

高等工业学校試用教科书

普通物理学

(四年制适用)

下 册

上海市高等工业学校物理学编写组編

上海科学技术出版社

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	48
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、绕射和散射	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 乌莫夫-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. 光的绕射	129
§ 4-5-6. 光的绕射现象	129
§ 4-5-7. 惠更斯-菲涅耳原理	131
§ 4-5-8. 单缝的绕射	132
§ 4-5-9. 绕射光谱 绕射光谱	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

§ 5-1-1. 狭义相对論的實驗基础和基本原理	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

§ 5-2-1. 热輻射 发射本領 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. 光測高温学	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. 电子显微镜	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. 闪烁计数器	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
結束語	379

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往复的运动称为振动。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

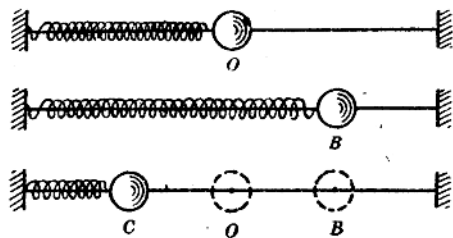


图 4-1-1. 彈簧振子的振动

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 O 。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動。

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正比而反向,我們把这种振動称为諧振動。由上可知,物体在彈性力作用下发生的运动是諧振動。

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 $\cos(\omega t + \varphi) = \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$ ，所以如令 $\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2}$ ，则式(4-1-8)可改写为

$$x = A \sin(\omega t + \varphi')。 \quad (4-1-8a)$$

式(4-1-8)或(4-1-8a)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

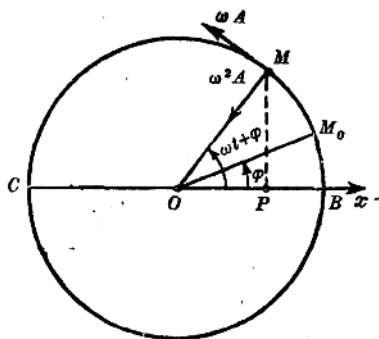


图4-1-2. 质点谐振动的参考圆

么它在直径 BC 上的投影 P 点就在 BC 上来回的运动。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

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

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)_0. \quad (4-1-5)$$

把位移方程式代入加速度方程式，得

$$a = -\omega^2 x。$$

這就是諧振動的定義。由此可知，當質點作勻速圓周運動時，它在直徑上的投影的運動是諧振動。上述方法同時告訴我們，當質點作諧振動時，它的位移、速度和加速度都是時間 t 的余弦或正弦函數。

應該注意，諧振動是 M 點的投影 P 點在直徑 BC 上的運動，不是 M 點本身在圓周上的運動。 M 點的運動在這裡只有輔助的

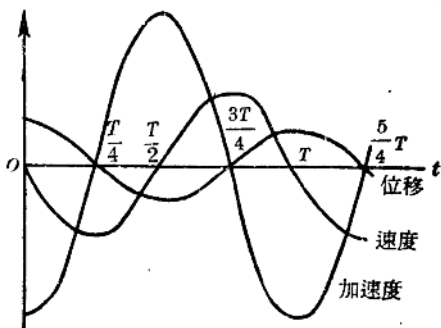


圖 4-1-3. 諧振動的位移、速度和加速度與時間的關係

意義，所以我們稱 M 點為輔助點，稱它所走的圓為參考圓。

如以 t 為橫坐標，位移、速度和加速度為縱坐標，就可畫出三條曲綫，如圖 4-1-3 所示（圖中假定 $\varphi=0$ ）。從三條曲綫，可以清楚地看出諧振

動中的位移、速度和加速度的周期性，就是說，它們都在每隔一定的時間後，重複一次原來的數值。所以諧振動是一種周期運動。

§ 4-1-2 諧振動中的振幅、周期、頻率和周相

現在來說明諧振動方程 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ 中各量的意義。式中 A 稱為振動的振幅。因余弦的絕對值不能大於 1，故 x 的絕對值不能大於 A ，可知振幅 A 是振動點離開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，可知諧振動的周期（或頻率）、初相和振幅三個量完全確定一個諧振動。現在說明在具體問題中何種因素決定這三個量。

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

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

因為質量 m 和倔强係數 k 代表彈簧振子本身的性質，所以上述兩式說明，當振動系統作自由振動時，它的周期或頻率完全由系統本身性質所決定。我們常稱之為固有周期或固有頻率。在其它自由振動例子中也可得到同樣結論。但因振動系統的性質各不相同，所以周期與頻率的具體公式也有所不同。

對於一定的振動系統（ ω 為已知），還可以有振幅不同和初相不同的振動。但是不論一個振動的振幅和初相的數值為何，它的位移和時間及速度和時間的關係總是

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

所以，如果已知某一時刻的 x 值和 v 值，那麼振幅 A 和初相 φ 就可從上述兩方程式求出。設在 $t=0$ 時，初位移是 x_0 ，初速度是 v_0 ，則 $x_0 = A \cos \varphi$ ， $-\frac{v_0}{\omega} = A \sin \varphi$ 。把這兩式平方相加，再在等式兩邊開方，得

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

再把兩式相除，得

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

初位移和初速度稱為起始條件或位速條件。上述結果說明，對於一定的振動系統，諧振動的振幅和初相由起始條件或位速條件所

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

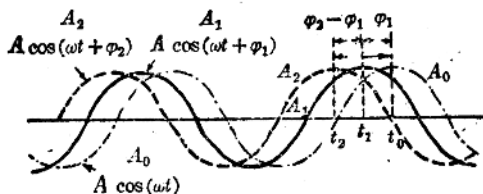


图 4-1-4. 三个谐振动的周相差

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 在不会伸长的轻线下端，悬挂不大的重物，略为移动后，物体就在铅直面内来回摆动，这种装置称为单摆或数学摆（图 4-1-5）。线的铅直位置是摆的平衡位置。

现在来分析摆锤的圆弧运动在切线方向的性质。在切线方向，摆锤所受的作用力是重力在这方向的分力。当摆线和铅直方向作 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），圆弧可以近似地看成直线，分力 f 也可近似地看作沿这直线作用。现取这直线为 x 轴，并设 l 为摆长，则因 $\sin \theta \approx \frac{x}{l}$ ，所以

$$f = -\frac{mg}{l}x，$$

式中负号表示力和位移的方向相反。这种力和弹性力类似，所以称为准弹性力。按照牛顿第二运动定律，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，所以上式说明，加速度和位移成正比而反向。换句话说，当摆角很小时，单摆的振动是谐振动。

和谐振动的定义 $a = -\omega^2 x$ 比较，可知单摆振动时的圆频率是

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}，$$

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统本身的性质所决定的。

单摆是测定重力加速度的最简单而准确的仪器。在一定地点测定单摆的周期 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 弹簧振子和单摆的振动都是平动，但振动也可以是转动。如果物

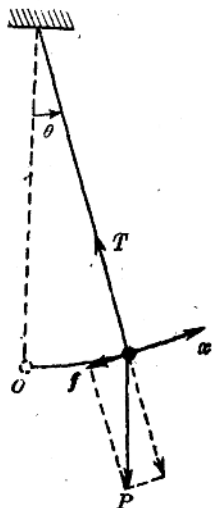


图 4-1-5. 单摆

体转动时,角加速度 β 和角位移 θ 成正比而转向相反,即

$$\beta = -\omega^2\theta。$$

那么这种运动就称为转动的谐振动或角谐运动。

我们现在用复摆来说明这种谐振动。任何一个能够在重力作用下绕水平转轴摆动的刚体都称为复摆或物理摆(图4-1-6)。设 O 点代表复摆的转轴, C 点为复摆的重心, 重心离转轴的垂直距离为 h , 摆的质量为 m 。在平衡位置时, 重心在通过转轴的铅垂线上(C_0 点)。经扰动后, 复摆将绕转轴左右摆动。在某一时刻, 当摆离开平衡位置的角位移是 θ 时, 重力 P 的作用线离开转轴的垂直距离是 $h \sin \theta$, 所以重力对转轴 O 的力矩是

$$M = -Ph \sin \theta = -mgh \sin \theta,$$

式中负号表示力矩和角位移的转向相反。设 J 为复摆对转轴的转动惯量, 则根据转动定律 $M = J\beta$, 得复摆的角加速度为

$$\beta = -\frac{mgh}{J} \sin \theta。$$

当 θ 很小时, $\sin \theta$ 可代以近似值 θ , 故

$$\beta = -\frac{mgh}{J} \theta。$$

因 $\frac{mgh}{J}$ 是恒量, 所以上式说明, 角加速度和角位移成正比而转向相反。即在摆角很小时, 复摆的运动是转动的谐振动。

和式 $\beta = -\omega^2\theta$ 比较, 得复摆的圆频率为

$$\omega = \sqrt{\frac{mgh}{J}},$$

周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgh}}。$$

由上可知, 复摆的周期也是由振动系统本身的性质所决定的。和单摆一样, 复摆也可用作测定 g 的仪器。

很容易证明, 单摆作谐振动时, 它的位移、速度和加速度都是时间的余弦或正弦函数。同样, 复摆作谐振动时, 它的角位移、角速度和角加速度也都是

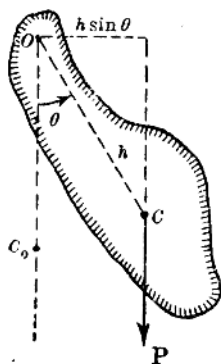


图4-1-6. 复摆

时间的余弦或正弦函数。也很容易证明,单摆和复摆的振幅和初位相也是由起始条件所决定的。

【例题1】一轻弹簧受3[千克力]的作用时,伸长为9[厘米]。今在此弹簧下端悬一重量 $P=2.5$ [千克力]的重物。求此重物振动时的周期。

【解】弹簧受3[千克力]时,伸长为9[厘米],所以弹簧的倔强系数是

$$k = \frac{3[\text{千克力}]}{9[\text{厘米}]} = \frac{1[\text{千克力}]}{3[\text{厘米}]},$$

注意上式所用单位为混合制。由弹簧振子的周期公式,可求出周期为

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{P}{gk}},$$

式中长度的单位要用[厘米],力的单位要用[千克力],代入已知数字,得

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2.5 \times 3}{981}} = 0.55[\text{秒}].$$

【例题2】续上题,若在开始时将重物从平衡位置拉下6[厘米],然后放开任其自由振动,求振动方程及振动能量。

【解】取向下的方向作为位移的正向,并取重物的平衡位置作为原点,则从题意,初位移为 $x_0=6$ [厘米],而初速度为 $v_0=0$ 。所以振动的振幅和初周相为

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} = x_0 = 6[\text{厘米}],$$

$$\varphi = \text{tg}^{-1}\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) = 0.$$

所以振动的方程是

$$x = A \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right) = 6 \cos \frac{2\pi}{0.55} t = 6 \cos(3.6\pi t).$$

振动的能量是

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} \times 6^2 = 6[\text{千克力}][\text{厘米}] \\ &= 0.06[\text{千克力}][\text{米}]. \end{aligned}$$

§4-1-5. 同方向振动的合成 拍

有时我们会遇到一种运动,在这运动中,质点同时参与两个振动,例如,当有两个声波同时传播到空间某一点时,该点空气质点