



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

物理学

(第二版) 上册

祝之光 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

物理学

(第二版)

上册

祝之光 编

易正湘 李佐周 修订



高等教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学. 上册 / 祝之光编. —2 版. —北京: 高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014437-9

I. 物... II. 祝... III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 044899 号

策划编辑 胡凯飞 责任编辑 王文颖 封面设计 王凌波
责任绘图 吴文信 版式设计 张 岚 责任校对 康晓燕 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所	版 次	1988 年 3 月第 1 版
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		2004 年 7 月第 2 版
开 本	787×960 1/16	印 次	2004 年 7 月第 1 次印刷
印 张	11.75	定 价	12.90 元
字 数	210 000		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题的子课题“应用型人才培养的创新与实践”项目的成果，是在第一版的基础上修订而成的。第一版曾获国家教委优秀教材二等奖。署名祝之光是本书编写组（包括李迺伯、李佐周、王子大、柯金星、曾庆福、陈灵草、曾毅、庄梅英、易正湘、方强等）的集体笔名。受祝之光委托，本版由易正湘、李佐周负责修订。第二版保存了原书的优点。

本书内容包括：质点运动、时间和空间，力、动量和能量，刚体定轴转动，气体分子动理论，热力学基础，静电场，稳恒磁场，电磁感应和电磁场，振动学基础，波动学基础，波动光学、波和粒子等共十二章及附录。

本书选材恰当，内容简练，深广度要求适度，物理概念清晰，教学体系安排有一定特色。书中各节前有预习要点，节后有习题，在各大部分之后编有讨论参考题和自我检测题。此外，还配套编写了本书的教师用书、音像教学光盘和学生学习指导书（另版），在教师用书中给出了本书各类题目的全部详细参考解答，更方便教和学。

本书编写了一些学生课外阅读材料，介绍与现代高新科技联系紧密的物理前沿知识，以开拓学生视野和激发学生的学习兴趣。

本书可作为高等学校理工科各专业70~90学时的大学物理课程的教材，也可供高职高专、成人高校等选用及有关科技人员参考。

第二版前言

祝之光编《物理学》(上、下册)自1987年正式出版以来,由于选材恰当,内容简练,物理概念清晰;既能使读者学习到从经典到近代物理学的最基本的知识和最常用的物理分析方法,为提高学生的科学素质奠定必需的物理基础,又在理论深度和广度的要求上较为适度;教学体系的编排也具一定特色,便于教和学,因而受到许多高等学校的欢迎,不仅专科的物理课程广为选用,而且本科的少学时大学物理课程也较多选用。在全国第二届普通高等学校优秀教材评选中,本套教材获得了国家教委二等奖。使用本教材的教师和读者对书中的不足之处也作了坦率的指正,并对本书的修订提出了许多好的建议。在此,本书的全体编者谨向关心、支持本书的教师和读者致以衷心的感谢。

近年来高等教育的发展迅猛,已趋大众化;高等学校中物理课程的设置和基本要求也呈多样化。为适应新形势的要求,更好地为我国的高等教育服务,在教育科学“十五”国家规划课题的子课题——应用型人才培养的创新与实践项目研究的基础上,本教材的编写集体特委托易正湘(武汉理工大学)、李佐周(广东工业大学)对本教材进行修订。修订版将力求保持第一版的优点和特色,主教材的基本框架和体系不变,只对某些重要的基本知识点的介绍作了必要和适当地充实;更换了部分习题、讨论题和自我检测题,使之更为符合读者的水平和要求;补充编写了一些学生课外阅读材料,介绍和现代高新科技联系紧密的物理前沿知识,以开拓学生的视野、激发学生的学习兴趣。在使教材立体化方面,我们在主教材之外还编写了与本教材配套的教师用书、学生学习指导书,还将编写适用于多媒体教学的音像教材。

本教材的第二版,适用于高等学校70~90学时的大学物理课程,是高等学校本科和专科及成人高等院校都可选用的大学物理教材,特别适用于应用型人才的培养。本教材第二版中加“*”号部分为选讲内容,教师可根据本校物理课程的教学要求自行选取。

这次修订,由李佐周负责绪论,第一、二、三、六、七、八章,阅读材料一、五、十及附录;易正湘负责第四、五、九、十章及阅读材料七、八;吕大韵负责第十一、十二章及阅读材料二、三、四、六、九;最后由易正湘完成统稿工作。

第二版请周勇志教授和欧发教授审稿。两位教授不顾年事已高,冒着酷

暑，不辞辛劳，严谨、细致地工作，以他们卓越的学识和丰富的物理教育经验，悉心指导编者顺利完成了修订任务，编者特向他们表示崇高的敬意。

编者水平有限，第二版中仍难免有疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编者

2003年9月

第一版前言

1986年国家教委委托集美航海专科学校召开的教学研讨会上，拟出了高等工业专科学校《物理学课程教学基本要求（征求意见稿）》。本书根据这一文件，在广东科技出版社1985年出版的《物理学基础》（熊秉衡主编、苏曾燧主审）一书的基础上，作了全面的修改，但仍保存了原书的特点。本书力求使学生学到物理学中最基本的规律和概念，掌握比较完整的物理图像，而在理论深度上要求适度，并注意物理理论在工程技术上的应用。为此，在内容的精选和更新上，在深广度的掌握上，以及物理意义的阐述等方面，做了较大的努力。书中附有讨论参考题和自我测验题，希望有利于教师讲授和学生自学，有利于培养学生的自学能力、分析问题和解决问题的能力。

鉴于各类专科学校对物理学课程的要求差异较大，又有二年制和三年制之分，本书内容作如下安排：大字排印部分，是基本内容，适应于二三年制各类专科的教学需要；三年制则应在此基础上增加记有*号的内容；小字排印的内容，是供某些专业选用和某些学生深入学习的需要而编入的。

本书采用国际单位制。物理量的名称和符号尽量采用国家标准（GB 1986年发布）。

参加本书编写的有（按原书分章执笔的顺序）李迺伯（中国计量学院）、李佐周（广东建筑工程专科学校）、王子大（湖南建材工业专科学校）、柯金星（集美航海专科学校）、曾庆福（中国民航飞行学院）、陈灵草（郑州航空工业管理学院）、曾毅（南昌水利水电专科学校）、庄梅英、易正湘（武汉河运专科学校）、方强（连云港职业大学）。各编者分别提出了各章的修改稿。由李迺伯（绪论，第1~5章）、李佐周（第6~8章，附录）、庄梅英（第9~12章）统稿。王子大、柯金星参加了初审后的修改工作；李迺伯、李佐周、柯金星完成了复审后发稿前全书的修改工作。王子大、李佐周为本书出版做了大量组织联系工作。本书是集体劳动的成果。祝之光是我们的笔名。

广东科技出版社和本书编者所在的学校，对本书的编写和出版给予了大力支持。编者在此表示衷心感谢。

编者水平有限，且时间仓促，疏漏错误之处，恳请读者指正。

编者

1987年6月于北京

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

绪论——物理世界	1
§ 0-1 微观 宏观 宇观	1
§ 0-2 基本作用	4
§ 0-3 物理的定量研究	5
§ 0-4 物理学不断进步	8
第一章 质点运动 时间 空间	10
§ 1-1 质点运动的描述之一	10
§ 1-2 质点运动的描述之二	20
§ 1-3 经典时空观及其局限性	28
* § 1-4 相对论时空观念	34
讨论参考题之一	40
第二章 力 动量 能量	42
§ 2-1 牛顿运动定律	42
§ 2-2 动量定理和动量守恒定律	53
§ 2-3 功 动能定理	61
§ 2-4 功能原理 机械能转换和守恒定律	69
* § 2-5 质量 - 速率关系 质量 - 能量关系	79
阅读材料之一 广义相对论简介	85
第三章 刚体的定轴转动	90
§ 3-1 刚体定轴转动的动能定理和转动定律	90
§ 3-2 定轴转动的动量矩定理和动量矩守恒定律	100
讨论参考题之二	105
自我检测题之一	106
第四章 气体动理论	111
§ 4-1 宏观与微观 统计规律	111
§ 4-2 理想气体的压强与温度	113
§ 4-3 能量均分定理 理想气体的内能	119
§ 4-4 麦克斯韦速率分布律 * 玻耳兹曼能量分布律	122

阅读材料之二 我们的宇宙 (一)	
——大爆炸宇宙模型	129
第五章 热力学基础	133
§ 5-1 热力学第一定律及应用	133
§ 5-2 循环过程 卡诺循环	144
§ 5-3 热力学第二定律	149
讨论参考题之三	155
自我检测题之二	156
阅读材料之三 我们的宇宙 (二)	
——恒星的演化	157
阅读材料之四 能量的退化	159
附录 1 矢量	163
附录 2 国际单位制 (SI)	168
附录 3 常用物理常数	172
附录 4 数学公式	174
习题答案	176

绪 论

——物理世界^①

进入科学技术的任何一个领域，都必须敲开物理学的大门。

§ 0-1 微观 宏观 宇观

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和运动形态的基本规律的科学。物理学的研究目的在于认识物质运动的普遍规律和揭示物质各层次的内部结构。

物理科学涉及范围极广。它既研究人们身旁发生的物理现象，也研究宇宙中天体的运动及构造，还研究微观领域中物质的运动规律。

宏观物体，形式多样，五光十色。它们都是由各种分子和原子组成。各种不同元素的原子又都由质子、中子和电子组成。而质子和中子还有内部结构，它们由更基本的粒子——夸克组成。按照现在的粒子物理标准模型，目前，还没有发现具有内部结构的粒子约有三大类共 62 种。包括构成物质基本“砖石”的 18 种夸克和电子、 μ 子、中微子等 6 种轻子及其反粒子共 48 种；传递各种相互作用的粒子如光子、胶子等 13 种，以及一种理论上预言的特殊粒子——希格斯粒子。除了希格斯粒子和引力子外，其余都已被实验所证实。这些粒子是最“基本”的吗？还有没有新的层次？大千世界就是由这些“基本粒子”构成的吗？……科学家们正进一步努力探索着。

从整个宇宙来看，我们的太阳系只是这宇宙中的沧海一粟。太阳系是银河系的一小点。银河系之外，还有河外星系。银河系只是宇宙的极小部分。宇宙有多大？宇宙的历史有多长？既是科学家感兴趣的问题，也是哲学家热衷的课题。对天体及其运动规律的研究似乎是天文学家的事情。然而，对于天体（主要是行星）的运动规律的研究曾总结出万有引力定律，大大促进了物理学的发展。直到今天，天文学和物理学仍然是既合作又互相促进的兄弟学科。从遥远的天体传来的信息（星光或无线电波）表明，天体也是由在地球上发现的同样的原子和基本粒子构成的；在地球上发现的物理规律又有助于我们理解

^① 绪论中的 § 0-1 和 § 0-2 是为扩展学生眼界而写的，仅供学生阅读。

来自天体的信号。

现在，关于宇宙起源、演化的理论——“大爆炸宇宙模型”^①已被普遍接受。根据这一模型，宇宙大约在 140 亿年前的一次大爆炸中创生，时空和物质也由此创生。随着宇宙的不断膨胀，宇宙从早期高温高密度的一片混沌中一步步演化发展出复杂、有序、多样化的结构：从微粒子、原子核、原子、分子，乃至构成生物体细胞的生物大分子；从星云、星系、乃至太阳、地球、人类，等等。按照这一模型，宇宙的演化所经历的几个主要阶段列在表 0-1 中。

表 0-1 宇宙的演化所经历的几个主要阶段

时间 (单位: s)	阶 段
0	大爆炸开始
10^{-6}	粒子处于热力学平衡
1	平衡中止
10^3	氦形成, 开始形成化学元素
10^{12}	复合
$10^{12} \sim 10^{16}$	星系形成
2×10^{17}	太阳系形成
4×10^{17}	今天

据估算，宇宙半径的数量级为 10^{27} m。表 0-2 中再列出客观世界各种实物的尺度的数量级。

表 0-2 客观世界的空间尺度

空间尺度 (单位: m)	实 物
...
10^{27}	宇宙半径
10^{24}	地球到最近的河外星系的距离
10^{21}	地球到银河系中心的距离
10^{18}	地球到最近的恒星的距离
10^{15}	冥王星的轨道半径
10^{12}	地球到太阳的距离
10^8	地球到月球的距离
10^6	人造卫星的高度
1	一个孩子的高度
10^{-3}	一颗细砂粒
10^{-6}	病毒
10^{-11}	玻尔半径
10^{-15}	原子核半径
...

① 参阅阅读材料之二

从宏观到微观，从宏观到宇观，我们对物理世界的认识已达到如此细微和遥远。从表 0-3 可以看到在这么广大范围内各种实物的质量的数量级。

表 0-3 客观世界各种实物的质量的数量级

质量 (单位: kg)	物 体
...
10^{44}	银河系
10^{30}	太阳
10^{24}	地球
10^{22}	月球
10^7	一艘巨轮
10^2	一个人
10^{-4}	一枚邮票
10^{-27}	一个质子
10^{-30}	一个电子
...

宏观物体由大量的分子、原子等微观粒子组成。不同物体的微观构成及环境的差异，表现出宏观特性迥然不同。就物质形态而言，可分为固态、液态、气态、等离子态等。固态和液态现在常统称为凝聚态。

固态物体中的分子、原子或离子有相对固定的位置，因而整个物体有固定的形状。其中有一定规律排列者称为晶体；没有一定规律排列者称为非晶体。

液态物质中的分子没有固定的位置，可以相对移动。所以液体没有一定的形状。但是液体分子之间的距离仍较近，分子间的作用力使得液体总是凝聚在一起，形成一定的表面。

气态物质，分子间的距离很大，分子间的作用力极弱，分子可以自由行动。因此气体总是充满整个容器。

在一定条件下，中性原子将全部离解为正、负离子。物质的此种形态称为等离子态。例如在太阳和恒星的内部，温度达到几百万甚至上千万开尔文，其中的物质就处于等离子体状态。极高的温度，给不间断的热核反应创造了极好的条件。太阳及其他恒星正是依靠连续的热核反应维持极高的温度，向外辐射能量。

有趣的是，还存在着质子态和中子态的物体。晚期的恒星在耗掉大量能量之后，星体的巨大质量引起的万有引力把全部核子（中子和质子）集中在一

起，相当于一个巨大的原子核。星体被压缩成密度极大的天体，原子的构造被破坏。众多的电子包围着这种天体。天文学家称为白矮星。质量更大的晚期恒星的巨大压力甚至可将电子压入原子核，与核中质子结合成中子，整个星体主要由中子构成，称为中子星。

上面只给出自然界中的无生命物质图景的大概轮廓。应该指出，不要把上述图景看成静止的。无论是深入到原子内部，还是大到宇宙中的天体，所有物体都处在不停息的运动中。

§ 0-2 基本作用

通常把物体之间的相互作用称为力。现在，人们认识了的自然界中的基本作用力共有四种，它们是：引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用。

万有引力和电磁力在 20 世纪以前已被认识。强力和弱力则是在研究原子核和基本粒子过程中认识的。这四种相互作用的相对强度（以强相互作用的强度为 1）和作用范围的比较如表 0-4 所示：

表 0-4 四种相互作用的相对强度

力的种类	强相互作用	电磁相互作用	弱相互作用	引力相互作用
相对强度	1	10^{-2}	10^{-12}	10^{-40}
作用范围/m	10^{-15}	长	$< 10^{-17}$	长

强相互作用是发生在核子（中子、质子）之间，使原子核结合在一起的力。它不像万有引力和电磁作用那样与距离平方成反比。当两个核子的距离大于 10^{-14} m 时，它们之间的强相互作用微弱得可以忽略不计；而当它们的距离小于 10^{-14} m 时，相互吸引的强相互作用骤然增大；然而，当两个核子靠得更近些，达到 2×10^{-16} m 时，核子之间的作用又变成巨大的斥力。参与强相互作用的基本粒子，称为强子。一切强子都参与弱相互作用，此外，参与弱作用的有电子、中微子等轻子。弱相互作用的范围更小，小于 10^{-17} m。万有引力在四种作用中最弱，只在研究天体的运动时，由于其质量巨大，万有引力才起主要作用。有电荷或磁矩的粒子之间都有电磁作用。电磁作用在宏观领域和微观领域都起重要作用。

基本作用过程可以举例说明如下。两个电子之间的电磁相互作用是：其中一个电子放出一个光子 γ ，此电子变成能量较低电子。光子向第二个电子移动，被吸收，此第二个电子变成能量较高的电子。如此，光子在两个电子之间

不断前后传递,把能量和动量从一个电子传到另一个电子.每个电子的动量的变化率,等于另一个电子向它施加的电磁力.两个带电粒子之间的电磁相互作用,用它们之间交换光子来解释.所以又称为交换力.电磁作用的传递者是光子.强作用的传递者是胶子.弱相互作用的传递者是 W^+ 和 Z^0 粒子.引力相互作用的传递者被认为是引力子.但引力子至今尚未被发现,一般估计,在不远的将来,也许还找不到它,这是因为引力相互作用太弱.

爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955) 生前追求统一场论,他企图建立一个包括引力场(引力作用)和电磁场(电磁作用)的统一场理论.而建立四个基本作用之间的统一的理论是物理学界追求的目标.爱因斯坦奋斗了30年,未能成功.他带着热切的希望和必定成功的信念离开人世.1961年美国物理学家格拉肖 (S. L. Glashow, 1932—) 首先提出弱相互作用和电磁作用统一的基本模型,1967年美国物理学家温伯格 (S. Weinberg, 1933—) 和巴基斯坦物理学家萨拉姆 (A. Salam, 1926—1996) 独立地对此模型进行了发展和完善,随后,该理论得到实验证实.物理学向统一场论迈出了坚实的一步.

人们在日常生活中的直觉的力很多,例如两个物体碰撞时的相互作用力、摩擦力、气体分子对器壁的压力等.它们都起源于分子间的相互作用,即与分子有关.而分子力与原子中的电结构有密切联系.原子之间的作用的基础是电磁作用.这种力足够大,通常正、负电荷总是紧密地结合在一起.

§0-3 物理的定量研究

本书是物理基础教材,书中只涉及物理学最基本的知识.为帮助读者熟悉物理研究中的一些特点,从中得到点学习方法上的启发,就如下几个问题作一简单介绍.

一 物理模型

为了突出所要研究的主要问题,便于寻求规律,物理学常常把所研究的对象加以简化,使之抽象成理想的模型.这种理想模型保留实际物体的主要特征.次要因素则不予考虑或暂时不予考虑.此类理想模型被称为“物理模型”.例如质点、刚体、理想气体等,都是物理模型.

经典力学研究宏观物体的运动,定义质点这一理想模型后,既可很方便地处理简单的力学问题,又能以此为起点,进一步研究复杂的力学问题.

质点是指在运动中可以忽略其线度大小而看作一个点的物体,或者说,它是一个具有质量的点(与几何点区别,又称它为物理点).它保留了物体的两个主要特征:物体的质量和物体的空间位置.在如下情况下可以把运动物体当

作质点处理.

(1) 物体作平动. 这时, 物体内各点具有相同的速度和加速度. 我们可以把它当作一个质点来研究其运动. 通常把物体的质心当作此质点的位置, 想像地认为物体的全部质量都集中在这一点.

(2) 运动物体的尺度比它运动的空间范围小得很多. 这时也可把此物体看作质点. 例如在研究地球这个庞然大物绕太阳的公转时, 可以忽略地球的大小和转动, 当作一个质点对待.

如果所研究的物体不能当作一个质点处理, 那么, 我们可以把运动物体看作若干个质点的集合——质点组. 研究了其中每一个质点的运动之后, 整个物体运动情况也就清楚了.

在往后学习的过程中, 读者将会看到, 在物理学的每一个领域里, 都会遇到物理模型. 除了上面谈到的质点、质点组和理想气体之外, 振动学中的谐振子, 波动学中的理想弹性介质, 关于热机的卡诺循环, 电学中的点电荷, 几何光学中的光线, 关于物质结构的原子模型、核模型等, 都是物理模型. 人们总是先使客观对象理想化、简单化, 形成一定的物理模型, 认识了其主要特征, 然后再把这种认识向客观实际逼近, 使对物质世界的认识更全面、更真实. 可以毫不夸张地说, 是各种各样的物理模型, 把人们的认识一步一步地引向物理世界的深处.

二 物理量和物理公式

物理量和物理公式是物理学在描述物体的运动特性和规律时使用的专门词汇. 物理量是用于定量描述物理现象的, 一般可简称为量.

力 F 、质量 m 、能量 E 、温度 T 、电场强度 E ……都是物理量. 在物理学家的眼中, 客观世界变成了许许多多物理量; 自然界的物理规律变成了联系物理量的物理公式. 每一个物理量都被赋予严格、准确的涵义. 读者只有透彻地理解每个物理量的涵义, 进入物理领域才能感到不陌生, 才能自由地进行抽象思维.

不妨在这里介绍一下人们对动能这个物理量的认识 and 确立过程. 1669 年, 惠更斯 (C. Huygens, 1629—1695) 在研究碰撞时发现, 参与碰撞的每个物体的质量与速度平方的乘积 mv^2 之和守恒. 于是, 把 mv^2 称为物体的活力. 后来, 研究力对物体做功, 发现做功只改变活力的二分之一 (即 $\frac{1}{2}mv^2$), 才重新定义了动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. 动能被确定, 是 19 世纪的事情. 从活力 mv^2 到动能 $\frac{1}{2}mv^2$, 仅仅差一个 $\frac{1}{2}$ 因子, 却经历了差不多二百年的历史. $\frac{1}{2}$ 这个因子的有

无，反映了这个物理量是否有实在的物理意义。从爱因斯坦相对论质能公式也可以证明， $\frac{1}{2}mv^2$ 是相对论普遍动能公式 $E_k = mc^2 - m_0c^2$ 的经典近似。

国家标准 (GB 3101—93) 指出，“物理量是通过描述自然规律的方程式或定义新量的方程式而相互联系的。”这里所说的方程就是我们常说的物理公式。对物理公式，不要停留在数学关系上去认识它，应该理解它所包含的物理内容。为了帮助读者学习，我们把物理公式大致分为如下三类：

(1) 物理定律，例如

$$F = ma; pV = \frac{m}{M}RT; F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} e_r$$

这一类公式描述了从实验中总结而得出的物理定律，它建立了不同的物理量之间的联系。例如 $F = ma$ ，是把质点的质量、它所受的力和因此而获得的加速度这三个物理量之间在数量和方向上的关系用一个等式联系起来。

(2) 从物理定律出发得到的重要的理论结论，如高斯定理

$$\oint_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \rho dV$$

它是从库仑定律（实验结论）出发，经过对静电场性质的深入分析，演绎推理之后得到的结果。这类公式往往比较抽象，而它们所表达的物理内容却更为深刻。

(3) 物理量的定义式，如

$$\text{动量 } p = mv; \quad \text{功 } W = \int_l \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r};$$

$$\text{转动惯量 } I = \int_V r^2 dm; \quad \text{磁通量 } d\Phi = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \text{ 等.}$$

这一类公式是以等号右方的物理表达式来定义等号左方的物理量。因而这类公式的左、右两方，不仅在数学意义上是相等的，而且物理意义也相同。例如：

$$p \stackrel{\text{def}}{=} mv$$

等式中的“def”表示定义的意思。上式可读为“按定义， p 等于 mv ”。

三 量度 单位 量纲

没有量值的量度，很难说是一门精确的科学。科学离不开测量和量度。欲进行有意义的量度，必须对每个物理量规定（定义）单位。国家标准 (GB 3102—93) 指出，“在同一类量中，如选出某一特定的量作为一个称之为单位的参考量，则这一类量中的任何其他量，都可用这个单位与一个数的乘积表示，而这个数就称为该量的数值。”