物理学前沿问题

王顺金摇著

四川大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容简介

本书简要介绍物理学各个主要分支的研究现状、前沿问题和发展趋势，包括：物理学与高科技，凝聚态物理学与介观物理学，原子、分子物理学与光学，原子核物理学，基本粒子物理学与量子场论，广义相对论、天体物理学与宇宙学援对凝聚态物理学和原子、分子物理学与光学，强调了其新发现和新进展与 圆世纪高科技的密切联系；对原子核物理学、基本粒子物理学、广义相对论、天体物理学与宇宙论，则探讨了 圆世纪物理学基本理论可能面临的重大变革援此外，还简要地介绍了物理学与信息论和计算机科学，物理学与生物学的交叉，包括：量子信息、量子通讯与量子计算，生物物理学援最后，介绍了物理学的研究方法，物理学、数学与哲学的相互关系，以及中国物理学的发展前景援本书对所讨论的问题提供了实用的数据与资料，其中包含了作者本人对物理学基本问题的观点和研究心得，以及对物理学发展前景的看法援

作者著述本书的目的是：①开阔本科高年级学生和研究生的物理学视野，使他们对物理学的各个前沿问题有一些初步的了解，以便于今后选择适合的研究或工作领域；②给学生今后的学习与研究提供一个向导；③激发学生对物理学，特别是对基础物理学和理论物理学的热情，鼓励他们从事物理学教学与研究工作，为发展中国和世界的物理学做出贡献援

本书适合物理学各专业的研究生、本科高年级学生和研究人员阅读，也可供相邻学科的学生和研究人员参考援

前摇摇言

物理学研究自然界最深奥的规律，揭示自然界最深层次的美援凡是喜欢对大自然寻根问底的人大都喜欢物理学援

物理学和数学一起，奠定了自然科学的基础，又和各门自然科学一起成为现代技术的基础援

圆世纪被人们誉为物理学的世纪援物理学很可能与信息科学和生物学一起分享 圆员世纪援

物理学以她展示出的深奥的自然之美和她对人类的无私奉献，获得了人类的尊重，吸引了众多学子为之献身，出现了像牛顿和爱因斯坦这样的千秋科学伟人，铸造了小至基本粒子，大至宇宙的精确的、震撼人心的科学知识援

本书简要介绍物理学各个主要分支的研究现状、前沿问题和发展趋势，包括：物理学与高科技，凝聚态物理学与介观物理学，原子、分子物理学与光学，原子核物理学，基本粒子物理学与量子场论，广义相对论、天体物理学与宇宙学援对凝聚态物理学和原子、分子物理学与光学，强调了其新发现和新进展与 圆员世纪高科技的密切联系；对原子核物理学、基本粒子物理学、广义相对论、天体物理学与宇宙论，则探讨了 圆员世纪物理学基本理论可能面临的重大变革援此外，还简要地介绍了物理学与信息论和计算机科学，物理学与生物学的交叉，包括：量子信息、量子通讯与量子计算，生物物理学援最后，介绍了物理学的研究方法，物理学、数学与哲学的相互关系，以及 圆员世纪物理学的发展前景援本书对所讨论的问题提供了实用的数据与资料，其中包含了作者本人对物理学基本问题的观点和研究心得，以及对物理学发展前景的看法援

作者著述本书的目的是：①开阔大学本科高年级学生和研究生的物理学视野，使他们对物理学的各个前沿问题有一些初步的了解，以便于今后选择适合的研究或工作领域；②给学生今后的学习与研究提供一个向导；③激发学生对物理学，特别是对基础物理学和理论物理学的热情，鼓励他们从事物理学教学与研究工作，为发展中国和世界的物理学做出贡献援

本书适合物理学各专业的研究生、本科高年级学生和研究人员阅读，也可供相邻学科的学生和研究人员参考援

本书凝聚了我的亲人、同事和学生的心血与劳动援我的妻子郭开惠始终热情、耐心地支持我的教学、科研工作，她在繁忙的教学工作之余，帮助我打印了许多章节；学生们对各章节提出了许多好的改进意见，并帮助绘制图表；四川大学研究生院、物理科学与技术学院和物理系的领导对本书的出版给予了热情的关心、帮助和支持；四川大学出版社则热情、细致地组织了出版工作援我在此对他们表示深切的感谢援

由于作者水平有限，书中的错误与不妥在所难免，望读者不吝指出援

王顺金

圆园园园年 愿月于四川大学望江校区

第 员章摇物理学与高科技

本书的写作目的，是给大学物理学本科高年级学生和研究生介绍 圆员世纪物理学发展的概貌，圆员世纪物理学发展的趋势和某些前沿研究领域；唤起他们对物理学的兴趣和爱好，使他们认识到物理学家的社会责任与科学使命，以及当代物理学家所面临的挑战与机遇；鼓励物理学本科学生和研究生热爱物理学，学好物理学，献身物理学，将来为物理学与高科技的发展做出贡献援

员援员摇圆员世纪的高科技与知识经济

科学技术与社会经济密切相关，物理学更是如此援对物理学发展的前沿问题的讨论，应当放在社会经济发展的背景下来考察援

员援员援员摇知识经济时代

人类社会大体上经历了三个经济时代，它们是：

(员) 漫长低级的农业经济时代援这一时代的持续时间大体上是公元前缘园园园年至公元 员苑世纪援其特点是：社会经济主要依赖于自然界的养殖业与农业；生产力水平低下，经济的区域性较强；社会生产对自然环境的破坏小，人与自然和谐发展援这一经济时代的成就是造就了古代文明援

(圆) 高速增长的工业经济时代援这一时代的持续时间是 员苑世纪至 圆园世纪援其特点是：社会经济以蒸汽机、内燃机、电力为动力，以机械工业为骨干，以自然资源为原料；生产力高度发展，生产社会化与全球化的程度很高；社会生产对环境的破坏很大援这一经济时代的成就是造就了现代文明援

(猿) 科学合理的知识经济时代援这一时代可以认为从 圆员世纪正式开始援其特点是：整个社会的生活和生产均以知识为基础，科技知识和人文知识及其相应的信息支撑着社会经济生活中的生产、流通、管理、分配、消费等各个环节；劳动者熟练地运用高科技知识，知识本身成为产品、商品；自然资源得到合理的利用，生产和经济保持可持续发展；生产和经济真正实现全球化；在社会生产和生活中，强调对地球环境的保护，实现社会、人与自然的和谐发展援

需要全本请访问: www.ertongbook.com

无限圆摇支撑知识经济的高科技

以知识为基础的经济，需要高科技的支撑援从近期和可预见的未来看，以下高科技将对知识经济的形成和发展起比较大的作用援

（员）信息科技：知识经济的发展将伴随着社会信息化时代的到来，而社会信息化是以计算机技术、数字技术、通讯技术和电子网络技术为基础的，所有上述技术又是以物理学和数学等自然科学为基础的援

（圆）生物科技与基因工程：知识经济的另一个特点将是生物科技与基因工程在社会经济、人类生产和生活、保健和医疗以及环境保护等方面发挥空前重要的作用，其中转基因技术与克隆技术将对人类的生活产生难于想像的影响援

（猿）微米机电系统（酝耘杂）与纳米机电系统（晕耘杂）：作为人类的肢体、感官和思维的延伸的机械工业，正朝着小型化和集成化的方向发展，微米机电系统与纳米机电系统将把机器的感觉功能、分析功能和执行操作功能集成为一体，在微米甚至纳米的尺度上制造具有复杂功能的机器，为人类完成各种各样难于想像的任务援这些小巧的智能机器，是数学、物理、化学、材料、机械、电子与计算机、信息与通讯等科学技术互相渗透与综合的产物援

（源）人造功能材料：人类将结束依靠自然界恩赐的天然材料的时代，凭着自己的聪明才智和创造能力，在物理学、化学、生物学、材料科学和计算机科学等科学技术的指导下，按照自己的需要设计和制造自然界所没有的具有多种功能的新型材料援

（缘）宇航科技：知识经济将孕育空前发达的宇航科技，使人类向广阔宇宙进军和普通人遨游太空的梦想成为现实援宇航科技显然是建立在数学、物理、化学、机械、电子与计算机、材料、通讯、生物与医学等科学技术的基础之上的援

无限隐摇圆员世纪的高科技需要教育去培育

圆员世纪的高科技需要长期的、全面的和全民的教育去培育，这就要求普及中等教育与高等教育，加强职业技术教育和终身教育，在此基础上实现基础研究、应用研究和技术开发的创新，为高科技和知识经济的发展提供坚实的科技支撑和丰富的人力资源援

员圆摇圆员世纪的高科技与物理学

员圆摇圆员世纪的高科技与物理学

摇摇对于 圆园世纪的物理学与社会的关系，人们达成了以下共识：圆园世纪是物理学的世纪援这一共识，来自于有目共睹的物理学对高科技的影响和对提高社会生活品质的贡献援

员圆摇圆员摇基于相对论和量子论的物理学的各个分支学科的发展产生了 圆园世纪的新技术

摇摇核物理与粒子物理导致原子弹和氢弹的出现，以及核能与核技术的发展；半导体物理导致晶体管、集成电路、计算机的出现，以及信息与通讯技术的发展；量子光学是激光技术、光学通讯、光学工程的科学基础；原子分子物理、材料科学、量子化学导致人工新材料的产生；天体物理学与宇宙学是宇航科技的科学基础，它们导致了新的宇宙观的形成援

员圆摇圆员摇圆园世纪的物理学促进了其他学科的发展

（员） 化学：物理学促进了量子化学、化学热力学和化学反应动力学的发展；物理学的方法、仪器与探测技术在化学中得到了广泛的应用，使化学研究发生了质的飞跃援

（圆） 生物学：物理学与生物学相结合，产生了生物物理学、量子生物学等交叉学科；物理学的方法、仪器与探测技术在生物学中得到了广泛的应用，使生物学逐步成为精密的、定量的科学援

（猿） 数学：广义相对论、量子论促进了非欧几何、泛函分析和希伯特空间理论、微分几何与纤维丛理论、拓扑学、量子群、非对易几何等数学分支的发展，计算机的出现还使机器证题和计算数学得到空前发展援

员圆摇圆员世纪的高科技与物理学

员圆摇圆员摇圆员世纪物理学的地位

摇摇圆员世纪物理学的地位应从两个方面去考察援

（员 物理学在自然科学群体中的地位援这是由自然科学群体的知识结构决定的，是长期的、稳定的援在自然科学群体中，物理学处于基础和领导地位援

这一观点会招致来自其他学科的争议援对这些争议的回答是：①对于数学：首先，数学本身不能回答其自身的数学形式逻辑体系的客观真实性问题，数学形式体系的客观真实性要靠物理学去认证援其次，数学的发展有两个动力，即数学内部逻辑发展的动力和外部的物理学等学科的需要与直观的动力援正是这种外部物理学的需要与直观的动力，使 宰[illegible]和 [illegible]发展了现代数学，并因此获得了费尔兹奖；而量子论则导致非对易几何学的出现，超弦理论则导致新的数学观点的产生援然而，数学是伟大的，她像语言一样，是人类进行交流和表达思维的工具，对于现代科学技术，她更是不可或缺的工具援②对于化学：量子力学和统计热力学是表述化学定律的基础，现代化学则在理论上离不开量子力学，在实验上离不开现代物理学测量技术援③对于生物学：量子力学和量子统计是在分子层次上认识生命现象的基础，生物物理学使生物学更定量、更精确援

综上所述，物理学在自然科学群体中的领导地位是长期的、不可否认的援

（圆 物理学在社会上的地位援物理学在社会上的地位是由物理学对社会的贡献决定的，而且是物理学对社会的新的贡献决定了其现实社会地位，这一地位是变化的援物理学的社会地位主要是指政府和民众对物理学的重视程度（在物质上和精神上对物理学的支持）援

[illegible]世纪的高科技与物理学

预期 [illegible]世纪的高科技与物理学有如下的对应与关联：

预期的高科技	与之关联的物理学及其交叉学科
摇信息技术	摇介观物理、量子信息
摇聚变能源	摇等离子体、强激光物理
摇功能材料制造	摇原子分子物理、凝聚态物理
摇[illegible]	摇纳米科技、介观物理
摇基因工程	摇量子化学、量子生物学
摇宇航与太空开发	摇相对论、天体物理

员圆摇员圆摇员世纪物理学家的责任

员圆摇员世纪物理学家对科技发展的社会责任主要包括：

（员）为知识经济所需的高科技提供物理学支撑，注重与物理学有关的新技术的开发援

（圆）在物理学基础研究和应用研究中创新援

（猿）注重物理学与其他学科的交叉发展援

员圆摇员圆摇员世纪物理学的前景与可能面临的变革

员圆摇员圆摇员世纪物理学的现状与发展趋势

摇摇为了考察员圆摇员世纪物理学的发展前景，对当前物理学的现状与发展趋势做一个简要的描绘是有益的，表员原员提供了一个可能的估计援

表员原员摇当前物理学现状与发展趋势

成熟的	发展中的	趋摇势
相对论（狭义与广义）	超引力	量子引力，超弦？
量子力学	人造系统的量子力学 量子信息与量子计算	四种力的统一（超弦？）
量子场论与粒子物理（标准模型）	大统一理论	
常规核物理	极端条件下的核物理	基于 回忧的核物理
常规凝聚态物理	极端条件下的凝聚态物理、介观物理、团簇物理	基于 回标的凝聚态物理、介观物理、团簇物理
常规原子分子物理	极端条件下的原子分子物理	基于 回标的原子分子物理
大爆炸宇宙学	标准宇宙学模型的发展	量子宇宙学（超弦？）

员圆摇员圆摇员世纪物理学的前景与可能面临的变革

目前，人们对物理学的发展前景有两种看法援

(员) 悲观的看法：认为人类对物理学基本规律的认识已经完成，基础物理学的发展终结了援

(圆) 乐观的看法：认为现代物理学仍然是不完备的，物理学的内在矛盾（相对论与量子论的矛盾）表明 圆员世纪的物理学需要而且必然面临再一次深刻的变革援

允 霍根在《科学的终结》一书中得出的“物理学以及自然科学终结”的结论，是悲观看法的典型代表，其论点如下：

(员) 基于相对论和量子论的标准模型的建立标志着物理学的终结援

(圆) 化学只不过是原子、分子的量子力学，物理学的终结意味着化学的终结援

(猿) 基于广义相对论和粒子物理学的大爆炸宇宙论的建立标志着宇宙学的终结援

(源) 基于基因和分子水平的进化论和 阅晕粤双螺旋结构的发现标志着生物学的终结援

(缘) 各门自然科学的发展受阻、减速，是科学老化、行将终结的表现；基本规律的应用和生产技术会有大发展，但关于基本规律的科学终结了援

对上述观点的批评构成乐观看法的基本论点：

(员) 准模型揭示了基本粒子现有层次的基本规律，标准模型的缺陷和内在矛盾暗示物质下一更深层次及其基本规律的存在；对称性的丢失、夸克禁闭、基本粒子的三代、质量和电荷的起源等问题只能由更深层次的理论来解决援

(圆) 大爆炸宇宙论并不是完备的，类星体、暗物质与暗能量以及黑洞内部的性质，仍不能解释援

(猿) 分子进化论和 阅晕粤双螺旋结构并未穷尽生物学的基本规律，遗传密码及其表达以及神经活动的基本规律仍未揭示出来援

(源) 自然界有纵深的规律，也有横向（多体系统）的规律，由于物质及其层次的无限性，这两方面的基本规律形成无限的序列援

(缘) 就现有物质层次而言，相对论和量子论只揭示了基本规律的三分之二，另一项基本规律仍有待人们去揭示，这同样是激动人心的援

基本物理常数与基本物理理论的对应预示着物理学基本理论将面临重大变革：

(员) 光速导致相对论（导致时空观的变革）援

(圆) 普朗克常数导致量子论 (导致运动学的变革) 援

基本物理常数的完备性要求另一基本物理常数和另一基本理论援

(猿) 基本长度 (质量) 造(皂) 导致什么理论？(导致动力学的变革？)

员愿援源摇圆员世纪的物理学家将要面临的挑战与机遇

圆员世纪的物理学家将要面临两方面的挑战与机遇：

(员) 知识经济的高科技提出的物理科技问题援

(圆) 物理学基本理论面临重大变革援

员愿援缘摇大学本科物理学和数学的知识结构

作为物理学科的本科生和研究生，了解大学本科的物理学和数学的知识结构，对于主动规划自己的学习是有益的援大学本科的物理学和数学的知识结构可以总结如表 员愿援圆所示援

表 员愿援圆摇大学本科物理学和数学的知识结构

		经典物理	量子物理	教学目标
物摇理	普通物理	力学与声学 热学 电磁学与光学 相对论	原子与核 基本粒子	侧重经典与实验物理
	四大力学	经典力学 统计热力学 电动力学	量子力学 量子统计 量子场论 核理论与粒子理论	侧重量子与理论物理

需要全本请访问 www.ertongbook.com

数摇摇学	高等数学	初等函数论 线性代数 解析几何 微积分		为普通物理学服务
	数学物理方法	复变函数 数理方程 特殊函数	广义函数与泛函分析 近世代数与群论 微分几何、纤维丛、拓扑学	为四大力学和 理论物理学服务

摇摇上述课程的基本内容及其相互配合与相互联系如下：

（员）普通物理学侧重于经典物理的实验现象与实验定律的讲授，而四大力学则侧重于量子物理和物理定律的理论表述援①力学通过机械运动揭示出能量原动量守恒这一普遍定律，力学定律的牛顿形式是能量原动量守恒定律的微分形式；而经典（理论）力学则提高与发展了牛顿力学，建立了力学的理论体系和力学定律更普遍的各种形式（如哈密顿原泊松形式、哈密顿原雅科比形式、拉格朗日形式等）援牛顿力学是非相对论的，其相对论化成为相对论力学；相对论则描述了真空背景对尺钟的影响，把平稳真空背景的尺钟效应及与其共轭的运动学效应带进了物理学援②热力学介绍了温度、能量守恒、熵增加、真空零点运动效应等宏观热力学量（函数）与定律；而统计热力学则从力学定律和统计系综出发，从微观上阐明了这些定律援③电磁学用积分的形式介绍了电荷产生电场，运动电荷（变化的电场）激发磁场，变化的磁场激发电场等电磁规律；而电动力学则用马克斯威尔方程概括了这些定律，给出了电磁定律的微分形式，统一了电磁学与光学援电动力学和马克斯威尔方程本身就是相对论性的援④量子力学讲述微观世界的全新的力学，量子化规则及原理把经典力学变成量子力学，把经典统计变成量子统计，把经典场论变成量子场论援量子化原理把真空涨落效应带进了物理学援量子场论概括了真空背景的两种效应，即平稳真空的尺钟效应和涨落真空的量子效应援

（圆）高等数学主要是为普通物理学服务的，数学物理方法则主要是为四大力学服务的援①波的振幅和相位的独立性，要求用复变函数进行描述，复变函数的产生是描述物理定律的需要援②统计热力学的热传导方程、电动力学的马克斯威尔方程、量子力学的薛定格方程等数学物理方程的求解，产生了特殊函数援

大学本科课程提供了最基本的物理、数学基础理论知识，但尚未深入到物

理学的各个分支，更未达到物理学研究的前沿援研究生教育则要求深入到物理学的各个分支，达到物理学研究的前沿援

设置本课程的目的就是要尽可能全面地介绍物理学研究前沿的基本轮廓援

摇摇【参考文献】

员摇路勇祥援创新与未来：面向知识经济时代的国家创新体系援北京：科学出版社，员怨怨愿

圆摇张礼援近代物理学进展援北京：清华大学出版社，员怨怨苑

猿摇[illegible]著，赵凯华等译援物理 圆员世纪: 进入新千年的物理学援北京：北京大学出版社，圆园园园

源摇允 霍根援科学的终结援呼和浩特：远方出版社，员怨怨苑

缘摇美国国家科学院编著援科学前沿：第Ⅰ，Ⅱ卷援国家自然科学基金委员会，员怨怨缘

远摇圆员世纪 无理个科学难题编写组援圆员世纪 无理个科学难题援长春：吉林人民出版社，员怨怨愿

苑摇王顺金援高等量子论与量子多体理论援成都：四川大学出版社，圆园园源

第 圆章摇凝聚态物理学与介观物理学

凝聚态物理学是物理学最大的分支领域，也是与高科技和日常生活关系最为密切的领域援凝聚态物理学是物理学中历史悠久的学科，也是蓬勃发展、充满生机、不断有新发现、不断出现新的分支学科和交叉学科的领域援凝聚态物理学是固体物理学的发展和延伸，它包含许多分支和丰富多彩的内容援

圆原摇凝聚态物理学的现状

圆原摇凝聚态

摇摇凝聚态是粒子数 晕跃圆伊无量的原子、分子、离子集合体的总称，其中包括：

（员） 固体：晶体、准晶体、非晶体都属于固体，其特点是原子 （离子）之间有固定的平衡位置，由相互作用凝聚成整体，密度较大援

（圆） 液体：包括常规液体和有序液体 （液晶），其特点是原子 （离子、分子） 间在一定范围内可相对运动 （流动），但相互作用把它们凝聚成整体，密度中等援

（猿） 气体：包括中性气体、电离气体 （等离子体），其特点是粒子之间有很大的距离，可自由运动，靠外场或容器的约束而非粒子间的相互作用形成凝聚体援

圆原摇凝聚态物理学

凝聚态物理学是研究凝聚态的电磁、光学、热学、力学等性质，揭示其规律并加以利用，创造和利用新的凝聚态的科学援

圆原摇凝聚态理论

凝聚态理论用基于量子电动力学 （回标） 的量子多体理论计算凝聚态的电磁、光学、热学、力学等性质，揭示其规律，从而设计具有所需性质的新的

凝聚态援

凝聚态理论的发展经历了气体分子运动论、云澡电蚤气体理论、液体理论（云澡电蚤、蕴蒜性蒜、流体动力学、固体量子论，并最终进入了凝聚态理论的现阶段，其中以固体量子论和晶体量子论最为成熟援下面对晶体量子论作简要介绍援

具有周期性点阵结构的固体叫做晶体援晶体量子论研究各种波在具有周期性点阵结构的固体——晶体中的传播规律，包括：

（员）弹性波在晶体周期点阵中的传播规律，即晶格动力学；声波在晶体周期点阵中的传播规律，即声子晶体的性质援

（圆）载射线电磁波在晶体周期点阵中的传播规律，即 载射线衍射动力学；光波在晶体周期点阵中的传播规律，即光子晶体的性质援

（猿）电子物质波在晶体周期点阵中的传播规律，即电子能带论援

晶体量子论的发展在以下三个方面进行：

（员）从有序晶体到无序晶体援研究各种波在超晶格、准晶体和无序系统（包含杂质的晶体）中的传播援

（圆）从三维系统到低维系统援研究各种波在二维量子阱 、一维量子线和零维量子点中的传播援

（猿）从大系统到小系统援研究电子波在团簇（如 悦）和介观环等介观系统中的运动援

（源）从固体物理到一般凝聚态（如液晶、等离子体、软凝聚态等）物理援

圆原原摇凝聚态物理学的基本概念

凝聚态物理学的发展与这一领域的科学大师的贡献分不开，其中 蕴蒜性蒜与 粤性澡澡性的贡献对凝聚态物理学的发展起着特别重要的作用援他们的科研成果体现在凝聚态物理学的基本概念之中援蕴蒜性蒜发展了二级相变、超导、超流、云澡电蚤液体、序参量、对称性破缺、元激发等理论与基本概念援粤性澡澡性在无序系理论、杂质磁性理论、软膜相变、允蒙蒜澡性效应、超流、对称破缺、元激发、广义刚度、缺陷、标度性、重整化群等方面做出了重要贡献援

下面介绍凝聚态物理学的一些基本概念援

圆原原摇能带与化学键

能带与化学键体现了固体物理学与化学的联系援

能带：价电子为整个固体所共有 （由巡游电子的非定域性所致）援

化学键：价电子定域在临近原子之间援

窄能带：价电子的定域 原非定域相互作用的交织 （包含新物理）援

圆原圆原圆原圆摇相与序参量

相体现了物质结构的某种有序性，故称有序相，用不等于零的序参量来描述援序参量是相互作用导致的粒子之间的长程关联援

表 圆原员所示是一些固体的相及其相应的序参量的例子援

表 圆原员摇固体的相及其序参量

固体的相	序的名称	序参量
晶体	点阵序	晶格常数 葬蚤
磁性	自旋序	磁矩 〈杂$\vec{\text{杂}}$
超导体	能隙序	能隙 Δ≠园
无序相	无序	序参量为零

圆原圆原圆原圆摇相变与对称性破缺

相变与对称性破缺相联系，这是相变的深刻而准确的物理与数学描述，这种描述体现了凝聚态相变与粒子物理学的深刻联系援下面是有序相与对称性的例子：①高对称相：水、球、均匀系 （非晶体，无磁性）；②低对称相：冰、椭球、非均匀系 （晶体，磁性）援

相变：指由宏观条件改变引起的凝聚态的对称性的转变，即对称性的破缺 （从高对称性到低对称性） 与恢复 （从低对称性到高对称性）援

临界现象：相变是对称性转变的过程，其间存在着剧烈的涨落，旧的长程关联的破坏和新的长程关联的建立，伴随着相变过程中的普适定律以及某些物理量发生突变，相变过程的这种现象称为临界现象援

为了更深入地理解物质结构的相与对称性的关系，表 圆原圆列出了物理学中的一些基本对称性及其相应的不可观测量和守恒量援当对称性发生破缺时，相应的不可观测量变成可观测的序参量，而相应的守恒律遭到破坏援表 圆原猿列举了对称性破缺现象援

表 圆原圆摇物理学中的对称性

对称性及其变换	不可观测量	守恒量与选择定则
空间平移	绝对位置	动量
时间平移	绝对时间	能量
空间旋转	绝对方向	角动量
罗伦兹对称性	绝对运动	相对论能量 原动量关系
空间反射	绝对左 （右）	宇称
时间反演	无	无 （过程可逆）
粒子置换	区分全同粒子	费米 （玻色） 统计

表 圆原圆摇对称性破缺现象举例

现摇象	破缺的对称性	高对称性	低对称性	序参量	元激发	广义刚度	缺陷
铁电性	空间反演	非极性晶体	极性晶体	孕	光声子	铁电回滞	畴界
反铁电性	空间反演	非极性晶体	极性晶体	孕子晶格	光声子		畴界
铁磁性	时间反演	顺磁体	铁磁体	酝	自旋波	磁滞	畴界
反铁磁性	时间反演	顺磁体	反铁磁体	酝子晶格	自旋波		畴界
超导电性	规范不变	正常金属	超导体	ψ 越$\sqrt{\rho_{超}}$	电子	超导电性	涡线
超流性	规范不变	正常液体	超流体	ψ 越$\sqrt{\rho_{超}}$	声子,旋子	超流性	涡线
向列液晶	规范不变	正常液体	取向液体	凿		取向弹性	向错
晶体	平移	液体	晶体	倒格矢	声子	刚度	位错

摇摇基本物理定律 （系统的哈密顿量 $\hat{H}$ 与 $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, \cdots, \hat{r}_N)$ 或拉格朗日 蕴 具有上述对称性，但系统的状态波函数 $\Psi_{灶}$ （与 $\hat{H}\Psi_{灶}$ 越耘$\Psi_{灶}$） 或密度矩阵 ρ 不具有上述对称性，这种现象称为对称性自发破缺援

有序相形成的物理根源有两类：①粒子 原粒子相互作用，如 宰蚤摇摇晶体；②统计规律，如 月悦和超导体 （温度趋于零 （基态）） 的玻色子凝聚相，不是相互作用造成，而是玻色子统计法则造成援

相互作用系统一般形成有序相，相互作用弱或无相互作用的系统也可形成无序相援

需要全本请访问 www.ertongbook.com