

54.6

高等学校試用教科書



分 析 化 学

FENXI HUAXUE

中 册

汪祿簾 程寰西 高华寿等編

人 民 教 育 出 版 社

本书分上、中、下三册。上册为定性分析部分，中册为定量分析部分，下册为仪器分析部分。这次再版时，并参照华东化工学院1960年出版的分析化学及部分高等学校分析化学讲义中的有关章节，对定量分析部分作了较大的补充，对仪器分析部分进行了改写。

本书可作为综合大学及高等师范学校化学各专业分析化学的教材。中册并可作高等工业学校化工类专业分析化学课程定量分析部分的教材。

簡 裝 本 說 明

目前850×1168毫米規格紙張較少，本书暫以787×1092毫米規格紙張印刷，定价相应減少20%。希鉴諒。

分 析 化 学

中 册

汪葆濤 程寶四 高华寿等編

人民教育出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第7

京 華 印 書 局 裝

新華書店科技發售所發行

各 地 新 華 書 店 經 售

統一書號 13010·1034 開本 787×1092 1/32 印張 12 1/16

字數 197,000 印數 48,000—63,000 定價(6) 0.85

1959年1月第1版 1962年7月第2版 1961年8月北京第7次印刷

中册目录

216579/08

第一章 定量分析引言	1
§ 1. 定量分析的方法	1
§ 2. 分析天平	4
§ 3. 称量法	9
§ 4. 砝码的校准	16
§ 5. 分析天平使用规则	21
§ 6. 分析试样的准备	23
§ 7. 定量分析的器皿	24
§ 8. 定量分析的误差	30
习题	34
第二章 重量分析	36
§ 9. 重量分析概要	36
§ 10. 样品的称取与溶解	37
§ 11. 重量分析中对沉淀的要求·沉淀剂的选择	39
§ 12. 沉淀剂的用量	44
§ 13. 共同沉淀现象及其减免	48
§ 14. 沉淀作用进行的条件	55
§ 15. 沉淀的过滤	62
§ 16. 沉淀的洗涤	65
§ 17. 沉淀的干燥与灼烧	69
§ 18. 重量分析结果的计算	72
习题	74
第三章 重量分析实例	76
§ 19. 氯化钡中结晶水的测定	76
§ 20. 氯化钡中钡的测定	79
§ 21. 氯化钡中氯的测定	82
§ 22. 氯化铁中铁的测定	86
§ 23. 石灰石中二氧化碳的测定	88
§ 24. 硫酸镁中镁的测定	92
§ 25. 硅酸盐中二氧化硅的测定	96
习题	100

05568

第四章 容量分析	102
§ 26. 容量分析概要	102
§ 27. 标准溶液的配制	104
§ 23. 标准溶液浓度表示法	105
§ 29. 容量分析的计算	108
§ 30. 容量分析的器皿及其校正	110
习题	120
第五章 中和法	122
§ 31. 中和法概要	122
§ 32. 指示剂常数	122
§ 33. 指示剂的变色范围	125
§ 34. 滴定曲线及指示剂的选择	128
§ 35. 滴定误差	143
§ 36. 影响指示剂变色范围的各种因素	146
§ 37. 酸鹼标准溶液的配制及其浓度的比较	149
§ 38. 酸鹼标准溶液的标定	151
§ 39. 鹼灰中总鹼度的测定	154
§ 40. 水的硬度的测定	155
§ 41. 铵盐中氨的测定	157
§ 42. 中和法的其他应用	158
习题	161
第六章 氧化还原法总論	164
§ 43. 氧化还原法概要	164
§ 44. 氧化还原反应速度	165
§ 45. 氧化还原滴定过程中氧化势的改变——滴定曲线	170
§ 46. 氧化还原指示剂	175
习题	181
第七章 高錳酸鉀法·重鉻酸鉀法	183
§ 47. 高錳酸鉀法概述	183
§ 48. 高錳酸鉀标准溶液的配制及其标定	184
§ 49. 褐鉄矿中铁的测定	186
§ 50. 碳酸鈣中鈣的测定	188
§ 51. 軟錳矿氧化能力的测定	190
§ 52. 重鉻酸鉀法概述	191
§ 53. 重鉻酸鉀标准溶液的配制	192
§ 54. 亚鉄盐溶液中鉄的测定	193
§ 55. 高錳酸鉀法及重鉻酸鉀法的其他应用	19

习题	196
第八章 碘法·其他氧化还原法	197
§ 56. 碘法概述	197
§ 57. 硫代硫酸钠标准溶液的配制及其标定	199
§ 58. 碘标准溶液的制备及其标定	203
§ 59. 漂白粉中有效氯的测定	205
§ 60. 硫酸铜中铜的测定	206
§ 61. 砷酸盐中砷的测定	207
§ 62. 碘法的其他应用	209
习题	212
§ 63. 溴酸盐法	214
§ 64. 铈盐法	217
第九章 容量沉淀法	219
§ 65. 容量沉淀法概要	219
§ 66. 滴定曲线	220
§ 67. 终点的测定	223
§ 68. 硝酸银标准溶液的制备及其标定	229
§ 69. 硫氰酸铵标准溶液的制备及其标定	231
§ 70. 可溶性氯化物中氯的测定	232
§ 71. 银合金中银的测定	233
§ 72. 容量沉淀法的其他应用	233
习题	237
第十章 络合滴定法	238
§ 73. 络合滴定法概述	238
§ 74. 氨羧络合剂	239
§ 75. 络合指示剂	243
§ 76. 络合指示剂的选择	244
§ 77. 酸度对络合滴定的影响	249
§ 78. 络合滴定法的应用	250
习题	257
第十一章 非水滴定	259
§ 79. 新的酸碱概念	259
§ 80. 非水滴定的基本原理	261
§ 81. 非水滴定中常用的标准溶液、溶剂及指示剂	263
§ 82. 非水滴定的应用	264
§ 83. 费休滴定法	267
§ 84. 酒石酸钠的测定	268
第十二章 试样的处理	270

§ 85. 試样的制备	270
§ 86. 試样的分解	275
第十三章 定量分析中的分离法方	286
沉淀分离法	287
§ 87. 氢氧化物沉淀形式分离法	288
§ 88. 硫化物沉淀形式分离法	290
§ 89. 常用的控制溶液 pH 值的方法	292
§ 90. 提高沉淀分离特效性的方法	294
共沉淀分离	299
§ 91. 无机共沉淀的类型	300
§ 92. 有机共沉淀作用	301
离子交换分离	304
§ 93. 离子交换分离基本原理	304
§ 94. 离子交换分离操作方法	309
§ 95. 交换过程	312
§ 96. 洗脱过程	315
§ 97. 离子交换分离的应用	318
色层分析	321
§ 98. 原理及分类	322
§ 99. 设备及操作	325
§ 100. 紙上层析	327
§ 101. 色层分析的应用	331
溶剂萃取	333
§ 102. 基本原理——分配系数和萃取效率	333
§ 103. 萃取絡合剂	336
§ 104. 溶剂	340
§ 105. 萃取条件的选择	341
§ 106. 萃取操作方法	348
蒸馏和揮发分离	350
第十四章 定量分析中的誤差問題	352
§ 107. 定量分析的誤差及其产生的原因	352
§ 108. 分析結果的表示和算計	357
§ 109. 提高分析結果准确度的方法	359
§ 110. 誤差产生原因的具体分析	361
附录	366
一、各种試剂配制法	366
二、各种常数表	369
三、对数表·逆对数表	373
四、国际原子量表	380

第一章 定量分析引言

定量分析是分析化学的一部分，它的任务是测定試样組成部分的含量。由于它解决了量的关系，因而就具有很重要的实用意义。在研究和解决各門科学和生产上的問題时，定量分析成为不可缺少的环节。

緒論中提出了定性分析和定量分析之間的关系，通常在进行試样的定量分析前，需要知道它們的定性組成。因为选择各个成分含量的測定方法时是依据試样的定性分析結果而决定的，例如用重量法測定鋁的含量时，如試样不含鉄，就可直接用 NH_4OH 沉淀鋁离子；否則鋁的測定就相当复杂了。

定量分析既然是解决量的問題，因此以后所要討論的，都圍繞在如何可使我們通过分析后，得到合乎要求的定量結果。

§ 1. 定量分析的方法

进行定量分析时可以通过不同的方法来达到目的。一般可以把它們分为两大类：

化学的方法

顧名思义，这类方法要应用到化学反应，例如：



$x \qquad \qquad v \qquad \qquad w$

这里 C 是試样中的被測定的某成分， R 是試剂。如果反应进行得完全，則由反应式显然可以生成物 C_mR_n 的量来计算該成分

的量 x 。如果生成物的量是由称量得到的, 这就是重量分析。此时 C_mR_n 往往是一种难溶的沉淀, 可能经过过滤、洗涤、干燥或灼烧, 最后得到純粹的 C_mR_n , 或形成另外一种稳定的化合物 C_mS_p , 因为生成物的分子量是已知的, 所以被测定成分的量 x 就极易由計算而得。

如果 x 是根据反应中試剂的必需量 v 求得的, 这就是容量分析, 因为这时試剂是已知濃度的溶液, 而加入的量恰好为反应所必需的量(用滴定法加入), 所以从加入試剂的容积可以算出被测定成分的量。

如果样品或反应生成物是气体, 那末在已知溫度和压力下, 可从气体的容积計算結果, 这样的分析方法就称为气体分析。

物理的和物理化学的分析方法

在測定过程中, 如果没有化学反应, 而只是測量物質的密度或粘度等, 則方法显然是物理的, 很多物理性質和物質的重量或濃度成比例, 譬如高錳酸鉀溶液顏色的深淺, 在一定条件下是和濃度成正比例, 因此, 可利用这个性質来作錳的比色分析。

有时除了比較顏色的深淺來測定物質的含量外, 也可利用生成沉淀的反应。由于發生沉淀反应而使溶液呈混濁, 如果溶液愈濃, 則生成的混濁程度也愈显著。我們就可以根据这样的关系来决定物質的含量, 这种方法称为比濁法。比色或比濁只有在溶液顏色不太深或渾濁不太高的条件下适用。换言之, 溶液必須是很稀或被測定成分的含量是很低的。

光譜是元素的特性, 百年前早在定性分析中应用, 由于儀器的改进, 光譜分析法現在也作为定量分析的一种方法。我們不但从譜綫之有无而作某种元素存在与否的判断, 并且可从譜綫之深淺而作含量多寡的測定。

以上是主要的光学分析法。还有电化学分析法，最简单的是电重量分析法，也就是电解分析。在这方法中，被测定元素借电解作用以游离状态析出于已称重的电极上。有些元素是以氧化物，例如 MnO_2 或 PbO_2 状态析出。

电容量分析法的原理与容量分析相同，但它的滴定终点不是依靠指示剂来确定，而是借溶液电导的改变(电导法)或借两电极间电动势的改变(电位法)来确定的。

极谱分析也属于电化学分析法，在这方法中试液内被测定元素或离子的含量是根据伏特-安培曲线(极谱)而定。这曲线是试液在极谱仪内进行电解时所得。

这些应用光学或电学的分析方法，因为需用比较精密而又复杂的仪器，所以也总称仪器分析。几乎所有物理及物理化学分析，都必须把未知物的分析结果和已知的标准作比较。而作比较用的标准则常需以化学法测定，因此仪器分析是以化学分析为基础的。仪器分析的优点是简单而快速，最适宜于生产过程中的控制分析。在含量很低而为化学方法所不能分析的，尤非借仪器分析不可。

所有上述各种分析方法不是孤立的。复杂物质的分析，平常不是用一种而是用几种方法进行的。例如硅酸盐的分析，一般可用重量法测定 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O ，用比色法测定 TiO_2 。又某种物质的分析可用几种方法的任何一种，例如氯的测定可用重量法、容量法、光学法，或用电化学法。

定量分析也可按在进行分析时所用试样的量而分为常量、微量、半微量法及超微量等方法。

常量分析中采用较多的固体试料(约 0.1 克或更多些)或试液(数十毫升或更多些)。分析时所用的分析天平以能准确称量至 0.0001 克为度。

微量及半微量分析也有广泛的应用。它们只需称取 1 毫克至

50毫克样品，而溶液由十分之一毫升至数毫升；超微量分析則可以在更少的样品中(少于 0.01 毫克)进行分析。

在后面三种情况下，为了使测定得到足够的准确度，应使用更灵敏的天平，例如微量天平(可称至 0.001 毫克)，并使用較精密的仪器以测量溶液及气体的容积。它們主要的优点是仅用很少量的試料即可能进行分析，而且完成分析的速度也很快。

虽然有这些优点，但現在应用最广泛的，还是常量法，这种方法历史最久而且学习也最方便。本書中主要討論常量的定量分析。

§ 2. 分析天平

分析天平是定量分析中最主要而又常用的仪器之一。在开始分析工作前必須熟悉如何来正确应用分析天平，因为称量的准确度对分析結果有很重大的影响。在定量分析中，我們总是希望得到足够准确的結果。而所要求的准确度則由分析的目的所决定，在不同的情况下可能不同。于一般分析工作中所要求的測定誤差，常常不超过被测量数值的千分之几。而这种測定誤差又必須在采用較少量的样品时也能达到，因为分析数量較大的样品是很不經濟而又非常費时的。要在称取較少量物質的条件下得到上述的准确度，这就必然要提高称量的准确度。在普通的分析工作中，要求能准确称量到十分之一毫克。

下面是能准确称量至十分之一毫克的普通分析天平的构造圖(圖 1)。

天平梁是分析天平的主要部分，在平衡梁的中間裝有細長而垂直的指針 3，因此可观察在称量时天平梁摆动以及傾斜的情况；为了便于观察，在平衡梁下部备有刻度的标尺 9(圖 1)。

在平衡梁上裝有三个瑪瑙三棱形的刀口，中間那个刀口架在

天平柱上磨光的瑪瑙平板上,它是天平梁的支点,其它两个刀口則在梁的两端,在此两个刀口上悬有两个蹬(圖 1 及 3),天平盘就挂在这两个蹬上,所有这三个刀口的棱边必須完全平行且位于同一水平面上(圖 2)。

应该注意这三个刀口的尖銳程度对天平的灵敏度有很大的影响,一般我們衡量天平的灵敏程度是指在天平的盘中改变某一重量时,影响天平梁傾斜的程度。如果同样改变这些重量,天平梁傾斜愈大(也即指針愈偏斜),則表示該天平愈灵敏(关于灵敏度的定义在后面再詳細討論)。由此可見分析天平的灵敏度,在很大的程度上

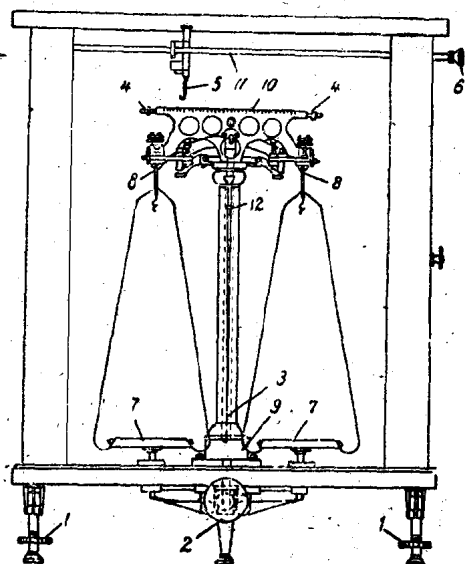


圖 1. 分析天平:

1—天平足; 2—升降樞軸; 3—指針; 4—調節零点的螺絲; 5—游碼鉤; 6, 11—移动游碼的裝置; 7—天平盘; 8—蹬; 9—讀數标尺; 10—放游碼的刻度尺; 12—調節重心的螺絲。

是和天平梁摆动时接触点有关。如果这三个刀口的棱边愈尖銳和刀口接触的瑪瑙平板愈光滑,那末它們的接触摩擦極小,天平的灵敏度也就愈高。当天平經過長期的工作后,刀口与平板由于摩擦而逐漸变鈍,此时天平的灵敏度也就漸降。由此可知,为了保持天平的灵敏度,首先应该注意保护刀口的尖銳程度,以便使天平的这种磨损尽量减低。在天上上总是有升降樞 2 的裝置,应用这种裝置可以使天平梁升起或下降,当天平休止时,应该将天平梁升

起,此时刀口被架空而不与平板接触,因此就不会磨损。

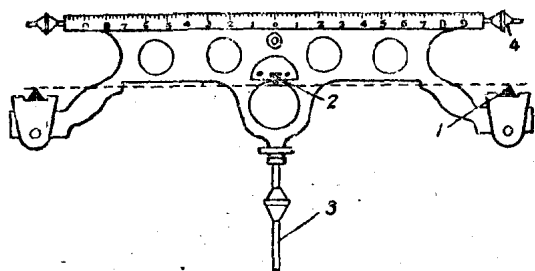


圖 2. 天平梁及刀口的位置: 1—天平梁兩端的刀口;
2—中間的刀口; 3—指針; 4—調節零點的螺絲。

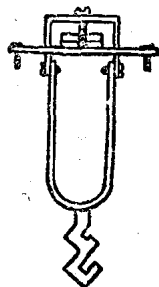


圖 3. 略。

天平受撞擊或振動時損壞特別嚴重,所以在應用天平時,必須十分小心,特別是不能接觸未休止的天平(即未將天平梁升起的天平)。升起或下降天平梁時必須小心,以避免劇烈的撞擊。為此在使用升降樞時應小心地,緩慢地轉動樞軸 2,同時應注意只有在天平指針擺動接近刻度標尺中部時才能轉動之。如果使用天平時能注意上述事項並養成這樣的習慣,那末刀口就可以保護得很好,稱量時可以達到充分的準確度。

分析天平總是裝在特製的天平匣內,因為这样可以防止塵埃的侵入,溫度的改變和天平附近空氣流動等的影響。在天平匣前有一可上下移動的玻璃門,在兩旁有兩扇邊門,邊門是為取放砝碼及稱量物之用。前面的門除了在裝置和調整天平外,其餘時候是不利用的。應該注意,只有在取放砝碼及稱量物時才打開邊門,其餘時候應將門关上。

天平匣下裝有三隻腳,後面的一隻腳固定不動,前面的二隻腳可以上下調節,使天平處於水平位置。

應用分析天平進行稱量時,所用的砝碼也必須具有相當的準確度,因而在使用時應十分小心以免發生重量的改變。這種分析

用的砝碼放在特制的匣子內(圖 4)。大砝碼一般是由黃銅制成,有的鍍上一層金或鉑,小砝碼(毫克)則由鋁或鉑制成。

各个砝碼按一定次序放在匣中,砝碼的系統一般有两种:即 $5:2:2':1$ 或 $5:2:1:1':1''$ 按照第一系統放置在匣內的砝碼為 50, 20, 20', 10, 5, 2, 2', 1 克。第二種系統則為 50, 20, 10, 10', 5, 2, 1, 1', 1'' 克。克的分数(毫克)也作成同樣的系統,并且为了使小砝碼易于互相区别,將它們做成各种不同的形状(圖 4)。

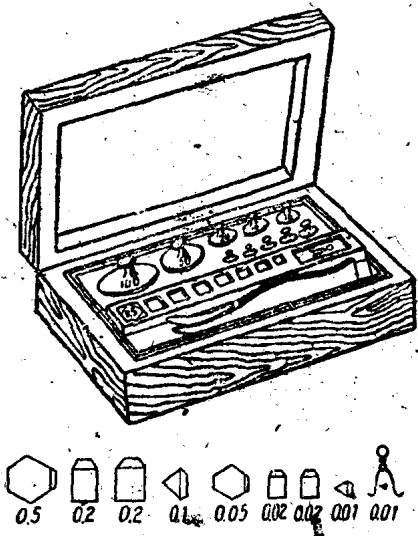


圖 4. 砝碼。

应当指出,重量数字相同的砝碼(甚至在同一套內),由于它們磨蝕程度的不同,它們之間的重量常常稍微有些差別。为了尽可能减少由此而引起的称量誤差,称量时應該应用相同的一些砝碼,同值的砝碼上,都附有記号以便互相区别。

每套砝碼都备有一个砝碼鑷子,鑷子上裝有角制的尖头,將砝碼从盒中取出或放回时必须用鑷子夹取,以免弄髒砝碼因而改变它的重量。絕對不允許用手接触砝碼,同时應該注意,砝碼除了放在匣中或在天平盘上应用外,不能把它移放在其他任何地方。

应用小于 0.01 克的砝碼是很不方便的,因為它們是太小了。因此在称量千分之几或万分之几克的时候,須采用“游碼”。游碼是鋁絲或鉑絲做成的。其形状如圖 5 所示,重量为 0.01 克,游碼

在称量前应用镊子挂到游码钩 5 (圖 1) 上, 游码钩固定在移动游码的装置上, 这装置的末端有旋钮 6, 移动并旋轉这装置, 能使游码放置到天平梁上的任何点。



圖 5. 游碼。

在 天平梁上具有刻度的标尺 10, 标尺上的刻度随不同类型的天平而异。最常见的刻度零是在支点上(即在梁的中間)而第十个刻度則在挂有天平盘的支架上(即在两旁的刀口上)。每一梁臂划分为十等分, 按次序刻上度数。根据杠杆原理, 将游码放在标尺零度时, 对天平的平衡不發生任何影响; 如果把它放在标尺右方第十个刻度上, 这就等于在右天平盘上加上 0.01 克的重量; 如将它放在第一个刻度上則等于 0.001 克, 在第二个刻度上为 0.002 克, 在第五个刻度上为 0.005 克等等, 因此梁臂标尺每一刻度相当于 0.001 克即 1 毫克。

在标尺的两相邻刻度間的部分, 又分为五等分, 每一等分显然相当于 0.0002 克, 因此在标尺上一大刻度相当于 0.001 克, 每一小刻度則相当于 0.0002 克。

另一种类型标尺, 它的零点不在中間而是在天平梁的最左端(即在左端刀口上), 第十个刻度在最右端的刀口上而第五个刻度則在梁的支点上。在这情况下, 刻度間的距离比前述的大一倍, 这样就可使两刻度間再分为十等分。这时所用游码的重量不再是 0.01 克而是 0.005 克。使用这类天平时游码必須經常放在标尺上刻度为零的地方。如将游码取出就等于在左天平盘上取去 5 毫克或等于在右天平盘上增加 5 毫克的重量。

天平的种类很多, 除了上述的类型外还有其他不同的类型, 但在构造上所用的基本原理都是一样的。由于裝置的改进或其他另件的采用可能提高天平的准确度和灵敏度, 另一方面也簡化了称量手續。

阻尼天平是用空气或磁力来阻止天平的摆动，是最常遇到的天平之一。这种天平的梁臂下装有阻尼器。圖 6 就是空气阻尼式天平的一种式样。阻尼器是一个铝制圆筒，它悬于另一个直径稍大一些的筒内而能自由上下移动由于筒内空气阻力的关系使天平很快地停止摆动。倘天平的一盘比另一盘的载重较大一些，则指针在短時間內偏向一面，并且在此位置上停止不动。天平指针的偏轉度就可很快地由标尺上讀出，不必再用摆动法来求得天平的平衡点。

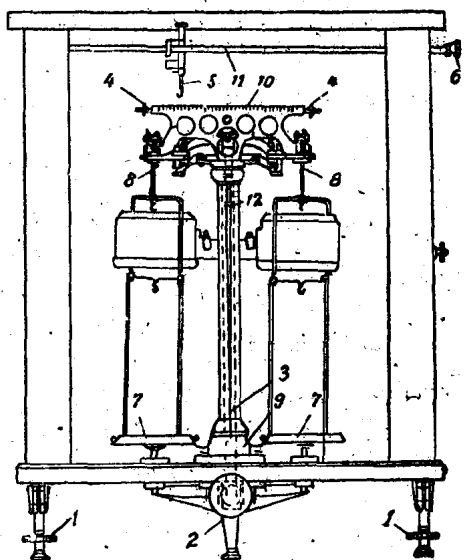


圖 6. 空气阻尼式天平。

§ 3. 称量法

称量时所依据的原则是很简单的，将被称量的物体放在天平的一盘上(普通总是放在左盘上)，然后在右盘上以砝码平衡之，等达到平衡后，根据杠杆原理，物体的重即以砝码的重来表示。

进行称量前首先要讨论一下天平的零点、平衡点、灵敏度以及它们的测定方法。

天平的零点及平衡点

每次进行称量前，都必须先测定天平的零点，所谓天平的零点就是不载重天平处于平衡状态时指针的位置，而载重天平处于平衡状态时指针的位置则称为平衡点。

测定天平的零点或平衡点，最简单的方法好像是只要使天平梁摆动，然后等其自由静止，其静止时指针在标尺上所指的位置即为达到平衡后的位置。这样做显然是很费时的，而且由此得出的零点或平衡点常常是不正确的，因此不能用静止的方法求出零点或平衡点。

为了迅速并准确地求出零点及平衡点，必须采用摆动法。此方法可进行如下。

零点的测定 应用摆动法求零点时，零点的意义也可理解为空天平摆动时指针偏转的算术平均值。

天平摆动时指针的偏转情况是从标尺 9 (圖 1) 上讀得的，标尺的刻度以中間刻度作为 10；向右方第十刻度作为零；向左方第十刻度作为 20 (圖 7)。



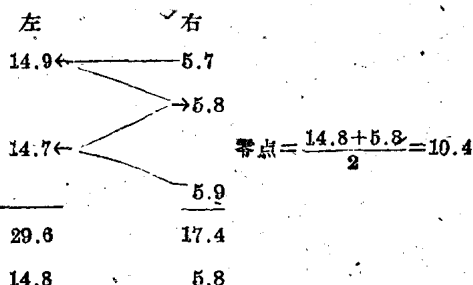
圖 7. 标尺的刻度。

测定时小心放下升降樞，使指针摆动，如果放下升降樞后指

针并不摆动，只需把升降樞升上再放下；或者打开玻璃門用手向一个盘上下輕輕扇动一下，此时由于輕微的空气流动使天平摆动起来，注意不要使摆动太大，摆动的振幅最好約在 5 到 15 之間。

指针正常摆动后，起初两次搖动，由于震动关系可能不很正确不必进行讀数；第三次摆动可以开始讀数并記錄下来，記錄时，一边記錄的次数是偶数，另一边則是奇数。例如，一边記三次，另一

边記两次:



将五次摆动的结果记录后,把天平梁托住,并进行如上所示的计算。

为了校对,应再测定一次。零点并不一定正好在 10 上,但不要小于 8 或大于 12。如果零点距离 10 太远,应该进行调节。但初学者不要自己动手以免造成损坏,应报告教师,让教师来调节。有时零点的偏斜常常与落在盘上的尘埃有关,因此在使用天平前,应用小毛刷刷去。

由于零点常常要发生改变,所以在每次称量前必须先测定零点。

平衡点的测定 平衡点就是载重天平摆动时指针读数的算术平均值,因此平衡点的测定方法与零点测定法完全一样。

天平的灵敏度

天平的灵敏程度常常由下面的方法来衡量:在天平的一盘中改变某一重量,观察该天平梁倾斜到如何程度。如果天平愈灵敏,同样改变这些重量就会使天平梁倾斜的角度愈大;或者说,引起同样的天平梁的倾斜度所需的重量改变愈小。

一般在测量天平的灵敏度时,是在天平的一盘上增加一毫克的载重,然后观察指针偏转的角度。这偏转角度实际上可以指针在标尺上移动的刻度数来表示,如在一盘上增加一毫克的载重后,