



普通物理学

第一分册 力学

(第二版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编

梁绍荣 修订



高等教育出版社

★ GAODENG JIAOYU CHUBANSHE

普通物理学

第一分册 力学

(第二版)

梁绍荣	刘昌年	盛正华	主编
盛正华	马继福	梅玉初	
江纯初	梁绍荣		编

梁绍荣 修订

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

这套书共五册,曾于1987—1989年期间出版第一版,现根据国家1991年12月颁发的中学教师进修高等师范专科物理教育专业教学大纲,考虑师专、教育学院及函授等各方面的需要修订再版。

本书为第一册:力学,其中第一章为物理学导论,是全书的引言,为学物理学的读者介绍物理学的全貌,以克服“见树不见林”的弊端。从第二章开始讲述力学,其内容有:质点与刚体的运动学、质点动力学、动量定理和动量定理、功与能、万有引力、刚体的平衡与转动、弹性形变、流体力学、机械振动、机械波和声学等,共十一章(二~十二章)。各章末皆附有思考题和习题。在附录中简述了矢量运算。书中除基本部分外,还有加*号和小字的内容,以供参考和选用。

本书可作为卫星电视教育、师专、教育学院、函授和自学等各种形式物理专业的教材,亦可供科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学 第一分册:力学/梁绍荣等编。—2版。—北京:高等教育出版社,1995.7

ISBN 7-04-005163-X

I. 普… II. 梁… III. ①物理学-高等学校-教材②力学-高等学校-教材 IV. ①04②03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第00428号

高等教育出版社出版
新华书店总店北京发行所发行
中国科学院印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 13.75 字数 350 000

1987年10月第1版

1995年5月第2版 1995年5月第1次印刷

印数0001—4 642

定价 8.65 元

511/188/12

第二版前言

全书共五册。它是适应师专教学改革以及培养、提高在职初中物理师资，参照师专、教育学院、中学教师进修高等师范专科等三种教学大纲编写而成。于1987—1989年陆续出版后，受到各方面的欢迎和好评。本书是受当时国家教委高校理科物理教材编审委员会普通物理编审组委托编写的，现根据国家教委1991年12月颁发的中学教师进修高等师范专科物理教育专业教学大纲，并考虑师专、教育学院及函授等各方面的需要修订再版。全书分力学、热学、电磁学、光学和近代物理学基础等五个分册。

全书加强了普通物理学各分册之间的联系；增加了物理学导论作为全书的第一章，使读者在学习物理学之初对它的全貌有一梗概的了解，以图消除“只见树木，不见森林”的弊端；全书力求具有体系严谨、深入浅出、概念准确、叙述简明、知识面宽、求实求新、便于自学等特点。

本书是第一分册：力学。它除保持原书的优点和编写意图外，其主要修改之处有：(1) 改变传统的先讲力的概念再定义动量的讲法，采用新体系的讲法，即先定义动量再以动量的时间变化率给出力的定义，这样既避免了力与惯性质量循环定义的问题，又能较好地与近代物理学接轨；(2) 改写了几节，如刚体的角动量定理等；(3) 删去了一些较难的内容、例题和习题；(4) 调整了若干节，并加*表示，这样，既减轻了仅学基本内容的读者的负担，又兼顾了多方面的需要；(5) 对书中讲述的严谨性以及语言表达的可读性等方面作了较仔细的修订；(6) 改正了原书中的书写、印刷等一些不妥和错误；(7) 在编写体例方面作些调整，以使这套书在编排上能整体一致。

盛正华教授因病于1993年10月不幸逝世，他对编写力学以及全书作了很大的贡献，每念及此和多年友情，心情十分沉痛，在此仅致哀悼！因盛先生的不幸逝世，本书由梁绍荣执笔修订。在此期间，承蒙镇江师专严仲强副教授、北京师大胡静副教授、岳阳教育学院陈钺先生以及高等教育出版社钟金城编审等系统地提出了很多宝贵的意见和建议；在执笔过程中，又多次和北京师大池无量副教授交换意见、探讨讲法，她给出了许多中肯、切实可行的意见和建议；全书由北京师大卢圣治教授审阅，提出了不少修改意见和建议。对以上各位先生一并表示衷心的感谢。

编 者

1994.8.于北京师大

第一版前言

为了适应师专当前普通物理教学和教育学院、卫星电视教育等培训初中物理教师的需要，我们在国家教委高等学校理科物理教材编审委员会的指导下，根据有关大纲的基本要求，分工编写了本书第一分册。考虑到本书的主要对象和培养目标，我们在编写中努力从实验事实出发，阐明基本物理概念和物理思想，扩展知识面，加强启发性，适当增加物理学史方面的知识，注意基本方法的训练，而对于数学推导则不作严格要求。在编写过程中，我们注意联系中学物理教学及生产、生活实际，适当介绍一些科学技术的新发展。对于这些，我们尽了一定的努力，但限于水平，也限于篇幅，很难达到要求。

力学是今后学习其他物理知识的基础，学习本书其余几册所必须的力学基本知识和方法，都必须通过对这一分册的学习来掌握。为此，我们对运动学、牛顿运动定律、守恒定律、刚体的平衡、机械振动和机械波等内容，花了较多的笔墨。书中大字排印部分为基本内容，小字、星号部分可供师专选讲及读者参考。有关各章小结和解题指导等巩固知识的内容，均列入与本书配套的《学习指导书》中。本书统一采用国际单位制代号进行叙述与运算。

本书第一章由北师大梁绍荣执笔和定稿。其余各章初稿由盛正华(常德师专)、马继福(上海教育学院)、梅玉初(泰安师专)、江纯初(郴州师专)执笔，审稿会后由盛正华和马继福进行了较多的修改。

本书初稿承山东大学余寿绵教授(主审)、四川大学缪钟英、北京师范大学胡静、安徽教育学院吴格非、昆明师专张宝元等先生审阅，提出许多宝贵意见，在复审定稿工作中，以上诸位先生，特别

是缪钟英和胡静同志在百忙中又提出许多中肯的意见和补充,缪钟英同志还执笔修改了部分章节,张宝元同志还作了习题复核,对编者帮助很大。本书得到高教出版社同志们的大力支持,又承常德师专刘佐基老师协助绘图,在此一并深表谢意。

由于时间紧促,本书的缺点和错误还不少,恳请广大读者批评指正。

编 者
一九八七年三月

目 录

第一章 物理学导论	1
§ 1-1-1 物理学的形成.....	1
§ 1-1-2 物质的层次.....	2
§ 1-1-3 物理学的特点.....	6
§ 1-1-4 物理学中的实验和理论.....	12
§ 1-1-5 物理学和数学的关系.....	15
§ 1-1-6 物理学与高技术.....	17
§ 1-1-7 物理学中的力学.....	19
第二章 质点与刚体的运动	21
§ 1-2-1 质点和刚体.....	21
§ 1-2-2 空间和时间.....	23
§ 1-2-3 质点的直线运动.....	31
§ 1-2-4 速度的合成与分解.....	46
§ 1-2-5 平面曲线运动.....	51
§ 1-2-6 相对运动.....	64
§ 1-2-7 刚体的平动和转动.....	67
思考题.....	72
习题.....	73
第三章 质点动力学	76
§ 1-3-1 惯性 牛顿第一定律.....	76
§ 1-3-2 质量 动量.....	79
§ 1-3-3 动量守恒定律.....	82
§ 1-3-4 牛顿第二和第三定律.....	84
§ 1-3-5 力学单位制和量纲.....	88
§ 1-3-6 力学中常见的力.....	90
§ 1-3-7 牛顿运动定律的应用举例.....	98

§ 1-3-8 力学相对性原理 伽利略变换·····	104
§ 1-3-9 非惯性参考系中的惯性力·····	108
§ 1-3-10 经典力学的局限性 ·····	112
思考题 ·····	114
习题 ·····	117
第四章 动量定理 角动量定理 ·····	120
§ 1-4-1 质点的动量定理·····	120
§ 1-4-2 质点系的动量定理·····	124
§ 1-4-3 质点系的质心和质心运动定理·····	127
*§ 1-4-4 火箭运动的基本方程·····	135
§ 1-4-5 质点的角动量定理·····	138
§ 1-4-6 质点系的角动量定理和角动量守恒定律·····	144
思考题 ·····	146
习题 ·····	148
第五章 功和能 ·····	151
§ 1-5-1 功和功率·····	151
§ 1-5-2 质点的动能和动能定理·····	158
§ 1-5-3 质点系的动能定理·····	161
§ 1-5-4 物体系的势能·····	164
§ 1-5-5 机械能定理·····	172
§ 1-5-6 弹性碰撞与非弹性碰撞·····	176
§ 1-5-7 能量守恒和转化定律·····	181
思考题 ·····	184
习题 ·····	185
第六章 万有引力 ·····	190
§ 1-6-1 万有引力定律的发现·····	190
§ 1-6-2 地球的引力与物体所受的重力·····	198
§ 1-6-3 引力势能与宇宙速度·····	200
§ 1-6-4 人造地球卫星·····	205
§ 1-6-5 惯性质量与引力质量·····	207
思考题 ·····	209

习题	210
第七章 刚体的平衡与转动	212
§ 1-7-1 刚体的重心	213
§ 1-7-2 平面力系的简化	217
§ 1-7-3 刚体的平衡	222
§ 1-7-4 对轴的角动量定理 转动惯量	227
§ 1-7-5 对轴的角动量守恒定律	237
§ 1-7-6 定轴转动的动能定理	240
*§ 1-7-7 圆柱体的滚动	244
思考题	247
习题	248
第八章 弹性形变	253
§ 1-8-1 长应变与正应力	254
§ 1-8-2 切应变与切应力	259
§ 1-8-3 圆杆的扭转	261
§ 1-8-4 *梁的弯曲	263
思考题	265
习题	266
第九章 流体力学	268
§ 1-9-1 静止流体的压强	268
§ 1-9-2 理想流体的稳定流动 连续原理	276
§ 1-9-3 理想流体的伯努利方程	279
§ 1-9-4 粘滞流体的运动	284
§ 1-9-5 运动流体对物体的作用	289
思考题	294
习题	297
第十章 机械振动	29
§ 1-10-1 简谐振动	29
§ 1-10-2 简谐振动的合成与振动的分解	31
§ 1-10-3 阻尼振动	31
§ 1-10-4 受迫振动 共振	32

思考题	334
习题	335
第十一章 机械波	339
§1-11-1 波的基本概念	339
§1-11-2 平面简谐波的运动学方程	345
§1-11-3 波的能量	352
§1-11-4 波的叠加原理 波的干涉	358
§1-11-5 驻波	363
思考题	372
习题	374
第十二章 声学	378
§1-12-1 声波	379
§1-12-2 声音的共鸣	390
§1-12-3 声波的多普勒效应	392
*§1-12-4 声音的吸收与噪声控制	397
*§1-12-5 超声与次声	401
思考题	405
习题	406
数学附录 矢量运算	408
习题参考答案	416

第一章 物理学导论

物理学是自然科学的重要组成部分，它的迅速发展和巨大成就对人类活动的许多领域都有重大影响。在我国向社会主义现代化进军过程中，普及和提高物理知识，是一件有意义的工作。

普通物理是大学理工科的重要基础课，通过它可对物理学基础知识有较清晰的理解。在此基础上，可向应用方面发展，同时，也为学习理论物理作好了准备。自然，对讲授中学物理而言，普通物理学的知识更是必不可少的。

进入物理世界并能领会其中的奥秘是不容易的。物理图象远不如戏剧、小说中的艺术形象那样触动人们的情感。在物理学中，既看不到楚楚动人的表演，也听不到如泣如诉的歌声。但对有鉴赏力的人来说，物理学的魅力并不差，这来源于科学的严谨、求实、简洁和协调。

本章的目的在于对物理学作一全面而简略的介绍，使初学者对它的全貌有个大概的了解，便于在今后学习中加强联想，“既见树木，又见森林”，从而有助于提高学习的积极性。

必须说明，在导论中，不可能对物理学中的概念、定律等作严格的论述，这些将从第一分册第二章从头讲起。

§ 1-1-1 物理学的形成

物理学研究范围也和它本身的发展一样，经历着历史的变化。早期的物理学含义非常广泛，它在直觉经验基础上探寻一切自然现象的哲理。所以物理学的前身称为自然哲学，它是研究所有非生物的自然现象的一门科学。自 19 世纪中期之后，物理学的研究范围仅限于物质化学性质不发生变化的过程。但是，这种限制已

逐渐被突破，物理学的对象已扩大到较宽的领域。现在认为：物理学是研究物质的结构和相互作用以及它们的运动规律的科学。

人们对客观世界的认识，在早期起源于感觉。根据感觉，将观察到的现象加以分类。如与视觉有关的现象归为一类，对它们的研究称为光学；与听觉有关的一类称为声学；热现象与另一种感觉有关，由此而建立起热学。当然，物体的机械运动是人们最常见的现象，也便于直接观察，所以力学的建立比光学、热学和声学都早。电磁学与直接感觉的联系较少，直到19世纪，才成为物理学的一个独立分支。

以上所讲的力学、热学、声学、光学和电磁学，称为物理学的经典分支或统称**经典物理学**。与此相对应，自20世纪初至30年代期间所发展起来的狭义相对论和量子力学等称为**近代物理学**，它们的研究对象分别为高速(与真空中的光速可比)运动现象和原子内部的运动状态。这些离直接经验较远，所以发展较迟，但它们是近代物理学的基石，可以说，离开它们就谈不上近代物理学。

还应指出，物理学是一个整体，对经典物理学必需用近代物理学的观点进行修正和重新评价，使之得到符合实际的结果。

§ 1-1-2 物质的层次

物理学对客观世界的描述，已由可与人体大小相比的范围(称为**宏观世界**)向两个方向发展：一是向小的方面——原子内部(称为**微观世界**)；另一是向大的方面——天体、宇宙(称之为**宇观世界**)。就物质结构的尺度和研究它们的科学分支来划分，如表1-1-1所示。

上表中的基本粒子并不基本，它们还有结构，即不是组成物质的原始物质，但目前仍习惯称它们为“基本粒子”，本书也不例外。基本粒子分：i) 光子(它属于规范粒子类)；ii) 轻子(如电子、中微子等)；iii) 介子(如 π 介子、K介子等)；iv) 重子(如质子、中子、 Λ 超子等)。从物质结构的主要构件来看，只有电子、质子和中子

表 1-1-1

实 体	尺 度	相关的专门科学分支
基本粒子	10^{-15}m 以下	粒子物理学
原子核	10^{-14}m	核物理学
原子	10^{-10}m	原子物理学
分子	10^{-9}m	化学
巨型分子	10^{-7}m	生物化学
固体		固体物理学
液体		液体动力学
气体		气体动力学
植物与动物	$10^{-7}\text{m}—10^2\text{m}$	生物学
地球	10^7m	地质学, 地球物理学
恒星	$10^7\text{m}—10^{12}\text{m}$	天文学
星系	10^{20}m	天文学
银河星团	10^{23}m	
宇宙已知部分	10^{24}m	宇宙学

就够了.其它粒子的寿命很短,不断地产生和湮没,看来,它们不直接参与我们经常观察到的各种现象.电子的质量为 $9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$,如将它看成一个带电的球,其半径可估计为 10^{-15}m 的量级或更小.质子和中子作为原子核的组成部分,实际上是等价的,统称为核子,其质量为 $1.67 \times 10^{-27}\text{kg}$.核子的直径约为 $3 \times 10^{-15}\text{m}$,这是指核子的活动大体在这个范围内,质子和电子一样是稳定的,它们可孤立地长期存在下去.但中子却不能孤立地生存,而是放射性地衰变(半衰期约为 13min)为一个质子、一个电子和一个中微子.中子能自发地产生氢原子的各组成部分,有些宇宙学家曾提出,中子是宇宙中的原始粒子,但目前还只是一种猜想而已!

原子的质量几乎就是原子核的质量(对于氢,它占 99.95%,对于铀上升到 99.98%),但原子的线度则增大为原子核的一万多倍,即原子的半径的量级为 10^{-10}m .原子是非常小的,为了便于想象,下面举两个例子:一架好的显微镜能看到的最小物体的直

径约为 10^{-6}m 的十分之几,其质量约为 10^{-17}kg , 其中却含有大约 10 亿个原子;一个非常高的实验室真空约可达到 10^{-14}atm , 但此时在 1cm^3 内也大约含有 10 亿个原子。

为了具体起见,在图 1-1-1 中画出几个原子的图形,中间的黑点表示原子核,电子分布在核的周围,但电子并不沿确定的路径运动,图中暗区的浓淡表示电子在各处出现概率的大小。图中用的

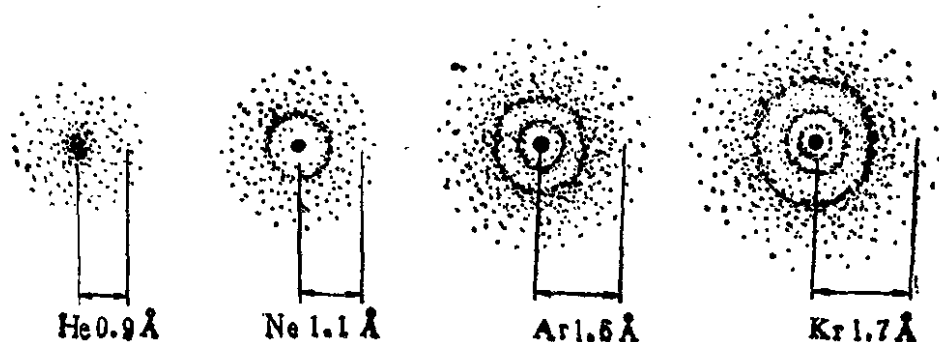


图 1-1-1

长度单位是 $\text{\AA}$, $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ 。同样,画出了几个分子图形,如图 1-1-2 所示。

对于生物学来说,方便的长度单位是 μm (10^{-6}m),细菌的线度约为 $1\mu\text{m}$,在好的显微镜下能观察到细胞直径的量级约为 $10\mu\text{m}$,对于人体,在 0.1m^3 容积内大约有 10^{14} 个细胞,而每个细胞又大约含有 10^{14} 个原子。人体大约由 10^{28} 个原子组成,其中大多数是碳、氢、氧和氮原子。

在地球上常见的微粒的尺度如表 1-1-2 所示。

再看看表 1-1-1 的另一端,从地球讲起,它与分子相比,其线度约为后者的 10^{16} 倍,但在太阳系中,它不过是一个较小的成员,如图 1-1-3 所示。

太阳是离我们最近的恒星,距离约为 $1.5 \times 10^{11}\text{m}$ 。一个便于说明天文距离的单位是光年,它等于光在真空中走一年的距离,即

$$1 \text{ 光年} = 9.46 \times 10^{15}\text{m}$$

表 1-1-2

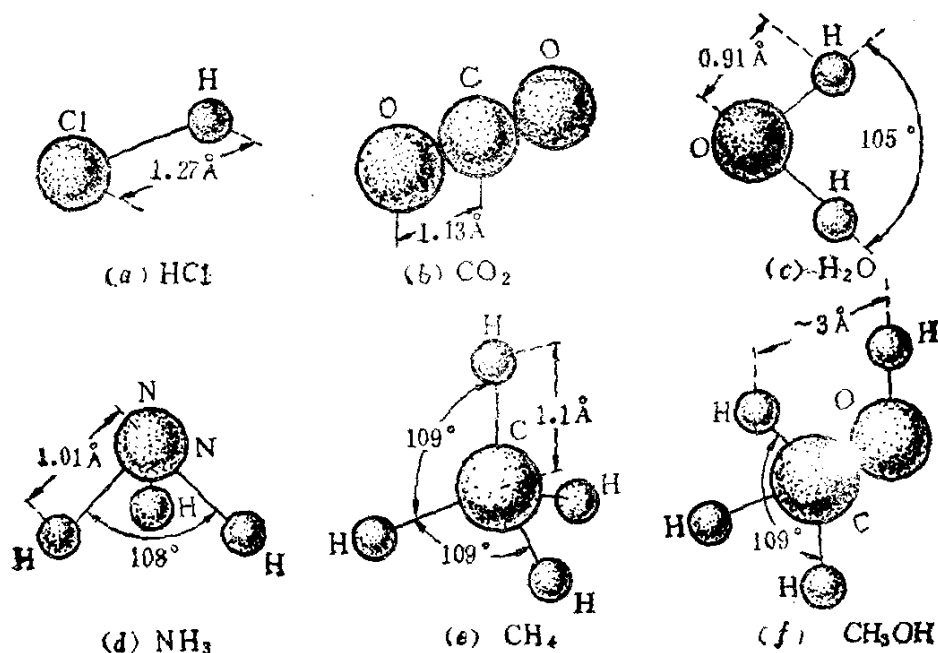
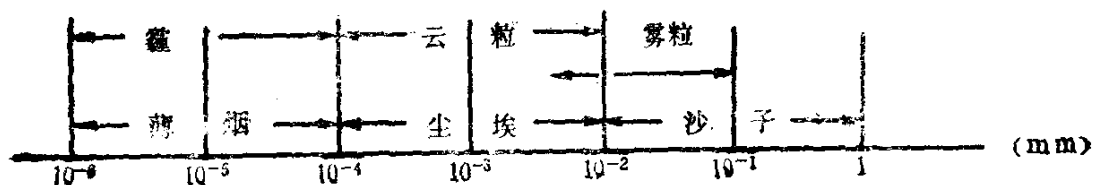


图 1-1-2

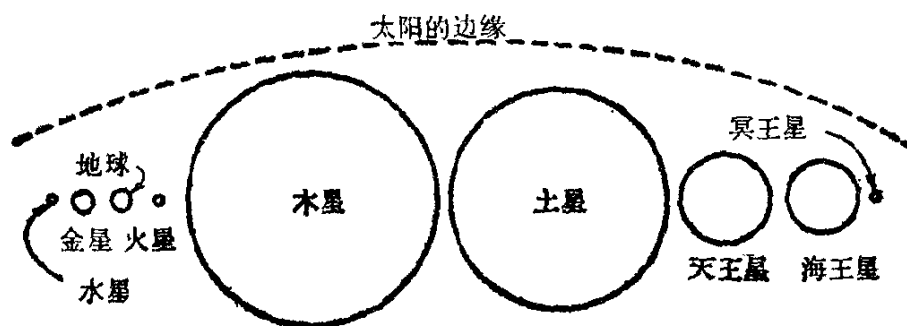


图 1-1-3

离太阳最近的恒星也在4光年以上，太阳近邻的其它一些恒星之间的距离大约为10光年，这使恒星直径与间距之比约为 10^{-7} 或

10^{-8} 。一恒星群的星际空间极端空虚，平均每 1cm^3 中含不到一个氢原子。

一个星系包含有 10^6 至 10^{11} 个恒星。我们的银河系是大星系之一，它的直径约 10^{21}m (10^5 光年)。平均来说，星系与星系之间的距离约为它们本身直径的 100 倍。

天文探测表明，星系在空间中的分布是均匀的，按理论估计，宇宙可以用一个半径为 10^{26}m (10^{10} 光年)的球来表示，星系一般显示出离我们而去，其速率与离我们的距离成正比。在 10^{10} 光年处，其退行速率将达到真空中的光速，这可能对可以探知的宇宙的广延程度设置了一个天然极限。

物质的层次以其线度计从 10^{-15}m 到 10^{26}m ，大小相差 10^{41} 倍，却几乎都与物理学密切相关。由此可见，物理学在自然科学中占有特殊的地位。

§ 1-1-3 物理学的特点

从表 1-1-1 中可以看出，各自然科学分支都与物质的线度有关，如化学的研究对象为原子、分子或巨型分子，其线度为 10^{-10} — 10^{-7}m 。而物理学则不然，它几乎和宇宙中各种线度的物质都有关系。如：力学的研究范围几乎从电子直到宇宙学；而粒子物理学、核物理学和原子物理学等都是物理学的重要分支；固体、液体和气体更是物理学的研究对象；天体物理学的理论部分是理论物理的重要组成部分。

物理学除研究“实物”(如表 1-1-1 中的实体)外，还研究关于“场”的问题。其实，电力、磁力都是通过“场”起作用的，电场和磁场的概念是法拉第 (1791—1867) 最先提出的，最后由麦克斯韦 (1831—1879) 于 1865 年建立了完整的电磁场理论。这种经典电磁场理论在生产实践和科学技术领域内有大量的应用，如电力系统、电磁探矿、粒子加速器、无线电报等；它的应用范围可从天体延伸至原子范围内。电磁场理论将电、磁、光三种现象统一起来。原