



全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材

供药学类专业使用

物理化学

第3版

主编 徐开俊

书网融合教材



中国健康传媒集团
中国医药科技出版社



全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材

主要内容

物理化学

第3版

(供药学类专业使用)

主 编 徐开俊

副主编 王险峰

编 者 (以姓氏笔画为序)

王险峰 (中国药科大学)

阮秀琴 (中国药科大学)

张 荣 (广东药科大学)

孟 卫 (中国药科大学)

袁 悦 (沈阳药科大学)

徐开俊 (中国药科大学)

栾玉霞 (山东大学药学院)

谢 英 (北京大学药学院)



中国健康传媒集团
中国医药科技出版社

内 容 提 要

本教材是“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”之一，根据本套教材的编写指导思想和原则要求，结合专业培养目标和本课程的教学目标、内容与任务要求编写而成。本书共分九章，从热力学定律、多组分系统、化学平衡、相平衡、化学动力学、电化学、表面现象和胶体分散体系等方面介绍了物理化学知识。本教材为书网融合教材，即纸质教材有机融合电子教材、PPT 等教学配套资源，使教学资源更加多样化、立体化。

本书主要供高等医药院校药学类专业使用，也可作为广大物理化学爱好者参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理化学/徐开俊主编. — 3 版. — 北京: 中国医药科技出版社, 2019. 12

全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材

ISBN 978-7-5214-1466-0

I. ①物… II. ①徐… III. ①物理化学-医学院校-教材 IV. ①O64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 000827 号

美术编辑 陈君杞

版式设计 友全图文

出版 中国健康传媒集团 | 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号

邮编 100082

电话 发行: 010-62227427 邮购: 010-62236938

网址 www.cmstp.com

规格 889 × 1194 mm ¹/₁₆

印张 22¹/₄

字数 496 千字

初版 2002 年 10 月第 1 版

版次 2019 年 12 月第 3 版

印次 2019 年 12 月第 1 次印刷

印刷 三河市腾飞印务有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978-7-5214-1466-0

定价 58.00 元

版权所有 盗版必究

举报电话: 010-62228771

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

获取新书信息、投稿、
为图书纠错，请扫码
联系我们。



常务编委会

数字化教材编委会

主 编 徐开俊

副主编 王险峰

编 者 (以姓氏笔画为序)

王险峰 (中国药科大学)

阮秀琴 (中国药科大学)

张 荣 (广东药科大学)

孟 卫 (中国药科大学)

袁 悦 (沈阳药科大学)

徐开俊 (中国药科大学)

栾玉霞 (山东大学药学院)

谢 英 (北京大学药学院)

常务编委会

名誉主任委员 邵明立 林蕙青

主任委员 吴晓明 (中国药科大学)

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

叶敏 (北京大学药学院)

匡海学 (黑龙江中医药大学)

朱依淳 (复旦大学药学院)

吴春福 (沈阳药科大学)

宋少江 (沈阳药科大学)

张志荣 (四川大学华西药学院)

姚文兵 (中国药科大学)

官平 (沈阳药科大学)

郭姣 (广东药科大学)

彭成 (成都中医药大学)

委员 (以姓氏笔画为序)

田景振 (山东中医药大学)

朱卫丰 (江西中医药大学)

李高 (华中科技大学同济医学院药学院)

李元建 (中南大学药学院)

李青山 (山西医科大学药学院)

杨波 (浙江大学药学院)

杨世民 (西安交通大学药学院)

陈燕忠 (广东药科大学)

侯爱君 (复旦大学药学院)

祝晨蓀 (广州中医药大学)

夏焕章 (沈阳药科大学)

柴逸峰 (第二军医大学药学院)

黄园 (四川大学华西药学院)

秘书 夏焕章 (沈阳药科大学)

唐伟方 (中国药科大学)

李晓菁 (广东药科大学)

出版说明

“全国高等医药院校药学类规划教材”，于20世纪90年代启动建设，是在教育部、国家药品监督管理局的领导和指导下，由中国医药科技出版社组织中国药科大学、沈阳药科大学、北京大学药学院、复旦大学药学院、四川大学华西药学院、广东药科大学等20余所院校和医疗单位的领导和权威专家成立教材常务委员会共同规划而成。

本套教材坚持“紧密结合药学类专业培养目标以及行业对人才的需求，借鉴国内外药学教育、教学的经验 and 成果”的编写思路，近30年来历经四轮编写修订，逐渐完善，形成了一套行业特色鲜明、课程门类齐全、学科系统优化、内容衔接合理的高质量精品教材，深受广大师生的欢迎，其中多数教材入选普通高等教育“十一五”“十二五”国家级规划教材，为药学本科教育和药学人才培养做出了积极贡献。

为进一步提升教材质量，紧跟学科发展，建设符合教育部相关教学标准和要求，以及可更好地服务于院校教学的教材，我们在广泛调研和充分论证的基础上，于2019年5月对第三轮和第四轮规划教材的品种进行整合修订，启动“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”的编写工作，本套教材共56门，主要供全国高等院校药学类、中药学类专业教学使用。

全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材，是在深入贯彻落实教育部高等教育教学改革精神，依据高等药学教育培养目标及满足新时期医药行业高素质技术型、复合型、创新型人才需求，紧密结合《中国药典》《药品生产质量管理规范》(GMP)、《药品经营质量管理规范》(GSP)等新版国家药品标准、法律法规和《国家执业药师资格考试大纲》进行编写，体现医药行业最新要求，更好地服务于各院校药学教学与人才培养的需要。

本套教材定位清晰、特色鲜明，主要体现在以下方面。

1. 契合人才需求，体现行业要求 契合新时期药学人才需求的变化，以培养创新型、应用型人才并重为目标，适应医药行业要求，及时体现新版《中国药典》及新版GMP、新版GSP等国家标准、法规和规范以及新版《国家执业药师资格考试大纲》等行业最新要求。

2. 充实完善内容，打造教材精品 专家们在上一轮教材基础上进一步优化、精炼和充实内容，坚持“三基、五性、三特定”，注重整套教材的系统科学性、学科的衔接性，精炼教材内容，突出重点，强调理论与实际需求相结合，进一步提升教材质量。

3. 创新编写形式，便于学生学习 本轮教材设有“学习目标”“知识拓展”“重点小结”“复习题”等模块，以增强教材的可读性及学生学习的主动性，提升学习效率。

4. 配套增值服务，丰富教学资源 本套教材为书网融合教材，即纸质教材有机融合数字教材，配

套教学资源、题库系统、数字化教学服务，使教学资源更加多样化、立体化，满足信息化教学的需求。通过“一书一码”的强关联，为读者提供免费增值服务。按教材封底的提示激活教材后，读者可通过PC、手机阅读电子教材和配套课程资源（PPT、微课、视频、图片等），并可在线进行同步练习，实时反馈答案和解析。同时，读者也可以直接扫描书中二维码，阅读与教材内容关联的课程资源（“扫码学一学”，轻松学习PPT课件；“扫码看一看”，即可浏览微课、视频等教学资源；“扫码练一练”，随时做题检测学习效果），从而丰富学习体验，使学习更便捷。

编写出版本套高质量的全国本科药学类专业规划教材，得到了药学专家的精心指导，以及全国各有关院校领导和编者的大力支持，在此一并表示衷心感谢。希望本套教材的出版，能受到广大师生的欢迎，为促进我国药学类专业教育教学改革和人才培养做出积极贡献。希望广大师生在教学中积极使用本套教材，并提出宝贵意见，以便修订完善，共同打造精品教材。

中国医药科技出版社

2019年9月

主编：王... 副主编：... 编委：...

本书在编写过程中，参考了... 相关资料，在此一并致谢。

本书在编写过程中，得到了... 专家的指导和帮助，在此一并致谢。

本书在编写过程中，得到了... 专家的指导和帮助，在此一并致谢。

本书在编写过程中，得到了... 专家的指导和帮助，在此一并致谢。

前言

生物医药是当前乃至今后相当长时期内的核心学科之一，物理化学是在原子-分子层面上研究物质结构和性质基础的学科。2018年3月教育部高等学校药学类专业教学指导委员会制订并发布了《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》，在《药学类专业教学质量标准》的附录“药学类专业课程体系建议”中明确将物理化学列为基础课程。

化学是中心学科，化学的各分支学科是相互联系的有机体，每门化学课程都各有侧重和本课程的主要内容。物理化学是化学知识的系统化和定量化，课程中有许多关于化学体系的物理模型及由相关模型导出的定量公式，这是物理化学的核心内容，也是理解大自然中物质演化的基础理论，要注意理解各种模型的意义以及其对实践的指导作用，注意认识模型本身的不足之处及今后改进的方向。本质上讲化学是实验为主的学科，物理化学试图提供化学变化中的各种定量关系，但当前的科学技术水平还没有能达到相应的要求，检验理论正确性的依据仍然是实验结果。

由于目前国内本科教学中化学的课程分类中将结构化学和晶体化学单独开课，所以在内容编排上，本教材以经典化学热力学为主要内容，未涉及统计热力学，只在化学动力学部分涉及少量的量子化学知识，对在药学研究中有重大应用的量子化学和晶体化学的相关知识也未编入教材，不能不说是一大缺憾，尤其是对药剂学和制药工程相关专业，建议根据具体情况适当补充相关内容。但本教材对表面、胶体化学内容有所加强并编入了高分子溶液的内容，因为这是化学和药学应用的过渡领域之一。

本教材共分九章，主要内容为热力学定律、多组分系统、化学平衡、相平衡、化学动力学、电化学、表面现象和胶体分散体系等相关知识。具体编写分工如下：人员为袁悦（第一章）、徐开俊（第二章、第五章）、王险峰（第三章）、孟卫（第四章）、谢英（第六章）、张荣（第七章）、栾玉霞（第八章）、阮秀琴（第九章），由徐开俊和王险峰统稿。

本教材在每一章后都附有相关习题，目的是让读者加深对正文内容的理解并提供应用实例。本教材为书网融合教材，即纸质教材有机融合电子教材、PPT等教学配套资源，使教学资源更加多样化、立体化。

本书主要供全国高等医药院校药学类专业使用，也可作为相关专业的学生、相关研究人员及广大物理化学爱好者参考用书。

在编写过程中，中国医药科技出版社的编辑人员对编写工作给予了大力的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，本教材可能尚存在一些不足和疏漏之处，热忱欢迎各位专家及使用本书的教师和同学们批评指正，欢迎读者提出宝贵的意见和建议，以期不断完善。

编者

2019年12月

目录

绪论	1
一、化学简史与物理化学	1
二、物理化学的内容和研究方法	3
三、物理化学与药学	3
第一章 热力学第一定律	5
第一节 热力学基本概念	6
一、体系和环境	6
二、体系的宏观性质	6
三、热力学平衡态	7
四、过程和途径	7
五、状态函数和状态方程	8
六、热和功	9
七、热力学第零定律和温度	10
第二节 热力学第一定律	11
一、能量守恒定律	11
二、热力学能	11
三、热力学第一定律的数学表达式	12
第三节 体积功和可逆过程	13
一、体积功	13
二、可逆过程和不可逆过程	14
三、可逆相变的体积功	16
第四节 焓	16
第五节 热容	17
第六节 热力学第一定律的应用	18
一、理想气体的热力学能和焓	18
二、理想气体的 C_V 与 C_p 之差	19
三、绝热过程的功和绝热可逆过程方程式	20
四、实际气体的节流膨胀	23
第七节 热化学	24
一、化学反应的热效应	24
二、恒容反应热与恒压反应热	24

三、化学反应进度	25
四、热化学方程式	26
五、反应热的测量	26
六、赫斯定律	27
七、标准生成焓和标准燃烧焓	28
八、反应焓变与温度的关系——基尔霍夫反应	30
第二章 热力学第二定律	36
第一节 自发过程	36
第二节 热力学第二定律	37
第三节 卡诺定理	38
一、卡诺热机	38
二、卡诺定理	39
三、理想气体的卡诺循环	40
第四节 熵	41
一、可逆过程的热温商和熵	41
二、克劳修斯不等式	43
三、熵增加原理	44
第五节 熵变的计算	45
一、环境熵变的计算	45
二、系统熵变的计算	45
第六节 熵的统计意义和规定熵	51
一、熵与热力学概率的关系	51
二、熵的物理意义	54
三、热力学第三定律及规定熵	54
四、化学反应的标准摩尔反应熵	55
第七节 亥姆霍兹能和吉布斯能	56
一、亥姆霍兹能	56
二、吉布斯能	57
三、自发过程方向和限度的判据	58
第八节 ΔG 的计算	58
一、理想气体简单状态变化的 ΔG	59
二、相变过程的 ΔG	59
三、化学反应的 ΔG	60
第九节 热力学基本方程	61
一、热力学基本方程	61
二、麦克斯韦关系式	62
第十节 吉布斯能变与温度的关系——吉布斯-亥姆霍兹公式	64
一、温度对吉布斯能变的影响——吉布斯-亥姆霍兹公式	65

二、压力对吉布斯能变的影响	66
第十一节 非平衡态热力学简介	66
一、传递现象与昂萨格倒易关系	66
二、局部平衡假设	67
三、熵产生和熵流	67
四、稳定态与耗散结构	67
五、熵与生命现象	68
第三章 多组分系统热力学	72
第一节 多组分系统的组成表示法	72
一、质量浓度	72
二、质量分数	72
三、物质的量浓度	73
四、摩尔分数	73
五、质量摩尔浓度	73
第二节 偏摩尔量	74
一、偏摩尔量	74
二、偏摩尔量的性质	75
三、吉布斯-杜亥姆方程	76
第三节 化学势	77
一、化学势的定义	77
二、扩展的热力学基本方程	77
三、化学势的影响因素	78
四、化学势判据	79
第四节 理想气体组分的化学势	80
一、纯理想气体	80
二、理想气体混合物	80
第五节 实际气体组分的化学势	81
一、纯实际气体	81
二、实际气体混合物	82
第六节 拉乌尔定律和亨利定律	82
一、拉乌尔定律	82
二、亨利定律	83
三、拉乌尔定律与亨利定律的比较	83
第七节 液态混合物	84
一、混合物与溶液	84
二、理想液态混合物组分的化学势	84
三、理想液态混合物的混合性质	85
第八节 稀溶液	86

一、溶剂的化学势	86
二、溶质的化学势	87
第九节 实际溶液与实际混合物	88
一、实际溶液中溶剂的化学势	88
二、实际溶液中溶质的化学势	89
三、实际混合物中组分的化学势	90
第十节 稀溶液依数性	92
一、溶剂蒸气压下降	92
二、凝固点降低	92
三、沸点升高	93
四、渗透压	94
第十一节 分配定律	95
第四章 化学平衡	99
第一节 化学反应的平衡条件	99
一、化学反应的吉布斯能变化	99
二、化学平衡的条件	100
第二节 化学反应等温方程式	101
第三节 平衡常数表示式	102
一、气体反应系统的平衡常数	102
二、液相反应的平衡常数	103
三、复相反应的平衡常数	104
第四节 平衡常数测定和平衡转化率的计算	105
一、平衡常数的测定	106
二、平衡转化率的计算	106
第五节 化合物的标准生成吉布斯能	107
一、标准摩尔生成吉布斯能	107
二、化学反应的标准吉布斯能变化的计算	108
第六节 温度、压力等因素对平衡的影响	110
一、温度对化学平衡的影响	110
二、压力对化学平衡的影响	111
第七节 反应的耦合	114
一、同期平衡	114
二、反应的耦合	115
三、生物体内的化学平衡	115
第五章 相平衡	120
第一节 相律	120

一、相	120
二、组分数	121
三、自由度	123
四、相律	123
第二节 单组分系统	125
一、单组分系统的相图	125
二、克劳修斯-克拉珀龙方程	128
第三节 完全互溶双液系统	131
一、理想的完全互溶双液系统	131
二、非理想的完全互溶双液系统	134
三、蒸馏与精馏	139
第四节 部分互溶和完全不互溶的双液系统	142
一、部分互溶的双液系统	142
二、完全不互溶的双液系统	144
第五节 二组分固-液系统平衡相图	146
一、简单低共熔相图	146
二、生成化合物的相图	149
三、有固态混合物生成的相图	151
四、固液平衡相图应用	153
第六节 三组分系统的相平衡	154
一、等边三角形组成表示法	154
二、三组分水盐系统	155
三、部分互溶的三液系统	156
第六章 化学动力学	163
第一节 化学反应速率	163
一、反应速率的定义和表示方法	163
二、反应速率的测定	164
第二节 化学反应速率方程	165
一、总反应与基元反应	165
二、反应分子数	165
三、质量作用定律	166
四、经验反应速率方程与反应级数	166
五、速率常数	168
第三节 简单级数反应	169
一、一级反应	169
二、二级反应	171
三、零级反应	174
四、简单级数反应的速率方程通用式	175

05	第四节 反应级数的确定	176
151	一、微分法	176
152	二、积分法	177
153	三、孤立法	178
25	第五节 温度对反应速率的影响	178
251	一、Arrhenius 经验公式	179
252	二、活化能	181
121	三、药物有效期预测	183
14	第六节 典型复杂反应	184
421	一、对峙反应	185
931	二、平行反应	187
541	三、连续反应	188
57	第七节 复杂反应的近似处理	190
111	一、速控步骤近似	190
611	二、平衡态近似	191
611	三、稳态近似	192
921	四、链反应及其速率方程	192
18	第八节 反应速率理论简介	193
221	一、碰撞理论	193
421	二、过渡态理论	197
44	第九节 溶液中的反应	200
221	一、笼效应	200
1221	二、扩散控制和活化控制	201
221	三、影响溶液中化学反应速率的因素	202
201	第十节 催化反应动力学简介	203
221	一、催化剂和催化作用	203
221	二、催化机理	204
1221	三、酸碱催化	204
221	四、酶催化	205
221	第十一节 光化反应简介	207
221	一、光化反应和热反应的区别	207
621	二、光化学定律	207
621	三、光化反应机理与速率方程	209
221	第七节 电化学	214
9	第一节 电解质溶液的导电性质	214
121	一、电子导体和离子导体	214
121	二、原电池和电解池	214
221	三、法拉第定律	215

四、离子的电迁移和迁移数	216
第二节 电解质溶液的电导	217
一、电导、电导率和摩尔电导率	217
二、电导率、摩尔电导率与溶液浓度的关系	218
三、离子独立运动定律	219
第三节 电解质溶液电导测定及应用	220
一、溶液电导率测定	220
二、电解质溶液电导测定的应用	221
第四节 强电解质溶液的离子平均活度和平均活度因子	222
一、离子平均活度和平均活度因子	222
二、影响离子平均活度因子的因素	224
三、德拜-休克尔极限定律	224
第五节 可逆电池	224
一、可逆电池	224
二、电池的书写方式	226
三、可逆电极	226
四、根据化学反应设计电池	228
第六节 电池电动势与电极电势	229
一、电池电动势的产生机理与电池电动势	229
二、电极电势	229
第七节 可逆电池的热力学	232
一、电池电动势与热力学函数的关系	233
二、可逆电池放电时的热效应	233
三、电池的能斯特方程	234
四、电极电势的能斯特方程	235
第八节 电池电动势的测定及其应用	236
一、电池电动势的测定	236
二、电池电动势测定的应用	237
第九节 浓差电池	240
一、单液浓差电池	240
二、双液浓差电池	240
三、双联浓差电池	241
四、膜电势	241
第十节 电极的极化和超电势	241
一、分解电压	241
二、电极的极化与超电势	242
三、超电势的影响因素	243
四、极化曲线	243

第八章 表面现象	246
第一节 比表面吉布斯函数与表面张力	246
一、表面与界面	246
二、分散度与比表面积	246
三、产生表面现象的原因	247
四、表面吉布斯能	248
五、表面张力	249
六、表面热力学基本方程	249
七、影响表面张力的因素	250
第二节 曲面的附加压力	251
一、曲面的附加压力	251
二、杨-拉普拉斯方程	252
三、毛细现象	254
第三节 表面张力的测定	255
一、毛细管上升法	255
二、挂环法	255
三、最大泡压法	256
四、滴重法	257
五、吊片法	257
第四节 曲面的蒸气压	257
一、开尔文公式	257
二、晶粒大小与溶解度的关系	258
三、毛细管凝结现象	259
四、亚稳态	259
第五节 铺展与润湿	260
一、液体的铺展	260
二、液体对固体的润湿	261
三、接触角与杨氏方程	262
四、润湿情况的判断	262
第六节 溶液表面的吸附	264
一、溶液表面张力与浓度的关系	264
二、溶液表面的吸附	264
三、吉布斯吸附等温式	265
四、不溶性表面膜	268
第七节 表面活性剂	270
一、表面活性剂的特点	270
二、表面活性剂的分类	270
三、临界胶束浓度及其测定	273

四、亲水/亲油平衡值	276
五、表面活性剂的应用	278
第八节 固体表面的吸附	282
一、物理吸附与化学吸附	282
二、吸附曲线	283
三、弗罗因德利希吸附等温式	284
四、兰格缪尔吸附等温式	285
五、BET 吸附等温式	286
六、溶液中的吸附	288
七、吸附现象的应用	290
第九节 乳状液及微乳	291
一、乳状液	291
二、微乳状液	294
第十节 固体在溶液中的吸附	295
第九章 胶体分散体系	299
第一节 分散体系	299
一、分散体系的分类及其特征比较	299
二、胶体体系的分类及其特征	300
三、胶体的多分散性及其表征	301
第二节 溶胶的制备和净化	303
一、溶胶的制备	303
二、胶体的净化	305
三、胶体分散体系在药学中的应用	306
第三节 胶体分散体系的动力性质	306
一、布朗运动和扩散	306
二、沉降和沉降平衡	308
三、沉降-扩散平衡	309
四、渗透压	310
第四节 胶体分散体系的光学性质	312
一、丁达尔效应和瑞利散射公式	312
二、胶体光散射的应用	313
第五节 胶体的电学性质	314
一、电动现象	314
二、界面电荷来源	315
三、双电层模型	315
四、电动电势的测量	317
五、带电胶体的胶团结构	317