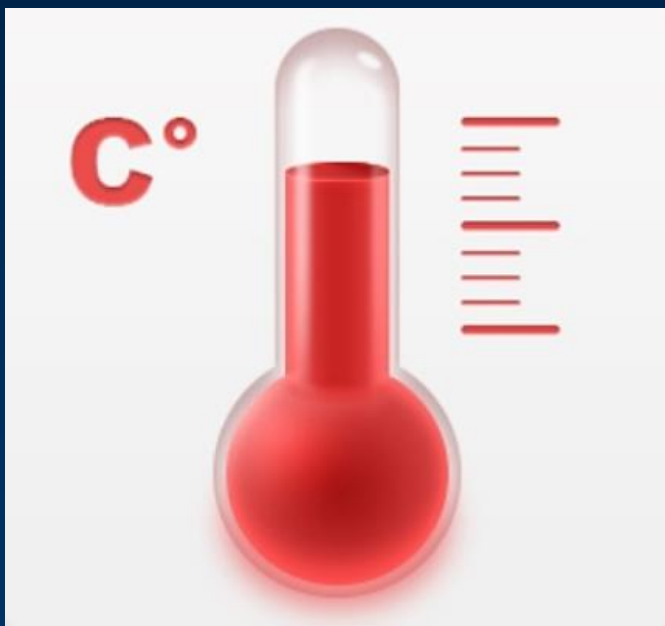


热学



□ 热学： 研究热现象的理论

研究热运动的规律及其对物质宏观性质的影响，以及与物质其它运动形式之间的转化规律的物理学分支。

□ 研究对象： 热现象

物体与温度有关的物理性质及状态的变化。

与物质内部的微观粒子热运动有关的物理现象。

温度计、热胀冷缩、相变、冰箱、蒸汽机、散热器、保温箱

□ 研究方法

宏观方法
(热力学)

以观测和实验总结出发，研究宏观物体的热现象以及其它形式能量之间的转换关系。

微观方法
(统计物理学)

从微观粒子的运动和相互作用出发，应用统计的方法来阐明宏观物体的热学性质。

宏观理论 ---- 热力学

微观理论 ---- 统计物理学

	宏观理论 (热力学)	微观理论 (统计物理学)
研究对象	热现象	热现象
物理量	宏观量(T,P,V,C等)	微观量(m,v,E,p等)
出发点	观察和实验	微观粒子, 热运动
方法	逻辑推理 总结归纳	统计平均方法 力学规律
优点	普遍, 可靠	揭露本质
缺点	不深刻	无法自我验证
二者关系	热力学验证统计物理学 统计物理学揭示热力学本质	

说明 气体动理论是统计物理学的重要组成部分

热力学的形成和发展

第一阶段：17世纪末到19世纪中叶

累计了大量的实验与观察的结果，并制造出蒸汽机，对于“热(Heat)”的本质展开研究与争论，为热力学的理论建立作好了铺垫。在19世纪前半叶，首先出现了卡诺理论，热机理论(第二定律的前身)和功热互换的原理(第一定律的基础)。这一阶段主要为描述热力学的现象，并未引进任何的数学算式。

第二阶段：19世纪中叶到19世纪70年代末

此阶段热力学的第一定律和第二定律已完全理论化。由于功热互换原理建立了热力学第一定律，由第一定律和卡诺理论的结合，导致热力学第二定律的成熟。另一方面，以牛顿力学为基础的气体动理论也开始发展，但这期人们并不了解热力学与气体动理论之间的关联。

第三阶段：19世纪70年末到20世纪初

这个时间内，首先由波兹曼将热力学与分子动力学的理论结合，而导致统计热力学的诞生，同时他也提出非平衡态的理论基础，至20世纪初吉布斯(Gibbs)提出系综理论建立统计力学的基础。

第四阶段：20世纪30年代到今

主要是量子力学的引进而建立了量统计力学，同时非平衡态理论更进一步的发展，形成了近代理论与实验物理学中最重要的一环。

热是人类最早发现的一种自然力，是地球上一切生命的源泉。

—恩格斯

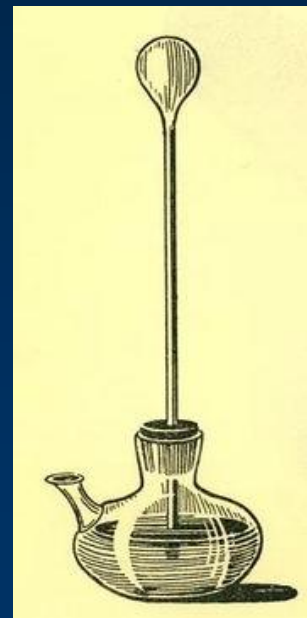
1) 热学上的第一个重要进展是建立了温度的标准。

■ 1593年伽利略用热胀冷缩研制了第一个温度计（气体）

气体——液体（汞、酒精）

■ 1779年，全世界有温标19种。

■ 1854年，开尔文提出开氏温标，得到世界公认。



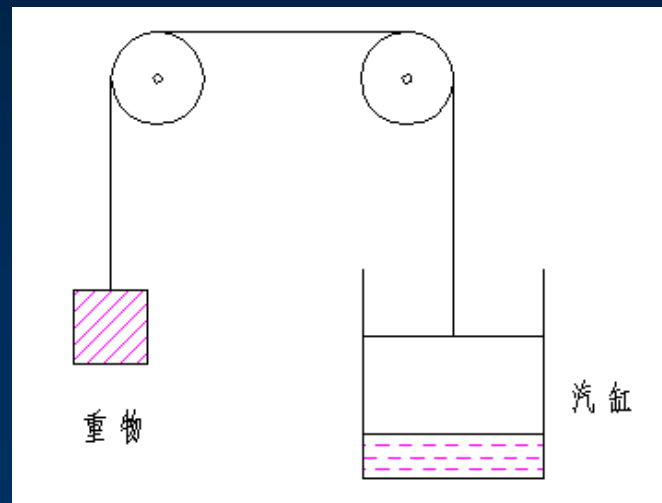
—伽利略的测温仪

2) 热机的发展

1695年，荷兰物理学家惠更斯的学生和助手—法国人巴本（1647-1714）第一个发明了汽缸有活塞的蒸汽机，用以取水和推磨。

十八世纪中期，英国人技工**瓦特**（1736-1819）改进了纽科门机，加了冷凝器，大大增加了蒸汽机的价值，导致了欧洲的工业革命。

1814年，英国煤矿工人**斯蒂芬森**（1781-1848）制造了第一台蒸汽机车，1825年被应用于火车和铁路。



—结构不完善，但它是第一个蒸气在汽缸内作功的机器

3) 量热学

在18世纪前半叶，人们对什么是温度，什么是热量的概念含糊不清，热学要发展，有关热学的一系列概念就需要有科学的定义。

英国化学家**布莱克**最早把热量与温度区分开，并发现相同重量不同种类的物质每上升或下降一度时吸热或放热不同，由此产生热容量概念。

热的本质

热质说

热素学说

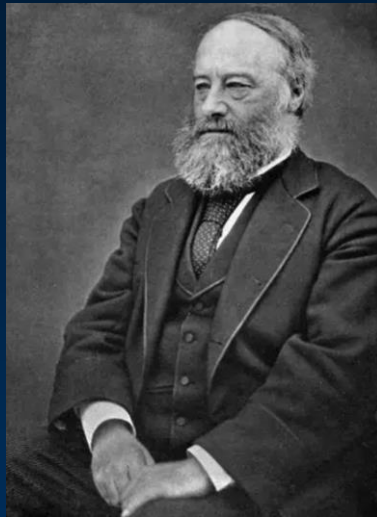
热是物体粒子的内部运动

十八世纪八十年代，温度、热量、热容量、潜热等都已确立。量热学从而成为了相对独立的一门学科。

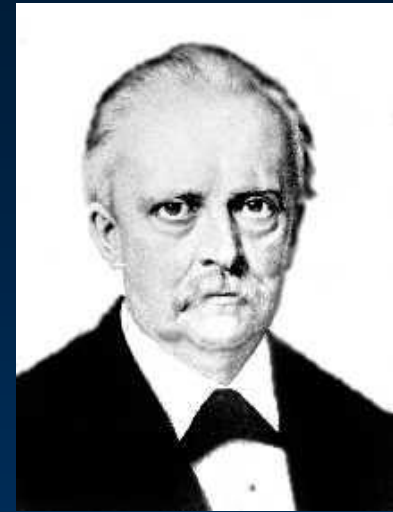
4) 热力学第一定律



迈耶 (R. Mayer)



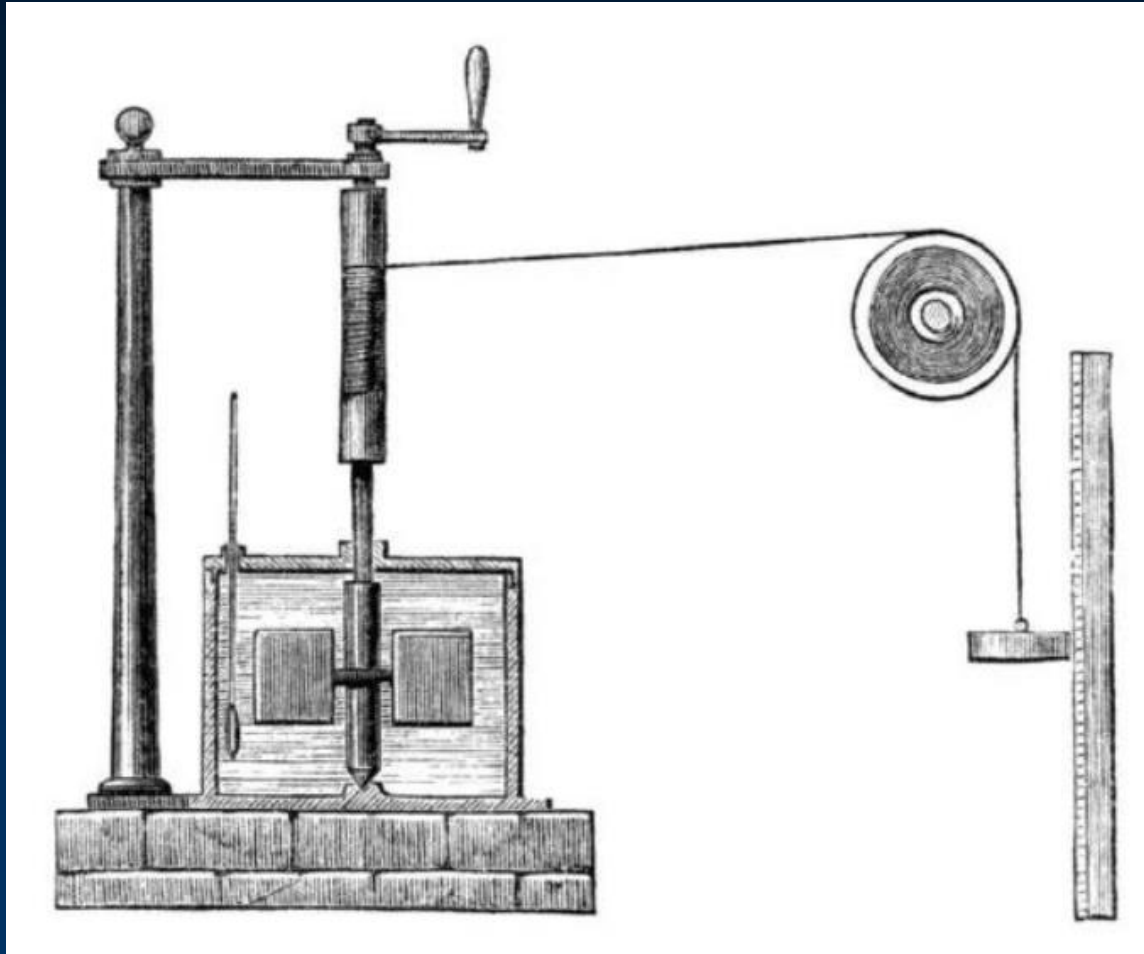
焦耳 (J. Joule)



亥姆霍兹 (H. Helmholtz)

- 人类想不劳而获
- 能量守恒定律
- 第一类永动机不可能制成: $Q = A + \Delta U$

焦耳测定热功当量的实验

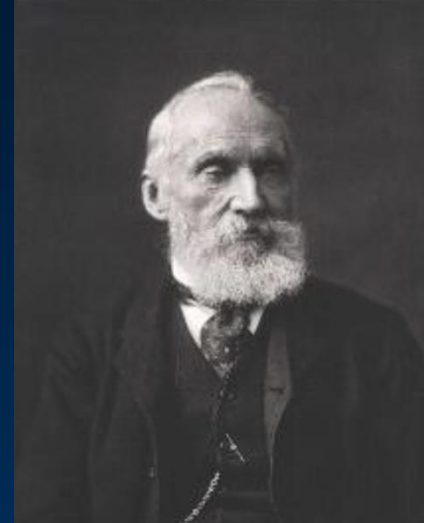


$$1 \text{ cal} = 4.157 \text{ J (4.184 J)}$$

5) 热力学第二定律



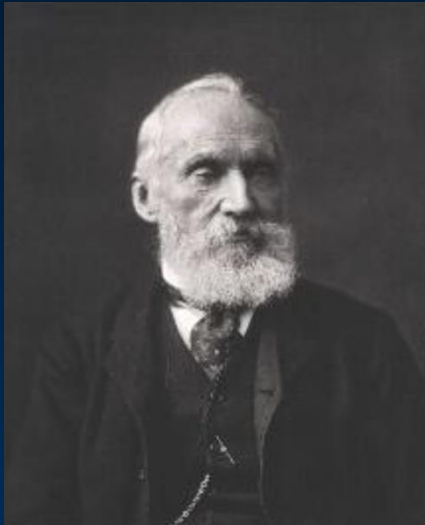
克劳修斯 (R.Clausius)



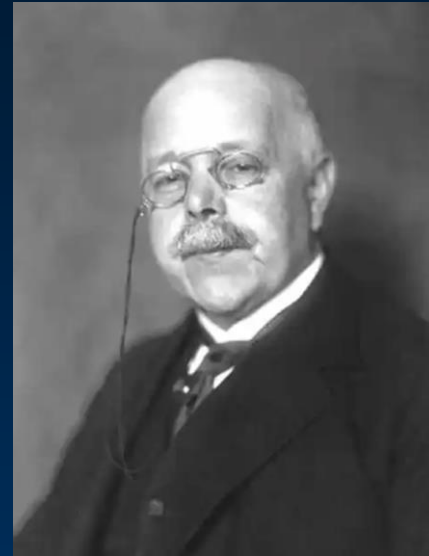
开尔文 (L.Kelvin)

- 与第一定律几乎同时产生
- 第二类永动机不可能制成-热机效率不能达100%
- 引入了熵的概念

6) 热力学第零定律和第三定律



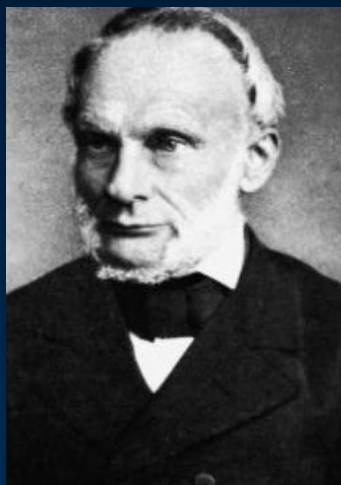
福勒 (F.Fowler)



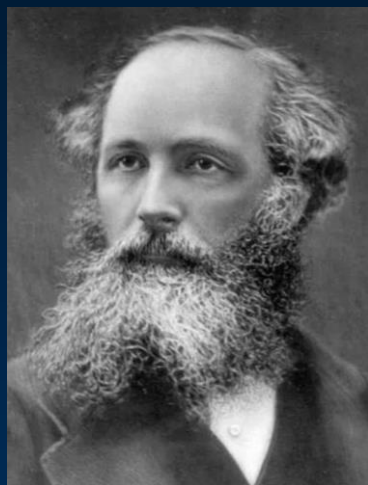
能斯特 (W.Nernst)

- 对热力学体系的完善，对统计物理的发展至关重要；
- 第零定律-温度概念的实验基础
- 第三定律进一步对熵的定义给予补充；

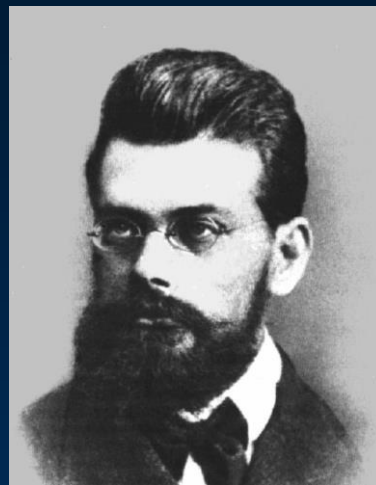
7) 分子物理学和统计力学



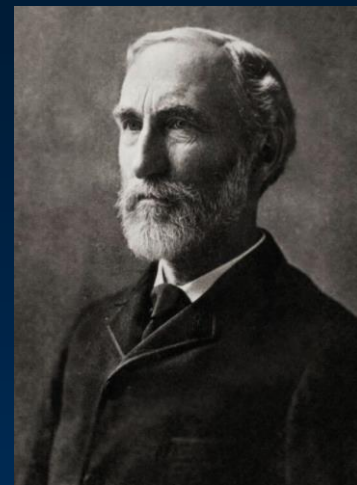
克劳修斯
(R.Clausius)



麦克斯韦
(Maxwell)



玻尔兹曼
(Boltzmann)



吉布斯
(Gibbs)

- 推导出了气体压强公式、引入了平均自由程；
- 麦克斯韦-玻尔兹曼速度分布律；
- 统计力学基本原理；

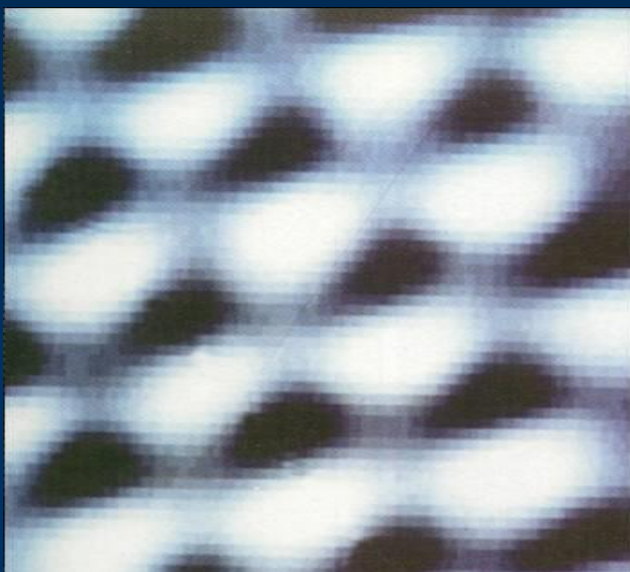
§1 物体是由大量分子组成的

- ◆ 化学中讲的分子是：具有物质的化学性质的最小微粒。
- ◆ 物理中讲的分子是：做热运动时遵从相同规律的微粒，包括组成物质的原子、离子或分子。

一、分子的大小

组成物质的分子是很小的，肉眼不能直接看到它们，就是用光学显微镜也看不到它们。

石墨表面原子排布



扫描隧道显微镜

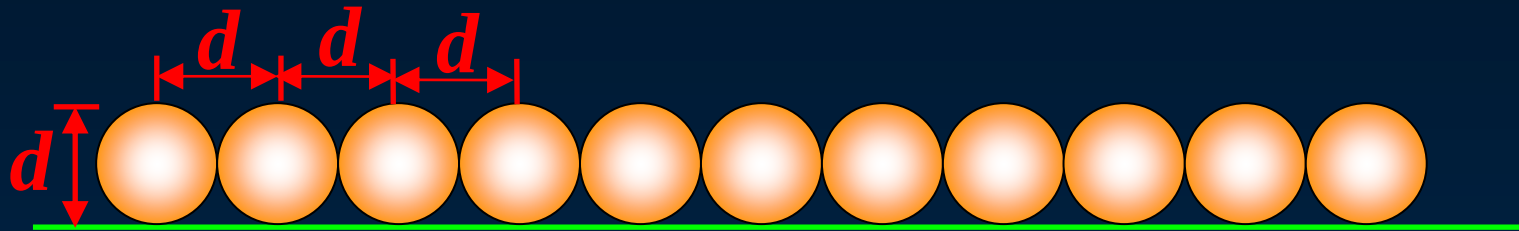


固体、液体



小球模型

$$d = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

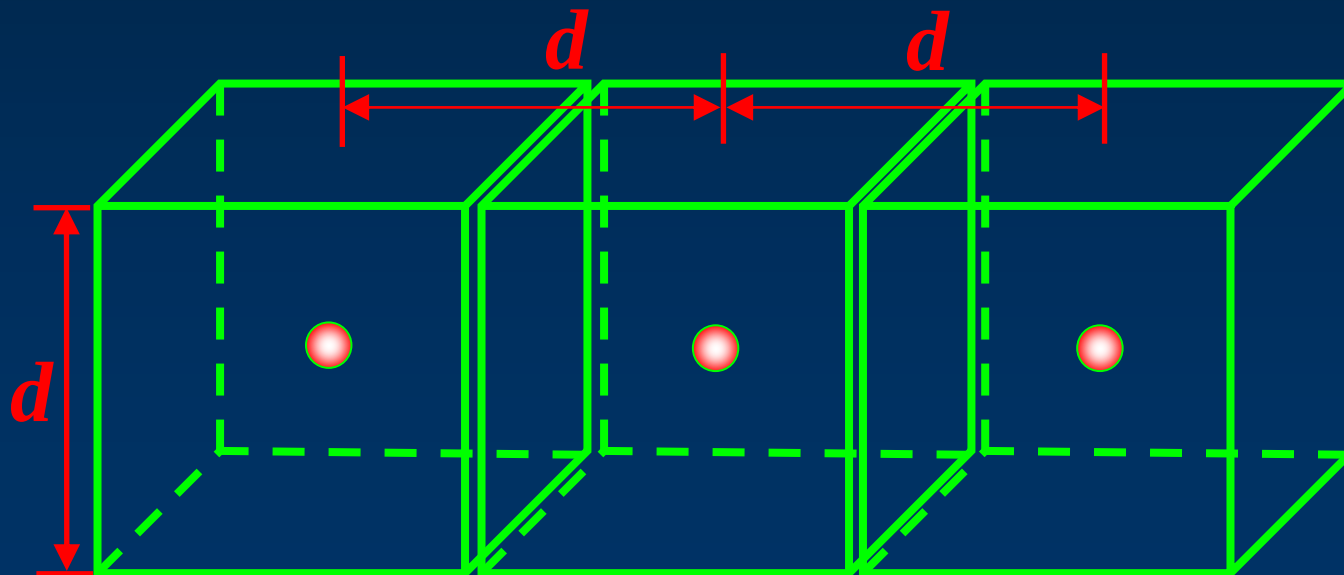


气体



立方体模型

$$d = \sqrt[3]{V}$$



二、阿伏伽德罗常数

1 mol 的任何物质都含有相同的粒子数，这个数就叫**阿伏伽德罗常数**。



例：已知水的摩尔体积是 $1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ ，每个水分子的直径是 $4 \times 10^{-10} \text{ m}$ ，设想水分子是一个挨一个排列的，求1mol 水中所含的水分子数。

一个分子的体积： $V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 = 3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3$

1 mol 水中所含的水分子数：

$$N = \frac{1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}}{3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3} = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

计算物质所含的粒子数

例.求:1cm³水中含有的分子数 (1mol 水的体积是1.8×10⁻⁵ m³/mol)

$$N = \frac{V}{V_{\text{摩}}} \cdot N_A = \frac{1.0 \times 10^{-6}}{1.8 \times 10^{-5}} \times 6.02 \times 10^{23} = 3.34 \times 10^{22} (\text{个})$$

计算分子的质量

例.已知：水和氢气的摩尔质量分别是 1.8×10⁻²kg/mol 和

2×10⁻³kg/mol，求水分子和氢分子的质量（已知 N_A=6.0×10²³mol⁻¹）

$$m_{\text{水}} = \frac{M_{\text{摩}}}{N_A} = \frac{18 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{23}} = 3 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m_{\text{氢}} = \frac{M_{\text{摩}}}{N_A} = \frac{2 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{23}} = 3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

分子质量的数量级：
10⁻²⁶--10⁻²⁷kg

例.已知：水的摩尔质量是 $1.8 \times 10^{-2} \text{kg/mol}$ ，水的密度是 $1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，求水分子的体积（已知 $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ ）

$$\rho = \frac{M_{mol}}{V_{mol}} \quad V_{mol} = \frac{M_{mol}}{\rho} \quad V_{\text{分子}} = \frac{M_{mol}}{\rho N_A}$$

不适用于求气体分子的体积

但能计算气体分子所占的空间体积

§2 分子运动的基本概念

一. 宏观物体由大量粒子（分子、原子等）组成，分子之间存在一定的空隙

例如：(1) 标准状态下， 1 cm^3 的空气中包含有 2.7×10^{19} 个分子

(2) 水和酒精的混合

二. 分子在永不停息地作无序热运动

例如：(1) 气体、液体、固体的扩散

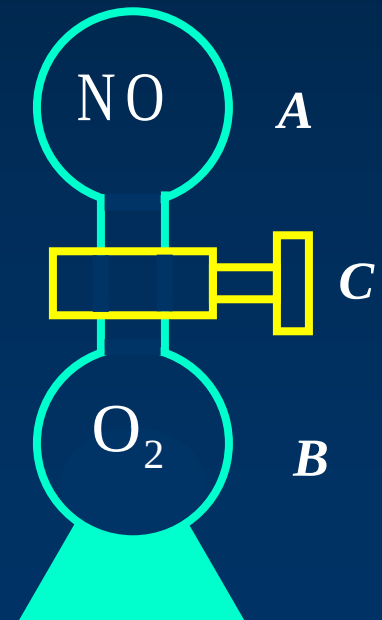
水和墨水的混合

相互压紧的金属板

不同物质相互接触时彼此进入对方的现象叫做扩散

A 分子间有间隙

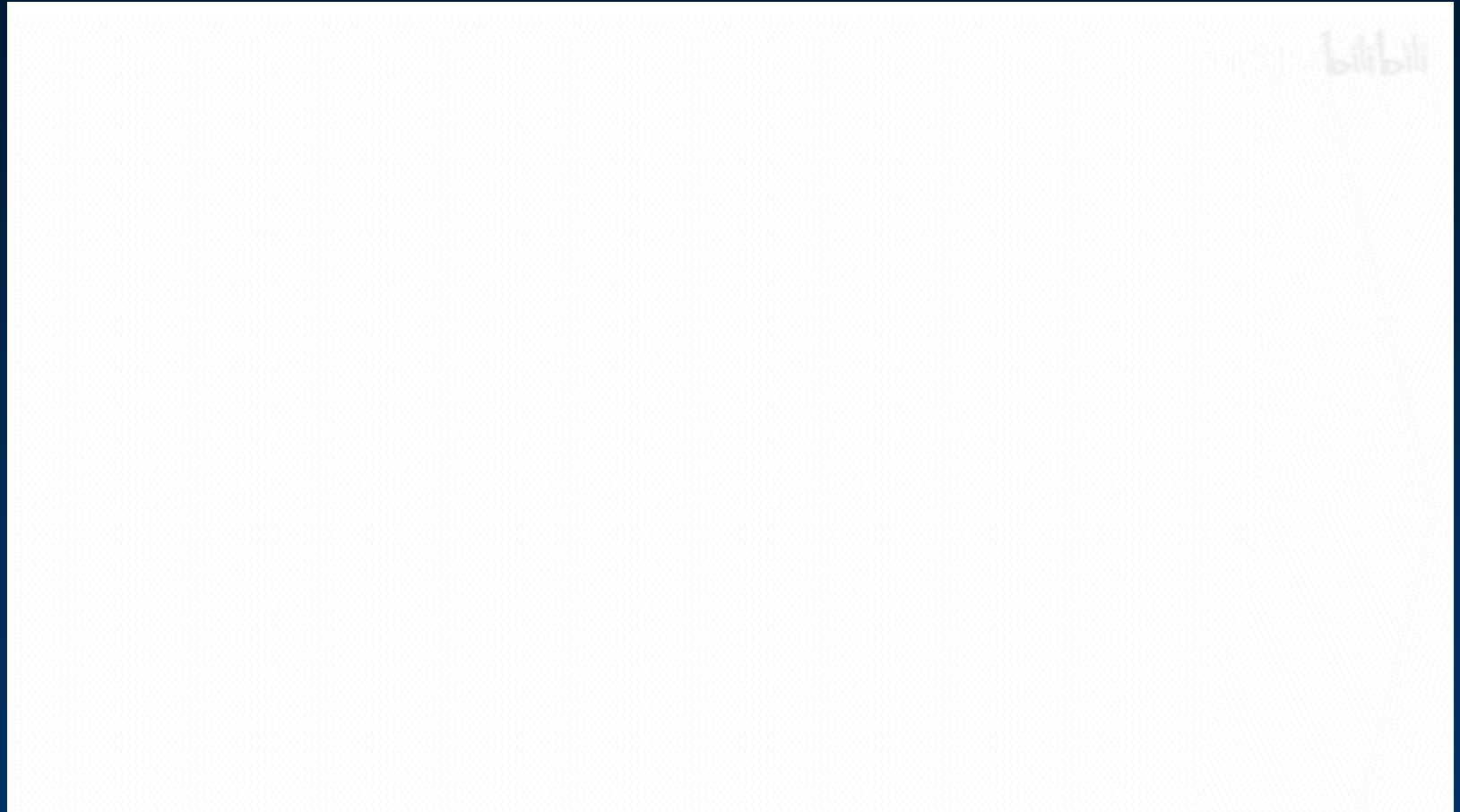
B 直接说明了组成物体的分子总是不停地做无规则运动,温度越高分子运动越剧烈



气体扩散实验

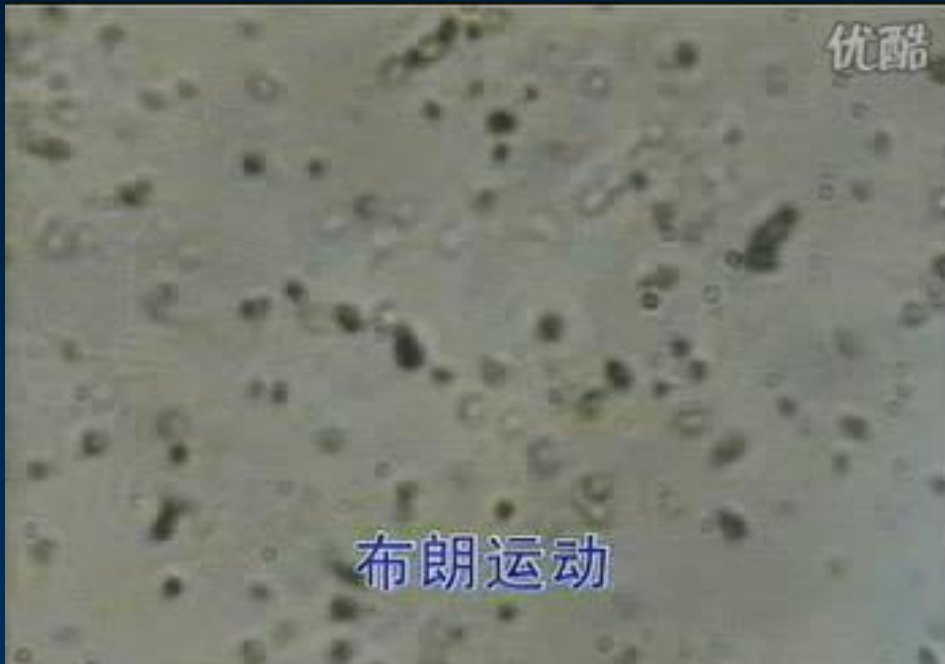
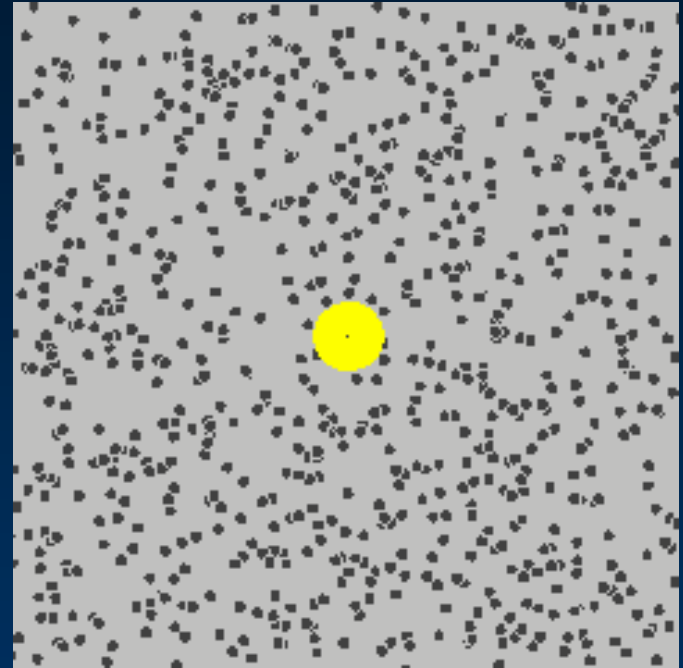


液体扩散实验



(2) 布朗运动 (1827年)

悬浮在液体(气体) 中的固体
微粒永不停息的无规则运动



无规则；

永不停息；

温度越高，运动越激烈；

颗粒越小，现象越明显。

扩散现象和布朗运动的区别：

- (1) 扩散现象，指的是不同物质相互接触时，可以彼此进入对方中去的现象。
- (2) 布朗运动，指的是悬浮在液体中的固体颗粒所作的无规则运动。
- (3) 扩散现象是分子运动的直接证明；布朗运动间接证明了液体分子的无规则运动。

□ 二者都表明分子在永不停息地作无规则的运动，而且温度越高，分子的无规则运动就越激烈。

□ 这说明物体的温度高低是与内部分子无规则运动的剧烈程度直接相关的。

物理学中把物体内部大量分子的无规则运动称为热运动。

三. 分子间的相互作用力

分子力： 吸引力 排斥力

假定分子间的相互作用力有
球对称性时，分子间的相互作用
(分子力) 可近似地表示：

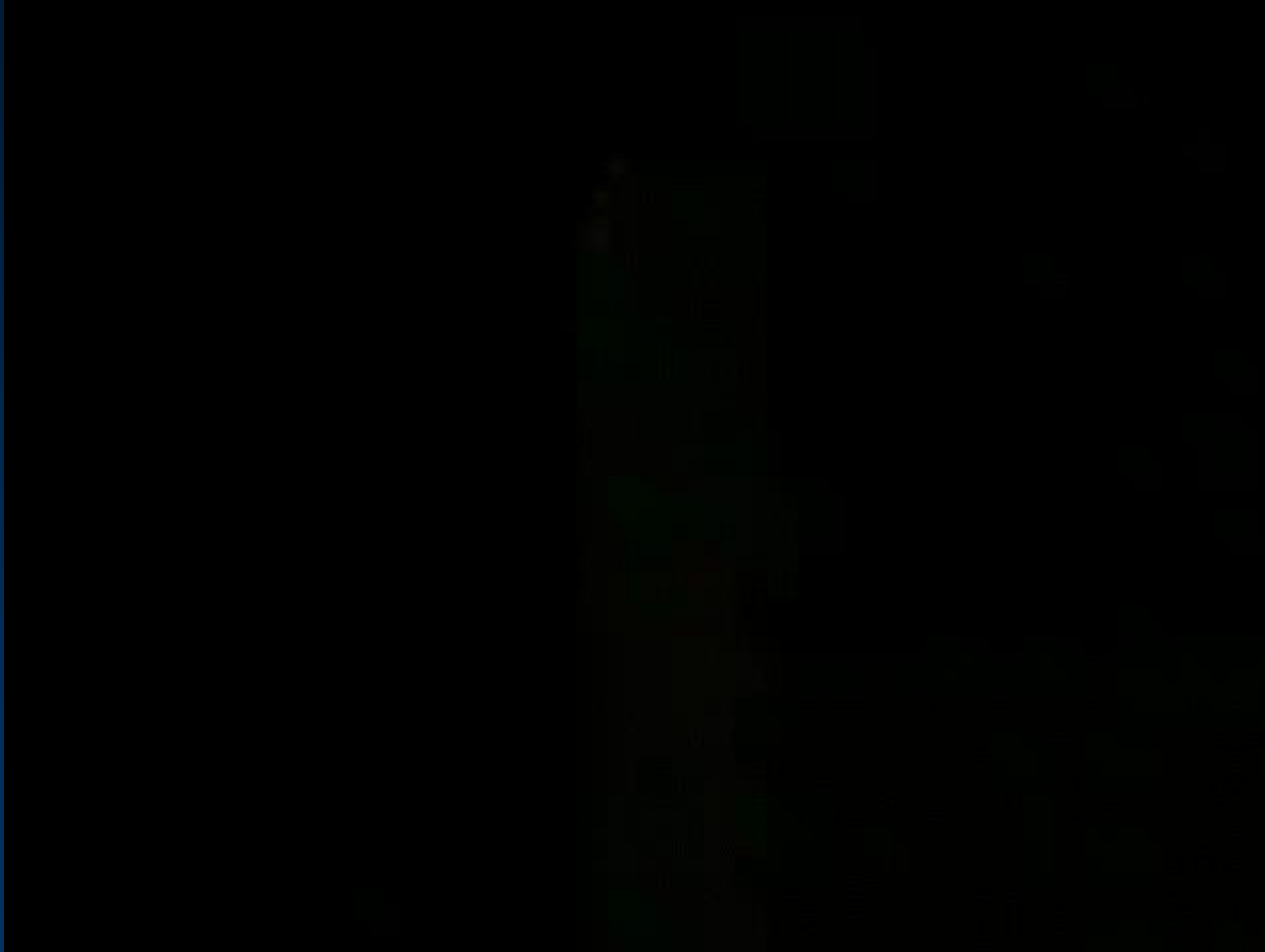
$$f = \frac{\lambda}{r^s} - \frac{\mu}{r^t} \quad (s > t)$$

排斥力

吸引力

式中 r 表示两个分子间的中心距离， λ 、 μ 、 s 、 t 都是正数，其值由实验确定。

分子间存在引力



$$f = \frac{\lambda}{r^s} - \frac{\mu}{r^t} \quad (s > t)$$

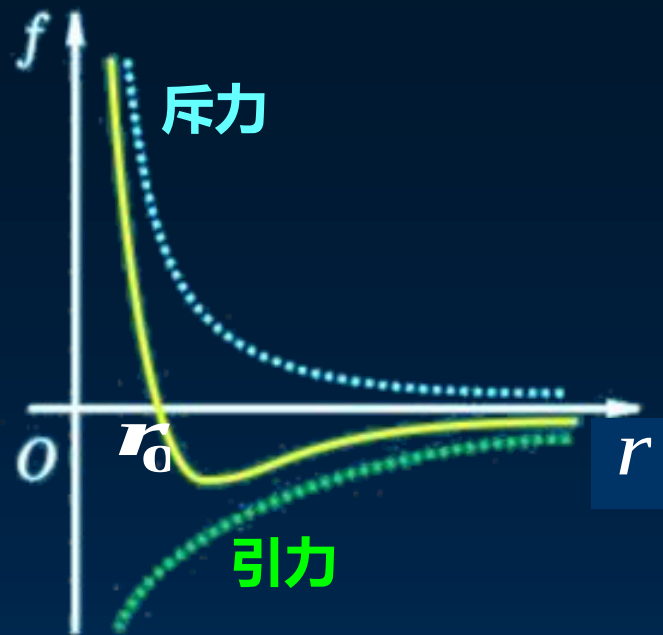
根据分子力与分子间距离关系

$$r = r_0 = \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{\frac{1}{t-s}} \quad \leftarrow f = 0$$

(平衡位置) $r_0 \approx 10^{-10} \text{m}$

$r > r_0$ 分子力表现为引力

$r < r_0$ 分子力表现为斥力



分子力与分子间距离的关系

气体情况: $r > 10r_0$ 分子力等于0, 分子力是短程力

★ 结论

一切宏观物体都是由大量分子组成的, 分子都在永不停息地作无序热运动, 分子之间有相互作用的分子力。