



Дисциплина  
«Методы фармакопейного анализа»

**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ФАРМАКОПЕЙНОГО АНАЛИЗА**

Плотность, вязкость

лекция 7

(лектор: доцент, к.фарм.н. Солодунова Г.Н.)

# ПЛОТНОСТЬ

В физике плотностью вещества называют массу этого вещества, содержащуюся в единице объёма при нормальных условиях. Тела одинакового объёма, изготовленные из различных веществ, обладают различной массой, что и характеризует их плотность. К примеру, два куба одинаковых размеров, изготовленные из чугуна и алюминия, будут отличаться весом и плотностью.

Чтобы вычислить плотность какого-либо тела, нужно точно определить его массу и разделить её на точный объём этого тела.

Выведем формулу вычисления плотности:

$$\text{плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объём}} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Единицы измерения плотности в международной системе единиц (СИ) – **Кг/м<sup>3</sup>**

Единицы измерения плотности в системе СГС (Симметричная СГС, или гауссова система единиц) – **Г/см<sup>3</sup>**

В физике существует несколько понятий плотности веществ:

- Объемная плотность (молярная плотность)
- Относительная плотность
- Удельная плотность
- Парциальная плотность

**Объёмная плотность** – широко используемый термин в различных областях науки для обозначения [плотности](#) распределения тех или иных физических величин в единице пространства (В случае твердых веществ с неоднородным составом или жидкостей, которые содержат взвешенные твердые частицы, на значение *объемной плотности* также оказывает влияние [пористость](#) структуры, нарушение молекулярной и структурной целостности твердых материалов).

**Относительной плотностью** вещества называют отношение [плотности](#) исследуемого вещества к плотности [эталонного](#) вещества. В качестве эталонной жидкости чаще всего используют [дистиллированную воду](#), плотность которой при +20 °С равна 998,203 кг/м<sup>3</sup>, а при температуре максимальной плотности (+4 °С) составляет 999,973 кг/м<sup>3</sup>.

**Удельную (кажущуюся) плотность**, рассчитываемую как отношение массы вещества ко всему занимаемому им объёму. Истинную **плотность** из кажущейся получают с помощью величины коэффициента пористости – доли объёма пустот в занимаемом объёме. Для сыпучих тел **удельная плотность** называется **насыпной плотностью**.

**Парциальная плотность** *i*-го [составляющего вещества раствора](#) есть отношение массы этого вещества, содержащегося в гомогенной смеси, к объёму смеси.

Иными словами, термины *парциальная плотность* и [массовая концентрация](#) представляют собой синонимы. На практике для газовых смесей продолжают использовать представления о парциальных величинах (например, о [парциальном давлении](#) и *парциальном объёме*), в том числе и о парциальной плотности вещества в газовом растворе (применительно к жидким и твёрдым растворам термин «парциальная плотность» не употребляют).

# ПЛОТНОСТЬ

## От чего зависит плотность вещества

Плотность вещества зависит от температуры. Так в подавляющем большинстве случаев при снижении температуры плотность увеличивается. Исключение составляют вода, чугун, бронза и некоторые другие вещества, которые в определённом температурном диапазоне проявляют себя иначе. Вода, например, имеет максимальную плотность при  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При повышении или понижении температуры плотность будет уменьшаться.

Плотность вещества меняется и при изменении его агрегатного состояния. Она скачкообразно растёт при переходе вещества из газообразного в жидкое состояние, и далее – в твёрдое. Здесь также есть исключения: плотность воды, висмута, кремния и некоторых других веществ снижается при затвердевании.

## Чем измеряется плотность вещества

Для измерения плотности различных веществ применяются специальные приборы и приспособления. Так, плотность жидкостей и концентрация растворов измеряется различными ареометрами. Несколько разновидностей пикнометров предназначены для измерения плотности твёрдых тел, жидкостей и газов.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ

## Ручные методы измерения плотности.

Ручные инструменты, например пикнометры и ареометры, широко применяются для определения плотности и связанных с ней величин — удельного веса, содержания спирта (%) и т. Д. Хотя такие приборы просты и недороги, для работы с ними требуются знания и опыт выполнения ручных операций. Квалификация персонала часто влияет на точность и достоверность результатов. Нередко случается, что при анализе одного и того же образца разными сотрудниками получают разные данные.

## Общие принципы работы с ареометром

**Ареометр** — это устройство, применяемое для измерения показателей плотности жидкости, основанное на работе физического закона Архимеда. В большинстве случаев прибор представляет собой стеклянную трубку, расширяющуюся внизу и имеющую на конце резервуар, заполненный дробью.

В узкой части имеется шкала с делениями. Вверху шкалы — наименьшее значение, внизу — наибольшее. Ареометры

предназначены для проведения измерения определенной жидкости, поэтому если прибор откалиброван для одного вещества, то не сможет работать с другим. Пример специального ареометра — спиртометр.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ

## Принцип работы ареометра

Принцип работы устройства основывается на гидростатическом физическом законе. Согласно ему, при погружении тела в жидкость, на него действует выталкивающая сила, равная массе той жидкости, которая была вытеснена телом. Различные жидкости имеют разные показатели плотности, поэтому погружаемое в них тело выталкивается с разной силой. Благодаря наличию утяжелителя в нижней части, устройство при погружении принимает вертикальное положение, как поплавок. Для того чтобы определить какой уровень плотности вещества, нужно посмотреть до какого показателя на шкале достает линия жидкости.

## Правила работы с ареометром.

1. Измеряемую жидкость наливают в цилиндр.
2. Осторожно погружают ареометр в жидкость, держа его за верхний конец, до тех пор, пока не почувствуют, что ареометр плавает. Во время измерения ареометр должен находиться в центре цилиндра и не касаться стенок и дна цилиндра.
3. Плотность жидкости определяют через 3-4 минуты после погружения ареометра по делению шкалы ареометра, соответствующему нижнему



4. По окончании работы ареометр моют, ополаскивают дистиллированной водой, протирают фильтровальной бумагой и убирают в футляр.

### **Примечания**

Определение плотности сильно летучих веществ ареометром не допускается. В случае определения плотности темноокрашенных жидкостей отсчет производят по верхнему мениску.

### **Особенности шкалы**

Хотя ареометр является очень простым устройством с технологической точки зрения, но с его помощью можно снимать различные показатели с жидкостей. В частности, имеющаяся в стеклянной колбе шкала может быть градуирована различными показателями:

- Плотности жидкости.
- Процент массового содержания примесей.
- Процент концентрации растворенного вещества в основной жидкости.

# ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ С ПИКНОМЕТРАМИ

Предшественник современного пикнометра был изобретён персидским учёным Аль-Бируни в XI веке. Изобретателем самого пикнометра в 1859 году стал Дмитрий Иванович Менделеев.

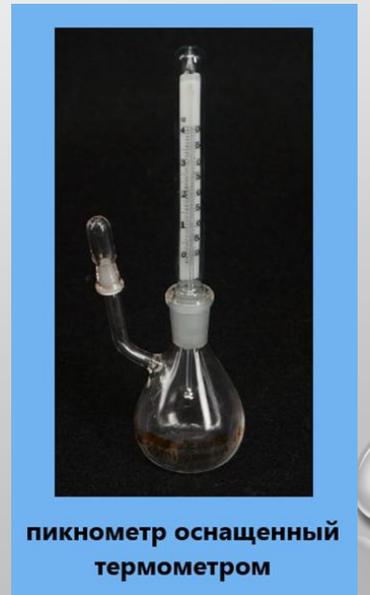
Пикнометр представляет собой стеклянный сосуд специальной формы, предназначенный для измерения плотности жидких, твердых и газообразных веществ. Он изготавливается из медицинского и химико-лабораторного стекла. Точность замеров очень высока, при этом достаточно совсем небольшого количества измеряемого вещества (от 0,5 см<sup>3</sup>). С помощью пикнометра определяют плотность жидкостей, твердых жиров и воска с точностью до  $\pm 0,001$  г/см<sup>3</sup>.

## Особенности пикнометров:

- Пикнометр для определения плотности твердых веществ, имеет широкую горловину и герметично закрывается пробкой.
- Пикнометр для работы с газами оснащается кранами, через которые можно откачивать исследуемое вещество.
- Сосуды, которые будут использоваться для работы с летучими жидкостями, оснащаются капиллярами-носиками.
- Приборы, предназначенные для определения плотности жидкостей, изготавливаются из термостойкого стекла. На горловине имеется специальная метка, также пикнометр может быть оснащен термометром.



Пикнометр для газов



пикнометр оснащенный термометром

# Методика определения плотности жидкостей с помощью пикнометра

1. Чистый сухой пикнометр взвешивают с точностью до 0,0002 г, заполняют водой очищенной немного выше метки, закрывают пробкой и выдерживают в течение 20 мин в термостате при температуре  $(20 \pm 0,1)$  °с. При этой температуре уровень воды в пикнометре доводят до метки. Пикнометр снова закрывают пробкой и выдерживают в термостате еще 10 мин.
2. Пикнометр вынимают из термостата, проверяют положение мениска воды, который должен находиться на уровне метки. Вытирают фильтровальной бумагой внутреннюю поверхность горлышка и весь пикнометр снаружи, закрывают пробкой. Выдерживают пикнометр под стеклом аналитических весов в течение 10 мин и взвешивают.
3. Пикнометр освобождают от воды и высушивают, ополаскивая последовательно спиртом и эфиром (сушить пикнометр нагреванием не допускается).
4. Заполняют пикнометр испытуемой жидкостью и проводят те же операции, что и с водой.
5. Плотность  $\rho_{20}$  (г/см<sup>3</sup>) вычисляют по формуле:

Где  $m$  – масса пустого пикнометра, г;

$M_1$  – масса пикнометра с водой очищенной, г;

$M_2$  – масса пикнометра с испытуемой жидкостью, г;

0,99703 – значение плотности воды при 20°с, г/см<sup>3</sup> (с учетом плотности воздуха);

0,0012 – значение плотности воздуха при 20°с и барометрическом давлении 101,1 кпа (760 мм рт. Ст.).

$$\rho_{20} = 0,99703 \cdot \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} + 0,0012$$

# ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ

Плотномеры представляют собой автоматические приборы, обеспечивающие измерение плотности жидких образцов. Принцип действия плотномеров основан на измерении частоты колебаний U – образной измерительной трубки, вызываемых электромагнитным генератором. Под воздействием возбуждающего поля пустая измерительная трубка колеблется с собственной частотой, а при заполнении трубки исследуемым веществом частота колебаний изменяется в зависимости от массы (плотности) исследуемого вещества. Подобно маятнику, чем больше плотность образца, а значит и его масса, заключенная в трубке, тем ниже частота колебаний.

Поскольку плотность сильно зависит от температуры, для исключения этого влияния на результат измерительная трубка термостатируется термостатом с элементом Пельтье (Жан Шарль Пельтье – французский физик).

Частота собственных колебаний трубки зависит от её конструктивных особенностей и определяется в процессе калибровки при заполнении её веществом с известной плотностью. Главная причина использования цифровых методов – более высокая скорость и точность инструментальных методов анализа, а также большая безопасность при работе с токсичными и легковоспламеняющимися образцами.



# ВЯЗКОСТЬ

Одной из важных характеристик вещества является его вязкость. Вязкость жидкости – это ее *способность оказывать сопротивление* перемещению одних частиц относительно других, то есть противостоять касательным усилиям в потоке. Данный параметр среды нельзя обнаружить в состоянии покоя, он оценивается только во время движения вещества, когда начинают действовать силы сцепления между молекулами.

Данное свойство присутствует у всех веществ, которые обладают текучестью. Текучесть – это сдвиг (перемещение) одних частиц по отношению к другим той же самой среды. За счет силы внутреннего трения вязкость противостоит процессу текучести. Данная формулировка относится не только к жидким, но и к газообразным веществам.

Существует две разновидности вязкости: динамическая (или абсолютная) и кинетическая. Оба показателя уменьшаются при повышении температуры вещества.

## **Динамическая вязкость**

Динамическая вязкость определяет величину сопротивления текучести жидкости при перемещении ее слоя площадью  $1 \text{ см}^2$  на расстояние в  $1 \text{ см}$  со скоростью  $1 \text{ см/сек}$ . Чем выше вязкость жидкости, тем, соответственно, больше время ее истечения.



# ВЯЗКОСТЬ

## **Кинетическая вязкость**

Кинетическая вязкость – это соотношение коэффициента динамической вязкости жидкости к ее плотности. Кинетическая вязкость у жидкостей демонстрирует, насколько легко способно течь данное вещество. В практическом применении это связано с тем, насколько продукт густой. На данный показатель температура влияет несколько меньше, нежели на абсолютную вязкость, ведь тепло также уменьшает и плотность (при нагревании молекулы смещаются дальше друг от друга).

Существует необходимость проведения анализа по показателям «Вязкость» и «Плотность» при контроле качества ряда стерильных лекарственных форм. Нормирование вязкости глазных капель необходимо как для обеспечения оптимального функционирования глаза, так и для гарантии заявленного производителем пролонгированного действия препарата. Вязкость парентеральных лекарственных форм определяет степень их влияния на гемореологию (в случае введения больших объёмов вязких растворов в кровеносное русло), либо характеризует удобство применения и стабильность лекарственных препаратов (например, суспензий для парентерального применения). Для некоторых лекарственных препаратов целесообразнее определять вместо плотности вязкость, в силу того, что данный показатель является более информативным для характеристики качества препарата.

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ С ВИЗКОЗИМЕТРАМИ

Для определения вязкости применяются *капиллярные, ротационные вискозиметры и вискозиметры с падающим шариком.*

В фармацевтических лабораториях вискозиметры используются для контроля качества при изготовлении лекарственных препаратов, патоки, мазей, линиментов.

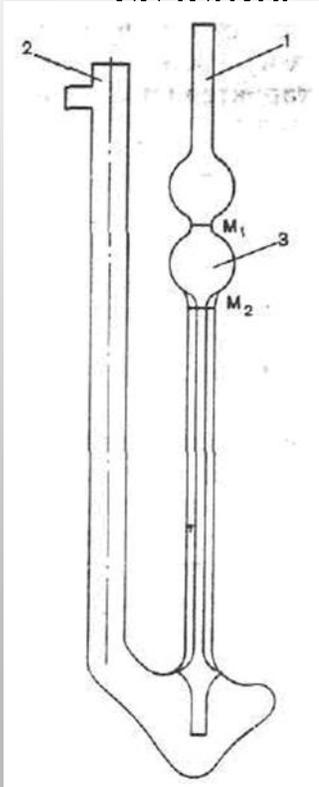
***Капиллярные вискозиметры*** обычно используются для определения вязкости при одном значении скорости сдвига, поэтому применяются в основном для исследования ньютоновских жидкостей (вязкость -). Они просты и удобны в обращении.

Принцип действия капиллярного вискозиметра опирается на закон Пуазейля о вязкой жидкости, описывающий закономерности движения жидкости в капилляре и заключается в измерении времени протекания определённого количества (объёма) газа или жидкости через капилляры (узкие трубки, имеющие круглое сечение) под действием разницы давлений (или только силы тяжести).

# ВЯЗКОСТЬ

Где 1, 2 – трубки; 3 – измерительный резервуар;  
M1, M2 – отметки измерительного резервуара.

Капиллярный вискозиметр представляет собою один или несколько резервуаров данного объёма с отходящими трубками малого круглого сечения или капиллярами.



Принцип действия капиллярного вискозиметра заключается в медленном истечении жидкости из резервуара через капилляр определенного сечения и длины под влиянием разности давлений. В автоматических капиллярных вискозиметрах жидкость поступает в капилляр от насоса постоянной производительности.

Суть опыта при определении вязкости состоит в измерении времени протекания известного количества жидкости при известном перепаде давлений на концах капилляра.

Дальнейшие расчёты ведутся на основании закона Пуазейля.



# ВЯЗКОСТЬ

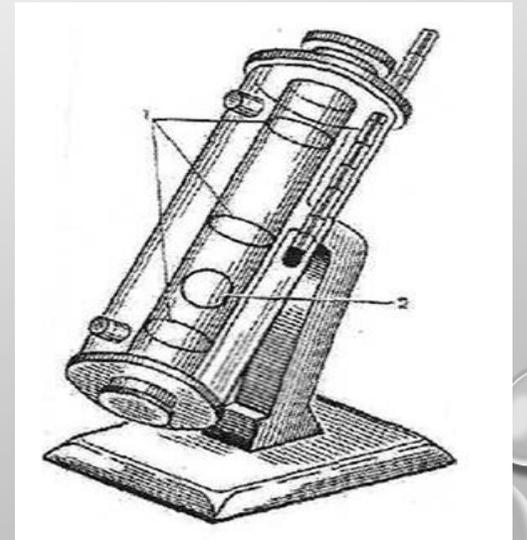
Ротационные вискозиметры обычно используют для измерения динамической вязкости.

Принцип действия наиболее часто используемых ротационных вискозиметров заключается в измерении силы вращения ротора (крутящий момент) при его вращении с постоянной угловой скоростью (скорость вращения) в жидкости, расположенной между двумя коаксиальными цилиндрами, один из которых вращается двигателем, а второй стационарный.

**Вискозиметр с падающим шариком** (вискозиметр Гепплера) предназначен для измерения вязкости прозрачных ньютоновских жидкостей.

Для измерения вязкости испытуемую жидкость заливают в трубку, опускают шарик

и термостатируют. Далее шарик ставят в исходное положение и включают секундомер, когда нижняя часть шарика коснется верхней метки, и останавливают, когда шарик достигнет нижней метки. Время движения шарика измеряют не менее 5–7 раз. При этом разность между наибольшим и наименьшим значениями времени движения шарика не должна превышать 0,5 % от его среднего значения.



# ВЯЗКОСТЬ

Динамическую вязкость испытуемой жидкости вычисляют по формуле:

$$H = K \times (\rho_{ш.} - \rho_{ж.}) \times T_{ср.}$$

Где:  $\eta$  – динамическая вязкость;

$K$  – постоянная вискозиметра;

$\rho_{ш.}$  и  $\rho_{ж.}$  – Плотности шарика и жидкости соответственно;

$T_{ср.}$  – Среднее время движения шарика между крайними метками.



**Возникшие вопросы по материалам лекции  
просьба направлять на почту**

**[gn\\_solodunova@mail.ru](mailto:gn_solodunova@mail.ru)**

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**