

Лекция 17-2020

Агрегатные состояния вещества.

Условия равновесия фаз.

Явления на границе раздела газа, жидкости и твердого тела.

Капиллярные явления.

Фазовые переходы первого и второго рода.

Диаграммы состояния.

Критические явления при фазовых переходах.

Все, что видим мы, - видимость только одна.
Далеко от поверхности мира до дна.
Полагай несущественным явное в мире,
Ибо тайная сущность вещей - не видна.

Омар Хайям

Видимость сущности – в противоположном

Гегель

Изменение энтропии в процессах изменения агрегатного состояния вещества



При равных температурах фазовая область молекул газа значительно больше фазовой области молекул жидкости, и энтропия газа больше энтропии жидкости.

Газ, по сравнению с жидкостью, гораздо менее упорядоченная, более хаотичная система и энтропия газа больше энтропии жидкости.

Условие равновесия фаз

Макроскопическая часть среды (вещества), имеющая однородный физико-химический состав, называется **фазой**.

В состоянии равновесия может находиться система, состоящая из нескольких **различных** по своим физико-химическим свойствам **фаз**, разделенных **границами** раздела фаз

Для равновесия фаз необходимо, чтобы между ними наблюдалось **тепловое и механическое равновесие**.

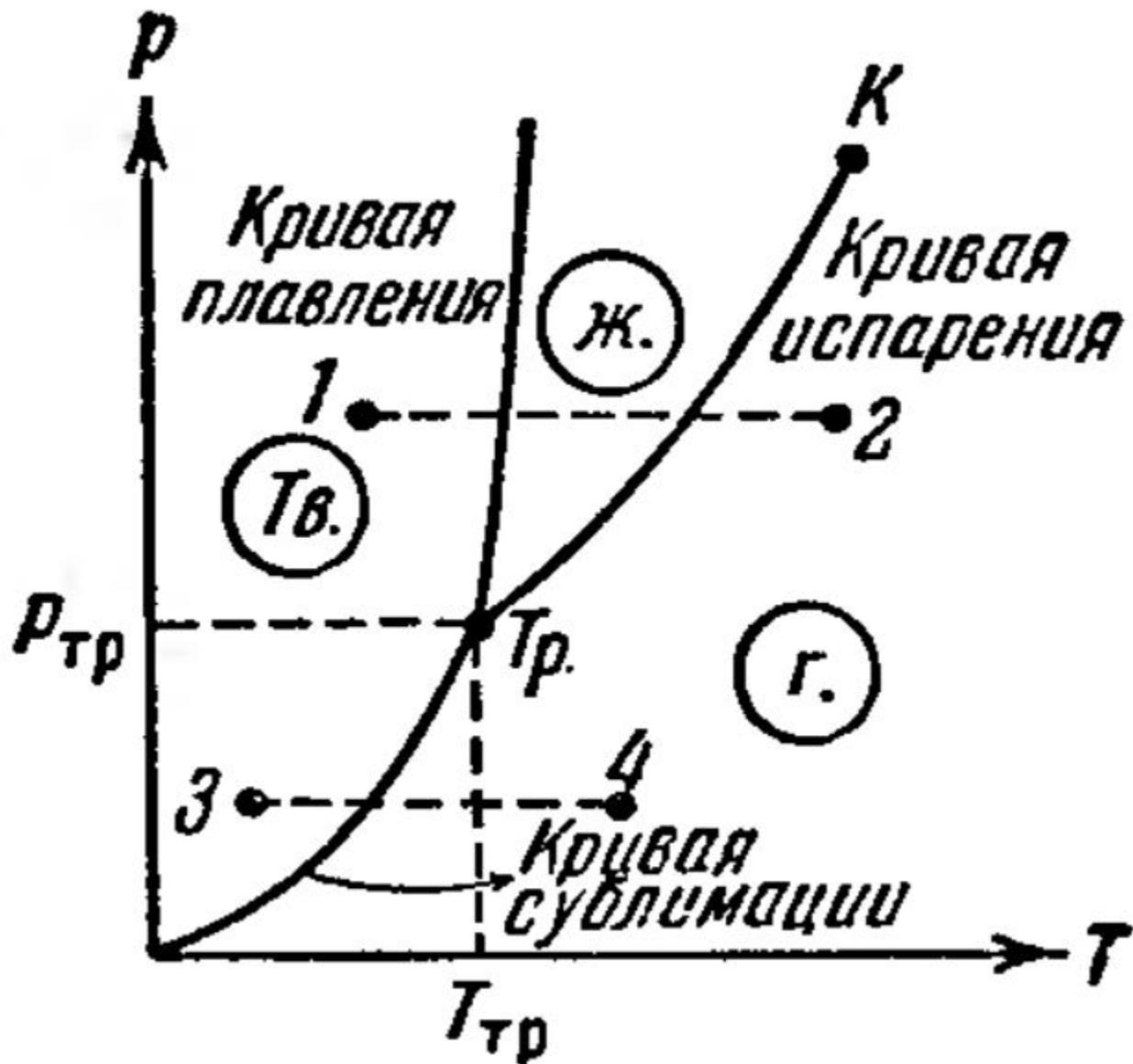
Первое из этих условий означает **равенство температур** и с разных сторон границы раздела фаз:

$$T_1 = T_2 = T .$$

Второе условие не обязательно соответствует равенству давлений и с разных сторон границы раздела, так как сама эта граница, в случае, если её форма не представляет собой плоскости, может создавать дополнительное межфазное давление . Поэтому в общем случае условие механического равновесия имеет вид:

$$P_2 = P_1 + \Delta P_{12} ,$$

где: ΔP_{12} - дополнительное давление создаваемое границей раздела



В отличие от удельных термодинамических потенциалов, величины которых на границе раздела фаз одинаковые, **при фазовых превращениях производные этих потенциалов в различных фазах могут быть различными.** Если первые производные удельных термодинамических потенциалов для различных фаз не равны между собой, то это **ФП первого рода.**

Если при фазовом превращении первые производные удельных термодинамических потенциалов для различных фаз одинаковы, а вторые производные различны, то такие превращения называются **фазовыми переходами второго рода.**

Изотермы уравнения Ван-дер-Ваальса

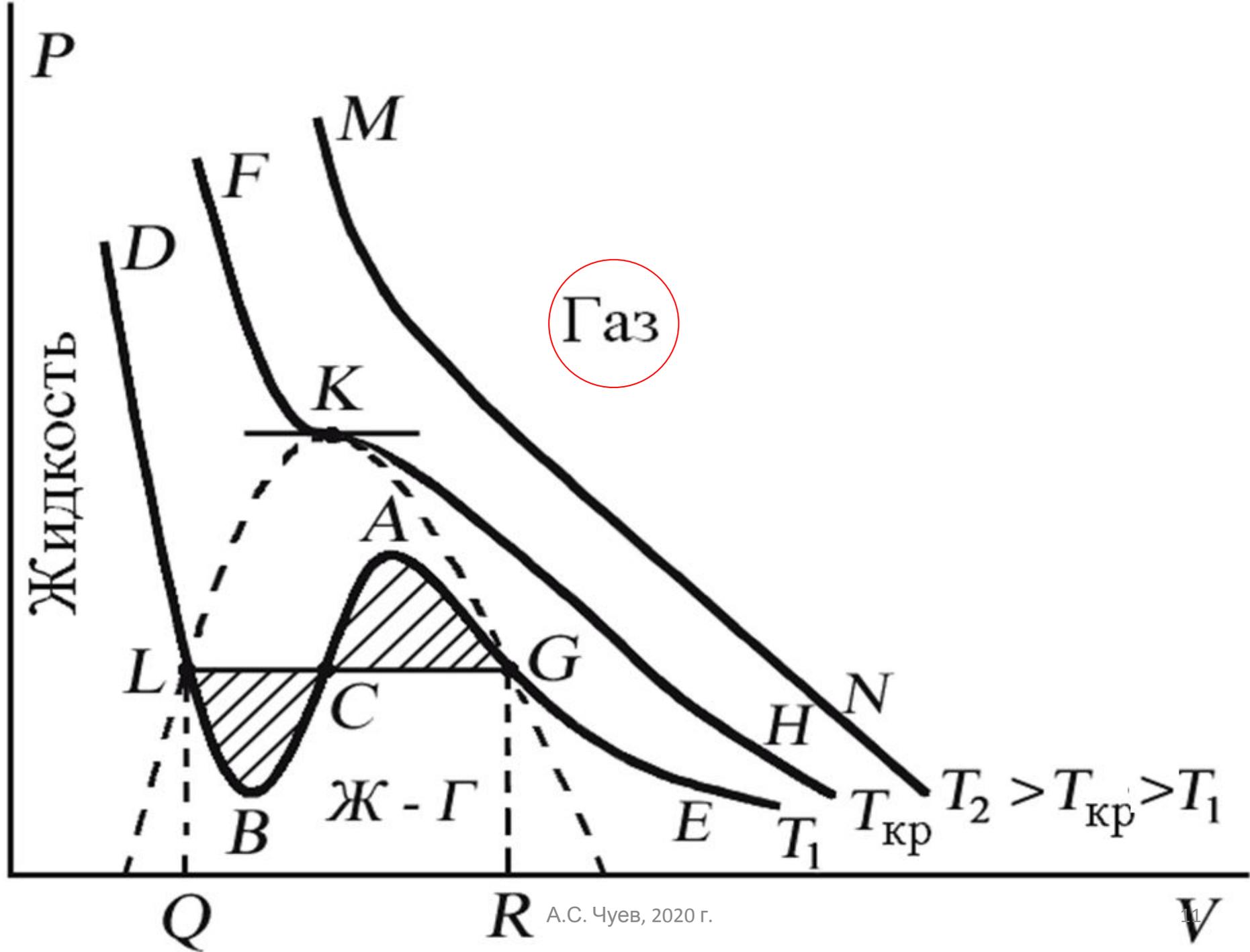
Проанализируем **изотермы** уравнения Ван-дер-Ваальса – зависимости P от V для реального газа при постоянной температуре.

$$(P + v^2 a/V^2)(V - vb) = vRT.$$

Умножив уравнение Ван-дер-Ваальса на V^2 и раскрыв скобки, получим уравнение 3-й степени:

$$PV^3 - (RT + bP) vV^2 + av^2V - abv^3 = 0$$

Поскольку данное уравнение имеет третью степень относительно V , а коэффициенты при V действительны, то оно имеет либо один, либо три вещественных корня – т.е. изобара $P = \text{const}$ пересекает кривую $P = P(V)$ в одной или трех точках, как это изображено на рисунке. Причем с повышением температуры мы перейдем от немонотонной зависимости $P = P(V)$ к монотонной однозначной функции.



При $T > T_{кр}$ вещество находится только в одном – газообразном состоянии

При температуре газа *ниже критической* есть возможность перехода вещества из газообразного в жидкое и наоборот.

При квазистатическом сжатии, начиная с точки G , система распадается на 2 фазы – жидкость и газ, причем плотности жидкости и газа остаются при сжатии неизменными и равными их значениям в точках L и G соответственно.

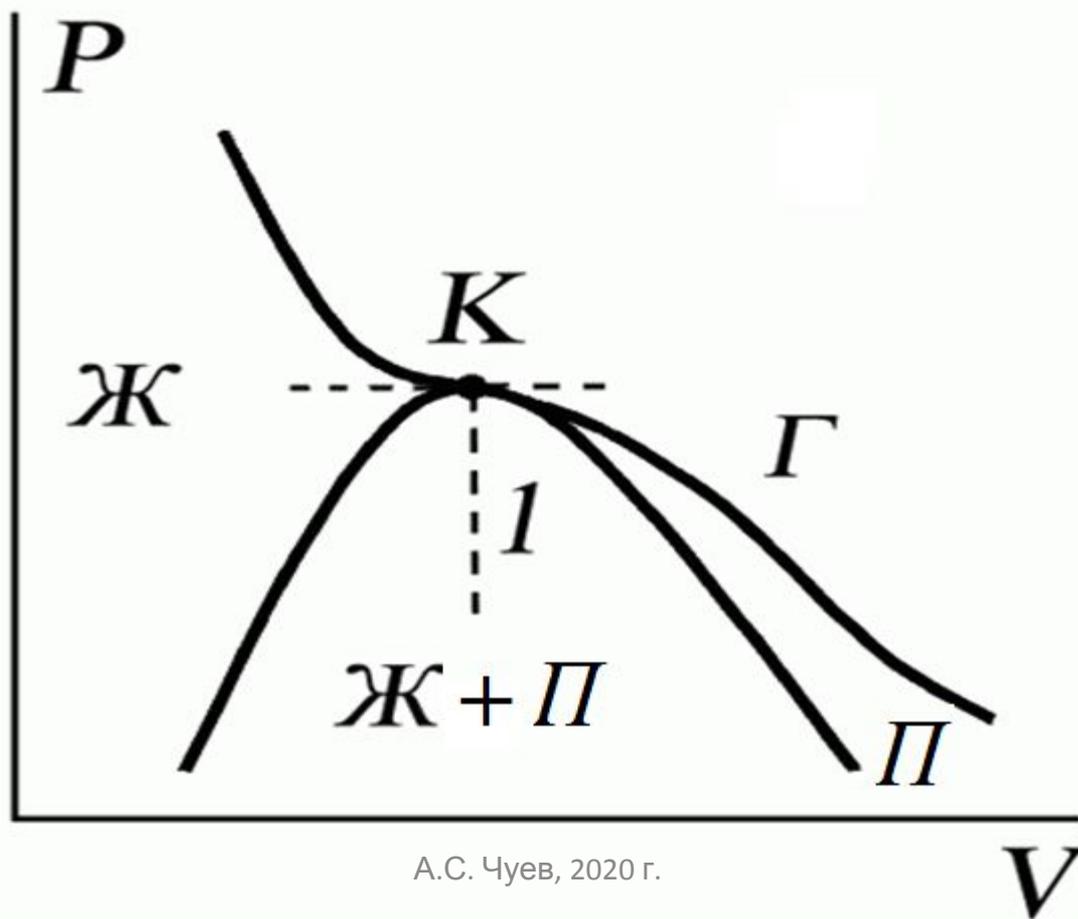
При сжатии количество вещества в газообразной фазе непрерывно уменьшается, а в жидкой фазе – увеличивается, пока не будет достигнута точка L , в которой все вещество перейдет в жидкое состояние.

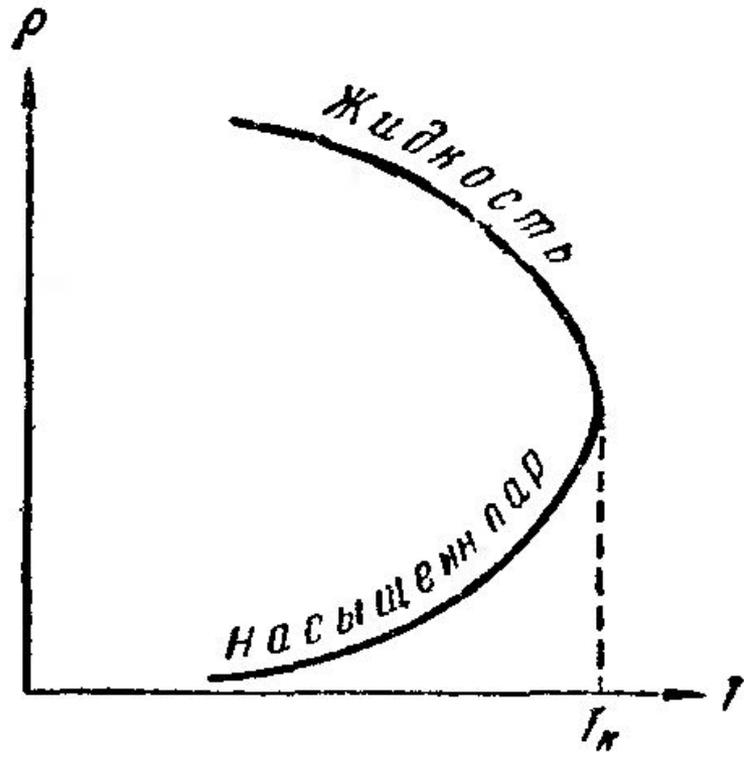
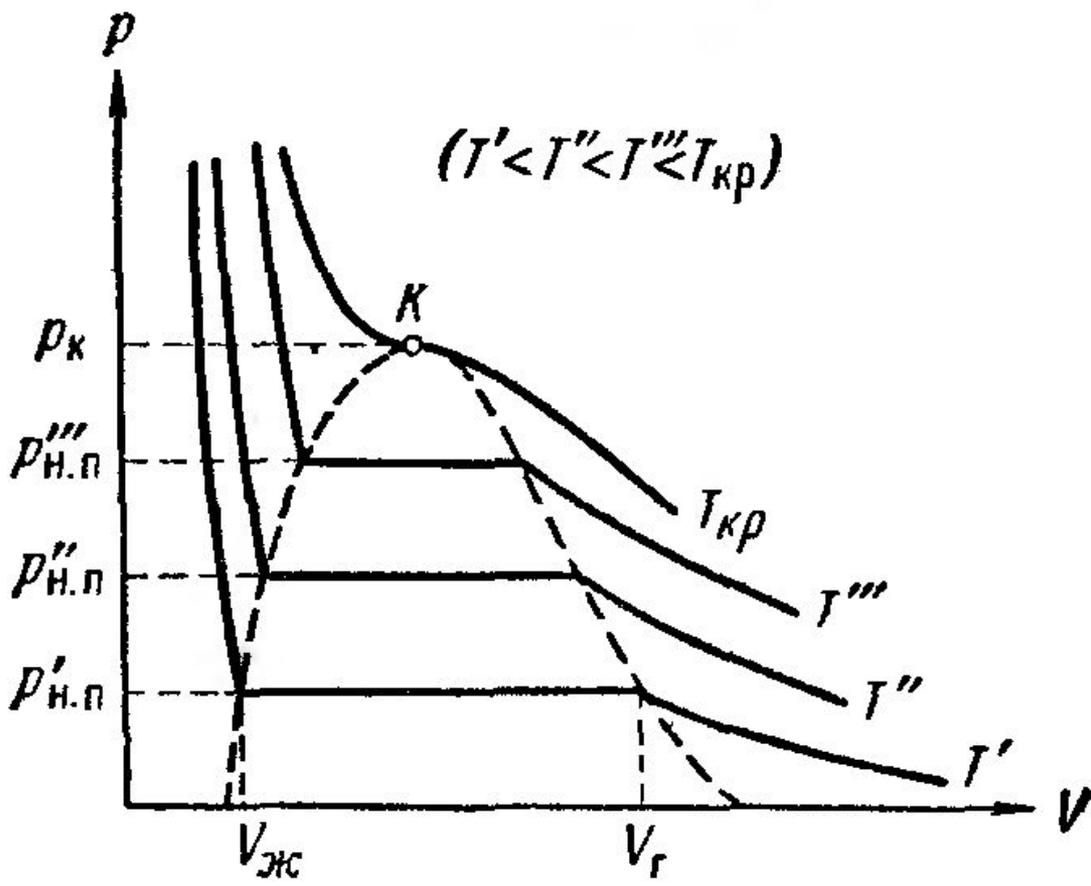
Наличие критической точки на изотерме Ван-дер-Ваальса означает, что **для каждой жидкости существует такая температура, выше которой вещество может существовать только в газообразном состоянии.**

К этому заключению пришел и **Д.И. Менделеев в 1861 г.** Он заметил, что при определенной температуре прекращалось поднятие жидкости в капиллярах, т.е. поверхностное натяжение обращалось в нуль. При той же температуре обращалась в нуль скрытая теплота парообразования.

Такую температуру Менделеев назвал температурой абсолютного кипения. Выше этой температуры, согласно Менделееву, газ не может быть сконденсирован в жидкость никаким увеличением давления.

Критическая точка ***К*** - ***точка перегиба критической изотермы***, в которой касательная к изотерме горизонтальна





Изучим критическую точку

Из уравнения Ван-дер-Ваальса

$$p = \frac{RT}{V_M - b} - \frac{a}{V_M^2} .$$

В критической точке K производная $\partial p / \partial V = 0$,

$$\frac{\partial p}{\partial V} = -\frac{RT}{(V_M - b)^2} + \frac{2a}{V_M^3} = 0.$$

Кроме того, критическая изотерма в точке K исп. перегиб. Это значит, что в точке K вторая производная $\partial^2 p / \partial V^2 = 0$,

$$\frac{\partial^2 p}{\partial V^2} = \frac{2RT}{(V_M - b)^3} - \frac{6a}{V_M^4} = 0.$$

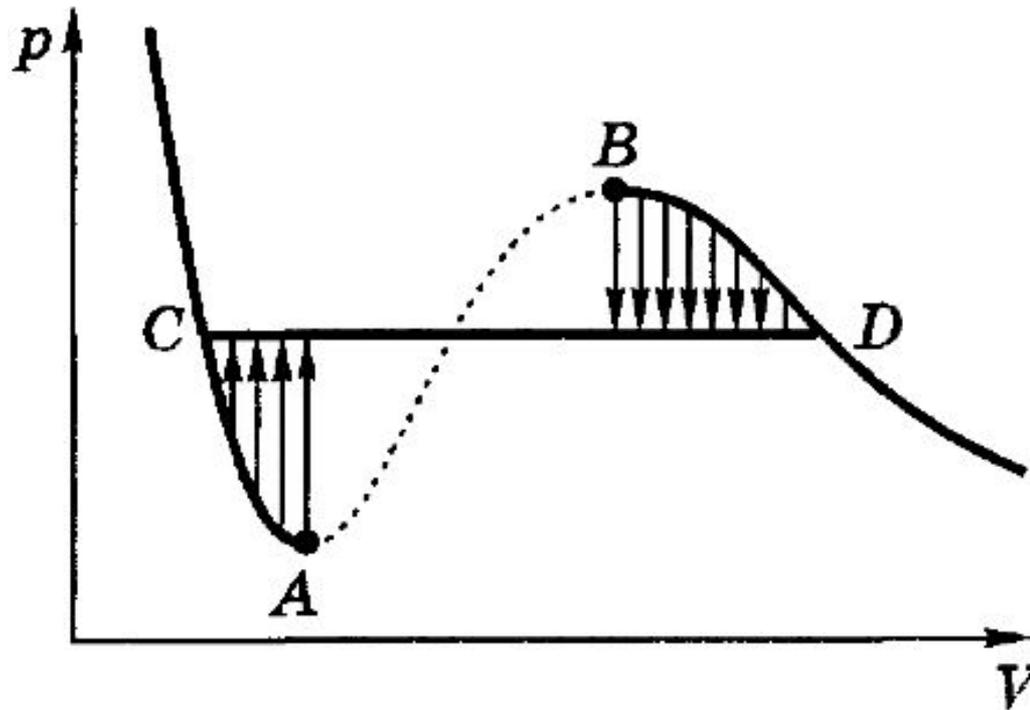
Исключив RT из уравнений, получим:

$$V_{M\text{кр}} = 3b.$$

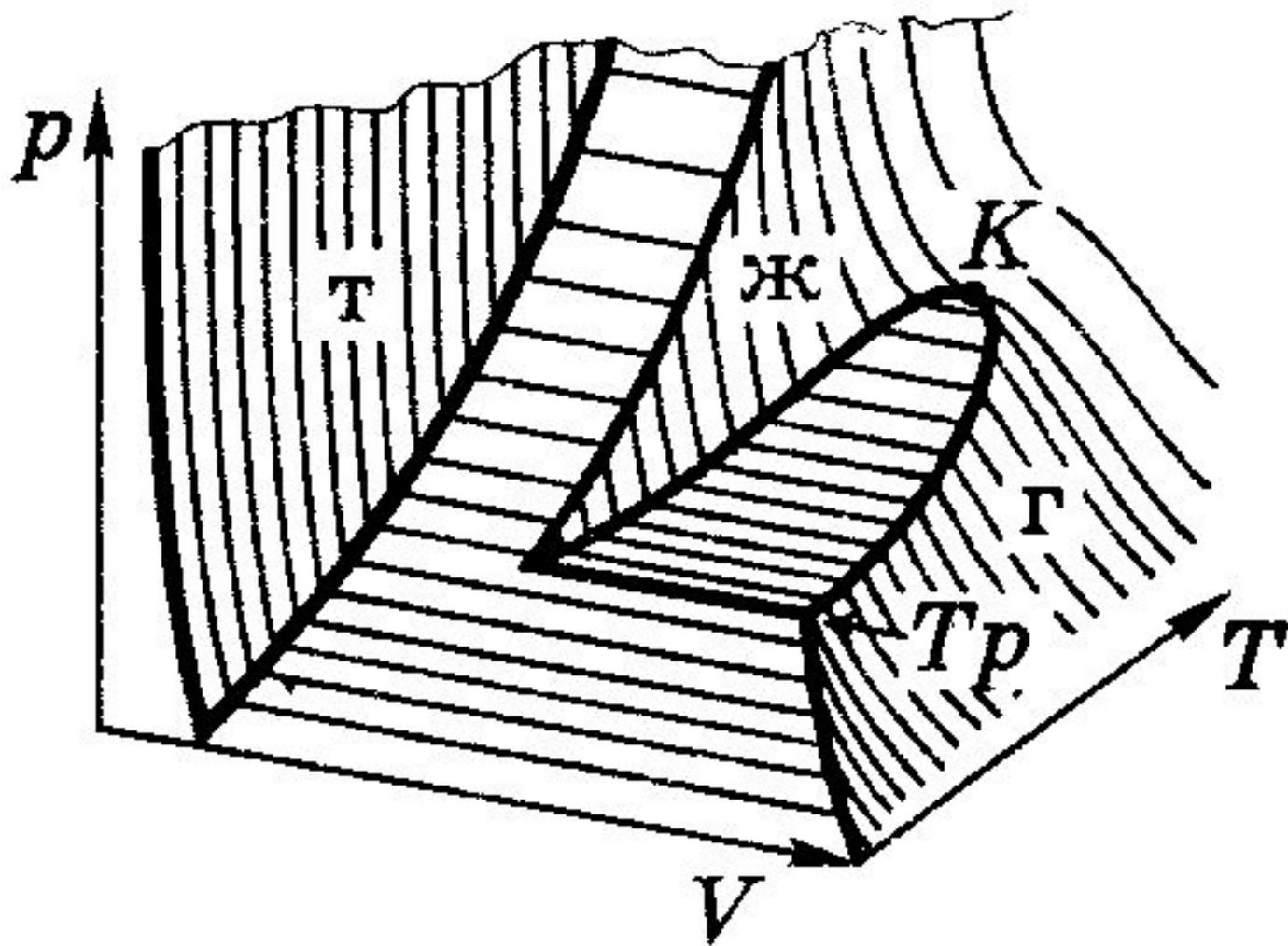
$$p_{\text{кр}} = \frac{a}{27b^2} \cdot \quad T_{\text{кр}} = \frac{8a}{27bR}.$$

Связь критических параметров: $p_{\text{кр}} V_{M\text{кр}} = \frac{3}{8} RT_{\text{кр}}$

Метастабильные состояния.



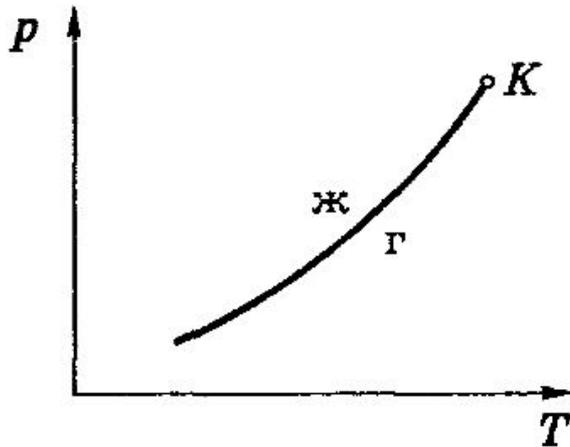
Участок BD описывает состояния, которые называют *пересыщенным паром*, а участок CA — *перегретой жидкостью*.



Энтропия и фазовые переходы.

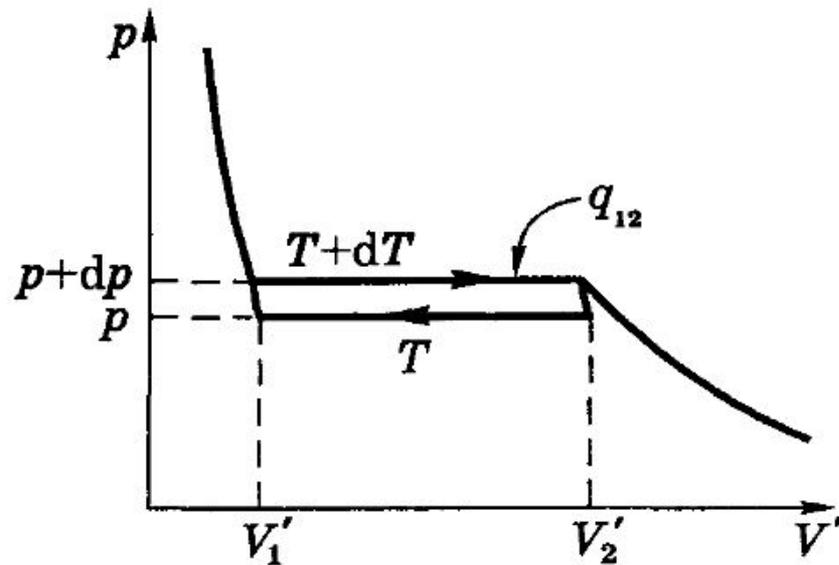
Фазовые переходы. Различают фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Первые сопровождаются *теплотой перехода*.

Вторые – изменением энтропии и теплоемкости.



можно найти *наклон* кривой, т.е. dp/dT

Уравнение Клапейрона–Клаузиуса.



Рассмотрим элементарный цикл Карно в области фазового перехода. Здесь V_1' и V_2' — удельные объемы фазы 1 и фазы 2, т.е. объемы единицы массы, $\text{м}^3/\text{кг}$. По определению,

КПД цикла

$$\eta = \frac{d'A}{q_{12}} = \frac{dp(V_2' - V_1')}{q_{12}},$$

где q_{12} — удельная теплота, сообщаемая единице массы системы при расширении.

С другой стороны:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

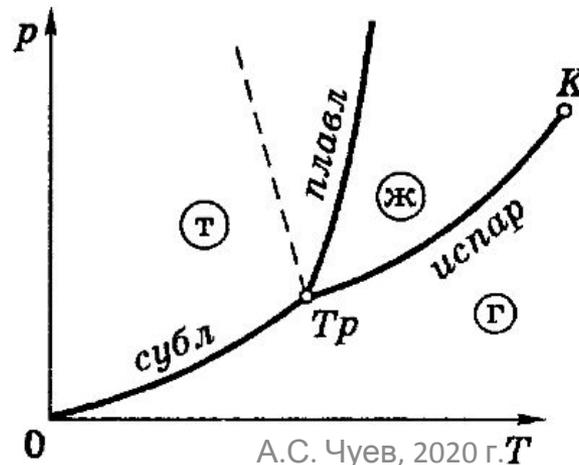
$$\eta = \frac{(T + dT) - T}{T + dT} = \frac{dT}{T}.$$

Сравнением двух формул, получаем:

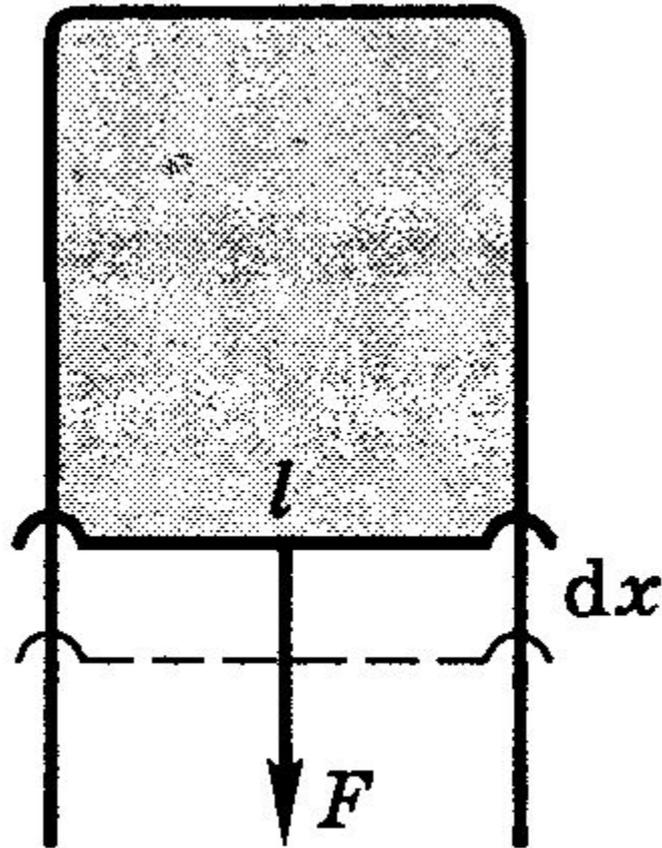
$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(V_2' - V_1')}.$$

Это и есть уравнение Клапейрона–Клаузиуса.

Оно позволяет вычислить наклон линий фазовых переходов.



Сила и энергия поверхностного натяжения



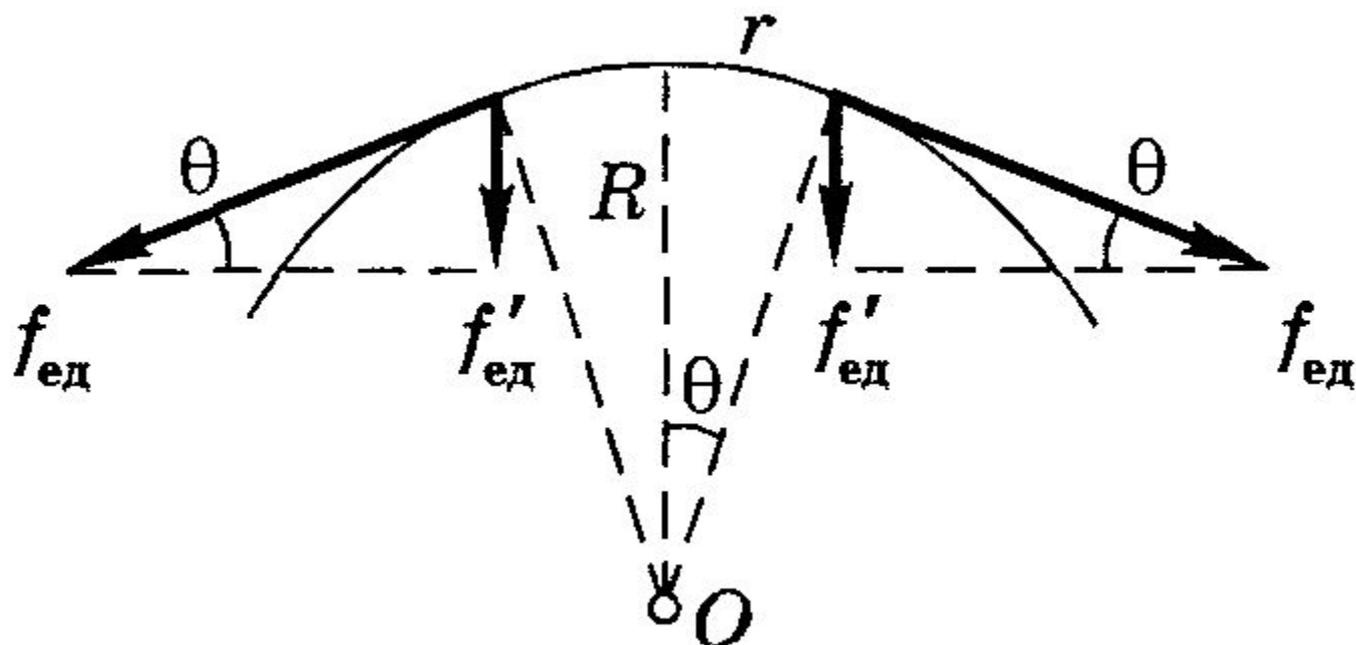
Обозначим силу $f_{\text{ед}}$ поверхностного натяжения, приходящуюся на единицу длины контура, через α :

$$f_{\text{ед}} = \alpha, \text{ Н/м.}$$

α называют *поверхностным натяжением*.

$$d'A = -2\alpha dx = -\alpha dS,$$

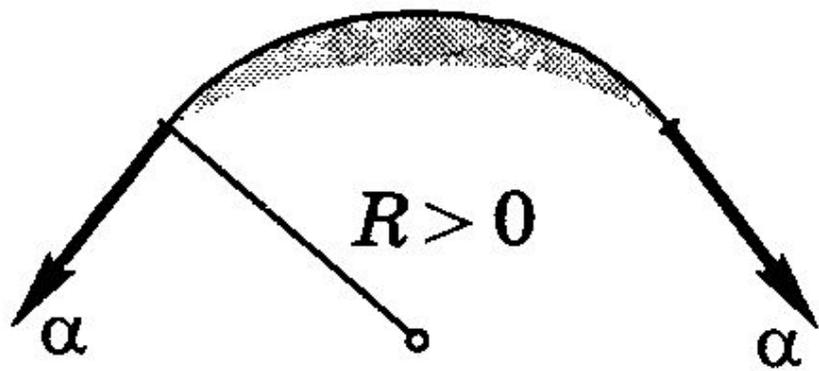
Давление под изогнутой поверхностью.



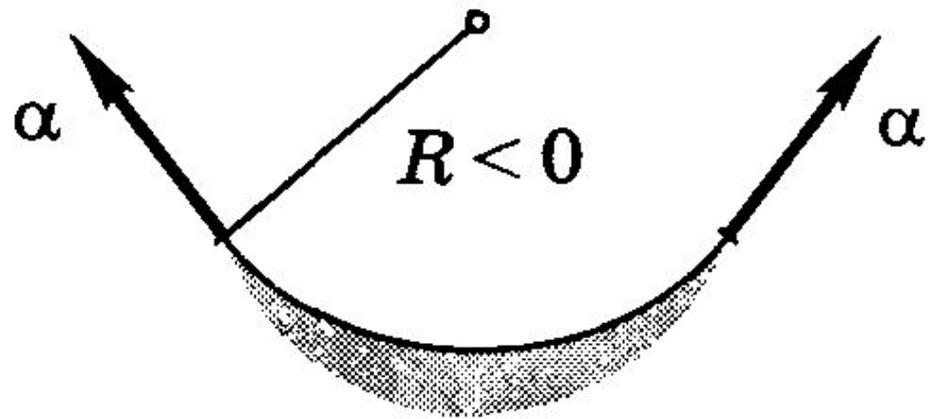
В ЖИДКОСТИ ВОЗНИКАЕТ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ

$$\Delta p = f'_{\text{ед}} \cdot 2\pi r / \pi r^2, \text{ или}$$

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R},$$



$p + \Delta p$



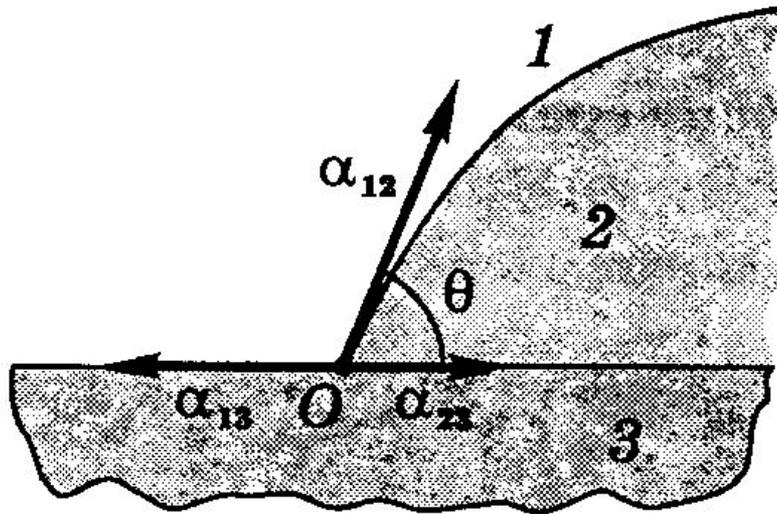
$p - |\Delta p|$

Формула Лапласа:

$$\Delta p = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где R_1 и R_2 — радиусы кривизны в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

Явления на границах между средами.



Условие равновесия:

$$\alpha_{13} = \alpha_{12} \cos \theta + \alpha_{23}.$$

$$\cos \theta = \frac{\alpha_{13} - \alpha_{23}}{\alpha_{12}}$$

где θ – *краевой угол*.

Если $\theta < \pi/2$ жидкость *смачивает*

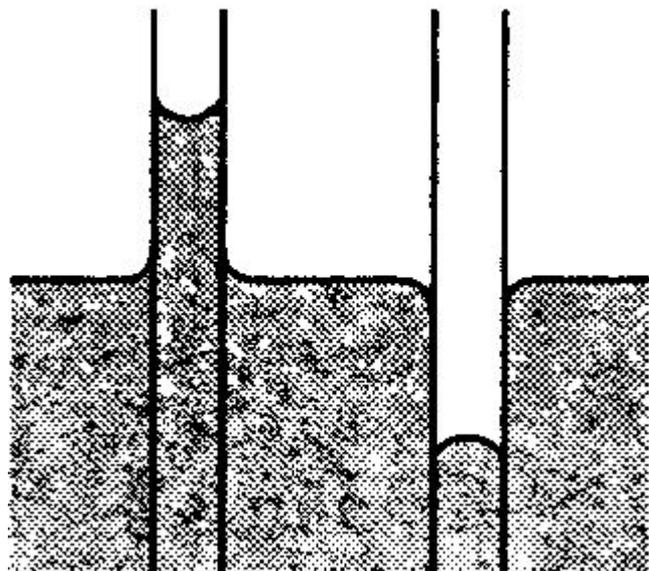
Если $\theta > \pi/2$, то жидкость не смачивает поверхность

$\theta \rightarrow \pi$ мы имеем *полное несмачивание*.

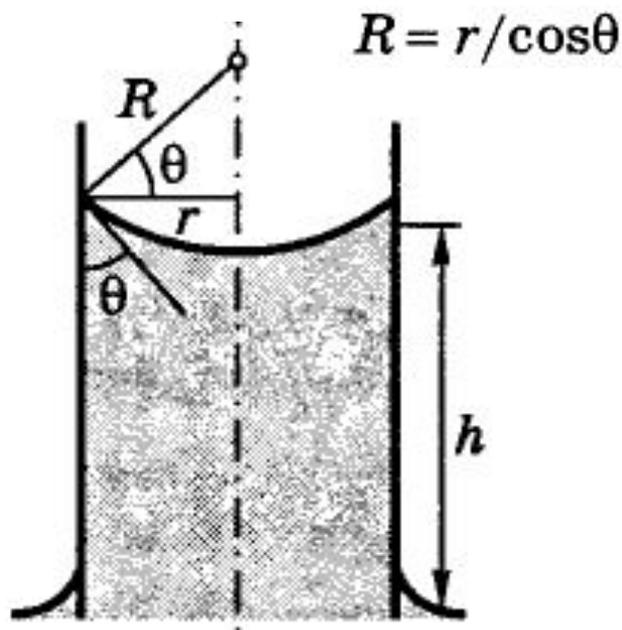
То же самое при: $\alpha_{23} > \alpha_{13} + \alpha_{12}$.

Капиллярные явления

Изогнутые поверхности называют *менисками*.



Если узкую трубку (капилляр) погрузить одним концом в жидкость, то в результате смачивания уровень жидкости в ней будет выше, чем в сосуде, а при несмачивании — ниже



Для смачивающей жидкости
 $(\theta < \pi/2) \quad h > 0$

для несмачивающей
 жидкости $(\theta > \pi/2) \quad h < 0$.

$$\Delta p = \frac{2\alpha \cos \theta}{r},$$

при равновесии

$$\rho g h = -\frac{2\alpha \cos \theta}{r}.$$

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g r}.$$

О диссипативных структурах

Основные понятия теории сложности (кибернетической эпистемологии)

Диссипативная структура

это неравновесная термодинамическая система, которая при определённых условиях, поглощая энергию из окружающего пространства, может совершать качественный скачок к усложнению, либо разрушаться

Такой скачок не может быть предсказан,
исходя из классических законов статистики

Диссипативные системы обладают следующими общими свойствами:

- для них характерно выделенное направление времени,
- они не инвариантны относительно обращения времени,
- они не сохраняют объем фазового пространства,
- все диссипативные процессы приводят к **положительному производству энтропии.**

Энтропия – мера беспорядка

- В случае *замкнутых диссипативных систем* энтропия системы непрерывно возрастает. Рост энтропии устанавливает направление протекания процесса, «стрелу времени».
- *Диссипация энергии в открытой системе*, обусловленная процессами выхода энергии из системы, например, в виде излучения, может приводить к уменьшению энтропии рассматриваемой системы при увеличении полной энтропии системы и окружающей среды.

Основные положения теории диссипативных структур:

1) базовые структуры жизни, которые поддерживают себя в далеком от равновесия устойчивом состоянии и могут развиваться.

2) свойства: а) **неравновесность**, б) **нелинейность**, в) **неопределенность**, г) **устойчивость на определенном временном отрезке**.

3) **островки порядка в мире беспорядка**, поддерживающие и даже повышающие свой порядок за счет увеличения беспорядка в окружающей среде.

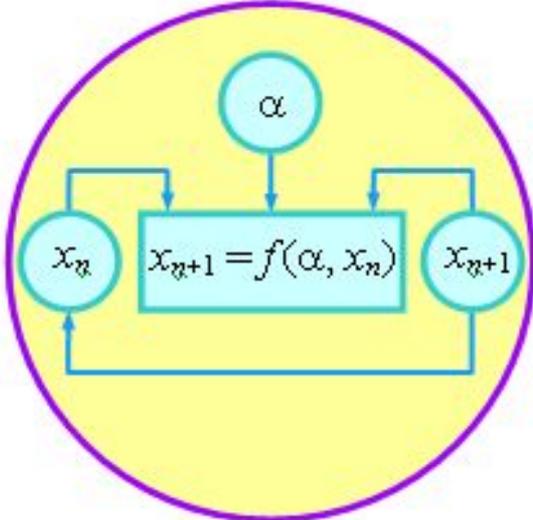
4) **способны к самоорганизации**. Это спонтанное зарождение новых структур и новых форм поведения в далеких от равновесия открытых системах, которые характеризуются появлением внутренних **петель обратной связи** и математически описываются нелинейными уравнениями.

5) проходят **точки бифуркации**. Это **порог устойчивости**, где диссипативная структура может либо разрушиться, либо прорваться к одному из новых состояний порядка. Энтропия приобретает **отрицательное** значение и система скачком переходит в новое стационарное состояние.

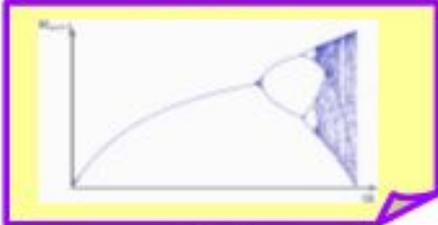
СИНЕРГЕТИКА

Почему возникают диссипативные структуры?

Термодинамика необратимых процессов

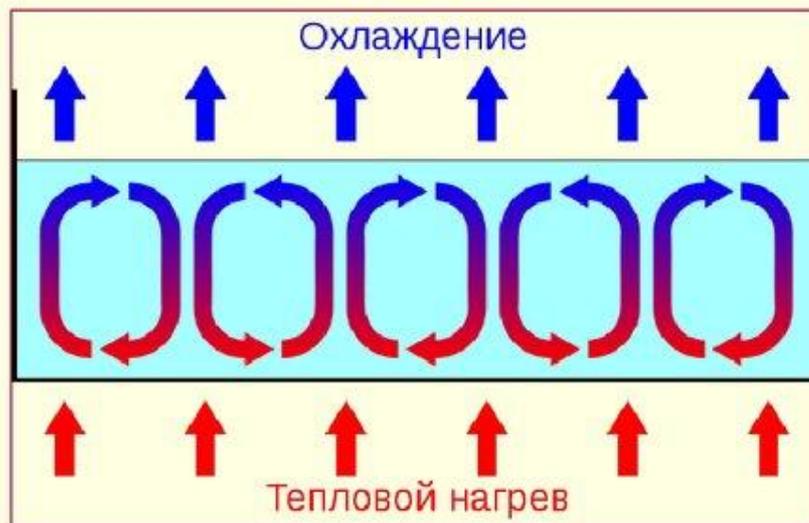


Каков сценарий образования диссипативных структур?



Неравновесная (или стационарная) открытая система - **диссипативная система**

- **Диссипативная система** - открытая система, находящаяся вдали от термодинамического равновесия.
- Возникает в неравновесной среде при условии диссипации (рассеивания) энергии, которая поступает извне.
- (Требует для возникновения большого количества энергии)
- Диссипативная система характеризуется спонтанным появлением сложных структур (жизнь, разум).



Ячейки Бенара

- возникновение упорядоченности в виде конвективных ячеек в слое вязкой жидкости, равномерно подогреваемой снизу.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

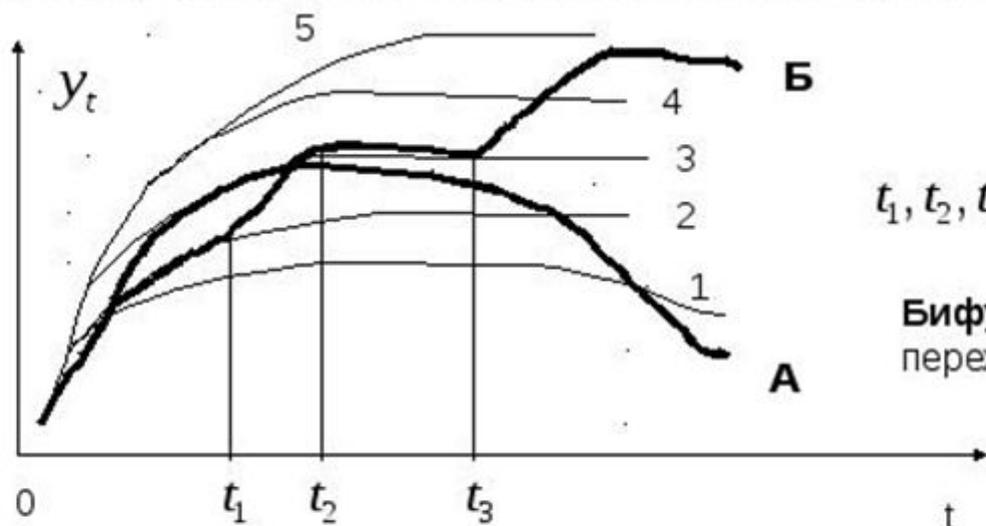
Самоорганизация, эволюция, бифуркация, аттрактор

Самоорганизация – процесс эволюции сложных систем, процесс рождения из физического хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с новыми свойствами.

Различают **причинный** и **целевой** (направляемый) способ самоорганизации.

Причинный способ стихийной самоорганизации заключается в том, что упорядоченные структуры возникают спонтанно (без каких либо внешних воздействий и цели), как эффект кооперации между внутренними элементами системы в неустойчивых состояниях.

Целевой способ самоорганизации заключается в том, что рождение устойчивых упорядоченных структур – **аттракторов** обуславливается действием внешних факторов. Аттрактор системы часто трактуется как цель, что и определяет и направляет дальнейшее развитие системы.



Y_t - параметр состояния системы

t_1, t_2, t_3 - точки бифуркации (моменты перехода системы в новое состояние) .

Бифуркация – потеря стабильности системы переход ее на новую траекторию.

Рис. Множество возможных аттракторов (1-5) и фактических траекторий развития системы (А, Б)

Консервативные и неконсервативные силы



Примеры: сила тяжести – консервативная сила

сила трения – неконсервативная сила

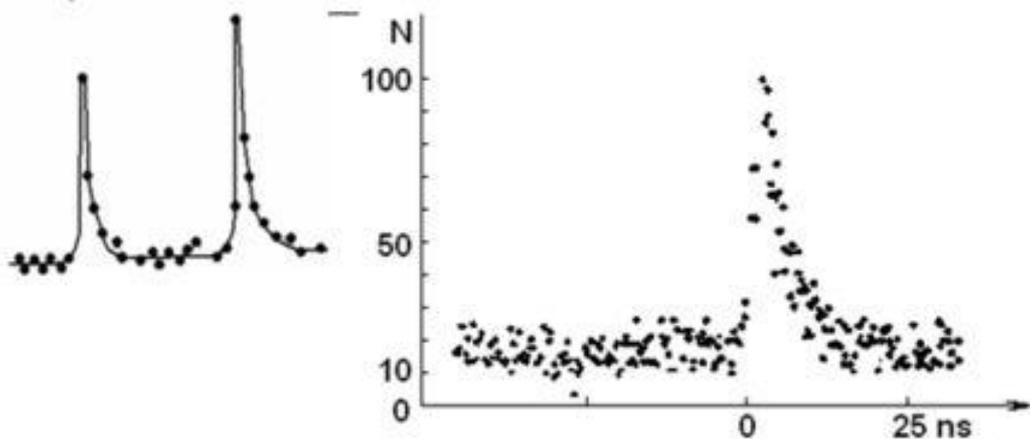
Определение:

Консервативные силы – это силы,

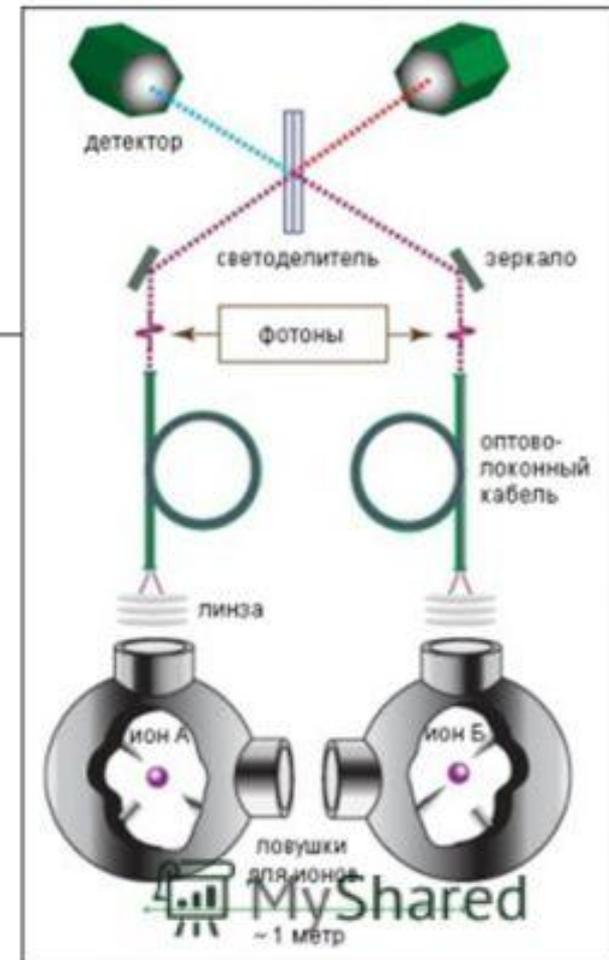
- 1) которые зависят только от координат материальных точек;
- 2) работа которых определяется только начальным и конечным положениями системы и не зависит от пути.

Нелокальность, квантовая запутанность и телепортация

- *Квантовая запутанность.* Quantum entanglement - одно из названий, среди таких как: соотношение неопределённостей, связанность, нелокальность.
- *Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена.*
- *Кот Шрёдингера.*
- *Теорема Белла.*
- *Телепортация.*
- *Эксперименты с квантовой запутанностью.*



Число зарегистрированных пар фотонов как функция задержки между моментами регистрации двух фотонов. Плоский участок отвечает случайным совпадениям между некоррелированными фотонами, пик соответствует квантовой запутанности (Aspect, 2002).





В. Л. Янчин

В. Л. Янчин

КВАНТОВАЯ НЕЛОКАЛЬНОСТЬ

КВАНТОВАЯ НЕЛОКАЛЬНОСТЬ



URSS

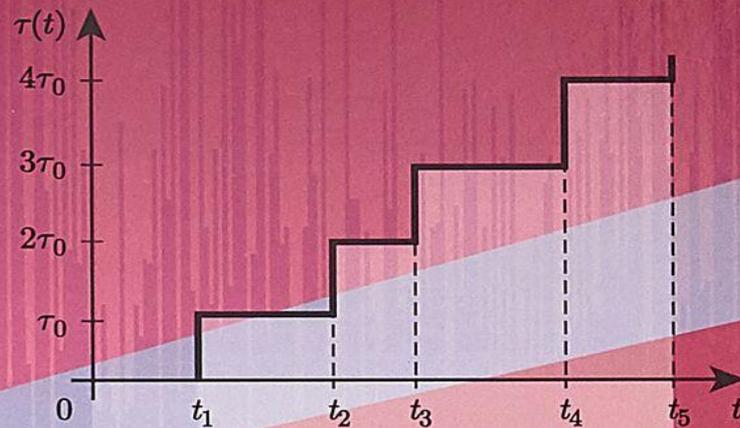
СЕРИЯ
REFERTO



URSS

С. М. КОРОТАЕВ
А. Н. МОРОЗОВ

НЕЛОКАЛЬНОСТЬ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ – ПРИЧИННОСТЬ И ВРЕМЯ



$$v_{\tau} \left(\frac{\partial^2 v_{\tau}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_{\tau}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_{\tau}}{\partial z^2} \right) = -\frac{c}{k} \rho_S(x, y, z)$$



С. М. КОРОТАЕВ
 А. Н. МОРОЗОВ

**НЕЛОКАЛЬНОСТЬ
 ДИССИПАТИВНЫХ
 ПРОЦЕССОВ –
 ПРИЧИННОСТЬ
 И ВРЕМЯ**

ЕМОКАЛЬНОСТЬ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор кафедры Физики и Математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Институт Физики Академии наук Республики Беларусь, Институт Физики Национального университета Белоруссии, Институт Физики Национального университета «Беларусь А».

Академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор кафедры Физики и Математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Институт Физики Академии наук Республики Беларусь, Институт Физики Национального университета Белоруссии, Институт Физики Национального университета «Беларусь А».

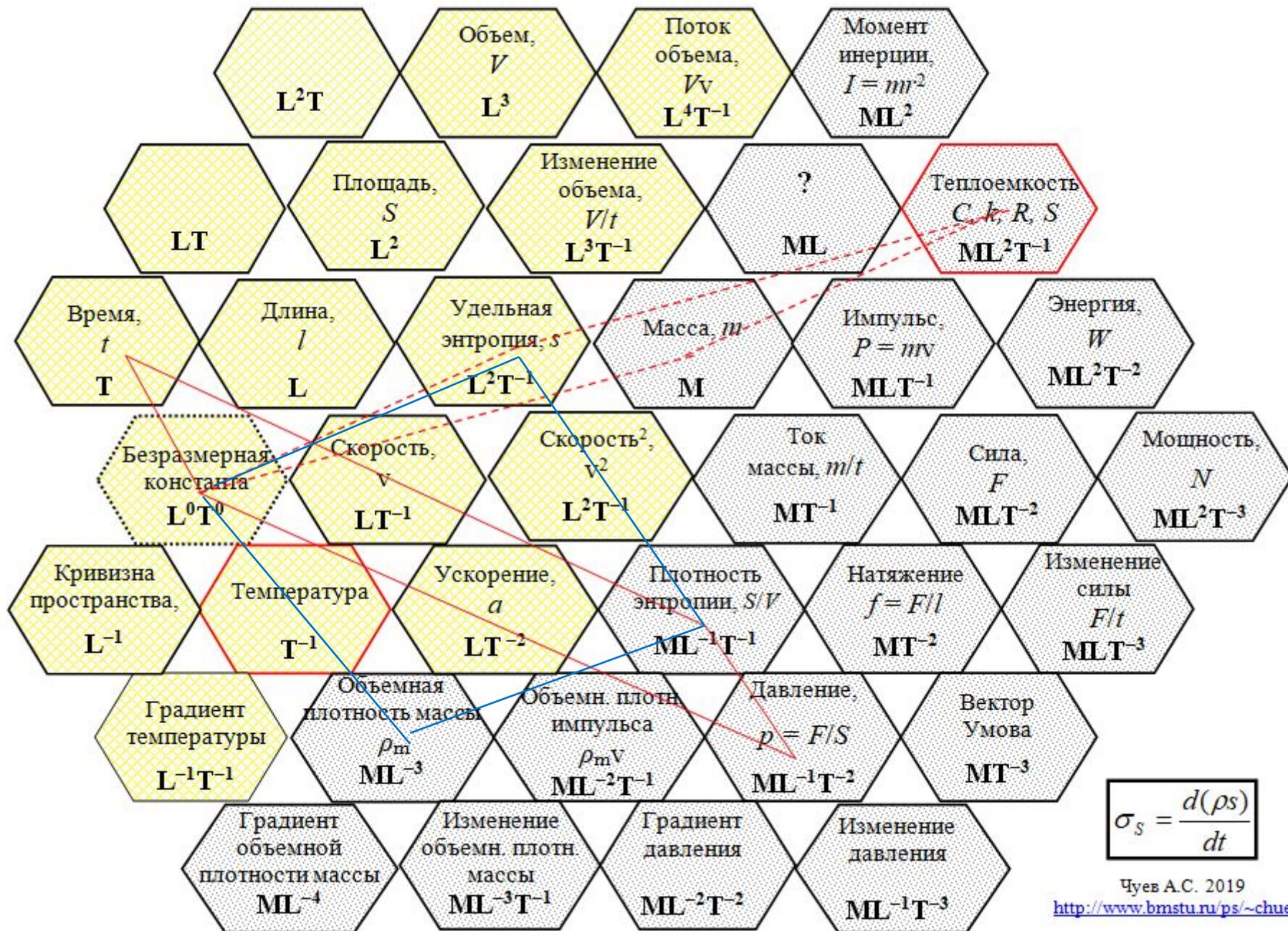


Андрей Николаевич Чуев
 доктор физико-математических наук, профессор кафедры Физики и Математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Институт Физики Академии наук Республики Беларусь, Институт Физики Национального университета Белоруссии, Институт Физики Национального университета «Беларусь А».

НЕЛОКАЛЬНОСТЬ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ – ПРИЧИННОСТЬ И ВРЕМЯ



Размерность производства энтропии = давлению

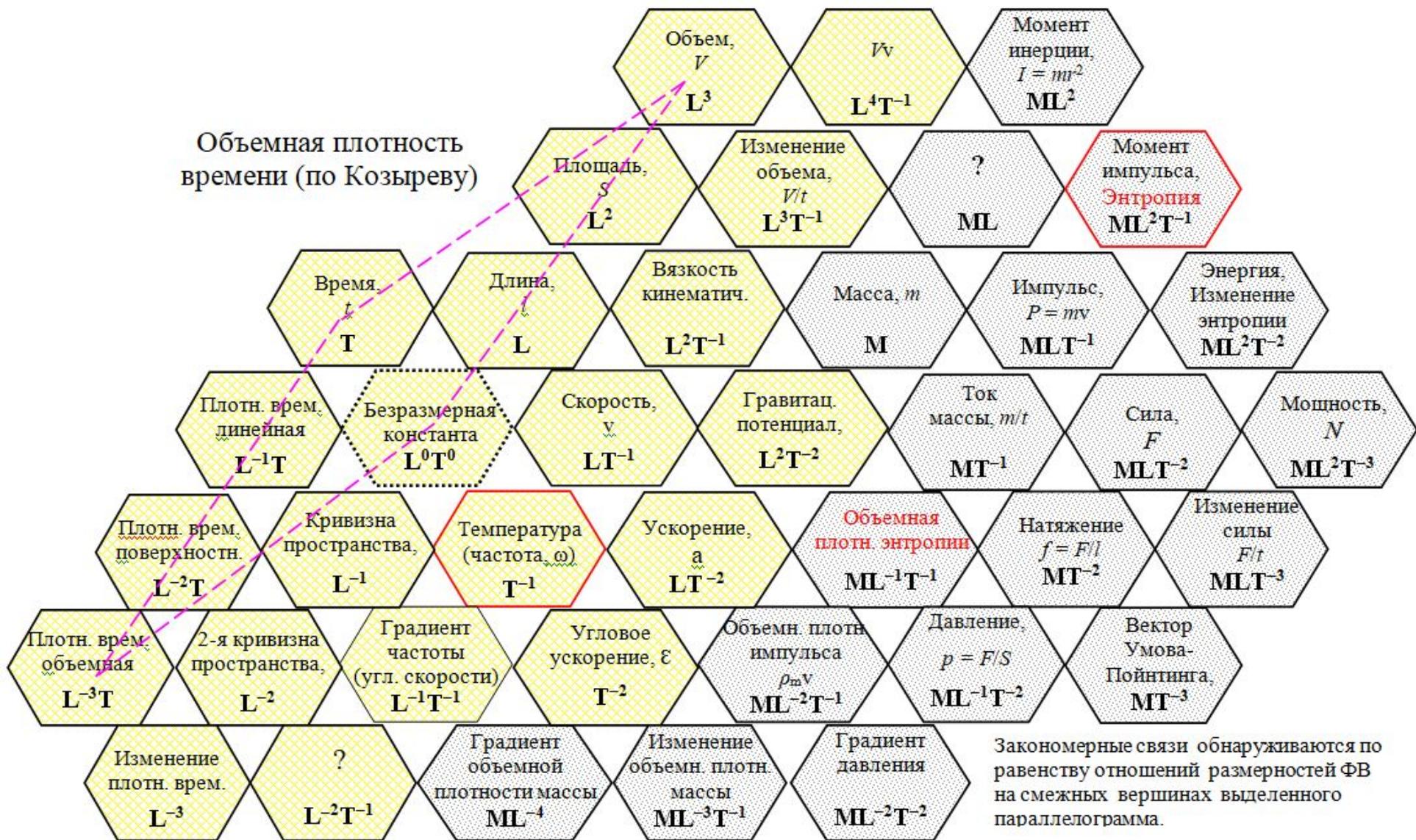


$$\sigma_s = \frac{d(\rho s)}{dt}$$

Чуев А.С. 2019

<http://www.bmstu.ru/ps/~chuev/>

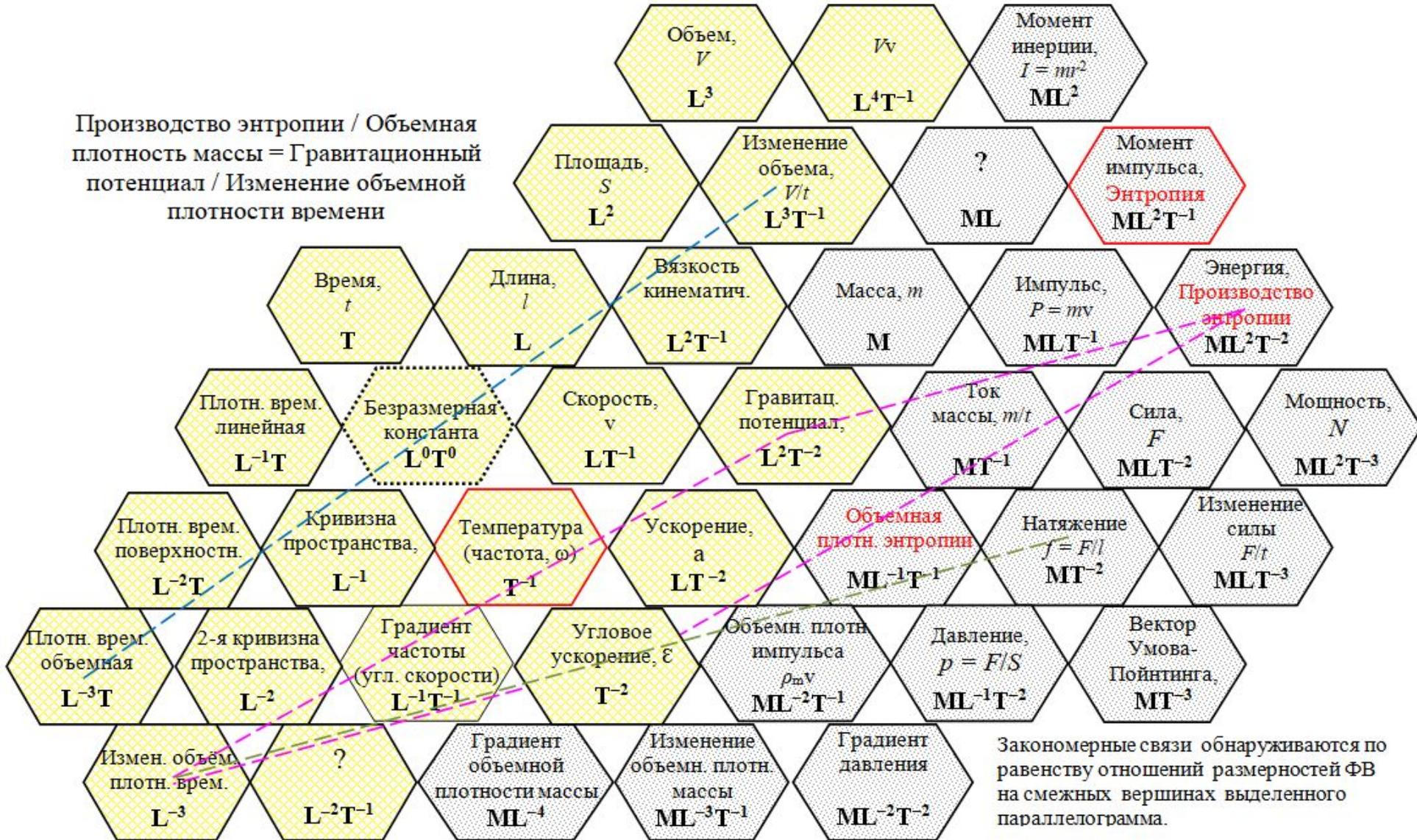
Объемная плотность
времени (по Козыреву)



Закономерные связи обнаруживаются по равенству отношений размерностей ФВ на смежных вершинах выделенного параллелограмма.

Производство энтропии и гравитация

Производство энтропии / Объемная плотность массы = Гравитационный потенциал / Изменение объемной плотности времени



Закономерные связи обнаруживаются по равенству отношений размерностей ФВ на смежных вершинах выделенного параллелограмма.

Эволюционно-синергетическая парадигма

- В настоящее время можно говорить о наступлении нового, **постнеклассического** этапа в развитии науки – формирование **эволюционно-синергетической парадигмы**. Ее важнейшими составляющими являются:
- **Принцип глобального эволюционизма** – невозможность существования любых рождающихся во Вселенной структур вне общего эволюционного процесса;
- **Представление об универсальности общих законов развития** как проявления самоорганизации в сложных природных и социальных системах.

Рост Земли

<https://www.youtube.com/watch?v=mhdoRqoaJal&list=PL1LsYSDxOpTJpMIPAp-RaDCGKis9O89O>

The screenshot shows a YouTube browser window. The address bar contains the URL: [youtube.com/watch?v=mhdoRqoaJal&list=PL1LsYSDxOpTJpMIPAp-RaDCGKis9O89O](https://www.youtube.com/watch?v=mhdoRqoaJal&list=PL1LsYSDxOpTJpMIPAp-RaDCGKis9O89O). The browser's address bar also shows the text: `youtube.com/playlist?list=PL1LsYSDxOpTJpMIPAp-RaDCGKis9O89O_`. The browser's address bar also shows the text: `Mail.Ru: почта, пои... МГТУ им. Н. Э. Бау... Научно-учебный к... Тестовый сайт Яндекс Рамблер — медий... Железнодорожная... GISMETEO: Погода...`

The YouTube interface shows the channel name "YouTube RU" and a search bar with the text "Введите запрос". The main video player shows a thumbnail of Earth from space with the text "ВОСПРОИЗВЕСТИ ВСЕ". Below the video player, the title "Рост планет с увеличением массы" is displayed, along with the text "7 видео • Обновлено 16 мая 2020 г." and "Открытый доступ".

The playlist contains three videos:

- Расширение земли.** by Владимир Кудлай. Duration: 3:33. Thumbnail: Earth from space.
- Планета Земля расширяется, раньше она была вдвое меньше.** by Веб Рассказ. Duration: 18:45. Thumbnail: Four globes of increasing size.
- Как Земля Под Нами Расширяется? Теория Ларина** by Global Error. Duration: 12:03. Thumbnail: Text "КАК ЗЕМЛЯ ПОД НАМИ РАСШИРЯЕТСЯ? ТЕОРИЯ ЛАРИНА" and globes.

The bottom video in the playlist is partially visible: **Земля РАСТЁТ !!! -не по дням ,а по часам:)))** with a thumbnail showing "Expanding Earth".

Конец лекции 17 и раздела физики: МКТ и термодинамика