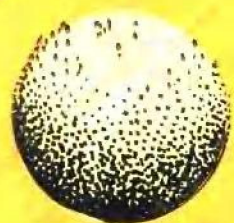


理论

物理选择题

错解分析

罗绍凯 等编著



理论物理选择题 错解分析

罗绍凯 朱宏雄 钱振华 编著
杨运刘 沈仲钧 王明泉

JY1/200/10



内 容 简 介

本书内容包括理论物理学的理论力学、热力学与统计物理、电动力学和量子力学。针对学生中常见的概念和计算错误,对273个问题作了错解分析,既注意了典型性也照顾到普遍性。

本书中各问题以选择题的形式编排,都有正确答案和考查目的,并分析错误产生的原因和关键,根据需要予以指导。通过对问题的分析,可帮助学生理解和掌握理论物理的概念和方法,培养分析能力,提高教学质量。

本书可供综合性大学、高等师范院校、函授大学、电大、夜大等物理专业师生以及自学青年参考使用。

理论物理选择题错解分析

罗绍凯等 编著

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号)

北京昌平百善印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 32开本 12.5 印张 260千字

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

印数: 1—2600册

社科新书目: 257—154

ISBN 7-5023-1307-9/G·409

定价: 7.50元

序 言

《理论物理》(包括理论力学,热力学与统计物理,电动力学和量子力学)课程是大学物理系学生最重要的基础课程之一,与《普通物理》课程相比,理论物理在内容上确实比较抽象难懂,又加上处处密布着数学的“丛林”,初学者往往望而却步。有些学生好不容易“过五关,斩六将”闯了过来,然而每当他们回忆起理论物理课程时,却感到除了一些基本公式、基本定理印象较深外,对物理内容仍似懂非懂,对于做对的习题,讲不出或讲不明白为什么要这样做的理由,对于做错的习题也搞不清楚在什么地方失误。爱因斯坦曾经这样写道:“理论物理学的完整体系是由概念,被认为对这些概念是有效的基本定律以及用逻辑推理得到的结论这三者构成的,这些结论必须同我们的各个单独的经验相符合。”学好理论物理必须通过钻研有关教材和艰苦的解题练习才能深刻地把握物理概念,细心体察渗透在课程中的科学的思想方法。在教学中通过对错误概念、错误结果进行追根究底的剖析,才能帮助学生在比较中鉴别,在失误处总结经验,所以说对错解进行分析不失为是一种学习的好方法。

《理论物理选择题错解分析》一书针对在学习过程中广大学生容易搞错的概念和计算上的错误以错解分析的形式进行了详细的说明,很多题目的编写来自各位编写者长期的教学实践经验和研究成果,有一定的典型意义,对物理各专业和其他相近专业的学生,是一本较好的教学参考书。我相信,

它的出版会有助于学生们的日常学习，我也期望编者们的这次有意义的尝试会得到同行和专家的评论，以促进大学理论物理教学的发展。

许国保

1989年2月14日

编 者 的 话

理论物理学是全国综合大学、师范院校物理各专业以及工科院校有关专业学生必修的基础理论课。在多年的教学实践中，我们发现学生在学习本课程时往往对基本概念、基本规律的理解不易深透，在解答习题时答对了说不清对的道理，答错了也不知错在哪里，收不到好的效果。为了解决这一问题，我们在总结教学经验和教训的基础上，针对学生易出现的种种问题，紧密围绕容易误解的基本概念、各定理和定律的适用条件适用范围、分析问题解决问题的方法、基本公式的综合应用、物理意义的讨论等诸方面，以选择题错解分析的形式编成此书。全书共 273 个问题，各题中除正确答案之外的其余供选择的答案都是学生中常见的错误；每题给出正确答案和考查目的，以便于师生参阅，并着重分析错误产生的原因和错误的关键所在。

本书的问题多数来源于学生，内容的选取难易适中、类型全面，各部分的体系尽可能与国内最为流行的教材保持一致，特别注意适用于日常教学。它既可以帮助学生解答学习过程中的种种疑难，还可使理论物理学的任课教师预先了解到学生可能出现的问题，从而在教学过程中做到有的放矢。实践表明，把选择题错解分析引入理论物理的日常教学，对于培养学生能力、提高教学质量是有益的。

本书可以作为全国各类高等院校理论物理学各门课程的教学参考书。特别是对于参加函授大学、广播电视大学学习

的广大自学青年以及参加中学物理教师《专业合格证书》考试的同志，具有较大的实用参考价值。

本书由罗绍凯、沈仲钧主持编写的组织工作。具体分工如下：罗绍凯执笔理论力学，朱宏雄执笔热力学与统计物理，钱振华、杨运刘执笔电动力学，沈仲钧、王明泉执笔量子力学。罗绍凯负责全书统定稿。

我国老一辈的物理学家、中国物理学会《物理教学》杂志主编、华东师范大学许国保教授帮助审查，并为本书代写序言。在此向许老表示感谢！

本书是一次探索和尝试，由于没有同类书籍可以参考，加之水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

一九八九年三月

目 录

第一篇 理论力学

第一章	质点力学	(1)
第二章	质点组力学	(20)
第三章	刚体力学	(31)
第四章	转动参考系	(61)
第五章	分析力学	(87)

第二篇 热力学与统计物理

第一章	热力学基本定律	(138)
第二章	均匀物质的热力学性质	(154)
第三章	相平衡和化学平衡	(165)
第四章	微观运动状态的描述	(175)
第五章	玻耳兹曼统计理论	(179)
第六章	玻色统计和费米统计理论	(191)
第七章	系综理论	(202)
第八章	非平衡态的统计理论	(211)
第九章	涨落理论	(214)

第三篇 电动力学

第一章	电磁现象的普遍规律	(218)
第二章	静电场和稳恒电流的磁场	(229)
第三章	电磁波的传播	(249)

第四章	电磁波的辐射	(263)
第五章	狭义相对论	(271)
第六章	带电粒子与电磁场的相互作用	(292)

第四篇 量子力学

第一章	量子力学的实验基础	(301)
第二章	波函数和薛定谔方程	(311)
第三章	简单体系薛定谔方程的解	(315)
第四章	量子力学的基本原理	(323)
第五章	量子力学的矩阵表示	(348)
第六章	角动量和中心力场	(356)
第七章	自旋	(370)
第八章	近似方法	(385)

第一篇 理论力学

第一章 质点力学

1-1-1 半圆形凸轮以匀速度 $\vec{v}_0$ 沿水平方向向左运动,从而使活塞杆沿铅垂方向运动。初始时刻,活塞杆A端在轮的最高点,凸轮半径为 R ,则活塞杆A端的运动方程

A. 在图a直角坐标系中为 $x=v_0t$, $y=\sqrt{R^2-v_0^2t^2}$;

B. 在图b直角坐标系中为 $x=0$, $y=\sqrt{R^2-v_0^2t^2}$;

C. 在图c极坐标系中为 $r=R$, $\theta=\arcsin\frac{v_0t}{R}$;

D. 在图d自然坐标系中为 $s=R\arcsin\frac{v_0t}{R}$ 。

〔答案〕都不正确。

〔考查目的〕运动描述的相对性。

〔错解分析〕有人会认为四种答案都对,是同一问题的不同描述,其结论是等价的,对吗?否!运动的描述是相对的,同一质点相对于不同的参考系表现出不同的运动状态,具有不同的运动方程,因此,研究质点的运动时必须先说明所选定的参考系。本题中A、B、C、D没指明参考系,谈质点的运动是无意义的。

若以凸轮为参考系,则A、C、D正确,它们是在同一参考系上选用不同的坐标系描述A点的运动;若以地面为参

考系，则B正确。

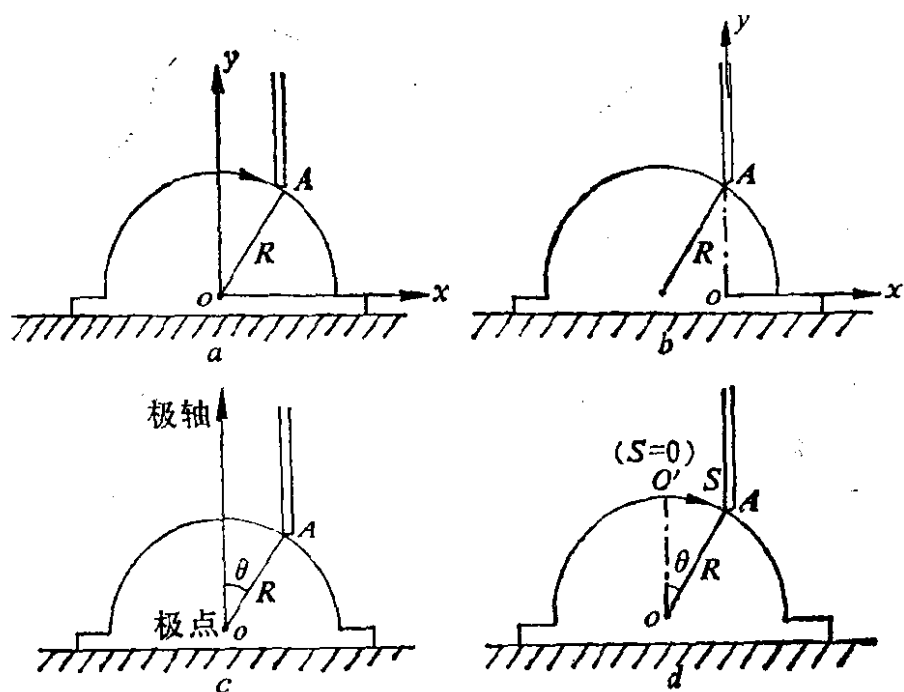


图1-1-1

1-1-2 半径为 R 的圆环上套一小环 M ，直杆 CA 穿过小环并绕圆环上一点 C 以匀角速度 ω 绕逆钟向转动，设开始时小环 M 在 B 点处， C 、 B 为圆环同一直径的两端，如图 a 。若以圆环为参考系，则小环的速度、加速度

I. 在图 a 直角坐标系中 $\vec{v} = -2R\omega \sin 2\omega t \vec{i} + 2R\omega \cos 2\omega t \vec{j}$, $\vec{a} = -4R\omega^2 \cos 2\omega t \vec{i} - 4R\omega^2 \sin 2\omega t \vec{j}$;

II. 在图 b 极坐标系中 $\vec{v} = -2R\omega \sin \omega t \vec{e}_r + 2R\omega \cos \omega t \vec{e}_\theta$, $\vec{a} = -4R\omega^2 \cos \omega t \vec{e}_r - 4R\omega^2 \sin \omega t \vec{e}_\theta$;

III. 在图 c 自然轴系中 $\vec{v} = 2R\omega \vec{\tau}$, $\vec{a} = 4R\omega^2 \vec{n}$. 对上述结果，有人认为

A. 三者不等价； B. 三者等价；

C. 只有 I 与 II 等价; D. 只有 I 与 III 等价。

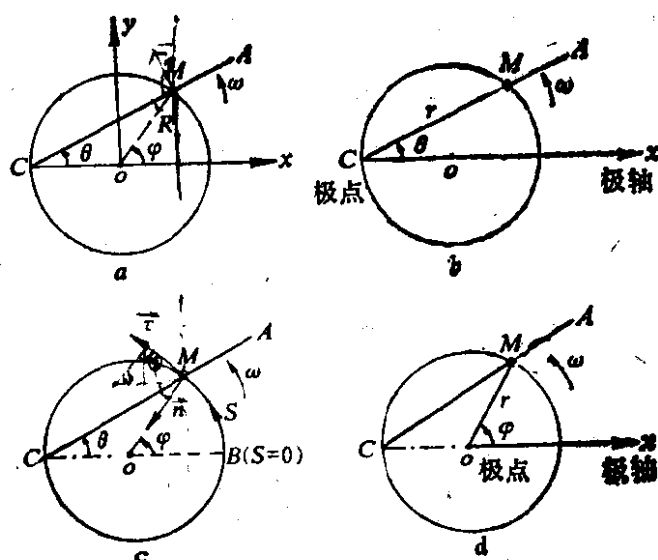


图1-1-2

〔答案〕 B.

〔考查目的〕 参考系确定后, 选取坐标系的任意性。

〔错解分析〕 任一物体的运动情况是相对于参考系而言的, 坐标系只是为了表达物理量的关系而人为引入的计算工具; 采用不同的坐标系, 只会影响运动方程、速度和加速度的表达式, 而不会改变运动的本质。选 A、C、D 者只看到了三种结果形式上的不同, 没有分析问题的本质, 盲目认为三者不等价。

下面我们证明 I 与 III 等价, 至于 II 与 III、I 与 II 的等价问题读者可自行完成。由 I 得

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 2R\omega \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 4R\omega^2$$

$$\cos(\vec{v}, \vec{i}) = -\sin 2\omega t \quad \cos(\vec{v}, \vec{j}) = \cos 2\omega t$$

$$\cos(\vec{a}, \vec{i}) = -\cos 2\omega t \quad \cos(\vec{a}, \vec{j}) = \sin 2\omega t$$

显然, $\vec{v}$ 沿圆周切向, 而 $\vec{a}$ 沿主法线方向, 与 III 等价。

〔解题指导〕从结果 I、II、III 比较可知，由于小环 M 的运动轨迹为已知，因此用自然法描述其运动最为方便，且表达式简单，物理意义清晰。对本题，我们还可以按如下的方法求解。在图 d 所示的极坐标系中，小环 M 的运动方程、速度和加速度分别为

$$r=R \quad \varphi=2\omega t \quad \vec{v} = \dot{r} \vec{e}_r + r \dot{\varphi} \vec{e}_\varphi = 2R\omega \vec{e}_\varphi$$

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) \vec{e}_r + (r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi}) \vec{e}_\varphi = -4R\omega^2 \vec{e}_r$$

与 III 比较知， $\vec{e}_\varphi$ 对应于 $\vec{\tau}$ 的方向， $\vec{e}_r$ 对应于 $\vec{n}$ 的负方向；与 II 比较知，参考系选定后，尽管采用同一形式的坐标系，若原点不同，则运动方程、速度、加速度的表达式也不相同，故解决问题时应该考虑原点的影响，简化计算。这也进一步表明坐标系选取的任意性。

1-1-3 质点 M 沿着垂直于极轴的直线作匀速直线运动。若用极坐标系描述 M 的运动，则

A. $a_r \neq 0$ 、 $a_\theta \neq 0$ ； B. $a_r = 0$ 、

$a_\theta = 0$ ； C. $a_r = 0$ 、 $a_\theta \neq 0$ ； D.

$a_r \neq 0$ 、 $a_\theta = 0$ 。

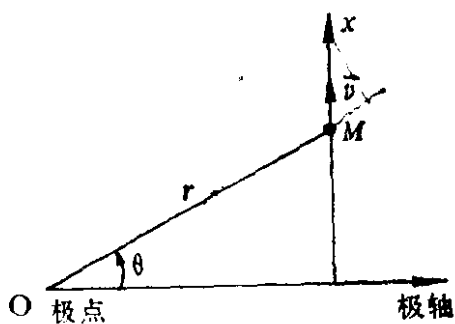


图1-1-3

〔答案〕 B.

〔考查目的〕极坐标系中加速度的计算及意义。

〔错解分析〕若 a_r 和 a_θ 中有一个不等于零，则 $a = \sqrt{a_r^2 + a_\theta^2} \neq 0$ ，与题意矛盾，故 A、C、D、都错。有人问道： $v_r = v \sin \theta$ 、 $v_\theta = v \cos \theta$ 、 θ 是变量，怎么会有 $a_r = 0$ 和 $a_\theta = 0$ 呢？这些同学对于 a_r 和 a_θ 的表达式及各项的意义不清楚。事实上，径向速度 $\vec{v}_r$ 、横向速度 $\vec{v}_\theta$ 的大小和方向都随质点的运动

而变, $\dot{v}_r = \ddot{r}$, $\dot{v}_\theta = r\ddot{\theta} + \dot{r}\dot{\theta}$ 只分别表示了 $\vec{v}_r$ 和 $\vec{v}_\theta$ 的大小随时间的变化, 它们并不能代表 a_r 和 a_θ ; 由于横向速度 $\vec{v}_\theta$ 方向的改变引起沿径向的 $-r\dot{\theta}^2$, 由于径向速度 $\vec{v}_r$ 方向的改变引起沿横向的 $\dot{r}\dot{\theta}$, 所以 $a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2 \neq \dot{v}_r$, $a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} \neq \dot{v}_\theta$.

1-1-4 一质点 P 在半径 $R=2$ 的圆柱面上沿螺旋线 $x=2\sin 4t$, $y=2\cos 4t$, $z=4t$ 匀速率运动, 则有

A. v = 常数, $a \neq 0$; B. v = 常数, $a = 0$; C. v = 常数, $a_r = 0$; D. $\rho = R$, $a_n = \frac{v^2}{R}$.

〔答案〕 A、C.

〔考查目的〕 加速度的意义, 曲率半径的计算.

〔错解分析〕 有人简单的认为 B 对, 把质点直线运动的特殊结论用于一般曲线运动. 事实上, 加速度是速度 $\vec{v}$ 大小和方向共同改变的结果, $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ 但 $a \neq \frac{dv}{dt}$; v = 常数, $a_r = \frac{dv}{dt} = 0$, 但 $\vec{v}$ 的方向却在变化, 反映这种变化的加速度分量 $a_n = a \neq 0$, 否则质点不可能沿曲线运动.

选 D 者是把质点轨迹的曲率半径与圆柱面的圆半径混为一谈了, 导致了错误结果, 实际上

$$\rho = \frac{v^2}{a_n} = \frac{v^2}{\sqrt{a^2 - a_r^2}} = \frac{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}{\sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}} = \frac{5}{2} \neq R$$

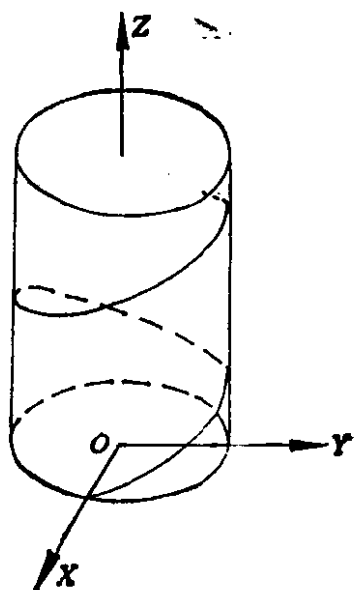


图1-1-4

这也是初学者的常见错误之一。

01-1-5 小船 M 被水流冲走后，用一绳将它拉回岸边 A 点，假定水流速度 c_1 沿河宽不变，而拉绳子的速度为 c_2 。若小船可以看成是一个质点，取水为动系、岸为静系，则小船的

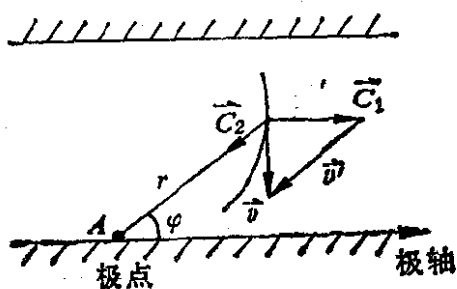


图1-1-5

- A. 绝对速度为 $\vec{c}_2$; B. 相对速度为 $\vec{c}_2$;
C. 绝对速度为 $\vec{c}_1 + \vec{c}_2$; D. 绝对速度在 $\vec{MA}$ 方向的投影为 c_2 。

〔答案〕D。

〔考查目的〕点的合成运动分析。

〔错解分析〕选A者没有进行运动分析，认为要把小船拉回 A 点，绝对速度必沿 $\vec{MA}$ 方向、岸上拉绳的速度必为绝对速度，没有考虑牵连速度 $\vec{c}_1$ 的存在，小船向 A 点运动过程中是沿曲线轨迹、而绝对速度应该始终沿着轨迹切线方向；选B者虽然进行了运动分析，认为相对速度应该沿 $\vec{MA}$ 方向，但把拉绳的速度误作为相对速度，实际上小船并非以速度 c_2 相对于水朝岸上 A 点划回，相对速度的大小不等于 c_2 ，选C者犯有与B同样的错误。拉绳的速度 $\vec{c}_2$ 是人为控制的，它不受水流速度 $\vec{c}_1$ 的影响， c_2 只是小船的绝对速度在 $\vec{MA}$ 方向的投影。

〔解题指导〕以 A 点为极点、向右为极轴建立极坐标系，由上述分析知，绝对速度沿径向的投影

$$v_r = -c_2 \quad (1)$$

据点的合成运动关系 $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{c}_1$, 分别在径向和横向投影, 得

$$v_r = c_1 \cos \varphi - v' \quad (2)$$

$$v_\varphi = -c_1 \sin \varphi \quad (3)$$

从以上三式可得绝对速度和相对速度的大小

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_\varphi^2} = \sqrt{c_2^2 + c_1^2 \sin^2 \varphi} \quad v' = c_1 \cos \varphi + c_2$$

1-1-6 质量为 m 的质点, 在有阻力的空气中下落, 阻力与速度成正比。在研究该质点的运动时, 若建立铅垂向上的一维坐标系, 则其运动微分方程应为

$$A. \ddot{y} = -mg + k\dot{y}; \quad B. \ddot{y} = -mg - k\dot{y};$$

$$C. -\ddot{y} = -mg - k\dot{y}; \quad D. -\ddot{y} = -mg + k\dot{y};$$

$$E. \text{若为上抛过程则B对, 若为下落过程则A}$$

对。

图1-1-6

〔答案〕 B.

〔考查目的〕 质点运动微分方程的建立, 力的投影。

〔错解分析〕 有些同学会毫不犹豫的选A, 对吗? 否! 因为不论怎样选取坐标轴的正负向, 总有 $\vec{v} = \dot{y} \vec{j}$ 、 $\vec{f} = -k\vec{v} = -k\dot{y} \vec{j}$, 显然, 阻力的方向由 $\dot{y}$ 的正负即可确定, 阻力在坐标轴上的投影恒为 $f_y = -k\dot{y}$, 在列运动微分方程时, 不能再次考虑阻力与速度的反向问题。还有人认为, 质点加速下落, 加速度与坐标轴的正向相反, 故D对, 他们没有考虑到 $\dot{y}$ 的正负已经确定了加速度 $\vec{a} = \ddot{y} \vec{j}$ 的方向; 选D者兼有A、C的

错误。还有不少同学以为E对，其理由是上升过程和下降过程质点所受阻力方向不同，似有道理，但无此必要，因为 y 的正（或负）已分别表示质点向上（或向下）运动，方程B既可适用于上升过程又可适用于下落过程。

1-1-7 质量为 m 的质点作上抛运动，阻力正比于速度的 n 次方。质点的运动微分方程在上升和下落过程中

- A. 形式相同； B. 形式不同；
- C. n 是奇数，形式相同；
- D. n 是偶数，形式相同。

〔答案〕C。

〔考查目的〕质点运动微分方程的建立。

〔错解分析〕有人据上题中对E的分析结果选A，然而却是错的。从 $\vec{f} = -k\vec{v}^n = -k\dot{y}^n \vec{j}$ 可知：若 n 为偶数， $\dot{y}^n$ 恒为正值， $\dot{y}$ 的正负尽管可以表示出速度 $\vec{v}$ 的方向，但是已经不能表示出 $\vec{f}$ 的方向，即不论 $\dot{y}$ 是正还是负， $\vec{f}$ 总沿 $\vec{j}$ 的负向，即使质点下落 $\dot{y}$ 为负值 $\vec{f}$ 也是向下的，与事实相矛盾。

〔解题指导〕当 $n > 1$ 时，对 n 的奇偶性必须分别讨论。若 n 为偶数，质点的运动微分方程在上升过程中为

$$m\ddot{y} = -mg - k\dot{y}^n \quad (1)$$

在下降过程中为

$$m\ddot{y} = -mg + k\dot{y}^n \quad (2)$$

若 n 为奇数，对全过程总有 (1) 式的形式。

从本题可知：阻力并不是简单的在力的表达式前面加一个负号；一般而言，质点运动的全过程并非都可由一个运动