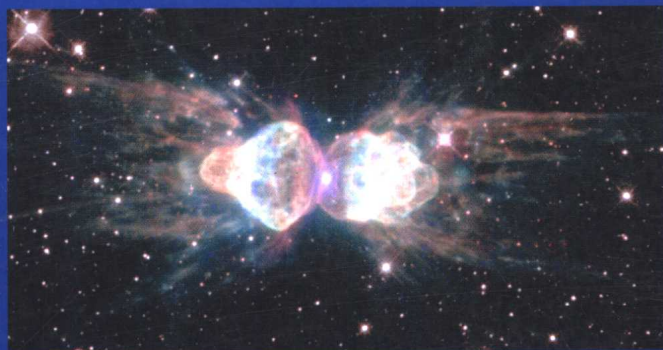


科学版词典系列

DICTIONARY
of
PHYSICS

物理学词典

徐龙道 等 编著

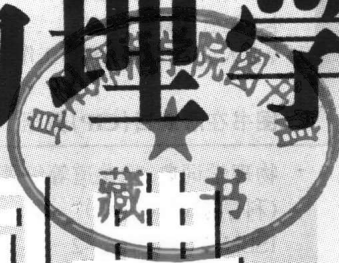


科学出版社
www.sciencep.com

科学版词典系列

DICTIONARY OF PHYSICS

物理学 词典



徐龙道 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本词典收集了物理学多个学科的常用、基础和必要的名词术语 5000 余条,并提供简明扼要的定义或概念解释,内容涵盖:物理学总论、力学、热学、声学、电磁学、光学、原子和分子物理学、电动力学、无线电物理学、热力学、统计物理学、量子力学、量子场论、原子核物理学、粒子物理学、固体物理学、低温物理学、半导体物理学、磁学、液晶、等离子体物理学、相对论、天体物理学、生物物理学、医学物理学、非线性物理学、计算物理学等,书后附有物理学常用资料及中英文词目索引。

本书适合本科及本科以上学历读者使用,是广大物理学工作者和相关学科专业人员、物理教学科研工作者及大专院校师生的便利参考工具。

图书在版编目(CIP)数据

物理学词典/徐龙道等编著. —北京:科学出版社,2004.5
(科学版词典系列)

ISBN 7-03-009564-2

I. 物… II. 徐… III. 物理学-词典 IV. O4-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 040810 号

责任编辑:黄 海 顾英利 / 责任校对:鲁 素
责任印制:安春生 / 封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 5 月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2004 年 5 月第一次印刷 印张:34 5/8

印数:1—3 000 字数:1 746 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

物理学词典编委会

顾问 魏荣爵 冯 端 王业宁 闵乃本 张淑仪
蒋树声

主 编 徐龙道

副主编 欧阳容百 张世远

编 委 (以姓氏拼音为序)

陈世民	陈廷扬	杜家方	高文琦	金 新
柯善哲	李宗云	凌一鸣	刘 法	宁新宝
秦允豪	沈洪清	孙广荣	唐 汉	席德勋
熊诗杰	徐效海	张尧培	赵其昌	朱 兵
朱沛臣				

编写人员 (以姓氏拼音为序)

陈世民	陈廷扬	陈伟中	陈增兵	丁月蓉
杜家方	冯 端	冯 若	甘心照	高文琦
贡淑怡	顾书林	洪宝晋	黄晓林	江 南
金 新	柯善哲	李宗云	凌一鸣	刘 法
缪国庆	缪 源	宁新宝	欧阳容百	秦国毅
秦允豪	沙湘月	沈 波	沈洪清	沈 瑞
盛玉宝	施 毅	孙广荣	唐 汉	王 凡
王桂琴	王 牧	王均义	巫颐秀	吴凤美
吴文虬	席德勋	肖福康	熊诗杰	徐躬耦
徐龙道	徐其高	徐效海	叶式公	曾 琴
张汉鹤	张 荣	张世远	张淑仪	张尧培
赵其昌	朱 兵	朱沛臣	朱哲民	庄国良

前 言

物理学作为一门带头性的基础学科,是技术革命的先导,并广泛应用、渗透于自然科学和社会科学的各个领域,产生许多交叉学科、边缘学科、应用学科和新兴学科。物理学的成就对推动科学和高新技术的发展起着不可替代的重要作用。新世纪已经到来,我们面临着科学进步日新月异、人才竞争更趋激烈的严重挑战,时不我待,必须迅速而有效地提高广大青年学生的科学素质及创新能力。

本词典的读者以大学本科生为主,同时兼顾研究生。它也适合于大学和中学有关教师以及广大物理学工作者和相关学科专业人员阅读。本着“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的精神,希望在帮助读者掌握物理学基础知识,提高物理学素养,拓宽知识面,增强应用物理学知识分析问题、解决问题的能力方面起到积极的作用,获得良好的效果。为此,力求形成如下特色:

1. 收词的面宽广一些

收词范围涵盖物理等专业本科的基础课程、专业课程并适当延伸至有关的研究生学位课程,包括力学、热学、声学、电磁学、光学、原子和分子物理学、电动力学、无线电物理学、热力学、统计物理学、量子力学、量子场论、原子核物理学、粒子物理学、固体物理学、低温物理学、半导体物理学、磁学、液晶、等离子体物理学、相对论、天体物理学、生物物理学、医学物理学、非线性物理学、计算物理学等。

2. 描述精细一些

词条的阐述以内涵为主,外延为辅;以定性为主,定量为辅。着重对物理学的现象、概念、原理、定理、定律、理论等,作定性的或定量的描述。必要时借助图表进行阐述,写出基本的或重要的公式并说明其物理意义。部分词条还就其某些重要应用、与外部的关系等予以拓展,给出必要的叙述。这样,就显得有血有肉、较为清晰,便于理解。还有一部分词条内容丰富,涉及的问题较多,它们往往都包含了若干较小的但不宜单独撰写的词条,如需阅读这些较小的词条时,可参见有关词条,如此安排既保持了相互之间的内在联系,比较科学系统,又节省了篇幅。

3. 内容新颖一些

撰写人员吸取了教学和科研工作的成果和经验,力求将词条写得富有新意,且反映本学科的一些新成就和新动态。

本词典涉及面广,工作量大,参加编写的人数较多,写作风格有所差异,且水平有限,存在某些缺点和不足甚至谬误之处在所难免,敬请专家和读者们批评指正,不胜感谢。非常荣幸地聘请中国科学院院士魏荣爵、冯端、王业宁、闵乃本、张淑仪等教授以及南京大学校长蒋树声教授担任本词典的顾问,得到他们的大力支持和指导,冯端院士和张淑仪院士还亲自撰写、审稿,在此谨表示衷心的感谢。南京大学物理系和电子科学与工程系的领导对词典的编写工作自始至终给予大力支持和热情关怀,物理系原系主任张世远教授直接参与组织领导并亲自撰写词条,谨致衷心的感谢。

徐龙道 欧阳容百

2004 年 2 月

使 用 说 明

1. 本词典内容涵盖物理学专业本科的基础课程、专业课程,并适当延伸至有关的研究生课程,还涉及当前科学研究中的主要热点新词新语。
2. 书中词条一般由以下三部分顺序组成:中文词目、英文词目、释文。词条的阐述以内涵为主、外延为辅,以定性为主、定量为辅,力求清晰明确、易于理解。
3. 一个词条的内容涉及其他词条或需由其他词条补充的,一般采用“参见”形式,以“见”字加“引号”标出。如:强光光学……见“非线性光学”。
4. 正文之后有诺贝尔物理奖简表、物理量单位与量纲、基本物理常数等6个附录。
5. 为方便查阅,书末设有两个索引。英文词目索引按英文字母顺序排列,其他字符不参加排序;中文词目索引主要按汉语拼音,并辅以汉字笔画、起笔笔形顺序排列。

目 录

物理学总论	1	一、几何光学	188
力学	4	二、光度学	206
一、静力学	4	三、色度学	208
二、运动学	5	四、干涉	212
三、动力学	8	五、衍射	226
四、分析力学	28	六、偏振	238
五、连续介质力学	34	七、散射和吸收	247
六、相关杰出科学家的简要介绍	41	八、傅里叶光学	249
热学	45	九、全息	256
一、热力学基本规律	45	十、非线性光学	260
二、分子动理学理论	78	十一、激光	264
三、液体与表面	100	十二、统计光学	269
声学	113	原子与分子物理学	281
一、振动与波	113	一、原子物理学总论	281
二、物理声学	121	二、原子结构	291
三、非线性声学	127	三、原子理论	295
四、量子声学	127	四、原子光谱	299
五、电声学	128	五、分子物理学总论	310
六、超声学	134	六、分子结构	317
七、光声学	139	七、分子光谱	321
八、水声学	140	八、射频和微波波谱学	323
九、建筑声学	146	九、分子碰撞	324
十、环境声学	149	十、原子和分子的电离	324
十一、生理声学	152	电动力学	325
十二、语言声学	153	一、基本概念和基本规律	325
电磁学	155	二、稳恒电磁场	332
一、静电场	155	三、电磁波	336
二、稳恒磁场	162	四、电磁流体力学	338
三、电磁感应	169	五、辐射	341
四、电路	171	六、带电粒子和电磁场	345
五、电磁学的单位制	185	七、关于电动力学的狭义相对论	356
光学	188	无线电物理学	361
		一、电子电路	361

二、电磁场理论	379	一、粒子的特性和分类	657
三、微波理论与技术	382	二、强子结构	668
四、无线电物理学	389	三、探测仪器和加速器	674
热力学	401	固体物理学	682
一、系统的描述与规律	401	一、概论	682
二、均匀系统	404	二、晶格结构	684
三、相平衡与相变	411	三、固体能带结构	686
四、化学热力学	426	四、晶格振动和声子	690
统计物理学	430	五、电介质与铁电体	691
一、几个基本概念	430	六、磁学性质	691
二、近独立粒子系统经典统计理 论	431	七、导电性质	693
三、系综理论	438	低温物理学	694
四、量子统计理论	460	一、低温物理学概要	694
五、涨落、相关函数和涨落耗散定 理	482	二、超流动性	697
六、非平衡统计物理	498	三、超导电性	704
七、相变和临界现象	513	四、低温工程和低温技术	744
八、量子统计系综和统计算符	526	半导体物理学	774
九、量子流体的统计理论	531	一、半导体物理学	774
量子力学	540	二、半导体材料	784
一、量子力学的实验基础	540	三、半导体器件	789
二、量子力学的基本概念	547	四、半导体技术	794
三、量子力学的数学表达	559	磁学	797
四、单粒子问题	570	一、基本磁性	797
五、量子力学的近似方法	583	二、磁效应	800
六、自旋与角动量	588	三、磁学量与磁化过程	804
七、多粒子系的量子力学	592	四、动态磁性 & 磁损耗	814
八、量子力学的新词汇	596	五、磁性材料	820
量子场论	603	液晶	829
原子核物理学	628	等离子体物理学	835
一、原子核的基本性质	628	相对论	847
二、原子核结构	634	一、狭义相对论	847
三、原子核衰变	637	二、广义相对论	862
四、原子核反应	644	天体物理学	872
五、原子核裂变和聚变	649	生物物理学	888
六、中子物理	653	一、理论生物物理学	888
粒子物理学	657	二、分子生物物理学	890
		三、细胞与膜生物物理学	894

四、感官与神经生物物理学	896	计算物理学	936
五、放射生物物理学	898	一、代数方程的解	936
六、光生物物理学	900	二、代数方程组的解	937
七、生物组织的物理特性	902	三、矩阵运算	938
八、生物控制论	903	四、常微分方程(组)的解	940
九、生物物理技术	906	五、偏微分方程及其解	941
医学物理学	907	六、算符方程的近似解	942
一、电子医学	907	七、计算凝聚态物理	947
二、激光医学	912	八、量子多体问题	948
三、核医学	912	附录	952
四、微波医学	913	附录一 诺贝尔物理奖简表	952
五、运动医学和热医学	914	附录二 物理量单位与量纲	963
六、超声医学	920	附录三 基本物理常数	972
七、磁医学	922	附录四 能量转换因子	977
非线性物理学	925	附录五 高斯单位制和 SI 单位	
一、状态空间	925	制的电磁单位和公式换算	979
二、突变	928	附录六 原子在基态时的电子组	
三、分岔与混沌	929	态	983
四、分形	933	英文词目索引	989
五、逆散射变换	934	中文词目索引	1049

General Introduction of Physics

物理学总论

物理学是研究物质与运动的基本规律的科学,其内容包括物质的结构,物质间的各种基本相互作用和物质的一些基本运动形态等。

物质世界包罗万象,层次繁多。在小尺度(小于纳米)的微观领域内,存在有不同层次的粒子,诸如基本粒子、原子核、原子与分子等,相应地有物理学的分支学科,如粒子物理、原子核物理以及原子与分子物理。在人们感官可感知的宏观领域内,存在有不同的聚集态,诸如固态、液态、气态和等离子态,相应地有凝聚态(包括固态与液态)物理和等离子体物理等。众多物相可以汇集成尺度更大的体系,诸如行星、恒星、星系、星系团等,乃至囊括一切的宇宙,均可以作为物理学研究的对象。这些就构成与地球科学、天文学的交叉学科:地球物理、天体物理与宇宙学。

物质的基本相互作用目前已知共有4种,即长程的万有引力与电磁作用力和短程(局限于 10^{-15}m 之内)的弱作用力与强作用力。长程的相互作用是人们感官得以直接感知的,而短程相互作用仅出现在原子核内部和一些基本粒子之间。相互作用是通过场的媒介来传递的,引力场、电磁场与规范场即为其实例。因而对场的研究在现代物理学中也占有重要地位。

物理学所关注的运动形态,有宏观的,如机械运动、电磁现象与热现象,相应的学科为力学与声学、电磁学与光学、热学;也有微观的,如各个层次粒子的运动、跃迁与反应,构成了粒子物理、原子与分子物理所研究的对象。物质的运动总是在一定的空间和时间里呈现的,这样空间、时间及其参考系也成为物理学研究的对象。

实验研究是物理学的基础。精密的定量测量构成了物理学的特色。只有在取得大量的经验规律之后,方始可能建立融会贯通的理论体系。而这些理论又会对某些特定问题提出具体的预言,有待于物理实验来对之甄别,即予以证实或证伪。这样,经过了实验物理学家

与理论物理学家的大量工作和反复推敲,去伪存真,使得物理学的理论具有了一定程度的可信性。当然,随着研究范围的扩大以及研究深度与精确度的提高,又会发现一些现象的实验结果与原有理论相悖,导致对理论的修正和更改,在某些情况下,甚至推翻原有的理论,建立新的理论。大量的例证存在于物理学史之中。

经典力学是物理学中最早成熟的分支学科。17世纪初开普勒根据天文学的观测数据导出了行星运动三定律这个重要的经验规律。几乎同时,伽利略通过落体、抛物体和摆的实验,总结出动力学的初步理论。随后牛顿进行了深入的研究,总结出三条运动定律和万有引力定律,为经典力学奠定了基础。以后的发展体现于许多方面,一方面在应用上大见成效,其次是在表述上变换得更加精巧和具有普适性,进而推广到不同性质的媒质,分别创建了刚体力学,弹性力学,流体力学和声学(处理机械波的传播)。

电磁学在18、19世纪取得重大进展,通过库仑、安培、法拉第等人的实验研究,建立了有关静电、静磁与电磁现象的若干基本规律。集其大成的是19世纪下半叶的麦克斯韦,他总结出了能够全面描述电磁现象的基本理论,即麦克斯韦方程组。这一理论预言了电磁波,随后即为赫兹的实验所证实。原来独立发展的光学,至此归结为可见频段的电磁波的研究,从而纳入了电磁学的范围。探索和研究宽广的电磁波谱,从无线电波到微波与厘米波,从红外光、可见光到紫外光,从X射线到 γ 射线,一直持续到20世纪。

对热现象的研究导致19世纪中叶热力学的建立。其第一定律就是能量守恒定律,适用于任何宏观与微观过程,其有效性遍及物理学和整个自然科学;其第二定律就是熵恒增定律,确定了不可逆过程中的时间之矢。对热现象在微观层次上进行探究,导致了分子动理学和经典统计物理学的问世,麦克斯韦、玻尔兹曼

与吉布斯对它作出了重要贡献。这是在物理学中首次明确地引入了微观粒子(分子与原子)的概念。

应该强调指出,经典物理学已经孕育出一系列工程技术:建立在经典力学基础上的有机机械工程、土木建筑工程和航空航天技术;建立在经典电磁学基础上的有电机工程、无线电工程和电子工程;建立在热力学基础上的有动力工程和工程热物理等。经典物理学也促进了其他自然科学的发展,如经典力学之于天体力学,热力学与统计力学之于物理化学等。

在 20 世纪初物理学出现了两大突破,即相对论与量子论。由于迈克尔逊与莫雷的精确测量不能发现地球的运动对光速的影响,1905 年爱因斯坦提出了狭义相对论,指出了一切惯性参考系应具相同的物理规律,肯定了经典电磁学的规律对于一切惯性参考系都有效,引入了相对论力学来处理高速运动的问题,也更新了人们对时空的概念并揭示新的质能关系。1916 年他基于惯性质量与引力质量等同的实验事实,提出了广义相对论。这是引力的几何理论,将引力和时空曲率相联系,从而提供了处理强引力场力学问题的有效方法。相对论弥补了经典物理学的一些漏洞,也为处理大尺度的天体和宇宙问题提供了合适的理论框架。

在 19、20 世纪之交,由于黑体辐射与光电效应的实验结果与经典物理学有明显矛盾,普朗克与爱因斯坦提出了初步的量子论。1913 年玻尔提出了量子论的原子模型来解释氢光谱线系的经验规律。随后德布罗意提出粒子与波动二象性的概念。1925 年海森伯与薛定谔表述了量子力学,给出了统一描述微观粒子行为的基本理论。量子力学问世之后,科学家用它来较全面地解决原子结构与分子结构问题,显示了它具有非凡的解决问题的能力。另一方面,量子力学也提供了理解化学周期表的物理基础,进而发展了量子化学和化学物理,进一步沟通了物理学和化学两大学科。1928 年狄拉克表述了(狭义)相对论的量子力学,到 20 世纪中叶量子电动力学开花结果,成功地从微观上来处理电磁相互作用问题。

从 20 世纪之初到 20 世纪 40 年代,从放射性

的研究逐步开拓成以原子核结构与其反应为主要内容的原子核物理学。核裂变与核聚变的发现和应用创建了全新的原子能技术。加速器的能量一再提高,促进了以研究基本粒子为对象的高能物理学的发展。大量基本粒子(包括各种类型的轻子、夸克与中间玻色子)被发现或推证,对它们进行测量、分类并理顺其关系,从而得出了粒子物理的标准模型(包括强子的夸克模型、量子色动力学与弱电相互作用的统一理论)。迄今为止,此模型未遇反例,成为 20 世纪后半叶物理学的重大成果之一。当前面临的挑战在于如何超越标准模型的框架,扩大统一场论和对称性的范围,以期将量子力学和广义相对论相融合起来。

20 世纪也是天体物理学极其活跃的时代。现代天文学的视野开阔,观测手段先进,因而可以将星体、星系和宇宙视为无比庞大的实验用来甄别物理学的基础理论。一些观测的结果已可对宇宙演化模型提供若干制约。目前获得学界认可的是宇宙学标准模型,是从大爆炸的高能态开始的。这样一来,就将高能粒子物理学和早期宇宙联系在一起,标志了微观与宏观的两个极端却迂回地合二为一了。

原子与分子物理在 20 世纪 50、60 年代出现了新的转机。受激发射在微波和光波频段先后得到了实现,从而导致激光器的发明,开创有重大应用前景的激光技术,同时也使光学和原子与分子物理学焕发出新的生命力。

在 20 世纪 30 年代将量子力学与统计物理应用于固体中的电子和原子,创建了固体物理学。电子在周期晶格中传播导致了固体的能带理论,格波在周期晶格中传播导致了晶格动力学,通过实验和理论的研究得以确立。1947 年晶体管的发明就是固体物理学对技术的重大贡献,导致了电子学技术的重大革命,成为当今信息技术的基础。电子间的相互作用引起了铁磁性和超导电性,其探讨既具实际意义又有理论价值,使理论进入了多体问题物理学的领域。另一方面研究对象也越出常规的晶体、准晶、玻璃、液晶、胶体、聚合物、生物聚合物等,都进入了视野。相应地固体物理学也不动声色地转化为凝聚态物理学。凝聚态物理

学与材料科学密切相关,也成为发展新型电子学(微电子学、纳米电子学、磁电子学、超导电子学等)和光子学的基础。

经典物理学在 20 世纪亦萌发出一些新枝,如相变与临界现象以及非线性动力学(远离平

衡态的失稳、图像形成、分形、混沌与湍流等),将进一步理解复杂性这一疑难问题铺路架桥,也将促进物理学与化学、生物学、地学等相邻学科的相互交叉和渗透。可以说,物理学已成为自然科学、技术科学和工程科学的基础。

Mechanics

力学

力学 mechanics 力学的研究对象是机械运动,即宏观物体之间或物体各部分之间相对位置随时间的变化,以及物体间相互作用与由此引起的物体运动状态变化所遵从的规律。从运动的形态来分,可以把力学分为静力学(statics)、运动学(kinematics)和动力学(dynamics)等几部分。从研究的对象来分,有质点力学、质点组力学、刚体力学、连续介质力学。当前,单独使用“力学”一词时,一般是指牛顿力学(Newtonian mechanics)或经典力学(classical mechanics),它适用于物体速度远小于光速的情况。当物体速度接近光速时,牛顿力学不再适用,而必须用相对论力学(relativistic mechanics)。另一方面,在亚原子领域,则需用量子力学(quantum mechanics),或量子场理论(quantum field theory),简称量子场论。

一、静力学

Statics

静力学 statics 静力学研究力系的简化规律及物体处于平衡状态时所受外力应满足的条件。

力的平行四边形公理 axiom about parallelogram rule for forces superposition 作用在一个点上的两个力,其合力亦作用在该点上。合力的大小等于以该两力大小为边的平行四边形的对角线的长度,方向是由该点出发沿四边形对角线方向。若有多多个力作用在一点上,可按此方法给出两力的合力,此合力再与第三力按同样方法给出三力的合力,按此方法,最终可给出总合力的大小与方向。

作用在刚体上同一点的两个力的平衡公理 axiom for equilibrium of two forces acting on a rigid body at same point 要使作用在刚体上同一点的两个力平衡,其充分与必要条件是此两力的大小相等,方向相反,并且作用在一条直

线上,与作用点在作用线上的位置无关。力是一种滑移矢量。

平面交汇力系 planar crossed force system 处于同一平面内,且都通过平面内某一个点的 n 个力构成的力系叫平面交汇力系。

平面交汇力系的合力 resultant force of planar crossed force system 平面交汇力系的合力等于所有力的矢量和,合力的作用线通过该力系的交汇点,叫主矢量, $F_{\text{合力}} = \sum_{i=1}^n F_i$ 。在直角坐标系 XY 平面内的分量形式是

$$F_{\text{合力}x} = \sum_{i=1}^n F_{ix}, \quad F_{\text{合力}y} = \sum_{i=1}^n F_{iy}$$

平面交汇力系的平衡 equilibrium of planar crossed force system 平面交汇力系平衡的充分必要条件是

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0$$

在直角坐标系 XY 平面内的分量形式是

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0$$

平衡时,该力系构成的力多边形是封闭的。

平面任意力系 planar force system 处于同一平面内的 n 个力构成的力系叫平面力系。作用在刚体上的平面力系可以简化为一主矢量和一个主矩。

主矢量是力系各力的矢量和: $F_{\text{主矢量}} = \sum_{i=1}^n F_i$ 。在直角坐标系 XY 平面内的分量形式是

$$F_{\text{主矢量}x} = \sum_{i=1}^n F_{ix}, \quad F_{\text{主矢量}y} = \sum_{i=1}^n F_{iy}$$

主矩是对任意选定的简化中心而言的。它是各力对该点的力矩之代数和: $M_o =$

$\sum_{i=1}^n m_o F_i \cdot d_i$, 其中 $m_o F_i$ 是第 i 个力对简化中心的力矩,大小为 $\pm F_i d_i$,正负号一般按右手螺旋法则决定。 d_i 是第 i 个力 F_i 到简化中心点的力

臂。

平面任意力系的平衡 equilibrium of planar force system 作用在刚体上的任意平面力系达到平衡的充分必要条件有两个。一是主矢量等于零, $F_{\text{主矢量}} = \sum_{i=1}^n F_i = 0$, 在直角坐标系中的分量形式是

$$F_{\text{主矢量}x} = \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0$$

$$F_{\text{主矢量}y} = \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0$$

第二是主矩为零,

$$M_o = \sum_{i=1}^n m_o(F_i) = 0$$

力系的简化 simplify of a force system 作用在同一点的力系总可以按平行四边形法则, 简化为一个合力。作用在刚体上的力系, 由于其作用点不同可以引起不同的力学效应。这种力系可以简化为对简化中心的主矢量(即合力)和一个力偶矩。前者就是力系在简化中心的合力 $F_{\text{主矢量}} = \sum_{i=1}^n F_i$ 。后者是力系对简化中心的主矩 $M_o = \sum_{i=1}^n m_o(F_i)$ 。

二、运动学

Kinematics

运动学 kinematics 运动学只讨论物体或物体各部分之间相对位置随时间变化的描述, 而不涉及这些变化的原因。这实际上是一种以时间为背景的几何化的描述。

加减平衡力公理 axiom about adding and/or subtracting forces 从作用在刚体上的力系中加上(或减去)任一平衡力系都不改变该力系对刚体的作用。

直线 straight line 在欧几里得空间, 两点之间距离的最短的连线就是直线。在直角坐标系中, XY 平面内的直线可以用方程 $x = ay + b$ 来表示。一条直线完全由它的斜率 a 和截距 b 决定。在三维空间它可以表示为两个平面的交线, 例如 $x = 0$ 和 $y = 0$, 它代表的直线就是 z

轴。

曲线 curve 平面上的任一线段, 若其上各点的斜率不同, 则该线段就是曲线。三维空间的曲线上各点的曲率半径是有限的。

二次平面曲线 quadratic planar curve 也叫圆锥曲线(conic curve)。用二次代数方程表示的平面曲线叫二次平面曲线。这种曲线可以看做是一个平面和一圆锥体相交而得的曲线。故又称为圆锥曲线。在直角坐标系的 XY 平面内, 二次平面曲线可以表示为 $ax^2 + by^2 = 0$ 。在平面极坐标中(ρ, φ), 二次曲线的标准形式为

$$\rho = \frac{p}{1 + \epsilon \cos(\varphi + c)}$$

式中 p, c 和 ϵ 都是常数, 分别是半通径, 初位相和偏心率。

圆 circle 圆是二次平面曲线的一种。在某一平面中, 距固定点距离不变的点的轨迹就是圆。在直角坐标系的 XY 平面内的圆, 若以坐标原点为圆心, 则可以用方程 $x^2 + y^2 = R^2$ 来表示。其中 R 就是圆的半径。在平面极坐标中, 按照圆锥曲线的标准形式, 圆的偏心率 ϵ 为零, 因而圆方程 $\rho = \text{常数}$ 。这里 ρ 是动点的径向坐标。

抛物线 parabola 抛物线是二次平面曲线的一种。在直角坐标系的 XY 平面内, 它的标准形式可写作 $y = ax^2 + b$ 。其中 a 和 b 是两个常数。在平面极坐标中, 按照二次平面曲线的标准形式(见二次平面曲线条), 当偏心率 $\epsilon = 1$ 时, 它就是抛物线, $\rho = \frac{p}{1 + \cos(\varphi + c)}$ 。

双曲线 hyperbola 双曲线是二次平面曲线的一种。在直角坐标系的 XY 平面内可写成 $xy = c$ 。在平面极坐标中, 按照二次曲线的标准形式(见“二次曲线”条), 当偏心率 $\epsilon > 1$ 时, 它就是双曲线的一支, $\rho = \frac{p}{1 + \epsilon \cos(\varphi + c)}$, 由对称性可得双曲线的另一支。

椭圆 ellipse 椭圆是二次平面曲线的一种, 在直角坐标系的 XY 平面内, 可表示成 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 。其中 a 和 b 分别是椭圆的长半轴和短半轴。在平面极坐标中, 按照二次平面曲线的标

准形式(见“二次曲线”条),当偏心率 $\epsilon < 1$ 时,就是椭圆, $\rho = \frac{p}{1 + \epsilon \cos(\varphi + c)}$ 。

轨道 trajectory; orbit 物体在运动过程中所经空间各点的连线叫轨道。它可以用参数方程 $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ 表示。其中 t 是时间或其他任意参数。

抛体运动 projectile motion 在地球表面附近不大的范围内,地球的引力可以看做是常数,一般用重力加速度 g 来表示。物体在重力场的作用下的运动叫做抛体运动,当一个质量为 m 的质点在 $y=0$ 的平面内以一定的初速度 v_0 (矢量)抛出后,在直角坐标的 XY 平面内,其运动方程可写成

$$x = (v_0 \cos \alpha)t + x_0$$

$$z = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{1}{2}gt^2 + z_0$$

其中 x_0, z_0 是抛射体的抛出位置。 z 轴取为 $(-g)$ 方向, α 是 v_0 和 x 轴的夹角(通常叫仰角)。

抛体运动的运动轨迹方程是

$$z = x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

速降线 brachistochrone problem 这是 1696 年伯努利首先得到解的一个二维变分问题。他讨论的是在铅直平面内,质点在重力作用下从静止出发,由一点 $A(x_1, y_1)$ 到另一点 $B(x_2, y_2)$ 所需时间最少的路径(即速降线)。在直角坐标系中,质点在重力作用下由 A 点自由下滑到 B 点所需的时间可表示为

$$T[y(x)] = \int_A^B \frac{\sqrt{1+y'^2}}{\sqrt{2gy}} dx$$

由 $\delta T[y(x)] = 0$ 可得解的参数方程为 $x = a(1 - \cos \theta), y = a(\theta + \sin \theta)$ 。 a 是积分常数, θ 是参数。该方程所代表的曲线也叫旋轮线(cycloid)。是平面曲线的一种。

测地线 geodesic 曲面上任意两点之间的最短距离叫测地线。

球面上的测地线 geodesic on a sphere 球面上的测地线是指球面上任意两点之间距离最短的连线。球面上任两点 1 和 2 之间的距离的积分形式为

$$s = \rho \int_1^2 \left[\left(\frac{d\theta}{d\varphi} \right)^2 + \sin^2 \theta \right]^{1/2} d\varphi$$

由上式的变分为零,即 $\delta s = 0$,可以得到该测地线的球坐标表示式:

$$\cot \theta = \beta \sin(\phi - \alpha)$$

其中 $\beta^2 = (1 - a^2)/a^2$, a 和 α 都是积分常数。由第二类欧拉方程可得

$$a = (\theta'^2 + \sin^2 \theta)^{1/2} \\ - \theta' \frac{\partial}{\partial \theta} (\theta'^2 + \sin^2 \theta)^{1/2}$$

在直角坐标的 XY 平面内,上述方程可以表示为: $Ay + Bx = z$ 。其中 $A = \beta \cos \alpha, B = \beta \sin \alpha$ 。可见球面上的测地线就是过球心的平面和球面的交线,即该球面上的大圆。

参考系 reference frame 物体的运动总是相对于另一些选定的参考物而言的,人们研究物体运动时所选定的参考物体(或彼此不作相对运动的物体群)称为参考系,也叫参照系。

坐标系 coordinates system 为了定量地表示物体在各个时刻相对于选定的参考系的位置,就必须要选择适当的坐标系。最常用的坐标系是直角坐标系(rectangular coordinates system),此外还有用于描写在平面内运动的平面极坐标系(planar polar coordinates system),以及柱坐标系(cylindrical coordinates system),球坐标系(spherical coordinates system),自然坐标系(natural coordinates system)及曲线坐标系(curve coordinates system)等。

直角坐标系 rectangular coordinates system 又叫笛卡尔坐标系(Cartesian coordinates system),它由三根相互垂直的坐标轴构成。任一矢量可以用该矢量在直角坐标中的分量,即该矢量在各坐标轴上的投影来表示。例如位置矢径 $r = xi + yj + zk$ 其中 x, y, z 就是位置矢量在各坐标轴上的投影, i, j, k 分别是各坐标轴的单位矢量。它在空间各点是相同的。

平面极坐标系 planar polar coordinates system 平面极坐标系由极点和从极点出发的极轴构成。任一矢量 A 可用它在极轴方向和垂直于极轴方向的投影,即径向分量 A_ρ 和横向分量 A_φ 来表示。

$$A = A_\rho \rho_0 + A_\varphi \varphi_0$$

其中 ρ_0 和 ϕ_0 分别是径向和横向单位矢量。值得注意的是这些单位矢量的方向在不同的地点是不同的。

柱坐标系 cylindrical polar coordinates system 对于三维问题,可以在平面极坐标系的基础上加一个垂直于平面极坐标所在平面的 z 轴构成柱坐标系。任一矢量 A 可用它在极轴方向和垂直于极轴方向的投影,即径向分量 A_ρ 和横向分量 A_θ 加上 z 轴方向的分量 A_z 的矢量和来表示:

$$A = A_\rho \rho_0 + A_\theta \theta_0 + A_z k$$

其中径向和横向单位矢量 ρ_0 、 θ_0 在不同的地点是不同的。 z 轴方向的单位矢量 k 是固定不变的。

球(极)坐标系 spherical polar coordinates system 一个矢量 A 在球坐标中的三个分量分别是 A_ρ 、 A_θ 、 A_ϕ 。它们分别表示矢量在径向,余纬度方向及经度方向的分量:

$$A = A_\rho \rho_0 + A_\theta \theta_0 + A_\phi \phi_0$$

这里我们把 XY 平面选作赤道平面, z 选作极轴, θ 就是余纬度, ϕ 就是经度。球坐标系的所有单位矢量 ρ_0 、 θ_0 、 ϕ_0 都随不同地点而不同。

曲线坐标系 curve coordinates system 平面极坐标系,柱坐标系和球坐标系都是曲线坐标系。一般的曲线坐标系是由三组曲线组成。若在曲线簇的交点处相互垂直,则叫做正交曲线坐标系。

自然坐标系 natural coordinates system 在给定轨道的情况下,用自然坐标系表示物体的运动是比较方便的。在这种坐标系中,质点的速度大小由 $v = \frac{ds}{dt}$ 表示,其中 ds 是轨道曲线的元弧长,其方向是沿曲线在该点的切线方向(指向弧长增加的方向)。加速度可分解为切向加速度和法向加速度。前者 $a_\tau = \frac{d^2s}{dt^2}$,后者 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ 。这里的 ρ 是轨道曲线在该点密切圆的半径。

曲率 curvature 曲率是表示曲线上某点弯曲程度的量。对平面曲线或三维空间中的曲线,一般用曲率半径来定量表示。曲率是曲率半径的倒数。对四维空间则要用高斯曲率,黎

曼-克利斯托夫曲率张量(Riemann-Christoffel curvature tensor),曲率张量,曲率标量等来表示。

曲率圆 circle of curvature 通过曲线上的任一点和与之无限接近的两个相邻点作一圆,在极限情况下,这个圆就是该点的曲率圆。

曲率半径 curvature radius 为定量表示曲线在任一点处的弯曲程度,可用曲率或曲率半径来表示。曲率半径是曲线上一点的曲率圆的半径。对于平面曲线 $y = y(x)$,它可表示为

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

一般来说,曲线上不同点的曲率半径是不同的。曲率半径越小,则曲线在该点的弯曲程度愈大。当某点曲率半径是无限大时,曲线在该点不再弯曲。

位置矢量,位矢 position vector 为表征一个质点在空间的位置,可以选择一个参考点作为原点,质点的位置可以用质点相对于该参考点的矢径来表示。这就是该质点的位置矢量,简称为位矢。

位移和位移矢量 displacement and displacement vector 质点位置的变化叫位移;质点位置矢量的变化叫位移矢量 $\Delta r = r_2 - r_1$ 。

速率 speed 表征物体运动快慢的物理量叫速率,速率用一定时间间隔(单位时间)内物体走过的距离来表示。

平均速度 average velocity 在一定的时间间隔 Δt 内,位置矢径的平均变化率 $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ 叫平均速度。

瞬时速度 instantaneous velocity 当平均速度的时间间隔趋向于零时,即 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度的极限就是瞬时速度,数学表示为:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$$

它是一个矢量,方向沿其轨迹的切线方向,大小是 $\frac{dr}{dt}$ 的绝对值 $\left|\frac{dr}{dt}\right|$ 。后者也叫瞬时速率。

瞬时速率 instantaneous speed 瞬时速度的大小叫瞬时速率,它可表示为

$$|v| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta r| / \Delta t = \frac{ds}{dt}$$