

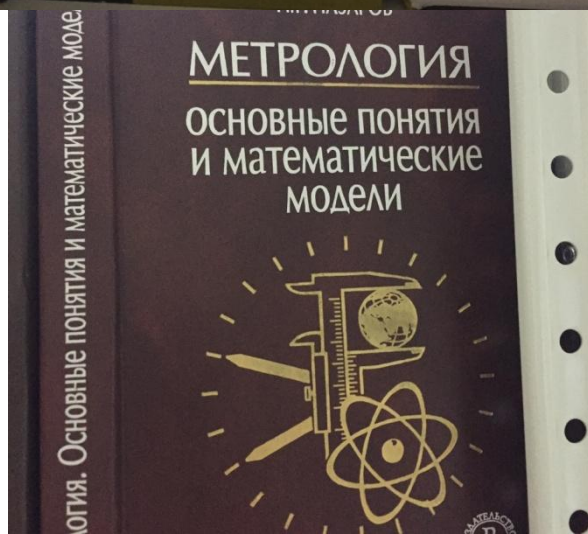
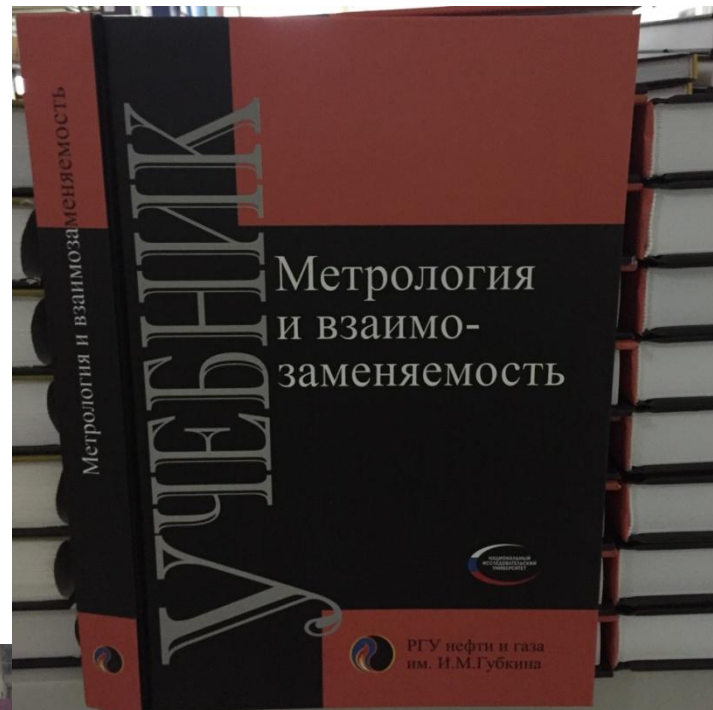
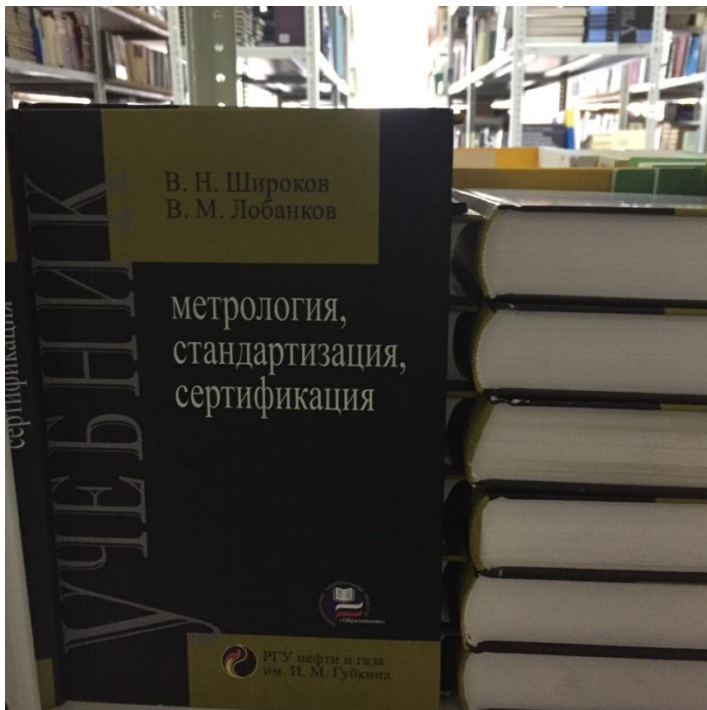
МЕТРОЛОГИЯ

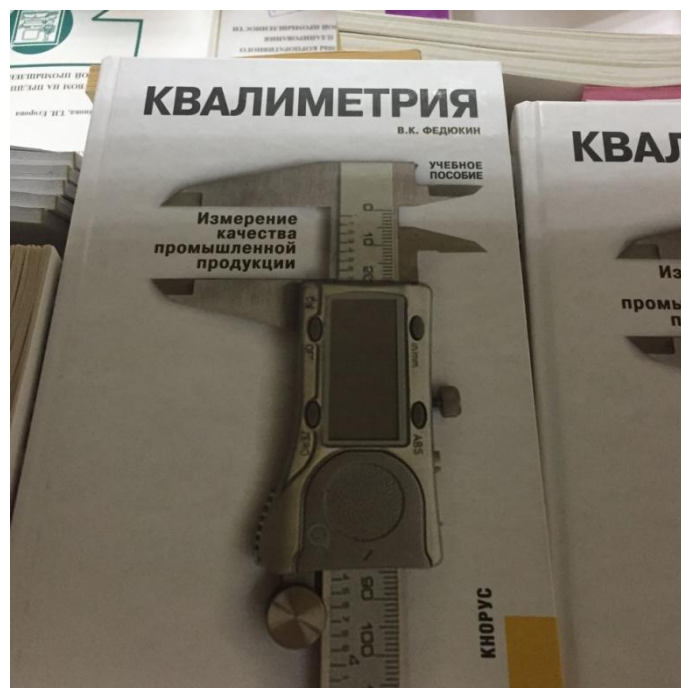
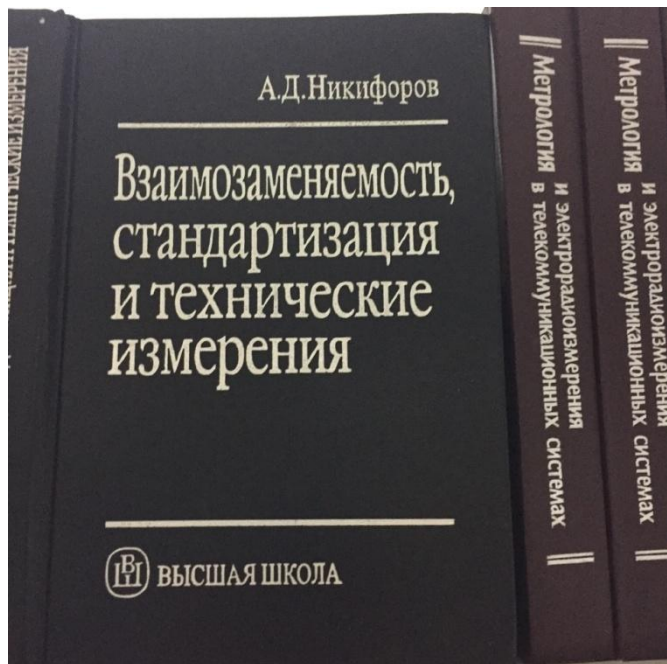
ЛЕКЦИЯ 1

Вопросы:

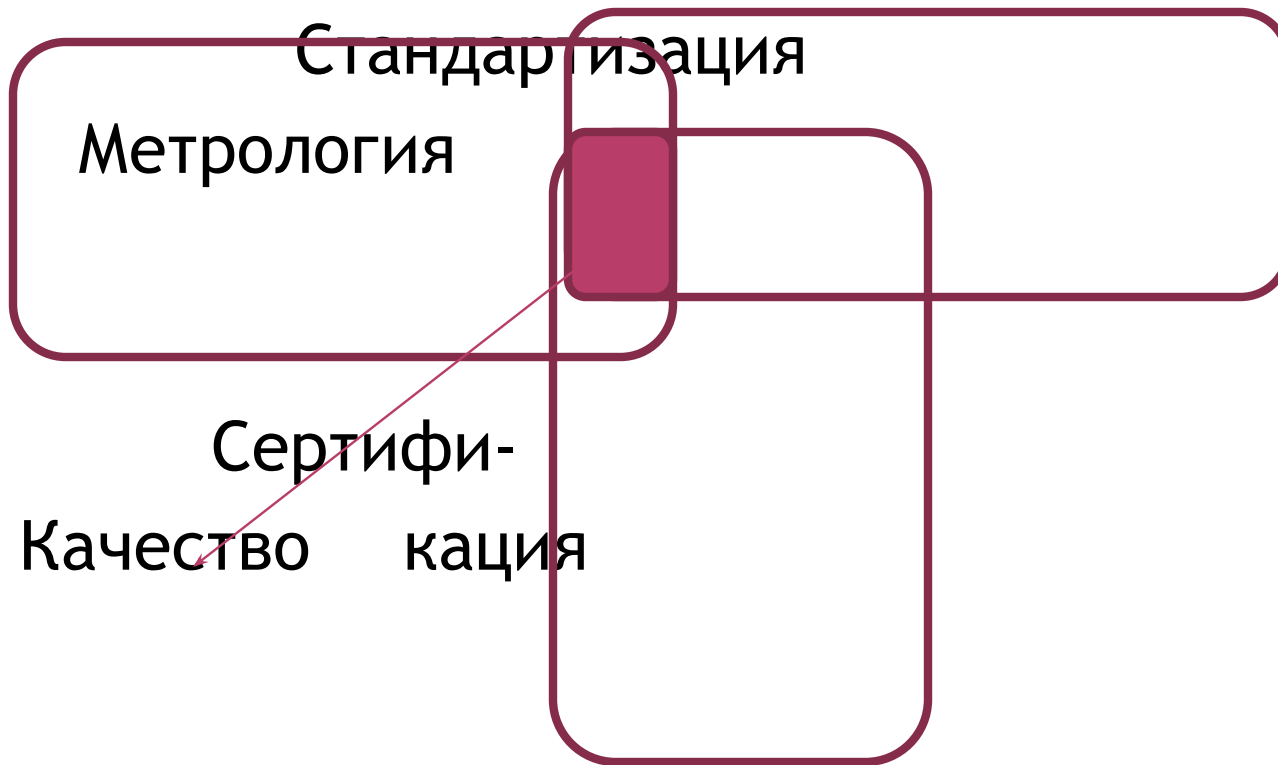
1. Основные понятия и определения.
2. Предмет и основные вопросы метрологии.
3. Физические свойства, величины, шкалы.
4. Системы физических величин.
5. Международная система единиц и фундаментальные физические константы.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:





ИНТЕГРАЦИЯ ЗНАНИЙ



ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- **Метрология** - это наука об измерениях, о методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.
- **Стандартизация** — деятельность по разработке, опубликованию и применению стандартов, по установлению норм, правил и характеристик в целях обеспечения безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды
- **Сертификация** (лат. *certum* — верно + лат. *facere* — делать) — деятельность по подтверждению соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

ДОКУМЕНТЫ

- ГОСТ 16263–70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения» - **устарело**
- Закон об обеспечении единства измерений (последняя редакция 2015 года)
- С 2001 года введены рекомендации РМГ29-99, содержащие основные термины и определения в области метрологии, согласованные с международными стандартами ИСО31(0-13) и ИСО 1000



Введение

- **Динамичное развитие экономики России невозможно без повышения конкурентоспособности отечественных товаров и услуг как на внутреннем, так и на внешнем рынке.**
- Ориентация только на ценовую конкуренцию в современных условиях решающего успеха уже не гарантируют.
- Определяющим для потребителей во всех странах мира стало **качество.**
- Качеством продукции и услуг необходимо управлять, уметь количественно оценивать и анализировать их показатели, варьировать влияющими на них процессами.





История развития метрологии в России



- **Метрология** как область практической деятельности зародилась в древности. На всем пути развития человеческого общества **измерения** были **основой отношений людей** между собой, с окружающими предметами, природой. При этом вырабатывались **единые представления о размерах**, формах, свойствах предметов и явлений, а также правила и способы их сопоставления.
- **Наименования единиц измерения** и их **размеры** появлялись в давние времена чаще всего в соответствии с возможностью применения единиц и их размеров без специальных устройств, т. е. создавались с ориентацией на те единицы, что были "под руками и ногами". В России в качестве **единиц длины были "пядь", "локоть"**.
- Для поддержания **единства установленных мер** еще в древние времена создавались **эталонные (образцовые) меры**. К ним относились бережно: в древности они хранились в храмах, церквях как наиболее надежных местах для хранения ценных предметов.
- В начале **1840 г.** во Франции была введена **метрическая система мер**. Значимость метрической системы глубоко оценил Д.И. Менделеев. В 1867 г. с трибуны съезда русских естествоиспытателей он выступил с призывом содействовать подготовке метрической реформы в России. По его инициативе Петербургская академия наук предложила учредить международную организацию, которая обеспечивала бы единообразие средств измерений в международном масштабе. Это предложение получило одобрение, и **в 1875 г.** на Дипломатической метрологической конференции, проведенной в Париже, в которой участвовали 17 государств (в том числе Россия) **была Принята Метрическая конвенция**.
- Долгое время **метрология** была в основном описательной наукой о различных мерах и соотношениях между ними. Но в процессе развития общества роль измерений возрастала, и с конца прошлого века благодаря прогрессу физики метрология поднялась на качественно новый уровень. Большую роль в становлении метрологии в России сыграл **Д.И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период с 1892 по 1907 г.** "**Наука начинается... с тех пор, как начинают измерять**", – в этом научном кредо великого ученого выражен, по существу, важнейший принцип развития науки, который не утратил актуальности и в современных условиях.





Главные функции измерений в народном хозяйстве:



- **учет продукции** народного хозяйства, исчисляющейся по массе, длине, объему, расходу, мощности, энергии;
- **измерения**, проводимые для контроля и регулирования технологических процессов (особенно в автоматизированных производствах) и для обеспечения нормального функционирования транспорта и связи;
- **измерения физических величин**, технических параметров, состава и свойств веществ, проводимые при научных исследованиях, испытаниях и контроле продукции в различных отраслях народного хозяйства.
- В нашей стране **ежедневно** производится около **200** млрд. **измерений**, свыше **4** млн. человек считают измерения своей профессией. Доля затрат на измерения составляет **10 – 15%** затрат общественного труда, а в отраслях промышленности, производящих сложную технику (электротехника, станкостроение и др.), она достигает **50 – 70%**. О масштабах затрат на получение достоверных результатов измерений свидетельствуют следующие цифры: в 1998 г. стоимость этих работ в России была равна **3,8%** от величины валового национального продукта (ВНП). В развитых странах эта цифра достигает **9 – 12%** ВВП. Подсчитано, что число средств измерений (СИ) растет прямо пропорционально квадрату прироста промышленной продукции. Это означает, что при увеличении **объема** промышленной продукции в **2** раза число СИ может вырасти в **4** раза. В настоящее время в нашей стране насчитывается более **1,5** млрд. СИ.





Измерения



- **Метрология** - наука об измерениях, а **измерения** - один из важных путей познания природы, они дают **количественную** характеристику окружающего нас мира, помогают раскрыть действующие в природе закономерности.

- Круг величин, подлежащих измерению, определяется разнообразием явлений, с которым сталкивается человек (например: измерения длины, площади, объема, массы, механических, тепловых, электрических, световых и других величин).



- Сравнение опытным путем измеряемой величины с другой, подобной ей, принятой за единицу, составляет общую **основу любых измерений**.





Метрология



- **Метрология** возникла как наука о различных мерах и соотношениях между ними.
- Слово метрология образовано из двух греческих слов: $\mu\epsilon\tau\rho\nu$ – мера и $\lambda\omicron\gamma\omicron\xi$ – учение, что буквально переводится как «учение о мерах».
- **Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.**





Метрология

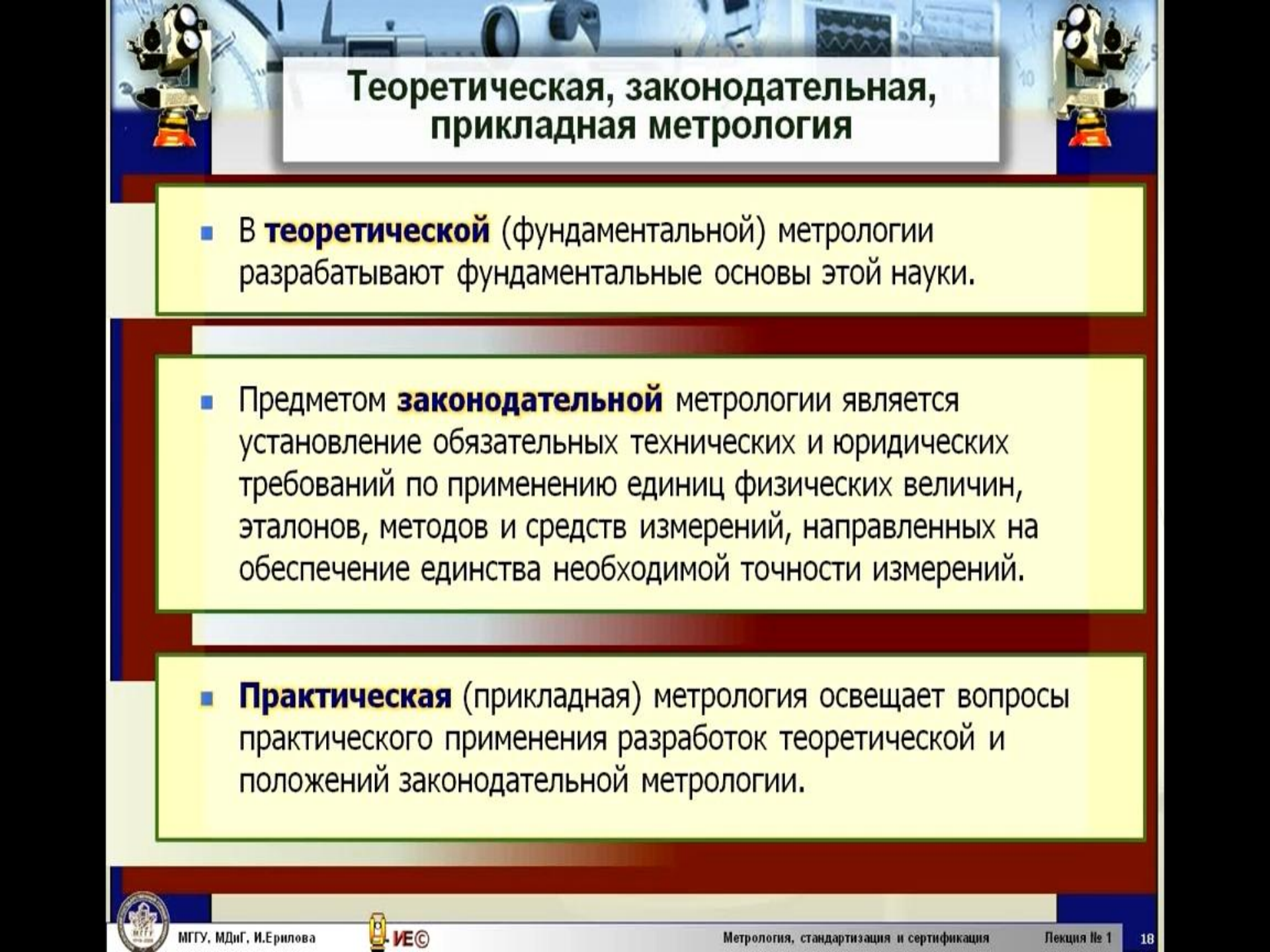



- **Метрология** возникла как наука о различных мерах и соотношениях между ними.
- Слово метрология образовано из двух греческих слов: $\mu\epsilon\tau\rho\nu$ – мера и $\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$ – учение, что буквально переводиться как «учение о мерах».
- **Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.**
- В зависимости от цели различают три раздела метрологии:




- теоретический;
- законодательный;
- прикладной.





Теоретическая, законодательная, прикладная метрология



- В **теоретической** (фундаментальной) метрологии разрабатывают фундаментальные основы этой науки.
- Предметом **законодательной** метрологии является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства необходимой точности измерений.
- **Практическая** (прикладная) метрология освещает вопросы практического применения разработок теоретической и положений законодательной метрологии.



Основные задачи метрологии

■ *Разработка :*

- общей теории измерений единиц физических величин и их систем;
- методов и средств измерений;
- методов определения точности измерений;
- основ обеспечения единства и единообразия средств измерений;
- эталонов и образцовых средств измерений;
- методов передачи единиц от эталонов и образцовых средств измерений к рабочим средствам измерений.



Свойство и величина



- Все объекты окружающего мира характеризуются свойствами.

- **Свойство** - философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другим объектом (явлениями, процессам) и обнаруживается в его отношениях к ним.



- Свойство – категория качественная.

- Для количественного описания различных свойств процессов и физических тел вводится понятие **величины**.

- **Величина** – это свойство чего-либо что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.



Классификация величин

Величины

Реальные

Идеальные

Физические

Нефизические

Математические

Измеряемые

Оцениваемые





Реальные и идеальные величины



- **Идеальные величины** главным образом относятся к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных величин.
- **Реальные величины** делятся на физические и нефизические.
- **Физическая величина** в общем случае может быть определена как величина, свойственная материальным объектам (процессам, явлениям), изучаемым в естественных (физика, химия) и технических науках.
- К **нефизическим** следует отнести величины, присущие (нефизическим) наукам – философии, социологии, экономики и т.д.




Физическая величина (ФВ)

- **Физическая величина (ФВ)** – это характеристика одного из свойств физического объекта (явления или процесса), общая в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.
- **Значение физической величины** – это оценка ее величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц или числа по принятой для нее шкале.
- **Измерение физической величины** - совокупность операций, выполняемых с помощью технических средств, характеризующих единицу, или воспроизводящую шкалу физической величины по сравнению измеряемой величины с ее единицей или шкалой.



Классификация физических величин





Вещественные (пассивные) ФВ

- По видам явлений физические величины делятся: **вещественные, энергетические и характеризующие процессы.**
- **Вещественные**, т.е. описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них (масса, плотность, электрическое сопротивление, емкость и др.)
- Иногда их называют **пассивные**, для их измерения используется вспомогательный источник энергии формирующий сигнал измерительной информации преобразующий пассивные ФВ в активные, которые и измеряются.



Энергетические (активные) ФВ



- **Энергетические**, т.е. величины описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии (ток, напряжение, мощность, энергия).
- Эти величины называют **активными** они могут быть преобразованы в сигналы измерительной информации без использования вспомогательных источников энергии.

ФВ характеризующие процессы

- **К физическим величинам характеризующим протекание процессов во времени** относятся различного рода спектральные характеристики, корреляционные функции и др.
- **По принадлежности к различным группам физических процессов ФВ делятся на:**
 - пространственно-временные,
 - механические,
 - тепловые,
 - электрические,
 - магнитные,
 - акустические,
 - световые,
 - физико-химические,
 - ионизирующий излучений,
 - атомной и ядерной физики.

Основные, производные и дополнительные ФВ

- По степени условной независимости от других величин данной группы ФВ делятся на :

- **основные** (условно независимые);
- **производные** (условно зависимые);
- **дополнительные.**

- В системе СИ используют семь физических величин, выбранных в качестве **основных**: **длина, время, масса, температура, сила электрического тока, сила света и количество вещества.**

- К **дополнительным** физическим величинам относят **плоский и телесный углы.**

- По наличию размерности ФВ делятся на

- **размерные**, т.е. имеющие размерность и
- **безразмерные.**





Единица, значение, числовое значение физической величины



- **Единица физической величины $[Q]$** – это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, применяется для количественного выражения однородных физических величин.
- **Значение физической величины Q** – это оценка ее размера в виде некоторого числа принятых единиц.
- **Числовое значение физической величины q** – отвлеченное число, выражающее отношение значения величины к соответствующей единице данной физической величины.



Основное уравнение измерения

$$Q = q[Q]$$


Q – значение физической величины, это оценка ее размера в виде некоторого числа принятых для ее единиц.

q – числовое значение физической величины, отвлеченное число выражающее отношение значения величины к соответствующей единице данной ФВ.

Суть простейшего измерения состоит в сравнении ФВ с размерами выходной величины регулируемой многозначной меры $q[Q]$.

В результате сравнения устанавливают, что

$$q[Q] < Q < (q + 1)[Q].$$



Измеряемые и оцениваемые физические величины

- **Измеряемые физические величины** могут быть выражены количественно в виде определенного **числа установленных единиц измерения.**
- Физические величины, для которых по тем или иным причинам **не может быть введена единица измерения**, могут быть только **оценены при помощи шкал.**
- **Шкала величины** – упорядоченная последовательность ее значений, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений.



Типы шкал измерения



1. Шкала наименований (шкала классификации).
2. Шкала порядка (шкала рангов).
3. Шкала интервалов (шкала разностей).
4. Шкала отношений.
5. Абсолютные шкалы.





1. Шкала наименований

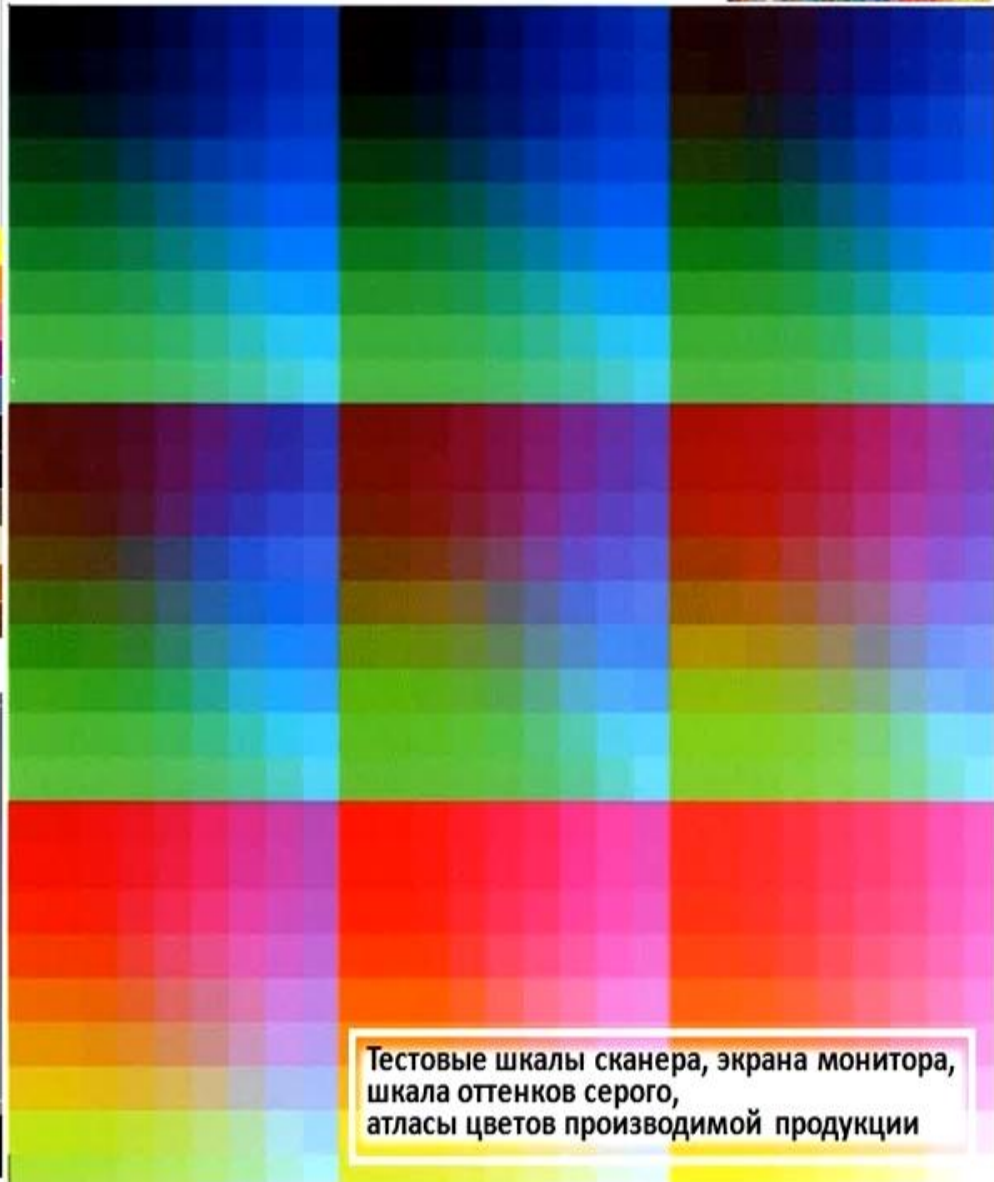
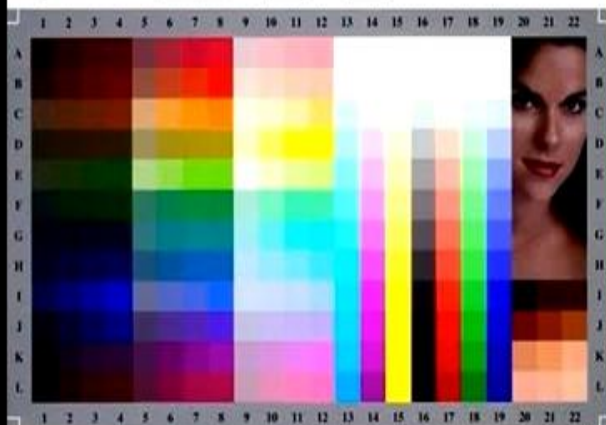


Шкала наименований (шкала классификации) характеризуется только отношением эквивалентности (равноценности), **не содержит нуля и единицы измерения.**

- **Самый простой тип шкал**, основанный на приписывании качественным свойствам объектов чисел, играющих роль имен.
- **Примером** шкал наименований являются **атласы цветов**, предназначенные для идентификации цвета.



Примеры цветowych шкал различного назначения



Тестовые шкалы сканера, экрана монитора, шкала оттенков серого, атласы цветов производимой продукции





2. Шкала порядка (шкала рангов)

Шкала порядка характеризуется отношением эквивалентности и порядка.

- Для практического использования необходимо установить **ряд эталонов**.
- Классификация объектов осуществляется **сравнением** интенсивности оцениваемого свойства с его **эталонным значением**.



- **Пример:** шкала землетрясений, шкала силы ветра, шкала твердости тел и т.п.).
- **Оценивание** по шкалам порядка неоднозначное и **условное**.



Сила морского ветра оценивается по 12 бальной шкале Бофорта



Условная шкала порядка

Условная шкала – это шкала физической величины, исходные значения которой выражены в условных единицах.



- Например, шкала вязкости **Энглера**, 12-бальная шкала **Бофорта** для измерения силы морского ветра.
- Широкое распространение получили **шкалы порядка с нанесёнными на них реперными точками**, например **шкала Мооса** для определения твердости минералов, которая содержит 10 опорных (реперных) минералов с различными условными числами твердости.



Пример «Шкалы порядка»: ШКАЛА МООСА

Кристаллы минералов – эталонь шкалы твёрдости Мооса	Твёрдость по шкале Мооса	Твёрдость определённая склерометром (твёрдомером)
Тальк	1	2,4
Гипс	2	36
Кальцит	3	109
Флюорит	4	189
Апатит	5	536
Полевой шпат (ортоклаз)	6	795
Кварц	7	1 120
Топаз	8	1 427
Корунд	9	2 060
Алмаз	10	10 060



Кристаллы минералов – эталоны шкалы твёрдости Мооса

Тальк [1]



Гипс [2]



Кальцит [3]



Флюорит [4]



Апатит [5]



2,4

Полевой шпат
(ортоклаз) [6]



Кварц [7]



Топаз [8]



Корунд [9]



Алмаз [10]



10060





3. Шкала интервалов (разностей)



Шкала интервалов отличается от шкалы порядка тем, что кроме отношения эквивалентности и порядка добавляется **эквивалентность интервалов** (разностей) между различными количественными проявлениями свойства.

- Она имеет **условные нулевые значения**, а величина интервалов устанавливается по согласованию.
- К таким шкалам относятся:
 - шкала интервалов времени;
 - температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта, Реомюра.



Уравнение шкалы интервалов

- Шкала интервалов **величины** $Q = Q_0 + q [Q]$,
 - где q – числовое значение величины;
 Q_0 – начало отсчета шкалы;
 $[Q]$ – единица рассматриваемой величины.
- **Задать шкалу** можно:
 - выбрав два значения опорных точек Q_0 (начало отсчета) и Q_1 ,
 - тогда $(Q_1 - Q_0)$ – **основной интервал**,
 $(Q_1 - Q_0)/n = [Q]$ – **единица отсчета**.
 - Число единиц n выбирается так чтобы $[Q]$, было целой величиной.



Перевод одной шкалы интервалов в другую



Перевод одной шкалы интервалов

$$Q = Q_{01} + q_1 [Q]_1$$

в другую

$$Q = Q_{02} + q_2 [Q]_2$$

осуществляется по формуле:



$$q_1 = \left[q_2 - \frac{Q_{02} - Q_{01}}{[Q]_1} \right] \frac{[Q]_1}{[Q]_2}$$





Пример перевода °F в °C



■ Шкала Фаренгейта

- Q_0 – температура смеси льда, поваренной соли и нашатыря,
- Q_1 – температура человеческого тела.
- Единица измерения – **градус Фаренгейта**: $[Q_F] = (Q_1 - Q_0)/96 = 1\text{ }^\circ\text{F}$.
- Температура таяния смеси льда, соли, нашатыря $32\text{ }^\circ\text{F}$, кипения воды $212\text{ }^\circ\text{F}$.

■ Шкала Цельсия

- Q_0 – температура таяния льда,
- Q_1 – температура кипения воды.
- Единица измерения – **градус Цельсия**: $[Q_C] = (Q_1 - Q_0)/100 = 1\text{ }^\circ\text{C}$.

■ Решение.

- Значение разности температур по шкале Фаренгейта между точкой кипения воды и таяния льда $212\text{ }^\circ\text{F} - 32\text{ }^\circ\text{F} = 180\text{ }^\circ\text{F}$ по шкале Цельсия $100\text{ }^\circ\text{C}$, следовательно $100\text{ }^\circ\text{C} = 180\text{ }^\circ\text{F}$ и отношение размеров единиц:

$$[Q]_1/[Q]_2 = \text{ }^\circ\text{C}/\text{ }^\circ\text{F} = 100/180 = 5/9.$$

- Числовое значение интервала между началами отсчета по рассматриваемым шкалам, измеренного в градусах Фаренгейта $[Q]_1 = F$, равно 32 .
- Переход от температуры по шкале Фаренгейта к температуре по шкале Цельсия производится по формуле:

$$t = 5/9(t_F - 32)$$



4. Шкала отношений

Шкала отношений описывает свойства, к которым применимы отношения эквивалентности, порядка и **суммирования**, а следовательно вычитания и умножения.

- Эти шкалы имеют **естественное нулевое значение**, а единицы измерений устанавливаются по согласованию.
- Для шкалы отношений достаточно **одного эталона**, чтобы распределить все исследуемые объекты по интенсивности измеряемого свойства.
- **Примером** является шкала массы, масса двух объектов равна сумме масс каждого из них.

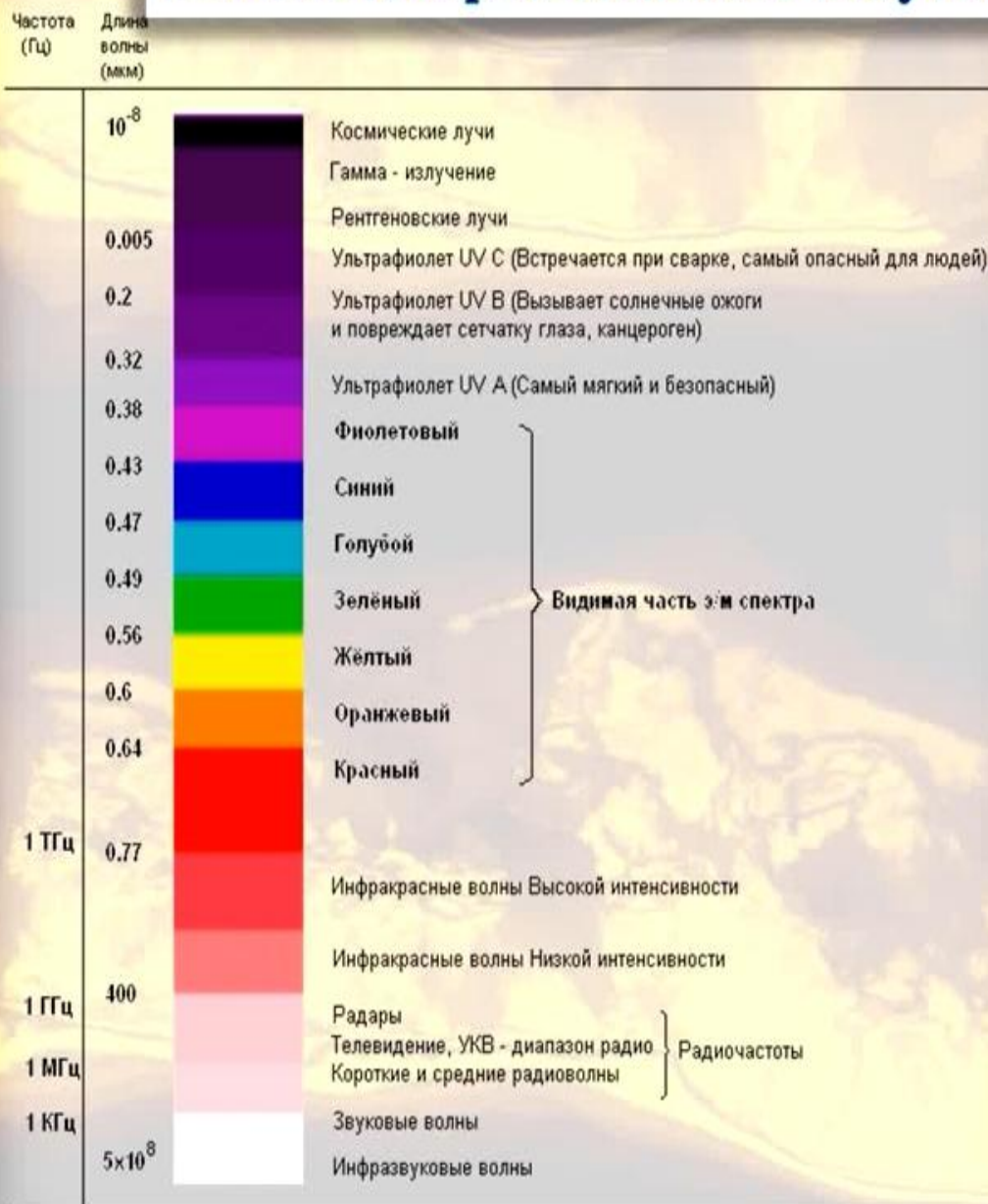


5. Абсолютная шкала

Абсолютная шкала обладает всеми признаками шкалы отношений, но дополнительно имеет **естественное однозначное определение единицы измерения** и не зависящие от принятой системы единиц измерения.

- Такие шкалы соответствуют относительным величинам : коэффициенту усиления, ослабления и др.
- Для образования многих производных единиц в системе СИ используются безразмерные и счетные единицы абсолютных шкал.

Шкала электромагнитного излучения



Длина волны: 1 мкм (1т) = 1/1000 мм

Частота: 1 Гц = число колебаний волны за секунду



Система физических величин

- **Система физических величин** – это совокупность взаимосвязанных физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие являются функциями независимых величин.
- **Основная физическая величина** – это физическая величина, входящая в систему единиц и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.
- **Производная единица системы единиц** – единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами.
- **Единица физической величины** – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных физических величин.

Размерность физической величины

- Выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях, и отражающее связь данной величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным единице.

- **Размерность величин обозначают знаком *dim*.**

$$\mathit{dim} X = L^l M^m T^t \text{ в системе LMT,}$$

где L, M, T – символы величин, принятые за основные (длина, масса, время);

l, m, t – целые или дробные, положительные или отрицательные вещественные числа, которые являются показателями размерности.

- Над размерностями можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечение корня.



Уравнение связи между величинами

- Уравнения, отражающие законы природы, в которых под буквенными символами понимают физические величины.
- Они могут быть записаны в виде, не зависящем от набора единиц входящих в них физических величин

$$Q = KX^a Y^b Z^g \dots$$



Коэффициент **K** не зависит от выбора единиц измерений, он определяет связь между величинами.

Например, площадь треугольника S равна половине произведения основания L на высоту h **$S = 0,5Lh$** ,
 $K = 0,5$.



Уравнение связи между числовыми значениями физических величин



- Уравнения, в которых под буквенными символами понимают числовые значения величин соответствующих выбранным единицам.
- Вид этих уравнений зависит от выбранных единиц измерения.
- Они могут быть записаны в виде:

$$Q = K_e K X^a Y^b Z^g \dots,$$



где K_e - числовой коэффициент зависящий от выбранной системы единиц.

$$S = 0,5 \text{ Lh}, \text{ т.е. } K_e = 1; \text{ или } S = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{мм}^2.$$



МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Для геометрии и кинематики

- Метр - расстояние, которое проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долей секунды
- Секунда - 9192631770 периодов излучения, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
- Для динамики и термодинамики
- Килограмм - масса международного прототипа кг, представляющий собой цилиндр сплава платины и иридия
- Температура - кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды

- Ампер - сила тока
- Кандела - сила света
- Моль - количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов. Сколько содержится в углероде-12 массой 0.0012кг