

高等学校教学用书



物理学概论

第一册

阿·伊·基泰戈罗兹基 著

高等教育出版社

高等学校教·学用书



物 理 学 概 論

第 一 冊

机械运动与热运动

阿·伊·基泰戈罗兹基著

上海交通大学等十五院校集体翻译

高等教育出版社

本书系根据苏联国立物理数学书籍出版社(Физматгиз)出版阿·伊·基泰戈罗兹基(А. И. Китайгородский)著“物理学概论”(Введение в физику)一书 1959 年版译出。原书曾经苏联高等教育部审定作为高等工业学校的教学参考书。其他高等学校理工科学生亦可参考。

原书分为三篇,第一篇讲解机械运动与热运动(第一至第十三章),第二篇讲解电磁场(第十四至第二十五章),第三篇讲解物质的结构与性质(第二十六至第三十七章),另有附录。中译本由上海交通大学等十五院校的物理教研组集体翻译,分为三册出版,册次与原书的篇次同。

第一册译者:上海交通大学(序及第一章)、同济大学(第二、三章)、华东纺织学院(第四章)、华东化工学院(第五章)、天津大学(第六至第九章)、山东工学院(第十、十一章)及浙江大学(第十二、十三章)。

物 理 学 概 论

第 一 册

阿·伊·基泰戈罗兹基 著

上海交通大学等十五院校集体翻译

高等教育出版社出版 北京宣武门内大街27号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第054号)

京华印书局印订 新华书店发行

统一书号 13010·766 开本 850×116¹/₃₂ 印张 7¹/₁₆

字数 171,000 印数 00001—11 000 定价(8) 0.70

1960年1月第1版 1961年1月北京第1次印刷

序

最近十年来，我們都看到物理科学的迅速发展。我們很难举出人类哪一方面的知識領域，沒有因物理科学的独特成就而不发生重要的甚或根本的变化。新的技术在很大的程度上是物理科学的产物。被物理学所揭露的新的观念和事实，已成为人类对周围世界的認識的不可分割的部分。物質結構的問題，在早期为研究者所感兴趣，作为特殊的鍛煉智力的課題，現在已放在科学的最前列，成为与文化发展有密切联系的最重要的問題。

对于在任何科学和技术部門工作的，希望理解本門知識範圍的基础并致力于創造性地发展本門科学的专家，广博的物理学知識是必須有的。供高等工业学校学生用的物理教程的任务，在于帮助学生了解工程技术的物理基础。

除了这个主要的任务以外，高等工业学校中的物理教学应当这样安排，以便帮助学生掌握物理实验的技术，让他们熟悉那些用来测定物理量的仪器。掌握实验物理学是要通过物理实验室里的操作来达到的。我們认为，熟悉实验物理学，在高等工业学校的物理教学中，乃是完全独立的任务。实验物理和讲解物理学一般定律与現象的課程交叉进行，从教学观点上說，只有在个别情况下是恰当的。这是因为近代实验物理学不能分割为几个部分的。膨胀系数的测定要借助于干涉量度学，在进行力学和热学的实验时，需要用无线电技术设备，金属結構的研究不可能与电学实验分开。利用已经过时的技术进行物理测量，只有那些希望了解某些实验的发展历史的物理学专家才感到兴趣。可以說，如果教学计划作这样的安排，使学生学过普通物理課程之后再進行实验室工作，那將

是最合理的。

因此，以作者的观点来看，在物理讲授中和在相应的教科书中，只应该讨论实验的概况和大意。

同意了实验物理学分立的必要性之后，我们接着就必须要在物理教程的两种编写方案之间作出选择：归纳的方案（由各个实验事实归纳成理论的综合）和演绎的方案（由理论推论到它的实验证明和它们的各种后果）。在篇幅大的课本中，这两种路线大概是可以结合的，如同它们在科学发展过程中相结合的那样。作者没有这样的可能性，因而采纳了第二个方案。理论性基本原理的叙述，再从而得出可以用实验来验证的推论，以至对实验作概括的说明——这就是在本书各章中几乎全都采用了的结构。当然，这就难免要完全放弃历史观点。物理思想的发展史、各种物理学说的兴起和失效的历史，在给非物理专业学生用的本书中是不必讲的。我认为只有采取这种叙述方法才可能同时是清楚又是简洁的。

处理物理材料的这种见解就决定了本教程的结构。如果将物理的基本定律放在主要的角度，同时将从属于一定理论概念范围内的许多现象加以系统的研究，那末把纯粹唯象理论及其推论跟物质结构的问题分开讲是合理的。经典力学、热力学、统计物理学和电动力学都是自成系统的；并在主要部分上都是物理学的完整的领域。它们的叙述应该放在物质结构问题的讨论之前。在叙述了经典物理学的基础并讨论过物质结构的理论之后再来研究物理属性同物质结构的关系是合适的。

在现有的物理学书中，联系到物质结构的问题和联系到属性同结构有关系的问题，都分散在教程的各个部分，因而大多数就埋没在，也可以说是融化在其他一些材料中了。我认为，无论从教程组织的逻辑的观点，或者从这些问题的重要性来看，这样做都是不妥当的，特别是考虑到化学和工艺大学的较多专业内，材料和物质

是專門的課題。本書中物質結構的問題放在最後的一冊中去講。顯然，本書在結構方面和其他書的主要差別就在這一點上。

和許多現有的物理教科書不同的另一點，是用統一的觀點交叉敘述無線電物理學的和光學的問題——這對蘇聯學生並不新奇。在曼傑爾什塔姆院士學派的物理學家們的論文和著作中，令人信服地說明了利用這種觀點對現象的物理本質可達到較好的理解。

分配給物理課程的時間是比較不多的，不得不尋找尽可能比較扼要的和簡潔的在教科書中敘述這門課程的方法。同時又不允許縮減物理問題的范围，沒有這些知識今天就不能成為有學問的化學家、工藝師和工程師。希望同時滿足這兩個矛盾的傾向，使作者處於困難的境地。首先，作者認為完全不要重複中學材料是可能的（關於這方面，在任何時候有權提出提高對進入工科大学所要求的水平，正是同樣的理由，被遺忘的中學材料最好按常用的中學書本來復習）。雖然如此，要在一卷書中把所有重要的物理問題都放進去，這個方法畢竟還是不夠的。應該用簡潔敘述材料的方法來達到進一步壓縮篇幅的目的。有這樣的意見，認為在課程的講授中，以及在教科書的相應章節的敘述中，應該選擇某些最重要的問題並對這些問題加以詳盡的敘述。因此，凡是由於時間不夠而不可能把全部歷史發展過程與邏輯性講得很徹底的材料，就應該從物理教程中刪去。這樣的觀點我覺得是根本不正確的。有些東西的詳盡知識對於未來的工程師是不需要的；但同時必須對這些東西有一般性的概念，即使僅僅是為了知道那些現象和規律性的存在，這還是必需的。據此，在許多地方僅僅敘述了理論的結果，總結了一些科學部門中的現有知識，而不講獲得這些知識的過程。即使講起來可能是非常有趣而且有教益的。

乍看起來，似乎本書的作者濫用了數學而沒有注意到我們大多數的工科大学里的物理和數學課程是平行教學的。例如，定積

分的符号在学生學習積分法之前即已用到。不過，為了理解教程內容，不需要會積分計算而只需要知道定積分的意義。在物理書中，迴避類似的公式是不妥當的而且是笨拙的，並且會大大削弱物理概念的含義。相反地，稍稍修改一下數學教學大綱，使同學在頭几堂課里就知悉數學分析的基本概念，這並不是困難的。講這些概念時，只要使同學能閱讀具有相應符號的書就足夠了。學會積分計算可以比熟悉簡單的定積分概念晚得多。在作者曾經執教的那些學校里，教學大綱作了類似的修改，並沒有遭到數學教師的反對。

物理學各個部分間的交叉結合會影響理論與實驗結果的敘述。如果授課教師希望保持課程結構的邏輯性，他就不得不作重複和交叉的引証。例子是很多的，譬如說：一方面不希望把倫琴射綫衍射的敘述和光衍射的討論分開，另一方面又不能破壞這個課題和晶體結構問題的關係。或者：把關於電介質的介電常數和偶極矩的問題編入各個章節是困難的，同時不能把偶極矩的敘述從其他一些關於分子結構的問題中抽出來。最後，必需同時討論到涉及電介質的介電常數和折射系數的問題。出路自然只有一條：在講課中——重複（順便說一句，這對學生是很有益的），而在教科書中——交叉的引証。這種引証的存在說明對於物理書是不可能一頁接着一頁地不重複地閱讀的。這就是說，物理的一個章節的較好的理解常常是和整個課程的了解分不開的。

說明了我在編寫本書時的主導思想，我期待着將來的批評分成兩個方面：關於作者的教學觀點的意見和關於它的實際執行的意見。對所有的意見作者都將樂意地接受並致謝意。

作者得到 A. H. 費琴和 B. B. 施米特在例題和插圖方面的很大幫助。我高興地感謝他們。

阿·伊·基泰戈羅茲基

1957年12月

5913 F1 赵博曾

目 录

序.....	vii
第一章 力学基本定律.....	1
§ 1. 运动学.....	1
§ 2. 力.....	8
§ 3. 力学的基本定律.....	11
§ 4. 力学基本定律对于加速直线运动的应用.....	14
§ 5. 力学基本定律对圆周运动的应用.....	17
§ 6. 地球旋转对力学现象的影响.....	22
§ 7. 求解力学问题需要那些条件?.....	26
§ 8. 物理公式中的比例系数和物理量的量纲.....	29
第二章 机械能.....	32
§ 9. 功.....	32
§ 10. 动能.....	34
§ 11. 位能.....	35
§ 12. 机械能守恒定律.....	41
§ 13. 位能曲线, 平衡.....	43
第三章 动量.....	47
§ 14. 动量守恒.....	47
§ 15. 质心.....	48
§ 16. 碰撞.....	50
§ 17. 反冲现象.....	57
第四章 刚体的转动.....	62
§ 18. 转动的动能.....	62
§ 19. 转动惯量.....	64
§ 20. 转动的功和转动的基本方程.....	66
§ 21. 动量矩.....	69
§ 22. 自由转轴.....	72
§ 23. 回转仪.....	74
第五章 振动.....	76
§ 24. 离开平衡位置的微小的振动.....	76

§ 25. 振动的特殊情况	78
§ 26. 能量的转变, 阻尼振动	81
§ 27. 受迫振动	85
§ 28. 自振动	90
§ 29. 同方向的振动的叠加	92
§ 30. 振动的谱	95
§ 31. 相互垂直振动的叠加	98
第六章 行波	102
§ 32. 形变的传播	102
§ 33. 波动的产生	105
§ 34. 压强波和振动速度	108
§ 35. 能流	109
§ 36. 弹性波的衰减	112
§ 37. 波的干涉	114
§ 38. 惠更斯-菲涅耳原理, 波的反射和折射	116
§ 39. 反射系数	119
§ 40. 多普勒现象	121
第七章 驻波	123
§ 41. 沿相反方向传播的两个波的合成	123
§ 42. 杆的本征振动	125
§ 43. 二维系和三维系的本征振动	127
§ 44. 杆与板的受迫振动	130
§ 46. 压电晶体的振动	131
第八章 声学问题	133
§ 46. 声音的客观特性和主观特性	133
§ 47. 声音的强度和响度	135
§ 48. 建筑声学	137
§ 49. 大气声学	139
§ 50. 超声波的作用	141
第九章 温度和热量	143
§ 51. 热平衡	143
§ 52. 内能	144
§ 53. 热力学第一定律	146
§ 54. 微观系统的内能	148
§ 55. 状态方程	150
§ 56. 气体的状态方程	152

§ 57. 实际气体的状态方程	155
第十章 热力学过程	157
§ 58. 过程的图示	157
§ 59. 功、循环	159
§ 60. 气体状态的变化过程	161
§ 61. 焦耳-汤姆孙过程	169
第十一章 熵	172
§ 62. 熵存在的原理	172
§ 63. 熵增加的原理	174
§ 64. 热机的工作原理	177
§ 65. 卡诺循环, 最大效率	179
§ 66. 热力学第二定律	181
第十二章 气体分子运动论	183
§ 67. 基本概念	183
§ 68. 自由路程长度	186
§ 69. 气体压强, 分子均方根速度	187
§ 70. 气体的内能	190
§ 71. 统计分布	192
§ 72. 玻耳兹曼定律	193
§ 73. 重力场中粒子按高度的分布	195
§ 74. 分子按速度的分布	198
§ 75. 气体分子速度的测定	200
§ 76. 状态几率	201
§ 77. 分子观点上的不可逆过程	204
§ 78. 起伏, 热力学第二定律的应用范围	203
第十三章 向平衡转变的过程	208
§ 79. 扩散	208
§ 80. 热传导和粘滞性	210
§ 81. 均匀化的速度	212
§ 82. 稳定过程	214
§ 83. 粘滞媒质中的运动	216
§ 84. 气体的扩散系数、粘滞系数及热传导系数	218
§ 85. 极稀薄气体	220

第一章 力学基本定律

§1. 运动学

质点运动方程 如果物体的綫度和形状在研究现象时不起作用，那末就可以想象地用质点来代替它。把物体近似地看作质点（即具有质量的点），不仅在物体的綫度与問題中所出現的距离比較起来很小时是正确的，而当所要考慮的只是物体重心的运动时也是时常采納的。

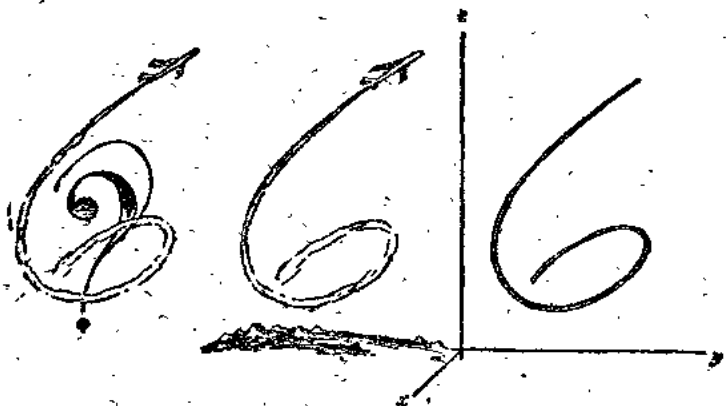


图 1

要描述质点的运动，必須說明质点經過空間哪些位置和它在哪一时刻通过軌道上的某一点。因此就必须首先选取坐标計算系統(图 1)。质点相对于最简单的直角坐标系的位置，用三个坐标 x, y, z ，或用所謂从原点到該点的矢徑 r 来表示^①(图 2)。

^① 矢徑 r 由其数值 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 和它与坐标軸間的夹角： $\cos \alpha = \frac{x}{r}$, $\cos \beta = \frac{y}{r}$, 及 $\cos \gamma = \frac{z}{r}$ 来确定。因此，要說明矢徑 r ，就必须給出三个数值：或者是 x, y, z ，或者是 r, α, β ，或者是 r, α, γ ，等等(用两个角度就能确定第三个，因为 $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$)。

因此,研究空间运动的结果,可以粗略地用列表的形式将 r (每个值有三个数!)在时刻 t_1, t_2 等等的数值给出;或精确地用连续函数 $r=f(t)$ 的形式给出(实际上用三个函数,例如 $x=f_1(t)$, $y=f_2(t)$, $z=f_3(t)$,或 $r=\varphi_1(t)$, $\alpha=\varphi_2(t)$, $\beta=\varphi_3(t)$ 等等)。

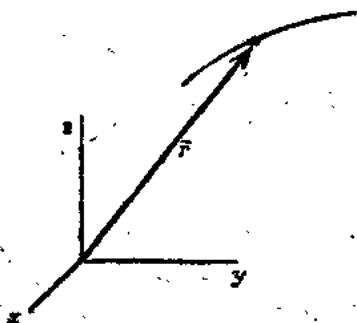


图 2

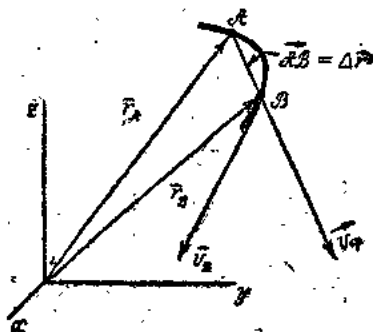


图 3

矢量方程 $r=f(t)$,或是与之等效的三个标量方程,称为运动方程。

平均速度 我们来研究轨道上的一段 AB 。设在时刻 t 运动质点位于 A 点,而在时刻 $t+\Delta t$ 位于 B 点(图3)。作矢径 r_A 和 r_B 。我们知道,在时间 Δt 中,质点由 A 移到 B 。因此,自然地称矢量 $\overrightarrow{AB}$ 为质点的位移矢量。

矢量是按平行四边形法则来相加的。从图3可以看出,

$$r_B = r_A + \overrightarrow{AB} \text{ 或 } \overrightarrow{AB} = r_B - r_A = \Delta r,$$

亦即质点的位移矢量就是矢径的差。用时间 Δt 内的位移矢量 Δr 来描述曲线运动时, Δr 愈小,精确性愈高。

在线段 AB 上的平均速度通常用比值

$$v_{cp} = \frac{AB}{\Delta t}$$

来表示;这也就是在相同的时间 Δt 内,将物体视为均匀地并直线

地经过线段 AB 的速度。

所以, 在线段 AB 上的运动, 可用矢量 $\overrightarrow{AB} = \Delta \mathbf{r}$ 的方向和速度 v_{op} 的数值来描述。换一种写法, 引入矢量

$$\mathbf{v}_{op} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t},$$

它的长度等于平均速度且具有位移矢量的方向。现在, 可以说, 在线段 AB 上物体的运动是由平均速度矢量来确定的。

真实速度 如果时间间隔 Δt 减小, 那末 B 点将移近 A 点。最后这两点重合, 而且 $\overrightarrow{AB}$ 的方向变为在轨道上会合点的切线方向。

可以肯定, 当 Δt 减小时, 比值 $\frac{\overrightarrow{AB}}{\Delta t}$ 趋于一定的极限。矢量 $\mathbf{v}_{ucr}$ 具有在给定时刻质点轨道的切线方向, 而其量值等于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时比值 $\frac{\overrightarrow{AB}}{\Delta t}$ 的极限, 这一矢量称为运动质点的真实速度矢量:

$$\text{当 } \Delta t \rightarrow 0 \text{ 时, } \mathbf{v}_{ucr} = \text{极限} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t},$$

换句话说, 真实速度就是矢量 $\mathbf{r}$ 对时间的导数:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}.$$

再一次强调指出, 描述运动不一定要用矢量。除了用速度矢量这一概念之外, 还可以指出速度的绝对值 $\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$ ^①, 并指出运动的方向。不过, 这时对同样的规律和同样的实验事实要用较长、较累赘的语句来表述。矢量的语言适应物理的实验事实, 除此以外, 它简单而能达意。当然, 为了掌握它, 需要下一番功夫。

因为矢量 $\mathbf{r}$ 在坐标轴上的投影是它的端点的坐标 x, y, z , 所以速度矢量的投影为:

① 直括号 $\parallel$ 表示只考虑括号内矢量的数值(模)。

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}.$$

矢量加速度 对曲线运动作进一步研究时，我们用箭头标出运动物体经过轨道上 A 点和 B 点时的真实速度。假如在研究时不引入速度矢量，那末应该这样说： B 点的速度不同于 A 点，此外，运动方向也在改变。应用了速度矢量，我们可以简单地說： B 点的速度矢量不同于 A 点。

速度矢量的数值与方向都可能改变。

如果 AB 是段直线，那末矢量 $\vec{v}_A$ 和 $\vec{v}_B$ 同向。从矢量 $\vec{v}_B$ 的长度减去矢量 $\vec{v}_A$ 的长度，所得的算术差就是速度变化的数值。

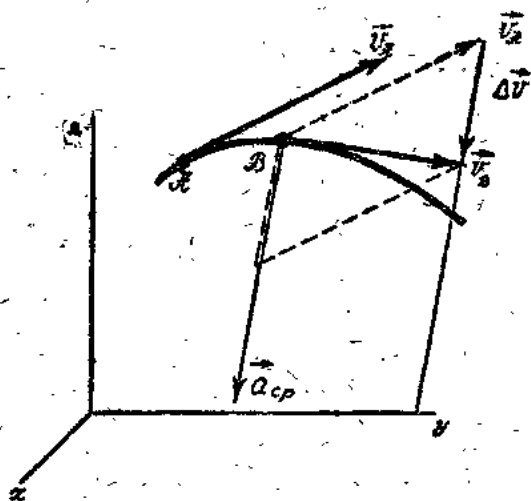


图 4

现在来考虑曲线线段 AB ：矢量 $\vec{v}_A$ 和 $\vec{v}_B$ 在数值上和方向上都不相同。为了确定速度的数值增加了多少，就应该按上述的方法，从矢量 $\vec{v}_B$ 的长度减去 $\vec{v}_A$ 的长度：

$$\Delta|\vec{v}| = |\vec{v}_B| - |\vec{v}_A|.$$

但是这一数值，当然并不能表明在这运动中速度所发生变化的全

部内容。

现在按矢量运算法则，从矢量 v_B 减去矢量 v_A 。在图 4 中指出了矢量

$$\Delta v = v_B - v_A.$$

矢量 v_B 是 $\Delta v + v_A$ 之和，也就是由这二个矢量所组成的平行四边形的对角线。

我们将矢量 Δv 称为速度矢量的增量。这一矢量的长度在曲线运动的情况中并不等于 $|\Delta v| = |v_B| - |v_A|$ 。从图上明显地看出，矢量增量的数值 $|\Delta v|$ 大于速度矢量的数值之差 $|\Delta v|$ 。为了要知道在 B 点的速度矢量，就应该按平行四边形法则，求 v_A 与增量 Δv 的矢量和。

现在我们可用下述的方法来确定曲线运动中的加速度。速度矢量的增量除以速度变化所经历的时间，称为平均矢量加速度：

$$a_{ep} = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

当时间间隔 Δt 减小时，这一比值趋于一定的极限。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，矢量

$$a_{\text{net}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

称为物体在这一给定时刻运动的真实加速度矢量。换句话说，矢量加速度等于速度矢量的导数：

$$a = \frac{dv}{dt}$$

且

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt}.$$

加速度矢量唯一地确定了物体速度变化的特性。

一般说来，加速度矢量可能与运动轨道作任何的角度。这一

角度将以下述方式确定加速度的特性和轨道的曲率。经过所研究的点作一个圆使它在这一点上与轨道具有共同切线，并且与这一段轨道最为近似。这圆称为切圆^①，而它的半径 ρ 称为在该点处的曲率半径。加速度矢量总是指向圆内的。如果运动是加速的，那末矢量 $\mathbf{a}$ 与轨道（也就是与轨道在这一点上的切线）将成锐角。如果运动是减速的，那末这个角将是钝角。最后，如果速度数值不改变，那末加速度矢量将指向轨道的法线方向。

这些命题可以严格证明；现在只用如图 5 所示的几何图解来说明。

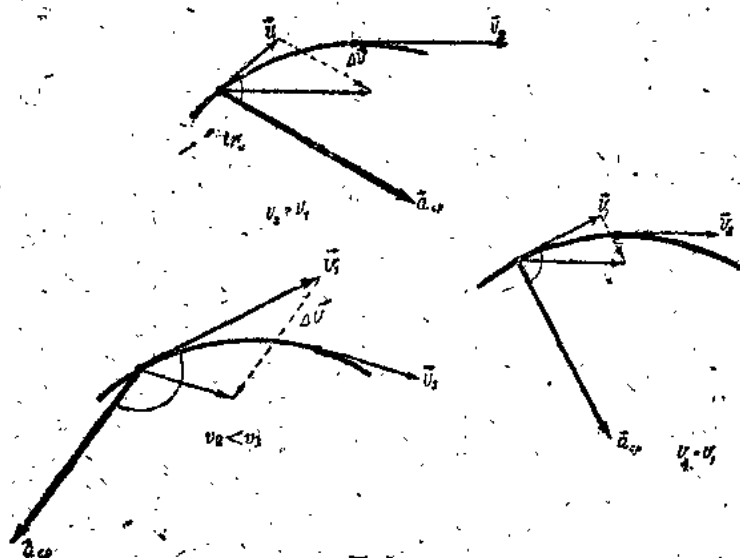


图 5

按以前所說的，通常将加速度矢量分解为两个分量(图 6)：

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n.$$

因为矢量三角形是直角三角形，所以

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}.$$

① 切圆和曲率半径的计算在微分几何教程中有详细的研究。

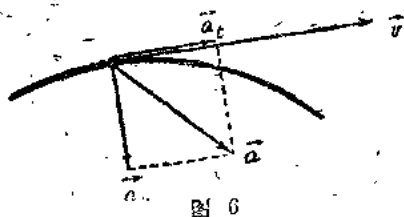


图 6

矢量 a_t 沿着轨道的方向, 表示速度在数值上的变化, 称为切向加速度。不难证明, 切向加速度

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta |v|}{\Delta t}, \text{ 当 } \Delta t \rightarrow 0, \text{ 亦即 } a_t = \frac{d|v|}{dt},$$

式中 $\Delta |v|$ 是速度在数值上的增量。

矢量 a_n 指向轨道的法线方向, 表示速度在方向上的变化, 称为法向加速度。法向加速度 a_n 是和在给定点处的速度数值 v 与曲率半径 ρ 有关, 它们之间有简单的公式联系着, 具体说是

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}.$$

上式在理论力学教程中是用几何方法导出的。从这个公式可以看出法向加速度没有变化 (a_n 和 v 都是常数) 的运动是圆周运动。在这种情况下, 对轨道上所有的点, ρ 是一常量, 等于圆的半径。

法向加速度 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ 往往也称为向心加速度。

物体以半径 R 作圆周运动时的向心加速度, 也可以用运动的周期 T 或频率 ν 或角速度 ω 来表示。这些物理量之间与线速度 v 之间有下列的简单关系:

$$v = \frac{2\pi R}{T}, \quad v = \omega R, \quad \nu = \frac{1}{T}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

最后二个公式是辅助量 ν 和 ω 的定义。

所以, 物体作圆周运动时, 向心加速度也可以写作下述的形式:

$$a_n = \omega^2 R \text{ 或 } a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} R.$$