

13 ВОПРОС



ГАЛЕЕВА ЭВЕЛИНА
124 ГРУППА

ЖИДКОСТЬ



К жидкостям относят вещества, которые по своим свойствам занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. Жидкие среды составляют наибольшую часть организма, их перемещение обеспечивает обмен веществ и снабжение клеток кислородом, поэтому механические свойства и течение жидкостей представляют особый интерес для медиков и биологов.

Материал, изложенный в главе, имеет отношение к гидродинамике - разделу физики, в котором изучают вопросы движения несжимаемых жидкостей и взаимодействие их при этом с окружающими твердыми телами, и к реологии - учению о деформациях и текучести вещества.

НЬЮТОНОВСКИЕ И НЕНЬЮТОНОВСКИЕ ЖИДКОСТИ



При течении реальной жидкости отдельные слои ее воздействуют друг на друга с силами, касательными к слоям. Это явление называют внутренним трением или вязкостью.

Рассмотрим течение вязкой жидкости между двумя твердыми пластинками (рис. 9.1), из которых нижняя неподвижна, а верхняя движется со скоростью v . Условно представим жидкость в виде нескольких слоев 1, 2, 3 и т.д. Слой, «прилипший» ко дну, неподвижен. По мере удаления от дна (нижняя пластинка) слои жидкости имеют все большие скорости ($v_1 < v_2 < v_3 < \dots$ и т.д), максимальная скорость v будет у слоя, который «прилип» к верхней пластинке.

ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОСТИ.

УРАВНЕНИЕ НЬЮТОНА.

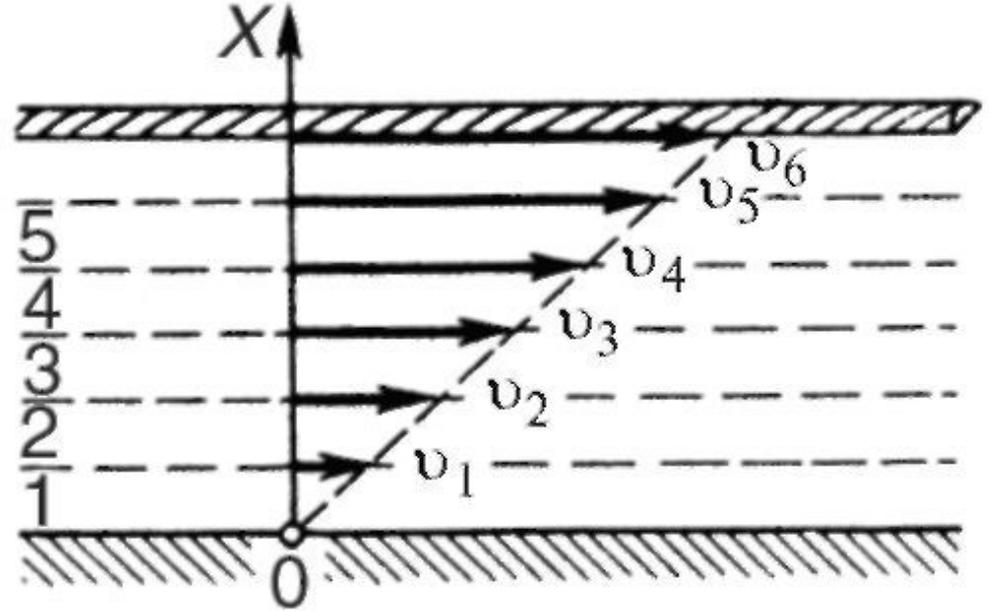


Рис. 9.1

Слои воздействуют друг на друга. Так, например, третий слой стремится ускорить движение второго, но сам испытывает торможение с его стороны, а ускоряется четвертым слоем и т.д. Сила внутреннего трения пропорциональна площади S взаимодействующих слоев и тем больше, чем больше их относительная скорость.



Так как разделение на слои условно, то принято выражать силу в зависимости от изменения скорости, отнесенного к длине в направлении, перпендикулярном скорости, т.е. от dv/dx — *градиент скорости (скорость сдвига)*:

$$F_{\text{тр}} = \eta \cdot \frac{dv}{dx} \cdot S. \quad (9.1)$$



Это уравнение Ньютона. Здесь η - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом внутреннего трения или динамической вязкостью (или просто вязкостью). Вязкость зависит от состояния и молекулярных свойств жидкости (или газа).

Единицей вязкости является паскаль-секунда (Па·с). В системе СГС вязкость выражают в пуазах (П): $1 \text{ Па}\cdot\text{с} = 10 \text{ П}$.

Для многих жидкостей вязкость не зависит от градиента скорости, такие жидкости подчиняются уравнению Ньютона (9.1) и их называют ньютоновскими. Жидкости, не подчиняющиеся уравнению (9.1), относят к неньютоновским. Иногда вязкость ньютоновских жидкостей называют нормальной, а неньютоновской - аномальной.



Жидкости, состоящие из сложных и крупных молекул, например растворы полимеров, и образующие благодаря сцеплению молекул или частиц пространственные структуры, являются неньютоновскими. Их вязкость при прочих равных условиях много больше, чем у простых жидкостей.

Увеличение вязкости происходит потому, что при течении этих жидкостей работа внешней силы затрачивается не только на преодоление истинной, ньютоновской, вязкости, но и на разрушение структуры. Кровь является неньютоновской жидкостью.

Вязкость крови



Вязкость крови – это соотношение объема жидкой части крови (плазмы) и числа ее форменных элементов (клеток крови). Является очень важным показателем состояния крови, определяющим максимальный срок нормального функционирования сердца и сосудов.

Свойства физиологического процесса

Для нормального кровообращения вязкость крови имеет большое значение, так как связана с сопротивлением, которое приходится преодолевать при работе мышце сердца. В течение дня происходят только незначительные колебания вязкости крови.

Методы определения вязкости жидкости.

Клинический метод определения вязкости крови

Совокупность методов измерения вязкости называют вискозиметрией, а приборы, используемые для таких целей, — вискозиметрами. Рассмотрим наиболее распространенные методы вискозиметрии. Капиллярный метод основан на формуле Пуазейля и заключается в измерении времени протекания через капилляр жидкости известной массы под действием силы тяжести при определенном перепаде давлений. Капиллярные вискозиметры различной формы показаны на рис. 7.7, а, б (1 — измерительные резервуары, М1 и М2 — метки, обозначающие границы этих резервуаров, 2 — капилляры, 3 — приемные сосуды).

Капиллярный вискозиметр применяется для определения вязкости.



Капиллярными вискозиметрами измеряют вязкость от значений 10^{-5} Па • с, свойственных газам, до значений 10^4 Па • с, характерных для консистентных смазок.

Метод падающего шарика используется в вискозиметрах, основанных на законе Стокса. Из формулы (7.15) находим

Таким образом, зная величины, входящие в правую часть этой формулы, и измеряя скорость равномерного падения шарика, можно найти вязкость данной жидкости.

Предел измерений вискозиметров с движущимся шариком составляет $6 \cdot 10^4 - 250$ Па•с.

Применяются также ротационные вискозиметры, в которых жидкость находится в зазоре между двумя соосными телами, например цилиндрами. Один из цилиндров (ротор) вращается, а другой неподвижен. Вязкость измеряется по угловой скорости ротора, создающего опред



С помощью ротационных вискозиметров определяют вязкость жидкостей в интервале $1-10^5$ Па • с, т. е. смазочных масел, расплавленных силикатов и металлов, высоковязких лаков и клеев, глинистых растворов и т. п.

В ротационных вискозиметрах можно менять градиент скорости, задавая разные угловые скорости вращения ротора. Это позволяет измерять вязкость при разных градиентах и установить зависимость $\eta = f(dv/dx)$, которая характерна для неньютоновских жидкостей.

В настоящее время в клинике для определения вязкости крови используют вискозиметр Гесса с двумя капиллярами.

ВОПРОС 14



Режимы движения жидкости и основы гидродинамического подобия

Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости



Опыты показывают, что возможны два режима (вида) движения жидкости в гидравлических линиях:

ламинарный (от латинского слова *lamina* – слой),

турбулентный (от латинского слова *turbulentus* – возмущенный, беспорядочный).

Ламинарным называют слоистое течение без перемешивания частиц жидкости и без пульсаций скоростей и давлений. При ламинарном движении жидкости в прямой трубе постоянного сечения все линии тока направлены параллельно оси трубы, то есть поперечные перемещения жидкости отсутствуют. Такое движение является вполне упорядоченным и при постоянном давлении строго установившимся.

Турбулентным называют течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидкости и пульсациями скоростей и давлений. При таком движении векторы скоростей имеют не только осевые, но и нормальные к оси трубы составляющие, поэтому вместе с основным продольным движением жидкости вдоль трубы происходят поперечные перемещения (перемешивание) и вращение отдельных объемов жидкости. Этим объясняются пульсации скоростей и давлений.

Число Рейнольдса

Режим движения жидкости в трубе изменяется примерно при определенной средней по сечению скорости, которую называют критической. Значение этой скорости прямо пропорционально кинематической вязкости и обратно пропорционально диаметру трубы:

$$v_{кр} = Re_{кр} \nu / d$$

Входящий в эту формулу безразмерный коэффициент пропорциональности (критическое число Рейнольдса) одинаков для всех жидкостей и газов, а также для любых диаметров труб. Это означает, что изменение режима течения происходит при определенном соотношении между скоростью, диаметром и кинематической вязкостью:

для труб круглого сечения . $Re_{кр} = v_{кр} d / \nu$

С физической точки зрения, критерий Рейнольдса есть отношение сил инерции потока к силам трения при движении жидкости.

При $Re < Re_{кр}$ движение жидкости является ламинарным, при $Re > Re_{кр}$ турбулентным.

МЕТОД КОРОТКОВА



Артериальное давление.

Артериальное давление (АД) является важнейшим параметром состояния здоровья человека. Различают систолическое (максимальное) давление, диастолическое (минимальное) давление, среднее давление и пульсовое давление.

АД прямо пропорционально зависит от величины сердечного выброса, объема циркулирующей крови и сосудистого сопротивления, причем взаимоотношение сердечного выброса и сопротивления в крупных артериях определяет в основном систолическое давление, а взаимоотношение сердечного выброса с периферическим сопротивлением в артериолах – диастолическое давление. Пульсовым давлением является разность между систолическим и диастолическим давлением.



Коротков выделил следующие 5 фаз звуков при постепенном уменьшении давления в сдавливающей плечо манжете:

- **1 фаза**. Как только давление в манжете приближается к систолическому, появляются тоны, которые постепенно нарастают в громкости.
- **2 фаза**. При дальнейшем сдувании манжеты появляются «шуршащие» звуки.
- **3 фаза**. Вновь появляются тоны которые возрастают в интенсивности.
- **4 фаза**. Громкие тоны внезапно переходят в тихие тоны.
- **5 фаза**. Тихие тоны полностью исчезают.



Метод Короткова, несмотря на то, что в дальнейшем были разработаны другие методы бескровного измерения АД, например, электронные процессорные тонометры, основанные на анализе осцилляторных колебаний артерий, является единственным методом измерения артериального давления, который утвержден Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) и рекомендован для применения врачам всего мира.

Учитывая значимость квалифицированного определения артериального давления у человека, приводим методику измерения артериального давления, утвержденную ВОЗ (1999 г).
Методика измерения артериального давления аускультативным методом Короткова (рекомендации экспертов ВОЗ)

15 ВОПРОС



Механические колебания: виды колебаний, форма, параметры. Гармонические колебания. Шкала механических колебаний



Колебательное движение

Особый вид неравномерного движения - колебательное. Это движение, которое повторяется с течением времени. Механические колебания - это движения, которые повторяются через определенные промежутки времени. Если промежутки времени одинаковые, то такие колебания называются периодическими.

Колебательная система

Это система взаимодействующих тел (минимум два тела), которые способны совершать колебания. Простейшими колебательными системами являются маятники.

Характеристика колебаний

Фаза определяет состояние системы, а именно координату, скорость, ускорение, энергию и др.

Циклическая частота характеризует скорость изменения фазы колебаний.

Начальное состояние колебательной системы характеризует начальная фаза



ω – циклическая частота колебаний

$\Delta\varphi$ – изменение фазы колебаний

Δt – промежуток времени

$$[\varphi] = 1 \text{ рад} \quad [t] = 1 \text{ с} \quad [\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Амплитуда колебаний A – это наибольшее смещение из положения равновесия

Период T – это промежуток времени, в течение которого точка выполняет одно полное колебание.

Частота колебаний – это число полных колебаний в единицу времени t .

ν – частота колебаний

N – число полных колебаний

t – время

$$[t] = 1 \text{ с} \quad [N] - \text{безразмерная} \quad [\nu] = \frac{1}{\text{с}} = 1 \text{ с}^{-1}$$

Частота, циклическая частота и период колебаний соотносятся как

$$\nu = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Виды колебаний



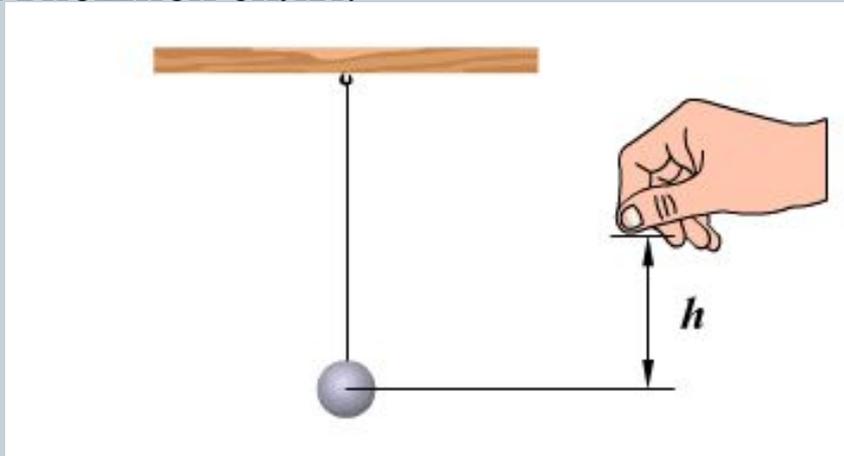
Колебания, которые происходят в замкнутых системах называются свободными или собственными колебаниями. Колебания, которые происходят под действием внешних сил, называют вынужденными. Встречаются также автоколебания (вынуждаются автоматически).

Если рассматривать колебания согласно изменяющимся характеристикам (амплитуда, частота, период и др.), то их можно разделить на гармонические, затухающие, нарастающие (а также пилообразные, прямоугольные, сложные).

При свободных колебаниях в реальных системах всегда происходят потери энергии. Механическая энергия расходуется, например, на совершение работы по преодолению сил сопротивления воздуха. Под влиянием силы трения происходит уменьшение амплитуды колебаний, и через некоторое время колебания прекращаются. Очевидно, что чем больше силы сопротивления движению, тем быстрее прекращаются колебания.

Вынужденные колебания. Резонанс

Вынужденные колебания являются незатухающими. Поэтому необходимо восполнять потери энергии за каждый период колебаний. Для этого необходимо воздействовать на колеблющееся тело периодически изменяющейся силой. Вынужденные колебания совершаются с частотой, равной частоте изменения внешней силы.



Вынужденные колебания

Амплитуда вынужденных механических колебаний достигает наибольшего значения в том случае, если частота вынуждающей силы совпадает с частотой колебательной системы. Это явление называется резонансом.

Например, если периодически дергать шнур в такт его собственным колебаниям, то мы заметим увеличение амплитуды его колебаний.

Гармонические колебания

Самым простым колебательным движением тела является гармоническое колебание. Гармоническим называют колебание, в процессе которого величины, характеризующие движение (смещение, скорость, ускорение и др.), изменяются по закону синуса или косинуса (гармоническому закону). В общем виде этот закон задается формулой:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где $x(t)$ — значение изменяющейся величины в момент времени t , A — амплитуда колебаний, ω — циклическая (круговая) частота колебаний, φ_0 — начальная фаза колебаний.

Гармонические колебания являются периодическими. Период T этих колебаний равен периоду функции **$\sin(\omega t + \varphi_0)$** , то есть **$T = 2\pi\omega$** .

Очень часто как свободные, так и вынужденные колебания в различных механических колебательных системах имеют форму гармонических колебаний. Поведение тела, совершающего колебания по гармоническому закону, описывается дифференциальным уравнением вида

$$x'' + \omega^2 x = 0,$$

где x'' — вторая производная координаты x тела по времени t , то есть проекция a_x его ускорения на ось x .



Частота, (Гц)	Наименование диапазона	Примеры
0,001–20	Инфразвуковой	Цунами, тоны сердца
20– 2×10^4	Звуковой	Голос, фонокардиограмма
2×10^4 – 10^5	Низкочастотный ультразвуковой	Звуки, издаваемые дельфинами, летучими мышами
10^5 – 10^7	Среднечастотный ультразвуковой	Колебания магнитострикционных излучателей
10^7 – 10^9	Высокочастотный ультразвуковой	Колебания пьезоэлектрических излучателей
10^9 – 10^{13}	Гиперзвуковой	Тепловые колебания молекул

16 вопрос



Механические волны

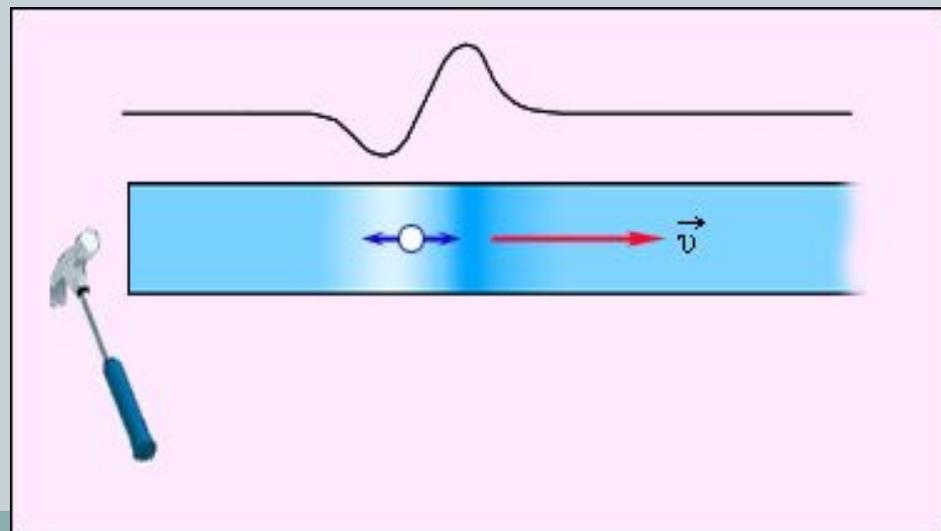
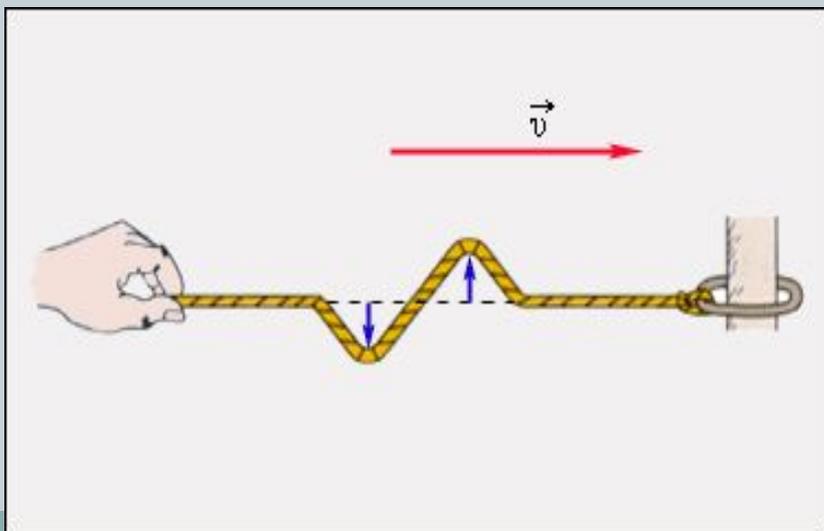
Если в каком-нибудь месте твердой, жидкой или газообразной среды возбуждены колебания частиц, то вследствие взаимодействия атомов и молекул среды колебания начинают передаваться от одной точки к другой с конечной скоростью. Процесс распространения колебаний в среде называется волной.

Механические волны бывают разных видов. Если в волне частицы среды испытывают смещение в направлении, перпендикулярном направлению распространения, то волна называется поперечной. Примером волны такого рода могут служить волны, бегущие по натянутому резиновому жгуту (рис. 2.6.1) или по струне.

Если смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны, то волна называется продольной. Волны в упругом стержне (рис. 2.6.2) или звуковые волны в газе являются примерами таких волн.

Волны на поверхности жидкости имеют как поперечную, так и продольную компоненты.

Как в поперечных, так и в продольных волнах переноса вещества в направлении распространения волны не происходит. В процессе распространения частицы среды лишь совершают колебания около положений равновесия. Однако волны переносят энергию колебаний от одной точки среды к другой.



Уравнение волны.



Если в источнике волн изменение колеблющейся величины происходит по закону ,

$$s = s_m \cos(\omega t + \varphi)$$

то колебания частиц фронта плоской волны отстают на Δt : -

$$s_x = s_m \cos[\omega(t - \Delta t) + \varphi]$$

если не происходит затухания. Тогда: .

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Если ввести волновое число ,

то получим:

$$s = s_m \cos[\omega t - kx + \varphi]$$

- **уравнение волны.**

Интенсивность волны



Интенсивность волны

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} = \frac{\bar{w} \cdot V}{S \cdot \Delta t} = \bar{w}v = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 x_m^2$$

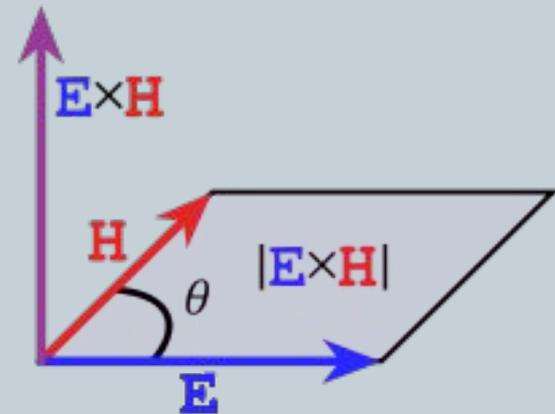
ВЕКТОР УМОВА



Вектор Пойнтинга (также вектор Умова — Пойнтинга) — вектор плотности потока энергии электромагнитного поля, один из компонент тензора энергии-импульса электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга \mathbf{S} можно определить через векторное произведение двух векторов:

$$\mathbf{S} = \frac{c}{4\pi} [\mathbf{E} \times \mathbf{H}]$$

$$\mathbf{S} = [\mathbf{E} \times \mathbf{H}]$$



(в Международной системе единиц (СИ)),
где \mathbf{E} и \mathbf{H} — векторы напряжённости электрического и магнитного полей соответственно.