

物理第三冊目錄

第 六 講

頁數

第五講內容測驗	1—1
第五講(D)習題解答	1—5
第四講內容測驗解答	5—5
第十章(續) 氣體之物性(續)	
A. 課程	7—9
B. 教材問答	10—11
C. 複習題	12—12
D. 習題	12—12
第十一章 氣體之物性(續)	
A. 課程	13—29
B. 教材問答	29—31
C. 複習題	31—32
D. 習題	32—33
E. 第六講內容摘要	33—36
第六講(D)習題解答	36—37

第 七 講

第六講內容測驗	39—39
第五講內容測驗解答	39—40
第十二章 力和運動	
A. 課程	41—61
B. 教材問答	61—62
C. 複習題	63—63
D. 習題	63—64
第十三章 力和運動(續)	
A. 課程	65—71
E. 第七講內容摘要	71—73
第七講(D)習題解答	74—74

第五講內容測驗

1. 氣體如何顯出它的膨脹企圖？
2. 大氣間空氣的張力情況如何形成？
3. 赫隆球有何作用？
4. 請解釋風箱及肺部呼吸的作用方式。
5. 從波義耳——馬略特定律中，我們可以說出那兩種涵義？
6. 某氣體的體積為 v_1 ，所受壓力為 p_1 ，如果將壓力增為 p_2 時，體積 v_1 則將如何變化？並變成多大的 v_2 ？
7. 某氣體的體積原為 v_1 ，如果擴展為 v_2 時，氣體的張力 p_1 則將如何變化？並變成多大的 p_2 ？
8. 封閉式液體壓力計是如何構成的？其作用如何？
9. 氣體的密度與其壓力和體積之連帶關係各如何？
10. 所謂還原到正常的氣體密度，以及還原到正常壓力下的氣體體積，指的是什麼意思？

第五講(D)習題解答

第 八 章

1. 因氣體張力而形成的底面壓力為 $100 \times 20 \times 1.033 = 2066$ 仟克；因氣體重量而形成的底面壓力為 $25 \times 0.02586 = 0.6465$ 仟克。
2. $900 \times 1.033 / 760 = 1.223$ (約) 仟克 / 平方厘米； $900 / 760 = 1.184$ (約) 大氣壓。
3. $785 + 150 = 935$ 毫米水銀， $785 - 20 = 765$ 毫米水銀。
4. 受壓面積為 $1 \times 1 \times 3.14 = 3.14$ 平方厘米，壓力為 $30 / 3.14 = 9.554$ (約) 仟克 / 平方厘米。
5. $34 \times 1.033 = 35.122$ 仟克 / 平方厘米。
6. 10 大氣壓 $= 10 \times 760 = 7,600$ 毫米。因此，管子必需比 $7,600 - 760 = 6,840$ 毫米略長。
7. $\frac{15}{1,000,000} \times 1.033 / 760 = 0.02$ (約) 毫克 / 平方厘米。

$$8. 2\frac{1}{3} \times 760 = 1,773.3 \text{ (約) 毫米。}$$

$$9. 3 \times 1.033/760 = 4 \text{ (約) 克 / 平方厘米}$$

10. $5 + 20 \times 1 = 25$ 公升正常的空氣被壓縮 5 公升的空間，空氣的壓力及密度均增為 5 倍。

$$11. \frac{1}{40} \times 760 = 19 \text{ 毫米}$$

$$12. 6,000/13.6 = 441.2 \text{ 毫米}$$

$$13. 28 \text{ 厘米水柱} = 280/13.6 = 20.6 \text{ (約) 毫米水銀柱，壓力為 } 752 - 20.6 = 731.4 \text{ 毫米水銀柱}$$

$$14. 41/1.033 = 39.7 \text{ (約) 大氣壓。}$$

$$15. 45 \text{ 厘米水柱} = 450/13.6 = 33.1 \text{ (約) 毫米水銀，壓力則為 } 780 + 33.1 = 813.1 \text{ 毫米或 } 780 - 33.1 = 746.9 \text{ 毫米。}$$

$$16. 1.2 \cdot 1.033 = 1.16 \text{ (約) 大氣壓，} 1.2 \times 760/1.033 = 882.9 \text{ (約) 毫米。}$$

$$17. 200/13.6 = 14.7 \text{ (約) 厘米水銀。}$$

$$18. 90 \times 1.033/76 = 1,223 \text{ (約) 克。}$$

$$19. 50/760 = 0.0658 \text{ (約) 大氣壓。}$$

$$20. 500 \times 13.6 = 6.8 \text{ 米，} 760 \times 13.6 = 10.336 \text{ 米，水深為 } 1,000 \times 13.6 = 13.6 \text{ 米。}$$

$$21. 10.33/30 = 34 \text{ (約) 厘米。}$$

$$22. 8 \text{ 厘米水柱} = 80/13.6 = 5.9 \text{ (約) 毫米水銀，壓力為 } 864 - 5.9 = 858.1 \text{ 毫米。}$$

$$23. 136 \text{ 厘米水柱} = 1,360/13.6 = 100 \text{ 毫米水銀，壓力為 } 788 + 100 = 888 \text{ 毫米。}$$

第 九 章

1. 原先有 $0.001293 \times 5,000 = 6.465$ 克的空氣。空氣抽稀後的比重設為 x ，則 $0.001293 : x = 760 : 52$ ， $x = 0.0000885$ (約)，空氣抽稀後的絕對重量為 $0.0000885 \times 5,000 = 0.4425$ 克，所以被抽出的空氣，其重量為 $6.465 - 0.4425 = 6.0225$ 克。

2. 開始的體積 $=v$ ，擴展以後的空氣壓力設為 x ，即可從 $v \times 72 = \frac{3}{2} v \times x$ 式中，求得 $x = 48$ 厘米。故管內的水銀高出 $720 - 480 = 240$ 毫米。

3. 正常的空氣壓力 ≈ 10.33 米水柱，水面下 15 米深處的壓力 $= 10.33 + 15 = 25.33$ 米水柱，潛水鐘的容積 $= v$ ，受壓縮的空氣之體積 $= x$ ， $v \times 10.33 = x \times 25.33$ ， $x = 0.4$ （約） v ，所以鐘內約有 $\frac{2}{5}$ 的容積仍充滿空氣。

4. $25.33/10.33 = \frac{5}{2}$ （約）大氣壓。

5. 比重設為 x ，從 $0.001293 : x = 760 : 520$ 式中，即可算出 $x = 0.0008847$ （約）。又壓力 $= 1.033 \times 520/760 = 0.7068$ （約）仟克/平方厘米。

6. $21/12,000 = 0.00175$ ，正常的密度設為 x ，由 $0.00175 : x = 780 : 760$ 式中，即可算出 $x = 0.001705$ （約）。

7. 氧氣的比重以水為基準者，為 $1.1056 \times 0.001293 = 0.00143$ （約），在 20 大氣壓下的比重設為 x ，則可由 $0.00143 : x = 1 : 20$ 式中，算出 $x = 0.0286$ ；氧氣的絕對重量 $= 30 \times 0.0286 = 0.858$ 仟克。

8. 30 米深處的壓力 $= 10.33 + 30 = 40.33$ 米水柱，肺部的正常容積 $= v$ ，經過壓縮後的容積 $= x$ ， $v \times 10.33 = x \times 40.33$ ， $x = 0.25 v$ （約），所以肺中的空氣將被壓縮成四分之一。

9. 在水面下某一深處，該處之壓力相當于 740 毫米之水銀壓力。740 毫米水銀 $= 740 \times 13.6 = 10,064$ 米水深。

10. 比重 x 可由 $0.001293 : x = 76 : 71$ 式中求得之，即 $x = 0.001208$ 。

11. 比重 x 可由 $0.001293 : x = 760 : 700$ 式中求得之，即 $x = 0.001191$ （約），絕對重量為 $8 \times 0.001191 = 9.528$ 克。

12. 受壓縮的空氣，其壓力設為 x ，即可由 $72 \times 90 = x \times 25$ 式中，算出 $x = 259.2$ 厘米水銀。

13. $R : (R + S) = 3 : 4$ ，八次動程後，空氣壓力祇剩下原有壓力的 $(\frac{3}{4})^8 = \frac{6,561}{65,536} = \frac{1}{10}$ （約）。氣壓測驗器所指為 77 毫米。

14. 以厘米水銀表示的壓力設為 x ，即可由 $80 \times 2,000 = x \times 50$ 式中，求出 $x = 3,200$ 厘米水銀 $= 3,200 \times 13.6 = 435.2$ 米水柱。

15. 比重設為 x ，即由 $0.001293 : x = 1 : 2.5$ 式中，求出 $x = 0.003233$ (約)。

16. $R : (R+S) = 1 : 2$ ，十次動程後，其密度和壓力只剩下開始時的 $\left(\frac{1}{2}\right)^{10} = \frac{1}{1,024}$ ；故比重為 $0.001293/1,024 = 0.000001263$ (約)，壓力為 $760/1,024 = 0.74$ (約) 毫米水銀。

17. 比重 x 可以由 $0.001293 : x = 760 : 751$ 式中算出， $x = 0.001278$ (約)。

18. $2 + 20 \times 1 = 22$ 公升正常的空氣，其體積被壓為 2 公升時，其壓力及比重均增為 11 倍；故壓力為 $11 \times 790 = 8,690$ 毫米水銀 $= 8,690/760 = 11.43$ (約) 大氣壓，比重 x 可以由 $0.001293 : x = 1 : 11.43$ 算出， $x = 0.01478$ (約)。

19. $R : (R+S) = 400 : 480 = 5 : 6$ ；2 毫米水銀 $= \frac{1}{380}$ 正常氣壓。
○ 位移的次數設為 x ，則 $\left(\frac{5}{6}\right)^x = \frac{1}{380}$ 。 $x \times \log \frac{5}{6} = \log \frac{1}{380}$ ， $x = \log \frac{1}{380} / \log \frac{5}{6} = -2.5798 / -0.0792 = 33$ (約)。

20. 壓力 x 可以由 $1.033 \times 110 = x \times 15$ 式中求得之，即 $x = 7.575$ (約) 仟克/平方厘米。

21. 容積為 $5 \times 5 \times 3.14 \times 50 = 3,925$ 立方厘米，正常的氣壓下，此空氣的體積設為 x ，則可由 $7 \times 3,925 = 1 \times x$ 式中，求出 $x = 27,475$ 立方厘米 $= 0.027475$ 立方米。

22. 壓縮氫氣對空氣的比重為 $100 \times 0.0695 = 6.95$ ，其 1 大氣壓下之體積 x 可由 $100 \times 0.015 = 1 \times x$ 式中求得之，即 $x = 1.5$ 立方米。

23. 體積 x 可由 $1 \times 2 = 90 \times x$ 式中求得之，即 $x = \frac{1}{45}$ 公升。

24. 正常氣壓下的體積 x ，可以由 $1,745 \times 23 = 760 \times x$ 式中求得之，即 $x = 52.8$ (約) 立方厘米，絕對重量為 $52.8 \times 0.001293 = 0.0683$

(約)克。

25. $760/1,000=0.76$ 毫米水銀。

26. 體積降為一百分之一。

27. 體積 x 可由 $1.5 \times 27 = 5 \times x$ 式中求得之，即 $x=8.1$ 公升。

第四講內容測驗解答

1. 進行托里拆利實驗時，將一根長約 1 米的玻璃管中滿灌水銀，再倒置插入一水銀槽中。這時候祇有一部份水銀流出來，管中仍然留有一段長約 760 毫米的水銀柱。實驗結果與管徑大小、管子的斜度，以及無論是在室內或是在室外進行實驗等，均無關係。此一實驗的意義在於證實外界空氣壓力的確是存在的，並且可用所舉高的水銀柱之壓力來量度其大小。

2. 托里拆利真空是一個完全沒有空氣的空間。進行托里拆利實驗時，水銀由管中流出來，因此在管內頂端就出現了這種空間。

3. 唧筒之吸水作用是由於外界空氣壓力的關係而發生的，此一壓力最多只能舉起一段壓力與它相等的水柱。

4. 集氣槽是由一個裝水的淺槽，和一隻裝滿水而倒置在槽內的圓筒所組成。氣體能升入圓筒，將裏面的水排開，然後集聚在圓筒的上部。

5. 氣壓計可用以量度變動的大氣壓，或者是仿照托里拆利實驗儀器製成的一種液體氣壓計；或者是一種金屬氣壓計。後者裏面沒有液體，而另有一個真空的盒子（畢第式），或是有一個真空的彎管（鮑東式）。此外，再由一套槓桿將氣壓所引起的變形傳給指針。

6. 大氣壓隨着距離地球的高度而漸減。又在地球上同一地方，可隨着天氣而發生變化。

7. 氣壓紀錄器是一種金屬氣壓計，可自動地將連續幾天中的氣壓，紀錄在一張紙帶上面。

8. 從氣象卡上可以看到一些懸線（等壓線），此種懸線係將某些地點連在一起，這些地點如果是位於海平面高度的話，就會具有相同的氣壓。最高氣壓的等壓線圍成高壓地區（H），最低氣壓的等壓線

隔成低壓地區 (T)。風由高壓地區流向低壓地區。風向箭頭上的羽數代表風力強度，箭頭的顏色代表雲種。

9. 需將氣壓計携高 $3 \times 10.5 = 31.5$ 米。

10. 如果將氣壓計每次分段各提高 1,000 米高度時，則第一段提高 1,000 米時，氣壓計降低 90 毫米，第二段降低 81 毫米，第三段降低 73 毫米，接下去，所減少的數值愈來愈小。

11. 氣壓計測高法是一種應用氣壓隨高度而降低的原理，來測量高度的方法。

12. 因為空氣極易壓縮，所以愈靠下層的空气，就被上層的空气壓縮得愈厲害，反之亦然。

13. 液體中的壓力是由于液體的重量而引起的。附有活塞的圓筒裏如存有液體時，則除了重量的壓力以外，還可以在活塞上加以力量，產生出另一種各向均屬相等的壓力。在氣體中，因為氣體密度微小，所以由於重量所引起的壓力，通常祇處於次要的地位；至於以同等強度，向各方面作用的氣體壓力，則是由于氣體分子迅速運動，撞擊器壁而產生的結果。

14. 在靜止的狀態中，氣體的內部張力，或是氣體的反壓力正好和那由外面加在氣體上的壓力相等。

15. 壓力計可用以量度氣體或液體的壓力。所量度之壓力可使一波狀薄膜（畢第式），或一段彎管（鮑東式）變形，因而推動壓力計上的指針。

16. 在開放式液體壓力計的 U 形管中，兩端液面高度之差，即為所量度的氣體壓力大于，或是小于外界氣壓的數量。在氣壓試驗器中，氣體的壓力，可根據水銀面的高度差求得之。

17. 氣體壓力總是以 1 平方厘米的面積為準。所用單位為仟克 / 平方厘米、大氣壓、毫米水銀柱、米水柱等。 $1.033 \text{ 仟克/平方厘米} = 1 \text{ 大氣壓} = 760 \text{ 毫米水銀柱} = 10.33 \text{ 米水柱}$ 。

18. 經過 n 次的活塞動程後， v_2 立方厘米的空間裏，存有 $v_1 + n \times v_1$ 立方厘米正常空氣的質量。因此，氣體的密度乃等於原有的 $(v_2 + n \times v_1) / v_2$ 倍。

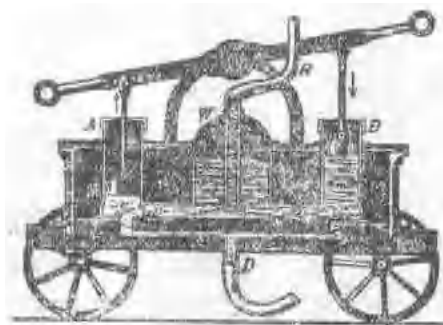
第十章 (續)

氣體之物性 (續)

A. 課程

〔93〕噴水滅火器 前幾章裏所敘述的吸水唧筒及壓水唧筒，只能供應斷續的水流。吸水唧筒只在活塞上提時出水，壓水唧筒只在活塞下壓時出水。如果要用唧筒產生連續的水流，便非利用附裝着氣室的唧筒不可。

此類唧筒即為大衆所熟知的噴水滅火器，如第 161 圖所示，噴水滅火器係由兩個壓水唧筒 A 及 B 連裝在一起而構成。兩者活塞桿的運動經常相反，所以兩個唧筒能夠輪替地將水壓高。水被壓入 W 氣室，室中另升出一根壓力管 R，可以用管塞將 R 管關閉。W 內水面被提升得愈高時，W 內的空氣就被壓縮得愈多，譬如說，被



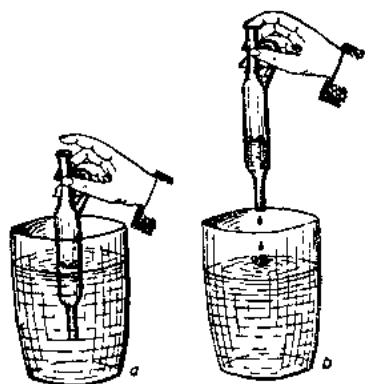
第 161 圖 噴水滅火器

壓為 4 大氣壓。然後，開啓管塞，水就在外界的正常氣壓之下以 4—1—3 大氣壓的超壓從管子裏壓射出來。在理論上，每一大氣壓相當于 10 米左右噴射的高度。W 內的水平面現在如果下降，空氣的張力便行鬆弛，因此噴射出來之水柱其壓力高度也就慢慢減低為零。但如不停的操作唧筒，就一直能夠將新的水壓進氣室，使得室內經常保存著壓縮空氣。所以用這種方式，就能達到連續不斷的噴射。沒有氣室時，水柱就會在每一次槓桿換向的一瞬間，失去噴射的高度。除此以外，氣室裏的壓縮空氣還能夠像彈簧一樣，緩衝那在流動時所發生的水之沖擊力。

小一點的噴水滅火器，如同在鄉間所用者，都是用手來推動，由

附近的水井或池塘裏吸水。在有自來水的城市裏，則將唧筒的 D 處，直接接在消火栓上。氣室裏的空氣壓縮得愈強時，噴出的水柱便愈高，而將活塞壓下時所需要的力量也愈大。在用蒸汽推動的噴水器中，這份工作都是由蒸汽來擔任的。

〔94〕**吸管** 這是一種腰部擴大的玻璃管（第162圖）。在管子上



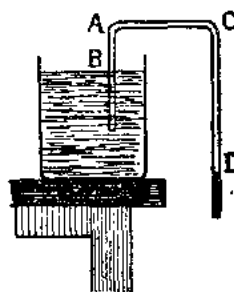
第162圖 吸管

口敞開的情形下，將管尖插入一液體中，液體就由下端開口處進入管內，並升到管外液體表面的高度。現在用手指壓閉上口，把吸管從液體中提出來，就會有少許液體留在管子裏（參考第五講第 79 節）。

在提出吸管的一瞬間，吸管的出口處便會受到封閉空氣所具有的大氣壓力加上吸管裏液柱壓力的作用。對外界氣壓而言，內部就發生了小小的超壓，使得吸管裏排出幾滴水來。於是，封閉空氣的體積遂因此略伸，空氣壓力也就略減，由於此一空氣空間與外界氣壓相比，具有較低壓力，乃發生了那種我們所熟悉的吸取作用。吸管裏要滴出如此之多的水來，也就是管內的空氣壓力要降減到如此之低，直到內部的空氣壓力加上液體壓力後，在出口處等于外界氣壓時為止。我們現在就可將管子裏所剩下的液體，連同吸管一同搬移。然後如將手指再行移開上口時，便又會流出液體來。用這種方法，我們可以將試液從一個容器移到另一個容器中。小型吸管又稱為滴管（第 163 圖）。



第163圖 滴管



第164圖 虹吸管

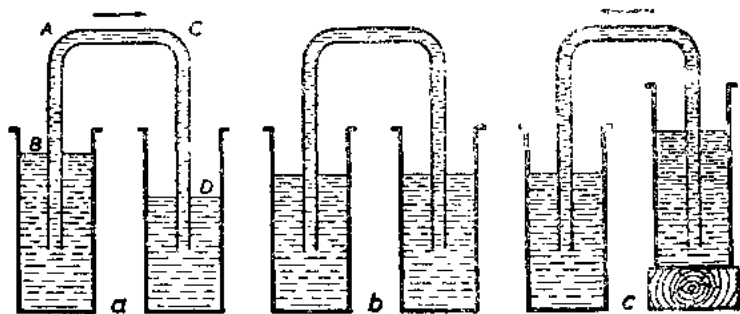
〔95〕**虹吸管** 另有一種所謂虹吸管（第 164 圖）的東西，乃是

一種彎成某種角度的玻璃管，一臂較長，一臂較短。倘把短臂浸在盛水的杯子裏，再在長臂的尾端抽吸，液體就能上升，並且經過彎曲處，流入長管中。值得注意的一點是，現在雖然停止抽吸，水却繼續流出。

這一作用也是起因于大氣的空氣壓力。請各位回憶一下我們在第四講第 116 圖中所作之觀察。在目前的這個例子中，AB 水柱也是由外界的氣壓來承負的。A 處的壓力等于向上作用之大氣壓力減去 AB 水柱之向下的壓力。在 C 處，則為將水向上壓的氣壓減去一段較長的水柱 CD 的壓力。結果，A 處與 C 處相較，遂有一較大的壓力，此一超壓乃與 CD—AB 兩水柱高度之差相等。因此，水就必定會不停地由左邊管子流向右邊。

我們也可以用橡皮管來代替虹吸玻璃管，但須注意一點，即橡皮管的流出尾端應該比液體的表面放得更低才行。譬如，利用一根橡皮虹吸管穿過栓孔，就能使酒桶裏的葡萄酒流入酒瓶中。

如第 165 圖 a 所示，讓水流入第二容器內之後，這一容器裏的水面便會升高，同時，原先那容器裏的水面則降低。由於使水不斷流動



第 165 圖 虹吸管實驗

的壓力差 CD—AB 愈來愈小，水的流動也就愈來愈慢，水流便會在兩個容器裏的水平面等高時，完全停止（第 165 圖 b）。現在，如果我們將右邊的容器墊高一點，則水又可以重行流回到左邊容器裏去（第 165 圖 c）。

B. 教材問答

師：在一具吸水唧筒裏，活塞上面的水柱重量對活門 v_1 有何影響？

生：使活門 v_1 維持關閉。

師：接着在活塞下行時， v_1 又怎麼會開啓的呢？

生：由于槓桿加在活塞上的壓力所致。活塞下面的水可將這個壓力傳佈過去，將活門 v_1 向上頂開。

師：這個壓力必須有多大？

生：非大得能够舉起活塞上面的水柱不可。

師：如果用吸水唧筒來把水提舉到任一高度，在工程方面有何缺點？

生：在活塞與流出口之間的唧筒筒身中，水之能被提高固然與空氣壓力無關；但這一部份必須要製造得非常之長，這也就是說，非用一根很長的活塞桿不可。

師：用壓水唧筒將水提升到任一高度時，為什麼就沒有這種缺點？

生：因為在這種唧筒裏，水並不升進活塞之上，也不是用筒身裏的活塞來提升，而是在一個特置的壓力管中被壓高上升的。

師：活塞上的壓力需要多大，才能開啓壓水唧筒裏的活門 v_1 ？

生：必須要勝過壓力管中的水柱所加在活門 v_1 上的壓力。

師：在噴水滅火器裏，那一部份是由於外界空氣的壓力而發生作用？那一部份是由於內部空氣的壓力而發生作用？

生：外界空氣將水壓入唧筒的筒身，氣室內部的壓縮空氣將水壓至壓力管中。

師：把吸管從液體中提出時，裝了一半水的吸管為什麼要比裝得快要滿的吸管，會多滴出一點水來？

生：吸管的負荷能力是由于手指封閉的空氣稀薄空間發生吸取作用而起。原先的正常空氣之體積愈小，則為了達到同一程度之鬆弛壓力所需之擴張程度也就愈小。

師：把灌滿水的吸管提出水面時，將發生何種現象？

生：根本就沒有水滴出來。

師：用同一吸管吸水或水銀時，如果封閉在吸管裏的空氣其體積是相等的話，將有何種區別發生？

生：吸水銀時，要比吸水時流出較多的液體來。這是由於較重的液體需要較強的吸取作用，所以需要較大的空氣稀薄程度，也就是封閉的空氣要有較大的膨脹所致。

師：一根用作輸水的虹吸管，可否做成任意的長度？

生：不能。AB 間的管高必須小於 10.33 米才行，否則，在正常氣壓之下，就不能將水吸過管子的彎頭。

師：一個人在正常氣壓下設能吸高 40 厘米水銀，如果由人來吸抽虹吸管，則 AB 的最大長度應為若干，猶能使其發生作用？

生：AB 的長度至多不能超過 $40 \times 13.6 = 544$ 厘米。

師：虹吸管也可用下列的方法使其發生作用，那就是先將虹吸管完全灌滿水，然後揪住一頭，把虹吸管倒轉過來，再將兩端各浸在盛水的容器裏。如果用每端長約 1 米的虹吸管裝滿水銀做這種試驗，將發生何種現象？

生：在正常氣壓下，每端管內的水銀會降到 76 厘米，在彎頭處留下真空，那就等於在兩端進行了一次托里拆利實驗了。

師：為什麼把這種虹吸管斜置到某一程度，它又能發生作用呢？

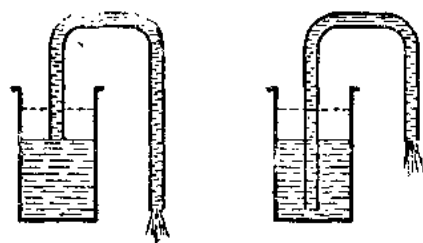
生：因為在這時候，AB 之間的水平高度差已經小於 76 厘米，而這種水平高度差才是量度水銀壓力的唯一標準。

師：將虹吸管較短的一端浸入水中後，水之外流會持續多久？

生：只要較短的一端仍然浸在水裏，水流就會持續不斷（第 166 圖）。

師：如果將較長的一端浸在水裏，水之外流會持續多久？

生：一直等到容器內水平面降齊到出口高度時為止（第 166



第 166 圖 虹吸管上出水的一瞬間

1. 複 習 題

1. 請敘述吸水唧筒的作用方式。〔91〕
2. 壓水唧筒如何工作？〔92〕
3. 噴水滅火器的構造如何？〔93〕
4. 用噴水滅火器可以使水噴射到多高？〔93〕
5. 吸管的作用如何？〔94〕
6. 滴管是什麼？〔94〕
7. 請敘述虹吸管的作用方式。〔95〕

2. 習 題

1. 在正常氣壓之下，用虹吸管吸升酒精，最多能吸到何種高度？
2. 一噴水滅火器的氣室中如為 3 大氣壓之壓力，在正常氣壓下它至多能把水噴射到多高？
3. 在正常氣壓之下，如果要能使水具有 5 大氣壓的壓力噴射，問須在壓水唧筒的活塞上加以若干千克 / 平方厘米的壓力？
5. 吸水唧筒的活塞上部如存有 2 米水柱，問活塞下行時，須對活塞下面的水加上若干千克 / 平方厘米的壓力，才能使活塞活門開啓？
6. 在氣壓高度為 740 毫米之情況下，一滴管如能吸住 15 厘米長的硫酸液柱，問管內空氣具有若干毫米水銀的壓力？
7. 氣壓為 790 毫米時，一虹吸管至多能將醚舉到多少高？
8. 一水銀吸管裏面封閉了 1 立方厘米正常氣壓的空氣。從水銀杯提出時，如流出 50 立方毫米的水銀，問管內充滿水銀的一段長度為若干？
9. 一水吸管裏面封閉了 30 立方厘米正常氣壓的空氣。如果提出水面後，吸管內還留下 33 厘米長的水柱，問已經有若干克的水流出？

第十一章

氣體之物性 (續)

A. 課程

[96]空氣海洋中的浮力 請各位回憶一下，一個物體在液體中所失去的自身重量，乃和被它所排開的同體積液體的重量相等。這原是阿基米德原理的涵義（第二講第 27 節）。氣體既和液體一樣，具有重力的性能，所以對所有存在於其中的物體均能加以壓力，此種壓力垂直於物體的表面，隨深度而漸增，並且就史德芬氏所解說的意思而言，便等於是賦予物體以一種浮力（參見第二講第 26 節）。因此，阿基米德原理也適用於所有存在於空氣或氣體中的物體。一個物體的四週圍繞着空氣或其他的氣體時，就要遭受到一種重量的減失或是一種浮力，其大小係和被物體所排開的同體積空氣或氣體的重量相等。

舉例言之，大氣海洋中的一切物體就都受到這種浮力的影響。一個人設如排開了 75 公升的空氣，在攝氏零度與 760 毫米氣壓高度時，他就在空氣裏減失了 $75 \times 0.001293 = 0.096975$ 千克 = 96.975 克的體重。所以浸沉在空中的物體，其體積愈大，則其失却的重量也愈大，這道理是很容易瞭解的。兩個物體在空氣中的重量相等時，體積較大者，因為受到較大的重量損失，所以在實際上，也就是在沒有浮力的真空中時，它一定比那個體積較小的物體要重一些。

我們可用空氣密度計來做試驗，以證明不同浮力所產生的作用（第 167 圖）。在一架靈敏的小天秤上，一端掛的是一個玻璃球，另一端掛的是一個體積比較小得很多的黃銅砝碼。當兩者在空氣中時，其重量乃係相等。但當兩者放入接受器中以後，天秤便不再維持平衡，此時玻璃球的重量遂超出砝碼的重量。這兩個物體在空氣之中就完全和在水中一樣，並非其全部重量都能發生作用。大球多減失一點重量，小砝碼則少減失一點重量。由於此二物體在空氣中原是同樣輕重，所以大一點的球在實際上，這就是說在真空之中，必定具有較大的重量



第 167 圖 空氣密度計證
實空氣的浮力

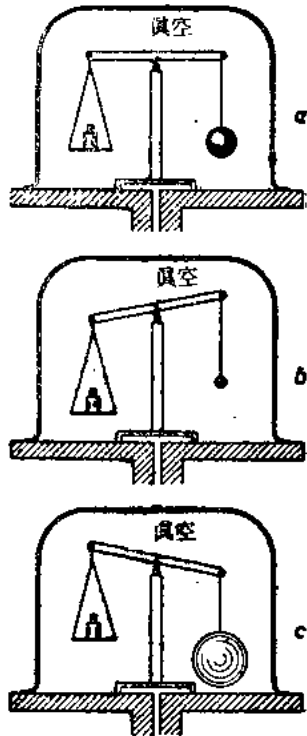
，它便會上升，在較小的氣壓之下則下沉；換言之，同一體積的球，可因空氣的比重或大或小，相應地發生較大或較小的浮力。第四講第 112 圖中的前景，就是一個空氣密度計。鄂圖·馮·郭立克氏就曾經用它來證明空氣浮力在不同時間中的可變性，所以實際上，也就是證明了空氣的比重或者是空氣壓力的可變性。

〔97〕**真空重量** 一切物體在空氣中所受到的浮力或是所減失的重量，當然一定會影響到各種重量的稱衡。讓我們先從一個天秤在空氣中的平衡狀態說起。這架天秤上一端是所欲稱衡的物體，另一端則為和這物體在空氣中等重的砝碼。作為稱衡之用的砝碼如果和所欲稱衡的物體具有相同的體積，則兩者就會在空氣中減失同一重量（第 168 圖 a），因此，兩者將在真空中有相等的重量，所以天秤也將在真空中保持平衡。

換一種情形，砝碼的體積如果大于物

。在水中用體積不同而重量相等的物體，當然也可以證明出同樣的結果來。以往在講述阿基米德原理時，我們已經提到過這種試驗了（第二講第 27 節）。

一個物體在空氣中所減失的重量，不僅和它的體積有關，並且和空氣的比重更有關係。如我們所已知道的，後者又可隨當時的氣壓而發生變化。所以一個掛在空氣密度計上而在 760 毫米氣壓下原本可以保持平衡的大玻璃球，在較大的氣壓之下



第 168 圖 三個在空氣中重量相等的球之間，體積最大的一個具有最大的真空重量。

體的體積，則所稱衡的物體在真空中便會變輕些(第168圖b)，因為這個物體在空氣中要比砝碼減失較小的重量。反之，如果是物體的體積大于砝碼的體積，那末，此一物體在真空中就會重些(第 168 圖 c)。

在空氣中稱衡時，當所稱物體的體積比其同重砝碼之體積大得愈多時，這也就是說，當所稱物體的比重比砝碼的比重小得愈多時，則物體在空氣中的重量，和它在真空中的重量（亦稱為真空重量）之間的此種偏差，也就會變得愈大。譬如在稱衡木材時，就常會發生這種現象。

〔98〕物體在空氣海洋中的上升、懸置及下降 一切物體在空氣海洋中都會受到一種浮力，所以物體在空氣海洋中的情況，就如同我們在上文見到過的物體在液體中的情況一樣。因此，由於物體比重之小于，或等于，或大于空氣的比重，可使該物體在空氣中有上升、懸置或下降等不同現象發生。

如所週知，大多數物體的比重都大于空氣，所以會在空氣海洋中下沉。祇有少數氣體如氮氣、乙炔氣、煤氣、氫氣、氫氣等的比重小于空氣。又靠近火焰、暖管以及烟囱上的空氣也比四圍的空氣輕些，所以才會上升，形成一種特別的閃動現象。

我們要來計算一下，幾種比重不同的物體在正常氣壓與攝氏零度時的浮力究竟是多麼大小。1 立方分米的鐵，重 7.8 仟克，在空氣中所減失的重量僅為 0.001293 仟克，所以是不能上升的。1 立方分米的碳酸氣，其絕對重量為 $1.5291 \times 0.001293 = 0.001977$ 仟克，在空氣中也同樣地減失 0.001293 仟克，但所到得的浮力也並不大于其本身重量。反之，在各種氣體中，其比重小于空氣者，浮力就要大于它們本身的重量。例如，1 立方分米的氫氣重 $0.0695 \times 0.001293 = 0.00009$ 仟克（約），在空氣中所減失的重量為 0.001293 仟克，因此，就會被 $0.001293 - 0.00009 = 0.001203$ 仟克的力量向上升舉。1 立方米的氫氣，其浮力為 1.203 仟克，v 立方米的氫氣，其浮力為此數之 v 倍。

我們又知道，如使比重大于水的物體取得適當的中空形狀，就能浮在水面上（參閱第三講第 39 節）。類似的實驗，我們能不能在空氣海洋中舉行呢？十七世紀時，一耶穌會教士法郎西斯可·拉拿氏曾

經提議，將一個很薄的大銅球，抽成真空，並認為這種大球一定類似于水上的中空浮體，能在空氣中浮升。但是經過驗算以後，此種球的重量必需如此之小，也就是球的壁厚必需如此之薄，以致放成以後就會被外界的氣壓壓扁。

反之，如果選用輕薄的紙張或橡皮做成中空形狀，裏面充灌一種比重小于空氣的氣體，並對中空體的四壁加以微小的超壓，使其鼓起，這樣，首先就可以使此種氣球，避免被壓扁的危險。此種氣球，只要球殼重量加上充填氣體的重量後仍輕于被氣球所排除之同體積空氣的重量時，便能在空氣中上升。我們且先拿孩子們玩的網氣球來計算一下。

茲設有一輕氣球，其直徑為20厘米，其中灌的是氫氣，而球本身的重量為1.3克。因為球的半徑為10厘米，所以球的體積為 $\frac{4}{3} \times 10 \times 10 \times 10 \times 3.14 = 4,186.6$ 立方厘米。又輕氣球的外殼是如此之薄，以致我們可以假定其中空的體積即等於球的體積。於是在攝氏零度與760毫米的氣壓時，這氣球在空氣中的浮力即為 $4,186.6 \times 0.001293 = 5.4$ （約）克。外加氫氣的重量 $4,186.6 \times 0.00009 = 0.38$ （約）克，所以輕氣球的全部重量遂為 $0.38 + 1.3 = 1.68$ 克。結果，這輕氣球將擁有 $5.4 - 1.68 = 3.72$ 克的浮升力，可向上升高。

用熱空氣、煤氣或氫氣吹成的肥皂泡，也會在空氣中上升。在這種情形之下，肥皂泡本身的重量加上充填氣體的重量，也一定是小于被其所排除之空氣的重量。

在輕氣球上，我們還可以發現幾項重要的現象，有助於對自由氣球的了解。如果在輕氣球上用線繫上一張小紙，使輕氣球加上3.72克的負荷，它就會懸置在空氣之中。這就看出，輕氣球除其自身以外，還能承受一個小小的負荷。倘將紙的重量略予減輕，則浮力便佔有優勢，而輕氣球就又獲有浮力而上升。但是空氣壓力以至於空氣的比重是會隨着高度而降低的，所以在上升之中，輕氣球的浮力也就會逐漸減少，慢慢的失却剩餘的浮升力，及至到達相當高度後，遂終進入靜止狀態。紙張重量愈小，輕氣球懸置得便愈高。

值得注意的是，在過了一段時間以後，又會看到輕氣球下降。這