per second per second 每秒每厘米 27	component force 分力 56
central ray 中央光線 318	composition of displacements 位移之合成 20
centrifugal force 離心力 64	compound dynamo 複繞發電機 485
centripetal force 向心力 53	compound light 複光 335
change of states 物態變化 ... 123	compound tone 複音 252
charge, to 帶電 413	compressibility 壓縮性 120
Charles' law 查理定律 183	compression 壓縮力 125
chemical equivalent 化學當量 445	compression pump 壓縮唧筒 ... 161
chemical means 化學方法 ... 403	compressive stress 壓縮壓力 ... 125
Chladni's figure 克萊德尼圖形 261	compressor 壓縮器 204
chlorophyll 葉綠素 345	concave lens 凹透鏡 369
choking coil 抗流線圈 522	concave mirror 凹鏡 394
choroidea 絨衣 810	concentration 濃度 166
chromel 436	condenser 冷凝器 400
ciliary muscles 睫狀肌肉 ... 319	condenser 冷凝器 205
cinematograph 活動影戲 ... 323	condenser 蓄光器 332
circuit 電路 406	conductance 電導 476
circular motion 圓周運動 ... 38	conduction 傳導 189
circular system 弧度法 8	conductivity 電導係數 416
clarinet 喇叭管 371	
climax 436	
clinical thermometer 醫用溫度計 177	

conductor 導體 189, 876
cone speaker 錐形揚聲器 525
conjugate foci 共軛點 292
connected in series 串聯 418
conservation 不滅性 121
conservative system 保守系 74
consonance 諧和 263
constant angular acceleration 等角加速度 78
constant angular velocity 等 角速度 77
constant grating 光柵常數 353
constant of transformation 變 換常數 550
constant of universal gravita- tion 萬有引力常數 55
continuous current transfor- mer 交流變壓器 491
continuous force 連續力 48
continuous spectrum 連續光譜 343
controller 控制器 497
convection 對流 189
converging lens 會聚透鏡 310
convex lens 凸透鏡 309
convexo-concave lens 凸凹透鏡 309
Coolidge tube 古力磁管 533
coordinates 坐標 18
coordinate-axis 坐標軸 17
copper voltammeter 銅電量計 488
cornea 角膜 318
Coulomb 庫侖 89
Coulomb's law 庫侖定律 380, 389
counter-clockwise 反時針 18
counter electromotive force 反電動勢 403
couple 力偶 85
coupling 耦合 507
crank 曲柄 221
crank rheostat 曲柄變阻器 428
crater 隕口 437
critical angle 臨界角 300
critical point 臨界點 200
critical pressure 臨界壓力 200
critical state 臨界狀態 200
critical temperature 臨界溫度 200
Crookes' dark space 克魯克斯 暗區 529
Crookes' tube 克魯克斯管 532
crown glass 冕牌玻璃 339
crystal 晶體 167

crystal detector 晶體檢波器 510
crystalline lens 晶球 318
crystalloid 晶質 168
culmination 中天 9
Curie 居里 547
curie 居里 539
curvilinear motion 曲線運動 19
cycle 循環 235
cylinder 圓筒 159

D

D'Arsonval's galvanometer 約 松世爾電流計 403
Dalton's molecular hypothesis 道爾頓之分子說 131
damped oscillation 阻尼振動 502
damping 阻尼 464
Daniell's cell 丹尼爾電池 410
dark band 暗帶 344
dark line 暗線 337
dash 撇 480
day 日 9
declination 磁偏角 365
deflection 偏轉 187, 300, 463
degree 度 8
dense 稠密 238
density 密度 13
depolariser 去極劑 409
derived quantity 導出量 6
derived unit 導出單位 7
detector 檢波器 503, 509
developing 顯像 330
deviation 偏角 303
dew 露 210
dew point 露點 207
dew-point hygrometer 露點濕 度計 209
dialysis 滲透分析法 168
diamagnetic bodies 反磁體 368
diaphragm 膜片 496
diatherman 透輻射熱體 190
dichromate cell 重鉻酸電池 409
dichromatism 兩色性 347
dielectric constant 介質常數 381
dielectrics 介質 376
diffraction grating 繞射光柵 353
diffraction of light 光之繞射 351
diffusion 擴散 165
dioptrics 光度 323
dip 傾角 365
dip circle 磁傾儀 366

direct current 直流 券 479	
direct current dynamo 直流發電機 481	
direct-vision prism 直視稜鏡 389	
direct-vision spectroscopy 直視分光鏡 339	
direction 方向 55	
direction and sense 方向 20	
direction of motion 運動之方向 19	
discharge 放電 387, 402	
discharge, to 放電 413	
discharging rod 放電棒 493	
discharging tongs 放電叉 402	
disintegration 破壞 549	
dispersion 色散 336	
displacement 位移 19	
dissolution 溶解 166	
dissolving heat 溶解熱 214	
dissonance 不諧和 283	
distance of distinct vision 明視距離 339	
diverging lens 發散透鏡 310	
divisibility 分割性 120	
dot 點 460	
double amplitude 全振幅 90	
double concave lens 凹面透鏡 309	
double convex lens 兩凸透鏡 309	
drift 漂移力 61	
driving rod 推動棒 231	
drum armature 鼓形電樞 482	
dry cell 乾電池 411	
dynamic loud speaker 動力揚聲器 528	
dynamical energy 力學的能 370	
dynamo 發電機 481	
dynamometer 測力計 44	
dyne 達因 42	

E

earpiece 聽筒 508	
earth inductor 地磁感應器 476	
earth plate 地板 480	
earthed 接地 490	
ebonite 硬橡皮 377	
eccentric rod 偏心棒 221	
echo 回聲 247	
eclipse 蝕 285	
eddy current 渦電流 476	
eddy current loss 渦電損失 477	
effort 果 4	
efficiency 效率 107	

effort 努力 107	
elastic force 彈力 120	
elasticity 彈性 120	
electric arc 電弧 437	
electric bell 電鈴 457	
electric capacity 電容 398	
electric charge 電荷 381	
electric current 電流 406	
electric energy 電能 435	
electric fan 電扇 487	
electric flatiron 電熨斗 435	
electric furnace 電爐 440	
electric lamp 電燈 437	
electric lines of force 電力線 263	
electric machines 發電機 387	
electric motor 電動機 485	
electric oscillator 電振器 503	
electric power 電功率 434	
electric resonance 電共振 505	
electric screening 電屏 386	
electric spark 電花 402	
electric wave 電波 503	
electric welding 電焊 440	
electric wind 電風 387	
electrical field 電場 382	
electrical measuring instruments 量電器 463	
electrical potential 電勢 369	
electrical state 電態 375	
electricity 電 375	
electricity 電學 3	
electrification 帶電現象 375	
electrify, to 起電或帶電 375	
electro-chemical equivalent 電化當量 445	
electro-chemical means 電化學方法 408	
electrode 極 389, 444	
electro-engraving 電刻 451	
electro-etching 電蝕 451	
electro-extraction 電鍊 449	
electrolysis 電解 444	
electrolyte 電解質 444	
electromagnet 電磁鐵 453	
electromagnetic induction 電磁感應 469	
electromagnetic theory 電磁理論 283	
electromagnetic theory of light 光之電磁說 379	
electromagnetic wave 電磁波 504	
electro-metallurgy 電冶金 449	
electromotive force 電動勢 407	

electron 電子	330, 334
electron theory 電子論	330
electrophorus 起電盤	387
electro-plating 電鍍	450
electroscope 驗電器	377
electrostatic induction 靜電感應	382
electrostatic influence 靜電感應	382
electrostatic unit of quantity of electricity 電量之靜電單位	381
electrotyping 電鑄	451
elementary wave 元波	235
emission spectrum 發射光譜	344
emission theory 發射說	282
emmetropic eye 正視眼	320
energy 能	70
equilibrium 平衡	68
equilibrium of a body 物體之平衡	68
equivalent 同等	30
erg 爾格	68
ether 以太	282, 379
europium 鈾	344
evaporation 蒸發	211
evaporator 蒸發器	205
Ewing 依英	370
excello	483
excitant 激發劑	409
excitation 激發	483
exciter 激發器	484
exhaust 排氣口	222
exhaust valve 排氣活門	225
expansion tank 膨脹池	191
experiment 實驗	3
explanation 解釋	4
extension 廣延性	119
external force 外力	50
eyepiece 目鏡	324

F

Fahrenheit's scale 華氏溫度	178
farad 法拉	569
Faraday 法拉第	379
Faraday constant 法拉第常數	447
Faraday's dark space 法拉第暗區	531
Faraday's ice-pail experiment 法拉第之冰桶實驗	382
Faraday's law 法拉第定律	445

far point 遠點	320
far-sighted eye 遠視眼	321
feeder 饋電線	487
ferromagnetic bodies 鐵磁體	368
field magnet 場磁鐵	481
field of electrostatic force 靜電力場	392
filament 燈絲	511
film 影片	323
film 軟片	330
final velocity 末速度	29
fire pump 消防唧筒	161
first dark space 第一暗區	381
first finger 大拇指	461
fixed pulley 定滑輪	112
fixing 定像	330
Fizeau's method 菲佐法	250
Fleming's right hand rule 佛來明之右手定律	471
flint glass 火石玻璃	339
float, to 浮	140
fluctuation 漲落	513
fluid 液體	123
focal distance 焦距	296
focal length 焦距	312
focus 焦點	292, 312
focus tube 焦點管	535
fog 霧	210
foot 英尺	12
foot-pound 英尺磅	69
foot-pound-second system 英尺磅秒制	12
force 力	39
force pump 壓力唧筒	161
forced vibration 強迫振動	94
Fortin's barometer 佛廷氣壓計	173
Foucault current 佛科電流	476
Foucault's method 佛科法	250
four stroke cycle engine 四動程機	224
Franklin 佛蘭克林	379
Fraunhofer's line 夫本因和線	333
free electricity 自由電	402
free end 自由端	242
free falling body 自由落體	50
free surface 自由表面	129
free vibration 自由振動	94
freezing mixture 冷劑	213
French horn 法國喇叭	271
frequency 頻率	96
Fresnel 夫萊涅爾	233

Fresnel's mirror experiment 夫萊斯耐之鏡實驗	349	great caloric 大卡	188
friction 摩擦力	88	green 綠	385
friction of fluids 液體摩擦	102	grid 柵極	511
friction wheel 摩擦輪	104	grid condenser 柵極容電器	514
frost 霜	210	grid leak 柵漏阻	514
fulcrum 支點	111	ground wave 地波	527
fundamental principle 原則	5	guide vane 導氣	145
fundamental quantity 基本量	6	guitar 吉魯琴	270
fundamental unit 基本單位	252	gutta-percha 樹膠	377
fuse wire 保險絲	433		
G			
galena 鉛礦	510	half watt	211
Galleas telescope 伽利略望遠鏡	226	hair hygrometer 毛髮濕度計	202
Galileo 伽利略	3	half value period 半化期	550
galvanometer 電流計	463	half-watt lamp 半瓦燈	439
gas 氣體	123	Hamilton's electric reaction mill 哈密爾頓之電反動風車	537
gas-filled lamp 氣氬燈	439	hammer 錘	457
gas thermometer 氣體溫度計	187	hard X ray 硬性 X 射線	537
gasoline 汽油	225	Hare's method 海耳方法	135
gauze 高斯	362	harmonica 口琴	271
Gay-Lussac's law 給呂薩克定律	185	harmonium 愛風琴	271
Gelzler's tube 葛斯勒管	531	harp 豎琴	270
General properties of matter 物質之屬性	119	head water	144
geographical meridian 地理子午面	365	heat 熱	188
geometrical addition 幾何加法	21	heat capacity 熱容量	192
geometrical optics 幾何光學	384	heat engine 熱機	221
governor 節速器	222	heat of fusion 熔解熱	213
grain 粒	238	heat of vaporization 汽化熱	202
gram 克	11	heat wave 熱波	283
gram calorie 克卡	188	Heaviside layer 赫維賽德層	527
gram-centimeter 克厘米	63	height of ascent 昇高	32
gram centimeter per second 克每秒厘米	46	Helmholtz's resonator 赫爾姆霍茲共振器	255
gram equivalent 克當量	447	Heriz 赫芝	579
gram-meter 克米	89	Hertzian wave 赫芝波	508
gram per cubic centimeter 立方厘米克	15	Hesohus 赫斯胡斯	248
gram-weight 克重	43	heterodyne reception 他伯接收	520
graphical representation 圖示法	28	high frequency damped wave 高頻阻尼波	509
graphite 石墨	377	homogeneous ray 單色射線	335
gravitational unit of force 力之重力單位	43	Hooke's law 虎克定律	124
gravitational waves 重力波	232	horizontal component 水平部 分	363
gravity 重力	42	horizontal intensity 水平強度	365
		horn 喇叭	271
		horse power 馬力	69, 134
		horse-shoe magnet 蹄形磁鐵	337
		hot-air heating 熱空氣暖室	110
		hour 小時	10

Huyghens 惠更斯	282	ty 瞬時角速度	77
Huyghens' principle 惠更斯原理	285	instantaneous velocity 瞬時速度	25
hydraulic press 水壓機	133	insulate, to 絕緣	377
hydraulic ram 蓄壓起水機	146	insulator 絕緣體	377
hydrogen thermometer 氫氣溫度計	187	intensity level 壓力強度	129
hydrostatic balance 水秤	142	intensity of couple 力偶之強度	85
hydrostatic paradox 靜液之怪事	186	intensity of electrical field 電場強度	393
hygrometer 濕度計	209	intensity of illumination 照度	287
hypothesis 假設	5	interference 干涉	233
I		interference fringe 干涉條紋	343
ice point 冰點	175	interference of light 光之干涉	343
ideal fluid 理想液體	128	internal combustion engine 內燃機	224
illuminating power 照光本領	287	internal force 內力	51
image 像	238	internal reflection 內反射	350
impenetrability 不可入性	119	internal resistance 內電阻	422
impulse 衝量	48	international standard 國際原器	7
impulse turbine 衝動輪機	223	interrupter 斷接器	458
impulsive force 衝力	48	interval 半日	265
incandescent lamp 白熾燈	437	invar 因瓦	180
incident ray 入射線	236	invisible ray 不可見射線	283
inclination 傾角	85	ion 游子	445
inclined plane 斜面	109	ionization 游離	445
index finger 食指	432	ionization layer 離化層	527
index of refraction 折射率	238, 297	iris 虹膜	318
Indian rubber 橡皮	377	iron core 鐵心	456
indigo 靛	335	isochronism 等時性	92
indium 銦	344	isotonic solution 等滲壓液	183
induced body 感應體	332	isotopes 元素	553
induced current 感電流	469	J	
induced electromotive force 感電動勢	469	joule 焦耳	68
induced magnet 感磁體	367	Joule's law 焦耳定律	438
induced magnetism 感磁	367	Jupiter 木星	290
inducing body 感體	332	K	
induction coil 感應圈	492	Kepler 刻卜勒	8
induction furnace 感應爐	443	key 電鍵	460
inert gas 鈍氣	497	key-board instrument 鍵盤樂器	271
inertia 慣性	39	kiloyle 仟週	503
infra-red ray 紅外線	283	kilogram 仟克	10
initial line 原線	18	kilogram-calorie 仟克卡	188
initial point 始點	89	kilogram-meter 仟克米	69
initial velocity 初速度	29	kilometer 仟米	8
inlet valve 進流活門	225	kilowatt 仟瓦特	6, 134
inner coating 內塗	401	kilowatt hour 仟瓦特小時	425
instantaneous acceleration 瞬時加速度	27		
instantaneous angular velocity 瞬時角速度	77		

kinetic energy 動能 ... 70
 kinetic friction 動摩擦 ... 107
 kinetic theory of gas 氣體動力
 論 ... 165
 Kirchhoff's law 克希荷夫定律 ... 345
 knal gas voltameter 炸氣電量
 計 ... 448
 knife edge 刀口 ... 14
 krypton 氬 ... 344
 Kundt's figure 昆式圖形 ... 267
 Kundt's tube 昆式管 ... 267

L

Lemleade's cell 拉克利特電池 ... 411
 latent heat 潛熱 ... 202
 latent heat of fusion 熔解之潛
 熱 ... 218
 law of causality 因果律 ... 4
 law of conservation of energy 能
 量不滅定律 ... 75
 law of conservation of matter 物
 質不滅定律 ... 10
 law of friction 摩擦定律 ... 99
 law of independence of force 力
 之獨立作用定律 ... 47
 law of inertia 慣性定律 ... 40
 law of motion 運動定律 ... 48
 law of parallelogram of force 力
 之平行四邊形定律 ... 56
 law of reflection of wave 波之
 反射定律 ... 236
 law of refraction of wave 波之
 折射定律 ... 238
 law of resistance 電阻定律 ... 416
 law of universal gravitation 萬
 有引力定律 ... 54
 Leclanche's cell 勒克蘭社電池 ... 411
 left hand rule 左手定則 ... 461
 Lenard ray 勒納爾射線 ... 538
 length 長度 ... 6
 length of pendulum 擺長 ... 91
 lens 透鏡 ... 309
 Lenz's law 楞次定律 ... 470
 lever 槓桿 ... 111
 Leyden jar 萊頓瓶 ... 400
 Lie 立克 ... 327
 life 壽命 ... 488
 lift 舉揚力 ... 61
 light 光學 ... 3, 283

light corpuscle 光粒 ... 232
 light ray 光線 ... 234
 light wave 光波 ... 235
 lightning conductor 避雷針 ... 404
 lightning flash 電閃 ... 403
 limit of elasticity 彈性限度 ... 124
 limiting angle 極限角 ... 99
 Linde 林德 ... 201
 line 電線 ... 460
 line spectrum 線光譜 ... 344
 linear acceleration 線加速度 ... 79
 linear displacement 綫位移 ... 78
 linear quantity 線量 ... 79
 linear velocity 綫速度 ... 78
 lines of force of magnetic field 磁
 力線之力線 ... 363
 liquefaction 液化 ... 201
 liquid 液體 ... 123
 liquid air 液態空氣 ... 201
 liquid rheostat 液態變阻器 ... 428
 litre 升 ... 11
 load 擔負 ... 107, 485
 local battery 局部電池組 ... 460
 local current 局部電流 ... 408
 longitudinal vibration 縱振動 ... 232
 longitudinal wave 縱波 ... 232
 loop 波環 ... 234
 loud speaker 揚聲器 ... 525
 loudness 響度 ... 248, 249
 lower lip 下唇 ... 265
 lubricating substance 滑料 ... 103
 luminous body 發光體 ... 281
 luminous source 光源 ... 281
 Lummer-Brodhun's photometer 魯
 麥布洛遜光度計 ... 289
 lunar eclipse 月蝕 ... 285
 lycopodium 石松科 ... 267

M

machine 機械 ... 108
 magnet 磁鐵 ... 357
 magnet machine 磁鐵發電機 ... 454
 magnetic axis 磁軸 ... 358
 magnetic field 磁場 ... 361
 magnetic field intensity 磁場
 強度 ... 361
 magnetic field of force 磁力場 ... 361
 magnetic force 磁力 ... 359

- magnetic induction 磁之感應 867
 magnetic lines of force 磁力線 863
 magnetic meridian 磁子午面 865
 magnetic needle 磁針 867
 magnetic pole 磁極 868
 magnetic pyrite 磁黃鐵礦 867
 magnetic wave 磁波 864
 magnetism 磁學 863
 magnetite 磁鐵礦 867
 magnetization 磁化 867
 magnification 放大率 824
 magnifier 放大鏡 824
 magnitude 大小 8, 20, 55
 main current 總電流 419
 major scale 大音階 289
 make, to 造 406
 male screw 雄螺絲 115
 mandolin 曼陀林 270
 manometer 流體壓力計 158
 Mariotte's law 馬略特定律 155
 mass 質量 6, 10
 material point 質點 2
 material system 質點系 2
 matter 物質 1
 maximum density 最大密度 198
 maximum friction 最大摩擦力 99
 maximum pressure 最大壓力 198
 maximum thermometer 最高溫度計 178
 Maxwell 馬克士威 283, 379
 mean acceleration 平均加速度 28
 mean solar day 平均太陽日 10
 mean velocity 平均速度 25
 measurement 量度 4
 mechanical advantage 機械利 105
 mechanical energy 機械能 70
 mechanical equivalent of heat 功當量 319
 mechanics 力學 2
 medium 介質 220
 melting 熔解 213
 melting point 熔點 213
 membrane 膜 25
 mercury thermometer 汞溫度計 175
 metacenter 定傾中心 141
 metal filament lamp 金屬線燈 488
 metal string 金屬弦 267
 meter 米 7
 meter candle 米燭光 388
 method of mixture 混合法 192
 metric system 米制 7
 mho 姆歐 416
 microfarad 微法拉 599
 microphone 收音器 494, 521
 microscope 顯微鏡 324
 middle finger 中指 462
 milligram 毫克 11
 millimeter 毫米 8
 minimum deviation 最小偏向 303
 minimum thermometer 最低溫度計 178
 minor scale 小音階 289
 minute 分 8, 10
 modulation 調幅 521
 modulator 調幅器 521, 523
 modulus of elasticity 彈性係數 124
 Moisan furnace 莫森電爐 441
 molecular force 分子力 122
 molecule 分子 121
 moment of couple 力偶矩 85
 moment of force about an axis 軸周之力矩 82
 momentum 動量 46
 monochromatic light 單色光 335
 monoplane 單翼機 60
 Morin 摩林 99
 Morse alphabet 摩斯電碼 461
 Morse writer 摩斯印字機 460
 motion 運動 19
 motion with uniform acceleration 等加速度運動 26
 motion with variable acceleration 變加速度運動 23
 motion with variable velocity 變速度運動 25
 motor dynamo 電動發電機 491
 movable pulley 動滑輪 112
 movietone 摩飛遜 540
 moving coil galvanometer 動圈電流計 484
 moving point 動點 19
 musical scale 音階 280
 musical tone 聲音 240
 mutual action 相互作用 49
 mutual inductance 互感係數 474
 mutual induction 互感應 473
- N
- natural law 自然律 4
 natural magnet 天然磁鐵 357

natural phenomena 自然現象	2
natural science 自然科學	2
natural vibration 固有振動	96
near point 近點	330
negative 虛片	330
negative column 陰極層	330
negative corpuscle 陰粒	334
negative direction 負向	334
negative electricity 靜電	376
negative glow 陰極電輝	331
negative pole 負極	330
negative pole 陰極	407
neon 氖	344
neon tube 氖管	439
Neumann's law 諾伊曼定律	471
neutral equilibrium 隨遇平衡	59
neutralization 中和	378
Newton's color disk 牛頓色板	347
Newton's first law of motion 牛頓之運動第一定律	49
Newton's ring 牛頓圓	351
Newton's second law of motion 牛頓之運動第二定律	46
Newton's third law of motion 牛頓之運動第三定律	50
niChrome 鎳絲	436
nodal line 節線	234, 261
nodal point 結點	234
noise 噪音	318
non-conductor 非導體	189, 376
non-conservative force 非保守力	74
non-luminous body 不發光體	281
normal acceleration 法線加速	79
normal pressure 正壓力	96
normal thermometer 標準溫度計	176
north pole 北極	336
north-seeking pole 指北極	336
nucleus 核	350
number of revolutions per second 每秒轉數	99
number of turns 匝數	456
numerical value 數值	6

O

object 實物	285
objective 物鏡	324
observation 觀察	3

octave 倍頻程	263
octave 八音度	263
ohm 歐姆	415, 416
Ohm 歐姆	418
Ohm's law 歐姆定律	418
oil air-pump 油噴器	160
one fluid theory 單流體說	379
opaque body 不透明體	231
open, to 開	407
open manometer 開管壓力計	159
open pipe 開管	263
opera glass 觀劇鏡	328
optical center 光心	318
optical nerve 視神經	319
optically dense 光密	238
optically rare 光疎	238
optics 光學	238
orange 橙	335
orbit 軌道	19
organ 風琴	271
organ pipe 風琴管	265, 271
origin 原點	17
oscillation 振動	92
oscillatory discharge 振動放電	501
oscillograph 示波器	513
osmium lamp 銱絲燈	458
osmose 滲透	187
osmotic pressure 滲透壓	168
outer coating 外塗	401
out-put 輸出	106
overflow pipe 溢水管	191
overshot wheel 上落水車	144
overtone 泛音	232

P

parachute 降落傘	156
parabola 拋物線	53
parallel forces 平行力	83
parallel plate condenser 平行板電容	400
parallelogram of displacement 位移之平行四邊形	21
paramagnetic bodies 順磁體	368
partial eclipse 偏蝕	265
particle 質點	2
Pascal's principle 巴斯噶原理	193
path 路徑	19
path difference 路程差	352
Pelton wheel 拍爾森水車	144
Pelton's turbine 拍爾森輪機	144

- penumbra 半影 285
- pernasion instrument 擊奏器 271
- pernasion string instrument 擊奏樂器 270
- perfect fluid 理想液體 128
- perfect gas 理想氣體 128, 171
- perfect liquid 理想液體 128, 171
- perfectly elastic body 完全彈性體 128
- perfectly rough surface 完全粗糙面 103
- perfectly smooth surface 完全光滑面 102
- period 週期 89
- periodic motion 週期運動 89
- periscope 潛望鏡 329
- permanent gases 永久氣體 201
- permeability 導磁係數 380, 370
- perpetual motion 永久運動 75
- persistence of vision 視覺暫留 222
- phase 相 89
- photograph 留影圖 371
- photo-electric cell 光電管 540
- photo-electric effect 光電效應 539
- photo-electron 光電子 539
- photograph 相片 380
- photographic camera 照相機 331
- photographic objective 照相物鏡 331
- photographic plate 照相片 330
- phonophone 留聲機 540
- physical law 物理定律 4
- physical optics 物理光學 234
- physical phenomena 物理現象 2
- physical quantity 物理量 6
- physics 物理學 2
- piano 鋼琴 270, 271
- pigment 顏料 348
- pinah cork 拍板 155
- pin-hole 針孔 238
- pinhole camera 針孔照相機 330
- Pisa 畢沙 3
- piston 活塞 159
- pitch 音調 241, 249
- plith ball 迴車球 375
- plane mirror 平面鏡 238
- plane of couple 力偶面 85
- plane of incidence 入射面 238
- plane of reflection 反射面 238
- plane of refraction 折射面 238
- plane wave 平面波 234
- plano-concave lens 平凹透鏡 309
- plano-convex lens 平凸透鏡 309
- plate 板極 512
- plate current 板極電流 512
- platinum pyrometer 鉑高溫計 418
- plucked string instrument 彈絃樂器 270
- plug 插頭 426
- point action 尖端作用 286
- point of application 施力點 111
- point of exertion 重點 111
- point of incidence 入射點 238
- point of suspension 懸點 91
- pointer 指針 14
- polar angle 極角 19
- polar coordinates 極坐標 18
- polarization of cells 電池之極化 403
- pole 極 407
- pole 極點 18
- pole 磁點 204
- pole of unit strength 單位強度之磁極 381
- polygon of displacement 位移之多角形 22
- poor conductor 不良導體 377
- porosity 多孔性 130
- Porro's prism 波耳洛稜鏡 323
- position 位置 17
- position of equilibrium 平衡位置 90
- positive direction 正向 384
- positive electricity 正電 376
- positive glow 陽極電輝 531
- positive nucleus 陽核 534
- positive pole 正極 359
- positive pole 磁極 407
- post office bridge 郵局支橋 427
- potassium dichromate 重鉻酸鉀 409
- potential energy 勢能 70
- pound 磅 12
- power 功率 69
- power 動力 107
- power amplifier 功率放大器 541
- practical system of units 實用單位制 63
- practical unit 實用單位 307
- practical unit of quantity of electricity 電量之實用單位 331
- presbyopic eye 老眼眼 321
- pressure 壓力 49, 129
- primary coil 原線圈 469
- primary colors 原色 343

primary rainbow 虹... 340
 prime mover 原動機... 106
 prime power 原動力... 106
 principal axis 主軸... 294
 principal focus 主焦點... 290, 312
 principle 原理... 5
 principle of conservation of mechanical energy 機械能不減原理... 75
 principle of conservation of momentum 動量不減原理... 58
 principle of work 功之原理... 108
 prism 稜鏡... 302
 prism binocular 稜鏡式雙筒望遠鏡... 328
 projectile 拋射體... 32
 prong 叉股... 244
 proof-plane 驗電板... 384
 propagation 傳播... 229
 propeller 推進機... 60
 proper tones 固有音... 255
 properties of matter 物性論... 2
 proton 質子... 556
 pulley 滑輪... 112
 pump 唧筒... 169
 pupil 瞳孔... 818
 pure spectrum 純光譜... 356
 push button 鈕... 457

Q

quantity 量... 6
 quantity of magnetism 磁量... 359
 quartz 水晶... 167

R

radian 弧度... 8
 radian per second 每秒弧度... 77
 radian per second per second 每秒每秒弧度... 78
 radiation 輻射... 180, 289
 radiator 輻射器... 101
 radical 根... 44
 radio-active elements 放射性元素... 551
 radio-active equilibrium 放射性平衡... 550
 radio-active substance 放射性質... 547
 radio-activity 放射性... 547

radio-frequency 射頻... 509
 radio-frequency amplifier 射頻放大器... 524
 radio telegraph 無線電報... 518
 radio wave 無線電波... 508
 radium 鐳... 547
 radium A 鐳 A... 549
 radium B 鐳 B... 549
 radium emanation 鐳射氣... 549
 radius vector 向徑... 18
 radon 釷... 549
 rain 雨... 210
 rainbow 虹霓... 340
 rare 稀薄... 238
 ray 射線... 292
 reaction 反作用... 49
 reaction turbine 反動輪機... 228
 real focus 實焦點... 292
 real image 實像... 294
 receiver 接收機... 495
 receiving station 接收局... 460
 reciprocating steam engine 往復蒸汽機... 221
 recoil 反動... 53
 record 唱片... 273
 rectangular coordinates 直角坐標... 18
 rectifier 整流器... 510, 526
 rectilinear motion 直線運動... 19
 rectilinear propagation of light 光之直線傳播... 234
 red 紅... 335
 reed 簧... 258
 reference circle 參考圓... 90
 reflected ray 反射線... 288
 reflection of light 光之反射... 292
 reflection of sound 聲之反射... 247
 refracted ray 折射線... 288
 refracting angle 稜角... 303
 refracting edge 折射稜... 303
 refraction 折射... 287
 refraction of light 光之折射... 297
 refraction of sound 聲之折射... 248
 refractor 折射器... 327
 refrigerator 製冷器... 204
 regeneration 再生法... 515
 region of condensation 密區... 232
 region of rarefaction 疏區... 232
 regulating valve 節制活門... 205
 relative 相對的... 17
 relative humidity 相對濕度... 207
 relative motion 相對運動... 19

relative position 相對位置	19	sclerotic 鞏膜	318
relay 變壓器	460	screw 螺絲	115
residual charge 剩餘電荷	303	screw press 螺絲壓榨器	115
resin 樹脂	577	screw thread 螺紋	115
resistance 阻力	107	sealing wax 火漆	377
resistance 電阻	415	second 秒	8, 10
resistance box 變阻箱	428	second dark space 第二暗區	529
resistance coil 電阻線圈	417, 425	second pendulum 秒鐘	90
resolution of displacement 位 移之分解	20	secondary axis 副軸	294
resonance 共振	15, 504	secondary battery 蓄電池	413
resonance 共鳴	235	secondary coil 副線圈	469
resonance box 共振箱	257	secondary rainbow 霓	340
resonator 共振器	255	self-inductance 自感係數	474
rest 静止	19	self-induction 自感	475
resultant displacement 合位移	20	self-recording aneroid 自記無 液氣壓計	154
resultant force 合力	58	self-recording thermometer 溫度記錄器	179
retentivity 剩磁性	293	semiconductor 半導體	377
retina 網膜	319	sensitive flame 靈敏	248
return shock 反擊	404	separately-excited dynamo 分 激發電機	484
reversal of spectrum lines 光 譜線之自轉	345	series dynamo 串激發電機	484
rheostat 變阻器	427	series field 串激磁場	485
right-angle prism 直角稜鏡	304	sexagesimal system 六十算法	8
rigid body 剛體	130	shadow 影	284
ring armature 環形電樞	461	shaft 軸	221
ripples 波	232	shearing stress 切變壓力	125
rock salt 岩鹽	167	shellac 蟲膠	377
rod 棒	258	short a circuit, to 短路	422
roller 滾子	103	short-sighted eye 近視眼	321
rolling friction 滾動摩擦	161	short wave 短波	527
Römer's method 勒麥法	290	shunt 分路	431
Röntgen ray 倫琴射線	535	shunt dynamo 分激發電機	485
rotation 轉動	19	shunt field 分激磁場	485
rotating mirror 旋鏡	502	sideral day 恆星日	9
rubidium 銣	344	sideral time 恆星時	9
Rumford's photometer 倫福德 光度計	238	silicon 矽	510
Rutherford 刺蝟	536	silver voltameter 銀電量計	449
S		simple harmonic motion 簡諧 運動	90
salts 鹽類	377	simple machine 簡單機械	109
saturated solution 飽和溶液	167	simple microscope 單眼顯微鏡	324
saturated vapor 飽和汽	197	simple musical instrument 簡 單樂器	270
scalar quantity 純向量	28	simple pendulum 單擺	91
scale-pan 砝碼之盤	14	simple tone 單音	252
scattered light 散射光	232	sine curve 正弦曲線	93
scattering 散射	232	singing flame 歌焰	267
Schmidt 斯密德	547	sink, to 洗	140
		siphon 虹吸管	162
		wren 潤音器	249

- | | | | |
|--|----------|-------------------------------------|---------|
| tambourin 鈴鼓 | 271 | trajectory 軌道 | 33 |
| tangent galvanometer 正切電流計 | 465 | transformation of energy 能之變化 | 73, 219 |
| tangential acceleration 切線加速度 | 79 | transformer 變壓器 | 489 |
| tantalum lamp 鉭鎢燈 | 488 | translation 移動 | 19 |
| target 靶 | 655 | transparent body 半透明體 | 281 |
| telephone 電話 | 494 | transmission of pressure 壓力之傳達 | 133 |
| telephone receiver 收話器 | 506 | transmitter 發送機 | 494 |
| telephotography 郵真電報 | 548 | transmitting station 發送局 | 459 |
| telescope 望遠鏡 | 356 | transparent body 透明體 | 281 |
| television 電視 | 544 | transversal vibration 橫振動 | 231 |
| telluric lines 地上線 | 338 | transversal wave 橫波 | 231 |
| temperature 溫度 | 176 | triangle of displacement 位移之三角形 | 21 |
| temperature coefficient of resistance 電阻之溫度係數 | 417 | triangular 三角 | 271 |
| tensile stress 張力 | 125 | triode 三極管 | 511 |
| tension 張力 | 49, 125 | trolley car 電車 | 487 |
| terminal voltage 端電壓 | 422 | trolley wire 電車線 | 487 |
| terrestrial telescope 地上望遠鏡 | 327 | trough 波谷 | 281 |
| theory 理論 | 5 | true coefficient of expansion 真膨脹係數 | 161 |
| theory of molecular magnetism 分子磁鐵說 | 570 | tuned circuit 調諧電路 | 506 |
| thermometer 溫度計 | 175 | tungar 鎢鈾氬管 | 497 |
| Tholien 托倫 | 838 | tungsten lamp 鎢鎢燈 | 458 |
| thorium 鈷 | 547 | tuning fork 音叉 | 244 |
| thorium system 鈷系 | 551 | two fluid theory 兩液體說 | 373 |
| three color printing 三色版 | 348 | | |
| three electrode vacuum tube 三極真空管 | 511 | U | |
| three elements of force 力之三要素 | 55 | ultimate strength 極限強度 | 126 |
| three elements of terrestrial magnetism 地球之三要素 | 365 | ultramicroscope 超顯微鏡 | 122 |
| three states of matter 物質之三態 | 123 | ultra-violet ray 紫外線 | 263 |
| thunder 雷 | 403 | umbra 本影 | 285 |
| thunder-strike 雷擊 | 404 | undamped electric wave 無阻尼電波 | 519 |
| tjekler 反饋線圈 | 516 | undershot wheel 下擊水車 | 144 |
| timbre 音色 | 248, 351 | undulatory theory 波動說 | 282 |
| tonic 基音 | 268 | uniform motion 等速度運動 | 24 |
| torque 轉矩 | 82 | uniform rectilinear motion 等速度直線運動 | 24 |
| Torricelli's experiment 托里佛利之實驗 | 151 | uniformity of nature 自然之一致 | 4 |
| Torricelli's tube 托里佛利管 | 151 | unison 同音 | 203 |
| Torricelli's vacuum 托里佛利真空 | 151 | unit 單位 | 6 |
| torsion balance 扭秤 | 360 | unit positive charge 單位正荷 | 392 |
| torsional stress 扭應力 | 125 | unit positive pole 單位正極 | 361 |
| total eclipse 全蝕 | 225 | unstable equilibrium 不穩平衡 | 89 |
| total pressure 總壓力 | 129 | upper lip 上唇 | 285 |
| total reflection 全反射 | 300 | uranium 鈾 | 547 |
| | | uranium X 鈾 X | 550 |
| | | uranium rays 鈾射線 | 547 |
| | | uranium system 鈾系 | 551 |

V

vacuum tube oscillator 真空管 振動器	517
vacuum tube rectifier 真空管 整流器	497
valency 原子價	445
vapor 汽	187
vaporization 汽化	187
variable condenser 可變容電器	400
varnish 油漆	353
vector quantity 向量	23
velocity 速度	24
ventilation 通風	160
vortex 環點	204
vibration 振動	92
viola 中提琴	279
violet 紫	335
violin 小提琴	279
virtual focus 虛焦點	202
virtual image 虛像	200
viscosity 粘滯性	171
visible ray 可見射線	289
vitaphone 談錄機	540
vitreous humor 玻璃狀液	318
vocal chords 聲帶	258
voice current 聲電流	523
volt 伏特	397
voltage 電壓	407
voltmeter 電壓計	445
voltmeter 伏特計	463

W

waning 漸小	254
water equivalent 水當量	108
water jacket 水套	235
water pump 抽水唧筒	186
water supply 自來水	188
water turbine 水輪機	144
water voltammeter 水銀電量計	443
water waves 水波	333
water wheel 水車	144
watt 瓦特	69, 434
watt second 瓦特秒	436
wattmeter 瓦特計	463
wave curve 波形曲線	280
wave front 波前	224
wave length 波長	231
wave motion 波動	229
wave of condensation and rarefaction 疏密波	232
wave ray 波射線	229

waxing 蝟大	254
wedge 劈	110
weight 重量	42, 107
weights 砝碼	14
weights and measures 度量衡	11
Weston direct current am- meter 佛斯登直檢安培計	465
Weston direct current volt- meter 佛斯登直檢伏特計	463
Wheatstone's bridge 惠斯登 電橋	424
wheel and axle 輪軸	114
Wimshurst's Influence ma- chine 威門刺斯特感應起電機	388
width of grating 光柵之寬	354
wind instrument 吹奏樂器	270
winding 繞法	484
wing 翼面	60
wireless telegraphy 無線電報	503
wireless telephony 無線電話	521
wood-wind instrument 木質 吹奏樂器	271
work 功	67
work done against a force by a body 物體反抗力之作用所作之 功	68
work done by a force on a body 力對於物體所作之功	68

X

X-axis X 軸	17
X-ray X 射線	535
X-ray tube X 射線管	535

Y

Y-axis Y 軸	17
yellow 黃	335
yellow spot 黃斑	319
Yehku 聾耳鏡	527

Z

Zeman effect 澤曼效應	553
zero-point-calorie 零度卡	133

外 來 字

α -particle α 質點	543
α -ray α 射線	543
β -particle β 質點	543
β -ray β 射線	543
γ -ray γ 射線	543

四角號碼索引

說明

- (1) 本單名表各本各國語
 (2) 本單名表各本各國語
 (3) 本單名表各本各國語
 (4) 本單名表各本各國語
 (5) 本單名表各本各國語
 (6) 本單名表各本各國語
- 再上單字用~記號代
 排之單上號碼
 法字上之注號
 字本制係不直
 檢於本本俱水
 號碼法於河係
 號碼見編排碼
 角之已理序號
 之附號角碼所
 及角二號尾
 至碼四上依首字
 體數字取仍碼單字
 玉角一字字上而檢與
 按四第三三頁本碼聯
 引注口無第每係檢小
 索字開外則查字角五
- 見下(詳編方法可參閱玉靈五大財典成玉)

第二次改訂四角號碼檢字法

三五五發明

第一條 筆畫分為十種，各以號碼代表之如下：

號碼	筆名	示	形	舉	別	注	意				
0	頭	一	言	立	尸	頭之類皆同且之 例：頭、立、尸	0 4 5 6 7 8 9				
1	橫	一	八	天	地	江	元	橫之類皆同 例：天、地、江、元	橫的由數字各成一		
2	垂	丨	丨	山	月	千	則	垂之類皆同 例：山、月、千、則	例：山、月、千、則		
3	點	丶	丶	六	不	一	人	之	水	點之類皆同 例：六、不、一、人、之、水	例：六、不、一、人、之、水
4	叉	十	义	華	文	火	大	持		叉之類皆同 例：華、文、火、大、持	例：華、文、火、大、持
5	捺	丿	丿	才	英	中	文			捺之類皆同 例：才、英、中、文	例：才、英、中、文
6	方	口	口	回	島	目	四	甲	由	方之類皆同 例：回、島、目、四、甲、由	例：回、島、目、四、甲、由
7	角	丿	丿	丿	丿	丿	丿	丿	丿	角之類皆同 例：丿、丿、丿、丿、丿、丿、丿、丿	例：丿、丿、丿、丿、丿、丿、丿、丿
8	八	八	八	八	八	八	八	八	八	八之類皆同 例：八、八、八、八、八、八、八、八	例：八、八、八、八、八、八、八、八
9	小	小	小	小	小	小	小	小	小	小之類皆同 例：小、小、小、小、小、小、小、小	例：小、小、小、小、小、小、小、小

第二條 每字取取四角之序，見順序：

(1) 左上角 (2) 右上角 (3) 左下角 (4) 右下角



取字時按四角之筆形取碼，每字得四碼：

(例) 漢 一 一 一 一

第三條 字之上新或下移，或有一筆或一撇筆時，無論在何地位，均作左角，其右角作 0。

(例) 豈 豈 首 各 彙 彙 彙

豈筆用通反，如不見左角，亦作 0。

(例) 字 之 詩 探 天 采 業 詩

第四條 由整個口門門所成之字，其下角取內角之字，但上下左右有他筆時，不在此例。

(例) 國 一 一 一 一 一 一 一 一

詩 一 一 一 一 一 一 一 一

附 則

【字體的風掃書如下表】

正	佳	巴	反	茅	尸	安	心	卜	床	切	业	疾	草	真	抗	馬	疾
誤	佳	巴	反	茅	尸	安	心	卜	床	及	业	疾	草	真	抗	馬	疾

II 取筆時應注意之點

- (1) 內 声 等字，凡點下之橫，右方與他筆相連者，均作 8，不作 0。
- (2) 尸 無 門 等字，方形之筆端延垂於外者，均作 7，不作 6。
- (3) 角筆之兩端，不作 7，如 𠃉。
- (4) 文 义 之筆，不作 7，如 𠃉。
- (5) 各 必 中有二筆，亦 心 中有二筆，均不作小形。

III 取角時應注意之點

1 獨立或平行之筆，不同高低，概以最左或最右者為角。

(例) 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉

2 最左或最右之筆，有他筆蓋於其上或承於其下時，取蓋於上者為上角，承於下者為下角。

(例) 宗 幸 寧 共

3 有兩橫筆可取時，在上角應取較高之橫筆，在下角應取較低之橫筆。

(例) 功 竄 顛 鳴 查

4 斜縱為他筆所承，取他筆為下角。

(例) 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉

5 左上之橫作左角，其右角取右筆。

(例) 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉

IV 四角同碼字較多時，以右下角上方最貼近而處發音之一筆為惟角；如諸筆業已用過，則附角作 0。

(例) 𠃉 元 洋 是 疝 欲 畜 殘 主 雜 霖
𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉 𠃉

附角仍有同碼字時，得按各該字所含橫筆（即第一種字形，已括號及右鈎）之數順序排列。

例如 市 𠃉 二字之四角及附角均同，但 市 字含有二橫，𠃉 字含有三橫，故 市 字在前 𠃉 字在後，餘照此類推。

0010, 主		~ 摩擦角 angle of friction 89	
20 ~ 軸心 principal force 205, 312		~ 摩擦律 law of friction 99	
55 ~ 軸 principal axis 294		~ 摩擦力 friction 108	
0010, 立		~ 摩擦輪 friction wheel 104	
40 ~ 瓦 Liek 327	0025, 庫		
75 ~ 球弧度 solid radian 9	50 ~ 庫 Coulomb 89		
0022, 齊	~ 庫 coulomb 89		
~ alloy 166	~ 庫定律 Coulomb's law 260, 380		
0022, 方	0028, 廣		
27 ~ 向 direction and sense 29	12 ~ 延性 extension 119		
~ 向 direction 55	52 ~ 廣播台 broadcasting station 608, 618		
旁	0040, 率		
67 ~ 旁路電容 by pass condenser 518	40 ~ 率 Synamer 878		
高	0040, 變		
21 ~ 鎮壓尼波 high frequency damped wave 509	22 ~ 變電磁勢 alternating electromotive force 479		
42 ~ 斯 gauss 332	30 ~ 變 alternating current 479		
0028, 應	~ 變發電機 alternating current dynamo 481		
10 ~ 電動勢 induced electromotive force 469	~ 變壓器 alternating current transformer 439		
~ 電流 induced current 469	0041, 唯		
18 ~ 磁 induced magnetism 597	24 ~ 化層 ionisation layer 537		
~ 磁鐵 induced magnet 167	25 ~ 心力 centrifugal force 64		
22 ~ 應 strain 129	0060, 音		
40 ~ 力 stress 49, 153	07 ~ 音 pitch 243, 249		
75 ~ 體 induced body 352	21 ~ 可 audible frequency 509		
0034, 底	~ 擴音機 audio frequency amplifier 525		
22 ~ 片 negative 530	28 ~ 音 interval 263		
0034, 度	40 ~ 叉 tuning fork 244		
~ degree 8	60 ~ 音 timbre 218, 251		
~ diopter 82	71 ~ 音 musical scale 280		
60 ~ 量衡 weights and measures 12	音		
0035, 牌	61 ~ 點 blind spot 319		
12 ~ 牌 movie tone 549	0071, 毫		
24 ~ 牌 Morin 99	40 ~ 毫 milligram 11		
63 ~ 係數 coefficient of friction 99	40 ~ 毫 millimeter 8		

0080, 六	
40~十分波 sexagesimal system	8
0128, 類	
94~新 pigment...	545
0166, 譜	
95~可 consonance ...	268
0213, 燈	
10~電壓 terminal voltage ...	422
0220, 刻	
23~卜勒 Kepler...	3
0462, 納	
27~伊曼定律 Neumann's law	471
0710, 望	
24~遠望 telescope ...	320
0762, 調	
01~諧電時 tuned circuit ...	506
41~器 modulation ...	521
~器器 modulator ...	521, 523
0782, 部	
21~盧斯屈 Brewster...	338
0821, 施	
40~力點 point of application	111
0824, 放	
10~電 discharge ...	387, 403
~電 to discharge ...	413
~電叉 discharging tongs ...	403
~電棒 discharging rod ...	403
31~能平衡 radio-active equilibrium ...	550
~物質 radio-active substance	547
~能性 radio-activity ...	547
~能性元素 radio-active elements ...	551
40~大率 magnification ...	524
~大率用 amplification ...	518
~大率 magnifier ...	524

效	
00~率 efficiency ...	107
0323, 旋	
50~鏡 rotating mirror ...	503
1010, 三	
27~色板 three color printing	343
41~極真空管 three electrode vacuum tube ...	511
~極管 triode ...	511
正	
10~波曲線 sine curve ...	63
27~向 positive direction ...	364
36~眼眼 emmetropic eye ...	320
41~極 positive pole ...	359
47~切電流計 tangent galvanometer ...	455
71~壓力 normal pressure ...	63
1010, 互	
83~補色 complementary color	343
53~感應 mutual induction ...	473
~係係 coefficient of mutual induction 或 mutual inductance ...	474
1010, 靈	
62~靈 sensitive flame ...	243
1016, 露	
~露 dew ...	210
61~點露 point ...	207
~點溫度計 dew-point hygrometer ...	209
1017, 雪	
~雪 snow ...	211
1021, 元	
34~波 elementary wave ...	235

1021, 霓	
~ secondary rainbow... ..	340
1022, 雨	
~ rain	210
雨	
27~色性 dichromatism	247
29~流體說 two fluid theory	273
77~凹透鏡 double concave lens	309
~凸透鏡 double convex lens	309
雨	
47~絳 erg	63
霧	
~ fog	210
1023, 下	
57~水車 undershot wheel	144
71~唇 lower lip	265
1029, 汞	
00~齊 amalgam... ..	400
23~溫度計 mercury thermometer	176
1024, 縷	
~ sleet	211
1030, 零	
00~度卡 zero-point calorie	189
1040, 干	
21~涉 interferences	223
~涉條紋 interference fringe	240
1040, 平	
10~面波 plane wave	234
~面鏡 plane mirror	273
21~行力 parallel forces	82

~行力之中心 center of parallel forces	84
~行板齊電器 parallel plate condenser	400
~衡 equilibrium	53
~衡位置 position of equilibrium	90
47~均速度 mean or average velocity	25
~均太陽日 mean solar day	10
~均壽命 average life	550
~均加速度 mean acceleration	89
77~凹透鏡 plano-concave lens	309
~凸透鏡 plano-convex lens	309
1043, 天	
00~天文望遠鏡 astronomical telescope	328
~天文上之質量單位 astronomical unit of mass	55
10~平 balance	14
23~天然磁鐵 natural magnet	287
28~線 antenna	508
34~波 sky wave... ..	527
1044, 再	
25~生法 regeneration	515
1050, 石	
48~松粉 lycopodium	207
50~墨 graphite	377
百	
50~度 centigrade	175
1060, 雷	
~ thunder	408
57~擊 thunder-strike	404
1062, 可	
22~變容電器 variable condenser	400
60~可見光 visible ray	263
1062, 磅	
~ pound	12

1071, 電

~ 綫 211

1071, 電

~ electricity 373

02 ~ 刻 electro-engraving 或

electro-etching 451

~ 話 telephone 494

12 ~ 弧 electric arc 437

14 ~ 功率 electric power 434

17 ~ 子 electron 21

~ 子論 electron theory 383

18 ~ 磁說 electromagnetic

theory 383

~ 磁波 electromagnetic

waves 304

~ 磁感應 electromagnetic

induction 469

~ 磁鐵 electromagnet 456

21 ~ 能 electric energy 435

~ 態 electrical state 376

24 ~ 動發電機 motor dynamo 491

~ 動機 electric motor 485

~ 動勢 electromotive force 407

~ 化學方法 electro-chemical

means 408

~ 化當量 electro-chemical

equivalent 445

26 ~ 線 line 469

27 ~ 解 electrolysis 444

~ 解質 electrolyte 444

30 ~ 流 electric current 406

~ 流計 galvanometer 463

~ 流強度 strength of current

407

~ 扇 electric fan 457

~ 容 electric capacity 366

33 ~ 冶煉 electro-metallurgy 449

34 ~ 池 cell 407

~ 電池 battery 428

03 ~ 池之極化 polarization of

cells 408

~ 波 electric wave 603

25 ~ 視 television 544

38 ~ 導 conductance 416

~ 導係數 specific conductance

或 conductivity 416

49 ~ 力線 electric lines of force

383

41 ~ 極 electrolys 444

~ 極 armature 481

44 ~ 花 electric spark 402

~ 花隙 spark gap 503

~ 荷 electric charge 381

~ 勢 electrical potential 316

~ 共振 electric resonance 505

46 ~ 場 electrical field 392

~ 場強度 intensity of electrical

field 392

47 ~ 報 telegraph 499

50 ~ 車 trolley car 457

~ 車纜 trolley wire 487

51 ~ 振盪 electric oscillator 503

60 ~ 表計 voltmeter 443

~ 量之實用單位 practical unit

of quantity of electricity

331

~ 量之靜電單位 electrostatic

unit of quantity of electri-

city 861

67 ~ 路 circuit 406

71 ~ 壓 voltage 407

74 ~ 板斗 electric flatiron 433

77 ~ 阻 resistance 418

~ 阻係數 specific resistance

418

~ 阻線 resistance coil

41 425

~ 阻之溫度係數 temperature

coefficient of resistance 417

~ 阻定律 law of resistance 416

~ 阻箱 resistance box 423

~ 風 electric wind 367

~ 屏 electric screening 395

~ 學 electricity 3

~ 閃 lightning flash 403

80 ~ 鍍 electro-plating 480

84 ~ 鑄 electrotyping 451

85 ~ 集 elect-extraction 449

88 ~ 焊 electric welding 440

88 ~ 鑰 key 460

~ 球 electric ball 457

91 ~ 爐 electric furnace 440

92 ~ 燈 electric lamp 437

1071, 瓦

24 ~ 特 watt 69,434

~ 特計 wattmeter 463

~ 特秒 watt second 435

1073, 雲

~ cloud 219

1090, 不	
01~ 諧和 dissonance	288
10~ 可見射線 invisible ray	288
~ 可入性 impenetrability	119
12~ 發光體 non-luminous body	281
22~ 穩平衡 unstable equilibrium	89
30~ 良導體 poor conductor	377
32~ 透射射線體 atherman	190
~ 透明體 opaque body	281
33~ 波性 conservation	121
1090, 示	
34~ 波器 oscillograph	543
1093, 霜	
~ frost	210
1111, 北	
41~ 極 north pole	358
1111, 非	
10~ 正視眼 ametropic eye	320
23~ 保守力 non-conservative force	74
38~ 導體 non-conductor	189, 570
60~ 晶體 amorphous body	167
1111, 琥	
16~ 珀 amber	377
1123, 張	
00~ 應力 tensile stress	125
40~ 力 tension	49, 125
1123, 頂	
31~ 點 pole 或 vertex	294
頂	
18~ 磁性 retentivity	303
1164, 硬	
47~ 橡皮 ebonite	377
95~ 性 X 射線 hard X ray	537

1223, 水	
10~ 平部份 horizontal component	365
~ 平強度 horizontal intensity	365
11~ 頭 head	144
21~ 上機 seaplane	60
~ 秤 hydrostatic balance	142
27~ 解電量計 water voltameter	448
34~ 波 water waves	282
40~ 套 water jacket	225
50~ 車 water wheel	144
58~ 輪機 water turbine	144
60~ 晶 quartz	167
71~ 壓機 hydraulic press	188
90~ 公量 water equivalent	198
弧	
00~ 度 radian	8
~ 度法 circular system	8
90~ 光燈 arc lamp	437
1224, 發	
10~ 管機 dyaamo	481
24~ 射光譜 emission spectrum	344
38~ 冷器 refrigerator	201
~ 送機 transmitter	494
~ 送機 transmitting station	459
47~ 聲器 sounder	480
~ 聲體 sounding body	244
48~ 散機鏡 diverging lens	310
90~ 光體 luminous body	283
1241, 孔	
21~ 徑 aperture	294
1241, 飛	
22~ 機 airship	157
42~ 機 aeroplane	60
1260, 副	
25~ 線圈 secondary coil	460
55~ 軸 secondary axis	294
1268, 碳	
25~ 絲 carbon filament	437
~ 絲燈 carbon filament lamp	438

1313, 球

- 10~面波 spherical wave... 234
 ~面鏡 spherical mirror ... 294
 55~軸承 ball-bearing ... 108
 79~球面 spheroidal state ... 212

1323, 強

- 16~迫振動 forced vibration ... 94
 40~大 waxing ... 254

1364, 酸

- 91~類 acids... 377

1412, 功

- ~work ... 69
 00~率 power ... 69
 ~率放大器 power amplifier 541
 80~之原理 principle of work 108

1413, 聽

- 88~筒 earpiece ... 508

1414, 玻

- 10~液狀液 vitreous humor ... 818

1463, 磅

- 11~碼 weights ... 14
 ~碼之盤 scale-pan ... 14

1519, 疎

- 30~密波 wave of condensation and rarefaction... 332
 71~區 region of rarefaction... 332

1611, 理

- 03~論 theory ... 5
 45~理想體 ideal fluid 或 perfect fluid ... 128
 ~理想體 perfect liquid 128,171
 ~理想體 perfect gas ... 128,171

1613, 環

- 12~環電樞 ring armature ... 481
 85~蝕 annular eclipse ... 285

1625, 彈

- 20~絃 樂器 plucked string instrument ... 270
 40~力 elastic force ... 120
 68~簧秤 spring balance... 44
 95~性 elasticity ... 120
 ~性係數 modulus of elasticity ... 124
 ~性限度 limit of elasticity 124

1712, 弱

- 50~小 waxing ... 254

1720, 弓

- ~bow ... 257

1722, 刀

- 60~口 knife edge ... 14

1723, 聚

- 50~光器 condenser ... 333

1750, 鞏

- 74~膜 sclerotic... 818

1762, 砂

- ~silicon... 510

1763, 歌

- 92~焰 singing flame ... 267

1780, 翼

- 10~留 wing ... 60

1780, 負

- 22~向 negative direction ... 364
 41~極 negative pole ... 359

1863, 磁

- 17~子午西 magnetic meridian 365
 21~傾斜 dip circle ... 365
 23~磁角 declination ... 365
 24~化 magnetization ... 367
 30~之感應 magnetic induction 367
 34~波 magnetic wave ... 504
 40~力 magnetic force ... 359

~力線 magnetic lines of force	363
~力場 magnetic field of force	361
~力場之力線 lines of force of magnetic field of force	363
41~極 magnetic pole	358
~極強度 strength of pole	359
44~黃鐵礦 magnetic pyrite	357
44~場 magnetic field	361
~場強度 magnetic field intensity	361
55~軸線 magnetic axis	358
60~量 quantity of magnetism	359
77~學 magnetism	3
83~磁 magnet	357
~鐵礦 magnetite	357
~磁發電機 magnet machine	484
84~針 magnetic needle	357

2010, 重

89~心 center of gravity	86
40~力 gravity	42
~力波 gravitational waves	232
40~力加速度 acceleration of gravity	80
80~量 weight	42, 107
61~點 point of exertion	111
87~鉀鉍電晶體 dichromate cell	409
~鉀鉍鉀 potassium dichromate	409

2011, 雌

59~螺絲 female screw	116
---------------------------	-----

2021, 往

28~復蒸汽機 reciprocating steam engine	321
---	-----

2021, 位

27~移 displacement	19
~移之三角形 triangle of displacements	21
~移之平行四邊形 parallelogram of displacements	21
~移之多角形 polygon of displacements	22
~移之分解 resolution of displacement	20

~移之合成 composition of displacements	20
60~置 position	17

2022, 停

85~錶 stop watch	10
------------------------	----

2026, 倍

21~八級 octave	268
---------------------	-----

2033, 焦

10~耳 joule	68
~耳定律 Joule's law	433
61~距 focal distance	295
~距 focal length	312
~點 focus	302, 312
~點管 focus tube	535

2040, 雙

17~翼機 biplane	60
24~稜鏡 biprism	549

2071, 毛

28~細現象 capillary phenomena	170
~細管 capillary tube	171
72~髮絲度計 hair hygrometer	209

2091, 統

04~計的平衡 statistical equilibrium	103
--	-----

2091, 維

24~的風 vitaphone	540
------------------------	-----

2038, 絃

~string	257
00~音計 sonometer	257
22~樂器 string instrument	270
40~柱 bridge	257

2094, 紋

34~波 ripples	232
---------------------	-----

2108, 順

18~磁體 paramagnetic bodies	365
24~時計 clockwise	18

2110, 上	
57~擊水車 overshot wheel ...	144
71~唇 upper lip ...	265
2121, 能	
~energy ...	70
50~之變化 transf. rmation of energy ...	73, 219
00~保存定律 law of conservation of energy ...	76
2121, 虎	
40~克拉克 Hooke's law ...	124
虛	
30~焦點 virtual focus ...	202
27~像 virtual image ...	204
2122, 衡	
42~新荷直流伏特計 Weston direct current voltmeter ...	403
~新荷直流安培計 Weston direct current ammeter...	405
荷	
83~鐵 armature ...	457
衝	
24~衝擊機 impulse turbine ...	223
40~力 impulsive force ...	43
87~擊電流計 ballistic galvanometer ...	405
~擊流水機 hydraulic ram...	143
60~量 impulse ...	48
2123, 卡	
04~計 calorimeter ...	103
2123, 傾	
27~角 dip 或 inclination ...	365
頻	
00~率 frequency ...	90
2171, 比	
20~重 specific gravity ...	13
~重瓶 specific gravity bottle	141
44~熱 specific heat...	162

2190, 紫	
~violet ...	235
23~外線 ultra-violet ray ...	233
2191, 紅	
~red ...	235
23~外線 infra-red ray ...	233
2220, 彎	
55~曲應力 bending stress ...	126
2224, 杆	
10~瓦特 kilowatt ...	67, 324
~瓦特小時 kilowatt hour ...	35
37~週 kilocycle ...	508
40~克 kilogram ...	10
~克卡 kilogram-calorie ...	138
~克米 kilogram-meter ...	69
50~米 kilometer ...	8
2224, 變	
35~速度運動 motion with variable velocity ...	25
46~加速度運動 motion with variable acceleration ...	20
71~變壓 transformer ...	139
77~阻變 rheostat ...	127
後	
50~漂力 drift ...	61
2226, 循	
16~環 cycle ...	225
2245, 幾	
21~何加法 geometrical addition ...	21
~何光學 geometrical optics	234
2250, 岩	
78~鹽 rock salt...	167
2272, 斷	
~ to open 或 to break...	407
24~斷路 interrupter ...	458
61~斷強度 breaking strength	126

2230, 剩	
88~餘電荷 residual charge ...	403
2230, 樂	
30~音 musical tone... ..	248
2232, 彩	
88~虹 iris	818
2233, 穩	
30~定平衡 stable equilibrium	83
2320, 外	
40~力 external force	51
~塗 outer coating	401
2320, 參	
44~考圖 reference circle ...	90
2322, 偏	
27~向 deviation	303
33~心棒 eccentric rod	231
55~轉 deflection	137, 360, 463
85~食 partial eclipse	285
2323, 伏	
24~特 volt	307
~特計 voltmeter	463
2412, 動	
09~摩擦 kinetic friction ...	101
~摩擦係數 coefficient of kinetic friction	101
21~能 kinetic energy	70
26~程 stroke	225
~線圈電流計 moving coil galvanometer	484
37~滑輪 movable pulley ...	112
40~力 power	107
56~力揚聲器 dynamic loud speaker... ..	626
60~量 momentum	46
~量不減原理 principle of conservation of momentum	53
61~點 moving point	19

2420, 射	
21~頻 radio frequency	809
~放大機 radio-frequency amplifier	524
26~線 ray	262
2421, 化	
77~學方法 chemical means ...	408
~線 actinic ray	283
~學當量 chemical equivalent	445
2421, 他	
26~拍接收 heterodyne reception	520
2440, 升	
~公升 litre	11
2473, 裝	
80~氣燈 gas-filled lamp	439
2491, 繞	
24~射角 angle of diffraction... ..	352
~射光柵 diffraction grating	353
84~法 winding	484
2492, 稀	
15~氣 rare	233
2494, 稜	
27~角 refracting angle	303
80~鏡 prism	302
~鏡式雙筒望遠鏡 prism binocular	323
2496, 結	
26~線柱 binding post	427
2500, 牛	
51~顏色版 Newton's color disk	317
~頓之運動第一定律 Newton's first law of motion ...	40
~頓之運動第二定律 Newton's second law of motion ...	43
~頓之運動第三定律 Newton's third law of motion ...	50
~頓圈 Newton's ring	351

2522, 佛

- 21~科電流 Foucault current... 470
 ~科法 Foucault's method... 290
 40~萊德之右手定則 Fleming's
 right hand rule... 471
 44~雷克林 Franklin... 379

2524, 傳

- 83~導 conduction... 189
 60~真電報 telephotography... 542
 82~播 propagation... 229

2591, 純

- 90~光譜 pure spectrum... 530

2600, 白

- 43~燈燈 incandescent lamp... 487

白

- 07~記無液氣壓計 self-record-
 ing aneroid... 154
 23~自然現象 natural phenomena 3
 ~然科學 natural science... 2
 ~然律 natural law... 4
 ~然之一致 uniformity of na-
 ture... 4
 60~由端 free end... 242
 ~由電 free electricity... 402
 ~由落體 free falling body... 30
 ~由表面 free surface... 129
 ~由振動 free vibration... 94
 ~來水 water supply... 138
 53~感應 self-induction... 478
 ~感係數 coefficient of self-in-
 duction or self-inductance 474
 53~綑變壓器 auto transformer 491

2620, 伽

- 22~利略 Galileo... 3
 ~利略望遠鏡 Galilean tele-
 scope... 326

2629, 保

- 90~守系 conservative system 74
 78~險絲 fuse wire... 433

2633, 息

- 40~克斯最高最低溫度計 Six's
 maximum and minimum
 thermometer... 176

2693, 總

- 10~管線 main current... 419
 71~壓力 total pressure... 129

2693, 線

- ~dash... 460
 20~位移 linear displacement 78
 25~速度 linear velocity... 78
 48~加速度 linear acceleration 79
 60~量 linear quantity... 79
 71~係數 coefficient of linear
 expansion... 178
 90~光譜 line spectrum... 344

2712, 郵

- 77~局電橋 post office bridge... 427

2720, 多

- 12~孔性 porosity... 120

2722, 向

- 21~徑 radius vector... 18
 23~心力 centripetal force... 63
 60~量 vector quantity... 23

2722, 角

- 27~移 angular displacement... 77
 35~速度 angular velocity... 77
 48~加速度 angular accelera-
 tion... 78
 60~量 angular quantity... 78
 74~膜 cornea... 318

2723, 像

- ~image... 321
 48~散性 astigmatism... 322

2724, 假

- 03~假 hypothesis... 113

2725, 解

- 96~釋 explanation... 1

- 2723, 低
12~形磁棒 bar magnet ... 857
- 2752, 物
10~理現象 physical phenomena 2
~理定律 physical law ... 4
~理量 physical quantity ... 6
~理學 physics ... 2
~光學 physical optics ... 284
21~態變化 change of states ... 123
72~質 matter ... 1
~質不滅定律 law of conservation of matter ... 10
~質之三態 three states of matter ... 123
~質之通性 general properties of matter ... 119
75~體 body ... 2
~體之平衡 equilibrium of a body ... 83
~體反抗力之作用所作之功 work done against a force by a body ... 68
80~射 objective ... 324
95~性質 properties of matter 2
- 2760, 聲
00~度 loudness ... 248, 249
- 2760, 魯
40~魯德光度計 Lummer-Bredham's photometer ... 289
- 2771, 色
27~色差 chromatic aberration 559
48~散 dispersion ... 356
- 2791, 絕
27~絕 to insulate ... 577
~絕體 insulator ... 577
34~絕對度 absolute zero-point 186
~絕對 absolute ... 17
~絕對溫度 absolute temperature ... 185
- 2792, 稠
20~密 dense ... 233
- 網
74~膜 retina ... 815
- 2792, 移
24~動 translation ... 1
- 2793, 綠
~green ... 332
- 2793, 縫
~slit ... 364
- 2810, 以
40~太 ether ... 252, 378
- 2821, 作
77~用範圍 sphere of action ... 123
- 2822, 倫
11~射線 X-ray ... 535
31~羅德光度計 Rumford's photometer ... 283
- 2824, 攸
44~英 Ewing ... 879
- 微
00~音器 microphone ... 494, 521
34~法拉 microfarad ... 399
99~發射 emission theory ... 282
- 2874, 收
02~話器 telephone receiver ... 508
- 2896, 給
60~呂薩克定律 Gay-Lussac's law ... 185
- 2896, 縱
34~波 longitudinal wave ... 233
51~振動 longitudinal vibration ... 233
55~軸 axis of ordinate ... 17

2992. 秒

- ~second 8,10
56~ 擺 second pendulum ... 83

3010. 空

- 77~ 間 space 1
80~ 氣容電器 air condenser ... 400
~ 氣溫度計 air thermometer ... 187
~ 氣唧筒 air pump 189

3011. 流

- 75~ 體 fluid 123
~ 體摩擦 friction of fluids ... 102
~ 體壓力計 manometer ... 158

3013. 滾

- 17~ 子 roller 103
24~ 動摩擦 rolling friction ... 101
~ 動摩擦係數 coefficient of
rolling friction 101

3014. 液

- 21~ 態空氣 liquid air 201
24~ 化 liquefaction 201
75~ 體 liquid 123
~ 體變電器 liquid rheostat ... 425

3021. 完

- 80~ 全彈性體 perfectly elastic
body 123
~ 全滑面 perfectly smooth
surface 102
~ 全同步 synchronous 545
~ 全粗面 perfectly rough
surface 102

3023. 永

- 27~ 久運動 perpetual motion ... 75
~ 久氣體 permanent cases ... 201

3030. 進

- 80~ 氣活門 inlet valve 225

3030. 適

- 77~ 用力 applied force 107

3030. 避

- 10~ 雷針 lightning conductor ... 404

3040. 準

- 40~ 直管 collimator 338

3040. 安

- 40~ 培 ampere 415
~ 培計 amperemeter 或
meter 463
~ 培定則 Ampere's rule ... 454
~ 培匝數 ampere turns ... 453
~ 培小時 ampere hour ... 411

3060. 容

- 10~ 電器 condenser 400
60~ 量 capacity 11

3077. 密

- 00~ 度 density 13
71~ 區 region of condensation ... 232

3080. 定

- 21~ 傾中心 acetate center 141
27~ 像 fixing 330
34~ 波 stationary wave 240
37~ 滑輪 fixed pulley 112

3080. 實

- 20~ 焦點 real focus 292
27~ 像 real image 294
~ 物 object 285
77~ 用單位 practical unit ... 397
~ 用單位制 practical system
of units 68
78~ 驗 experiment 3

3113. 漲

- 44~ 落 fluctuation 515

3116. 潛

- 07~ 望鏡 periscope 329
44~ 熱 latent heat 302

3136, 福

- 12~ 延氣壓計 Fortin's barometer ... 152
- 52~ 托風 photophone ... 540

3210, 測

- 00~ 音測 siren ... 249
- 40~ 力計 dynamometer ... 44

3218, 冰

- 61~ 點 ice point ... 175

3218, 泛

- 00~ 音 overtones ... 252

3214, 浮

- ~ 力 float ... 140
- 40~ 力 buoyancy ... 189
- ~ 力中心 center of buoyancy 189

3216, 活

- 24~ 影機 cinematograph ... 323
- 30~ 塞 piston ... 159
- 84~ 楔 pinch cork ... 136

3230, 近

- 30~ 視眼 short-sighted eye ... 321
- 61~ 點 near point ... 320

透

- 51~ 射器 diatherman ... 190
- 07~ 體 transparent body ... 281
- 80~ 鏡 lens ... 308
- ~ 軸 axis of lens ... 308

3212, 滲

- 52~ 滲 osmose ... 167
- ~ 壓 osmotic pressure ... 168
- ~ 滲析液 dialysis ... 168

3316, 溶

- 02~ 劑 solvent ... 166
- 27~ 解 dissolution ... 166
- ~ 度 solubility ... 166
- ~ 熱 dissolving heat ... 214
- 50~ 液 solution ... 166
- 75~ 體 solution ... 166

3322, 補

- 29~ 償補 compensated pendulum ... 180

3390, 梁

- ~ 梁 beam ... 14

3410, 對

- 50~ 流 convection ... 189

3411, 沈

- ~ 力 sink ... 140

3411, 滲

- 10~ 電 to charge ... 413

3413, 法

- 28~ 線速度 normal acceleration ... 79
- 60~ 拉 farad ... 399
- ~ 拉第 Faraday ... 379
- ~ 拉第之冰桶實驗 Faraday's ice-pail experiment ... 383
- ~ 拉第定律 Faraday's law ... 445
- ~ 拉第暗區 Faraday's dark space ... 531
- ~ 拉第常數 Faraday constant ... 447
- 60~ 圓角 French horn ... 271

3414, 波

- 10~ 耳洛普鏡 Porro's prism ... 238
- 12~ 形曲線 wave curve ... 230
- 22~ 峯 crest ... 231
- 24~ 動 wave motion ... 229
- ~ 調波 undulatory theory ... 222
- ~ 射線 wave ray ... 229
- 30~ 之折射定律 law of refraction of wave ... 238
- ~ 之反射定律 law of reflection of wave ... 236
- 71~ 長 wave length ... 231
- 78~ 環 loop ... 234
- 80~ 前 wave front ... 234
- ~ 儀耳呂薩克定律 Boyle-Gay-Lussac's law ... 185

~ 義耳定律 Boyle's law ...	158
~ 義耳查理定律 Boyle-Charles' law ...	185
~ 谷 trough ...	231
3424, 被	
33~ 溶質 solute ...	166
3430, 遠	
36~ 眼眼 far-sighted eye ...	321
61~ 點 far point ...	320
3430, 錶	
43~ 檢音電流計 D'Arsonval's galvanometer ...	483
60~ 因 dyne ...	42
3512, 沸	
81~ 點 boiling point ...	175, 221
79~ 騰 boiling ...	211
3513, 決	
30~ 流 to short a circuit ...	422
3513, 濃	
30~ 度 concentration ...	166
3516, 油	
14~ 漆 varnish ...	383
17~ 唧筒 oil air-pump ...	180
3530, 連	
24~ 續力 contiguous force ...	46
~ 線光譜 continuous spectrum ...	343
57~ 通管 communicating tubes ...	135
3530, 速	
00~ 度 velocity ...	24
~ 度曲線 speed curve ...	28
~ 準 speed ...	25
3611, 混	
80~ 合法 method of mixture ...	162

3611, 混

00~ 度 temperature ...	175
~ 度計 thermometer ...	175
~ 度配錄器 self-recording thermometer ...	179

3613, 濕

00~ 度計 hygrometer ...	209
-----------------------	-----

3621, 視

20~ 重量 apparent weight ...	139
35~ 神經 optical nerve ...	319
72~ 膨脹係數 apparent coefficient of expansion ...	181
77~ 覺暫留 persistence of vision ...	322

3712, 渦

10~ 電流 eddy current ...	476
~ 電損失 eddy current loss ...	477

滑

24~ 動摩擦 sliding friction ...	101
~ 動變阻器 sliding rheostat ...	437
~ 動活門 slide valve ...	221
58~ 輪 pulley ...	112
~ 輪組 combination of pulleys 或 block and tackle ...	113
94~ 潤 lubricating substance ...	103

3718, 凝

80~ 固 solidification ...	213
61~ 點 solidifying point ...	213

3722, 初

35~ 速度 initial velocity ...	29
-----------------------------	----

3730, 週

47~ 期 period ...	89
~ 期運動 periodic motion ...	89

通

~ to close 或 to make ...	408
44~ 草球 pith ball ...	376
77~ 風 ventilation ...	150

過 1188

- 38~ 冷 supercooling ... 213
 44~ 蒸 superheating ... 213
 87~ 飽和 superheating ... 167
 98~ 帶 superfusion ... 213

3730, 運 8188

- 21~ 動 motion ... 19
 ~ 動之方向 direction of motion ... 19
 ~ 動定律 law of motion ... 47

3811, 汽 8188

- ~ 汽 vapor ... 197
 24~ 化 vaporization ... 197
 38~ 化熱 heat of vaporization ... 202
 50~ 油 gasoline ... 225
 60~ 車 automobile ... 225

溢 8188

- 12~ 水管 overflow pipe ... 191

3813, 冷 8188

- 02~ 霜 freezing mixture ... 216
 87~ 凝器 condenser ... 205

3814, 激 8188

- 12~ 發 excitation ... 483
 ~ 發器 excitant ... 409
 ~ 發器 exciter ... 484

3814, 游 8188

- 00~ 起 ionization ... 445
 17~ 子 ion ... 445

3815, 海 8188

- 10~ 耳方表 Hare's method ... 120

3824, 複 8188

- 00~ 音 compound tone ... 338
 24~ 絕熱電機 compound dynamo ... 485
 00~ 光 compound light ... 338

3830, 選 8188

- 47~ 好斯 Sondhauss ... 247

3850, 道 8188

- 10~ 爾頓之分子說 Dalton's molecular hypothesis ... 121

3834, 導 8188

- 17~ 翼 guide vane ... 143
 181~ 透氣性 permeability ... 390, 370
 22~ 出量 derived quantity ... 6
 ~ 出單位 derived unit ... 7
 75~ 管 condenser ... 180, 373

3812, 消 8188

- 27~ 色散鏡 achromatic prism ... 330
 ~ 色散鏡 achromatic lens ... 330
 70~ 抽油機 air pump ... 161

4000, 叉 8188

- 77~ 股 prong ... 244

4001, 左 8188

- 26~ 手定規 left hand rule ... 451

4001, 雄 8188

- 55~ 螺絲 male screw ... 115

4002, 力 8188

- ~ 力 force ... 83
 26~ 偶 couple ... 85
 ~ 偶面 plane of couple ... 85
 ~ 偶之強度 intensity of couple ... 85
 ~ 偶臂 arm of couple ... 85
 ~ 偶矩 moment of couple ... 85
 30~ 之三要素 three elements of force ... 56
 ~ 之平行四邊形定律 law of parallelogram of force ... 83
 ~ 之重力單位 gravitational unit of force ... 41
 ~ 之絕對單位 absolute unit of force ... 43
 ~ 之獨立作用定律 law of independence of force ... 47
 84~ 對於物體所作之功 work done by a force on a body ... 65
 77~ 學 mechanics ... 2
 ~ 學能 dynamical energy ... 70

4008. 大	
00~ 音階 major scale	289
21~ 卡 great calorie	188
60~ 提琴 cello	279
60~ 氣 atmosphere	151
~ 氣 空 壓 力 atmospheric pressure	151
~ 氣 壓 atmospheric pressure	152
90~ 小 magnitude	6, 10, 55
大	
70~ 關係 solar system	3
~ 日 solar day	9
~ 時 solar time	9
4010. 查	
18~ 理定律 Charles' law	123
4010. 直	
23~ 線 直 線 rectilinear motion	19
27~ 角 直 角 三 角 形 right-angle prism	394
33~ 角 坐 標 rectangular coordinates	18
30~ 流 直 流 direct current	479
~ 直 流 電 機 direct current dynamo	481
~ 流 變 壓 器 continuous current transformer	491
33~ 直 視 鏡 direct vision prism	398
~ 直 視 光 鏡 direct-vision spectroscope	399
4021. 克	
~ gram	11
20~ 重 gram-weight	43
21~ 卡 gram calorie	188
67~ 普 克 斯 暗 區 Crookes' dark space	529
~ 普 克 斯 管 Crookes' tube	532
40~ 海 涅 夫 定 律 Kirchhoff's law	345
50~ 拉 德 尼 圖 形 Chladni's figure	251
71~ 厘 米 gram-centimeter	68
80~ 每 秒 厘 米 gram centimeter per second	46
~ 當 量 gram equivalent	147
~ 米 gram-meter	69
4022. 內	
10~ 電 阻 internal resistance	422

17~ 聚 力 cohesion	122
40~ 力 internal force	51
~ 漆 inner coating	401
71~ 反 射 internal reflection	330
98~ 燃 機 internal combustion engine	224
有	
47~ 聲 影 片 talkie	540
布	
37~ 布 朗 運 動 Brownian motion	121
南	
41~ 極 south pole	859
4040. 支	
61~ 點 fulcrum	111
4080. 古	
40~ 力 吸 管 Coolidge tube	538
吉	
50~ 泰 德 琴 guitar	270
4084. 壽	
80~ 命 life	438
4073. 去	
41~ 極 偏 depolarizer	409
4080. 真	
30~ 空 管 振 動 器 vacuum tube oscillator	517
~ 空 管 整 流 器 vacuum tube rectifier	497
72~ 膨 脹 係 數 true coefficient of expansion	181
4080. 木	
60~ 星 Jupiter	290
72~ 氣 吹 樂 器 wood-wind instrument	271
4080. 來	
51~ 萊 頓 Leyden jar	409

4499. 林
25~得 Linde 201
4595. 棒
~ rod 258
4600. 加
35~速度 acceleration 28
4619. 場
18~磁鐵 field magnet 451
4621. 鏡
22~鋼鏡 opera glass 328
30~察 observation 8
4690. 柏
40~克勞德 Becquerel 547
~克勞德射線 Becquerel rays 547
- 相
~ phase 89
10~互作用 mutual action 49
22~片 photograph 330
34~對位置 relative position... 19
~對的 relative 17
~對濕度 relative humidity 207
~對運動 relative motion ... 19
4692. 楞
37~次定律 Lenz's law 470
4740. 聲
~ sound 244
10~電流 voice current 622
30~之折射 refraction of sound 248
~之反射 reflection of sound 247
21~波 sound wave 245
~波之射線 sound ray 249
44~音 vocal chords... .. 258
60~錄 sound track... .. 541
77~學 sound 8
~學 acoustics 244
4742. 努
40~力 effort 107
4745. 姆
77~歐 mho 416
4751. 靶
~ target 335
4772. 切
22~剪壓力 shearing stress ... 125
26~線加速度 tangential acceleration 79
4780. 起
10~電 to electrify 375
~電盤 electrophorus 387
~電機 electric machines ... 387
4783. 超
61~距作用 action at a distance 379
~顯像鏡 ultramicroscope ... 122
4793. 根
~ radical 445
- 標
40~皮 Indian rubber 377
4793. 槌
~ hammer 457
4794. 網
37~漏極 grid leak 514
41~極 grid 511
~極電容器 grid condenser... 514
4824. 散
24~射 scattering 292
~光 scattered light 292
4841. 乾
10~電池 dry cell 411

4893, 松
20~香 resin... 377

4898, 檢
24~波器 detector ... 503, 509

5000, 中
10~天 culmination ... 9
28~和 neutralization ... 578
30~中央線 central ray ... 313
51~指 middle finger ... 462
56~提琴 viola ... 370

串

12~聯 connected in series ... 419
24~機發電機 series-dynamo ... 454
~線磁場 series field ... 485

5001, 推
24~桿 driving rod ... 221
30~螺槳 propeller ... 60

5001, 抗
30~流線圈 choking coil ... 522

5001, 拉
20~弦樂器 bowed instrument 370
40~克列得電池 Laclade's cell 411

5003, 夫
30~字因和德爾線 Fraunhofer's line ... 388
60~菲涅爾 Fresnel ... 252
~菲涅爾之鏡實驗 Fresnel's mirror experiment ... 349

5004, 接
25~收機 receiver ... 458
~收局 receiving station ... 460
44~地 earthed ... 400

5008, 擴
48~散 diffusion ... 195

5013, 蟲
77~膠 shellac ... 377

5023, 本
25~生電池 Bunsen's cell ... 410
~生之吸收係數 Bunsen's absorption coefficient ... 169
~生光度計 Bunsen's photometer ... 238
62~影 umbra ... 285

5033, 惠
10~夏斯 Huyghens ... 283
~夏斯原理 Huyghens' principle ... 235
42~斯登電橋 Wheatstone's bridge ... 424

5073, 表
10~面 surface ... 2
~面張力 surface tension ... 170
~面張力波 capillary waves 232
~面色 surface color ... 347
~面密度 surface density ... 385

5090, 末
35~速度 final velocity ... 29

5090, 東
23~縛電 bound electricity ... 402

5101, 排
80~氣排門 exhaust valve ... 225
~氣口 exhaust ... 223

5103, 振
34~動 vibration 或 oscillation 62
~動放電 oscillatory discharge 501
41~幅 amplitude ... 59

5104, 攝
73~氏溫標 Celsius scale ... 175

5106, 指
11~北極 north-seeking pole ... 358
40~南極 south-seeking pole ... 358
84~針 pointer ... 14

5106. 輻

- 24~射 radiation ... 199 238
 ~射器 radiator ... 191

5111. 虹

- ~ primary rainbow ... 340
 10~霓 rainbow ... 340
 87~噴管 siphon ... 162

5201. 托

- 01~值 Thollon ... 338
 60~且芬利之實驗 Torricelli's
 experiment ... 151
 ~且芬利真空 Torricelli's
 vacuum ... 151
 ~且芬利管 Torricelli's tube 151

5202. 折

- 24~射 refraction ... 237
 ~射率 index of refraction
 ... 238 207
 ~射器 refractor ... 237
 ~射面 plane of refraction ... 238
 ~射面 refracting edge ... 203
 ~射線 refracted ray ... 238
 ~射角 angle of refraction ... 238

5207. 插

- 11~插 plug ... 426

5225. 靜

- 00~摩擦 static friction ... 101
 10~電力場 field of electro-
 static force ... 892
 ~電感應 electrostatic induction
 or influence ... 852
 21~止 rest ... 19
 ~止角 angle of repose ... 100
 30~液之靜事 hydrostatic para-
 dox ... 133

5290. 刺

- 24~德福 Rutherford ... 555

5301. 控

- 22~制器 controller ... 437

5302. 輔

- 53~軸 auxiliary axis ... 234

5320. 成

- 47~博赫斯特感應起電機 Wira-
 hurst's influence machine 383

成

- 00~感應 induction coil ... 492
 01~感應 induction furnace ... 441
 10~電流 inducing current ... 469
 18~磁鐵 inducing magnet ... 367
 73~體 inducing body ... 332

成

- 10~樂管 clarinet ... 271

5323. 靛

- ~ indigo ... 335

5401. 拋

- 24~射體 projectile ... 32
 27~物線 parabola ... 33

5401. 軌

- 36~道 orbit ... 19
 ~道 trajectory ... 33

5504. 轉

- 24~動 rotation ... 19
 55~軸 shaft ... 231
 81~矩 torque ... 82

5503. 抽

- 12~水唧筒 water pump ... 159

軸

- 77~周之力矩 moment of force
 about an axis ... 82

5509. 扶

- 48~散電爐 Moissan furnace ... 441

6010, 量	
~ quantity	6
09~度 measurement	4
10~電器 electrical measuring instruments	463
44~熱學 calorimetry	182
6012, 蹄	
12~形磁鐵 horse-shoe magnet	357
6014, 最	
00~高溫度計 maximum thermometer	176
22~低溫度計 minimum thermometer	176
40~大摩阻力 maximum friction	99
~大密度 maximum density	198
~大壓力 maximum pressure	168
60~曼致離 Zeeman effect	563
90~小偏角 minimum deviation	303
6015, 國	
77~際原器 international standard	7
6021, 口	
24~動機機 four stroke cycle engine	224
6033, 黑	
09~夾 enoroides	319
6040, 曼	
09~度味 Mandolin	270
6041, 望	
28~牌玻璃 crown glass	339
6043, 因	
~ cause	4
60~果律 law of causality	4
67~鋼 invar	180

6044, 昇	
09~高 height of ascent	32
44~昇 sublimation	216
71~階梯 step-up transformer	459
6050, 聚	
29~沙 Pisa	3
6060, 回	
47~聲 echo	247
6069, 固	
40~有音 proper tones	254
~有振動 natural vibration	93
75~體 solid	123
圖	
10~示法 graphical representation	23
6066, 晶	
72~質 crystalloid	168
75~體 crystal	167
~體檢波器 crystal detector	510
6071, 見	
43~式圖形 Kundt's figure	267
~式管 Kundt's tube	267
6080, 圓	
77~周運動 circular motion	33
88~筒 cylinder	159
6090, 果	
~ effect	4
6091, 羅	
27~羅 compass	306
6126, 點	
~ dot	160
6128, 顯	
27~像 developing	530
28~鏡 microscope	294

6200, 喇	喇叭	271
6205, 瞬	瞬時	
61~時角速度 instantaneous	angular velocity	77
~時速度 instantaneous velo-	city	25
~時加速度 instantaneous	acceleration	27
6233, 懸	懸點	
61~點 point of suspension		91
6292, 影	影	
~shadow		284
82~片 film		223
6502, 睛	晶狀體	
45~球 crystalline lens		318
6606, 唱	唱片	
52~片 record		278
6809, 噪	噪音	
47~聲 noise		248
6350, 質	質	
00~音 simple tone		252
17~面單面單面		60
20~位 unit		6
~位正荷	positive charge	392
~位正極	positive pole	341
~位強度之極	pole of unit strength	361
27~色射線 homogeneous ray		335
~色光 monochromatic light		335
30~液體說 one fluid theory ..		379
56~擺 simple pendulum		91
61~顯微鏡 simple microscope		324
6702, 明	明線	
28~線 bright lines		343
~線光譜 bright-lines spec-	trum	344

83~視距離 distance of distinct	vision	320
~		
~		
88~筒 pump		159
6703, 眼	眼	
80~之調節 accommodation of	the eye	320
80~鏡 spectacles		321
6704, 吸	吸	
17~吸唧筒 suction pump		161
23~收 absorption		169
~收壓 absorption pressure		169
~收光譜 absorption spect-	rum	344
74~附 adsorption		169
77~閉 occlusion		169
6708, 吹	吹奏樂器	
50~奏樂器 wind instrument ..		270
6716, 路	路	
28~線 path		19
~程差 path difference		232
6733, 照	照	
00~度 intensity of illumina-	tion	287
46~相物鏡 photographic objec-	tive	331
~相片 photographic plate		330
~相機 photographic camera		331
60~光木質 illuminating power		237
6802, 吩	吩	
3~		288
6806, 哈	哈	
30~哈爾頓之電皮動風車 Ham-	ilton's electric reaction mill	387
7022, 劈	劈	
~ wedge		119

7121, 厘

- 60 ~ 米 centimeter 8
 ~ 米克秒制 centimeter-gram-second system 12

壓

- 23 ~ 縮壓力 compressive stress 125
 ~ 縮力 compression 125
 ~ 縮器 compressor 204
 ~ 縮唧筒 compression pump 161
 ~ 縮性 compressibility 120
 40 ~ 力 pressure 4, 129
 ~ 力強度 intensity of pressure 129
 ~ 力之傳達 transmission of pressure 153
 ~ 力唧筒 force pump 161

7122, 阿

- 44 ~ 基米得原理 Archimedes' principle 139

7124, 反

- 10 ~ 電動勢 counter electromotive force 408
 18 ~ 磁體 diamagnetic bodies ... 368
 24 ~ 動 recoil 53
 ~ 動輪機 reaction turbine ... 223
 ~ 射面 plane of reflection ... 238
 ~ 射線 reflected ray 238
 ~ 射角 angle of reflection ... 238
 28 ~ 作用 reaction 49
 67 ~ 擊 return shock 404
 64 ~ 時針 counter-clockwise ... 18
 85 ~ 震盪閥 tickler 516

7129, 原

- 16 ~ 理 principle 5
 17 ~ 子 atom 121
 ~ 子序數 atomic number ... 555
 ~ 子價 valency 445
 ~ 子之構造 atom structure 555
 ~ 子量 atomic weight 445
 24 ~ 動力 prime power 106
 ~ 動機 prime mover 106
 23 ~ 度 initial line 16

- ~ 線圈 primary coil 469
 27 ~ 色 primary color 348
 61 ~ 點 origin 17
 62 ~ 則 fundamental principle 5

7132, 馬

- 40 ~ 力 horse power 69, 434
 ~ 克士威 Marwell 383, 379
 67 ~ 哈特定律 Mariotte's law ... 188

7171, 匝

- 58 ~ 數 number of turns 456

7173, 長

- 60 ~ 度 length 6

7220, 刷

- ~ 刷 brush 389

剛

- 75 ~ 體 rigid body 120

7222, 膨

- 71 ~ 脹造 expansion tank 191

7227, 陷

- 60 ~ 口 crater 437

7230, 質

- 17 ~ 子 proton 556
 60 ~ 量 mass 6, 10
 ~ 量中心 center of mass 80
 61 ~ 點 material point 或 particle 2
 ~ 點系 material system 2

7420, 附

- 80 ~ 着力 adhesion 123

7421, 陸

- 21 ~ 上機 airplane 60

7423, 隨

- 36 ~ 遇平衡 neutral equilibrium 89

7423, 膜

- ~ membrane 283
22~片 diaphragm 456

7521, 體

- 71~脹係數 coefficient of cubic expansion 178

7622, 陽

- 10~電 positive electricity 876
27~向陽子 anion 445
40~核 positive nucleus 554
41~極 positive pole 407
~極 anode 444
~極電輝 positive glow 531

腸

- 74~黃絛 catgut string 257

7721, 阻

- 40~力 resistance 107
77~尼 damping 484
~尼振盪 damped oscillation 502

風

- 11~琴 organ 271
~琴管 organ pipe 265, 271

7721, 尾

- 17~風 tail pane 62

7722, 月

- 85~蝕 lunar eclipse 285

同

- 00~音 unison 268
20~位元素 isotopes 553
88~等 equivalent 20

7722, 膠

- 72~質 colloid 168

7722, 局

- 07~部電流 local current 408
~部電池組 local battery 460

7724, 閉

- 88~管 closed pipe 263
~管壓力計 closed manometer 159

7725, 降

- 44~降落 parachute 156
71~階梯 step-down transformer 489

7726, 居

- 60~里 Curie 547
~里 curie 550

7744, 丹

- 10~達爾電池 Daniell's cell 410

7744, 開

- 88~管 open pipe 263
~管壓力計 open manometer 159

7750, 舉

- 56~攝力 lift 51

7760, 醫

- 77~用溫度計 clinical thermometer 178

7760, 留

- 47~聲機 phonograph 271

7771, 巴

- ~ bar 129
42~斯噶原理 Pascal's principle 132
60~羅輪 Barlow's wheel 482

7777, 凹

- 32~透鏡 concavo lens 809
80~鏡 concavo mirror 294

7777, 凸

- 32~透鏡 convex lens 809
77~凹透鏡 convexo-concave lens 909
80~鏡 convex mirror 294

7778, 歐

- 47~姆 ohm 415, 416
~姆 Ohm 418
~姆定律 Ohm's law 418

7780, 具	具	4877
20~毛肌肉 ciliary muscles ...	...	419
7810, 鹽	鹽	4877
91~類 salts ...	...	477
7823, 陰	陰	4877
10~電 negative electricity ...	...	476
27~陽子 cation ...	...	445
41~極 negative pole	...	407
~極 cathode ...	...	444
~極電輝 negative glow ...	...	631
~極射線 cathode ray ...	...	532
~極區 negative column ...	...	529
90~粒 negative corpuscle ...	...	634
7838, 驗	驗	4877
10~電板 proof-plane ...	...	884
~電器 electroscopo ...	...	877
7876, 臨	臨	4877
60~界狀態 critical state ...	...	200
~界角 critical angle ...	...	810
~界溫度 critical temperature ...	...	200
~界點 critical point ...	...	200
~界壓力 critical pressure ...	...	200
8000, 八	八	4877
00~音度 octave ...	...	268
人	人	4877
84~環磁鐵 artificial magnet ...	...	857
入	入	4877
24~射面 planes of incidence ...	...	238
射線 incident ray ...	...	238
10~射角 angle of incidence ...	...	238
~射點 point of incidence ...	...	238
8010, 並	並	4877
12~器 connected in parallel ...	...	420

8010, 全	全	8327
51~振幅 double amplitude ...	...	30
71~反射 total reflection ...	...	300
85~蝕 total eclipse ...	...	285
8010, 金	金	4877
77~簧弦 metal string ...	...	257
~馬絲燈 metal filament lamp ...	...	438
71~履次夾機器 brass instrumant ...	...	271
8011, 鐘	鐘	4877
12~形揚聲器 cone speaker ...	...	625
鐘	鐘	4877
~clock ...	...	92
85~備 clock and watch ...	...	10
8011, 氫	氫	4877
80~氣溫度計 hydrogen thermo-meter ...	...	187
氣	氣	4877
24~化銨 ammonium chloride ...	...	411
8021, 氦	氦	4877
~neon ...	...	344
83~管 neon tube ...	...	439
氣	氣	4877
~krypton ...	...	344
8022, 介	介	4877
72~質 medium ...	...	229
~質 dielectrics ...	...	376
~質常數 dielectric constant ...	...	381
或 specific inductive capacity ...	...	381
8022, 前	前	4877
80~膠液 aqueous humor ...	...	318
8022, 分	分	4877
~minute ...	...	8, 10
17~子 molecule ...	...	121

8822, 節

- 10~一暗區 first dark space ... 531
 ~二暗區 second dark sp. ... 529

簡

- 01~簡運動 simple harmonic motion ... 90
 ~單樂器 simple musical instrument ... 270
 ~單機械 simple machine ... 109

8834, 等

- 27~角速度 constant angular velocity ... 77
 ~角加速度 constant angular acceleration ... 78
 83~等調液 isotonic solution ... 103
 95~等速度運動 uniform motion
 ~速度直線運動 uniform rectilinear motion ... 24
 46~加速度運動 motion with constant acceleration ... 20
 64~時性 isochronism ... 92

8846, 算

- 21~術加法 arithmetical addition ... 21

8872, 節

- 23~制活門 regulating valve ... 205
 23~線 nodal line ... 231
 35~速器 governor ... 232
 61~點 nodal point ... 234

8880, 簧

- ~reed ... 255
 77~風琴 harmonium ... 271

8000, 小

- 00~音階 minor scale ... 234
 21~卡 small calorie ... 188
 53~提琴 violin ... 270
 01~時 hour ... 10

8021, 光

- 98~譜 spectrum ... 333
 ~譜線 spectral lines ... 343

~譜線之白蝕 reversal of spectrum lines ... 345

~譜分析術 spectral analysis 344

10~電效選 photo-electric effect ... 539

~電子 photo-electron ... 539

~電管 photo-electric cell ... 540

15~線 optically rare ... 298

23~線 light ray ... 284

30~之干涉 interference of light ... 340

~之電磁說 electromagnetic theory of light ... 379

~之繞射 diffraction of light 351

~之折射 refraction of light 297

~之直線傳播 rectilinear propagation of light ... 284

~之反射 reflection of light 292

~密 optically dense ... 293

31~源 luminous source ... 281

33~心 optical center ... 313

34~波 light wave ... 283

47~柵之寬 width of grating ... 354

~柵常數 constant of grating 354

77~學 optics 或 light ... 283

~闕 stop ... 331

90~體 light corpuscle ... 282

9048, 尖

~端作用 point action ... 333

9050, 半

10~瓦特燈 half-watt lamp ... 439

24~化期 half value period ... 530

32~透射體 translucent body 231

33~導體 semiconductor ... 377

62~影 penumbra ... 255

9080, 火

10~石玻璃 flint glass ... 340

31~封 sealing wax ... 377

9084, 米

~meter ... 7

23~制 metric system ... 7

71~原器 standard meter ... 7

93~燭光 meter candle ... 233

8101, 恆

00~星日 sidereal day ... 9

~星時 sidereal time ... 9

9186. 粘 ... 171

24~ 粘性 viscosity ... 171

9287. 燈 ... 437

22~ 鎢 filament ... 511

27~ 泡 bulb ... 437

9336. 熔 ... 213

27~ melting ... 213

之潛熱 latent heat of fusion ... 213

27~ 熱點 heat of fusion ... 213

61~ 點 melting point ... 213

9632. 燭 ... 238

90~ 光 candle power ... 238

9708. 慣 ... 49

95~ 性 inertia ... 49

~ 性定律 law of inertia ... 49

9725. 單 ... 531

26~ 波 striation ... 531

9881. 炸 ... 448

90~ 氣電管計 knallgas volta-meter ... 448

外來字 9338

A 電池組 A battery ... 512

B 電池組 B battery ... 513

C. G. S. 制 厘米克秒制 ... 12

C. G. S. 單位 C. G. S. unit ... 301

C. G. S. 靜電制之單位電容 ... 303

C. G. S. electrostatic unit of capacity ... 303

C. G. S. 靜電制之單位電差 ... 397

of potential difference ... 397

N 極 N pole ... 358

X 軸 X-axis ... 37

X 射線 X-ray ... 535

X 射線管 X-ray tube ... 535

Y 軸 Y-axis ... 37

α 射線 α -ray ... 543

α 質點 α particle ... 543

β 射線 β -ray ... 543

β 質點 β particle ... 543

γ 射線 γ -ray ... 543