

物理学院



# 大学物理·热学

主讲教师：李华

# 第 7 章 统计物理学初步

## 7.1 热力学系统的理想模型与描述参量

## 7.2 平衡态下理想气体压强、温度的微观实质

## 7.3 自由度 能量按自由度均分定理

## 7.4 麦克斯韦气体分子速率分布律

## 7.5 玻尔兹曼分布

## 7.6 理想气体的平均自由程



## 7.2 平衡态下理想气体压强、温度的微观实质 (Part 2)

### 本讲的研究内容

- 7.2.1 统计规律
- 7.2.2 平衡态下理想气体压强
- 7.2.3 平衡态下理想气体温度



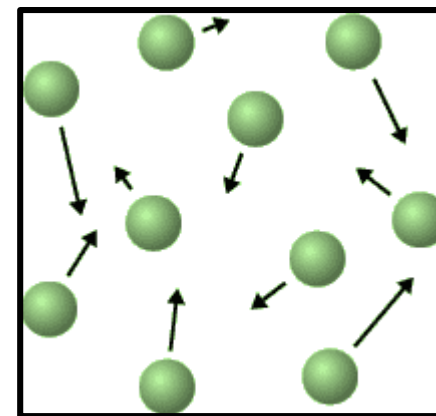
- (1) 研究方案的制定
- (2) 压强公式的推证
- (2) 压强公式的解读

## 7.2.2 平衡态下理想气体压强的微观实质 —— 建立统计物理理论体系的重要案例!

### (1) 研究方案的制定

思考

- Q1: 切入点?
- Q2: 需要处理哪些环节? 这些环节之间的逻辑连接?
- Q3: 需要用到哪些物理知识? 数学工具?
- A1: 切入点——气体分子运动论, 压强产生的根源

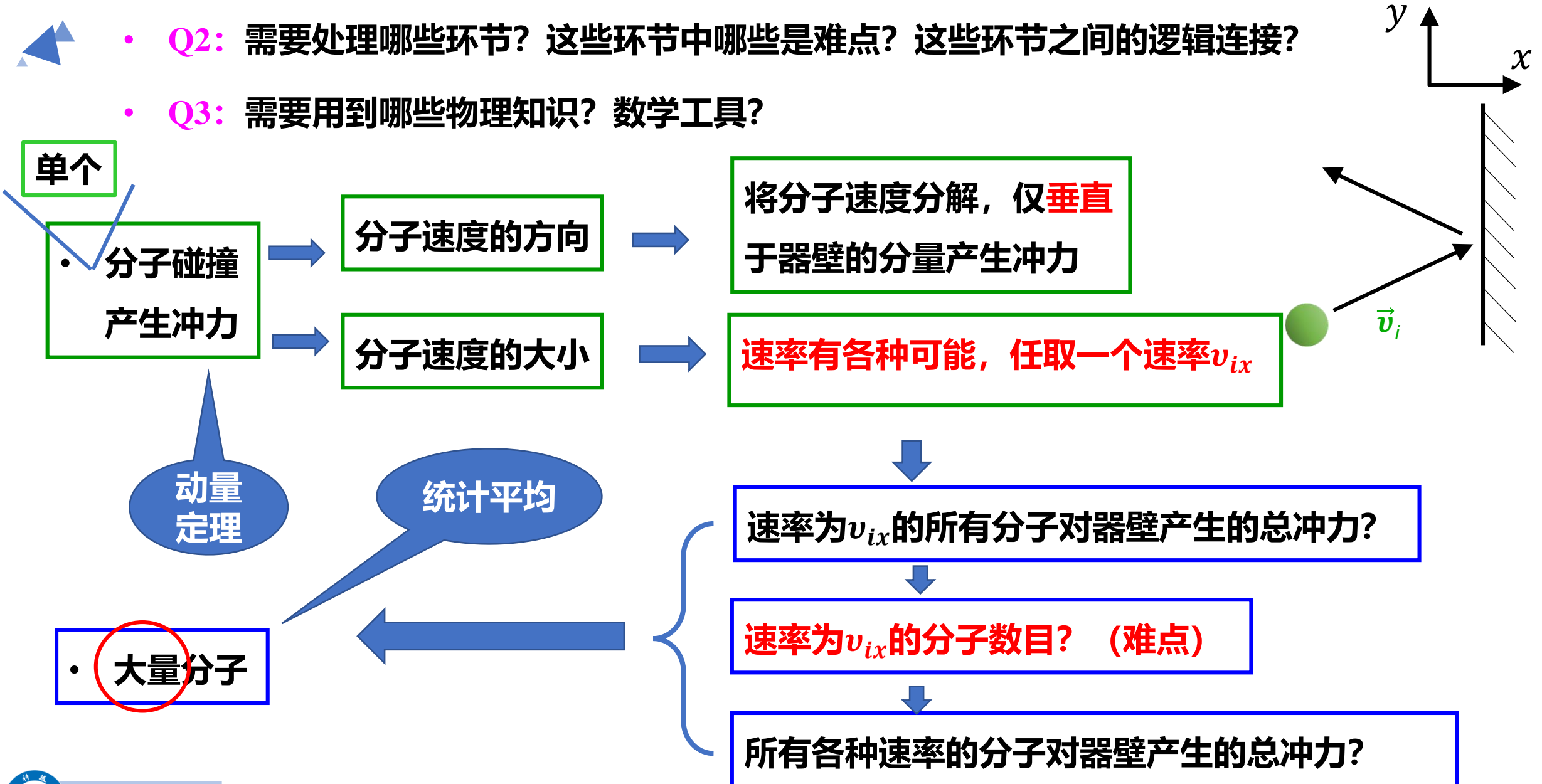


气体压强的微观图像

克劳修斯: “由于分子的质量很小, 以致每一次个别碰撞的作用都是非常不明显的, 但是在单位时间内, 甚至在所观察的最小面积元上的碰撞次数也非常之多. 因此, 我们的感觉造成了虚假的印象, 认为器壁所获得的重量并不是由于一次次撞击, 而是由于一种从内向外的恒力的影响, 这个力就是我们称之为压力的力。” 必须承认, **气体压强是大量分子对器壁不断碰撞的结果**



- Q2: 需要处理哪些环节? 这些环节中哪些是难点? 这些环节之间的逻辑连接?
- Q3: 需要用到哪些物理知识? 数学工具?



**推导：** 根据速度大小将所有分子分组，每个组内分子速度的大小和方向都一样。

取器壁的一个面积微元 $dS$ ，设单位体积内  $x$  方向速率为  $v_{ix}$  的气体分子数为  $n_i$ ，  
气体分子与器壁发生弹性碰撞的作用时间为  $dt$

(1) 速度为  $\vec{v}_i$  单个分子碰撞一次施与器壁的冲量为

$$f_i dt = 2mv_{ix}$$

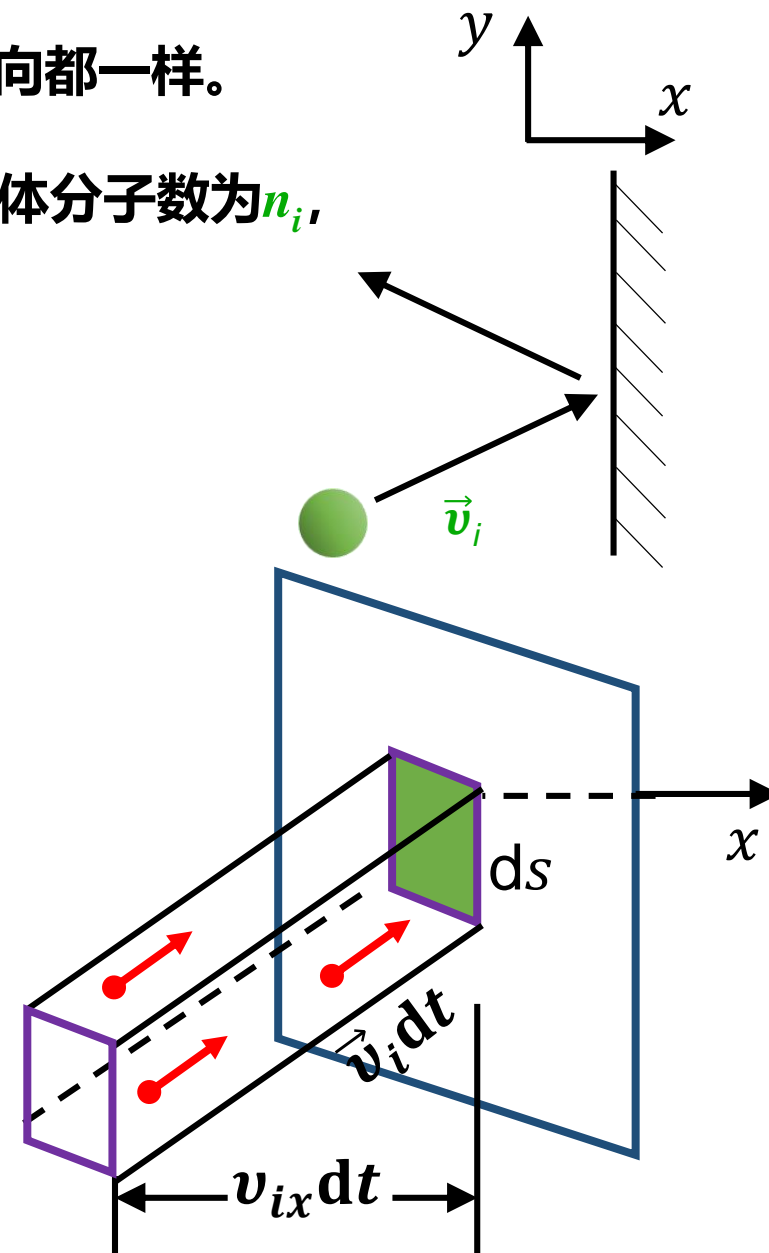
(2)  $dt$  时间范围内，所有速率为  $v_{ix}$  的分子对  $dS$  面元的冲量

$dt$  时间范围内能够与器壁碰撞的分子数：

$$N_i = n_i \cdot v_{ix} dt ds$$

$dt$  时间范围内，所有速率为  $v_{ix}$  的分子对  $dS$  面元的冲量：

$$dI_i = N_i \cdot 2mv_{ix} = 2mn_i v_{ix}^2 dt ds$$



(3) 各种速度的分子, 在 $dt$  时间内, 对 $dS$ 面元的冲量

$$\bar{A} = \sum_i A P_i = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_i A_i \frac{N_i}{N}$$

$$dI = \sum_i dI_i = 2m \sum_i n_i v_{ix}^2 dt ds = \frac{1}{2} \times 2m \sum_i n_i v_{ix}^2 dt ds \quad (1)$$

( $v_{ix} > 0$ )    ( $v_{ix} > 0$ )

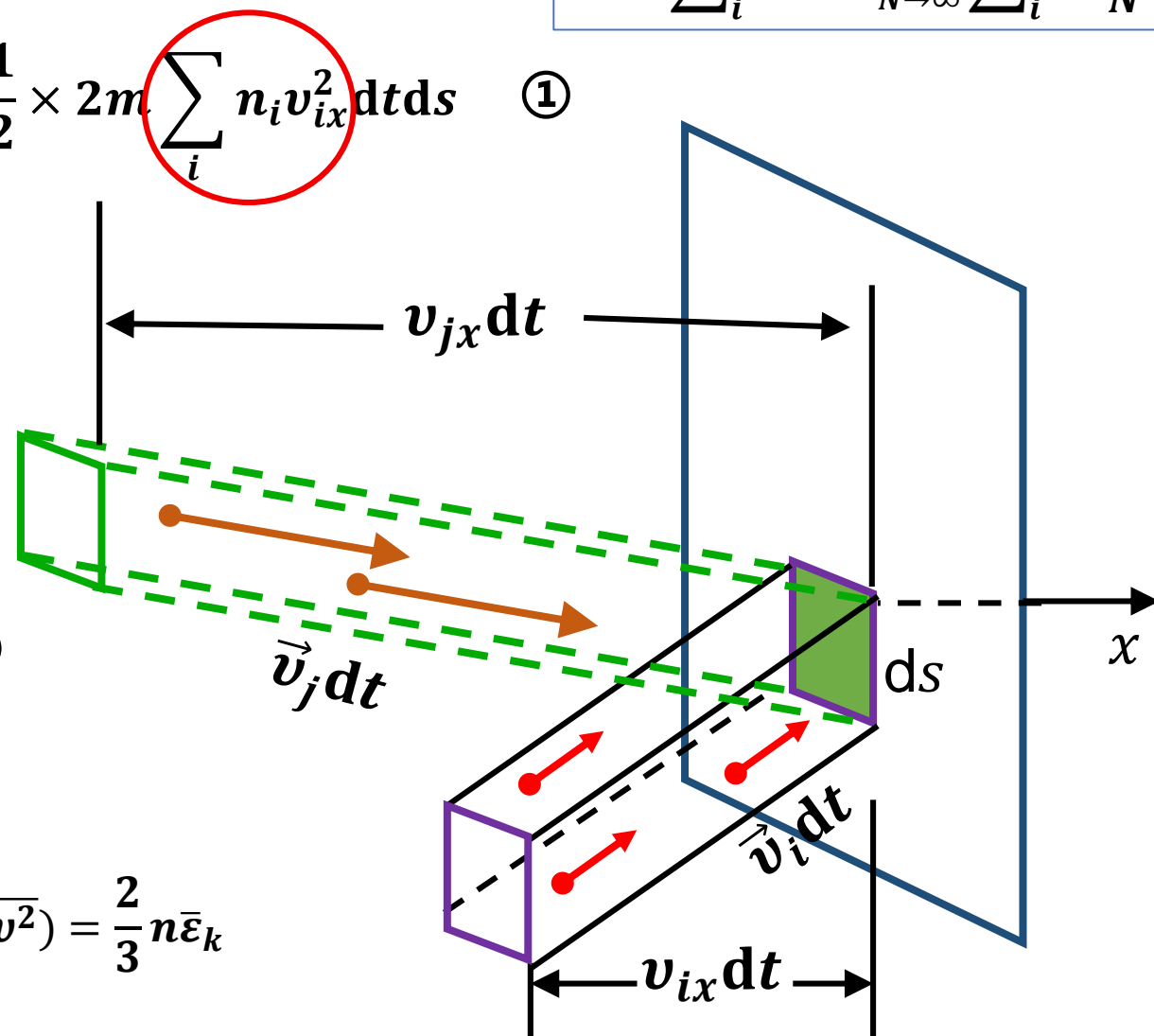
## (4) 引入统计平均值, 导出压强公式

平均值:  $\overline{v_x^2} = \frac{\sum_i n_i v_{ix}^2}{n} \quad (2)$

由等概率性知:  $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2} \quad (3)$

$$\therefore dI = nm \overline{v_x^2} dt ds = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} dt ds$$

压强:  $p = \frac{dI}{dt ds} = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \left( \frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}_k$



理想气体压强:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}_k$$

说明: I 理想气体的压强正比于气体分子的数密度和分子的平均平动动能, 揭示了宏观量与微观量统计平均值之间的关系

II 压强公式是个统计规律(非力学规律), 只适用于大量分子组成的理想气体

### 3 温度的微观实质

因  $p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}_k, p = nkT$

分子的平均平动动能:

$$\bar{\epsilon}_k = \frac{3}{2} kT$$

说明: I 反映宏观量  $T$  与微观量  $\bar{\epsilon}_k$  的关系:  $\bar{\epsilon}_k \propto T$

II 温度的微观本质: 温度是分子平均平动动能的量度, 或无规热运动剧烈程度的量度

III 温度是大量分子无规则运动的集体表现, 单个分子的温度无意义



## 课后作业

- 1 再次自行推证压强公式，理解并体会压强公式所体现的统计物理研究方法，以及研究结果特征
- 2 如果考虑分子之间的碰撞，压强公式是否会有变化？





物理学院

# 谢谢大家!