

# 蒸发驱动的大小胶体球分层现象

颜料和墨水通常由微米大小的颗粒组成，这些小颗粒均匀悬浮在液体中，构成软物质重要的一部分：胶质溶液。当我们用画笔涂色时，随着画笔的移动，胶质溶液在纸上构成一层薄膜。这层薄膜中的液体会很快挥发，残留下来的胶质颗粒最终形成我们的作品。

这个在我们日常生活中常见的现象背后实际上包含了很多有趣的物理问题。当液体挥发时，胶质溶液的液体/空气界面会下降，推动溶液中的胶体粒子聚集在界面附近。这些微米尺度的胶体粒子同时会无规律的四处乱撞，经历所谓的布朗运动。布朗运动的剧烈程度和粒子的大小有关。小粒子的布朗运动比较快，所以它们能比较迅速的从浓度较高的界面附近游离出来；而大粒子因为运动较慢，则会聚集在界面附近。最终当所有液体挥发完以后，剩下的薄膜具有大粒子在上，小粒子在下的层状结构。这个结论被广为接受，所以在2016年，当英国的科学家发现完全相反的现象，即小球在上而大球在下的结构时，很多人都感到惊讶[1]。

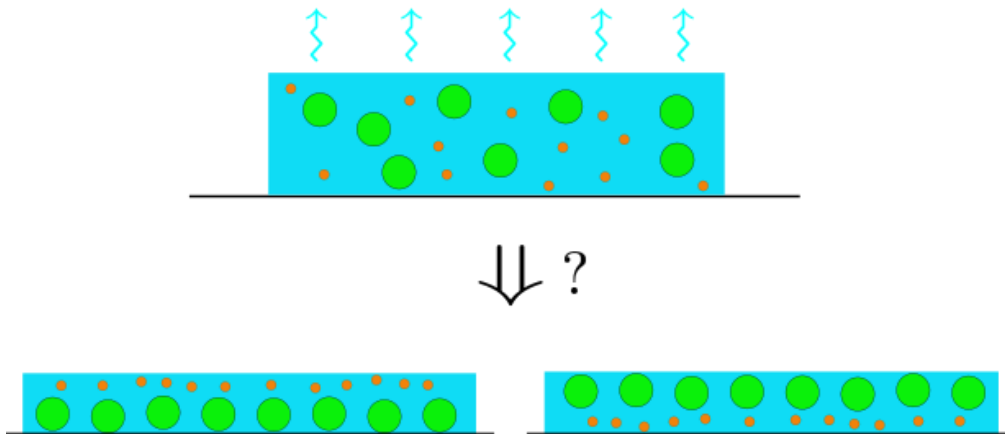


图 当包含不同大小颗粒的胶体溶液蒸发时，最终的分层状态取决于蒸发的速度。

日前，北航化学学院周嘉嘉副教授，蒋滢副教授，和北航“外专千人”土井正男 (Masao Doi) 教授合作，在物理学国际权威杂志《物理评论快报》以“蒸发引起胶体溶液中的大小球分层”为题发文[2]，成功解释了蒸发驱动下大小胶体粒子的反常分层现象，首次绘制了蒸发驱动的非平衡状态图。通过数值模拟，我们得到了一个反常分层出现的条件：

$$\alpha^2 \left(1 + \frac{v_{ev} h_0}{D_1}\right) \phi_{01} > 1$$

其中 $\alpha$ 是大小球的半径比， $v_{ev}$ 是蒸发速度， $h_0$ 是液膜的初始厚度， $D_1$ 和 $\phi_{01}$ 分别是小球的扩散系数和初始体积比。当蒸发速度比较小时，传统的稀溶液理论成立，最终形成大球在上小球在下的结构。当蒸发速度比较大时，我们必须考虑胶体球之间的相互作用，而最终出现的结构为小球在上而大球在下。该研究成果为溶剂蒸发驱动的软物质结构变化这一复杂问题建立了简洁的物理模型，为通过非平衡态实验方法制备表界面胶体材料提供了理论分析依据。该文被精选为编辑推荐文章 (Editors' Suggestion) ;同时被美国物理学会的 *Physics* 杂志选中，配有专文点评和推送。

这一工作得到国家自然科学基金和北航“卓越百人”人才项目的支持。

周嘉嘉，化学学院，副教授，卓越百人，E-mail: jjzhou@buaa.edu.cn

#### 参考文献

[1] A. Fortini *et. al.*; Dynamic Stratification in Drying Films of Colloidal Mixtures, *Phys. Rev. Lett.*, 116, 118301 (2016).

[2] Jiajia Zhou, Ying Jiang, and Masao Doi; Cross Interaction Drives Stratification in Drying Film of Binary Colloidal Mixtures, *Phys. Rev. Lett.*, 118, 108002 (2017).