

# 初等物理学

第三卷第一分册

兰茨别尔格主编

上海教育出版社

Под ред. Г. С. Ландсберга  
ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИК ФИЗИКИ  
ТОМ III

Государственное издательство  
технико-теоретической литературы  
Москва 1957

(根据苏联国立技术理论书籍出版社1957年版译出)

初 等 物 理 学

第三卷

(第一分册)

(苏) 兰茨别尔格主编

周恒涛原译 王子昌修订

\*

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

上海市书刊出版业营业许可证出090号

上海大众文化印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本：850×1168 1/32 印张：5 7/16 字数：124,000

1964年11月第1版 1964年11月第1次印刷

印数：1—13,000本

统一书号：7150·1591

定 价：(九)0.60元

## 第一版原序

本卷集中地討論了有关振动和波动的全部問題。关于机械振动和弹性波的一些內容是以探討声学問題結束的。在电磁振蕩和电磁波的内容里很自然地會談到这方面的最重要应用，即談到无綫电物理学和由波波夫发明无綫电开始的无綫电技术的基础，以及光的电磁本质观念、波动(物理)光学和射綫(几何)光学的基础。本卷最后概略地介紹了跟现代原子理論有关的现象。本卷跟前两卷一样，也安排了許多习题。演算这些习题是掌握本书內容的一个重要方面。

机械振动、电磁振蕩以及声学和无綫电物理学等几章，系由累托夫編写。几何光学由苏申斯基編写，并請亚科符列夫协助。物理光学由巴累珊斯卡亚編写，最后的原子物理学則由沙皮罗編写。

跟前两卷一样，我們尽量使学生了解现象的物理本质。本卷里数学演算和超出中学教学大綱范围的問題很少。但为了使所提到的內容更为明确起见，在分析許多問題时要比中学課本所討論的更彻底、更完整。此外还应注意的，叙述原子物理和原子核物理现象时所涉及的范围，比中学教学中所讲授的广得多。这是因为我們认为有必要来相当全面地說明这些問題，以满足对这些問題感兴趣的学生的求知欲。但另一方面，这里又很难連貫地闡明全部有关問題，所以本书这些章节的編写比其他部分要更不同于課

本。我們期望它能引起学生对现代物理学中一些最重要問題的浓厚兴趣。

本卷是初等物理学的最后一卷。参加初等物理学編写工作的学者共有十位以上,这使主編工作特別困难,責任特別重大,因为虽然大家对本书的編写原則取得了完全一致的意见,但不同的作者对待問題的角度和叙述問題的方法很自然地会有不同。尽管主編已尽了最大努力,这种对問題的多多种多样看法,对叙述的影响恐仍比課本中所遇到的要大。但几位对問題的本质和对表达的困难有深刻理解的专家們能协作一起,也提供了很多有利条件。

因此尽管本书有很多缺点,我仍希望我們的青年学生能从中得益,并希望它能帮助他們提高理解物理問題的水平,引起他們对物理学的更大兴趣。为了表达这种愿望,我敢于把編写多年的初等物理学貢獻于世。

兰茨別尔格

1952年3月于莫斯科

## 第二版原序

在本卷的第二版里，特别是有关经典物理学的部分，变动不大。本卷第一版的内容跟中学大部分物理课本比较起来，在叙述相应的内容时深广度有所不同，可以说，更深了些。我们认为本版内容不必再补充了，有些地方倒可以力求简化，例如删除了几何光学里一些次要问题，改进了几处叙述方式等。总的说来，内容变动不大，本书的特点可以说没有改变。

本卷最后一篇有关原子物理学的内容变动较大。这很自然，在第一版问世后的四年里，这个科学领域内研究出了一些极重要的新成果。新版谈到了一些相对论的重要成就：就是质量跟速度的从属关系，能量和质量间的关系公式以及它们在原子核物理学问题中的应用。关于加速器的讨论比在第一版里略为详细；此外新添了解决建立原子能发电站和制造原子弹问题的铀反应堆和它们的应用一节。新版里叙述了导致氢弹制造的热核反应的概念。对最近几年来进展极快的基本粒子的问题也作了相当详细的说明。虽然这些问题不可能完全按适当顺序来叙述，但我们仍认为这些补充有一定的意义。

最后，在物理光学的结尾部分，我们增添了 § 190，说明目前有关光理论的一般情况。这节里所提到的一些问题，在“原子物理学”一篇里也谈到，而且有许多相同的地方。但这些原理既重要而且放在光学的结论里又适当，使我们认为这样一些重复是可以的。

参加第三卷新版編輯工作的作者就是第一版的作者。在最后的校訂工作中，利符施次給我很大的帮助，我在这里謹致以衷心的謝忱。

兰茨別尔格

1956年10月26日于莫斯科

53  
LcB  
v. 3.1

## 目 录

第一版原序

第二版原序

第一篇 振动和波 ..... 1

第一章 基本概念·机械振动..... 1

§ 1. 周期运动·周期(1)                    § 2. 振动系统·自由振动(2)

§ 3. 摆·它的振动运动学(3)    § 4. 音叉的振动(5)    § 5. 简

谐振动·频率(6)                    § 6. 位相差(10)                    § 7. 摆振动的动

力学(12)                    § 8. 单摆的周期公式(14)                    § 9. 弹性振动(17)

§ 10. 扭转振动(19)    § 11. 摩擦的影响·阻尼(20)    § 12. 受

迫振动(23)    § 13. 共振(24)    § 14. 摩擦对共振现象的影

响(26)    § 15. 共振现象的例子(27)    § 16. 在非简谐振动变

化规律的周期性力作用下的共振现象(30)    § 17. 周期振动的

形式和它跟周期振动的谐成分的关系(33)

第二章 声音振动.....37

§ 18. 声音振动(37)    § 19. 声学的对象(39)    § 20. 纯音·

响度和音调(39)    § 21. 音品(音色)(41)    § 22. 声音的共

鸣(43)    § 23. 声音的记录和重发(45)    § 24. 声音的分析

和综合(46)    § 25. 噪声(48)

第三章 电振荡.....50

§ 26. 电振荡和观察方法(50)                    § 27. 振荡电路(53)

§ 28. 电振荡和机械振动的相似性·汤姆孙公式(56)    § 29. 电

共振(60)	§ 30. 无阻尼振动·自激振动系統(63)	§ 31. 电子管振荡器(66)	§ 32. 振动論(69)
第四章 波动现象	74		
§ 33. 波动现象(74)	§ 34. 波的传播速度(76)	§ 35. 无綫电定位、水声定位和声音測量(78)	§ 36. 绳上的横波(80)
§ 37. 空气柱上的纵波(84)	§ 38. 液体表面上的波(87)	§ 39. 波对能量的传递(90)	§ 40. 波的反射(93)
§ 41. 衍射(95)	§ 42. 定向輻射(97)		
第五章 波的干涉	100		
§ 43. 波的叠加(100)	§ 44. 波的干涉(101)	§ 45. 最强和最弱振动的形成条件(103)	§ 46. 声波的干涉(105)
§ 47. 駐波(107)	§ 48. 弹性物体上的駐波(109)	§ 49. 弦的自由振动(110)	§ 50. 薄片和其它延长物体上的駐波(113)
§ 51. 系統具有許多固有頻率时的共振(116)	§ 52. 声音輻射的良好条件(118)	§ 53. 双耳辨向作用·声波定位(120)	
第六章 电磁波	122		
§ 54. 电磁波(122)	§ 55. 电磁波良好輻射的条件(123)	§ 56. 振子和天綫(125)	§ 57. 赫茲的电磁波获得和研究的实验·列別杰夫实验(130)
§ 58. 光的电磁理論·电磁波譜(132)	§ 59. 电磁波实验(135)	§ 60. 波波夫的发明无綫电(145)	§ 61. 现代无綫电通訊(148)
§ 62. 无綫电的其它应用(153)	§ 63. 无綫电波的传播(155)	§ 64. 結束語(159)	



# 第一篇 振动和波

## 第一章 基本概念·机械振动

§1. 周期运动·周期 在我们四周所发生的各种机械运动中，常常遇到一些重复的运动。任何一种匀速转动都是重复的运动：在作匀速转动物体上的任意一点，每转都经过跟前一转相同的位置，而且具有相同的顺序和同样的速度。我们可以看一看，树枝和树杆受到风吹后的摇动，船舶在水浪上的摆荡，钟摆的来回走动，蒸汽机或狄塞耳内燃机的活塞和活塞杆的前后运动，缝纫机上缝针的上下跳动；我们再来观察海洋上潮汐涨落的交替，步行和奔走时脚步的挪动和两手的挥晃，心脏或脉搏的跳动。在所有这些运动中，我们总会发觉一个共同的特征，就是同样一个运动在不断地循环着、重复着。

实际上重复运动并不总是这样，也不是在任何条件下都完全相同。有时，每一个新的运动循环严格地重复前一个运动循环（钟摆的摆动、在匀速开动时机器部件的运动），但在另一些情况下，可以看到依次相连的各个循环间的差别（涨潮落潮的交替、树枝摇动时和机器在起动或要停歇时部件的运动）。因为实际运动跟完全严格重复运动的差别常常很小，以致可以忽略这微小的差别，因而可以看做是相当严格的重复运动，也就是认为它是周期的运动。

每一个运动循环严格地跟任何其它一个运动循环相同地重复的运动,叫做周期运动。

一个运动循环所经历的时间,叫做周期。

可见,匀速转动的周期等于一轉所经历的时间。

§ 2. 振动系統·自由振动 在自然界和在工程技术上,自己能够进行周期运动的物体和装置起着非常重要的作用。这里“自己”两个字,意味着沒有周期性外力对这种运动施加强迫作用。所以这种振动叫做自由振动,跟在周期性外力作用下进行的受迫振动区别开来。

如果周期地来回推拉房門,那末它就将輪流地开关,也就是将进行周期性的受迫运动。但它并不能自己进行周期性的运动:如果把房門推动一下,然后听其自然,那末房門的运动就不会重复。但如果推动一下悬挂在绳上的砝碼,使它偏开豎直方向的位置,就完全是另一回事了。它开始摆动,也就是它自己作周期性运动。这就是自由振动。玻璃杯里的水、悬挂在弹簧上的砝碼,装在弹簧板上的火車車廂或馬車車座、秋千、一端固定的金属片、拉紧的弦、罗盘的指針等,受到最初一下推动后都会产生类似的周期振动(图1)。

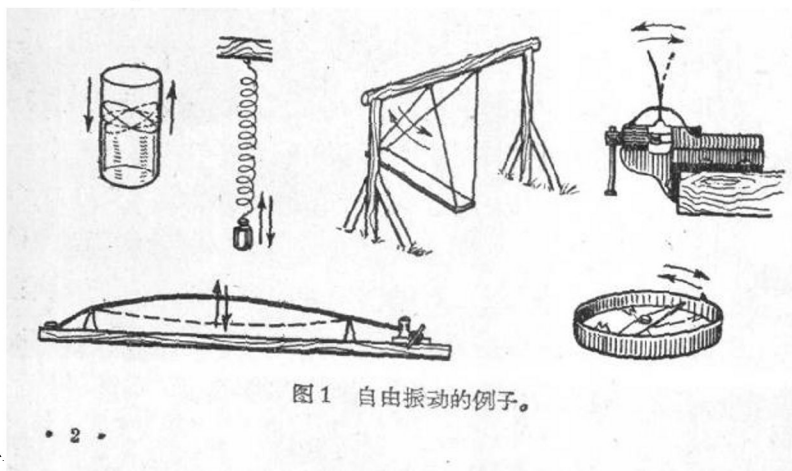


图1 自由振动的例子。

所有这些自己能够作周期运动或振动的物体或物体组，都叫做**振动系统**。正如上面所讲的，这些系统在沒有外力作用下而进行的振动都是**自由振动**。

我們不但会在各种机器和机械(特别是钟表机构)上遇到振动系统，以后还可以看到，大多数声源都是振动系统。声音在空气中的传播，就因空气本身仿佛是一个振动系统才有可能。不但如此，除**机械振动系统**外还有**电磁振荡系统**。在这种系统中可以进行电振荡，电振荡是无綫电技术的基础。最后，还有混合的机电振动系统。这种系统相当普遍地在各种不同工程技术上应用。

我們的叙述从一种最简单振动系统——摆——的研究开始，而且直到 §12 为止，我們所讲的只是**自由振动**。

**§3. 摆·它的振动运动学** 悬挂时重心低于悬点的任何物体，都可以叫做摆。悬挂在釘上的铁錘、天平、悬挂在绳上的砝碼，所有这些都是类似时钟钟摆的振动系统(图 2)。

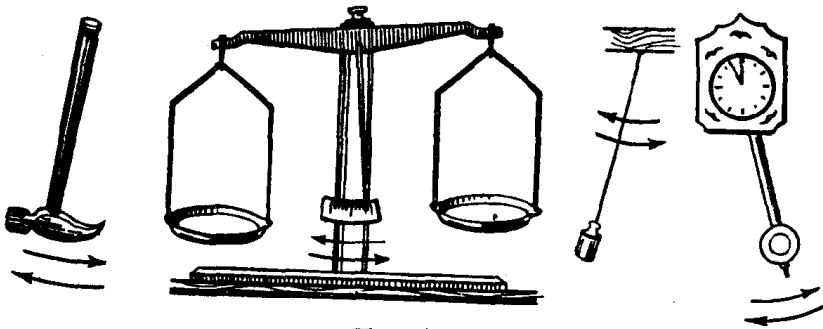


图 2 摆。

任何一个能作自由振动的系统，都有它的**稳定平衡位置**。对摆来讲，这种位置就是当它的重心处在悬点下的豎直綫上时的位置。当我们把摆从这个位置拉开或推开时，摆就开始振动，时而偏向平衡位置的这一边，时而偏向平衡位置的那一边。离开平衡位

置的最大偏轉叫做振動的**振幅**。振幅的大小由起始的偏轉或使擺發生運動的推擊所決定。這種振幅跟運動起始條件有關的性質，不但可以用來表示擺的自由振動的特徵，而且還可以用來普遍地表示很多振動系統作自由振動時的特徵。

現在在擺錘下面裝上一段金屬絲或馬鬃，並且使一塊熏煙的玻璃板在鬃毛下面運動，如圖 3 所示。如果使玻璃板勻速地沿垂直於振動面的方向運動，那時鬃毛就在玻璃板上繪出波形曲綫(圖 4)。在這個實驗里我們得到了最簡單的**示波器**，就是用來記錄振動的儀器。由示波器所記錄下來的曲綫叫做**波形圖**。所以圖 4 就是擺的振動波形圖。在這個波形圖上振動的振幅由綫段  $AB$  來表示；

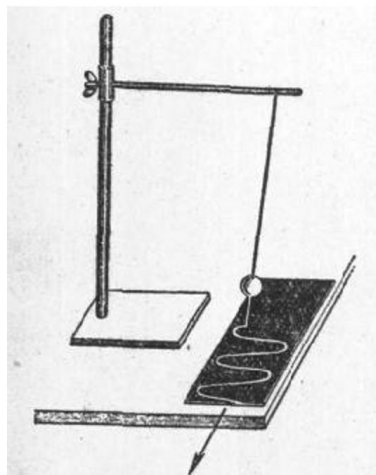


圖 3 擺的振動在熏煙玻璃板上的記錄。

它表示波形曲綫對擺靜止時(靜止在平衡位置)鬃毛在玻璃板上所繪出的直綫  $ab$  的最大偏離。綫段  $CD$  表示周期，等於在擺的一個周期時間內玻璃板所移動的距離。

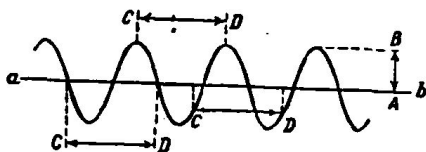


圖 4 擺的振動波形圖。  
 $AB$  是振幅， $CD$  是周期。

因為我們是勻速移動熏煙玻璃板的，所以玻璃板的任何位罝都跟它移動的時間成正比。因此我們可以講，沿直綫  $ab$  可以用一定的比例尺(要看玻璃板的運動速度而定)來表示時間。另一方面，在垂直於  $ab$  的方向上鬃毛在玻璃板上記下了擺的端點離開它的平衡位置的距離，也就是擺的端點離開這個位置所經過的路程。所

以波形图不是别的,而是运动图线,也就是表示路程跟时间的关系图线。

我們知道,这种图线上各点的斜度表示运动的速度(第一卷 §19)。摆经过平衡位置时速度最大。跟这个速度相应的,就是图 4 中波形曲线通过  $ab$  直线时各点上的最大斜度。相反地,在偏转最大时摆的速度等于零。跟这个速度相应的,就是图 4 里波形曲线离开  $ab$  直线最远各点上的斜度。这里的切线跟  $ab$  直线平行,也就是它们的斜度等于零。

**§ 4. 音叉的振动** 前面我們已经指出,大多数声源都是振动系统。不难相信,发出声音的音叉是在振动,而且它的振动形式跟摆振动的形式一样。

把一根绘图的鬃毛粘在音叉的一个叉股上作实验。这里我們仍旧可以用熏烟的玻璃板作为示波器。

但因音叉的振动振幅和周期都很小,应用以前(第二卷 § 153)讲过有反射光线的镜子扫描器的示波器比较方便。图 5 表示怎样用这种装置作实验。

在音叉一个叉股的端点上装一面轻小的镜子  $A$ 。从这个小镜上反射回来的光线射到侧面由许多小镜装镶起来的转筒上,然后

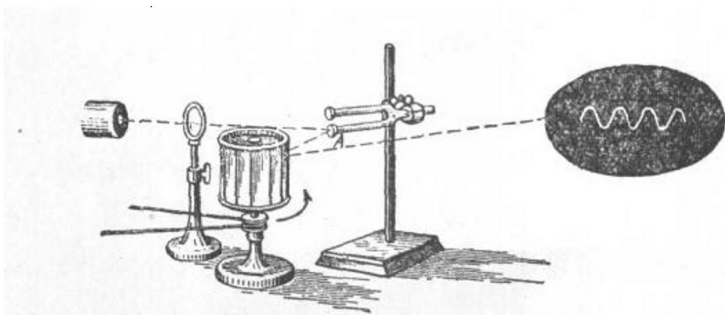


图 5 带有镜子扫描器的光点示波器。

反射到墙壁上成为光点(光指示器)。当敲击一下音叉后,我們可以看到,光点展成一小条豎直的光带。这是由于小鏡A随音叉的叉股一同振动的緣故。

现在轉动轉筒,光点就发生水平方向的位移,从而小光带展成我們已熟知的波形曲綫。

振幅和周期并不能完全說明周期运动的特征。可以想象出具有相同的振幅和周期而振动形式(按波形图的形状)非常不同的周期运动。

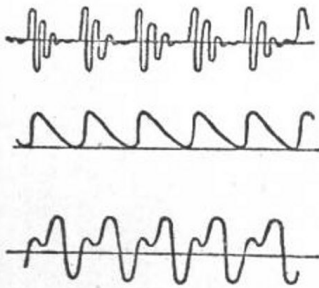


图6 周期相同而形式不相同的振动的例子。

图6表示一些机械振动系統和电振蕩系統这种的波形图的一些例子。

但在这些形式不同的振动中,摆或音叉的振动具有特別的意义。这种振动的形式能够表示极大多数振动系統的特征。如果把一根繪图的鬃毛安装在振动的金属片上或者

安装在挂在弹簧上面振动的砝碼上,我們就得到跟摆振动一样的波形图。交变电流的波形图(第二卷 § 153)显出同样形式的振动。

因此我們必須更詳細地認識上面所指出的摆和音叉的振动的形式。在下面一节里可以看到,象摆这种形式的振动跟勻速圓周运动有很简单的联系。这就使我們可以用作图的方法来求摆的波形图。

**§ 5. 簡諧振动·頻率** 我們把一个小球固定在可以勻速轉动圓盘的支柱上,并用灯光从側面来照射(图7)。当圓盘轉动时,小球阴影来回振动。这种振动也可

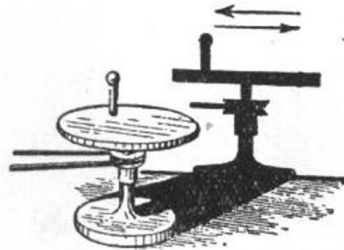


图7 小球沿圓周运动时的阴影。

用图来表明。在图 8 中我們用数目依次标出小球的 16 个連續位置，間隔是  $\frac{1}{16}$  轉。用同一一些数目(从 1 到 16) 依次标出壁上阴影在  $AB$  上各点的位置；这些点是用圓周上各点对  $AB$  直綫作垂綫而得到的。这也就是当用平行光束照射小球时投射在牆壁上的阴影。

为了象鑲小鏡轉筒所展开的那樣来展开小球投影的振动，我們可以画出許多平行于  $AB$ 、間隔相等的直綫投影(阴影)的連續位置 1、2、3……16，现在并不繪在同一条直綫上，而是依次繪在这些平行綫上，如图 8 所示。把由这种方法标出的各点連起来，就可以求得表示小球阴影連續位置(它的运动图綫)的波形曲綫。这样一來，我們得出小球阴影振动的“波形图”。

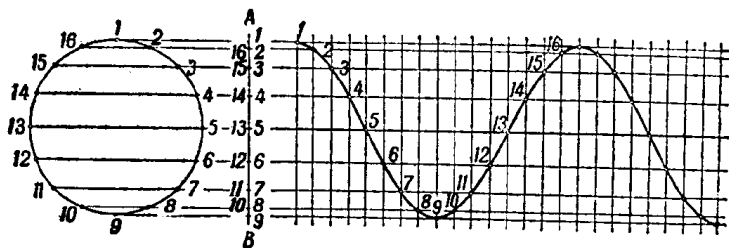


图 8 簡諧振动展开图的作法。

当一个点沿圓周运动时它在一条直綫上的投影所做的振动叫做簡諧振动(或諧振动)。

因此簡諧振动是周期运动的一种特殊形式。因为这种特殊形式的振动，在各种不同振动系統中常常遇到，所以非常重要。弹簧上的砝碼、音叉、摆、一端固定的金属片等的振动，在形式上也正是簡諧振动。应当注意，在大振幅时这些系統的振动就具有略为复杂的形式。振动的振幅越小，它們就越接近于簡諧振动。

跟簡諧振动最接近的振动，可以用图 9 所示的装置来演示。当

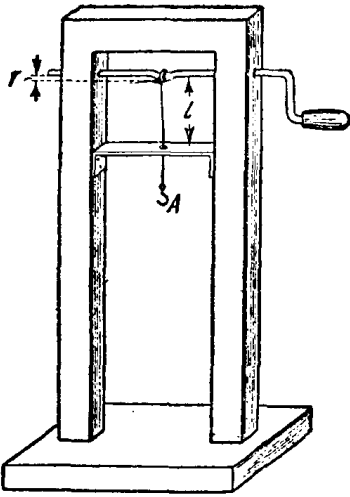


图9 演示简谐振动的装置。

当手柄转动时，悬挂在线上A点的小钩在竖直方向作简谐振动（悬线的长度  $l$  跟转轴挠度  $r$  相比越大，越接近简谐振动）。

手柄匀速转动时悬线的端点A作周期性的上下运动。当悬线的长度  $l$  比转轴的挠度  $r$  大得多时，A点的运动就非常接近于简谐振动。以后我们将利用这个简单的装置来讨论简谐振动。

这里要注意一点，就是这里决定简谐振动时所提到的是平行的投影，也就是沿圆周运动的点是分别用对AB垂直彼此平行的线把圆周上各个位置移到AB线上的（图8）。

当在水平轴上标出圆心角  $\alpha$ （图10），而在竖直轴上标出从转动半径OB的端点到固定直径AA'上的垂线BB'（ $\alpha$ 角从固定半径OA算起）时，就能得到一条正弦曲线。因为

$$\sin \alpha = \frac{BB'}{OB},$$

所以这条曲线对应于每一个横坐标  $\alpha$  的纵坐标  $BB'$  都跟  $\alpha$  角的正

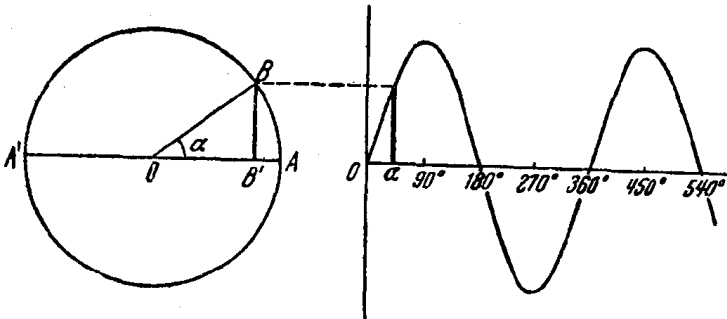


图10 正弦曲线的作法。



弦成正比。

比較了这种作图法和刚刚上面所描述的簡諧振动展开作图法以后,可以看出它們是完全一致的。因此表示簡諧振动的“波形曲綫”是正弦曲綫。所以簡諧振动或諧振动,也叫做**正弦振动**。

在1秒钟內所完成的簡諧振动的循环次数,叫做这个振动的**頻率**。如果摆的周期等于1秒,那末在一秒钟內完成一个运动循环,即頻率等于一个单位。頻率的单位叫做**每秒周数**(或简称周)<sup>①</sup>或**赫茲**(为了紀念发现电振蕩的赫茲<sup>②</sup>)。有关电振蕩的問題,以后将讲到,通常应用冠詞**千**和**兆**分別表示大一千倍和大一百万倍的大单位:

$$1 \text{ 每秒千周(千赫茲)} = 1,000 \text{ 周(每秒周数)},$$

$$1 \text{ 每秒兆周(兆赫茲)} = 1,000,000 \text{ 周(每秒周数)} \\ = 1,000 \text{ 每秒千周}。$$

如果周期等于5秒,那末頻率就是1/5每秒周数。通常用 $T$ 表示以秒为单位的周期時間,用 $n$ 表示以每秒周数或赫茲为单位的頻率,因此

$$n = \frac{1}{T}。$$

所以对**簡諧振动**來說,周期 $T$ 的数值也决定頻率的数值  $n = \frac{1}{T}$ 。但应記住,頻率和周期之間的这种关系只表示簡諧(正弦)振动的特征。对**其他非簡諧形式**的周期振动,虽然也有它确定的周期 $T$ ,但沒有一个确定的頻率。这在以后我們可以看到是什么意思 (§17)。所以当我們讲到具有**一定頻率**的振动时,总是指**簡諧振**

① 特別在无线电技术和声学中我們常常讲,頻率等于多少周(千周、兆周),而省略“每秒”两个字。以后我們还将应用这种簡略的单位。

② 赫茲(1857—1894)是德国的物理学家。