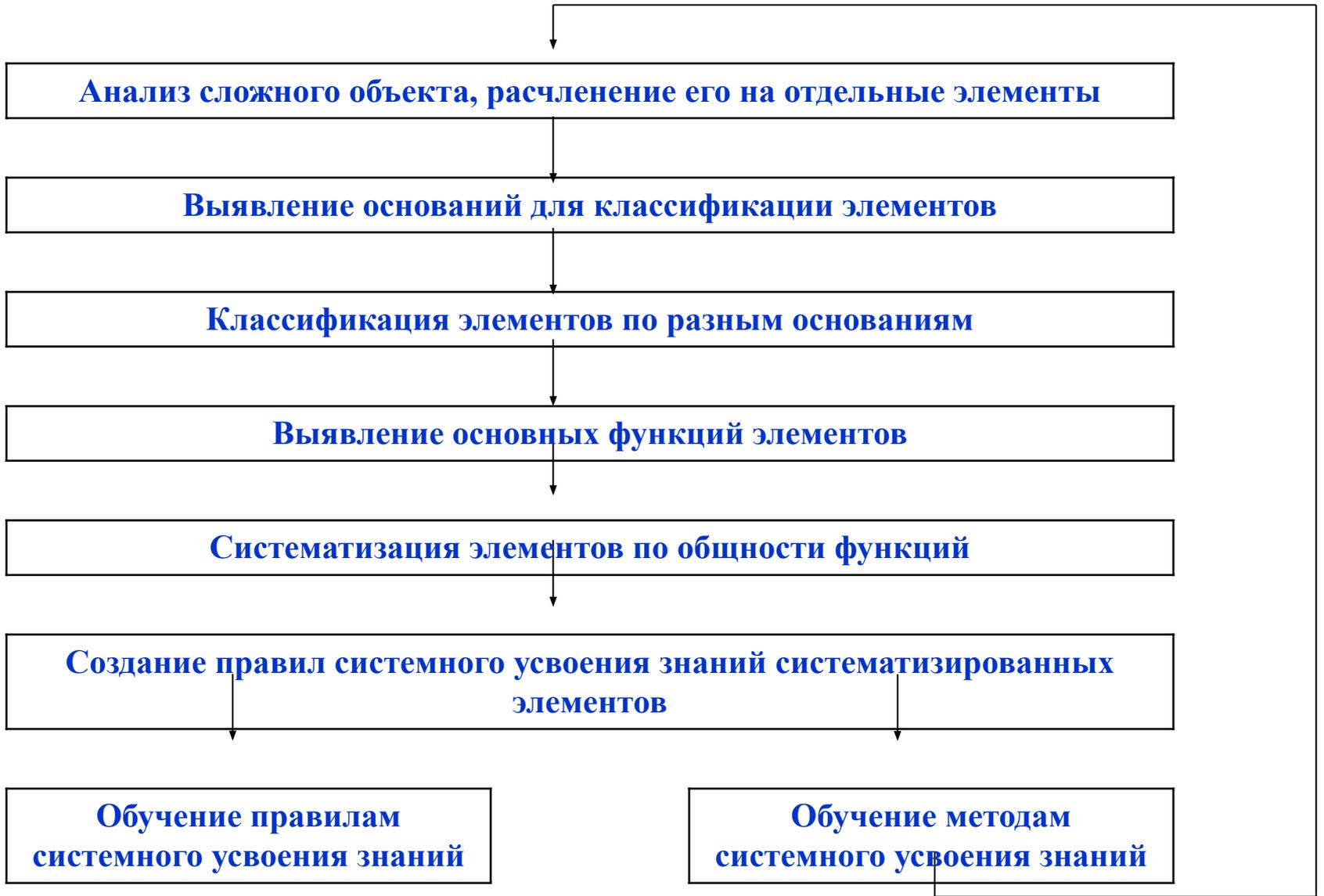


Общие вопросы ТиМОФ

- Чему учить? Содержание образования
- Зачем учить? Педагогические цели
- Как учить? Методы обучения, методические приёмы, средства обучения

Структура и содержание учебного материала

Мыслительная деятельность человека
в процессе познания сложных объектов
окружающего мира



Вывод

**Школьников (и студентов)
надо учить преобразовывать
учебный материал**

**(Анализировать, классифицировать,
систематизировать, участвовать в разработке
правил системного усвоения учебного материала)**

Определение задачи

- Задача – система информационных процессов, несогласованное или даже противоречивое соотношение между которыми вызывает необходимость в их преобразовании

Задачный подход к организации учебного процесса

Цель – способствовать формированию продуктивного, самостоятельного мышления учащихся – учить решать задачи

Учить решать задачи – учить различным способам преобразования учебного материала

Структурное преобразование учебного материала

- Переход от одной последовательности представления элементов знания к другой последовательности
- Изменение элементного состава представляемого знания

Элементы содержания образования

- Знания
- Опыт деятельности в стандартных ситуациях
- Опыт творческой деятельности
- Эмоционально-чувственный опыт
- Система ценностных ориентаций

Знания в структуре содержания образования

- **факты повседневной действительности и научные факты**, без знания которых нельзя понять законы науки, формировать убеждения, доказывать и отстаивать идеи;
- **основные термины и понятия**, без которых нельзя понять ни одного текста, ни одного высказывания;
- **основные законы науки**, раскрывающие связи и отношения между разными объектами и явлениями действительности;
- **теории**, содержащие систему научных знаний об определенной совокупности объектов и методах объяснения и предсказания явлений данной предметной области;
- знания о способах деятельности, методах познания и истории получения знания, т.е. **методологические знания**;
- **оценочные знания**, знания о нормах отношения к различным явлениям жизни»

Знания в структуре содержания образования

- Предметные (и внепредметные)

слова, формулы, рисунки, схемы, чертежи, единицы величин, ...

- Методологические (общенаучные, общеучебные)

разного рода правила, алгоритмы, алгоритмические предписания, ...

Формулы по механике

$$S = x_2 - x_1; \quad \bar{v} = \frac{\bar{S}}{t}; v_{\text{cp.}} = \frac{L}{t}; \quad \bar{a} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t}; \quad \omega = \frac{\varphi}{t};$$
$$\bar{F} = m \cdot \bar{a}; \quad \bar{p} = m \cdot \bar{v}; \quad \bar{K} = \bar{F} \cdot t; \quad M = F \cdot d;$$

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha; \quad E = m \cdot g \cdot h; \quad E = \frac{m \cdot v^2}{2}; \quad N = \frac{A}{t};$$

$$\eta = \frac{A}{A_0} 100\%.$$

$$\bar{S} = \bar{v}_0 \cdot t + \frac{\bar{a} \cdot t^2}{2};$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2a \cdot S;$$

$$a_{\text{цс.}} = \frac{v^2}{R};$$

$$\bar{F}(x, v) = m \cdot \bar{a};$$

$$\bar{F}_{1-2} = -\bar{F}_{2-1};$$

$$F = -kx;$$

$$F = \mu \cdot N;$$

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2};$$

$$\bar{P} = m \cdot \bar{g};$$

$$\sum M = \text{const};$$

$$\sum \bar{p} = \text{const};$$

$$\sum E = \text{const};$$

$$\lambda = \frac{v}{f};$$

$$N = F \cdot v.$$

Основные элементы системы знаний

- а) научные факты;**
- б) понятия (о структурных формах материи, о явлениях, о свойствах тел и величинах, их характеризующих, о методах научного исследования);**
- в) величины;**
- г) законы;**
- д) теории;**
- е) научная картина мира**

Понятие - это знание существенных свойств (сторон) предметов и явлений окружающей действительности, знание существенных связей и отношений между ними.

Научные теории - это развитые системы научных понятий.

Вариант обобщенного плана изучения величины

- Происхождение слова - название и его перевод.
- Характеризуемое этой величиной свойство объекта или явления.
- Что определяет.
- Частные случаи.
- Обозначение.
- Единица.
- Способ измерения.
- Прибор для измерения.
- Связь с другими величинами.
- Интервал измерения.
- Границы применимости.
- Определение.

Обобщенный план изучения величины

- Какое явление характеризует данная величина
- Определение величины
- Обозначение величины
- Определительная формула величины
- Какая это величина: скалярная или векторная
- Что принимают за единицу величины в СИ
- Способы измерения величины
- Примеры величины

Величины

- **Основные**

(Электрический заряд)

- **Производные**

(Скорость
равномерного
прямолинейного
движения)

Формулы по механике

$$S = x_2 - x_1; \quad \bar{v} = \frac{\bar{S}}{t}; v_{\text{cp.}} = \frac{L}{t}; \quad \bar{a} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t}; \quad \omega = \frac{\varphi}{t};$$

$$\bar{F} = m \cdot \bar{a}; \quad \bar{p} = m \cdot \bar{v}; \quad \bar{K} = \bar{F} \cdot t; \quad M = F \cdot d;$$

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha; \quad E = m \cdot g \cdot h; \quad E = \frac{m \cdot v^2}{2}; \quad N = \frac{A}{t};$$

$$\eta = \frac{A}{A_0} 100\%.$$

$$\bar{S} = \bar{v}_0 \cdot t + \frac{\bar{a} \cdot t^2}{2}; \quad v_2^2 - v_1^2 = 2a \cdot S; \quad a_{\text{цс.}} = \frac{v^2}{R};$$

$$\bar{F}(x, v) = m \cdot \bar{a}; \quad \bar{F}_{1-2} = -\bar{F}_{2-1}; \quad F = -kx; \quad F = \mu \cdot N;$$

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}; \quad \bar{P} = m \cdot \bar{g}; \quad \sum M = \text{const};$$

$$\sum \bar{p} = \text{const}; \quad \sum E = \text{const}; \quad \lambda = \frac{v}{f}; \quad N = F \cdot v.$$

Производные величины вида $C=A/V$

- Правило чтения
- Правило выявления физического смысла
- Правило получения единицы величины

Пример правила чтения

Скорость равномерного прямолинейного движения – это физическая величина, равная отношению перемещения, совершаемого телом, ко времени, в течение которого это перемещение совершается (и не зависящая ни от перемещения, ни от времени)

Пример правила выявления физического смысла

Вариант 1

- Скорость равномерного прямолинейного движения – это физическая величина, численно равная перемещению, совершаемому телом за единицу времени

Вариант 2

- Скорость равномерного прямолинейного движения показывает, чему равно перемещение тела за единицу времени

Пример правила получения единицы величины

Чтобы получить единицу скорости
равномерного прямолинейного движения
надо в ее определяющую формулу
 $v=S/t$ подставить единицы перемещения
[S] = 1 м и времени [t] = 1 с. Получаем:
1м/с.

Обобщенный план изучения явления

- Внешние признаки явления
- Условия протекания явления
- Сущность явления механизм, его протекания
- Связь данного явления с другими
- Количественная характеристика явления
- Использование явления на практике
- Способы предупреждения вредного действия явления

Обобщенный план изучения теории

- Эмпирический базис теории
- Идеализированный объект теории
- Основные понятия теории
- Основные положения теории
- Математический аппарат теории
- Круг явлений, объясняемых теорией
- Явления и свойства, предсказываемые теорией
- Опыты, подтверждающие основные положения теории

Вариант обобщенного плана изучения теории

- Исходные опытные факты.
- Идеальный объект или модель.
- Величины, характеризующие модель.
- Основные положения теории-принципы или гипотеза.
- Следствия и частные законы, выводимые из основных положений.
- Экспериментальная проверка следствий.
- Границы применимости.

Схема взаимосвязи исходных фактов, абстрактной модели-гипотезы, теоретических следствий и эксперимента



Вариант обобщенного плана изучения закона

- О чем говорит тот или иной закон?
- Какими опытами, рассуждениями, наблюдениями это подтверждается на практике?
- Какие примеры можно привести в подтверждение этого закона, формулы?
- Где и как используется данный закон?

Вариант обобщенного плана изучения закона

- Математическое выражение и словесная формулировка закона.
- Опытное подтверждение закона.
- Объяснение закона на основе теории (не всегда возможно).
- Границы применимости (не всегда возможно).
- Практическое применение и учет закона (не всегда возможно).

Суммированный вариант выделяемых в литературе видов знания и их структур

1. Явления - 3.
2. Объекты.
3. Эксперименты (эксперименты, с помощью которых проводится наблюдение объекта; эксперименты, с помощью которых проводится наблюдение процесса; эксперименты, с помощью которых проводится наблюдение явления; эксперименты, с помощью которых обнаруживается объект; эксперименты, с помощью которых обнаруживается процесс; эксперименты, с помощью которых обнаруживается явление; эксперименты, с помощью которых иллюстрируется объект; эксперименты, с помощью которых иллюстрируется явление; эксперименты, с помощью которых иллюстрируется процесс; опыты).
4. Термины (основные термины).
5. Понятия (понятия о структурных формах материи; понятия о явлениях; понятия о свойствах тел; понятия о величинах, характеризующих свойства тел; основные понятия; основные понятия, описывающие объекты; основные понятия, описывающие явления; основные понятия, описывающие процессы; основные понятия, описывающие свойства объектов; основные понятия, описывающие величины; понятия о методах научного исследования).

6. Величины - 3.
7. Формулы (формулы, выражающие функциональную зависимость величин; формулы, с помощью которых определяются величины; формулы, выражающие причинно-следственные зависимости величин).
8. Факты (факты повседневной действительности; научные факты -3).
9. Законы - 4 (основные законы науки).
10. Модели (физически подобные модели; модели-анalogии; модели-рисунки; предметные рисунки; структурные рисунки; функциональные рисунки; предметные графики; структурные графики; предметные схемы; структурные схемы; функциональные схемы; модели-фотографии; модели - учебные фильмы; чувственные модели; модели - идеализированные образы; описательные модели; математические модели; графические модели).
11. Гипотезы.
12. Проблемы.
13. Идеальные объекты.
14. Теории - 5.
15. Методологические знания (знания о способах деятельности; знания о методах познания; знания о истории получения знания).

16. **Оценочные знания** (знания о нормах отношения к различным явлениям жизни).
17. **Технические устройства.**
18. **Технологические процессы.**
19. **Практическое применение.**
20. **Научная картина мира.**
21. **Задачи.**
22. **Парадоксы.**
23. **Процессы.**
24. **Состояния.**
25. **Эффекты.**
26. **Идеи.**
27. **Концепции.**
28. **Закономерности.**
29. **Правила.**
30. **Принципы.**
31. **Рекомендации.**
32. **Иллюстрации.**
33. **Примеры.**
34. **Исторические сведения.**
35. **Высказывания.**

Элементы знаний о явлении (процессе)

1. Внешние признаки явления.
2. Описание явления (описание обнаружения явления; описание изменений объекта, происходящие в результате явления; графическое описание процесса).
3. Проявление явления в природе (проявление процесса).
4. Опыты, с помощью которых обнаруживается явление.
5. Основные сведения о процессе.
6. Формулировка, определяющая явление.
7. Главные особенности процесса.
8. Условия протекания явления - 2.
9. Сущность явления (механизм протекания явления; объяснение явления; объяснение явления на основе теории; краткая сущность теории; теория процесса; причинная обусловленность процесса).
10. Модель процесса.
11. Связь явления с другими явлениями.
12. Количественная характеристика явления.
13. Измеренные в эксперименте величины.
14. Описание экспериментальной установки для обнаружения величины.
15. Законосообразность явления.
16. Использование явления на практике - 2 (практическое применение процесса).
17. Учет явления в практике.
18. Способы предупреждения вредного действия явления.

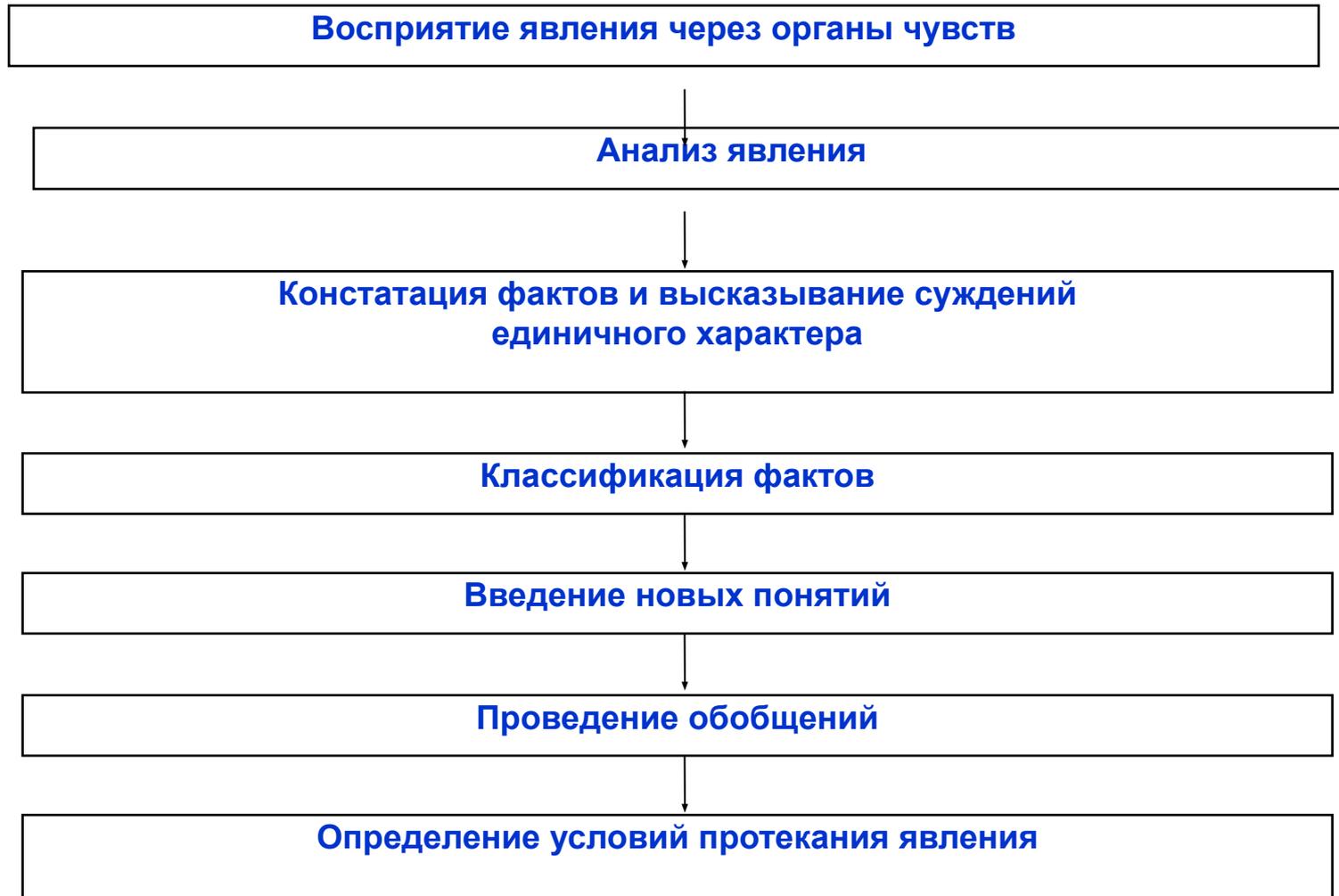
Элементы знаний об опыте (эксперименте, экспериментальном исследовании)

1. Возникновение проблемы (возникновение замысла исследования).
2. Цель опыта (эксперимента).
3. Роль опыта в утверждении теории.
4. Выдвижение рабочей гипотезы.
5. Экспериментальная установка, на которой ставится опыт (разработка экспериментальной установки для проверки гипотезы; создание экспериментальной установки для проверки гипотезы; описание экспериментальной установки).
6. Процедура выполнения эксперимента (процедура измерения - 2; методика исследования; постановка опыта; выполнение опыта).
7. Результаты измерения.
8. Обработка экспериментальных данных.
9. Анализ экспериментальных результатов - 2.
10. Выводы, вытекающие из опыта -2, (формулирование выводов экспериментального исследования).
11. Истолкование результатов экспериментального исследования - 2.
12. Предположения, выдвинутые после проведения эксперимента.

Элементы знания о теории

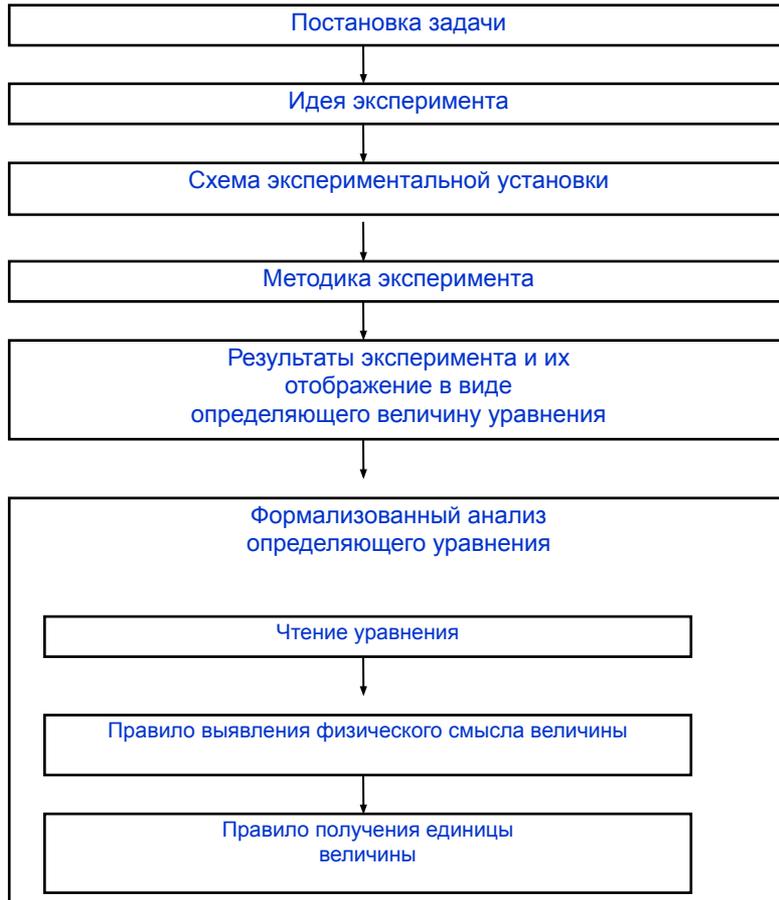
1. Эмпирический базис теории - 2.
2. Основание теории - 2.
3. Наблюдения, на которых основана теория.
4. Эксперименты, на которых основана теория.
5. Основные положения теории - 3.
6. Факты (исходные опытные факты, лежащие в основании теории; факты, лежащие в основании теории; опытные факты - 2).
7. Отдельные теоретические положения (не теория).
8. Методы познания (методы эмпирического познания; методы теоретического познания).
9. Стержневые методологические идеи.
10. Объект изучения теории.
11. Предмет изучения теории.
12. Истоки теории.
13. Инструментарий теории (математический аппарат теории - 2; средства логики).
14. Идеализированные объекты, лежащие в основании теории - 5.
15. Модель теории - 3.
16. Величины (величины, характеризующие модель теории; фундаментальные величины, величины, лежащие в основе теории).
17. Понятия (главные понятия, лежащие в основе теории; основные понятия теории; фундаментальные понятия, понятия, лежащие в основании теории - 2; основные понятия, отражающие эмпирический базис теории).
18. Основные принципы, составляющие ядро теории.
19. Ядро теории.
20. Постулаты, составляющие ядро теории.
21. Константы, входящие в ядро теории.
22. Законы (законы, составляющие ядро теории; основные законы, составляющие ядро теории; основные закономерности развития физики).
23. Принципы (принципы теории; основные принципы).
24. Гипотеза, лежащая в основании теории - 3.
25. Следствия (следствия, выводимые из основных положений теории - 3; логические следствия; следствия, выведенные из принципов путем логической дедукции; следствия, выведенные из законов путем логической дедукции; выводы из теории; формулы, выводимые из теории; законы, выводимые как следствия из исходных принципов; частные законы, выводимые из основных положений теории; явления, предсказываемые теорией; свойства, предсказываемые теорией).
26. Опыты, подтверждающие основные положения теории.
27. Явления, объясняемые теорией.
28. Эксперимент (научный эксперимент; экспериментальная проверка следствий теории; экспериментальная проверка теории - 2; экспериментальная проверка выводных законов).
29. Границы применимости теории - 3.
30. Прикладные знания.
31. Практическое применение теории.
32. Теории (физическая теория).

КАЧЕСТВЕННЫЙ АСПЕКТ ОПИСАНИЯ ЯВЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЯ И ОПЫТЫ

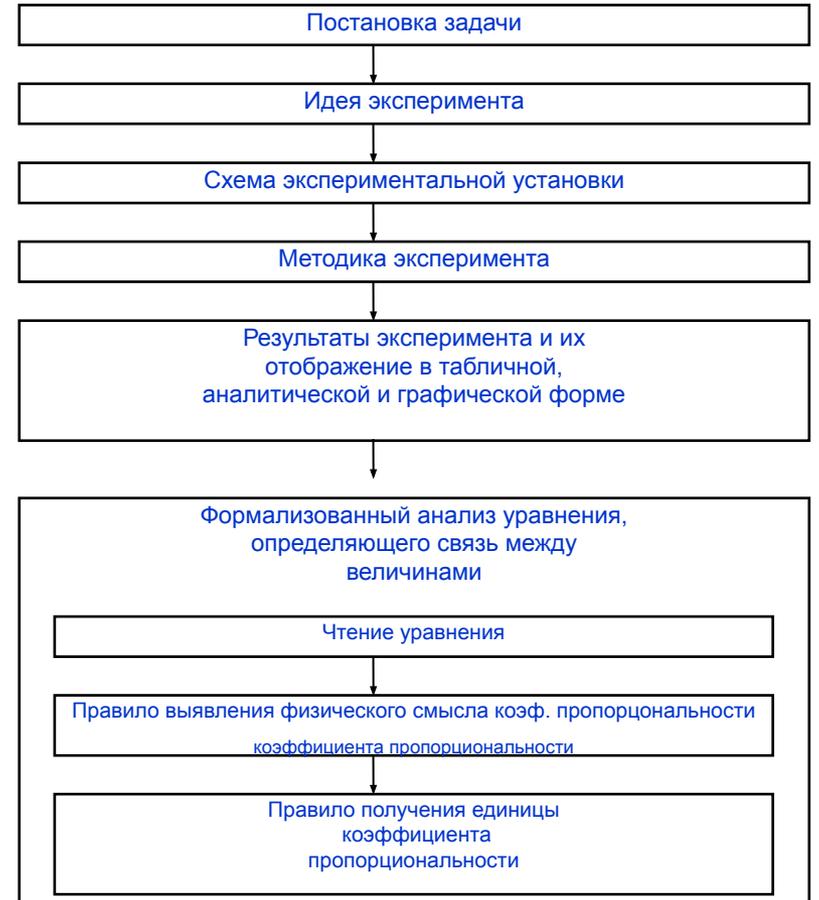


Количественный аспект описания явления

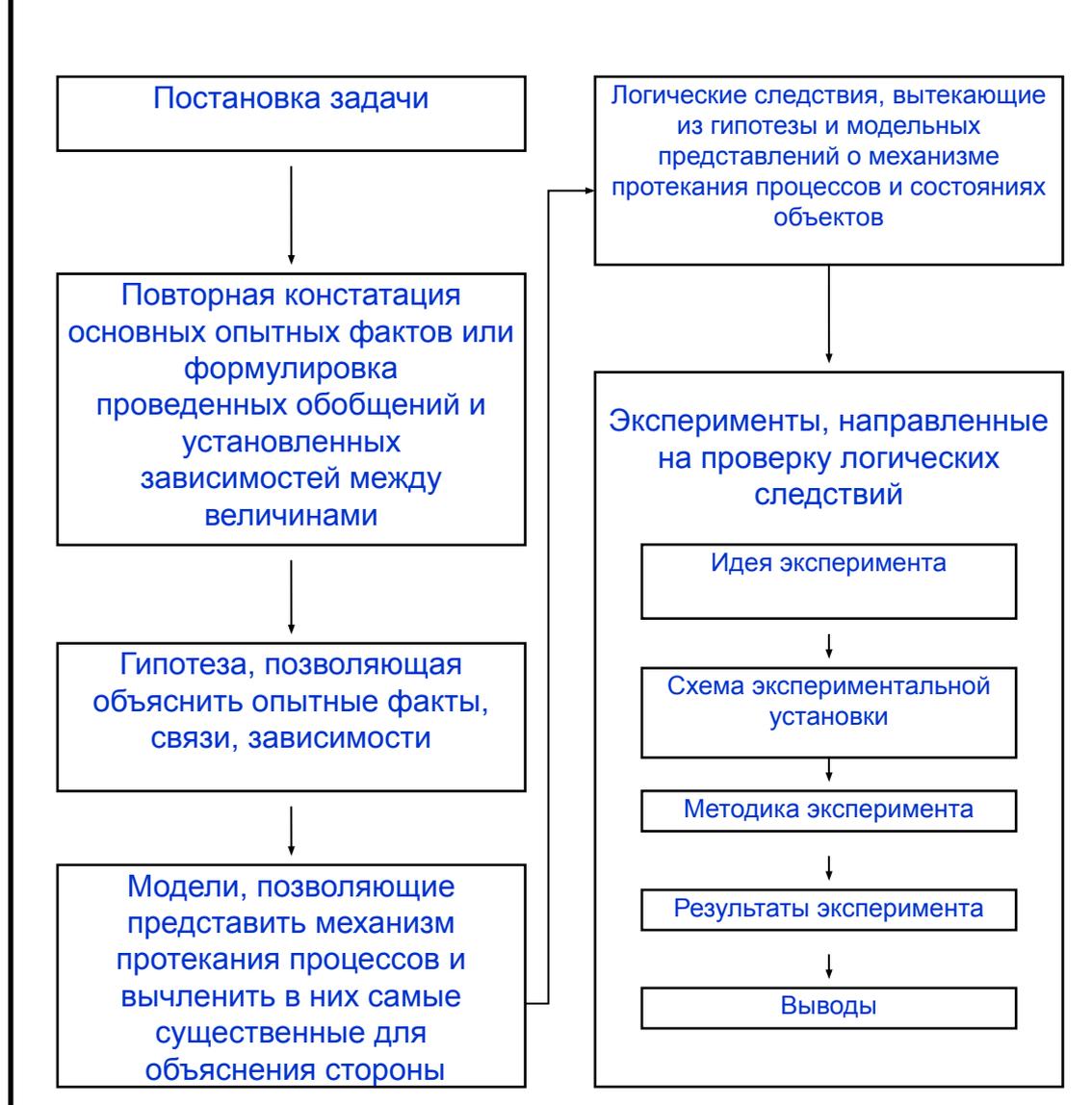
Введение величин, характеризующих рассматриваемые процессы и состояния



Установление зависимости между величинами

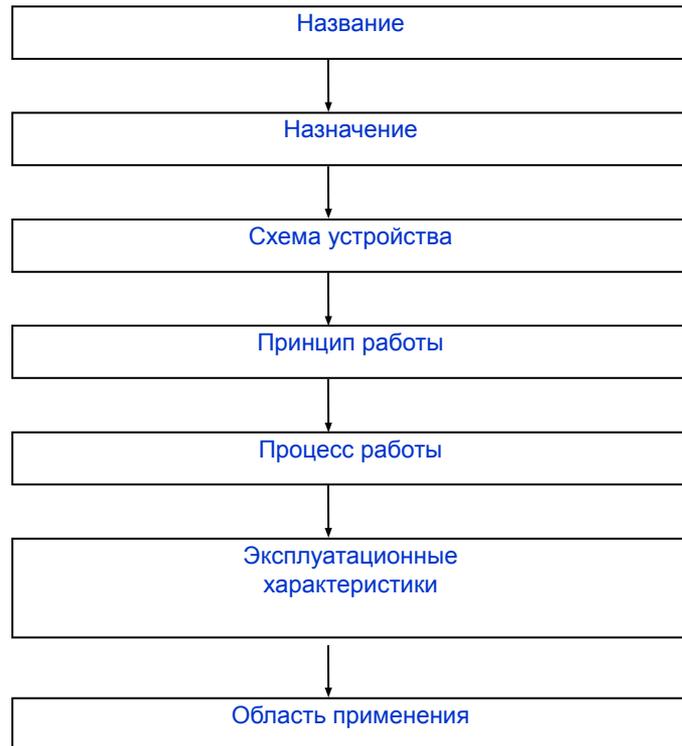


Сущностный аспект описания явления

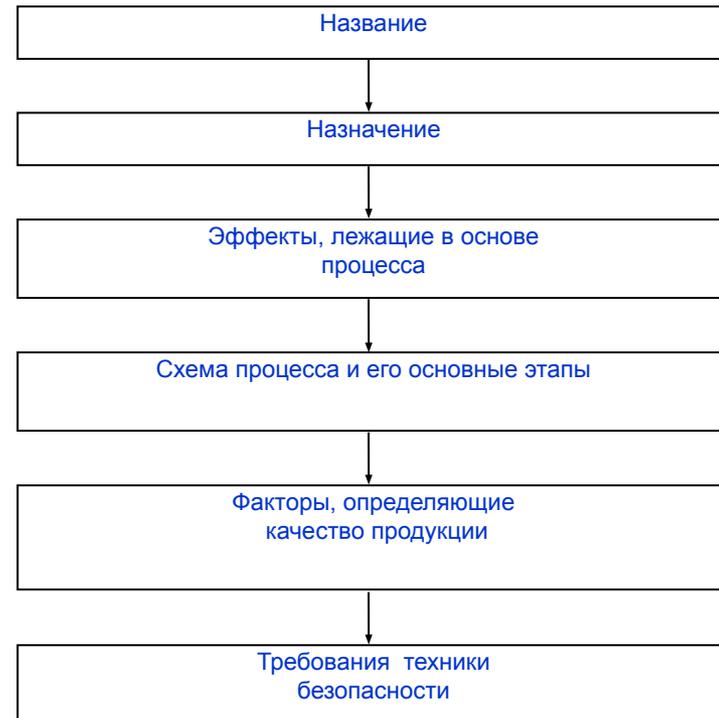


Прикладной аспект описания явления

Приборы, механизмы, машины



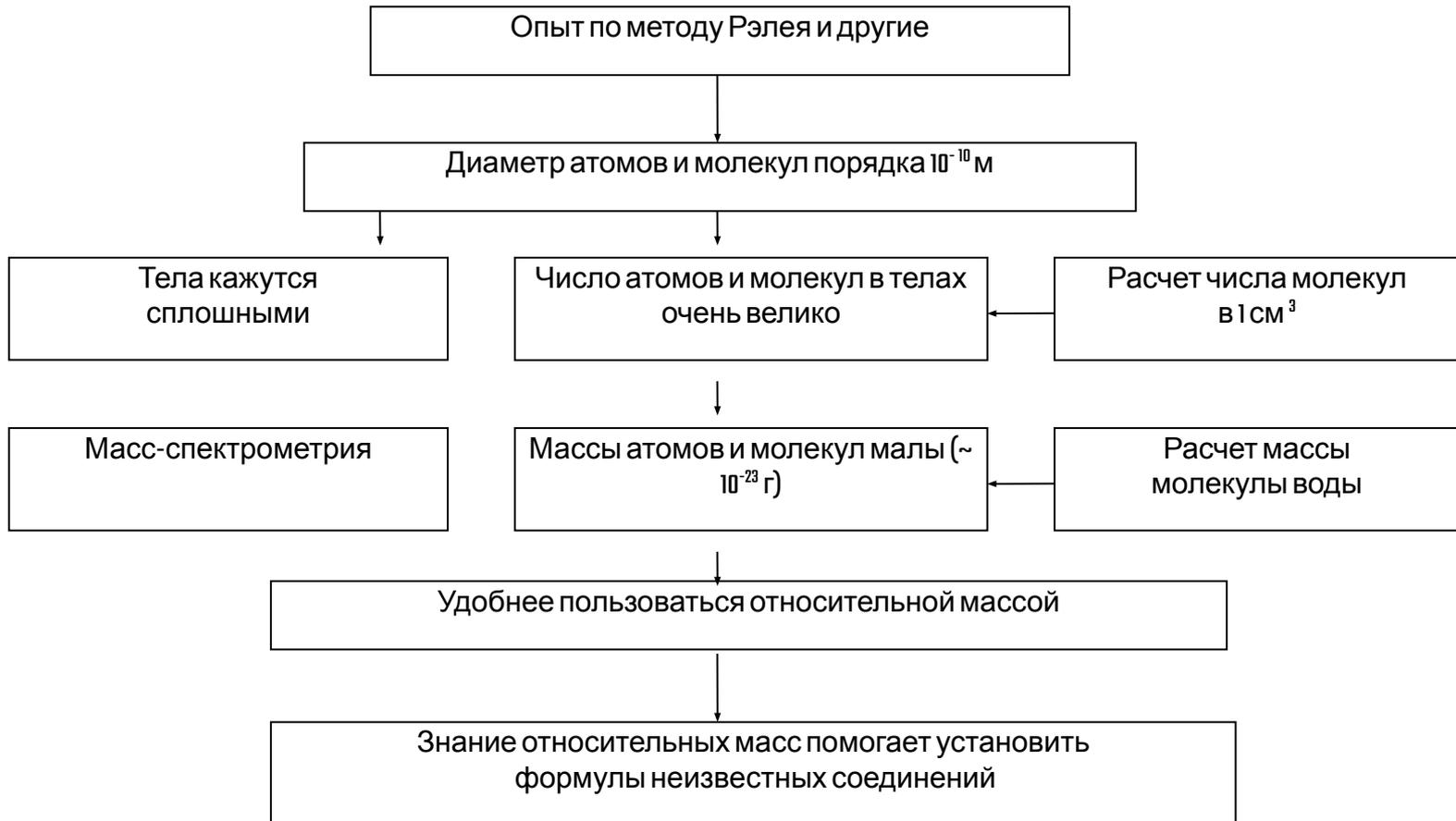
Технологические процессы



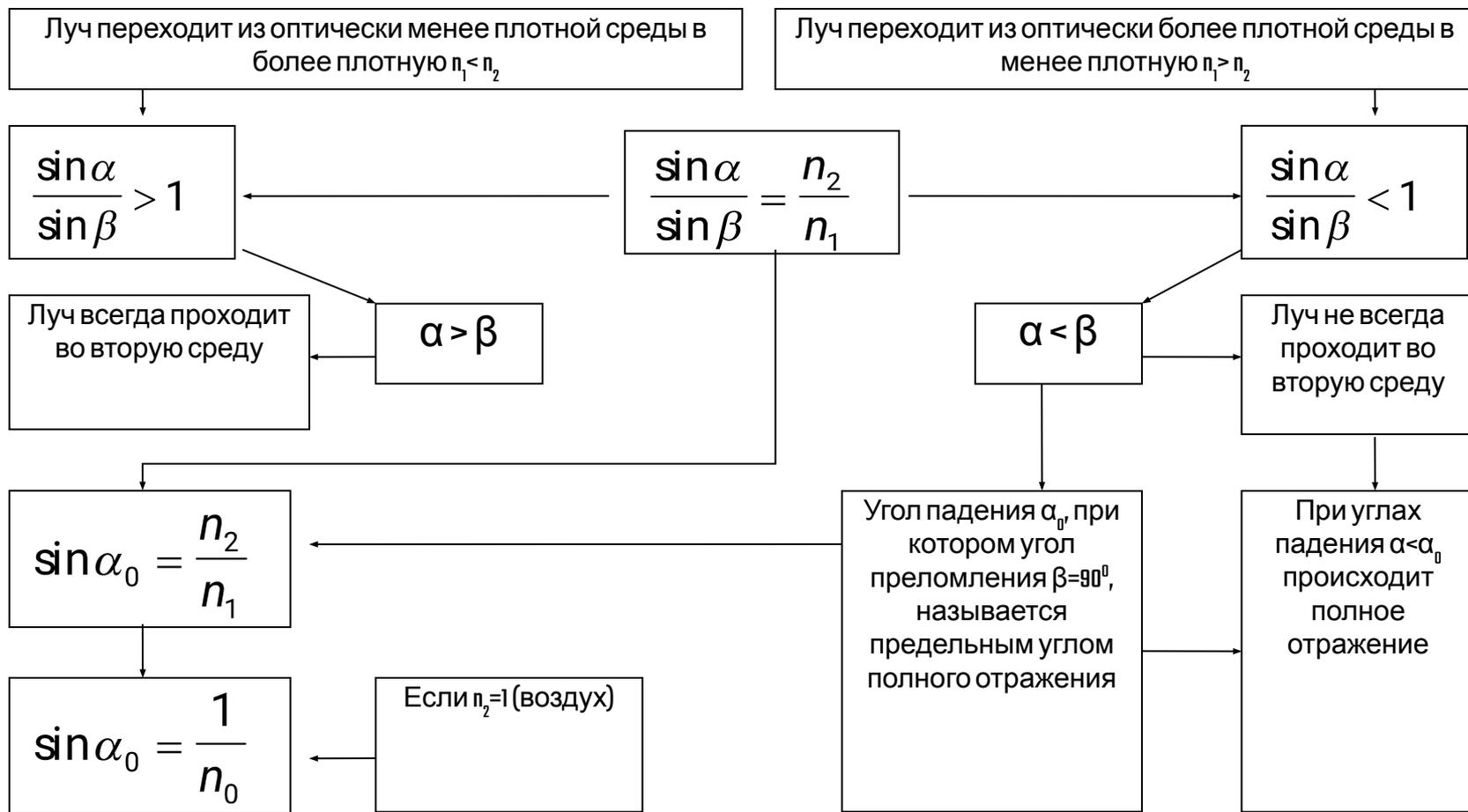
Знаково-символические способы преобразования учебного материала

- Классические конспекты
- Стенограммы
- Опорные конспекты
- Опорные сигналы
- Структурно-логические схемы
- Систематизирующие таблицы
- Логические конспекты

Логическая схема, отражающая структуру одного из параграфов учебника физики



Граф-схема темы «Закон преломления света»



Опорные сигналы

§§ 8-14

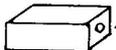
Демокрит, Левкипп,

Эпикур, Лукреций

← 2500

„О природе вещей“

1626г.  $27 \cdot 10^{28}$ (Число Лошмидта)

 ← $100\,000\,000 \frac{\text{шт}}{\text{с}}$ — 9000 лет!

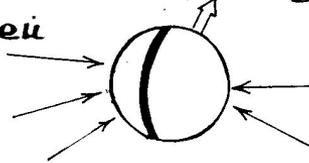
Палец — 10км — полточки

М.В.Л. „О нечувствительных физических частицах“

Сажар. Краска. Дым. Листья в лесу.

1827г. Броун. Музей

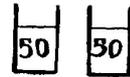
Перрен: хаотично.



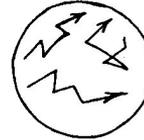
Промежутки:

- а) охлаждение
- б) нагревание (шар-кольцо)

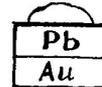
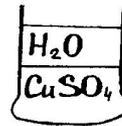
в)



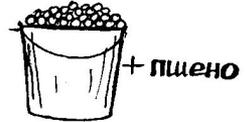
Спирт Вода



Диффузия:

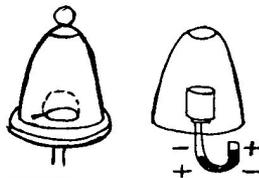


20°C
5 лет
1 мм



+ пшено.

с.-ж.
коксохимзавод



Перенаселение и обратный процесс

Опорные сигналы

§§ 8-14

Демокрит, Левкипп,
Эпикур, Лукреций

← 2500

„0 природе вещей“

1626г.  $27 \cdot 10^{28}$ (Число Лошмидта)

 $100\,000\,000 \frac{шт}{с} - 9000 \text{ лет!}$

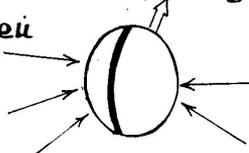
Палец — 10км — полочки

М.В.Л. „0 нечувствительных физических частицах“

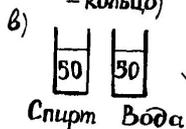
Сажар. Краска. Дым. Листья в лесу.

1827г. Броун. Музей

Перрен: хаотично.



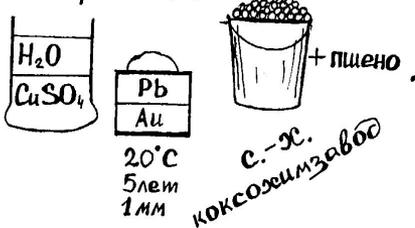
Промежутки: а) охлаждение
б) нагревание (шар-кольцо)



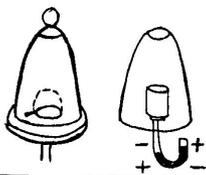
Спирт Вода



Диффузия:

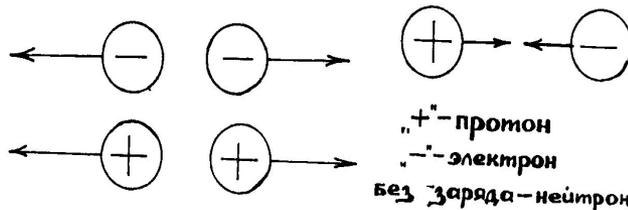


Перенаселение и обратный процесс



Электрический заряд — частицы взаимодействующие друг с другом.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕТ!



„+“ — протон

„-“ — электрон

без заряда — нейтрон

Как получить электр. заряд?

НАЭЛЕКТРИЗОВАТЬ

Трение



шёлк шерсть

Закон сохранения электр. заряда:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \sum q_i = \text{const}$$

Шарль Кулон 1785г.



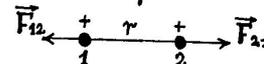
Сила взаимод-вия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорц-на произведению модулей заряда и обратно пропорц-на квадрату расстояния между ними.

СИ: $[F] = 1 \text{ Кл}$

$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

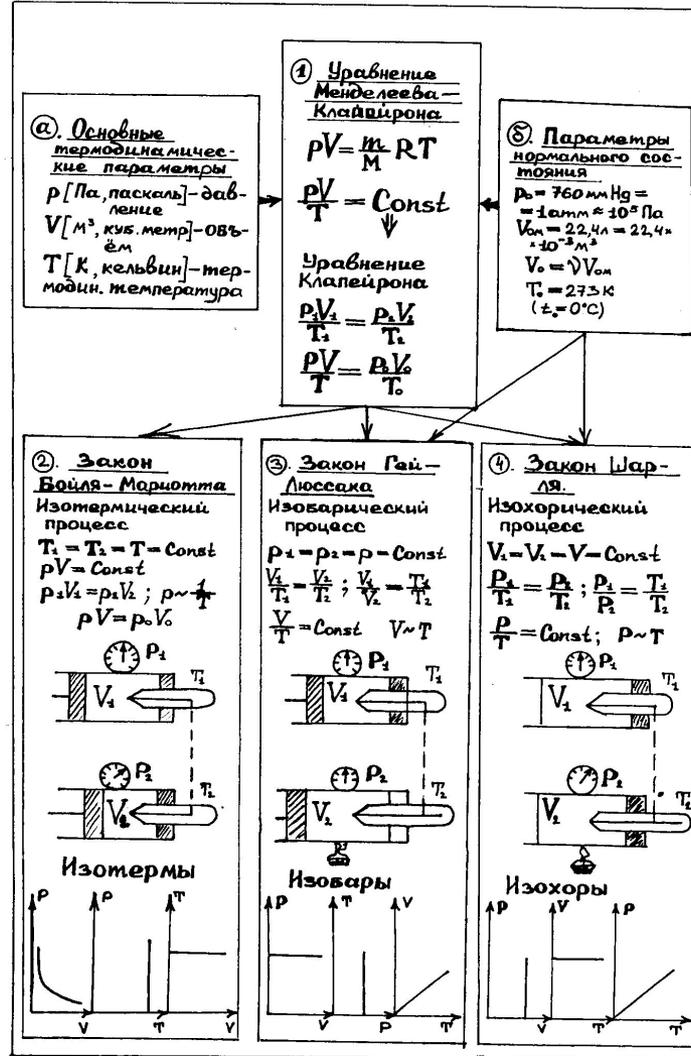
$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$



\vec{F} — не зависит ни от формы, ни от РАЗМЕРОВ.

Блок-конспект

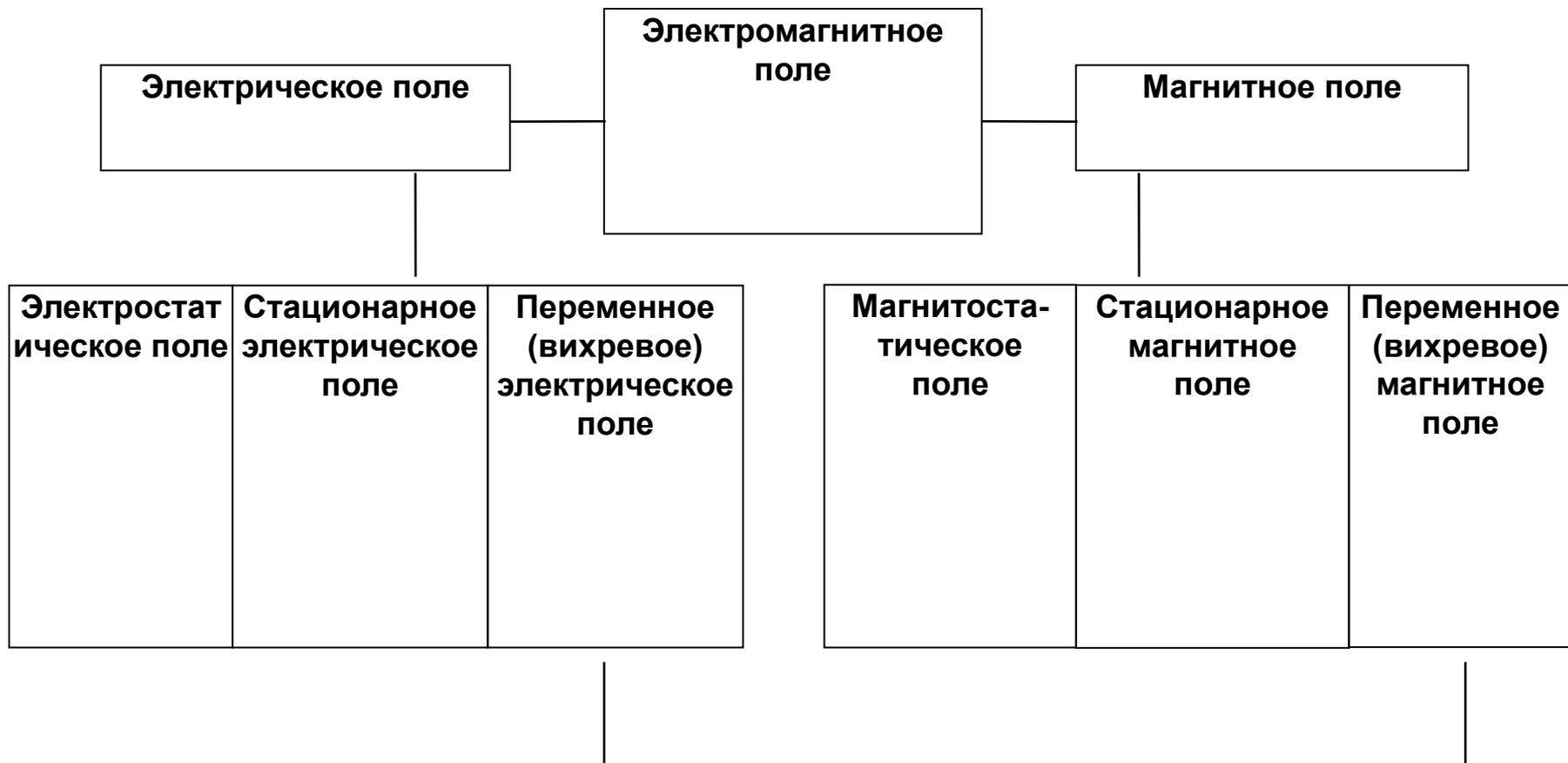


Таблица, отображающая основные свойства электростатического поля

Основные свойства электростатического поля

- Материальность и объективность существования электростатического поля.
- Электрическое поле связано с неподвижными электрически заряженными частицами (телами).
- Электростатическое поле осуществляет взаимодействие между неподвижными электрически заряженными частицами (телами), количественно выражается законом Кулона.
- Электростатическое поле не меняется с течением времени.
- Электростатическое поле передает воздействие одного электрически заряженного тела (частицы) другому (другой) с конечной скоростью.
- Электростатическое поле имеет силовую характеристику, векторную физическую величину - напряженность.
- Для электростатических полей выполняется принцип суперпозиции.
- Электростатическое поле обладает потенциальной энергией.
- При перемещении электрически заряженной частицы (тела) электрическим полем совершается работа.
- Электростатическое поле имеет потенциальный характер.
- У электростатического поля есть энергетическая характеристика, скалярная физическая величина - потенциал.

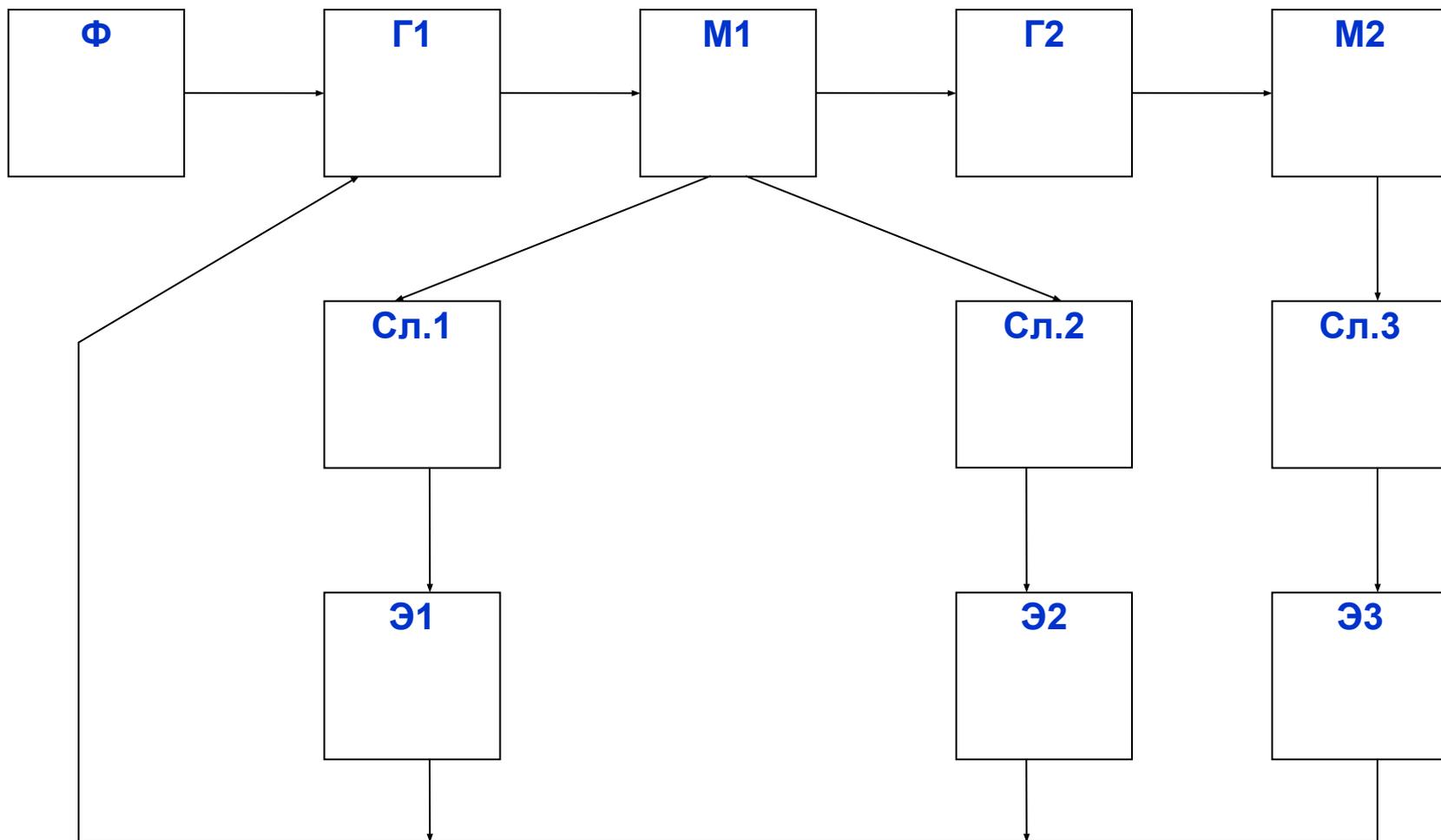
Классификационная схема «Электромагнитное поле»



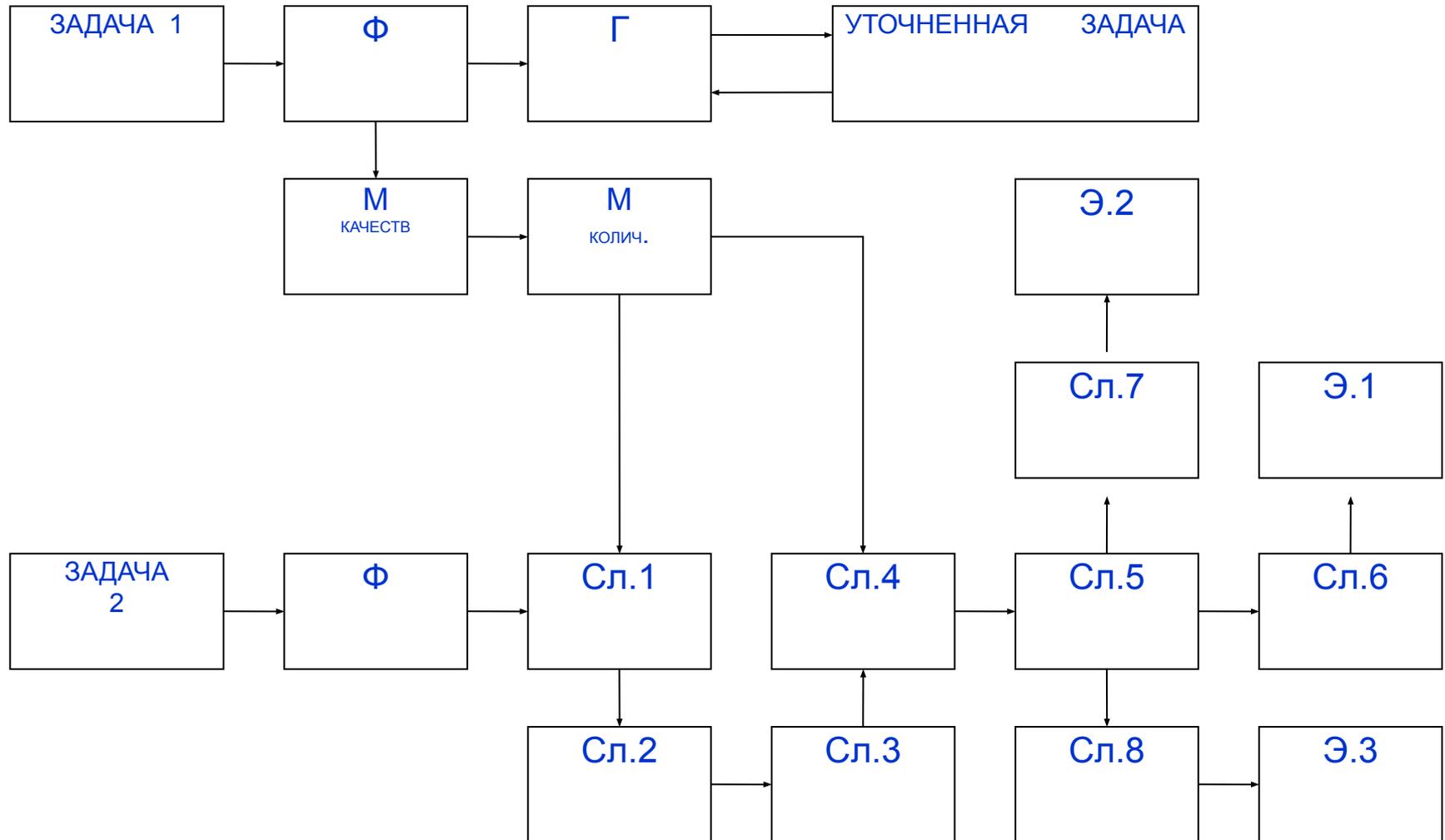
Классификационная таблица «Различные проявления электромагнитного поля»

Вопросы для сравнения	Электростатическое поле	Магнитное поле	Вихревое электрическое поле
Чем порождается поле?	Неподвижными зарядами	Движущимися зарядами	Изменяющимся магнитным полем
Как обнаруживается поле?	По действию как на неподвижные, так и на движущиеся заряженные тела	По действию на проводники с током	По возбуждению вихревых токов
Основные характеристики поля	Напряженность и потенциал	Индукция магнитного поля	Напряженность
Характер поля	Потенциальное поле	Вихревое поле	Вихревое поле
Как изображается поле?	С помощью силовых линий	С помощью линий магнитной индукции	С помощью силовых линий
Скорость распространения поля	Скорость света	Скорость света	Скорость света
Доказательство материальности поля	Обладает энергией, существует независимо от опыта	Обладает энергией, существует независимо от опыта	Обладает энергией, существует независимо от опыта

Структурно-логическая схема изучения сущности одного из явлений

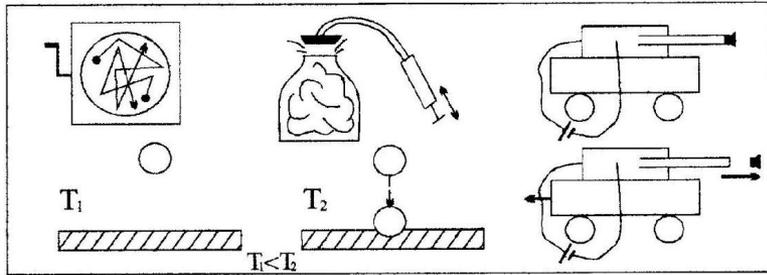


Структурно-логическая схема изучения сущности одного из явлений



ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ

1

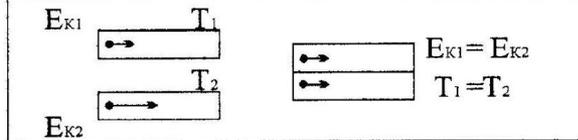


1. Беспорядочное движение.
2. Туман - охлаждение.
3. При ударе - нагрев.
4. Деформация.
5. Пробка вылетает.

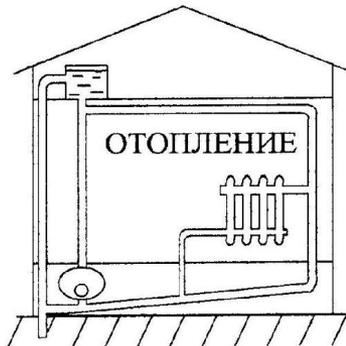
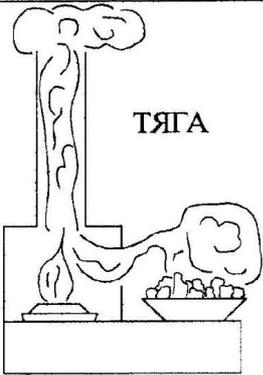
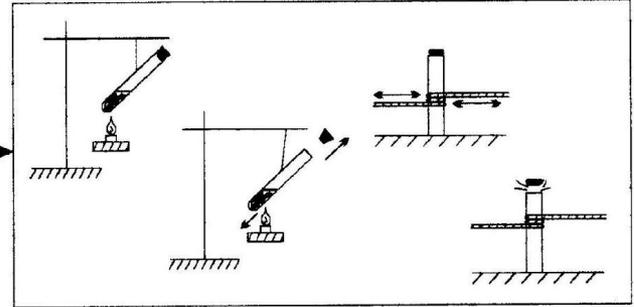
Тепловое движение.
Внутренняя энергия.

Как изменяется внутренняя энергия?

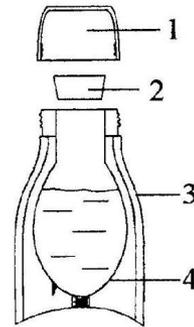
↓
Кинетическая энергия молекул.



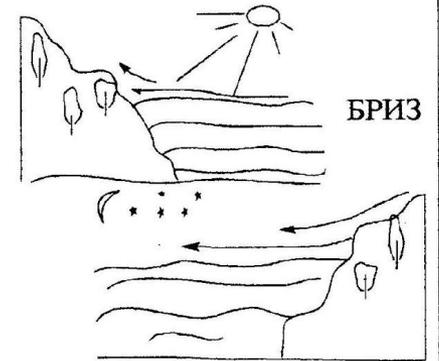
1. Теплопередача.
2. При совершении работы внутренняя энергия увеличивается.



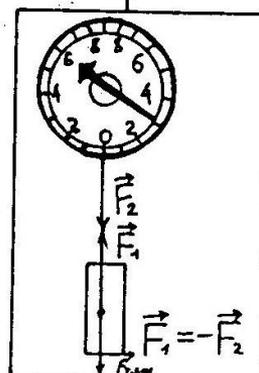
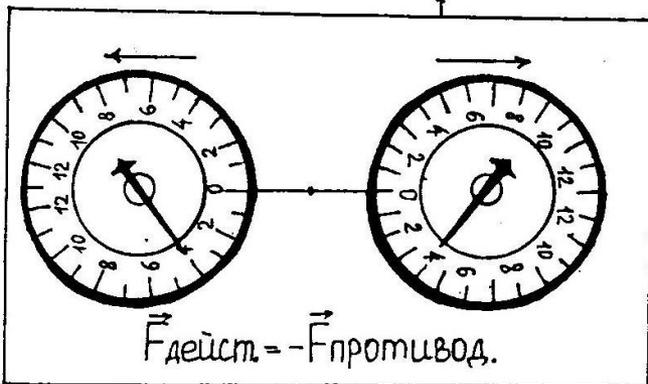
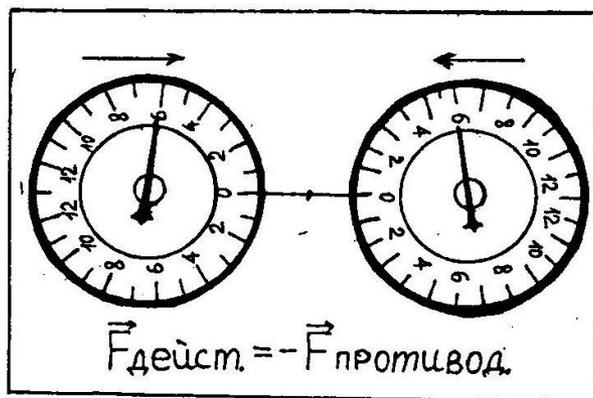
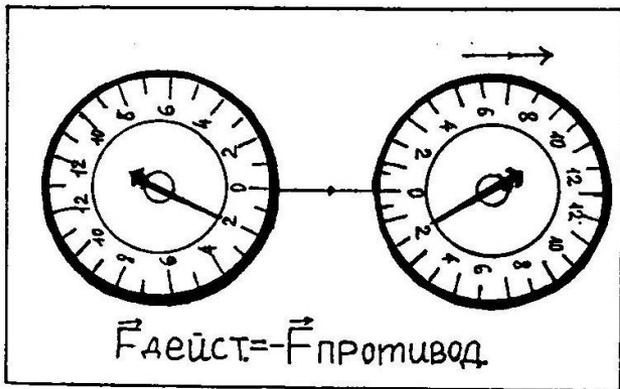
ТЕРМОС



1. Колпачок.
2. Пробка.
3. Футляр.
4. Стекланный сосуд.



III 3-н Ньютона



F дейст и F противод.
 1) прилож. к разн. телам
 2) равнопр. силы
 3) одинак. физ. природа
 4) одновр. возн. и исчез
 5) одинак. изм-ся
 6) противоп. напр.

$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ - III 3-н Ньютона

Основные положения МКТ

Pb

H_2O
 $\Delta V_2 = 0$

БРОУН

NH_4OH

$2HCl + Zn = H_2 \uparrow + ZnCl_2$

1. Состоят из частиц (Молекул)
2. Хаотично движутся и непрерывно
3. Взаимодействуют (Фпр.; Фотт.)

1/1

Газ

Жидкость

Тв. тело

$V_1 + V_2 = V_{\text{общ.}}$

ВОДА+СПИРТ!

H_2

P

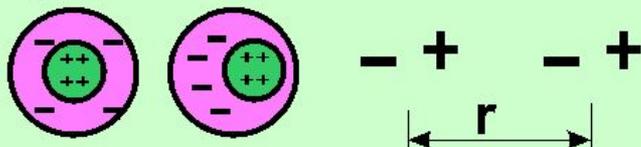
Э!

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

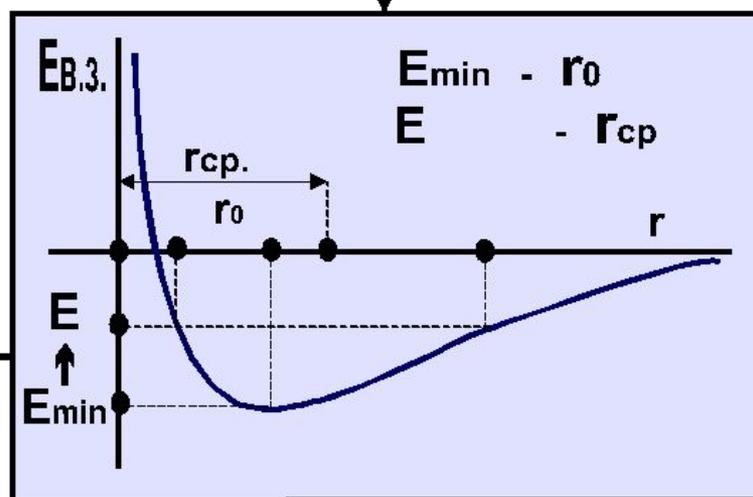
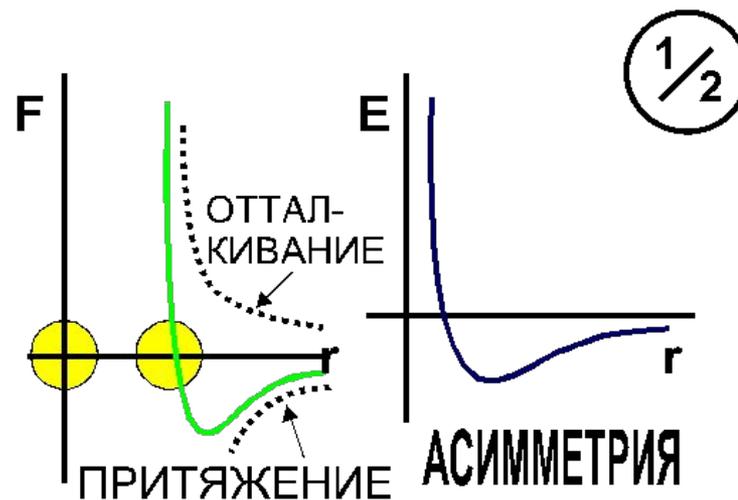
Взаимодействие молекул

1. ВСЕ ВЕЩЕСТВА СОСТОЯТ ИЗ МОЛЕКУЛ
2. МОЛЕКУЛЫ ХАОТИЧНО И БЕСПРЕРЫВНО ДВИЖУТСЯ
3. МОЛЕКУЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ ($F_{пр.}$; $F_{отт.}$)

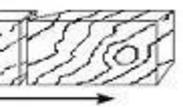
1. Взаимодействие носит электрический характер
2. ДИПОЛИ



ТЕПЛОВОЕ
РАСШИРЕНИЕ
ИСПАРЕНИЕ



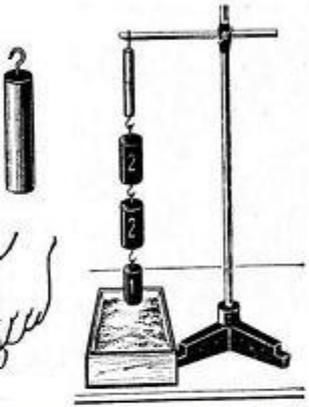
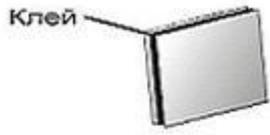
Сцепление
сосудов
трубок



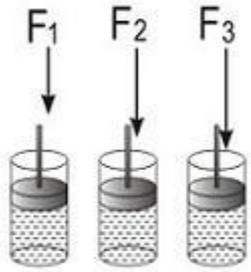
Несоединение
бумажных
листов



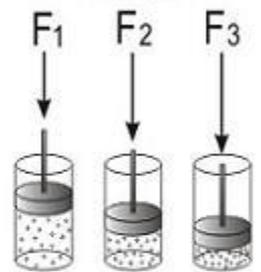
Склеивание
бумажных
листов



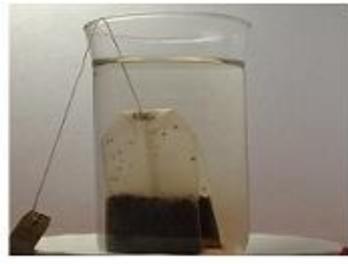
Плохая сжимаемость
жидкости



Сжимаемость
газов



Диффузия



Распространение
запаха



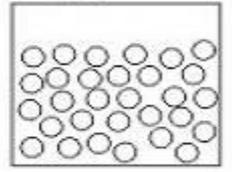
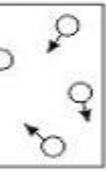
Рассеивание
дыма



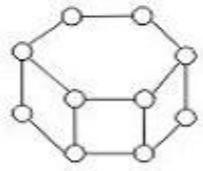
Броуновское



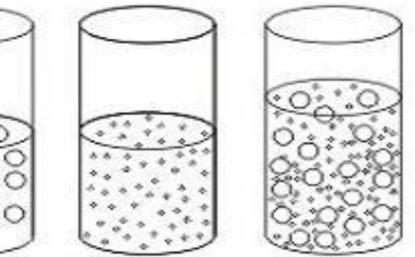
Жидкость



Твердое тело



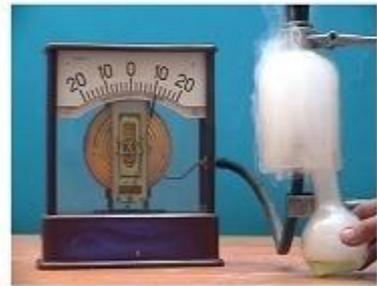
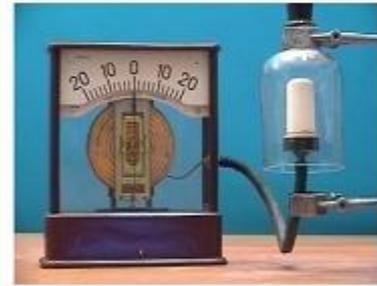
$$V_1 + V_2 \neq V_{см}$$



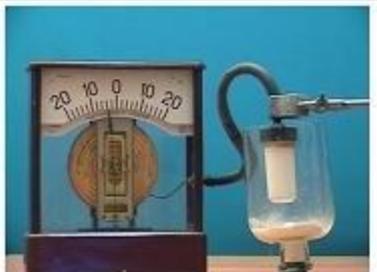
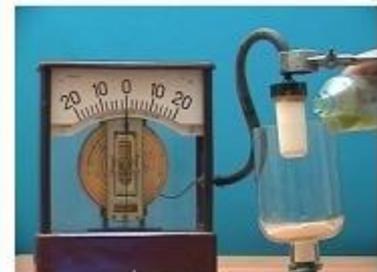
Спирт Смесь

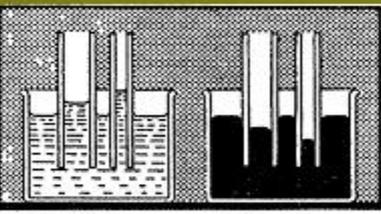
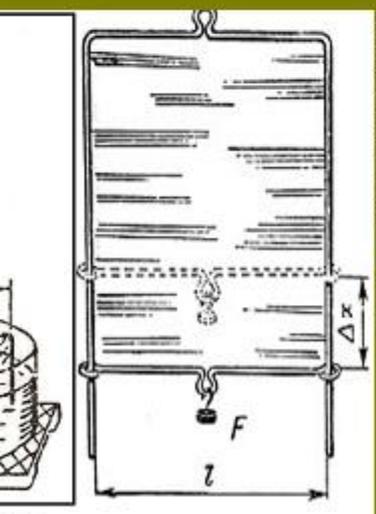
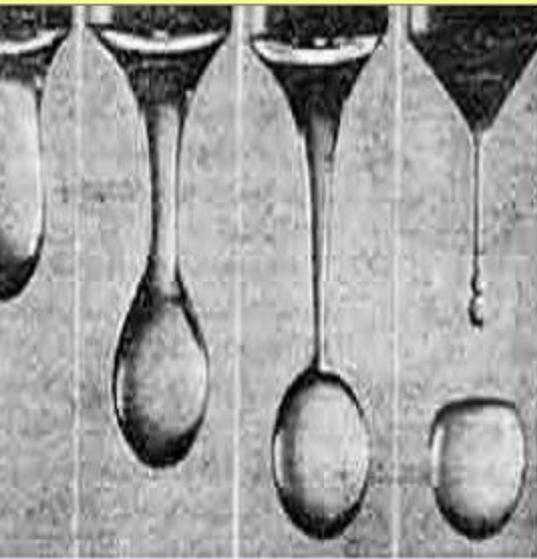


Опыт с водородом

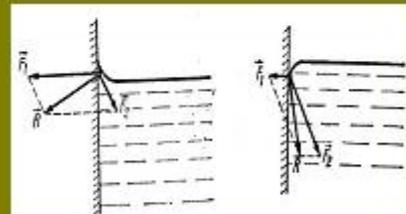


Опыт с углекислым газом





a) вода b) ртуть



$$P = 2 \frac{\sigma}{r}$$

$$h = \frac{2\sigma}{r\rho g}$$

