И.В. Гавриленкова

**Физика для фармацевтов**



билингвальный профессионально-ориентированный курс физики

медико-биологической направленности

АСТРАХАНЬ 2012

Федеральное агентство по образованию

Астраханский государственный университет

## И.В. Гавриленкова

**Физика для фармацевтов**

***Профессионально-ориентированный курс***

Перевод с русского

Куликовой Е. В.

Издательский дом «Астраханский университет»

2012

## Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом

Астраханского государственного университета

**Рецензенты:**

доктор биологических наук, доцент, декан фармацевтического факультета ГБОУ ВПО Минздравсоцразвития России «Астраханская государственная медицинская академия»

**Фельдман Бронислав Владимирович**

кандидат биологических наук, профессор, заведующая кафедрой физики ГБОУ ВПО Минздравсоцразвития России «Астраханская государственная медицинская академия»

**Суркова Лариса Семёновна**

**Гавриленкова И.В.**

Физика для фармацевтов. Профессионально-ориентированный курс. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2012, ----с. 90

В настоящей книге предложен билингвальный профессионально-ориентированный курс физики медико-биологической направленности. Подробно рассматриваются вопросы применения физических методов для исследования вещества.

Книга может быть полезна студентам медицинских и фармацевтических вузов и колледжей, химических, биологических и фармацевтических факультетов университетов, а также учащимся профильных классов и преподавателям медико-биологических специальностей.

© И.В. Гавриленкова, 2012

© Издательский дом

«Астраханский университет», 2012

Federal agency of education

Astrakhan state university

## I.V. Gavrilenkova

**Physics for pharmaceutists**

***vocationally-oriented course***

Translated from Russian by

E.V. Kulikova

Publishing house “Astrakhan University”

2012

Recommended to publishing by editorial and publishing board of

Astrakhan State University

Reviewers:

Doctor of Biology, associate professor, the Dean of the Pharmaceutical Faculty of State Budget Educational Institution of Higher Professional Education of Public Health Ministry and Social Development in Russia “Astrakhan State Medical Academy”

**Feldman Bronislav Vladimirovich**

Candidate of Biology, professor, the Head of the Department of Physics of State Budget Educational Institution of Higher Professional Education of Public Health Ministry and Social Development in Russia “Astrakhan State Medical Academy”

**Surkova Larisa Semyonovna**

**Gavrilenkova I.V.**

Physics for pharmaceutists. Vocationally-oriented course. Astrakhan: Publishing house “Astrakhan University”, 2012, ----p.90

A vocationally-oriented course on Physics with medico-biological direction is proposed in this book. The matters of application of physical methods for substances investigation are considered here in detail.

The book may ne helpful for students of medical and pharmaceutical institutes of higher education and colleges, chemical, biological and pharmaceutical faculties of universities, as well as for students of core classes and teachers of medico-biological specialties.

© I.V. Gavrilenkova, 2012

© Publishing house

«Astrakhan University», 2012

**ПРЕДИСЛОВИЕ**

Путь познания в физике-науке можно представить в виде следующей схемы:

***Наблюдение – размышление (накопление данных) – гипотеза – эксперимент – формулировка законов.***

Определим термины, входящие в данную последовательность.

Эксперимент представляет собой специально поставленный опыт. Опыт – основной метод исследования в физике: позволяет следить за ходом явлений и воспроизводить его в тех же условиях.

Гипотеза – научное предположение, выдвигаемое для объяснения явления, требующее экспериментальную проверку и теоретическое обоснование.

Физические законы – устойчивые повторяющиеся объективные закономерности природы.

Реальные физические процессы и явления достаточно сложные. Для их описания строится физическая модель, воспроизводящая исследуемый процесс или явление. Такой метод исследования получил название моделирование.

Связь физики с другими науками обусловила появление смежных дисциплин. Например, физики и химии – физической химии, а физики и биологии – биофизики, а физики, химии и биологии – медицинской физики.

Предметом биофизики является изучение физических и физико-химических процессов, лежащих в основе биологических процессов на всех уровнях организации живой материи (молекулярном, субклеточном, клеточном, органно-тканевом, организма в целом). Высокая сложность живых объектов требует применения физических методов, адаптированных к исследованию биологических процессов и явлений.

Предметом нашего курса является изучение физических методов исследования вещества.

**FOREWORD**

The way of learning in physical science can be presented as a following scheme:

***Observation – reflection (data accumulation) – hypotheses – experiment – wording of law.***

Let us define the terms, which are included into this chain.

An experiment is a specially carried out test. A test – is the basic method of investigation in Physics: it allows tracing the course of phenomena and reproducing it in the same conditions.

A hypothesis is a scientific supposition, put forward to explain a phenomenon, which needs an experimental check and theoretical justification.

Physical laws are steady repetitive objective regularities of nature.

Real physical processes and phenomena are quite complicated. For their description a physical model is built, which reproduces the investigated process or phenomenon. Such method of investigation has received the name of modeling.

The relation of physics with other sciences caused the emergence of allied disciplines. For example, physics and chemistry gave birth to physical chemistry, physics and biology called for the occurrence of medical physics.

The subject of biophysics is the study of physical and physical-chemical processes, which are lying in the basis of biological processes at all levels of organization of living matter (molecular, sub-cellular, cellular, organ-tissue, organism upon the whole). High complexity of living objects requires application of physical methods, adapted to investigation of biological processes and phenomena.

The subject of our course is the study of physical methods of investigation of substance.

**Введение**

«Физика – наука, изучающая общие свойства и

законы движения вещества и поля»

А.Ф.Иоффе

Физика (в переводе с греч. «природа») – наука о природе. Природа – всё то, что существует вокруг нас и обнаруживается нами через ощущения, представляет собой материю. Материя находиться в виде вещества и поля. Материя постоянно изменяется (движется).

Окружающий мир неповторим и разнообразен. Однако, несмотря на всё его многообразие, любое вещество может находиться в трех основных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Причем, вещество может при определенных условиях переходить из одного состояния в другое.

парообразование

конденсация

Отвердевание

(кристаллизация)

плавление

Сублимация (возгонка)

Десублимация (кристаллизация)

Рис. 1 Схема изменения состояний вещества

Процесс изменения состояния вещества при изменении температуры называют ***тепловым явлением***.

**Introduction**

«Physics is the science, studying general properties

and laws of motion of a substance and field.»

A.F.Ioffe

Physics (from Greek «nature») – is the science about nature. Nature –is everything that surrounds us and discovered by us through sensations, and represents matter. Matter exists in the form of substance and field. Matter constantly changes (moves).

Visual environment is unique and diverse. However, notwithstanding all its diversity, any substance may exist in three general states: solid, liquid and gaseous. And substance in certain environmental conditions can change from one state into another.

vaporization

condensation

Hardening (crystallizing)

melting

Sublimation

Desublimation (crystallizing)

Pic. 1 The scheme of change of the state of a substance

The process of changing of the state of a substance under temperature change is called ***a thermal phenomenon***.

Молекулярно-кинетическая теория (МКТ) – физическая теория, описывающая тепловые явления на основе молекулярного строения вещества. В основе МКТ лежат следующие положения

1. Все вещества состоят из частиц.
2. Частицы движутся непрерывно и хаотично.
3. Частицы взаимодействуют друг с другом.

Уравнение, описывающее состояние вещества при заданной температуре, имеет вид:

– уравнение Менделеева-Клайперона, (1)

где *p* – давление, *V* – объем, *m* – масса вещества, *µ* - молярная масса вещества, *R* – универсальная газовая постоянная, *T* – абсолютная температура.

Для медиков, фармацевтов наибольший интерес представляет жидкое состояние вещества, так как основную часть живого организма составляют жидкие среды, перемещение которых обеспечивает обмен веществ в организме и снабжение клеток кислородом. Поэтому мы начнем изучение курса физики с рассмотрения молекулярной структуры жидкости и свойств, характерных для жидкого состояния вещества.

Molecular – kinetic theory (MKT) – is the theory, describing thermal phenomena on basis of molecular structure of a substance. The foundation of MKT is made by the following statements:

1. All substances consist of particles.
2. Particles travel continuously and chaotically.
3. Particles interact with each other.

The equation, describing the state of a substance under preset temperature, has the appearance:

– Mendeleev-Clapeyron equation, (1)

where *p* is pressure, *V* – volume, *m* – mass of substance, *µ* - molar mass of substance, *R* – universal gas constant, *T* – absolute temperature.

Medics and pharmaceutics are interested greatly in liquid state of a substance, for the main part of a living organism consists of liquid medium, movement of which provides metabolism in an organism and supplies cells with oxygen. That is why we will start studying the physical course from investigation of molecular structure of liquids and properties, typical for liquid state of a substance.

**1. Жидкости**

***1.1. Особенности молекулярного строения жидкости***

К жидкостям относят вещества, которые по своим свойствам занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. Жидкое состояние характеризуется значительно меньшим расстоянием между молекулами, чем в газе. Причем, число ближайших соседей отдельно выбранной молекулы и взаимное расположение в среднем для всех молекул одинаково. По мере удаления от неё, взаимное расположение молекул меняется. Такая структура молекул вещества, говорят, обладает «ближним порядком».

Таким образом, жидкость характеризуется «ближним порядком», а «дальний порядок» - не сохраняется.

Жидкое состояние вещества характеризуется значительными, по сравнению с газами, межмолекулярными силами притяжения и силами отталкивания. Жидкость сохраняет объем, но не сохраняет формы (принимает форму сосуда, в котором находится). Подобно твердым телам жидкости мало сжимаемы, обладают большой плотностью (от 700 кг/м2 до 1300 кг/м2). Такой характер свойств жидкостей связан с особенностями теплового движения молекул.

Согласно теории Я.И. Френкеля, молекулы жидкости совершают колебания около своего положения равновесия, подобно молекулам твердого тела. Однако эти положения равновесия для молекул не являются постоянными. По истечении некоторого промежутка времени, называемого временем «оседлой жизни», молекула скачком переходит в новое положение равновесия на расстояние, равное среднему расстоянию между соседними молекулами. Это расстояние обозначается δ («дельта») и определяется как

*, т.к.*  , (2)

где *n* – концентрация молекул жидкости.

**1. Liquids**

***1.1. Features of molecular structure of liquids***

Liquids cover substances, which according to their features are in intermediate position between gases and solids. Liquid state is characterized by much smaller distance between molecules than in gas. More over, the number of close neighbors of an individually chosen molecule and relative position in general for all molecules is the same. As we move away from it, relative position of molecules changes. Such molecular structure of substance is said to have «short-range order».

Hereby, liquid is characterized by «short-range order», and «long-range order» does not persist.

Liquid state of substance is characterized by considerable, in comparison with gases, intermolecular forces of attraction and forces of repulsion. Liquid keeps the volume but does not keep the form (it takes the form of the vessel, in which it is loaded). Similar to solids liquids are slightly compressible and possess high density (from 700 kg/m2 up to 1300 kg/m2). Such characteristics of liquids are connected with particularities of molecular thermal motion.

According to the theory of Y.I. Frenkel, molecules of liquids vibrate near their equilibrium position, similar to molecules of solids. However, these equilibrium positions are not permanent. After some period of time, so called “settled life”, a molecule moves by a jump into a new equilibrium position at a distance, equal to average distance between neighboring molecules. This distance is marked with δ («delta») and is evaluated as follows

*, т.к.*  , (2)

where *n* – liquid molecular concentration.

Среднее расстояние между молекулами жидкости составляет *≈ 10 -10 м*, например, для воды *δв ≈ 3·10 -10 м*.

Среднее значение времени «оседлой жизни» молекулы называют *временем релаксации*, обозначают *«τ»* и определяют по формуле:

, (3)

где *τ0*– средний период колебания молекулы около положения равновесия;

*Eа* – энергия, выделяемая при образовании новых связей с новыми соседями;

*k* – постоянная Больцмана;

*T* – абсолютная температура.

Время оседлой жизни молекулы жидкости составляет порядка *10-12 с*.

Молекулы жидкости довольно медленно перемещаются по всей массе вещества, поэтому диффузия в жидкостях происходит медленнее, чем в газах, но быстрее, чем в твердых телах.

Особенностями молекулярного строения жидкости обусловлены такие явления, как поверхностное натяжение, смачивание и капиллярные явления.

An average distance between liquid molecules forms *≈ 10 -10 m*, for example, for water *δw ≈ 3·10 -10 m*.

An average value of “settled life” time of a molecule is called *relaxation time*, and marked with *«τ»* and determined like:

, (3)

where *τ0*– an average period of vibrations of a molecule near equilibrium position;

*Eа* – energy, released at establishing new relations with new neighbors;

*k* – Boltzmann constant;

*T* – absolute temperature.

The time of settled life of a liquid molecule is about *10-12* s.

Liquid molecules move quite slowly along the full mass of a substance that is why diffusion passes slower in liquids than is gases, but faster than in solids.

Particular features of molecular structure of liquids cause such phenomena as surface tension, wetting and capillary phenomena.

***1.2. Причины возникновения поверхностного натяжения***

Выделим причины проявления у жидкости поверхностных явлений, образующихся на границе с газообразной средой.

Пусть молекулы жидкости *A, B, C* и *D* находятся на разной глубине соответственно *h1, h2, h3* и *h4* (см. рис.1).

Газы

пары жидкости

С Д

А

 h3

h1

В

h2



твердое тело

Рис.1

Рассмотрим молекулу *А,* находящуюся внутри жидкости на глубине *h1* (см. рис.1). Эта молекула со всех сторон окружена другими молекулами жидкости, которые действуют на неё с некоторыми силами. Так как силы межмолекулярного взаимодействия со стороны соседних молекул уравновешиваются, поэтому молекула «остаётся» внутри жидкости.

Пусть молекула *В* находится на дне сосуда (*h2=0)*. Эту молекулу с одной стороны окружают молекулы жидкости, а с другой – молекулы сосуда (вещества, находящегося в твердом состоянии). Силы межмолекулярного взаимодействия на молекулу *В* со стороны молекул твердого тела больше и не уравновешиваются силами межмолекулярного взаимодействия со стороны жидкости. Равнодействующая всех сил, действующих на молекулу *В* направлена в сторону твердого тела, поэтому эта молекула «прилипает» ко дну сосуда и практически не движется.

***1.2. The reasons for surface tension***

Let us define the reasons for development of surface phenomena in liquids, which are formed on the borderline with gaseous medium.

Let molecules of liquids *A, B, C* and *D* be located at different depth *h1, h2, h3* and *h4* respectively (pic.1).

Gas

Steam

С Д

А

 h3

h1

В

 h2

Solids

Pic.1

Let us consider molecule *А,* which is inside the liquid at depth *h1* (look at pic.1). This molecule is surrounded by other molecules of liquid, which influence it with different force. Forces of intermolecular interaction from neighboring molecules become balanced, that is why the molecule “remains” inside the liquid.

Let molecule *В* settle on the bottom of a vessel (*h2=0)*. From one side this molecule is surrounded by a liquid molecule, and from the other side encircled with a molecule of the vessel (substance in a solid state). Forces of intermolecular interaction on molecule *В* from the side of solid molecules are stronger and do not become balanced by forces of intermolecular interaction from the side of the liquid. Resultant of all forces, affecting this molecule *В* is directed at the solid, that is why this molecule “sticks” to the bottom of the vessel and practically does not move.

Рассмотрим молекулу *С*, находящуюся на поверхности жидкости (на границе сред: между жидкостью и её газообразным состоянием (паром)и газом (воздухом). Межмолекулярные силы, действующие со стороны молекул жидкости на рассматриваемую молекулу *С,* значительно больше, чем силы, действующие со стороны газообразной среды. Сложение всех сил, действующих на молекулу *С*, даёт равнодействующую, направленную внутрь жидкости. Поэтому жидкость стремится уменьшить свою поверхность. Минимальная площадь такой поверхности – площадь поверхности шара (сферы).

Например, на границе двух несмешивающихся жидкостей можно наблюдать, как жидкость принимает форму шара.

Пример 1.

Поместим большую каплю анилина в раствор поваренной соли, плотность которого примерно равна плотности анилина.

Наблюдаем, как капля, находясь внутри жидкости, принимает форму шара, не всплывает и не падает на дно.

Пример 2.

Нальём на часовое стеклышко слабый раствор кислоты (например, азотной), и «выпустим» туда же из пипетки много мелких капель ртути.

Заметим, как эти капельки начнут сливаться одна с другой, и через несколько минут все капельки сольются в одну большую каплю ртути. Причем, поверхность этой большой капли ртути меньше, чем сумма поверхностей мелких капель.

Let us consider molecule *С*, located on the surface of liquid (on the borderline of mediums: between the liquid and its gaseous state (steam) and gas (air). Intermolecular forces, affecting from the side of liquid molecules on the considered molecule *С,* are much stronger, than the forces, affecting from the side of gaseous medium. Summation of all forces, affecting on molecule *С*, gives resultant, directed inside the liquid. That is why the liquid tends to decrease its surface. The minimum area of such surface is the area of surface of a ball (sphere).

For example, on the borderline of two immiscible liquids we can see how the liquid takes the form of a ball.

Example 1.

Let us put a big droplet of aniline into the solution of common salt, the density of which is almost equal to the density of aniline.

One can observe how the droplet, being placed inside the liquid, takes the form of a ball, but neither emerges nor falls on the bottom (pic. 2).

Example 2.

Let us pour some diluted acid solution (nitric, for example) on the clock glass and release there many small droplets of mercury from the pipette.

We will see how these droplets start merging with each other and in several minutes all droplets join together into one big drop of mercury. Though, the surface of this large drop of mercury is less than the sum of surfaces of small droplets.

***1.3.Поверхностная энергия***

Молекулы, находящиеся на поверхности жидкости, «стремятся» внутрь жидкости и обладают избыточной энергией. Эту дополнительную энергию называют *поверхностной энергией* и обозначают *Wп («дубль вэ»)*, *[Wn]=[Дж].*

Чем больше поверхность жидкости, тем больше количество молекул обладает избыточной энергией. Поэтому при увеличении поверхности данной массы жидкости, энергия жидкости увеличивается.

Например, при раздроблении воды в мелкую водяную пыль.

***1.4. Сила поверхностного натяжения***

Пусть на молекулу *С*, находящуюся на поверхности жидкости, действую силы *F1, F2, F3, …, Fn* со стороны молекул жидкости.

Силами, действующими со стороны молекул газа и пара жидкости можно пренебречь, так как они намного меньше, чем силы *F1, F2, F3, …, Fn*.

Разложим каждую силу *F1, F2, F3, …, Fn*, действующую на молекулу, на две составляющие: одна (ОХ) – направлена по касательной к поверхности жидкости, а вторая (ОУ) – вертикально вниз, перпендикулярно к первой (см. рис 2).

С

C1 C2

Рис.2

***1.3. Surface energy***

Molecules located on the surface of liquid, rush into the liquid and possess excess energy. This additional energy is called *surface energy* and marked *Wп*, *[Wn]=[Дж].*

The larger the surfaces of liquid, the more molecules possess excess energy. That is why while the surface of a given mass of liquid is increasing, the energy of this liquid goes up.

For example, at fragmentation of water into tiny mist spray.

***1.4. Surface tension force***

Let molecule *С*, located on the surface of liquid, be influenced by forces *F1, F2, F3, …, Fn* from the molecules of liquid.

The forces, affecting from gas and steam can be neglected because they are much weaker than forces *F1, F2, F3, …, Fn*.

Let us lay out every force *F1, F2, F3, …, Fn*, affecting the current molecule into two components: one (ОХ) is directed along tangent at the surface of liquid, the other (ОУ) is directed vertically down, perpendicularly to the first one (look at pic. 2).

С

C1 C2

Pic. 2

Сумма сил *Fу1 + Fу2+ Fу3+ …+ Fуn* =*Fу* дают результирующую силу, направленную вглубь жидкости.

Сумма сил, направленных по касательной к поверхности жидкости, образуют равные по модулю, но противоположные по направлению от молекулы *С*, равнодействующие силы *Fx* и -*Fx*. Эти силы стремятся сблизить молекулы жидкости, находящиеся на поверхности, однако они уравновешиваются силами межмолекулярного отталкивания. Сумма всех сил поверхностного слоя, действующая между молекулами, оказывает на жидкость давление, которое называют *внутренним* или *молекулярным* *давлением* жидкости.

Поверхностное натяжение характеризуется силой *Fn*, приложенной к контуру, ограничивающему поверхность жидкости. Эта сила в каждой точке контура направлена по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярно к линии контура, стремясь сократить (уменьшить) свободную поверхность жидкости. Эту силу *Fn* и называют *силой поверхностного натяжения.*

***1.5. Коэффициент поверхностного натяжения***

Характеристикой поверхностного натяжения является коэффициент поверхностного натяжения *σ* («сигма»), который определяется как отношение силы поверхностного натяжения *Fn* к длине контура *l*, ограничивающего поверхность жидкости, т.е.

(4) *,*

*где*

Физический смысл коэффициента поверхностного натяжения состоит в том, что он показывает силу поверхностного натяжения, приходящуюся на единицу длины контура, ограничивающего поверхность жидкости.

The sun of forces *Fу1 + Fу2+ Fу3+ …+ Fуn* =*Fу* gives resultant force, directed inside the liquid.

The sum of forces, directed along tangent at the surface of liquid, forms equal in modulus, but opposite in direction to molecule *С*, resultant forces *Fx* и -*Fx*. These forces tend to draw together the molecules of liquid on the surface, but they are balanced by forces of intermolecular repulsion. The sum of all forces of the surface layer, affecting between molecules, exerts pressure on liquid, which is called internal or molecular pressure of liquid.

Surface tension is characterized by force *Fn*, applied to contour, limiting the surface of liquid. This force in every point of contour is directed along tangent at the surface of liquid and perpendicularly to contour line, trying to reduce liquid free surface. This force *Fn* is called *surface tension force*.

***1.5. Surface tension coefficient***

The characteristic of surface tension is surface tension coefficient *σ* («sigma»), which is defined like ratio of surface tension force *Fn* to the contour length *l*, limiting the surface of liquid, i.e.

(4) *,*

*Where*

Physical meaning of surface tension coefficient is that it shows surface tension force, affecting a unit of contour length, limiting the surface of liquid.

.

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от природы жидкости и не зависит от площади и формы поверхности.

Так, у легко испаряющихся жидкостей, например, эфира *(σэ = 0,017 H/м)*, спирта *(σс =0,022 H/м)*, поверхностное натяжение меньше, чем у нелетучих жидкостей, например, ртути *(σр = 0,47 H/м)*. Очень мало поверхностное натяжение у жидкого водорода *(σ ж .в. = 0,0021 H/м)* и у жидкого гелия *(σ ж. г = 0,00012 H/м).*

Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей уменьшается при повышении температуры.

В медицине коэффициент поверхностного натяжения определяют для диагностических целей. Например, в норме коэффициент поверхностного натяжения мочи составляет *σм = 0,066 H/м*, и снижается при наличии в моче желчных пигментов.

***1.6. Поверхностно-активные вещества (ПАВ)***

Поверхностное натяжение растворов отличается от поверхностного натяжения чистых жидкостей. Например, для воды сахар повышает коэффициент поверхностного натяжения, а поваренная соль – понижает.

Вещества, которые в самой малой концентрации снижают поверхностное натяжение, называют *поверхностно-активными*.

Поверхностно – активные вещества (ПАВ) способны адсорбировать , то есть молекулы твердого тела способны удерживать молекулы газа силами молекулярного взаимодействия. Например, активированный уголь – уголь, освобожденный от смолистых примесей прокаливанием и используемый в медицине для извлечения вредных газов, образующихся внутри организма при отравлениях. Молекулы активированного угля покрываются слоем молекул газа, удерживая их и выводя затем из организма.

Поверхностно-активные вещества содержатся в соках растений, в жидких средах животных организмов.

Surface tension coefficient depends on the nature of liquid and does not depend on surface area and form.

Thus, easily evaporable liquids, for example, ether *(σe = 0,017 N/m)*, alcohol *(σa =0,022 N/m)*, have surface tension weaker than non-volatile liquid do, for example, mercury *(σm = 0,47 N/m)*. Surface tension of liquid hydrogen *(σ l.hyd. = 0,0021 N/m)* andliquid helium *(σ l.hel = 0,00012 N/m)* is very small.

Surface tension coefficient of liquids becomes smaller under the temperature.

In medicine surface tension coefficient is defined for diagnostic purposes. For example, normal surface tension coefficient of urine is *σu = 0,066 N/m*, and it is lower if there are bile pigments in urine.

***1.6. Surface-active substances (SAS)***

Surface tension of solutions differs from surface tension of pure liquids. For example, sugar for water increases surface tension coefficient, but common salt decreases.

Solutions, which in small concentrations lower surface tension, are called surface-active.

Surface-active substances (SAS) are capable of absorbing, i.e. molecules of solids are capable of keeping molecules of gaseous by forces of molecular interaction. For example, activated carbon is carbon, released from resinous impurities by ignition and used in medicine for extraction of foul gases, arising inside of an organism at poisoning. Molecules of activated carbon are covered with sheet of molecules of gas, keeping them and then removing from the organism.

Surface-active substances can be found in juice of plants, liquid mediums of animal organisms.

В присутствии поверхностно-активных веществ плохо растворимые и даже практически нерастворимые в воде лекарственные вещества приобретают способность коллоидно растворяться или солюбизироваться. К таким веществам относятся эмульгаторы, стабилизаторы в суспензиях, солюбизаторы и др.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения применяют метод отрыва от кольца, метод Ребиндера и метод отрыва капель.

***1.7. Метод отрыва капель.***

Суть данного метода состоит в отрыве капли жидкости, вытекающей из узкой вертикально расположенной трубки, при условии, когда сила тяжести *Fт* капли станет больше силы поверхностного натяжения *Fn*, действующую по периметру шейки капли.

Рассмотрим процесс образования капли, и процесс отрыва капли (см. рис.3)

r

Рис.3

Пусть *r* – внутренний радиус узкой трубки, тогда капля может оторваться при условии, что *Fт = Fn*

*Fn = σ·l* , так как *l=2πr –* длина окружности шейки капли

*Fт =2πr σ , Fт = mg,* откуда *,* где *m* – масса капли..

*m =ρж ·Vк* , так как – объём шара,

то (5)

In presence of surface-active substances badly water-soluble and practically water-insoluble pharmaceutical substances acquire capability of colloidal dissolving and solubilization. To such substances can be reckoned emulsifying agents, stabilizers in suspensions, solubilizers, etc.

For defining of surface tension coefficient can be used the method of detachment from ring, the method of Rebinder and the method of droplet detachment.

***1.7. The method of droplet detachment.***

The main point of this method is detachment of a droplet, dripping out of a narrow vertically located pipe, provided that gravity force of the droplet *Fт* becomes bigger than surface tension force *Fn*, affecting along perimeter of droplet neck.

Let us consider the process of formation of a droplet and the process of droplet detachment (pic.3)

r

Pic.3

Let *r* be inner radius of a narrow pipe, then a droplet can detach provided that: *Fт = Fn*

*Fn = σ·l* , because *l=2πr –* perimeter of circle of a droplet neck

*Fт =2πr σ , Fт = mg,* where *,* where *m* – droplet mass..

*m =ρl ·Vк* , because – ball volume, then (5)

Для измерения коэффициента поверхностного натяжения служит сталагмометр – измерительный прибор, представляющий собой стеклянную трубку с расширением в середине и с узким калиброванным каналом на конце.

***1.8. Явление смачивания***

Особый интерес представляют молекулы, находящиеся на границе раздела трёх сред: жидкости, газа и твердого тела.

Так, на молекулу *D* оказывают действие как молекулы газа и пара жидкости, так и молекулы твердого тела (см. рис.1).

Действием со стороны молекул газа и пара жидкости можно пренебречь, так как оно ничтожно мало, по сравнению с действием со стороны молекул жидкости и твердого тела.

Пусть *Fтв.т* - равнодействующая всех сил, действующих на молекулу *D* со стороны молекул твердого тела;

*Fж*– равнодействующая всех сил, действующих на молекулу *D* со стороны молекул жидкости.

Тогда, если *Fтв.т > Fж*, то частицы жидкости «прилипают» к поверхности твердого тела, и жидкость является *смачивающей (лиофильной, гидрофильной)*. А явление называют *смачиванием*.

Если *Fтв.т < Fж*, то жидкость является *несмачивающей* *(лиофобной, гидрофобной)*, молекулы жидкости не прилипают к поверхности твердого тела.

Для смачивающей жидкости результирующая сила направлена в сторону твердого тела, при этом поверхность жидкости изгибается, принимая вогнутую форму *(линия MN)*. Такая поверхность называется *вогнутым мениском*.

Если криволинейная поверхность жидкости принимает выпуклую форму *(линия M'N')*, то нё называют *выпуклым мениском*.

For measuring surface tension coefficient stalagmometer is used, measuring instrument, a glass pipe with an expanded in the middle and narrow at the end calibrated port.

***1.8. Phenomenon of wetting***

Particular interest is gained by molecules, locating on the borderline of division of three mediums: liquid, gas and solid.

Thus, molecule *D* is affected both molecules of gas and steam and molecules of solid (pic.1).

Influence of molecules of gas can be neglected, as it is very small, in comparison with influence of molecules of liquid and solid.

Let *Fs* be resultant of all forces, affecting molecule *D* from the side of molecules of solid;

*Fl* is resultant of all forces, affecting molecule *D* from the side of molecules of liquid.

Then, if *Fs> Fl*, particles of liquid «stick» to the surface of solid, and liquid is called *wetting (lyophilic, hydrophilic)*. The phenomenon is called *wetting*.

If *Fs < Fl*, then liquid is *nonwetting (lyophobic, hydrophobic)*, molecules of liquid do not stick to the surface of solid.

For wetting liquid resultant force is directed at solid, and with this surface of the liquid curves, taking concave form *(line MN)*. Such surface is called *concave meniscus*.

If curved surface of liquid takes convex form *(line M'N')*, then it is called *convex meniscus*.

Если провести касательную к внутренней поверхности жидкости через точку *D*, то угол между поверхностью твердого тела и касательной, построенной внутри жидкости, называют *краевым углом* жидкости и обозначают Θ («тау»).

Для смачивающей жидкости угол *0< Θ <.*

При Θ=0 происходит *полное смачивание*.

Для несмачивающей жидкости угол Θ – тупой *(< Θ < π).*

При Θ= *π* происходит *полное несмачивание.*

Одна и та же жидкость может являться смачивающей для одних твердых тел и несмачивающей для других. Например, вода смачивает стекло, почву, древесину, обезжиренные волокна шерсти, льна, и несмачивает жиры, смолы («скатывается в шарики»).

***1.9. Капиллярные явления***

Рассмотрим поверхность жидкости, имеющей выпуклый мениск. Сила поверхностного натяжения направлена внутрь жидкости и стремится сократить её поверхность. При этом создается некоторое давление Δ*p*, тогда полное давление под выпуклой поверхностью мениска равно сумме внешнего давления *p* и добавочного давления Δ*p*, то есть

*pм = p +* Δ*p*.

Если поверхность жидкости имеет вогнутый мениск, то добавочное давление Δ*p* направлено наружу и полное давление определяется как

*pм = p -* Δ*p*.

Найдем величину дополнительного давления Δ*p* под мениском при полном смачивании.

, где *Fn =σ·l, l –* длина окружности;

*Fn = σ2πrм =2πr σ,* где *r –* радиус мениска.

If we draw a tangent to inner surface of liquid through point *D*, then the angle between surface of solid and tangent, built inside the liquid, is called the angle of *capillarity* of liquid and marked with Θ («tau»).

For wetting liquid angle *0< Θ <.*

With Θ=0 *complete wetting* occurs.

For nonwetting liquid angle Θ is obtuse *(< Θ < π).*

With Θ= *π complete nonwetting* occurs*.*

One and the same liquid can be wetting for one solids and nonwetting for other. For example, water wets glass, soil, timber, degreased wool fiber, flax and does not wet fats, resins («rolls up into balls»).

***1.9. Capillary phenomena***

Let us consider the surface of liquid with convex meniscus. Surface tension force is directed inside the liquid and tends to reduce its surface. Together with this some force Δ*p* is formed, then total pressure under convex surface of meniscus is equal to the sum of external pressure *p* and additional pressure Δ*p*, i.e.

*pm = p +* Δ*p*.

If the surface of liquid has concave meniscus, then additional pressure *Δp* is directed outside and total pressure is defined as follows

*pm = p -* Δ*p*.

Let us find additional pressure *Δp* below meniscus under complete wetting.

, where *Fn =σ·l, l –* perimeter of circle;

*Fn = σ2πrm =2πr σ,* where *r –* meniscus radius.

Пусть *S* – площадь периметра основания полусферы, то есть площадь круга: *S=π(rм )2*, тогда – формула Лапласа (частный случай).

Для поверхности произвольной формы закон Лапласа имеет вид :

(6),

где

*r1, r2*– радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных нормальных сечений поверхности в данной точке.

В результате действия дополнительного давления в узких трубках уровень жидкости изменяется (поднимается или опускается). Такое явление называют *капиллярностью*, а узкие трубочки по которым поднимается или опускается жидкость называют *капиллярами* (от лат. «капилля» - волос).

Свойством капиллярности обладают вещества, имеющие пористую структуру, называемые *гигроскопическими*. Например, вата, бинт, фильтрованная бумага, сухой мел.

Высота поднятия жидкости в капиллярных трубках зависит от поверхностного натяжения жидкости: чем больше поверхностное натяжение, а радиус трубки и плотность жидкости меньше, тем больше высота поднятия жидкости по капилляру.

Если капилляры представляют собой разветвленную трубку, то при попадании пузырька воздуха, может произойти закупорка сосуда – газовая эмболия. Например, при инъекциях лекарственных средств необходимо следить за тем, чтобы в кровеносные сосуды не попадали пузырьки воздуха.

Газовые пузырьки в крови могут появиться у водолазов при быстром подъёме с большой глубины, у летчиков и космонавтов при разгерметизации кабины или скафандра на большой высоте, при переходе газов крови из растворенного состояния в свободное в результате понижения атмосферного давления.

Let *S* be area of hemisphere bedding perimeter, i.e. area of a circle: *S=π(rm )2*then – Laplace formula (particular case).

For arbitrary shaped surface Laplace law has the appearance:

(6),

where

*r1, r2*– radiuses of curvature of two mutual perpendicular normal surface cross sections at a given point.

As a result of additional pressure in narrow pipes the level of liquid changes (goes up or down). This phenomenon is called *capillarity*, and narrow pipes, along which liquid goes up or down, are called *capillaries* (from Latin «capilla» - hair).

Capillarity property can be found in substances, which have porous structure, and are called *hygroscopic*. For example, cotton wool, bandage, filtered paper, dry chalk.

Height of liquid rise in capillary pipes depends on surface tension of liquid: the more surface tension and the less radius of pipe, the bigger height of liquid rise along the capillary is.

If capillaries form a branched pipe, then under presence of air bubble vas occlusion may occur – gaseous embolism. For example, while making injections of medicinal agents it is necessary to make sure that air bubbles don not get into blood vessels.

Divers may have gaseous bubbles in blood during quick ascent from large depth, pilots and astronauts may have it during loss of cabin or spacesuit pressure, during transition of gases in blood from dissolved state into free state as a result of reduction of atmospheric pressure.

***1.10. Методы измерения вязкости жидкости***

Итак, при течении реальной жидкости отдельные слои воздействуют друг на друга силами, касательными к слоям. Это явление называют внутренним трением или вязкостью. Макроскопическое движение, возникающее в жидкости, постепенно уменьшается из-за сил внутреннего трения после прекращения действия причин (сил), вызывающих это движение.

Вязкость зависит от природы жидкости или газа, от температуры, от давления при низких температурах. При повышении температуры вязкость газов увеличивается, а жидкостей – уменьшается. Явление вязкости в жидкости можно рассматривать следующим образом. Пусть два слоя жидкости, отстоящие друг от друга на расстоянии *dx*, имеют скорости *υ1* и *υ2.* Со стороны слоя, который движется быстрее, на слой, который движется медленнее, действует ускоряющаяся его сила. Наоборот, на быстрый слой действует тормозящая сила со стороны медленного слоя. Это силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоя. Они тем больше, чем больше площадь соприкасающихся слоёв, и зависят от изменения скорости течения жидкости (или газа) при переходе от слоя к слою, подчиняясь уравнению Ньютона:

*,* где

– изменение скорости, отнесённое к расстоянию между слоями в направлении, перпендикулярном скорости (градиент скорости);

*Ѕ* – площадь соприкасающихся слоёв;

*η* – коэффициент вязкости (вязкость) жидкости.

Вязкостью *η* называют величину, численно равную силе внутреннего трения, возникающей между соприкасающимися слоями жидкости, площадью соприкосновения равной единице при градиенте скорости между ними равным единице.

***1.10. The measuring methods of viscosity of liquids***

In the flow of real liquid some layers affect each other with forces, tangent to the layers. This phenomenon is called internal friction or viscosity. Macroscopic motion, arising in liquid, gradually decreases because of the forces of internal friction after termination of reasons (forces), which cause this motion.

Viscosity depends on the nature of liquid or gas, temperature, pressure at low temperatures. At temperature rise the viscosity of gases increases and viscosity of liquids decreases. The phenomenon of viscosity in liquid can be considered as follows. Let two layers of liquid, placed at a distance *dx*, have speeds *υ1* and *υ2.* The layer which moves slower is affected by accelerating force from the layer which moves faster. Vice versa, the quick layer is affected by retarding force from the side of the slow layer. These are forces of internal friction, directed along the tangent to the surface of the layer. The larger the square of tangent layers, the bigger these forces and they depend on speed change in the flow of liquid (or gas) at crossing from one layer to another, following Newton’s equation:

*,* where

– speed change, related to the distance between the layers in the direction, perpendicular to the speed (speed gradient);

*Ѕ* – square of tangent layers;

*η* –coefficient of viscosity of liquid.

Viscosity *η* is a term for magnitude, numerically equal to the force of internal friction, which arises between the tangent layers of liquid, square of surface contact equal one at speed gradient between them equal one.

Для жидкостей, течение которых подчиняется уравнению Ньютона, вязкость не зависит от градиента скорости. Эти жидкости являются ньютоновскими, а вязкость – нормальной. Если жидкости не подчиняются уравнению Ньютона, то их называют неньютоновскими, а вязкость – аномальной.

Кровь относится к неньютоновским жидкостям. Она представляет собой суспензию форменных элементов в белковом растворе – плазме. При течении крови по сосудам происходит концентрация форменных элементов в центральной части потока, где вязкость увеличивается.

Вязкость крови человека обычно колеблется от *4* до *5 мПа·с*. При патологических условиях она может изменяться от *1,7* до *22,9*  *мПа·с*. Коэффициент вязкости крови имеет диагностическое значение. При некоторых инфекционных заболеваниях вязкость крови увеличивается, а при туберкулёзе, брюшном тифе – уменьшается. Изменение вязкости крови – одна из причин изменения скорости оседания эритроцитов (СОЭ).

Вязкость крови измеряют при помощи приборов – *вискозиметров*. Методы измерения вязкости жидкости называют *вискозиметрией*. Рассмотрим наиболее распространенные методы измерения вязкости:

* капиллярный метод;
* ротационный;
* вискозиметр Гесса;
* метод Стокса (метод падающего шарика).

Суть *капиллярного метода* состоит в измерении времени протекания некоторой массы вязкой жидкости через капилляр под действием силы тяжести при определенной разности давлений.

For liquids, obeying to Newton’s equation, viscosity does not depend on speed gradient. These liquids are Newtonian, and viscosity is normal. If liquids do not follow Newton’s equation, they are called non-Newtonian, and viscosity is called abnormal.

Blood is referred to non-Newtonian liquids. It is a suspension of formed elements in protein solution – plasma. In blood flow along the vessels takes place a concentration of formed elements in the central part of the flow, where viscosity increases.

Blood viscosity of a human usually fluctuates from *4* to *5 mPa·s*. Under abnormal conditions it can change from *1,7* to *22,9*  *mPa·s*. Viscosity coefficient has diagnostic value. Under some virulent diseases blood viscosity increases, and under tuberculosis and abdominal typhoid it decreases. Blood viscosity change is one of the reasons of change in sedimentation rate of red corpuscles (SRRC).

Blood viscosity is measured with the help of such devices as *viscosimeter*. Methods of viscosity measurement in liquids are called *viscosimetry*. Let us consider the most common methods of viscosity measurement:

* capillary method;
* rotational method;
* Hess viscosimeter;
* Stocks method (falling ball method).

The sense of *capillary method* is in time measurement of flowing of some mass of viscous liquid through the capillary affected by gravity force under certain pressure difference.

*Ротационный метод* позволяет измерять вязкость жидкости по угловой скорости вращения цилиндра (ротора), который создает момент силы на неподвижном цилиндре. При этом жидкость находиться в зазоре между цилиндрами. Задавая разные значения угловой скорости вращения можно изменять градиент скорости, что позволяет определять вязкость неньютоновских жидкостей.

*Относительной вязкостью* *крови* называют отношение вязкости крови к вязкости воды при той же температуре.

*Вискозиметр Гесса* позволяет получать значение относительной вязкости крови по измерению объемов жидкостей, протекающих через одинаковое поперечное сечение капилляров в единицу времени при одинаковом градиенте давления.

*Метод падающего шарика* (метод Стокса) заключается в нахождении вязкости жидкости через измерение времени падения шарика, при котором он проходит определенное расстояние.

Метод Стокса применяется для более вязких жидкостей и состоит в измерение скорости падения в жидкости небольших тел сферической формы. Стокс эмпирически установил, что при движении шарика в вязкой жидкости с небольшой скоростью, сила сопротивления *Fв* прямо пропорциональна скорости *υ*, радиусу *r* тела и коэффициенту вязкости *η* вязкости жидкости:

*Fв = 6π·r·η·υ (7)*

Рассмотрим движение шарика, равномерно движущегося в вязкой жидкости под действием силы тяжести.

Пусть шарик свободно падает в вязкой жидкости. Тогда на него будут действовать силы: , , и

Сила тяжести равная весу тела: ; ; . Но

Тогда .

*Rotational method* allows to measure viscosity of liquid at rotational speed of cylinder revolution (rotor), which creates force moment on static cylinder. Meanwhile liquid is placed in gaping between cylinders. Setting different values of rotational rate it is possible to change speed gradient that allows estimating of viscosity of non-Newtonian liquids.

*Relative blood viscosity* is the ratio of blood viscosity to water viscosity under the same temperature.

*Hess viscosimeter* allows to estimate the value of rational blood viscosity according to measurement of volumes of liquids, flowing through the same capillary cross section in a unit of time under equal pressure gradient.

*Falling ball method* (Stocks method) consists in finding viscosity of liquid through time measurement of ball falling, during which it gets over a certain distance.

Stocks method is used for more viscous liquids and lies in measurement of dropping speed of small bodies with spherical shape in liquids. Stocks empirically found out, that during ball motion in viscous liquid at low speed, resistance force *Fv* directly proportional to speed *υ*, radius *r* of the body and coefficient *η* of viscosity of liquid:

*Fv = 6π·r·η·υ (7)*

Let us consider ball motion, evenly moving in viscous liquid under gravity force.

Let a ball freely fall in viscous liquid. Then it will be affected by forces:, , and .

Gravity force equals body weight: ; ; . But .

Then .

**2. Твердое состояние вещества**

***2.1. Твердые тела.***

Твердое состояние вещества (твёрдое тело) – агрегатное состояние, характеризующиеся постоянством формы и объема.

Частицы твердого тела совершают хаотические колебания относительно определенного положения равновесия («дрожат»). Если в малом объеме правильной геометрической формы частицы располагаются упорядоченно во всех направлениях (сохраняют «дальний порядок»), то говорят, что твердое тело имеет кристаллическую решетку и называется *кристаллическим*. В зависимости от природы частиц (атомы, молекулы, ионы) кристаллические решетки различают на атомные, молекулярные, металлические и ионные.

Если тело представляет собой один кристалл, то его называют *монокристаллом* («монос» - один), а если состоит из множества беспорядочно расположенных мелких кристалликов, *поликристаллом* («поли» - много).

Кристаллическими телами являются кристаллы металлов, поваренной соли, медного купороса, кварца и др.

***2.2. Аморфные и кристаллические.***

Если частицы твердого тела имеют лишь «ближний порядок», как у жидкостей, но менее подвижны, то состояние называют *аморфным* («аморфос» (греч.) – не имеющий формы), а тело – *аморфным телом*. Аморфные тела характеризуются отсутствием определенной температуры плавления. К аморфным телам относят стекло, смолу, вар, пластмассы и др. При длительном хранении у аморфных тел может наблюдаться процесс кристаллизации. Так, например, в стекле со временем появляются кристаллики, вследствие чего оно мутнеет.

**2. Solid state of a substance**

***2.1. Solids.***

Solid state of a substance (solids) –is an aggregate state, characterized by form and volume stability.

Solids particles execute chaotic vibrations relative to particular equilibrium position (“tremble”). If in a small volume of regular geometrical shape particles are situated orderly in all directions (keep “long-range order”), then it is said that a solid body has a crystal lattice and is called *crystalline*. Subject to the nature of particles (atoms, molecules, ions) crystal lattices are distinguished into atomic, molecular, metal and ionic.

If a body corresponds one crystal, then it is called *a single crystal* (“monos” – single), but if it consists of a set of randomly oriented fine crystals, it is called polycrystal (“poly” – many).

Crystalline solids are crystals of metals, common salt, copper vitriol, quartz and etc.

***2.2. Amorphous and crystalline***

If solids particles have only “short-range order”, like liquids, but are less mobile, then their state is called *amorphous* (“amorphous” (Greek) – formless), and the body is called *amorphous solid*. Amorphous solids are characterized by absence of certain melting temperature. To amorphous solids are referred such substances as glass, gum, pitch, plastic and etc. Under long long-term storage amorphous bodies can undergo the process of crystallization. Thus, for example, there are some small crystals which appear in glass with the lapse of time, as a result it grows turbid.

Аморфные тела в зависимости от скорости внешнего воздействия могут быть *упругими (хрупкими)* или *текучими*. Например, кусок смолы от удара молотком рассыпается на осколки, как хрупкое тело, однако, со временем медленно растекается, подобно очень вязкой и густой жидкости.

Если в расплавленную и нагретую выше 300°C серу влить холодную воду, то можно получить мягкую аморфную серу, которая с течением времени переходит в кристаллическую.

Таким образом, аморфное состояние для твердого тела не является устойчивым и постепенно может переходить в кристаллическое. Твердое аморфное состояние называют *стеклообразным*.

Частицы вещества в твердом состоянии достаточно близко расположены друг к другу («плотно упакованы»), поэтому плотность твердых тел значительно больше, чем у жидкостей и газов (достигает у иридия до 22570 кг/м3 ).

Лекарственные вещества могут находиться в твердом и полутвердом (мягком) состоянии, говорят, в твердой или мягкой лекарственной форме.

К твердой лекарственной форме относят сборы, порошки, таблетки, драже, гранулы, микродраже, спансулы, горчичники, медицинские карандаши, капсулы желатиновые (твердые), суппозитории, пеллеты.

К мягкие лекарственные формы имеют мази (пасты, гели, крем, линименты), пластыри, пилюли, капсулы желатиновые (мягкие), пленки глазные, микрокапсулы.

Силы межмолекулярного притяжения в твердых телах настолько значительны, что позволяют им длительное время сохранять форму. Однако при попытке сблизить частицы, например, при сжатии, возникают силы отталкивания, преодоление которых требует больших усилий.

Если количество частиц в кристаллической решетке неодинаково по разным направлениям, то твердое тело обладает вдоль этих направлений различными физическими свойствами (упругости, механическими, тепловыми, электрическими, оптическими и др.).

Amorphous solids subject to external action velocity may be *elastic (brittle)* or *fluid*. For instance, a piece of resin under the hammer hit shivers like a brittle solid, however, with the lapse of time it slowly spreads like very viscous and dense liquid.

If cold water is poured to melted and heated up to more than 300°C sulfur, then it is possible to receive soft amorphous sulfur, which turns after some time into crystalline.

Thus, amorphous state of a solid is not stable and can gradually change into crystalline. Solid amorphous state is called *vitreous*.

Particles of a substance in solid state are arranged close to each other (“tightly packed”), that is why density of solids is considerably bigger than of liquids and gases (density of iridium comes up to 22570 kg/m3 ).

Pharmaceutical substances can be in solid and semisolid (soft) state, it is usually said, in solid or soft pharmaceutical form.

To solid pharmaceutical form can be referred such substances as mixtures, powders, tablets, dragẽes, granules, microdragẽes, mustard plasters, medical pencils, gelatinous capsules (solid), suppositories, pellets.

Soft pharmaceutical forms are presented by ointment (paste, gel, cream, liniments), plasters, pills, gelatinous capsules (soft), eye cells, microcapsules.

Intermolecular attraction forces in solids are so strong that they allow them to keep form for the long period of time. However in attempt to juxtapose particles, for example, under compression, repulsive forces arise, overcoming of which demands much effort.

If the quantity of particles in a crystal lattice is not the same in different directions, then a solid is possessed along these directions of different physical properties (elasticity, mechanical, thermal, electrical, optical and etc.).

Такая зависимость физических свойств от направления, называется *анизотропией* («анизос» (греч.) – неровный, «тропос» - поворот)*.* Например, анизотропией вызвана способность «пропускать» свет в определенном направлении кристаллом турмалина, упругие силы графита и др.

***2.3. Жидкокристаллическое состояние***

В 1888 году австрийский ботаник Ф. Рейнитцер и немецкий кристаллограф Ф Леман описали необычные свойства жидких кристаллов Ученые еще не осознавали, что открыли четвертое состояние вещества. Ф.Рейнитцер при синтезировании нового органического вещества – холестерилбензоата, обнаружил наличие двух точек плавления. Так, при 145°C кристаллы исследуемого вещества, помещенные в пробирку, плавились в опалесцирующую жидкость, которая состояла из звездоподобных агрегатов, а при температуре 179°C вещество превращалось из мутной массы в прозрачный расплав. При охлаждении полученного расплава опять до температуры 179°C, вещество окрашивалось в голубоватый цвет, который постепенно исчезал, а жидкая масса вновь становилось опалесцирующей. Дальнейшее понижение температуры приводило к кратковременному появлению голубоватой окраски при 145°C и затем к кристаллизации вещества. (А.С. Сонин «Кентавры природы». – М.: Атомиздат, 1980).

По мере охлаждения одного и того же вещества можно наблюдать все новые и новые состояния, которые не являются полностью жидкими, но и не стали ещё полностью твердыми.

Способность жидких кристаллов изменять цвет при изменении температуры получило применение для визуализации распределения температуры на поверхности предметов, что позволяет, например, выявлять области перегрева в электронной схеме.

Such dependence of physical properties on direction is called *anisotropy* (“anisos” (Greek) – irregular, “tropos” – turn). For example, anisotropy causes possibility of light “transmission” in a certain direction by a crystal of tourmaline, elastic forces of graphite and etc.

* 1. ***Liquid-crystal state***

In 1888 Austrian botanist F. Reinitzer and German crystallographer F.Leman described unusual properties of liquid crystals. Scientists did not realize that they had already discovered the forth state of a substance. F. Reinitzer under synthesizing of a new organic matter - cholesterylbenzoate, found two melting points. Thus, under 145°C crystals of investigated material, placed in a test tube, melted in opal liquid, which consisted of star-like aggregates, and under the temperature of 179°C the substance turned from turbid mass into clear melt. Under cooling of received melt to the temperature of the substance turned into light blue color, which gradually vanished, and a liquid mass turned into opal again. Following temperature decrease led to short-term appearance of light blue color under the temperature of 145°C and then to crystallization of the substance. (A.S. Sonin “Centaurs of nature”. – M.: Atomizad, 1980).

According to different stages of cooling of the same substance new states can be observed, which are neither entirely liquid, nor entirely solid yet.

The ability of liquid crystals to vary color under temperature change was widely adopted for visualization of temperature distribution on the surface of objects, what allows them, for example, to reveal areas of overheat in electronic circuit.

Эти вещества одновременно обладали текучестью, как обычные жидкости, и в то же время по оптическим свойствам были похожи на кристаллы. Что же понимается под термином «жидкие кристаллы»? Состояние вещества, обладающее структурными свойствами промежуточными между свойствами твердого кристалла и жидкости, называют жидкокристаллическим или жидким кристаллом. Такое состояние обусловлено особенным молекулярным строением жидкокристаллических веществ, соединения которых образуют молекулы удлиненной палочкообразной формы. Различают следующие основные типы жидких кристаллов: смектический, нематический и холестерический. В смектическом жидком кристалле молекулы расположены слоями, легко скользящими друг относительно друга, благодаря свойству текучести. К таким веществам, например, относится этиловый эфир n-азоксибензойной кислоты, который образует смектические жидкие кристаллы при температуре от 114°C до 120°C. Нематические жидкие кристаллы имеют ориентационный порядок в расположении молекул, которые беспорядочно сдвинуты в направлении своих длинных осей и не имеют слоистой структуры. Например, n – метоксибензилиден - n' – бутиланилин, СН3О·С6Н4·СН:N·С6Н4·С4Н9, имеет жидкокристаллическое состояние в интервале температур 20-43°C.

Холестерические жидкие кристаллы образуют соединения холестерина и других стероидов. Например, холестерилциннамат в таком состоянии находится в температурном интервале от 156 до 197. Особенностью жидких кристаллов является способность их молекул к самоорганизации, то есть образованию упорядоченных структур, например, спиральная структура холестериков.

Жидкокристаллическую структуру имеют многие биологические вещества. Например, белок, входящий в состав сократительного вещества мышечной ткани – миозин, обладает способностью образовывать лиотропные жидкие кристаллы. По своей структуре к жидким кристаллам близок и коллаген, содержащийся в костях, сухожилиях, мозге.

These substances at the same time had fluidity, like common liquids and optical properties like crystals.

What is meant under the term of “liquid crystals”?

State of a substance, possessing structural properties intermediate between properties of solid crystal and liquid, is called liquid-crystalline or liquid crystal. Such state is conditioned by certain molecular structure of liquid-crystalline materials, compounds of which form molecules with oblong rod-like shape.

There are distinguished following general types of liquid crystals: smectic, nematic and cholesteric.

In smectic liquid crystal molecules are placed in layers, easily gliding relative to each other due to their fluidity. To such substances are related , for example, ethyl ether of n-azoxybenzene acid, which forms smectic liquid crystals under temperature from 114°C to 120°C.

Nematic liquid crystals have orientation order of molecular arrangement, which randomly displaced in the direction of their long axis and do not have layer structure. For example, n – methoxybenzyleden – n’ – butylanilin, СН3О·С6Н4·СН:N·С6Н4·С4Н9, has liquid-crystalline state in temperature range 20-43°C.

Cholesteric liquid crystals form cholesterol compounds and other steroids. For example, cholesterylcinnamat in such a state can be found under temperature range from 156 to 197.

The peculiarity of liquid crystals is ability of their molecules of self-organization that is formation of ordered structures, for example spiral structure of cholesterics.

Liquid-crystalline structure is found in many biological substances. For example, protein, entering into composition of contractile substance of muscular tissue – myosin, has ability to form lyotropic liquid crystals. Collagen, contained in bones, tendons, brains, is close to liquid crystals by its structure.

**Термодинамика**

Сегодня мы рассмотрим следующие вопросы:

1. Понятие о квантовой теории твердых тел.
2. Теплоемкость твердых тел.
3. Закон Дюлонга и Пти.
4. Механические свойства твердых тел: упругость и пластичность.
5. Закон Гука.
6. Особенности строения и свойства эластомеров.
   1. ***Понятие о квантовой теории твердых тел.***

Термодинамические процессы можно разделить на равновесные и неравновесные (см. рис.4).

*Равновесным* называют процесс, в ходе которого в каждый момент времени система находится в равновесном состоянии, характеризующееся одинаковостью свойств (параметров) всех частей системы.

Например,

Рис.4 Равновесный и неравновесный процессы

**Thermodynamics**

Today we are going to look at the following questions:

1. The concept of quantum theory of solids.
2. Heat capacity of solids.
3. Dulong-Petit law.
4. Mechanical properties of solids: elasticity and plasticity.
5. Hooke law.
6. Structural characteristics and properties of elastomers.
   1. ***The concept of quantum theory of solids.***

Thermodynamic processes can be divided into equilibrium and non-equilibrium. (pic.4)

*Equilibrium* is called a process during which at every moment of time the system is found at equilibrium state, characterized by equality of properties (features) of all parts of the system.

For example,

Pic.4 Equilibrium and non-equilibrium processes

Равновесный процесс представляет собой бесконечно медленный процесс изменения параметров системы (модель реального процесса).

В природе процессы всегда неравновесные, но их можно описать с помощью модели равновесного процесса с той или иной степенью точности.

Выделяют обратимые и необратимые термодинамические процессы.

*Обратимый* – процесс, при котором возможен обратный переход системы из конечного состояния в начальное через все промежуточные состояния без изменений в окружающих системах. (см. рис5)

*Необратимым* называют процесс, при котором обратный переход через те же состояния невозможен без внешних воздействий. (см. рис.6)

Все реальные процессы в природе являются необратимыми.

F2

Рис. 5. Схема обратимого процесса

F2

Рис.6. Схема необратимого процесса

Второе начало термодинамики описывает необратимость процессов в природе и указывает направления превращения энергий.

Equilibrium process is an infinitely slow process of changing properties of the system (the model of a real process).

In nature processes are always non-equilibrium, but they can be described with the help of the model of equilibrium process with one or another degree of accuracy.

There are usually distinguished reversible and irreversible thermodynamic processes.

*Reversible* is a process when there can be reverse transition of the system from final state into initial through all intermediate states without any changes in surrounding systems. (pic.5)

*Irreversible* is usually called a process when reverse transition through the same states is impossible without external actions. (pic.6)

All real processes in nature are irreversible.

F2

Pic. 5. The scheme of a reversible process

F2

Pic.6. The scheme of an irreversible process

The second principle of thermodynamics describes irreversibility of processes in nature and states directions of energy transformation.

Впервые второе начало термодинамики было сформулировано в 1850 году немецким физиком-теоретиком Р. Клаузиусом (1822-1888): *«Теплота не может переходить от более холодного тела к более нагретому, если одновременно не происходят в связи с этим другие изменения», «Переход теплоты от более холодного тела к более теплому не может иметь места без компенсации»* (Спасский Б.И. История физики. – М.: Высшая школа, 1977. – ч2. – с.26).

В 1851 году формулировка II начала термодинамики английским физиком У. Томсоном (1824-1907г.) имела вид: *«В природе невозможны процессы, единственным следствием которых было бы совершение механической работы, произведенной в результате охлаждения резервуара»*.

Современная трактовка II начала термодинамики:

*«Все макроскопические процессы в природе самопроизвольно протекают только в одном определенном направлении».*

Современная формулировка II начала термодинамики связана с понятием *энтропия* – функции, характеризующей состояние системы.

Энтропия является мерой упорядоченности системы. При переходе системы из менее вероятного, то есть более упорядоченного, состояния в более вероятное, энтропия возрастает. В замкнутых системах энтропия не убывает.

Неравновесное Равновесное

For the first time the second principle of thermodynamics was formulated in 1850 by German physician-theorist R. Klausis (1822-1888): *«Heat can not transfer from colder body to warmer one, if other related changes do not take place simultaneously», «Transition of heat from a colder body to a warmer one can not take place without compensation»* (Spassky B.I. The history of physics. – M.: Higher school, 1977. – part 2. – p.26).

In 1851 the definition of the second principle of thermodynamics by English physician W. Thomson (1824-1907г.) looked like this: *«In nature the processes the only consequence of which would be execution of mechanical work, produced as a result of cooling reservoir, are impossible»*.

Modern the second principle of thermodynamics:

*«All macroscopic processes in nature progress spontaneously only in one particular direction».*

Modern the second principle of thermodynamics is connected with the notion *entropy* which is a function, characterizing the state of the system.

Entropy is a measure of the system ordering. At transition of the system from less probable, i.e. more ordered, state into more probable one, entropy increases. In closed systems entropy does not decrease.

Nonequilibrium Equilibrium

Менее вероятное Более вероятное

Рис. 7

В XIX веке австрийский физик-теоретик Л. Больцман (1844-1906) сформулировал принцип, согласно которому: *в замкнутой системе самопроизвольный процесс идет в направлении перехода от менее вероятного состояния в более вероятное. Наиболее вероятным является равновесное состояние.* (см. рис.5)

Таким образом, второе начало термодинамики имеет статистический смысл и справедлив для систем из большого числа частиц.

Самопроизвольное отклонение системы от равновесного состояния называют *флуктуацией*.

Рассмотрим фазовый переход I рода, например, процесс плавления. Он характеризуется постоянством температуры (Т=const, процесс изотермический), изменением энтропии (ΔS) и объема (ΔV).

p

2

1

0 V

Рис. 8

Теплота фазового перехода при плавлении:

*Qпл = λ m* , где *m* – масса расплавленного вещества

*λ* – удельная теплота плавления

Less probable More probable

Pic. 7

In XIX century Australian physician- theorist L.Boltzmann (1844-1906) formulated the principle, in accordance with which: *in a closed system spontaneous process progresses in the direction of transition from less probable state to more probable one. More probable is an equilibrium state.* (Pic.5)

Thereby the second principle of thermodynamics has statistical sense and is true for systems with bigger quantity of particles.

Spontaneous deviation of system from equilibrium state Is called *fluctuation*.

Let us consider first order phase transition, for example, the process of melting. It is characterized by temperature constancy (Т = const, isothermal process), change of entropy (ΔS) and volume (ΔV).

p

2

1

0 V

Pic. 8

Heat of phase transition at melting is:

*Qпл = λ m* , where *m* – mass of the melted substance

*λ* – specific heat of fusion

*Удельная теплота плавления* показывает количество теплоты, которое нужно сообщить единице массы твердого тела при температуре плавления для того, чтобы перевести его в жидкое состояние.

При плавлении происходит увеличение объема тела (исключение составляет вода, галлий, сурьма, чугун, висмут, у которых объем уменьшается).

Обратный переход (из жидкого состояния в твердое) называется *кристаллизацией*. При кристаллизации происходит выделение теплоты. Для химически чистых веществ температура кристаллизации равна температуре плавления. Для кристаллизации необходимы частицы (пылинки, примеси), которые являются *центрами кристаллизации*. Фазовый переход вещества из кристаллического (твердого) состояния в газообразное состояние (пар) называют *сублимацией*.

Функция, характеризующая изменение состояния (функция состояния) и независящая от пути, каким система пришла в это состояния, есть *энтропия* (*S)*:

Выделим некоторый объем системы (ΔV) и мысленно разделим его на две части. При этом возможно следующие случаи распределения частиц в этих частях:

* ******



******

***1 2***

* ******

******

***1 2***

* 



***1 2***

* 

******

***1 2***

I II III IV

Рис. 9 Возможное распределение частиц в частях объема ΔV

Назовем число частиц в частях (1, 2) микросостоянием системы, число частиц в частях (I – IV) макросостоянием системы. В данном случае макроскопическое состояние системы не является равновесным, так как число частиц в частях 1 и 2 неодинаковое.

Равновесному состоянию системы соответствует распределение в частях 1 и 2 по две частицы. Таких состояний возможно шесть:

*Specific heat of fusion* shows the amount of heat, which is necessary to impart to a mass unit of a solid at melting temperature in order to convert it into the liquid state.

At melting the increase of volume of solid occurs (except water, gallium, antimony, cast iron, bismuth, their volume decreases).

Reverse transition (from liquid into solid state) is called *crystallization*. At crystallization heat release takes place. For chemically pure substances crystallization temperature is equal to melting temperature. For crystallization particles (airborne, impurities) are necessary, which are *crystallization centers*. Phase transition from crystallized (solid) state into gaseous state (vapor) is called *sublimation*.

The function, characterizing change of state (state function) and insensitive to the way, the system came into this state , is *entropy* (*S)*:

Let us point out some volume of system (ΔV) and ideally divide it into two parts. With this the following ways of particle distribution in these parts are possible:

* 



***1 2***

* 

******

***1 2***

* 

******

***1 2***

* ******



******

***1 2***

I II III IV

Pic. 9 Possible particle distribution in parts of volume ΔV

Let us call the number of particles in parts (1, 2) microstate of the system, and the number of particles in parts (I – IV) macro state of the system. In the given case microstate of the system is not equilibrium, because the number of particles in parts 1 and 2 is not the same.

Equilibrium state of the system corresponds to the two by two particles distribution in parts 1 and 2. There can be six of such states:

* **



*1 2*

* **



*1 2*

* **



*1 2*

I II III

* **



*1 2*

* *



*1 2*

* **



*1 2*

IV V VI

Рис. 10 Возможное распределение частиц в частях объема ΔV

Число способов распределения частиц (число микросостояний) называют термодинамической вероятностью (Wтер).

Тогда в первом случае термодинамическая вероятность равна четырем, а во втором – шести: W тер1 = 4, Wтер 2 = 6.

Бόльшая термодинамическая вероятность соответствует равновесному состоянию системы, при котором осуществляется равномерное распределение частиц.

Согласно теории вероятности: система стремится к наибольшей термодинамической вероятности, то есть к состоянию термодинамического равновесия.

Термодинамическая вероятность является количественной характеристикой теплового состояния системы, то есть показывает, сколько способов имеется для перехода в равновесное состояние: W тер >1.

**!** Термодинамическая вероятность *Wтер* не есть математическая вероятность *Р*.

Для характеристики изменения числа микросостояний системы пользуются понятием энтропии.

Энтропия определяется как логарифм числа микросостояний, реализующих данное макросостояние:

*S = k ln Wтер* – формула Больцмана

где *k* – постоянная Больцмана, *k = 1,38 10-23 .*

Чем больше число микросостояний, реализующих макросостояние, тем больше энтропия.

* **



*1 2*

* **



*1 2*

* **



*1 2*

I II III

* **



*1 2*

* 



*1 2*

* **



*1 2*

IV V VI

Pic. 10 Possible particle distribution in parts of volume ΔV

The number of ways of particle distribution (the number of microstates) is called thermodynamic probability (Wthrm).

Then in the first case thermodynamic probability equals four, and in the second it equals six: W thrm1 = 4, W thrm 2 = 6.

The bigger thermodynamic possibility corresponds to equilibrium state of the system when even particle distribution is carried out.

According to probability theory: the system tends to bigger thermodynamic probability, i.e. to the state of thermodynamic equilibrium.

Thermodynamic probability is a quantitative characteristic of a heat state of the system, that means it shows how many ways for transition into equilibrium state there exist: W тер >1.

**!** Thermodynamic probability *Wтер* is not mathematical probability *Р*.

For characteristic of microstate number changing systems use the concept of entropy.

Entropy is defined like logarithm of number of microstates, realizing given macro state:

*S = k ln Wтер* – Boltzmann formula

where *k* – Boltzmann constant, *k = 1,38 10-23*

The bigger microstates number, realizing macro state, the bigger entropy is.

In equilibrium state the number of microstates is maximum, that is why entropy is also maximum, and this is the statistical sense of entropy.

В состоянии равновесия число микросостояний максимально, поэтому энтропия тоже максимальна, в этом состоит статистический смысл энтропии.

При статистическом толковании энтропии говорят, что энтропия является мерой неупорядоченности системы. Это означает, что процессы в замкнутой системе идут в направлении увеличения числа микросостояний, то есть от менее вероятных состояний к более вероятным.

Для обратимых процессов (например, плавление и кристаллизация, сублимация и десублимация) физический смысл имеет не сама энтропия, а изменение (разность) энтропии ΔS:

, где

1 – начальное состояние системы;

2 – конечное состояние системы;

*dS* – достаточно малое изменение энтропии;

*dQ* – соответствующее изменение количества теплоты:

*T* – температура системы

Изменение энтропии обусловлено теплообменом между системой и окружающей средой. В этом случае говорят о потере энергии в окружающей среде.

Систему называют *закрытой*, если потери энергии равны нулю. Если же система теряет энергию и вещество (например, при протекании химических реакций, происходит выделение тепла и продуктов реакции в окружающую среду), то такие системы являются *открытыми* термодинамическими системами.

В открытых термодинамических системах скорость изменения энтропии постоянна, то есть

In equilibrium state the number of microstates is maximum, that is why entropy is also maximum, and this is the statistical sense of entropy.

When interpreting entropy statistically it is said that entropy is a measure of disorder of a system. It means that processes in a closed system progress in direction of rise of microstates number, i.e. from less probable states to more probable ones.

For reverse processes (for example, melting and crystallization, sublimation and desublimation) not entropy itself has a physical sense, but the change of entropy ΔS:

, where

1 – initial state of a system;

2 – final state of a system;

*dS* – quite small change of entropy;

*dQ* – corresponding change of heat amount:

*T* – temperature of a system

Entropy change is stipulated by heat exchange between a system and environment. In this case it is said about energy loss in environment.

A system is called *closed*, if energy losses equal zero. If a system loses energy and substance (for example, during chemical reactions heat and reaction products are released into environment), then such systems are *open* thermodynamic systems.

In open thermodynamic systems the velocity of entropy change is constant, i.e.

Биологические объекты – живые организмы относятся к открытым термодинамическим системам. Потери энергии и вещества (обмен веществ) компенсируется за счет за счет потребления пищи, которая восстанавливает энергетический баланс организма (поддерживает постоянный уровень энтропии).

Для открытых термодинамических систем справедлива *формула Пригожина:*

– скорость изменения энтропии вследствие процессов, протекающих в самой системе:

– скорость изменения энтропии, обусловленная процессами теплообмена с окружающей средой.

*(*Δ*S)ext* = *(*Δ*S)* – *(*Δ*S)in* .

Энтропия продуктов (энергия и вещество), входящих в систему, меньше энтропии продуктов выхода. Для стационарных состояний Δ*S = 0*.

И.Пригожин сформулировал **принцип минимума производства энтропии**: *в стационарном состоянии системы скорость возникновения энтропии вследствие необратимых процессов имеет минимальное значение при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, минимальна и >0 .*

Biological objects – living organisms are referred to open thermodynamic systems. The loss of energy and substance (metabolism) is compensated by food consumption, which restores energy balance of organism (maintains fixed level of entropy).

For open thermodynamic systems is true *Prigozhin formula*:

– velocity of entropy change in consideration of processes, progressing in the system itself:

– velocity of entropy change, stipulated by processes of heat exchange with environment.

*(*Δ*S)ext* = *(*Δ*S)* – *(*Δ*S)in* .

Entropy of products (energy and substance), coming into the system, is smaller than products of outcome. For stationary state Δ*S = 0*.

I.Prigozhin formulated **entropy production minimum principle**: *in stationary state of the system velocity of entropy initiation in consideration of non-reversible processes has a minimum value under given external conditions, hampering the system to achieve equilibrium state, minimum and* *>0 .*

***Вопросы для самопроверки:***

1. Какая система – из 4 частиц (а) или из 400 частиц (б) – проявляет свойство необратимости распределения в пространстве при увеличении объема системы?

2. В одном сосуде находится разряженный газ, в другом – сжатый. Какой процесс будет наблюдаться, если сосуды соединить? Какой это будет процесс?

3. Два одинаковых тела, находящиеся при разной температуре, привели в соприкосновение. Назовите процесс, который будет происходить. Укажите направление теплообмена. Обоснуйте свой ответ. Докажите экспериментально.

***Questions for self-testing:***

1. Which system – of 4 particles (a) or of 400 particles (b) – shows up the feature of irreversibility of distribution in space when volume of the system is increasing?

2. In one vessel there is low density gas, in the other there is compressed gas. What process can be noticed if these vessels are joined? What process will it be?

3. Two identical bodies, placed under different temperature, were brought to physical contact. Tell the process, which will take place. Point out the direction of heat exchange. Give arguments for your answer. Prove by experiment.

***3.2. Теплоемкость твердых тел***

Пусть твердое тело в состоянии 1 – твердая фаза необходимо перевести в состояние 2 – жидкая фаза.

Для этого передадим ему некоторое количество теплоты Q.

Величину, определяемую как количество теплоты, необходимое для нагревания тела на 1ºК, называют *теплоемкостью тела* и обозначают *С*.

Если необходимо нагреть тело массой 1кг (или 1 кг вещества) на 1К, то такую величину называют удельной теплоемкостью вещества и определяют по формуле:

Если количество вещества, которое необходимо нагреть на 1К составляет 1 моль, то теплоемкость называют молярной теплоемкостью и определяют как:

*в СИ, где сm = сµ,*

*, ν – количество вещества, µ - молярная масса*

Различают молярные теплоемкости в зависимости от процесса (изохорный, изобарный).

Если при нагревании вещества его объем не изменяется (изохорное нагревание), то молярная теплоемкость обозначается *cV.*

Если при нагревании поддерживается постоянным давление, то молярная теплоемкость – *cp*.

Причем,

*Ср = ср µ,*

*СV = сV µ, ср , сV -* удельные теплоемкости.

***3.2. Heat capacity of solids***

Let a solid body in state 1 – solid phase need to be transformed into state 2 – liquid phase.

Let us convey it some heat Q for this.

The value, defined as quantity of heat, necessary for heating of a body by 1ºK, is called *heat capacity of a body* and is marked with *С*.

If it is necessary to heat a body with the mass of 1 kg (or 1 kg of substance) by 1К, then this value is called specific heat capacity of a substance and is defined by a formula:

If the quantity of a substance, necessary for heating by 1К comprises 1 mole, then heat capacity is called molar heat capacity and is defined as:

*,*

*, where сm = сµ,*

*ν – the amount of substance, µ - molar mass*

There are distinguished several molar heat capacities depending on the process (isochoric, isobar).

If under heating of a substance its volume does not change (isochoric heating), then molar heat capacity is marked with *cV.*

If under heating pressure is maintained stable, then molar capacity is – *cp*.

And at that,

*Ср = ср µ,*

*СV = сV µ, ср, сV -* specific heat capacities.

Рассмотрим изменение термодинамической системы при постоянном объеме (*V = const*).

Для изохорного процесса первое начало термодинамики: *dQ = dU +dA*

будет иметь следующий вид: *dQ = dU (A=0)* или *Q = ΔU*

Так как *Q = cm*Δ*T* , но при *V = const,*

*Q = cV m*Δ*T (dQ = cV m dT) =>*

*cV m*Δ*T=* Δ*U =>*

Если *ν = 1моль*, то *=>* Δ*U = cV* Δ*T (1)*

Для изобарного процесса давление постоянно (р=const) и

*dQ = cР m dT (2)*

Тогда *dQ = dU +dA*

*cР m dT = cV mdT + рdV (т.к. A = p*Δ*V)*

(из уравнения Менделеева – Клайперна )

или

*,* если µ = 1, то *cР = (cV + R )*

*cР - cV = R* - уравнение Майера

Итак*, cР = cV + R*, говорят *cР* всегда больше, чем *cV* на величину универсальной газовой постоянной (R), так как при нагревании при постоянном давлении требуется дополнительное количество теплоты для совершения работы по расширению тела, так как постоянство давления обеспечивается увеличением давления тела.

*cР* и *cV* определяются числом степеней свободы и не зависят от температуры (справедливо для одноатомных газов).

Let us consider the change of thermodynamic system with constant volume (*V = const*).

For isochoric process first law of thermodynamics: *dQ = dU +dA*

Will have the following state: *dQ = dU (A=0)* or *Q = ΔU*

For *Q = cm*Δ*T* , but with *V = const,*

*Q = cV m*Δ*T (dQ = cV m dT) =>*

*cV m*Δ*T=* Δ*U =>*

If *ν = 1mole*, then *=>* Δ*U = cV* Δ*T (1)*

For isobar process pressure is constant (р=const) and

*dQ = cР m dT (2)*

Then *dQ = dU +dA*

*cР m dT = cV mdT + рdV (т.к. A = p*Δ*V)*

(from Mendeleev-Clapeyron equation )

or

if µ = 1, then *cР = (cV + R )*

*cР - cV = R* - Meir’s equation

Thus*, cР = cV + R*, *cР* is said to be always bigger than *cV* by the value of universal gas constant (R), for under heating at constant pressure extra amount of heat is required to complete the work of body extension, because pressure constancy is provided by increase of body pressure.

*cР* and *cV* are defined by number of degrees of freedom and do not depend on temperature (true for monatomic gases).

Для двухатомных газов теплоемкости зависят от высоких температур.

Тепловое движение частиц кристаллического тела не может разрушить кристаллическую решетку, так как амплитуда колебаний частиц около положения равновесия очень мала. Силы взаимодействия между частицами кристаллического тела значительны (природа этих сил в основном электрическая (кулоновская)), поэтому энергия взаимодействия частиц (внутренняя энергия) определяемая как *(i – число степеней свободы)* зависит от числа степеней свободы.

Если колебания частиц вдоль произвольного направления представить как сумму колебаний вдоль трех координатных осей OX, OY и OZ, то можно считать, что для кристаллического твердого тела число степеней свободы равно числу свободных колебаний, то есть *i = 3*. (см. рис 11)

z

C x

y

Рис. 11

Так как кинетическая энергия одной степени свободы равна , причем *Ek = Ep*, то на одну степень свободы в колебательном движении приходится (см. рис 12)

C

Рис 12

Так как частица *С* имеет три степени свободы, то её энергия *E = 3 kT*.

For diatomic gases heat capacities depend on high temperatures.

Heat motion of particles of a crystalline body can not destroy crystal lattice, because amplitude of particles oscillation near the state of equilibrium is very little. Interacting forces between particles of a crystalline body are significant. (the nature of these forces is generally electric (coulomb)), that is why energy of particles interaction (internal energy) defined as  *(i – number of degrees of freedom)* depends on the number of degrees of freedom.

If particle oscillation is imagined like a sum of oscillations along three axes OX, OY and OZ, then it can be believed that for a crystalline solid the number of degrees of freedom equals to the number free oscillations, i.e. *i = 3*. (pic. 11)

z

C x

y

Pic. 11

As kinetic energy of one degree of freedom equals , and *Ek = Ep*, then for one degree of freedom in oscillatory motion there is (Pic. 12)

C

Pic. 12

As particle *С* has three degrees of freedom, then its energy *E = 3 kT*.

***3.3. Закон Дюлонга и Пти***

Известно, что в 1 моле вещества содержится число Авогадро молекул, поэтому энергия 1 моля вещества равна в твердом (кристаллическом) состоянии равна:

*U = 3kT NA = 3T kNA = 3RT,* где

*R* – универсальная газовая постоянная

*R=kNA=1,38 10-23 6,02 1023 моль-1 = 8,31 = 8,31Дж К-1 моль-1*

Обозначим *СV = 3R* – молярную (атомную) теплоемкость при постоянном объеме, тогда *U = СVT,*так как сV = 3R, следовательно теплоемкость твердых тел не зависит от температуры, что соответствует опытным данным

Это утверждение называют **законом Дюлонга-Пти**.

Однако, при низких температурах (T=0ºК) теплоемкость твердых тел пропорциональна *Т3*:

*СV* ~ *Т3*

Если *R = 8,31Дж К-1 моль-1*, тогда *СV*= *3 8,31Дж К-1 моль-1*≈ *25 Дж К-1 моль-1*

***3.3.*** ***Dulong-Petit law***

It is known that in 1 mole of a substance there is Avogadro number of molecules, that is why energy of one mole of a substance in a solid (crystalline) state equals:

*U = 3kT NA = 3T kNA = 3RT,* where

*R* – universal gas constant

*R=kNA=1,38 10-23 6,02 1023 mole-1 = 8,31 = 8,31J К-1 mole-1*

Let us mark with *СV = 3R* – molar (atomic) heat capacity under constant volume, then *U = СVT,* because сV = 3R, consequently heat capacity of solids does not depend on the temperature, what corresponds to the test data.

This statement is called **Dulong – Petit Law**.

However, under law temperatures (T=0ºК) heat capacity of solids is proportional to *Т3*:

*СV* ~ *Т3*

If *R = 8,31J К-1 mole-1*, then *СV*= *3 8,31J К-1 mole-1*≈ *25 J К-1 mole-1*

***3.4. Механические свойства твердых тел: упругость и пластичность***

Механические свойства твердых тел: упругость, текучесть, пластичность, хрупкость, твердость и другие, обусловлены их молекулярной структурой.

Внешне механическое взаимодействие на тело может изменить форму и объем, то есть деформировать его.

Различают два вида деформаций: упругую и пластическую.

При *упругой деформации* происходит взаимное смещение частиц, образующих кристаллическую решетку. При этом нарушается равновесное состояние между силами межмолекулярного притяжения и отталкивания, что приводит к возникновению силы, препятствующей внешнему воздействию и стремящуюся восстановить первоначальную форму (объем).

Свойства вещества (материала), из которого изготовлено твердое тело, способно восстанавливать первоначальную форму и объем после прекращения внешнего воздействия, называют *упругостью*.

К таким материалам относят резину, сталь, биологические ткани (костную ткань, сухожилия).

Свойство вещества (материала), характеризующее остаточную деформацию, в результате которой происходит искажение кристаллической решетки твердого тела (изменяются форма и/или объем, размеры), называют *пластичностью.*

При этом между молекулами устанавливаются новые связи, имеющие равновесный характер.

*Пластическая деформация* – деформация, сохраняющаяся после прекращения действия внешней силы

Пластичны свинец, алюминий, воск, пластилин, замазка, жевательная резинка.

Способность вещества (материала) оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого вещества (материала), называют *твердостью*.

***3.4. Mechanical properties of solids: elasticity and plasticity.***

Mechanical properties of solids: elasticity, fluidity, plasticity, fragility, hardness and other are due to their molar structure.

Outwardly mechanical influence on a body can change its form and volume, that means deform it.

Usually two types of deformation are distinguished: elastic and plastic.

Under elastic deformation there occurs inter-displacement of particles, forming crystal lattice. Together with that equilibrium state between forces of intermolecular attraction and repulsion is disturbed, and that leads to generation of force, hampering external influence and tending to restore initial form (volume).

Properties of a substance (material), of which a solid is made, capable to restore its initial form and volume after stopping of external influence, are called *elasticity*.

To such materials are usually referred rubber, steel, biological tissue (bone tissue, tendon).

A feature of a substance (material), characterizing permanent deformation, which results in distortion of a crystal lattice of a solid (form or/and volume, size are changed), is called *plasticity*.

Together with this, between molecules new connections are established, which have equilibrium character.

*Plastic deformation* – deformation, preserved after end of external forces influencing.

Lead, aluminum, wax, plasticine, putty, chewing gum are plastic.

The ability of a substance (material) to resist to penetration into it of another, harder substance (material), is called *hardness*.

Твердость кристаллических тел в значительной степени зависит от состояния их поверхности. Так, например, если на поверхности кристалла имеются трещины, то твердость кристалла уменьшается.

При смачивании кристалла растворами некоторых веществ, происходит рост трещин, уменьшающих его твердость.

Например, в производстве таблеток используют вспомогательные вещества – разрыхлители, которые способствуют быстрому механическому разрушению таблетки в жидкой среде и растворению лекарственных веществ. Эти «набухающие» вещества при контакте с жидкостью увеличиваются в размерах и «разрывают» таблетку. К таким веществам относят кислоту альгиновую, аминопектин, метилцеллюлозу, бентониты.

Вещества, обеспечивающие разрушение таблеток в жидкой среде в результате газообразования (смесь натрия гидрокарбоната с винной или лимонной кислотой), имеют ограниченное применение, в основном для шипучих и вагинальных таблеток.

Hardness of crystalline bodies in a great extent depends on the state of a surface. Thus, for example, if there are cracks on a surface, hardness of a crystal decreases.

After wetting a crystal with solutions of some substances, cracks increase in size, decreasing its hardness.

For example, in production of tablets additives are used, leavening agents, which contribute to quick mechanical destruction of a tablet in liquid medium and dissolution of pharmaceutical substances. These “swelling” substances under contact with liquids increase in size and “break” the tablet. To such substances can be referred alginic acid, amino pectin, methyl cellulose, bentonites.

Substances, providing this destruction of tablets in liquid medium as a result of gas formation (mix of sodium hydrocarbonate with tartaric or citric acid), have limited use, in general for effervescent and vaginal tablets.

***3.5. Закон Гука***

Рассмотрим упругую деформацию. Например, растяжение пружины.

При растяжении твердого тела внешней силой внутри него возникают внутренние силы, препятствующие силами деформации. Они возникают в результате увеличения межмолекулярного (межатомного) расстояния по сравнению с равновесным. При этом атомы (частицы) начинают притягиваться друг к другу.

Результирующая сила притяжения атомов после прекращения действия внешней силой сжимает тело до первоначальных размеров (восстанавливает форму и объем). Такие силы называют силами упругости.

Количественной характеристикой таких сил является механическое напряжение или просто напряжение, которое определяется как отношение силы упругости к площади поперечного сечения тела и обозначается буквой «σ» - «сигма»:

*,*

Напряжение измеряется в паскалях.

Пусть *l0* – первоначальная длина твердого тела; *l* – конечная длина после воздействия внешней силой *F*.

Рассмотрим упругую деформацию твердого тела, например, растяжение. Тогда *l > l0*,

Δ *l = l – l0 –* абсолютное удлинение твердого тела в результате растяжения.

Однако на практике более удобной величиной является относительное удлинение, показывающее какую часть первоначальной длины *l0* тела составляет его абсолютное удлинение и определяемая как отношение абсолютного удлинения тела к его первоначальной длине, то есть

| Δ *l* | / *l0* = *ε* => Δ *l = ε l0*

При малых деформациях: *~ k*

***3.5. Hooke law***

Let us consider elastic deformation. For example, spring stretching.

While stretching of a solid body by external force inside this body arise internal forces, opposing deformation forces. They arise as a result of increase of intermolecular (interatomic) distance in comparison with equilibrium. Together with this atoms (particles) start to attract to each other.

Resultant attractive force of atoms after determination of external force compresses the body to initial size (restores form and volume). These forces are called elasticity forces.

Quantitative characteristic of such forces is mechanical stress or simply stress, which is defined as a ratio of elasticity force to cross-section area and is marked with letter «σ» - «sigma»:

*,*

Stress is measured in Pascal.

Let *l0* – be initial length of a solid body; *l* – final length after influence of external force *F*.

Let us consider elastic deformation of a solid body, for example, stretching. Then *l > l0*,

Δ *l = l – l0 –* absolute elongation of a solid body as a result of stretching.

However in practice a more convenient value is unit elongation, showing what part of initial length of a body*l0* comprises its absolute elongation and defined as a ratio of absolute elongation of a body to its initial length, that means

| Δ *l* | / *l0* = *ε* => Δ *l = ε l0*

Under small deformation: *~ k*

Согласно закону Гука:

*Fупр = k*Δ*l*,

где *k* – жесткость, характеризующая твердое тело (жесткость пружины).

Тогда

=

где *= Е* – называют модулем упругости Юнга (модуль Юнга).

Модуль Юнга (Е) измеряется в паскалях (Па):

Модуль упругости Юнга характеризует вещество, из которого, из которого изготовлено твердое тело.

Приведем пример модуля Юнга для некоторых металлов (см. таблица 1):

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| вещество | Е, 1011 Па |
| Pb | 0,16 |
| Al | 0,7 |
| Cu | 1,1 |
| Fe | 1,9 |
| Ni | 2,1 |
| W | 3,6 |

**Формулировка закона Гука** (Роберт Гук (1635 – 1703) – английский физик)**:**

При упругой деформации тела напряжение прямо пропорционально относительному удлинению тела,

*σ = Е ε*,

Модуль упругости *Е* одинаков для тел любой формы и размеров, изготовленных из одного и того же материала (вещества).

According to Hooke law:

*Felas = k*Δ*l*,

where *k* – hardness, characterizing a solid body (spring force).

Then

,

where  *= Е* – is called Young’s modulus of elasticity.

Young’s modulus (E) is measured in Pascal (Pa):

Young’s modulus of elasticity characterizes a substance, out of which a solid is made.

Let us make an example of Young’s modulus for some materials (table 1):

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| substance | Е, 1011 Pa |
| Pb | 0,16 |
| Al | 0,7 |
| Cu | 1,1 |
| Fe | 1,9 |
| Ni | 2,1 |
| W | 3,6 |

**Wording of Hooke law** (Robert Hooke (1635 – 1703) – English physician)**:**

Under elastic deformation of a body stress is in direct proportion to unit elongation of a body,

*σ = Е ε*,

Elastic modulus *Е* is equal for bodies of different form or size, made of the same material (substance).

Закон Гука выполняется при небольших деформациях. Максимальное напряжение, при котором закон Гука ещё выполняется, называют *пределом упругости.*

Рассмотрим зависимость напряжения от относительного удлинения. Графическое изображение этой зависимости называют *диаграммой растяжения.(см. рис.13)*

По оси ординат откладываем значения механического напряжения *Е*, а по оси абсцисс – относительное удлинение *ε*.

σ

σпч Е

К

σт С

σу  В

А

О ε

Рис. 13

Выделим области:

ОА – область упругости, σу – предел упругости

СД – область текучести, σт - предел текучести

АС – область пластических деформаций, σпч  - предел прочности соответствует точке Е.

После точки Д кривая поднимется (за пределом текучести) до точки Е, а затем резко идет вниз до точки К (точка разрыва).

Вещества с высоким пределом упругости σу называют *упругими*. К ним относится большинство металлов.

Hooke law is satisfied under small deformation. Maximum stress, at which Hooke law is satisfied, is called elastic limit*.*

Let us consider dependence of stress on unit elongation. Graphic representation of this dependence is called *stress-strain diagram*. (pic. 13)

Endwise ordinate axis let us put value of mechanical stress *Е*, and endwise axis abscissa – unit elongation *ε*.

σ

σpd Е

К

σt С

σe  В

А

О ε

Pic. 13

Let us highlight areas:

ОА – area of elasticity, σe – elastic limit

СД – fluidity area, σt - fluidity limit

АС – plastic deformation area, σpd  - plastic deformation limit corresponds to point Е.

After point Д curve rises up (beyond fluidity limit) to point Е, and then abruptly falls down to point К (point of break).

Substances with high elastic limit σe are called *elastic*. Many metals refer to them.

***3.6. Особенности строения и свойства эластомеров***

Твердые тела, имеющие малый модуль упругости и способные к большим упругим деформациям называют *эластичными*. Например, каучук.

Эластичностью обладают и биологические ткани, основу которых составляют эластин, коллаген и связующее вещество.

*Эластин* составляет значительную часть вещества стенки артерий, особенно вблизи сердца и представляет собой упругий белок с переменным модулем упругости, значение которого изменяется от *1,0 105 Па* до *6,0 105Па.* Эластин способен сильно растягиваться, выдерживая относительное удлинение порядка 200-300%. Его относят к типичным эластомерам – телам, сочетающим большую прочность с высокой эластичностью и значительной вязкостью. Эластомеры не подчиняются закону Гука.

К эластомерам относятся и полимеры – органические высокомолекулярные соединения (вещества), молекулы которых представляют собой длинные цепи, составленные из огромного числа атомов, соединенных химическими связями.

Такие вещества, как шерсть, кожа, рога, шёлк, хлопок, натуральный каучук, пластмассы, волокна, относятся к полимерам.

Простейшим органическим полимером является полиэтилен, цепи которых состоят из мономерных звеньев. В результате теплового движения или воздействия внешнего поля форма макромолекулы полимера может изменяться. Такие изменения называют конформационными превращениями.

Полимеры сочетают свойства жидкости и твердого тела, которые обусловлены их молекулярной нерегулярной струтурой.

Молекулы полимеров (эластомеров) находятся в постоянном движении (тепловом, хаотическом). При этом форма и длина молекул все время изменяются, принимая наиболее вероятную (в недеформировнном состоянии). (см рис.14)

***3.6. Structural features and properties of elastomers***

Solids, having low modulus of elasticity and capable of bigger elastic deformations are called *elastic*. For example, rubber.

Elasticity is possessed by biological tissues, basis of which is comprised of elastin, collagen, and binding material.

*Elastin* makes a great part of wall artery substance, especially near heart and look like elastic protein with varying elasticity modulus, the value of which changes from *1,0 105 Pa* tо *6,0 105Pa.* Elastin is able to stretch very much, holding unit elongation about 200-300%. It is referred to typical elastomers – bodies, combining great strength with high elasticity and considerable viscosity. Elastomers do not follow Hooke law.

To elastomers are also referred polymers – organic high–molecular compounds (substances), molecules of which build up long chains, made out of a great number of atoms, connected by chemical bonds.

Such substances as wool, leather, horns, silk, cotton, lump rubber, plastic, fibers are referred to polymers.

Elementary organic polymer is polyethylene, chains of which are made out of monomeric units. As a result of thermal motion or influence of external force the form of polymer macromolecule can change. Such changes are called conformation transformation.

Polymers combine properties both of a liquid and solid body, which are stipulated by their molecular nonregular structure.

Molecules of polymers (elastomers) are found in constant motion (thermal, chaotic). Together with this form and length of molecules are constantly changing, taking most probable ones (in unstrained state). (pic.14)

Рис 14

Если приложить внешнюю силу к такому телу, то молекулы его выпрямляются в направлении её действия, и длина тела значительно увеличивается. После снятия нагрузки длина его восстанавливается полностью. Такую упругость полимеров называют каучуковой эластичностью. (см. рис. 15)

Рис 15

Белковые вещества: простые – альбумин, глобулин и сложные – казеин, кератин, коллаген, являются природными полимерными материалами, так как содержат до 85% полисахаридов, которые относятся к полимерам.

Полимеры способны сильно набухать в жидкостях. Такие полимеры как полиэтилен, поливинилхлорид применяют для изготовления различных медицинских инструментов и приспособлений.

Тефлон, лавсан, капрон – полимерные материалы, из которых изготавливают протезы для кровеносных сосудов, клапаны сердца.

Коллоидный раствор поливинил – пирролидина применяют в качестве заменителя плазмы крови.

Pic 14

If external force is applied to such body, then its molecules straighten in the direction of its influence, and length of the body considerably increases. After stress removal its length restores fully. Such elasticity of polymers is called rubber elasticity. (pic. 15)

Pic 15

Protein substances: elementary – albumin, globulin and complex – casein, keratin, and collagen are natural polymeric materials, for they contain up to 85% polysaccharides, which are referred to polymers.

Polymers are capable of great swelling in liquids. Such polymers as polyethylene, polyvinylchloride are used in manufacture of different medical instruments and devices.

Teflon, lavsan, caprone – are polymeric materials, out of which are made prostheses for blood vessels, cardiac valve.

Colloidal solution polyvinyl – pyrrolidine is used as a blood plasma substitute.

**Содержание**

Предисловие 6

Введение 8

**1. Жидкости**

1.1. Особенности молекулярного строения жидкости 12

1.2. Причины возникновения поверхностного натяжения 16

1.3.Поверхностная энергия 20

1.4. Сила поверхностного натяжения 20

1.5. Коэффициент поверхностного натяжения 22

1.6. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) 24

1.7. Метод отрыва капель 26

1.8. Явление смачивания 28

1.9. Капиллярные явления 30

1.10. Методы измерения вязкости жидкости 34

**2. Твердое состояние вещества**

2.1. Твердые тела 39

2.2. Аморфные и кристаллические 40

2.3. Жидкокристаллическое состояние 44

**3. Термодинамика**

3.1. Понятие о квантовой теории твердых тел 48

3.2. Теплоемкость твердых тел 66

3.3. Закон Дюлонга и Пти 72

3.4. Механические свойства твердых тел: упругость и пластичность 74

3.5. Закон Гука 78

3.6. Особенности строения и свойства эластомеров 84

**Contents**

Foreword 7

Introduction 9

**1. Liquids**

1.1. Features of molecular structure of liquids 13

1.2. The reasons for surface tension 17

1.3. Surface energy 21

1.4. Surface tension force 21

1.5. Surface tension coefficient 23

1.6. Surface-active substances (SAS) 25

1.7. The method of droplet detachment 27

1.8. Phenomenon of wetting 29

1.9. Capillary phenomena 31

1.10. The measuring methods of viscosity of liquids 35

**2. Solid state of a substance)**

2.1. Solids 41

2.2. Amorphous and crystalline 41

2.3. Liquid-crystal state 45

**3. Thermodynamics**

3.1. The concept of quantum theory of solids 49

3.2. Heat capacity of solids 67

3.3. Dulong-Petit law 73

3.4. Mechanical properties of solids: elasticity and plasticity 75

3.5. Hooke law 79

3.6. Structural characteristics and properties of elastomers 85

**Используемая литература:**

1. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики под ред. Г.С. Ландсберга, т.1 – М., М.: Изд-во «Наука» 1967 г. – 576 с.: ил.
2. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: Учеб. для вузов/ А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. – 4-е изд., перераб. и допол. – М.:Дрофа, 2003. – 560 с.: ил.

ISBN 5-7107-5001-8

1. Ремизов А.Н. Курс физики: учеб. для вузов / А.Н. Ремизов, А.Я. Потапенко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2004. – 720 с.: ил. ISBN 5-7107 – 8221 – 1