物　　理　　学

（高等师范生物专业用）

刘孝琴编

上

华南师范学院物理系

一九八一年九月

前　言

《物理学》是生物专业的基础学科之一。这是因为：第一，物理学的研究对象是物质的最基本、最普遍的运动形态，如机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等等，而生物学研究的是物质高级的、复杂的（如生命现象）运动形式。物质的各种运动形式是相互联系的。虽然高级的运动形态遵循本身特殊的规律性，不能把他们简单地归结为低级的、简单运动的组合，但却包含了基本的运动形态在内，因而不能离开基本运动形态规律的基础。第二、物理学所提出的实验方法和技能是从事生物学科学研究的重要手段。

本书根据1980年8月教育部颁发的高等师范院校生物专业《普通物理学》教学大纲的基本要求按课堂讲授80学时编写。通过本课程的学习，使学生系统地掌握物理学的基本原理，为生物专业学生学习生物学及进一步从事有关科学研究提供必要的物理基础知识和基本技能，并有助于培养学生的辩证唯物主义世界观。

本书在编写过程中，努力贯彻少而精和理论联系实际的原则，在取材方面尽量体现生物专业的需要。打＊号的章节属于联系生物专业实际的内容，以供学习时参考，可以考虑选讲或不讲。

由于本课程在第三学期开设，学生已学了高等数学，故一开始使用微积分知识来讨论问题。

目　录

第　一　篇
力学和分子物理学基础

第一章　质点力学基础

力学研究机械运动，即物体之间或物体内部各部分之间的相对位置的变动。这是物质运动最简单的亦即最基本的形式，几乎在物质的一切运动形式中都包含有机械运动，因此力学是许多学科的基础。

本章局限于经典力学范围的研究，即(一)所涉及的物体是指由大量分子、原子构成的宏观物体，而不是象分子、

原子那样大小的微观粒子；(二)所涉及的运动，其速度远远低于光速。

运动学研究如何描述机械运动的现象。动力学进一步研究机械运动的内在规律，阐明在什么条件下物体将发生怎样的运动。它的基础是牛顿三定律。动量和动量守恒定律，功，能和机械能转化及守恒定律，都是解决动力学问题的有力武器。我们将在中学物理的基础上进一步讨论经典力学中的一些基本概念和基本规律。

§1—1　质点　参照系和坐标系

一、质点

机械运动的形式是多种多样的，最简单的情形是平动。物体作平动时，其上各点作同等的运动，因此，任一点的运动都能代表整个物体的运动而不必考虑物体的形状和大小。为了简化问题，便于

作较精确的描述，可以将物体抽象为一个具有相同质量的点，称为质点。

一般情况下，物体的运动是非常复杂的，运动中物体上各点的运动情况并不相同。但是，在一定的问题中，也可以忽略物体的形状和大小，把它抽象为一个质点。例如地球的运动既包括其绕太阳的的公转（属于平动），又包括其绕地轴的自转，在旋转运动中还会带来形状的改变——在两极方向的扁平和在赤道方向上的伸长等。但当我们研究地球绕太阳的公转时，由于地球与太阳的平均距离（约为1.5×10^{8}千米），比地球的半径（约为6370千米）大得多，地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的。所以，在研究地球公转时可以忽略它的自转和形状的变化而只研究它的平动部份，把它简化为质点。

概括说来，质点的定义是：<u>凡是在问题中物体的形状大小只起次要作用或不起作用，因而可以忽略不计时，就可以用质点来代替物体</u>。

质点是一个理想模型。建立这样的理想模型为的是突出研究对象的主要性质（物体具有质量和占有位置这两个根本性质）而撇开影响运动的次要因素（物体的形状和大小），这样做可以大大简化问题的理论研究。另一方面，当我们进一步研究物体的运动时，可把整个物体看作由无数质点所组成，分析这些质点的运动时，就可弄清整个物体的运动。所以研究质点运动是研究物体运动的基础。

应用理想模型代替实际研究对象是物理学研究的重要方法。质点只是一个例子，以后还要用弹簧振子、理想流体、理想气体、点

电荷等理想模型。目的都是一样的。

二、参照系和坐标系

描述物体的机械运动时，为了标明一个物体的位置及位置变化，必须指定另外一个或几个当作静止的物体作为标准。这个被用来作为标准的物体或物体系统称为参照系。

在运动学中，参照系可以随便选择，看描述运动的方便而定。例如，研究地面上物体的位置和运动时通常选择地球作参照系；研究火车车厢里的一个物体的运动时则选择火车作为参照系比较方便，如此等等。必须指出，在不同的参照系中观察同一物体的运动所得结论并不相同，相对于一个参照系作直线运动而对另一个参照系来说可以是曲线运动，反之亦然。例如在前进中的轮船的甲板上垂直向上抛出一块石子，对船上的观察者来说，石子作直线运动，而对站在岸上的观察者来说，石子走的是抛物线。正因为这样，参照系才显得特别重要，在进行任何力学研究时，必须明确指出所选定的参照系，并且在同一问题中自始至终地相对于同一参照系来讨论。

科学上要求作出定量的描述。参照系一经选定，就可以在此参照上固定一个坐标系，用它来定量地描述代表物体的质点相对于选定的参照系的位置。例如，在描述汽车的运动时，我们可以选定一个车站为起点，然后在路旁标明公里数，这样我们就可以用公里数来说明汽车在公路上的位置了；为了描述飞机相对于地面的运动，可以在地面上选择某一固定点作为坐标原点，通过该点作三条两两互相垂直的坐标轴，标上米数，就可以用三条线上的米数（坐标）来说明飞机的空间位置。显然，坐标系实质上是物体参照系的数学

表示。坐标系选定以后。坐标系和参照系就可以不严格区分了。

§1—2 运动方程 速度和加速度

中学物理着重讨论直线运动以及曲线运动的特例（如匀速圆周运动、抛射体运动等）。现在，我们着重讨论对一般曲线运动的描述。

一、运动方程

物体在空间中的位置

物体在空间中的位置P除了可以用坐标P（x，Y、z）表示外，还可以用从坐标原点o引到P点的矢量$\vec{r}$来表示（图1—2—1）。这个矢量叫做矢径。矢径可用它在直角坐标系的分量表示为

$$\vec{r}=x\vec{i}+Y\vec{j}+z\vec{k}$$

其中$\vec{i}$、$\vec{j}$、$\vec{k}$是沿坐标轴的单位矢量。

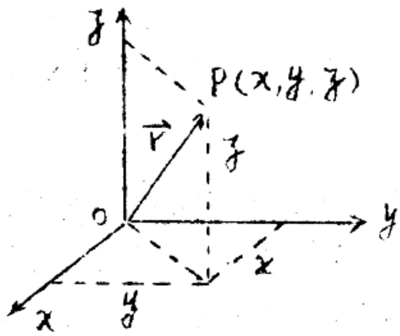

图1—2—1

当质点运动时，质点的坐标（x，Y，z）随时间而变化，P点的矢径$\vec{r}$也随时间而变化。设质点作曲线运动时，在时刻t位于A点，矢径为$\vec{r_A}$；在时刻t＋Δt位于B点，矢径为$\vec{r_B}$（图1—2—2），我们用$\vec{r_B}$与$\vec{r_A}$之差$\Delta\vec{r}=\vec{r_B}-\vec{r_A}$来表示物体

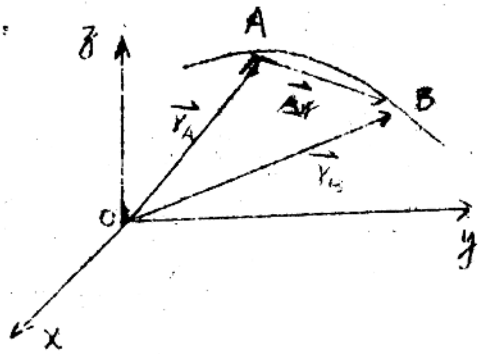

图1—2—2

在时间Δt内位置的变化，称为质点在时间Δt内的位移。

可见，位移和质点所经过的路程并不相同，位移是矢量，其大小决定于时间Δt内质点的最初和最终位置而与质点沿什么途径运动无关。路程是标量，数值上等于时间Δt内质点所经过的曲线弧长。

在运动过程中，质点的矢径$\vec{r}$随时间变化，$\vec{r}$矢端在空间的轨迹就是质点的运动轨迹，$\vec{r}$随时间的变化关系可表示为t的单值连续函数：

$$\vec{r}=\vec{r}(t) \qquad (1-2-2)$$

或

$$\begin{aligned} x&=x(t)\\ y&=y(t) \qquad (1-2-3)\\ z&=z(t) \end{aligned}$$

上式称为质点的运动方程，它是描写质点运动规律的方程。从运动方程中消去时间t，就得到只有坐标关系的方程式，称为轨迹方程。例如，质点的运动方程是$x=V_0 t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，则其轨迹方程为$y=\frac{g}{2V_0^2}x^2$。这就是我们所熟悉的平抛运动。

二、速度

为了说明质点运动方向和快慢的状况，我们引入速度的概念。如图1—2—2中，质点所通过的位移$\Delta \vec{r}$和它所对应的时间Δt之比定义为质点在时间Δt内（或A、B之间）的平均速度，即：

$$\bar{\vec{V}}=\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \qquad (1-2-4)$$

平均速度是矢量，它的方向和位移方向一致，它反映质点在Δt内平均来说位置变化的快慢和方向。要精确地表示物体在时刻t运动的快慢和方向，应该在尽可能小的时间Δt内来考虑质点所走过的位移Δr，当Δt无限减小时，B点与A点无限靠近，$\frac{\Delta r}{\Delta t}$趋近于一个极限值，这个极限值就称为质点在时刻$t$或在位置A处的即时速度矢量$\vec{V}$，或简称速度。即

$$\vec{V}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overrightarrow{\Delta r}}{\Delta t}=\frac{d\vec{r}}{dt}\qquad(1-2-5)$$

速度是矢径$\vec{r}$对时间的导数。速度方向就是当Δt趋近于零时位移$\overrightarrow{\Delta r}$的极限方向。当B点逐渐接近A点时$\overrightarrow{\Delta r}$的方向逐渐趋近于A点的切线方向。因此，运动质点在某一点上的速度方向就是运动轨迹上该点切线方向。

由于矢径$\vec{r}$在直角坐标轴上的分量为x，y，z，所以速度的三个分量V_x、V_y、y_z分别是：

$$V_x=\frac{dx}{dt}$$

$$V_y=\frac{dy}{dt}$$

$$V_z=\frac{dz}{dt}$$

速度$\vec{V}$可写作：

$$\vec{V}=V_x\vec{i}+V_y\vec{j}+V_z\vec{k}\qquad(1-2-6)$$

速度的量值为：

$$V=|\vec{V}|=\sqrt{V_x{}^2+V_y{}^2+V_z{}^2}$$

例如质点作平抛运动时

$$x=V_0t \qquad y=\frac{1}{2}gt^2$$

$$\frac{dx}{dt}=V_0 \qquad \frac{dy}{dt}=gt$$

$$V=\sqrt{V_0{}^2+(gt)^2}$$

方向沿着曲线的切线方向。

从以上分析可知，已知运动方程，可用微分法求质点的速度，反过来，已知速度表达式，可用积分法求质点的运动方程。

恩格斯在《反杜林论》中指出："运动本身就是矛盾；甚至简单的机械的位移之所以能够实现，也只是因为物体在同一瞬时既在一个地方又在另一个地方，既在同一个地方又不在同一个地方。这种矛盾的继续产生和同时解决正好就是运动。"$\vec{V}$这个物理量正是反映着机械运动本身的矛盾的，我们说，质点在A点的速度$\vec{V}_A$，这表示质点此刻在A点，而$d\vec{r}$表示在dt内质点在空间的微小位移，所以$\frac{d\vec{r}}{dt}$反映了质点此刻是怎样离开A点的。可见，速度$\vec{V}$正是描述运动质点在同一瞬时既在A点又在B点，既在A点又不在A点这种运动状态的重要物理量。

三、加速度

质点在运动过程中，速度$\vec{V}$的方向和量值都可能随时间而变化。

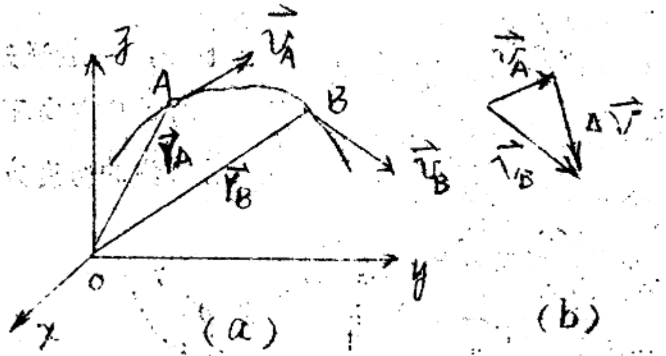

图 1—2—3　　速度增量 ΔV

如图 1—2—3（a）一质点在时刻 t 处于 A 点时的速度为 $\vec{V}_A$，在时刻 $t+\Delta t$ 处于 B 点时的速度为 $\vec{V}_B$，在时间 Δt 内，质点速度的增量为

$$\Delta\vec{V}=\vec{V}_B-\vec{V}_A$$

用矢量运算法则可求得 $\Delta\vec{V}$ 如图 1—2—3（b）所示。

质点在 Δt 时间内（或在 A、B 之间）的平均加速度 $\vec{a}$ 是：

$$\vec{a}=\frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t} \qquad (1-2-7)$$

当 B 点无限接近 A 点时，$\frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t}$ 的极限就是质点在时刻 t（或 A 点时）的即时加速度，简称为加速度。

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t}=\frac{d\vec{V}}{dt}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \qquad (1-2-8)$$

加速度是速度 $\vec{V}$ 对时间的一阶导数，也是矢径 $\vec{r}$ 对时间的二阶导数。

加速度的方向就是当$\Delta t\to 0$时$\Delta\vec{V}$的极限方向。因此，一般说来，在曲线运动中，任一时刻t时的加速度方向和该时刻的速度方向不在一条直线上，也就是说，一般说来，加速度不是沿曲线的切线方向的，抛射体的运动就是一个例子。

设质点沿oxy平面内的一曲线轨道如图（1—2—4），则加速度在直角坐标的二个分量a_x、a_y分别是

$$a_x=\frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a_y=\frac{d^2y}{dt^2}$$

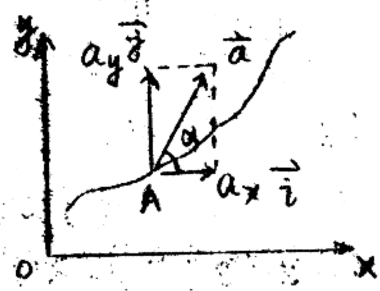

图1—2—4

加速度在直角坐标系中的分量

加速度$\vec{a}$可写作

$$\vec{a}=a_x\vec{i}+a_y\vec{j} \qquad (1—2—9)$$

加速度的量值为：

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$$

加速度矢量与x轴的夹角

$$a=\mathrm{arctg}\frac{a_y}{a_x}$$

从以上分析可知，已知运动方程，可用微分法求质点的加速度，反过来，已知加速度的表达式，可用积分法求质点的运动方程。

加速度矢量同时反映质点速度大小的变化及其速度方向的变化。

如果我们把质点在曲线运动时任何时刻的加速度$\vec{a}$分解为沿速度$\vec{V}$方向的切向加速度$\vec{a}_t$和垂直于$\vec{V}$的法向加速度$\vec{a}_n$如图（1—2—5），则可以证明，$\vec{a}_t$反映速度量值变化的快慢，$\vec{a}_n$反映速度方向变化的快慢。当$\vec{a}_n=0$而$\vec{a}_t\neq 0$时，则其速度方向必然不变，质点作变速直线运动；在$a_t=0$而$a_n\neq 0$时，则其速度数值必然不变，质点作匀速率的曲线运动。在匀速率圆周运动的情况下，

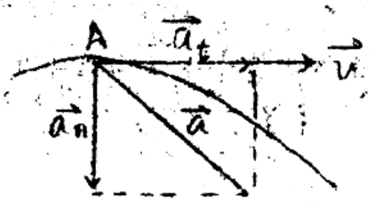

图1—2—5
法向加速和切向加速度

$$a_t=0\quad a_n=\frac{V^2}{R}.$$

〔例〕已知一质点在x—y平面上运动，运动方程为：$x=3t+5$，$y=\frac{1}{2}t^2+3t-4$，式中t以秒计，x，y以米计。

(1)以时间t为变量，写下质点矢径的表示式；

(2)描画质点的运动轨迹；

(3)求出t＝1秒时刻和t＝2秒时刻的矢径，计算这一秒内质点的位移；

(4)求出质点速度分量的表示式，计算t＝4秒时刻质点速度大小和方向；

(5)求出质点加速度分量的表示式，计算t＝4秒时刻质点加速

度的大小和方向。

〔解〕

(1)质点的矢径表示式为：

$$\vec{r} = (3t+5)\vec{i} + \left(\frac{1}{2}t^2 + 3t - 4\right)\vec{j}$$

(2)

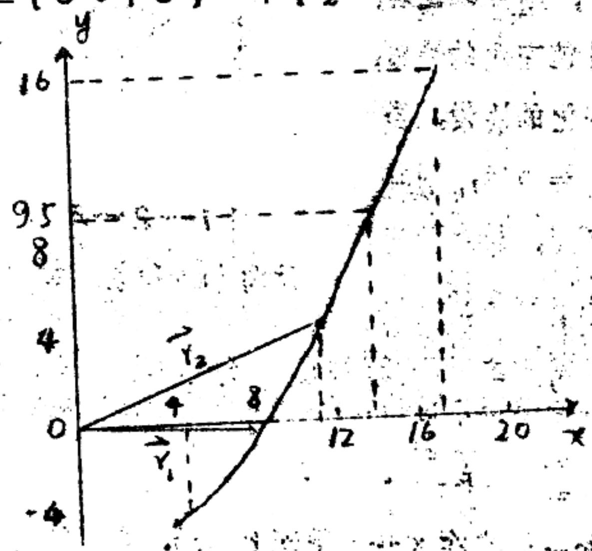

图 1-2-6

(2)

t（秒）	0	1	2	3	4
x（米）	5	8	11	14	17
y（米）	-4	-0.5	4	9.5	16

描绘的质点运动轨迹如图（1—2—6）所示。

(3) $\vec{r}_1 = 8\vec{i} - 0.5\vec{j}$

$\vec{r}_2 = 11\vec{i} + 4\vec{j}$

$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = 3\vec{i} + 4.5\vec{j}$

(4) $V_x = \dfrac{dx}{dt} = 3$ 米/秒　　$V_y = \dfrac{dy}{dt} = (t+3)$ 米/秒

当 $t=4$ 秒　　$V_x=3$ 米/秒　　$V_y=7$ 米/秒

$V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}=7.6$ 米/秒

$\theta=tg^{-1}\frac{7}{3}=66°48'$（速度矢量与 x 轴的夹角）

(5) $a_x=\frac{d^2x}{dt^2}=0$　　$a_y=\frac{d^2y}{dt^2}=1$ 米/秒^2

$a=1$ 米/秒^2　沿 y 轴正方向。

§ 1—3　　牛顿运动定律

前面我们只讨论了用速度，加速度等概念来描述质点的运动，这是运动学的课题。这里，我们介绍另一个基本概念——力，把它和运动联系起来，研究力与运动的关系，揭示质点运动状态变化的根本原因，这是动力学的课题。

动力学的基础是牛顿运动定律。牛顿运动定律是人类在长期的生产实践中所总结的关于质点运动的基本规律。从牛顿运动定律还可以导出刚体、流体等运动规律，从而建立起整个经典力学体系。所以掌握牛顿运动定律是学好力学的关键。

一、牛顿运动定律的基本内容。

牛顿第一定律：任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其它物体所作用的力迫使它改变这种状态为止。

牛顿第二定律：物体在受到外力作用时所获得的加速度的大小与合外力的大小成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与合

外力的方向相同。

牛顿第三定律：若甲物体以一力$\vec{F}$作用于乙物体，则乙物体也必定同时以一力$\vec{F}$作用于甲物体，二力大小相等方向相反，且沿同一直线作用。

三定律中所说物体都是指质点而言。

二、牛顿运动定律的意义

1、牛顿运动定律肯定了力的意义：从牛顿第一定律知道，要使物体改变运动状态，一定要有另外的物体对它施加作用，我们把这种作用称为力。牛顿第二定律在第一定律的基础上进一步说明物体受到外力作用时会产生加速度，并定量地阐明力、质量和加速度之间的关系。第三定律指出力不是单方面的作用而是物体间的相互作用。把三定律联系起来看，牛顿运动定律关于力的概念可概括为：力是物体间的相互作用，物体在外力作用下运动速度会发生改变，即获得加速度。

2、牛顿运动定律指出，任何物体都具有一种特性，这就是惯性。第一定律指出，在不受外力作用时，物体的惯性表现在它维持自己原来的运动状态不变这一事实上，第二定律进一步指出，当受到外力作用时，物体的惯性则表现在容不容易改变自己原来的运动状态这一事实上面。在相等的外力作用下，质量大的物体所获得的加速度小，质量小的物体所获得的加速度大，这就意味着质量越大的物体越不容易改变原来的运动状态，我们说，它的惯性越大。所以，惯性是一切物体在任何时候都具有的性质，这就是物体企图保持原来运动状态不变的顽强性。质量是物体惯性大小的量度。