高等农业院校試用教材

普通物理学

上册

北京农业大学編

农学类各专业用

农业出版社

高等农业院校試用教材

普通物理学

上册

北京农业大学編

农学类各專业用

农业出版社

高等农业院校试用教材

普通物理学

上　册

北京农业大学编

农业出版社出版

北京老钱局一号

（北京市書刊出版业营业許可証出字第106号）

新华书店北京发行所发行　　各地新华书店经售

农业出版社印刷厂印刷装订

統一书号　13144.77

1961年7月北京制型　　开本　787×1092毫米　十六分之一

1961年7月初版　　字数　243千字

1961年11月北京第二次印刷　　印张　十二

印数　12,001—20,000册　　定价　(7)九角七分

目 录

緒　論

1. 物理学研究的对象，物理学和其他自然科学的关系　物理学和其他自然科学一样，研究我們周围的物質世界的客观屬性。

我們周围的世界是一个物質的世界。一切物質都处于永恒的运动(变化)之中。一切物質的运动(变化)都具有客观的規律，自然科学的任务就在于研究物質运动的規律，力求正确地反映这些規律，并运用它們为人类社会謀福利。

物質运动有各种不同的形式。物理学研究的物質运动形式是最簡单和最普遍的运动形式，化学和生物学所研究的是比較复杂的高級的运动形式。物理学所研究的机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等，普遍地存在于其他高級运动形式之中，因此物理学中的定律和理論带有极大的普遍性。例如，地球上和天空中的一切物体，不論其化学性質如何，有生命或无生命，都遵从物理学中的万有引力定律；一切的变化过程，不論是否具有化学的、生物的或其他的特殊的性質，都遵从物理学所确立的能量守恒和轉換定律。

物理学和其他自然科学之間沒有絕对的界限，現代物理学已經伸展到各門科学，并形成了一系列的边緣科学，例如天体物理学、地球物理学、化学物理学、生物物理学和农业物理学等。

由于物理学所研究的物質运动具有普遍性，由于它和其他自然科学的密切联系，使得物理学在自然科学中占着重要的地位。物理学成为其他科学和技术的基础，物理学的重大发展往往引起各門科学和技术发生一系列的变革和发展。因此，巩固地掌握物理知識可以帮助我們順利地掌握各門专业知識和技术上的最新成就，更好地为社会主义建設服务。

2. 物理学的研究方法　物理学中的定律和理論是自然現象的客观規律在人們的头脑中的反映。要使人的头脑能够正确地反映客观，必須运用正确的研究方法。

物理学的研究方法包括观察、实驗、假說、理論等四个互相有关的方面。

观察是就現象发生于自然界中原来的样子加以考察和研究。不少現象，例如天体运动，只能在自然的条件下发生，对于这些現象的研究，必須用观察的方法。对于其他物理現象，也常常用观察的方法进行初步的研究。

实驗是使現象在控制的条件下重复发生，在这个过程中对現象进行反复的研究。实驗是发現客观規律的最基本、最重要的方式。

实驗的特点之一是使自然現象在同样的条件下重复地发生，这样就便于反复地研究自然現象，发現其中的規律。

实驗的另一特点，就是可以用人为的方法控制影响自然現象的某些因素，这样就容許我們暫时撇开某些次要的因素，着重研究主要因素对自然現象的影响，从而找出現象的本質。例如在自然的条件下观察落体运动时，地球引力、空气阻力、风、落体的形状和大小，以及一些其他偶然的因素，都会影响落体的运动。这时，如果不使現象簡化，則不可能找出它的規律；而在实驗时，可以設法减小甚至消除空气阻力、风及其他偶然因素的影响，着重研究地球引力对落体运动的影响。这样就能够容易地找出其中的規律。如果有意識地变化另一因素，而控制其余的因素不变，又可以找出該因素对落体的作用規律。

此外，实驗还可以扩大观察的領域，例如某些原子核反应在自然条件下是观察不到的，但在加速器中产生的高能粒子作用之下，却可以发生。

通过观察和实驗积累了丰富資料，在这些資料的基础上，經过分析、綜合、判断、推理等一系列的抽象思維活动，把事物的本質和內在联系，抽象到一般的形式，再經过实驗的反复考驗，被証明可以足够正确地反映某些客观規律性时，就能引导到定律和理論的建立。

在理論建立的过程中，假說常常起着重要的作用，它是科学認識发展过程中很重要甚至是必不可少的一个阶段。当一些新的事实被观察到时，那怕是根据有限数量的事实，也应該积极建立假說而不能等待。恩格斯說："如果我們要等待建立定律的材料純粹化起来，那末这就等于說在此以前要停止思想的研究工作，而定律也就永远不会出現。"① 例如分子运动論就是在物質結构的分子原子假說上发展起来的，如果沒有这个假說，分子运动理論也就不会出現。

观察和实驗是物理学研究方法的基础。通过观察和实驗，引导出假說和理論，又通过观察和实驗，检驗假說和理論。

从观察、实驗到假說、理論，对于某一具体过程說来，認識运动算是完成了，然而对于过程的推移說来，人們的認識运动是沒有完成的。在某一个时期內建立起来的理論，当新的实驗事实出現时，常常需要补充修改，甚至完全放弃。例如，关于光的本質的理論，最初是牛頓的微粒理論，当光的干涉和衍射現象发現后，微粒理論就被波动理論所代替；以后当光电效应、原子光譜等現象出現时，波动理論又被光的量子理論所代替。光的微粒理論和波动理論都具有相对眞理性。物理学的研究方法完全論証了辯証唯物主义的認識論。正如毛主席在"实践論"中所指出："通过实践而发現眞理，又通过实践而証实眞理和发展眞理。从感性認識而能动地发展到理性認識，又从理性認識而能动地指导革命实践，改造主观世界和客观世界。实践、認識、再实践、再認識，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和認識之每一循环的內容，都比較地进到了高一級的程度。"②

3. 物理学和生产实践的关系 物理学和其他自然科学一样，是由于生产实践的需要，才

① 恩格斯："自然辯証法"（曹葆华等譯），人民出版社1955年第2版第201頁。

② "毛澤东选集"，第一卷，人民出版社1952年第2版第285頁。

发生和发展起来的。

在古代，力学的产生是由于手工业的发展、航海和战争的需要。十七世紀流体力学的产生，是由于治理山洪的需要。十九世紀初期力学和热学的蓬勃发展，是由于机器应用和提高热机效率的需要。在近代，由于航空工业和火箭技术的需要，推动了空气动力学和材料力学的发展。利用原子能的需要，推动了原子核物理和生物物理学的发展。通訊和自动控制的需要，推动了无綫电电子学和半导体物理学的发展。冶金工业的需要，推动了金屬物理学的发展。

物理学的发展还有賴于生产和技术发展的水平。正如沒有望远鏡就沒有現代天文学，沒有显微鏡就沒有現代生物学一样，沒有强大的粒子加速器，便不能变革原子，也就不能研究原子核的內部規律。不掌握高度的噴气技术，不会生产具有特殊性能的材料，便不能发射火箭和人造卫星，也就不能研究宇宙空間的物理現象。

科学的发展依賴于生产的需要和发展水平。但是，同时科学研究的成就，也可以反过来推动生产的发展，物理学中的情况也正是如此。例如，由于在物理学中发現了电磁感应現象，并掌握了电能和机械能相互轉变的規律，才开辟了在生产上应用电力的广泛道路。由于麦克斯韦建立了电磁場的理論后，赫兹在实驗室中証实了电磁波的存在，最后波波夫才在实际上应用了无綫电。由于从相对論引出的質量和能量的关系，显示了利用原子核能的可能性，原子核物理上的进一步研究，特别是重核分裂和連鎖反应現象的发現，又找到了利用原子核能的現实途径，以后才在生产上实現了原子能的利用，使人类进入了原子能的新时代。

由此可見，学习与研究物理学必需密切联系生产实践，只有这样才能使物理学迅速地发展，有效地为社会主义建設服务。但是，同时也要注意物理学发展的相对独立性，重視基本理論的学习和研究。

4. 物理学与农业的关系　物理学与农业的关系是十分密切的。近年来，物理学在农业中已經有了广泛的应用。目前物理学与农业的关系主要表現在下列几方面：

（1）植物生长在土壤及近地层的大气中，其中的物理因素，如太阳輻射、土壤及大气的溫度、土壤及大气的湿度、土壤的結构和密度、土壤的空气和透气性等是影响植物生长发育的基本因素。

（2）生物体內部过程中存在許多物理現象。例如在动植物的生理現象中，存在着分子运动現象、热力学現象、电現象以及能量轉換現象等。

（3）超声波、电离輻射、X光、紫外綫、紅外綫、高频电等特殊的物理因素，对生物体也有深刻的影响。正确地利用这些因素的作用，可以达到加速生长、提高产量和生产率、消毒灭菌、儲藏农产品，以及选育优良品种等方面的目的。

（4）物理学为农业生产和农业科学提供新的研究方法和研究工具。近年来，在农业科学和生物科学中应用了放射性同位素、質譜仪、光譜仪、順磁共振仪、电子显微鏡等最新設备。在土壤、农业气象、动植物生理等学科中广泛地运用了半导体，电子学等精密仪器。这些仪器

設备的使用，大大地提高了我們对生物过程的观察能力。学习物理学有助于掌握和运用这些新的工具。

（5）物理学在农业机械化、自动化和电气化的工作中可以发揮一定的作用。特别是生产高度自动化的工作中，需要用无綫电电子学的原理。最近党中央提出了加速农业技术改造，实現农业現代化的伟大号召。我国的农业生产正在迅速地改变着落后的面貌，而在实現农业現代化的过程中，物理学也能够发揮一定的作用。

由上述可見，农业与物理学有許多方面的联系，因此，在农业中应用物理学的前途是极其广闊的。

5. 我国物理学的发展 我們的祖先是勤劳勇敢的。一代又一代劳动人民的辛勤劳动，創造了我国光輝灿烂的文化。在科学技术方面也有許多伟大的創造发明。在这样的基础上，我国历史上出現了不少的思想家和科学家，集中反映了劳动人民的无穷智慧和丰富的創造力。在物理方面，早在春秋战国时代的墨翟（公元前 468—392年）就已經知道許多力学和光学方面的原理。在“墨經”一書中，对力的概念、杠杆原理、光的直进、反射和成象原理等方面都有明确的闡述。这是世界上研究这些物理現象的最早記录。东汉时期的张衡（公元78—139年），发明了候风地动仪和許多天文仪器。北宋沈括（公元1030—1094年）創造和改进了很多天文仪器，并作了精密的天文观察；另外对光学中小孔成象，凹凸面鏡成象，磁針的磁性和地磁偏角等，都作过深入的研究，并获得了卓越的成績。

但是，科学和技术的发展状况不仅决定于生产力的发展水平，而且也受社会制度的影响。我国历史上遭受长期的封建統治和近百年的帝国主义侵略，使得我国科学技术长期停滞，不能得到发展。我国的物理学在解放前夕只有十分薄弱的基础。解放以来，由于社会主义建設的需要和党的正确領导，我国的物理学得到了空前的发展。

第一篇　力　　学

第一章　运动学的基础

运动学討論物体机械运动的状态，即物体在空間的位置、速度、加速度和时間的关系，而不去研究物体运动状态发生改变的原因，也不涉及物体本身的性質。运动学是动力学的基础，但是也有它自己的独立的意义。在很多实际的机械运动中，常常对运动的速度和加速度有严格要求，因此在这种情况下，对运动的分析便是主要的問題。例如，对收割机上木翻輪的运动以及一些传动机构的討論，主要的問題是去分析这些机构的运动，以便对运动的速度及传动的正确功能作适当的控制。

本章主要討論速度、加速度的概念，刚体的轉动及相对运动，至于运动学的一些基本概念，例如参照系的选择、質点的概念等，在中学的課本里已有詳細的討論，因此不再重复。

§1.1　矢　　量

一个既有大小、又有方向的量，称为矢量。物理学中很多物理量，例如速度、加速度、力、动量等都是矢量；为了和标量相区别，常用粗体字母，或在字母上加一箭头来表示矢量，如用$\mathbf{V}$或$\vec{V}$表示速度，$\mathbf{a}$或$\vec{a}$表示加速度，而以相应的字母表示矢量的大小。我們現在来講述几种常用的矢量运算方法：

（1）矢量的加法：一个矢量在坐标軸上的投影称为它在这个坐标軸上的分量，在图(1.1.1)中，空間矢量$\overrightarrow{OA}$和X、Y、Z軸所成的角分别为α、β、γ。它的大小为A，該矢量在三个坐标軸上的投影，

$$A_x = A\cos\alpha,\ A_y = A\cdot\cos\beta,\ A_z = A\cdot\cos\gamma \cdots(1.1.1)$$

称为該矢量的X分量、Y分量及Z分量。分量为代数量，它的正負視它的指向与軸的正向或負向一致而定。

将以上三个式子平方后相加，并利用

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

的关系，即得矢量的大小

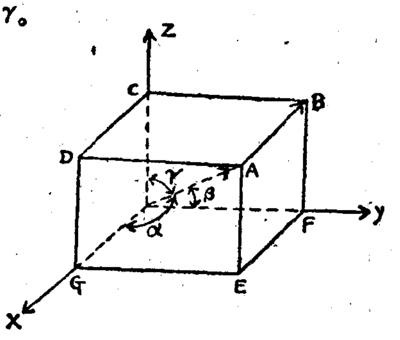

图1.1.1　一个空間矢量的分量

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.2)$$

若有若干个矢量$\vec{A}_1$，$\vec{A}_2$……$\vec{A}_n$相加，則合成矢量$\vec{R}$在任意軸上的投影必等于各个矢量在同一軸上投影的代数和，即：

$$\left.\begin{aligned} R_x&=A_{1x}+A_{2x}+\cdots\cdots+A_{nx}=\Sigma A_{ix}\\ R_y&=A_{1y}+A_{2y}+\cdots\cdots+A_{ny}=\Sigma A_{iy}\\ R_z&=A_{1z}+A_{2z}+\cdots\cdots+A_{nz}=\Sigma A_{iz}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.3)$$

因此，欲求合成矢量$\vec{R}$的大小和方向，可先求出各个矢量在三个坐标軸上的分量。

$$A_{1x}=A_1\cos\alpha_1,\quad A_{2x}=A_2\cos\alpha_2$$
$$A_{1y}=A_1\cos\beta_1,\quad A_{2y}=A_2\cos\beta_2$$
$$A_{1z}=A_1\cos\gamma_1,\quad A_{2z}=A_2\cos\gamma_2$$

然后根据(1.1.3)式計算出合矢量的分量R_x, R_y, R_z，再由(1.1.2)及(1.1.1)式計算出合矢量$\vec{R}$的大小及方向角：

$$R=\sqrt{R_x^2+R_y^2+R_z^2}=\sqrt{\Sigma A_{ix}+\Sigma A_{iy}+\Sigma A_{iz}}$$

$$\cos\alpha=\frac{R_x}{R},\quad \cos\beta=\frac{R_y}{R},\quad \cos\gamma=\frac{R_z}{R}$$

上述計算合矢量的方法在力学里常常应用到。

(2)两个矢量的差：两个矢量之差可以写为

$$\vec{A}=\vec{B}-\vec{C}=\vec{B}+(-\vec{C})$$

所以二矢量$\vec{B}$、$\vec{C}$之差可以視为两个矢量$\vec{B}$及$(-\vec{C})$之和。矢量$(-\vec{C})$和矢量$\vec{C}$的大小相等而方向相反。因此，二个矢量的差也可以用平行四边形的法則来处理。图(1.1.2)表示求两个矢量$\vec{B}$、$\vec{C}$之差的方法，先画出矢量$(-\vec{C})$，然后再用平行四边形的方法求出$\vec{B}$与$(-\vec{C})$的合矢量$\vec{A}$。

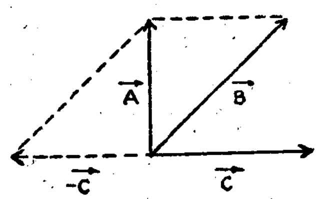

图1.1.2 两个矢量之差

§1.2 質点运动的速度和加速度

討論物体的运动时，如物体的大小和形状都不起作用，則可将运动的物体看作一个質点。如質点在空間运动的軌迹是一根曲綫，則称質点的运动为曲綫运动；如果是一根直綫，則称为直綫运动。

当質点运动时，它的位置、速度和加速度都是随时間而变的。因此研究質点的运动，首先应該研究动点的位置是如何随时間而变化的，然后才能逐步去討論动点的速度和加速度等問題。

質点在空間的位置可以这个点在选定的直角坐标系中的坐标(x,y,z)来确定。質点运动时，点的坐标随时間而变，所以动点的位置(x,y,z)都是时間的函数。即：

$$x=f_1(t) \qquad y=f_2(t) \qquad z=f_3(t)$$

上式說明点在空間的位置和时間之間的关系，所以称为动点的运动方程式。

在实际应用中，常常遇到点在平面内的运动情况。这时动点的运动方程式可簡化为：

$$x=f_1(t),\quad y=f_2(t)$$

至于点沿X軸作直綫运动的特殊情况，点的运动方程式为：

$$x=f(t)$$

質点的运动既有快慢又有方向，为了表明动点运动的快慢和方向，所以在运动学里引入速度这个概念。設質点沿图(1.1.3)所示的平面曲綫运动，在时刻t，动点位于A点，在时刻$t+\Delta t$时，动点位于B点，則由A到B所作的矢量$\Delta\vec{S}$称为質点在Δt时間内的位移。位移对时間的改变率称为速度。因此，位移矢量对时間Δt的比值$\dfrac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}$称为質点在$\Delta t$时間内的平均速度。它的方向与位移矢量$\Delta\vec{S}$的方向相同，即：

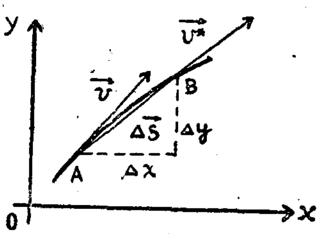

图1.1.3 質点的曲綫运动

$$\vec{v}*=\frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}$$

平均速度只能概略地說明質点运动的快慢和方向，对运动更精确的了解，就要求我們知道动点在某一时刻或在其軌迹上某点的瞬时速度。其定义如下：

設时間Δt趋近于零，則平均速度$\dfrac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}$的极限称为質点在时刻$t$的瞬时速度（以后簡称为速度），即：

$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\vec{v}^*=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}=\frac{d\vec{S}}{dt}\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.4)$$

在时間Δt趋近于零时，曲綫上B点和A点无限地靠近，因而位移矢量也逐漸接近于A点的切綫而以这切綫为其极限位置。所以質点在位置A的瞬时速度的方向就是A点的切綫方向，可見質点运动的瞬时速度是一个矢量，它的大小等于点的位移对时間的导数，它的方向則沿着动点軌迹的切綫方向，$\vec{v}$的大小v称为速率。

由图可以看出位移矢量$\Delta\vec{S}$是$\Delta\vec{x}$和$\Delta\vec{y}$的矢量和，即：

$$\Delta\vec{S}=\Delta\vec{x}+\Delta\vec{y}$$

用Δt去除$\Delta\vec{S}$并取极限，得：

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}+\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{y}}{\Delta t}$$

式中右边两个极限是动点在X和Y方向上的分速v_x, v_y，可見动点在平面上运动时，它

的瞬时速度可以分解为两个互相垂直的分速度。即：

$$v_x = \lim_{\Delta t \to o} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \lim_{\Delta t \to o} \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{dy}{dt}$$

当質点运动时，其速度的大小和方向都是随时間而变化的。为了表示速度大小和方向的变化，运动学中引入加速度的概念，速度对时間的改变率称为加速度。

在上述的运动中，設質点在位置 A 的速度为 $\vec{v}_A$經时間 Δt 后，質点运动到 B 点，其速度为 $\vec{v}_B$（图1.1.4），将$\vec{v}_A$平移到 B 点，再作矢量$\Delta\vec{v}$，由图中可以看出：

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \Delta\vec{v} \quad \text{或} \quad \Delta\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$$

即：$\Delta\vec{v}$为在時間 Δt 內質点运动速度的增量，$\Delta\vec{v}$ 和 Δt 的比，$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$称做質点在时間 Δt 內的平均加速度，即：

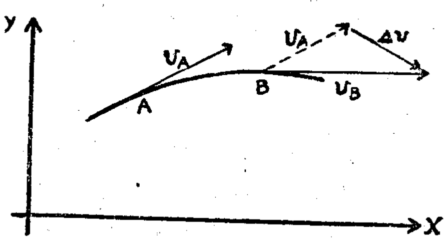

图1.1.4 質点运动的加速度

$$\vec{a}^* = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

当 Δt 趋近于零时，B 点和 A 点无限靠近，$\Delta\vec{v}$ 也趋近于零。但比值 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 不一定趋近于零而趋近于某一极限值，这个平均加速度的极限称为动点在时刻 t 在 A 点的瞬时加速度：

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to o} \vec{a}^* = \lim_{\Delta t \to o} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.5)$$

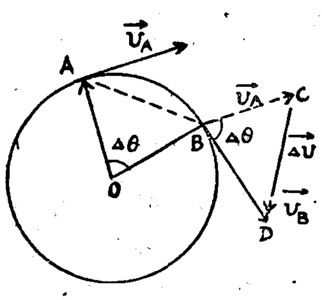

图1.1.5 匀速率圓周运动

匀速率圓周运动是曲綫运动中最簡单的一种情况。現在我們先討論匀速率圓周运动中动点的加速度。

設有一个質点沿图（1.1.5）所示的圓周作匀速率运动。在 Δt 时間內，动点由位置 A 移动到位置 B，动点在 A，B 两点的速度是$\vec{v}_A$ 和 $\vec{v}_B$。它們的方向不同，但大小相等并假設都等于v，

$$v_A = v_B = v$$

为了在图中显示出速度的增量，我們自 B 点画矢量$\vec{v}_A$，并完成三角形 BCD，則 CD 边就是速度的增量 $\Delta\vec{v}$，在 Δt 时間內的平均加速度是：

$$\vec{a}^* = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.6)$$

三角形 AOB 和 BCD 是相似三角形，所以对应边成比例，即：

$$\frac{CD}{BD} = \frac{AB}{OB} \quad \text{或} \quad \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta S}{r}$$

$$\therefore \qquad \vec{\Delta v} = \frac{v}{r}\vec{\Delta S}$$

将此式代入(1.1.6)式,可得平均加速度的大小

$$\vec{a^*} = \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}}{r}\ \frac{\vec{\Delta S}}{\Delta t}$$

所以質点的瞬时加速度的大小为:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t\to o}\vec{a^*} = \lim_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{v}{r}\ \lim_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta S}}{\Delta t}$$

由瞬时速度的定义可知, $\vec{v} = \lim\limits_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta S}}{\Delta t}$

$$\therefore \qquad \vec{a} = \frac{v^2}{r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.7)$$

从图1.1.5中可以看出,当 $\Delta t\to o$ 时, B 点和 A 点无限地靠近,所以角 $\Delta\theta$ 趋近于零,而 Δv 和 v_A 所成的角则趋近于90°,因此 A 点的瞬时加速度的方向沿着半径 AO 并指向圆心。我們把匀速率圆周运动的这种加速度称为向心加速度或法向加速度。它标志着速度矢量的方向改变;但速度矢量的大小并不发生任何改变。

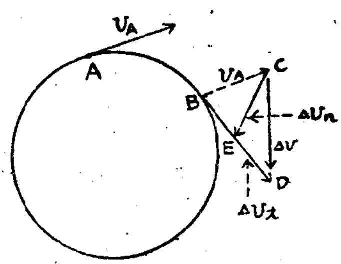

图1.1.6 一般的圆周运动

如果質点作圆周运动的速率也不断地变化,情况就要复杂一些。在图 1.1.6 中代表 B 点的速度矢量 BD 綫較代表 A 点的速度矢量 BC 綫长。在 BD 綫上截取一段 BE 使等于 BC,并分别以 $\Delta v_n, \Delta v_t$ 表示 CE 和 ED,由图可以直接看出,速度的增量

$$\vec{\Delta v} = \vec{\Delta v_n} + \vec{\Delta v_t}$$

因而質点的加速度为:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta v_n}}{\Delta t} + \lim_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta v_t}}{\Delta t} = \vec{a_n} + \vec{a_t}$$

可見在一般圓周运动中加速度是由 $\vec{a_n}$ 和 $\vec{a_t}$ 两部分組成的, $\vec{a_n} = \lim\limits_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta v_n}}{\Delta t}$ 这一部分加速度只标志速度的方向的改变,称为法向加速度,另一部分加速度标志速度大小的改变,

$$\vec{a_t} + = \lim_{\Delta t\to o}\frac{\vec{\Delta v_t}}{\Delta t} = \left(\frac{\vec{dv}}{dt}\right)$$

它的方向沿着 A 点的切綫方向,称为切向加速度。

上述对圓周运动討論的結果,可以推广到任意平面曲綫运动。通过曲綫上 A 点以及与它非常靠近的另外两点 C_1 和 C_2 可以作一个圓,当 C_1, C_2 和 A 点无限地靠近时,这个圓的极限

位置称为A点的曲率圆。曲率圆的半径ρ称为曲率半径。在任意平面曲綫运动中，一般来說，动点速度的大小和方向都是改变的，所以点的加速度和一般圆周运动一样，也包含两部分，即法向加速度，

$$a_n=\frac{v^2}{\rho} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.8)$$

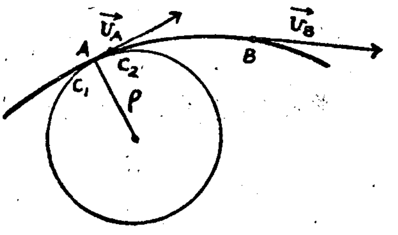

图1.1.7 曲率圆

它的方向指向曲率圆的中心，另一部分加速度的方向沿着A点的切綫方向，称为切向加速度，

$$a_t=\frac{dv}{dt} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.9)$$

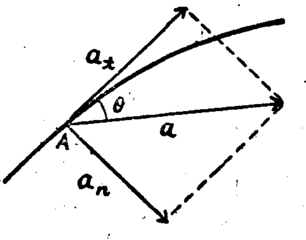

图1.1.8 曲綫运动中的加速度

由图 1.1.8 可以看出，曲綫上A点的合加速度的大小为：

$$a=\sqrt{a_n^2+a_t^2}=\sqrt{\frac{v^2}{\rho}+\left(\frac{dv}{dt}\right)^2}$$

它和切綫方向所成的角为：

$$\tan\theta=\frac{a_n}{a_t}$$

§1.3 刚体繞固定軸的轉动，角速度和角加速度

上节已經討論过質点的运动，但是在实际中經常遇到的是由許多質点組成的物体。設在外力作用下，物体內任意两个質点的距离不发生改变，則称这种物体为刚体。刚体运动的形式是很多的，但是有两种最基本的运动，即刚体的平移运动和刚体繞固定軸的轉动。

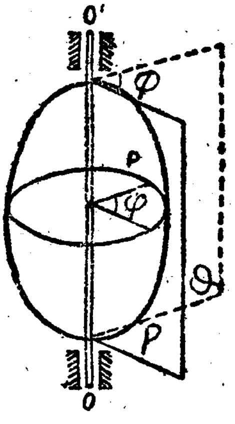

图1.1.9 刚体的轉动

設在刚体运动过程中，体內任意一直綫始終保持它原来的方向不变，則称这种运动为刚体的平移运动。显然平移运动中体內各点的速度和加速度都是相等的，因此处理刚体的平移运动时，可以把它当作質点看待。

在刚体运动时，若体內某两点保持不动，則称这种运动为刚体繞定軸的轉动。通过这两点的直綫称为轉軸，刚体內其它各点都以轉軸为中心而作大小不同的圓周运动，圓的平面則与轉軸相垂直。

图1.1.9中，OO 是刚体的轉軸，通过軸綫做一任意固定平

面，再通过轴线以及刚体内任意一点P作一平面Q，这个平面随着刚体轉动，因此这二个平面所夹的角φ标志着刚体轉过的角度，称为角位移。它是时間的函数。即：

$$\varphi=\varphi(t)$$

这便是刚体繞定軸轉动的运动方程式。

設在Δt时間内刚体轉过$\Delta\varphi$角，則$\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$定义为刚体的平均角速度，以$\omega^*$表示，得

$$\omega^*=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

令$\Delta t\to o$，則这个数值的极限叫做刚体的瞬时角速度，即：

$$\omega=\lim_{\Delta t\to o}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=\frac{d\varphi}{dt}\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.10)$$

它是刚体轉动快慢的度量。其单位为弧度/秒或$\frac{1}{秒}$。

为了說明角速度变化的快慢，再引出角加速度这个概念。設在Δt时間内，角速度的改变量为$\Delta\omega$，則称$\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$为平均角加速度，

$$\alpha^*=\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

取$\Delta t\to o$时的极限，即得瞬时角加速度。

$$\alpha=\lim_{\Delta t\to o}\alpha^*=\lim_{\Delta t\to o}\frac{\Delta\omega}{\Delta t}=\frac{d\omega}{dt}\cdots\cdots\cdots\cdots(1.1.11)$$

它的单位是弧度/秒^{2}或1/秒^2。

轉动的角速度和角加速度也具有矢量性。为了完全表示出刚体轉动角速度的特性，必須說明刚体轉軸的方向，轉动角速度的大小以及相对于轉軸刚体的轉向。如果我們作一矢量就可以把上述的三个性質都表示出来。矢量的作法如下：在轉軸上任选一点O，过O点沿着轉軸截取一綫段OB，設它的长度代表角速度的絕对值，OB的方向和轉动方向之間的关系可以这样来規定：若刚体轉动的方向和右旋螺旋鑽轉动的方向相同，則螺旋鑽前进的方向即定为OB的正方向(图1.1.10)。角加速度矢量也可以用同样的方法作出。

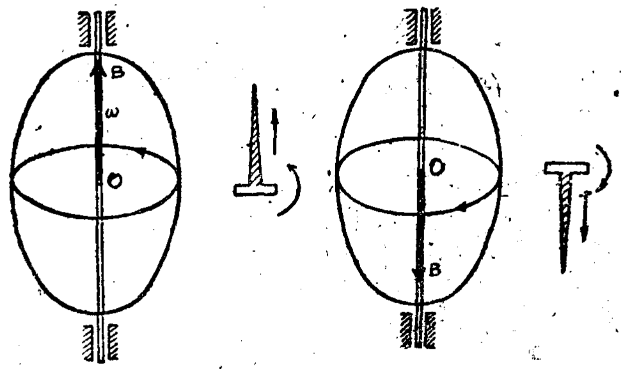

图1.1.10 角速度的矢量表示法

在刚体做匀角加速轉动时，角位移φ，角速度ω，角加速度α和运动的时間t之間存在着下列三个关系