

# ***Различные виды дисперсных систем***

Аэрозоли; эмульсии; коллоидные ПАВ; ВМС

Аэрозоли. Образование, свойства, практическое применение, разрушение аэрозолей



*Извержение вулкана Пинатубо (Филиппины, 1991)*

*Аэрозолем* называется дисперсная система, состоящая из газообразной дисперсионной среды и твердой или жидкой дисперсной фазы, иначе говоря, это взвесь твердых или жидких частиц в газе.

Даже самый чистый атмосферный воздух в отдельных районах планеты (например, в Антарктиде или на больших высотах в горах) всегда содержит не менее 100 взвешенных частиц в  $1 \text{ см}^3$ , т.е. представляет собой аэрозоль. Человек погружен в аэрозоль, дышит им и своей хозяйственной деятельностью непрерывно создает аэрозольные частицы. Таким образом, аэрозоль – это повседневная для человека среда обитания. Примеров как естественных, так и антропогенных аэрозолей можно привести очень много. Это облачные системы в атмосфере; туманы, пыли и дымы различной природы; облака вулканических извержений; смог над городами и дымы пожаров.



Особенности аэрозолей как дисперсных систем:

1) Большая разница в плотностях ДС и ДФ

2) Низкая вязкость ДС

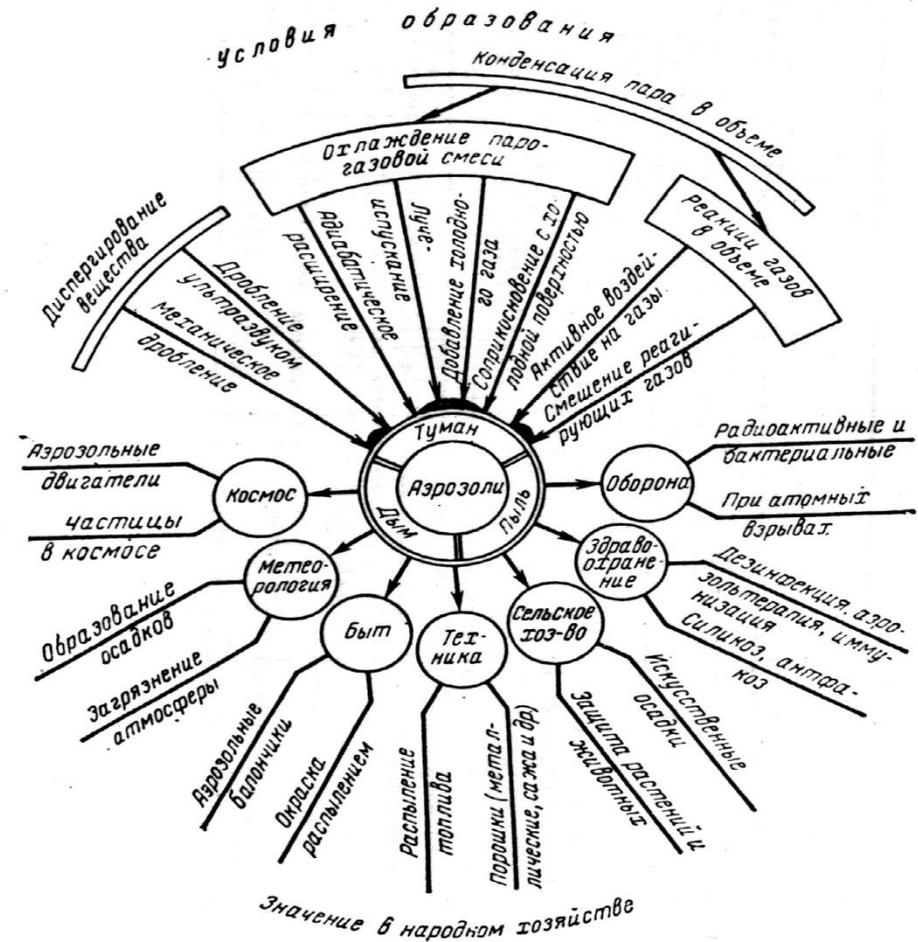
3) Кинетическая и агрегативная неустойчивость



Присутствие аэрозольных частиц определяет многие свойства газовых сред, в том числе важнейшие для существования человека свойства атмосферного воздуха как среды обитания. Даже ничтожное количество токсичных веществ в виде аэрозолей резко снижает его пригодность для дыхания. Продолжительность жизни человека, само качество жизни в значительной мере зависит от содержания в воздухе токсических или канцерогенных веществ: тяжелых металлов, бензопирена, полония и многих других, присутствующих в атмосфере в аэрозольной форме. Более 10% всех болезней и смертельных исходов в городах напрямую связано с вредным действием природных и антропогенных аэрозолей (косвенное влияние аэрозолей на состояние здоровья человека гораздо и гораздо больше). Поэтому так важно изучение негативных свойств аэрозолей для промышленной гигиены и охраны труда.

# Условия образования и распространения аэрозолей

Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. 1972



# Аэрозольные частицы в атмосфере

Основные источники стратосферного аэрозоля:

1. Прямые вулканические выбросы
2. Конвективный подъем частиц
3. Метеорное вещество
4. Антропогенные источники

# Аэрозольные частицы в атмосфере

Классификация глобального стратосферного аэрозоля (Gerding et al, 2003):

- 1) фоновый стратосферный аэрозоль;
- 2) вулканический аэрозоль;
- 3) дымовые частицы от пожаров;
- 4) полярные стратосферные облака.

## Классифицирующие признаки для аэродисперсных систем

- 1) Агрегатное состояние фаз дисперсной системы (газообразная дисперсионная фаза и жидкая или твердая дисперсная фаза);
- 2) Способы образования аэродисперсной системы (конденсационный и диспергационный);
- 3) Тип аэрозоля (пыли, дымы и туманы);
- 4) Степень дисперсности (наночастицы, высокодисперсные, тонкодисперсные и грубодисперсные аэрозоли);

## Классифицирующие признаки для аэродисперсных систем

- 5) Плотность дисперсной фазы (аэрозоли и аэровзвеси);
- 6) Соотношение внутренних структурных элементов дисперсионной и дисперсной фаз (определяет выбор физико-математической модели для описания аэродисперсной системы);
- 7) Другие классифицирующие признаки, которые могут быть востребованы при необходимости.

# **Морфологические свойства аэрозолей**

К основным морфологическим свойствам аэрозольных частиц относят их форму, структуру и характерные размеры. Изучение особенностей и закономерностей этих характеристик позволяет не только уточнить возможные классификации аэрозолей, но и глубже понять физико-химические процессы их образования и эволюции. Кроме того, изучая и обобщая основные морфологические свойства частиц, становится возможным разрабатывать и эффективно применять на практике адекватные модельные представления об аэрозолях различных типов.

Форма и структура частиц зависят от способа образования аэрозоля и последующих процессов его эволюции, а также от природы и физико-химических свойств вещества частиц.

## **Первичные и вторичные аэрозоли**

### **Первичные**

Диспергационный способ образования – жидкие капли и твердые частицы

(изометрические, пластинчатые, волокнистые);

Конденсационный способ образования – жидкие капли (переохлажденные капли могут кристаллизоваться).

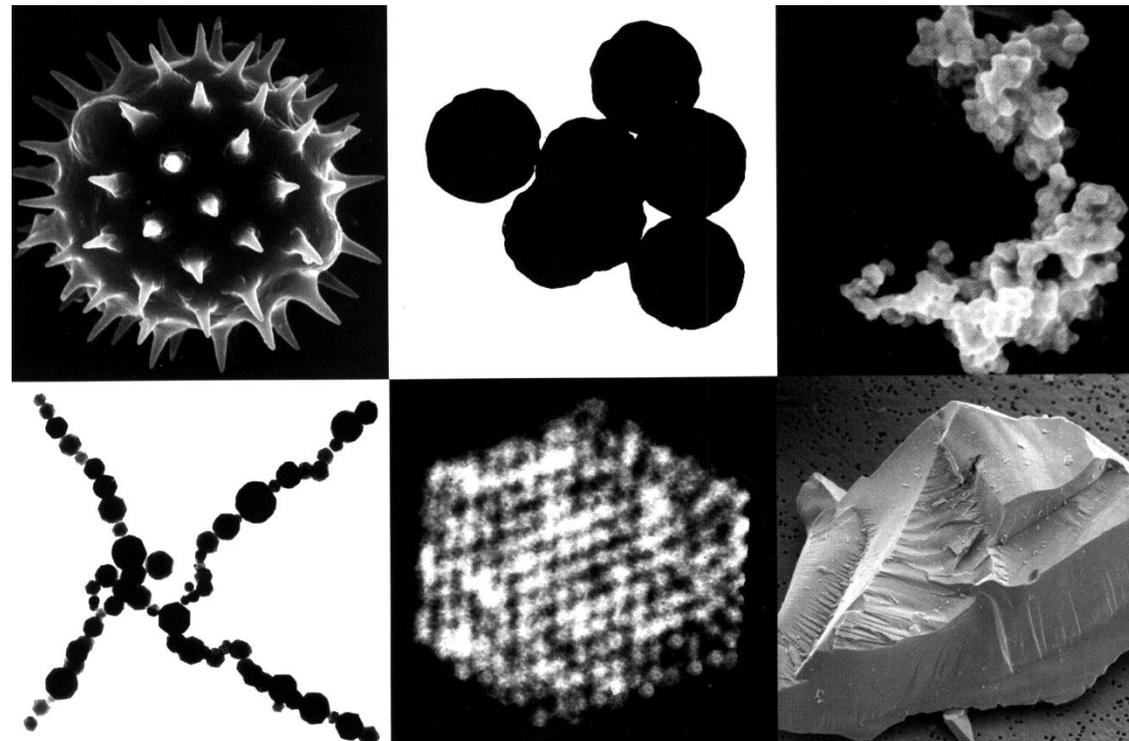
### **Вторичные**

Образуются в процессе агрегации первичных частиц при их коагуляции

(коалесценции для жидких капель) – процессе встречного движения

# Форма некоторых типичных первичных и Вторичных аэрозольных частиц

а) спора растений (биоаэрозоль); б) малый агрегат из семи первичных частиц конденсационного происхождения; в) крупный рыхлый агрегат первичных частиц; г) фрактальная структура вторичных частиц типа сажи; д) вирус (биоаэрозоль); е) крупная твердая частица неправильной формы диспергационного происхождения.

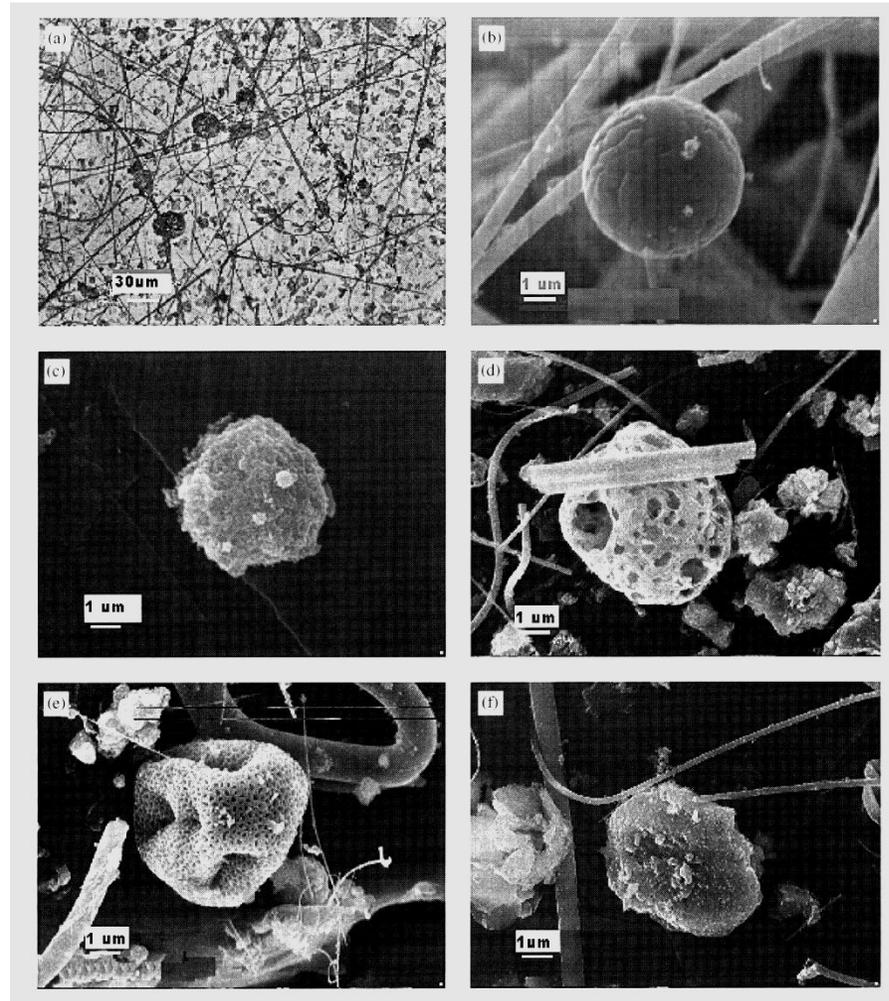


# Форма и структура частиц

## Микрофотографии атмосферных частиц

(Mugica V. et al. // J. Aerosol Sci. 2002. V. 33. N 1. P.91):

- а) частицы на фильтре РМ 10; б) углеродные частицы, образовавшиеся при горении;
- в) частица промышленных выбросов с высоким содержанием железа и меди;
- г) частица с большим содержанием ванадия;
- д) органическая частица;
- е) глинистая почвенная частица, содержащая алюминий, серу, железо и кальций.



ОФК – это особым образом организованные структуры первичных частиц, в которых каждый выделенный элемент подобен системе в целом. Применительно к аэрозолям в качестве ОФК можно рассматривать агрегаты, образуемые множеством (сотни и тысячи) первичных частиц с одинаковыми физико-химическими свойствами, размеры которых существенно меньше самого агрегата и мало отличаются для отдельных частиц, а расположение их друг относительно друга внутри агрегата описывается достаточно общими статистическими закономерностями (в частности, наблюдается самоподобие и масштабная инвариантность пространственной структуры в достаточно широких пределах) - Ивлев и Довгалюк (1999). Основные параметры ОФК связаны соотношением:

$$R_g = r_0 N^{1/D}$$

Следует ожидать, что физические свойства ОФК (плотность, теплофизические и оптические характеристики) могут сильно отличаться от свойств компактных (не фрактальных) частиц.

## Классификация аэрозолей по степени дисперсности

1. Ультрадисперсные аэрозоли или наночастицы (0,001-0,01 мкм);
2. Высокодисперсные аэрозоли (ВДА) (0,01-0,1 мкм);
3. Среднедисперсные (тонкодисперсные) аэрозоли (0,1-10 мкм);
4. Грубодисперсные аэрозоли (10-100 мкм).



# Поверхностные свойства аэрозолей

Удельная поверхность (отношение площади поверхности к объему тела связана линейными размерами тела соотношением

$$S_{уд} = K(1/R) = KD^*$$

где - так называемый фактор формы ( $K = 2$  для пластинчатой частицы,  $4$  - для волоконистой частицы,  $6$  - для кубической частицы), а  $D^* = 1/R$  - показатель дисперсности.

Сейчас становится понятной терминология в классификации частиц по степени дисперсности.

## «Жизненный цикл» аэрозолей

Аэрозоли – это в общем случае динамически неустойчивая, нестабильная дисперсная система, обладающая ярко выраженной пространственно-временной изменчивостью. Анализ процессов эволюции аэродисперсных систем позволяет выделить основные этапы ее существования, которые образно можно охарактеризовать как «рождение, жизнь и смерть» аэрозолей. Для атмосферного аэрозоля существуют ситуации, когда устойчивое состояние системы существует достаточно протяженное время (месяцы и даже годы), для аэрозолей в технологических процессах это практически никогда не реализуется.

## «Рождение»

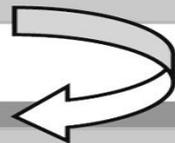
Конденсационный способ (хемоконденсация, физконденсация)

Гомогенная нуклеация в пересыщенном паре

Гетерогенная конденсация на ядрах конденсации

Диспергационный способ

Диспергация жидкостей. Диспергация твердых тел



## «Жизнь»

Конденсационный рост и испарение капель

Движение частиц под действием различных сил

(в том числе форетические явления)

Коагуляция частиц (коалесценция для жидких капель)

Агрегация и фрагментация частиц

(в том числе в поле оптического излучения)



## «Смерть» ?

Седиментация частиц в поле силы тяжести

Осаждение частиц (на макроскопические тела, в том числе на поверхности осаждения)

Испарение капель (вплоть до малых кластеров)

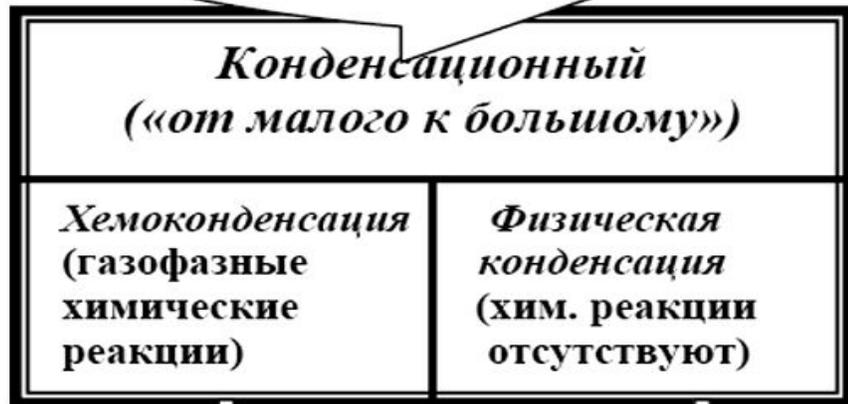
Разрушение частиц до молекулярного уровня

## «Реинкарнация»

Отрыв частиц от поверхностей осаждения

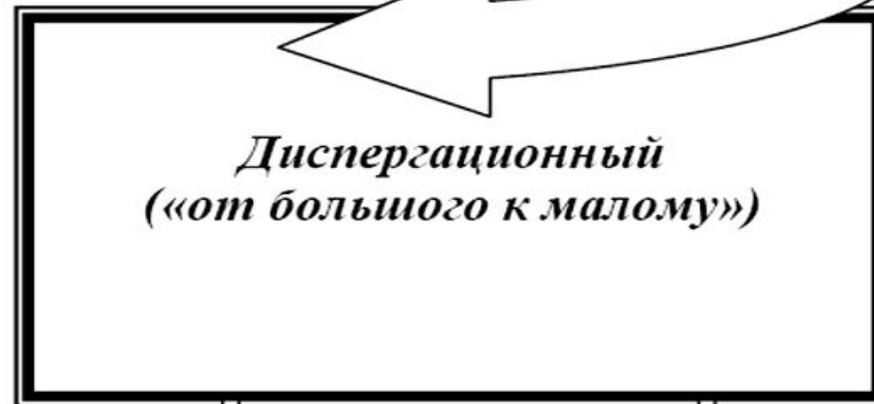
Переход порошков и осадка пыли в аэрозольное состояние

**Способы  
Образования  
Аэрозолей**



*Гомогенная  
нуклеация*  
(спонтанная  
конденсация)  
пересыщенного  
пара

*Гетерогенная  
конденсация  
пара*  
(на ядрах  
конденсации)



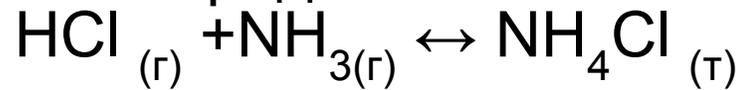
*Диспергация  
жидкостей*  
(жидкая  
дисперсная  
фаза:  
туманы,  
спрей)

*Диспергация  
твердых тел*  
(твердая дис-  
персная фаза:  
пыли, ды  
мы)

## ***Конденсационный метод.***

Дисперсную фазу получают из парообразной путем физического процесса конденсации молекул до частиц коллоидного размера. Например, пар высокой концентрации охлаждают при разбавлении его холодным газом или при быстром расширении. Конденсационное образование аэрозолей является основным природным и техническим способом образования высокодисперсных аэрозолей; так, возникновение кучевых облаков, содержащих капли воды, или перистых, состоящих из кристалликов льда, происходит в основном в результате их гетерогенного зарождения на пылинках и микрокристалликах соли. Такие микрокристаллики получают при высыхании мельчайших морских брызг и поднимаются на высоту конвекционными потоками воздуха.

Некоторые аэрозоли получают в результате химической реакции между двумя или несколькими химическими веществами. Например, при сгорании цинка образуется аэрозоль оксида цинка (ZnO), фосфора – оксид фосфора (V) (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), при взаимодействии аммиака с хлороводородом образуется аэрозоль хлорида аммония:



# Гомогенная конденсация пара

Отношение фактического давления к давлению насыщенного пара обычно называют *пересыщением*

$$S = p(T) / p_{\infty}(T)$$

В ряде случаев удобно оперировать величиной *относительного пересыщения*

$$S' = (p(T) - p_{\infty}(T)) / p_{\infty}(T)$$

Зависимость давления насыщенного пара от температуры можно оценить из термодинамического уравнения Клапейрона – Клаузиуса:

$$\frac{dp_{\infty}(T)}{dT} = \frac{L(T)}{T(V'' - V')}$$

# Гетерогенная конденсация пара

***Условия, необходимые для гетерогенной конденсации.*** Расчеты показывают, что спонтанная нуклеация водяного пара при обычных температурах возможна только при  $S \approx 5$ , что совершенно нереально для земных атмосферных условий. Но также известно, что уже при относительной влажности в 30% в атмосфере начинается образование жидкокапельного водного аэрозоля. Причиной данного процесса является наличие в атмосфере так называемых *ядер конденсации*, а процесс образования на них как на уже готовых зародышах капелек воды связан с *гетерогенной конденсацией паров*.

## Атмосферные ядра конденсации, их классификации

Различают следующие типы ядер конденсации в атмосферных условиях (Ивлев и Довгалюк, 1999):

- 1) гигроскопические частицы, растворяющиеся в воде;
- 2) смачиваемые, но не растворяющиеся частицы;
- 3) частично смачивающиеся частицы;
- 4) смешанные ядра.

# Ядра кристаллизации

Некоторые из аэрозольных частиц могут служить центрами кристаллизации переохлажденной воды.

Экспериментально подтверждено, что в лабораторных условиях мелкие капельки ( $r < 5$  мкм) хорошо очищенной воды удается переохладить до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Такое состояние переохлаждения метастабильно и обусловлено отсутствием ядер кристаллизации. Считается поэтому, что устойчивость жидкокапельных облаков при  $t < -15^{\circ}\text{C}$  говорит о малочисленности эффективных естественных ядер кристаллизации в атмосфере.

## ***Диспергационные методы.***

Частицы коллоидных размеров получают измельчением более крупных агрегатов. Очень часто образование аэрозолей в результате диспергирования нежелательно: угольная пыль в забоях, мучная пыль на мельницах, сахарная пыль.

Аэрозоли, образующиеся в результате диспергирования, как правило, имеют невысокую дисперсность и обладают большей полидисперсностью, чем аэрозоли образующиеся в процессах конденсации. Диспергационные методы образования аэрозолей лежат в основе получения и использования многих важных материалов и препаратов. Например, получение порошков путем помола твердых материалов; разбрызгивание форсунками жидкого топлива (для интенсификации процесса горения); ядохимикатов для защиты растений от вредителей; лаков и красок при нанесении защитных покрытий. В природе с возникновением аэрозолей путем диспергирования связано образование пыли.

## Диспергирование (распыление) жидкостей

Сообщаемая объему жидкости энергия заставляет принять ее *неустойчивую* форму (классифицируются различные типы и виды неустойчивой формы жидкости) и *распасться на капли*. Силы поверхностного натяжения стабилизируют окончательную форму частиц образовавшейся дисперсной фазы (сферические капли).

# Диспергирование (распыление) жидкостей

Энергия, сообщаемая объему жидкости расходуется на три основных составляющих:

- 1) образование новой поверхности жидкости при дроблении ее на капли (площадь поверхности многократно увеличивается);
- 2) преодоление сил вязкостного трения, связанное с диссипацией энергии при изменении формы жидкости;
- 3) потери, обусловленные неэффективностью методов передачи энергии жидкости (обычно эта составляющая преобладает).

# Методы распыления жидкостей

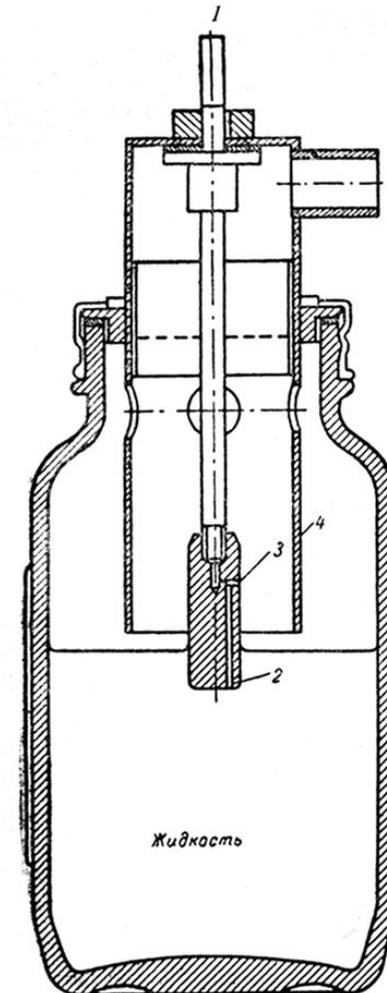
1. Пневматическое (или аэродинамическое) распыление;
2. Гидравлическое (или гидродинамическое) распыление;
3. Центробежное распыление;
4. Прочие методы (электростатическое, акустическое, с помощью пропеллентов и другие), каждый из которых можно выделить и в отдельную группу.

# Механизм пневматического распыления жидкостей

## Распылитель Коллисона:

- 1 – вход сжатого воздуха (сверху рисунка);
- 2 – канал для распыляемой жидкости;
- 3 – выход распыленной жидкости;
- 4 – цилиндрический отражатель крупных капель;
- 5 – выход сжатого воздуха.

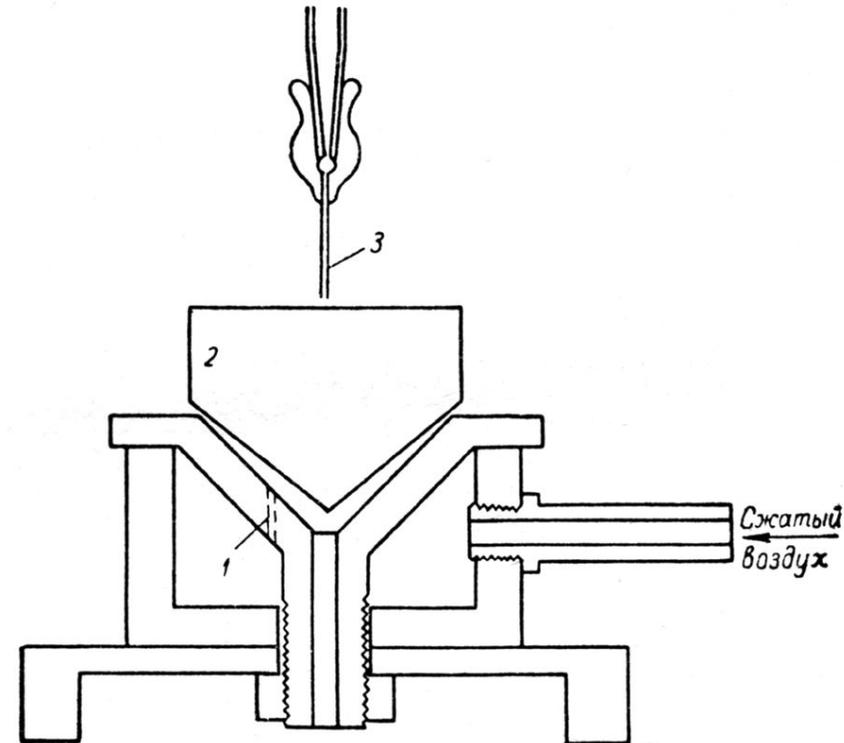
Генерирует туман из нелетучих жидкостей с очень небольшим содержанием капелек крупнее 10 мкм (Грин и Лейн, 1972)



# Генераторы аэрозолей

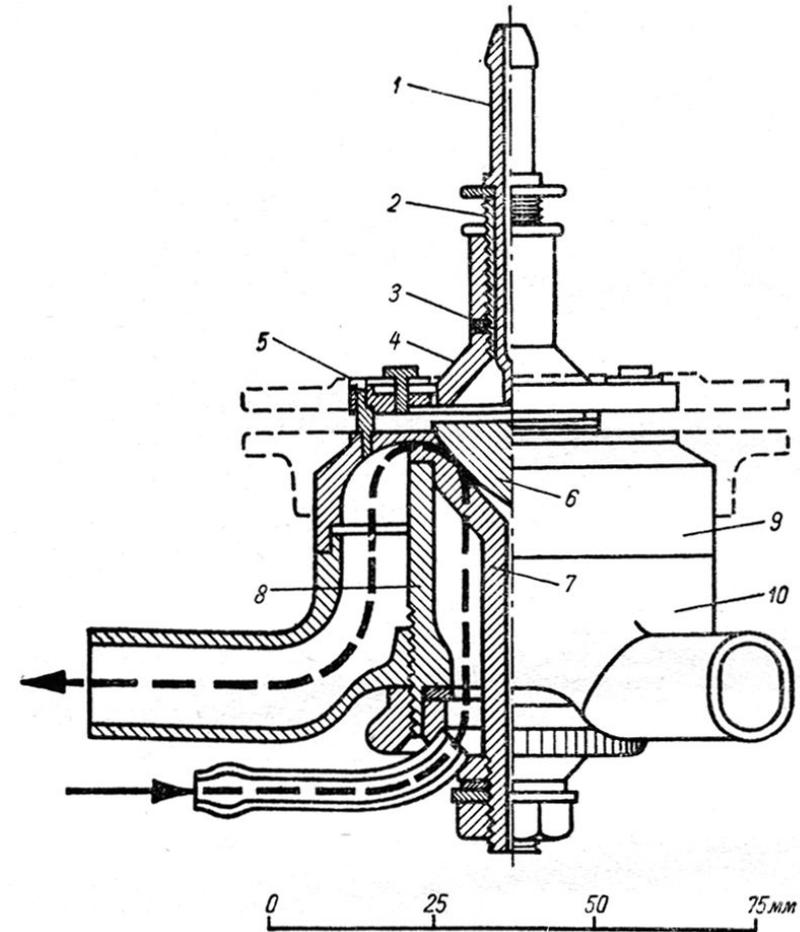
## Самобалансирующий волчок Уолтона и Пруэтта.

Приводится в действие сжатым воздухом (вход справа), угловая скорость вращения – несколько тысяч оборотов в секунду, радиальное ускорение – порядка миллиона  $g$ . Жидкость подается сверху из узкой трубки (3) в центр ротора (2) и растекается на его поверхности в виде тонкой пленки. Капли отрываются от конуса ротора, тонокодисперсный туман выходит в зазор между вращающимся ротором и корпусом волчка. Вторичные мелкие капли-сателлиты (если их присутствие нежелательно) можно удалить при помощи местного отсоса (Грин и Лейн, 1972)

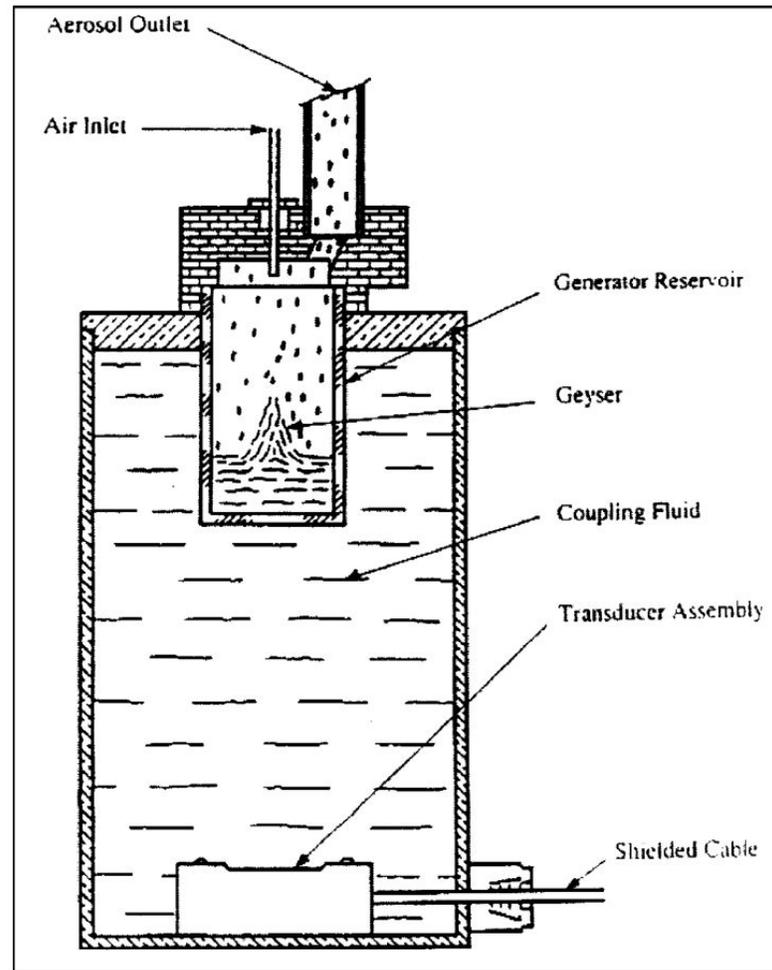


# Генераторы аэрозолей

**Дисковый распылитель Мэя** – популярный коммерческий распылитель. Имеет гораздо лучшие характеристики, чем дисковый распылитель-волчок Уолтона и Пруэтта. Капли-сателлиты удаляются автоматически, организовано более спокойное вращение ротора, уменьшен расход воздуха. Возможно распылять органические жидкости, масла, воду, водные растворы и суспензии, но возникают трудности при распылении эмульсий. Дает практически монодисперсный туман, минимальный размер капель вплоть до 6 мкм, максимальный – до 200 мкм. Средний размер капелек легко регулируется изменением расхода воздуха (Грин и Лейн, 1972)



# Ультразвуковой генератор (небулайзер) Раабе (1968)



# Распыление с помощью пропеллентов

Схема аэрозольного баллона с низкокипящим пропеллентом:

1 – распыляемая смесь;

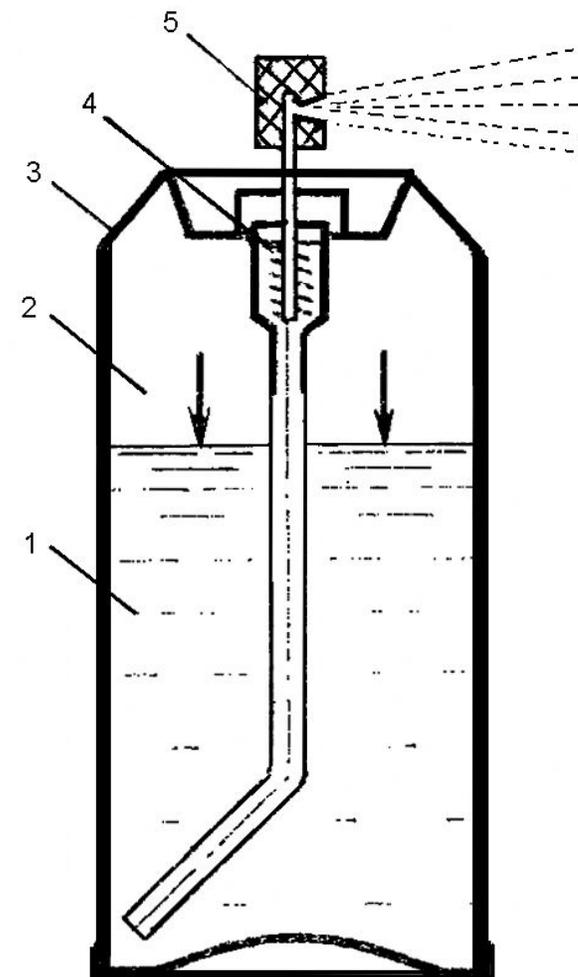
2 – пары пропеллента;

3 – корпус;

4 – клапан;

5 – сопло

(Белоусов, 1988)



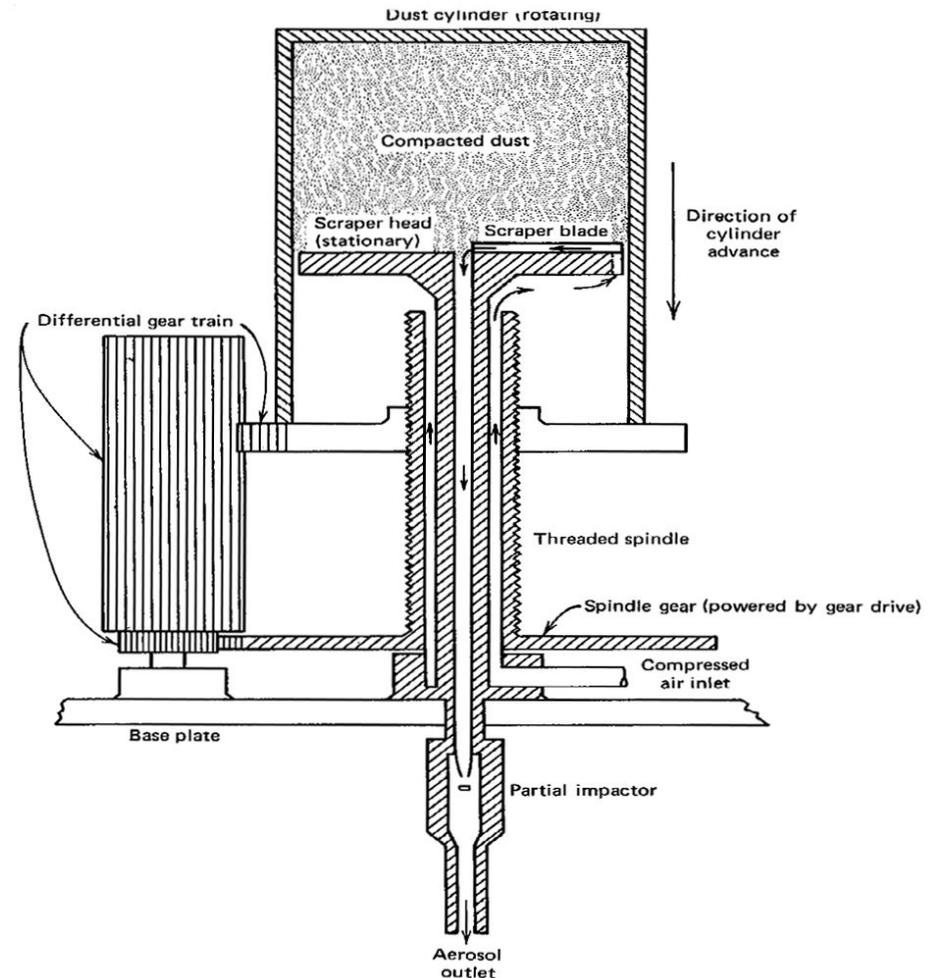


# Диспергирование твердых тел

Образовать аэрозоли с твердой дисперсной фазой можно двумя способами: либо подвергнуть массивные образцы твердых тел процессу диспергации, либо распылить в воздухе порошки. И те, и другие процессы широко распространены как в природных явлениях (выветривание горных пород, пылевые пустынные облака), так и в технологических приложениях (измельчение горных пород путем дробления, размола, бурения, взрыва) образовать аэрозоли с твердой дисперсной фазой можно двумя способами: либо подвергнуть массивные образцы твердых тел процессу диспергации, либо распылить в воздухе порошки. И те, и другие процессы широко распространены как в природных явлениях (выветривание горных пород, пылевые пустынные облака), так и в технологических приложениях (измельчение горных пород путем дробления, размола, бурения, взрыва).

# Диспергирование твердых тел

**Питатель пыли Райта.**  
Нож скрепера снимает тонкий слой спрессованной пыли в верхнем вращающемся цилиндре, которая затем увлекается потоком сжатого воздуха от компрессора и выводится в нижней части устройства.

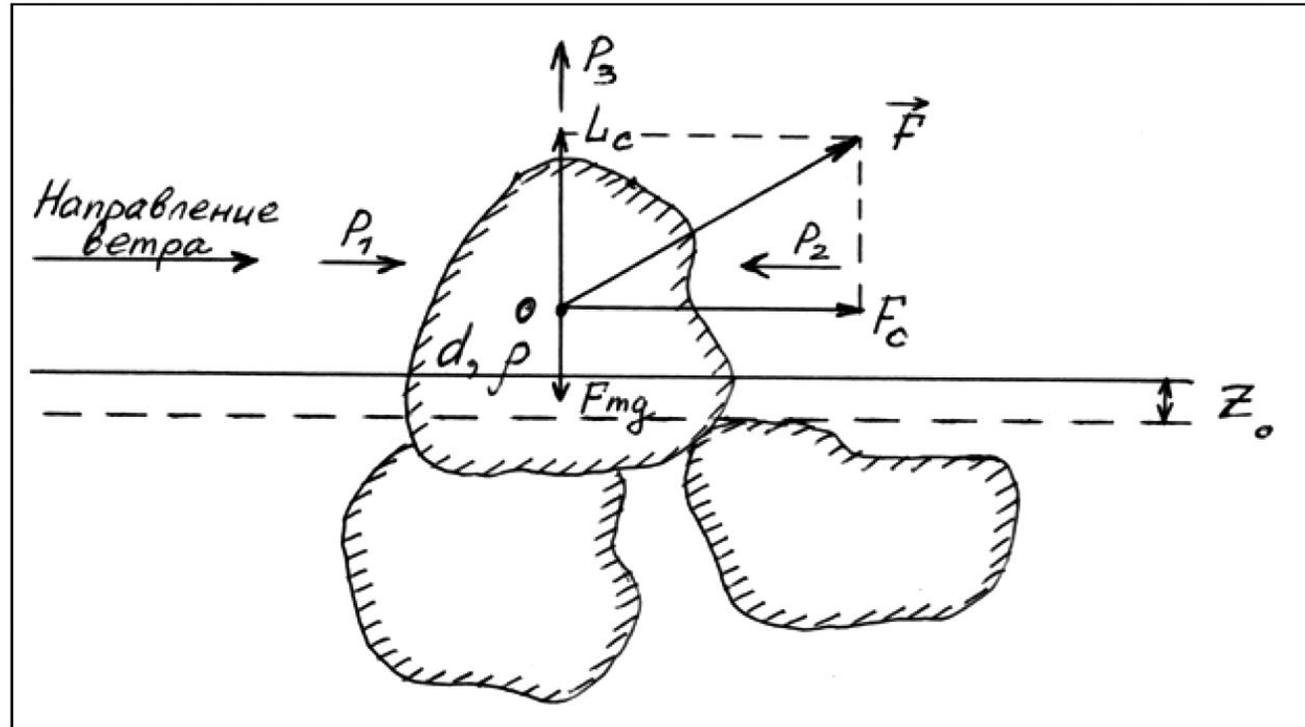


## Образование почвенного аэрозоля – явление сальтации частиц

Каждая такая крупинка испытывает три типа давления газа:

1. положительное давление  $p_1$  с наветренной стороны, действующей на частицу со стороны ветра (ветровое давление,  $\sim v^2$ ), которое инициирует перемещение почвенной частицы;
2. отрицательное давление с подветренной стороны  $p_2$  (вязкостное давление, являющееся функцией вязкости и плотности газа и первой степени скорости ветра  $v$ );
3. статическое отрицательное давление  $p_3$ , действующее на крупинку сверху и вызванное известным эффектом Бернулли; оно создает эффект поднятия частицы вверх (здесь эффект Бернулли проявляется так: при увеличении скорости движения газа, обтекающего тело сверху, давление в вертикальном направлении понижается).

## Образование почвенного аэрозоля – явление сальтации частиц



Схематическое изображение сил, действующих на частицу почвы при ветровой эрозии:  $O$  – центр масс;  $Z_0$  – средний уровень неровностей почвы (Кондратьев и Поздняков, 1981)

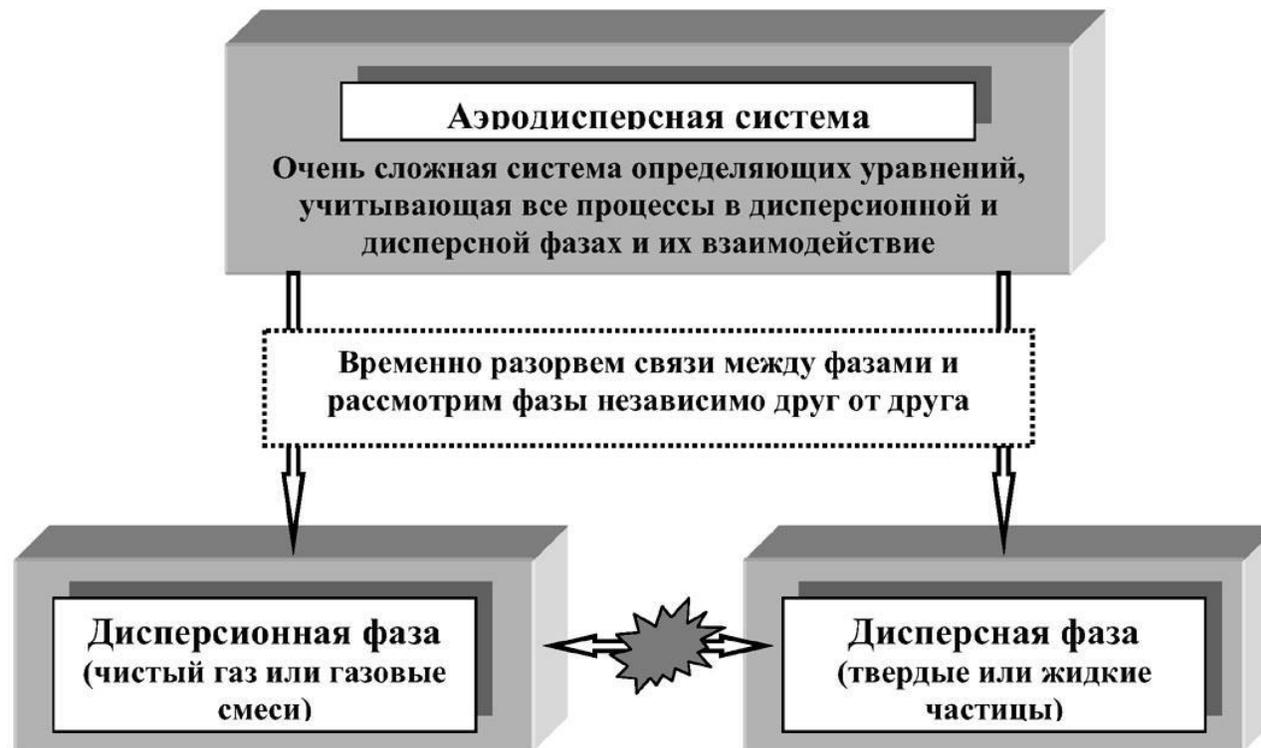
# Конденсационный способ

В этой лекции мы попытаемся проанализировать второй возможный путь образования аэрозолей – способ «от малого к большому» – конденсационный способ, в котором принято различать возможности гомогенной конденсации пересыщенных паров и гетерогенной конденсации на уже имеющихся зародышах – ядрах конденсации. Здесь уместна цитата из книги известных специалистов в этой области Петрянова-Соколова и Сутугина (1988): «Сам по себе процесс рождения новой фазы из газа представляет собой нечто таинственное. Какая сила заставляет молекулы, безмятежно летающие в пространстве, соединяться в рои-кластеры, вырастающие в капли?». Недаром известный физик Ф. Жолио-Кюри в 1936 г. назвал спонтанную конденсацию самым интересным аспектом науки вообще, а не только науки об аэрозолях.

## Гомогенная конденсация пара

Степень пересыщения пара. Из термодинамики известно, что в состоянии термодинамического равновесия бинарная система жидкость–пар характеризуется таким макроскопическим параметром как давление насыщенного пара жидкости над плоской границей раздела фаз при фиксированной температуре  $p_{\infty}(T)$ .

# Предмет и задачи механики аэрозолей



Способ построения феноменологических моделей аэродисперсных систем

**Типичные диапазоны изменения основных параметров, характеризующих атмосферный аэрозоль (Хайди и Брок, 1970)**

Параметр	Аэрозольные частицы	Воздушная среда
Числовая плотность (частиц в см <sup>3</sup> )	$n_p \approx 10^2 \div 10^4$	$n_g \approx 10^{19}$
Средняя температура (К)	$T_p \approx T$	$\approx 240 \div 310$
Среднемассовая или тепловая скорость (см/с)	$q_p \approx 10^{-2} \div 10^3$	$q_g \approx 0 \div 10^3$
Средняя длина свободного пробега (см)	$\lambda_p \geq 10^2$	$\lambda_g \approx 6 \cdot 10^{-6} (N_2)$
Радиус частицы (см)	$R_p \approx 10^{-7} \div 10^{-3}$	$R_g \approx 1,9 \cdot 10^{-8} (N_2)$
Масса частицы (г)	$m_p \approx 10^{-13} \div 10^{-9}$	$m_g \approx 4,6 \cdot 10^{-23} (N_2)$
Заряд (число элементарных зарядов)	$Q_p \approx 0 \div 100$	слабоионизированный газ

## Причины и характер броуновского движения аэрозольных частиц

Частицы могут выводиться из аэрозольной системы двумя путями:

- 1) они способны коагулировать (агрегировать) с другими частицами и укрупняться до таких размеров, что будут интенсивно оседать на поверхности под действием силы тяжести;
- 2) могут мигрировать к поверхностям осаждения, ударяться о них и оставаться связанными с ними.

## Причины и характер броуновского движения аэрозольных частиц

*Процессы, вследствие которых аэрозольные частицы перемещаются к поверхности либо друг к другу без действия на них внешних сил, называются диффузионными, а движение частиц в таких процессах – **броуновским движением**.*

*Броуновская диффузия аэрозолей подразумевает перенос частиц из областей с большей их концентрацией в области с меньшей концентрацией.*

## Диффузионно-седиментационное равновесие и «барометрическое» распределение частиц

Если в системе наступает так называемое диффузионно-седиментационное равновесие, то  $J_D = J_S$ ,

$$-D_B \frac{dn}{dx} = nD_B \frac{m_p g}{kT} \quad \frac{dn}{n} = -\frac{m_p g}{kT} dz, \quad n = n_0 \exp\left(-\frac{m_p g}{kT} z\right)$$

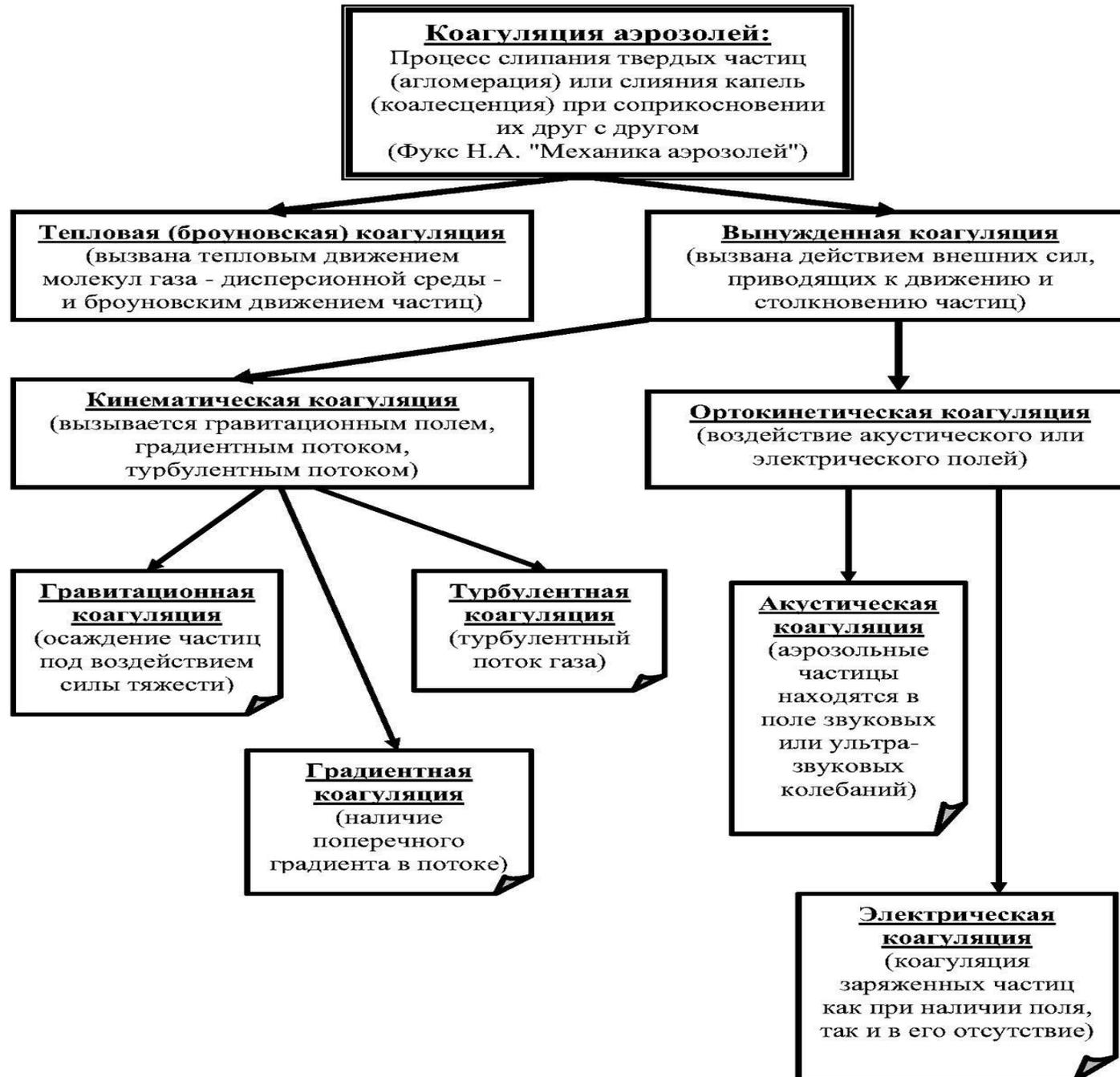
*Таким образом, высокодисперсные (субмикронные) аэрозоли не оседают на поверхности вследствие гравитационной седиментации, броуновское движение будет удерживать их во взвешенном состоянии. Данный вывод имеет принципиальное значение для процессов и методов газоочистки.*

# Классификация типов коагуляции

*Коагуляция* – наиболее важный процесс межчастичного взаимодействия в аэрозолях. Ее надо понимать как эффект слипания, агрегирования первичных частиц в процессе их взаимного движения и парных столкновений (тройные столкновения частиц обычно не учитываются как весьма маловероятные). Слияние жидких капель называется *коалесценцией*, для твердых частиц часто используется термин *агломерация*.

Оба эффекта в целом можно характеризовать как *агрегацию* частиц. Происхождение этих терминов следующее: *coagulatio* (лат.) – свертывание, сгущение; *aggrego* (лат.) – присоединять.

В общем случае под коагуляцией понимают уменьшение степени дисперсности частиц (т.е. их укрупнение) при снижении числовой концентрации частиц.



# Электрические свойства аэрозолей

Важность изучения электрических свойств аэрозолей мотивируется следующими положениями:

1. Большинство аэрозолей несут заряд, который может постоянно перераспределяться между частицами;
2. Внешние электрические поля могут эффективно влиять как на величину заряда частиц, так и на характеристики их движения;
3. Проявления особых свойств заряженных аэрозолей важны как для изучения процессов с атмосферным аэрозолем, так и в очень многих технологических приложениях;
4. На сегодняшний день создано множество разнообразных измерительных аэрозольных приборов, использующих электрические свойства аэрозолей.

# Механизмы зарядки аэрозольных частиц

К основным процессам, приводящим к образованию заряда на частице, относятся прямая ионизация частиц; статическая электризация частиц; столкновения с ионами или ионными кластерами (в том числе в присутствии внешнего электрического поля); ионизация частиц электромагнитным излучением (ультрафиолетовым, рентгеновским или гамма-излучением). При этом перечисленные процессы могут протекать как по отдельности, так и совместно.

# Механизмы зарядки аэрозольных частиц

## *Прямая ионизация частиц*

Под ней, по-видимому, следует понимать ионизацию аэрозольных частиц высокоэнергетическими атомами и молекулами (но не электромагнитным излучением). Райст (1987) полагает, что этот механизм не является существенным, так как основной эффект ионизации будет производиться за счет молекул воздуха, но не за счет малого количества в нем аэрозольных частиц.

# Механизмы зарядки аэрозольных частиц

## *Статическая электризация.*

Может протекать за счет действия различных механизмов:

1. Электролитические эффекты.
2. Контактная электризация.
3. Электризация при распылении.
4. Электризация трением.
5. Ионизация в пламени.

## **Столкновения с ионами или ионными кластерами**

Ионы или ионные кластеры в воздухе образуются, например, при присоединении нейтральными аэрозольными частицами положительных или отрицательных ионов, возникших за счет энергии  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей в процессе радиоактивного распада изотопов.

К зарядке аэрозольных частиц ведут два процесса, действующих по отдельности или совместно. В процессе диффузионной зарядки аэрозольные частицы заряжаются при столкновении с диффундирующими ионами в отсутствие внешнего электрического поля. В процессе зарядки в электрическом поле частицы приобретают заряд, сталкиваясь в основном с ионами, движущимися по направлению внешнего электрического поля.

# Диффузионная зарядка частиц

Рассмотрим данный процесс подробнее при следующих предположениях:

- 1) частицы сферические (или изометрические),
- 2) частицы аэрозоля монодисперсные (полидисперсность усложняет, но не опровергает теорию),
- 3) частицы не взаимодействуют между собой (что можно принять при их малой счетной концентрации),
- 4) около каждой частицы концентрация ионов и электрическое поле однородны.

# Максимальная величина заряда частицы

Для твердой сферической частицы предельный заряд равен

$$n_{\max} = E_S D_p^2 / (4e)$$

где  $E_S$  – напряженность достижения поверхностной эмиссии электронов или ионов (для электронов  $E_S = 3,3 \cdot 10^4$ , для ионов  $E_S = 6,67 \cdot 10^5$  ед. потенциала СГСЭ/см).

Например, максимальный положительный заряд частицы диаметром 0,01 мкм составит около 350 единичных зарядов.

Рэлей получил выражение для количества электронов на капле, необходимого для ее разрыва

$$n_R = \sqrt{2\pi\sigma D_p^3} / e$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения вещества капли.

# Оптические свойства аэрозолей

Оптические свойства – одни из самых типичных, но в тоже время важнейших характеристик аэродисперсных систем. Рассеивают излучение любые аэрозольные частицы. Некоторые частицы (например, сажевые) могут эффективно поглощать излучение. Совокупность процессов рассеяния и поглощения называется *экстинкцией* (ослаблением) излучения.

Аэрозоли обладают способностью рассеивать свет, в результате чего наблюдается конус Фарадея – Тиндаля. Из-за большой разницы в показателях преломления дисперсной фазы и дисперсионной среды интенсивность свето-рассеяния у аэрозолей больше, чем у лиозолей. Этот факт используют для образования маскировочных дымовых завес.

## Взаимодействие электромагнитного излучения с одиночной частицей: теория Ми

### *Формализм теории Ми*

Важнейшей строго решаемой математической проблемой в теории поглощения и рассеяния света дисперсными частицами является задача о дифракции излучения на сфере с произвольными радиусом и комплексным показателем преломления (так называемая «задача Ми»).

В технике образование аэрозолей часто нежелательно, т. к. приводит к загрязнению атмосферы. Большую опасность представляют взрывы пыли в сахарном, мукомольном и некоторых др. производствах. Поэтому разрабатываются методы пылеулавливания и туманоулавливания.

Вместе с тем химическая промышленность либо непосредственно использует аэрозольное состояние вещества в технологических процессах, либо производит продукты в аэрозольной форме для последующего их использования. Через аэрозольное состояние получают многие высокодисперсные продукты - наполнители, пигменты, катализаторы, компоненты высокоэнергетических топлив. В аэрозольной форме сжигается все жидкое и значительная часть твердого топлива. Аэрозольные препараты используют в медицине и ветеринарии, для защиты посевов от вредителей, обработки складских помещений, предотвращения выпадения града. Широкое применение в быту нашли аэрозольные баллончики - устройства, в которых жидкий препарат или суспензия выдавливается из резервуара и распыляется давлением хладагента.

**Способы очистки газов.** В промышленности применяют механический, электрический и физико-химический способы очистки газов. Механическую и электрическую очистку используют для улавливания из газов твёрдых и жидких примесей, а газообразные примеси улавливают физико-химическими способами.

Механическую очистку газов производят осаждением частиц примесей под действием силы тяжести или центробежной силы, фильтрацией сквозь волокнистые и пористые материалы, промывкой газа водой или др. жидкостью. Наиболее простым, но малоэффективным и редко применяемым является способ осаждения крупной пыли под действием силы тяжести в т. н. пылевых камерах. Инерционный способ осаждения частиц пыли (или капель жидкости) основан на изменении направления движения газа со взвешенными в нём частицами. Т. к. плотность частиц примерно в 1—3 тыс. раз больше плотности газа, они, продолжая двигаться по инерции в прежнем направлении, отделяются от газа. Инерционными уловителями пыли служат т. н. пылевые мешки, жалюзийные решётки, зигзагообразные отделители и т.п. В некоторых аппаратах используется и сила удара частиц. Всеми такими аппаратами пользуются для улавливания сравнительно крупных частиц; высокой степени очистки газов эти методы не дают.