

气溶胶力学

Н.А.ФУРС 著

科学出版社

54.2664

气 溶 胶 力 学

Н. А. ФУКС 著

顧 震 潮 等 譯

科 学 出 版 社

1 9 6 0

Н. А. ФУКС
МЕХАНИКА АЭРОЗОЛЕЙ

Изд. АН СССР

1955

內 容 簡 介

本书是目前唯一的气溶胶力学专著，是气溶胶方面的重要文献。书中系统地概括和讨论了气溶胶的机械性质和运动统计性质，包括各方面的许多实际问题，无论对理论或是对实验都有精辟的评介。

本书适合于气象(云雾降水物理、人工降水、大气湍流和大气污染等)，化学，化工，物理，力学方面业务，研究、教育工作者的参考。

本书由中国科学院地球物理研究所，中央气象局，北京大学地球物理系，南京大学气象系的一些工作同志合译。序言：陶丽君；第一章：顾震潮；第二章：马培民，许焕斌(7,8 两节)；第三章：金汉良；第四章：陶丽君，巢纪平，顾震潮；第五章：赵柏林，李其琛(40—43节)；第六章：徐华英，黄美元；第七章：周秀骥；第八章：李其琛。全部译稿由顾震潮校订。

气 溶 胶 力 学

Н. А. ФУКС 著

顾震潮等译

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街117号)

北京市书刊出版业营业许可证书字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1960年6月第一版

书号：2247

1960年6月第一次印刷

字数：323,000

(京) 道精：1—5,000

开本：850×1168 1/32

报平：1—5,000

印张：11 3/4 插页：9

定价：道林精装本 3.25 元
报纸平装本 1.80 元

关于本书中一些名詞譯名的說明

本书牽涉面很广,有化学、物理、气象等許多方面,而有一些名詞的譯名各学科也不一致,因此这里有的譯名不得不稍有改变。这里主要指的是 Конденсация 和 Коагуляция。在气象文献中 Конденсация 久已譯为凝結(物理文献中也如此),而 Коагуляция 有时譯为凝聚(有时譯冲并、碰并是不合式的),但在化学文献中常常譯得恰恰相反。为不致发生混淆,本书中暫把 Конденсация 譯为凝集,而把 Коагуляция 譯为凝并。是否合式还可考虑。

另有一些过去沒有規定譯名的名詞一并列出:

捕获系数 Коэффициент захвата

鈎住效应 Зацепления эффект

沉降 Сидиментация, оседание

沉淀 Осаждения

聚合体 Агрегат

热致沉淀 Термопреципитация

热致迁移 Термофорез

慣性行程 Инерционный пробег

譯者

1960年2月

(1602/30) K00/07

目 录

关于本书中一些名詞譯名的說明	iv
緒 言	1
第一章 气溶胶的分类, 气溶胶粒子的大小和形状	5
§ 1. 气溶胶的分类	5
§ 2. 气溶胶粒子的大小	7
§ 3. 气溶胶中粒子大小的分布	10
§ 4. 气溶胶粒子的“平均”大小	21
§ 5. 气溶胶粒子的形状和結構	24
第二章 气溶胶粒子的直綫等速运动	30
§ 6. 气态介質对很小粒子运动的阻力	30
§ 7. Stokes 公式	32
§ 8. 在过渡区域内的介質阻力	35
§ 9. Stokes 公式的实驗驗證和它的准确度	40
§ 10. 次 Stokes 区的介質阻力	41
§ 11. 非球形粒子运动的一般特征	45
§ 12. 介質对非球形粒子运动的阻力	48
§ 13. 云的沉淀	56
§ 14. 气溶胶在有界空間中的运动	60
§ 15. 垂直电场和水平电场法及其应用	62
§ 16. 气溶胶中的輻射力(热致迁移(термофорез))	68
第三章 气溶胶粒子的直綫非均匀运动	77
§ 17. 小 Re 数时的粒子非均匀运动	77
§ 18. 大 Re 数时的粒子非均匀运动	83
§ 19. 在周期性外力作用下气溶胶粒子的振动	87
§ 20. 在声波作用下气溶胶粒子的振动	91
§ 21. 声音对气溶胶粒子的压强	96
§ 22. 气溶胶对声波的散射和吸收	98

§ 23. 气溶胶粒子間的流体动力学相互作用	104
§ 24. 气溶胶的静电散射现象(электростатическое рассеяние)	109
第四章 气溶胶粒子的曲线运动	113
§ 25. 粒子曲线运动的一般理論, 气溶胶在交变水平电场中的沉淀	113
§ 26. 在重力作用下层流中气溶胶的沉淀	116
§ 27. 在电场作用下层流中气溶胶的沉淀	118
§ 28. 离心力場中气溶胶的沉淀, 气溶胶离心机	129
§ 29. 旋風器	132
§ 30. 曲线气流中气溶胶粒子路径的决定	140
§ 31. 气溶胶力学中的相似理論	143
§ 32. 气溶胶取样理論	149
§ 33. 狭縫仪器	154
§ 34. 在形状简单的物体上气溶胶的慣性沉淀	161
第五章 气溶胶里的 Brown 运动和扩散	171
§ 35. 气溶胶中的 Brown 运动	171
§ 36. 气溶胶中 Brown 运动的实验研究	176
§ 37. 粒子的轉移概率、位置概率和到达边界的概率	180
§ 38. 静止介质中气溶胶的扩散沉淀	187
§ 39. 层流中的气溶胶的扩散	197
§ 40. 織物过滤器和纖維过滤器	203
§ 41. 气溶胶在呼吸道中的沉淀	220
§ 42. 起泡时气溶胶的吸收	227
§ 43. Brown 轉动, 气溶胶粒子在电场中的取向	233
第六章 气溶胶中的对流扩散和湍流扩散	238
§ 44. 对流和混合时气溶胶的沉淀	238
§ 45. 气溶胶粒子在湍流中的运动	247
§ 46. 湍流中气溶胶的沉淀	252
§ 47. 气溶胶在大气中的散播	261
§ 48. 气溶胶从大气中的沉淀	276
第七章 气溶胶的凝并	279
§ 49. 球状粒子气溶胶的热动(Brown)凝并	279
§ 50. 展延状粒子的气溶胶凝并	293

§ 51. 带电粒子气溶胶的热动凝并, 分子力对凝并速度的影响.....	297
§ 52. 在电场中气溶胶的凝并, “定向”凝并.....	302
§ 53. 在超声振动作用下气溶胶的凝并.....	308
§ 54. 气溶胶的动力(重力)凝并.....	313
§ 55. 在混攪时和湍流中气溶胶的凝并.....	324
§ 56. 气溶胶粒子間的碰撞效率.....	330
第八章 粉状物质向气溶胶状态的转变.....	338
§ 57. 气流造成的粒子迁移和分离.....	338
§ 58. 粉末的分散(распыление)和流化.....	350
参考文献.....	359
重要符号.....	375
人名索引.....	379

緒 言

由悬浮在气体状态介质中的固体或液体粒子所组成的空气分散系统或气溶胶，在自然界和人的生活中起着很大作用。想到以下的事实就可以说明这点。自然界中水分循环是依靠形成云的水汽体积凝集和随之而降雨的过程进行着的，除此以外，云既使地面免受阳光的过度加热，又免受辐射冷却，从而使气候大大温和。在风的作用下固体粒子的脱离、移动和沉积同样具有很大意义。经过很多世纪来的作用，这个“空气输送机”创造了巨大的黄土沉积（例如，在黄河流域）。被风所搬运的沙漠沙尘向作物灌溉耕地进行着不断的侵袭，只要人类一停止与这些凶恶敌人进行斗争，就会有整批的城市被淹没在厚厚的沙层底下。风对松软的可耕地的侵蚀也带来了巨大的损害。就由于这些，防风林除了抵抗干风以外，对于使耕地、花园和渠道免受沙尘的堵塞也同样是很重要的。同时利用防雪护板和栅栏与雪堆也进行着斗争。

在很多植物（谷物和许多种类的树）的交叉受粉作用时，花粉成为气溶胶而由风传布。大部分种子和孢子的散播也和此相似。悬浮在空气中的很多微生物在悬胶基质中能长时间的保持着自己的生命力。所以在医学和发酵工业上必须重视“空气微植物系”大量的各种不同的菌和细菌。无疑地，一系列的传染病菌（流行性感冒、百日咳、肺炎、肺结核）是经过空气传染的。

在钻探含有硅酸盐的矿石和机械处理硅酸盐时所形成的含有自由的或化合的硅酸盐的尘埃对肺有致命的作用。由这些尘埃所引起的石末沉着病（シリкоз）是最可怕，最广泛流行的职业病中的一种。在原子弹爆炸时和在原子工业中生成的放射性气溶胶具有巨大的危害性。从另一方面来说，则有些药剂用气溶胶状态（吸

入药)是特别有效的。

气溶胶在技术上也获得了巨大的意义,从太古时代起就为人类所知的谷物播种过程,就是使谷物和蔬菜的种子转变为气溶胶状态,以及它们的空气分离。液体燃料在被燃烧前照例应用机械喷雾器使成雾状,尘埃状的固体燃料的运用同样也得到了大量的传布。成粉末状来燃烧的还有某些种类的矿物原料(硫铁矿)。粘性液体和胶液的喷射干燥器也具有重大的意义。近来,悬浮在气流中的催化剂的采用受到了广泛注意。所采用的与农业害虫和瘧蚊进行斗争的药剂,几乎全是由喷射药粉和药水所得到的气溶胶。掩蔽用的烟和雾在军事技术上起着巨大的作用。

在技术上,相反的问题,即在许多生产过程中(不管人们愿望如何)产生气溶胶沉淀,它所具有的意义并不小于使物质转变成气溶胶状态的意义。属于这类问题的有,在燃料(特别是粉末状的)燃烧时,在各种不同金属熔解时,以及在进行碳黑生产时所分离出来的烟和易挥发的灰,在硫酸生产和电离时形成的雾,在研磨各种不同的固体物质(例如水泥)时产生的尘埃等。使气溶胶沉淀具有双重的目的:它们可能含有贵重的物质(例如冶金烟雾),也可能对自然环境起着有害的作用(硫酸雾),引起腐蚀,使周围地区变脏。在与工业气溶胶的斗争中,创造了许多使气溶胶沉淀和为个人预防用的非常完善的烟雾过滤的有效方法和器具。消散妨碍飞机在机场着陆的雾,这一问题同样也具有很大意义。严重的任务还在于与煤矿井里的矿石爆炸尘埃,在磨坊、在糖厂以及在其其它企业里所进行的斗争。在这种情况下,爆炸波使留存的尘埃转变成气溶胶。与由过冷雾和云所引起的飞机、电讯导线等的结冰进行斗争的问题,同样也是很实际的。

气溶胶在科学中,特别是在实验物理学中,起着很大的作用。对垂直电场中水滴运动的研究第一次正确地求得了电子的电荷和 Avogadro 数,还证明了光电效应的量子性能。过冷水汽在气体离子上凝结时形成雾的现象,成为创造最重要的近代物理仪器之一即 Wilson 云室的基础。实验流体动力学中研究模型试验中的气

体速度分布时,广泛地采用着烟流的方法。

几乎在所有以上所說的现象、过程和研究方法中,在不同外力和分子冲击的作用下,气溶胶粒子的运动起着特别重大的作用。为了降雨或下雪,必须使云滴接触和凝并,而且所形成的水滴大到那样的程度,在它们到达地面以前不会蒸发完。大气中不同大小粒子的含量和分布,除了受粒子进入大气中的速度的影响以外,一方面由它们的下降速度,另一方面也由大气的湍流交换所决定。对于气溶胶沉淀来说,一个重要过程是,在所有情况下都必需使运动着的粒子达到某个宏观表面上(“器壁”),并粘在它上面。在气溶胶中进行着的另一个重要过程即凝并的发生,是因粒子在热运动(Brown 运动)和不同外力的作用下互相接触的结果。粒子和云状介质的相对运动解释了气溶胶对声波的吸收、喷散的燃料的完全燃烧,除了被燃烧速度决定外,还被燃烧粒子的轨迹等所决定。

对气溶胶粒子的运动、沉淀和凝并的研究,形成了关于空气分散系统(Аэродисперсные системы)这一重要学科,它可以称做气溶胶力学¹⁾。气溶胶粒子互相接触以及它与宏观物体相接触时的现象的问题,与气溶胶粒子沉淀和凝并有密切联系;同时还有非常重要、但研究得还很不夠的相反过程,即粒子脱离器壁以及粉末状物体转变成气溶胶的问题,这些问题也恰当地属于气溶胶力学。

应该指出,虽然气溶胶具有重大的实际意义,但就是在极端贫乏的一些关于空气分散系统的书籍和专题论文的文献中,对于气溶胶力学也注意较少。杂志上这方面的文章分散在各种极为不同的科学和技术期刊上,它们通常具有狭窄的实用的特征;只是在很少情况下,它们才含有对理论有意义的资料。很遗憾,气溶胶的大部分实验工作是对分散度很高的系统进行的,而且,粒子大小的分布或是完全没有研究,或是估计得很粗略。通常这些工作很难用来检查理论结论和找到新的规律性。

1) 这个术语还是第一次在文献中采用。

本书主要任务是收集和批判地考虑所有属于气溶胶力学的理论和实验资料。气溶胶力学中的某些章节，例如对不同大小粒子直线等速运动的理论，气溶胶热碰撞理论，作了很全面的研究。这两章的篇幅就反映了这一点。另一方面，象湍流中气溶胶的运动、沉淀和凝并，粒子的脱离和聚合体的解散那样的重要问题，在气溶胶力学中是个空白，本书中这方面的章节一定会引起读者的不足之感。

气溶胶力学的很多理论问题有很大的数学困难；往往只可能得到复杂而收敛性不好的级数解，它们的实际应用需要的计算工作难于完成。所以，在某些情况下，特别是在从气流中扩散的问题中，为了得到即使只是所研究现象的粗略概念，不用严格解和接受已知的使问题简化的假设就具有了意义。

在本书的各部分中，作者力求引证关于所研究问题多少是可靠的实验资料，但是，考虑了书的特征，把测量技术和实验细节载入书中是不恰当的。另一方面，书中插入了足够多的图表，对于那些在工作中碰到气溶胶力学的各种不同问题的人来说，它们是有用的。

应该着重指出，在研究空气分散系统特别是气溶胶力学中苏联科学的巨大作用。在这方面，应该指出 Н. Жуковский 和 С. Чаплыгин 的关于吹雪理论的经典著作，М. Ага́нин, С. Горбачев, Б. Дерягин 和 П. Прохоров 的关于水滴碰撞时反射现象的工作，И. Петрянов, Л. Радушкевич, Н. Туницкий, Н. Шишкин, И. Артемов, 和 Н. Фукс 的关于气溶胶碰撞的理论和实验的研究，С. Сыркин 和 П. Коузов 的关于设计吸尘器模型的工作，А. Колмогоров 和 М. Леонтович 的关于质点 Brown 运动和扩散理论的研究，Л. Левин 的关于气溶胶从气流中沉淀下来的理论工作等等。

由于苏联科学院院士 М. Дубинин, 通讯院士 Б. Дерягин 和 И. Петрянов 对本书的重视，由于 Л. Левин, Г. Натансон 和 П. Прохоров 对手稿的审查和提出了一系列宝贵的指示，作者谨向他们致以衷心的感谢。

第一章

气溶胶的分类. 气溶胶粒子的大小和形状

§ 1. 气溶胶的分类

气体介质和固态或液态分散相的分散体系称做气溶胶或空气分散体系。到现在为止还没有一个统一的被大家接受的气溶胶分类和不同类型气溶胶的统一的命名系统；可以看到在文献中这些都是完全任意的。据我们看来，空气分散体系的合理分类法一定要建立在这样的基础上，一方面要顾到气溶胶的分散性和凝集性的差别，一方面要顾到固态分散相体系和液态分散相体系的差别。与这样分法的同时还要使个别的气溶胶类型尽可能与一般非技术性语言所给予的名称相符（例如道路灰尘，自然雾，沙尘（печной дым）等等）。

分散性气溶胶是由固体或液体物体在分散作用（分裂作用，破碎作用）下和气流作用、振荡等等作用下，由粉状物体转成悬浮状态而形成的。凝集性气溶胶是在过饱和水汽的体积凝集时形成，和作为造成不飞扬的产物，例如煤烟，那种气体反应的结果而形成的。这两种气溶胶体系之间的差别，除了它们的产生方式之外，就在于分散性气溶胶大都要比凝集性气溶胶粗得多，多分散性要大些；而在固态分散相的情形下，通常是由形状完全不规则（“碎片”）的个别粒子或是集结不紧的粒子组成的。同样，固态的凝集性气溶胶十分经常是由数目很多的原生粒子结成的松散集合体组成的，这些粒子有着规则的结晶形状或是球状。

固态分散相和液态分散相气溶胶之间的差异，在于前者的粒子有着规则的球形而在凝并时互相并合而又形成球形的个体粒子。固态粒子可以有最不规则的形状，而在凝并时造成多少是松

散的形状极为不同的集合体，它的外观密度比起组成它的物质的密度来后者要大许多倍。

在本书所论述的基础上，接受了下面的气溶胶不同类型的称呼。

不管分散度如何，液态粒子的凝集性气溶胶和分散性气溶胶都称做雾；俄文里也是用这名词来指这些东西的（如自然雾即凝集雾，雾，由分散作用造成的下降水分等等）。在所說的情况下，凝集性系统与分散性系统之间没有多大差别。

固态粒子的分散性气溶胶，也不管它的分散度如何都称做灰尘。现有的概念，即只有粗分散的气溶胶才叫做灰尘的那种概念，是不对的；用人工分离方法或者大气中发生的自然分离方法可以形成分散度极高的灰尘。

最后，固态分散相的凝集性气溶胶称做烟。这也适用于含有固态粒子和液态粒子的由凝集作用产生的体系，其中最重要的是由燃料不完全燃烧造成的烟；还包括亲水性物质组成的烟（例如氯化铵），它的粒子可以是固态的，半液态的，或是液态的，依介质的湿度而定，包括易于过冷却的有机物质的烟，它有着从液态粒子到结晶态粒子的（一连串的）逐渐过渡形态，等等。注意，把烟和凝集性雾分清界限，也就是严格遵守所建议的术语，有时是相当困难的，然而这种分界比起英国作者们所接受的把这两类气溶胶合而为一（smoke）的做法总来得好些。

再说，实际上也有不少时候遇到既含有分散性粒子又含有凝集性粒子的气溶胶，例如，炉烟总是含有或多或少的炉条灰；又如所谓“大气凝结核”常常是由于干了的海水雾沫组成的，也常常由煤气（топочный газ），亚硫酸酐氧化的时候形成的硫酸滴子组成的。工业中心的空气大都含有煤烟，灰，煤炭干馏产物和大气湿气的产物所形成的集合体，大小在十分之几个微米到十分之几个毫米。这种气溶胶不可能归在现有分类的任何一种类型中去，而替它取一个特殊的名称“烟雾”[“smog”即 smoke（烟）+ fog（雾）]。

上面所說的气溶胶类型可以具有极为不同的分散度,几乎对分散体系的全部性质都有很大的影响,因此,把气溶胶分成高度分散和粗分散是恰当的(見下节)。

在气溶胶理論中,有些外国作者^[1]和苏联作者^[2]把“云”这名詞用来称呼粒子直径大于 10^{-5} 厘米的所有的凝集性气溶胶。在俄文里这名詞有着完全不同的意义:云指的是自由的任何类型的具有一定大小和形状的空气分散体系(例如雨云,尘云(облако пыли),枪烟的云(облачко ружейного дыма)等等)。本书里也在这意义下用这个詞。

§ 2. 气溶胶粒子的大小

我們考查一下气溶胶粒子大小的下界,应该考虑到,只有两种方法可以决定十分小的粒子($\sim 10^{-7}$ 厘米)的大小:

1. 用静电計的帮助来测定粒子在电场中的迁移率(見 27 节)。
2. 测定粒子的扩散系数,一般用电学测量方法来做。所以在这两种方法下都只能测带电的粒子。

正如实验所証明,在气体中有着两种带电的粒子,称做小离子(气体离子,輕离子)和大离子(重离子,慢离子)。前者的迁移率量級是 1,而后的迁移率量級是 $10^{-3}—10^{-4}$ 厘米伏⁻¹秒⁻¹。現在已經肯定,气体离子是一个分子聚合体,它由带电的中心分子(固有离子)和靠静电力和分子力与它結合起来的气体中性分子壳。

重离子与輕离子不同。它只形成在悬浮着固体粒子或液体粒子的气体里,这就是說,它是高度分散性气溶胶的带电粒子。也发现有“中級”离子,这就是迁移率 $10^{-3}—10^{-1}$ 厘米²伏⁻¹秒⁻¹的离子,而燃烧灯用气的产物中和鈉焰中还有迁移率 0.2 厘米²伏⁻¹秒⁻¹的粒子^[3,4]。某些有机物,例如戊醇的蒸气里气体离子也具有这种迁移率^[4]。所以,我們不能按迁移率来分辨气体离子和气溶胶的带电粒子,要分辨就要利用在凝并时的不同性质。在凝并(重新合并)时由中性分子复合体形成的气体离子一下子就分解了,这就是說离子消灭了。气溶胶粒子的存在与电荷的存在无关。在气

溶胶粒子凝并时它形成更大的粒子。事实上，上面所說的在火焰中形成的离子在量級一秒的时间中要減到几百分之一^[3,4]。因为粒子上存在多倍荷电的概率，随着它大小尺寸的減小而很快地減小（見 27 节），我們可以认为这种离子具有一个单位电荷。这样，迁移率 $0.2 \text{ 厘米}^2 \text{ 伏}^{-1} \text{ 秒}^{-1}$ 相当于半径 $1.5 \times 10^{-7} \text{ 厘米}$ （見 8 节表 3）。考虑到气溶胶里带电粒子成分随粒子大小尺寸的減小而減少得如此之快，我們完全相信还有更小的粒子存在，但是我們还不能发现它和更可信地測量它¹⁾。有趣味的是，这种气溶胶粒子的最小的大小已經用电子显微镜求得，因为它大致相当于电子显微镜允許能力的范围。然而，半径 $r = 1.5 \times 10^{-7} \text{ 厘米}$ 的大量粒子（例如在碘化銀的烟中^[5]）使我們不得不想到烟里还有更小的粒子。我們注意到超显微镜方法只能发现比这大得多的气溶胶粒子。

問題的实际情况就是这样。理論上結晶格子十分堅固的物質完全可能造成 2—3 个分子直径那样大小的气溶胶。的确，由于这种粒子扩散的巨大速度，它們极快地在更大的粒子（見 49 节）和壁上等等沉淀下来。

轉到气相分散系統中粒子大小的上界問題。我們注意到在不运动的介质里，半径几百微米大小的粒子，就已經沉淀得快到难于在悬浮状态下发見它。另外一方面，例如在強烈的上升气流或湍流气流下，在积雨云里，散粒物質的被空气帶上升，催化剂的流化，在砂暴和雪暴等等的时候，也有几个毫米大小的粒子在悬浮状态之下。由于所說的問題的現實性，气溶胶力学里應該考虑这种粒子。

这样，气溶胶研究对象是从 10^{-7} 到 10^{-1} 厘米这个分散度范围很寬的系統。从它的下限轉到上限时不仅几乎气溶胶的全部物理性質都有量的变化，并且表示这种变化的規律的性質也有改变，这是毫不奇怪的。例如在运动质点受气体介质阻力的法則上，这点可以看得特別清楚。对于十分微小的质点（ $r < 10^{-6}$ 厘米），阻力

1) 量級 10^{-7} 厘米的粒子也許可能在凝核計数器中发現。但是它們的大小仍然不知道。

与半径的平方成正比,在 10^{-6} — 10^{-4} 厘米的范围中逐渐转向 Stokes 定律,阻力还是与速度成正比,但对半径平方的依赖关系转变成为线性关系。半径再加大对 Stokes 定律又要发生偏差;对不太小的速度,阻力与速度的比例性受到破坏,而对于够大的速度和质点大小,作为一次近似阻力与半径的平方和速度的平方成正比(见 10 节)。

操纵气溶胶某几种重要性质的法则性质的改变表示在图 1

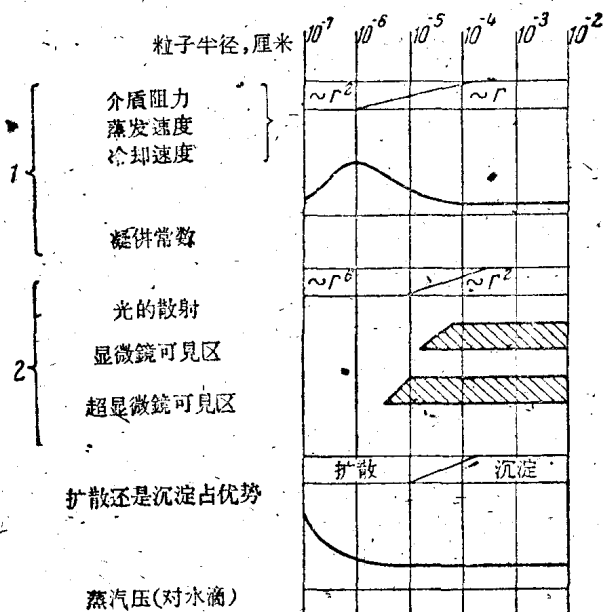


图 1. 气溶胶的分散度的基本性质

里。这图上表示所有的情形下转变都发生在大致说来是 $0.5-1 \times 10^{-5}$ 到 10^{-4} 厘米的间隔里。这对图上归并在第一类和第二类里的各种性质来说是毫不奇怪的,因为这些性质和粒子半径对气体分子自由路径长度的比例有联系,自由路径长度在大气压下的空气里是 10^{-5} 厘米左右,或者是在可见的平均波长($\lambda = 0.55 \times 10^{-4}$ 厘米)附近。对于其它的性质来说,转变段的符合带有偶然性。上面所说的事实决定了按分散度来作的气溶胶自然分类。

半径譬如在 $0.5-1 \times 10^{-5}$ 厘米以下的高度分散的那种气溶胶有下列特点，即粒子运动阻力的蒸发速度和冷却速度都与 r^2 成正比，光被粒子的散射与 r^6 成正比，凝并常数与 r 成正比，粒子在平常显微镜下看不见，而只有在特别良好的条件下可以用超显微镜的方法找出来。这些气溶胶里分散相的蒸汽压力显然比物质的正常蒸汽压力增高，因而比较小一些的粒子在它里面可能被比较大的粒子很快地“吃掉”。最后，当粒子在重力下沉淀时，粒子的 Brown 运动十分显著。

对粒子半径大于 10^{-4} 厘米的粗分散气溶胶，可以用显微镜来决定它们的大小和形状，凝并常与 r 无关，在 Brown 运动下的下沉占显著优势，而上面所说的规律性都变了，变成图 1 中所表示的其它规律性。

最后，粒子半径在 $0.5-1 \times 10^{-5}$ 到 10^{-4} 厘米的系统划成为有中等分散度和过渡性质的特殊的一类气溶胶是方便的。应该注意这一类气溶胶对气溶胶研究起着极大的作用，因为粒子的这种大小对研究气溶胶的基本方法之一即超显微镜特别合适。此外，用蒸汽压小的物质形成气溶胶，凝集时几乎总是得到恰恰是这类系统。

§ 3. 气溶胶中粒子大小的分布

人造的和自然的气溶胶大多有着相当显著的多分散性¹⁾。上面指出过，气溶胶的物理性质对它的分散度有着很大的依赖性，考虑到这一点，大多数情况下粒子的“平均”大小对表示气溶胶体系的特性是不够的；而必须求出粒子大小的分布。在电子显微镜发明以前，求这分布用的是普通的显微镜，它只能测量粗分散气溶胶 ($r > 3-5 \times 10^{-5}$ 厘米) 的粒子，或者是分散度更高的气溶胶的这一部分。而对微小的部分只决定一下它的粒子的总数，没有测量它的大小，或者根本把这部分略去。而现在可以从气溶胶中定出

1) 用 LaMer^[6] 发生器和某些植物花粉和孢子所造成的气溶胶比较是单分散的。三叶草花粉粒子半径在 24.8—26.9 微米范围内^[7]。