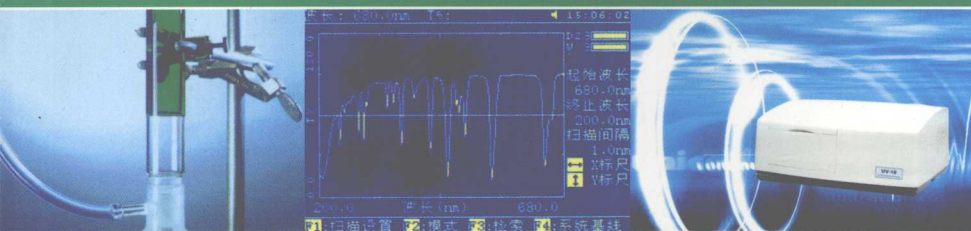


仪器分析

(附实验)

■ 主编 万家亮 李耀仓
■ 主审 张友杰



SHENGWUXUE

要 书 号

仪器分析

(附实验)

主 编：万家亮 李耀仓

副主编：赵昌后 李先良 汪志涛

编 者：(以编写章节为序)

万家亮 赵昌后 汪志涛

廖振环 李耀仓 李先良

易庆平

主 审：张友杰

华中师范大学出版社

内 容 提 要

本书是为理、工、农、医类高等院校培养应用型人才而组织编写的。全书内容包括绪论、紫外—可见吸收光谱分析、分子荧光分析、红外吸收光谱分析、原子吸收光谱分析、电位分析、气相色谱分析、高效液相色谱分析,还精选了十六个基础仪器分析实验。

本书可作为理、工、农、医类高等院校相关专业的仪器分析课程教材,也可以作为工厂、企业分析测试人员的参考书。

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

仪器分析(附实验)/万家亮,李耀仓主编. —武汉:华中师范大学出版社,2008. 8

ISBN 978-7-5622-3129-5

I. 仪... II. ①万... ②李... III. 仪器分析—高等学校—教材 IV. O657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114911 号

书 名: 仪器分析(附实验)

主 编: 万家亮 李耀仓

选题策划: 华中师范大学出版社第二编辑室 电话: 027—67867362

出版发行: 华中师范大学出版社©

地 址: 武汉市武昌珞喻路 152 号 邮编: 430079

销售电话: 027—67863426 67863040 67867076 67867371 67861549

邮购电话: 027—67861321 传真: 027—67863291

网址: <http://www.ccnupress.com> 电子信箱: hscbs@public.wh.hb.cn

责任编辑: 靳春玲 封面设计: 罗明波 责任校对: 刘 峥

印 刷 者: 武汉理工大印刷厂

督 印: 章光琼

开本/规格: 787 mm×960 mm 1/16 印 张: 15.5 字 数: 300 千字

版次/印次: 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1—3 100

定 价: 28.00 元

敬告读者: 欢迎上网查询、购书; 欢迎举报盗版, 请打举报电话 027—67861321。



前 言

随着国民经济的发展和科学技术的进步,特别是近年来各种新的分析技术和分析仪器的迅速发展,仪器分析已经成为农业科学、生命科学、食品科学、环境科学、医药和临床科学、材料科学及化学化工等进行分析测试和研究的重要手段,发挥着越来越重要的作用。现在,仪器分析已经成为理、工、农、医类高等院校相关专业的一门基础课。本书的基本内容是参照教育部化学教学指导委员会公布的《理科化学教学基本内容(Ⅱ)》和《工科分析化学课程教学基本要求》而编写的。本教材着重介绍现代仪器分析的基本理论、基本方法、基本仪器和基本应用技术,着重加强理论与实际相结合。我们努力用现代教育理念审视、选择和组织教学内容,充分反映仪器分析教学的基本规律和新技术、新成就,力求概念准确,深入浅出,突出重点,语言简练,便于教学和阅读,在教材的科学性、先进性、实用性和可读性上下功夫。根据多年从事仪器分析教学的体会,我们充分吸收国内外同类教材的长处,组织编写了这本仪器分析教材,以满足相关专业对高级应用型人才培养的需要。

全书共分八章,并附有16个基础仪器分析实验。本书由万家亮、李耀仓主编,参加编写的有万家亮(第一、二章)、赵昌后(第三章)、汪志涛(第四章)、廖振环(第五章)、李耀仓(第六章及实验部分)、李先良(第七章)、易庆平(第八章)。

本书承蒙张友杰教授在百忙中审阅,并提出了许多宝贵意见。华中师范大学出版社的刘敏主任和靳春玲老师为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并致以衷心的感谢。本书旨在为理、工、农、医类高等院校提供一本内容新颖、便于教学的仪器分析教材。由于编者的水平所限,书中缺点和错误在所难免,我们诚恳接受同行专家和广大读者的批评指正。

编 者

2008年7月



目 录	
第一章 绪 论	1
第一节 仪器分析的任务和特点	1
一、仪器分析的任务	1
二、仪器分析的特点	1
第二节 仪器分析方法的分类	2
一、光学分析法	3
二、电化学分析法	3
三、色谱分析法	3
四、其他仪器分析法	4
第三节 仪器分析的发展概况	4
第二章 紫外—可见吸收光谱分析	6
第一节 光学分析法概述	6
一、光的基本性质	6
二、电磁波谱	7
三、光谱的产生	8
四、光谱分析方法	10
第二节 紫外—可见吸收光谱分析概述	11
一、光的吸收定律	12
二、吸收光谱	14
第三节 紫外—可见吸收光谱的基本原理	15
一、有机化合物的紫外—可见吸收光谱	15
二、无机化合物的紫外—可见吸收光谱	20
三、影响紫外—可见吸收光谱的因素	22
第四节 紫外—可见分光光度计	24
一、主要部件	25
二、分光光度计的类型	28
第五节 紫外—可见吸收光谱分析条件的选择	30
一、仪器条件的选择	30
二、显色反应条件的选择	31
三、参比溶液的选择	32
第六节 紫外—可见吸收光谱分析的应用	32



一、有机化合物的定性分析	32
二、有机化合物的构型分析	35
三、定量分析方法	36
习题	40
第三章 分子荧光分析	42
第一节 分子荧光的基本原理	42
一、电子自旋状态的多重性	42
二、分子吸收和分子发射过程能级图	43
三、无辐射跃迁类型	44
四、辐射跃迁	45
第二节 影响分子荧光的因素	45
一、荧光和分子结构的关系	46
二、化学环境因素对荧光的影响	49
第三节 荧光光度计及荧光测量	50
一、基本装置及主要部件功能	50
二、激发光谱和荧光发射光谱	51
三、荧光定量分析基本原理	53
第四节 分子荧光分析的应用和技术	54
一、无机物的分析	54
二、有机物的分析	55
三、分子荧光分析工作条件的选择	56
习题	57
第四章 红外吸收光谱分析	59
第一节 红外吸收光谱分析概述	59
一、红外吸收光谱分析的特点	59
二、红外吸收光谱的表示方法	60
第二节 红外吸收光谱分析基本原理	61
一、红外吸收光谱产生的条件	61
二、分子振动的基本形式	64
三、振动自由度和吸收强度	65
第三节 红外吸收光谱与分子结构的关系	67
一、基频区和指纹区	67
二、影响基团频率的因素	71
第四节 红外吸收光谱仪	73
一、色散型红外吸收光谱仪	73



二、傅立叶变换红外吸收光谱仪	76
第五节 红外吸收光谱技术及其应用	77
一、试样制备	77
二、红外吸收光谱定性分析	78
三、红外吸收光谱定量分析	81
习题	82
第五章 原子吸收光谱分析	84
第一节 概 述	84
第二节 原子吸收光谱分析基础	85
一、原子光谱	85
二、基态原子与被测元素含量的关系	85
三、吸收线与共振吸收线	86
四、谱线轮廓和谱线变宽	87
五、原子吸收的测量	89
第三节 原子吸收分光光度计	91
一、原子吸收分光光度计的结构	91
二、原子吸收分光光度计的类型	99
第四节 原子吸收光谱分析中的干扰	100
一、物理干扰	100
二、化学干扰	100
三、电离干扰	101
四、谱线干扰	102
五、背景干扰	102
第五节 原子吸收定量分析方法和测量条件的选择	103
一、定量分析方法	103
二、测量条件的选择	105
第六节 灵敏度、特征浓度及检出限	106
一、灵敏度及特征浓度	106
二、检出限	108
第七节 原子荧光光谱分析	110
一、原子荧光光谱分析的基本原理	110
二、原子荧光光谱仪	112
三、原子荧光定量分析方法及应用	113
习题	115
第六章 电位分析	116



第一节 电化学分析概述	116
一、电化学分析的分类及特点	116
二、化学电池	117
三、相界电位和电池的电动势	120
第二节 电位分析基本原理	122
一、电位分析的基本原理	122
二、参比电极和指示电极	123
三、离子选择性电极的工作机理	126
四、离子选择性电极的性能	132
第三节 离子活(浓)度的测定方法	134
一、浓度与活度	135
二、标准比较法	136
三、标准曲线法	137
四、标准加入法	138
第四节 电位滴定分析	140
一、电位滴定分析基本原理	140
二、确定滴定终点的方法	140
三、电位滴定分析的应用	143
习题	143
第七章 气相色谱分析	145
第一节 色谱分析简介	145
一、色谱分析	145
二、色谱分析的分类	146
三、色谱分析的发展	147
四、色谱流出曲线和术语	148
第二节 气相色谱分析基本理论	150
一、气相色谱分离过程	151
二、分配平衡	151
三、色谱分离的基本理论	153
四、色谱分离效能	158
第三节 气相色谱仪	162
一、气相色谱仪的主要部件及其功能	162
二、气相色谱的流动相和固定相	166
第四节 气相色谱分析工作条件	168
一、载气种类及其流速	168



二、进样时间和进样量	169
三、气化温度的选择	169
四、担体粒度的选择	169
五、固定液及其用量的选择	169
六、色谱柱温度的选择	169
第五节 气相色谱定性和定量分析	170
一、定性分析	170
二、定量分析	172
习题	174
第八章 高效液相色谱分析	176
第一节 液相色谱分析概述	176
一、液相色谱分析的原理和特点	176
二、柱色谱法	176
三、纸色谱法	177
四、薄层色谱法	178
第二节 高效液相色谱分析基本理论	179
一、高效液相色谱分析的特点	179
二、高效液相色谱分析的基本理论	180
三、高效液相色谱分析的主要类型及其分离原理	183
第三节 液相色谱分析的固定相和流动相	186
一、液相色谱分析的固定相	186
二、液相色谱分析的流动相	189
第四节 高效液相色谱仪	190
一、输液系统	190
二、进样系统	191
三、分离系统	191
四、检测系统	192
五、数据记录、处理分析系统	194
第五节 高效液相色谱分离方式的选择	194
一、相对分子质量	194
二、溶解度	194
三、化学结构	194
第六节 高效液相色谱分析方法	195
一、定性分析	195
二、定量分析	195



三、应用	196
习题	198
仪器分析实验	199
实验一 紫外光谱法测定苯甲酸含量	199
实验二 食品中 NO_2^- 含量的测定	201
实验三 分子荧光法测定维生素 B_2 的含量	204
实验四 分子荧光法测定奎宁的含量	206
实验五 薄膜法测定聚苯乙烯红外光谱	208
实验六 红外吸收光谱法鉴别有机化合物的结构	210
实验七 火焰原子吸收光谱法测定水样中铜的含量	212
实验八 巯基棉分离富集——原子吸收法测定痕量镉	214
实验九 石墨炉原子吸收法测定痕量铅	216
实验十 氟离子选择性电极法测定水中氟	219
实验十一 电位滴定法测定维生素 B_1 中的氯含量	221
实验十二 玻璃电极响应斜率和溶液 pH 的测定	223
实验十三 气相色谱法测定醇系物	225
实验十四 内标法分析低度大曲酒中的杂质	227
实验十五 高效液相色谱法测定饮料中咖啡因的含量	229
实验十六 高效液相色谱柱效能测定	231
附录	233
附录 I SI 单位制表	233
附录 II 基本数据表	234
主要参考文献	238



第一章 绪 论

第一节 仪器分析的任务和特点

一、仪器分析的任务

分析化学是一门表征和测量的科学,也是研究分析方法的科学。它可以提供物质的化学组成、价态、状态、分布、含量和结构等各种信息。由于获取信息和进行表征的方法多种多样,所以,分析化学一般可以分为化学分析和仪器分析两大类。

化学分析是以化学反应及其化学计量关系为基础的分析方法;仪器分析(instrumental analysis)是以物质的物理性质或物理化学性质为基础,采用特殊仪器设备对物质进行表征和测量的分析方法。仪器分析通常是通过测量能表征物质的物理性质或物理化学性质的某些参数或参数的变化,来确定物质的化学组成、含量和结构。仪器分析不但可以用于定性分析和定量分析,还可以完成化学分析难以胜任的特殊分析任务,例如,可以进行结构分析、无损分析、表面分析、微区分析、分布分析、在线分析、活体分析和临床分析等等。仪器分析不仅是分析测试手段,而且是强有力的科学研究方法。

二、仪器分析的特点

仪器分析和化学分析是分析化学相辅相成的两个重要的组成部分。化学分析法是经典的分析方法,也是分析化学的基础;仪器分析法具有准确、灵敏、快速、自动化程度高等特点,是分析化学的发展方向。仪器分析主要有以下特点:

1. 灵敏度高

仪器分析法的绝对检出限可以达到微克数量级(10^{-6} g 或 μg)或纳克数量级(10^{-9} g 或 ng),甚至皮克数量级(10^{-12} g 或 pg);相对检出限可以达到 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 或 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$,甚至 $\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。化学分析法的灵敏度较低,只能用于常量组分($>1\%$)及微量组分($0.01\% \sim 1\%$)的分析,而仪器分析法可以很方便地用于痕量组分($<0.01\%$)的测定。

2. 试样用量少



仪器分析法固体试样用量为数毫克(mg)或数微克(μg),试液用量为数毫升(mL)或数微升(μL);化学分析法在常量分析中,固体试样用量一般大于0.1g,试液用量一般大于10 mL。在半微量分析中,试液用量一般为2滴,即0.08 mL。

3. 分析速度快,适用于批量样品的分析

例如,采用流动注射—原子吸收联用技术,每小时可以测定60~120个试样的数据;采用高频电感耦合等离子体光电直读光谱法,每分钟可以同时测定10~40个元素的含量。

4. 选择性高,适用于复杂组分样品分析

很多仪器分析方法可以通过选择或调整测定条件,使共存组分与测定组分相互不发生干扰,有时也可以利用分析方法和分析对象的专属性进行有效的分离分析。例如,电位分析和高效液相色谱分析中的相关分析方法。

5. 容易实现在线分析和自动化分析

将被测定组分的物理或物理化学信号转换、放大处理成电信号,并与计算机联用或多机联用,可以很容易地实现在线分析和自动化程控分析。由于分析测试自动化,大大加快了在线分析和程控分析的速度,提高了工作效率。

仪器分析虽然具有许多优点,但也存在一些不足之处。第一,仪器比较昂贵,尚不易普及,使其应用受到一定限制。第二,仪器设备比较复杂,需要一定的技术才能掌握。第三,仪器分析是一种相对分析法,仍然需要纯物质作标准对照。第四,仪器分析法相对误差通常在1%~5%,有的甚至会大于10%,但是,对于化学分析法无法进行的痕量分析和超痕量分析而言,仍能够满足对准确度的要求。

由于采用了现代计算机技术、微电子技术、光电子技术及精密仪器制造技术,新型仪器不断出现,仪器分析方法迅速发展,仪器分析的应用越来越广泛。仪器分析已经成为理、工、农、医类高等院校相关专业的一门基础课,并成为农业科学、生命科学、食品科学、环境科学、化学化工、材料科学、医药和临床科学等进行分析测试和科学研究的重要手段,发挥着越来越重要的作用。

第二节 仪器分析方法的分类

随着科学技术的进步和发展,新的仪器分析方法和技术不断涌现。仪器分析方法种类不断增多(现已有40余种),各种分析方法都有相对独立的物理及物理化学原理。根据测量原理和测量参数的特点,仪器分析大致分为光学分析法、电化学分析法、色谱分析法和和其他仪器分析法四大类,如表1-1所示。



表 1-1 仪器分析方法的分类

方法分类	原理及测量参数	主要的分析方法
光学分析法	光的发射(λ, I)	原子发射光谱法、原子荧光光谱法、分子发光分析法
	光的吸收($\lambda, \sigma, A, \delta$)	紫外—可见吸收光谱法、红外吸收光谱法、原子吸收光谱法、核磁共振波谱法
	光的散射(λ, σ, I)	比浊法、散射浊度法、拉曼光谱法
	光的折射(n)	折射法、干涉法
	光的衍射(θ)	X 射线衍射法、电子衍射法
	光的偏转(n, α)	偏振法、旋光法
电化学分析法	电池电位(E)	电位分析法
	电流—电压($i-E$)	极谱和伏安分析法
	电导(G)	电导分析法
	电量(Q)	库仑分析法
色谱分析法	两相间的分配($t_R, V_R, r_{2,1}, h, A$)	气相色谱法、液相色谱法
其他仪器分析法	质荷比(m/z)	质谱分析法
	热性质($m, \Delta T, t$)	热重法、差热分析法

一、光学分析法

基于物质发射光或光与物质相互作用而建立的一类分析方法叫光学分析法。光学分析法又分为光谱法和非光谱法。

光谱法是依据物质对光的吸收、发射或拉曼散射作用建立的光学分析法；非光谱法是依据光与物质作用之后，其反射、折射、衍射、干涉、偏振等性质的变化建立的光学分析法。

二、电化学分析法

电化学分析法是根据物质在溶液中和电极上的电化学性质为基础建立的一类分析方法。属于电化学分析法的有电位分析法、极谱和伏安分析法、电导分析法、库仑分析法等。

三、色谱分析法

色谱分析法是以物质的不同组分在互不相溶的两相(流动相和固定相)中吸附



能力、溶解能力或其他亲和作用力的差异而建立的分离分析方法。色谱法又分气相色谱法和液相色谱法两种。

四、其他仪器分析法

1. 质谱分析法

质谱分析法是带电粒子在电磁场中根据物质的质荷比(m/z)的大小不同而进行分离分析的方法。它是研究有机化合物结构和同位素组成的重要方法。

2. 热分析法

热分析法是根据物质的质量、体积、热导、反应热等性质与温度之间的动态关系来进行分析的方法。热分析法可用于成分分析,但更多地用于热力学、动力学、化学反应机理和物质状态等方面的研究。热分析法有热重法、差热分析法等。

第三节 仪器分析的发展概况

20 世纪 40 年代以来,由于物理学和电子技术的发展,促进了分析化学中物理方法的发展,分析化学从以化学分析为主的经典分析化学发展到以仪器分析为主的现代分析化学。从 20 世纪 70 年代到现在,以计算机应用为主要标志的信息时代的来临,给仪器分析带来了飞速的发展,并将在越来越多的领域中发挥重要作用。仪器分析的发展趋势可能有以下几个方面:

1. 计算机技术在仪器分析中应用将更加广泛,实现仪器程控操作和数据处理的自动化,将大大提高仪器分析方法的效率、灵敏度和准确度。尤其是以现代电子成像技术、数理统计为基础对分析数据的处理、图形解析的化学计量学(chemometrics)的诞生和发展,使分析化学发展到一个新的阶段。智能化的仪器分析将逐渐成为例行分析的重要手段。

2. 化学、数学、微电子技术、计算机科学、生命科学、环境科学、新材料科学等学科相互渗透、融合,使仪器分析逐渐成为一门以一切可能的方法和技术,以一切可以利用的物质属性,对一切可以测定的化学组分及其形态、状态、结构、分布进行表征和测量的综合性学科。

3. 仪器分析中各种方法的联用,充分发挥各种方法的优势,将进一步提高仪器分析的效能。将具有很高分离能力的色谱仪与具有很强检测能力的质谱仪、红外光谱仪、核磁共振谱仪联用,成为解决复杂物质分析的一种强力手段。例如气相色谱仪与质谱仪联用(GC/MS),液相色谱仪与质谱仪联用(LC/MS),气相色谱仪与红外光谱仪联用(GC/IR)、液相色谱仪与核磁共振谱仪联用(LC/NMR)等。



第二章 紫外—可见吸收光谱分析

第一节 光学分析法概述

以物质发射光或光与物质相互作用为基础建立的一类分析方法称为光学分析法(optical analysis methods)。或者说,凡是以光为测量信号的分析方法统称为光学分析方法。这类分析是仪器分析的重要组成部分,应用范围广泛。本节简要介绍光学分析法的基础知识。

一、光的基本性质

光是一种电磁辐射,而电磁辐射是空间传播着的交变电磁场,故光也称为电磁波。图 2-1 表示一束沿 x 轴方向传播的电磁波。电场矢量(E)在 y 轴方向周期性地变化,磁场矢量(H)在 z 轴方向上周期性地变化,均呈现出波动性质。当只有电矢量同物质中的电子相互作用时,常常只用电矢量图来描述电磁辐射。光具有波粒二象性。

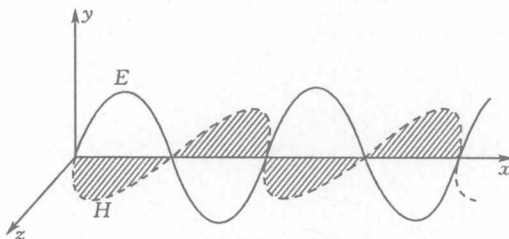


图 2-1 电磁波的正弦振动传播

(一) 光的波动性参数

光的波动性表现在光的衍射和干涉现象。电磁波可以用波长(λ)、频率(ν)和波数(σ)等参数来表征。

1. 波长(λ) 电磁波一次全振动的距离,单位为 nm 或 cm。

$$1\text{nm}=10^{-3}\mu\text{m}=10^{-6}\text{mm}=10^{-7}\text{cm}=10^{-9}\text{m}$$

2. 波数(σ) 单位长度(1cm)内电磁波全振动的次数或波的数目。

$$\sigma=\frac{1}{\lambda} \quad (\text{cm}^{-1})$$

3. 频率(ν) 单位时间(1s)内电磁波振动的次数。



$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \sigma c \quad (\text{s}^{-1} \text{ 或 Hz})$$

4. 周期(T) 完成一次全振动的的时间。

$$T = \frac{1}{\nu} \quad (\text{s})$$

5. 光速 在介质中: $v = \nu\lambda (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$

在真空中: $c = \nu\lambda = 2.998 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

在不同介质中,光速(v)和波长(λ)不同,但频率恒定,因此,频率与辐射的介质无关,对于确定的电磁波,频率(ν)是一个不变的特征参数。

(二) 光的微粒性参数

根据量子力学理论,电磁辐射(光)是在空间高速($3 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)运动的光子流。光的最小能量单位是光子。光的微粒性表现在光电效应、光压等方面。普朗克(Planck)认为光子具有能量,能量是非随意的、量子化的,能量(E)的大小与光的频率或波长有关系,可用普朗克公式表示为:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2-1)$$

式中, E ——能量,单位为 J 或 eV($1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$);

h ——Planck 常数, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$;

ν ——频率,单位为 s^{-1} 或 Hz;

c ——光速, $c = 2.998 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$;

λ ——波长,单位为 nm 或 cm。

由于式中的 h 和 c 都是常数,因此,光子能量与它的频率成正比,而与它的波长成反比。普朗克公式将电磁辐射的波动性和微粒性联系在一起。

【例题 2-1】 已知波长为 200nm 的光,计算其能量、频率及波数各为多少?

$$\begin{aligned} \text{【解】 } (1) E &= \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 2.998 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}}{200 \text{ nm} \times 10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{nm}^{-1}} = 9.932 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{9.932 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{eV}^{-1}} = 6.20 \text{ eV}. \end{aligned}$$

$$(2) \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{2.998 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}}{200 \text{ nm} \times 10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{nm}^{-1}} = 1.5 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}.$$

$$(3) \sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{200 \text{ nm} \times 10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{nm}^{-1}} = 5.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}.$$

二、电磁波谱

电磁辐射按照波长(或频率、波数、能量)大小的顺序排列就得到电磁波谱。一般可将电磁波谱分成若干区域,如表 2-1 所示。不同的波长区域对应着物质不同