

高等学校教学用书

物理学

(初稿)

第三册

高等工业学校物理学编写组编



高等教育出版社

高等学校教学用书



物 理 学

(初稿)

第三册

高等工业学校物理学编写组编

高等教育出版社

本書由高等教育部組織高等工業學校部分教師遵照 175 及 216 兩種學時類型的物理學教學大綱本著“學少一些，學好一些”的精神，在蘇聯專家巴巴諾夫同志指導下集體編寫的，可作為高等工業學校 105 到 135 講授學時的物理課程的教材。

本書分三冊出版，第一冊包括力學、分子物理學和熱力學兩編，第二冊電學和磁學一編，第三冊包括波動過程、原子物理學和原子核物理學兩編。

本書適用於高等工業學校，但對一般綜合性大學、師範學院、農林學院等亦可作為參考教材。

物 理 學

(初稿)

第三冊

高等工業學校物理學編寫組編

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

統一書號 13010·127 開本 850×1168 1/32 印張 89/16 字數 233,000

一九五六年四月上海第一版

一九五七年五月上海第五次印刷

印數 113,001—133,000 定價(8) 1.00

第三册 目錄

第四編 波动过程

§ 4-0-1. 波动过程的研究范围及其重要性	1
第一章 波动通論	3
§ 4-1-1. 彈性媒質中波的產生和傳播機構	3
§ 4-1-2. 波的傳播速度 波長 波的週期和頻率	6
§ 4-1-3. 波动方程	9
§ 4-1-4. 波的能量 能流	12
§ 4-1-5. 惠更斯原理	17
§ 4-1-6. 波的反射和折射	18
§ 4-1-7. 疊加原理 波的干涉	21
§ 4-1-8. 駐波	23
§ 4-1-9. 波的繞射	26
第二章 声学的物理基礎	27
§ 4-2-1. 声振动及声波 声波的速度	27
§ 4-2-2. 声波的反射、折射和干涉	29
§ 4-2-3. 声源与观察者的运动對於声音頻率的影响—多普勒效应	32
§ 4-2-4. 声強 听觉范围 声強位	34
§ 4-2-5. 声音的吸收 交混回响	38
§ 4-2-6. 超声波的產生及应用	40
第三章 电磁振盪和电磁波	43
§ 4-3-1. 电磁振盪 振盪电路和振盪方程	43
§ 4-3-2. 無阻尼自由振盪	44
§ 4-3-3. 阻尼自由振盪	48
§ 4-3-4. 受迫振盪 电共振	49

§ 4-3-5. 电磁波的輻射和傳播	52
§ 4-3-6. 电磁波的能量 烏莫夫-坡印廷矢量	54
§ 4-3-7. 赫芝实验 波波夫發明無綫电	57
§ 4-3-8. 無綫电波的發射和接收	61
§ 4-3-9. 無綫电定位術 电视的概念	64
§ 4-3-10. 电磁波譜	66

第四章 波动光学基礎

I. 光速 几何光学基本定律 色散

§ 4-4-1. 關於光的本性的發展史概述	68
§ 4-4-2. 光速的測定	70
§ 4-4-3. 光的反射与折射	72
§ 4-4-4. 光綫通过稜鏡的情形	75
§ 4-4-5. 光譜及其种类	79
§ 4-4-6. 光譜分析 攝譜仪	81

II. 光的干涉

§ 4-4-7. 光綫的相干性 相干光的獲得法	83
§ 4-4-8. 光程和光程差	88
§ 4-4-9. 薄膜的顏色	91
§ 4-4-10. 劈尖的干涉 牛頓环	93
§ 4-4-11. 干涉仪 干涉現象在技術上的应用	97

III. 光的繞射

§ 4-4-12. 光的繞射現象	100
§ 4-4-13. 惠更斯-菲涅耳原理 菲涅耳半週期帶	101
§ 4-4-14. 小圓孔与小圓屏的繞射	106
§ 4-4-15. 單縫繞射	110
§ 4-4-16. 繞射光柵 繞射光譜	114
§ 4-4-17. 倫琴射綫的繞射 烏利夫-布喇格公式	120

IV. 光的偏振

§ 4-4-18. 天然光和偏振光	124
§ 4-4-19. 反射和折射时光的偏振	127

§ 4-4-20. 光的双折射現象	130
§ 4-4-21. 起偏振稜鏡和起偏振片	134
§ 4-4-22. 振动面的旋轉	140
§ 4-4-23. 偏振光的干涉及其應用	141
V. 相对論的兩個推論	143
§ 4-4-24. 迈克耳孙的實驗	148
§ 4-4-25. 相对論的概念 質量与能量的相互联系	146

第五編 原子物理學和原子核物理學

§ 5-0-1. 原子物理学和原子核物理学發展簡史	150
第一章 波和粒子	155
§ 5-1-1. 热輻射 發射本領 吸收系数和反射系数	155
§ 5-1-2. 基尔霍夫輻射定律	157
§ 5-1-3. 絕對黑体的輻射定律 普朗克的量子假設	160
§ 5-1-4. 光測高溫学	163
§ 5-1-5. 光电效应 斯托列托夫研究工作	167
§ 5-1-6. 爱因斯坦方程 光子	171
§ 5-1-7. 光电效应的实际应用 内光电效应	173
§ 5-1-8. 倫琴射綫的散射 康普頓效应	176
§ 5-1-9. 物質的粒子性和波动性 电子繞射	179
§ 5-1-10. 电子顯微鏡	183
第二章 原子物理学基礎	187
§ 5-2-1. 原子的核模型及其實驗基礎	187
§ 5-2-2. 原子光譜的規律性	193
§ 5-2-3. 氫原子的理論	194
§ 5-2-4. 綫光譜的起源和綫狀倫琴光譜	200
§ 5-2-5. 量子条件和量子数	204
§ 5-2-6. 量子力学的基本概念	209
§ 5-2-7. 門捷列夫元素週期表	211
§ 5-2-8. 微光	220

第三章 原子核物理学基礎	223
§ 5-3-1. 天然放射性	223
§ 5-3-2. 觀察放射性現象的方法	225
§ 5-3-3. 放射性衰变定率	228
§ 5-3-4. 位移定則 放射性元素系	230
§ 5-3-5. 人工的原子核轉變 中子及其性質	234
§ 5-3-6. 正电子 人为放射性	236
§ 5-3-7. 原子核結構 原子核的結合能及核子力的概念	239
§ 5-3-8. 產生高能粒子的現代方法	244
§ 5-3-9. 重核的分裂	248
§ 5-3-10. 核能及其应用	252
§ 5-3-11. 宇宙射綫	258
§ 5-3-12. 基本粒子及其相互轉變 物質形成的多样性及其相互联系的表現	264

第四編 波动过程

§ 4-0-1. 波动过程的研究范围及其重要性

波动是物質的一种运动形式，振动是產生波动的根源。

波动可分为兩大类。一类是屬於机械振动范围的，称为机械波，例如水波、声波以及在液态和固态媒質内部傳播的彈性波等都是机械波。一类是屬於电磁振动范围的，称为电磁波，例如無綫电波、紅外線、可見光、紫外綫、倫琴射綫和 γ 射綫等都是电磁波。

机械波的本質是質点振动在媒質(傳波物質)中的傳播过程，机械波动之所以形成，是因为媒質的質点是互相联系互相作用着的，由於一个質点的振动，就牽連鄰近質点随着振动，由近及远地傳播出去。

电磁波的本質是变化电場和变化磁場(电場和磁場都是物質)在空間的傳播过程。在电磁波动中，相当於質点振动的是电場强度和磁場强度的振动。电磁波的形成，是因为变化着的电場和变化着的磁場是互相联系着的。

如上所述，机械波和电磁波在本質上是不相同的，但它們都具有波动的共同特征。例如，它們都由於物質之間的相互影响而形成的，具有一定的速度，並伴随着能量的傳播，在不均匀的媒質中都產生反射、折射和繞射現象，两个波动相遇时都有可能產生干涉現象，而且这些現象也都服从共同的規律。波动过程就是要研究各种波动的本質和它們的特征、現象和規律等。

在物質世界中，波动現象最为普遍。在科学研究方面，超声波、無綫电波、紅外線、紫外綫、倫琴射綫等等的進一步探討，是和波动的研究分不开的。在技術应用方面、建筑声学、地震波勘探、超声波应用、無綫

电通訊、雷达、电视、应用光学和其精密仪器、倫琴射綫应用等等，也是和波动的研究不可分割的。所以不論对科学或技术說，波动的研究都是極为重要的。

本編第一章以机械波为具体内容來討論波动的共同特征、現象和規律，第二章討論声波，第三章討論电磁振盪和电磁波，第四章討論光的波动性質。

第一章 波动通論

本章討論波动过程中的几种重要的共同特征、現象和規律。主要内容为 (1)波动的形成以及週期、頻率、波長、波速等概念；(2)在均匀媒質中波的傳播規律，包括波动方程和波的能量等；(3)一般媒質中波的傳播規律，包括惠更斯原理及其在反射、折射方面的应用；(4)媒質中同时有两个波动存在时的相互影响，包括波的干涉、駐波等現象。

上述各項將以彈性波为其具体内容，但所得結果同样地適用於电磁波等其他波动过程。

§ 4-1-1. 彈性媒質中波的產生和傳播機構

机械振动系統在彈性媒質中振动时，可以影响周圍的媒質，使它們也陸續地發生振动。这就是說，机械振动系統能够把振动向周圍媒質傳播出去。这种机械振动的傳播过程称为机械波动或机械波。例如，雨滴落在靜止的水面上时，引起雨滴着水处水的振动，这振动就向周圍水面傳播出去，形成水面波。拉緊一根繩子，同时使一端作垂直於繩子的振动，这振动就沿着繩子向另一端傳播，形成繩子上的波。音叉振动时，引起周圍空气分子的振动，这振动就在空气中傳播出去，形成声波。可知机械波的產生，首先要有作机械振动的物体，这个作机械振动的物体称为机械波的波源，其次要有能够傳播这种机械振动的媒質。

应当注意，波动傳播时，各質点僅在它們各自的平衡位置附近振动，並沒有在波动傳播方向流动或繼續前進，而且質点的振动方向和波动的傳播方向也不一定相同。如果質点的振动方向和波动的傳播方向相垂直，我們就称这种波为橫波，例如在繩子上傳播的波。如果質点的

振动方向和波动的传播方向相符合，我们就称这种波为纵波，例如在空气中传播的声波。横波和纵波是自然界中存在着的两种最简单的波。其他如水面波等，情形就比较复杂。

在弹性媒质内部，波的传播机构可粗略说明如下。弹性媒质的各个质点间是有弹性力互相联系着的。如果媒质中有一个质点 A 离开了平衡位置，媒质中各质点间就因形变而产生等值反向的弹性力， A 所受到的弹性力，要使 A 回到平衡位置，因而产生振动。 A 点周围的质点所受到的弹性力，要使它离开平衡位置。当它们离开平衡位置时，它们自己周围的质点又对它们有弹性力，要使它回到平衡位置，因而也要产生振动。所以媒质中一个质点的振动会引起邻近质点的振动，而邻近质点的振动又会引起较远质点的振动。这样，振动就被由近及远地向各个方向以一定的速度传播出去，形成波动。

圖 4-1-1 表示橫波傳播的大概情形。

圖中 1 至 16 各小點代表媒質中某直線上的一排質點，質點相互間有彈性力聯系着（在演示實驗中，可用小球表示質點，並用小彈簧聯系各小球表

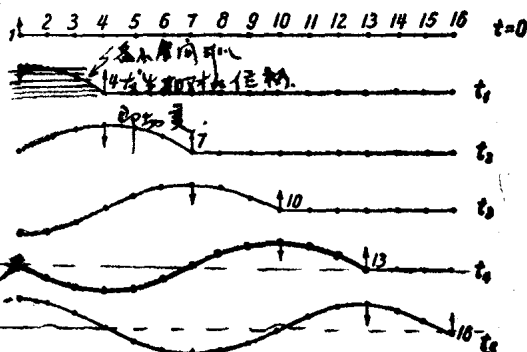


圖 4-1-1 橫波傳播簡圖。

示彈性力)。圖中第一行表示在開始時刻 ($t=0$) 各質點的位置，設這時各質點都在平衡位置，而質點 1 則受到向上的外力正要開始向上移動。第二行表示經過一段時間 (t_1) 後各質點的位置，這時質點 1 已達到向上的最大位移，從質點 1 到 4 的這部分媒質因有形變而產生彈性力，這彈性力要使各質點恢復平衡位置，因而質點 1 受到一向下的彈性力要向下運動，而質點 4 則受到一向上的彈性力，要開始向上移動。第三行

表示再經過一段時間后各質点的位置,这时質点 1 已回到平衡位置,但因具有一定的速度而繼續向下运动,而質点 4 和 7 則因受到彈性力要分別地向下和向上运动。第四行表示当質点 1 达到向下的最大位移时各質点的位置,彈性力將使質点 10 开始向上运动。第五行表示当質点 1 又回到平衡位置时各質点的位置,彈性力使質点 13 开始向上运动。这时質点 1 已完成一次振动, 1 到 13 各質点分別位於一条曲線上,形成一个具有波峰和波谷的波,就是橫波。 在以后的發展过程中,彈性力的作用將繼續地使更远的質点振动,波动將繼續地向右進行。

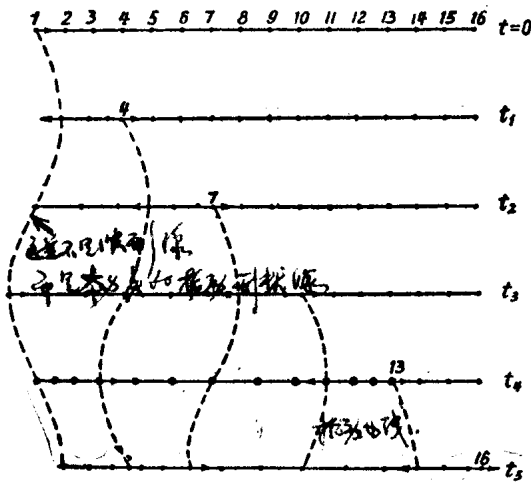


圖 4-1-2 縱波傳播簡圖。

圖 4-1-2 表示縱波傳播的大概情形。第一行表示在开始时刻 ($t=0$) 各質点的位置, 質点 1 因受到一个外力开始向右运动。第二行表示当質点 1 达到向右的最大位移时 (t_1) 各質点的位置, 这时質点 4 因受彈性力正要开始向右移动, 所以在質点 1 和 4 之間形成稠密。第三

行表示当質点 1 回到平衡位置时各質点的位置, 这时質点 7 因受到彈性力正要开始向右移动, 在質点 1 和 7 之間, 除形成一段稠密外, 还形成一段稀疏。 第四行表示当質点 1 达到向左的最大位移时各質点的位置。第五行表示当質点 1 又回到平衡位置时各質点的位置, 这时質点 1 已完成一次振动, 在質点 1 和 13 之間形成一个稠密和稀疏相間的波, 就是縱波。 又|稀疏|稠密

由上討論, 可見当媒質發生某种形变时, 媒質中一定会發生相对应

的彈性力，使媒質恢復原狀，才能傳播和這種形變相對應的波動。例如橫波傳播時，媒質發生切變，因而只有能夠產生切力的媒質才能傳播橫波，縱波傳播時，媒質發生容變或縱長變，因而只有能夠產生壓力和拉力的媒質才能傳播縱波。

一般地說，波動傳播時，各質點的振動情況是很複雜的。有一種最簡單而又最重要的波，稱為余弦波（或正弦波）。這種波的波源的振動是諧振動。當這種波的傳播到達穩定狀態時，各質點的振動也是諧振動，振動的週期或頻率和波源相同，振幅也和波源有關。因此，當這種波在某一直線上傳播時，在任何給定時刻，線上各振動質點的位移和平衡位置的關係是余弦（或正弦）的關係，即如以平衡位置為橫坐標，位移為縱坐標，就得到一條余弦（或正弦）曲線。可以證明，複雜的波是由若干個余弦波（或正弦波）所合成的，因此我們在下面只限於討論余弦波（或正弦波）。

最後介紹幾個波動中常用的概念。波動從波源出發，在媒質中向各個方向傳播，在某⁵時刻由波動達到各點所聯成的面稱為波前或波陣面。波動傳播時，媒質中各質點在平衡位置附近振動，如果把週相同（即位移的大小和方向以及運動方向都相同）的各點連接起來，成為一面，這面就稱為同相面或波面。顯然，波陣面是波面的特例，因為在波陣面上各點的週相相同。波陣面的形狀決定波的類型，例如，波陣面如為平面，就稱為平面波，波陣面如為球面，就稱為球面波。波的傳播方向稱為波綫，或射綫。在各向同性媒質中，波綫恆與波面垂直，平面波的射綫是垂直於波面的平行綫，球面波的射綫是以波源為中心的半徑。

§ 4-1-2. 波的傳播速度 波長 波的週期和頻率

現在說明幾個描寫波動的重要物理量，即波的傳播速度、波長和波的週期與頻率，以及它們的關係。

根據上節所述，只有能夠產生切力的媒質才能傳播橫波，只有能夠

產生壓力和拉力的媒質才能傳播縱波。固體能夠產生上述兩種彈性力，所以固體能夠傳播橫波和縱波。但液體和氣體僅能在產生容變時改變壓力的大小，所以液體和氣體僅能傳播縱波。換句話說，波動的傳播是和媒質的彈性有密切關係的，因而波動的傳播速度必然和媒質的彈性模量有關係。

理論證明(證明從略)，橫波和縱波在固態媒質中的傳播速度 v 可用下列兩式計算：

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (\text{橫波}) \quad (4-1-1)$$

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (\text{縱波}) \quad (4-1-2)$$

式中 G 和 Y 分別為媒質的切變彈性模量和楊氏彈性模量， ρ 是媒質的密度。縱波在無限大的固態媒質中傳播時，式(4-1-2)是近似的，但在固態棒中沿着棒的長度傳播時是準確的。

液體和氣體只能傳播縱波，傳播速度可用下式計算：

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (\text{縱波}) \quad (4-1-3)$$

式中 B 是容變彈性模量， ρ 是密度。應用上述各式時，式中各量都要用同一種單位制的單位。

波動傳播時，同一波線上兩個相鄰的週相相同的質點之間的距離，即一個完整的波的長度，稱為波長，用 λ 表示(圖 4-1-3)。波行過一個波長那樣長的距離所需的時間稱為波的週期 T ，週期的倒數 $\nu = 1/T$ 稱為波的頻率。對於振動質點說，週期是質點作一次完全振動所需的時間，頻率是單位時間內完全振動的次數。對於波動

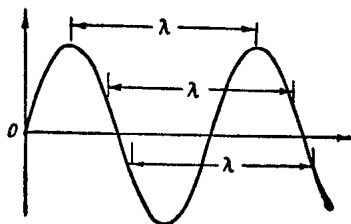


圖 4-1-3 波長。

說，週期是波動前進一個波長的距離所需的时间，或一個完整的波通過波綫上某點所需的时间，頻率是單位時間內波動前進距離中完整波的數目，或單位時間內通過波綫上某點的完整波的數目。

因為在一個週期內波動前進一個波長的距離，所以波速 v 和波長 λ 及週期 T 的關係是

$$v = \frac{\lambda}{T}, \quad (4-1-4)$$

因為頻率等於週期的倒數， $\nu = 1/T$ ，所以上式又可寫成

$$v = \nu \lambda. \quad (4-1-5)$$

即是說，波速等於波長和週期之比，或波速等於頻率和波長的乘積。這是波速、波長和週期或頻率的基本關係。

[例題 1] 橫波在拉緊的繩子上傳播時，傳播速度可用下式計算，

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (*)$$

式中 T 是繩中張力， μ 是繩子每單位長度的質量。設有一條長為 2[米]、質量為 20[克]的鋼絲，兩端各以 1[千克力]拉緊，求鋼絲中橫波的傳播速度。

[解] 採用厘米克秒制單位，

$$T = 1[\text{千克力}] = 9.81 \times 10^5 [\text{達因}],$$

$$\mu = \frac{20}{200} = \frac{1}{10} [\text{克}][\text{厘米}]^{-1}.$$

代入(*)式，得

$$v = \sqrt{9.81 \times 10^5 \times 10} = 3.13 \times 10^3 [\text{厘米}][\text{秒}]^{-1}.$$

[例題 2] 在截面積為 1[毫米]² 的鐵絲中，要使縱波波速為橫波波速的 100 倍，問鐵絲中張力應為若干？鐵的楊氏彈性模量為 20×10^{11} [達因][厘米]⁻²。

[解] 橫波波速為

$$v_1 = \sqrt{\frac{T}{\mu}},$$

縱波波速為

$$v_2 = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}.$$

設鐵絲的截面積為 S ，則

$$\mu = \rho S.$$

按題意， $v_2 = 100v_1$ ，得

$$\sqrt{\frac{Y}{\rho}} = 100 \sqrt{\frac{T}{\mu}} = 100 \sqrt{\frac{T}{\rho S}},$$

或

$$T = 10^{-4} YS.$$

將楊氏模量 Y 和截面積 S 的值，代入上式，得張力為

$$T = 10^{-4} \times 20 \times 10^{11} \times 0.01 = 20 \times 10^6 \text{ [达因]}.$$

§ 4-1-3. 波动方程

波动方程說明波綫上任何一个質点在任何时刻的位移。 下面說明

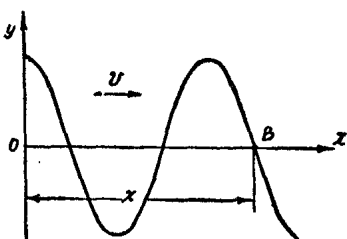


圖 4-1-4 波动方程推導用圖。

余弦波在均匀媒質中傳播时的波动方程。

如圖 4-1-4 所示，設有一余弦波在均匀媒質中沿 x 軸的正向傳播，波速為 v 。設原點 O 的振动方程已知為

由于 ω 是任意选择的
可移 $\varphi = 0$ 或 2π
为 0 或 λ .

$$y_0 = A \cos \omega t,$$

式中 A 是振幅， ω 是圓頻率， y 是振动点在时刻 t 离开平衡位置的位移（如为橫波則位移方向和 ox 垂直，如为縱波的位移則沿着 ox ）。設 B 为波綫上另一点，离开 O 点的距离为 x 。当振动从 O 点傳播到 B 点时， B 点將重复 O 点的振动，但在週相上要落后一些。因振动从 O 傳到 B 需要 x/v 的时间，所以当 O 点振动了 t 时间时， B 点只振动了 $(t-x/v)$ 的时间，即是說， B 点在 t 时刻的位移等於 O 点在 $(t-x/v)$ 时刻的位移。因此，如果假定波动傳播时，各点的振幅相等，則 B 点在 t 时刻的位移为

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right), \quad (4-1-6)$$

因为 $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$ ， T 和 ν 分别为週期和頻率，又 $vT = \lambda$ ， λ 为波长，所以上式可寫成

$$y = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = A \cos 2\pi \left(\nu t - \frac{x}{\lambda} \right). \quad (4-1-6a)$$

如果把式中的 t 和 x 当作自变量看，則以上各式都称为波动方程，它們說明距离 O 点为 x 的任意点在任意时刻 t 的位移。

在波动方程中含有 x 和 t 两个自变量，为了进一步了解波动方程的意义，我们来分析 x 和 t 变化时的情形。

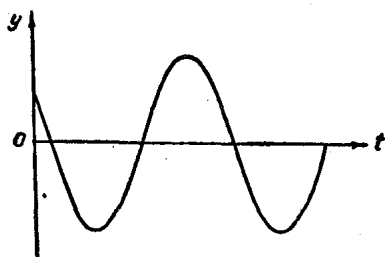


圖 4-1-5 振动点的位移和时间的关系。

如果 x 给定，则位移 y 将单纯是 t 的函数，这时波动方程表示距原点为 x 的给定点在各不同时刻的位移，就是这点的振动情形。如以 t 为横坐标， y 为纵坐标，就得到一条余弦曲线（圖 4-1-5），说明给定点在作谐振动。

如果 t 给定，则位移 y 将单纯是 x 的函数，这时波动方程表示在给定时刻波线上各不同振动点的位移，就是在给定时刻的波形（指波峰和波谷或稠密和稀疏的分布情况）。如以 x 为横坐标， y 为纵坐标，也得到一条余弦曲线（圖 4-1-6），说明这个波是余弦波。

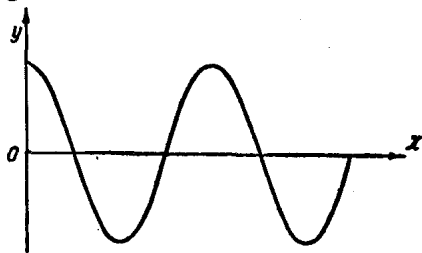


圖 4-1-6 在给定时刻各点的位移和平衡位置的关系。

最后，如果 x 和 t 都变化，则波动方程表示波线上各不同点在不同时刻的位移，就是波形的传播。如以 x 为横坐标， y 为纵坐标，则在某一时刻 t_1 得到一条余弦曲线，在另一时刻 $t_1 + \Delta t$ 得到另一条余弦曲线，分别如图 4-1-7 中的实线和虚线所示。当 $t = t_1$ 时，各点的位移即波形，按照波动方程，应为

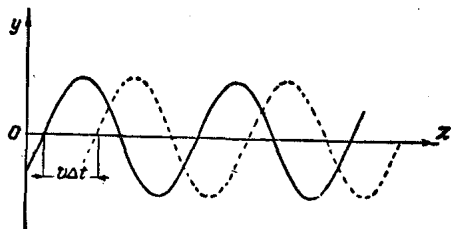


圖 4-1-7 波的傳播。

$$y = A \cos \omega \left(t_1 - \frac{x}{v} \right),$$

式中 t_1 为给定值， x 则为变值。

上式可寫作