

利用微重力条件研究分散体系^{*}

孙祉伟

中国科学院力学研究所, 国家微重力实验室, 北京 100080

摘要 讨论了重力对分散体系特性的可能影响以及如何利用微重力条件开展在重力环境中难以深入研究的问题, 并探讨了对理论研究和实际应用有价值的可能课题.

关键词 微重力, 分散体系, 胶体

航天技术的发展激励了人们利用微重力环境探索自然规律并推动技术发展的热情. 已开展的一些研究领域, 如冶金学、晶体生长、流体力学、生物学等方面的应用已证明了微重力研究的价值. 然而有一些领域如分散体系(包括胶体科学)则尚未得到应有的重视, 起动较晚.

分散体系和胶体, 无论在工业应用和日常生活中都是非常重要的物质体系, 可以说是无处不在的. 所谓分散体系是指一种或几种物质分散在另一种物质中的体系, 被分散的物质为分散相, 另一种物质称之为分散介质. 一般把分散度较高(分散相粒度小)的体系称为胶体(粒度在 $0.1\mu\text{m}$ 到 1nm). 油漆、涂料、洗涤剂、墨水、细胞培养液、血液就是几个常见的分散体系的例子. 为了探讨把微重力作为一种研究工具在涉及分散体系和胶体的一些重要现象的研究中能起什么作用, 国际上已经邀请这方面的专家组织了几次专题讨论会^[1,2].

任何科学实验都是在一定条件下进行的, 实验条件则是由一组参数来表征的, 如温度、压力、成份等. 重力作为一个特别的参数往往被忽略, 因为它在地球上无处不在的, 要避免它需要付出高昂代价. 对于分散体系特别是胶体来说, 由于它们一般都是与很小质量的颗粒或液滴相联系的, 似乎更有理由忽视重力的作用.

分散体系的许多特性与粒子间相互作用力有关, 当重力的影响可以与这些力相比较时, 重力的因素就举足轻重了. 一般说来, 重力对分散体系的影响是比较小的. 但对于非均匀混合物, 非稳定的平衡态或敏感的结构来说重力可能起重要作用. 由密度失配和热密度梯度造成的浮力, 沉降和对流可能足以影响粒子间原有的微弱相互作用, 并因而导致体系性质和行为表现的显著改变. 现代混沌科学已证实, 很小的作用量可能导致一个系统在动力学行为上难以估计的影响. 在微重力条件下研究分散体系, 无疑对于揭示那些被重力影响所掩盖的现象有重要意义, 而且有很好的应用前景. 下面将探讨一些可能与微重力有关的分散体系课题, 因为它的内容是互相渗透的, 下面的分类可能很不准确.

1 气溶胶

气溶胶对于气候和环境的重要性是显而易见的, 其工业应用则包括纳米粒子制备, 微电子

技术所需要的超净环境及超净度的测定等. 与用液体作为介质相比, 气溶胶的主要优点是不存在表面层和双电层, 因而减少了影响体系的因素, 这样就使得对实验的解释容易得多^[3]. 很容易想到重力对低粘性介质中的悬浮体会有明显的影响. 这类介质对重力引起的沉降阻力很小, 分散相很难长时间悬浮. 因此, 在微重力条件下研究气溶胶的稳定性和聚集行为就十分必要了. 对所谓真空溶胶 (Vacuosols) 来说更是只能在微重力条件下才能研究, 因为它完全没有支撑介质. 在无重力情况下, 人们可以集中精力研究那些把粒子聚集在团或网络结构中的微弱吸引力^[4,5].

物理体系的计算机模拟 (例如分子动力学模拟) 已被证明是一种很有用的研究工具. 然而在有很多参数同时作用时, 模拟的效果会受到限制. 这时最好是把实验在更为理想的条件下进行, 以有效的缩减影响参数. 重力对分散体系的影响一般是由于密度差造成的, 其表现是浮力、沉降和自然对流. 有重力时, 只有足够小的粒子才能悬浮在气态介质中; 无重力时则根本不需要任何支撑介质. 这样, 分子动力学的研究就可以在更为理想的条件下与实验对比, 不仅与现有的模型对比, 还可以与比地面重力环境所允许的粒子尺寸大得多的模型体系做比较. 例如, 可以用纳米级的微粒或团聚体代替通常只能是分子大小量级的质点. 布朗运动是由于在液体或气体中微粒受到介质分子的不断无规碰撞而产生的, 这种碰撞也维持了粒子得以在空中较长时间的悬浮. Perrin 就是因为一系列关于悬浮体的研究而于 1926 年获得诺贝尔奖的. 他证实了做为巨型分子的微粒的爱因斯坦模型, 并显示悬浮体的浓度梯度是与大气压的分布公式一致的.

无重力时, 多粒子体系处于固有的热运动中, 这对无支撑介质的悬浮体是很有意义的 (气体或真空中的微粒). 由于粒子尺度可以大大增加, 人们可以期望对某些物理现象有更深刻的认识, 如增强了的 Van der Waals 相互作用. 同样, 因大大延长了悬浮体在有限体积内的留空时间, 这将有助于对时间尺度概念的深入认识. 这两方面都为星际尘埃动力学的模型实验创造了条件. 尺度的概念为研究轨道碰撞提供了方便, 因而对探索恒星起源可能有帮助. 太阳系的形成有一个宇宙尘埃三维轨道碰撞聚集的模型, 这可用真空中的微粒聚集过程来模拟, 其平均自由程要远比微粒的直径大. 关键参数 (包括碰撞合并几率, 粒子与光的作用, 以及聚集过程的本质等) 尚需进一步探讨. 人们在考虑用 $2\mu\text{m}$ 大小的硅球模型实验来检验各种理论模型. 这样就把天体物理与应用胶体联系起来.

另一个天体物理问题是尘埃等离子体. 带电粒子的聚集模型是由“等离子体晶体”构成, 每个粒子携带约 12000 基本电荷, 格点间隔为 $250\mu\text{m}$, 主导相互作用是静电力. 等离子体晶体的一个可能用途是电磁过滤器.

因为在微重力条件下不再需要通常胶体中的支撑介质, 也不再需要分散剂, 这样就可以直接对分散体系的相互作用或化学反应进行研究而不受介电质或支撑介质的影响. 这里人们因而提出无液化学或干化学的概念. 气溶胶是多相体系, 其宏观尺度的运动是由作为分散介质的承载气体的流动状态来决定的, 是层流或湍流取决于压力和温度梯度以及系统的几何形状. 重力会对承载气体产生的浮力有影响, 也会对悬浮粒子的沉降起作用.

2 悬浮液和乳状液

在乳状液中用微重力来代替空间的或静电的稳定剂也将是一个有意义的设想, 这是与无液化学类似的概念. 这种简化的乳状液将有助于对其本质的认识. 微乳液 (比一般乳液的微滴小得多) 的热力学也是正在讨论中的热门课题^[6].

分散体系和膜的形态结构依赖于粒子间相互作用的特征. 由胶乳生成的膜以及膜的稳定性直接决定了油漆和纸面涂层的性能. 胶体大粒子的扩散行为及胶乳粒子的动能都对这些行为有重要影响. 有关的基本过程 (如蒸发, 变形, 互扩散和聚集等) 在微重力条件下可以得到更好的了解.

在很多情况下人们需要防止一些不想要的反应,有控制地释放所需要的活性物质(如药物在人体中的释放),或限制一个化学反应的速率.为此可以在化学试剂和它的流体环境间制造一个屏蔽层,这个加工过程称为微胶囊包装^[7,8].这个微胶囊系统的屏蔽层可以由聚合物壁层或液膜组成.微胶囊包装也可通过两阶段乳化制备的多重胶乳而实现.

微胶囊包装过程在微重力条件下进行更为有利,这样可以更好的控制胶乳以便进行所需要的观察.通常这是无法做到的,例如,在微重力条件下可以就地在相边界处结构的生长过程中直接提供反应溶液.至今由胶乳直接制备多电解质胶囊还未获得成功.

3 分散系的聚集和相变

微粒(或液滴)在液态或气态介质中的结构形态是由其聚集方式决定的.人们特别关心的是决定微粒分布稳定性的机制.这种稳定性又主要受微粒(或液滴)的表面或界面力控制,当重力的影响可以与这些力相比较时,微重力的研究就显得重要了.空间微重力实验可能有助于地面条件下稳定性的解决.例如,在微重力条件下研究絮凝以及互扩散对界面、网状结构及膜的影响可能加深对胶体稳定性的认识.举例来说,聚集与沉降会互相耦合,当聚集团簇较小时沉降较慢,随着团簇的增大,重力引起的沉降加快^[9].用搅拌的办法强行避免沉降又会导致絮凝条件的改变.而且密度差造成的对流也会干扰聚集或絮凝.非线性相互作用在所有聚集过程中都起重要作用,它也是胶体各种特性和表现的基础,重力的影响是不可忽视的.冷凝过程就是聚集在分子尺寸上的一个特例.

实际上,重力不仅可能提高聚集速率,也可能使其降低.已有人从实验上对比了在重力和微重力条件下分散在水溶液中的石英微粒的聚集速率,发现聚集速率在1个重力加速度(1g)条件下要比微重力条件下快.这是与理论预期不一致的^[10].同时,在1g下,当分散相与介质间没有密度差时的聚集速率也比有密度差时的快.然而根据低雷诺数流体动力学理论这种差别是不应存在的.估计这是因为当粒子间很靠近以致其London-van der Waals力变得重要时,在Navier-Stokes方程中的非线性项开始起作用的缘故.类似的现象对其它体系也有报导^[11~13].但至今仍无法给出令人信服的解释.

近年来分散体系的聚集在理论和实验两方面都受到关注.已有充分证据证明胶体聚集表现出分维结构,即团簇具有扩大尺度的不变对称性特征,不依赖于具体的聚集胶体本身的特性^[14~16].而且,数值计算和实验结果都表明存在着两种不同范围的具有普适特性的聚集区域^[17,18].一个是快速区,该区中的聚集是由扩散所限定的,因此聚集速率是由两次碰撞间的时间决定的.这个快速区因而得名为扩散限制的团聚集(DLCA: diffusion-limited cluster-cluster aggregation).另一种情况是两团碰后合在一起的几率远小于一,聚集速率很低,称之为反应所限的团聚集(RLCA: reaction-limited cluster-cluster aggregation).许多工作已证实在这两个区域中的团簇生长是以一个分维数为特征,而与具体使用的胶体性质无关^[19].最近有些实验工作发现在上述两区间还存在中间区.静态和动态光散射是研究胶体聚集过程的很有用的实验手段^[20].静态光散射可以直接测定聚集的分维数,平均半径和团簇的平均质量,而动态光散射可以用来测量聚集动力学以及有关团尺寸分布的情况.由于重力引起的沉降和对流会强烈影响聚集的动力学过程及验证胶体聚集的普适性.人们希望能在无重力条件下进行有关实验,特别是对于那些很难做到与介质密度匹配的材料,如金,硅和聚四氟乙烯粒子等.

分散体系聚集的研究主要有两个方面的内容,即粒子相互接近的原因及碰撞合并的原因.这里说的分散体系可以包括液滴和气泡的迁移、合并、分离等.决定性的因素是粒子间的相互作用力,这些力的来源包括^[21]:重力、布朗运动的随机力、毛细力、浸润(表面张力)、表面张力梯

度、与流体动力学有关的力、静电力、极性、Van der Waals 力、溶解、空间占拉、憎水(亲水)性、氢键等等. 这方面研究的理论预言和实验结果还存在着很大的分歧, 众多的力同时相互作用, 而对其中的一些力只有很粗糙的了解. 这就使理论研究只能限于一些为数不多的理想情况. 微重力条件提供了一种减少这些作用力数目的可能途径. 在这种情况下由重力引起的沉降、对流和流体静压差都可以有效地得以避免, 并可以使用大粒度、高密度分布的分散相, 因而可以在更为理想化的条件下验证理论. 从这个角度来说, 分散体系的微重力研究为提高分散体系聚集特性的理论水平开辟了新途径. 例如, 由于聚集团的分维结构与引起聚集的力直接相关, 了解聚集力的本质就十分必要了. 为了降低重力的影响而更好地研究聚集力的特性, Rioux 等人^[22]在微重力条件下, 对碳酸钙微粒的聚集动力学进行了研究, 发现该力具有 $1/r^2$ 的特征 (r 为粒子间距离).

为了控制分散体系的特性, 人们需要控制悬浮粒子或液滴间的相互作用力^[23]. 这些力则是由体系的固有特性以及交界区域的特性所支配的. 体系的固有特性, 诸如密度, 极化度决定了粒子或液滴间的吸引力和它们的沉降特性. 界面区的特性, 如双电层结构, 吸附的表面活性剂或聚合体的层结构则决定粒子或液滴间的排斥力. 总的净相互作用则是由吸引和排斥力的和所决定的, 这些力的综合作用决定了分散相的能量-距离关系, 人们可以根据这一关系对分散体系的稳定性做出判断.

胶乳液是常用的模型体系, 通过动态光散射法测定其大颗粒的空间分布, 决定其结构因子和扩散速度被认为是值得在微重力条件下进行的实验之一. 鉴于通常用的光散射装置体积庞大笨重且准直调整复杂, 光路系统很难在有振动干扰的情况下维持准直. NASA 提出了高技术激光散射装置的研制方案, 目的在于研制出小型机动适合于空间试验要求的光散射装置^[24].

对于纳米晶体网架的分维结构来说, 聚集过程是很重要的. 由反应和扩散所控制的团簇与团簇的聚集决定了网结构, 而团簇的电荷传递可能是得到现代电子装置所需要的人造电介质的一个有效途径.

气相中物质的聚集与前面说的无液化学很相似. 这里顺便谈一下大气污染问题. 火山爆发会向大气喷放出大量灰尘和岩屑, 这一颗粒层通常在地面上高达 15 到 20km 向下沉降. 这些灰尘会反射, 遮挡住一部分投到地面的辐射, 因而造成地面温度下降. 灰尘颗粒的沉降需几周时间, 但排放的气体中包含主要成分硫与水蒸汽, 能结合形成酸雨, 它们比尘埃颗粒小, 因而需要更长的时间在大气中漂浮. 这当然是我们需要避免的一种稳定性.

4 非线性现象和敏感结构

从原子尺度讲, 重力与其它较强的作用比(如顺磁性、离子键、动能等)是很弱的(严格说动能应该与特征长度下重力势之差相比), 因而重力的影响常被其它作用所掩盖. 但是弱相互作用可能对系统的复杂行为以一种非线性模式产生影响. 由各种相互作用的敏感平衡造成的非线性现象是形成许多特殊结构的基础. 这里说的敏感指的是比较脆弱, 不很稳定. 例如, 成核过程, 过饱和态, 亚稳结晶态, 结晶的生长, 旋节分解, 临界现象等. 对于这些敏感过程重力可能起相当关键的作用. 以临界现象为例, 许多物质表现出十分相似的临界点现象, 对临界现象的研究有助于对许多物理问题的深入认识^[25]. 从流体的液气临界点相变到固体的铁磁、超导等相变, 虽然体系不同, 却在各自的临界点附近遵从十分相似的物理规律, 这称之为普适性原理. 显然对临界现象的深入研究不仅具有深刻的理论意义还有广泛的应用背景. 普适性可以使人们选择不同的物理体系做为临界问题的研究对象. 由于流体不象固体那样很难避免内部缺陷, 因而被认为是研究临界现象较为理想的体系. 然而流体在临界点时会受重力的严重影响, 因为象压缩率等物理量在临界点附近非常大, 沿重力方向会造成很大的密度梯度, 使得精确测量无法进行. 因此这种

实验被认为是应在微重力条件下进行的。

另外,还有些结构只有在无重力时才能存在,例如某些材料的大块结晶,重力会使其塌陷或畸变。微重力为这些结构的形成和存在创造了条件,这在下面还要谈到。

5 材料制备

由于材料形成过程与上述的聚集、相变、结构形态密切相关,微重力条件显然为制备高级材料开辟了新途径。无重力时不必担心密度不匹配问题,也没有自然对流或沉积的干扰。密度不相同的物质所形成的分散体系可以得到比地球上好得多的均匀分布。由于可以不需支撑介质,也不需要容器,这就避免了一些不必要的相互作用和化学反应(包括器壁的污染),从而有可能对材料加工过程的优化条件有更新的认识,并将这些认识应用于地面的加工过程。一些脆弱结构的形态(包括液体)不再需要支撑自重,就可能生成和存在。

高级材料的合成强调其最小组成单元的作用和性质。如果在制备过程中把组成单元的能量降低到低于热力学标准,就可以得到非平衡态结构。冷却过程降低了原子、分子或胶体微粒的动能,动能与势能(重力及粒子相互作用势)的竞争而使得凝聚结构不同。无容器过程因避免了杂质的污染,可以更有效地达到过冷效果。

对某些聚合物的应用而言(如网架结构,线性和非线性光学聚合物等)其结构需要某种特定的排列,人们在考虑能否用微重力条件在玻璃温度以上进行聚合以冻结由电场诱导的排列结构。如果这是可能的,高度有序的L-B(Langmuir-Blodgett)膜就有可能制成。由弯月面造成的结构缺陷对L-B膜的转移是不利的。微重力实验可能提供解决该难题的线索。这些实验的目的是多层L-B膜的制备,最引人注目的是微重力能否有助于制备三维L-B结构。一种考虑是在二维有序膜的基础上诱导三维晶体的生长。

溶胶-凝胶转变是个很有希望的制造高质量的过滤陶瓷、催化剂支承材料、耐磨材料或聚合陶瓷复合材料的途径。微重力条件可能有助于通过更均匀的粒度而改进加工方法。象气凝胶这样的脆弱结构在重力作用下会变形。这方面的研究重点是如何理解和控制溶胶-凝胶的转变过程以产生所希望的微观结构形态。

纳米材料是当前一个热门课题,微重力在这一领域也是可以大有作为的^[26]。一个突出的例子是纳米导体网络结构^[27],纳米导体是大小为10 nm的金属,半金属或半导体微粒。在自由聚合的情况下,它们形成黑色低密度聚合物(blacks^[28]),其相对体积充填率只有百分之几。这个无支撑介质的网结构是由成块材料在高纯低压惰性气体中蒸发然后成核生长而成的。每个纳米微粒包含约104个原子,微粒间的Van der Waals(VdW)耦合被大大加强了,因而特别适合于作设想的巨分子VdW气的模型系统。由于小粒度和低填充率,这些微粒间的联系既是纳米结构,又是弱耦合。作为气溶胶,这种黑聚物构成了一种特别形式的物质:它们可以象液体似的具有几乎任何形状,又能象气体似的在适当条件下通过不同的充填体积而改变自身密度。而且,还可以通过降低网结构聚合度的办法把它的导电和导热率调整到很小值。已有的实验表明黑聚物的介电特性强烈的依赖于纳米晶体的空间分布。微重力是一个很有希望的工具去研究黑聚物的可逆性聚合和分离,并在相图中确立其特性。电磁辐射,声和介电屏蔽都可能改变黑聚物在真空或在适当的气体或液体介质中的空间结构。这无疑有助于探讨它的可能应用,例如,探测器,传感器和热电转换元件等。

6 流动特性

固体粒子分散于液体介质之中属于一类重要的复杂流体,其流动的行为特征是对剪切力的

非线性响应(非牛顿流体). 复杂流体由于受到许多学科的关注,近年来又重新受到重视. 血液就是非牛顿流体的一个重要实例,它的粘滞性是红血球浓度和血管直径的函数. 流变学可以用来分析高浓度分散体系的聚集特性,同样聚集特性的改变又会影响流体的流动特性. 两个相互联系的重要侧面是流动特性和粒子网络结构的形成^[29]. 流动对于泥浆之类(如煤粉)的运输是很重要的. 一般来说希望流动耗散尽量低的能量,即低黏度系数. 重要的问题是沉积或絮凝的形成会阻碍流体的流动,这一般是由于网结构的形成而造成的,例如土壤、海床的形成. 一旦网结构形成以后,它们的瓦解又会带来麻烦,例如泥石流. 从理论上讲,可以从分散体系的流变学特性在某种程度上了解粒子的聚合程度,这也对于推断悬浮粒子间的相互作用提供了重要线索. 的确,由流变学数据可以计算把两个接触粒子分开所需要的力. 近年来有极好应用背景的电变流学颇受瞩目. 电变流学的研究对象是分散体系(电变流流体)在外加电场作用下,其粘性或其它一些力学性能发生突变的现象^[30]. 典型的情况是粘性随电场显著增大,当达到某一阈值时迅速固化. 这一过程的特点是迅速(通常只需千分之一秒左右)、可逆. 电变流流体一般是由支撑介质和分散系构成. 利用电变流性能可以设计出新一代的电-机转换器件,如离合器,刹车,阀门,机械人的动作部件等等.

弄清悬浮在流体介质中微粒的行为特征对于许多自然界和工业应用的过程来说是十分重要的,例如煤浆的流动,聚合物的加工,复合材料和陶瓷的制造等. 如何从物质的微观结构、微观相互作用去预言其宏观特性无疑是人类追求的重要目标. 这里的宏观特性包括沉降或聚集速率,自扩散系数,流变行为等. 微观因素则包括粒子间的相互作用力及施于粒子上的与流体动力学相关的力,与胶体行为相关的力,布朗随机力(由热涨落造成的),其它外力,还有粒子的空间和时间分布等. 这里特别提出近年来发展起来的,与分子动力学方法类似的计算机模拟方法,即斯托克斯动力学法^[31]. 所不同的是粒子的尺度不同. 分子动力学处理的是分子尺度大小的粒子(尺度在埃的量级 10^{-18}),这些粒子通过真空中的分子相互作用势相互作用,并按照牛顿定律运动,然后用统计力学方法得出物质的宏观特性. 而斯托克斯动力学法则处理的是由纳米量级到毫米量级的粒子,它们之间还有“连续的”流体介质. 这些粒子要比流体介质的分子大得多,它们的相互作用要受流体的屏蔽,并直接通过连续介质流体受到与流体动力学相关的力,包括可能的热涨落力(导致布朗运动). 低雷诺数的流体动力学特性使粒子运动规律遵从 Stokes 方程,因而得名斯托克斯动力学模拟.

7 界面问题

由于高分散度造成分散体系(特别是胶体)具有很大的界面积,如上所述,分散体系的许多性质与其界面上的性质密切相关,因而界面现象自然地成为分散体系和胶体科学的一个重要研究对象. 特别值得提出的是,界面张力和接触角在微重力条件下可以更精确地测定. 石油的三次开采就是一个涉及界面张力和毛细压力的很有实际价值的课题. 油滴渗透在岩缝中因为油水间的界面张力很大而无法开采出来. 唯一有效的办法是把油水间的界面张力降低几个数量级,为此,可以向油井内注入表面活性剂或微乳剂. 这样,石油三次开采的实现就要靠微乳剂的性能提高. 虽然石油开采是地面上的事,但微重力的价值在于研究改进这种技术上.

8 生物学

分散体系与生物学的联系是非常紧密的,血液、体液、细胞培养液等都是分散体系. 微重力在生物学中的应用早已引起注意,突出的例子是蛋白质晶体生长. 在微重力条件下,不仅可以避免对流、沉降等干扰,脆弱结构也不致因自重而塌陷,人们期望利用空间的微重力环境探讨高质量的蛋白质晶体的生成条件. 高质量蛋白质晶体为人们探索生物组织的结构与功能的联系创造了条件. 这里我们不想过多讨论生物学方面的应用,只举一两个例子. 透明质酸是细胞间质,其作用是使细胞组织稳定,它能抑制细菌的扩散,促进伤口愈合. 生物高分子是在高度稀薄的溶液

中相互作用的. 这些高分子聚合物阳离子可以形成分子量高达 10^7 的无序团块, 重力会对它们起作用.

分散体系是一个覆盖面极广的学科, 我们不可能在此论及它与微重力相关的全部内容. 例如, 泡沫也是一种分散体系, 重力会造成液体沿泡沫表面的淌流而使其破灭. 显然微重力环境为研究泡沫的性质和稳定性创造了更好的条件. 把分散体系纳入微重力科学的研究范围是势在必行的. 值得注意的是最近许多国家已明显增强了微重力胶体研究的力度. 在 NASA 微重力科学的 1994 年研究计划中已列入多项与胶体科学有关的课题. 1996 年 6 月召开的 NASA 第三届微重力流体物理会议上就包括了不少这方面的报告^[32]. 显然, 分散体系的微重力研究是很在意义的. 然而创造有意义的微重力条件绝非易事. 昂贵的代价是开展这方面研究的突出困难.

作者感谢北京大学戴乐蓉教授对本文初稿的有益建议.

参 考 文 献

- 1 Sprenger HJ, Marquardt P. Microgravity experiments in colloid science. 45th Congress of the International Astronautical Federation, Israel, Jerusalem: 1994, October. 9~14
- 2 Sprenger HJ. The scope of microgravity experiments in colloid science. *Advances in Colloid and Interface Science*, 1993, 46: 343
- 3 Jaenicke R. Aerosol Physics and Chemistry. In: Fisher G, Landolt-Bornstein eds, New Series V/4b, London: 1987, Meteorology.
- 4 Hollader W. Aerosols and microgravity. *Advance in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 49
- 5 Crumpp J G and Seinfeld J H. *J Aerosol Sci*, 1981, 12: 405
- 6 Overbeek J Th G, et al. In: Tadros Th F ed. Surfactants. London: Academic Press, 1984
- 7 Kondo A. Microcapsule Processing and Technology. New York: Marcel Dekker Inc, 1979
- 8 Tadros Th F. *International J Cosmet Sci*, 1992, 14: 93
- 9 Allain C and Cloitre M. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 129
- 10 Krutzer L L M, Flkersma R, Van Diemen A J G and Stein H N. Influence of density differences between disperse and continuous phases on coagulation. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 59
- 11 Krutzer L L M. The influence of flow type and gravity on orthokinetic coagulation. Ph. D. Thesis. Eindhven University of Technology, 1993
- 12 Family F, Landau D P. Kinetics of Aggregation and Gelation. Amsterdam: North Holland, 1984
- 13 Folkersma R, van Dieman A J G, Stein H N. Influence of Gravity on Coagulation. 欧空局报告, 1995
- 14 Mandelbrot B B. Fractals, Form, Chance, and Dimension. Freeman, San Francisco, 1977
- 15 Bremer L GB, Bijsterbosch B H, Walstra P and van Vliet T. Formation, properties and fractal structure of particle gels. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 117;
- 16 Schaefer D W, Martin J E, Wiltzins P, Cannell D S. *Phys Rev Lett*, 1984, 52: 2371
- 17 Lin M Y, et al. *Phys Rev*, 1990, A(41): 2005
- 18 Van Dongen GJ, Ernst M H. *Phys Rev Lett*, 1985, 54:1396
- 19 Ball R C, et al. *Phys Rev Lett*, 1987, 58:274
- 20 Schatzel K. Light scattering diagnostic methods for colloidal dispersions. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 309
- 21 Langbein D. Theoretical aspects of particle interactions in dispersions. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 91
- 22 Rioux C, Potvin L, Slobodrian R J. *Phys Rev E*, 1995, 52: 2099
- 23 Tadros Th F. Industrial applications of dispersions. *Adv. in colloid and interface sci*, 1993, 46: 1
- 24 Meyer W V et al. A compact, Efficient Laser Light Scattering Instrument for Space and Earth. A Proposal, 1995
- 25 孙祉伟. 微重力条件下流体相变和临界现象. 物理. 1992, 21: 207
- 26 Hartmann E et al. In situ organization of nonparticles by scanning force microscopy under terrestrial and microgravity condition. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 221
- 27 Marquardt P, Schilz J. Terrestrial and microgravity studies with nonconductor networks: basic principles and applications of huge molecule Van der Waals gases. *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993, 46: 185
- 28 Pfund A H. *J Opt Soc Am*, 1993, 23: 375

- 29 Stein H N. Dispersion rheology at microgravity: what can it teach us? *Advances in Colloid and Interface Sci*, 1993:283
- 30 Halsey T C. *Science*. 1992, 258(761): 761; Whittle M and Bullough W A. *Nature*, 1992, 358: 377
- 31 Brady J. Chapter 26, In: Roco M C ed. Butterworth-Heinemann. Butterworth-Heinemann Boston: Particulate two-phase flow. 1993: 912
- 32 Annual Report, NASA Microgravity Research Program, 1995

THE RESEARCH OF DISPERSION SYSTEMS UNDER MICROGRAVITY CONDITIONS

Sun Zhiwei

National Laboratory of Microgravity, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Abstract Possible influences of the gravity on dispersions system and the use of microgravity condition as a research tool for the investigation of dispersions systems are discussed and analyzed. Actual ongoing theoretical research and industrial applications are discussed as well.

Key words microgravity; dispersion system; colloid systems

《力学进展》影响因子列全国科技期刊第十二位

据国家科委综合计划司和中国科技信息研究所 1997 年 12 月 1 日发布的“1996 年中国科技论文统计与分析”报导,《力学进展》1996 年的影响因子值为 0.5952,名列全国第十二位。1996 年我国有科技期刊

4386 种。期刊影响因子的定义为:期刊论文被引用次数和论文总数的比值。通常用“影响因子”表示刊物影响力的大小。任何刊物中的论文平均被引用的次数越多,影响因子越高,刊物的影响力越大。

《力学进展》编辑部