

物质：性质和测量

MAR 16



哈勃望远镜拍摄的猎户座星云的可见光谱照片，其中红色的光是氢发出的。我们学习的是地球上发现的化学元素，据推测，这些元素分布在整个宇宙中。

学习内容

- 1.1 描述科学方法的目的和过程
- 1.2 讨论物质的含义及其在物理和化学上所能发生的变化
- 1.3 根据物质的基本组成部分对物质进行分类，物质的三种状态
- 1.4 长度、质量、时间、温度、物质量、电流和发光强度的SI单位
- 1.5 百分比组成的实际应用以及利用密度、体积和质量之间的关系解题
- 1.6 精密度和准确度的区别
- 1.7 使用有效数字计算规则来确定结果应当保留的有效数字的位数

本章前言

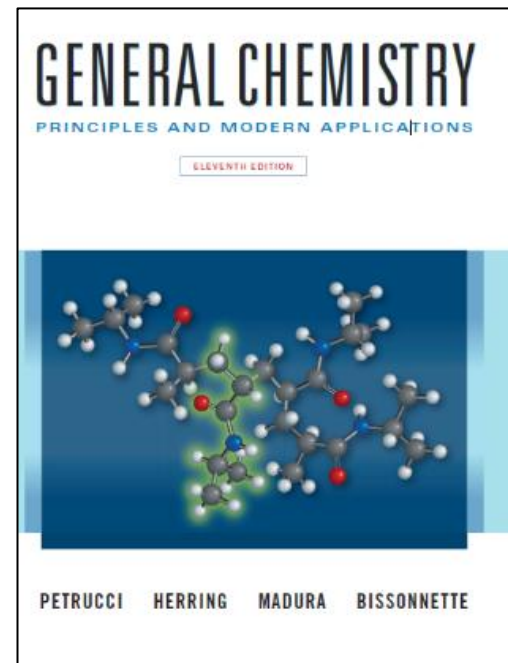
上课使用的教材是Petrucci的《普通化学》，教学的顺序按这本书进行，习题也源自该书练习题。该书的难度不深，作为入门教材使用，对化学的各领域进行基本的介绍。之后的课程还包括《分析化学》、《物理化学》、《有机化学》等

本学期的课后参考书为华彤文的《普通化学原理》

化学是研究物质的性质、组成、结构和化学变化及其能量变化的规律的学科；化学涉及多个领域，是部分学科的中心，被称为**中心科学**(central science)

对化学的探索从远古时期就已开始（陶瓷、酿酒）

从早期的化学知识，到现代化学科学，**科学方法**(scientific method)是研究自然现象的一套技术



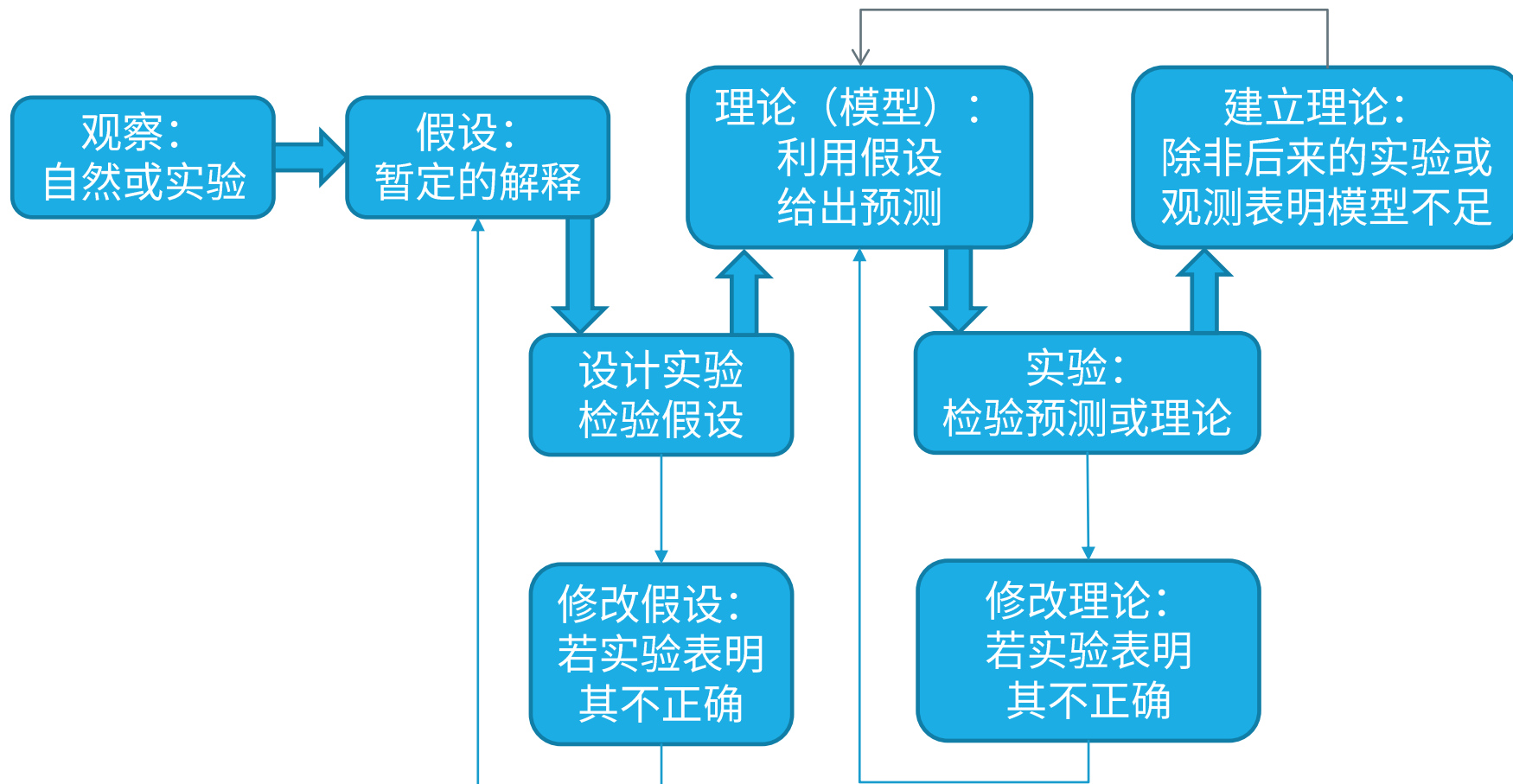
1-1 科学方法

- 科学探究是指科学家研究自然世界并根据他们的工作得出的证据提出解释的多种方式，亚里士多德提出推理的三方案：溯因、演绎以及归纳
- **观察**自然现象后，我们会**提出问题**
- **假设**(hypothesis)是或许可以解释该问题的知识
- 被实验所证实的假设被称为**理论**(theory)
- **科学方法**(scientific method)是观察、实验以及制定规律、假设和理论的结合
- 路易斯·巴斯德(Louis Pasteur)写道：Chance favors the prepared mind。科学发现存在偶然性，弗莱明偶然发现青霉菌可以杀死葡萄球菌，导致了青霉素的发现



巴斯德(1822–1895)否定了自生说，提出了疾病细菌理论，通过巴氏消毒法对牛奶进行灭菌，并开发了狂犬疫苗。

1-1 科学方法



1-2 物质的性质

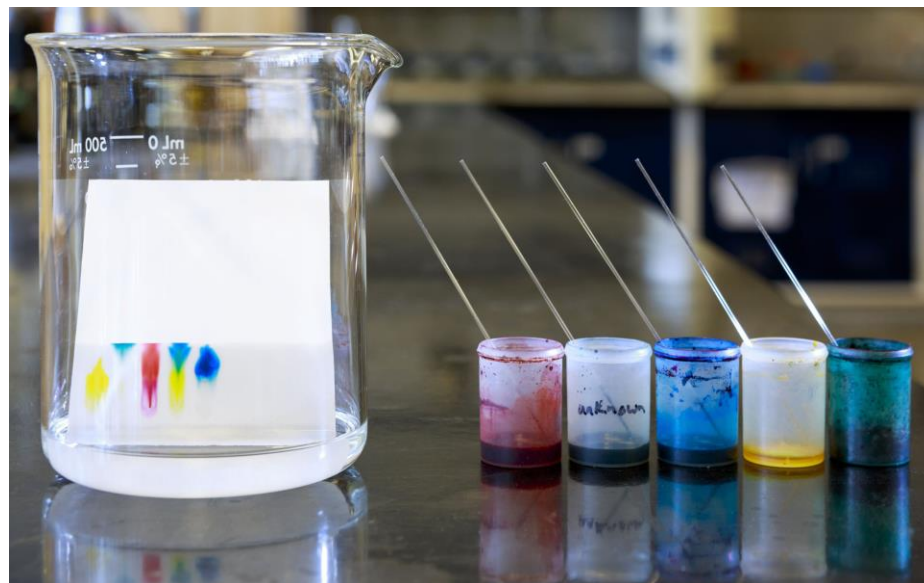
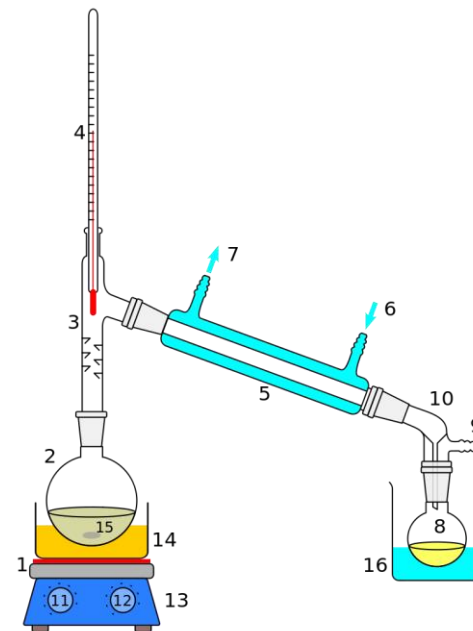
- **物质**(matter)是任何占据空间并显示出质量和惯性的东西
- **组成/成分**(composition)是指物质样品的组成部分或组成部分及其相对比例
- **性质**(property)是我们可以用来区分一个物质样本与其他样本的那些品质或属性
- **物理性质**(physical property)是物质样本在不改变其组成的情况下显示出来的特性
- 发生**物理变化**(physical change)时，样品的某些物理性质可能会发生变化，但其成分保持不变
- 在**化学变化**(chemical change)或**化学反应**(chemical reaction)，一种或多种物质转化为具有不同成分的新物质
- **化学性质**(chemical property)是物质样品在规定条件下发生（不发生）成分变化的能力

1-3 物质的分类

- 物质由称为**原子**(atom)的非常微小的单元组成
- 不同的原子组成了不同的化学**元素**(element)，目前有118种元素，均有名称和符号
- **化合物**(compounds)是由两种或多种元素的原子结合在一起的物质，某些化合物可以分离出一个个的**分子**(molecule)
- 化合物和元素单质都属于**纯净物**(substance)，其组成和性质在每个部分都是相同的
- **混合物**(mixture)由多种化学物质组成
- 成分和性质上始终一致的混合物是**均相混合物**(homogeneous mixture)或**溶液**(solution)
- 成分和性质不一致的物质称为**非均相混合物**(heterogeneous mixture)

1-3 物质的分类

- 可以通过适当的物理方法将混合物分开
- **过滤**(filtration)可用于分离固体与液体的混合物
- **蒸馏**(distillation)可用于分离挥发性液体和不挥发性物质
- 两种挥发性液体可通过**分馏**(fractional distillation)分离
- 利用化合物被固体物质吸附的强度不同，通过**色谱法**(chromatography)进行分离
- 离用化学方法将化合物分解为元素比混合物的物理分离更难



1-3 物质的分类

- 物质通常以三种状态存在，在**固态**(solid)中，原子或分子紧密接触，有时呈高度有序的排列，称为**晶体**(crystal)
- **液态**(liquid)中的距离通常比固态中略大，这赋予了液体流动的性质
- **气态**(gas)中的距离比液体中要大得多，气体总是膨胀以充满容器
- **宏观尺度**(macroscopic scale)是指可以用肉眼直接看到的尺度
- **微观尺度**(microscopic scale)则涉及原子和分子——这些常规显微镜都无法看见的微粒



南极的一角，图中水以三种状态存在：固体、液体以及我们看不见的水蒸气（更精确的说，是水蒸气和空气的混合物）

1-4 SI单位制

- **国际单位制**（法语：Système Internationale d'Unités）SI，规定了七个基本物理量
- 这七个物理量以及对应的单位为如右表所示
- 另外规定了一些词头，以 10^3 为一级递增
- 此外还有一些非SI单位仍在使用

物理量	单位	符号
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
温度	开尔文	K
量	摩尔	mol
电流	安培	A
光强	坎德拉	cd

单位	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1
词头	艾(E)	拍(P)	太(T)	吉(G)	兆(M)	千(k)	百(h)	十(da)
单位	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}
词头	分(d)	厘(c)	毫(m)	微(μ)	纳(n)	皮(p)	飞(f)	阿(a)

1-4 SI单位制

- **时间**(time)的基本单位为秒(s)，曾经定义为1900年长度的1/31 556 925.9747。现在定义为铯-133原子特定辐射的9 192 631 770个周期的时间
- **长度**(length)的基本单位为米(m)，曾经定义为赤道到北极距离的1/10,000,000，并将其转化为国际米原器——一个用铂铱合金制成的X形长棍——上两道细线之间的距离
- 现在米的定义是光在真空中一秒传播距离的1/299,792,458
- **质量**描述了物体中物质的数量，质量的标准单位是1 kg
- 重量是重力作用在物体上的力，其与质量成正比
- 1 kg曾经定义为国际千克原器的质量，现在规定**普朗克常数** h 的值为 $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J s，J s等于 $\text{Kg m}^2 \text{s}^{-1}$

1-4 SI单位制

- 实验室中测定质量（实际是重量）的仪器称为天平，横梁天平利用砝码实现平衡，而电子天平（电子秤）利用电磁产生的力测量
- 高精度的电子天平称为分析天平
- 冰的熔点为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，水的沸点为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，之间的间隔被分成100等份，称为**摄氏温标** (Celsius scale)
- **华氏温标** (Fahrenheit scale) 定义冰的熔点为 $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ ，沸点为 $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ ，并分为180份
- SI温标为**开尔文温标** (Kelvin scale)，取值为0时是最低能达到的温度
- 0 K 等于 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$



精度为0.01 g的电子天平

1-4 SI单位制

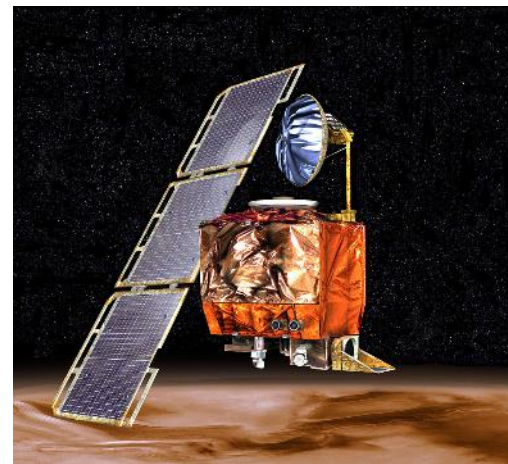
- 开尔文温度会在第六章再进行学习，现在只需了解以下几点信息：
 1. 开尔文温标的单位是开尔文，其大小与摄氏度相同
 2. 书写开尔文温度不需要加°符号（尽管一些过去的文献会加°）
 3. 开尔文温标又叫绝对温标，平衡态体系不存在负开尔文温度
- 最初定义水的三相点温度为273.16 K，现在规定**玻尔兹曼常数** k 的值为 $1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ ， J K^{-1} 等于 $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
- 很多国家和相应的过程项目使用华氏度，需掌握换算的方法
- 例题：人体正常体温范围是36.1~37.5 °C，这一范围如何用华氏度表示？

1-4 SI单位制

- 许多测量量被表示为基本单位的组合，这些单位称为**导出单位**
- 非SI单位制在某些国家或地区使用，例如美国以磅作重量单位，香港房屋以英尺作为单位
- 1 atm、1 mmHg是之后会使用的非公制单位，其他非公制单位很少在学习中出现

为何单位如此重要？

1993年，美国宇航局启动了火星勘测者计划，以进行一系列探索火星的任务。包括火星气候轨道飞行器(MCO)和火星极地着陆器(MPL)。



发射九个半月后，MCO将启动其主发动机以实现绕火星的椭圆轨道。MCO发动机启动后，轨道飞行器以低于预期的轨迹进入火星大气层，导致MCO任务失败。

MCO进入低轨道是因为地球上的计算机使用英国工程单位，而MCO计算机使用SI单位。这种单位误差使MCO高出火星表面56公里，而不是预期的250公里。

1-5 密度和百分组成

- **密度**(density)是质量与体积的比值， $d = m/V$
- 质量和体积都是**广度性质**(广延性质，extensive property)，广度性质取决于观察到的物质数量；密度是**强度性质**(intensive property)，强度属性与观察到的物质数量无关
- 密度是温度的函数，通常温度升高密度降低。水是一个例外，在4 °C下水密度最大，为1.000 g/mL
- 固体的密度通常介于0.2~20 g/cm³之间，液体介于0.4~4 g/cm³之间，气体通常几克每升
- 直接测量固体的密度并不精确，实际研究中会用别的方法测量
- 密度小于液体的固体浮在液体上，排开与自身质量相等的液体；密度大于液体的固体沉在底部，排开与自身体积相同的液体。彼此不混溶的液体将分为不同层，密度最大的液体在底部，密度最小的在顶部

1-5 密度和百分组成

- 组成是物质样品的识别特征，一种常用的表示方式是百分比
- 海水中氯化钠的质量分数为3.5%，表明每100 g海水含有3.5 g氯化钠
- **本节例题**
- 见讲义

1-6 科学测量中的不确定度

- 所有测量均存在**误差**(error)。在某种程度上，测量仪器具有内在的或固有的误差，称为**系统误差**(systematic error)
- 而随机原因（例如没关窗有些刮风，导致天平读数不准）导致的错误称为**随机误差**(random error)
- **精密度**(精确度，precision)是指被测数量的再现性程度——即多次测量同一数量时的一致性
- **准确度**(accuracy)是指测量值与接受值或实际值的接近程度
- 高精度的测量不一定是准确的
- 思考：高准确度的测量是否必须精密？不精确的测量可以得到准确的结果吗？



单盘天平的结果为10.5 g，而分析天平的结果要精密得多，为10.4978 g

1-7 有效数字

- 有一样品，台秤测量得到的结果为1.22 1.23及1.24 g，这些结果的前两位数字是确定的，而最后一位数字是不确定的；结果记作 1.23 ± 0.1 g 或者1.23(1) g，该结果有3位**有效数字**(significant figure)
- 有效数字的数量表示测量仪器的精密度，确定有效数字的方法如下：
 1. 所有非0数字都是有效的，12.378有5位有效数字
 2. 0也是有效的，但最左边的0是无效的，0.01708有四位有效数字
 3. 整数后面的零是不明确的，1500可能有两位、三位也可能是四位
- 为了避免误解，我们使用以10为底的指数进行科学表示
- 定义的科学常数（例如真空中的光速）、数量、比例等不用考虑有效数字的问题，或者认为其具有无限位有效数字

1-7 有效数字

- 计算过程既不能额外获得精密度，也不能随意丢弃精密度，结果应当保留合适的有效数字
- **乘法或除法运算的结果以有效数字最少的数为标准，最后保留与之相同的有效数字位数**
- 例如： $12.67 \text{ cm} \times 10.02 \text{ cm} \times 8.30 \text{ cm} = 1.05 \times 10^3 \text{ cm}^3$
- **加法或减法运算中，将所有数对齐后相加或相减，结果保留有效数字至最靠前的数**
- 例如： $9876.5 \text{ g} + 135.71 \text{ g} + 8.704 \text{ g} = 10,020.4 \text{ g}$
- **指数（例如pH值）的有效数字从小数点后计**
例如：水溶液的pH值为2.74，意味着氢离子浓度为 $10^{-2.74}$ ，即 $1.8 \times 10^{-3} \text{ M}$
- 我们采用四舍五入或者四舍六入五成双的规则进行修约