

Introduction to Single Molecule Science

单分子科学绪论

Jerry Ling

2025 年 2 月 18 日

本笔记系张云翔老师开设的研究生课程《单分子科学：原理与模型》的课程笔记。主要参考书 *Single Molecule Science*，可参考 *An Introduction to Single Molecule Biophysics* by Yuri L. Lyubchenko (偏向生物物理)，*Single Molecule Techniques* by Paul R. Selvin and Taekjip Ha (实验细节，fret)，*Single Molecule Spectroscopy in Chemistry, Physics and Biology* (较经典的论文集)。

单分子科学前传

从朴素原子论到近代原子论

古希腊人提出原子和真空的最初的概念。思辨上，他们认为物体要运动，中间就需要是真空 (that do not exist)，否则就会被阻挡。17 世纪，波义耳在他的文章中提出 *corpuscle* (unbroken particles) 的概念，着重强调不同原子的排列组合能够产生新物质。某种意义上，*corpuscle* 就是 *particle* 的原型。

原子论更进一步的发展依赖于对气体的研究和实验 (Gay-Lussac)。阿伏伽德罗则作为理论家統合了道尔顿的原子论和前述的实验，提出了分子理论 (molecule theory, 1811)。丹尼尔·伯努利则根据动量守恒导出了分子的平均速率，首次从 bulk 水平上理解分子的运动情况。在微观尺度上，Loschmidt 是第一个对分子大小进行估计的科学家 (1865)。他通过凝聚系数 (condensation coefficient) 和气体自由程相当准确地估计出气体分子的大小。

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (1)$$

Exercise: Calculate the speed of Ammonia and compare it with the speed of a shot bullet.

Note 1 (the Bernoulli Family). *John Bernoulli, known for Catenary Curve, Brachistochrone Curve and mentor of Euler. Jakob Bernoulli, who is John's brother, is known for his achievement in probability*

theory. Daniel Bernoulli, Old John's son, is known for his research in hydrodynamics. He is the one we've mentioned above.

向单分子迈进

尽管 19 世纪的科学家完成了很多出色的工作，却仍未有实验**直接证明**分子的实体存在，直到爱因斯坦对布朗运动进行了系统的研究。1827 年布朗观察到花粉在水面上的随机运动，而 1905 年爱因斯坦导出了扩散速率和热力参数的关系：

$$mse = \frac{RT}{3\pi\eta N_a r} \tau = 2D\tau \quad (2)$$

Extra Reading: the BM theory is confirmed in 1908, revisited in 2008.