

141983

物理教学表演

第 二 册

液体和气体力学

M. A. 格拉博夫斯基著

2514 (C)
K2

高等教育出版社

33

5/2514

141983

T2K2

物 理 教 学 表 演

第 二 册

液体和气体力学

M. A. 格拉博夫斯基 著

刘 超 龍燕初 張季达 译

高等教育出版社

本書系根据苏联国立技术理論書籍出版社 (Гостехиздат) 出版的蒙洛塞也夫斯基 (А. Б. Млодзевский) 主編, 格拉博夫斯基 (М. А. Грабовский) 編著的“物理教学表演” (Лекционные Демонстрации по физике) 第二册 1948 年版譯出

原書共分八册, 內容是分子物理和热力学 (第一册)、液体和气体力学 (第二册)、磁学 (第三册)、几何光学 (第四册)、物理光学 (第五册)、电学 (第六册)、振动与波 (第七册)、普通力学 (第八册, 1954 年版)。

譯本分六册出版, 除將原書第四、五兩册合为第四册、原第六册改为第五册、原第七、八兩册改为第六册外, 其余各册的册号与原書同。

本册講述液体及气体力学方面的教学表演, 共有表演 57 則。可供高等学校和中等学校的物理教师及实验室工作人员参考。

本册由东北工学院物理教研組刘超、龙燕初、張季达合譯。

物 理 教 学 表 演

第 二 册

М. А. 格拉博夫斯基 著

刘超 龙燕初 張季达譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠 170 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 13010·378 開本 850×1168 $1/32$ 印張 4 $3/16$ 字數 99,000 印數 0001—5 000

1957 年 12 月第 1 版 1957 年 12 月北京第 1 次印刷 定價 (10) 0.70

序 言

本書是一本教學表演彙編，這些表演闡明高等學校所授物理普通課程內常講到的液體和氣體動力學的基本問題。它是根據以 M. B. 羅蒙諾索夫命名的國立莫斯科大学物理實驗室的多年經驗而編寫的。這一點由下面的事實可以看出來：本書所記載的表演，大部分是經過國立莫斯科大学物理實驗室重新擬制的，或者作了重要的修改。在這本教學表演彙編內，凡是我們認為物理教師所熟知的教學表演，或者，依我們看來，不能說明高等學校所授物理課程的教學表演，一概從略。

因此，本書決不是一套完整無遺的關於氣體和液體力學方面的教學表演。

本書中諸表演的敘述次序，在一定程度內是依照該材料在講課上一般所採取的次序來安排的。在某些情況下，即當所描述的實驗，是表達液體或氣體力學部分中的不同現象，但做這些實驗時，可以用同一儀器，或者是用同樣的表演方法，就不按照上述的原則。本書分為五十七個表演。每一表演都作獨立的敘述，讀者無需參看以前的內容就能完全明了它。我們認為這種敘述方式，對物理實驗室的工作者是比較合適的。實驗室工作者在講演以前安排表演時，常常是很想知道該表演的裝置的。幾乎每一實驗的描述，都先提到該現象的簡短的物理解釋。在敘述中，着重研究該實驗裝置的技術，並解決實驗者的困難。

在描述儀器的構造時，對於本書無關重要的瑣碎零件一概從略。物理實驗室工作者們若欲製造本書所介紹過的儀器，在構造上可以作成不同的形式，但是有關原則上的構造原理，我們希望讀

者採納本書所述的。

最后，我要向物理實驗室的工作者，当然也是物理表演的出色能手，М. В. 柯尔巴諾夫(Колбанов)，С. И. 伍薩金(Усагин)和 В. С. 叶戈洛夫(Егоров)諸同志在布置本書所載的實驗时所給予我的帮助和意見表示感謝，我認為这是我自己的愉快的义务。

在編写本書时，承 А. Б. 蒙洛塞也夫斯基(Млодзеевский)教授提出了宝贵的意見，帮助我避免了許多錯誤，特此表示深深的謝意。

М. А. 格拉博夫斯基

第二册 目录

序言	vii
----------	-----

第一部分 液体和气体静力学

I. 液体的压缩性	1
1. 压强计	1
2. 射击盛有水的开口容器	3
II. 帕斯卡定律和阿基米德原理	4
3. 水压机	5
4. “帕斯卡球”	5
5. 帕斯卡的“液体静力学奇说”	6
6. 浮力	7
7. 马略特器	9
8. 液体施于容器侧壁上的液体静压力	11
9. 爱享华德所提出的阿基米德原理的表演	14
10. 液体转动时, 其内部压强的分布情况	18
11. 物体的悬浮(试管实验)	21
12. 浮体的稳定性(定倾中心)	23
III. 当稳定运动时液面的各种形状	26
13. 静止容器内的液面	26
14. 在转动的容器内的液面	27
15. 像摆一样摆动着的悬挂容器内的液面	29
IV. 大气压与虹吸管	30
16. 水在空气抽机的玻璃罩下自行输送	30
17. 虹吸管	31
V. 气体分子在重力场内的分布	39
18. 机械模型(P. B. 玻利模型)	36
19. 火焰实验	41

第二部分 液体和气体动力学

VI. 伯努利定理	46
20. 在截面不均匀的管子内流动着的气体的压强	46
21. 喷雾器和水注抽机	47

22. 气流的吸引作用.....	49
23. 气流中的小球.....	49
24. 水注中的小球.....	51
25. 当气体流动的速度很大时, 气流内部的静压强减小 (克里門和德索姆仪器).....	52
VII. 托里拆利定律	54
26. 液体从容器的不同水平面上的孔中流出.....	54
27. 具有不同密度的液体的流出.....	54
28. 具有不同粘滯性的液体的流出.....	56
VIII. 出流的液流的反作用	57
29. 在格涅姆澤利小車上或浮子上的盛有水的容器.....	57
30. 悬挂的瓶.....	59
31. 謝格涅尔輪.....	61
32. 浮沉子.....	64
33. 風車.....	66
IX. 水注的結構	67
34. 預备知識.....	67
35. 在頻閃照明中的水注.....	69
36. 水傳声器.....	73
37. 水注的帶电.....	75
X. 流体动冲击	76
38. 噴泉.....	76
39. 冲击起水机.....	78
XI. 物体在粘滯媒質中的运动	80
40. 馬格努斯現象.....	80
41. 瑞利盤.....	85
42. 吸入現象.....	87
43. 粘滯液体由容器中流出时的速度的分布.....	88
XII. 渦旋	90
44. 渦动的机械模型.....	90
45. 在盛了水的漏斗內的旋風.....	92
46. 水中半环形的渦旋.....	94
47. 液体中的环形渦旋.....	96
48. 空气中的环形渦旋.....	96
XIII. 流綫	100

49. 片流和湍流	100
50. 物体的流綫(克列勃斯仪器)	104
51. 不同形狀的物体的流綫(玻利仪器)	108
52. 在热空气流中的物体的流綫	111
XIV. 航空物理基础	114
53. 表演用的風洞	114
54. 不同形狀物体的气体动阻力	118
55. 气体动力秤	123
56. 翼的举揚力	125
57. 翼上部及下部压强的测量	129

第一部分 液体和气体静力学

I. 液体的压缩性

压缩性很小是液体的特性之一。兹叙述两个表演这种现象的实验。

1. 压强计

压强计的主要部分，是一个带有毛细管颈的球形小玻璃容器。将水或别种液体，经长期煮沸，以去掉其中的空气泡。然后用它灌满容器的球形部分及毛细管部分的一半。毛细管的其余部分，以纯洁的水银充满之。然后将这种装有待测液体的球形容器放入一特制的贮器内，并增加该贮器内的空气压强。只要量出水银柱移动的距离，就可以计算出受压时水的全部体积的减少量。用简单的算术求出待测液体的压缩系数。这个首先由奥斯忒采用的方法，是研究液体压缩现象用的一切仪器的基础。表演时采用范戈尔德(Вейнгольд)仪。它的作用原理与奥斯忒当时所提出的测量法完全相同。

图1为范戈尔德压强计。一个有毛细管颈的球形容器A，被金属框架B竖直地(口向下)固定着。颈口插到一盛有水银的槽中。容器的整个球形部分及毛细管的上半部充满了蒸馏水，而毛细管的下半部是水银。将一小玻璃管C的开端插入同一水银槽中，将来作为流体压强计。流体压强计的C管也是固定于框架B上(图1)。容器A与流体压强计C一起用玻璃罩F盖住。玻璃罩的边缘用一坚固的铜环D紧密地包围着。玻璃罩赖铜环及螺丝钉严密地

固定于一个沉重的仪器座上。用空气抽机将空气自仪器座上的 E 管打入玻璃罩内。因此，罩 F 内的压强升高到 2—2.5 大气压。仪器内的空气施压力于水银面，因而靠水银将水压入。因为球形容器的容积比毛细管的容积大得多，所以水体积微小的减少也会显著的影响到毛细管内水银弯月面的位置。由于容器的外表面也受压力，因而容器 A 的体积变化可以忽略。

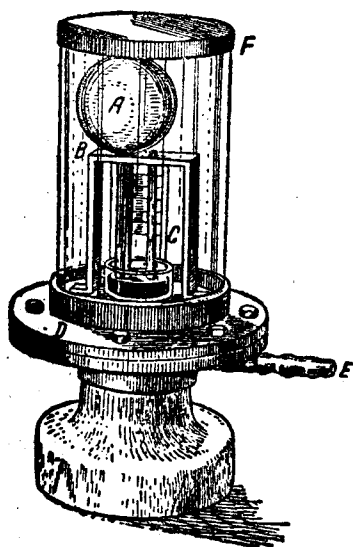


圖 1.

实际指示。1) 灌水到容器 A 内的手續需时很久。这种手續是要將容器 A 多次的加热和緩慢的冷却。当冷却的时候必須將容器的毛细管浸入蒸餾水內。此时容器內的空气冷却，因而蒸餾水进入容器內。經若干次这种手續后，空气全部被驅除，而水將充滿到容器 A 的邊緣。为了縮短灌水的时间，可以預先用抽机將容器 A 內的空气抽出，以达到几分之一毫米水銀柱高的气压。这种方法能使大量的水立刻进入容器 A 內。

但是要徹底驅除容器 A 內的空气，只有依靠以后反复的加热和冷却手續。

2) 当容器 A 充滿了水以后，必須再將它稍微加热(用手)。然后將毛细管浸入盛有水銀的淺槽內(參看圖 1)。当容器 A 內的水的溫度与其周圍空气的溫度相同时，就有少許水銀升入毛细管內。將球 A 加热时要达到这样的程度，即要使水銀柱升高到毛细管的一半。然后用玻璃罩 F 將容器 A 盖住，并用金屬环 D 及螺絲釘紧

密地封闭起来(参看圖 1)。此后該仪器就可以用来表演。

3)最好在表演前才把水銀灌入毛細管內。只有这样,才能在实验时使水銀面的位置保持在毛細管的中部。必須指出,这个体系对于空气温度微小的变化是很敏感的。將仪器从仪器装配室搬到教室,就会使水銀面的位置发生变化。因此应该采取某种能使水銀面稳定的方法。比如可以將玻璃罩加以人为的冷却或加热来做到这一点。

为了預防仪器在往幕上投影时受热,最好在仪器与灯之間,放置一个盛有水的器皿,以消除光綫中的紅外綫。

4)在表演“液体压缩性”的实验时,必須演出下述的檢查性的实验,以使观察者相信:毛細管內水銀的上升,是由于容器A內的水被压缩,而不是由于周围空气温度的变化。使密闭器中压强升高到2—2.5大气压,因而使毛細管內水銀柱上升了8—10毫米后,实验者迅速地將仪器內的空气放出(使与外界空气連通)。这样水銀柱必然下降到原来的位置。如果經这种步骤后,水銀面每次都是回复到原来的位置,那末我們所看到的水銀柱上升,只能用水的压缩現象来解釋了。

2. 射击盛有水的开口容器

一只盛有水的开口容器,用槍彈从側面把它射穿(参看圖 2)。

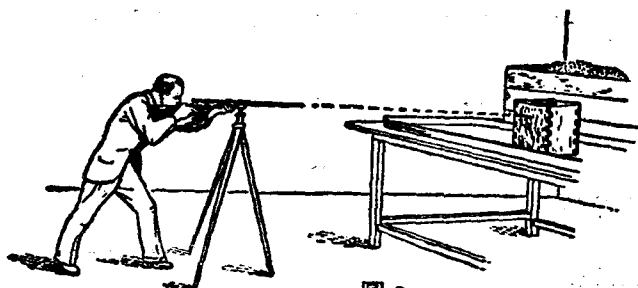


圖 2.

由于子弹通过水层的时间短促，器内的水来不及上涨，以致它的体积被压缩，所缩小的量与穿过的子弹的体积一样大。水内压强的骤然增大，使作用到器壁上的压强剧烈增加，结果容器破碎。

实际指示：1)本实验的容器最好利用破旧了的四伏酸蓄电池的方形硬橡皮容器^①。同样也可以采用小木箱。小木箱应该做得坚实。即要用合板钉钉上，用胶粘合，并且容器内面诸棱要用焦油或瀝青密密地塗抹好。如果箱子不够坚实(有缝，诸器壁没有牢固地相结合)，那末当子弹穿过水的时候，箱内的水就从侧面诸孔中挤出。因此就不能看到令人惊奇的那种破坏力。

木箱的大小约 = 10 厘米 × 15 厘米 × 20 厘米。木箱的壁厚不超过 1 厘米。

2)为使观众相信：容器被子弹打中后所发生的破裂，是由于器皿内部压强的急速增加；而不是像玻璃器皿被打中那样的自行破裂，预先将空容器射穿。为节省起见，我们建议第一次(检查性)的射击，向着空容器或箱的上部射。在此情形下，容器就留有适当的部分，以备盛水时射击。若是用硬橡皮蓄电池作实验，检查性的射击是必要的。

3)实验者用小口径的来复枪，在距容器 3—5 米处射击。

4)在此实验中务必极端注意：a)要背向观察者，朝向教室内无窗门的墙壁发射。6)在被射击的容器后面放置一个防护砂箱(参看图 2)。b)射击用的小口径来复枪，最好固定在一个架子上。

II. 帕斯卡定律和阿基米德原理

研究液体静力学基础的下一阶段是讲解帕斯卡定律。下面诸

^① 必须注意，蓄电池盒的硬橡皮壁的厚度不能超过 3—4 毫米，否则用小口径的来复枪射击时，实验可能不成功。

实验都可以作为这个定律的例证。

3. 水压机

用水压机可以表演: a) 棉花的压缩, b) 金属铍屑的压榨, c) 木条的压碎等。在水压机好的情况下, 实验(演示水压机的作用并借此说明帕斯卡定律的本质的)的表演不会有什么实验上的困难。

4. “帕斯卡球”

关于“帕斯卡球”的表演必须指出几点技术上的注意事项。

为使“帕斯卡球”实验有巨大的说服力, 应该用这样的仪器, 即球上的诸孔都是分布在同一个平面内(参看图 3)。球内灌满水以

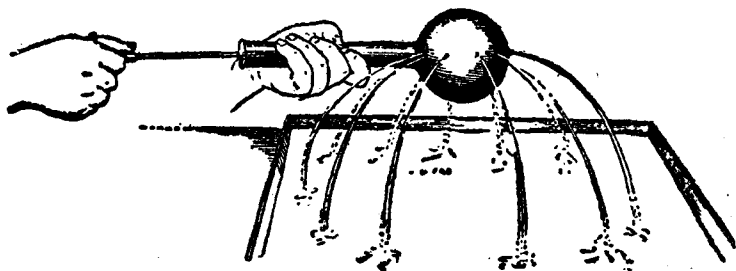


图 3.

后, 仪器要放置得使所有的孔位于同一水平面内。当将活塞推进时, 射出的诸水注形成同样的抛物线。这就在一定程度上证实了使水注射出的诸压强是相等的。若帕斯卡球上诸孔的分布, 是在坚直平面或别的任一平面内, 则射出的水注形成不同形式的抛物线。在此情况下, 演讲者要想断言各方向的压强相等, 是没有充分说服力的。但是在诸孔分布于同一个水平面上的情况下作帕斯卡球表演时, 不可避免的会有水点溅到坐在第一排的观众处, 因而自然会淋湿课堂文具。因此这个实验应在表演台上进行表演, 同时

要以很小的压力来推动活塞。对这一方法的现象表演完了，并分析完了以后，講演者將仪器豎直放置，使水注平行于实验台的平面射出。此时可以給活塞以最大的压力。

以前所研究过的，关于水的压缩性的实验，也可以在一定程度内說明帕斯卡定律。

前面諸实验說明了液体傳遞外压力的或人工产生于液体内部的压力的机构。下面諸实验，是用来估計由液体本身重量所产生的作用于器壁、器底以及液体内部的压强的大小。此类现象可以用不同的方法来表演。由于該部門的实验，大多数是物理教师所熟知的，我們只提出几点一般性的注意事項。

5. 帕斯卡的“液体静力学奇說”

液体施于器底的压强，通常用帕斯卡的“液体静力学奇說”仪来表演。这种仪器有許多不同的構造形式。但是所有这些構造形式，都具有一个难以消除的缺陷。問題在于为了得到可靠的結果，就必须：1) 仪器要完全不透水，2) 在器皿的边緣与可动的底之間沒有分子附着力。此分子附着力能使由悬在杠杆上的重量所产生于仪器底部的压力和由灌入器内的水所施于底部的压力之間的关系發生变化。为了达成第一个条件，通常是將底加以細心的研磨，以与器皿的边緣相配合。但是随着光滑程度的增加，必然在很大的程度内表现出分子的附着力。附着力的出現，就使对现象作数量的估計上变为不可靠。底边緣的潤滑物以及橡皮垫圈的作用，仅能对帕斯卡仪器的表演情况作若干改良。因此对于这种表演，只能看作是现象的極其粗略的定性的例証。

根据从器壁孔内流出的液注的形状，来估計液体施于器壁上的压强，是最方便的。液体自器皿内流出的初速度，随液体施于器壁上的压强增大而增大。而此初速度影响到射出的水注所形成的

拋物綫的形狀。在表演以後將要敘述的馬略特(Марнотт)器的作用時,要利用到這種估計液體施于器壁上的壓強的方法。

估計液體內壓強的實驗,有許多種方法。我們摘述幾個如下:

a)置橡皮囊于液體內部以觀察它的壓縮。б)將橡皮模張緊在一特制的彎曲玻璃管的一端,以觀察它在水內的彎曲。B)將一底部有孔的空玻璃容器浸入水內,以觀察水經底孔流入器內所形成的噴泉等等。其中有些方法可以用來對液體內壓強作定量的估計。作這些實驗沒有任何困難。所有這些實驗的表演方法和次序,基本上決定於所學習的課程的多少和目的。因此我們認為這方面的問題,沒有討論的必要。

我們進而敘述一些比較複雜的對於這問題的實驗方法。

6. 浮力

所有浮于液體表面或液體裏面的物體,都受到液體的向上壓力(“浮力”)。研究液體浮力消失的實驗,是很有意義的。在沉入液內的物體的下面,沒有傳遞上層液體的液體靜壓力的液層時,就可以看到這一現象。被沉到泥底上的潛水艇,將艇與泥底間的水層排出,則艇不再受到從艇周圍的水而來的擠壓的力量。艇被“吸住”在海底。

欲證明當物體下面沒有液層時就沒有浮力,最好演示下面的實驗。注水銀于一容器中,將一橡皮塞或軟木塞放到水銀的表面上。然後實驗者用手指將塞子壓到器底。因為在器底和器內的塞子之間的水銀被擠出,以致產生浮力的液體靜壓力消失。儘管水銀的比重遠大於橡皮塞或軟木塞的比重,而塞子卻仍然停留于器底。

實際指示:1)作此實驗以用橡皮塞為適宜。因為容易選出表面平滑而且沒有裂口和氣孔的橡皮塞。塞子表面的瑕疵對實驗的妨

害很大。此外塞子还应该柔软并有弹性。

2) 作此实验所用的容器，其底部必须平滑。若没有此种容器时，宜将一块镜子玻璃置于器底。为免得玻璃浮到水银面上，应该用蜡将它粘在容器的底上。

3) 塞子沉到器底后，我们建议在压住的时候，稍微把它转动一下。这种方法在很大程度上保证了挤出塞子下面的水银。

4) 为了提高实验的明显程度，尤其是在大教室内进行实验时，这一点更为重要，我们建议将一个带有小纸旗的金属杆插入塞子内。塞子上的杆，不要插在塞子的中心，而要稍微靠旁边一些。当塞子漂浮在液面上时，小旗重于塞子，因而将塞子弄倒（参看图 4, a）。当我们把塞子沉入液内时，加上受到上层液体的压力，塞子就被压住在器底。而带小旗的杆子稳稳地处于竖直位置（参看图 4, b）。

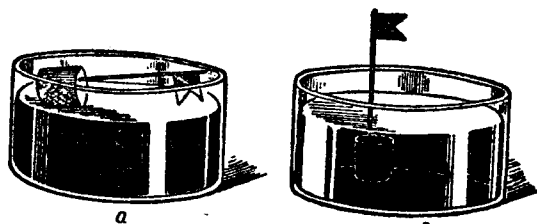


圖 4.

5) 用表面有瑕疵的塞子，再作实验，以使观众相信，这时不能像前面那样的下沉了。最好用不同大小的塞子实验一下。用高于液层深度的塞子作实验，是大有教益的。在此情况下，即使将塞子沉到底上，观众仍然可以看得见它。

6) 为使实验更加直观起见，可以用透明液体，例如食盐水溶液，来进行实验。食盐水溶液，应达到饱和。在此情况下，溶液的比重大于橡皮的比重。此时必须使观众相信：当把橡皮塞小

心地置于溶液的表面上时，橡皮塞是浮起的。

7. 馬略特器

帕斯卡定律，可以用馬略特器来演示。在实验室的实地应用上，遇有这样的需要，即虽然容器内的液面在降落，而仍須維持液体以某一定的速度从器内流出时，就可采用这种仪器。

馬略特器一般是下述形式。

一个容积为 3—4 公升的玻璃瓶(参看圖 5)，瓶口上鎖有一金屬套。一金屬塞子旋入此金屬套內。用兩端开口的玻璃管 A (直徑 = 7—8 毫米) 穿入該器內。玻璃管与金屬塞的孔的大小要恰好相适合，使得玻璃管可以在塞內上下移动，而在管与塞之間不致产生縫隙^①。在馬略特器側面不同高度的地方，开有若干个 (3—4 个) 上下排列的小孔。孔的直徑 = 1—2 毫米。

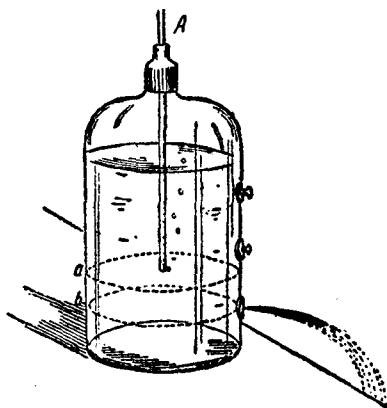


圖 5.

諸孔嵌有金屬框边，并可以用小金屬塞严密的盖住。

在利用馬略特器作为恒水速器时，要按下面的步骤进行：

- 1) 用水灌滿容器。
- 2) 將穿入塞子中的玻璃管 A 降下，使管的下端进入水內，并使管 A 的下端达于第二与第三孔之間的水平面上，如圖 5 所示。
- 3) 打开第三(最低的)孔。

① 在某些式样的馬略特器中，金屬塞上备有填塞物，这样更能防止漏气。