

# Лекция 1

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЙ



- **Метрология** – наука об измерениях физических величин, методах и средствах обеспечения их единства.
- **Измерение** – это нахождение значений физической величины опытным путем с помощью специально для этого предназначенных технических средств.
- **Основное уравнение измерения:**
  - $Q=qU$   
где  $Q$  – значение измеряемой величины,
  - $q$  – единица измерения,
  - $U$  – результат измерения.



- **Средства измерения** – технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства:
- - **эталоны единиц физических величин**
- - **меры**
- - **образцовые средства измерений**
- - **рабочие средства измерений**



- **Свойства эталонов:**

- - воспроизводимость
- - неизменность
- - сличаемость

- **Эталоны классифицируют на:**

- - первичный (национальный и международный)
- - вторичный (эталон-копия, эталон сравнения, эталон-свидетель)
  - - комплекс средств измерений
  - - одиночный эталон
  - - групповой эталон
  - - эталонный набор
- - рабочий

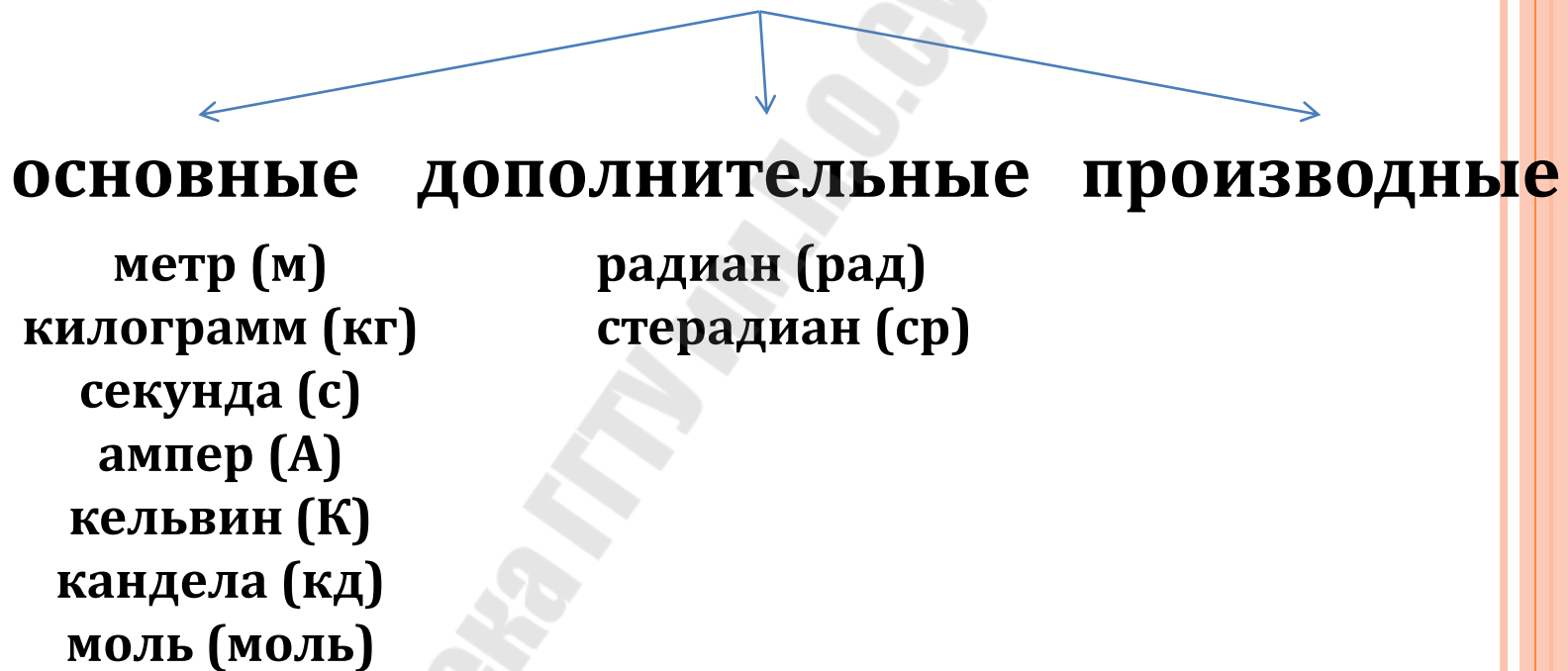


- **Основные метрологические показатели средств измерения:**

- - деление шкалы прибора
- - длина (интервал) деления шкалы
- - цена деления шкалы
- - диапазон показаний
- - предел измерений
- - предел допустимой погрешности средства измерения
- - погрешность измерения
- - точность измерений
- - поверка



- **Международная система единиц измерения**



# ИЗМЕРЕНИЯ

**промышленные  
лабораторные**


**прямые  
косвенные**

**Метод измерений** - совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

- **метод непосредственной оценки**
- **метод сравнения с мерой**
- **нулевой метод**



# Теплотехнические измерения и теплотехнический контроль

- **Теплотехнические измерения** служат для определения многих физических величин, связанных с процессами выработки и потребления тепловой энергии.
  - В энергетических установках теплотехнические измерения служат для непрерывного производственного контроля за работой оборудования и называются **теплотехническим (тепловым) контролем**.
  - **Теплотехнический контроль** позволяет обеспечить:
    - - надежную и безопасную эксплуатацию установок;
    - - экономически наивыгоднейший режим работы оборудования;
    - - организацию технического учета работы агрегатов и электростанции в целом.
- 



# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ



# ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

- - ТОЧНОСТЬ
- - ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ
- - БЫСТРОДЕЙСТВИЕ
- - НАДЕЖНОСТЬ
- 



# ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

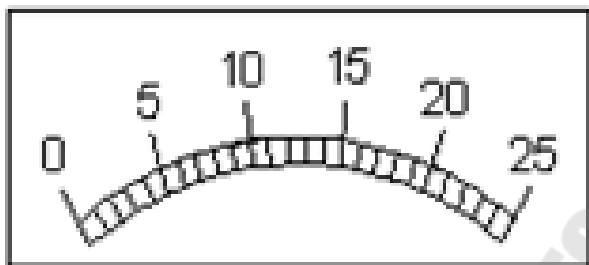
- - измерительное устройство
- - отсчетное устройство
  - - шкалы и указатели (показывающие приборы)
  - - записывающие приспособления и диаграммная бумага (самопишущие приборы)
  - - счетные устройства (интегрирующие приборы)



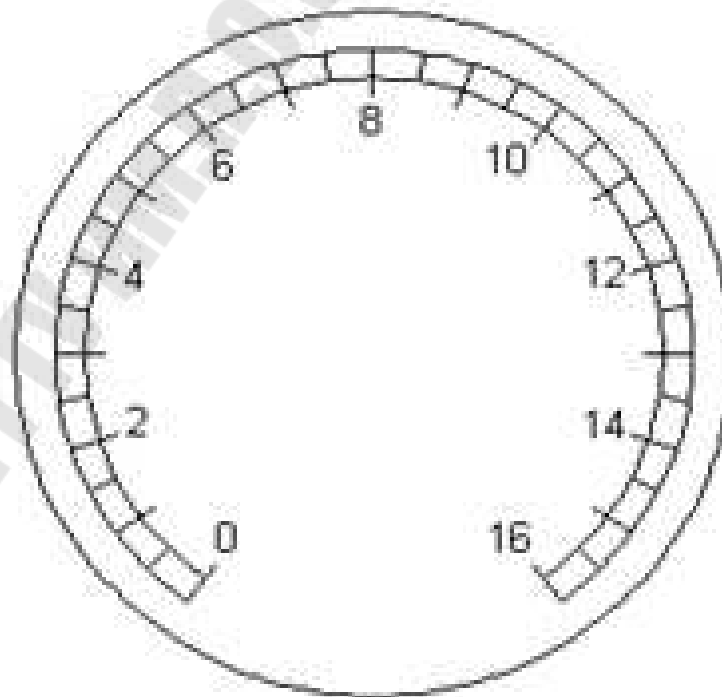
# ШКАЛЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



а)



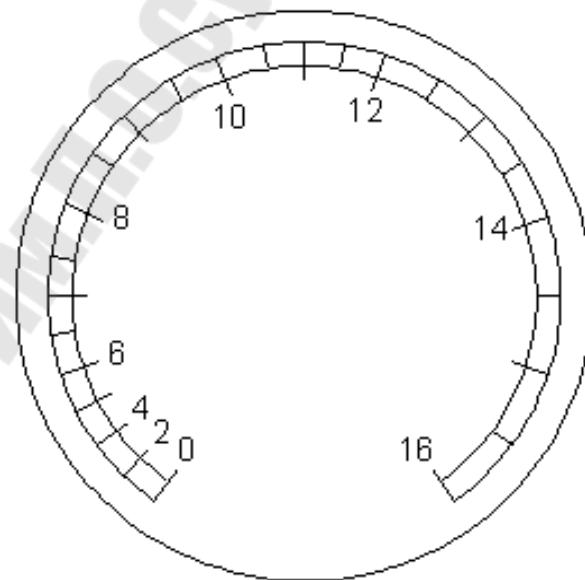
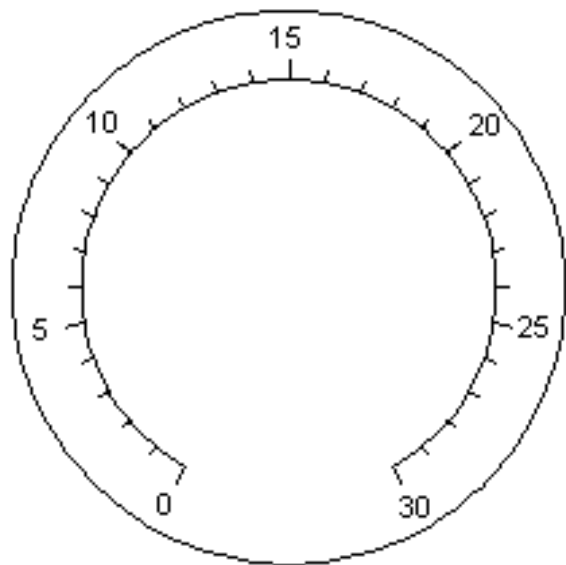
б)



в)

а – прямолинейная; б – дуговая; в – круговая

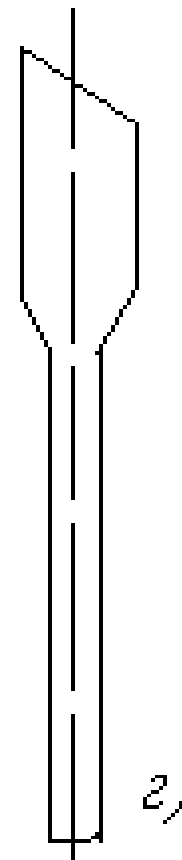
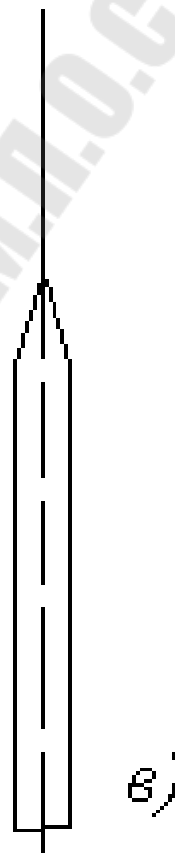
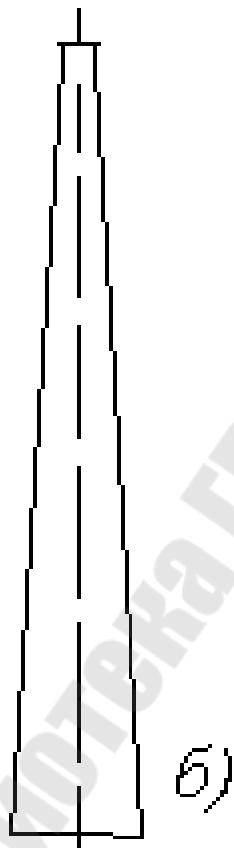
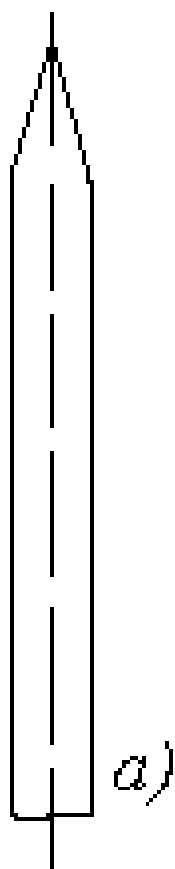




Круговые шкалы приборов:  
*a* – равномерная; *б* – неравномерная

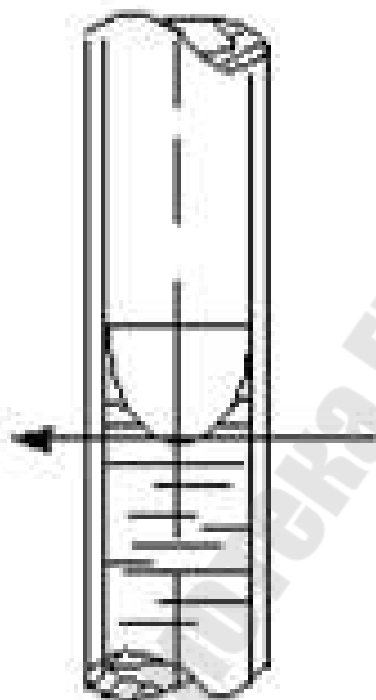


# УКАЗАТЕЛЬНЫЕ СТРЕЛКИ ПРИБОРОВ

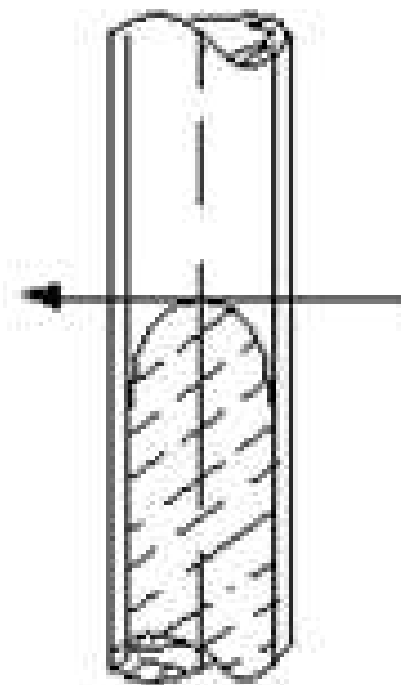


*a* – клиновья; *б* – клиновья стержневья; *в, з* – ножевьья

# МЕНИСК ЖИДКОСТИ В СТЕКЛЯННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКЕ



а)



б)

а – вогнутый; б – выпуклый



# КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

- **Основная классификация** предусматривает деление приборов по роду измеряемых величин.
- для измерения:
- - температуры – **термометры и пирометры;**
- - давления – **манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напорометры и барометры;**
- - расхода и количества – **расходомеры, счетчики и весы;**
- - уровня жидкости и сыпучих тел – **уровнемеры и указатели уровня;**
- - состава дымовых газов – **газоанализаторы;**
- - качества воды и пара – **кондуктометры и кислородомеры.**

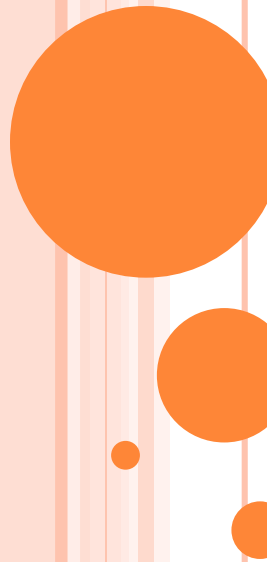




**Дополнительная классификация** подразделяет указанные приборы на следующие группы:

- по назначению – **промышленные** (технические), **лабораторные, образцовые** и **эталонные**;
- по характеру показаний – **показывающие, регистрирующие** (самопишущие и печатающие) и **интегрирующие**;
- по форме представления показаний – **аналоговые** и **цифровые**;
- по принципу действия – **механические, электрические, жидкостные, химические, радиоизотопные** и др.;
- по характеру использования – **оперативные, учетные** и **расчетные**;
- по местоположению – **местные** и с **дистанционной передачей показаний**;
- по условиям работы – **стационарные** (щитовые) и **переносные**;
- по габаритам – **полногабаритные, малогабаритные** и **миниатюрные**.

# ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ



# Классификация погрешностей измерений

**Абсолютная погрешность** , выражаемая в единицах измерений, представляет собой разность между измеренным значением (показанием прибора) и действительным значением измеряемой величины.

**Относительная погрешность** , указываемая в процентах, есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению, т. е.

**Приведенная погрешность** определяется как отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению . За нормирующее значение чаще всего принимается диапазон измерения прибора .



Для определения действительного значения к показанию прибора вводится **поправка  $c$** , которая численно равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком:

Поправка алгебраически складывается с результатом измерения:

Иногда для получения точного результата показания прибора умножаются на поправочный множитель  **$k$** .

Значения  $c$  и  **$k$**  в большинстве случаев находятся опытным путем.



Погрешности измерений в зависимости от их характера делятся на:

**систематические (основная и дополнительные)**

**грубые**

**случайные**

**Динамические**

Если обозначить через  $n$  число проведенных измерений, а через  $m$  число полученных одинаковых случайных погрешностей, то **вероятность (частота) появления** этих погрешностей  $P$  находится по формуле:



# Поверка измерительных приборов

- **Поверка** - сравнение показаний прибора с показаниями точного прибора, имеющего в несколько раз меньшую погрешность измерения, чем поверяемый прибор, для нахождения основной погрешности.

• **Характерные величины:**

- **- вариация показаний**
- **- непостоянство показаний**
- **- порог чувствительности**

# Допускаемые погрешности и класс точности приборов

**Допускаемая основная погрешность** характеризует наибольшее возможное отклонение показаний прибора от действительного значения в обе стороны, в связи с чем перед ней ставятся знаки  $\pm$ .

**Приведенная допускаемая основная погрешность** прибора определяется как отношение абсолютной допускаемой основной погрешности к диапазону показаний и выражается в процентах согласно равенству:

По приведенной допускаемой основной погрешности приборы разделяются на различные **классы точности**:

0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1; 1,5; 2,5 и 4.



# Измерение температуры





# Температурные шкалы

**Температура** характеризует степень нагретости тела, которая определяется внутренней кинетической энергией теплового движения молекул.

## Уравнение шкалы температур

где  $t_1$  и  $t_2$  – температура соответственно таяния льда и кипения воды при нормальном давлении и ускорении свободного падения  $980,665 \text{ см/с}^2$ ;  
 $V_1$  и  $V_2$  – объемы жидкости, соответствующие температурам  $t_1$  и  $t_2$ ;  
 $V$  – объем жидкости, соответствующий температуре  $t$



Кельвин, исходя из второго начала термодинамики, предложил определять температуру на основании равенства:

где  $T_1$  и  $T_2$  – температура соответственно холодильника и нагревателя;

$Q_1$  и  $Q_2$  – количество теплоты, соответственно полученной рабочим веществом от нагревателя и отданной холодильнику.

Пусть  $T_2$  равно температуре кипения воды ( $T_{100}$ ), а  $T_1$  – температуре таяния льда ( $T_0$ ); тогда, приняв разность  $T_2 - T_1 = 100$  град и обозначив количества теплоты, соответствующие этим температурам, через  $Q_{100}$  и  $Q_0$ , получим:

При любой температуре нагревателя:

- уравнение термодинамической шкалы температур



Решением XI Генеральной конференции по мерам и весам предусмотрено применение двух температурных шкал: **термодинамической** и **международной практической**. В **термодинамической** шкале **Кельвина** нижней точкой является **точка абсолютного нуля** (0 K), а единственной экспериментальной основной точкой – **тройная точка воды**.

**Международная практическая температурная шкала** основана на ряде воспроизводимых равновесных состояний, которым соответствуют определенные значения температур (основные реперные точки), и на эталонных приборах, градуированных при этих температурах. Основные реперные точки реализуются как определенные состояния фазовых равновесий некоторых чистых веществ и охватывают интервал температур от  $-259,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  (тройная точка равновесия водорода) до  $+1064,43\text{ }^{\circ}\text{C}$  (точка затвердевания золота).

Температуру, измеряемую по международной практической шкале, обозначают буквой  $t$ , а числовые значения сопровождают знаком  $^{\circ}\text{C}$ .

По обеим шкалам (термодинамической и международной) температуру можно выразить как в К, так и в  $^{\circ}\text{C}$  в зависимости от начала отсчета (положения нуля) по шкале. Температура по термодинамической шкале связана с температурой по международной практической шкале соотношением:



# Классификация приборов для измерения температуры

**Термометры расширения** основаны на свойстве тел изменять под действием температуры свой объем.

**Манометрические термометры** работают по принципу изменения давления жидкости, газа или пара с жидкостью в замкнутом объеме при нагревании или охлаждении этих веществ.

**Термоэлектрические термометры** построены на свойстве разнородных металлов и сплавов образовывать в паре (спае) термоэлектродвижущую силу, зависящую от температуры спая.

**Термометры сопротивления** основаны на свойстве металлических проводников изменять в зависимости от нагрева их электрическое сопротивление.

**Пирометры** работают по принципу измерения излучаемой нагретыми телами энергии, зависящей от температуры этих тел.

# Диапазоны измерений:

- термометры расширения °С -190-650
- манометрические термометры °С -160-600
- термоэлектрические термометры °С -50-1800
- термометры сопротивления °С -200-650
- пирометры °С - 300-6000



# Термометры расширения

- жидкостные стеклянные
- дилатометрические

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухомя



# Жидкостные термометры

В качестве рабочих веществ используются ртуть и органические жидкости – этиловый спирт, толуол и др.

## **Преимущества ртутных термометров:**

- большой диапазон измерения температуры, при котором ртуть остается жидкой;
- несмачиваемость стекла ртутью;
- возможность заполнения термометра химически чистой ртутью из-за легкости ее получения и пр.

Диапазон измерения -  $-35-560$  °С, температурный коэффициент объемного расширения –  $0,18 \cdot 10^{-3}$  1/К.

## **Достоинство термометров с органическими жидкостями:**

- высокий коэффициент объемного расширения жидкости ( $1,13 \cdot 10^{-3}$  1/К).

Диапазон измерения -  $-190-100$  °С.



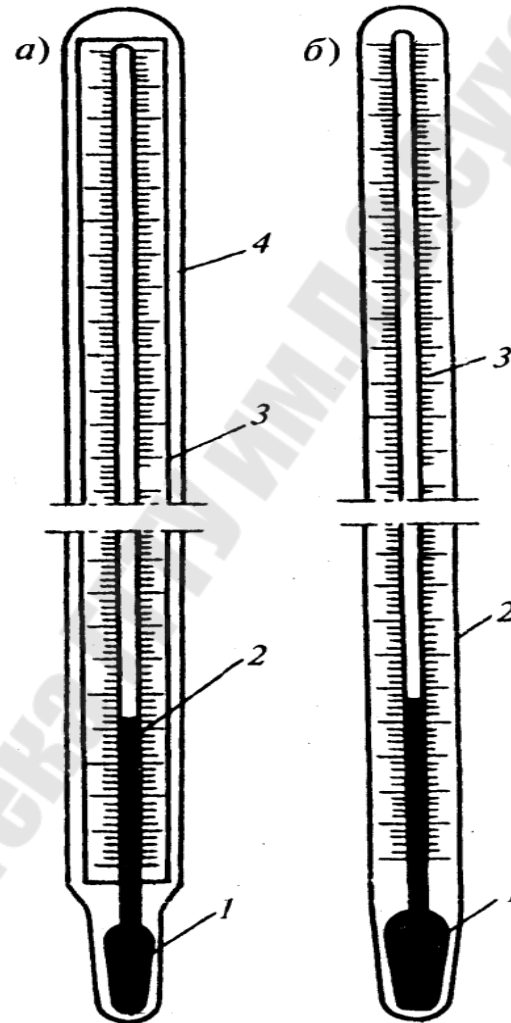


# Выпускаемые термометры по своей конструкции делятся на две группы:

- 1) термометры с вложенной шкалой, у которых шкальная пластина вставлена внутрь оболочки и жестко скреплена с капилляром (рис. 4.1а);
- 2) термометры палочного типа, у которых шкала нанесена непосредственно на внешнюю поверхность толстостенного капилляра (рис. 4.1б).



# Лабораторные ртутные термометры



- a* – с вложенной шкалой: 1 – стеклянный резервуар;  
2 – капилляр; 3 – шкальная пластина; 4 – стеклянная оболочка;  
*б* – палочный: 1 – резервуар; 2 – толстостенный капилляр; 3 –  
шкала на наружной поверхности капилляра

# **По назначению жидкостные термометры подразделяются на:**

- лабораторные;
- технические (производственные);
- рабочие эталоны (образцовые).



# Дилатометрические термометры

Действие основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения.

**стержневой**

**пластинчатый (биметаллический)**

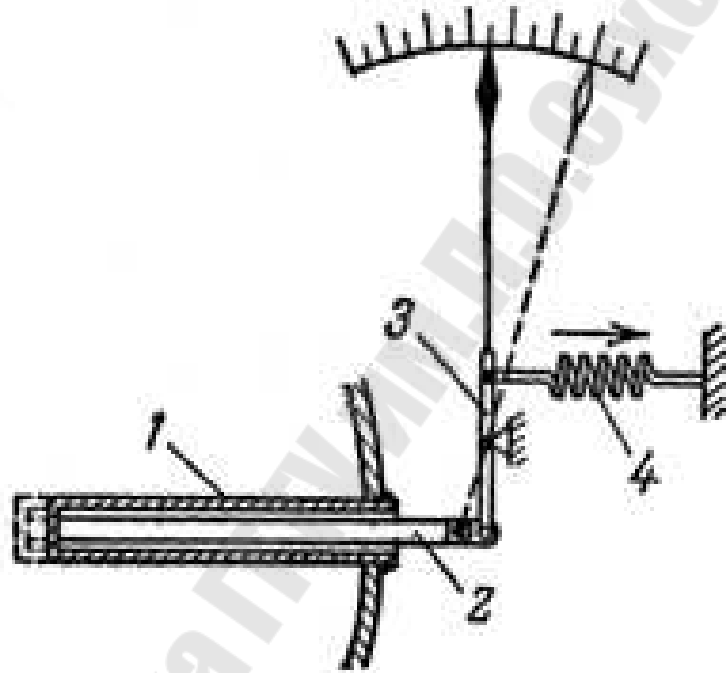
Зависимость длины  $l$  твердого тела от его температуры  $t$  выражается равенством:

где  $l_0$  – длина тела при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha$  – средний температурный коэффициент линейного расширения тела,  $\text{K}^{-1}$ .

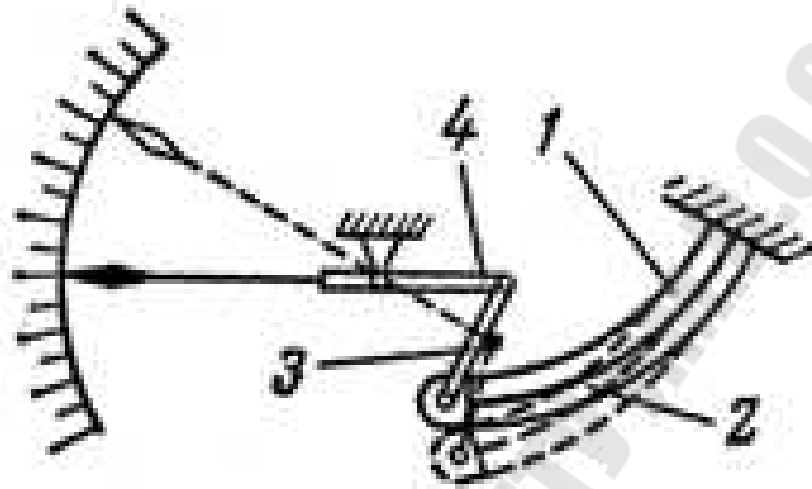


# Стержневой термометр



Имеет закрытую с одного конца трубку 1, помещаемую в измеряемую среду и изготовленную из материала с большим коэффициентом линейного расширения. В трубку вставлен стержень 2, прижимаемый к ее дну рычагом 3, скрепленным с пружиной 4.

# Пластинчатый термометр

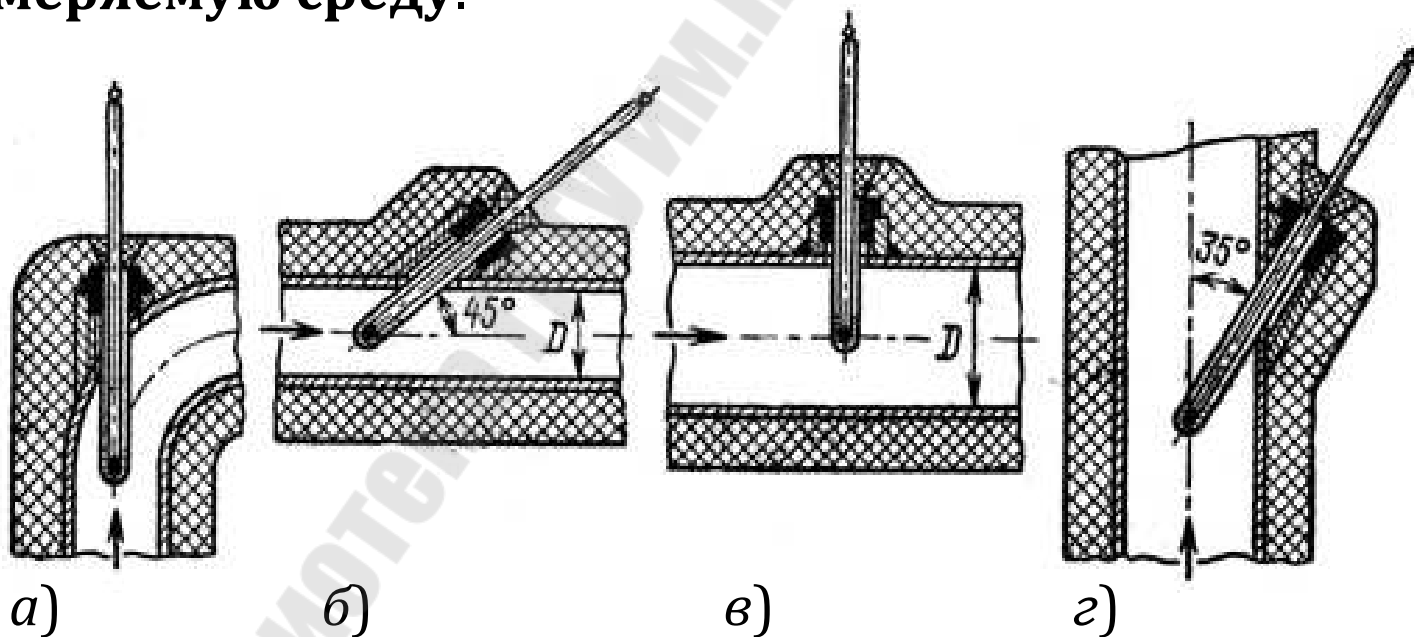


Состоит из двух изогнутых и спаянных между собой по краям металлических полосок, из которых полоска 1 имеет большой коэффициент линейного расширения, а полоска 2 – малый. Полученная пластинка меняет в зависимости от температуры степень своего изгиба, величина которого при помощи тяги 3, рычага 4 и соединенной с ним стрелки указывается по шкале прибора.

# Установка термометров расширения

Применяются два способа установки ртутных термометров:

- в защитных оправках (или гильзах)
- путем непосредственного погружения термометров в измеряемую среду.



Установка ртутного термометра в защитной гильзе:

а – вдоль оси трубопровода; б – наклонно к оси горизонтального трубопровода ( $D \leq 200$  мм); в – нормально к оси горизонтального трубопровода ( $D > 200$  мм); з – на вертикальном трубопроводе

# Поверка термометров

Периодическая поверка технических и лабораторных ртутных термометров производится путем сравнения их показаний с показаниями образцовых термометров 2-го разряда, а также по реперным точкам плавления льда и кипения воды. Термометры поверяются в 3-5 отметках шкалы, расположенных через равные интервалы. При поверке термометров методом сравнения применяются термостаты с электрообогревом, заполняемые дистиллированной водой (с интервалом поверки до  $99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), минеральным маслом (до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) или селитрой (до  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Поверка положения отметок  $0$  и  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  термометра производится соответственно в термостатах **плавления льда и кипения воды**. Для поверки термометров служат термостаты типов ТС-15м (водяной) и ТС-24 (водяной и масляный).



# Поправки к показаниям ртутных термометров

При точных измерениях температур с помощью ртутных термометров к их показаниям вводятся следующие поправки:

- **основная  $\Delta t$ ;**
- **на температуру выступающего столбика ртути  $\Delta t_{\text{в}}$ ;**
- **на смещение положения нулевой точки  $\Delta t_{\text{с}}$ .**

В общем случае определение действительной температуры среды  $t$  по показаниям  $t_{\text{T}}$  ртутного термометра производится согласно равенству:



**Основная поправка** принимается из свидетельства термометра.

**Поправка на температуру выступающего столбика ртути** вводится к показаниям только лабораторных и образцовых термометров в тех случаях, когда при измерении часть ртутного столбика namного выступает из защитной гильзы, а измеряемая температура значительно превышает температуру окружающего воздуха.

где  $n$  – число градусов в выступающей части ртутного столбика;

$\alpha_{\text{в}}$  – температурный коэффициент видимого расширения ртути в стекле,  $\text{K}^{-1}$ ;

$t_{\text{в}}$  – средняя температура выступающего столбика ртути,  $^{\circ}\text{C}$ .



**Поправка на смещение положения нулевой точки** термометра периодически определяется в процессе эксплуатации с помощью термостата плавления льда.

В случае отклонения положения нуля от указанного в свидетельстве (после нагрева в термостате) эта поправка вычисляется по формуле:

где  $t_1$  и  $t_2$  – температуры, соответствующие положению нулевой точки термометра по свидетельству (после нагрева в термостате) и после очередной поверки нуля в эксплуатации, °C.

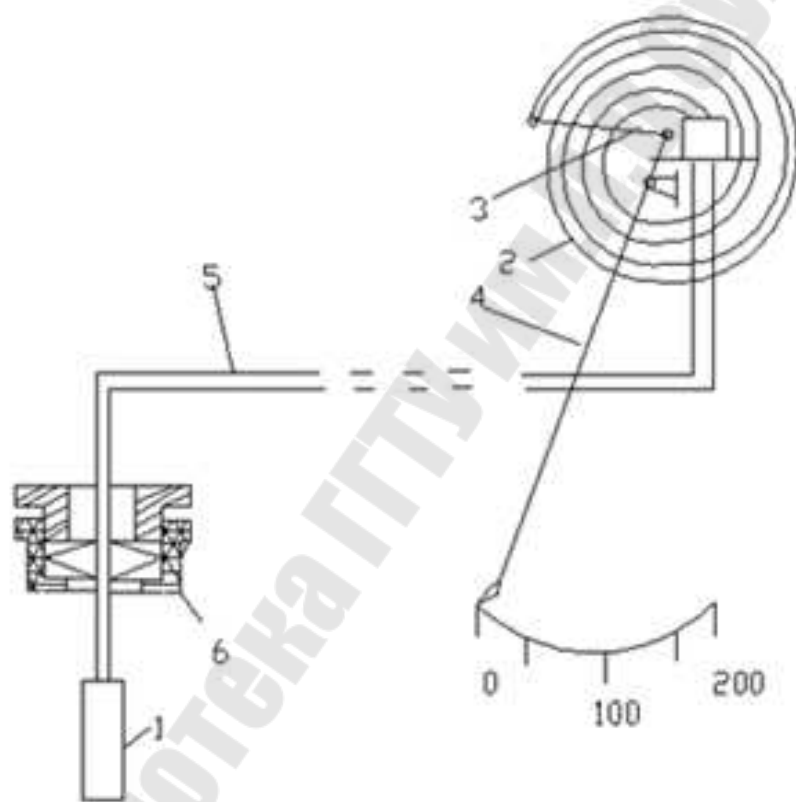


# Манометрические термометры



- Принцип действия манометрических термометров основан на изменении давления газа, жидкости или насыщенного пара в замкнутом объеме в зависимости от температуры.
- Являются промышленными показывающими и самопишущими приборами, предназначенными для измерения температуры в диапазоне до  $600^{\circ}\text{C}$ .
- Класс точности их 1-2,5.
- В зависимости от заключенного в термосистеме рабочего вещества манометрические термометры разделяются на:
  - - **газовые**
  - - **жидкостные**
  - - **конденсационные**

# Схема показывающего манометрического термометра



Термосистема прибора, заполненная рабочим веществом, состоит из термобаллона 1, погружаемого в измеряемую среду, манометрической трубчатой пружины 2, воздействующей посредством тяги 3 на указательную стрелку 4, и капилляра 5, соединяющего пружину с термобаллоном.

● **Газовые манометрические термометры** применяются для измерения температур в интервале от  $-200$  до  $600$  °С. В качестве наполнителя используется гелий (при низких температурах), азот (при средних температурах) или аргон (при высоких температурах). Класс точности газовых термометров 1 или 1,5. Они могут выпускаться показывающими или самопишущими.

● **Жидкостные манометрические термометры** используются для измерения температур в интервале от  $-50$  до  $300$  °С. В качестве термометрических жидкостей используется органическая полиметилсилоксановая жидкость ПМС-5 при низких температурах, при высоких – жидкость ПМС-10.

● **Конденсационные манометрические термометры**

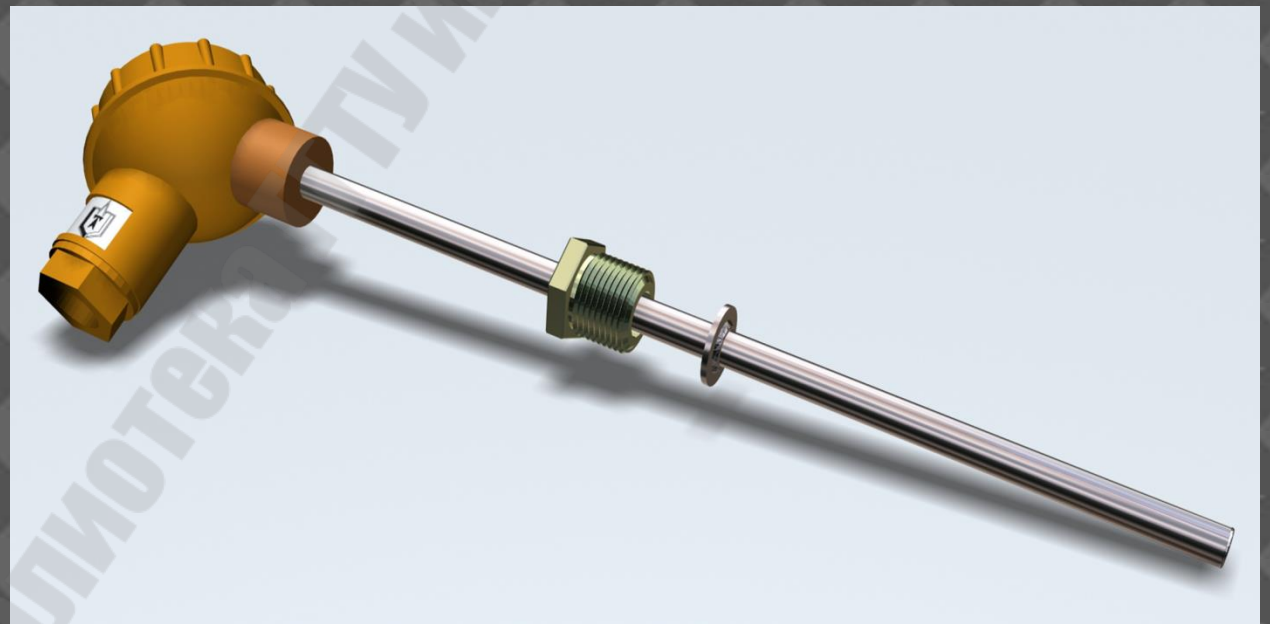


# Установка и поверка манометрических термометров

- При установке манометрических термометров в трубопроводах термобаллон помещается в середину потока. Термобаллон газовых и жидкостных термометров может занимать любое положение, а конденсационных – вертикальное (капилляром вверх) или слегка наклонное. При измерении температуры среды, находящейся под большим давлением, термобаллон устанавливается в защитной гильзе с наполнителем.
- Манометрические термометры поверяются на рабочем месте или в лаборатории. Поверка приборов в лаборатории производится в термостатах с электрообогревом, а на рабочем месте – при помощи сосудов с нагретой и холодной жидкостью (водой или маслом), смешиваемой до получения нужных температур. Для поверки в диапазоне температур 0-300 °С применяется образцовый ртутный термометр 2-го разряда, в диапазоне 300-600 °С – образцовый термометр сопротивления. Количество поверяемых отметок выбирается не менее трех – в начале, середине и конце шкалы.



# ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ



Основан на свойстве металлических проводников изменять в зависимости от нагрева их электрическое сопротивление.

Диапазон измерения – от  $-200$  до  $+650$  °C

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сякина

# ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ⦿ Достоинства:

- ⦿ - высокая точность измерения;
- ⦿ - возможность получения приборов с безнулевой шкалой на узкий диапазон температур;
- ⦿ - легкость осуществления автоматической записи и дистанционной передачи показаний;
- ⦿ - возможность присоединения к одному вторичному прибору при помощи переключателя нескольких однотипных термометров.

## ⦿ Недостаток:

- ⦿ - потребность в постороннем источнике тока.

⊙ **Металлы, применяемые для изготовления обмотки термометров сопротивления, должны обладать:**

⊙ - устойчивостью при нагревании, в частности однозначностью зависимости сопротивления от температуры и стойкостью проводника против коррозии, обеспечивающими надежность измерения;

⊙ - высоким и по возможности постоянным температурным коэффициентом электрического сопротивления, дающим высокую чувствительность прибора и линейное изменение сопротивления проводника от температуры;

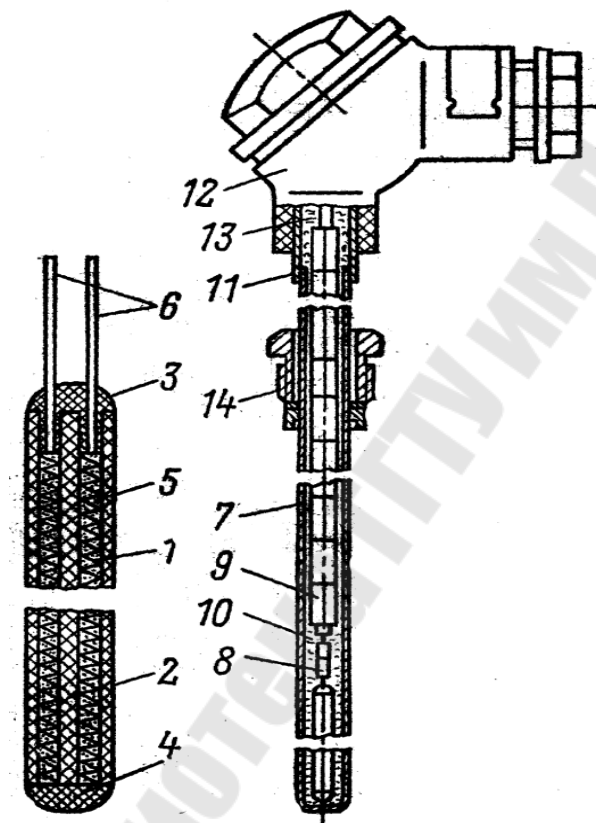
⊙ - большим удельным сопротивлением, позволяющим изготавливать термометры малых размеров;

# Типы термометров сопротивления:

- платиновые
- медные
- полупроводниковые

⊙ В качестве вторичных приборов используются измерительные мосты и логометры.

# УСТРОЙСТВО ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ



- 1 - платиновая спираль, 2 - многоканальная фарфоровая трубка,  
3, 4 - пробки, 5 - керамический порошок, 6 - выводные провода,  
7 - защитный чехол, 8, 9 - фарфоровые бусы, 10 - окись алюминия, 11 -  
стальная втулка, 12 - водозащищенная бакелитовая головка,  
13 - герметизирующая мастика, 14 - штуцер





Пирометры работают по принципу измерения излучаемой нагретыми телами энергии, зависящей от температуры этих тел.

Диапазон измерений - от 300 до 6000 °С.

Классификация по принципу действия:

- Монохроматические;
- Полного излучения;
- Частичного излучения;
- Спектрального отношения.



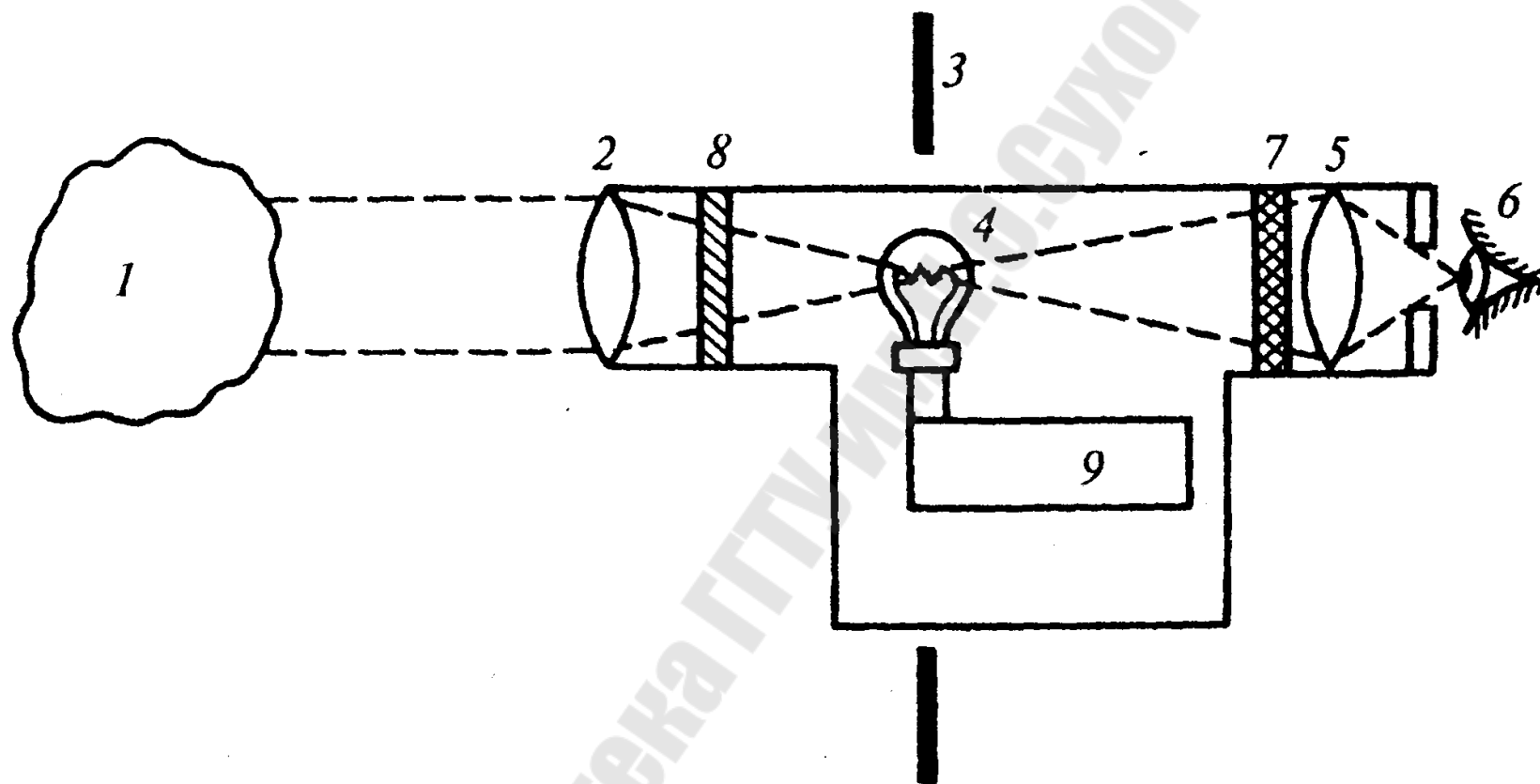


- Отношение спектральной энергетической яркости любого источника теплового излучения к спектральной энергетической яркости абсолютно черного тела при одной и той же длине волны и температуре называется **спектральным коэффициентом излучения (спектральная степень черноты)**.
- Полная (интегральная) энергетическая яркость тела при температуре может быть определена по спектральной энергетической яркости при интегрировании по всему диапазону длин волн
- Отношение полной энергетической яркости любого источника теплового излучения к полной энергетической яркости абсолютно черного тела при той же температуре называется **полным коэффициентом излучения (интегральной степенью черноты)**:



# Монохроматические пирометры

- **Монохроматические пирометры** (иногда называют **оптическими** или **визуальными**) воспринимают излучение в столь узком диапазоне длин волн, что оно считается монохроматическим (обычно это излучение красной части спектра с  $\lambda=0,65$  мкм).
- **Уравнение Планка:**
- **Яркостной температурой** называется условная температура реального нечерного тела, численно равная такой температуре абсолютно черного тела, при которой спектральные энергетические яркости абсолютно черного тела при температуре и реального тела при температуре равны.



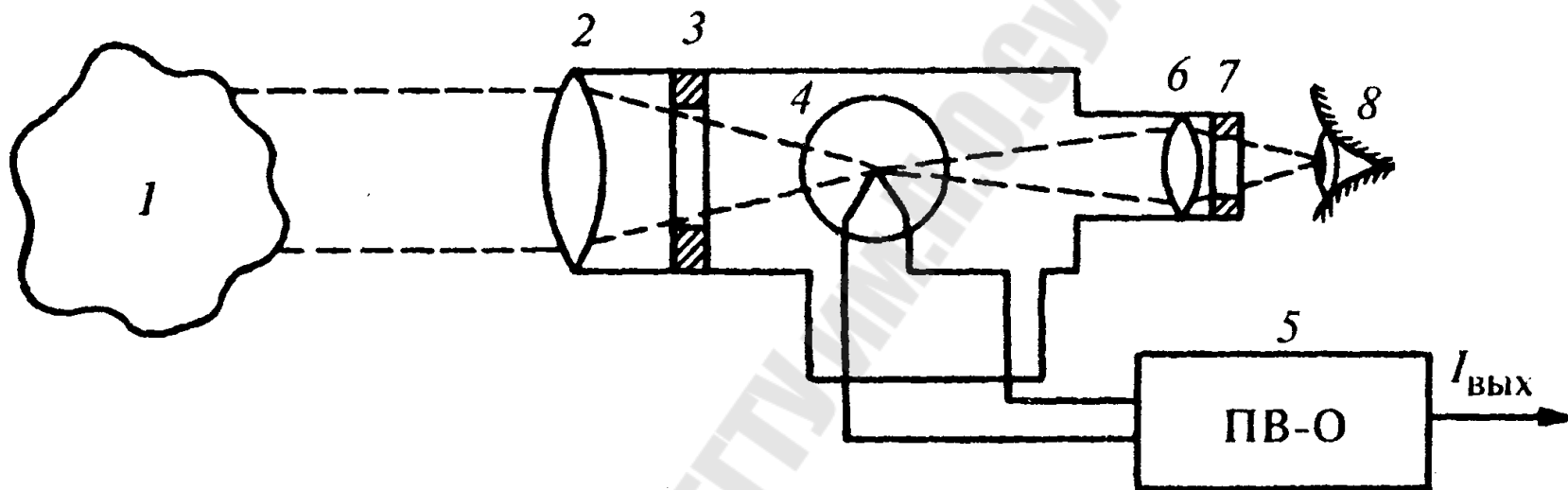
Принципиальная схема квазимонохроматического пирометра с исчезающей нитью накала: 1 – объект измерения; 2 – объектив; 3 – плоскость фокусирования; 4 – пирометрическая лампа; 5 – окуляр; 6 – наблюдатель; 7 – красный светофильтр; 8 – поглощающее стекло; 9 – электронный блок



# Пирометры полного и частичного излучения

- **Пирометры полного излучения** (обычно называются **радиационными**) воспринимают излучение в столь широком спектральном интервале, что зависимость интегральной энергетической яркости от температуры с достаточной точностью описывается законом Стефана-Больцмана, связывающим энергию излучения абсолютно черного тела с его температурой.
- **Радиационной температурой** называется условная температура реального тела, численно равная такой температуре абсолютно черного тела, при которой интегральные энергетические яркости реального и абсолютно черного тела равны.





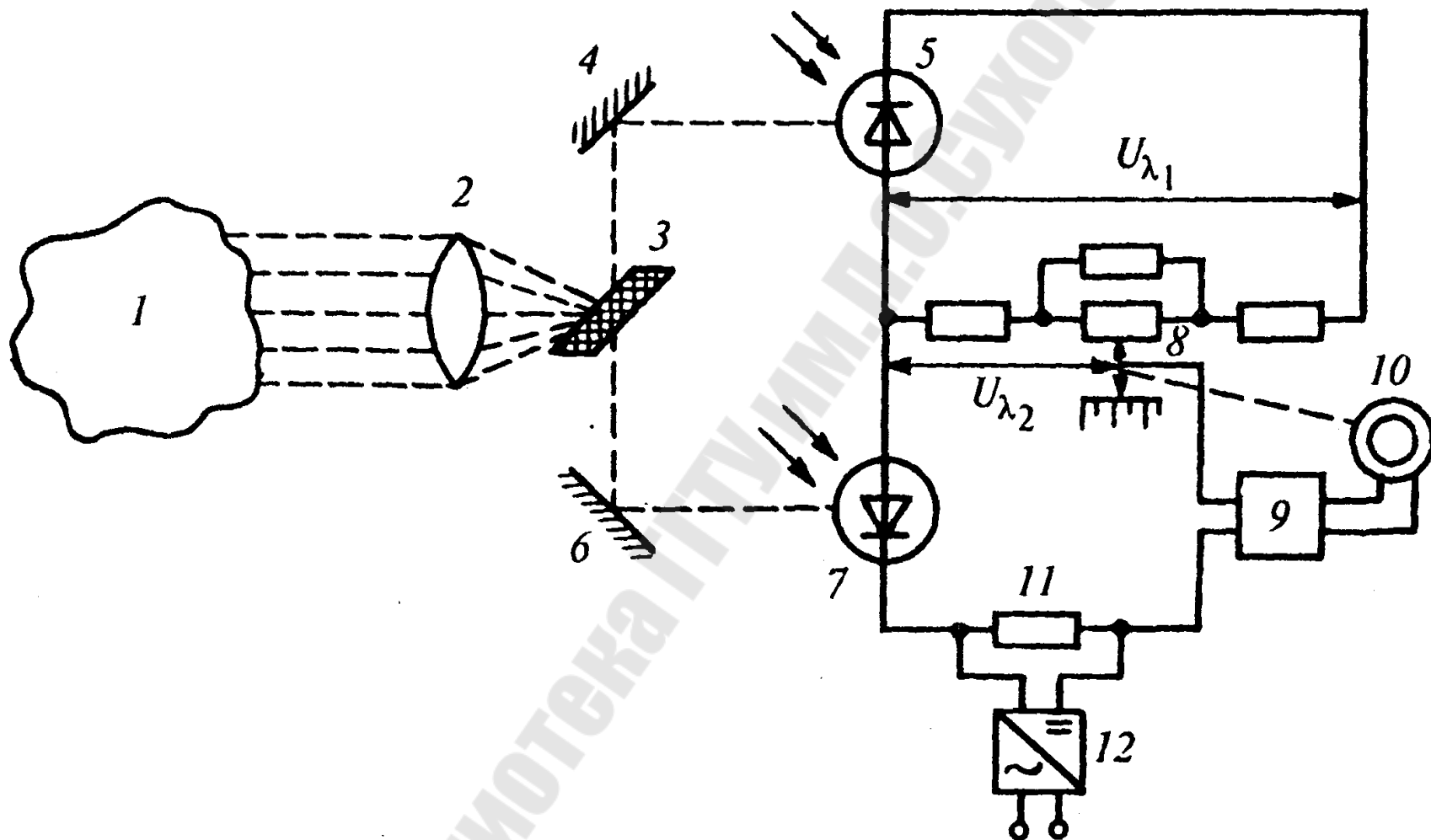
Принципиальная схема пирометра полного излучения с батареями: 1 – объект измерения; 2 – объектив телескопа;  
 3, 7 – диафрагма; 4 – термобатарея; 5 – вторичный измерительный преобразователь ПВ-О; 6 – окуляр;  
 8 - наблюдатель



# Пирометры спектрального отношения

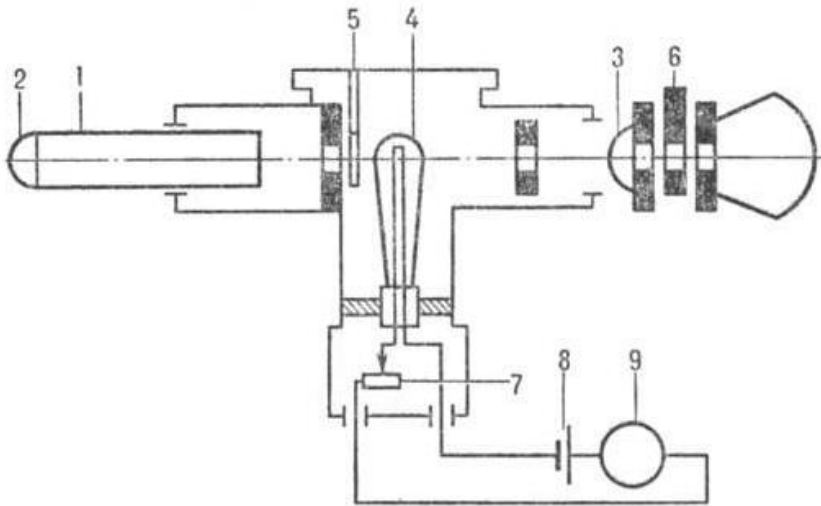
- Пирометр, действие которого основано на использовании зависимости от температуры тела отношения спектральной энергетической яркости для двух фиксированных длин волн, называется **пирометром спектрального отношения (цветовым)**.
- **Цветовой температурой** называется условная температура реального тела численно равная такой температуре абсолютно черного тела, при которой отношение спектральных энергетических яркостей абсолютно черного тела при длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  равно отношению спектральных яркостей при тех же длинах волн реального тела с температурой  $T$ .





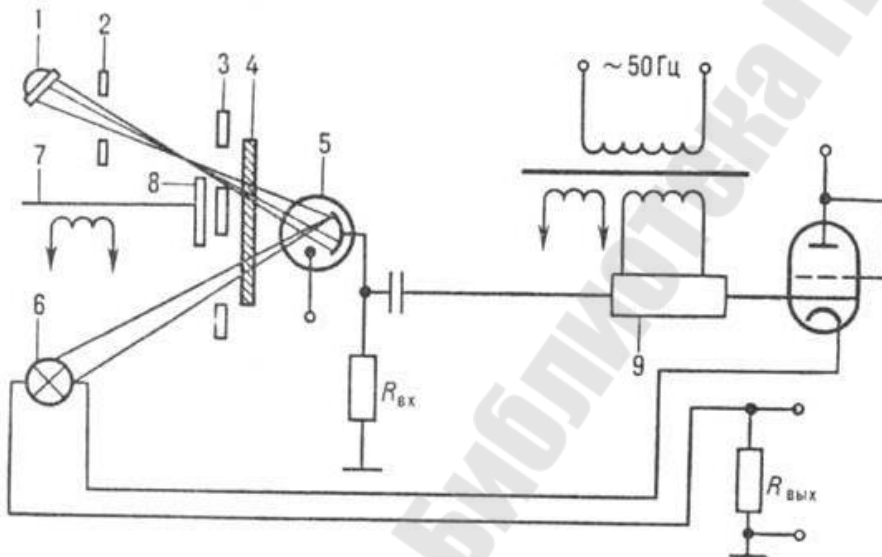
Принципиальная схема пирометра спектрального отношения:  
 1 – объект измерения; 2 – объектив; 3 – фильтр; 4, 6 – зеркало;  
 5, 7 – фотоэлементы; 8 – реохорд; 9 – усилитель; 10 –  
 реверсивный двигатель; 11 – резистор; 12 – стабилизатор  
 напряжения

# Пирометры



Пирометры полного излучения:

- 1 – линза
- 2 – диафрагма
- 3 – приёмники излучения
- 4 – окуляр
- 5 - светофильтр



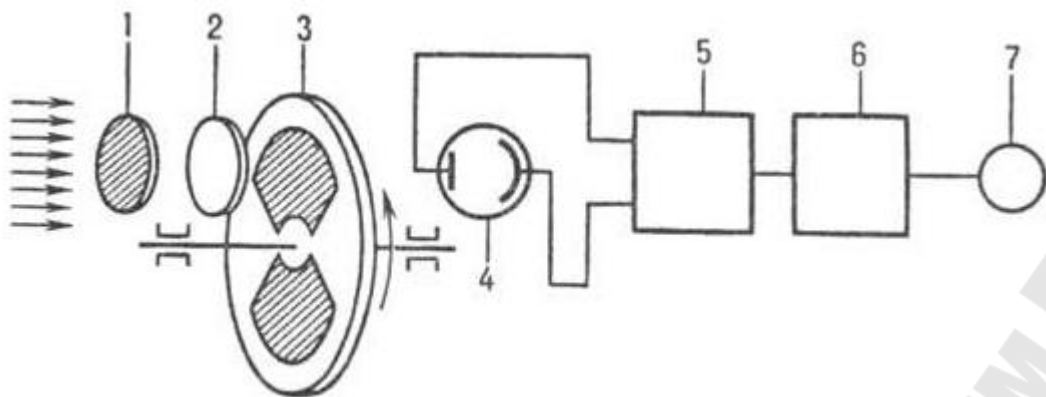
Фотоэлектрический пирометр:

- 1 – объектив
- 2, 3 – диафрагмы
- 4 – светофильтр
- 5 – фотоэлемент
- 6 – лампа
- 7 – модулятор света
- 8 – заслонка
- 9 – усилитель





# Пирометры



Пирометр спектрального отношения

1 – защитное стекло

2 – объектив

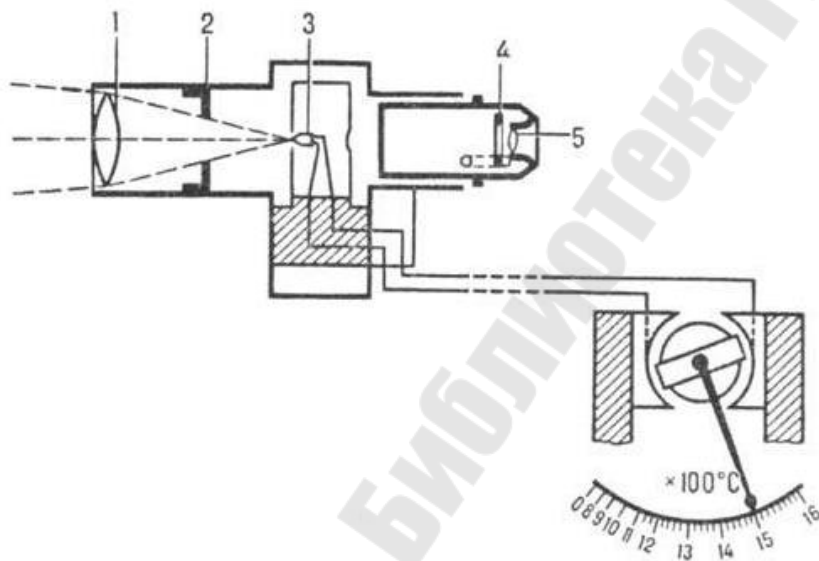
3 – обтюратор с красным и синим светофильтрами

4 – фотоэлемент

5 – усилитель

6 – логорифмическое устройство

7 - милливольтметр



Пирометр полного излучения:

1 – линза

2 – диафрагма

3 – приёмник излучения

4 – окуляр

5 - светофильтр



# Пирометры





# ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ



Давление – широкое понятие, характеризующее нормально распределенную силу, действующую со стороны одного тела на единицу поверхности другого.

Единица измерения давления в системе СИ – Паскаль (Па), равный давлению, создаваемому силой в один ньютон действующей на площадь в

Единицы измер	Па	Бар	кгс/см <sup>2</sup>	кгс/м <sup>2</sup> (мм вод. ст.)	мм рт. ст.
1 Па	1	10 <sup>-5</sup>	1,0197·10 <sup>-5</sup>	0,10197	7,5006·10 <sup>-3</sup>
1 Бар	10 <sup>5</sup>	1	1,0197	1,0197·10 <sup>4</sup>	750,06
1 кгс/см <sup>2</sup>	9,8066·10 <sup>4</sup>	0,98066	1	10 <sup>4</sup>	735,56
1 кгс/м <sup>2</sup> (мм вод. ст.)	9,8066	0,98066·10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	1	7,3556·10 <sup>-2</sup>
1 мм рт. ст.	133,32	1,3332·10 <sup>-3</sup>	1,3595·10 <sup>-3</sup>	13,595	1

- × При измерениях различают следующие виды давления:
- × - **абсолютное**
- × - **избыточное**
- × - **вакуумметрическое**
- × Под **абсолютным давлением** понимают полное давление, которое равно сумме атмосферного давления  $p_{ат}$  и избыточного  $p_u$ :
- × Понятие **вакуумметрического давления** вводится при измерении давления ниже атмосферного:

- × Средства измерения, предназначенные для измерения давления и разности давлений, называются **манометрами**.
- × Подразделяются на:
  - × - **барометры**
  - × - **манометры избыточного давления**
  - × - **вакуумметры**
  - × - **манометры абсолютного давления**
- × Манометры, предназначенные для измерения давления или разрежения в диапазоне до 40 кПа (0,4 кгс/см<sup>2</sup>), называются **напоромерами** и **тягомерами**.
- × **Дифференциальные манометры** применяются для измерения разности давлений.

✘ В зависимости от принципа, используемого для преобразования силового воздействия давления на чувствительный элемент в показания или пропорциональные изменения другой физической величины, средства измерения давления разделяются на:

- ✘ - жидкостные
- ✘ - деформационные
- ✘ - электрические
- ✘ - ионизационные
- ✘ - тепловые
- ✘ - грузопоршневые

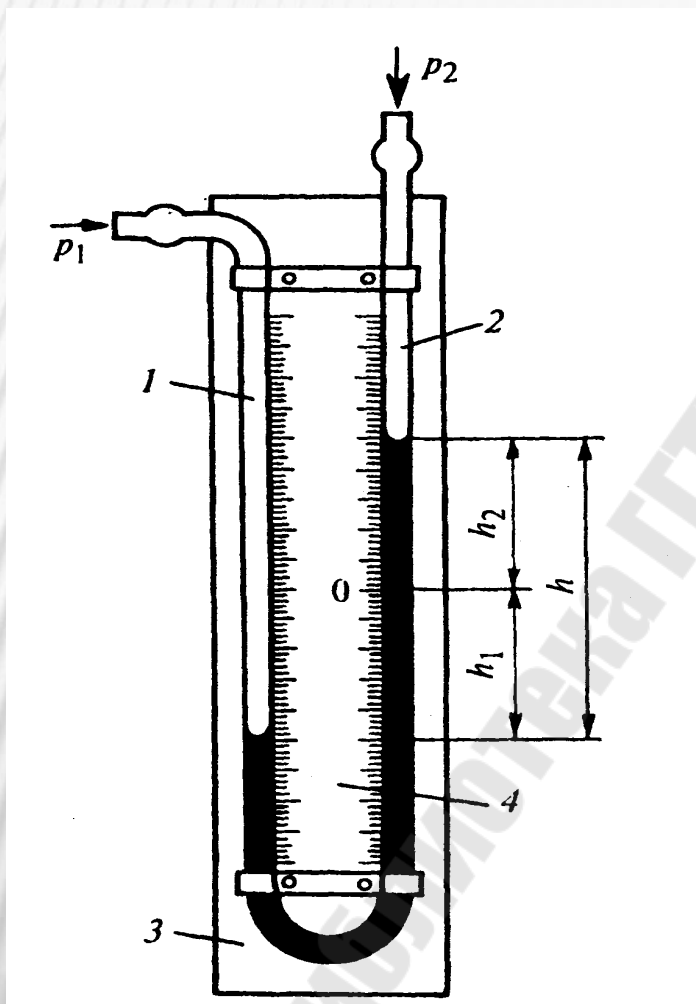
# ЖИДКОСТНЫЕ МАНОМЕТРЫ И ДИФМАНОМЕТРЫ

В жидкостных манометрах измеряемое давление или разность давлений уравновешивается гидростатическим давлением столба жидкости.





# × Двухтрубные жидкостные манометры



- 1, 2 – вертикальные сообщающиеся стеклянные трубки;
- 3 – основание;
- 4 – шкальная пластина

✦ Столб жидкости высотой  $h$ , м, уравнивает разность давлений в Па:

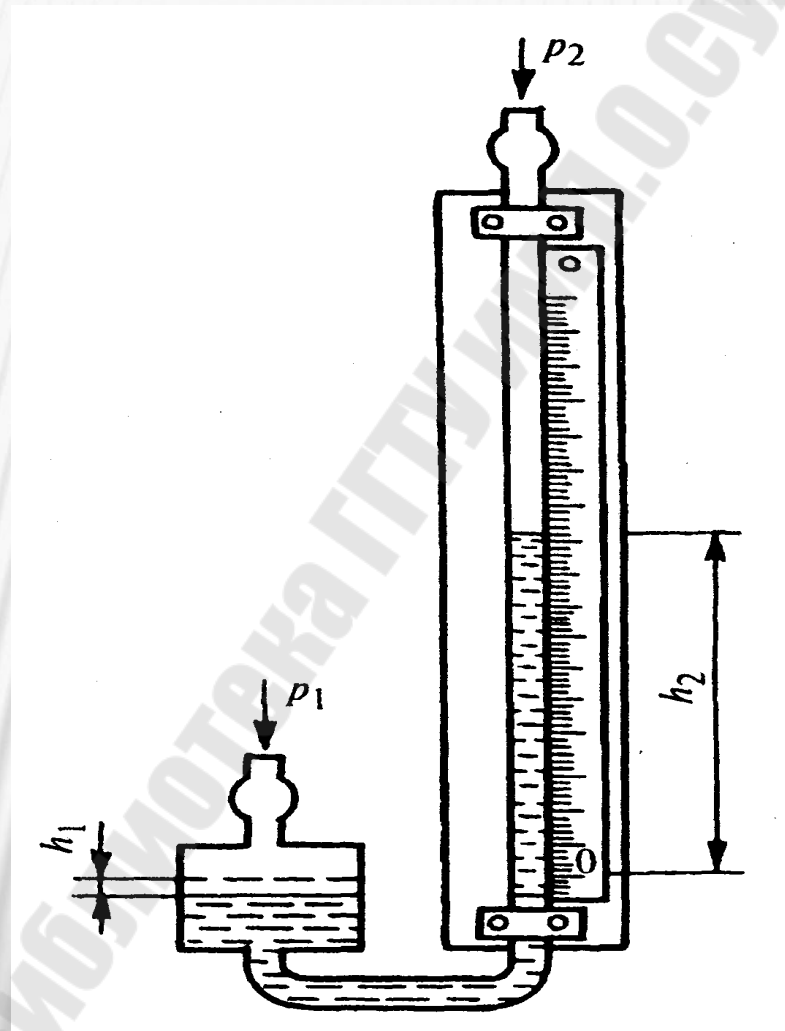
✦ где  $\rho$  – плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

✦  $g$  – местное ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>

✦ В качестве рабочей жидкости используются **вода, ртуть, спирт, трансформаторное масло.**

✦ Функции чувствительного элемента, воспринимающего изменения измеряемой величины, выполняет **рабочая жидкость**, выходной величиной является **разность уровней**, входной – **давление или разность давлений.**

# × Однотрубные манометры



- ✖ У однострубног манометра одна трубка заменена широким сосудом, в который подается большее из измеряемых давлений.
- ✖ Поскольку объем жидкости, вытесненный из широкого сосуда, равен объему жидкости, поступившему в измерительную трубку

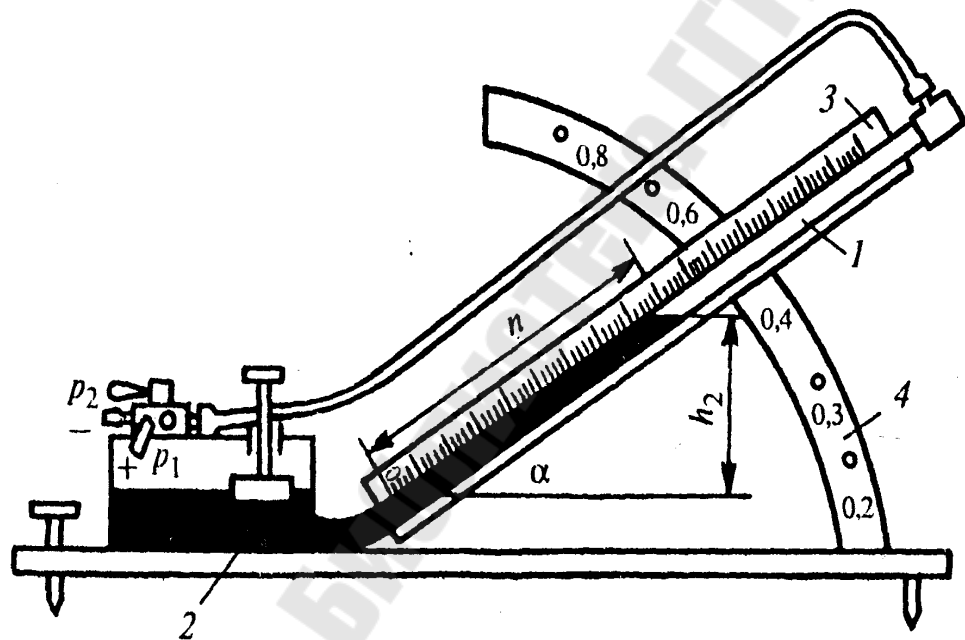
$$h_1 F = h_2 f, h_1 = h_2 f / F$$

- ✖ где  $f, F$  – площади поперечного сечения измерительной трубки и широкого сосуда.

# МИКРОМАНОМЕТРЫ



Используются для измерения давления и разности давлений до 3 кПа (300 кгс/м<sup>2</sup>), являются разновидностью однострубных манометров и снабжены специальными приспособлениями либо для уменьшения цены деления шкалы, либо для повышения точности считывания высоты уровня за счет использования оптических или других устройств.



- 1 – измерительная трубка;
- 2 – сосуд;
- 3 – кронштейн;
- 4 – сектор



- × Исходя из равенства объемов рабочей жидкости, вытесненной из широкого сосуда 2 в измерительную трубку 1, получаем:

$$h_2 F = \pi f, h_1 = \pi f / F$$

- × ... уровня в широком сосуде;
- ×  $f, F$  – площади поперечного сечения широкого сосуда и трубки.
- × Поскольку

$$h_2 = \pi \sin \alpha$$

$$P_2 - P_1 = \rho g (h_1 - h_2) = \rho g \pi (f / F + \sin \alpha)$$

# БАРОМЕТРЫ

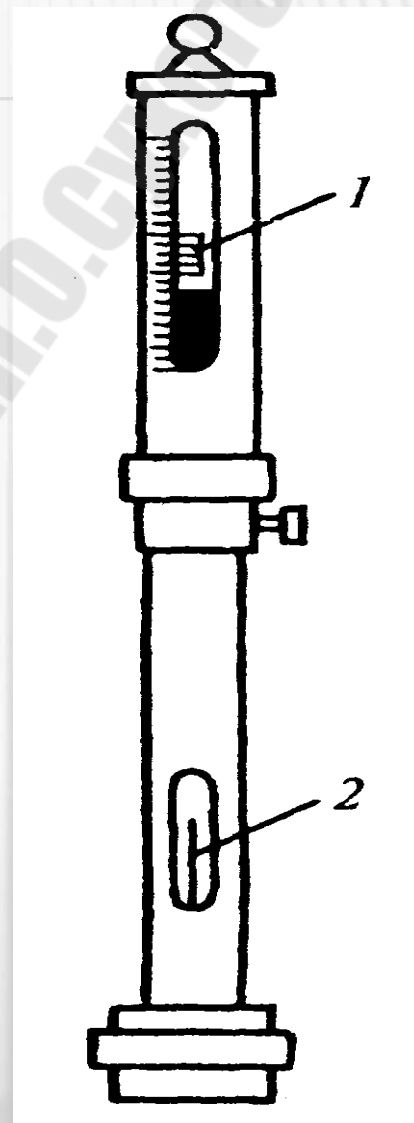
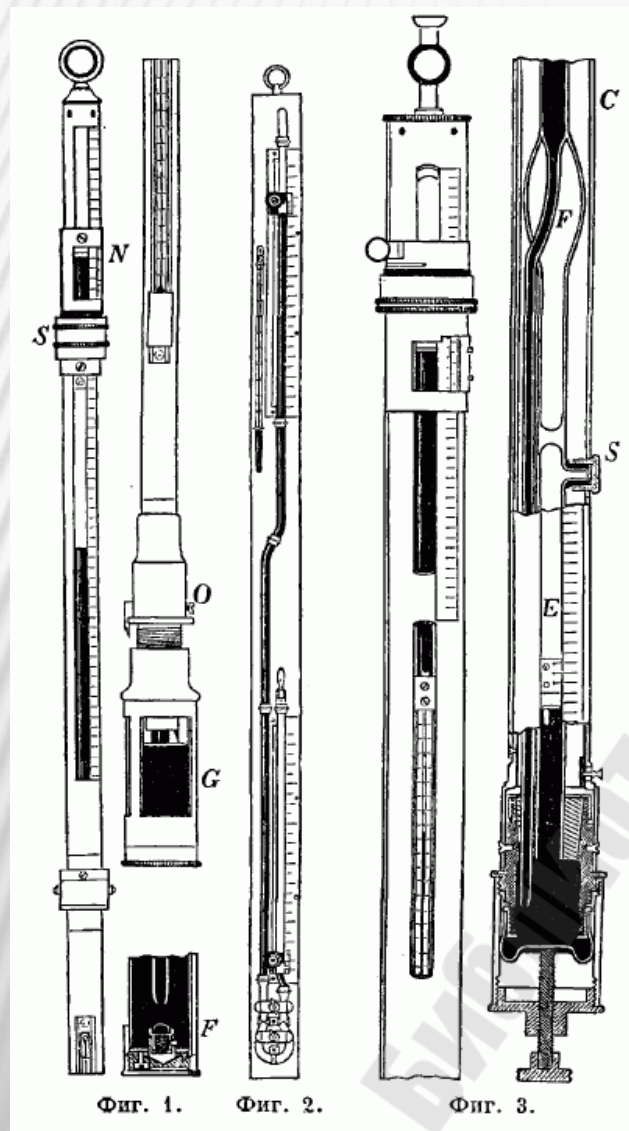


Схема чашечного ртутного барометра  
1 – нониус; 2 – термометр



# КОМПРЕССИОННЫЕ МАНОМЕТРЫ

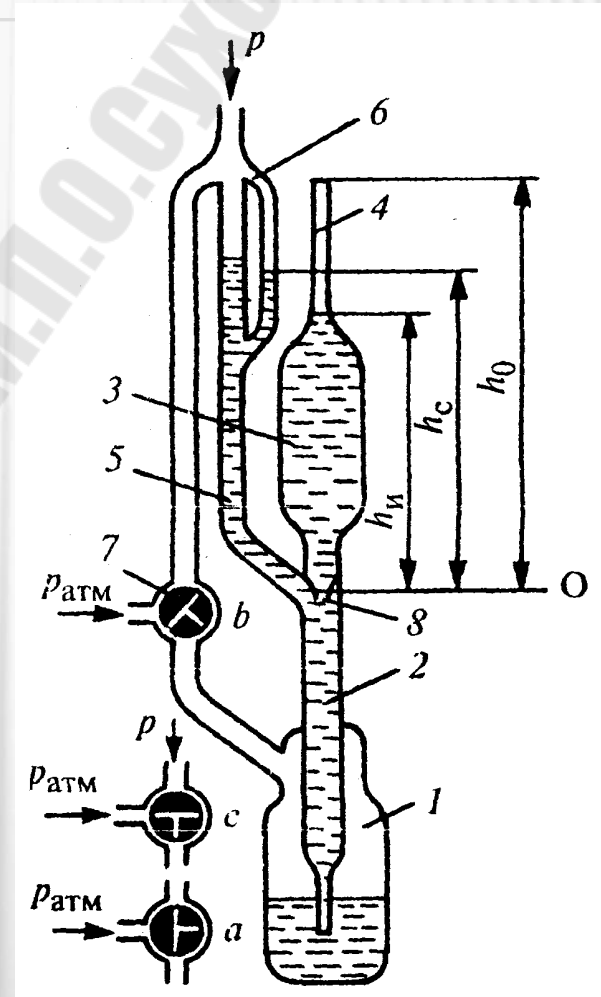
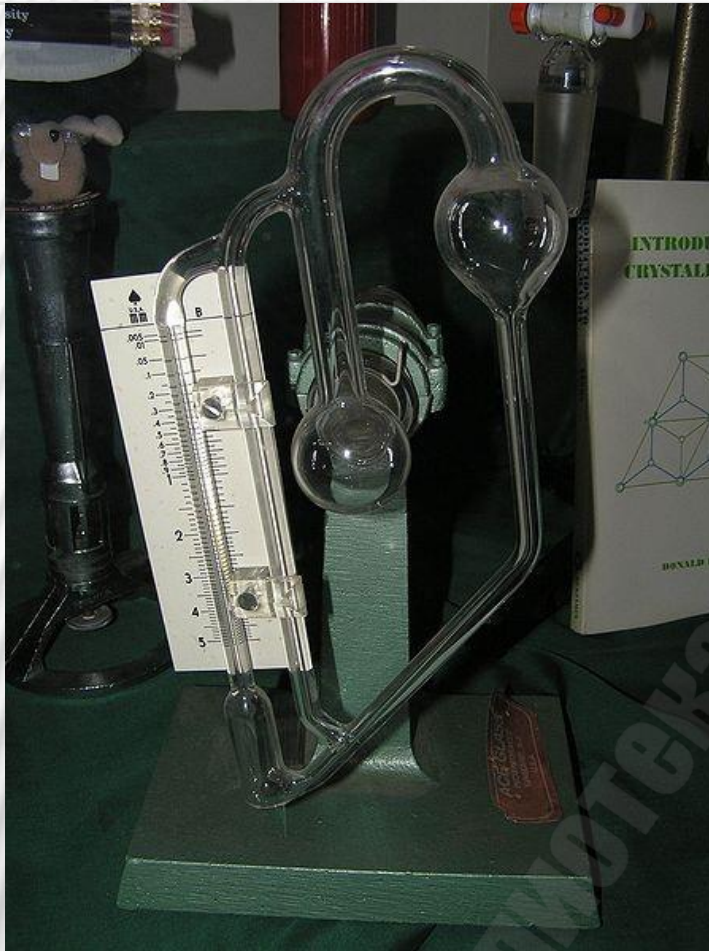


Схема компрессионного манометра:

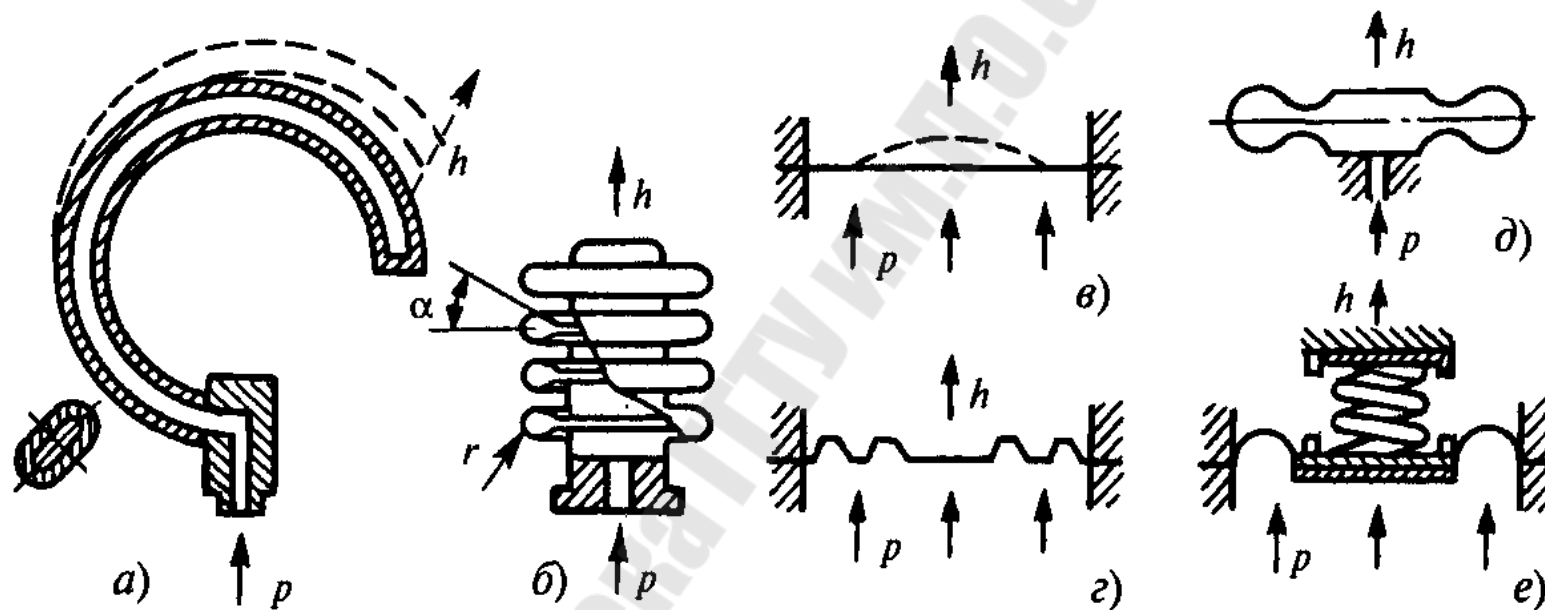
1 – резервуар; 2, 5 – трубки; 3 – измерительный баллон; 4 – глухой измерительный капилляр; 6 – капилляр сравнения; 7 – трехходовой кран; 8 – устье баллона

# ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МАНОМЕТРЫ И ДИФМАНОМЕТРЫ

Используется зависимость деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления.



# УПРУГИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



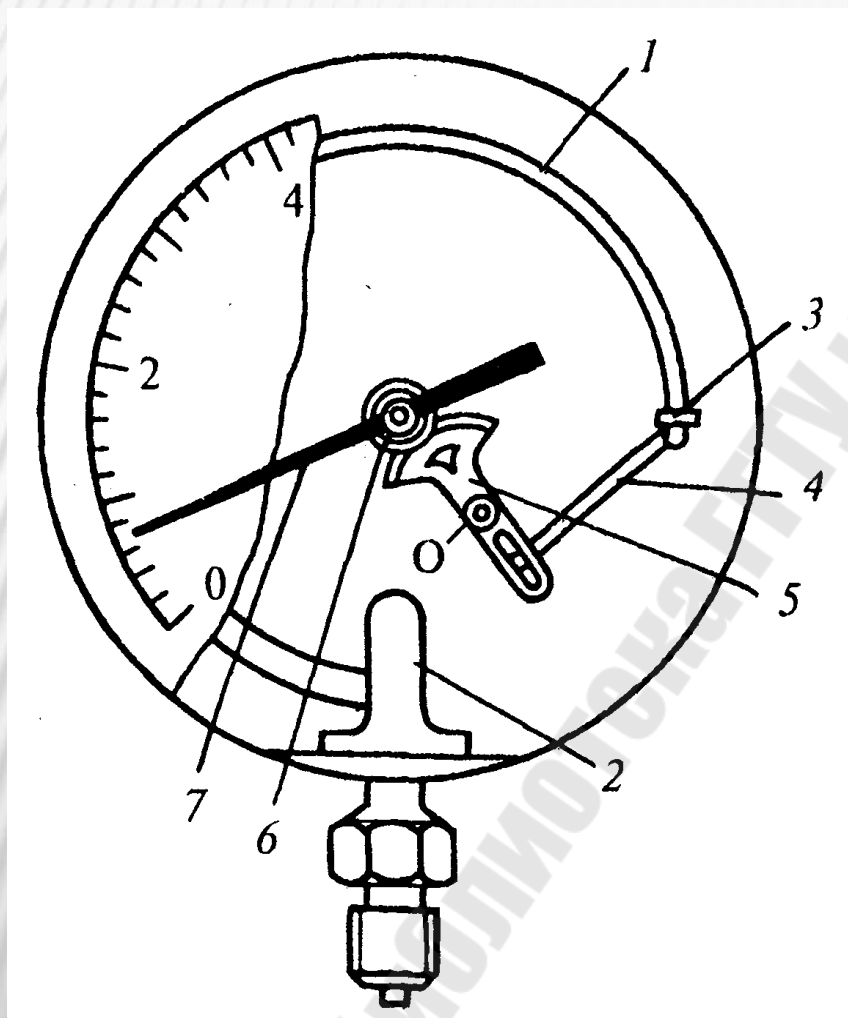
$a$  – трубчатые пружины;  $b$  – сильфоны;  
 $v, g$  – плоские и гофрированные мембраны;  
 $d$  – мембранные коробки;  $e$  – вялые мембраны с жестким центром

✘ В соответствии с используемым в приборах типом рассмотренных чувствительных элементов деформационные манометры подразделяются на:

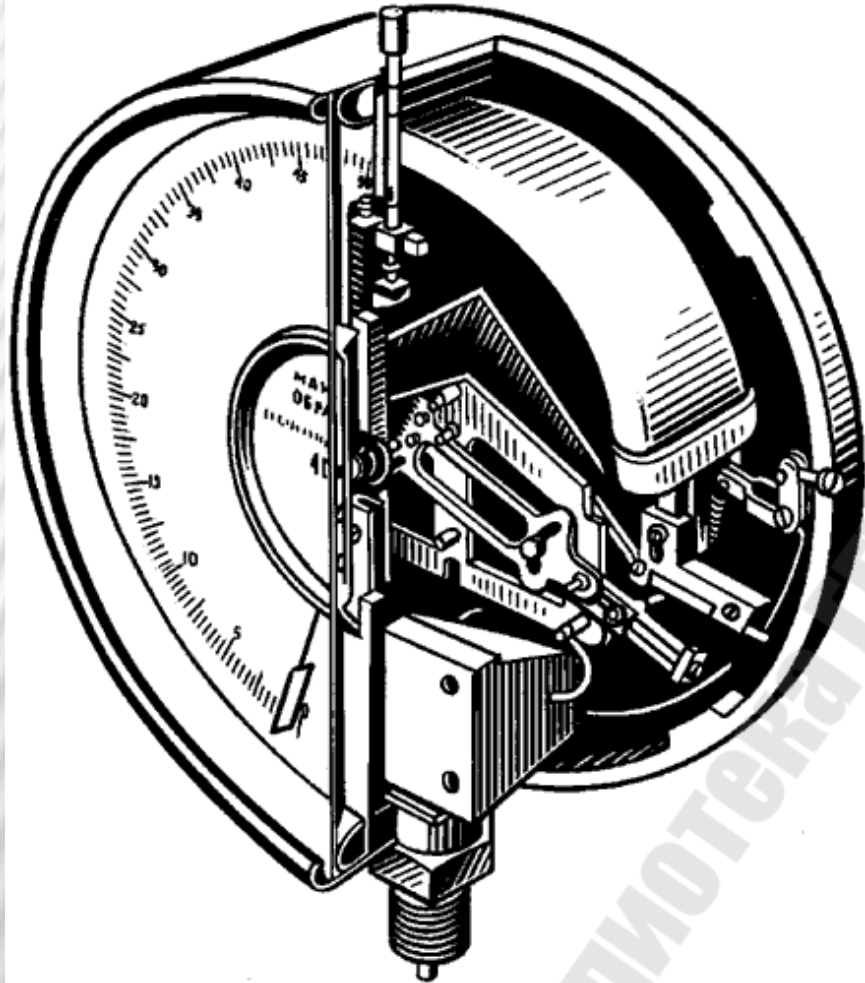
- ✘ пружинные
- ✘ сильфонные
- ✘ мембранные



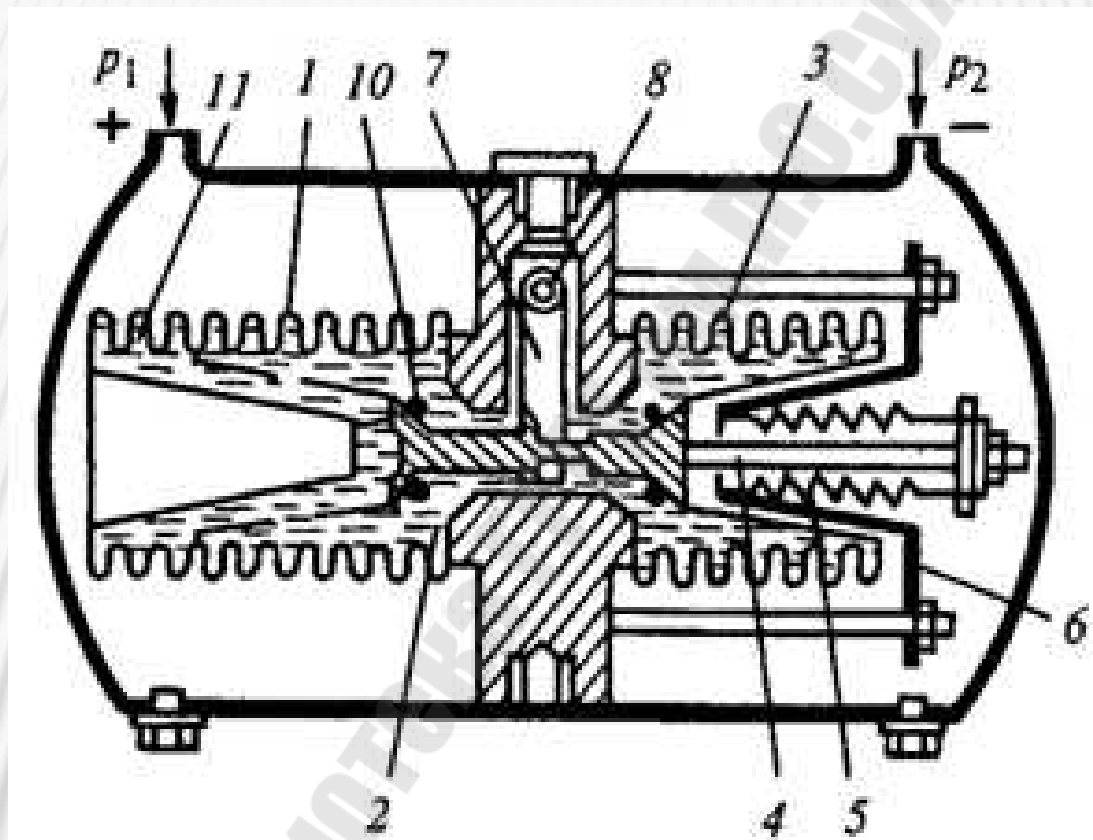
# ПРУЖИННЫЕ МАНОМЕТРЫ



- 1 – одновитковая  
трубчатая пружина;  
2 – держатель; 3 – пробка;  
4 – поводок; 5 – зубчатый  
сектор; 6 – шестерня;  
7 – стрелка



# СИЛЬФОННЫЕ МАНОМЕТРЫ



- 1 – рабочий сильфон; 2 – кремнийорганическая жидкость;  
3 – внутренняя полость сильфона; 4 – шток;  
5 – пружины; 6 – неподвижный стакан; 7 – рычаг;  
8 – торсион; 9 – ось; 10 – резиновые кольца; 11 – гофры





# МЕМБРАННЫЕ МАНОМЕТРЫ

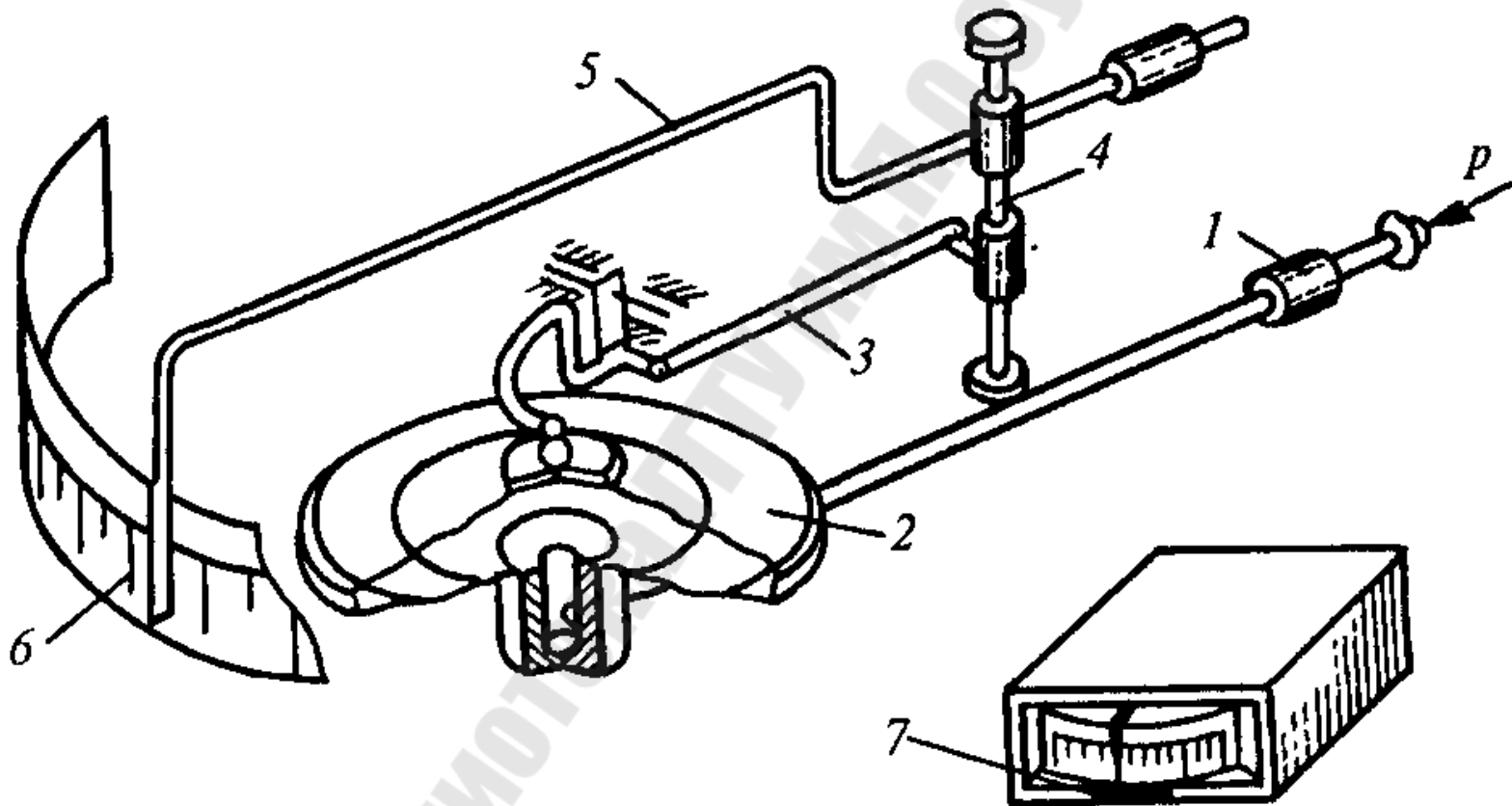


Схема и внешний вид профильного мембранного напоромера НМП:  
1 – штуцер; 2 – мембранная коробка; 3 – система рычагов и тяг; 4 – ось; 5 – показывающая стрелка; 6 – профильная шкала; 7 – корректор

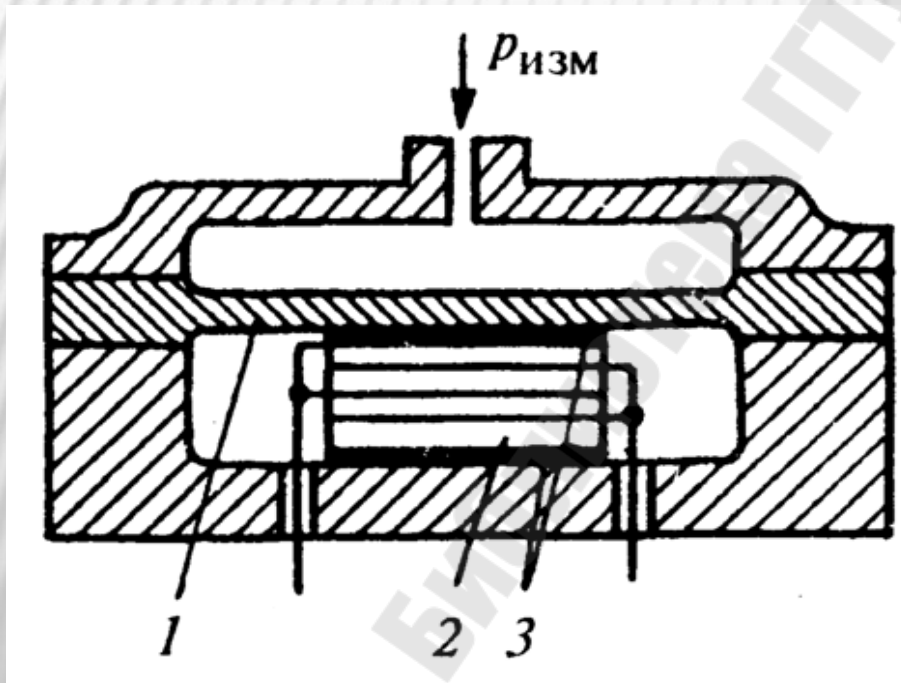


# МАНОМЕТРЫ КОСВЕННОГО ТИПА

- ✦ В манометрах косвенного типа измеряемая величина, связанная с давлением, преобразуется в электрический сигнал, поэтому датчики этих манометров называют **преобразователями**.

# ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАНОМЕТРЫ

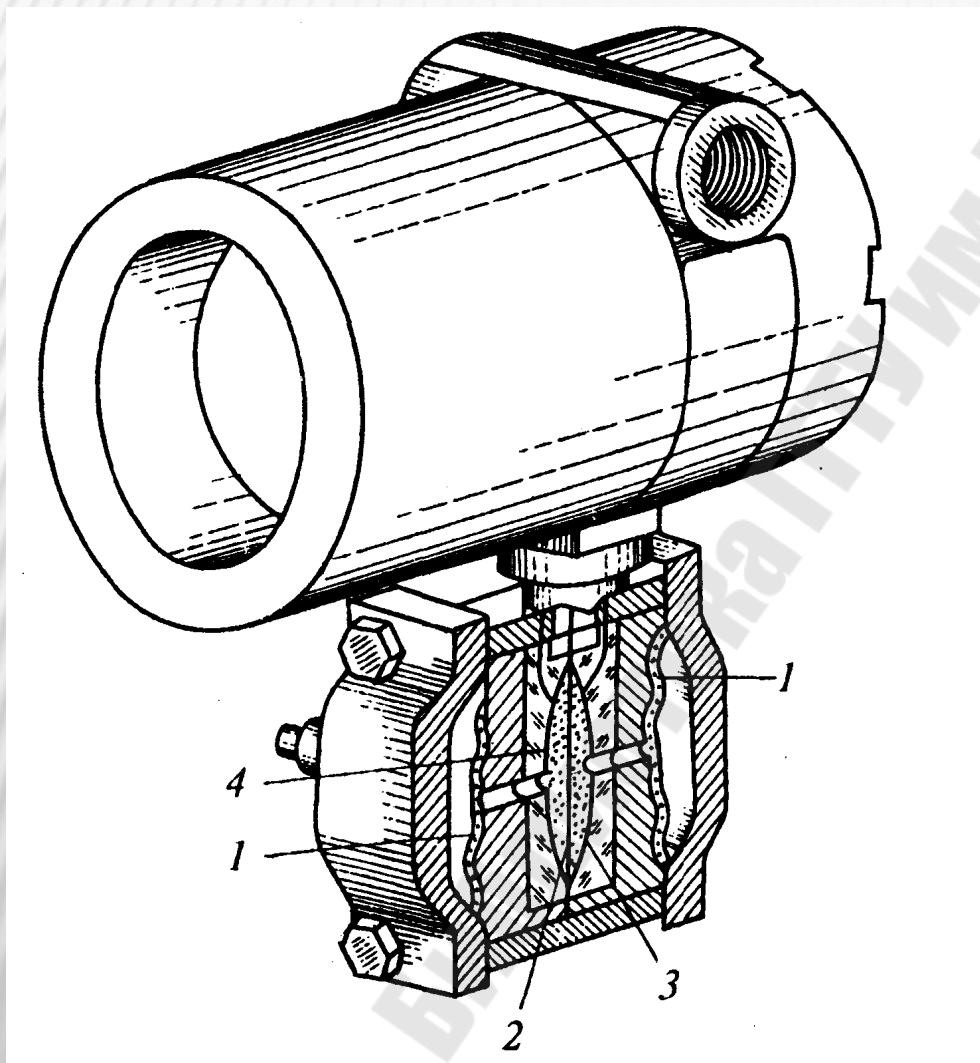
Принцип действия манометров этого типа основан на пьезоэлектрическом эффекте, сущность которого состоит в возникновении электрических зарядов на поверхности сжатой кварцевой пластины, которая вырезается перпендикулярно электрической оси кристаллов кварца.



- 1 – мембрана;
- 2 – кварцевые пластины;
- 3 – металлизированные плоскости



# МАНОМЕТРЫ С ЕМКОСТНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

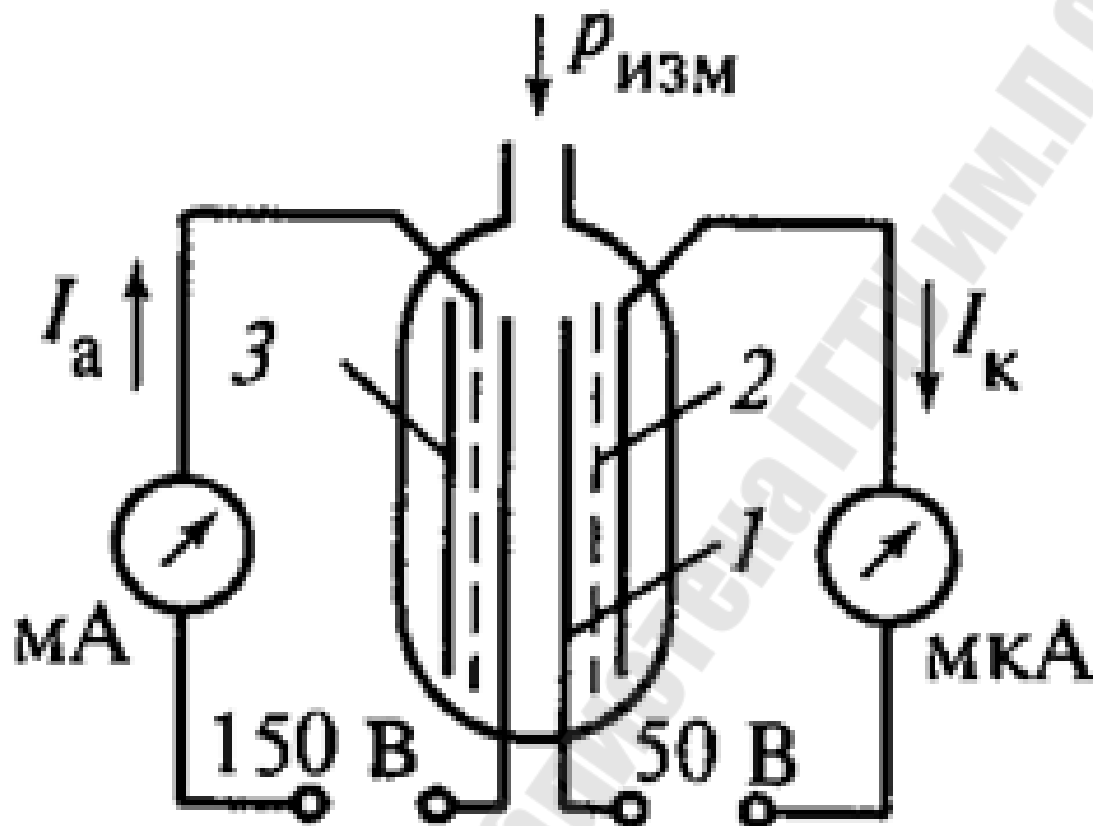


- 1 – разделительные мембраны;
- 2 – чувствительная мембрана;
- 3, 4 – неподвижные обкладки конденсаторов





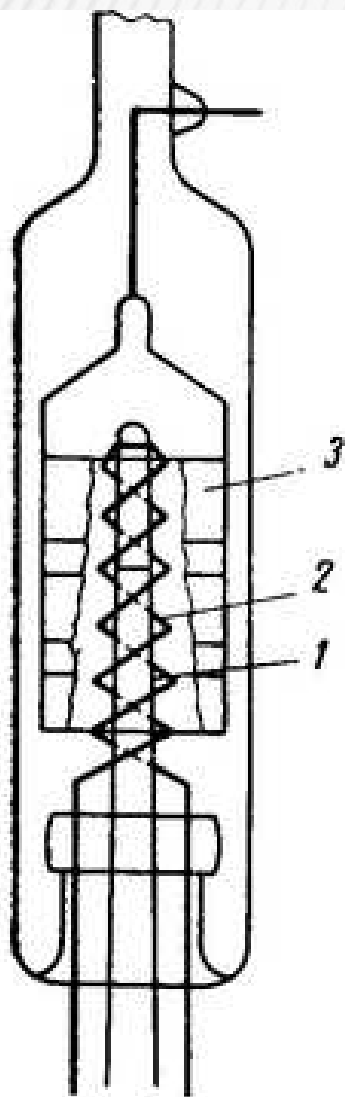
# ИОНИЗАЦИОННЫЕ МАНОМЕТРЫ



- 1 – катод;
- 2 – анодная сетка;
- 3 – цилиндрический ионный коллектор

Для измерения давления в диапазоне  $10^{-1} \dots 10^{-8}$  Па



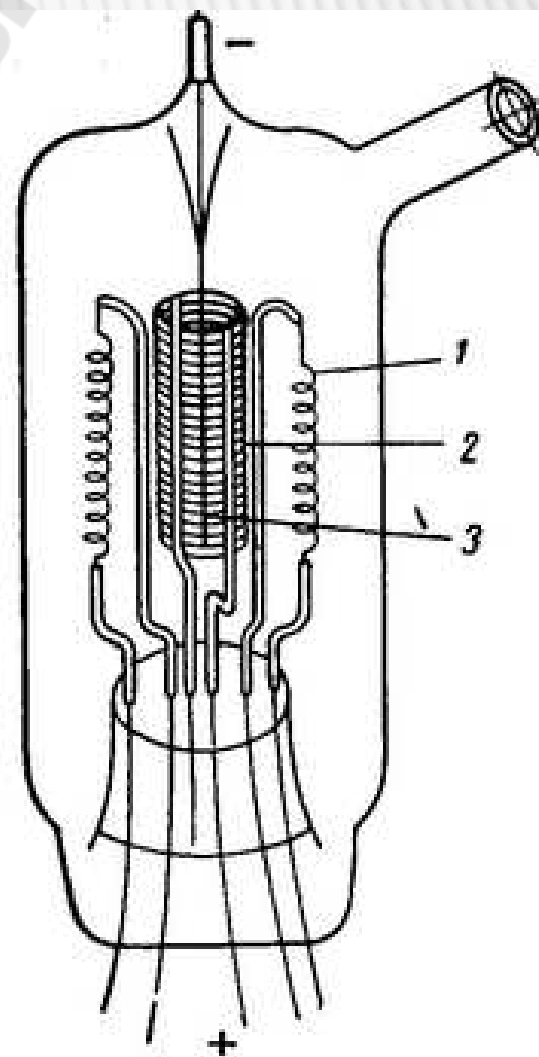


*Ионизационный манометр  
ЛМ-2:*

*1 — катод; 2 — сетка; 3 — коллектор*

*Лампа ионизационного манометра  
Байарда-Альперта с обра-  
щенным расположением электродов:*

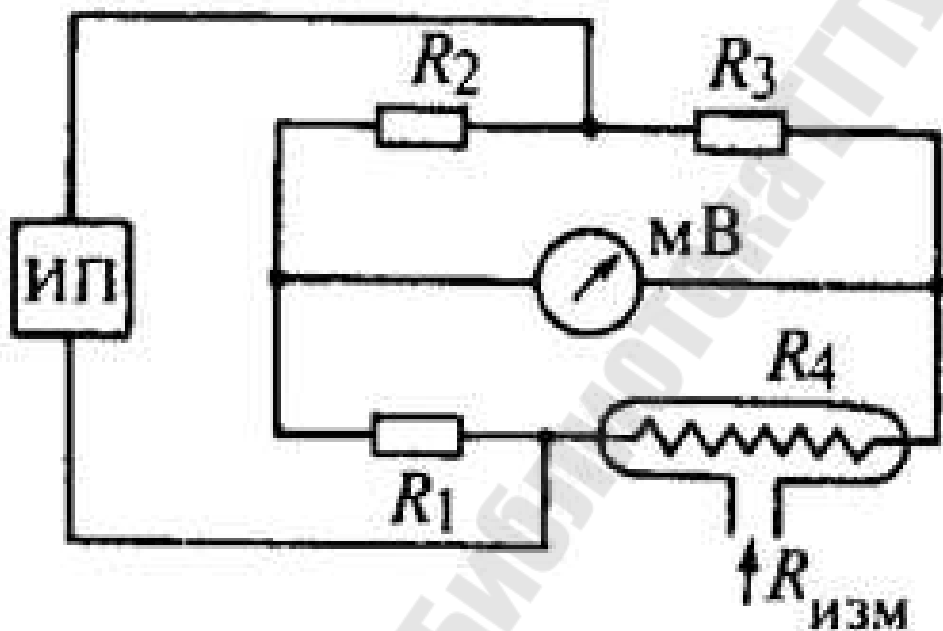
*1 — нить накала; 2 — положи-  
тельно заряженная электрическая  
сетка; 3 — коллек-  
тор ионов*





# ТЕПЛОВЫЕ МАНОМЕТРЫ

В тепловых манометрах используется зависимость молекулярной теплопроводности газа от давления пара при высоком вакууме. Датчик любого теплового манометра представляет собой колбу с нитью, нагреваемой электрическим током.



Для измерения давления в диапазоне  $1 \cdot 10^4$  Па

По способу измерения температуры нити тепловые манометры делятся на два типа:

- манометры сопротивления;
- термопарные.

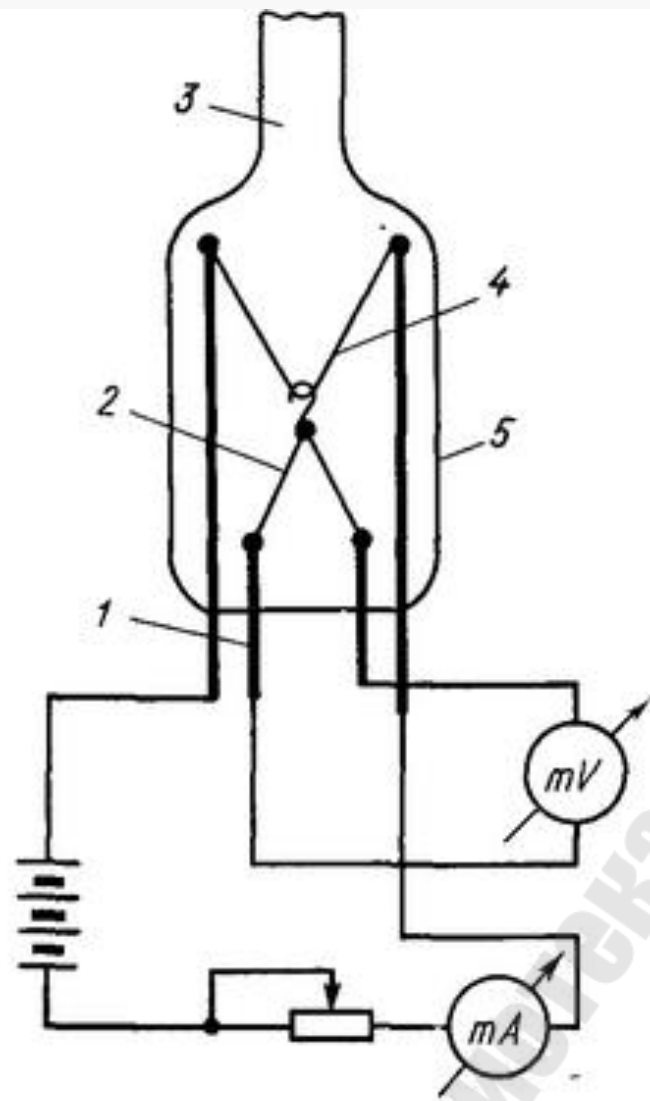


Схема термопарного манометра.

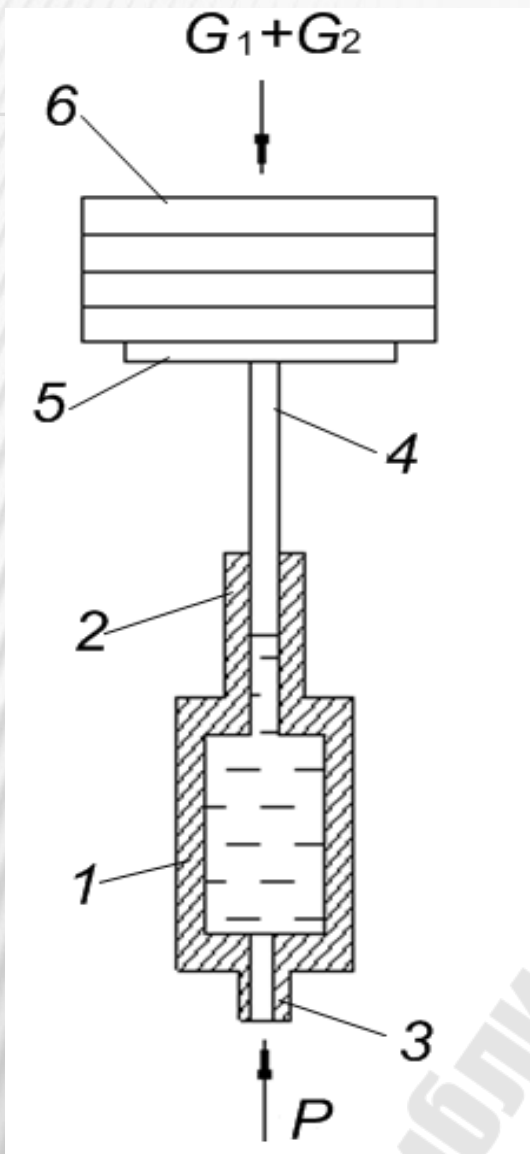
1 — ввод питания, 2 — термопара,  
 3 — присоединительная трубка, 4 — нить;  
 5 — колба



# ГРУЗОПОРШНЕВЫЕ МАНОМЕТРЫ

Являются образцовыми приборами, так как обладают высокой чувствительностью и точностью, и используются для поверки и градуировки деформационных манометров.

Принцип действия грузопоршневого манометра заключается в уравнивании давления измеряемой среды на свободно перемещающийся в цилиндре поршень силой, создаваемой калиброванным грузом. По массе этого груза определяют действующее на поршень давление.



1 – сосуд;

2 - цилиндрическая колонка;

3 - соединительный штуцер;

4 - стальной поршень;

5 - тарелка;

6 - грузы

Воспринимаемое поршнем давление при равновесии системы определяется по формуле:



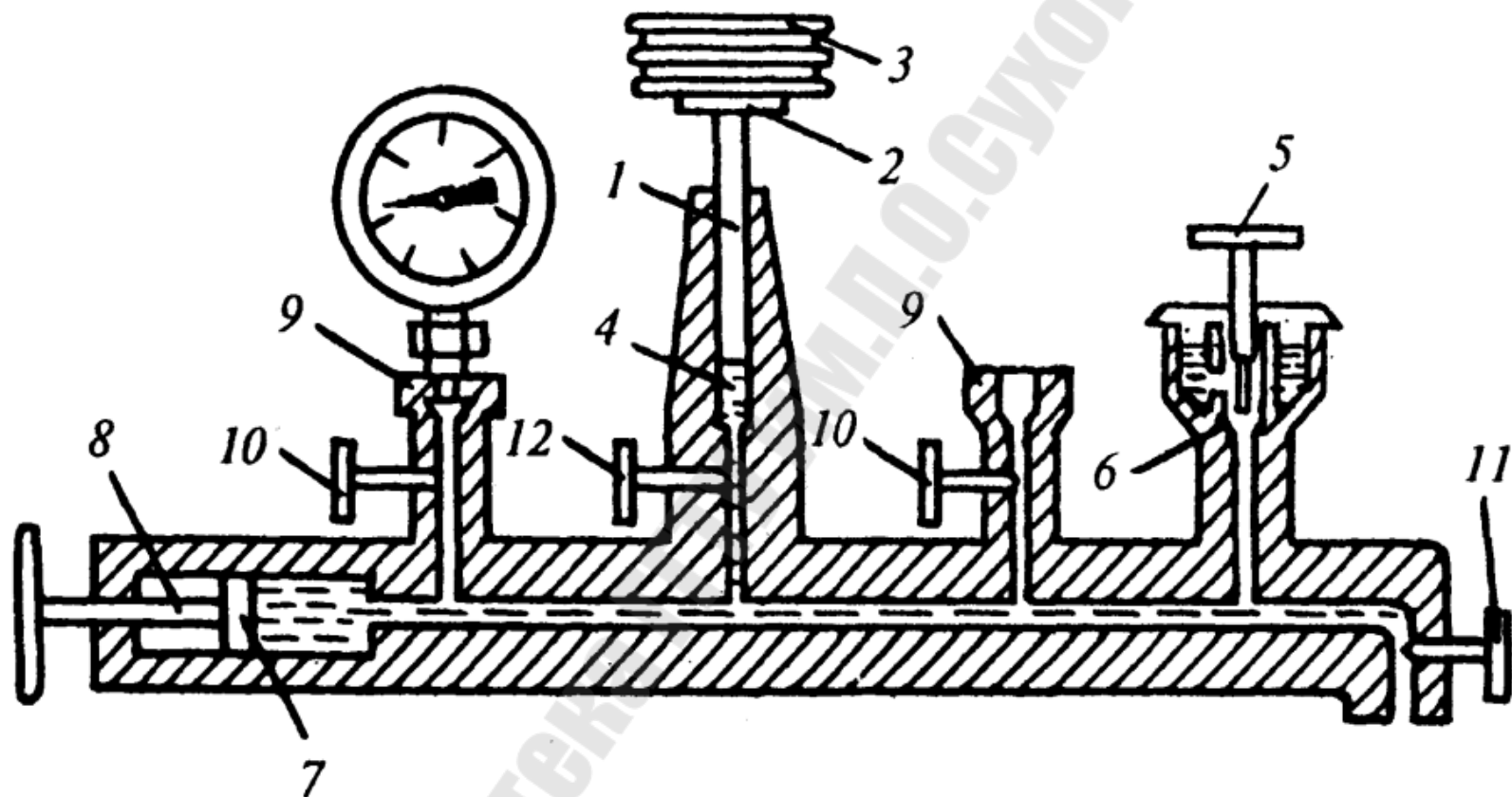


Схема грузопоршневого манометра МП-60:

- 1 – поршень; 2 – тарелка; 3 – грузы; 4- цилиндр;
- 5 – вентиль; 6 – резервуар; 7 - поршень винтового пресса 8;
- 9 – стояк; 10-12 – запорные вентили





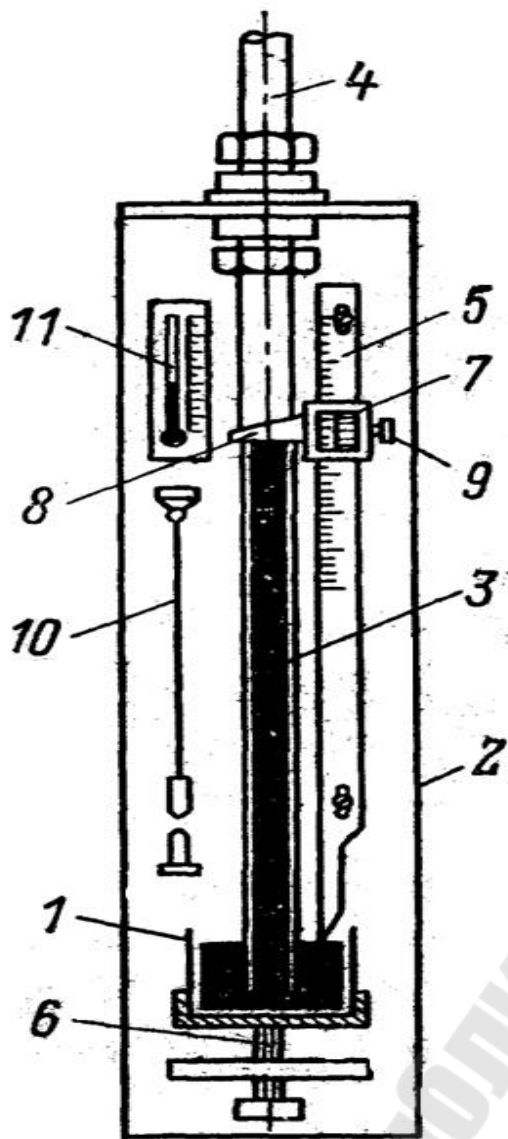
# ВАКУУММЕТРЫ И МАНОВАКУУММЕТРЫ

**Вакуумметры** применяются для измерения значительного вакуумметрического давления (вакуума) в конденсаторах паровых турбин, во всасывающих линиях насосов и т. п.

**Мановакуумметры** применяются в тех случаях, когда измеряемое давление среды может принимать значение выше или ниже атмосферного. Эти приборы имеют двустороннюю шкалу.

По своему устройству вакуумметры и мановакуумметры бывают:

- **жидкостные** (ртутные);
- **деформационные** (трубчато-пружинные и сильфонные).



## Общий вид ртутного вакуумметра

- 1 - стеклянный подвижный сосуд с ртутью;
- 2 - деревянное основание;
- 3 - стеклянная измерительная трубка;
- 4 - трубка;
- 5 - миллиметровая шкала;
- 6 - ходовой винт;
- 7 - подвижная каретка с нониусом;
- 8 - угольник;
- 9 - кремальера;
- 10 - отвес;
- 11 - ртутный термометр.



