# 1926 年诺贝尔物理学奖——物质结构的不连续性

佩兰像



1926 年诺贝尔物理学奖授予法国巴黎索本大学的佩兰（Jean Baptiste Perrin，1870—1942），以表彰他在物质不连续结构方面的工作，特别是对沉积平衡的发现。

## 物质结构不连续性的研究

佩兰关于物质结构不连续的工作，主要指的是他对布朗运动的研究。

布朗运动是由分子无规则热运动引起的，它是证明分子存在的最有力的证据。但是这个结论并不是轻而易举就能得到的。经过理论和实验两方面的努力，才得到大多数科学家的承认。理论方面的工作主要是爱因斯坦完成的，而实验方面则主要是指佩兰的乳浊液沉积实验。

19 世纪后半叶，由于热力学和分子物理学的发展，逐渐有人认识到，在布朗运动和分子热运动之间必有某种联系。例如，19 世纪 70 年代末，卡彭涅耳神父（Father Carbonnelle）就作过这样的解释：“在悬浮液体中的颗粒如果表面较大，液体分子对其碰撞所形成的压力，并不会使该颗粒产生移位效应，因为分子对颗粒的各个方向的作用都是相同的，合力为零。但是如果颗粒的表面较小，……小到我们所考虑的压力彼此不能平衡，就会使颗粒所受合力不为零，并且方向大小都不断变化。”这一解释是正确的，但是只停留在假设阶段，还没有上升到能够用实验进行检验的严格理论，同时也没有适当的实验能够证明它就是分子热运动引起的现象。1905 年爱因斯坦在全面地研究了热力学和统计物理学之后，运用物理学中完全不相干的两个领域的成果，对布朗运动进行了理论分析。这就是：流体动力学中的斯托克斯定律 *f* = 6π*ηav*（其中 *f* 为小球在液体中运动所受阻力，*η* 为液体的粘滞系数，*a* 为小球半径，*v* 为小球运动速度）和溶液理论中的渗透压公式 *p* = *γ*（其中 *R* 为气体常量，*T* 为绝对温度，*N*A 为阿伏伽德罗常量，*γ* 为单位体积所含悬浮小球数），他把悬浮小球的扩散看成是一个动平衡过程，应用上面两个定律和关于动态平衡的两个条件：

*fv* =

及

= *D*

即可得到扩散系数

*D* = ·

接着他又从悬浮微粒的不规则运动用统计方法得出均方根位移

*λx* =

*t* 为时间。将上两式消去 *D* 可得

*λx* =

利用这一关系可以求出阿佛伽德罗常量

*N*A = ·

其中，*λ*，*T*，*η*，*a*，*t* 都是可以直接测量的。这样，爱因斯坦就找到一个明确的关系计算阿佛伽德罗常量 *N*A，再看是否与已知的 *N*A 值相符，就可以从实验检验理论的正确性。

1906 年，爱因斯坦又发表了《布朗运动理论》一文，讨论了在平衡态下液体中悬浮颗粒按高度分布的问题，得出下列关系

d*W* = const·expd*x*

其中，d*W* 是颗粒出现在 *x* 到 *x* + d*x* 之间的几率，*V* 是粒子体积，*ρ* 是颗粒密度，*ρ*0 是液体密度，*g* 是重力加速度。

佩兰正是在爱因斯坦的布朗运动理论指导下对爱因斯坦的上述方程进行全面的实验检验。他早年曾因阴极射线的研究获伦敦皇家学会的焦耳奖。这项研究是 J.J.汤姆生发现电子的先奏。1901 年佩兰曾提出过有核行星原子模型。

佩兰在 1906 年开始对布朗运动产生兴趣，这时正好爱因斯坦发表了有关布朗运动的论文。1908 年佩兰将爱因斯坦的高度分布公式改写成乳浊液分布方程

2.3 lg = *mgh*(1 − )

其中，*n*0 和 *n* 是高度差 *h* 两端处的浓度。

首先是要选择适当的物质做成乳浊液。佩兰经过多次试验，找到藤黄和乳香这两种乳浊液。藤黄是一种水彩颜料；乳香是清漆的原料。佩兰特别注意到这两种乳浊液的颗粒都是球形的，可以利用公式

*V* = π*a*3

建立体积 *V* 和半径 *a* 之间的关系。

为了选择半径相同的微粒进行实验，佩兰采用“离心分类”方法。这个方法很巧妙，但很费事。他在离心机的试管中装入纯乳浊液，深度一定（例如 10 cm），转速一定（例如每秒 30 转），转 60 分钟，待自行停止后等几分钟。这时沉淀在试管底部的颗粒基本上都大于某一半径，例如 *a*1。当然还可能会有少量半径小于 *a*1 的夹在中间。小心地用虹吸管吸出面上的液体，这时小于 *a*1 的微粒随液体一起被吸走。重新灌上蒸馏水，摇匀后再按同样的时间重新分离，这时得到的沉淀中含小于 *a*1 的微粒会更少。如此重复多次，直到沉淀上面的水完全是清的，说明此时再也没有半径小于 *a*1 的颗粒。

然后，缩短离心旋转时间，则沉淀于底部的颗粒半径应大于 *a*1，设为 *a*2，于是在 *a*1 与 *a*2 之间的颗粒仍悬浮在液体中，如果 *a*1、*a*2 非常接近，这时就得到了一种颗粒非常均匀的乳浊液。

乳浊液中颗粒的密度用两种方法测定。一种是蒸干水分后直接测其重量；另一种是将乳浊液与水比较。两种方法的结果非常吻合。

观测布朗运动的装置如图 26 – 1 所示。将厚度为 0.1 mm 的有圆孔的玻璃片放在显微镜的载物玻片上，构成一扁平的圆形容器，将一滴均匀的乳浊液置于容器上面，用玻璃盖盖好，再用石蜡或漆密封，以防液体蒸发。这样配制的样品可以供几星期之用。把样品放在显微镜的工作台上，工作台务求水平。使用的镜头放大倍数很高，但景深很小，约 1 μm，所以只能观察到极薄的一层颗粒，上下移动镜筒，可以观察到许多层。

显微镜物镜

盖玻璃

载物玻璃

乳浊液

图 26 – 1 佩兰实验装置

下一步是要测出给定面积的颗粒数。这可不是一项简单的工作，因为颗粒处在活动之中，几百个颗粒在视场中无规则地乱闯，时隐时现，这是无论如何也数不清楚的。机敏的佩兰，想到用照相术，这个方法果然奏效。他采取对同一层多次拍照的办法，数出每张照片上的颗粒数，再加以平均。然而直径比 0.5 μm 小的颗粒往往在照片上也看不清楚，于是，他又想了一个办法：在显微镜的焦面上放一块不透明的箔片，再用细针在箔片上扎一小孔，把视场限制在这个小孔里，用肉眼经显微镜观察一瞬间的颗粒数，每隔一定时间，例如 15 s，读一次数。读取多遍求出平均值就可看成是颗粒出现的平均频数。将显微镜调到另一层，重复读数。这两个平均频数之比就是浓度比。用这种方法测量，要达到一定的精度，没有几千次计数是不行的。

怎样确定颗粒的半径呢？佩兰也用了不止一种方法。第一种方法是利用斯托克斯定律，在密度为 *δ*，粘滞系数为 *η* 的液体中，半径为 *a*、密度为 *Δ* 的小球，以收尾速度 *v* 下落时，它所受的重力应与阻力和浮力平衡，即

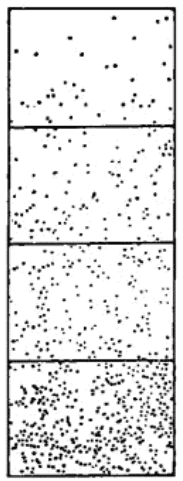
6π*ηav* = π*a*3(*Δ* − *δ*)*g*

实验中把乳浊液倒入毛细管中，置于恒温槽内，乳浊液顶层每天下降一定距离，例如几毫米，每隔一昼夜记录一次高度，由此测定下降速度 *v*，从而可算出半径 *a*。

第二种方法是滴定统计体积已知的标准乳浊液中的颗粒数。所谓标准乳浊液是指浓度已知的乳浊液。统计颗粒数的方法也很特别。佩兰注意到在弱酸媒质中（例如 1 L 有 0.01 mol 的酸）藤黄或乳香的颗粒会聚集并附着在容器器壁上。他将乳浊液摇匀后，与弱酸液混合再摇匀，从中取一滴置于显微镜载片上，用边缘涂有石蜡的盖玻璃推匀（涂石蜡的目的是避免盖玻璃携走颗粒），片刻，所有的颗粒都附着在载片上。佩兰用照相机的显画器把载片表面放大后投影在平板上，即可用纸描下颗粒的位置，从而求出颗粒半径。

第三种方法是通过显微镜直接测量。这种方法适用于较大的颗粒（直径大于 0.5 μm）。在显微镜下直接观察单个颗粒会因为衍射效应看不真实，但排列整齐的一连串颗粒则便于测准。

图 26 – 2 佩兰用显微镜观察到的结果



佩兰根据这三种方法所测颗粒半径确定阿伏伽德罗常量 *N*A 值，其中半径为 21.2×10−8 m 的一组数据，计算得结果为 *N*A = 7.05×1023/mol。三种方法测出的数据比较一致，都在每摩尔5.0×1023 ~ 8.0×1023 个之间。从而佩兰得出结论：“分子的客观现实性是很难否定的了。”

但是，佩兰并没有到此止步，他又着手进行新的研究。他和他的学生肖塞格（Chaudesaigues）进一步验证爱因斯坦布朗运动理论中的位移公式。

这方面的实验在佩兰之前已经有好几个人作过。其中一位叫斯维德伯（Svedberg），他测得的位移比爱因斯坦公式所预料的大 6 ~ 7 倍。还有一位叫亨里（Victor Henri），用电影记录下布朗运动的轨迹，结果也偏大 4 倍。

1908 年 11 月 30 日肖塞格报告了一种检验爱因斯坦位移公式的新方法。他们没有精密定时的摄影装置，就用照相机的映画器将颗粒的位置显示在纸面上，跟踪一个颗粒，每隔半分钟标一次位置，读 4 次后另换一个颗粒重复观测。他用了两种粘滞性不同的液体，每种选 50 个颗粒。分别得到 *N*A 值为 7.3×1023/mol 和 6.8×1023/mol。

关于这个实验，佩兰在诺贝尔奖领奖词中说道：“在几位合作者的帮助下，我作了几个系列的测量，我不仅改变微粒的大小（1∶70 000），而且还改变液体的性质（水、糖或尿素溶液、甘油）和粘度（1∶125），得到的数值在 55×1022 ~ 72×1022 之间，数值上的差别可用实验误差来解释。这些数值如此一致，使人们不可能怀疑平移布朗运动的分子运动理论的正确性。”

1910 年佩兰又进一步作实验，验证爱因斯坦的转动布朗运动公式，并且得到了同样的 *N*A 值：6.5×1023。佩兰的上述实验证明了液体中布朗微粒的乳浊液分布方程和布朗运动的位移公式，从而为原子的存在提供了直接证据。过去还有人认为这不过是一种假说，1908 年以后就很少有不相信原子的物理学家了。

## 获奖者简历

**佩兰** 1870 年 9 月 30 日出生于法国里尔。他在这里的一所高等师范学院读书。1894—1897 年间是物理助教，开始研究的是阴极射线和 X 射线，1897 年因写出阴极射线和伦琴射线的论文而获得“科学博士”学位，同年任巴黎大学神学院物理化学讲师。1910 年他晋升为这所学院的教授。1940 年德国占领法国以前，他一直担任这个职务。

佩兰最初在研究阴极射线性质时，证明了阴极射线具有负电粒子的性质。他还研究了 X 射线对气体导电的影响。此外，他研究了荧光、镭的衰变以及声音的发射和传播。

佩兰是法国国家科学研究中心的创始人。国家科学研究中心是面向大学以外最有希望的法国科学家的一个机构，如果没有这样一个机构，他们的科学才能就会被埋没。正是由于有了这个研究中心，弗列德里克·约里奥才能完成他的伟大研究。此外，佩兰还创建了—座发明宫，负责创办了巴黎天文物理研究所和上普罗旺斯天文台。如果没有他的声望和说服力，恐怕生物物理化学研究所就不会诞生。

在 1914—1918 年大战期间，佩兰曾是工程部队的一名军官。

1940 年德国侵占他的祖国时，他逃往美国，并于 1942 年 4 月 17 日在美国逝世。

[官网链接](https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1926/summary/)。