



N*



Введение в технику физического эксперимента

Лектор – проф. Пальчиков Евгений Иванович

ВТФЭ-2024

**Науки, технологии и выживание человека в
современном мире
Взаимоотношение науки и общества**

**Эталоны длины
Измерение расстояний**

Пальчиков Евгений Иванович
д.т.н., проф. НГУ, в.н.с. ИГиЛ

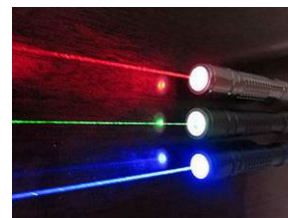
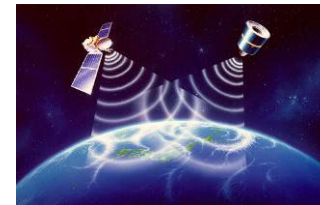
***Новосибирский Государственный университет
Сибирское Отделение Российской академии Наук***

Факторы окружающей среды

присутствующие в современной цивилизации

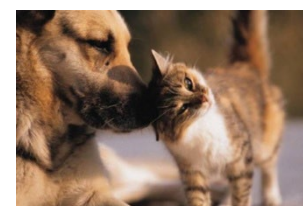
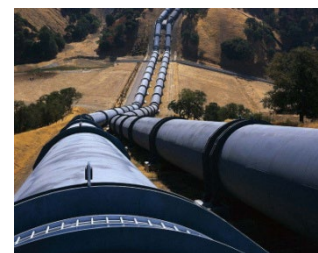
Большинство людей находится в искусственной ими созданной материальной и информационной среде

- Присутствие больших потоков энергии – тепловой, механической, электрической – сопровождающих жизнь человека: автомобиль от 100 до 500 тыс Дж/с, теплостанция, электростанция – от миллиарда Дж/с
- Присутствие широкого спектра потоков излучения – от 50 Гц (электрическая сеть) до 10 ГГц (спутниковое телевидение). 0,9-2,4 ГГц сотовая связь
- Статическое электричество, связанное с одеждой и оформлением помещений – аэроионная обстановка в воздухе. Эксперимент – откуда берется статическое электричество
- Присутствие большого числа крупных и мелких механических объектов, обладающих большой энергией, либо большой плотностью энергии на единицу массы. Грузовик 5т 60 км/ч – 1 миллион Джоулей. Пуля из пневморужья 5 Дж/г = 5 МДж/тонну
- Присутствие остронаправленных потоков излучения – локаторы, лазеры. Пример с лазерной указкой и глазом



Факторы окружающей среды

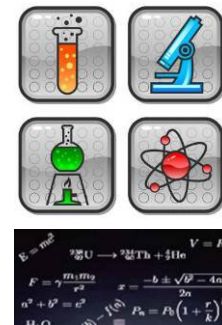
- Присутствие большого количества синтетических объектов, химический состав которых не имеет аналогов в природе – материалы жилищ, одежда (постоянно контактирует с кожей), предметы обихода, лекарства
- Транспортировка огромного количества химических продуктов по ЖД, дорогам и трубопроводам. Газы (сжатые и сжиженные, топливо, агрессивные компоненты)
- Присутствие в пище синтетических добавок, отличающихся от натуральных продуктов (ГМО, консерванты, красители, стабилизаторы)(пример с кока-колой, копчёностями)
- Наличие большого количества домашних животных, находящихся в неспецифической для них урбанизированной среде, что приводит к массовым гельминтозам, аллергиям, инфекционным заболеваниям у животных и людей.
- Большие скопления животных в неспецифической для них среде при выращивании их на корм (стада в стойлах, рыбы в садках и т.д.)



Давайте определимся с понятиями

Наука – сфера человеческой деятельности, направленная на выработку и теоретическую систематизацию объективных знаний о действительности, которые не только описывают наблюдаемые природные или общественные явления, но и позволяют их прогнозировать.

Основой этой деятельности является сбор экспериментальный и теоретических фактов, их постоянное обновление и систематизация, синтез новых знаний или обобщений.

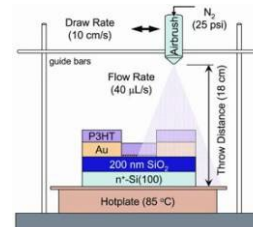
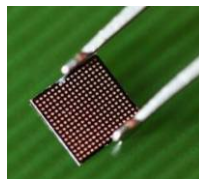


Техника – изготовление человеком различных приспособлений, механизмов и устройств, не существующих в природе, для осуществления процессов производства и обслуживания непроизводственных потребностей общества.

Основное назначение техники — избавление человека от выполнения физически тяжёлой или однообразной работы, повысить эффективность труда, снизить вероятность ошибки человека при выполнении сложных операций.



Технология – искусство, мастерство, умение – совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности, а также научное описание способов технического производства (комплекс организационных мер, операций, приемов и материалов) с номинальным качеством и с оптимальными затратами.



Трансформация отечественной науки, техники и технологии

- СССР. 6-7 место в мире по нобелевским лауреатам, 1/4 часть всех научных работников мира (0,3 % населения СССР – 1 млн человек).
- По естественнонаучной тематике за период с 1981 по 1985 год СССР находился на четвертом месте, опережая по числу публикаций все европейские страны, и был примерно на одном уровне с Великобританией и ФРГ.
- Существовала государственная цепочка: фундаментальная наука (Академия наук) – прикладная наука (отраслевые НИИ и КБ при поддержке РАН) – проектные институты - опытные производства (заводская наука при поддержке отраслевых НИИ) – серийные заводы.
- В результате сокращения финансирования и приватизации недвижимости большинство отраслевых НИИ и КБ («почтовых ящиков») изменили свой профиль и/или прекратили существование. Число последних сократилось в 2,5 раза. Число проектных институтов сократилось более чем в 15 раз.
- Инженерно-технологическая инфраструктура съезжилась примерно в пять раз. Было уничтожено более 47000 заводов. Строительство новых мощностей и внедрение принципиально новых технологий стало практически невозможным.
- Было более 5 тысяч организаций с штатом и приборно-денежным ресурсом в 10-100 раз большим, чем у Академии наук. «Почтовые ящики», ЗАТО, НПО, КБ.
- Сейчас, после разрушения инженерно-технологической цепочки делаются попытки вменить в обязанность фундаментальным академическим институтам заниматься «инновациями» и «внедрением».

См. также

Бердашкевич А.П. Источник: https://www.isras.ru/socis_2000_03.html

<http://www.rospisatel.ru/predpriyatija.htm>

http://www.socioprognoz.ru/files/File/publ/lnkzenerno_tehnicheskoe.pdf

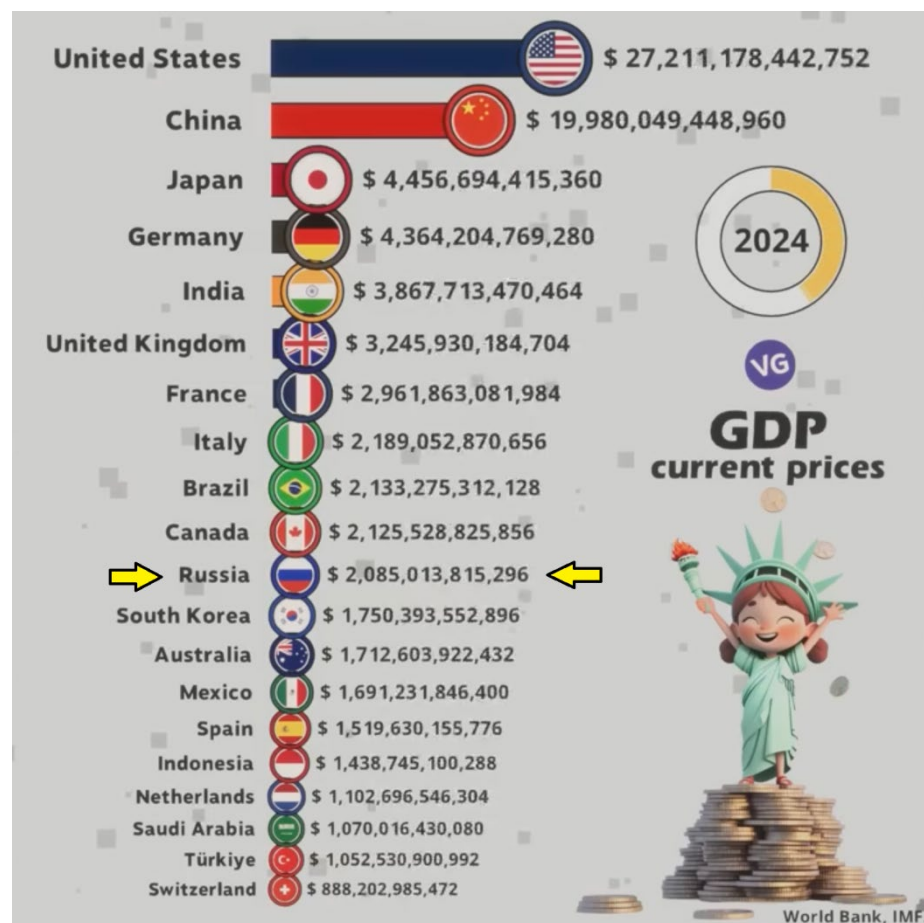


<https://ria.ru/20211209/putin-1763041320.html>

GDP – Gross domestic product

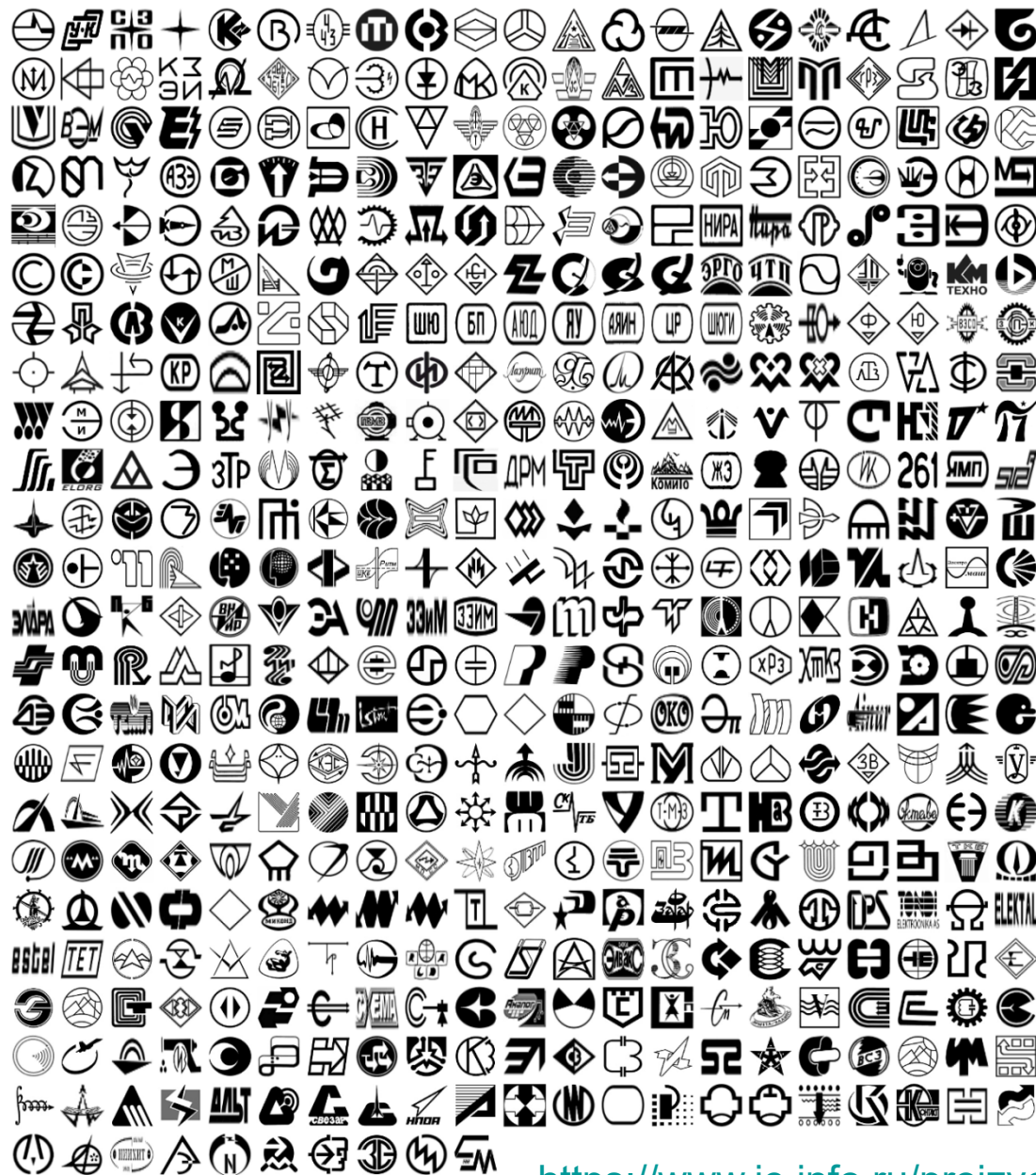


1961 GDP СССР



2024 GDP Россия

- [Советские микросхемы](#)
- [Микросхемы стран СНГ](#)
- [Микросхемы стран СЭВ](#)
- [Узлы Специального Применения](#)
- [Секретные микросхемы](#)
- [Микросборки](#)

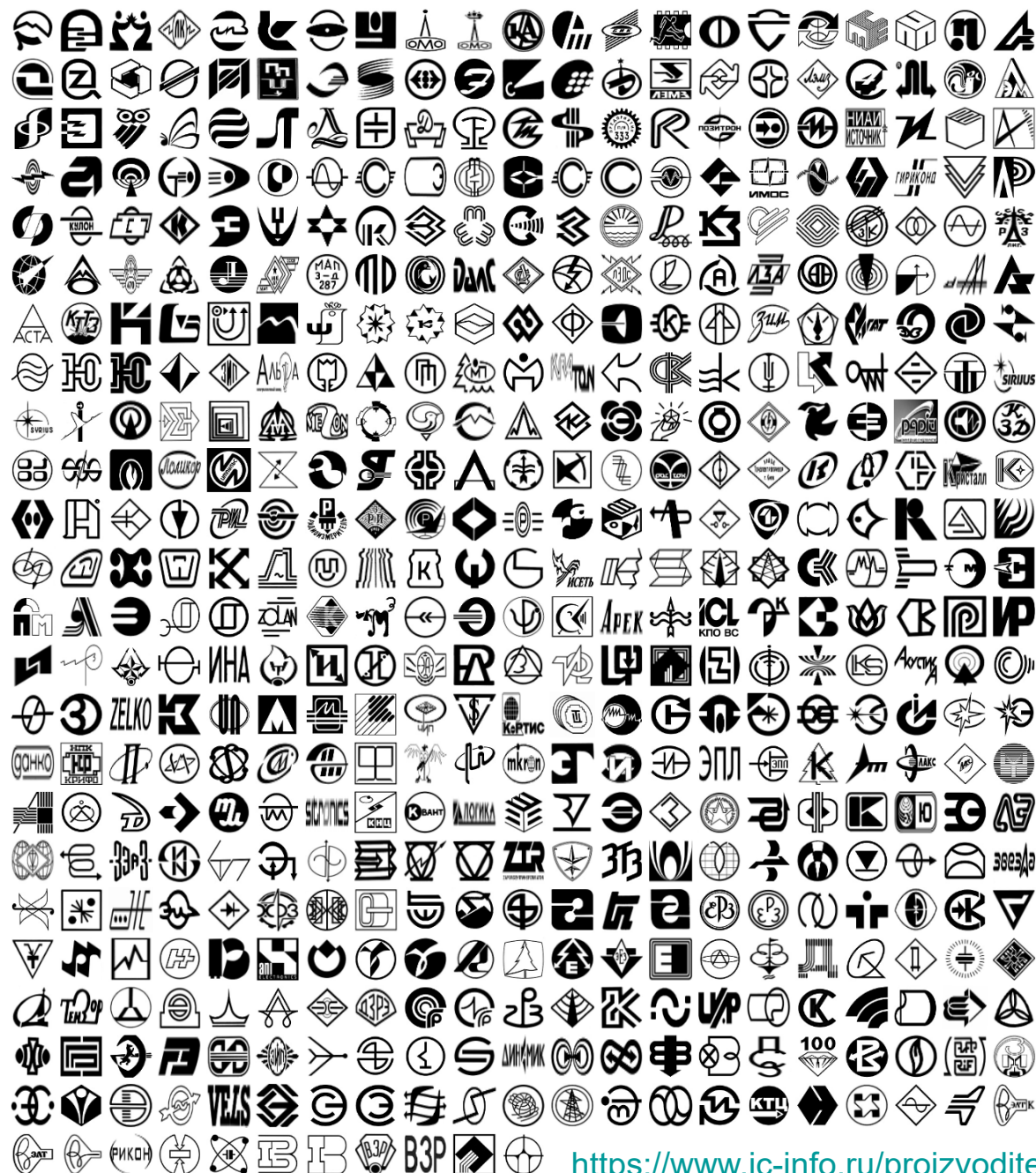


<https://www.ic-info.ru/proizvoditeli/>

- [Советские микросхемы](#)
- [Микросхемы стран СНГ](#)
- [Микросхемы стран СЭВ](#)
- [Узлы Специального Применения](#)
- [Секретные микросхемы](#)
- [Микросборки](#)



- [Советские микросхемы](#)
- [Микросхемы стран СНГ](#)
- [Микросхемы стран СЭВ](#)
- [Узлы Специального Применения](#)
- [Секретные микросхемы](#)
- [Микросборки](#)



ПОЧТОВЫЕ ЯЩИКИ "Г-0000"

- Г-4009 ОКБ «Альфа» ЦНПО «Каскад» МПСС /г. Минск/ (1984г.)
- Г-4011 ПО «Десна» МЭП /г. Карачев/ (1984г.)
- Г-4012 ВНИПТИЭМ (электромашиностроения) МЭТП /г. Владимир/
- Г-4015 Завод при НИИ «Сатурн» МЭП /г. Глухов/ (1985г.)
- Г-4019 АИДП НИИ «ЭКОС» МПСС /г. Москва/ (1984г.)
- Г-4020 ОКБ «Октава» МПСС /г. Тула/ (1984г.)
- Г-4023 ВНИИ метрологической службы Госстандарта /г. Москва/ (1979г.)
- Г-4024 Объединение «Мосэлектронкомплекс» ГУМТС МЭП /г. Москва/ (1984г.)
- Г-4027 3-й отдел 1-го Управления МОМ (1986г.)
- Г-4028 Электростальское предприятие МСМ
- Г-4034 Опытный завод ВНИИЭИ (электроугольных изделий) МЭТП /г. Электроугли/ (1986г.)
- Г-4035 СКТБ ИТ (источников тока) МЭТП /г. Смоленск/ (1986г.)

-
- Г-4974 Московский филиал ЦАГИ МАП (1967-87г.)
 - Г-4981 Пермский судостроительный завод «Кама» МСП (1966г.-)
 - Г-4982 Ухтинский завод «Пргресс» МЭП (1984г.)
 - Г-4988 Завод «Салют» МАП /г. Москва/(1967-85г.)
 - Г-4992 Черепановский филиал Искитимского машиностроительного завода МЭП (1984г.)
 - Г-4993 Московский агрегатный завод «Дзержинец» МАП (1967-83г.)
 - Г-4995 Брянский электромеханический завод МРП (1974г.)

<https://oboron-prom.ru/katalog-nomernyh-zavodov.html>

<https://oboron-prom.ru/nomernye-predpriyatiya.html>

<https://oboron-prom.ru/prochie-predpriyatiya.html>

ПОЧТОВЫЕ ЯЩИКИ "В-0000"

- В-1597 Упр. механизированных работ Управления строительства № 15
Минмонтажспецстроя (-1989г.)
- В-2006 Опытный завод «Акустика» МПСС /г. Знаменка Кировоградской об./ (1984г.)
- В-2007 Боровский филиал КБОР МПСС (1984г.)
- В-2009 Завод «Зонд» /г. Звенигов/
- В-2011 Зугдидский машиностроительный завод МАП (1987г.)
- В-2014 Участок УПП 8ГУ МРП /г. Новосибирск/ (1974г.)
- В-2017 Стучкинский завод телефонных аппаратов МПСС (1984г.)
- В-2019 Семипалатинский завод «Казахкабель» МЭТП (12.1986г.)
- В-2022 Иркутский завод «Иркутскабель» МЭТП (12.1986г.)
- В-2026 Россошанский электроаппаратный завод МЭТП (1986г.)
- В-2027 Опытный завод ВНИИМЭМ МЭТП /г. Пятигорск/ (1986г.)

<https://oboron-prom.ru/pochtovye-yaschiki-v-0000.html>

<https://oboron-prom.ru/predpriyatiya-mo.html>

- В-2955 Машиностроительное предприятие «Звёздочка» /г. Северодвинск/
- В-2958 Завод «Фотон» МЭТП /г. Москва/ (1986г.)
- В-2964 Сумский машиностроительный завод
- В-2965 ЦКБ автоматики МРП /г. Омск/ (1974-83г.)
- В-2967 Московский электроламповый завод
- В-2969 НПО автоматики /г. Свердловск/
- В-2970 Махачкалинский приборостроительный завод МРП, МПСС (1971-84г.)
- В-2971 Завод радиодеталей /г. Зубова Поляна/
- В-2972 МТУ «Комплекс» ЦНПО «Каскад» МПСС /г. Москва/ (1984г.)
- В-2974 Завод «Катион» /г. Хмельницкий/
- В-2983 Велижский филиал Московского завода пневмоинструментов МАП (1987г.)
- В-2988 Уфимское моторостроительное ПО (1967г.)
- В-2993 Луховицкий машиностроительный завод МАП (1967-87г.)
- В-2994 Сибирский химкомбинат (12.1966г.-)

Неравенство в обществе

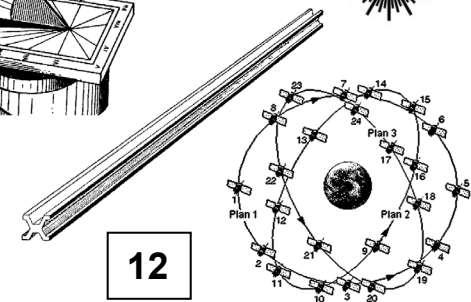
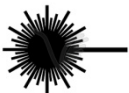
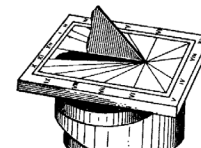
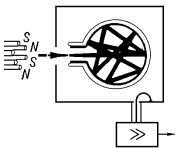
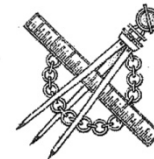
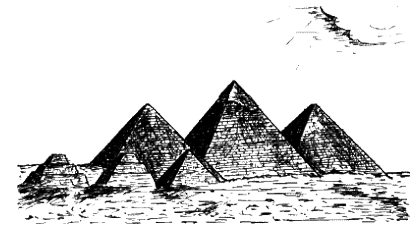


Антониу Гуттериш, Генеральный Секретарь ООН

Предыстория физических измерений

- Знания об окружающем нас мире приобретаются посредством измерений. Чем точнее измерения, тем полнее наши знания.
- Самыми первыми, примитивными, но регулярно проводимыми измерениями были измерения времени. Это диктовалось необходимостью правильной организации сельскохозяйственных работ и распределения рабочего времени в течение дня. Тогда же с развитием социальной структуры общества понадобилось всё более точное измерение площадей, расстояний, объёма и массы.
- Важнейшей задачей экспериментальных научных исследований является обеспечение единства измерений, которое достигается путем точного воспроизведения, хранения и передачи единиц физических величин средствами измерений. Оно осуществляется с помощью поверочной схемы – метрологической цепи передачи размеров единиц, где высшим звеном являются эталоны (стандарты). Такие схемы должны существовать для каждого вида измерений.
- Исторически, в начале создания системы эталонов наиболее востребованными являлись эталоны длины и массы. По-видимому, это было связано с потребностями торговли и производства. С развитием промышленности, естественных наук и точной навигации увеличилась потребность в более точном измерении времени.

В настоящее время среди шести основных единиц физических величин в практической деятельности чаще используются единицы длины и частоты (времени). Эталоны этих единиц наиболее точны и воспроизводимы



Метрическая система мер. Измерение расстояний и эталоны длины

С 1960 г. действующей системой единиц является СИ

(SI – Systeme International, Система Интернациональная).

В неё входит шесть основных единиц:

- а) длины – метр;
- б) массы – килограмм;
- в) времени – секунда;
- г) силы электрического тока – ампер;
- д) термодинамической температуры – градус Кельвина;
- е) силы света – свеча

и две дополнительных единицы:

- ж) плоского угла – радиан;
- з) телесного угла – стерадиан.

С 20 мая 2019 г. начала действовать новая редакция определений основных единиц системы СИ. В ней изменились определения килограмма, ампера, кельвина и моля, которые теперь привязаны к фундаментальным физическим константам — постоянной Планка, элементарному электрическому заряду, постоянной Больцмана и постоянной Авогадро.

Особого внимания в метрологии заслуживают длина и время (частота). Измерение именно этих величин даёт в настоящее время самую высокую точность результатов в экспериментальных исследованиях.

Метрическая система мер

1. Метрическая система мер предложена во времена Французской революции 1791 г.

Предлагаемая единица – 1 метр – должна была составить $\frac{1}{40000000}$ часть Парижского меридиана. В 1799 г. была обнаружена ошибка измерения длины меридиана,

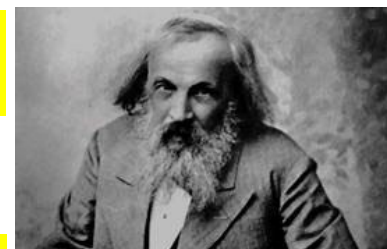
Несмотря на это, изготовленный в Париже метр был рекомендован в 1867 году Международной геодезической конференцией в качестве прототипа для изготовления нового Европейского эталона метра.

2. В 1875 г. 17 стран (в том числе и Россия) подписали метрическую конвенцию.

3. МСМ в России допущена 4 июня 1899 г. Проект разрабатывал Д. И. Менделеев.

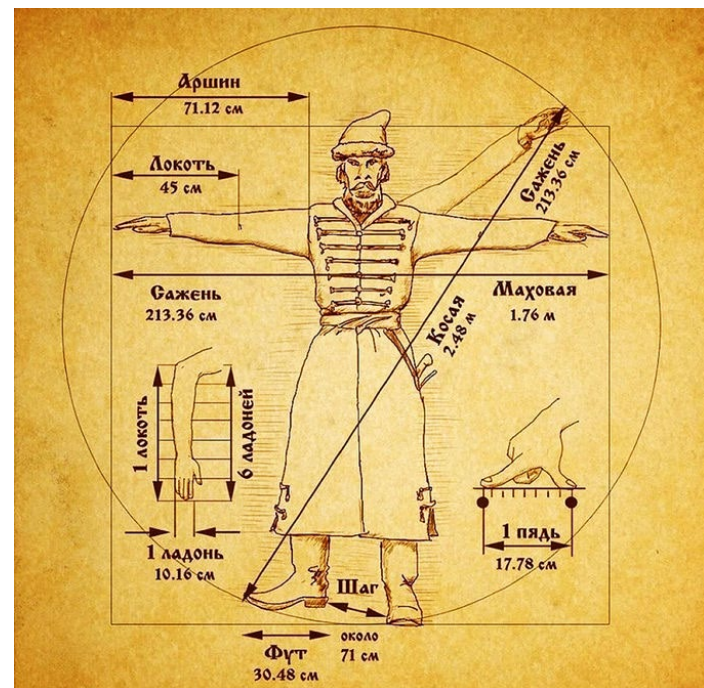
4. МСМ введена обязательной в России с 14 сентября 1918 г. (Декрет СНК РСФСР).

5. МСМ введена обязательной в СССР 21 июля 1925 г.



До введения метрической системы мер в России были приняты следующие единицы длины:

- а) 1 вершок = 44,45 мм = $\frac{7}{4}$ дюйма;
- б) 1 аршин = 16 вершков = 28 дюймов = 0,7112 м = $2\frac{1}{3}$ фута;
- в) 1 сажень = 48 вершков = 3 аршина = 2,1336 м = 84 дюйма = 7 футов;
- г) 1 верста = 500 саженей = 1066,8 м.



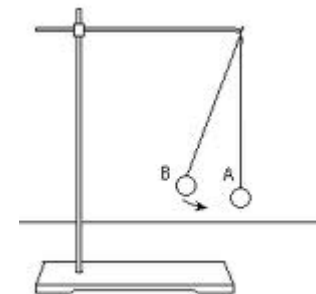
Легко видеть, что верста мало отличается от километра. Также десятинa (квадрат со стороной в 1/10 версты) мало отличается от гектара. Возможно это в какой-то мере снизило психологический барьер принятия метрической системы мер в России.

Историческая справка

- В 1790 г. в Национальное собрание Франции было внесено предложение о создании новой системы мер, «основанной на неизменном прототипе, взятом из природы, с тем, чтобы ее могли принять все нации». На роль эталона длины претендовали маятник с полупериодом 1 секунда на широте 45° и целая часть от диаметра Земли В современных единицах длина такого маятника.

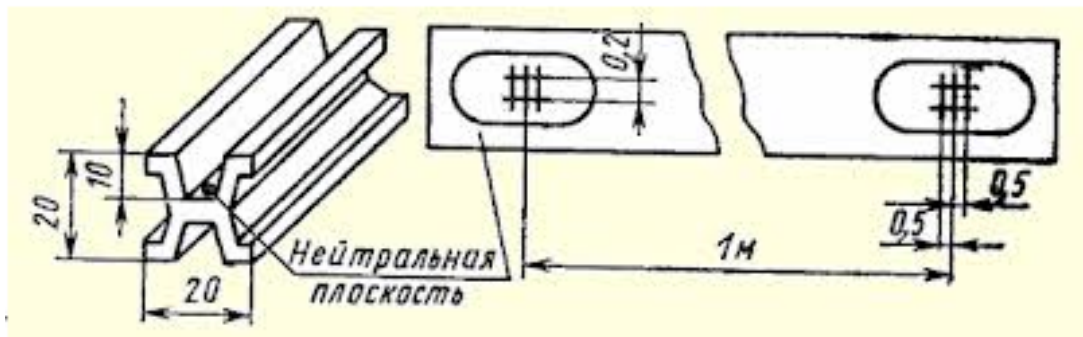
$$\frac{g}{\pi^2} \cdot 1\text{с}^2 \approx 0,994\text{м}$$

- В 1795 г. Национальный Конвент Франции принял закон о введении метрической системы во Франции и поручил комиссарам, в число которых входили Ш. О. Кулон, Ж. Л. Лагранж, П.-С. Лаплас и другие учёные, выполнить работы по экспериментальному определению единиц длины и массы.
- Идея привязать единицу измерения длины к меридиану была не нова: аналогичным образом ранее были определены морская миля и лье. (Сухопутное лье равно 4445 метрам ($1/25$ градуса меридиана; 4,16 версты), морское — 5557 метрам ($1/20$ градуса меридиана), почтовое — 3898 метрам.)



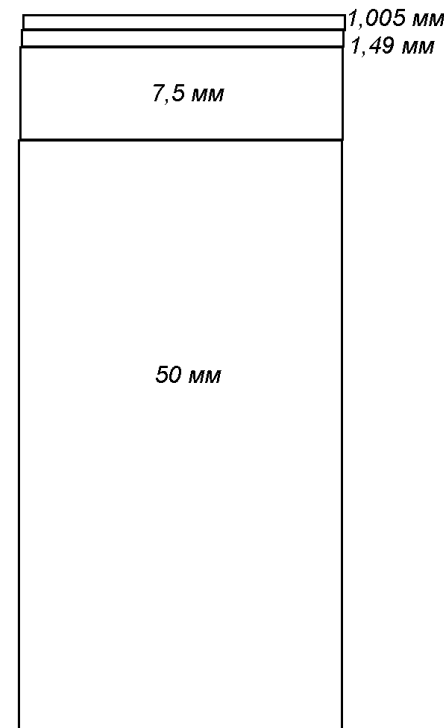
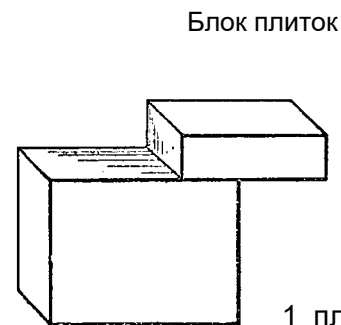
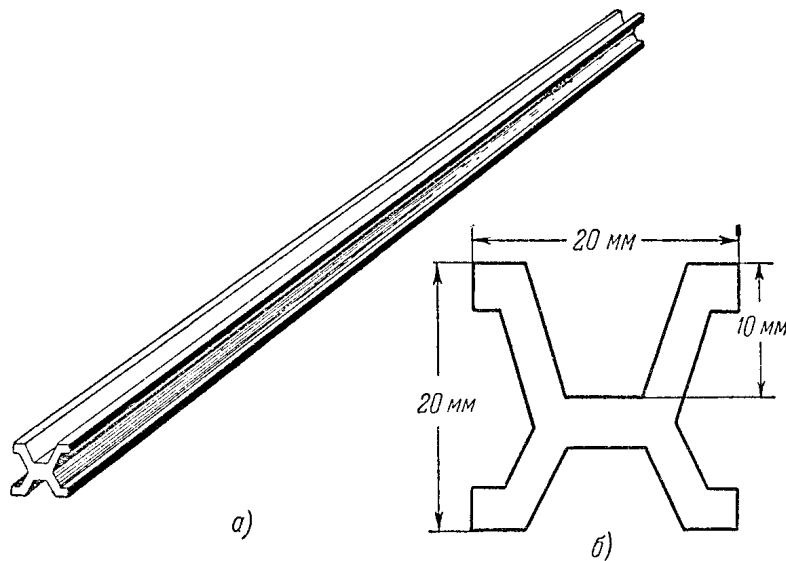
Историческая справка

- К 1889 г. были закончены работы по изготовлению образцов метра и килограмма.
- Работы французов Сен-Клер Девиля и Дебре по изучению свойств платины (в основном уральской) дали международной метрологической комиссии основание для выбора сплава платины и иридия при изготовлении эталонов. Образцы метра были изготовлены из бруска платиноиридиевого сплава (90 % платины и 10 % иридия)
- Исходные стержни с поперечным х-образным сечением были изготовлены Джонсон, Маттеи и Ко в Лондоне.
- Окончательное выравнивание, полировку и обрезку до длины 102 см провели братья Брунер в Париже.
- Штрихи были нанесены Треска, инженером при французской секции при метрологической комиссии.
- Образцы метра имели поперечное сечение в форме буквы X, вписанной в квадрат со стороной 20 мм.
- На обоих концах бруска на отполированных участках внутренней плоской линейки на расстоянии 0,5 мм один от другого нанесены три штриха. Перпендикулярно к этим штрихам, вдоль оси нанесены два штриха с расстоянием между ними 0,2 мм. Поверхность линейки, на которой нанесены штрихи, совпадают с нейтральной плоскостью бруска.



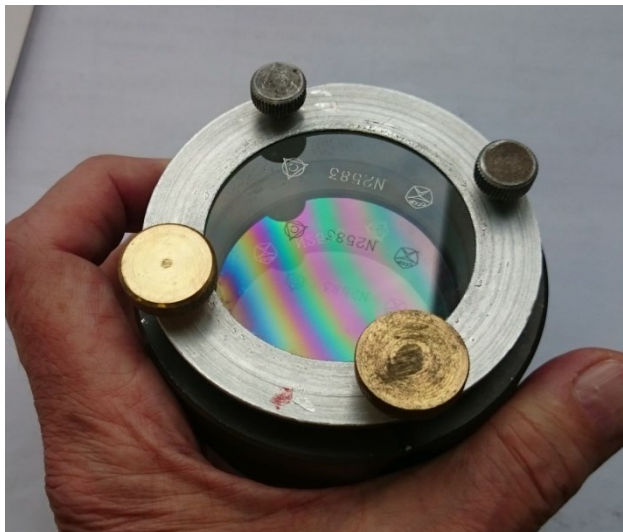
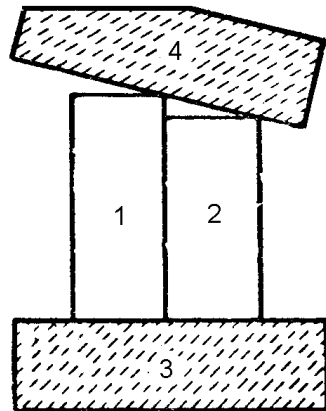
Вторичные эталоны

- В 1889 г. было изготовлено 30 эталонов метра. России передали эталоны номер 11 и 28. Точность эталонов составляла 0,2 – 0,3 мкм.
- До 1960 г. в России именно эталон номер 28 был эталоном метра. При этом в последние годы вторичные эталоны изготавливались в виде концевых мер, что позволяло увеличить точность по сравнению со штриховыми мерами.



1 плитка 1,005 мм; 49 плиток (через каждую 0,01 мм) 1,02; 1,03 и т. д. до 1,49 мм; 4 плитки (через каждую 0,1 мм) 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 мм; 19 плиток (через каждые 0,5 мм) 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и т. д. до 9,5 мм; 10 плиток (через каждые 10 мм) 10; 20; 30 и т. д. до 100 мм.

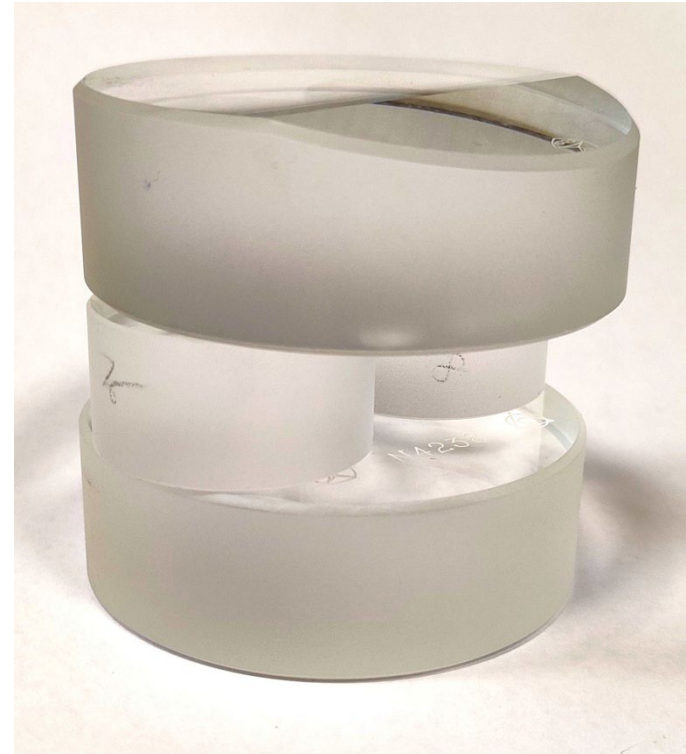
Сравнение эталонов полосы равной толщины



Для сравнения концевых мер применяются полосы равной толщины (пример таких полос – кольца Ньютона, радужные пленки на воде).

Принцип сравнения показан на рисунке. Нижние концы эталонных концевых мер 1, 2 притираются к очень ровной плоской поверхности стеклянной пластины 3, на верхние концы кладётся стеклянная пластина 4 и сверху освещается монохроматическим светом (например, отфильтрованным светом одной из линий ртутной лампы, натриевой лампой или лазером). Полосы тогда легче измеряются.

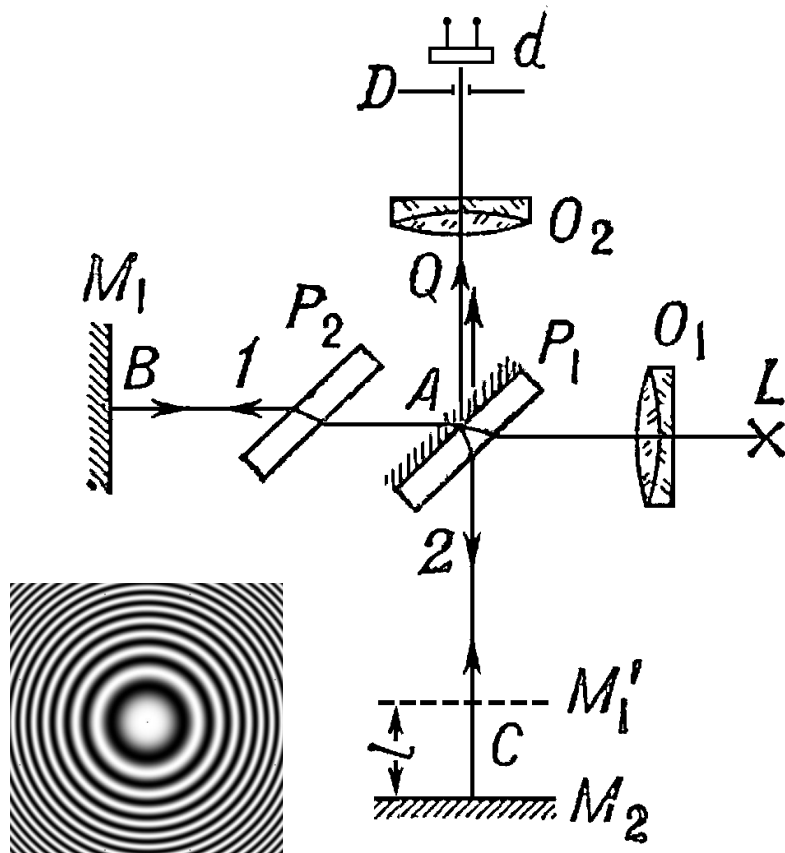
Сравнение эталонов полосы равной толщины



- Верхняя пластина имеет скошенный участок, чтобы организовать клин с большим углом и не создавать дополнительный резонатор из параллельных плоскостей, полосы в котором могут накладываться на наблюдаемую картину полос равной толщины на сличаемых эталонах.
- Плоскостность поверхностей эталонов поддерживается с точностью $\approx 0,01$ мкм

Сравнение эталонов полосы равного наклона

Для сравнения длин эталонов, длин волн излучения для разных квантовых переходов и сверхточных измерений длины применяются полосы равного наклона. При этом наиболее часто используются интерферометры Майкельсона и Фабри – Перо



Интерферометр Майкельсона - двулучевой прибор

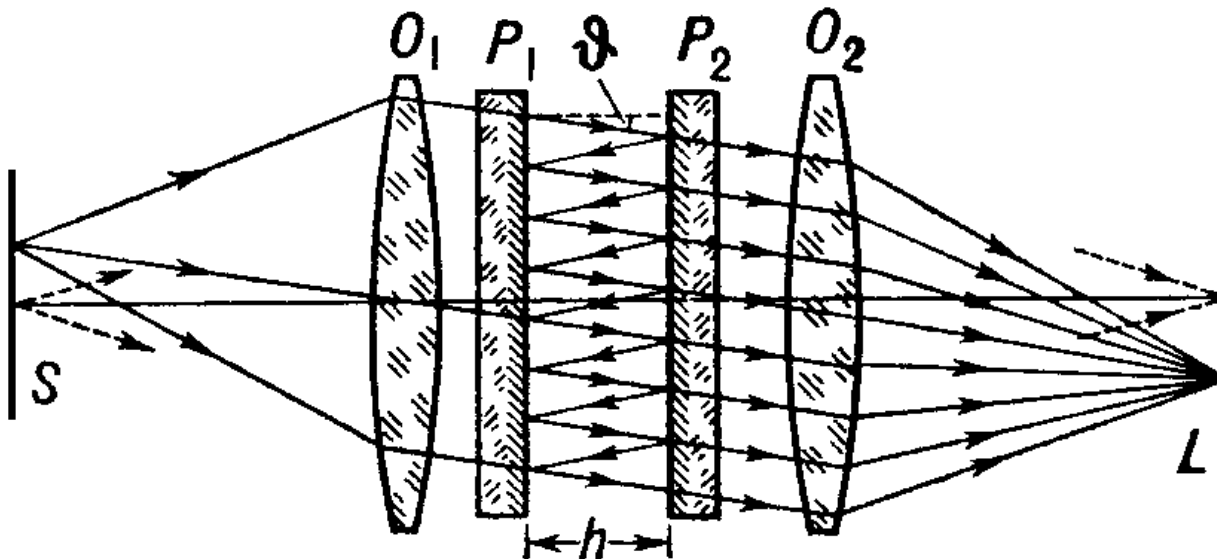
Пучок света от источника L , проходя через объектив O_1 и попадая на полупрозрачную пластинку P_1 , разделяется на два когерентных пучка 1 и 2. После отражения от зеркал M_1 и M_2 и повторного прохождения луча 2 через пластинку P_1 оба пучка проходят в направлении AO через объектив O_2 и интерферируют в его фокальной плоскости D .

P_2 – компенсатор разности хода луча

Полосы равного наклона

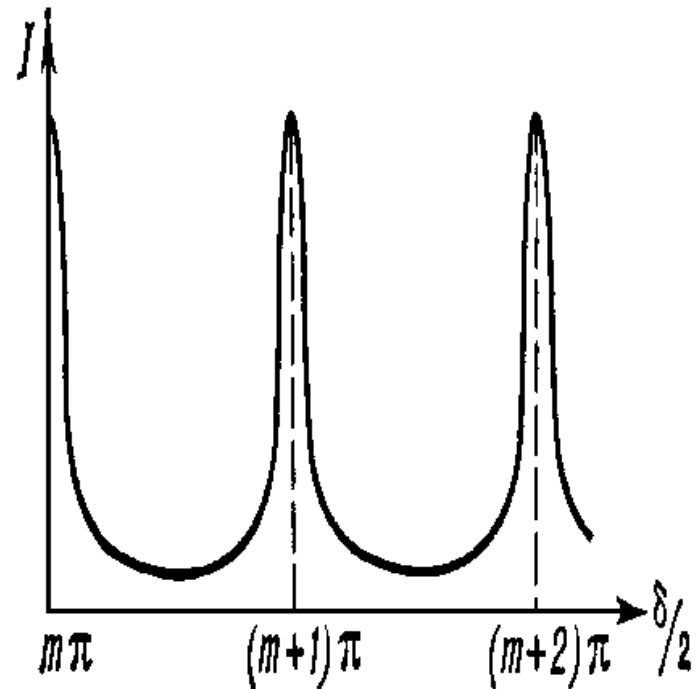
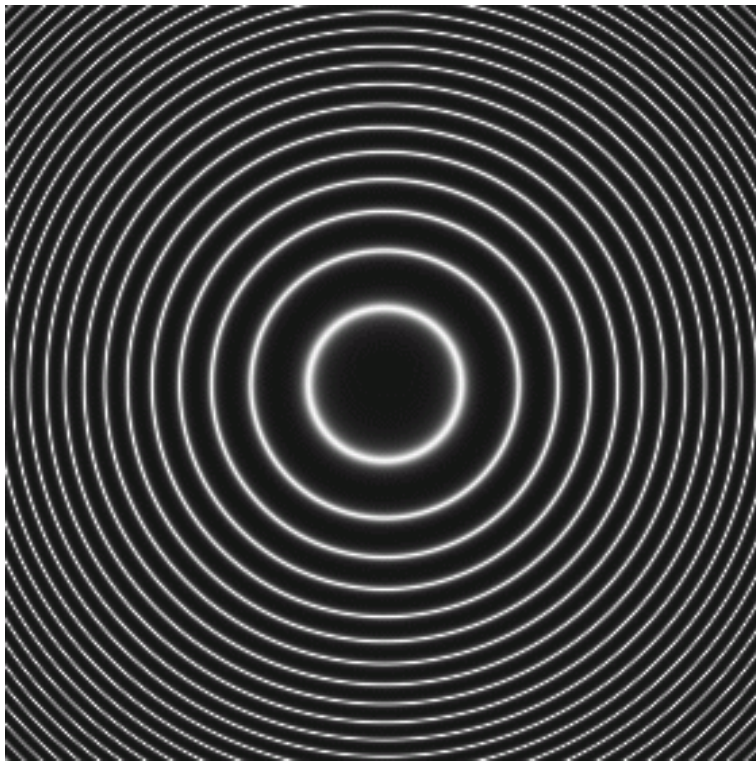
Интерферометр Фабри – Перо

Многолучевой интерферометр Фабри – Перо состоит из двух стеклянных или кварцевых пластинок P_1 и P_2 , на обращённые друг к другу и параллельные между собой поверхности которых нанесены зеркальные покрытия с высоким (85 – 98 %) коэффициентом отражения. Параллельный пучок света, падающий из объектива O_1 в результате многократного отражения от зеркал, образует большое число параллельных когерентных пучков с постоянной разностью хода между соседними пучками, но различной интенсивности. В результате многолучевой интерференции в фокальной плоскости L объектива O_2 образуется интерференционная картина

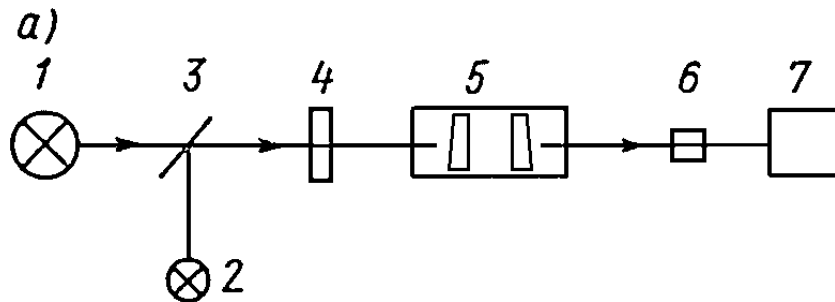


Интерферометр Фабри – Перо

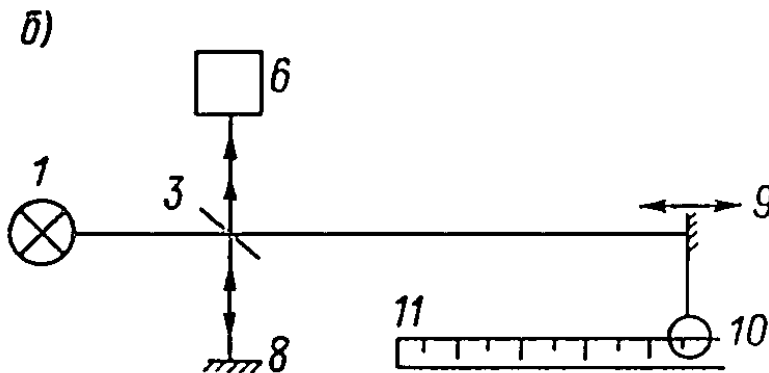
Интерференционная картина, имеет форму концентрических колец с резкими интенсивными максимумами, положение которых определяется из условия $\Delta = m\lambda$ (m – целое число), т. е. зависит от длины волны



Сличение эталонов



Для абсолютного измерения и сравнения длин волн источников монохроматического света применяется спектро-интерферометр Фабри – Перо



Интерферометр Майкельсона применяется для особо точных измерений расстояний в пределах от 1 мкм до нескольких метров.

1 и 2 – эталонный и поверяемый источники излучения; 3 – полупрозрачное зеркало; 4 – дифракционная решётка; 5 – интерферометр Фабри – Перо в вакуумной камере; 6 – фотоприёмник; 7 – индикатор; 8 – неподвижное зеркало; 9 – подвижное зеркало с микроскопом (10); 11 – штриховая мера

Переход к квантовым эталонам длины

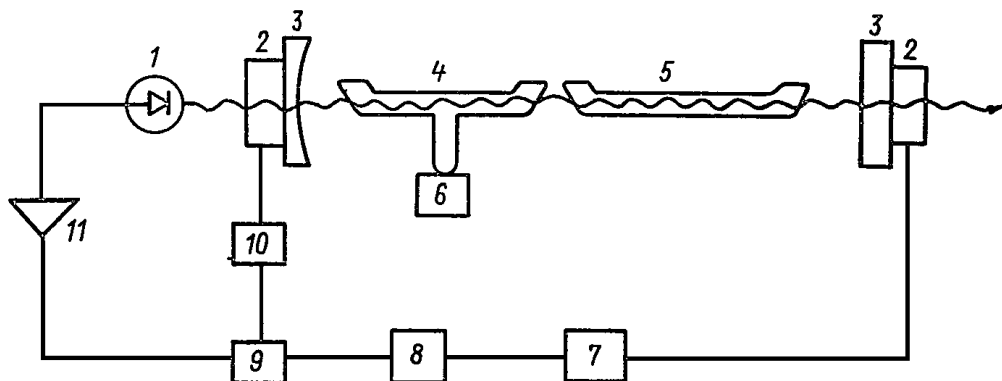
- В 1895 г. был предложен, а с 1927 г. уточнен промежуточный эталон – «естественный свидетель прототипа метра» в виде длины волны красной линии кадмия $\lambda = 0,64384696$ микрона. Соответственно $1 \text{ м} = 1553164,13 \cdot \lambda$. Длина когерентности линии кадмия не позволяла непосредственно измерять длины, большие 200 мм.
- с 1960 года 11 Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение метра, связанное с квантовым переходом в атоме, точнее – с длиной волны излучения λ для квантового перехода $2p_{10} - 5d_5$ изотопов атомов криптона ^{86}Kr :

$$1 \text{ метр} = 1 \text{ м} = 1650763,73 \cdot \lambda \text{ в вакууме.}$$

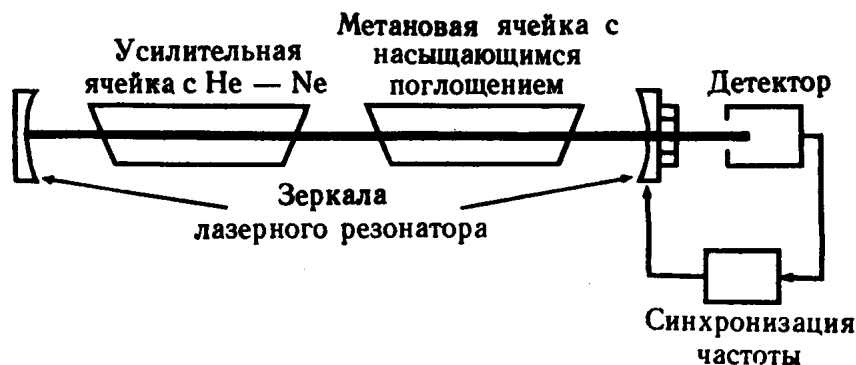
Свет тлеющего разряда в изотопе криптона-86 обладает большей длиной когерентности (600 мм) и интенсивностью излучения по сравнению с линией кадмия.

- Точность воспроизведения единицы длины улучшилась примерно на порядок по сравнению с первым эталоном – среднеквадратичное отклонение $\leq 10^{-8} \text{ м}$, что составляет $1/10$ длины световой волны $\lambda = 605,78021 \text{ нм} = 6057,8021 \text{ \AA}$.
- Первичный эталон стало возможным воспроизводить независимо в любой лаборатории

Переход к лазерным источникам света



Функциональная схема He-Ne/I₂ лазера:
 1 – фотоприёмник; 2 – пьезоэлементы; 3 – зеркала; 4 – поглощающая ячейка с йодом; 5 – активный элемент; 6 – регулятор температуры отрезка ячейки; 7 – опорный генератор; 8 – умножитель (утроитель) частоты; 9 – синхронный детектор; 10 – интегратор и УПТ; 11 – усилитель



Упрощенная функциональная схема He-Ne/CH₄ лазера

1973 г.- 5-я сессия Международного консультативного комитета по определению метра (МККМ):

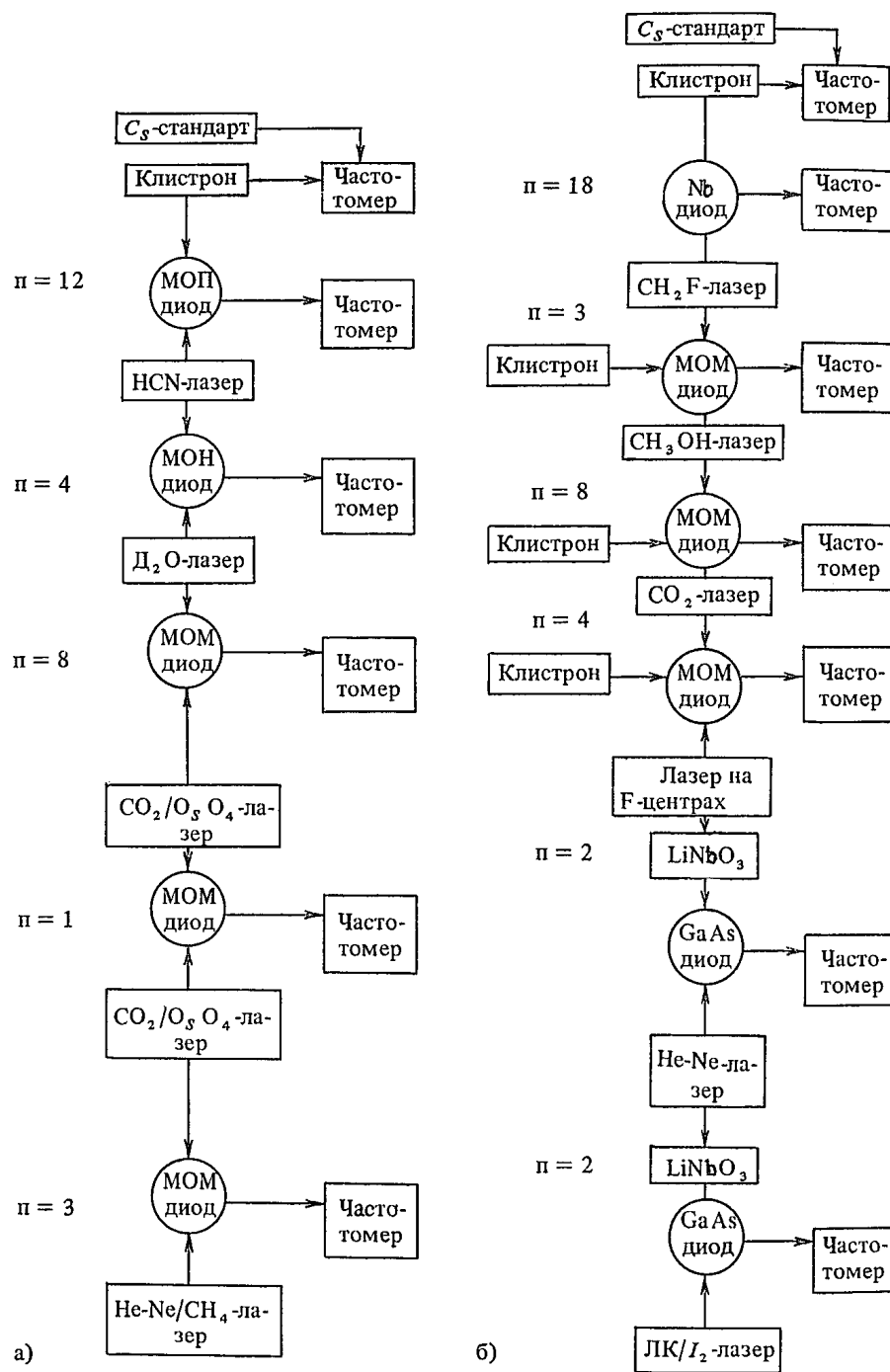
Длины волны HeNe лазера, стабилизированного по насыщенному поглощению в молекулярном йоде 127I₂ (*R*(127), полоса 11 – 5, *i*- компонента) – $\lambda = 0,632991399$ мкм и стабилизированного по насыщенному поглощению в метане CH₄ (*P*(7), полоса ν_3) – $\lambda = 3,39223149$ мкм, воспроизводятся точнее, чем длина волны ⁸⁶Kг и необходим переход на новое определение метра на основе излучения этих лазеров

Непосредственное измерение частоты оптических переходов в атоме. Радио-оптический частотный мост

• В результате проведенных исследований с помощью квантовых мер времени и частоты были непосредственно измерены частоты оптических квантовых генераторов, привязанных к эталону длины.

• Особо точное сопоставление длин волн (частот) источников света производилось измерением разностной частоты (биений) при смешивании двух близко расположенных спектральных линий (частот) на нелинейном элементе (аналоге полупроводникового диода в радиотехнике или нелинейной среды в оптике)

• Достижения в измерении частот и длин волн лазеров позволили определить скорость света $c = 299792458$ м/с, точность измерения которой ограничивается воспроизводимостью метра в прежнем определении.



Единое квантовое определение эталона расстояния и времени-частоты

- Октябрь 1983 г. 17-я Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение метра: «Метр – это длина, проходимая светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды».
- Данное в 1960 г. определение уже не позволяло воспроизводить метр с достаточной точностью для всех, решаемых в эти годы, задач.
- Скорость света с 1983 г. была зафиксирована и более точное её определение потеряло смысл

Данное определение позволяет измерить расстояние l с привязкой к эталону метра тремя различными способами:

- 1) измеряя **время** распространения электромагнитной волны по соотношению $l = ct$;
- 2) измеряя **частоту** электромагнитной волны, которая укладывается на измеряемой дистанции $l = \lambda = c/\nu$;
- 3) измеряя **число длин волн** одного из рекомендованных лазеров, которое укладывается на измеряемой дистанции $l = n\lambda = nc/\nu$

Параметры эталонных лазеров

Лазер	Частота, МГц	Длина волны, мкм	Погрешность на 1983 г.
He-Ne / CH ₄ – лазер ν ₃ , <i>P</i> (7), – [компонента метана]	88376181,608	3,3922313970	1,3·10 ⁻¹⁰
He-Ne / 127I ₂ – лазер линия <i>R</i> (127), 5-11, пик <i>i</i> йода	473612214,8	0,6329913981	1,1·10 ⁻⁹
He-Ne / 127I ₂ – лазер линия <i>R</i> (47), 2-9, пик <i>O</i> йода	489880355,1	0.6119707698	1,1·10 ⁻⁹
Вторая гармоника He-Ne / 127I ₂ – лазера линия <i>P</i> (62), 1-17, пик <i>O</i> йода	520206808,51	0,57629476027	6·10 ⁻¹⁰
Ar / 127I ₂ – лазер линия <i>P</i> (13), 0-43, пик а3 йода	582490603,6	0,5146734662	1,3·10 ⁻⁹

В настоящее время воспроизводимость лазерных эталонов составляет не хуже $\sim 10^{-13}$, нестабильность не хуже $\sim 10^{-15}$.

ФГУП ВНИИФТРИ — ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ



17:38:50

ЭТАЛОННОЕ ВРЕМЯ РОССИИ



+7 (495) 526-63-63

Заказать

О ВНИИФТРИ

ЭТАЛОННАЯ БАЗА

ПРОДУКЦИЯ И УСЛУГИ

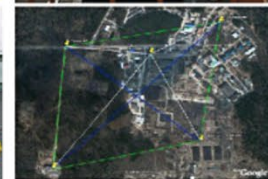
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

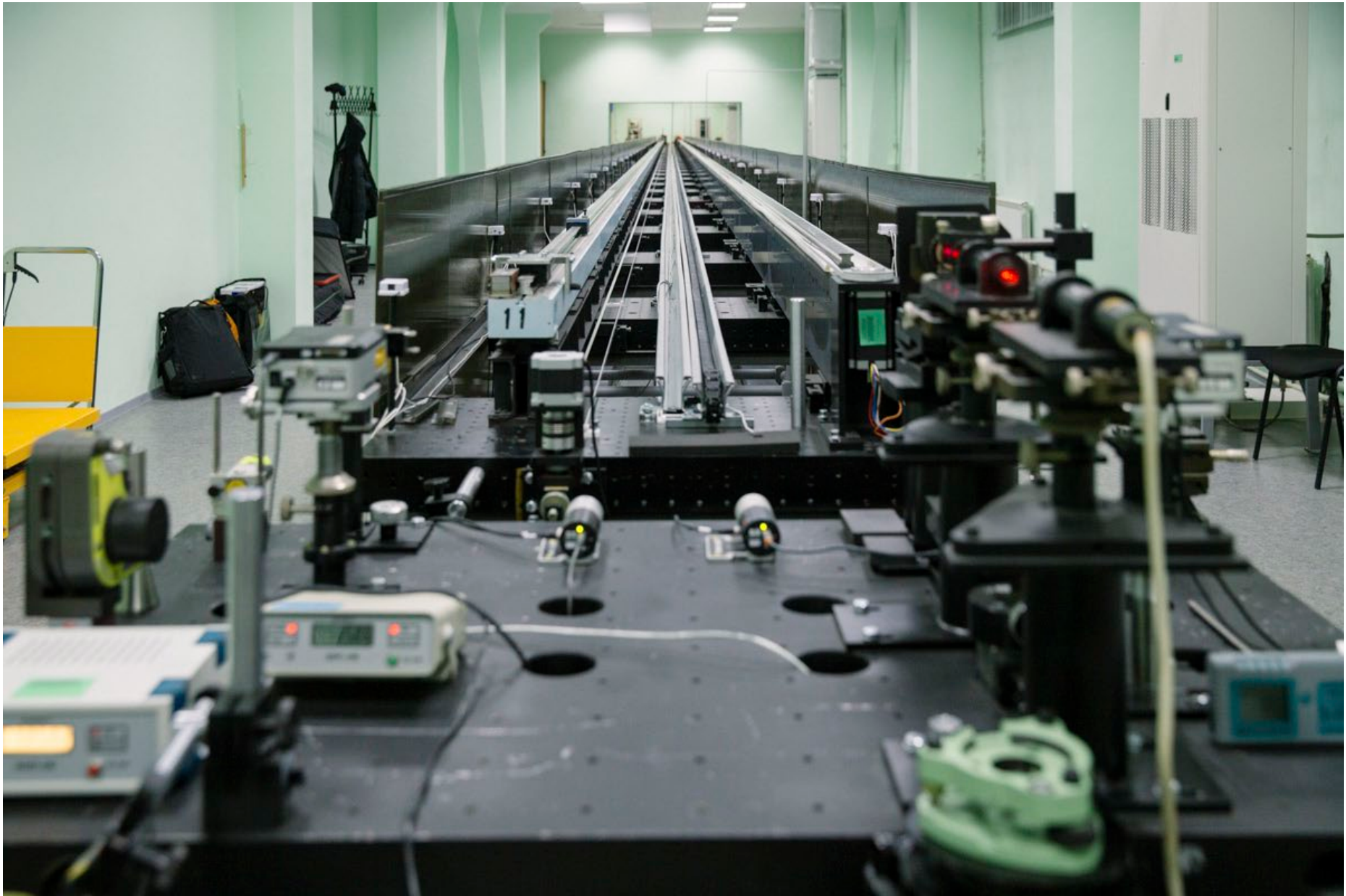
ПРЕСС-СЛУЖБА

КОНТАКТЫ

ГЭТ 199-2018. Государственный первичный специальный эталон единицы длины



<https://www.vniiftri.ru/>



Наименование эталона	Метрологические характеристики			Ученый хранитель
	Диапазон измерений	Цена деления (дискретность)	СКО	
Государственный вторичный эталон единицы плоского угла в диапазоне значений от 0 до 360 ° ВЭТ 22-1-91	0-360 ° 0-10 °	0,1"	0.03"	<u>Загарских С.А.</u>
Государственный вторичный эталон единицы длины в диапазоне значений от 0 до 100 мм для концевых мер длины ВЭТ 2-18-77	0,1–100 мм	0,01 мкм	(0,02+0,1L) мкм	Шестакова А.В.
Государственный вторичный эталон единицы длины в диапазоне значений от 0 до 1000 мм для штриховых мер длины ВЭТ 2-14-59	0,1–1000 мм	0,01 мкм	(0,05+0,1L) мкм	<u>Загарских С.А.</u>
Государственный вторичный эталон единицы длины в диапазоне значений от 0,001 до 0,200 мм для малых длин ВЭТ 2-25-91	1–200 мкм	0,01 мкм	(0,05+0,1L) мкм	<u>Загарских С.А.</u>
Государственный эталон единицы длины в области измерений отклонения от плоскостности <u>плоскостности</u> - установка БОПП	20–140 мкм		0,03 мкм	<u>Набока Т.В.</u>
Эталонный компаратор для поверки нивелиров	± 10'	0,2"	1 разряд	<u>Тукмачев К.В.</u>

Некоторые способы измерения малых расстояний

Электроны, гамма кванты

- Уменьшение длины волны зондирующего излучения. Энергии частицы

$E = 1000 \text{ ГэВ}$ соответствует длина волны де Бройля

$\lambda = h/P = hc/E \approx 1,2 \cdot 10^{-18} \text{ м}$, где h – постоянная Планка, c – скорость света, P – импульс частицы.

- Комптоновская длина волны λ_0 частицы массы m . Облучение частиц ЭМ квантами.

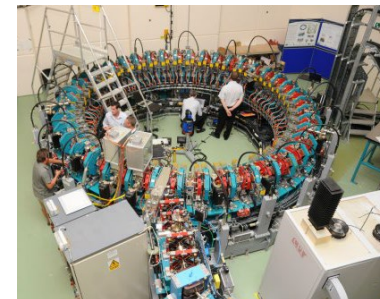
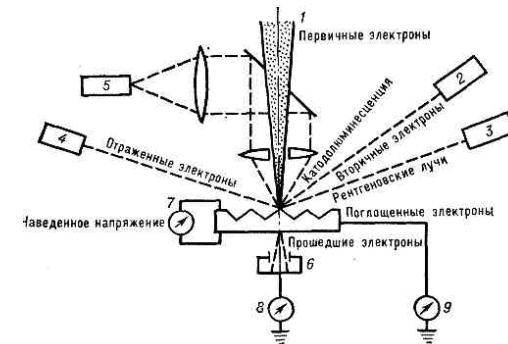
Величина $\lambda_0 = \hbar/mc$, определяющая изменение длины волны $\Delta\lambda$ электромагнитного излучения при рассеянии волны на частице. Для электрона комптоновская длина волны $\lambda_e = \hbar/m_e c \approx 3,9 \cdot 10^{-13} \text{ м}$.

- Измерение интерферометром-анализатором спектра перемещения Δl крупного объекта (зеркало лазера) для малых интервалов времени τ . Точность в данном случае зависит от стабильности частоты лазера и квантово-механических ограничений

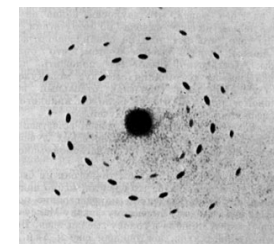
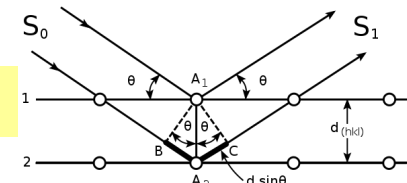
$$\Delta l \geq (2\pi\hbar\tau/m)^{1/2},$$

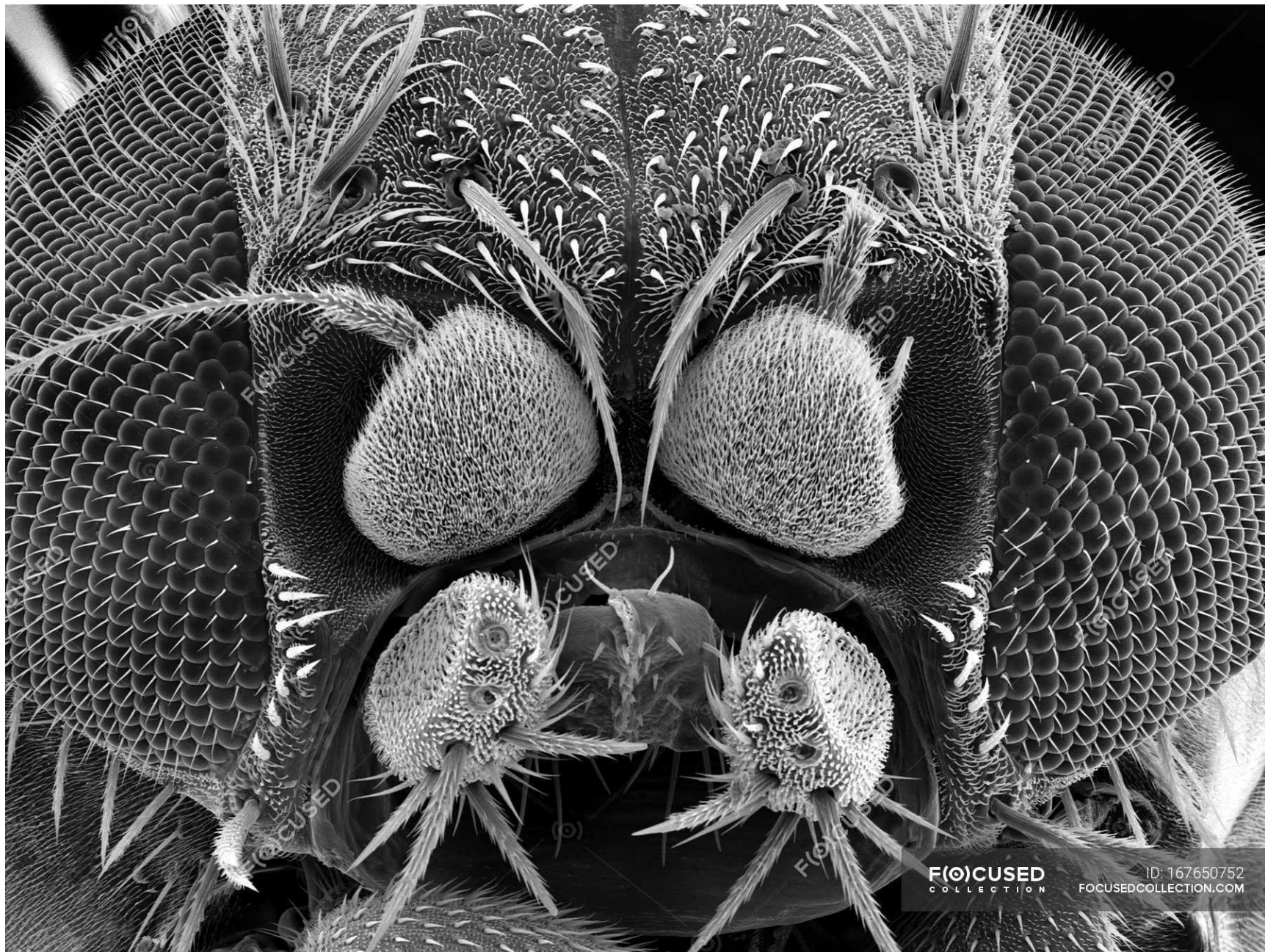
где m – масса зеркала, h – постоянная Планка. Таким способом возможны измерения расстояний в интервале от $4 \cdot 10^{-18} \text{ м}$ до 10^{-7} м .

- Измерение расстояния косвенными методами. Например, в случае сплошных сред – из количества частиц, объёма среды, давления среды на стенку.



Дифракция Вульфа-Брэгга



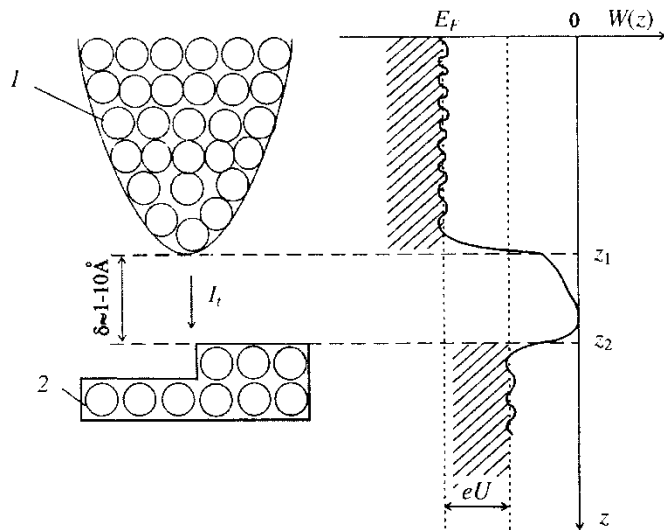


F(©)CUSED
COLLECTION

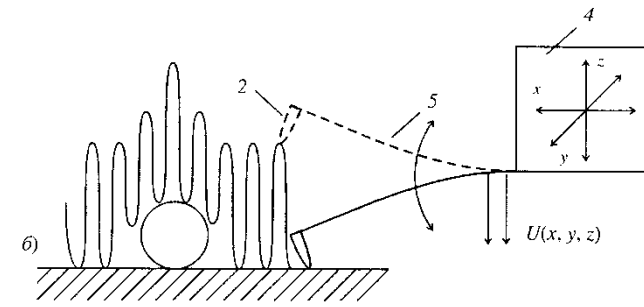
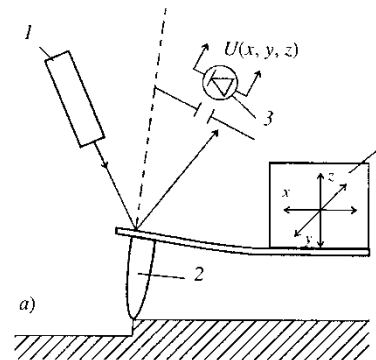
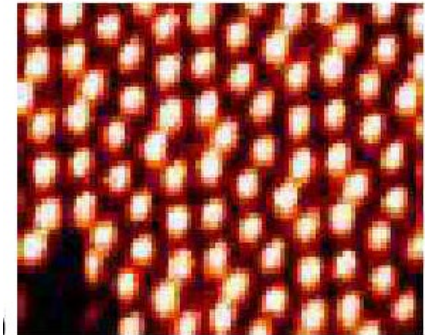
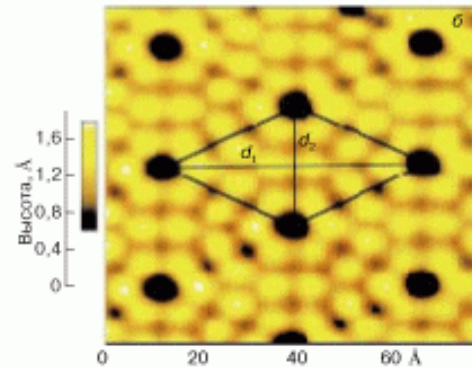
ID: 167650752
FOCUSEDCOLLECTION.COM

Изображение, полученное на электронном сканирующем микроскопе

Сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы



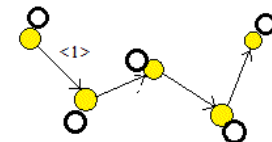
Принципиальная схема действия сканирующего туннельного микроскопа: 1- зонд, 2- исследуемый образец, I_t – туннельный ток в зазоре величиной $z_1 - z_2$, E_F - уровень Ферми, U - напряжение, приложенное между зондом и образцом, W – энергия, e – заряд электрона, Z - ось координат по высоте



Схемы двух мод метода атомно-силовой микроскопии:
а) контактная мода, б) квазиконтактная мода:
1- лазер, 2- игла, 3- система измерения прогиба или колебаний кантилевера, 4- система регистрации усилий, действующих на иглу

Малые расстояния

- В случае газообразных, жидких сред и плазмы объекты (атомы, молекулы, частицы) постоянно находятся в движении.
- Поэтому расстояния измеряются косвенными методами – из количества частиц, объёма среды, давления среды на стенку и т. д.
- Расстояние, которое в нормальных условиях пробегают молекула воздуха до столкновения с другой молекулой воздуха $l_{пр} \sim 10^{-7}$ м примерно в 100 раз больше среднего расстояния между молекулами $l_{амм} \sim 10^{-9}$ м. Длина свободного пробега электронов в металле определяется количеством кристаллических дефектов и составляет $l_{эл} \sim 10^{-8}$ м.
- Некоторые расстояния, такие как разницы длин волн в спектроскопических измерениях, носят условный характер и их не стоит отождествлять с размерами конкретных физических объектов.
- Связь между длиной волны и энергией кванта описывается следующей простой формулой



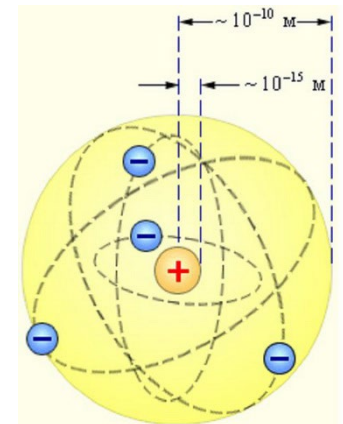
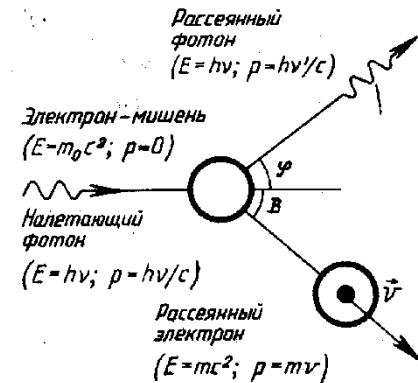
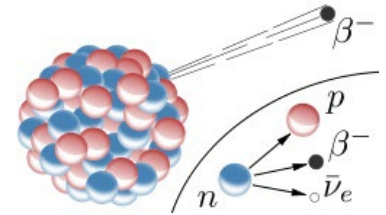
$$\lambda(\text{мкм}) \cdot E(\text{эВ}) = 1,24$$

Эта формула – аналог всем известной

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Малые расстояния

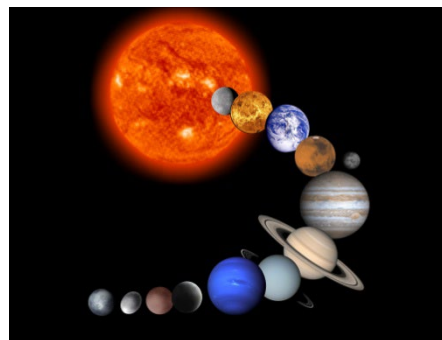
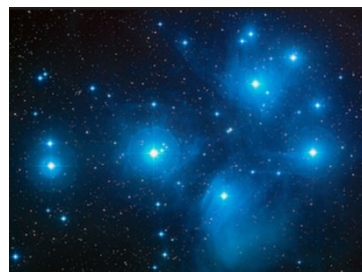
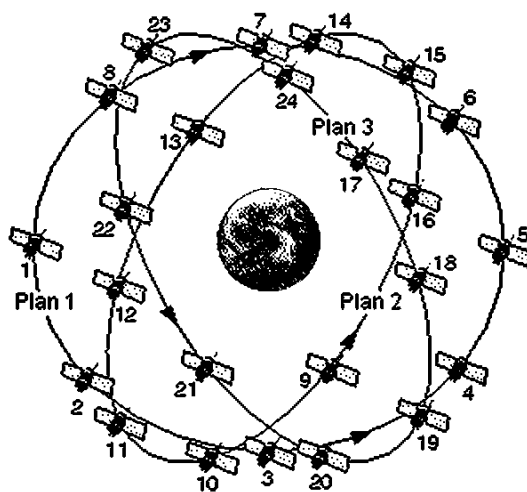
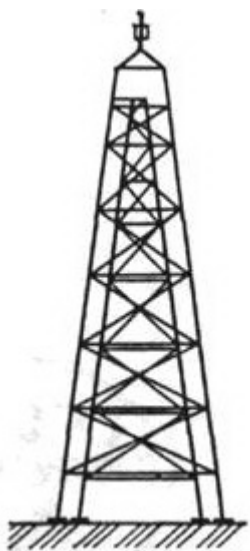
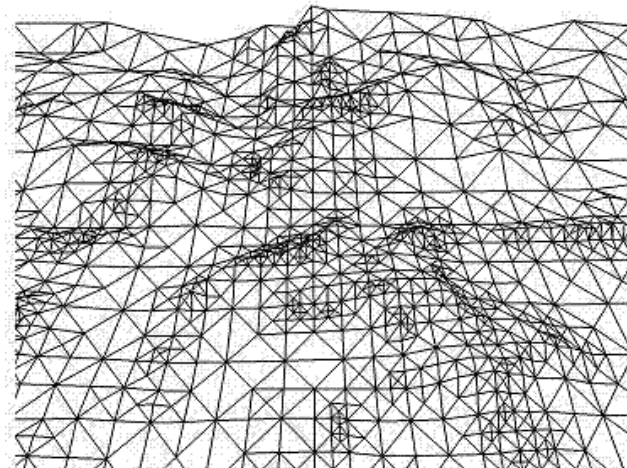
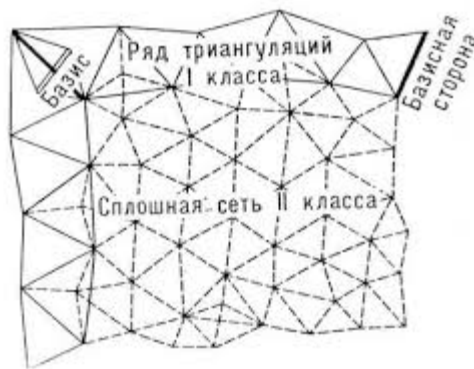
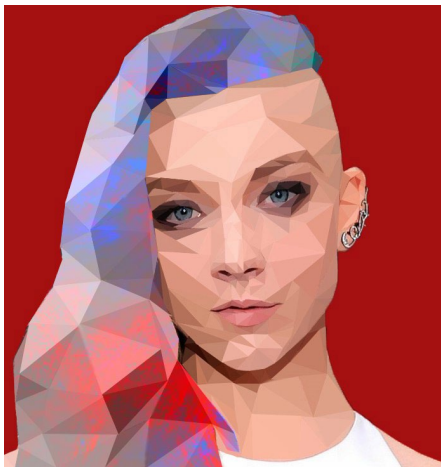
- Слабое взаимодействие, ответственное за радиоактивный распад, действует на расстояниях, меньших 10^{-17} м. Соответственно энергии W - и Z -частиц, передающих слабое взаимодействие, равны 82 ГэВ и 92 ГэВ.
- Характерным для слабого взаимодействия считается расстояние $\sim 2 \cdot 10^{-18}$ м – комптоновская длина волны W - и Z -бозонов.
- Комптоновской длиной волны λ_0 частицы массы m называется величина $\lambda_0 = \hbar/mc$, определяющая изменение длины волны $\Delta\lambda$ электромагнитного излучения при рассеянии волны на частице. Комптоновскую длину волны можно определить так же как расстояние, на которое может удалиться виртуальная частица массы m от места своего рождения.
- Для электрона комптоновская длина волны $\lambda_e = \hbar/m_e c \approx 3,9 \cdot 10^{-13}$ м. На расстояниях, меньших λ_e , возможно виртуальное рождение электрон-позитронных пар и экранировка заряда электрона за счёт эффекта поляризации вакуума.
- Радиус действия ядерных сил $\sim 10^{-15}$ м, определяемый самыми лёгкими из виртуальных адронов – π -мезонами, по порядку величины примерно равен комптоновской длине волны π -мезонов.
- С уменьшением расстояний между взаимодействующими частицами электрический заряд растёт (за счёт уменьшения экранировки вакуумом), а цветовой заряд, отвечающий за сильное взаимодействие – уменьшается.
- Последнее создаёт надежду, что на малых расстояниях, порядка 10^{-31} м, электрослабые и сильные взаимодействия могут иметь общую природу. Так как для экспериментальной проверки требуются ускорители с энергией частиц более 10^{14} ГэВ, то пока это является частью теоретической модели Великого Объединения всех калибровочных полей. Поэтому этот порядок величин на шкале не показан.



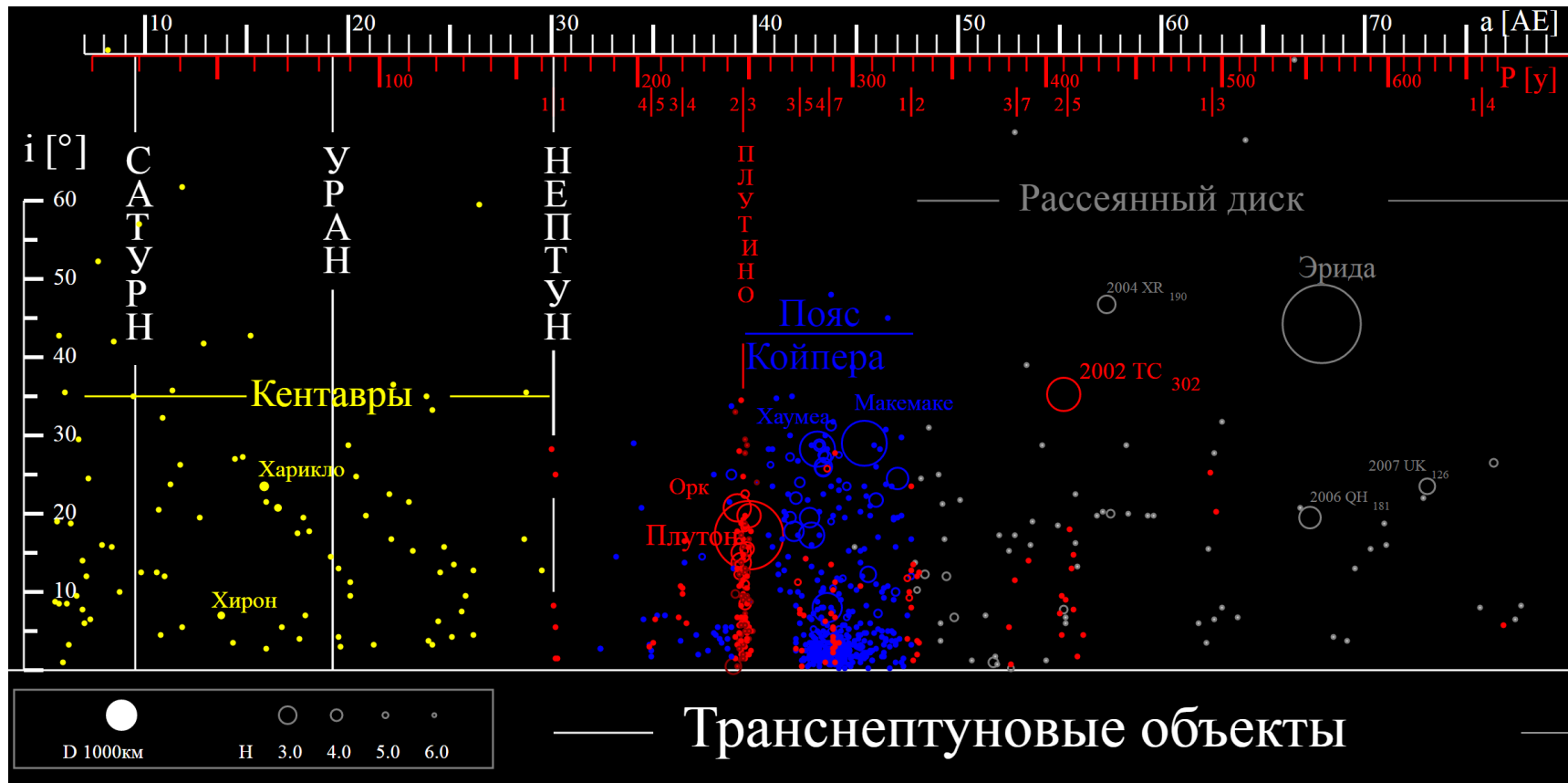
Средние и большие расстояния



Триангуляция



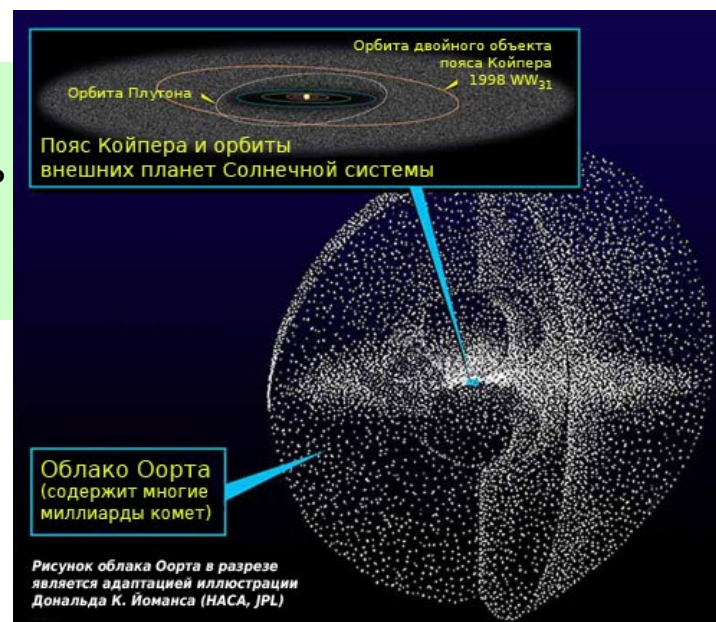
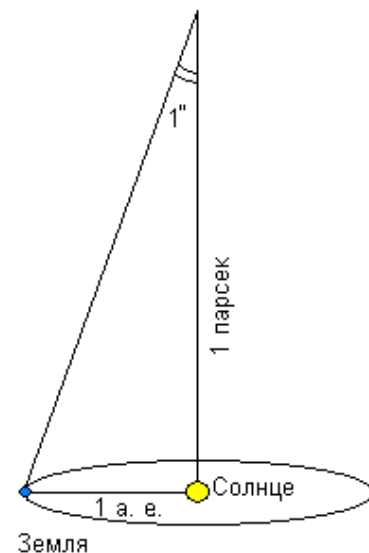
Большие расстояния



В связи с построением больших наземных телескопов с диаметром зеркала 20 м и более и применением орбитальных телескопов, в пределах 80 астрономических единиц (а.е.) $\approx 1,2 \cdot 10^{13}$ м было найдено много объектов

Большие расстояния

- Расстояния до ближайших звезд **измеряются методом триангуляции по параллаксу** – смещению положения звезды относительно удаленных звезд при движении Земли по орбите. Это нашло отражение в названии внесистемной астрономической единицы длины – параллакс-секунде (парсек)
 - Парсек – это расстояние на котором радиус земной орбиты виден под углом 1 секунда:
 - $1 \text{ парсек} = 3,26 \text{ световых лет} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м};$
 - $1 \text{ св. год} = 0,31 \text{ парсек} = 0,9461 \cdot 10^{16} \text{ м}.$
-
- За поясом Койпера, транснептуновыми и трансплутоновыми планетоидами – Плутоном, Хароном, Эридой и др. (расстояния $\sim 10^{13} \text{ м}$) и вплоть до ближайшей звезды Проксимы Центавра (4,3 световых лет $\approx 4 \cdot 10^{16} \text{ м}$), люди пока не могут регистрировать никаких объектов.
 - Известно, что там есть кометы, но они не доступны для наблюдения. Облако комет формально может простираться до дистанции $\sim 50000 \text{ а. е.} \sim 1 \text{ св. года}$ (облако Оорта). Как показывают оценки, предел влияния гравитационного поля Солнца примерно равен $1/3$ от расстояния до ближайшей звезды.

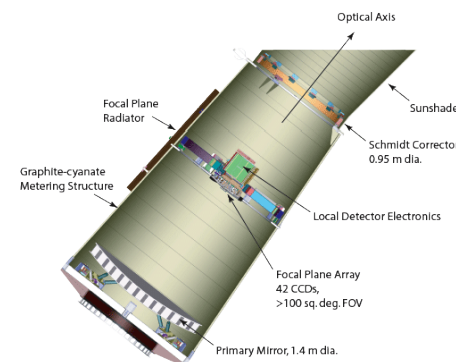


Большие расстояния

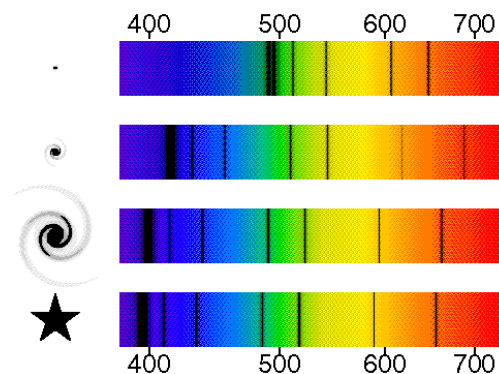
- Знание среднего размера для различных классов галактик дает возможность оценки расстояний до них по угловому размеру. Этот метод покрывает дистанции от 90 кпк до 10 Мпк. Фактически этот метод является методом **триангуляции**.
- Расстояния от нескольких десятков световых лет ($5 \cdot 10^{17}$ м) до десяти миллиардов световых лет (10^{26} м) (что соответствует диапазону 15 пк ÷ 3000 Мпк) измеряются **фотометрическим методом**.
- Начиная с расстояний, больших 5 Мпк (10^{23} м), наиболее удобным способом определения расстояния до удаленных галактик становится **использование эффекта Доплера** (красного смещения) и модели равномерно расширяющейся Вселенной.

Исследованная таким образом часть Вселенной составляет около 1500 мегапарсек, что в 4 раза меньше размера Вселенной $D_{\text{вс.}}$, полученного из предположения, что ее граница убегает от нас со скоростью света, и из значения постоянной Хаббла $H_0 = 25$ ($15 \div 30$) км/с на 1 миллион световых лет или 75 ($50 \div 100$) км/с на миллион парсек

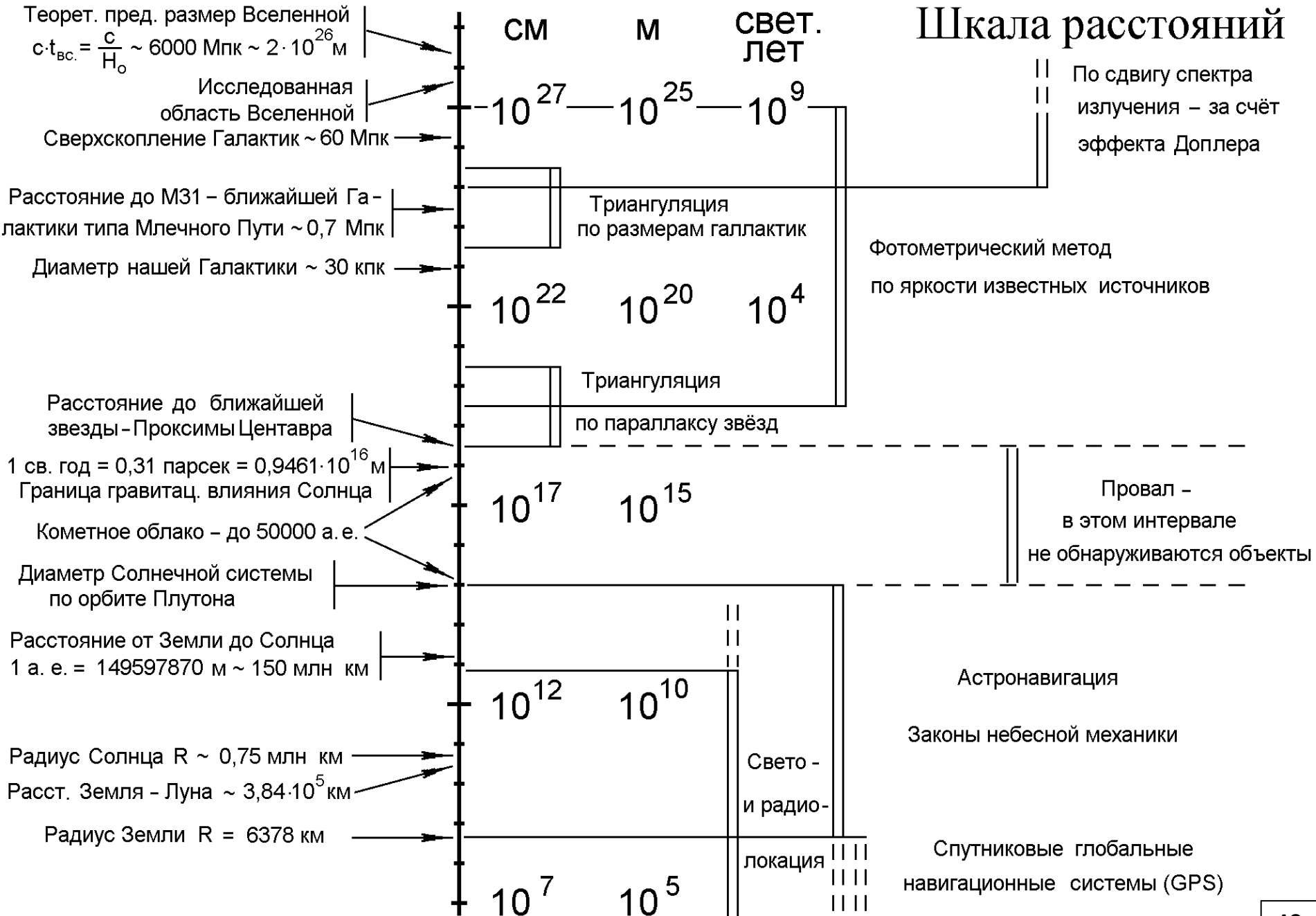
$$D_{\text{вс.}} = c \cdot t_{\text{вс.}} = c/H_0 = 2 \cdot 10^{26} \text{ м.}$$

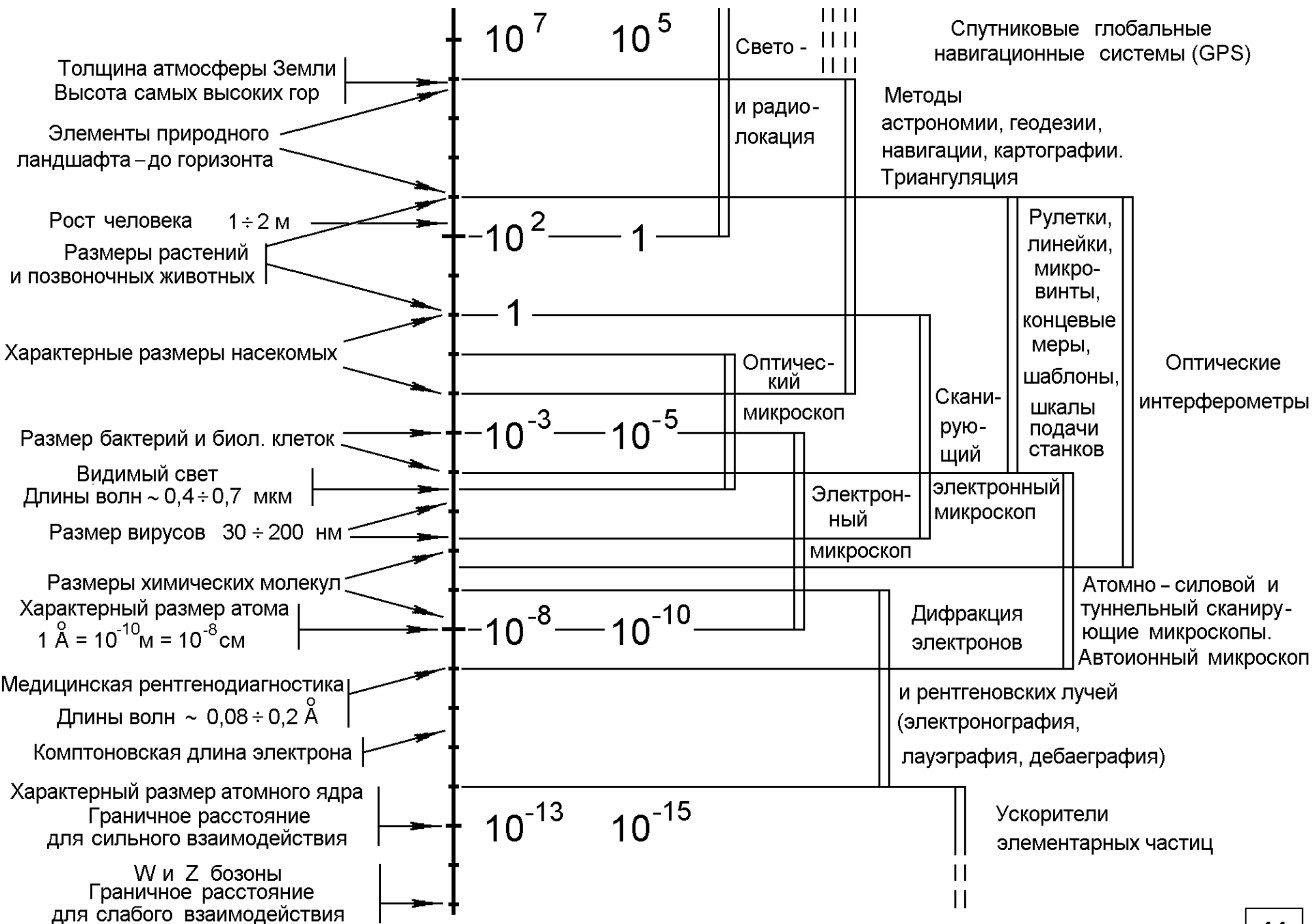


Телескоп «Кеплер»



Шкала расстояний

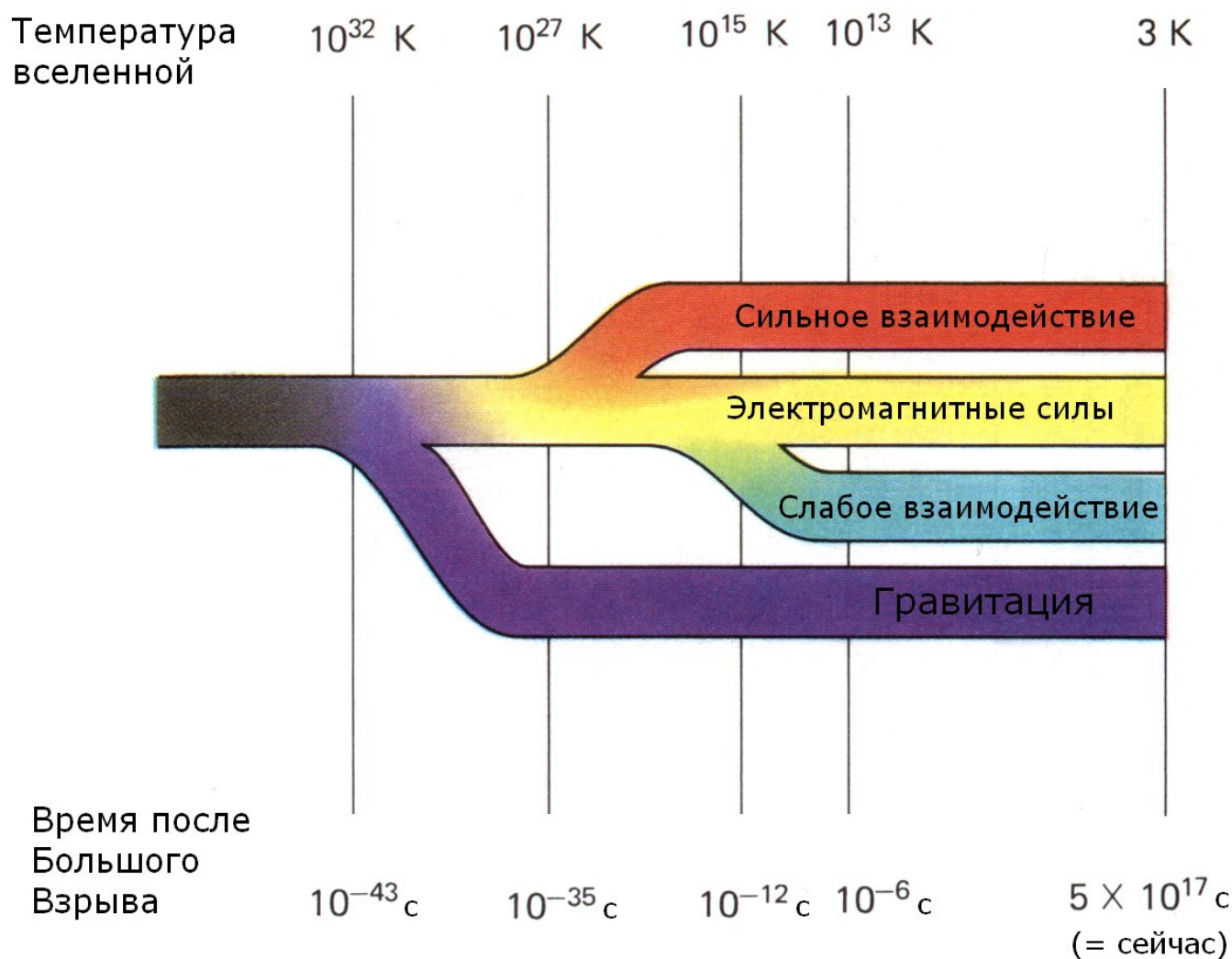




Силы в природе

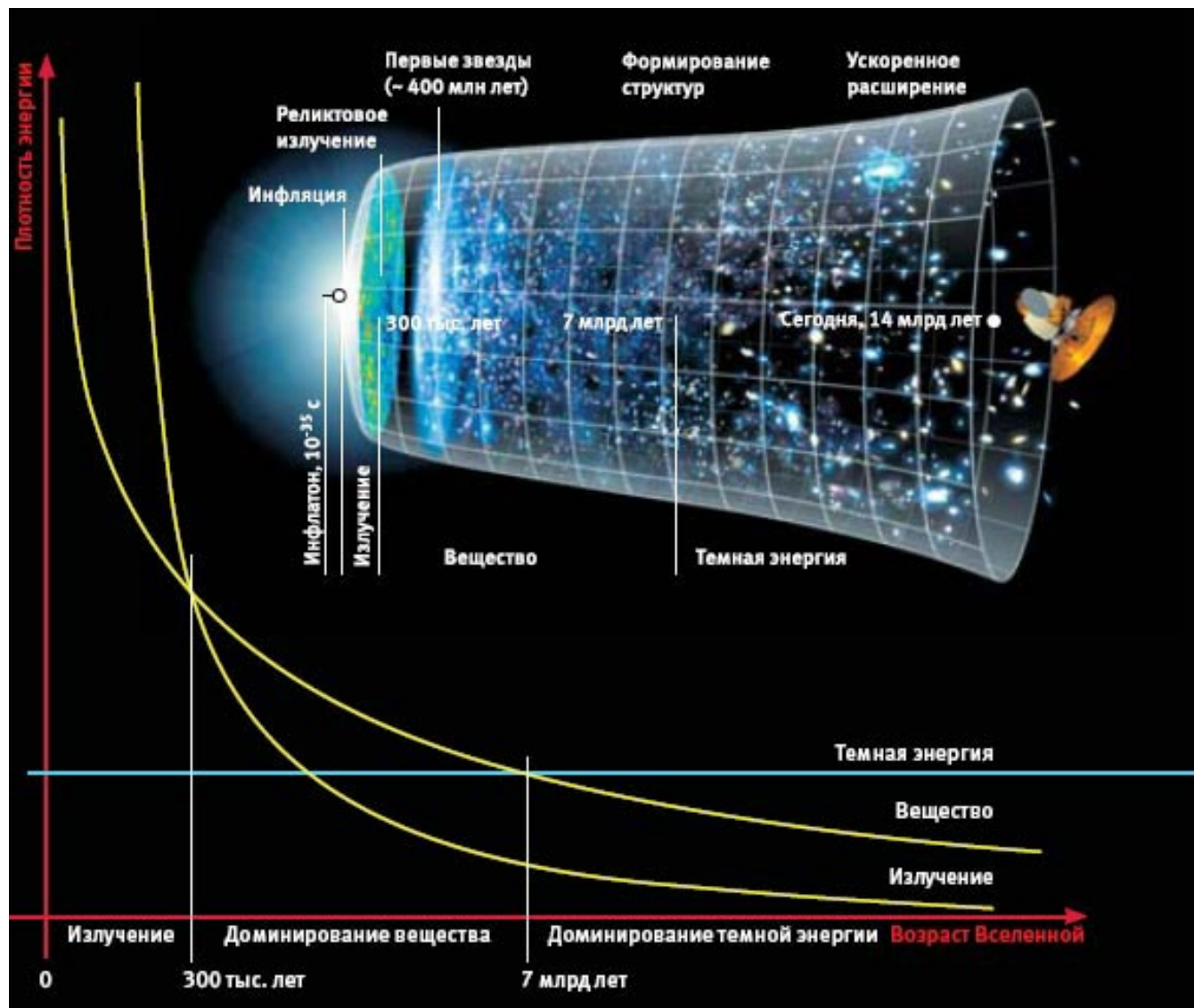
Силы взаимодействия	Примеры взаимодействующих частиц	Относительная напряженность сейчас	Диапазон действия	Важные применения
Гравитационные	Все	10^{-38}	Вся Вселенная	Движение планет, звезд, Галактик
Электромагнитные	Все заряженные	10^{-2}	Вся Вселенная	Атомы, молекулы, электричество
Слабое взаимодействие	Электроны	10^{-5}	10^{-17} м	Радиоактивный распад
Сильное взаимодействие	Протоны, нейтроны	1	10^{-15} м	Ядерные силы

Теории Великого Объединения



- Напряженность четырех фундаментальных взаимодействий (сил) в зависимости от температуры Вселенной.
- При высокой температуре все четыре силы походили друг на друга и были неразличимы по свойствам.
- По мере остывания Вселенной силы разделялись и приобретали индивидуальные характеристики

Основные эпохи эволюции Вселенной: инфляция, доминирование излучения, вещества и темной энергии.



Темная энергия

Два варианта объяснения сущности тёмной энергии:

- Тёмная энергия есть **космологическая константа** — неизменная энергетическая плотность, равномерно заполняющая пространство Вселенной (таким образом, этим определением постулируется ненулевая энергия и давление вакуума)
- Тёмная энергия есть некие своего рода **квинтэссенция** (частицеподобные возбуждения некоего динамического скалярного поля, называемого квинтэссенцией).

Отличие этой версии модели от космологической константы в том, что квинтэссенция — динамическое поле, энергетическая плотность которого может меняться в пространстве и времени.

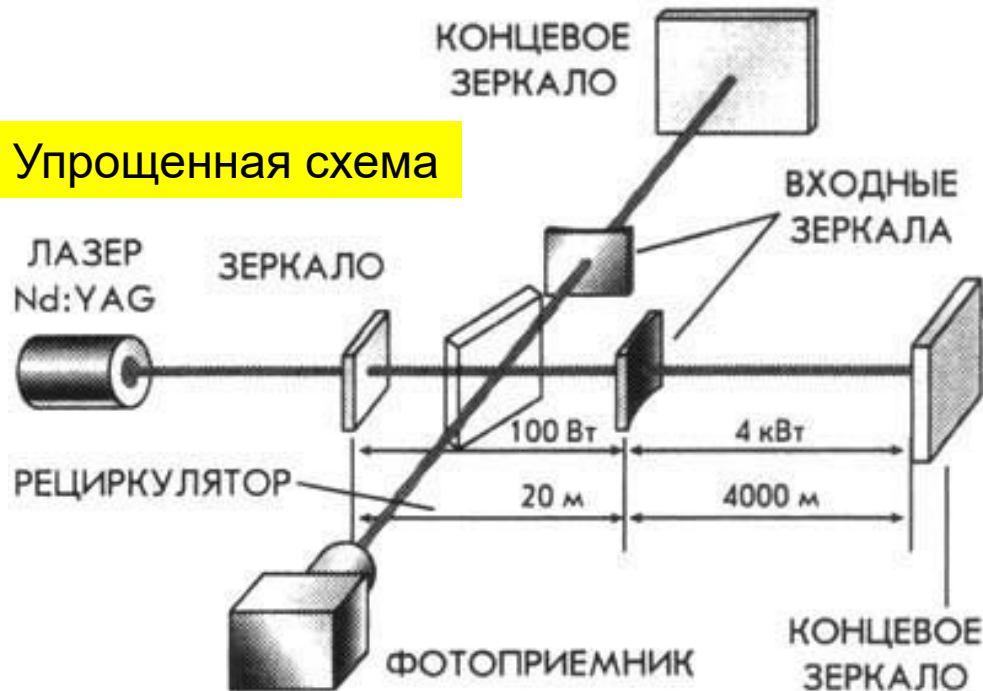


Некоторые характерные размеры во Вселенной, порядок которых стоит помнить физику

- 10^{-17} м – на меньших расстояниях действует слабое взаимодействие.
- 10^{-15} м – размер ядра атома. Слабо зависит от числа нуклонов в ядре. Граничное расстояние для сильного взаимодействия.
- $4 \cdot 10^{-13}$ м – комптоновская длина для электрона.
- 10^{-10} м – размер атома. Слабо зависит от числа электронов в оболочке атома. По порядку величины – примерно такое же расстояние между атомами в твёрдых и жидких телах.
- 10^{-9} м – среднее расстояние между молекулами в воздухе в нормальных условиях.
- 10^{-7} м – длина свободного пробега – расстояние, которое в нормальных условиях пробегает молекула воздуха до столкновения с другой молекулой воздуха.
- $(0,4 \div 0,7) \cdot 10^{-6}$ м = $0,4 \div 0,7$ мкм – длина световой волны для видимого света.
- Радиус Земли – 6378 км.
- Диаметр Солнца $\sim 1,5$ млн км.
- Расстояние до Солнца – одна астрономическая единица (а. е.) – 149671011 км ~ 150 млн км (таким образом, угол, под которым виден диск Солнца, примерно равен $1/100$ радиана $\sim 0,6$ градуса).
- $4 \cdot 10^{16}$ м ~ 1 пк – расстояние до ближайшей звезды.
- Расстояние от центра Млечного пути до Солнца ~ 10 кпк.
- Средний диаметр диска средней Галактики ~ 30 кпк $\sim 10^{20}$ м.
- Средний диаметр балджа средней Галактики ~ 4 кпк.
- До ближайшей крупной Галактики – М31 (Туманности Андромеды) – 0,7 Мпк.
- $2 \div 5$ Мегапарсек – расстояния между группами Галактик.
- 60 Мегапарсек – диаметр нашего сверхскопления Галактик (около 20000 Галактик). Центр – скопление Галактик в созвездии Девы. Найдено около 50 сверхскоплений.
- 1500 Мегапарсек – исследованная область пространства. В ней находится несколько миллиардов Галактик.
- 6000 Мегапарсек $\sim 2 \cdot 10^{26}$ м – оценочный размер Вселенной.

Проект ЛИГО (LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) – США

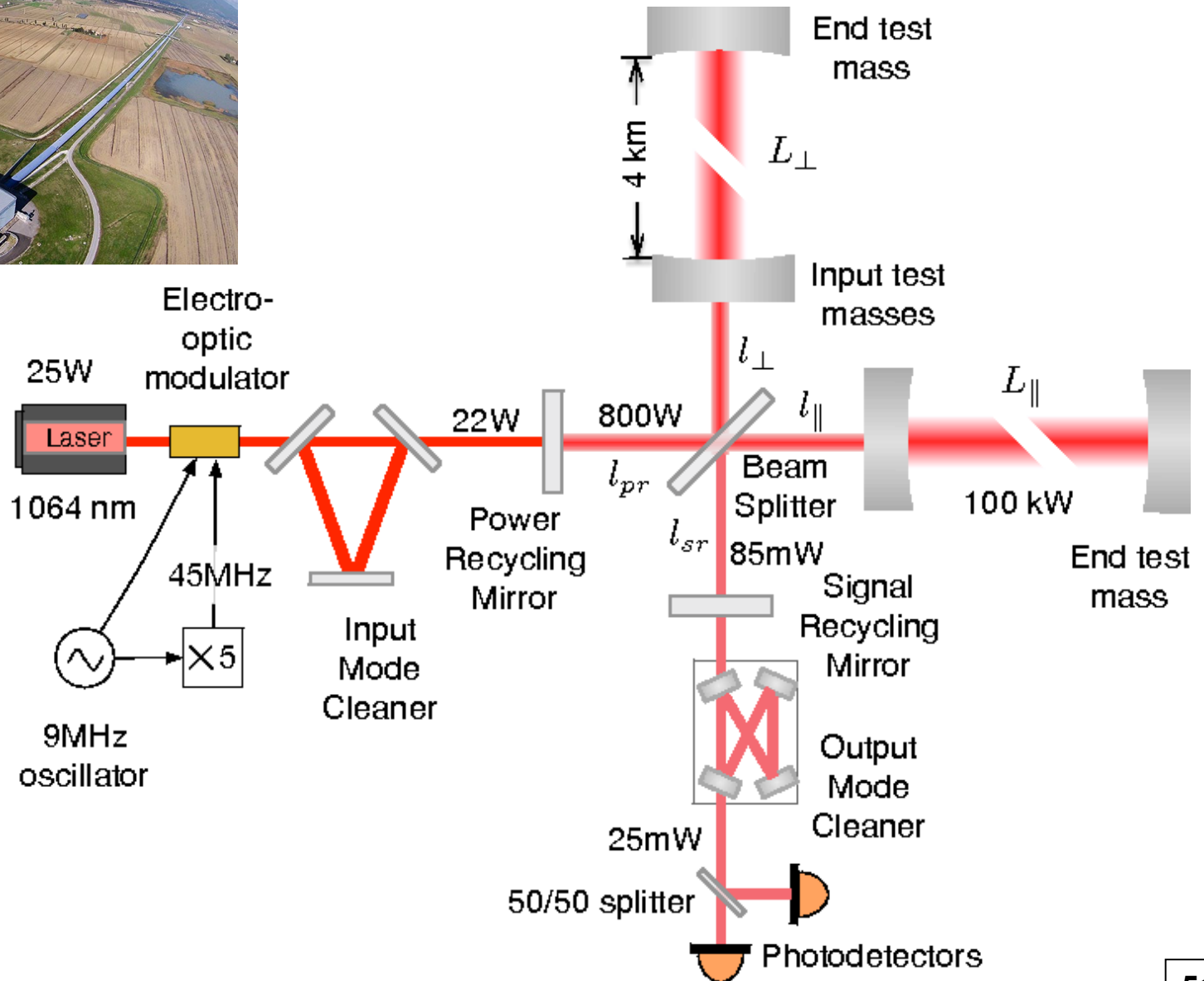
Упрощенная схема



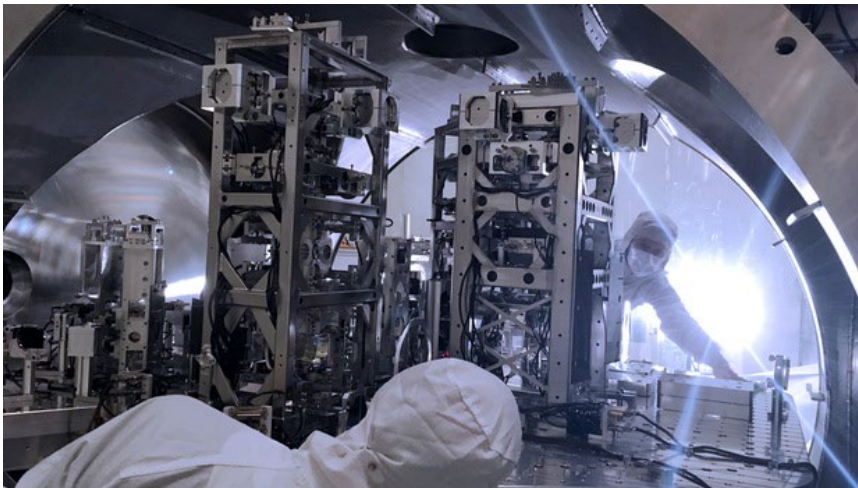
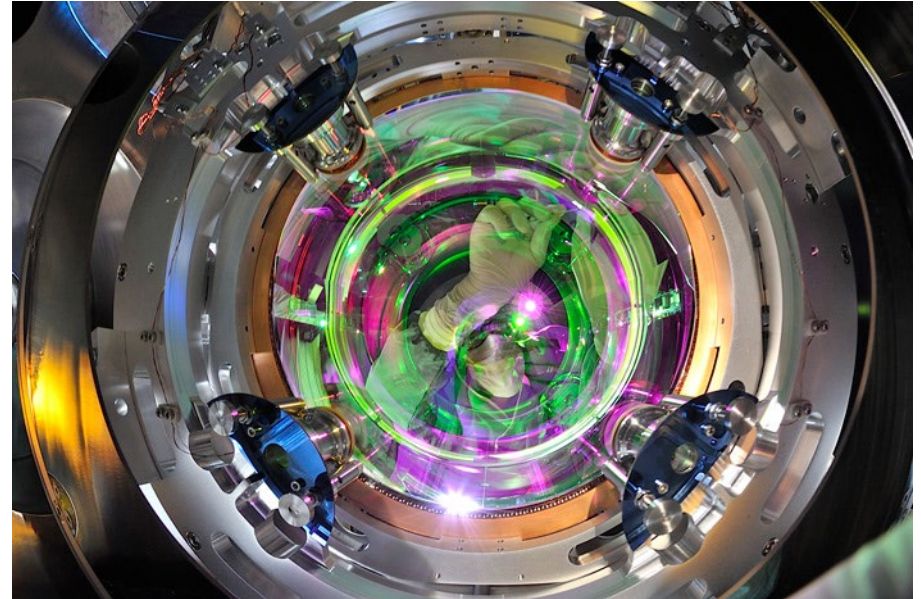
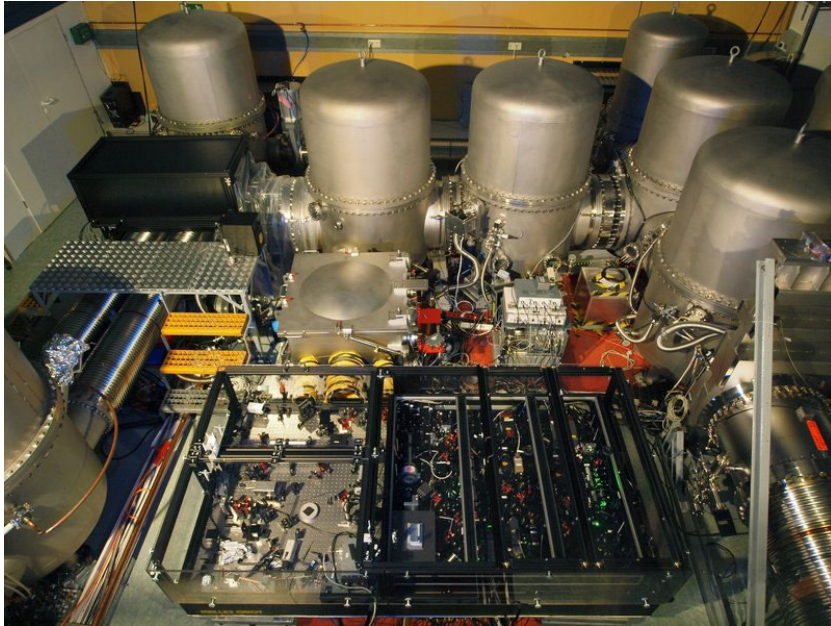
- Оптическая схема интерферометра ЛИГО позволяет накапливать световую энергию между зеркалами, а большая длина его плеч дает возможность обнаружить смещения пробных масс на величину 10^{-20} , то есть на 0,5 мкм.
- Зеркала и светодетектор – исключительно высокого качества, делались по специальным заказам. Поверхности зеркал отшлифованы с точностью до $1/1300$ длины волны света, показатель их поглощения $\alpha = 0,001\%$. Диаметр зеркал – 25 см, толщина – 10 см, их слабосферические поверхности имеют радиусы кривизны от 7,4 до 14,9 км. Светодетектором служит плоскопараллельная пластина толщиной 4 см.
- Каждое плечо интерферометра заключено в вакуумированную трубу диаметром 1,2 м, а пробные массы порядка 60-100 кг подвешены на стальных (в новой версии кварцевых) струнах в вакуумных камерах.

Европа – VIRGO – 3 км

Более подробная схема интерферометра

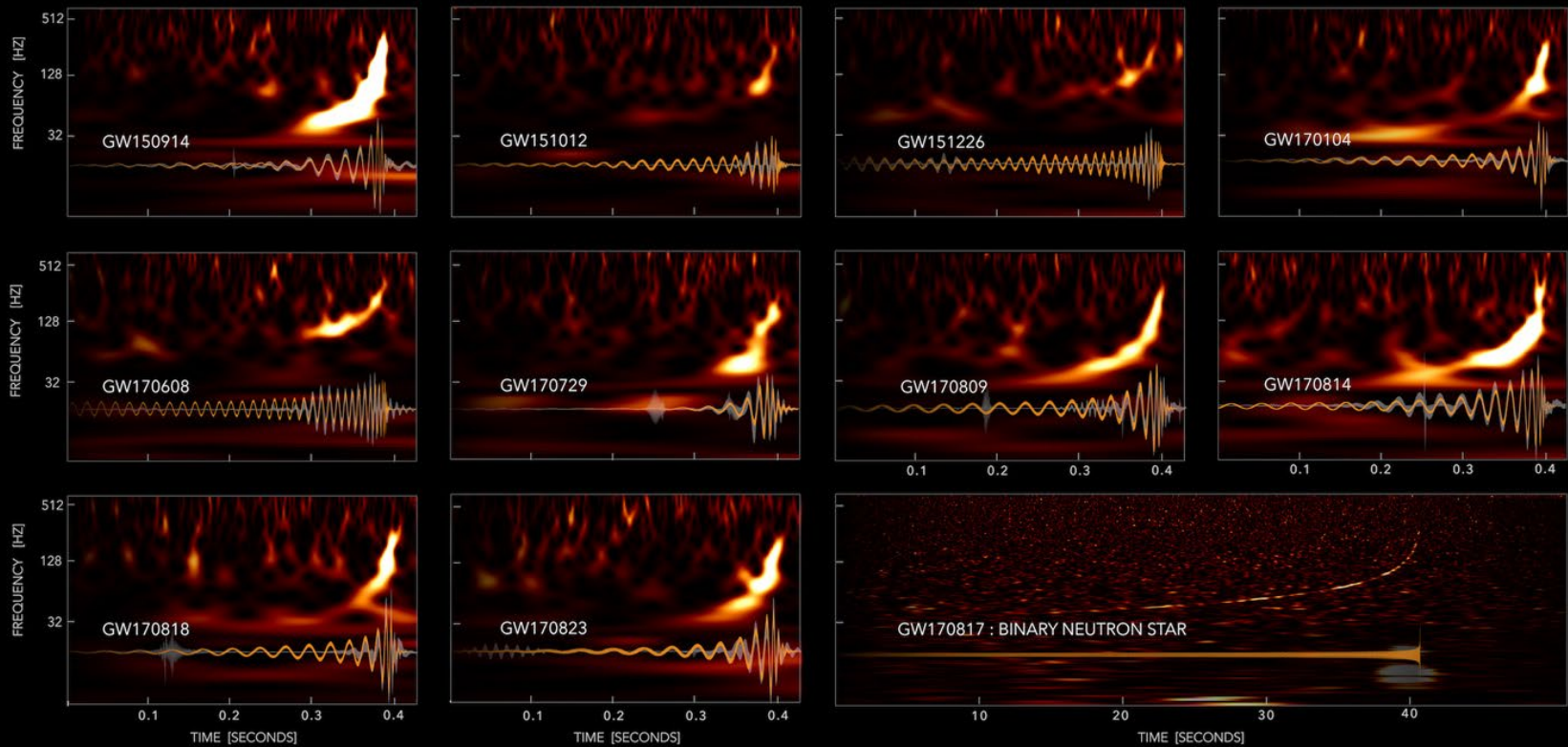


Устройство LIGO. Техника. Технологии



Как выглядят зарегистрированные сигналы

GRAVITATIONAL-WAVE TRANSIENT CATALOG-1



LIGO-VIRGO DATA: [HTTPS://DOI.ORG/10.7935/82H3-HH23](https://doi.org/10.7935/82H3-HH23)

WAVELET (UNMODELED)

EINSTEIN'S THEORY

S. GHONGE, K. JANI | GEORGIA TECH

Неметрические единицы длины

1 морская миля = 1852 м связана с навигационной координатной сеткой и соответствует одной угловой минуте на поверхности Земли. Кабельтов = 1/10 мили

Некоторые неметрические единицы длины, принятые в англоязычных странах

- 1 дюйм (inch) = 2,540 см.
- 1 фут = 12 дюймов = 30,48 см.
- 1 ярд = 3 фута = 36 дюймов = 91,44 см.
- 1 миля (сухопутная) = 1760 ярдов = 1,6093 км.
- 1 кварта = 0,9470 литра.

Для метрологических целей стоит знать, что английский научный (метрологический) дюйм до недавних времён был равен 25,399956 мм, английский промышленный дюйм – 25,399978 мм, а американский дюйм – 25,400051 мм.

Спасибо за внимание!

Вопросы есть?

