

高等工业学校教学用书

普通物理学

下 册

上海市高等工业学校物理学编写组编

上海科学技术出版社

高等工业学校教学用书

普通物理学

(初稿)

下 册

上海市高等工业学校物理学编写组编

上海科学技术出版社

高等工业学校教学用书

普通物理学

(初稿)

下册

上海市高等工业学校物理学编写组编

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可证出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

中华书局上海印刷厂印刷

*

开本850×1168 1/32 印张12 2/32 字数286,000

(原上数版印66,700册 1959年9月第1版)

1960年9月新1版 1960年9月第1次印刷

印数1—20,000

统一书号: 13119·397

定价: (十) 1.35元

下 册 目 录

第四編 振动与波动

第一章 振动学基础	1
§ 4-1-1. 諧振动	1
§ 4-1-2. 諧振动中的振幅、周期、频率和周相	4
§ 4-1-3. 諧振动的能量	7
§ 4-1-4. 单摆和复摆	8
§ 4-1-5. 同方向振动的合成 拍	11
§ 4-1-6. 相互垂直振动的合成	15
§ 4-1-7. 阻尼振动	19
§ 4-1-8. 受迫振动 共振	21
第二章 波动通論	24
§ 4-2-1. 机械波的产生和傳播	24
§ 4-2-2. 波的傳播速度 波长 波的周期和频率	28
§ 4-2-3. 波动方程	30
§ 4-2-4. 波的能量 能流	33
§ 4-2-5. 惠更斯原理	38
§ 4-2-6. 波的反射和折射	40
§ 4-2-7. 迭加原理 波的干涉	43
§ 4-2-8. 駐波	46
§ 4-2-9. 波的繞射	49
第三章 声学与超声波	50
§ 4-3-1. 声振动及声波 声波的速度	50
§ 4-3-2 声压 声阻抗率 声强 声强級	53

§ 4-3-3. 声波的反射、折射、干涉、繞射和散射	57
§ 4-3-4. 声波的衰减 超声波射线 声波在媒质中的吸收和吸收系数	61
§ 4-3-5. 吸音系数 交混回响	64
§ 4-3-6. 超声波发生器	65
§ 4-3-7. 超声波的接收	74
§ 4-3-8. 超声波的特性和作用 空化作用	76
§ 4-3-9. 超声波的应用	78
第四章 电磁振荡和电磁波	84
§ 4-4-1. 振荡电路 无阻尼自由振荡	84
§ 4-4-2. 阻尼自由振荡	87
§ 4-4-3. 受迫振荡 电共振	89
§ 4-4-4. 电磁波的辐射和传播	93
§ 4-4-5. 电磁波的能量 烏莫夫-坡印廷矢量	97
§ 4-4-6. 赫芝实验	99
§ 4-4-7. 无线电波的发射和接收	101
§ 4-4-8. 电磁波谱	105
第五章 波动光学基础	107
§ 4-5-1. 关于光的本性的发展史概述	107
I. 光的干涉	110
§ 4-5-2. 光的相干性 相干光的获得法	110
§ 4-5-3. 光程 薄膜的颜色	117
§ 4-5-4. 劈尖的干涉 牛顿环	122
§ 4-5-5. 干涉仪 干涉现象在技术上的应用	127
II. 光的繞射	129
§ 4-5-6. 光的繞射现象	129
§ 4-5-7. 惠更斯-菲涅耳原理	131
§ 4-5-8. 单缝的繞射	132
§ 4-5-9. 繞射光栅 繞射光谱	138
§ 4-5-10. 光学仪器的鉴别率	144

§ 4-5-11. 倫琴射線的繞射 烏利夫-布喇格方程	146
III. 光的偏振	152
§ 4-5-12. 天然光和偏振光	152
§ 4-5-13. 反射和折射时光的偏振	154
§ 4-5-14. 光的双折射現象	158
§ 4-5-15. 惠更斯原理在双折射現象中的应用	161
§ 4-5-16. 起偏振棱鏡和起偏振片	163
§ 4-5-17. 振动面的旋轉	168
§ 4-5-18. 偏振光的干涉	170

第五編 近代物理学基础

§ 5-0-1. 近代物理学发展簡史	174
第一章 狭义相对論基础	179
§ 5-1-1. 狭义相对論的实驗基础和基本原理	179
§ 5-1-2. 伽利略坐标轉換式 經典力学的时空觀	184
§ 5-1-3. 洛倫茲坐标轉換式	186
§ 5-1-4. 狭义相对論的时空觀	188
§ 5-1-5. 狭义相对論关于质量和能量的两个結論	193
第二章 波和粒子	199
§ 5-2-1. 热輻射 发射本领 吸收系数和反射系数	199
§ 5-2-2. 基尔霍夫輻射定律	201
§ 5-2-3. 絕對黑体的輻射定律	203
§ 5-2-4. 光测高温学	206
§ 5-2-5. 普朗克的量子假設	208
§ 5-2-6. 光电效应 斯托列托夫的研究工作	213
§ 5-2-7. 爱因斯坦方程 光子	216
§ 5-2-8. 光电效应的实际应用	219
§ 5-2-9. 倫琴射線的散射 康普頓效应	221
§ 5-2-10. 德布罗意波 物質的粒子性和波动性 电子繞射	225
§ 5-2-11. 电子显微鏡	231

第三章 原子物理学和量子力学基础	239
§ 5-3-1. 原子的核型结构及其实验基础	239
§ 5-3-2. 原子光谱的规律性	244
§ 5-3-3. 氢原子的理论	245
§ 5-3-4. 量子条件和量子数	250
§ 5-3-5. 量子力学发展史简述	254
§ 5-3-6. 薛定谔方程	256
§ 5-3-7. 测不准关系——基本粒子的经典理论的应用范围	259
§ 5-3-8. 薛定谔方程对氢原子理论的应用	263
§ 5-3-9. 门捷列夫元素周期系	267
第四章 半导体	272
§ 5-4-1. 半导体的一般物理性质	272
§ 5-4-2. 半导体的能带	275
§ 5-4-3. 半导体的导电原理	279
§ 5-4-4. 半导体的实际应用	282
第五章 原子核物理学基础	289
§ 5-5-1. 天然放射性 放射性的衰变规律	289
§ 5-5-2. 位移定则 放射性元素系	292
§ 5-5-3. 人为的原子核转变 中子及其性质	296
§ 5-5-4. 正电子 人为放射性	299
§ 5-5-5. 产生高能粒子的现代方法	302
§ 5-5-6. 原子核的组成 原子核的结合能 核力与核模型	310
§ 5-5-7. 宇宙射线	320
§ 5-5-8. 基本粒子及其相互转变 物质形式的多样性及其相互联系的表现	325
第六章 原子能的释放及其在动力方面的应用	330
§ 5-6-1. 重核的分裂 链式反应	330
§ 5-6-2. 原子能反应堆	335
§ 5-6-3. 原子能发电站 原子能在动力方面的其它的应用	339
§ 5-6-4. 轻元素的聚变 热核反应	340
§ 5-6-5. 爆炸式的热核反应 氢弹	342

§ 5-6-6. 热核反应的人工控制	344
--------------------------	-----

第七章 放射性同位素的应用351

§ 5-7-1. 放射性强度及剂量的单位	351
§ 5-7-2. 放射性探测原理	352
§ 5-7-3. 云雾室 厚层照相底片	353
§ 5-7-4. 电离室型探测仪器	355
§ 5-7-5. 脉冲探测仪器	357
§ 5-7-6. 閃爍計数器	362
§ 5-7-7. 中子的探测	363
§ 5-7-8. 放射性同位素应用原理	363
§ 5-7-9. 放射性同位素在工业上的应用	366
§ 5-7-10. 示踪原子在工业上的应用	373
§ 5-7-11. 射线对人体的影响及射线病	376
§ 5-7-12. 射线的防护与放射性同位素的安全使用	377

第四編 振动与波动

第一章 振动学基础

§ 4-1-1. 諧振动

物体在一定位置附近作来回重复的运动称为振动。例如，摆的运动，气缸中活塞的运动等，都是可以直接看到的振动。又如，一切发音体的运动，机器开动时各部分的微小运动，固体中分子的热运动等，则是不易或是不能直接看到的振动。

我們先用彈簧振子來說明諧振动。在左端固定的輕彈簧的右端系一物体，將物体略为移动后，物体就在彈簧力的作用下作左右来回的运动。这种振动系統称为彈簧振子。为了使討論較為簡單，我們把彈簧振子穿在光滑的水平玻璃棒上(图 4-1-1)，以避免重力对运动的影响。

設物体在位置 O 时，彈簧作用在物体上的力是零，这个位置是物体的平衡位置。現在把物体向右移到位置 B ，这时彈簧被拉

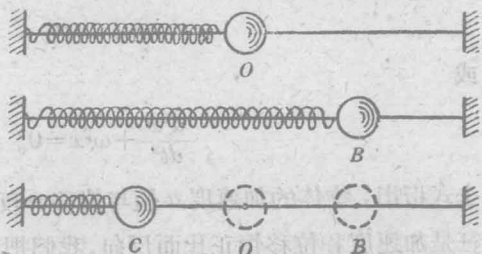


图 4-1-1. 彈簧振子的振动

长，相应地有指向左方即指向平衡位置的力作用在物体上，使物体返回平衡位置。当物体回到平衡位置时，彈簧的作用力等于零，但

因为物体在返回时获得速度,由于惯性作用,物体并不停止运动而繼續向左移动。当物体在平衡位置左边时,彈簧被压缩,所以物体所受的力指向右方即指向平衡位置。这时力的作用是阻撓物体运动,直至物体靜止在位置 C 。在这以后,物体在彈性力的作用下向右移动,情形和上述向左移动相似。这样,在彈簧的力的作用下,物体就在平衡位置左右方向作来回重复的振动。

取平衡位置 O 为 x 軸的原点,并設 x 軸的正向向右。按照虎克定律,物体所受彈簧的彈性力 f 和彈簧的伸长或物体以平衡位置为起点的位移 x 的关系是

$$f = -kx,$$

式中 k 是彈簧的倔强系数,負号表示力和位移的方向相反。設物体的质量为 m ,根据牛頓第二运动定律,它的加速度是

$$a = \frac{f}{m} = -\frac{k}{m}x。$$

因为 k 和 m 都是正数,所以它們的比值可用另一恒量 ω 的平方来表示,即令

$$\frac{k}{m} = \omega^2, \quad (4-1-1)$$

代入上式,得

$$a = -\omega^2 x \quad (4-1-2)$$

或

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0. \quad (4-1-2a)$$

上式指出,物体的加速度 a 恒与位移 x 反向。所以上述振动的特征是加速度和位移恒成正比而反向,我們把这种振动称为諧振动。由上可知,物体在彈性力作用下发生的运动是諧振动。

根据微分方程理論,式(4-1-2a)的解是

$$x = A \cos(\omega t + \varphi). \quad (4-1-3)$$

式中 A 和 φ 是两个恒量, 它们的意义和数值将在后面讨论。又因为 $\cos(\omega t + \varphi) = \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$, 所以如令 $\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2}$, 则式(4-1-3)可改写为

$$x = A \sin(\omega t + \varphi'). \quad (4-1-3a)$$

式(4-1-3)或(4-1-3a)都是谐振动的运动方程(位移和时间的关系式)。因此, 物体作谐振动时, 位移是时间的正弦或余弦函数。所以我們也可以說, 位移用时间的正弦或余弦函数来表示的振动称为谐振动。为确定起见, 在本章中我們用余弦函数来表示谐振动。

下面我們再用几何的方法来研究谐振动中位移和时间的关系, 并同时求出谐振动中速度、加速度和时间的关系。如图4-1-2所示, 設有质点 M 以匀角速度 ω 在半径为 A 的圆周上运动, 那么它在直径 BC 上的投影 P 点就在 BC 上作来回的运动。設在 $t=0$ 时, M 点在 M_0 处, 半径 OM_0 和 OB 间的角是 φ 。经过时间 t 后, M 点到达 M 处, 半径 OM 和 OB 间的角变为 $\omega t + \varphi$, 这时投影 P 点离开圆心的位移是

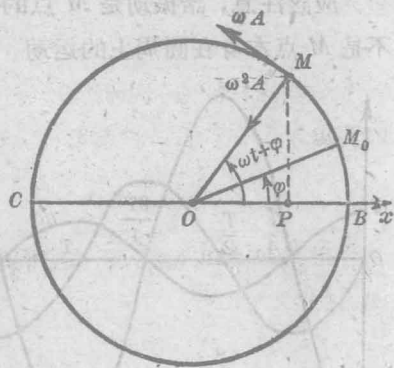


图4-1-2. 质点谐振动的参考圆

那么它在直径 BC 上的投影 P 点就在 BC 上作来回的运动。設在 $t=0$ 时, M 点在 M_0 处, 半径 OM_0 和 OB 间的角是 φ 。经过时间 t 后, M 点到达 M 处, 半径 OM 和 OB 间的角变为 $\omega t + \varphi$, 这时投影 P 点离开圆心的位移是

$$x = A \cos(\omega t + \varphi).$$

因为 M 点的角速度是 ω , 半径是 A , 所以它的速度是 ωA , 在切线方向; 而它的加速度是 $\omega^2 A$, 指向圆心。 P 点既是 M 点在 BC 上的投影, 可知 P 点的速度 v 和加速度 a 分别是 M 点的速度和加速度在 BC 上的分量, 即

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi); \quad (4-1-4)$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi). \quad (4-1-5)$$

把位移方程式代入加速度方程式,得

$$a = -\omega^2 x.$$

这就是諧振动的定义。由此可知,当质点作匀速圆周运动时,它在直径上的投影的运动是諧振动。上述方法同时告訴我們,当质点作諧振动时,它的位移、速度和加速度都是时间 t 的余弦或正弦函数。

应该注意,諧振动是 M 点的投影 P 点在直径 BC 上的运动,不是 M 点本身在圆周上的运动。 M 点的运动在这里只有輔助的意义,所以我們称 M

点为輔助点,称它所走的圆为参考圆。

如以 t 为横坐标,位移、速度和加速度为纵坐标,就可画出三条曲线,如图 4-1-3 所示(图中假定 $\varphi=0$)。从三条曲线,

可以清楚地看出諧振

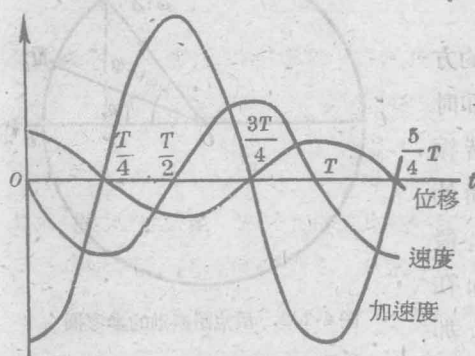


图 4-1-3. 諧振动的位移、速度和加速度与时间的关系

动中的位移、速度和加速度的周期性,就是說,它們都在每隔一定的时间后,重复一次原来的数值。所以諧振动是一种周期运动。

§ 4-1-2 諧振动中的振幅、周期、频率和周期

现在来说明諧振动方程 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ 中各量的意义。式中 A 称为振动的振幅。因余弦的绝对值不能大于 1,故 x 的绝对值不能大于 A ,可知振幅 A 是振动点离开平衡位置的最大位移。

式中 $(\omega t + \varphi)$ 称为振动的周相, 这是个极其重要的物理量, 由式(4-1-3)可知, 当 A 为已知时, 根据周相的大小, 可以决定振动点在某一时刻 t 的位置。不仅如此, 由于振动是质点所作的往复周期性运动, 所以在一个完全振动的过程中(即来回一次), 任何一个位置, 质点都将两次经过它。但每次通过的方向不同。例如, 在图 4-1-2 中, 当 $(\omega t + \varphi) = \frac{\pi}{2}$ 时, P 点的位置是 O 点, 运动方向向左; 当 $\omega t + \varphi = \frac{3\pi}{2}$ 时, P 点的位置也是 O 点, 而运动方向向右。由此可见, 振动的周相不仅决定振动点在任一时刻 t 的位置, 而且也决定这时质点运动的方向。恒量 φ 是 $t=0$ 时的周相, 称为振动的初周相, 简称初相, 从图 4-1-2 上可知, φ 的数值决定于我们开始计算时间的时刻。

对于辅助点 M 说, ω 是角速度, 对于谐振动讲, ω 称为圆频率。辅助点 M 旋转一周所需的时间是

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (4-1-6)$$

这就是振动点 P 完成一个完全振动(来回一次)所需的时间, 称为振动的周期。周期的倒数称为频率, 它代表单位时间内振动点所作完全振动的次数。频率的单位是每秒振动一次, 称为[赫芝]。例如, 频率为 200 [赫芝] 就是在一秒钟内振动 200 次。用 ν 代表频率, 则

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (4-1-7)$$

或

$$\omega = 2\pi\nu. \quad (4-1-7a)$$

因此, 圆频率表示振动点在 2π 秒时间内所作的振动次数。谐振动方程也常用频率或周期表述:

$$x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right),$$

或 $x = A \cos(2\pi\nu t + \varphi)$ 。

由上所述,可知諧振动的周期(或頻率)、初相和振幅三个量完全确定一个諧振动。現在說明在具体問題中何種因素決定这三个量。

彈簧振子的圓頻率是 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, 所以周期和頻率分別是

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}.$$

因为質量 m 和倔强系数 k 代表彈簧振子本身的性質,所以上述兩式說明,当振动系統作諧振动时,它的周期或頻率完全由系統本身性質所決定。我們常称之为固有周期或固有頻率。在其它諧振动例子中也可得到同样結論。但因振动系統的性質各不相同,所以周期与頻率的公式也有所不同。

对于一定的振动系統 (ω 为已知), 还可以有振幅不同和初相不同的振动。但是不論一个振动的振幅和初相的数值为何, 它的位移和時間及速度和时间的关系总是

$$x = A \cos(\omega t + \varphi), \quad v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi).$$

所以,如果已知某一时刻的 x 值和 v 值,那么振幅 A 和初相 φ 就可从上述两方程式求出。設在 $t=0$ 时,初位移是 x_0 , 初速度是 v_0 , 則 $x_0 = A \cos \varphi$, $\frac{-v_0}{\omega} = A \sin \varphi$ 。把这两式平方相加,再在等式两边开方,得

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}},$$

再把两式相除,得

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{v_0}{\omega x_0}.$$

初位移和初速度称为起始条件或位速条件。上述結果說明,对于一定的振动系統,諧振动的振幅和初相由起始条件或位速条件所

决定。

最后, 还应该指出, 在讨论几个频率相同的振动时, 它们的初相所具有的物理意义。设有三个质点 A_0 、 A_1 及 A_2 在同一方向, 以相同的频率、不同的初相在振动着, 其具体形式为:

$$A \cos \omega t, \quad A \cos(\omega t + \varphi_1) \quad \text{及} \quad A \cos(\omega t + \varphi_2).$$

因它们的频率相同, 所以不管计时原点如何选择, 它们的周相差总等于初相之差, 因而保持不变。图 4-1-4 是 A_0 、 A_1 及 A_2 的振动图解, 如果不选择

A_0 到达最大位移的 t_0 点作为计时原点, 而取 A_1 到达最大位移的 t_1 点作为计时原点, 则我们

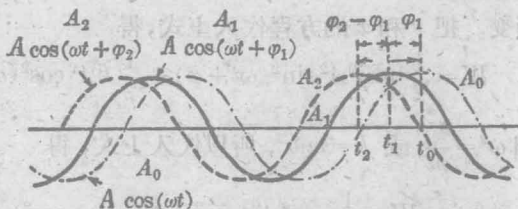


图 4-1-4. 三个谐振动的周相差

就说, 形式为 $A \cos \omega t$ 的振动, 在周相上较它落后一角度 φ_1 , 而形式为 $A \cos(\omega t + \varphi_2)$ 的振动, 在周相上较它超前一角度 $\varphi_2 - \varphi_1$ 。在周相落后的 A_0 , 它的振动余弦曲线将在横轴上向右移动一个距离 φ_1 , 而周相超前的 A_2 , 它的振动余弦曲线将位于 A_1 左边一个距离 $\varphi_2 - \varphi_1$ 。由此可见, 两个同频率振动的周相差, 决定了在任何时刻 t 两个相同的振动状态在横轴上的距离。

§ 4-1-3. 谐振动的能量

现在用图 4-1-1 的弹簧振子来说明谐振动的能量。设物体的质量为 m , 在某一时刻的速度为 v , 则物体的动能是 $\frac{mv^2}{2}$ 。再设在这时刻, 物体的位移即弹簧的伸长为 x , 弹簧的倔强系数是 k , 则弹簧还具有位能。如果把弹簧在原长时 (即伸长 x 为零时) 的位能算作零, 那么, 在弹簧伸长为 x 时弹性位能的数值等于从伸长为 x 变到伸长为零时弹性力所作的功。因为弹性力是变力, 正比于

伸長，所以伸長為零時，彈性力為零，伸長為 x 時，彈性力為 kx ，因而伸長從 x 變到零時，彈性力的平均數值是 $\frac{1}{2}kx$ ，於是所作的功為 $\frac{1}{2}kx \cdot x = \frac{1}{2}kx^2$ 。這就是伸長為 x 時彈簧所具有的彈性位能。因此彈簧振子振動時的總能量是

$$W = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2.$$

在振動過程中， v 和 x 都隨時間而變，所以動能和位能也都隨時間而變。把 v 和 x 的方程代入上式，得

$$W = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi). \quad (4-1-8)$$

因 $\omega^2 = \frac{k}{m}$ 或 $k = m\omega^2$ ，所以代入上式，得

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \{\sin^2(\omega t + \varphi) + \cos^2(\omega t + \varphi)\} \\ &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}kA^2. \end{aligned} \quad (4-1-9)$$

當一定的彈簧振子作一定的諧振動時， m 、 k 和 A 都是恒量，因此上式說明儘管動能和位能都隨時間變化，但諧振動的總能量在振動過程中是一個恒量。這結論和機械能守恒定律符合。

上式又說明，對於一定的振動系統，振動的總能量同振幅的平方成正比。這一結論在其它形式的振動中也是正確的。

應該指出：不僅在機械運動中有諧振動，在其它形式的物質運動中，也有諧振動。例如在無線電學、波動光學中，電流、電位差、電動勢或電場強度等等的變化，也常常是時間的正弦或余弦函數，這些運動的規律和機械的諧振動相同，所以在力學中雖然只能討論了機械的諧振動，但是它的理論可以廣泛地應用。

§ 4-1-4. 單擺和復擺

單擺和復擺的運動也是諧振動的例子。

单摆 在不会伸长的輕綫下端,悬挂不大的重物,略为移动后,物体就在鉛直面内来回摆动,这种装置称为**单摆**或**数学摆**(图 4-1-5)。綫的鉛直位置是摆的平衡位置。

現在来分析摆錘的圓弧运动在切綫方向的性質。在切綫方向,摆錘所受的作用力是重力在这方向的分力。当摆綫和鉛直方向作 θ 角时,重力的切向分力 f 为

$$f = P \sin \theta = mg \sin \theta。$$

当 θ 角很小时(5 度以下),圓弧可以近似地看成直綫,分力 f 也可近似地看作沿这直綫作用。現取这直綫为 x 軸,并設 l 为摆长,則因 $\sin \theta \simeq \frac{x}{l}$, 所以

$$f = -\frac{mg}{l}x,$$

式中負号表示力和位移的方向相反。这种力和彈性力类似,所以称为**准彈性力**。按照牛頓第二运动定律,物体的加速度是

$$a = \frac{f}{m} = -\frac{g}{l}x。$$

因摆长 l 和重力加速度 g 都是恒量,所以上式說明,加速度和位移成正比而反向。換句話說,当摆角很小时,单摆的振动是諧振动。

和諧振动的定义 $a = -\omega^2 x$ 比較,可知单摆振动时的圓頻率是

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}},$$

周期是

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}。$$

因此,当摆角很小时,单摆有一定的周期,这周期是由摆长 l 和单摆所在地点的重力加速度 g 所决定。因此单摆的周期也是由振动系統本身的性質所决定的。

单摆是測定重力加速度的最簡單而准确的仪器。在一定地点測定单摆的周期 T , 利用上式就可算出 g 来。在地球上不同地点测出单摆的周期,就可以发现各地的重力加速度是不相同的。

复摆 彈簧振子和单摆的振动都是平动,但振动也可以是轉动。如果物

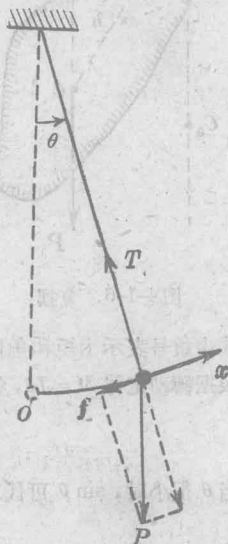


图 4-1-5. 单摆