

N*



Введение в технику физического эксперимента

Лектор – проф. Пальчиков Евгений Иванович

ВТФЭ-2024

**Измерение времени и частоты
Эталоны времени и частоты
Навигация на поверхности Земли
и в её окрестностях
Изменения в СИ**

Пальчиков Евгений Иванович

д.т.н., проф. НГУ, в.н.с. ИГиЛ

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

Лекция № 5÷6 – 02.10.22-09.10.24, НГУ, БФА

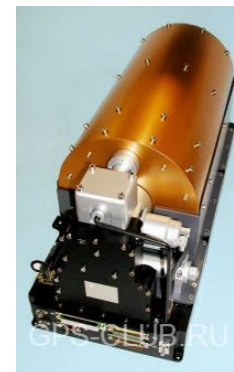
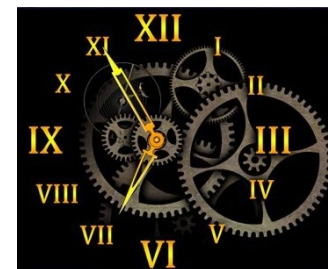
© Пальчиков Е.И., 2024

© Новосибирский государственный университет, 2024

Аппаратура для измерения времени.

Краткая историческая справка

- До XVI – XVII вв. наиболее распространенными были солнечные часы.
- В XIII – XIV вв. были изобретены механические часы. В XVI в. на них появилась минутная стрелка, в XVIII в. – секундная.
- В 1927 г. Морриссон и Хорт изобрели кварцевые часы.
- 1953 г. – Г. Лионс разработал молекулярные аммиачные часы.
- 1950 – 1960 гг. – изобретены и изготовлены атомно-лучевые цезиевые часы.
- 1955 г. – Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Гордон, Цайгер, Таунс изобрели мазер.
- 1960 – 1965 гг. – Г. М. Гольденберг, Д. Клепнер, Н. Ф. Рамезей разработали и построили водородный квантовый генератор.
- До сих пор люди часто пользуются песочными часами, хотя они являются древним изобретением и казалось бы должны давно устареть.



Шкалы. Календари. Методы измерения времени.

- Земля делает один оборот вокруг Солнца за 365,24220 средних солнечных суток (365 суток 5 часов 48 минут 46,1 секунды)
- Цикл фаз Луны составляет 29,5306 средних солнечных суток (синодический лунный месяц).
- В системе отсчета, связанной со звездами, Земля совершает один оборот вокруг своей оси за 0,997269567 средних солнечных суток, один год состоит из 366,24220 звёздных суток.
- В системе отсчета, связанной со звездами, Луна совершает один оборот вокруг Земли за 27,3217 средних солнечных суток (сидерический лунный месяц).
- Неделя, состоящая из 7 целых суток, исторически сложившаяся как четверть лунного месяца, реально не соответствует четверти месяца.

Приведённые числа являются необходимой и достаточной основой всех календарей.

Календари

- Календарный год должен содержать целое число суток.
- Продолжительность календарного года должна быть как можно ближе к продолжительности тропического года.
- Александрийский астроном Созиген разработал, а римский император Юлий Цезарь в 46 г. до нашей эры ввел календарь, называемый ныне юлианским.
- Юлианский год длиннее тропического на 0d.0078 и за 128 лет расхождение начинает составлять 1 сутки.
- Реформа юлианского календаря в 1582 г. была проведена римским папой Григорием XIII
- Григорианский календарь даёт расхождение в 1 сутки через 3300 лет
- В России григорианский календарь был введен только в 1918 году (после 1 февраля постановили считать сразу 14 февраля), а православная церковь до сих пор пользуется юлианским.

Средние солнечные сутки

На разных участках орбиты Земля делает один оборот вокруг своей оси **относительно Солнца** за разное время.

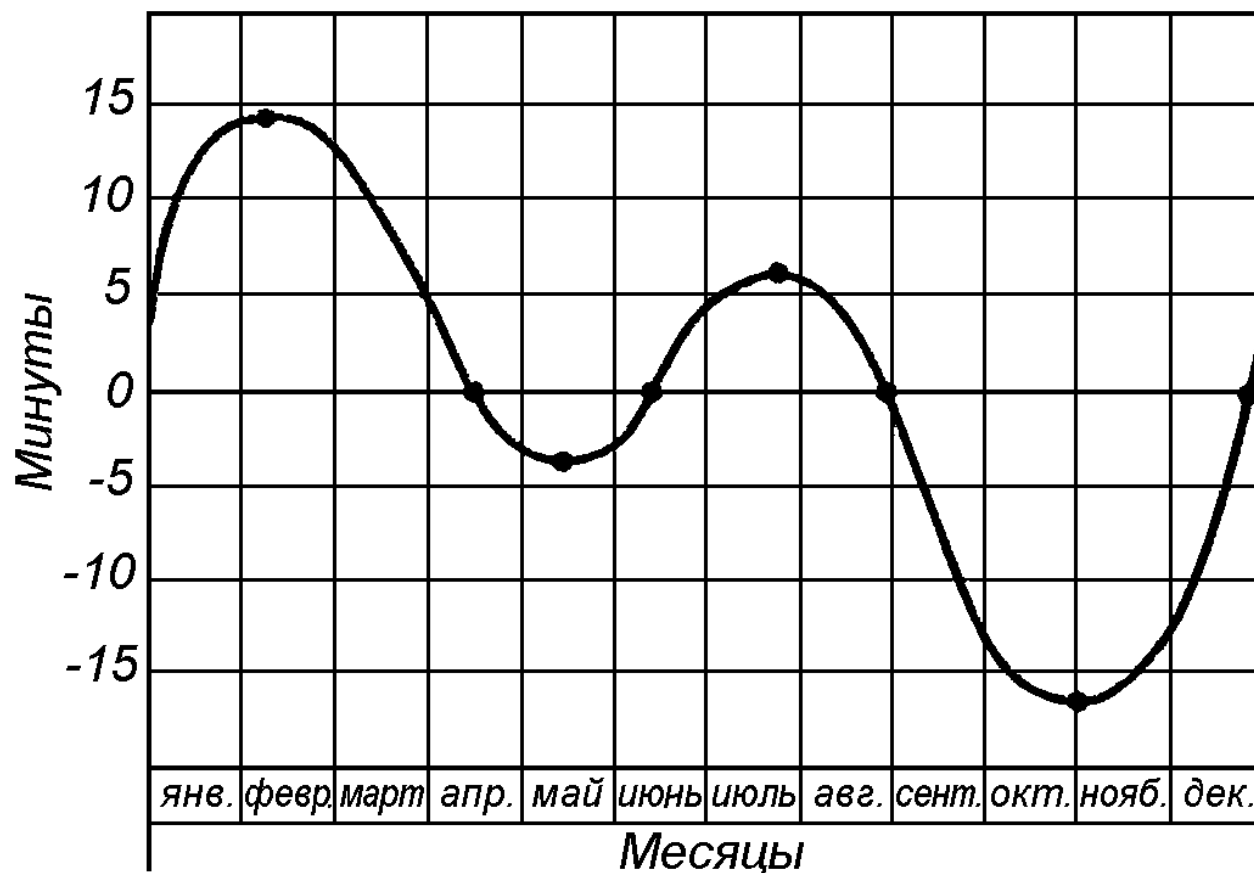
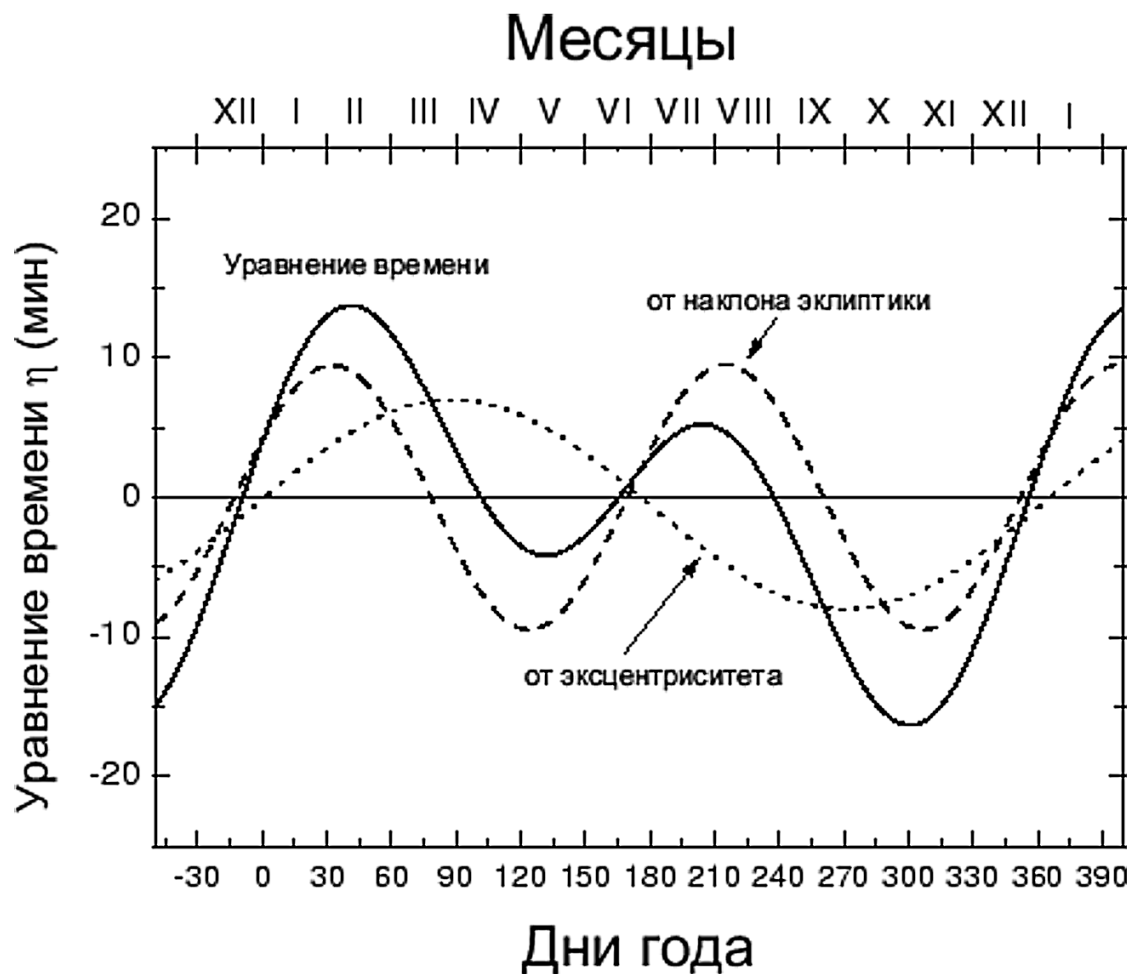


График уравнения времени - Разница между средним и истинным солнечным временем

Значение поправки, взятое из графика, нужно прибавить к измеренному истинному солнечному времени

В результате получится среднее солнечное время в данный момент

Почему такой график ССВ

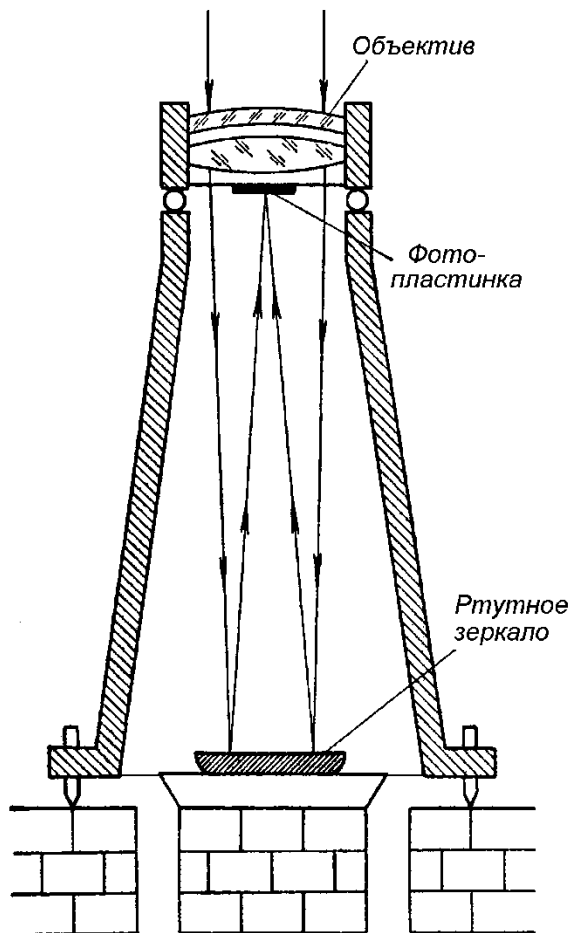


Звёздное время

Звездные сутки – время, за которое Земля делает один оборот относительно окружающих её удаленных звезд.

Звездные сутки равны 23 ч. 56 мин. 4 с. Один год состоит из 366,24220 звёздных суток.

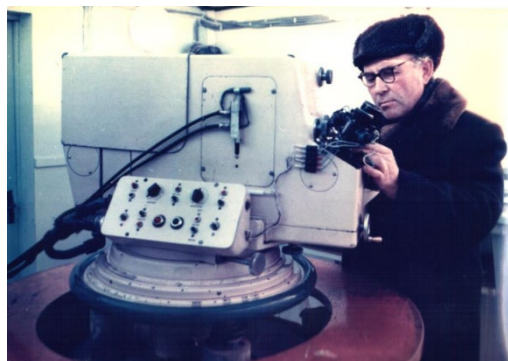
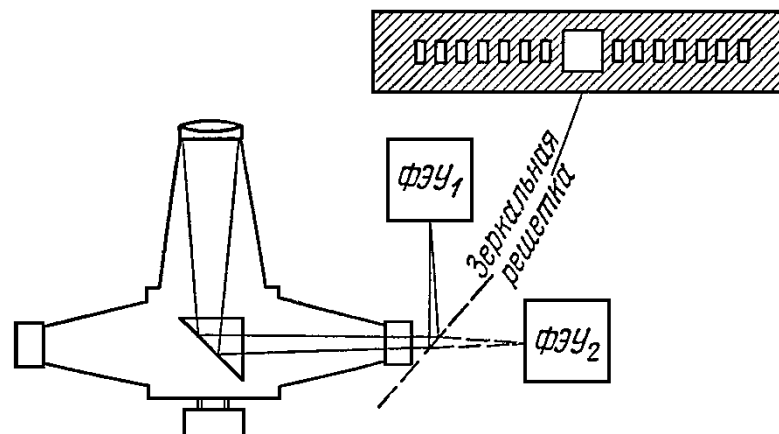
Непосредственно наблюдаемое время может быть измерено с точностью $10 \div 15$ миллисекунд с помощью специальных астрономических инструментов за $1 \div 2$ часа наблюдений.



Фотографическая зенитная труба

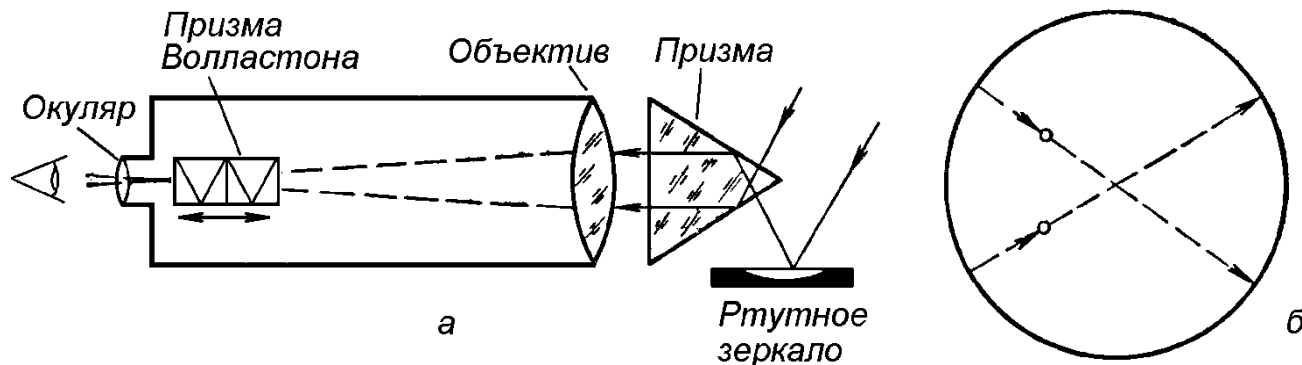


Фотоэлектрический пассажный инструмент



Астролябия OPL-22

Непосредственно наблюдаемое время. Призменная астролябия Данжона.



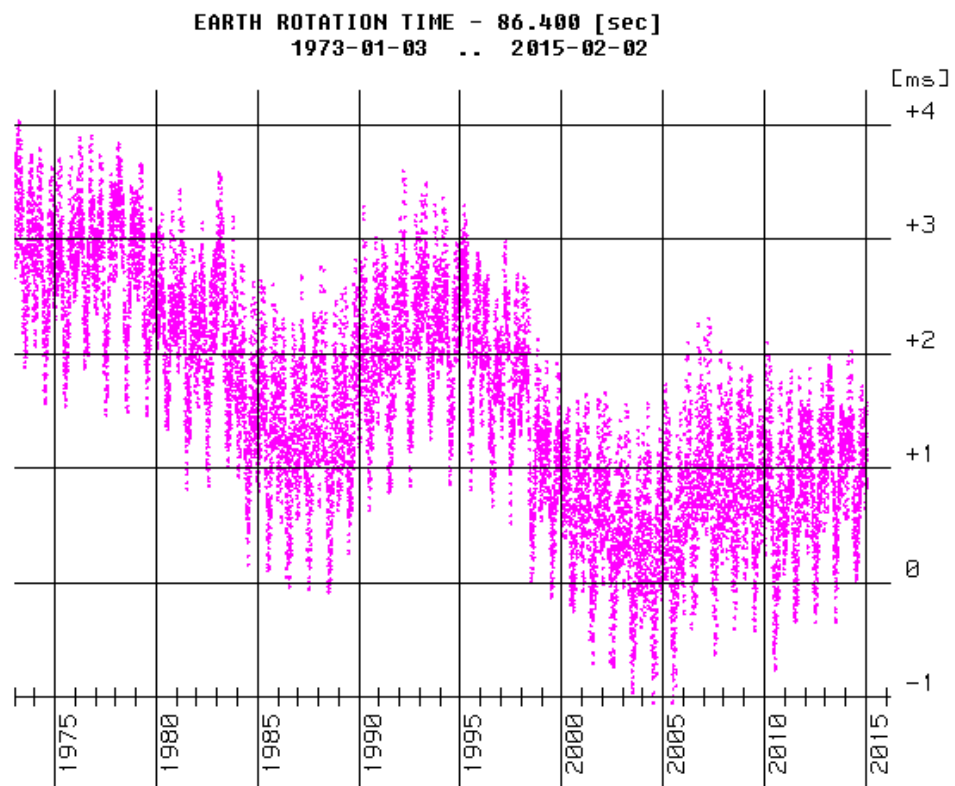
В поле зрения (б) - два изображения, движущиеся друг к другу, которые сливаются в момент прохождения звезды через альмукантарат 60° .

Альмукантарат – малый круг небесной сферы, параллельный математическому горизонту.

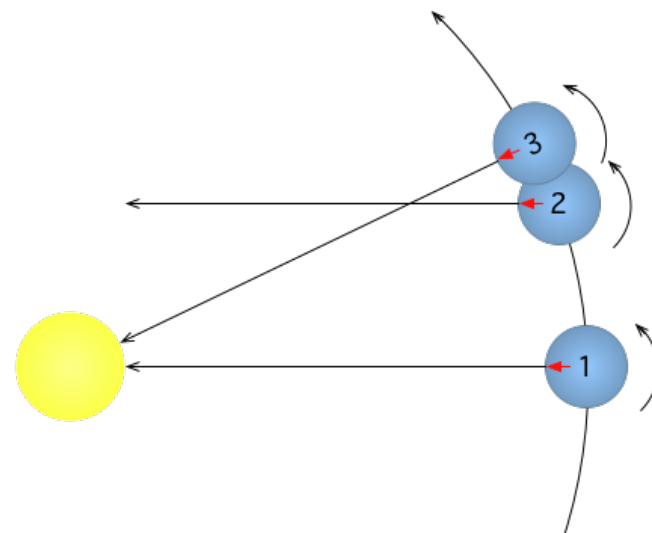
- **Звездные сутки** – время, за которое Земля делает один оборот относительно окружающих её удаленных звезд неудобны для практического применения.

• Неудобство заключается в том, что звездные сутки короче солнечных суток на 3 минуты 56 секунд.

Нестабильность длительности суток



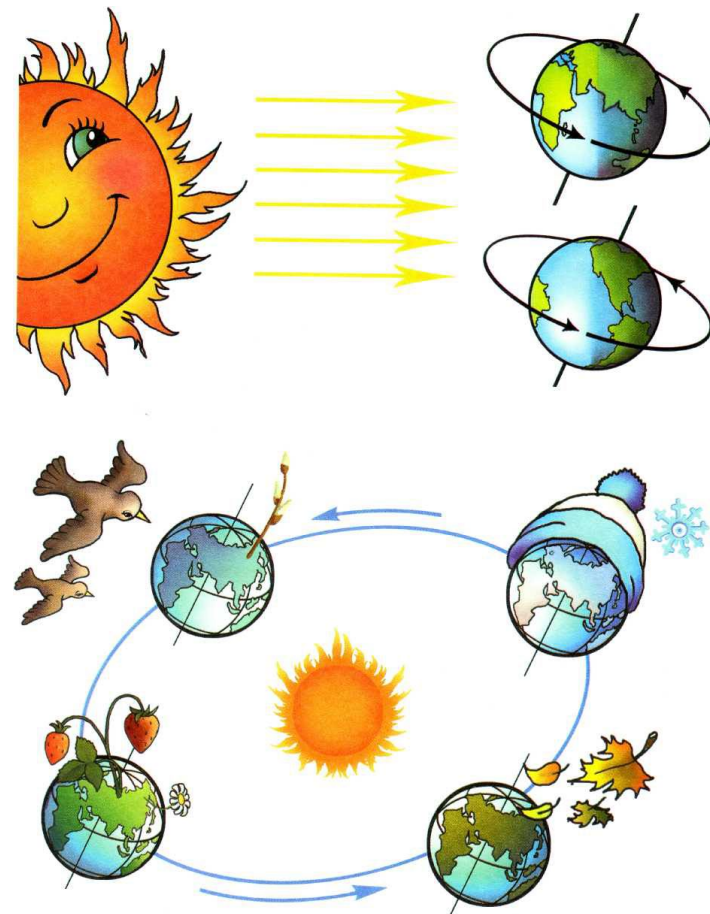
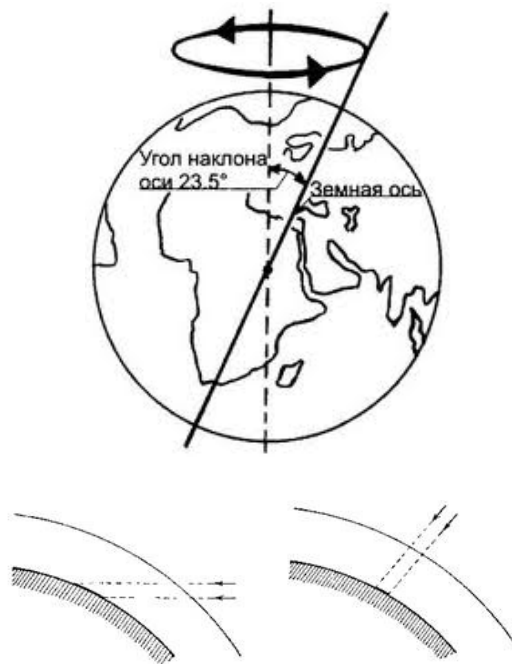
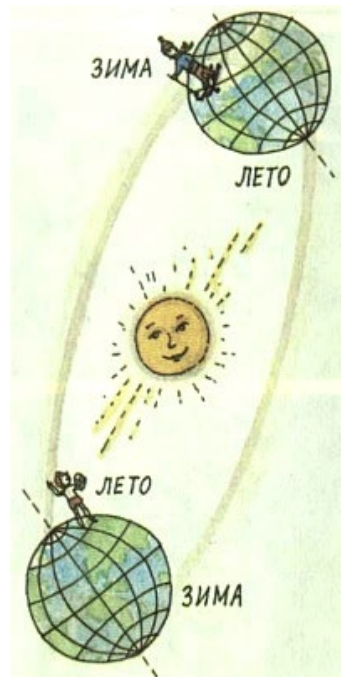
(C) wi-ko MMXV



1-2 – звездные сутки
1-3 – солнечные сутки

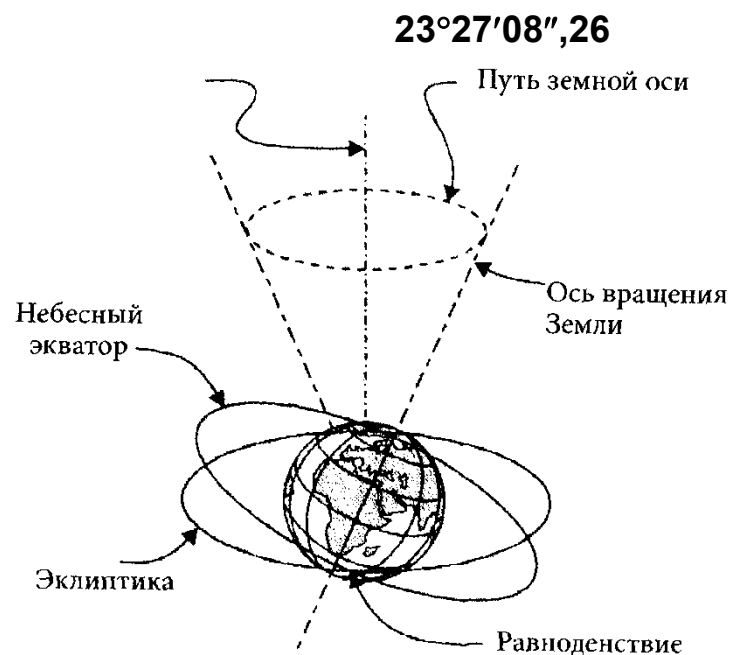
По вертикали – отклонение в миллисекундах за сутки
По горизонтали – годы (1975 - 2015)

От чего бывают зима и лето

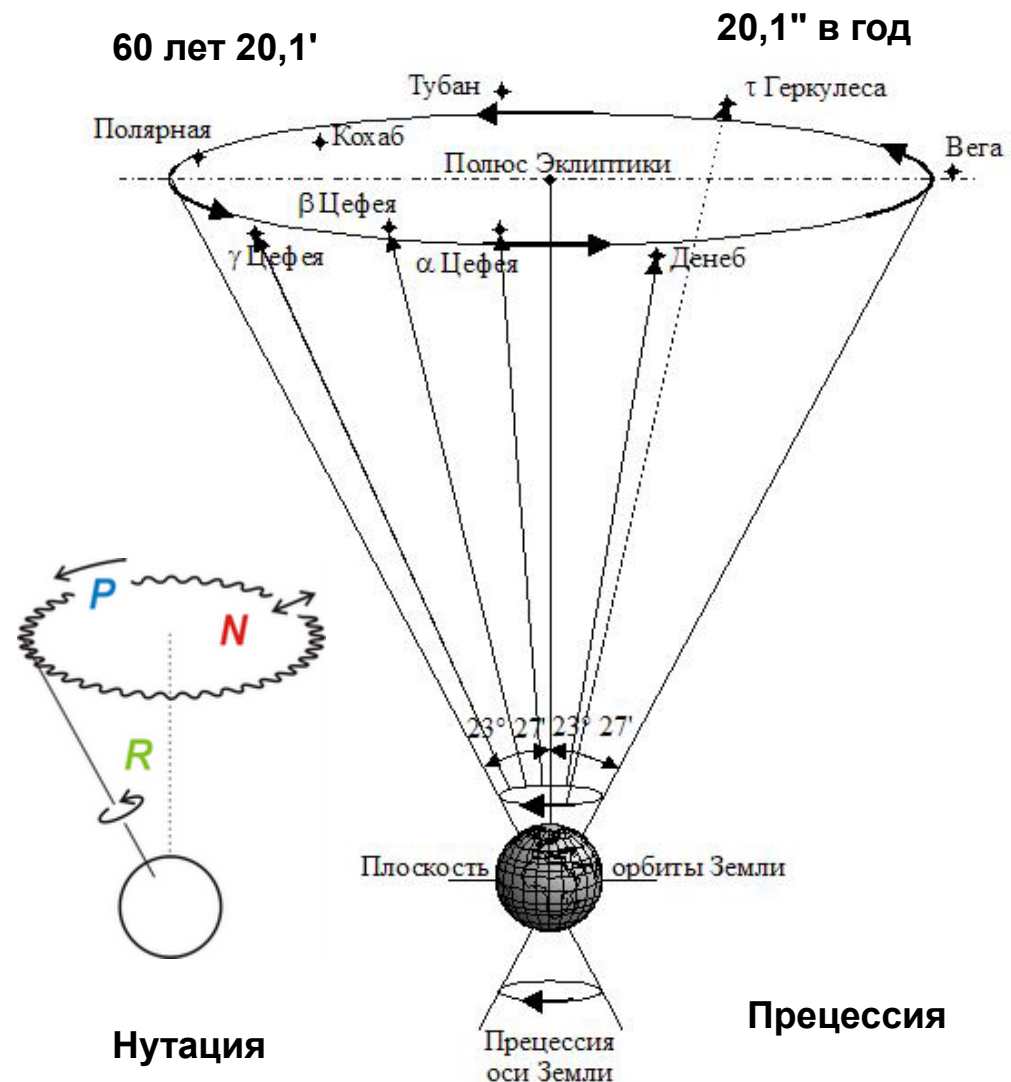


- Земля, как гироскоп сохраняет направление оси в пространстве
- Ось отклонена от перпендикуляра к плоскости орбиты Земли на $23,5^\circ$
- При падении света под углом поглощается меньше энергии

Движение оси Земли. Прецессия. Нутация



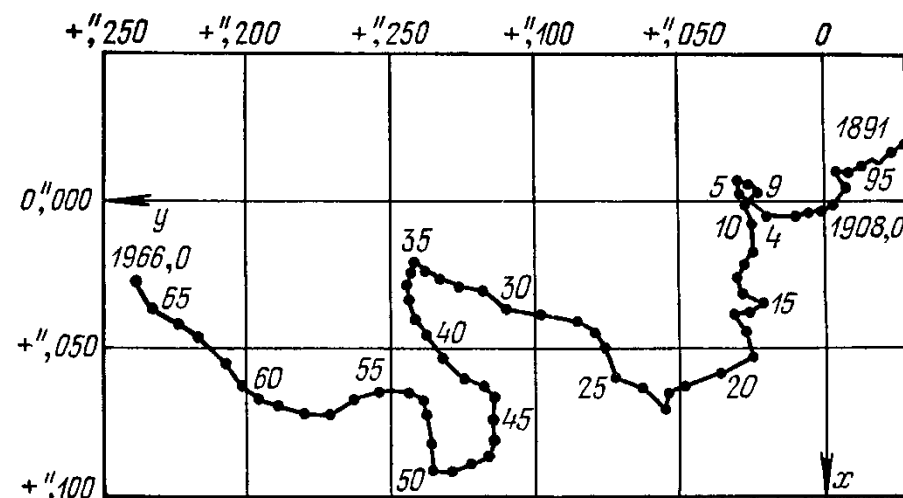
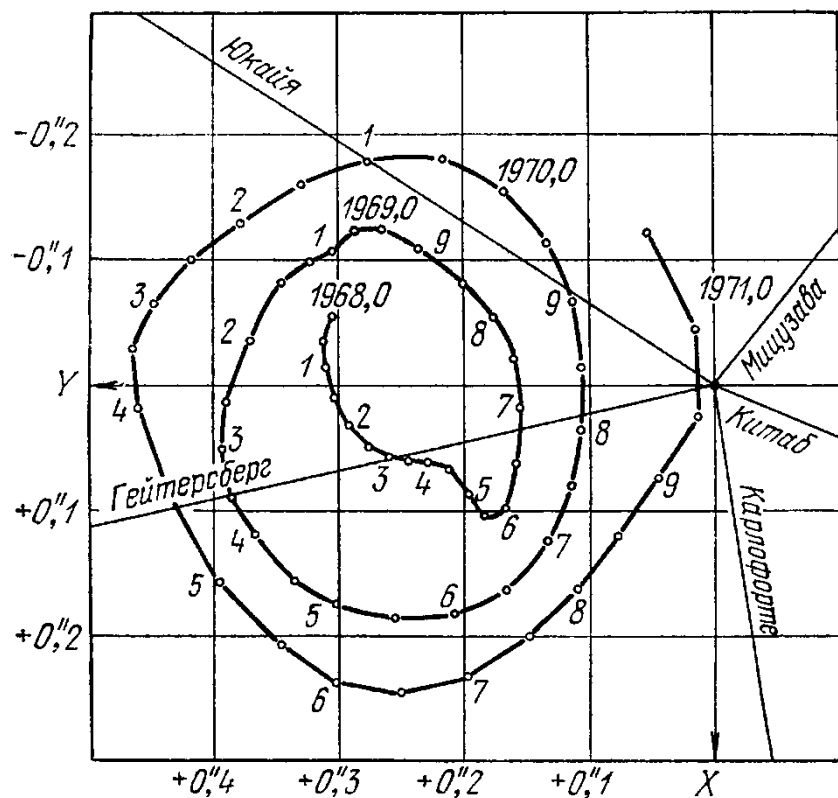
- Прецессия возникает из-за сплюснутости Земли и влияния притяжения Луны и Солнца
- Период прецессии 25 776 лет
- Главный член нутации с периодом 18,6 лет имеет амплитуду $\approx 9''$. Имеются заметные нутации с периодом полгода амплитудой $\approx 0'',5$ и полмесяца с амплитудой $\approx 0'',09$.



Нестабильность вращения Земли. Непригодность звездных суток в качестве эталона времени

- Положение оси вращения Земли в пространстве изменяется за счёт прецессии и нутации.
- Среднее наклонение экватора к эклиптике в эпоху 1900 г. – $23^{\circ}27'08'',26$. Период лунно-солнечной прецессии – 25 776 лет, что даёт сдвиг оси вращения Земли $50'',26$ за год.
- Нутационные колебания содержат гармоники с периодами от 19 лет до часов и минут. Главный член нутации с периодом 18,6 лет имеет амплитуду $\approx 9''$. Имеются заметные нутации с периодом полгода амплитудой $\approx 0'',5$ и полмесяца с амплитудой $\approx 0'',09$.
- **Ось вращения перемещается в теле Земли.** Движение полюса с периодом 1/2 и 1 год связывается с сезонными изменениями, порядка 10 лет – с движениями вещества в ядре и с изменением уровня моря.
- Основной вклад в периодическое движение полюса дают несовпадение оси инерции с осью вращения и влияние внешних возмущающих сил со стороны Луны и Солнца. Реально наблюдаемый т. н. **Чандлеровский период – $1,13 \div 1,21$ года.**

Движение полюса Земли

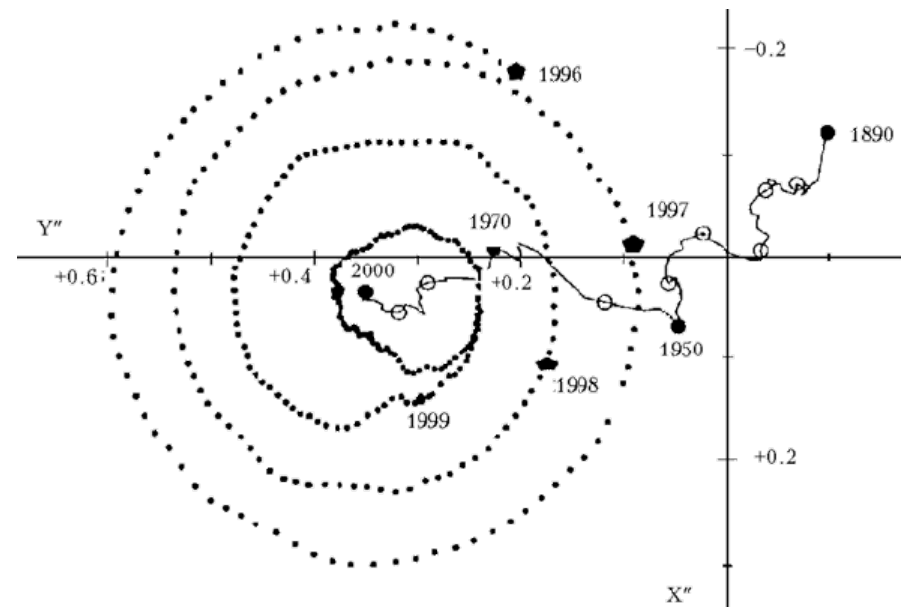
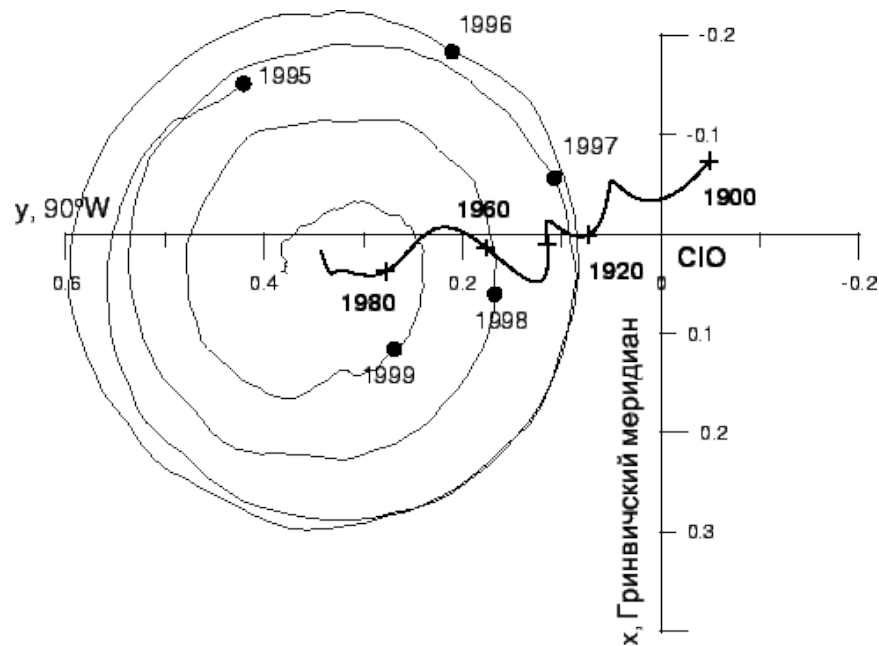


Траектория векового движения полюса

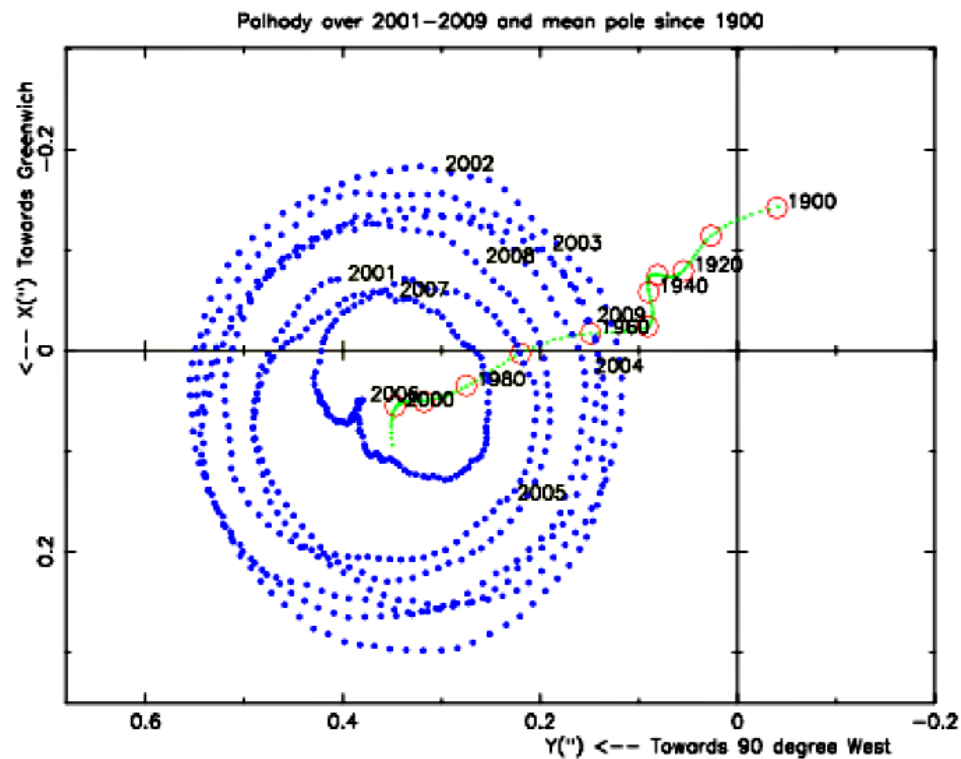
Движение полюса Земли за три года

International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS)

https://www.iers.org/nn_11214/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/Discontinued/Function/Plots_BulB_2000/generischeTabelle_Diagramm.html



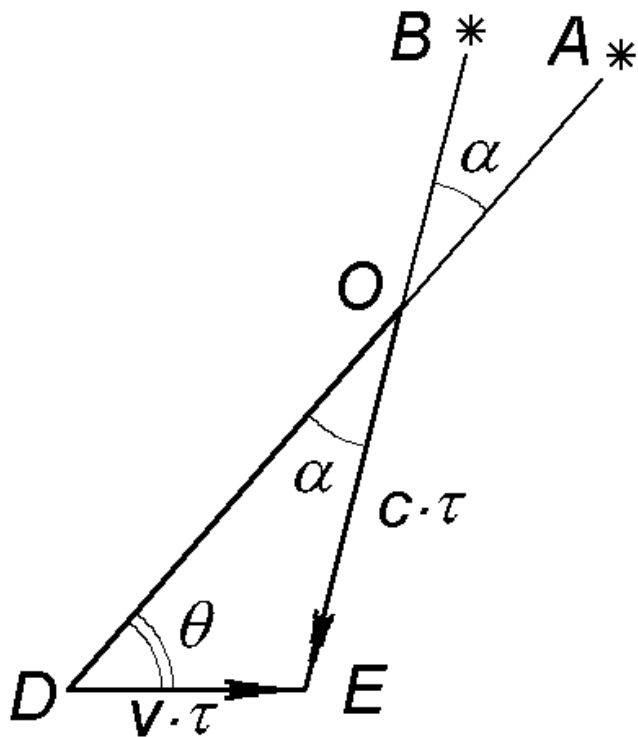
Движение полюса
Земли



Шкалы UT0, UT1

- Шкале непосредственно наблюдаемого по положению звезд в конкретной точке Земли астрономического времени присвоено название UT0 (Universal time 0), TU0 (Temps Universelles)
- Движение полюса приводит к изменению момента прохода звёзд через меридиан, причём в разных точках Земли поправка будет разной (до 30 миллисекунд)
- Если вычесть поправку на текущее положение полюса, то шкала времени будет одинакова во всех точках на поверхности Земли. Именно эта шкала, называемая UT1, более всего подходит для практической астрономии и навигации.
UT1 (Universal time 1), TU1 (Temps Universelles 1)

Аберрация – источник искажений видимых направлений на объекты.



- Движущийся наблюдатель видит астрономический объект смещённым на некоторый угол α в направлении своего движения.
- Истинное направление на звезду – OB , а полученное из наблюдений – OA
- Это явление называется аберрацией и связано с конечностью скорости света.
- Угол α зависит от угла θ между направлением на объект и направлением движения наблюдателя, а также от величины скорости наблюдателя V , согласно выражению

$$\sin \alpha = \frac{V}{c} \sin \theta$$

где c – скорость света.

- Суточная А. зависит от широты. На экваторе - $0''{,}319$.
- Годичная А. (максимальная) – $20''{,}496$.
- Звёзды описывают на небе эллипсы с периодом 1 сутки и 1 год.

История введения и эволюция различных шкал времени и эталонов времени – частоты

- В 1884 г. международной конференцией в Вашингтоне принят отсчётный меридиан Гринвича для измерения долготы и времени. Введено среднее солнечное время по Гринвичу – GMT (Greenwich Mean Time), деление Земного шара на 15-градусные часовые пояса с дискретными скачками времени от пояса к поясу.
- В 1904 – 1912 гг. Парижская обсерватория, министерство ВМС США и Гринвичская обсерватория начали передачу сигналов точного времени по радио.
- 1912 г. – в Париже собралась первая международная конференция, создавшая исполнительный орган слежения за временем и унификацией шкал и сигналов – Международное Бюро Времени (МБВ).
- 1920 г. – Пулковская обсерватория организовала регулярную радиотрансляцию сигналов точного времени.
- 1928 г. – Лейден, Нидерланды. Международный Астрономический Союз (МАС) рекомендовал применить термин «UT» для обозначения среднего солнечного времени по Гринвичу с отсчетом от полуночи. С этого момента гражданские сутки и астрономические сутки по шкале UT стали начинаться одновременно.
- 1955 г. – на IX генеральной ассамблее МАС были предложены шкалы:
UT0 – непосредственно наблюдаемое время;
UT1 – время UT0 с поправкой на движение полюса;
UT2 – время UT1 с поправкой на сезонное изменение скорости вращения Земли

Шкала эфемеридного времени - ET

- Введение дополнительных поправок всё равно не позволяет использовать шкалу UT2 в качестве эталона для определения секунды и точных физических измерений, т. к. все системы UT зависят от нерегулярных и непредсказуемых длительных изменений вращения Земли
- Составляемые позиционной астрономией эфемеридные таблицы, основанные на строгой гравитационной теории, регистрирующие и предсказывающие положение небесных тел, обладают гораздо большей точностью.

+2 Секунды за год



Годовые изменения UT, усреднённые внутри 5-летних интервалов.

Шкала эфемеридного времени ET была официально предложена, введена и узаконена в 1948 – 1952 годах.

Эфемеридная секунда в качестве эталона времени

- До 1956 г. секунда была переменной величиной
- В 1956 г. Международный Комитет Мер и Весов (МКМВ) одобрил использование эфемеридной секунды в качестве узаконенной единицы времени:
«одна секунда есть часть $1/31556925,9747$ тропического года для 1900 г. января 0 в 12 часов эфемеридного времени».
- Для воспроизведения нового эталона были необходимы длительные астрономические наблюдения (около 2 – 3 лет). Эталонная секунда стала «Вечно вчерашней».

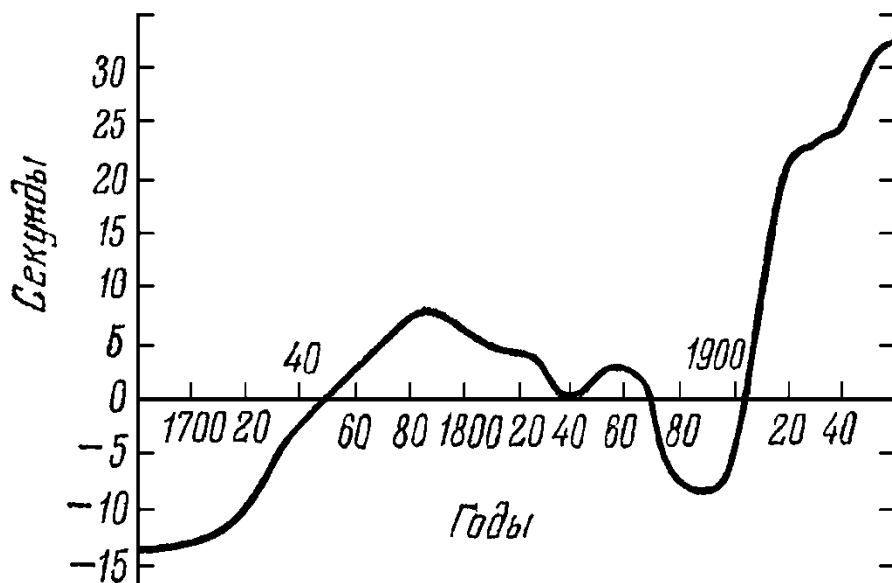


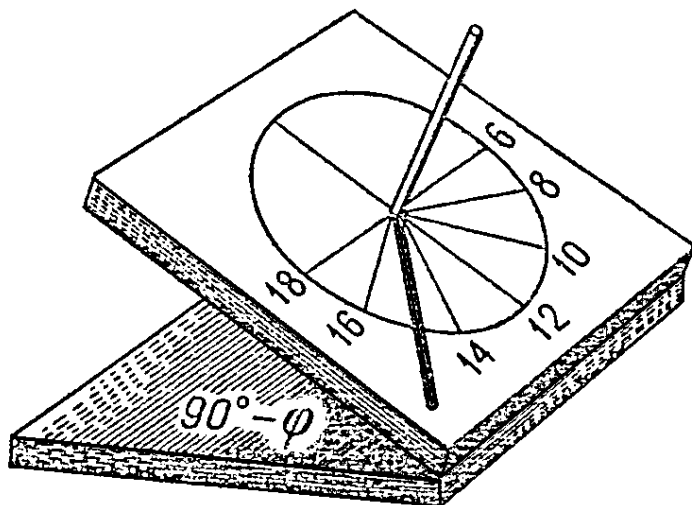
График разности между шкалой UT0 и шкалой эфемеридного времени ET.

Чтобы получить шкалу ET нужно к шкале UT0 прибавить поправку, показанную на рисунке

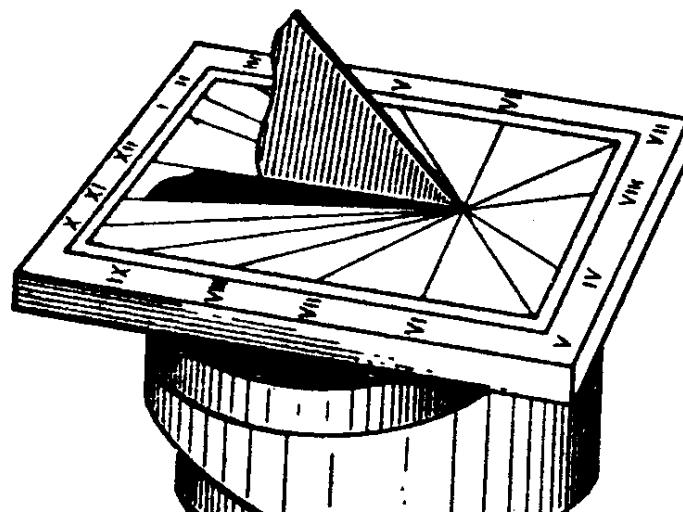
Атомный стандарт времени - частоты

- В 1967 г. на 13-ой Генеральной конференции по мерам и весам отменено определение секунды через ЕТ.
- Частота квантового перехода атомно-лучевых цезиевых часов была выражена через эфемеридную секунду с точностью порядка $2 \cdot 10^{-9}$
- В результате была определена шкала Международного Атомного Времени IAT (International Atom Time), TUA (Temps Universelles Atomique) и принято новое определение секунды:
«одна секунда – это 9192631770 периодов излучения между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома $_{55}\text{Cs}^{133}$ »
- Воспроизводимость цезиевого эталона в это время составляла $\pm 1 \cdot 10^{-11}$

Устройство и сравнение характеристик различных часов, эталонов времени и частоты



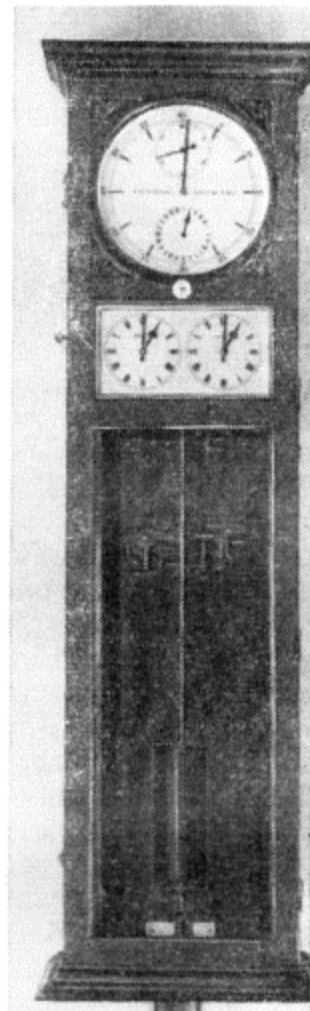
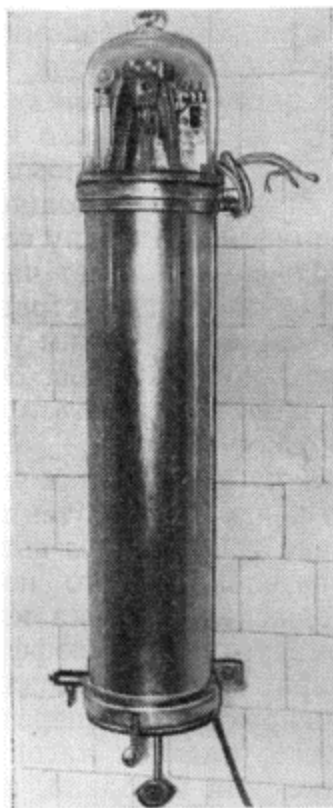
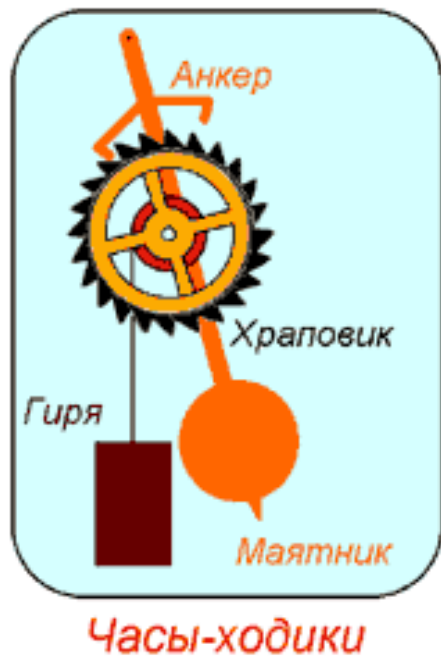
Экваториальные солнечные часы. Доска с циферблатом устанавливается наклонно к горизонту под углом $90^\circ - \varphi$, где φ – географическая широта данной местности.



Горизонтальные солнечные часы. Острый угол треугольника, совмещённый с центром циферблата, делается равным географической широте φ данной местности

Географическая долгота главного корпуса НГУ $\lambda = 83^\circ 05' 35''$
Географическая широта главного корпуса НГУ $\varphi = 54^\circ 50' 35''$.

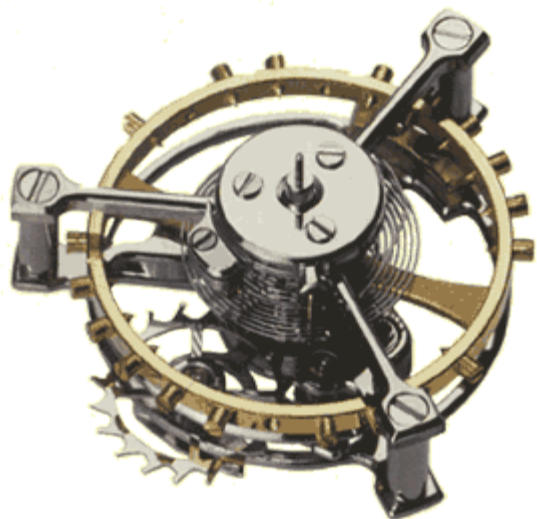
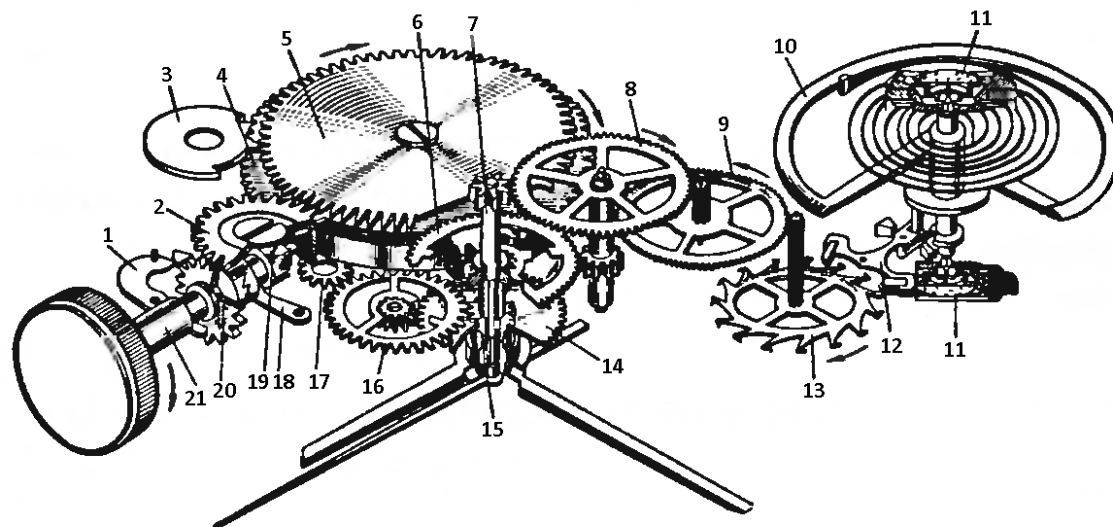
Маятниковые часы



Часы Федченко

Часы Шорта: слева — свободный маятник, справа — второй маятник.

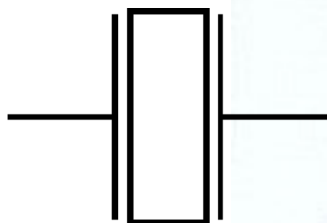
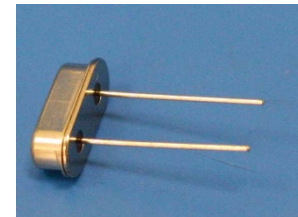
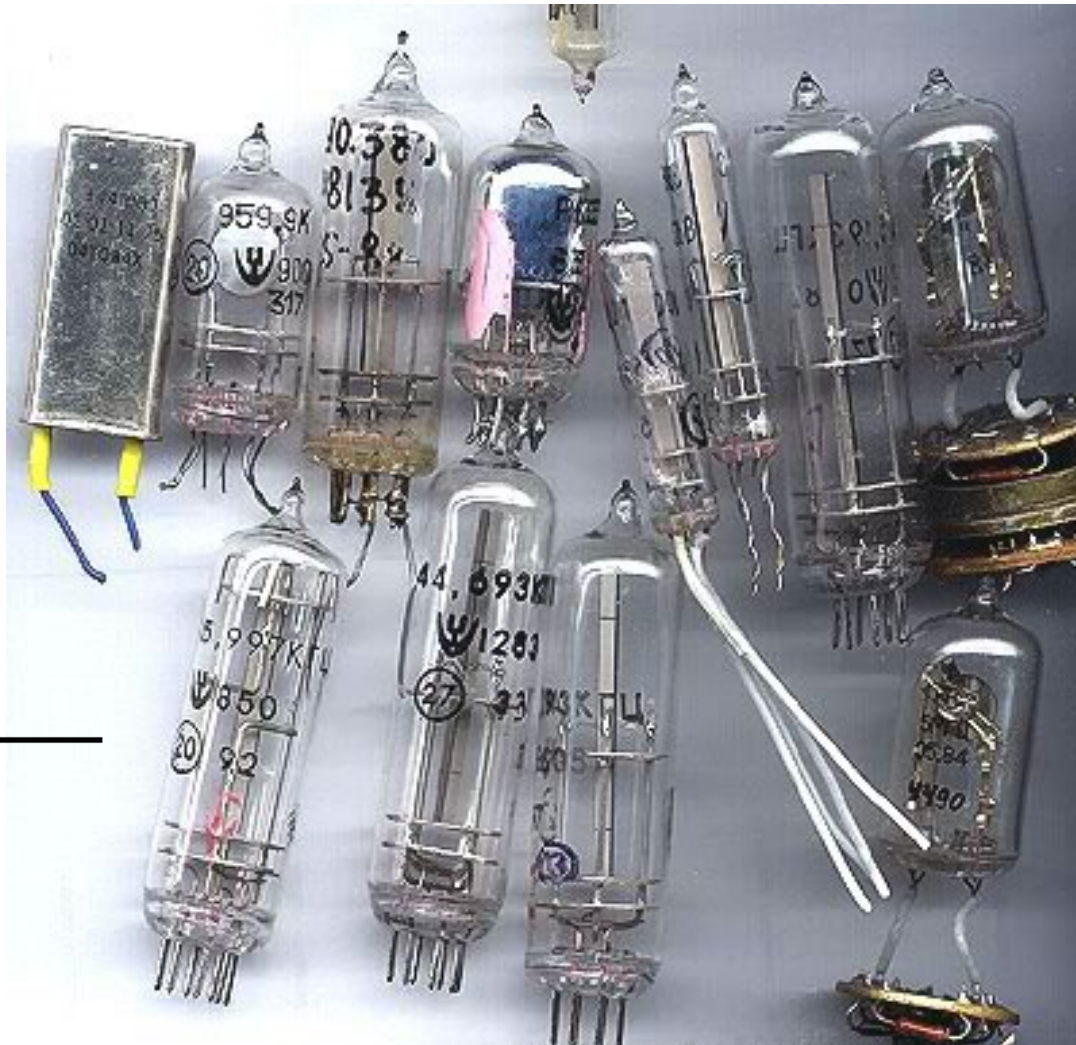
Механические часы



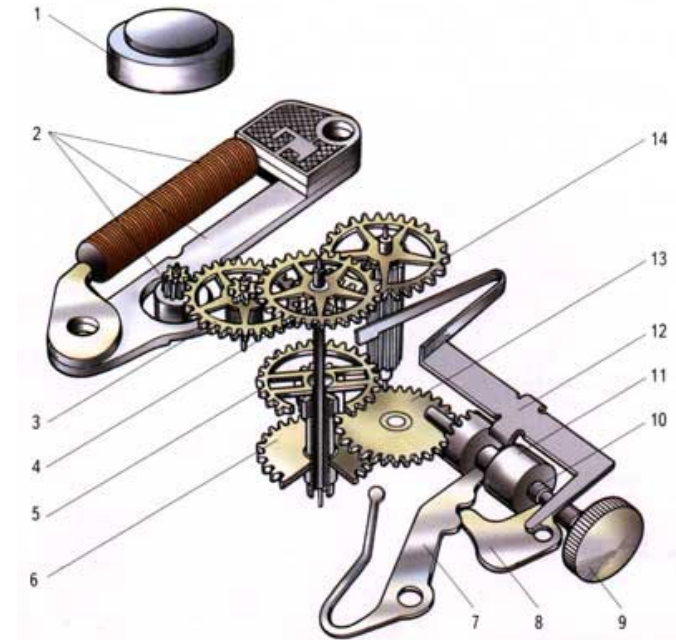
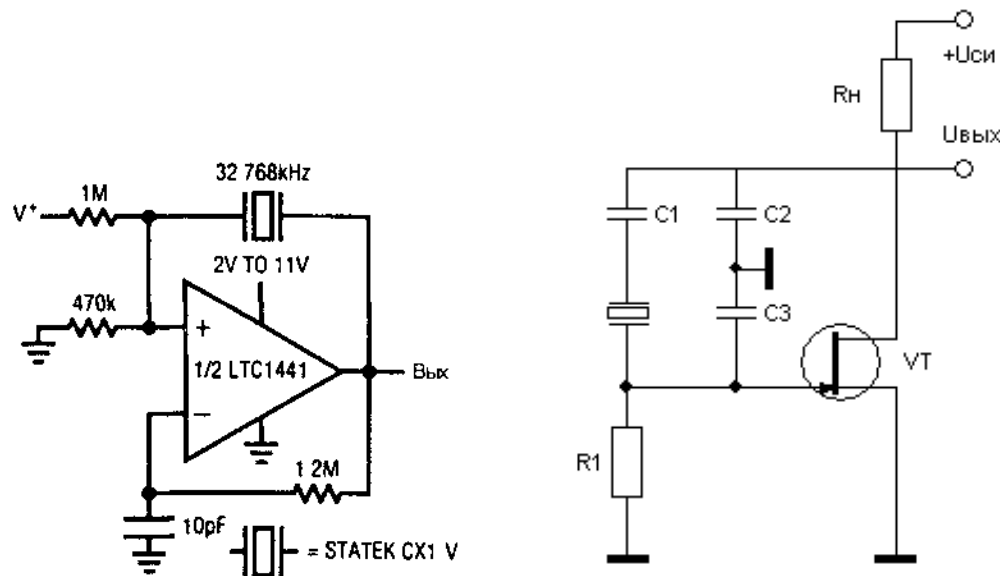
Кинематическая схема механизма часов с центральной секундной стрелкой и противоударным устройством:

1 — рычаг переводной; **2** — колесо заводное; **3** — собачка; **4** — барабан с валом и пружиной; **5** — колесо барабанное; **6** — колесо центральное; **7** — триб центральной секундной стрелки; **8** — колесо промежуточное; **9** — колесо секундное; **10** — узел баланса; **11** — устройства противоударные; **12** — вилка анкерная; **13** — анкерное колесо с трибом; **14** — колесо часовое; **15** — триб минутный; **16** — колесо вексельное; **17** — колесо переводное; **18** — рычаг заводной; **19** — муфта кулачковая; **20** — триб заводной; **21** — вал заводной

Виды кварцевых электромеханических резонаторов, работающих на пьезоэффекте



Кварцевые часы



Точность наручных кварцевых часов $10^{-5} \div 10^{-6}$. Точность стандартного (рядового) частотомера с термостатированным вакуумированным кварцем $\sim 10^{-8}$. Именно с такой точностью можно без особого труда проводить измерения времени и частоты практически в любой лаборатории.

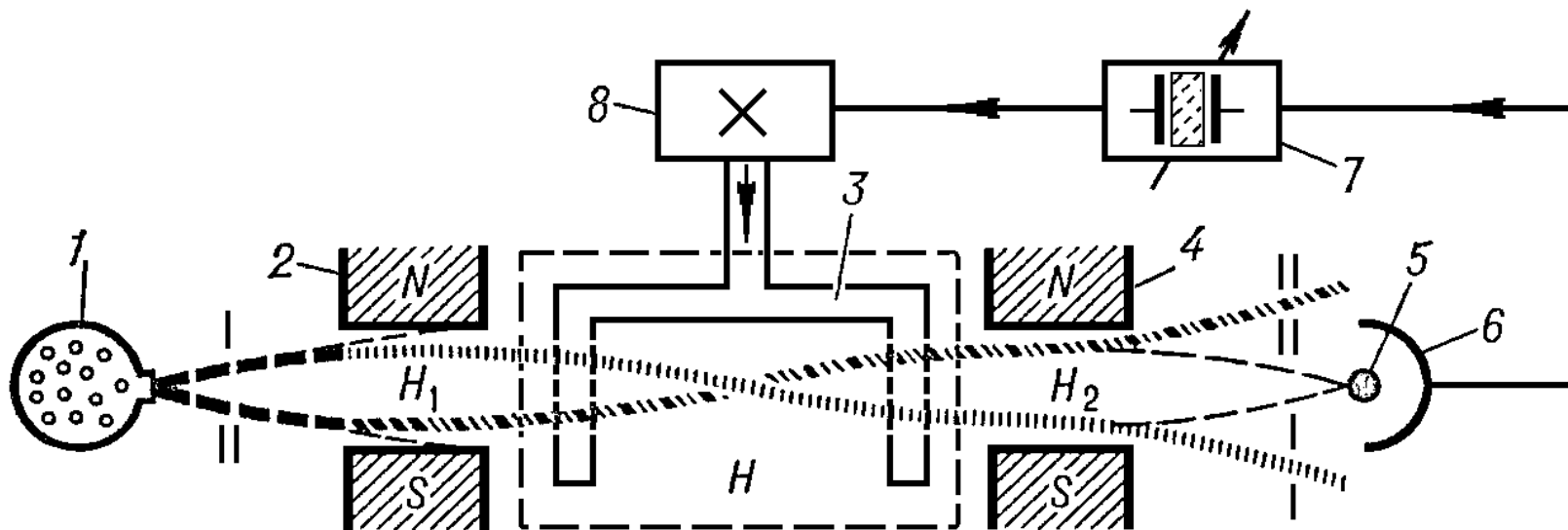
Кварцевые часы имеют ошибку, связанную с многолетним старением (изменением физических свойств) кристалла. Эффект старения частично связан со снятием деформаций и приводит к снижению частоты $\Delta f / f \sim 10^{-10} \div 10^{-11}$ в сутки.

Лабораторные кварцевые частотомеры.



- Термостабилизированный кварцевый генератор
- Стабильность в течение минуты $\sim 10^{-12}$
- Короткие интервалы времени с точностью $\sim 10^{-8}$
- Интервалы от недели до месяца погрешность $\sim 10^{-6}$

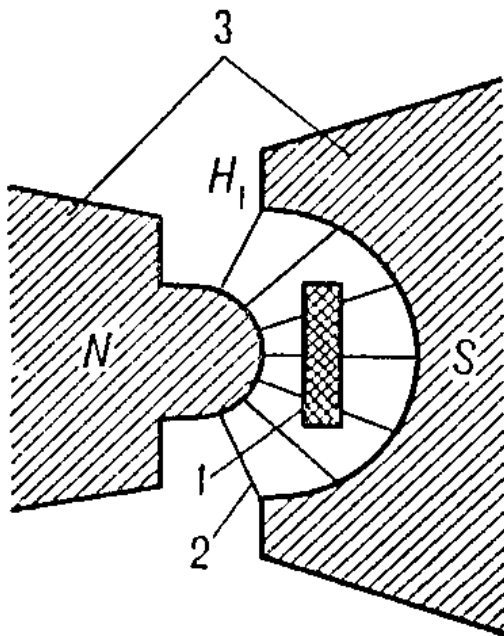
Схема атомно-лучевых цезиевых часов



1 - печь-испаритель, 2 - селектор состояний (За счёт эффекта Зеемана он с помощью неоднородного магнитного поля H_1 расщепляет пучок на 16 пучков), 3 - резонатор П-образной формы. Детектор атомов цезия состоит из раскалённой вольфрамовой проволоочки 5 и коллектора 6. 7- вторичный кварцевый генератор. 8 - схема умножения частоты.

Частота колебаний перехода между уровнями 9.192.631.770 Гц

Селектор состояний цезиевых часов



- 1 – пучок атомов цезия,
- 2 – силовые линии магнитного поля,
- 3 – полюса магнита

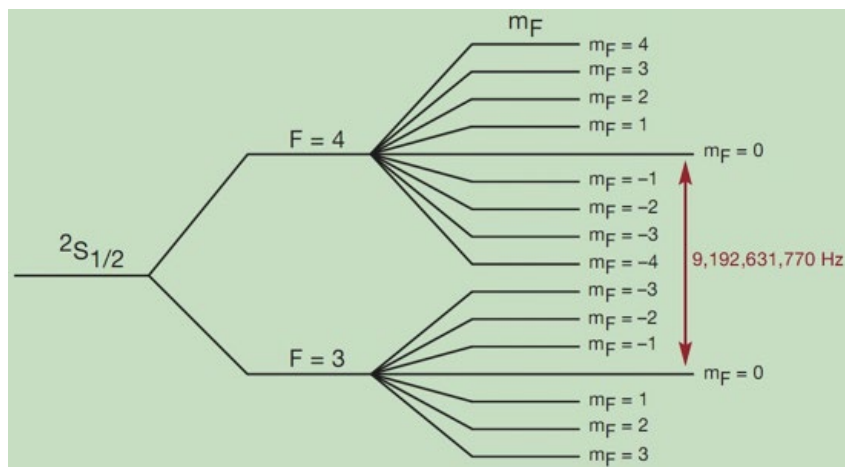
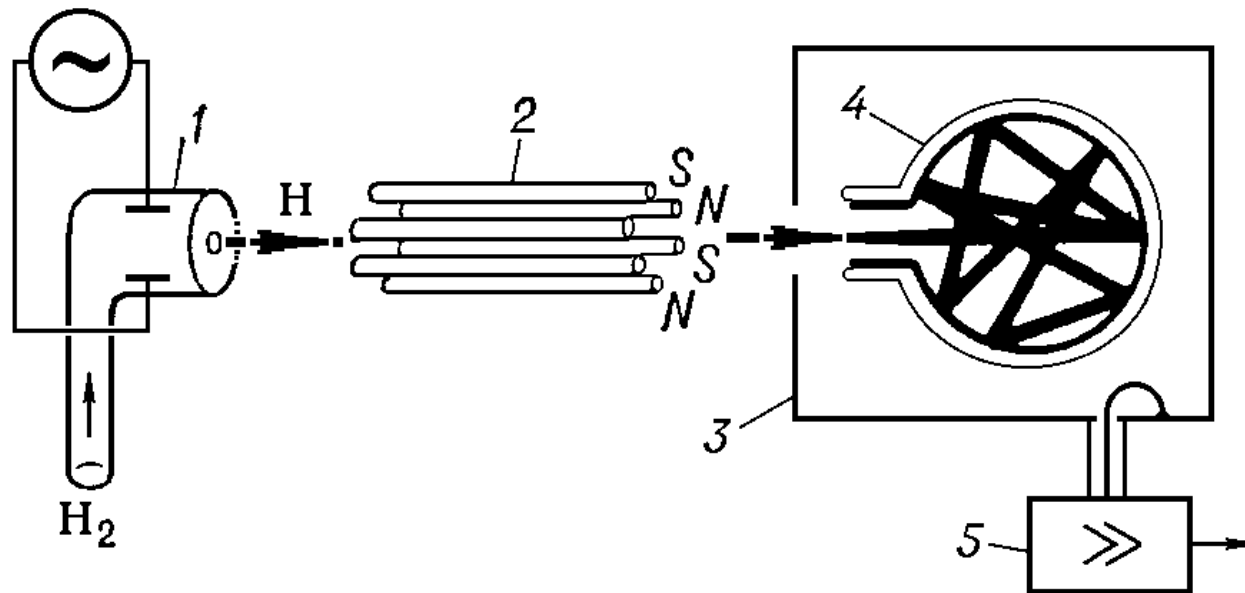


Схема водородного квантового генератора частоты (мазера)



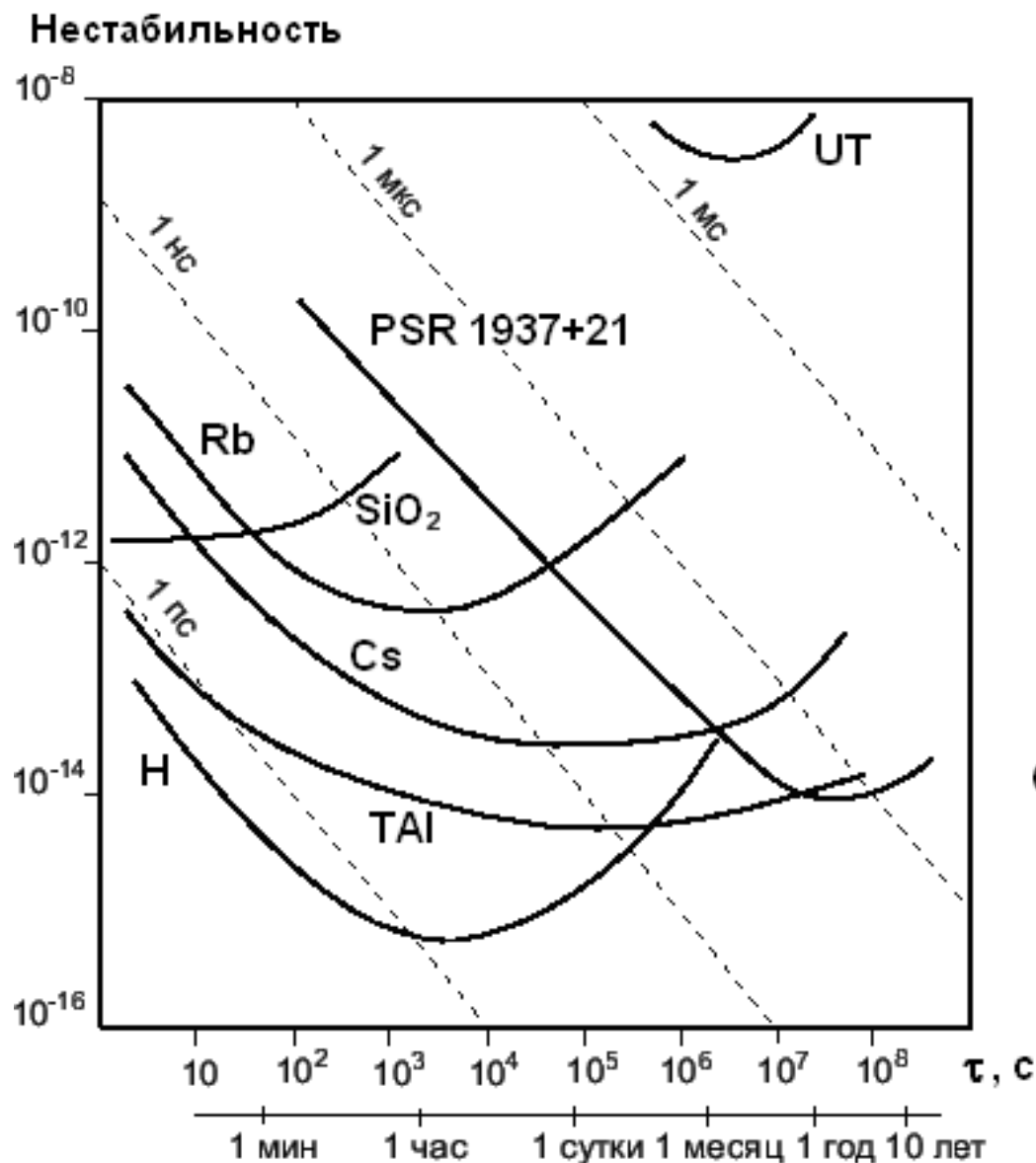
1 - капилляр с высокочастотным разрядом; 2 - многополюсный магнит, который сортирует и фокусирует атомы; 3 - объёмный резонатор; 4 - кварцевая накопительная колба, покрытая изнутри тонким слоем фторопласта; 5 - усилитель

Частота излучения водородного генератора, измеренная цезиевым эталоном, равна $1.420.405.751,7860 \pm 0,0046$ Гц

Сравнение характеристик различных часов

- Обычные **механические часы** имеют точность $\Delta t / t$ порядка 10^{-4} . Специальными приёмами (вакуумирование, электронный способ возбуждения и контроля, термостатирование) точность маятниковых астрономических часов может быть доведена до $2 \cdot 10^{-8}$ (часы Шорта). Абсолютный мировой рекорд – $3 \cdot 10^{-9}$ (часы Федченко).
- **Кварцевые часы.** Точность стандартного (рядового) частотомера с термостатированным вакуумированным кварцем $\sim 10^{-8}$. Ошибка в основном связана с многолетним старением (изменением физических свойств) кристалла. Эффект старения частично связан со снятием деформаций и приводит к снижению частоты $\Delta f / f \sim 10^{-10} \div 10^{-11}$ в сутки.
- **Атомные лучевые цезиевые** часы используют квантовый переход в атоме и поэтому не подвержены старению, как кварцевые. Часы имеют систематическую ошибку, связанную с ориентацией слабого внешнего магнитного поля (например, Земли) и доплеровским эффектом второго порядка (первый порядок отсутствует из-за перпендикулярности скорости молекул и вектора поля в СВЧ-резонаторе). Относительная точность цезиевых часов составляет величину порядка 10^{-13} .
- **Водородный мазер** является активным квантовым стандартом частоты. Название MASER является аббревиатурой используемого физического процесса – Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление микроволн путем вынужденного испускания излучения). Систематический дрейф (по сравнению с цезиевым эталоном) отсутствует. Есть зависимость частоты от характеристик резонатора. Точность водородного мазера для интервалов времени больших одной минуты составляет величину порядка 10^{-14} .

Сравнение стабильности и точности (воспроизводимости) различных эталонов времени – частоты



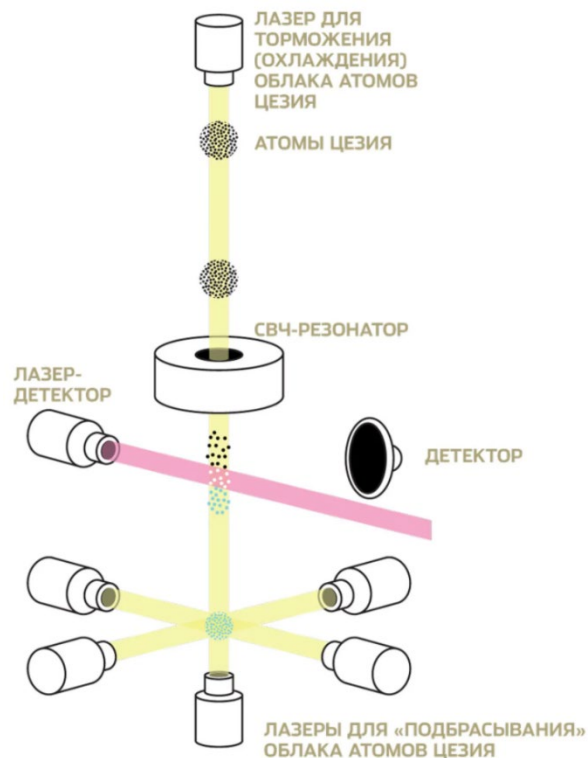
Сравнение стабильности и точности (воспроизводимости) различных эталонов времени – частоты и шкал TAI, UT

Точность
Cs
H

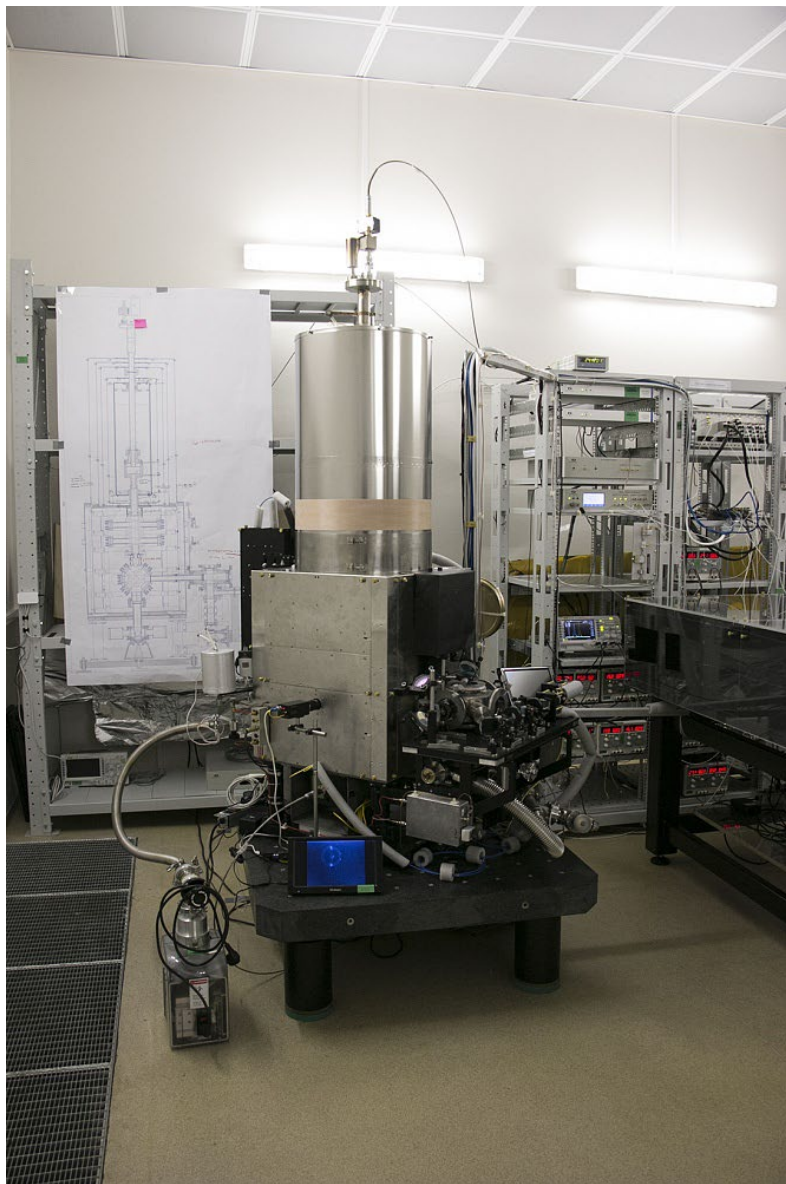


- Российский государственный первичный эталон единицы времени (его номер в реестре ГЭТ 1-2018) хранится во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений ([ВНИИФТРИ](#)). Это устройство на основе [фонтана](#) атомов цезия. «Фонтан» устроен так: облако сверххолодных атомов цезия помещают в оптическую ловушку, а затем под действием лазера они «подпрыгивают» вверх. Затем лазеры выключают, облако медленно опускается, а другой лазер считывает значения.
- Этот прибор работает не в постоянном режиме: значение частоты воспроизводится примерно каждые 150 секунд.
- Чтобы потребители имели доступ ко времени непрерывно, время хранят более простые устройства — водородные генераторы частоты. Но у них есть недостаток — дрейф, для компенсации которого используется рубидиевый хранитель

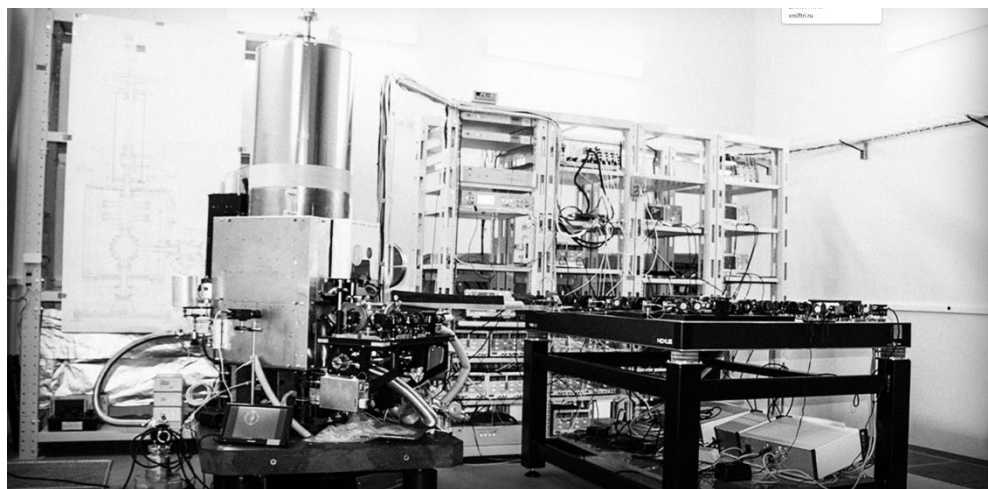
Цезиевый эталон на фонтане атомов



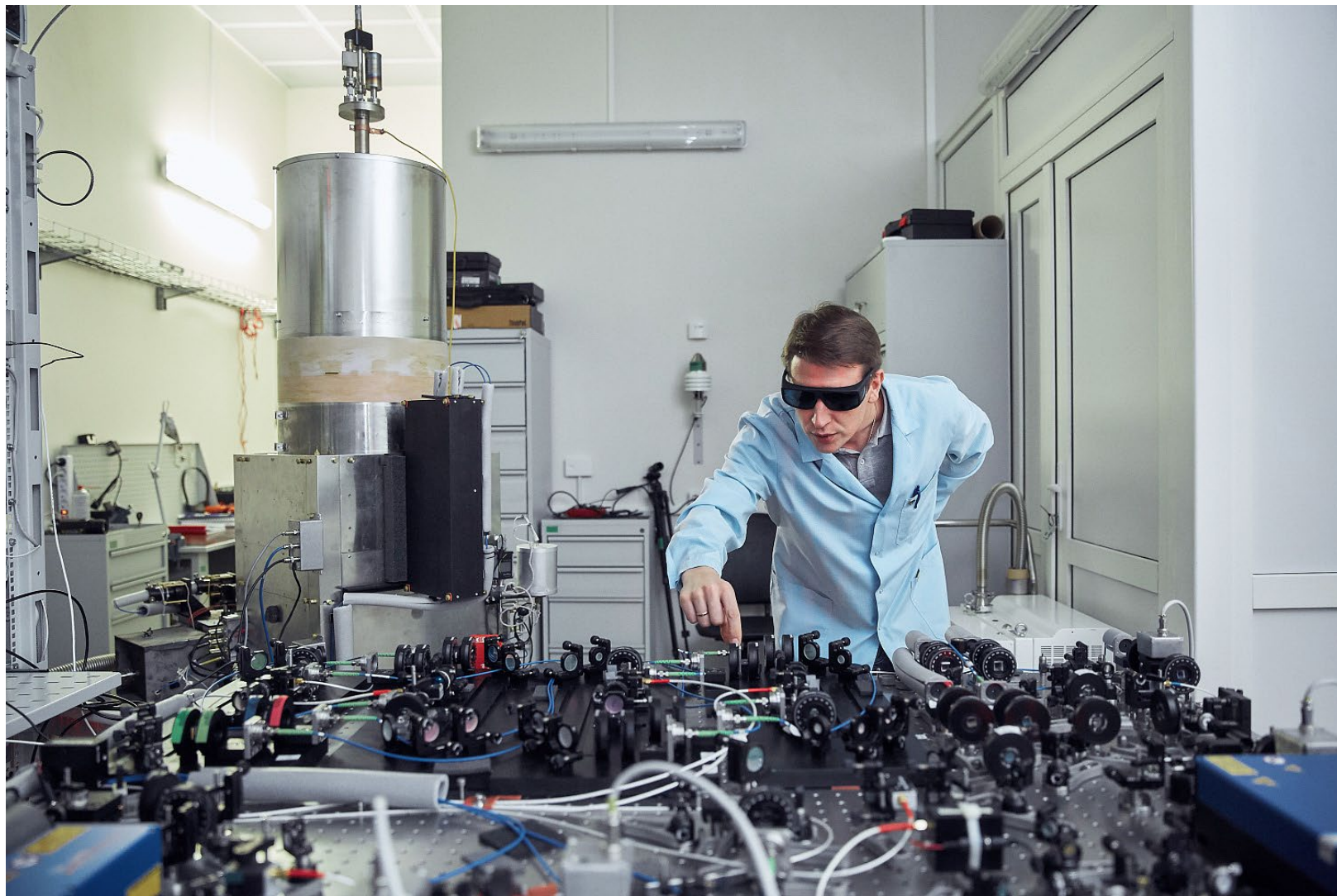
Рубидиевый стандарт частоты



<https://www.vniiftri.ru/standards/izmereniya-vremeni-i-chastoty/get-1-2022-gosudarstvennyy-pervichnyy-etalon-edinits-vremeni-chastoty-i-natsionalnoy-shkaly-vremeni/>



Оптический лазерный стандарт

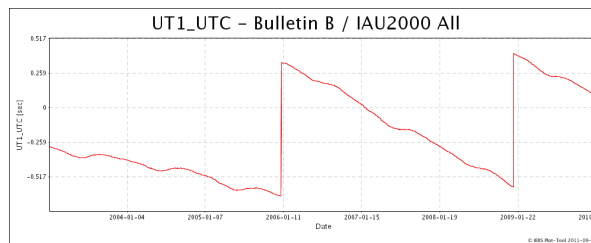


Проблемы потребителей эталонов времени – частоты

- для текущих астрономических наблюдений и навигации (наземной и космической) не нужна абсолютно точная линейная шкала времени IAT. Нужна шкала, наиболее точно привязанная к неравномерному и непредсказуемому вращению Земли. Более всего на эту роль подходит UT1
- для физических измерений, для точного хранения и проверки всех других астрономических шкал времени более всего подходит равномерная шкала атомного времени IAT
- Данное противоречие было разрешено введением с 00:00 часов 1 января 1972 г. новой шкалы времени – UTC (Universal Time Coordinated) или Всемирного координированного времени

Шкала времени – UTC

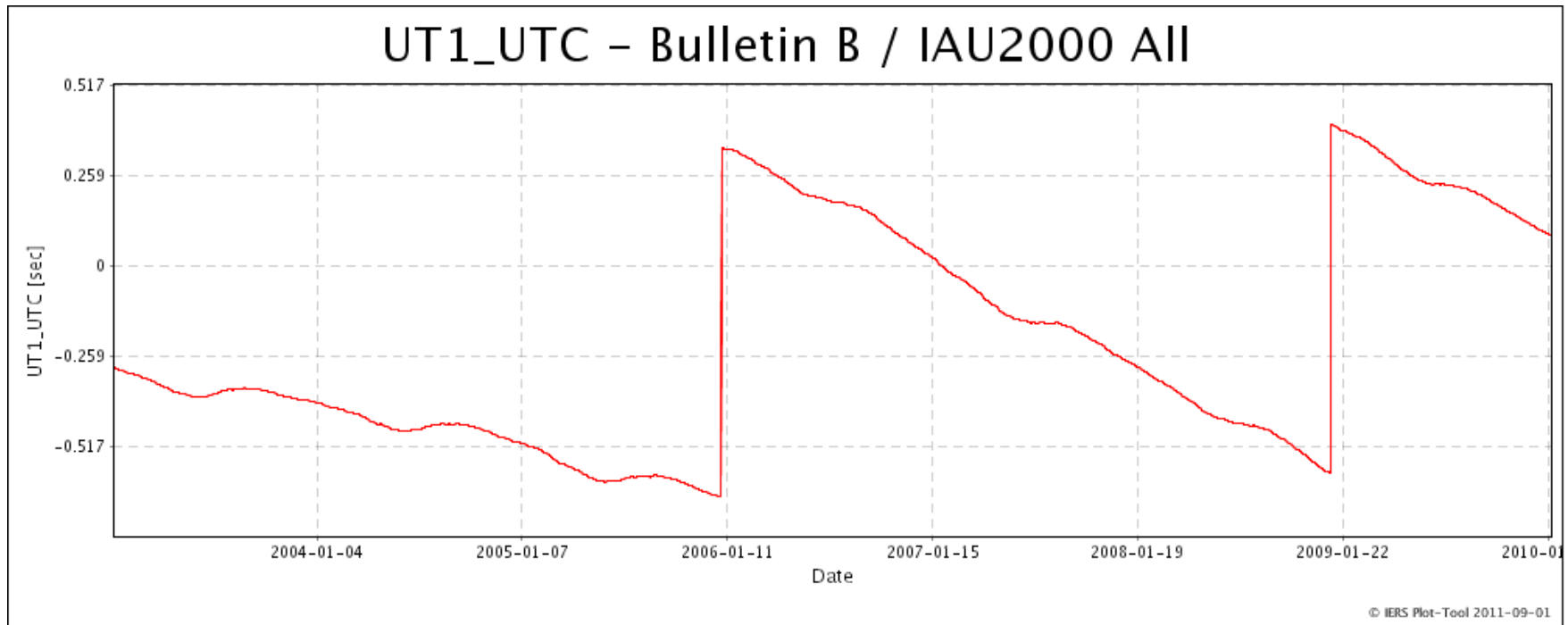
- Ширина секундных интервалов в шкале UTC задается точно такой, как в IAT: на основе определения цезиевого атомного эталона секунды.
- Как только между этой равномерной шкалой секунд и шкалой UT1 накапливается разница, равная 0,7 секунды, производится коррекция: одним скачком добавляется или отнимается 1 секунда.
- В результате разница между шкалой UTC и шкалой UT1 никогда не бывает больше 0,7 секунд.
- Введение положительной или отрицательной секунды производится по решению МБВ обычно 31 декабря или 30 июня с предварительным уведомлением за 8 недель.
- Для потребителей, которых не устраивает шкала UT1 с точностью 0,7 секунды, одновременно с сигналами UTC передаются поправки, показывающие отклонение (Deviation) UT1 от UTC:
- $DUT1 = UT1 - UTC$.



Бюллетни IERS - UTC



*International Earth Rotation and
Reference Systems Service*

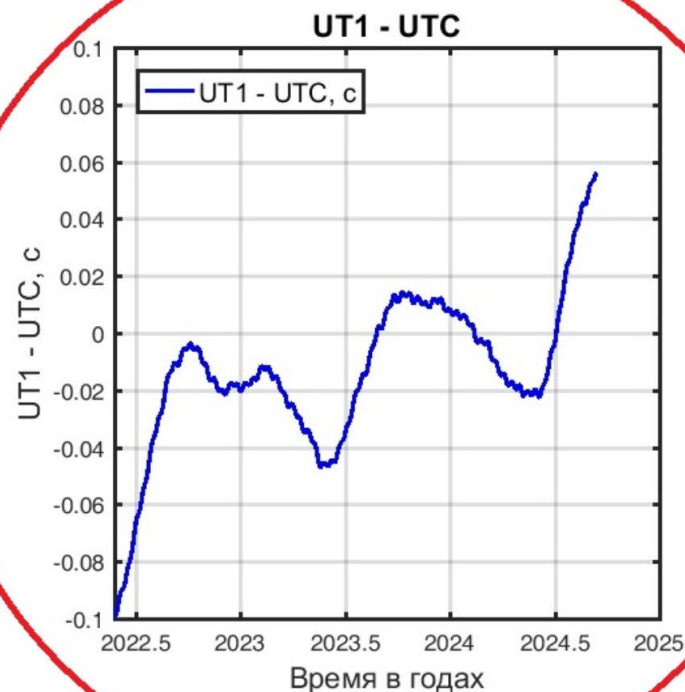
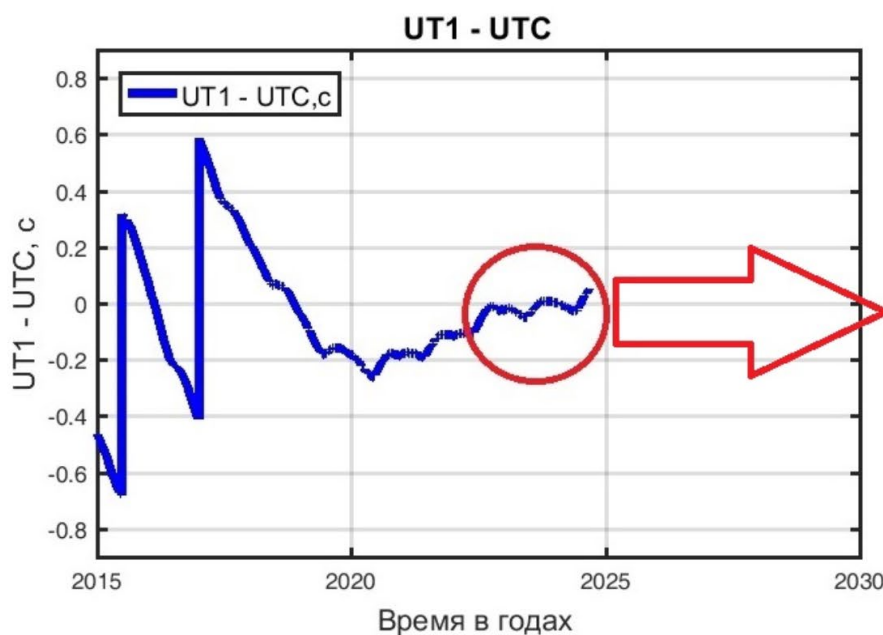


<https://www.iers.org/IERSEN/Publications/Bulletins/bulletins.html>

https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=BulletinB_All-X_Y&id=207

Целесообразность введения непрерывной (новой) шкалы UTC

http://pvz.vniiftri.ru/old_news.php



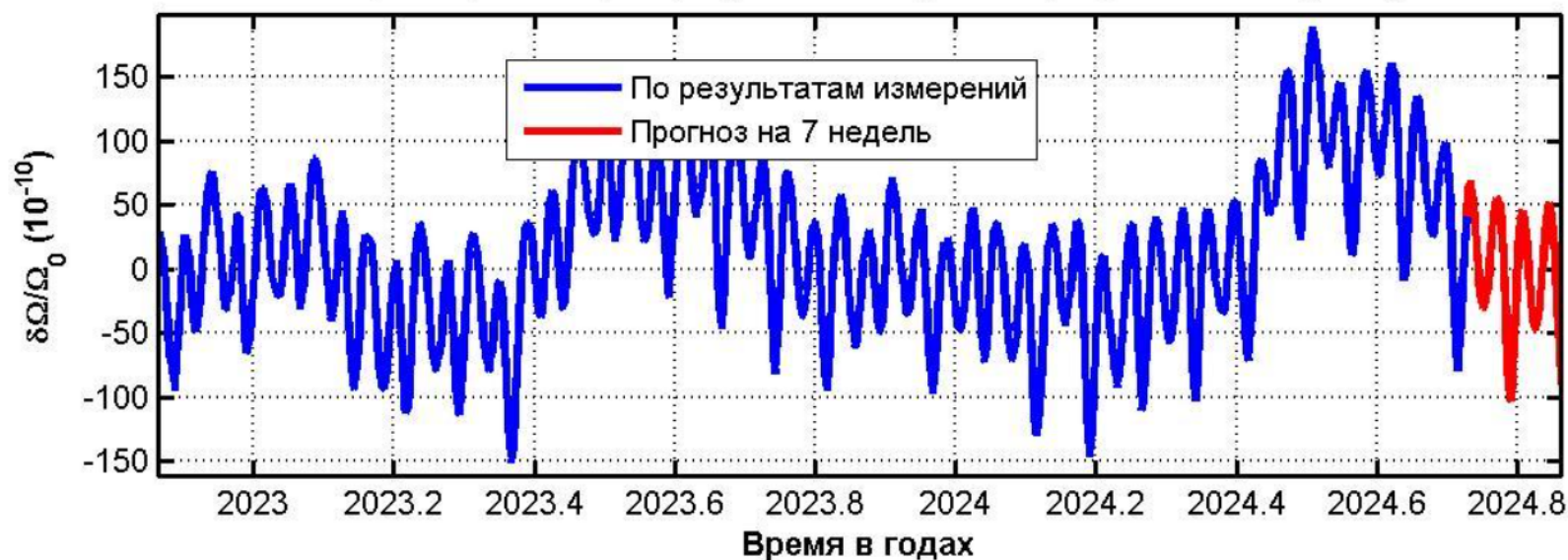
В ночь с 31 декабря 2024 года на 1 января 2025 года дополнительная секунда в шкалу Всемирного координированного времени UTC вводиться не будет
5 сентября 2024 значение поправки DUT1 было изменено с 0 на +0.1

Быстрые тренды

UT1-TAI за вычетом тренда (с)



Безразмерные вариации угловой скорости вращения Земли (10^{-10})



Бюллетни IERS – Полюс

https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=BulletinB_All-X_Y&id=207

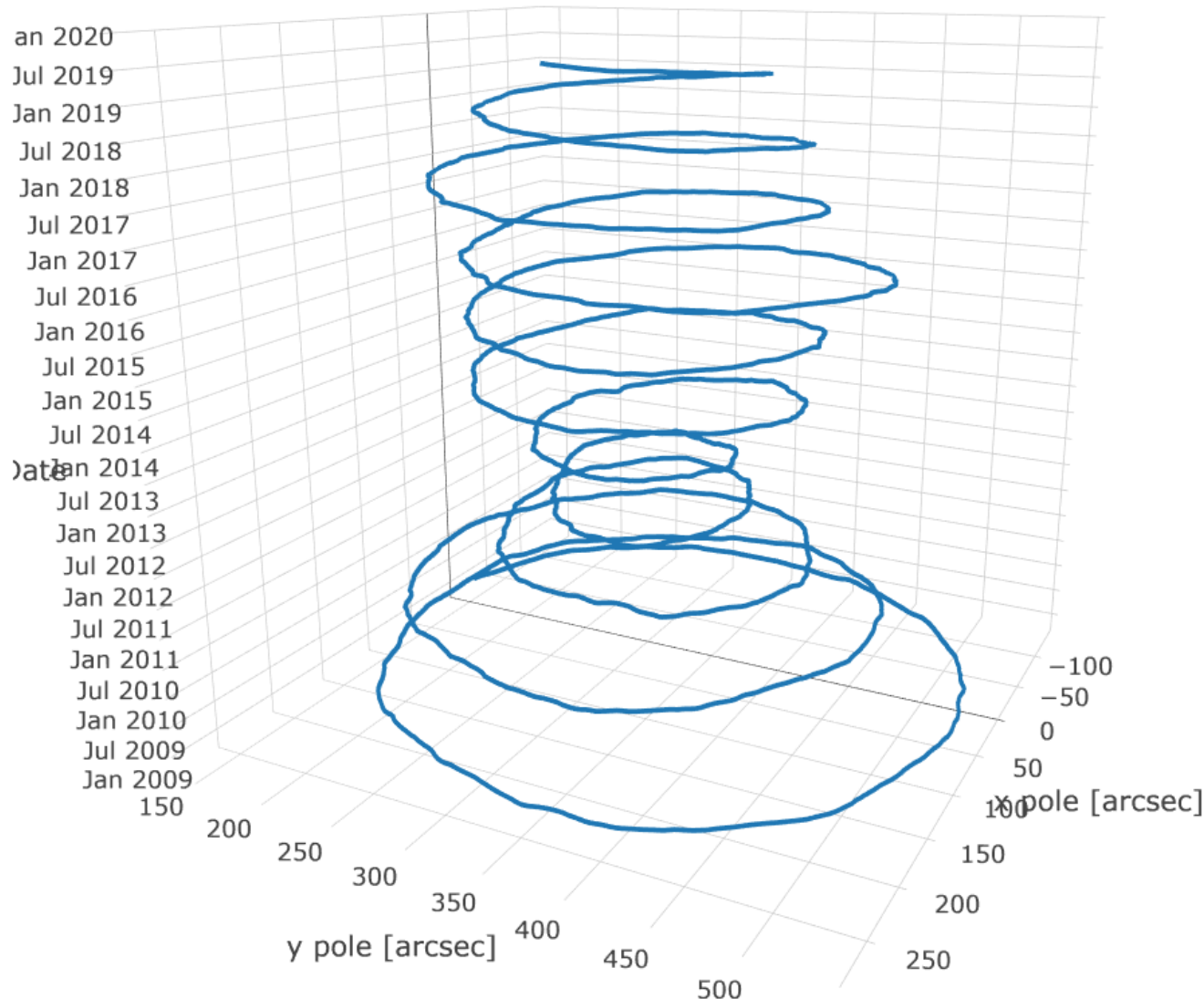
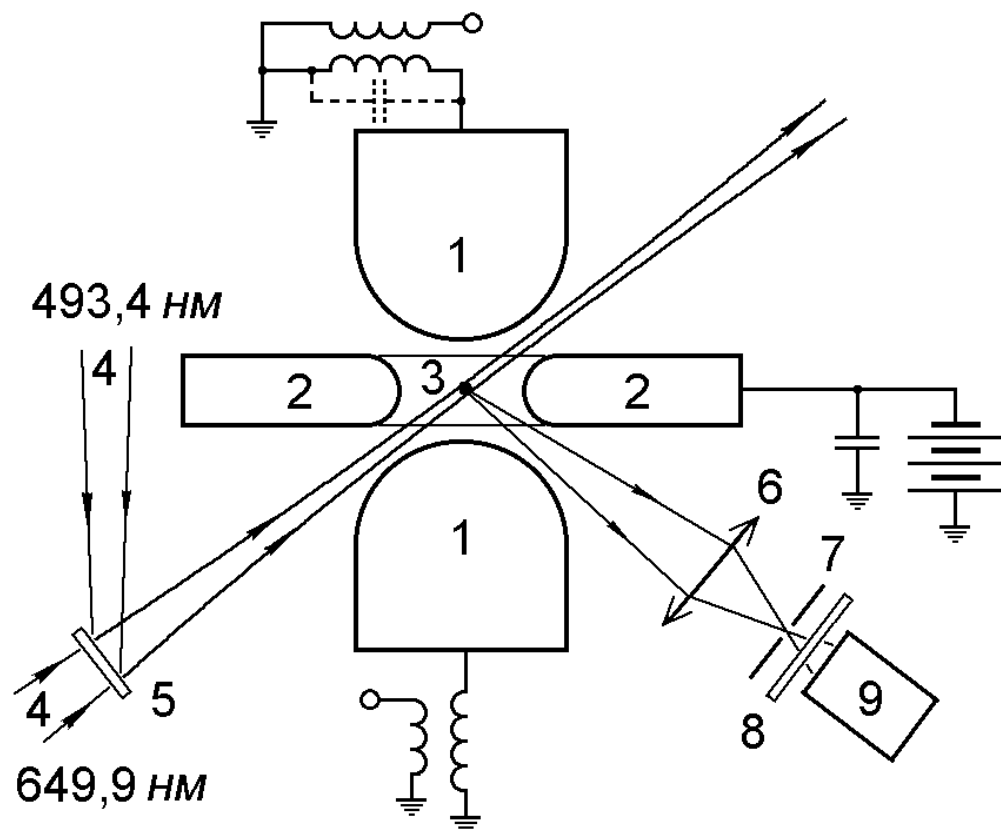
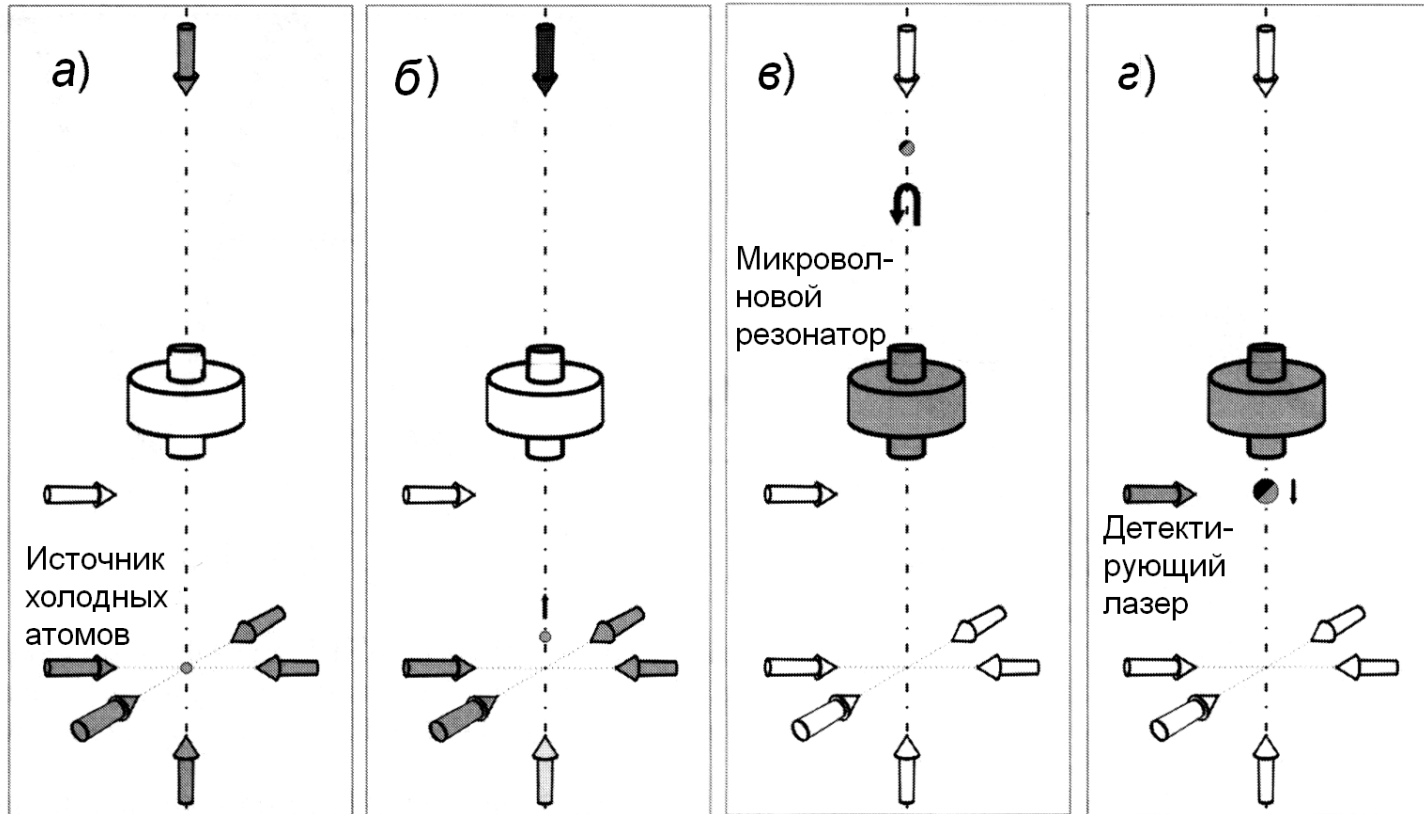


Схема установки для удержания и оптического охлаждения одиночного иона в квадрупольной ловушке



1 – сферические электроды, 2 – тороидальный электрод, 3 – ион Ba^+ , 4 – координатные лазерные пучки, 5 – полупрозрачное зеркало, 6 – объектив, 7 – диафрагма, 8 – интерференционный светофильтр, 9 – ФЭУ

Фонтан из охлажденных атомов цезия



а – удержание атомов пучками света с шести направлений,
б – придание импульса в вертикальном направлении,
в – прохождение атомов через СВЧ-резонатор,
г – детектирование состояние атома после двух проходов резонатора.

От $1 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^8$ с
От 1 Гц до $5 \cdot 10^{14}$ Гц

Этапы. Воспроизведение

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

Федеральное агентство
по техническому
регулированию и метрологии

Б Ю Л Л Е Т Е Н Ь А - 2178

2 октября 2017 г.

ФГУП "ВНИИФТРИ"

ВСЕМИРНОЕ ВРЕМЯ И КООРДИНАТЫ ПОЛЮСА

Дата (0h UT)	MJD	UT1(SU)-UTC (с)	X(SU) (")	Y(SU) (")
-----------------	-----	--------------------	--------------	--------------

С Р О Ч Н Ы Е Д А Н Н Ы Е

2017 г.		MJD	UT1(SU)-UTC (с)	X(SU) (")	Y(SU) (")
Сен.	19	58015	+0,324387	+0,23432	+0,32816
	20	58016	+0,323267	+0,23351	+0,32635
	21	58017	+0,322186	+0,23240	+0,32448
	22	58018	+0,321113	+0,23137	+0,32250
	23	58019	+0,320145	+0,23034	+0,32061
	24	58020	+0,319307	+0,22924	+0,31846
	25	58021	+0,318540	+0,22846	+0,31624

П Р О Г Н О З

2017 г.		MJD	UT1(SU)-UTC (с)	X(SU) (")	Y(SU) (")
Окт.	2	58028	+0,31440	+0,2212	+0,3010
	9	58035	+0,30507	+0,2116	+0,2905
	16	58042	+0,29737	+0,2005	+0,2829
	23	58049	+0,28873	+0,1956	+0,2736
	30	58056	+0,28259	+0,1862	+0,2655
Нояб.	6	58063	+0,27208	+0,1757	+0,2590
	13	58070	+0,26248	+0,1603	+0,2519

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

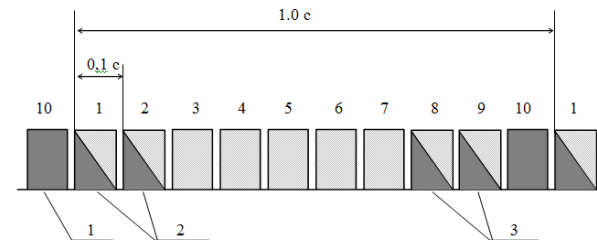
MJD - модифицированная юлианская дата; $MJD = JD - 2400000,5$;
UT1(SU), X(SU), Y(SU) - шкала всемирного времени и координаты
полюса Государственной службы времени и частоты - ГСВЧ;
UTC - шкала координированного времени;
TA(SU) - шкала атомного времени ГСВЧ;
Разность шкал $UTC - TA(SU) = -33,17276$ с (с 1 июля 2015 г.),
 $-34,17276$ с (с 1 января 2017 г.).

Главный метрологический
центр ГСВЧ

Временной код, передаваемый в составе ЭСЧВ построен на базе двух типов кодов:

- позиционно- единичного для передачи значений разности шкал времени UT1-UTC;
- двоично-десятичного с проверкой на четность для передачи остальной информации (см. п. 1.4.)

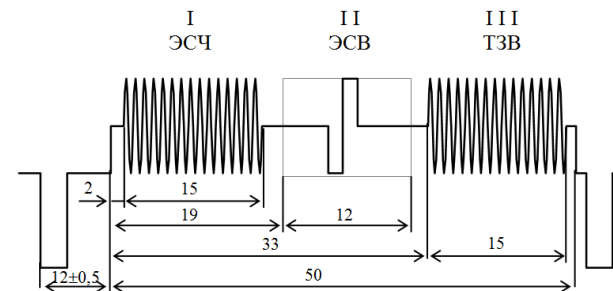
Элементы кода передаются с циклом в 1 с при помощи модуляции несущих колебаний в первом и втором 0,1 с интервалах, отсчитываемых от секундной метки



Информационная структура сигнала:

- 1 - секундный маркер; 2 - информационные сигналы;
3 - минутный маркер

Полный формат кода содержит 120 элементов (60 элементов в первом 0,1-секундном интервале и 60 элементов во втором 0,1-секундном интервале) и передается с циклом в 1 мин.



Форма сигналов и их расположение в интервале шестой строки.

MJD – Modified Julian Day

International Atomic Time (TAI, from the French name Temps atomique international)

ВСЕМИРНОЕ ВРЕМЯ И КООРДИНАТЫ ПОЛЮСА

Дата (0h UT)	MJD	UT1(SU)-UTC (с)	X(SU) (")	Y(SU) (")
-----------------	-----	--------------------	--------------	--------------

СРОЧНЫЕ ДАННЫЕ

2024 г.				
Сен. 10	60563	+0,055634	+0,21526	+0,43558
11	60564	+0,056408	+0,21589	+0,43399
12	60565	+0,057219	+0,21643	+0,43237
13	60566	+0,058073	+0,21756	+0,43069
14	60567	+0,058793	+0,21894	+0,42917
15	60568	+0,059243	+0,22011	+0,42780
16	60569	+0,059338	+0,22099	+0,42663

ПРОГНОЗ

2024 г.				
Сен. 23	60576	+0,05728	+0,2256	+0,4176
30	60583	+0,06010	+0,2276	+0,4059
Окт. 7	60590	+0,06016	+0,2270	+0,3944
14	60597	+0,06208	+0,2250	+0,3821
21	60604	+0,05873	+0,2253	+0,3706
28	60611	+0,05989	+0,2261	+0,3573
Нояб. 4	60618	+0,05891	+0,2255	+0,3452

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

MJD - модифицированная юлианская дата; $MJD = JD - 2400000,5$;
UT1(SU), X(SU), Y(SU) - шкала всемирного времени и координаты
полюса Государственной службы времени и частоты - ГСВЧ;
UTC - шкала координированного времени;
TA(SU) - шкала атомного времени ГСВЧ;
Разность шкал $UTC - TA(SU) = -33,17276$ с (с 1 июля 2015 г.),
 $-34,17276$ с (с 1 января 2017 г.).

Данные
Каждый день

Точность
поддержания
эталона времени -
частоты во ФГУП
«ВНИИФТРИ»

В настоящее время -
 $5 \cdot 10^{-16}$

Это эталон на основе
фонтана из
охлажденных атомов
цезия

Сравнение эталонов времени и частоты

1. Отклонение шкал времени Российской Федерации нс.

Дата 2017 г.	Август 4	Август 9	Август 14	Август 19	Август 24	Август 29	Неопределённость		
							uA	нс	и
MJD 0h UTC	57969	57974	57979	57984	57989	57994			
UTC – UTC(SU) *	2.3	4.1	4.5	5.4	5.2	5.6	1.3	6	6.1
TAI – TA(SU) **	27291083.7	27291084.2	27291084.6	27291085.5	27291086.1	27291087.4			

* Использованы данные бюллетеня Т ВРМ. ** Приведены значения TAI – TA(SU) – 2.8 с.

2. Отклонение шкал времени национальных и вторичных эталонов от шкалы координированного времени Российской Федерации UTC(SU) – UTC(i) нс.

Дата 2017 г.	Август 4	Август 9	Август 14	Август 19	Август 24	Август 29
MJD 0h UTC	57969	57974	57979	57984	57989	57994
ВУ Минск	5.1	5.7	4.2	1.9	1.5	1.4
UA Харьков	4.8	6.2	4.0	4.8	0.4	2.9
Им Иркутск	-0.2	0.4	0.0	0.8	0.7	1.1
Нм Новосибирск	4.0	4.1	3.8	3.1	2.5	3.2
Хм Хабаровск	-7.7	-6.9	-6.3	-5.4	-4.9	-3.8

Главный метрологический центр ГСВЧ РФ

ФГУП «ВНИИФТРИ»
ГМЦ ГСВЧ
141570, г.п. Менделеево, Солнечногорский р-н,
Московская обл., Россия, 141570
Телефон: (495) 660-57-21
(495) 660-57-26
Факс: (495) 660-17-41
E-mail: nio7@vniiftri.ru

<https://vniiftri.ru/activity/publications/byulleteni-gsvch/>

Подписано в печать 15.09.17 г.

Ротапринт ФГУП «ВНИИФТРИ»

Заказ №178, 0,02 уч.-изд.л. Тираж 40 экз.

MJD – Modified Julian Day

International Atomic Time (TAI, from the French name Temps atomique international)

ГЭТ 1-2018. Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени

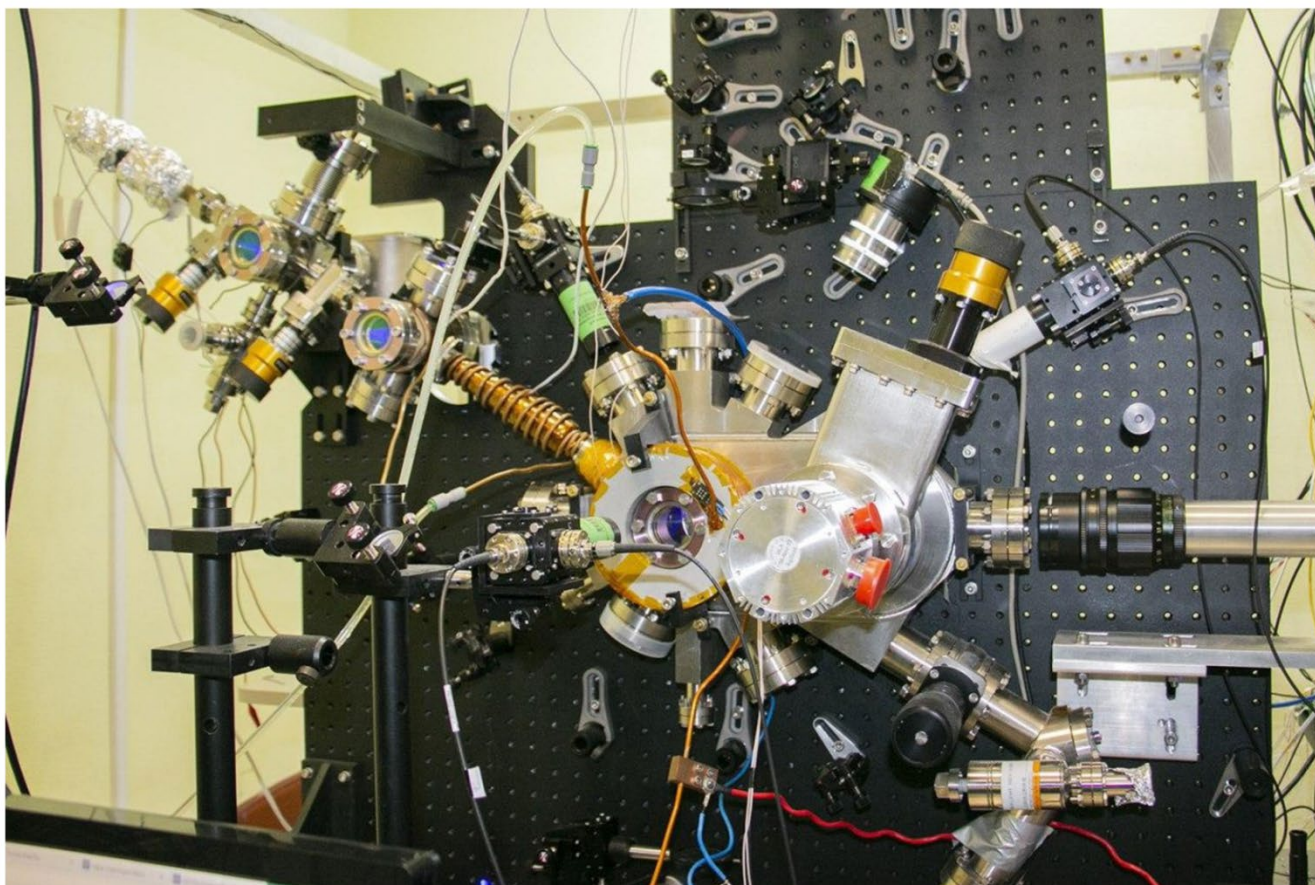


<https://www.vniiftri.ru/standards/izmereniya-vremeni-i-chastoty/get-1-2022-gosudarstvennyy-pervichnyy-etalon-edinit-vremeni-chastoty-i-natsionalnoy-shkaly-vremeni/>

Наименование характеристики, единица измерения	Значение
Диапазон измеряемых интервалов времени, с	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^8$
Диапазон измеряемых частот, Гц	$1,0 \cdot 10^{-3} - 5,7 \cdot 10^{14}$
Номинальное значение частоты, при котором воспроизводятся единицы времени и частоты, Гц	9192631770
Относительное среднее квадратическое отклонение результата измерений при воспроизведении единиц времени	$\leq 1,0 \cdot 10^{-15}$
Доверительные границы относительной неисключенной систематической погрешности воспроизведения единиц при P= 0,99	$\pm 5,0 \cdot 10^{-16}$
Доверительные границы относительной неисключенной систематической погрешности воспроизведения единиц в оптическом диапазоне при P= 0,99	$\pm 1,0 \cdot 10^{-17}$
Относительная нестабильность частоты эталона (СКДО) при интервалах времени измерения 10 ÷ 30 сут, интервале времени наблюдений 1 год	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$
Пределы допускаемых смещений национальной шкалы времени UTC(SU) относительно шкалы Всемирного координированного времени UTC, нс	$\pm 3,0$

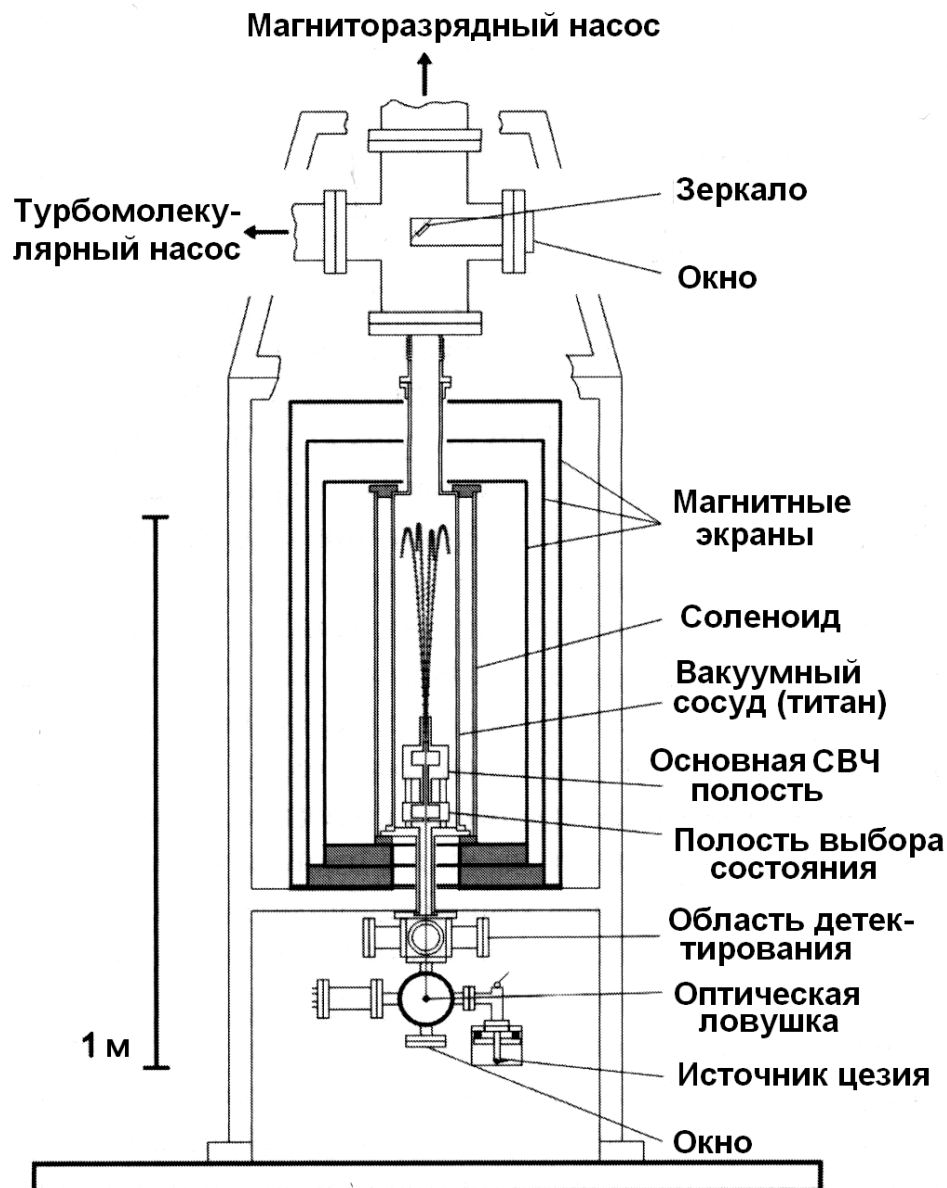
[Главная](#) → [Эталонная база](#)

Эталонная база

[ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ](#)[ВТОРИЧНЫЕ И РАБОЧИЕ ЭТАЛОНЫ](#)

Оптический стандарт частоты (часть Государственного первичного эталона единицы времени и частоты ГЭТ 1-2018)

Фонтан из охлажденных атомов цезия



Главный метрологический центр
Государственной службы времени
и частоты
(ГМЦ ГСВЧ (НИО-7))

<http://www.vniiftri.ru/index.php/ru/struct/gsvch>

ФГУП «ВНИИФТРИ»
(Московская область)

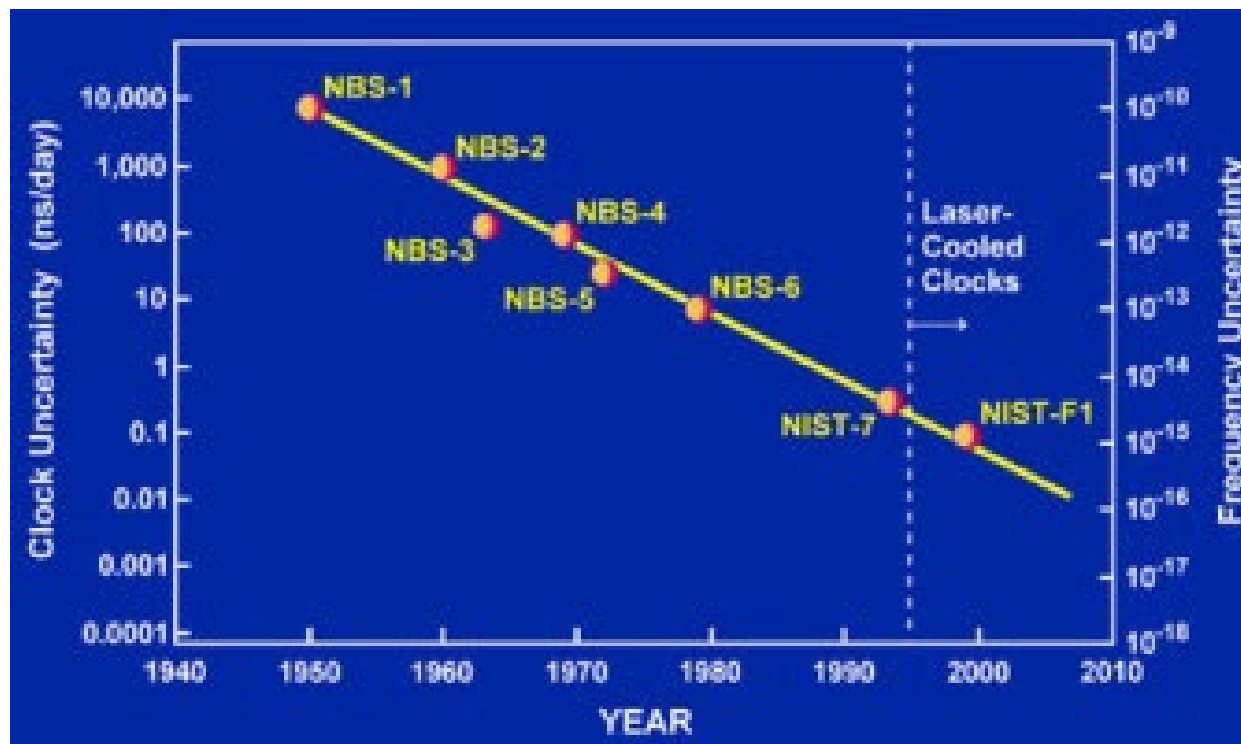
2003 – 2014 годы:

Неопределённость в
определении IAT (TAI)
снизилась

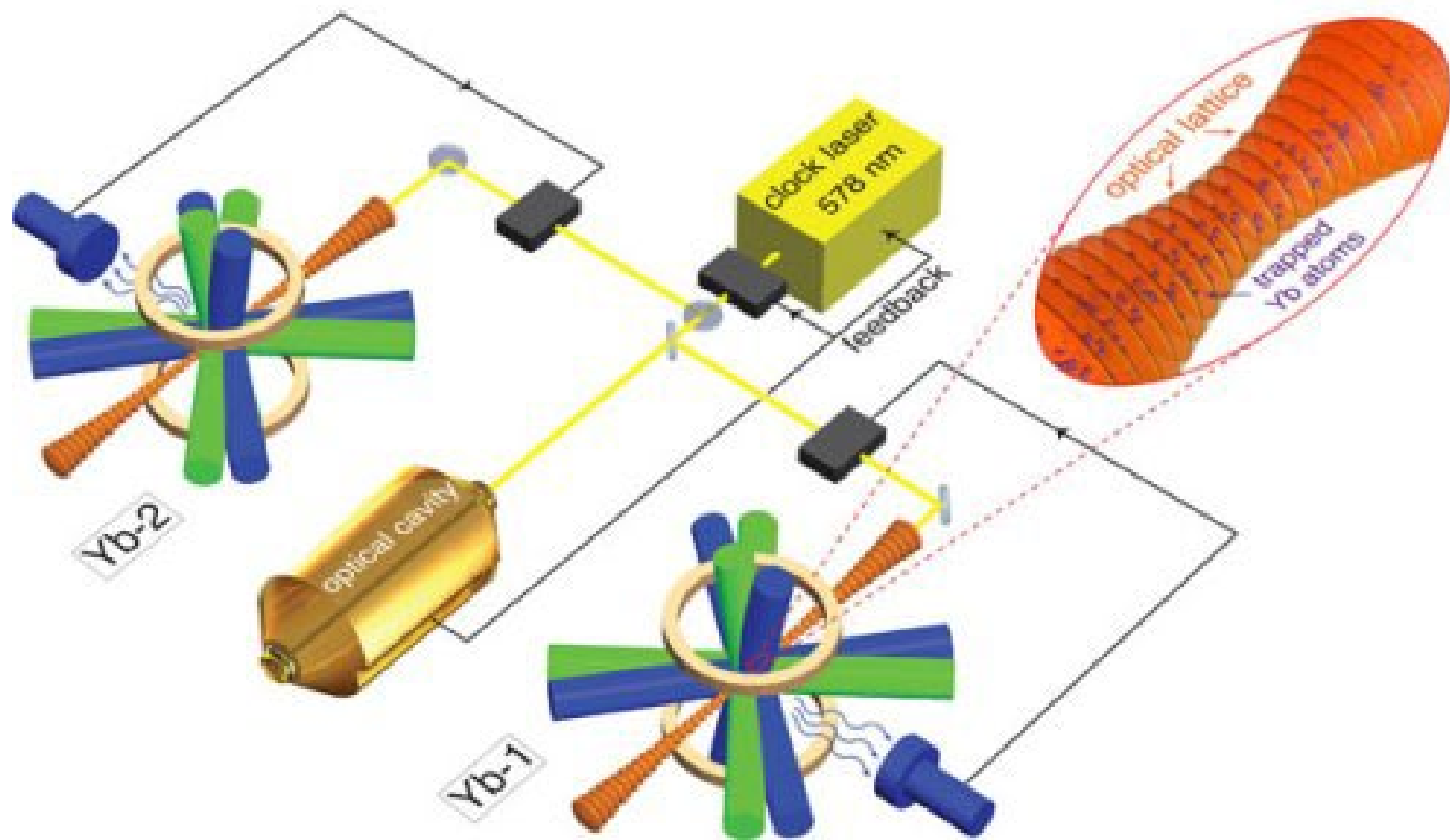
от 10^{-14} до $5 \cdot 10^{-16}$

<https://www.vniiftri.ru/about/departments/nauchno-issledovatel'skoe-otdelenie-glavnyy-metrologicheskiy-tsentr-gosudarstvennoy-sluzhby-vremeni-i/>

Прогресс точности стандартов времени – частоты



Оптический захват и охлаждение группы атомов



Точность сличения стандартов. Рекорды.

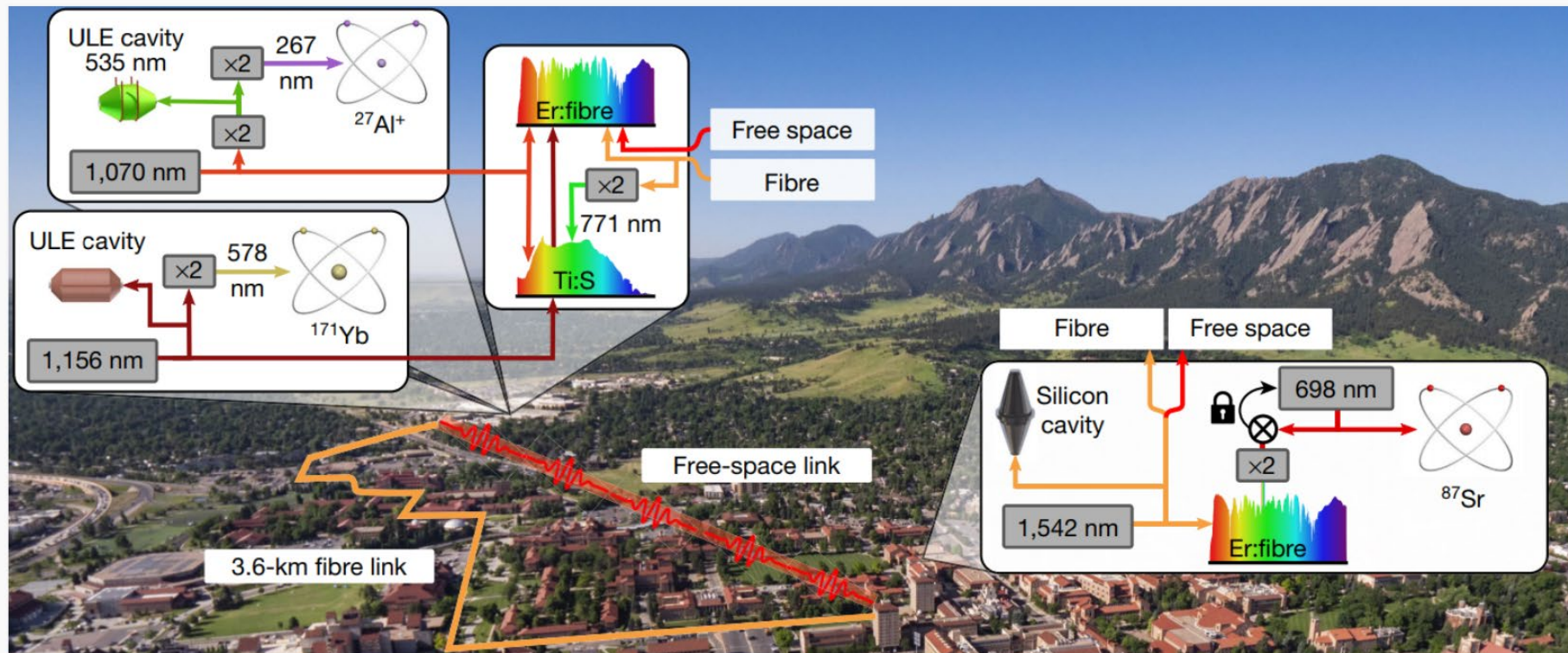


Схема связи трех использованных оптических часов

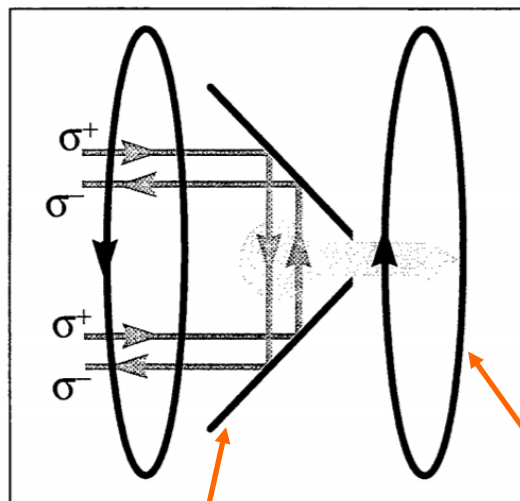
BACON collaboration / Nature, 2021

Удалось измерить отношения частот перехода $^1\text{S}_0 \leftrightarrow ^3\text{P}_0$ в атомах алюминия-27, иттербия-171 и стронция-87 с относительной точностью в пределах между 6×10^{-18} и 8×10^{-18}

Портативные цезиевые часы на фонтане атомов

Цезиевые стандарты,
стоящие на спутниках GPS

Источник холодных атомов
- Магнито-оптическая ячейка

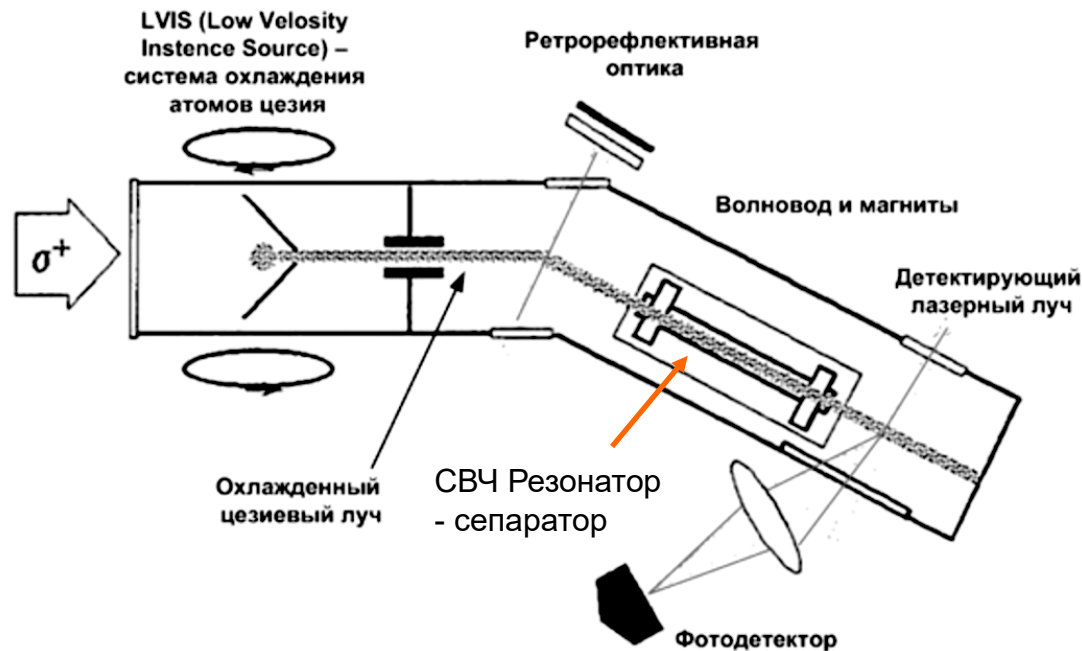


5 см медный конус

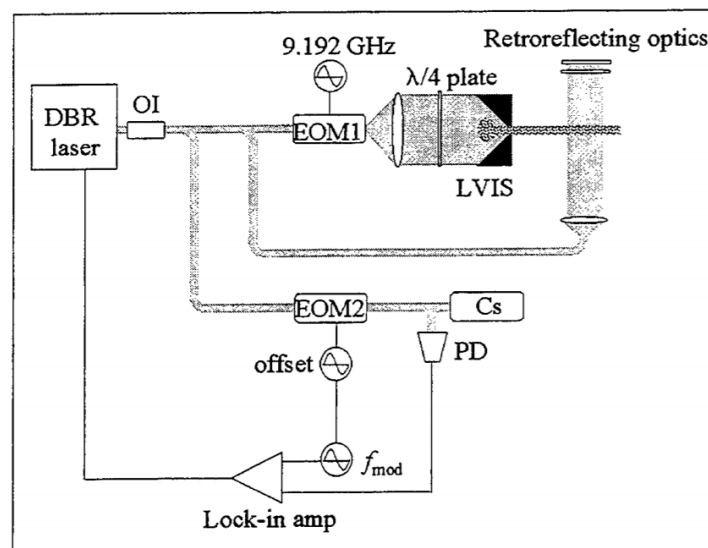
$V = 20 \text{ м/с}, 1,5 \text{ см}$

АнтиГельмгольц-
катушки

Compact CW Cold Beam Cesium Atomic Clock.
AEROSPACE REPORT NO. TR-99(8555)-5



Distributed Bragg reflector laser



Стандарт частоты рубидиевый сверхминиатюрный квантовый НАП-КПН



30 × 50,4 × 50,4 мм
Энергопотребление
– 600 мВт. М=120 Г

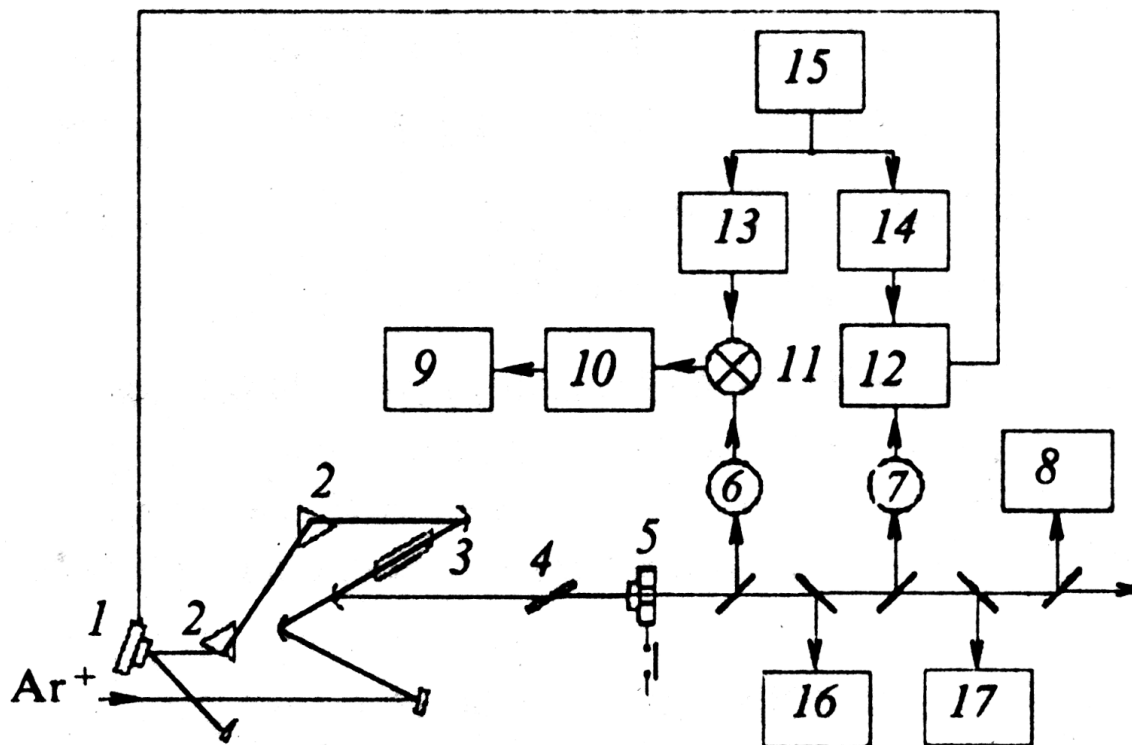
Применение:

- спутниковые навигационные системы, в том числе интегрированные с инерциальными навигационными системы
- синхронизация оборудования и передачи данных в высокоскоростных вычислительных сетях
- системы связи, включая широкополосную связь с быстрым переключением несущей частоты и спектральным уплотнением каналов
- прецизионная измерительная аппаратура с повышенными требованиями к опорному генератору частоты (анализаторы спектра, векторные генераторы, осциллографы и т.д.)
- кратковременная нестабильность частоты (за 1 с) - 3×10^{-11}
- долговременная нестабильность частоты (за 1 сутки) - 5×10^{-12}

Принцип работы

стабилизация частоты стандарта происходит за счет эффекта когерентного пленения населенностей (КПН). В результате СВЧ модуляции частоты лазера в спектре лазера появляются гармоники ± 1 -порядка, которые взаимодействуют непосредственно на атомы щелочных металлов, находящиеся в газовой ячейке. Когда разностная частота между гармониками, равна частоте сверхтонкого расщепления основного состояния, возникает когерентная непоглощающая суперпозиция основных атомных состояний. Этот эффект называется КПН.

Первые оптические фемтосекундные часы

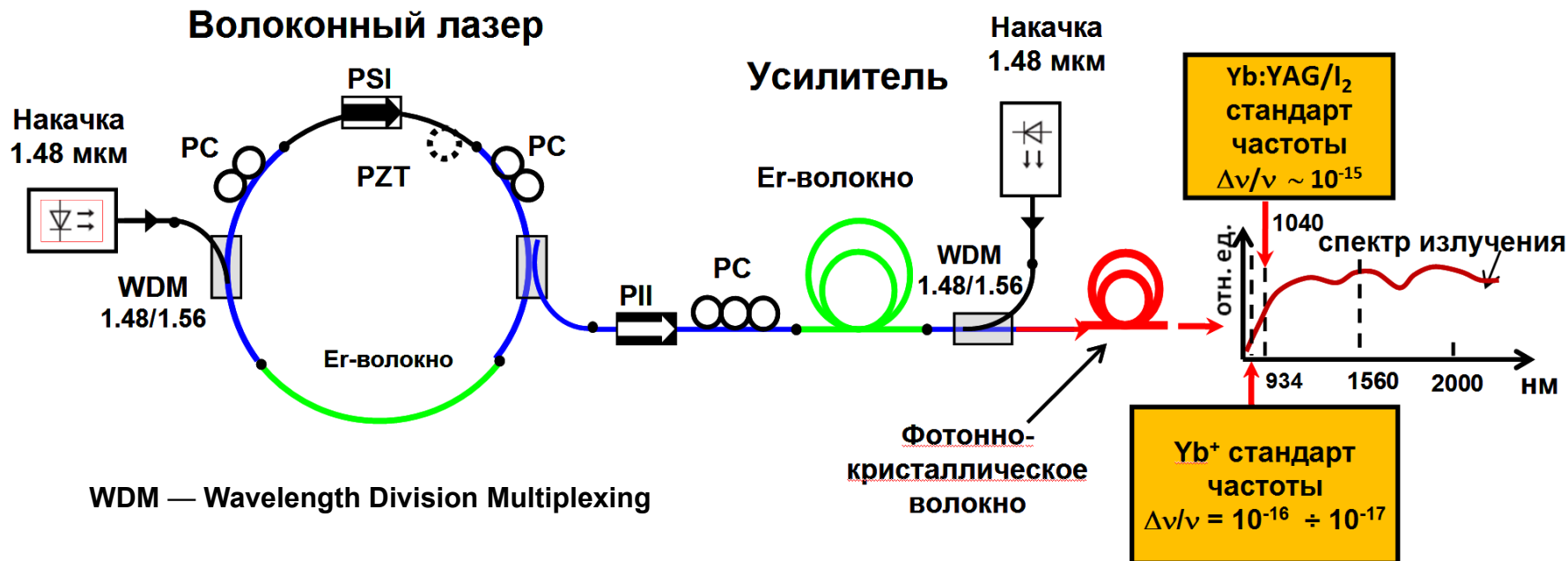


Институт
лазерной физики
СО РАН

Эталон на $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}$ -лазере с привязкой по фазе частоты следования фемтосекундных импульсов (упрощенная схема). Выдаёт гребенчатый спектр с равно отстоящими интервалами частот.

1- пьезокерамика с плотным зеркалом, 2 – призмы из ТФ7, 3 – активный элемент $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}$, 4 – фильтр Лио, 5 – выходное зеркало на пьезокерамике, 6,7 – фотодиоды, 8 – измеритель мощности, 11 – смеситель, 10 – анализатор спектра, 9 – регистратор, 15 – водородный стандарт частоты, 13, 14 – синтезаторы частоты, 12 – блок фазовой автоподстройки частоты, 16 – многоканальный анализатор спектра, 17 – автокоррелятор интенсивности

Схема мобильных волоконных фемтосекундных оптических часов космического базирования – переход из оптического диапазона в радиочастотный



центральная длина волны $\sim 1,56$ мкм;
длительность импульса $\sim 200 - 150$ фс;
средняя мощность без усилителя ~ 20 мВт;
средняя мощность с усилителем ~ 130 мВт;
суперконтинуум: $- 900 \div 2300$ нм

Институт
лазерной физики
СО РАН,
Новосибирск

Навигация

- Дирекция
- Виды деятельности
- Государственные услуги
- Научные направления
- Метрология и услуги
- Стандартизация
- Обеспечение качества
- Мониторинг нарушений в области обеспечения единства измерений
- Метрология в нанотехнологиях
- Публикации
- Совет молодых учёных
- Аттестация
- Планы | Отчёты
- Закупки и аренда
- Сотрудничество
- Противодействие коррупции
- Вакансии
- Карта сайта
- Историческая справка
- RSS подписка

Главная ▶ Научные отделы ▶ Отдел 8

Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли

Начальник отдела - Толстиков Александр Сергеевич, д.т.н., профессор, член- корреспондент РМА.

Тел. (383) 210-11-85, tolstikov@mail.ksn.ru

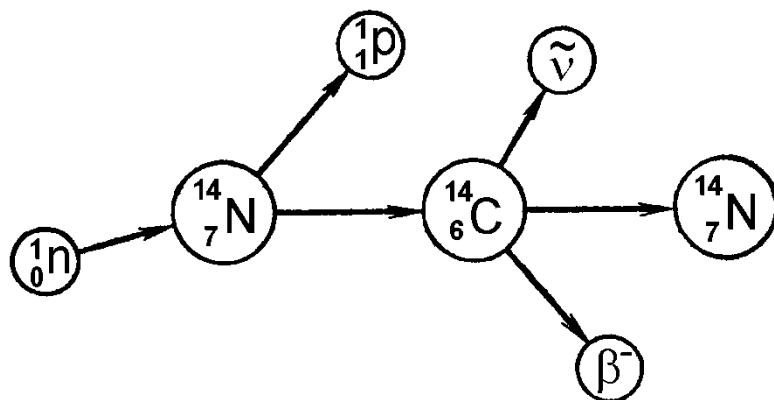
Об отделе

Продукция

Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли ФГУП "СНИИМ" на основе Государственного вторичного эталона единиц времени и частоты ВЭТ1-19 решает следующие задачи:

- хранение размеров единиц времени и частоты в системе UTC (SU) с погрешностями не более $1,0E-14$;
- передача размеров единиц времени, частоты и шкалы времени рабочим эталонам, средствам измерений времени и частоты отвечающим требованиям ГОСТ 8.129-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты».
- хранение шкал времени в системе UTC (SU) с погрешностью не более 30 нс;
- сличения смещения шкалы координированного времени UTC (Hm) относительно национальной шкалы координированного времени UTC (SU) и других эталонов с погрешностью не более 30 нс;
- контроль сигналов времени и частоты, передаваемых радиостанциями КВ диапазона и космическими навигационными системами ГЛОНАСС и GPS;
- обеспечение потребителей необходимой информацией о времени, частоте и параметрах вращения Земли в соответствии с утвержденными регламентами и программами;
- выполнение комплекса измерений по искусственным спутникам Земли для формирования данных о параметрах вращения Земли;
- осуществление научно-технической деятельности по обеспечению непрерывного функционирования и развития технических средств и систем Государственной службы времени и частоты;
- содержание специализированных зданий, сооружений, систем энергообеспечения, систем прецизионного кондиционирования, средств защиты от внешних возмущений, пожарной безопасности, средств связи и других средств инфраструктуры обеспечения бесперебойной работы ГСВЧ;
- предоставляет точную информацию о времени и дате потребителям глобальной сети Интернет в свободном доступе по ссылке: time.novosibirsk.ru;
- предоставляет информацию о точном значении времени и календарной дате, а также эталонные сигналы времени формируются на основе национальной шкалы времени Российской Федерации, через глобальную сеть интернет с помощью NTP сервера;

Радиоуглеродный метод

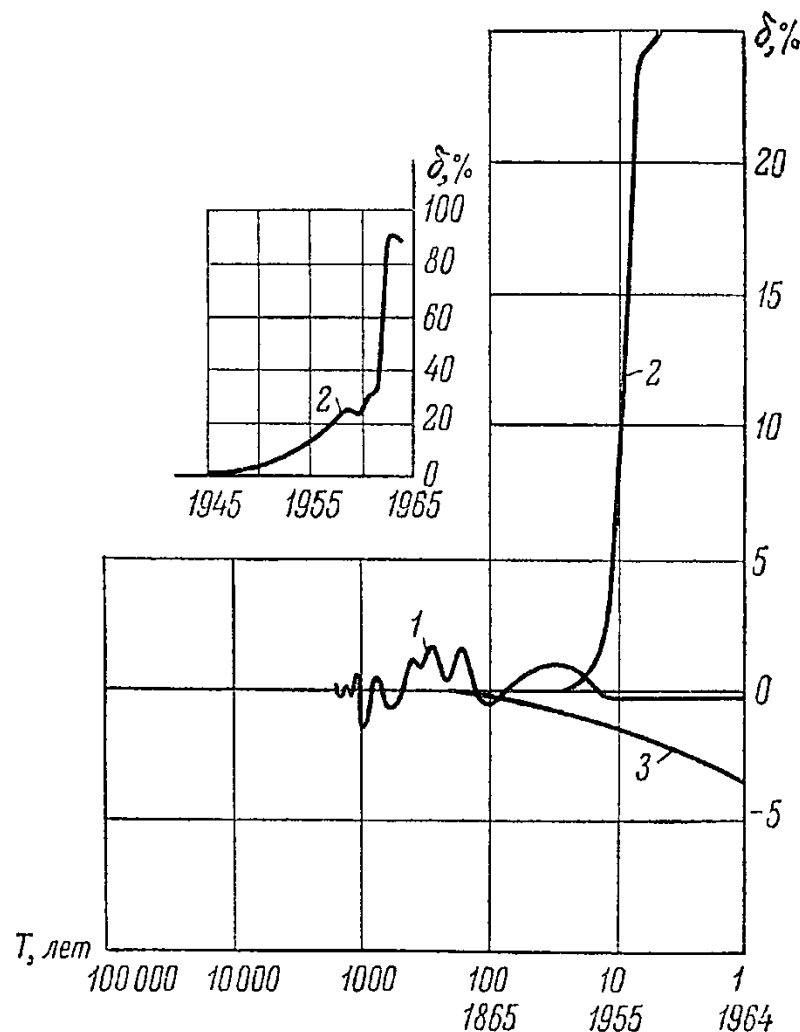


Реакция образования и распада
радиоуглерода ^{14}C

Период полураспада изотопа ^{14}C равен
5730 годам

Удельная активность углерода ^{14}C
от времени в результате:

1 – изменения солнечной
активности, 2 – ядерных испытаний,
3 – выброса CO_2 в атмосферу



Уран-свинцовый метод

Шаг влево – α частица

Шаг вправо – β частица

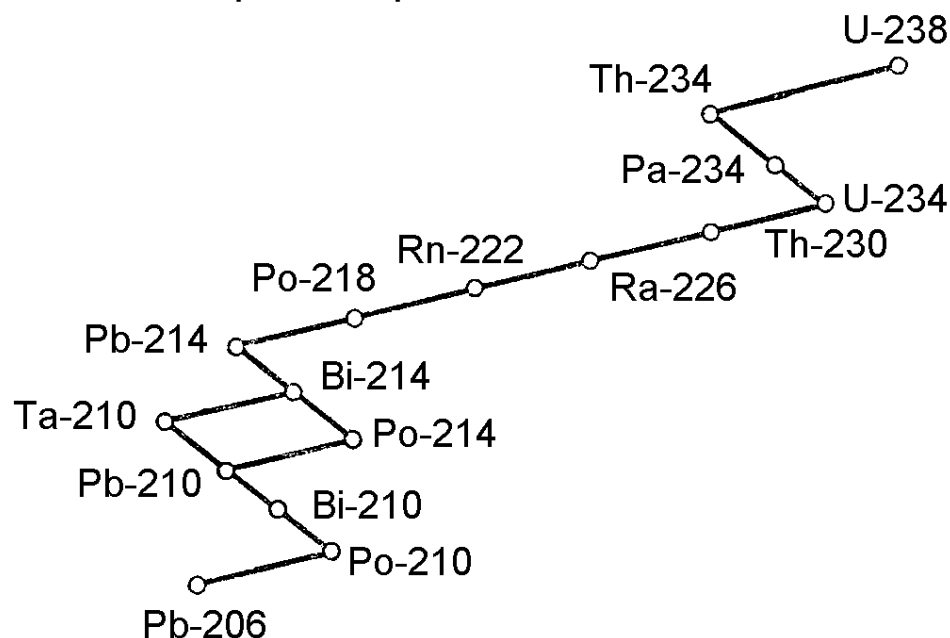
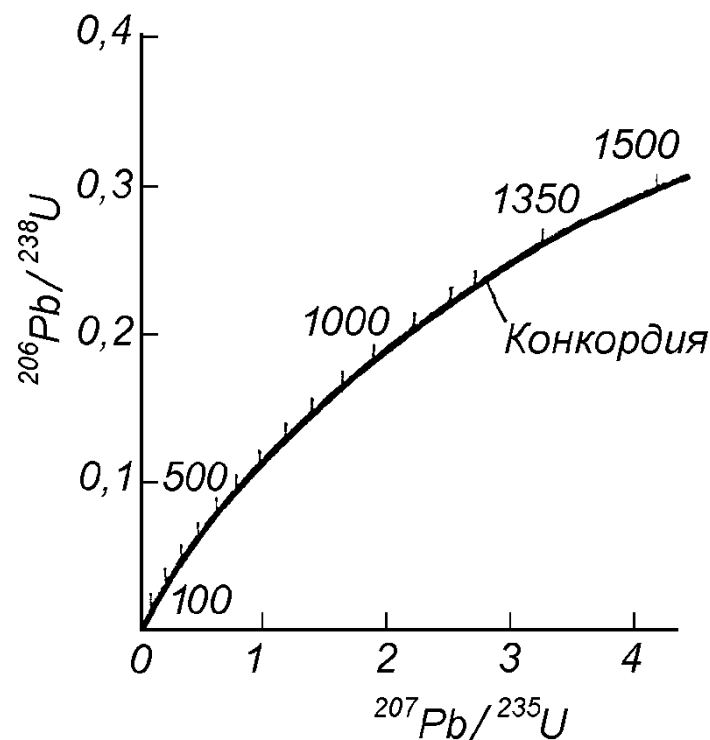


Схема распада изотопов ^{238}U – ^{206}Pb

Времена полураспада ^{238}U и ^{235}U

4,51 и 0,71 миллиарда лет
соответственно

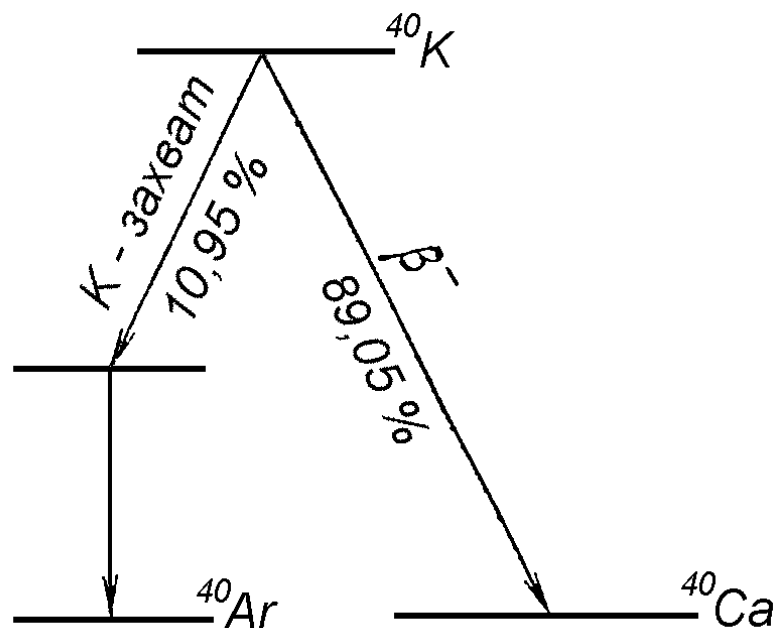


Конкордия

День физики, 17 сентября 2023



Аргон-калиевый метод

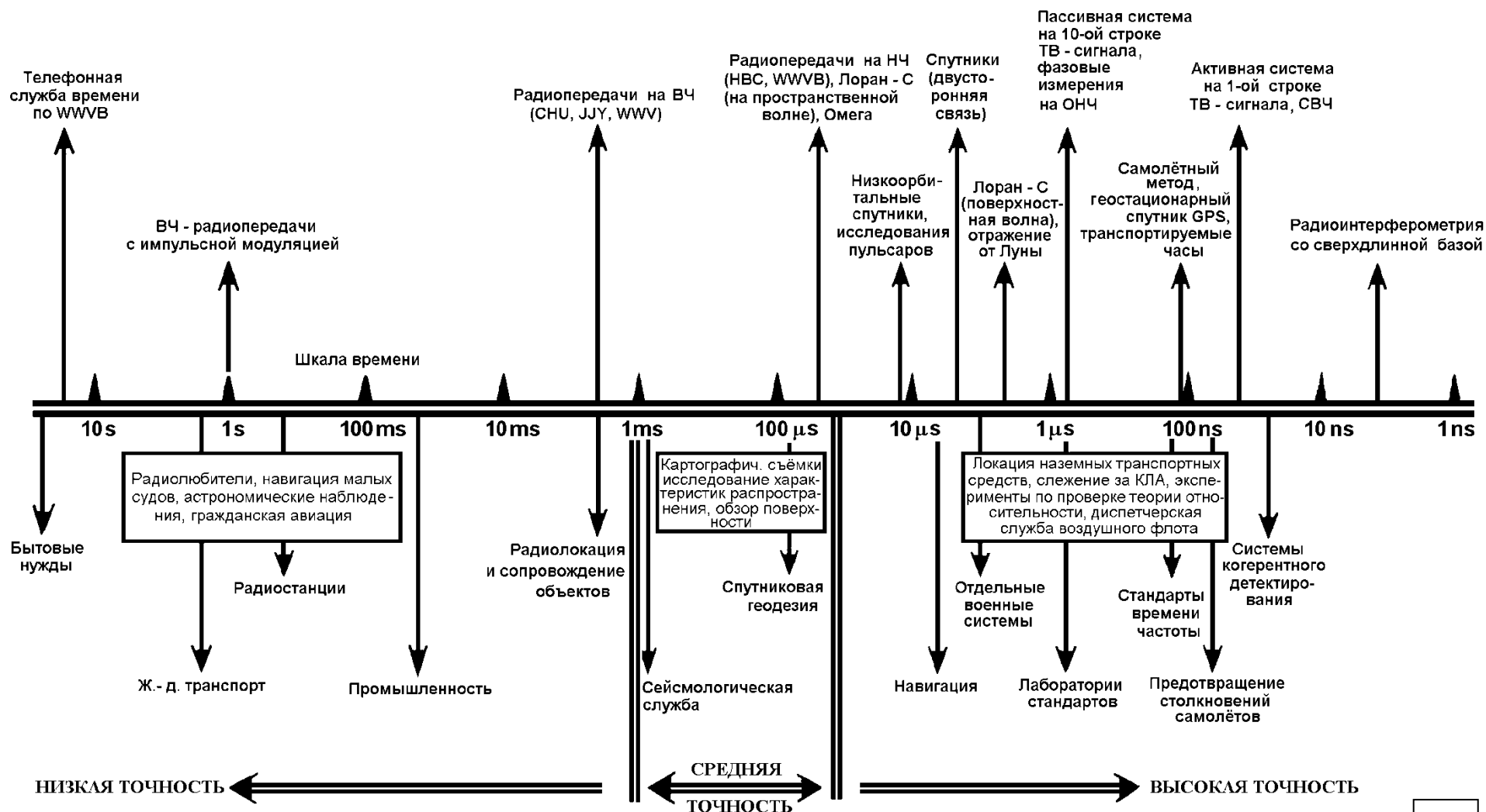


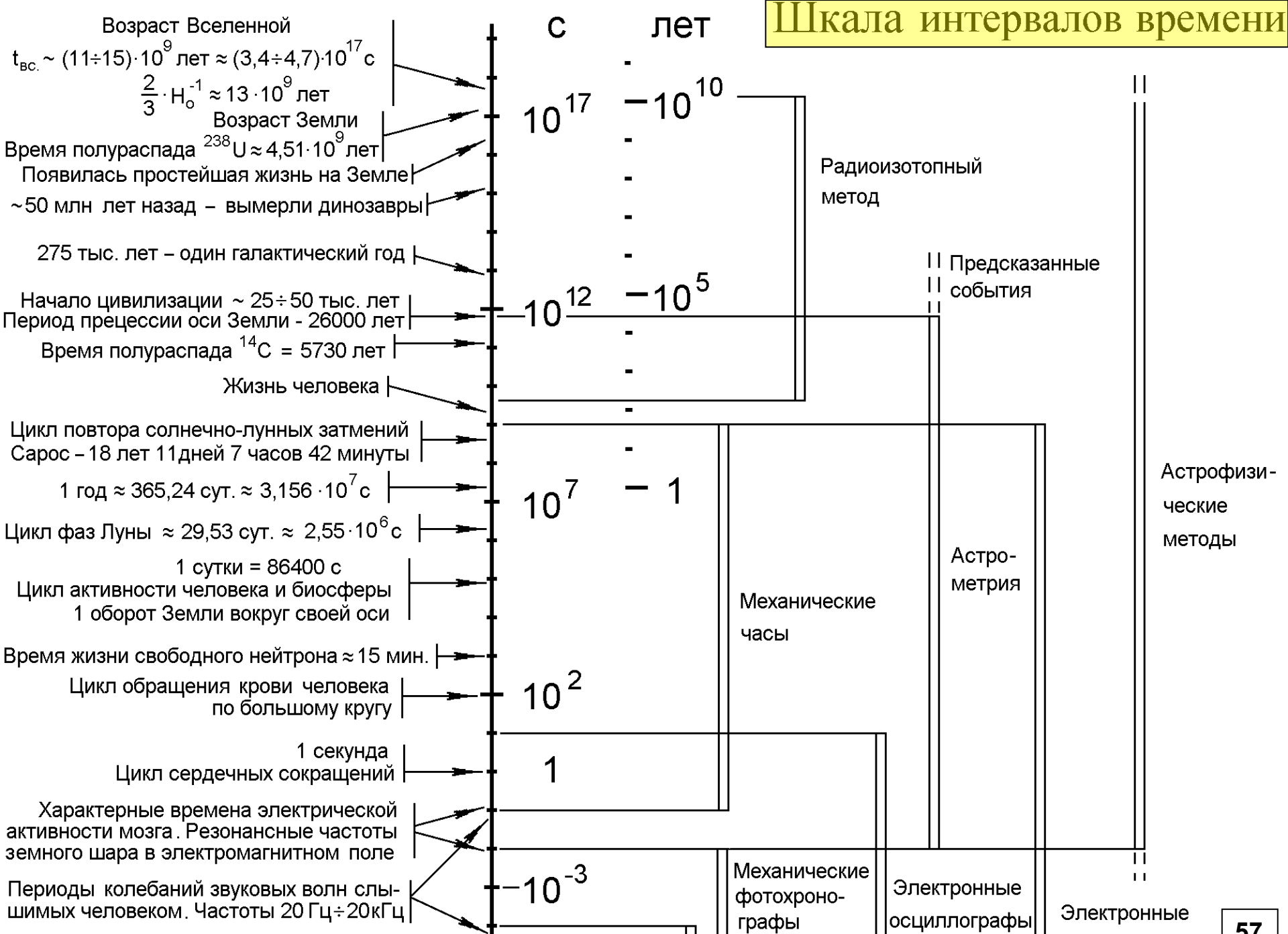
Два стабильных
изотопа ^{39}K (93,08 %),
 ^{41}K (6,91 %)

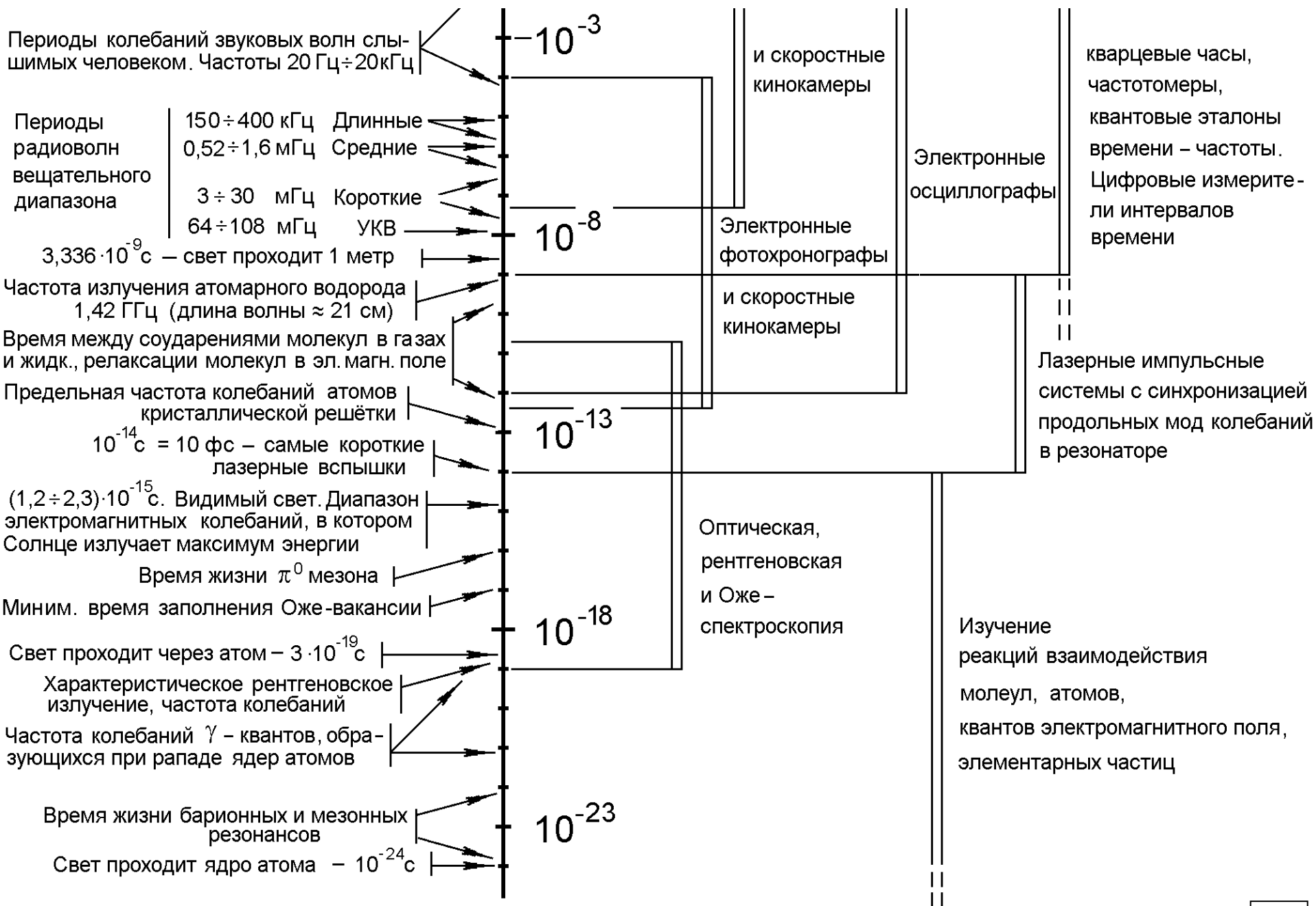
и один нестабильный
 ^{40}K (0,0119 %)

с временем
полураспада 1,31
миллиарда лет

Службы времени частоты. Источники и потребители сигналов







Теоретические оценки

В завершение картины стоит сказать про характерные времена, которые следуют из предсказаний теорий объединения электромагнитного, слабого, сильного и гравитационного полей и модели развития Вселенной после Большого Взрыва. Согласно этим моделям:

- До времени 10^{-43} с после Большого Взрыва температура Вселенной составляла более 10^{32} °K и все поля представлялись единым полем.
- Позднее 10^{-43} с из единого поля выделилось гравитационное поле. В период времени последовавшим за 10^{-35} с после Большого Взрыва (при температуре $\sim 10^{27}$ °K) из единого поля выделилось сильное взаимодействие. В этот же период (после 10^{-35} с), когда видимый радиус Вселенной составлял ~ 1 см, произошло спонтанное нарушение симметрии Вселенной, в результате чего она почти не содержит антивещества.

Время $t_{pl} = (\hbar G/c^5)^{1/2} \approx 5,391 \cdot 10^{-44}$ с, составленное из постоянной Планка $\hbar$, гравитационной постоянной G и скорости света c , называют планковским временем, а расстояние $c \cdot t_{pl} \approx 1,616 \cdot 10^{-35}$ м – планковским расстоянием.

- Разделение электрослабого взаимодействия на электромагнитное и слабое произошло по прошествии границы $10^{-12} \div 10^{-10}$ с после Большого Взрыва (при температуре $\sim 10^{15}$ °K).
- Если эти предсказания верны, протон не является стабильной частицей, а имеет время полураспада $10^{30} \div 10^{32}$ с.

До настоящего времени (за исключением единой теории электрослабого взаимодействия) эти цифры пока не подтверждены экспериментом

Некоторые характерные интервалы времени и значения частот, порядок которых стоит помнить физику

- 10^{-24} с – свет проходит ядро атома. Характерное время протекания реакции в ядерной физике и физике элементарных частиц.
- $3 \cdot 10^{-19}$ с – время распространения света через атом. Самые быстрые процессы, связанные с энергетическими переходами в глубоких электронных оболочках атомов.
- $(1,2 \div 2,3) \cdot 10^{-15}$ с – периоды колебаний для оптических электромагнитных волн видимого глазом диапазона. Соответствующий диапазон частот – $(8,3 \div 4,3) \cdot 10^{14}$ Гц. Данные величины характеризуют не только глаз, но и Солнце – на этих частотах Солнцем излучается максимум энергии.
- 10^{-14} с – самые короткие вспышки света, которые в настоящее время удаётся получать с помощью лазеров.
- $3,3 \cdot 10^{-9}$ с = 3,3 наносекунды – время, за которое свет и радиоволны проходят в вакууме (воздухе) расстояние 1 метр.
- $5 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-5}$ с – периоды звуковых колебаний, доступных уху человека (соответственно интервал частот 20 Гц $\div$ 20 кГц).
- 15 мин – среднее время жизни свободного нейтрона.
- $3,1 \cdot 10^7$ с – количество секунд в году.
- 18 лет 11 дней 7 часов 42 минуты – полный цикл лунных и солнечных затмений в масштабе всей Земли (сарос).
- 400 лет (примерно) – период телескопической астрономии.
- $5 \div 6$ тыс. лет – существование науки астрономии, период полураспада ^{14}C .
- 26000 лет – период прецессии оси Земли.
- $25 \div 50$ тыс. лет – эпоха грубой обработки камня человеком.
- 275 тыс. лет – один галактический год – время одного оборота Солнца вокруг центра Галактики.
- 50 млн лет – вымерли ящеры. На 15 млн лет ранее закончился тёплый мезозойский период.
- Более 1 млрд лет – появление жизни на земле в виде простейших организмов.
- 1,5 млрд лет – средний возраст пород земной коры.
- 4,6 млрд лет – возраст Земли, период полураспада ^{238}U .
- 4,7 млрд лет – возраст Солнечной системы.
- $11 \div 15$ млрд лет = $(3,4 \div 4,7) \cdot 10^{17}$ с – возраст Вселенной.

История летнего времени

- В России летнее время впервые было введено декретом Временного правительства от 1 июля 1917 года.
- Однако, в соответствии с Декретом СНК РСФСР от 22 декабря 1917 года (по старому стилю) «О переводе стрелки часов», 27 декабря (по старому стилю) этого же года стрелки часов были снова переведены на час назад.
- В 1930 году было введено декретное время, стрелки часов были переведены на 1 час вперёд относительно действовавшего на тот момент поясного времени, которое было введено декретом Совета Народных Комиссаров РСФСР «О введении счёта времени по международной системе часовых поясов» с 1 июля 1919 года.
- Перевод стрелок часов на летнее время был возобновлён с 1 апреля 1981 года Постановлением Совета министров СССР, но уже относительно декретного времени. В результате летнее время стало опережать поясное (принятое декретом 1919 года) на 2 часа.
- 4 февраля 1991 года Кабинет министров СССР постановил отменить как декретное время, так и переводы стрелок, то есть вернуться к стандартному поясному времени,
- Однако спустя год (18 января 1992 года) Правительство Российской Федерации восстановило прежнее времяисчисление.
- В 2003, 2008 и 2009 годах в Государственную думу вносились законопроекты об отмене перехода на летнее время, но они были отклонены.
- 8 февраля 2011 года президент России Дмитрий Медведев дал поручение правительству об отмене перевода стрелок: после перехода на летнее время 27 марта 2011 года Россия должна жить только по летнему времени, которое опережает поясное (принятое декретом 1919 года) на 1 или 2 часа в зависимости от региона. В соответствии с этим поручением был подготовлен «Закон об исчислении времени», который Государственная дума приняла 20 мая. 3 июня 2011 года президент подписал Закон, и он вступил в силу с 6 августа 2011 года. Регулярно в думе поднимался вопрос о возврате зимнего времени. Но сейчас он затих

Оптимальное время

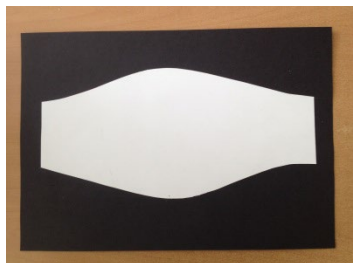


рис. 1.



рис. 2.



рис. 3.

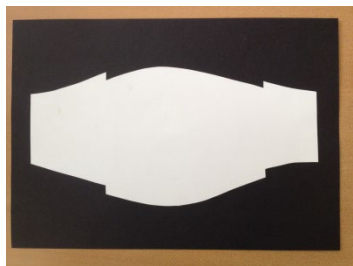


рис. 4.



рис. 5

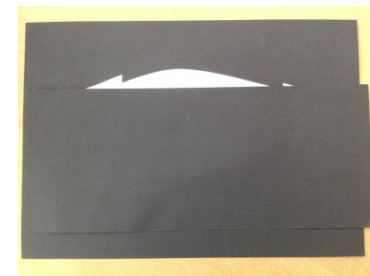
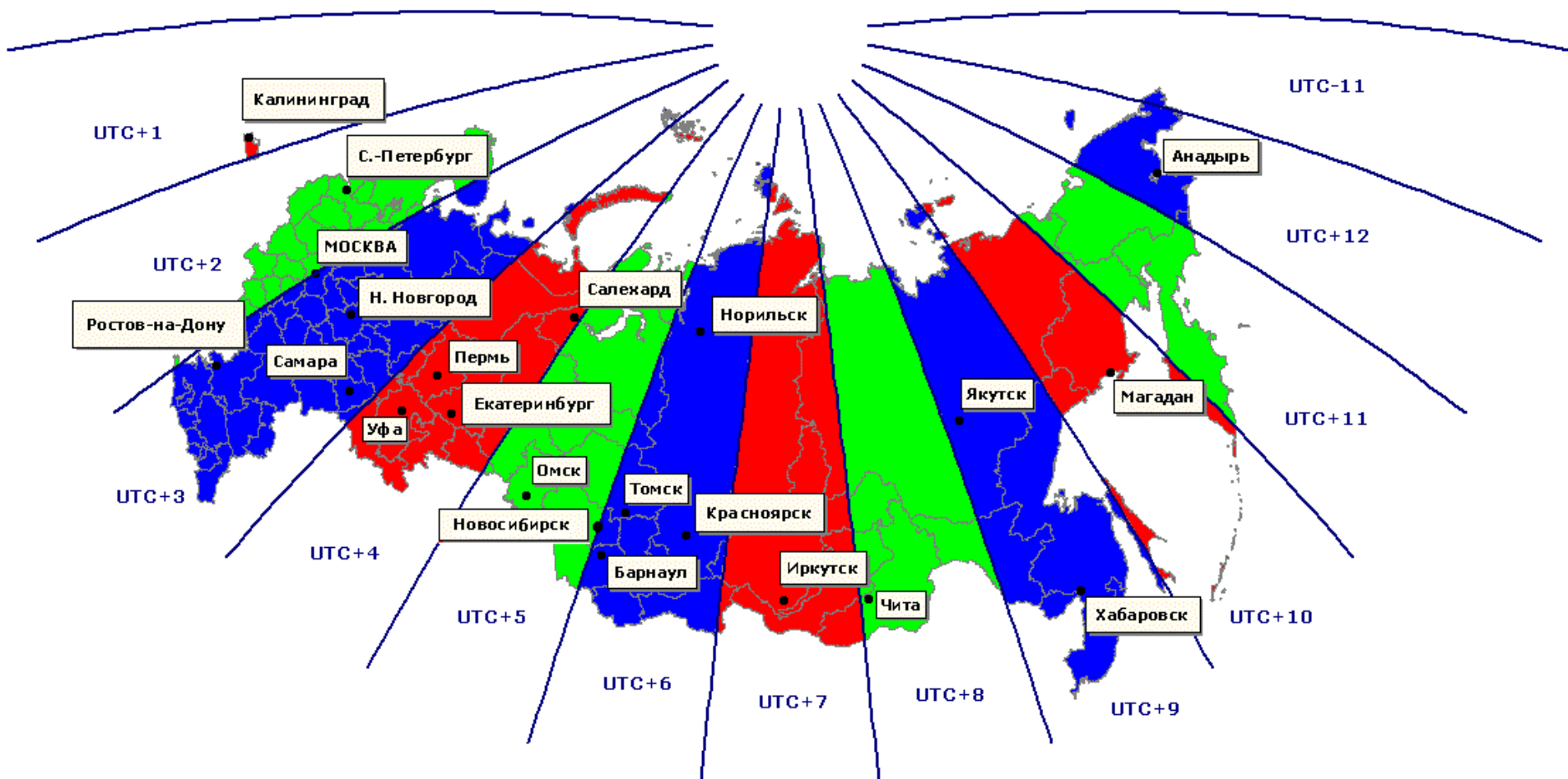


рис. 6.

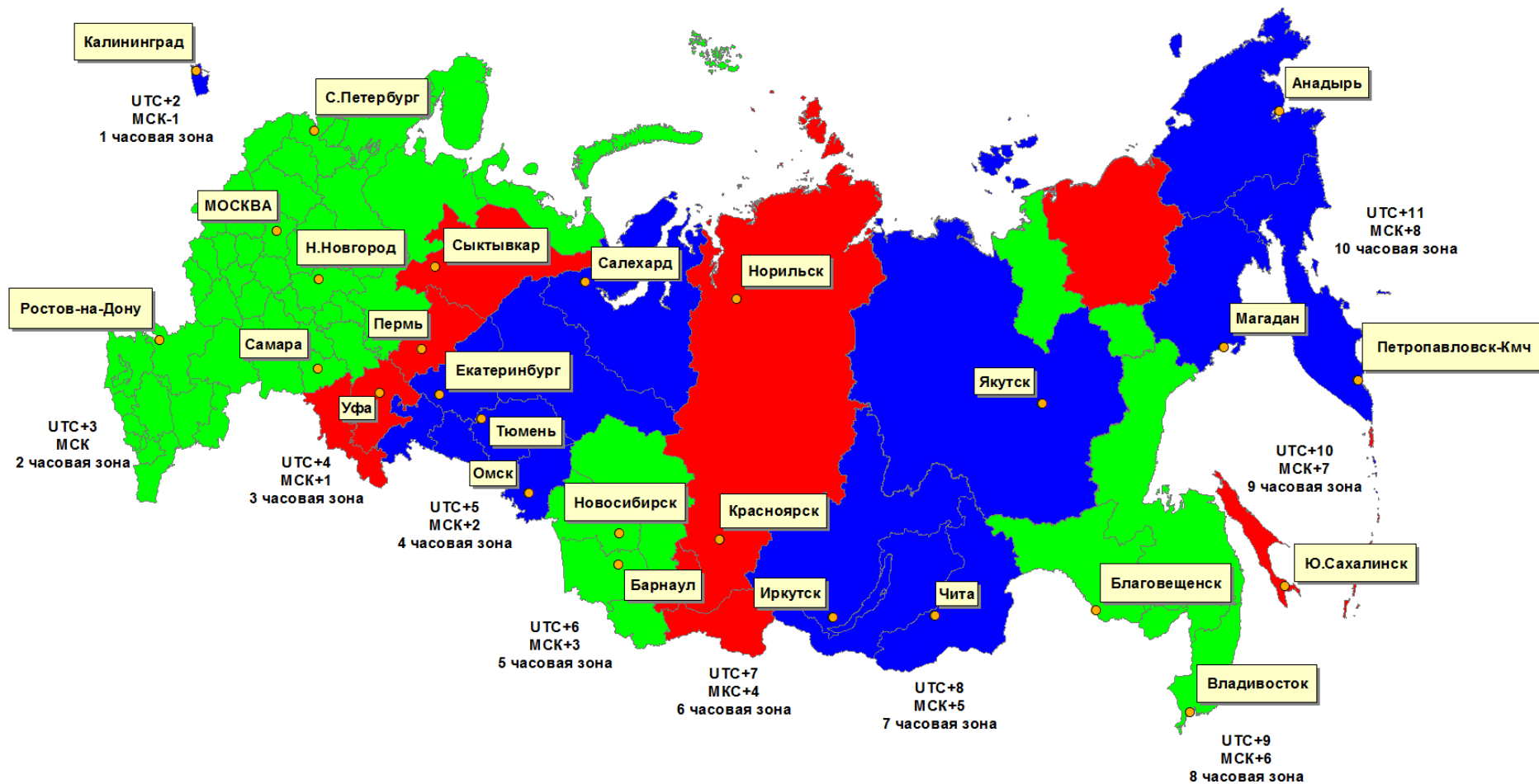
- Человек спит 8 часов и 16 часов бодрствует. Длительность дня меняется в течение года от минимального значения зимой до максимального значения летом. Как это показано на рис. 1
- Берем черную полосу бумаги шириной 16 часов (рис.2) – временем бодрствования человека и располагаем её таким образом (рис. 3). Практически все дневное время приходится на время бодрствования человека. И не нужны ни какие переводы стрелок.
- Перевод стрелок приводит к тому, что длительность дня в течение года выглядит следующим образом (рис. 4). Показаны точка перевода стрелок весной вперед, точка перевода стрелок часов назад осенью.
- Но и в этом случае мы могли бы использовать полностью использовать солнечный свет, если бы жили вот так (рис. 5).
- Но и с летним временем живут вот так (рис. 6). Теряя в год почти 300 часов светлого времени. Летом спим по утрам, когда солнце светит, а ложимся спать, когда оно уже зашло.

Часовые пояса России относительно математических (географических) меридианов



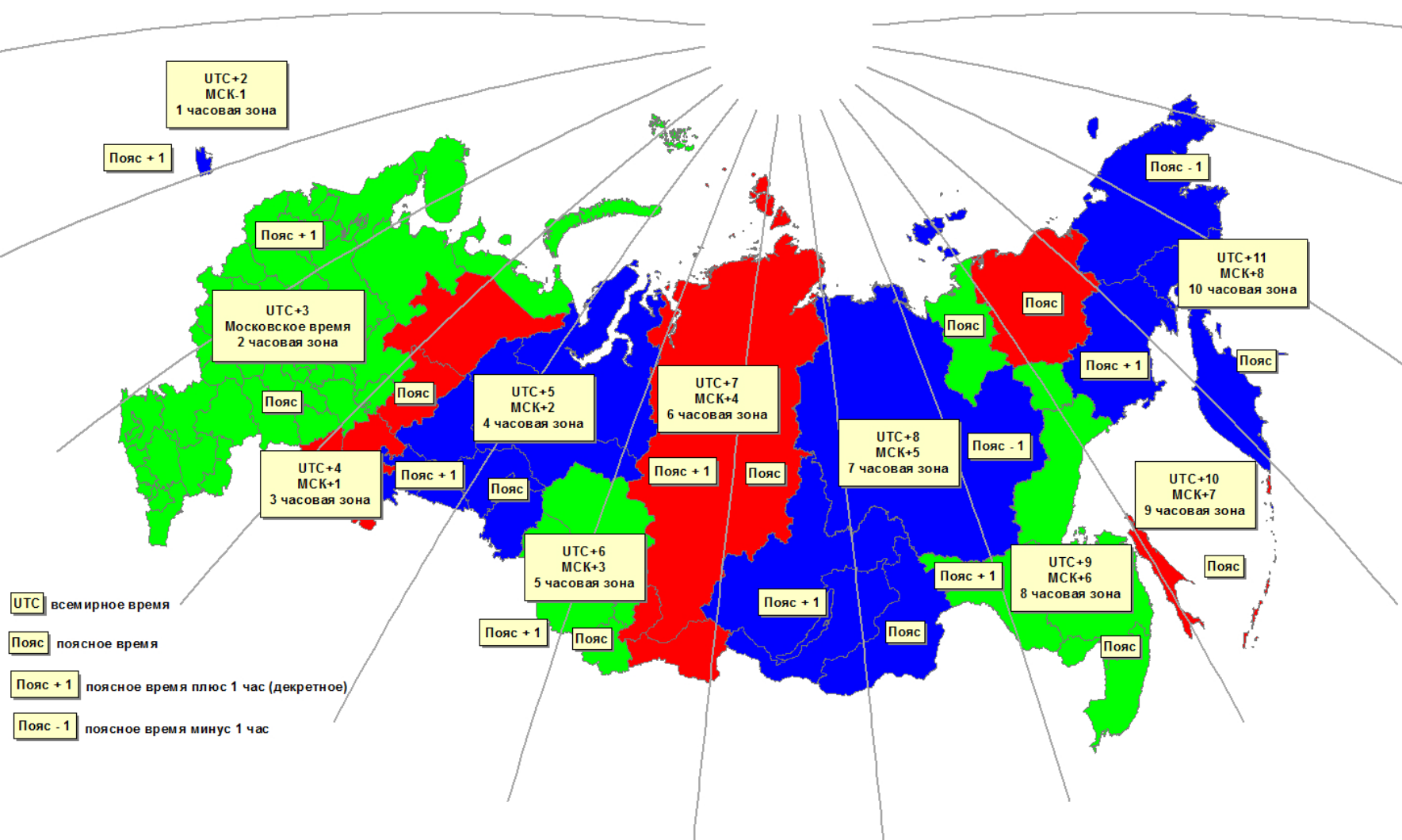
Москва находится на границе между 2-ым и 3-им часовыми поясами.
Новосибирск находится на границе между 5-ым и 6-ым часовыми поясами

Часовые пояса по Законопроекту № 431985-6



20 января 2014 г. в Госдуму был внесён Законопроект № 431985-6 о внесении изменений в Федеральный закон «Об исчислении времени». Если отобразить этот перечень в картографическом виде, то получится следующая картина.

Искажения времени относительно поясного времени



Данные искажения могут вызвать недовольства среди населения
По результатам референдумов часовые пояса были изменены ещё раз

Вариант часовых поясов в настоящее время

Часовые пояса России с 24 июля 2016 г.



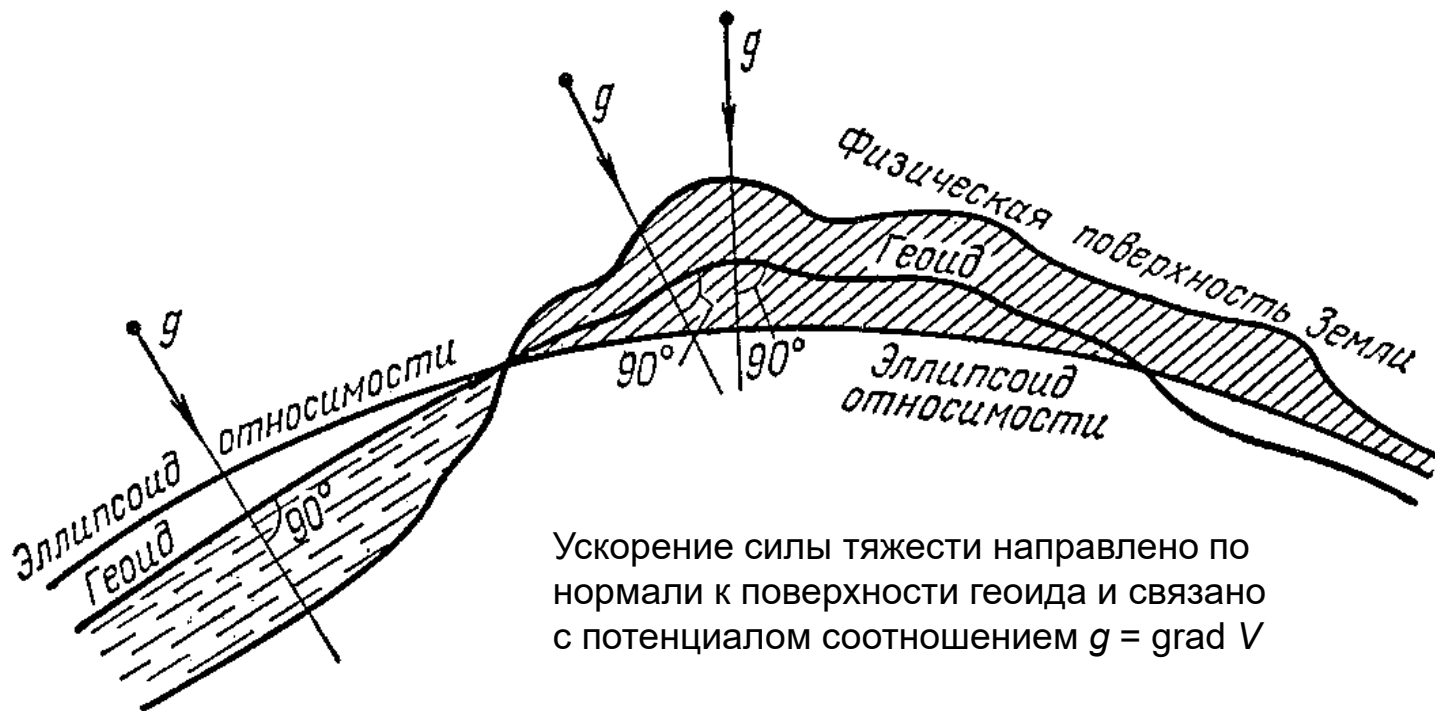
В настоящее время в 13ч 30 мин – астрономический полдень в Новосибирске по ССВ.
Реальный полдень по Солнцу – см. поправки уравнения времени (в пределах ± 15 мин)

Реформы календаря в России

Ю. Цезарь – Созиген 46 г. д.н.э., Григорий XIII – Л. Лилио 1582г

- В декрете Совета народных комиссаров от 25 января 1918 г., подписанном В. И. Лениным, предписывалось день, следующий после 31 января 1918 г., считать днём 14 февраля того же года. Таким образом накопившееся к этому времени расхождение в 13 дней было исправлено.
- Между 1929 и 1940 годами в Советском Союзе календарная реформа проводилась трижды.
- В 1930 г. декретом правительства СССР в стране был осуществлён переход на непрерывную производственную неделю, состоящую из четырёх рабочих дней и одного дня отдыха. Предприятия работали непрерывно, а рабочие и служащие, распределённые по пяти группам, попеременно отдыхали.
- С 1 декабря 1931 г. в СССР пятидневная неделя была заменена шестидневной так, что все рабочие и служащие отдыхали в одни и те же дни.
- 26 июня 1940 г. указом Президиума Верховного Совета СССР в Советском Союзе семидневная неделя была восстановлена.
- В настоящее время РПЦ сохраняет счёт времени и всех церковных праздничных дней согласно юлианскому календарю.

Навигация на поверхности и в окрестности Земли



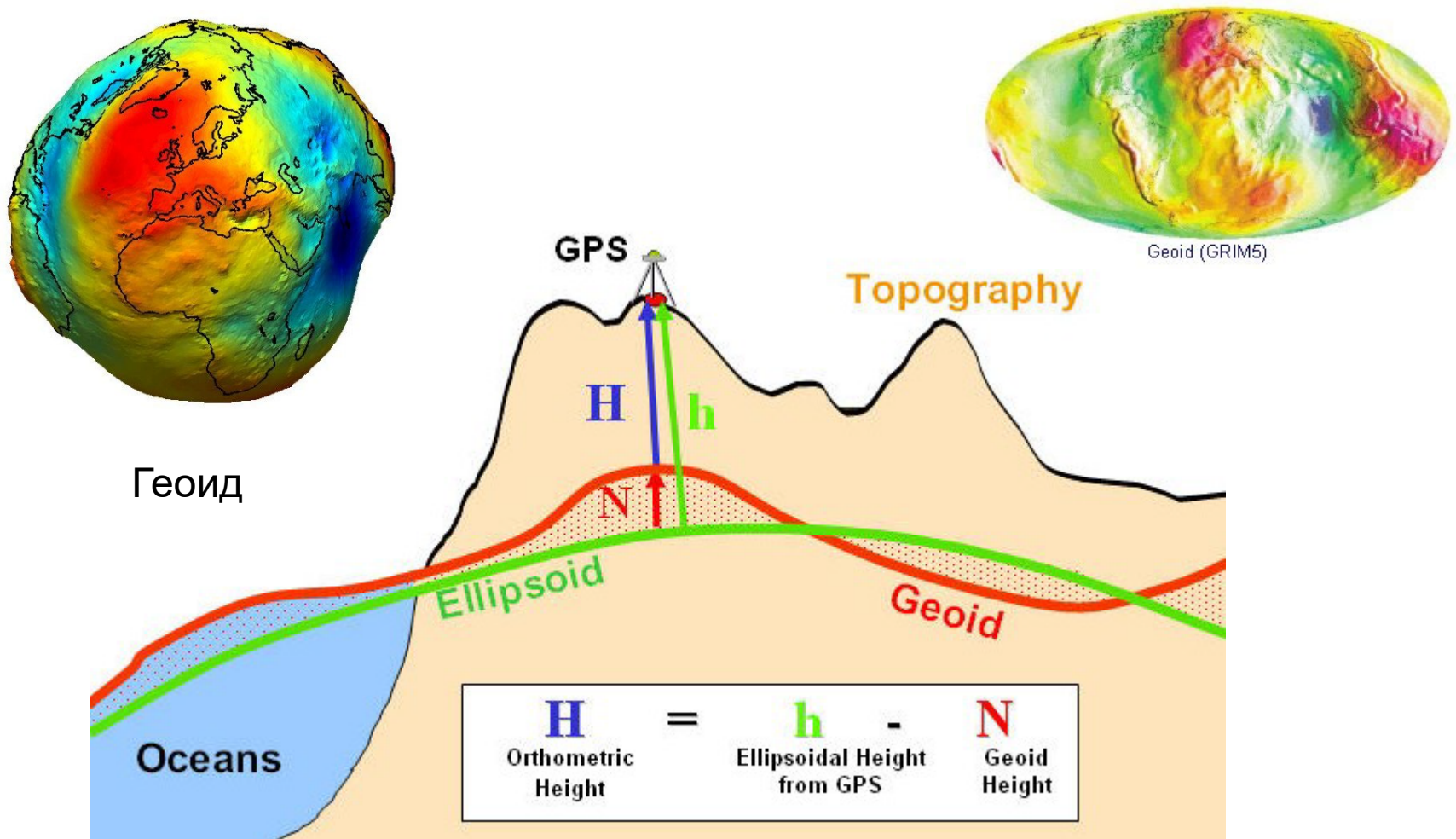
Ускорение силы тяжести направлено по нормали к поверхности геоида и связано с потенциалом соотношением $g = \text{grad } V$

За динамическую форму Земли принимается одна из уровневых поверхностей потенциала земного притяжения U . Потенциал V , выводимый по измерениям ускорения силы тяжести g на поверхности Земли, содержит влияние вращения Земли

$$V = U + \frac{1}{2} R^2 \omega^2 \cos^2 \varphi$$

Система, в которой проводятся наблюдения, является неинерциальной

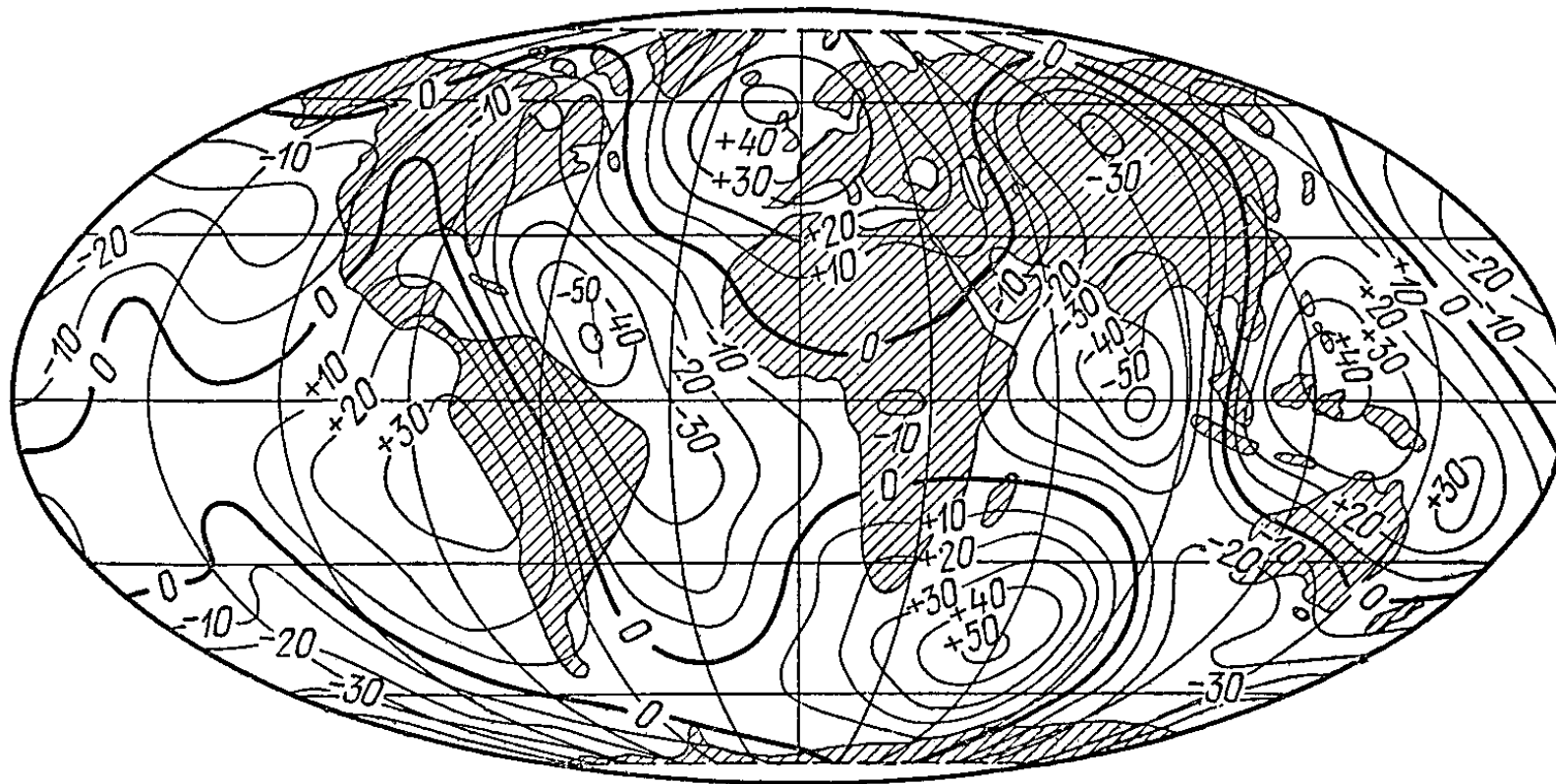
Соотношение измеряемых высот



http://principles.ou.edu/earth_figure_gravity/geoid/

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/goce>

Превышение геоида над эллипсоидом относимости



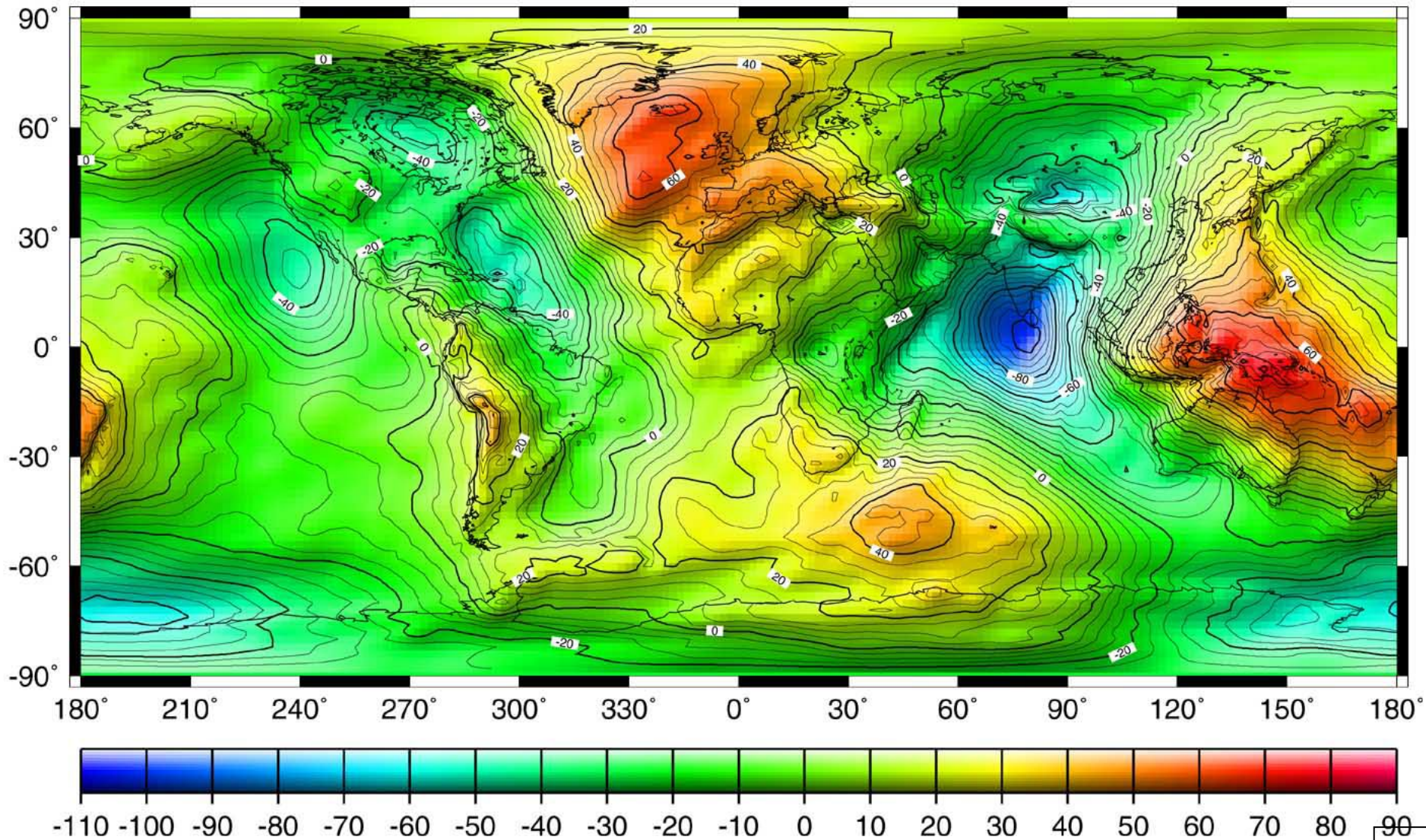
В отечественной модели используются эллипсоиды Красовского (СК-95) и ПЗ-90 (ГЛОНАСС).

В натовской системе Navstar WGS-84 используется эллипсоид GRS – 80. Они все отличаются.

Для расчёта траекторий низколетящих спутников с точностью до 10 - 20 метров обычно используется разложение потенциала по сферическим функциям до 14-го – 15-го порядка. Первым членом ряда, отличающимся от сферы, является референц-эллипсоид. **Резонансные спутники.**

EGM-96 Geoid

to degree & order 180



Солнечно-синхронные спутники

- Для достижения подобных характеристик параметры орбиты выбираются таким образом, чтобы орбита прецессировала в восточном направлении на 360 градусов в год (приблизительно на 1 градус в день), компенсируя вращение Земли вокруг Солнца.
- Прецессия происходит за счёт взаимодействия спутника с Землёй, некруглой из-за полярного сжатия. Скорость прецессии зависит от наклонения орбиты.
- Нужной скорости прецессии можно достичь лишь для определённого диапазона высот орбит (как правило, выбираются значения 600-800 км, с периодами 96-100 мин.), необходимое наклонение для упомянутого диапазона высот около 98° .
- Для отечественных аппаратов, обычно выбираются солнечно-синхронные орбиты высотой 630—650 км, наклон плоскости орбиты выбирается равным около 98° .

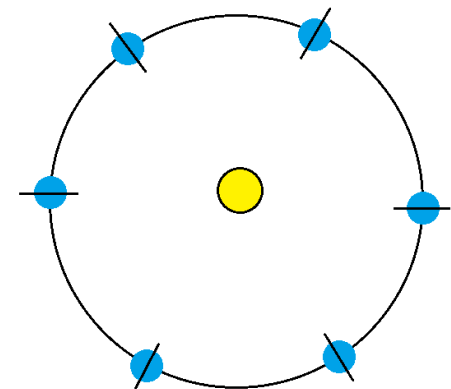
Для американских метеорологических спутников «NOAA», имеющих высоты орбит около 1500 км, углы наклона плоскости орбит составляют $115-116^\circ$

- Для орбит с большими высотами требуются весьма большие значения наклонения, из-за чего в зону посещений спутника перестают попадать полярные области.

Некоторые спутники,
использующие солнечно-
синхронные орбиты
(кликабельные ссылки)

Станция РООС

[GOCE](#)
[Landsat](#)
[БКА](#)
[Клаудсэт](#)
[Метеор](#)
[Монитор](#)
[NOAA-16](#)
[SOLAR-B](#)
[Персона](#)
[Ресурс-П](#)

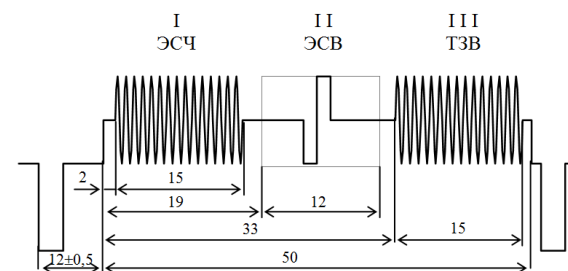


Различные системы служб точного времени и частоты для поддержания шкал UTC и навигации

- **WWVB** – радиостанция службы времени/частоты США, работающая на коротких волнах.
- **RWM** – радиостанция службы времени/частоты России, работающая на коротких волнах, также ДВ радиостанции РБУ и РТЗ. **См. Доп. материалы**
- **Лоран-С** (Английская транскрипция «Loran-C») – глобальная навигационная система стран НАТО. Состоит из 30 – 40 передающих станций мощностью ~ **0,5 МВт**, 99 % энергии которых излучается в полосе **90 ÷ 110 кГц**.
- **Чайка** – отечественная глобальная навигационная система, аналогичная по параметрам системе Лоран-С, работающая в том же диапазоне (**100 кГц**).
- **Омега** – глобальная навигационная система стран НАТО, работающая в диапазоне особо низких частот (ОНЧ – русская аббревиатура, VLF – английская) – **10 ÷ 30 кГц**. Сеть состоит из 8 станций мощностью порядка **10 кВт**.
- **Сигнал** – отечественная глобальная навигационная система, аналогичная по параметрам системе Омега, работающая в том же диапазоне (**10 ÷ 30 кГц**). Входит в автоматизированную систему приема-передачи сигналов боевого управления и раннего оповещения о ядерной угрозе **Вьюга** для РВСН и стратегических ВВС. Также входит в службу точного времени стран СНГ **Бета**. Всего 6 станций с мощностью около **1-1,8 МВт** – Вилейка (Белоруссия), Архангельск, Краснодар, Нижний Новгород, Бишкек (Киргизия), Хабаровск. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Бета_\(служба_времени\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Бета_(служба_времени))
Кроме того, навигационные радиостанции на сверхдлинных и длинных волнах входят в единую систему под названием «**Цель**».
- **Навстар (GPS)** – глобальная спутниковая навигационная система стран НАТО, использующая группировку высокоорбитальных спутников (передающих станций) с бортовыми эталонами времени. Рабочий диапазон передатчиков ~ **1,2 ГГц**
- **ГЛОНАСС** – глобальная навигационная спутниковая система. Отечественная навигационная система, аналогичная по характеристикам и диапазону рабочих частот системе Навстар.

Другие методы передачи и поддержания шкал UTC

- **Телевизионный сигнал.** Участок телевизионного сигнала в котором нет передачи изображения. За рубежом - 1-я и 10-я строка, в России (СССР) - 6-я строка.
- **Астрономические объекты.** Пульсары, РСДБ, локация Луны и др.
- **Самолётный метод.**
- **Передача сигналов по оптоволокну**



Форма сигналов и их расположение в интервале шестой строки.



Перевозимые квантовые часы водородные ПКЧВ-М «САПФИР»



Диапазон перестройки выходной частоты
 $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ с шагом $1 \cdot 10^{-15}$

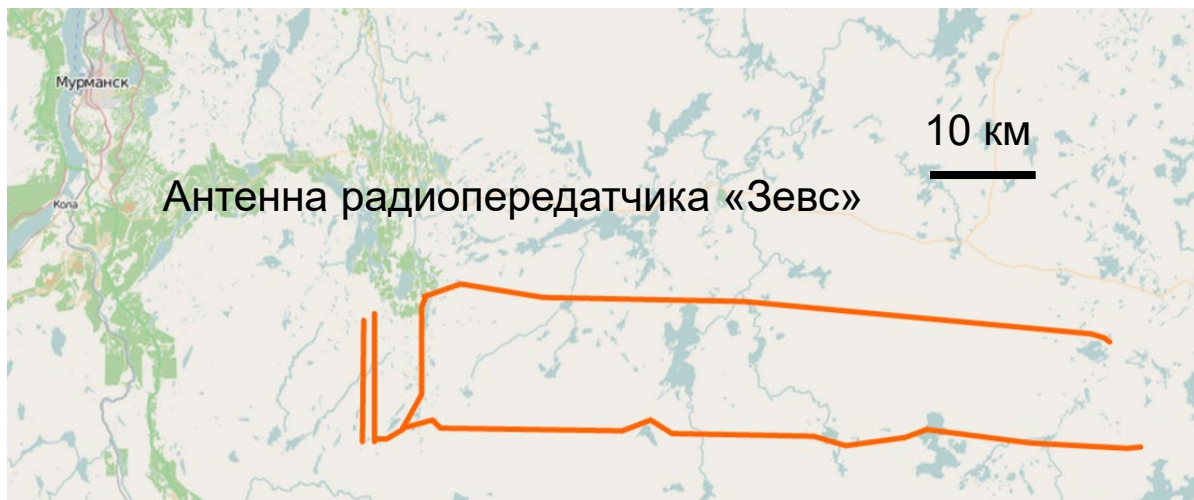
Предназначены для:

- сравнения шкал времени территориально разнесенных объектов;
- формирования и хранения шкалы времени;
- формирования высокостабильных сигналов с частотами 5 МГц, 10 МГц, 100 МГц;
- измерение разности шкал времени пространственно разнесенных эталонов времени, находящихся на расстоянии до 1000 км с погрешностью не более 2 нс

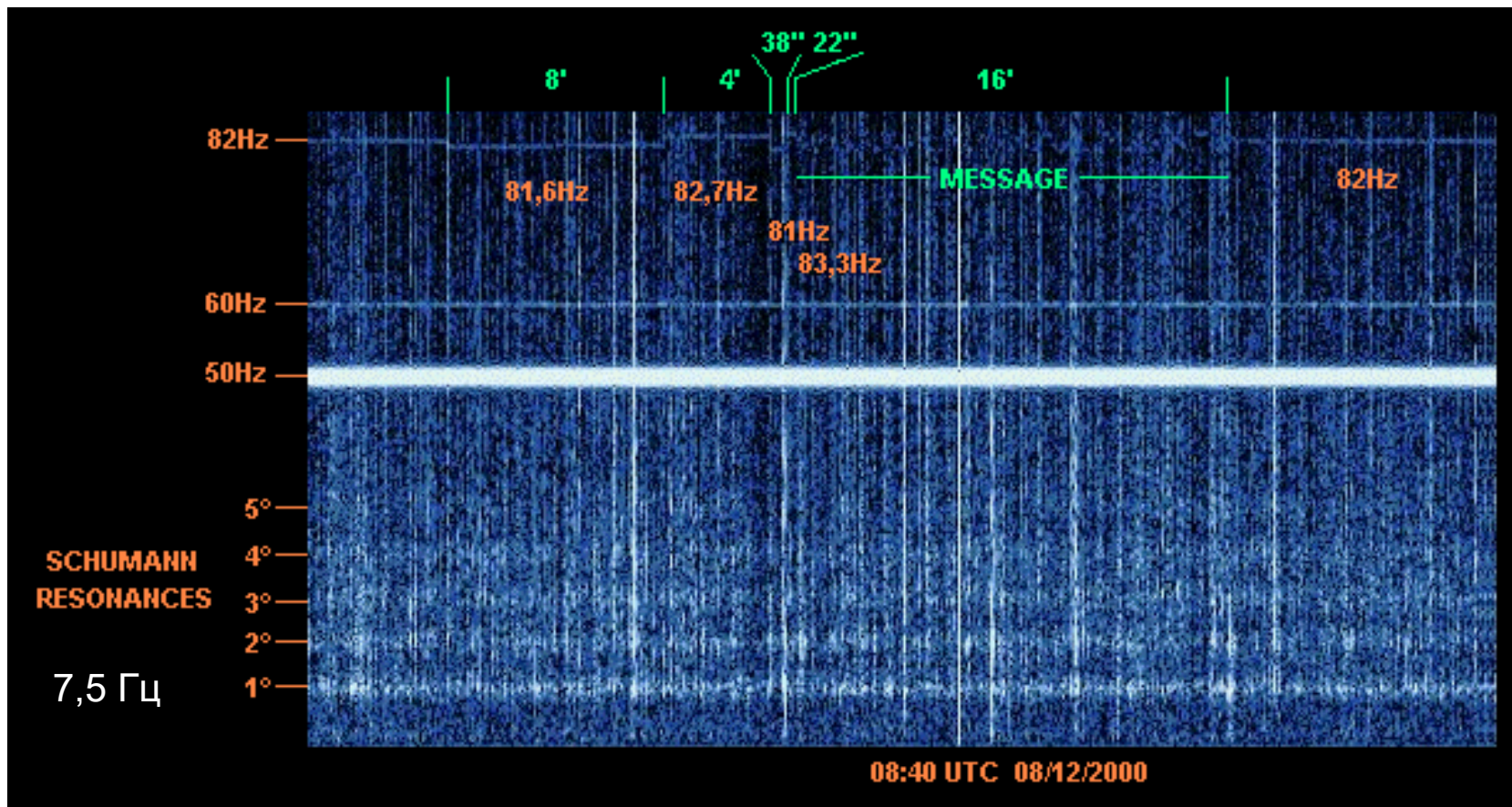
ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ	СКДО
1 с	$5 \cdot 10^{-13}$
10 с	$1 \cdot 10^{-13}$
100 с	$3 \cdot 10^{-14}$
1000 с	$8 \cdot 10^{-15}$
3600 с	$5 \cdot 10^{-15}$
24 ч	$4 \cdot 10^{-15}$

Объекты – радиостанции на сверхдлинных волнах

- «Голиаф», «Антей», «Атлант», «Прометей», «Зевс» «Геракл»
- Кроме того, существует сеть навигационных радиостанций СДВ РСДН-20 (Маршрут) – в Новосибирске, Краснодаре, Комсомольске на Амуре, Ревде, Сейде и Плодовом
<https://ru.wikipedia.org/wiki/РСДН-20>
- До сих пор в качестве резерва спутниковых систем, работают около 20 станций системы «Чайка» (Тропик-2) 100-килогерцового диапазона. Мощности – 700 кВт ÷ 1 Мегаватт
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Чайка_\(навигационная_система\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Чайка_(навигационная_система))
- «Зевс» – частота 82 герца. Мощность 10 ÷ 14 Мегаватт
[https://en.wikipedia.org/wiki/ZEVS_\(transmitter\)](https://en.wikipedia.org/wiki/ZEVS_(transmitter))



Сигнал системы «Зевс»

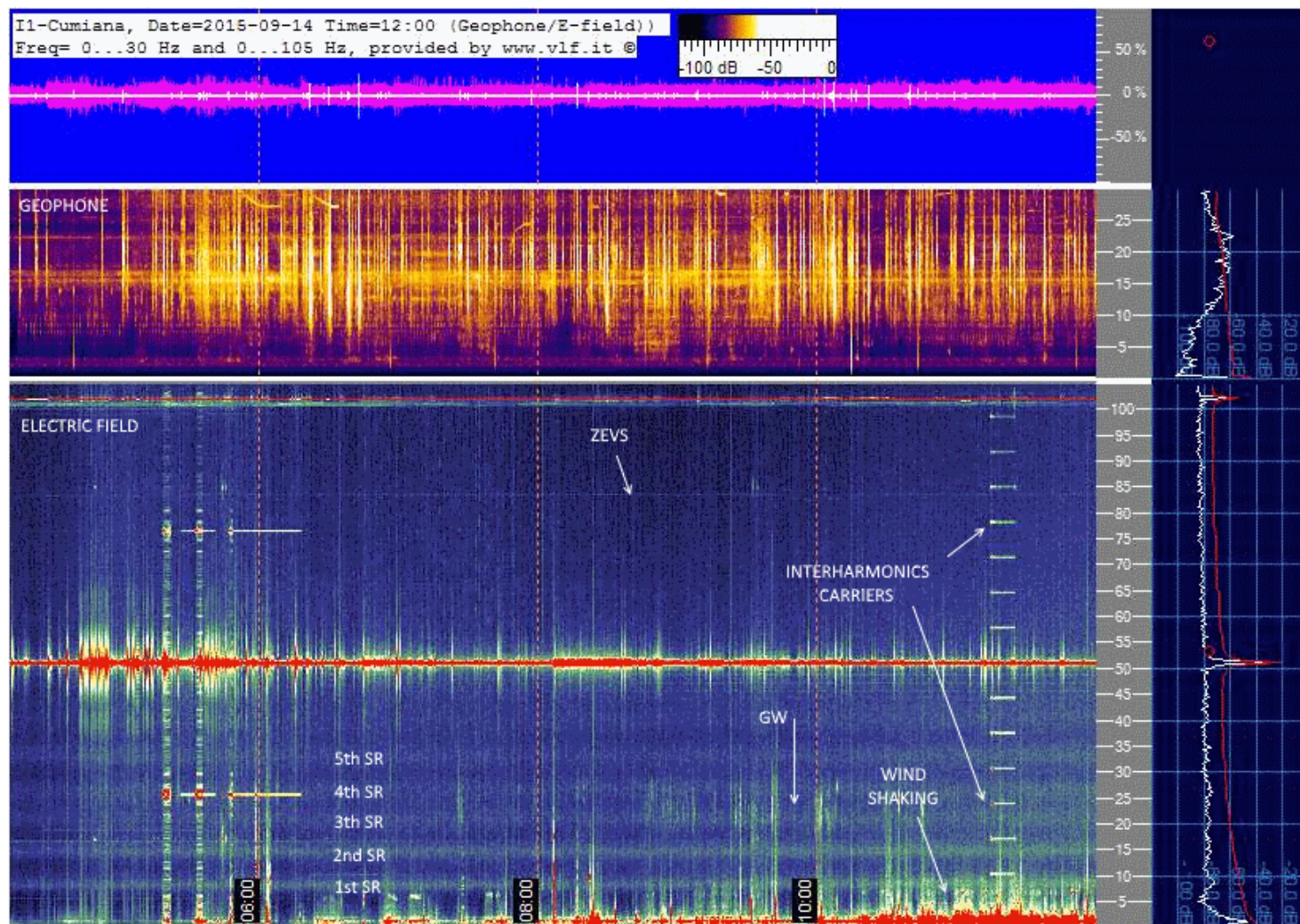


Видны шумановские резонансы земного шара, сигналы промышленной силовой электросети (50 и 60 Гц) и сигнал системы «Зевс» – 82 Гц

«Зевс» работает на частоте 82 Гц (длина волны 3656 км), американская «Seafarer» — 76 Гц (длина волны 3944,64 км).

В связи с финансовыми проблемами система «Seafarer» прекратила в н/в работу.

Спектр сигналов КНЧ. Момент прихода гравитационной волны (GW), синхронный с датчиками LIGO



"Вилейка" - комплекс "Антей"



Радиотехнический центр Военно-морского флота РФ

"Вилейка" - комплекс "Антей"

- На сверхдлинных волнах радицентр может вести связь на расстоянии до 10 тыс. км. Эту возможность ему обеспечивает передатчик мощностью 1 МВт, 3 центральные (высотой по 305 м) и 15 периферийных мачт (по 270 м), держащие высоко над землей 900-тонное антенное полотно площадью более 400 га. В землю вокруг станции зарыто около 700 километров медного кабеля заземления.
- В 1966 г. при радицентре было закончено строительство еще и передающего пункта службы единого времени Министерства обороны СССР, оснащенного аппаратурой эталонного времени "Сандал".
- С тех пор и по настоящее время ежедневно в течение 41 минуты пункт службы единого времени теперь уже Минобороны РФ передает сигнал точного времени, по которому на вторичных часах, находящихся на кораблях ВМФ, производится настройка (без эталонного времени невозможны ни определение точных координат лодки в океане, ни точный пуск с нее ракеты).
- Несмотря на то, что основное оборудование этой станции функционирует уже более 40 лет, сегодня она полностью боеспособна и перекрывает районы Атлантического, Индийского и частично Тихого океанов, где могут оперировать российские атомные подводные лодки.
- "Вилейка" не просто поддерживает связь с лодками в подводном положении, а обеспечивает саму возможность выполнения морскими стратегическими силами России функций ядерного сдерживания и нанесения ими в случае необходимости ракетного удара по врагу. В его задачу входит ретрансляция команды "Пуск", поданной с кремлевского «ядерного чемоданчика».
- После распада Советского Союза, согласно межправительственному соглашению между Российской Федерацией и Республикой Беларусь от 6 января 1995 г., СДВ-радиостанция на 25 лет передана в аренду Министерству обороны России с правом последующего продления.

Как выглядит стационарный пункт приёма сигналов



- Сигнал низких частот затухает под землёй за счёт скин-эффекта с глубиной гораздо меньше, чем радиоволны обычных вещательных диапазонов.
- Поэтому его можно принимать на закопанную в землю антенну.
- Однако он затухает с удалением от передатчика – как все радиоволны.

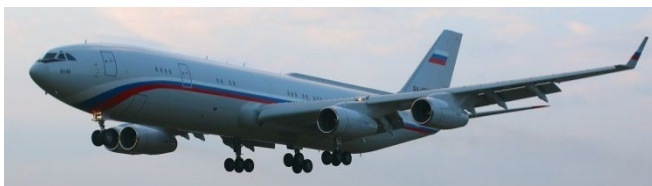
- Сверху табло аппаратуры АСБУ 15Э967М «Вьюга», снизу пульт АСБУ 15Э781 «Сигнал-М»
- Передатчики «Голиаф», «Антей», «Атлант», «Прометей», «Геракл» систем Сигнал, Вьюга, Бета, и радиостанций СДВ РСДН-20 работают в том же диапазоне, что всеми упоминаемая башня Тесла, но каждый во много раз больше и мощнее.
- Если верить конспирологическим теориям, что башня Тесла могла вызвать Тунгусский катаклизм, то эти регулярно работающие станции должны были бы взорвать Чили, Аргентину, а также южные части Тихого и Атлантического океанов на запад и на восток от южной Америки.

Мобильные приемники и передатчики сигналов на СДВ

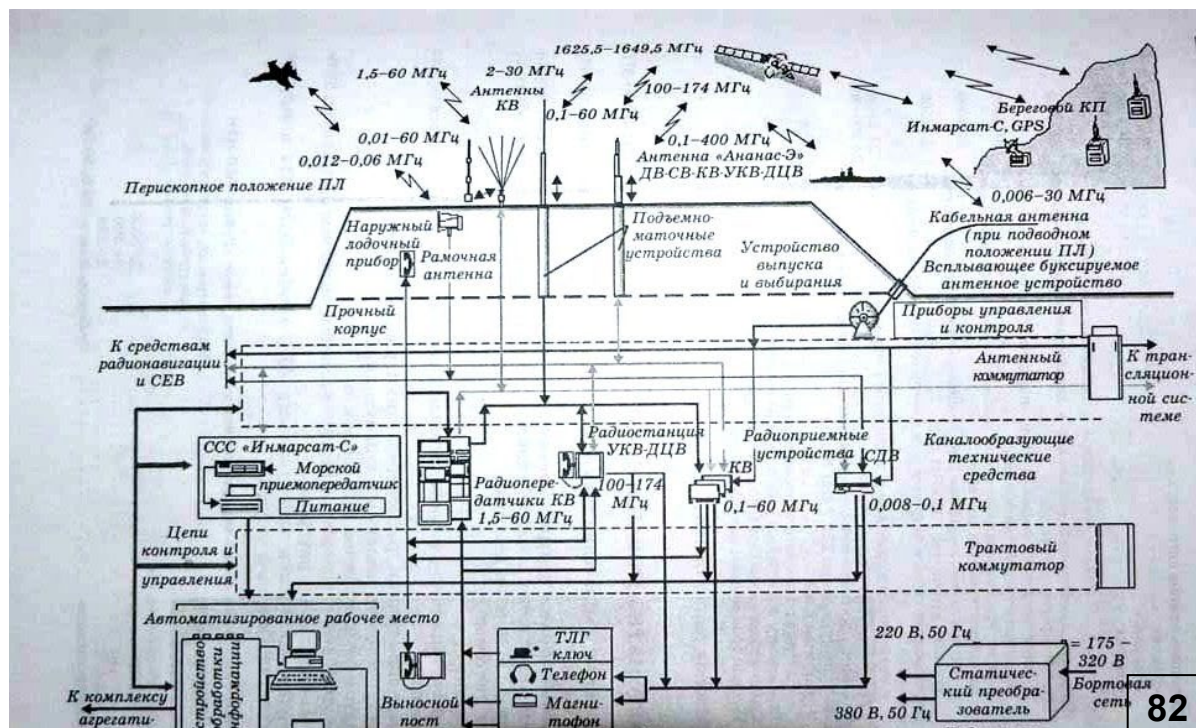


ИЛ-80 (ИЛ-86ВКП). Самолёт – воздушный командный пункт – предназначен для управления Вооружёнными силами в случае вооруженного конфликта с применением ядерного оружия. Снабжен выпускной буксируемой тросовой антенной длиной около 8 км.
Ту-142МР – самолёт-ретранслятор.

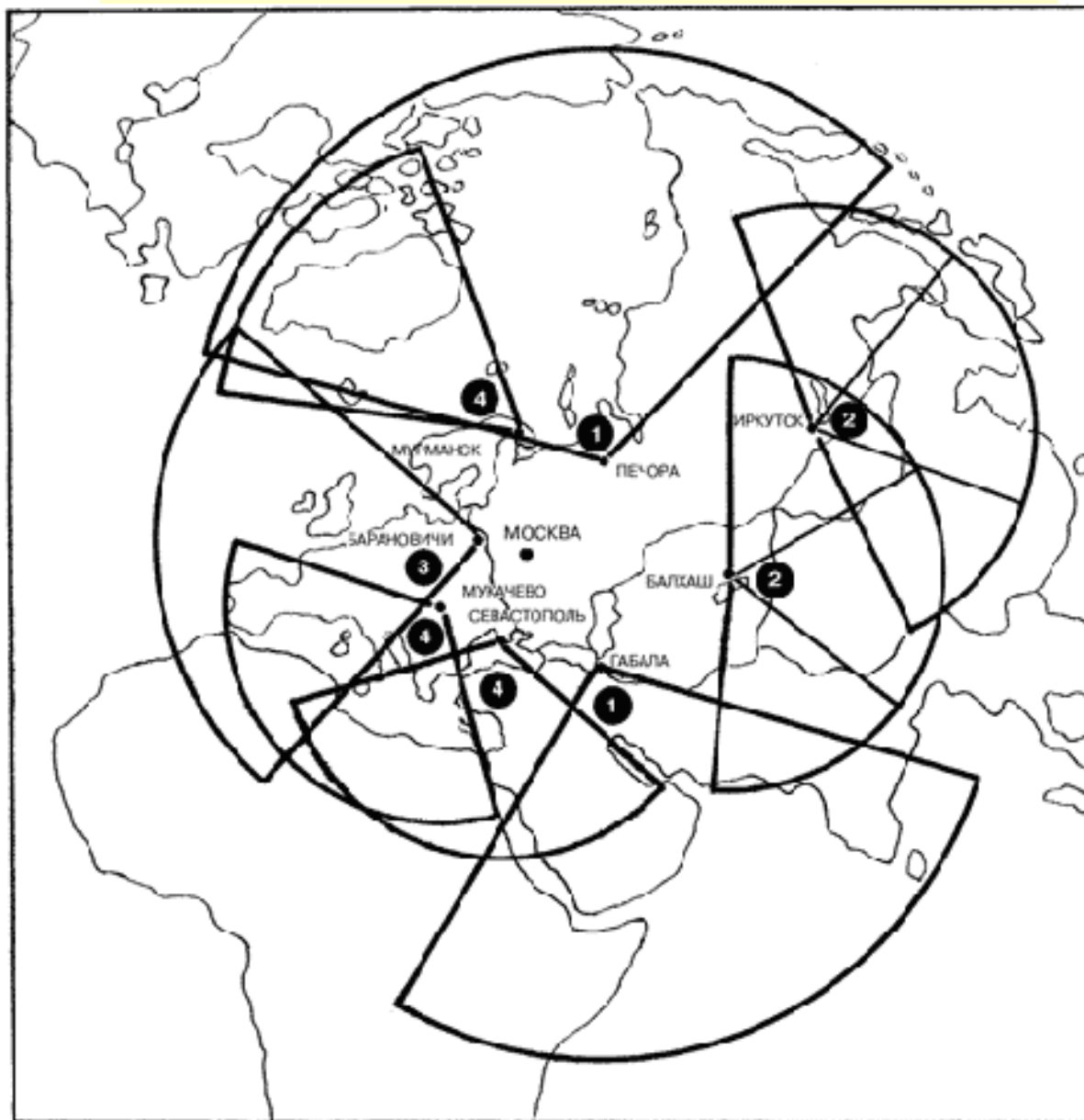
ПЛАРБ – связь на буксируемую под водой антенну.
Используются:
Длинные волны (ДВ, 30-300 кГц),
сверхдлинные волны (СДВ, 3-30 кГц), а также диапазоны инфранизких (ИНЧ, 300-3000 Гц) и крайне низких частот (КНЧ, 3-300 Гц).



ИЛ-96-400



ЗОНЫ КОНТРОЛЯ
ГРУППИРОВКИ РАДИОЛАКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ
СИСТЕМЫ ПРН



- 1 - РЛС типа "Дарьял"
 - 2 - РЛС типа "Днепр" +
сооружаемая РЛС
"Дарьял-У"
 - 3 - РЛС типа "Волга"
 - 4 - РЛС типа "Днепр"
- данные приведены по
состоянию на начало
2000 года.



Программное обеспечение и системы управления

КБ СП (академгородок) – конструкторское бюро системного программирования.

Машины 5Э92, 5Э51

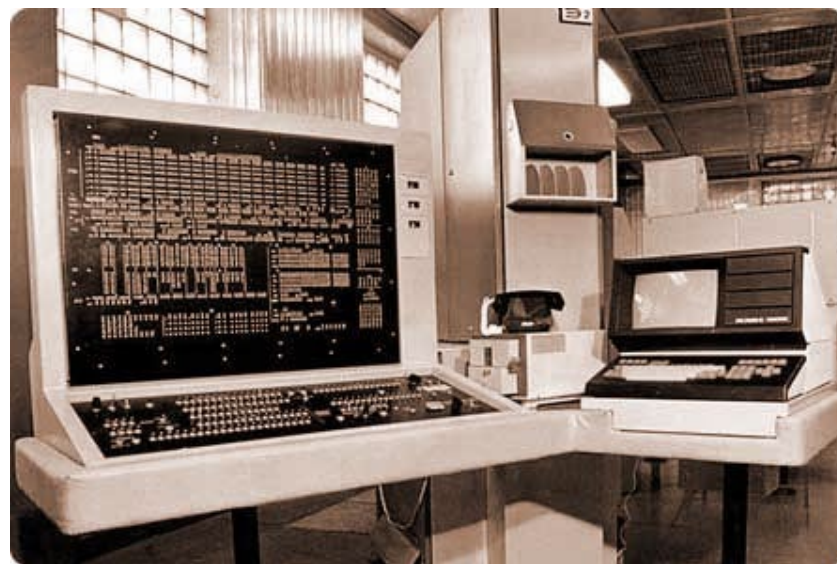
Управление ракетами ПРО и стратегическими, локами Дунай-2, Дуга, Дарьял, Дон, Волга

НФ ИТМиВТ

Операционные системы реального времени и программное обеспечение для ЭЛЬБРУС 1, 2, 3 – управление комплексом «Буран»



БЭСМ - 6



Эльбрус - 2

ЗРЛС типа «Дуга»



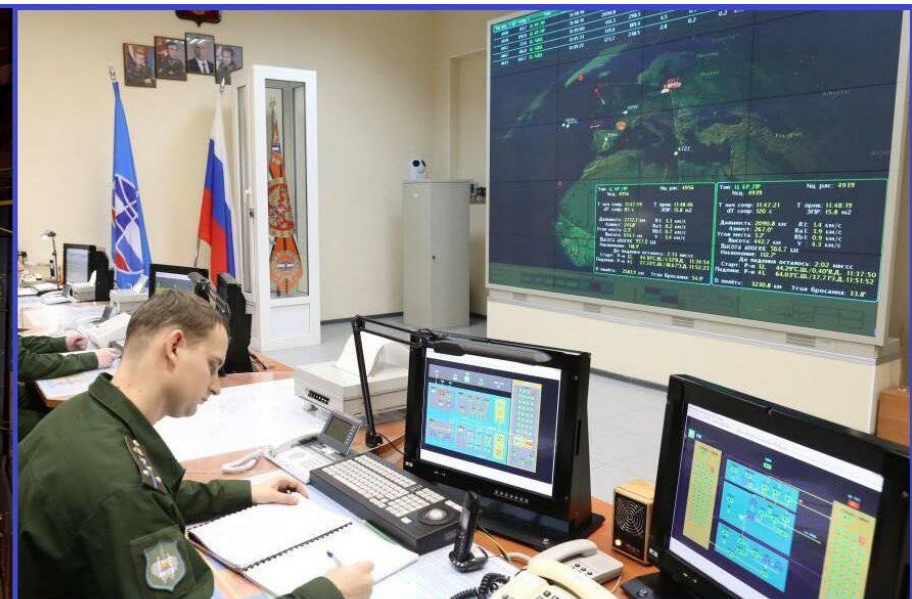
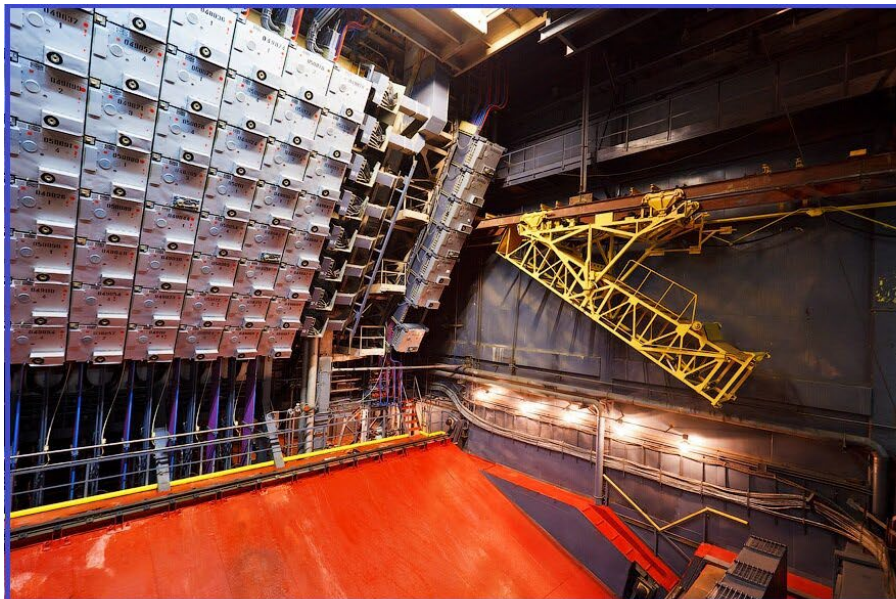
- 1 - Черников
- 2 - Николаев
- 3 - Комсомольск-на-Амуре

РЛС СПРН «Дарьял». Печора



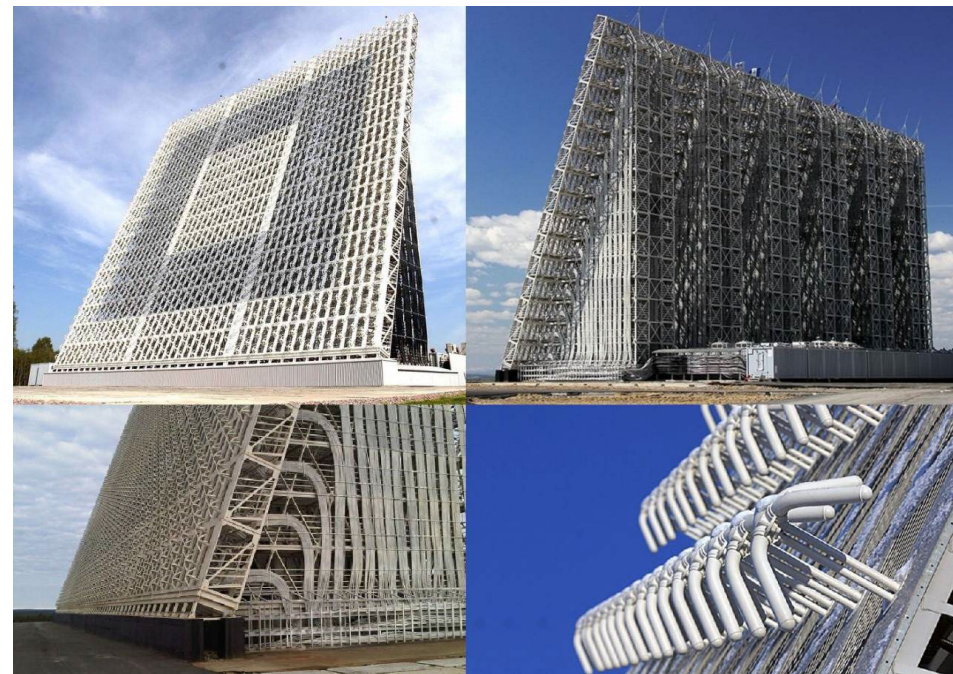
Способна обнаруживать и одновременно сопровождать около 100 целей размером с футбольный мяч (ЭПР порядка $0,1 \text{ м}^2$) на дальности до 6000 км. Зона действия — 90° по азимуту, 40° по углу места

Дарьял. Вид внутри

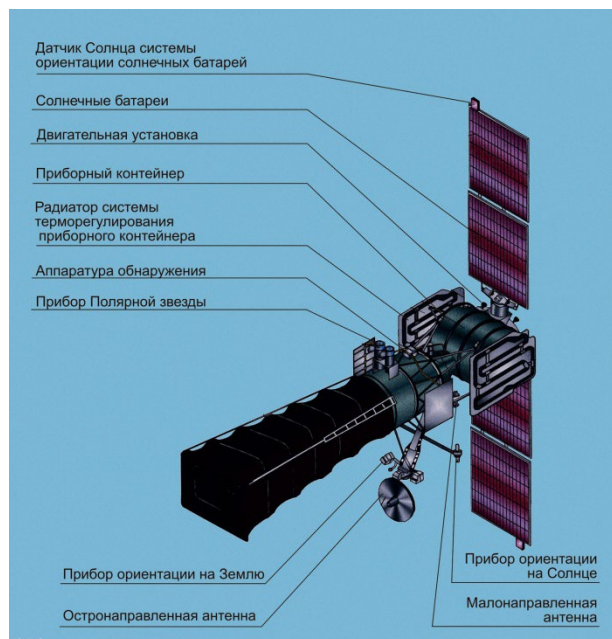


Желтая конструкция – робот-манипулятор для замены блоков

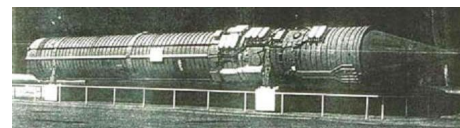
СПРН в настоящее время



Станции метрового («Воронеж-М», «Воронеж-ВП»), дециметрового («Воронеж-ДМ») и сантиметрового («Воронеж-СМ») диапазонов длин волн. «Воронеж-МСМ»



14Ф142 Тундра

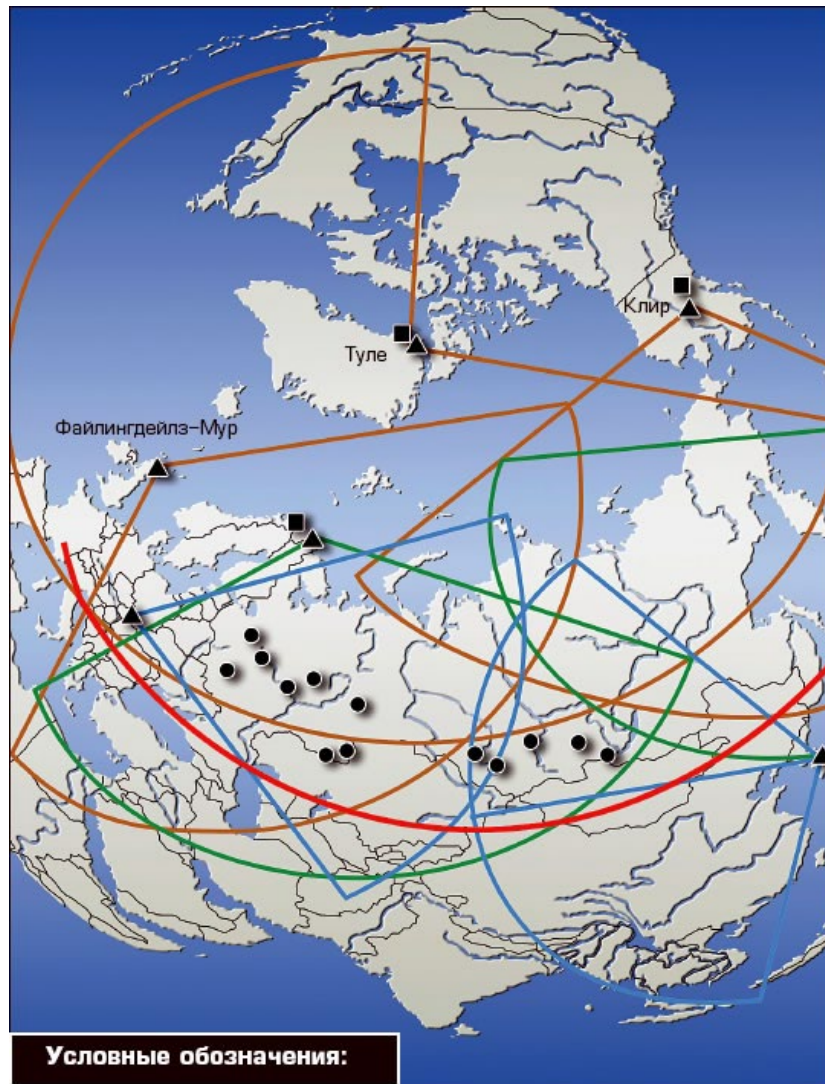


?

Командная ракета 15А11 системы «Периметр»

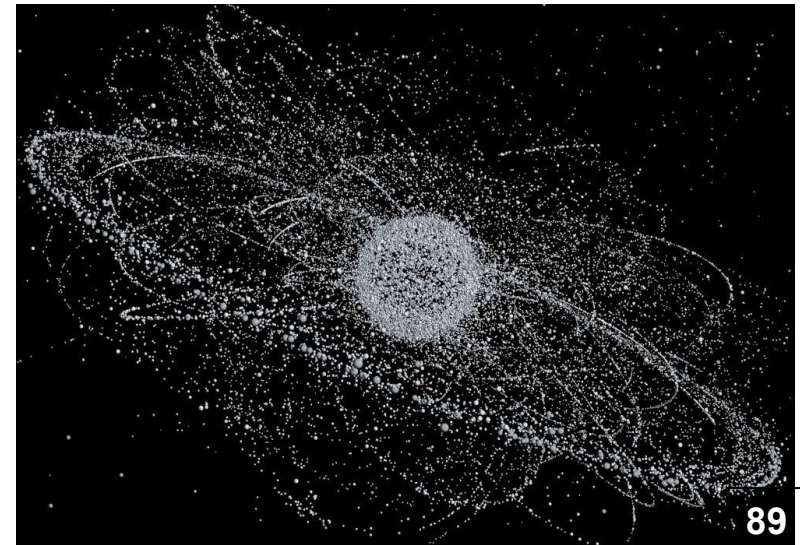
СПРН США НАТО

- Видно, что вся территория бывшего СССР закрыта многократно.
- Китай тоже закрыт.
- Локаторы надгоризонтные. То есть они видят только то, что в космосе.
- Видны координаты и скорости даже очень малых объектов – реально больше 5-10 см.
- Система позволяет контролировать не только военные баллистические пуски, но также группировки спутников и космический мусор до дистанций ~3000 км.



Условные обозначения:

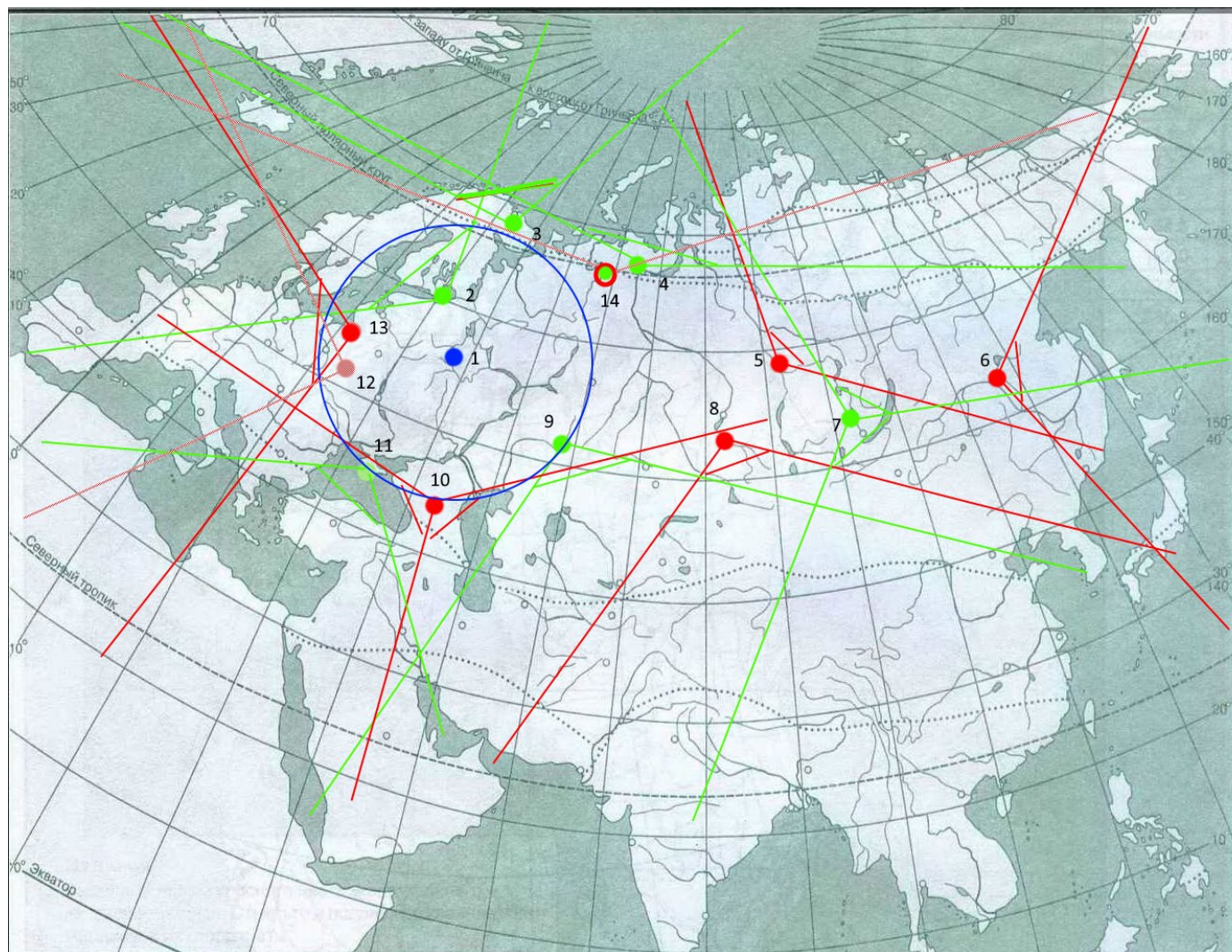
- ▲ — радиолокационные станции обнаружения и сопровождения БР;
- — ионосферные комплексы;
- — позиционные районы РВСН;
- зоны действия модернизированных РЛС СПРЯУ;
- зоны действия РЛС Globus II и Cobra Dane;
- зоны действия перспективных РЛС 3-см диапазона, в случае их размещения на территории Чехии и Южной Кореи (прогноз);
- зона воздействия перспективных ионосферных комплексов (прогноз).



СПРН КНР



Карта размещения с секторами обзора современных надгоризонтных РЛС России



- Зеленым обозначены станции «Воронеж-М/ВМ» (построенные и запланированные),
- красным, «Воронеж-ДМ» (построенные и запланированные),
- красным размытым (№12) станция «Волга» под г. Барановичи (Белоруссия),
- под номером 11 — станция «Днепр» в Севастополе,
- красный круг, окрашенный в зеленый цвет, — это месторасположение РЛС «Дарьял» в районе г. Печора.
- Синий круг — РЛС «Дон-2Н» в Подмоскowie (центр ПРО г. Москвы),

РЛС системы ПРО Москвы Дон-2Н



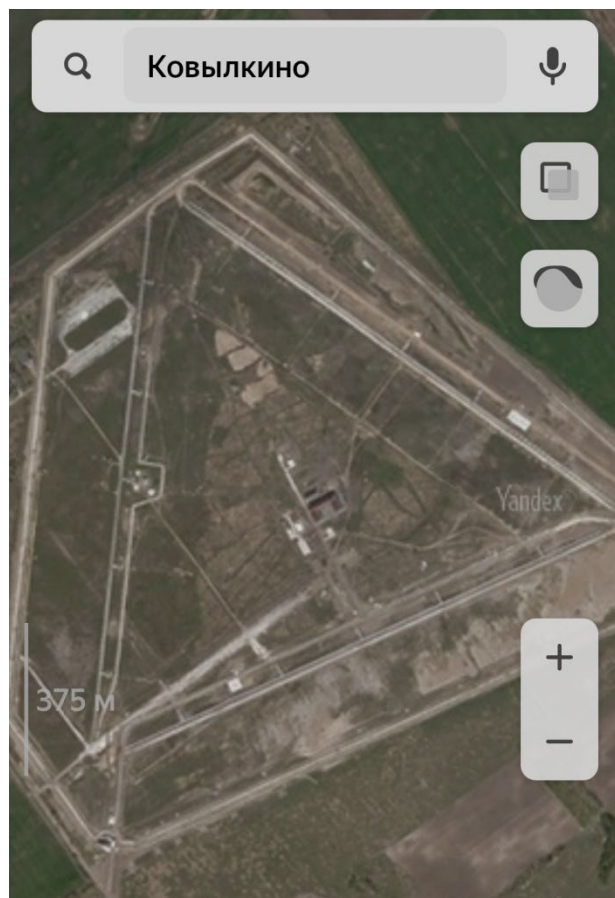
Может обнаруживать и строить траектории малых космических объектов диаметром 5 см на расстоянии 500 - 800 км

РЛС системы космического контроля «Развязка»

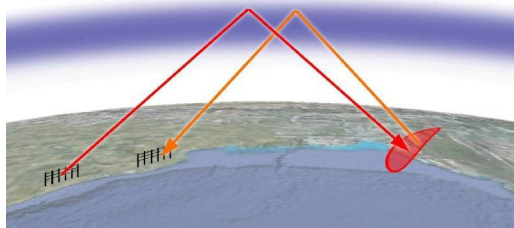


Радиолокационная станция расположена в Чеховском городском округе Московской области. Разработкой систем станции занималось московское предприятие ПАО «Радиофизика», которое входит в состав Концерна ВКО «Алмаз-Антей».

<https://anna-news.info/rls-sistemy-kosmicheskogo-kontrolya-razvyazka/>



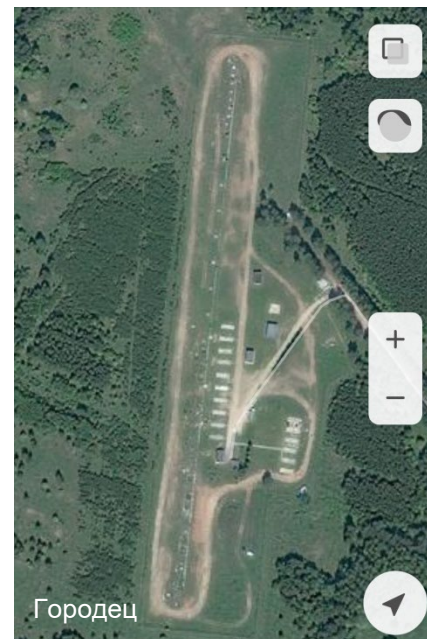
ЗГРЛС типа Контейнер, Подсолнух. Загоризонтные станции



Разнесены на 300 км

Приёмник

Передатчик



Контейнер



ЗГРЛС типа Контейнер

Видит объекты начиная от поверхности Земли

Зона действия



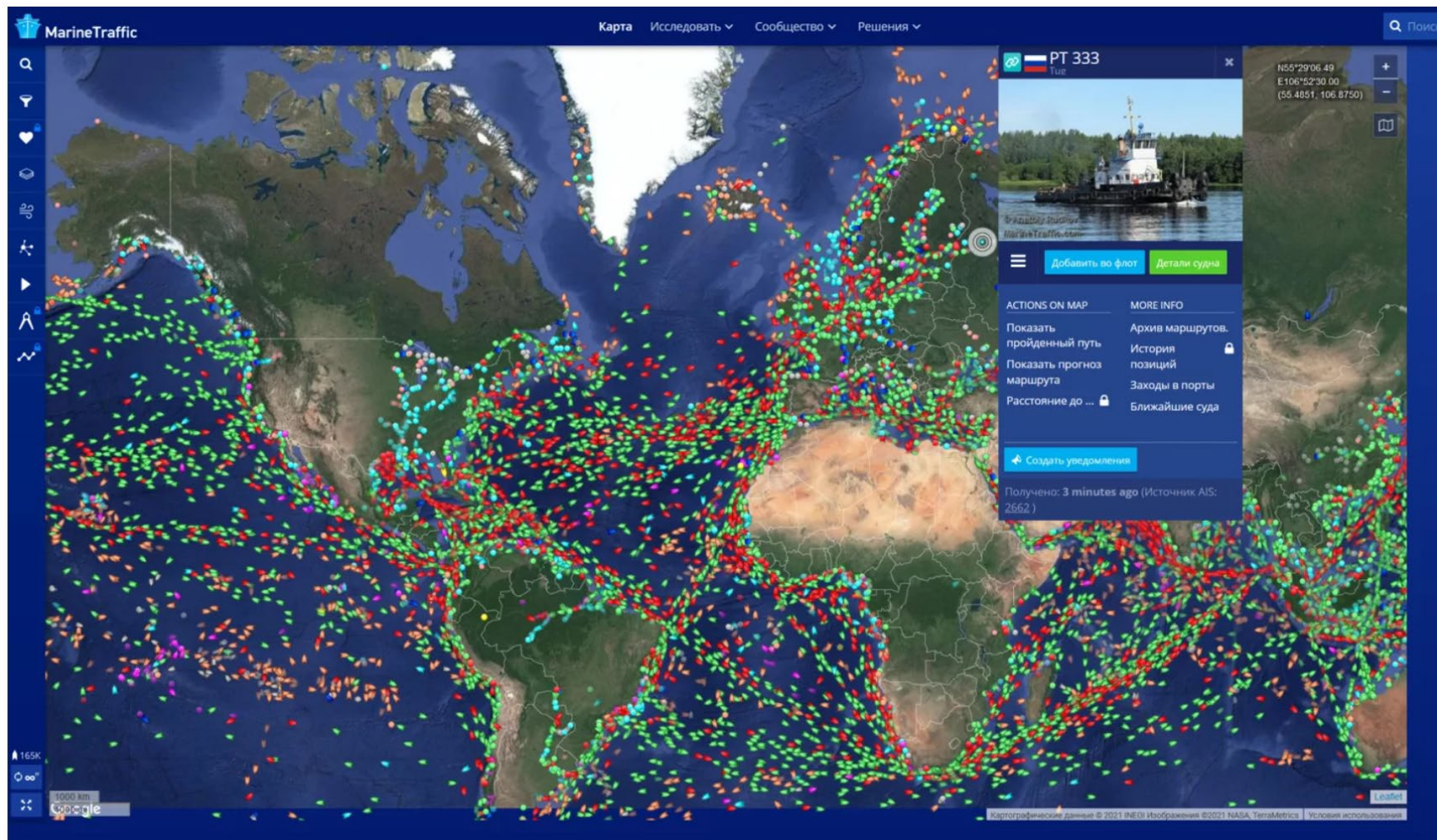
Измерения и слежение вблизи поверхности Земли



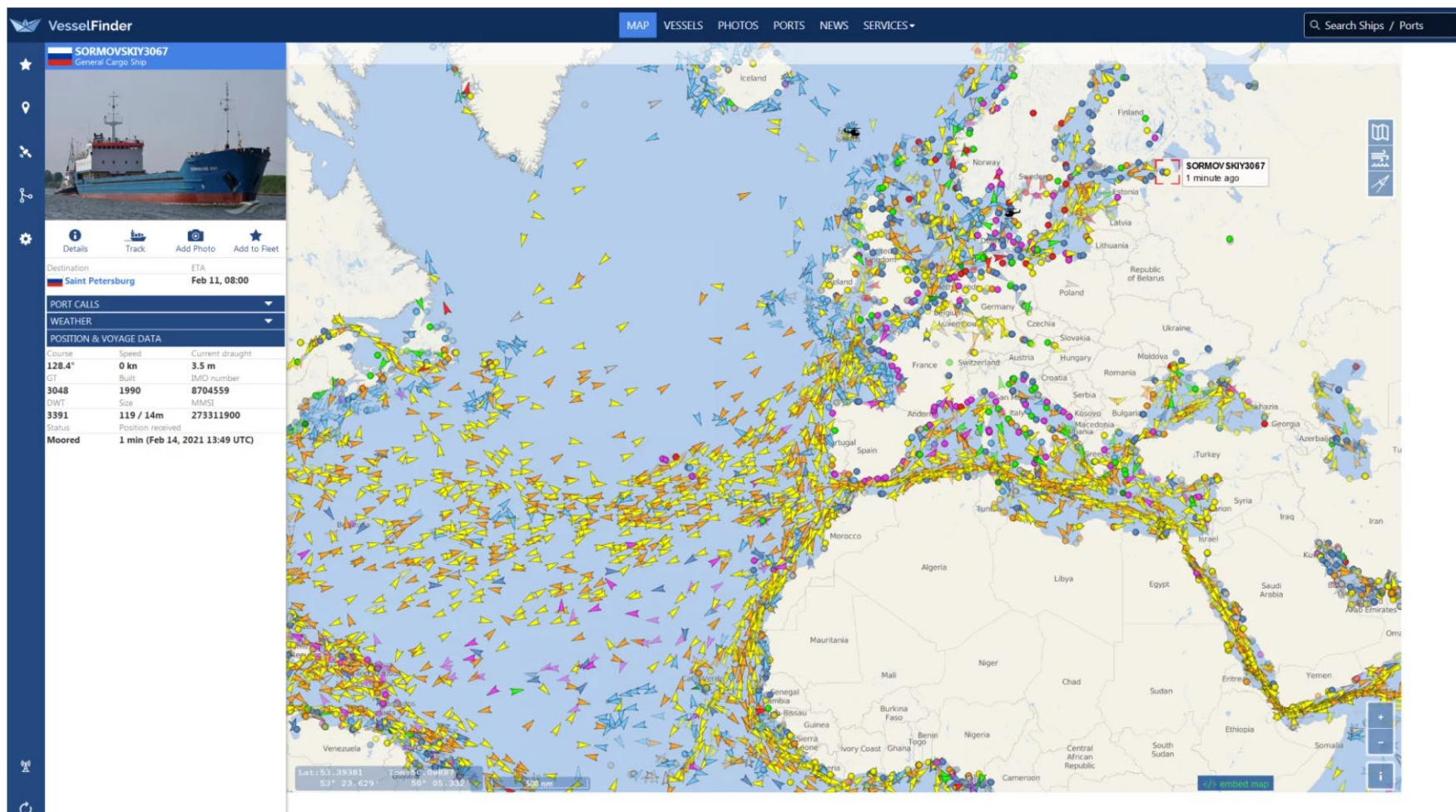
В отличие от персональных навигаторов – система с обратной связью и видимостью для всех участников движения. С записью и документированием.

Измерения и слежение вблизи поверхности океана

MarineTraffic



VesselFinder



Орбитальные группировки Навстар и ГЛОНАСС



Сравнение ГНСС

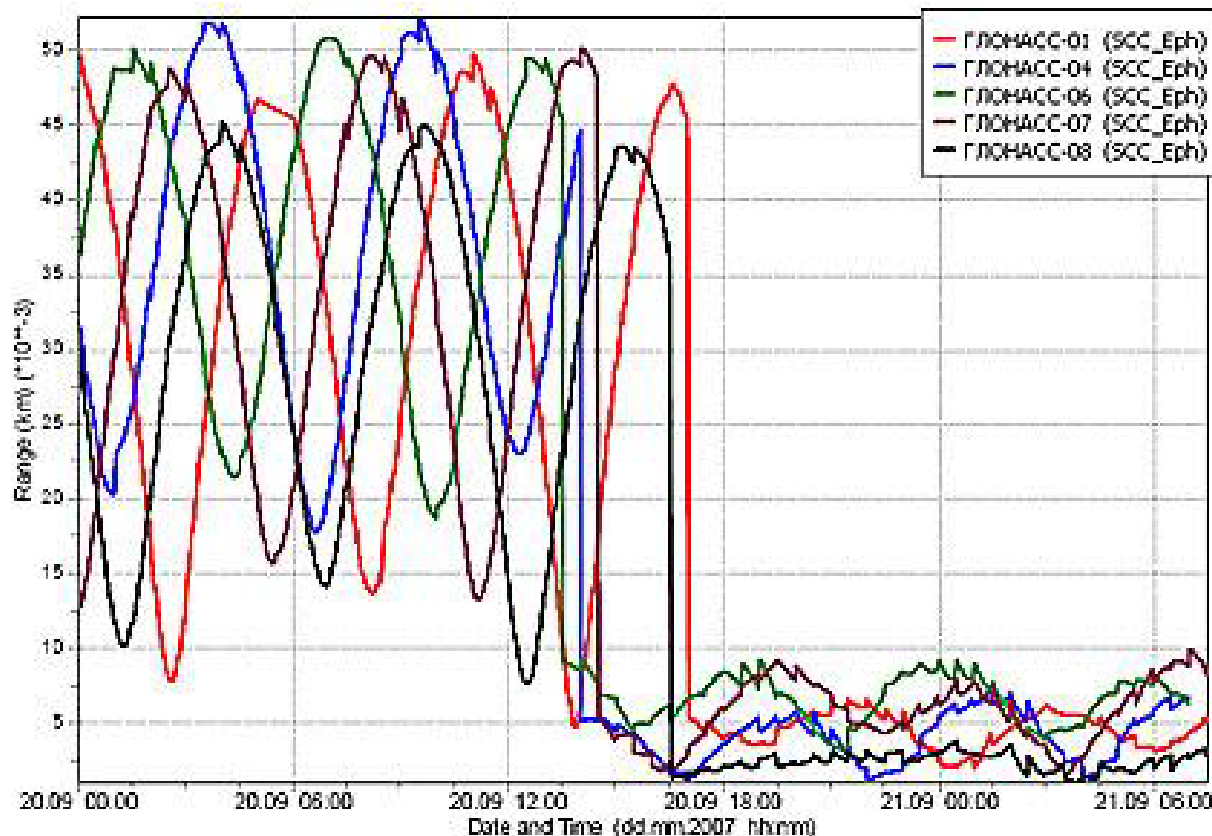
Параметр, способ	ГЛОНАСС	GPS
Число НС (резерв)	24 (3)	24 (3)
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число НС в орбитальной плоскости	8	4
Тип орбит	Круговая ($e = 0 \pm 0,01$)	Круговая
Высота орбит, км	19100	20145
Наклонение орбит, град	$64,8 \pm 0,3$	55 (63)
Драконический период обращения НС	11ч 15 мин 44 с ± 5 с	11 ч 56,9 мин
Способ разделения сигналов НС	Частотный	Кодовый
Несущие частоты навигационных радиосигналов МГц:		
L_1	1602,5625...1615,5	1575.42
L_2	1246,4375...1256,5	1227,6

Подробнее – см. <http://www.sdcm.ru/>

Ведение новой системы отсчета СК ПЗ-90.02

- 20 сентября 2007 года в период между 16 и 21 часом московского времени (с 12 по 17 часов UTC) все используемые по целевому назначению спутники системы Глонасс были переведены на новую систему координат (СК) ПЗ-90.02.
- СК ПЗ-90.02 трансформируется в международную земную систему координат ITRF2000 (и совпадающую с ней до единиц сантиметров СК WGS-84 системы GPS NAVSTAR) путем параллельного переноса центра системы примерно на полметра. Технически процедура перехода на новую СК производилась путем обновления передаваемой спутниками эфемеридной информации.
- Номинальные параметры трансформирования системы ПЗ-90.02 при переходе в Международную земную систему координат ITRF2000 содержат только смещение начала системы координат по осям X, Y, Z на -36 см, +8 см, +18 см соответственно.
- Тем самым российская система сблизилась с ITRF и WGS-84 настолько, что расхождения при определении с их помощью геодезических координат объектов можно считать нулевыми.
- Очевидно, что старые системы отсчета никто не упразднял – например в СК-95 напечатаны все карты СССР и России

Возможность совместного использования различных систем навигации после введения СК ПЗ-90.02.



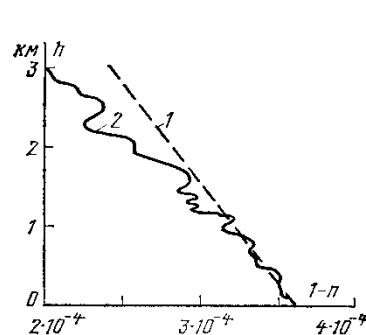
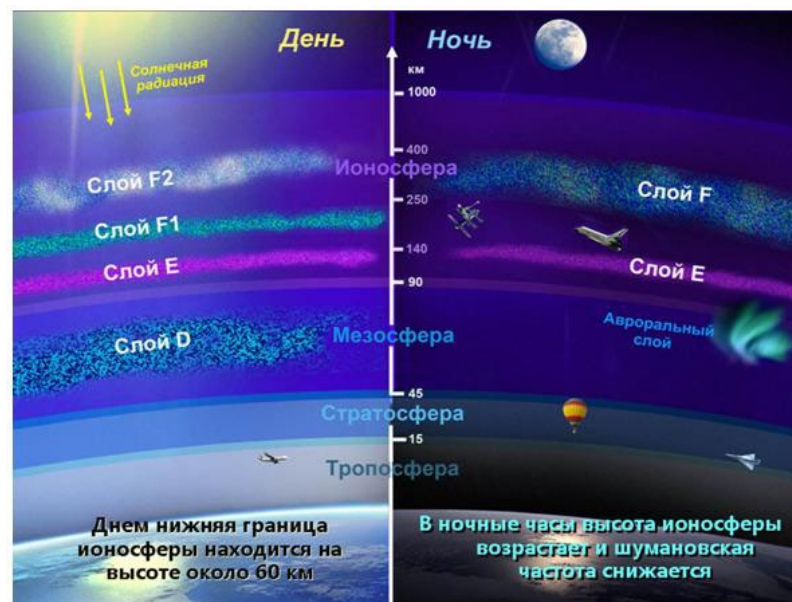
Динамика расхождений между передаваемой спутниками первой орбитальной плоскости эфемеридной информацией и реальными данными о параметрах их орбит, определенными в системе ITRF до и после перехода на СК ПЗ-90.02 (график ИАЦ Глонасс).

ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Система ITRF уточняется примерно раз в пять лет в связи с непредсказуемыми параметрами вращения Земли.

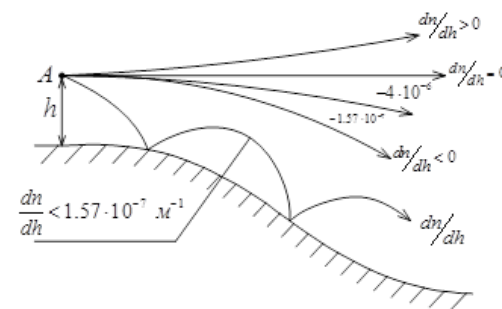
Факторы, влияющие на качество навигационных определений при помощи глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)

В случае ситуаций, когда аппараты ГНСС функционируют нормально, влияют следующие параметры:

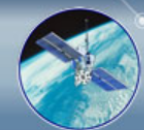
- задержка навигационных сигналов вследствие влияния ионосферы
- задержка навигационных сигналов вследствие влияния тропосферы
- погрешностей бортовых эфемерид аппаратов ГЛОНАСС и GPS
- погрешностей бортовых частотно-временных поправок аппаратов ГЛОНАСС и GPS
- различия шкал системного времени ГЛОНАСС и GPS
- количества наблюдаемых аппаратов ГЛОНАСС и GPS



(1-n) тропосферы от (h)
Задержки



Преломление в тропосфере



Анализ эфемеридного обеспечения

Точность измерений псевдодальностей ГЛОНАСС

Точность измерений псевдодальностей GPS

Погрешность ЭО ГЛОНАСС

Погрешность ЭО GPS

Точность измерений псевдодальностей ГЛОНАСС

Выбор даты:

Дата: 2020-10-03

ГЛОНАСС	Литер	Максимальная ошибка, м
1	1	7.59
2	-4	5.17
3	5	5.38
4	6	4.43
5	1	4.37
6	-4	4.14
7	5	4.85
8	6	7.28
9	-2	6.36
10	-7	6.86
11	0	5.07
12	-1	5.17
13	-2	6.79
14	-7	5.92
15	0	4.68
16	-1	5.40
17	4	6.36
18	-3	5.03
19	3	6.28
20	2	6.37
21	4	5.24
22	-3	4.71
23	3	5.43
24	2	5.59

Точность измерений псевдодальностей GPS

Выбор даты:

Дата: 2020-10-03

GPS	Максимальная ошибка, м
1	7.23
2	9.76
3	6.39
4	4.73
5	4.23
6	7.36
7	4.41
8	6.76
9	5.47
10	5.37
11	8.30
12	4.95
13	9.26
14	
15	4.32
16	6.79
17	4.50
18	3.90
19	8.50
20	6.08
21	7.11
22	9.90
23	4.02
24	8.79
25	5.98
26	6.89
27	5.33
28	7.50
29	4.07
30	5.41
31	5.34
32	6.16

Видно, что по точности измерения псевдодальностей системы сопоставимы

Сравнение точности навигации систем ГЛОНАСС и GPS в разных контрольных точках поверхности Земли

система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ)

[Пункты](#)[Оперативный мониторинг](#)[Апостериорный мониторинг](#)[Высокоточное местоопределение](#)[Отчеты](#)[Ссылки](#)

Точность навигационных определений GPS

Выбор даты:

Дата: 2020-10-03

Станция	Ошибка навигационных определений (p=0,95)			Среднее кол-во КА
	по широте (м.)	по долготе (м.)	по высоте (м.)	
Арти	6.06	4.18	13.32	10
Билибино	5.63	5.17	19.11	11
Владивосток	7.38	3.64	11.00	10
Геленджик	6.57	3.91	12.34	10
Иркутск	5.27	3.69	12.11	10
Камчатка	7.58	4.90	14.51	10
Кисловодск	7.06	4.23	14.60	9
Магадан	4.82	17.38	13.25	11
Менделеево	5.09	4.34	12.38	11
Новосибирск	9.27	4.61	16.86	8
Норильск	4.78	3.94	15.85	11
Ноябрьск	8.25	7.41	24.72	11
Пулково	7.14	5.37	17.14	9
Ревда	5.13	4.74	18.37	11
Светлое	4.74	4.33	14.11	11
Тикси	4.77	4.64	18.38	11
Южно-Сахалинск	5.36	3.64	13.62	10
Якутск	5.80	5.61	17.78	11

Точность навигационных определений ГЛОНАСС

Выбор даты:

Дата: 2020-10-03

Станция	Ошибка навигационных определений (p=0,95)			Среднее кол-во КА
	по широте (м.)	по долготе (м.)	по высоте (м.)	
Арти	5.63	4.43	12.88	8
Билибино	5.40	4.37	13.09	9
Владивосток	5.67	5.53	13.38	8
Геленджик	5.45	5.32	11.65	8
Иркутск	5.35	5.21	10.86	8
Камчатка	8.25	6.49	15.11	8
Кисловодск	5.33	5.84	12.67	8
Магадан	5.40	18.15	11.68	9
Менделеево	5.07	4.54	12.92	8
Новосибирск	5.80	4.37	13.89	8
Норильск	4.22	4.20	12.77	9
Ноябрьск	9.07	8.45	25.39	9
Пулково	5.95	6.59	15.65	8
Ревда	4.60	4.65	13.79	8
Светлое	5.13	4.48	13.04	9
Тикси	4.59	4.43	12.23	8
Южно-Сахалинск	5.13	5.36	12.03	8
Якутск	5.55	5.57	14.02	9

http://www.sdcм.ru/smglo/st_glo?version=rus&repdate&site=extern

Идет постоянный мониторинг с ежедневными отчетами

Состояние ГНСС лучше узнавать не из малограмотных публикаций журналистов, а из официальных данных

Состав и состояние группировки GPS на 04.10.2020 05:58:16 (время гонасс)

Номер НКА	Плоскость	Точка плоскости	Номер NORAD	Тип спутника	Дата запуска	Дата ввода в систему	Время информации	Статус	Исправность по факту	Погрешность ПД, [м]
1	D	2	37753	II-F	16.07.2011	14.10.2011	текущее	в системе	Исправен	-5.31
2	D	1	28474	II-R	06.11.2004	22.11.2004	текущее	в системе	Исправен	4.18
3	C	2	23833	II-A	28.03.1996	09.04.1996	текущее	в системе	Исправен	-8.14
4	D	4	22877	II-A	26.10.1993	22.11.1993	текущее	в системе	Исправен	-2.87
5	E	3	35752	IIR-M	17.08.2009	27.08.2009	текущее	в системе	Исправен	0.61
6	C	6	23027	II-A	10.03.1994	28.03.1994	текущее	в системе	Исправен	-5.79
7	A	4	32711	IIR-M	15.03.2008	24.03.2008	текущее	в системе	Исправен	-0.77
8	A	3	25030	II-A	06.11.1997	18.12.1997	текущее	в системе	Исправен	-6.71
9	A	1	22700	II-A	26.06.1993	20.07.1993	текущее	в системе	Исправен	-2.80
10	E	6	23953	II-A	16.07.1996	15.08.1996	текущее	в системе	Исправен	-3.69
11	D	5	25933	II-R	07.10.1999	03.01.2000	текущее	в системе	Исправен	-5.29
12	B	4	29601	IIR-M	17.11.2006	13.12.2006	текущее	в системе	Исправен	1.79
13	F	3	24876	II-R	23.07.1997	31.01.1998	текущее	в системе	Исправен	-1.35
14										
15	F	2	32260	IIR-M	17.10.2007	31.10.2007	текущее	в системе	Исправен	1.53
16	B	1	27663	II-R	29.01.2003	18.02.2003	текущее	в системе	Исправен	1.79
17	C	4	28874	IIR-M	26.09.2005	13.11.2005	текущее	в системе	Исправен	-2.37
18	E	4	26690	II-R	30.01.2001	15.02.2001	текущее	в системе	Исправен	-0.60
19	C	3	28190	II-R	20.03.2004	05.04.2004	текущее	в системе	Исправен	0.21
20	E	1	26360	II-R	11.05.2000	01.06.2000	текущее	в системе	Исправен	2.30
21	D	3	27704	II-R	31.03.2003	12.04.2003	текущее	в системе	Исправен	2.10
22	E	2	28129	II-R	21.12.2003	12.01.2004	текущее	в системе	Исправен	5.39
23	F	4	28361	II-R	23.06.2004	09.07.2004	текущее	в системе	Исправен	-0.67
24	A	5	38833	II-F	04.10.2012	14.11.2012	текущее	в системе	Исправен	-5.29
25	B	2	36585	II-F	28.05.2010	27.08.2010	текущее	в системе	Исправен	-3.54
26	F	5	22014	II-A	07.07.1992	23.07.1992	текущее	в системе	Исправен	-4.27
27	A	6	22108	II-A	09.09.1992	30.09.1992	текущее	в системе	Исправен	-3.96
28	B	3	26407	II-R	16.07.2000	17.08.2000	текущее	в системе	Исправен	-0.30
29	C	1	32384	IIR-M	20.12.2007	02.01.2008	текущее	в системе	Исправен	0.24
30	B	5	22779	II-A	30.08.1993	28.09.1993	текущее	в системе	Исправен	-3.78
31	A	2	29486	IIR-M	25.09.2006	13.10.2006	текущее	в системе	Исправен	2.66
32	E	5	20959	II-A	26.11.1990	10.12.1990	текущее	в системе	Исправен	-4.88

■ - КА непригоден для применения по целевому назначению

■ - Точностные характеристики КА хуже допустимых по данным СДКМ

ПД - погрешность псевдодалности

ЭИ - эфемеридная информация

ЧВП - частотно-временные поправки

Т ГЛОНАСС = UTC (SU) + 3h

Состояние группировки GPS

Состояние ГНСС лучше узнавать не из малограмотных публикаций журналистов, а из официальных данных

Состав и состояние орбитальной группировки системы ГЛОНАСС на 04.10.2020 06:00:57 (время ГЛОНАСС)

Сист. номер/точка	Космос	Плоск.	Номер НКА	Литер	Дата запуска	Дата ввода в систему	Наработка КА (ГГ-ММ-ДД)	Время информации	Статус КА	Исправность по факту	Погрешность ПД, [м]
1/1	2456	1	730	1	14.12.2009	30.01.2010	10-09-27	04.10.2020 01:45:00	в системе	Исправен	-1.37
2/2	2485	1	747	-4	26.04.2013	04.07.2013	07-05-13	текущее	в системе	Исправен	-1.80
3/3	2476	1	744	5	04.11.2011	08.12.2011	08-11-07	текущее	в системе	Исправен	0.56
4/4	2544	1	759	6	11.12.2019	03.01.2020	00-09-28	текущее	в системе	Исправен	3.55
5/5	2527	1	756	1	17.06.2018	28.08.2018	02-03-20	текущее	в системе	Исправен	-1.20
6/6	2457	1	733	-4	14.12.2009	24.01.2010	10-09-27	текущее	в системе	Исправен	-0.98
7/7	2477	1	745	5	04.11.2011	18.12.2011	08-11-07	текущее	в системе	Исправен	-0.45
8/8	2475	1	743	6	04.11.2011	20.09.2012	08-11-07	текущее	в системе	Исправен	2.83
9/9	2501	2	702	-2	01.12.2014	15.02.2016	05-10-09	текущее	в системе	Исправен	-0.34
10/10	2436	2	723	-7	25.12.2007	22.01.2008	12-09-17	текущее	в системе	Исправен	-2.62
11/11	2516	2	753	0	29.05.2016	24.06.2016	04-04-09	текущее	в системе	Исправен	-1.17
12/12	2534	2	758	-1	27.05.2019	19.06.2019	01-04-11	текущее	в системе	Исправен	-3.49
13/13	2434	2	721	-2	25.12.2007	08.02.2008	12-09-17	текущее	в системе	Исправен	2.80
14/14	2522	2	752	-7	22.09.2017	16.10.2017	03-00-13	текущее	в системе	Исправен	-1.12
15/15	2529	2	757	0	03.11.2018	26.11.2018	01-11-06	текущее	в системе	Исправен	-1.95
16/16	2464	2	736	-1	02.09.2010	02.10.2010	10-01-05	текущее	в системе	Исправен	-1.52
17/17	2514	3	751	4	07.02.2016	28.02.2016	04-08-01	04.10.2020 01:45:00	в системе	Исправен	2.43
18/18	2491	3	754	-3	24.03.2014	14.04.2014	06-06-16	текущее	в системе	Исправен	-2.42
19/19	2433	3	720	3	26.10.2007	25.11.2007	12-11-17	текущее	в системе	Исправен	0.37
20/20	2432	3	719	2	26.10.2007	27.11.2007	12-11-17	текущее	в системе	Исправен	0.20
21/21	2500	3	755	4	14.06.2014	03.08.2014	06-03-24	текущее	в системе	Исправен	0.32
22/22	2461	3	735	-3	02.03.2010	28.03.2010	10-07-09	текущее	в системе	Исправен	0.44
23/23	2460	3	732	3	02.03.2010	28.03.2010	10-07-09	текущее	в системе	Исправен	1.05
24/24	2545	3	760	2	16.03.2020	14.04.2020	00-06-22	текущее	в системе	Исправен	-0.71
25											
26/20	2471	3	701	-6	26.02.2011			текущее	испытания		
27											
28											
29											
30											
--/22	2459	3	731	-3	02.03.2010	28.03.2010	10-07-09	нет	в резерве		
--/15	2425	2	716	-5	25.12.2006	12.10.2007	13-09-17	нет	в резерве		

- КА вне системы
 - Точностные характеристики КА хуже допустимых по данным СДКМ
 ПД - погрешность псевдодалности
 ЭИ - эфемеридная информация
 ЧВП - частотно-временные поправки
 Т ГЛОНАСС = UTC (SU) + 3h

Состояние группировки ГЛОНАСС

Спутниковые системы навигации разных стран

1. **GPS – NAVSTAR** (США) 24 (32) спутника 12 час орбита
2. **ГЛОНАСС** (СССР - Россия) 24 (27) спутника 12 час орбита
3. **Бэйдоу BeiDou** (Китай) – На 2020 г. 35 спутников: 5 на геостационарных орбитах, 3 — на геосинхронных и 27 - на средних околоземных
4. **Galileo** (ЕС) - в 2020г. года на орбите находится 24 (27) спутников, 24 действующих и 2 в резерве.
5. **IRNSS NavIC** (Индия) - Общее количество спутников системы - 8
6. **QZSS** (Япония) - группировка из 7 спутников, 5 на квазизенитной, 2 на стационарной

Существующие в настоящее время и функционирующие спутниковые системы можно посмотреть по ссылке <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/galileo.php>

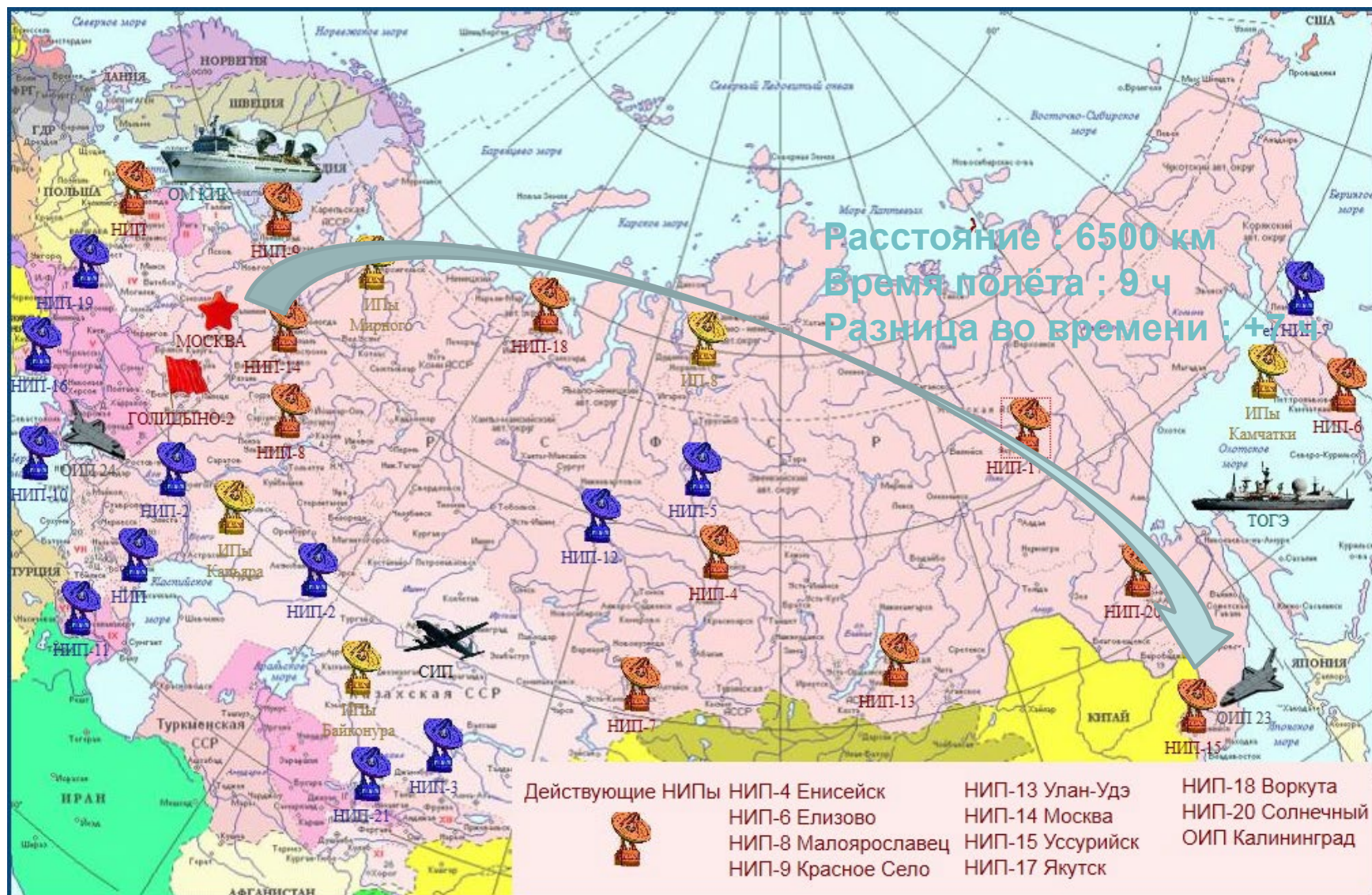
Дифференциальная навигация. Дифференциальная поправка пересылается либо с геостационарных спутников, либо с наземных базовых станций.

Существуют бесплатные американская система [WAAS](#), европейская система [EGNOS](#), японская система [MSAS](#) основанные на нескольких передающих коррекции геостационарных спутниках, позволяющих получить высокую точность (до 30 см).

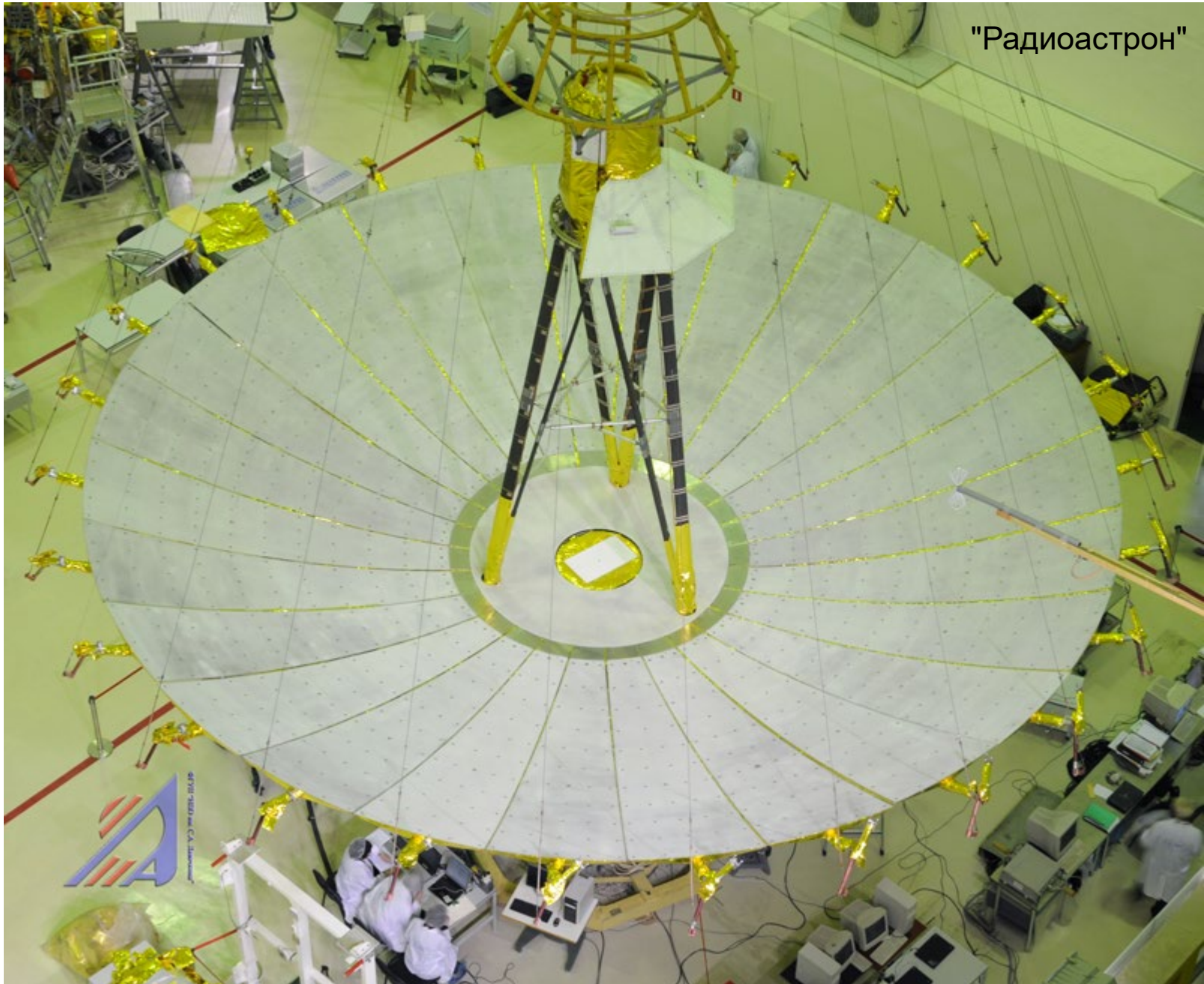
Для ГЛОНАСС существует система коррекции под названием [СДКМ](#). Точность ~ 10 см

Расположение НИПов (наземных измерительных пунктов)

Организация оперативных межведомственных коммуникаций в проектах Спектр-Р и Фобос-Грунт.



"Радиоастрон"



РСДБ с увеличенной базой

5 лет

РОССИЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «Спектр-Р»

Космический аппарат «Спектр-Р»
запущен 18 июля 2011 года.

350 тыс. км

высота апогея орбиты
космического аппарата

10 м

диаметр зеркальной
антенны телескопа

27

раскрывающихся
лепестков

3 м

диаметр
центрального
зеркала



РОСКОСМОС

ЛУНА, расстояние до Земли: **384,4 тысячи км**,
период обращения: **27 дней**

период обращения: **8 дней 7 часов**

База наземно-космического ИНТЕРФЕРОМЕТРА
330-360 000 км

Локальные и глобальные дифференциальные системы позиционирования

Локальные системы

Локальный DGPS режим (Differential GPS). В качестве источников поправок выступают наземные базовые станции, которые определяют ошибку измерений псевдодальностей до спутников и ретранслируют эти данные по каналам УКВ, GPRS и т.п.

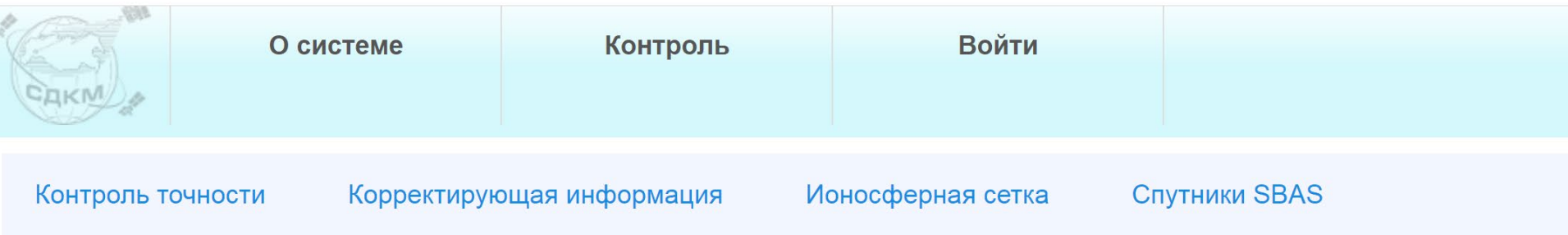
Точность определения координат может повыситься с 5-10 метров до 1-2 метров и даже до сантиметров – в зависимости от дальностей до базовых станций и частотного диапазона.

Глобально-региональные системы. Кадастр.

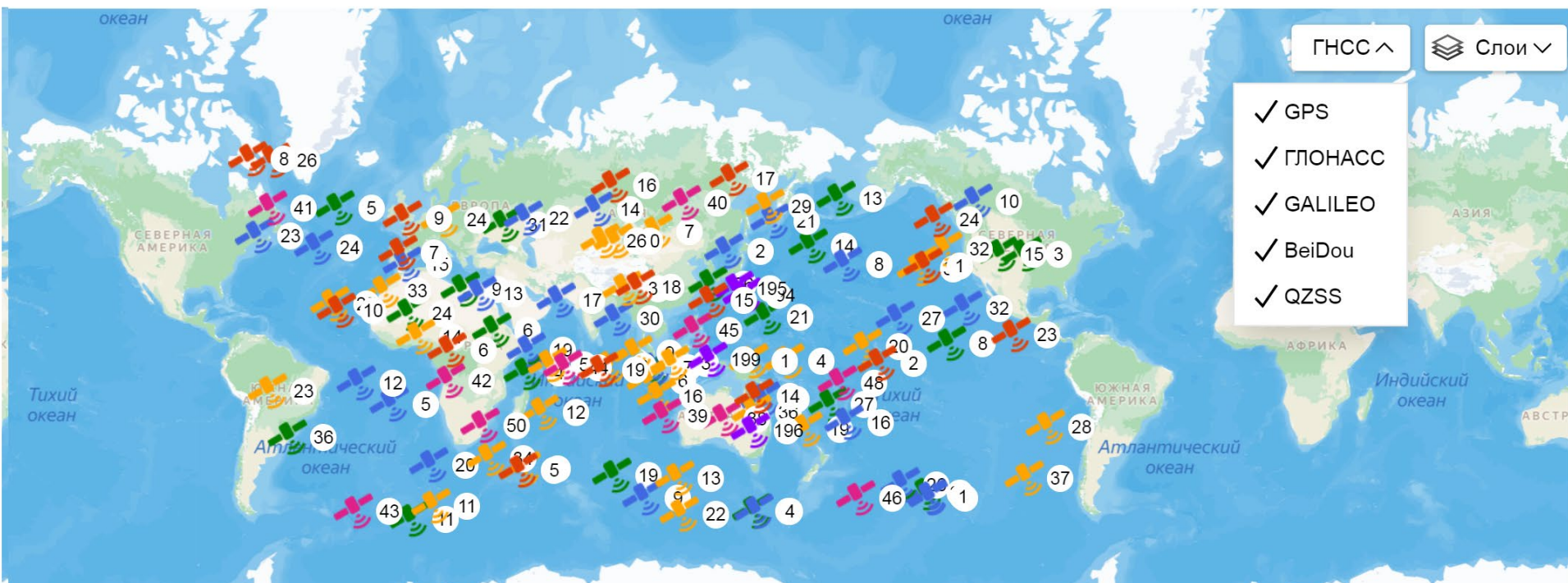
- Американская система WAAS, и ее европейский аналог EGNOS предназначены для передачи дифференциальных поправок пользователям GPS аппаратуры.
- Обе системы состоят из сети наземных станций, которые принимают GPS сигналы, обрабатывают и анализируют их, вычисляя ошибки эфемерид, часов спутников и задержки атмосферы. Затем вся информация поступает на главную управляющую станцию (Master Station) где данные повторно анализируются и передаются уже на геостационарные спутники, откуда ретранслируются наземным пользователям. Навигаторы принимают эту информацию совместно с навигационными сигналами GPS, обрабатывают ее и включают в алгоритмы вычисления позиции.

В результате вместе с локальными наземными станциями точность позиционирования повышается до 5 – 10 сантиметров.

Спутниковая система дифференциальной коррекции глобальных навигационных спутниковых систем

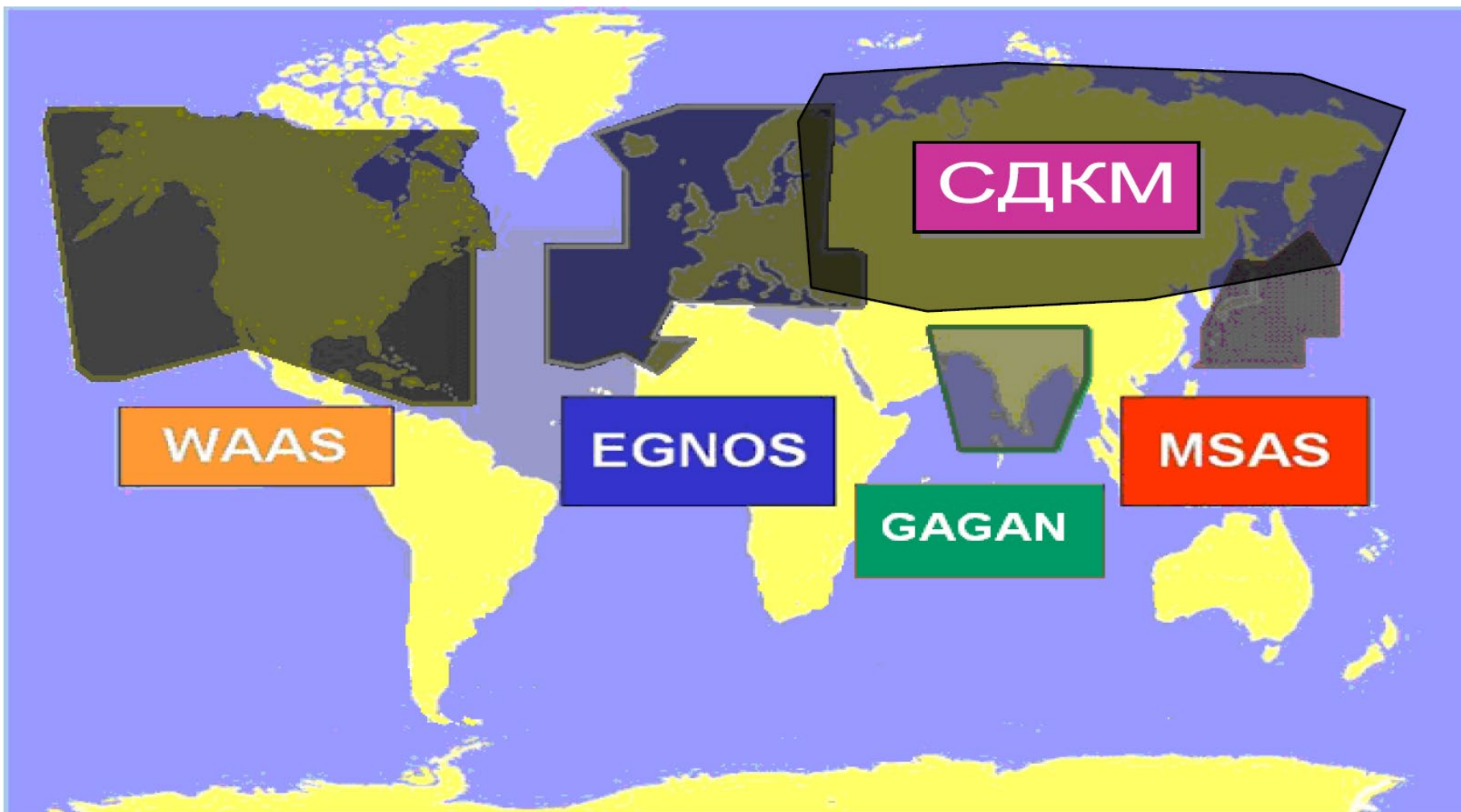


Корректирующая информация SBAS (EGNOS)

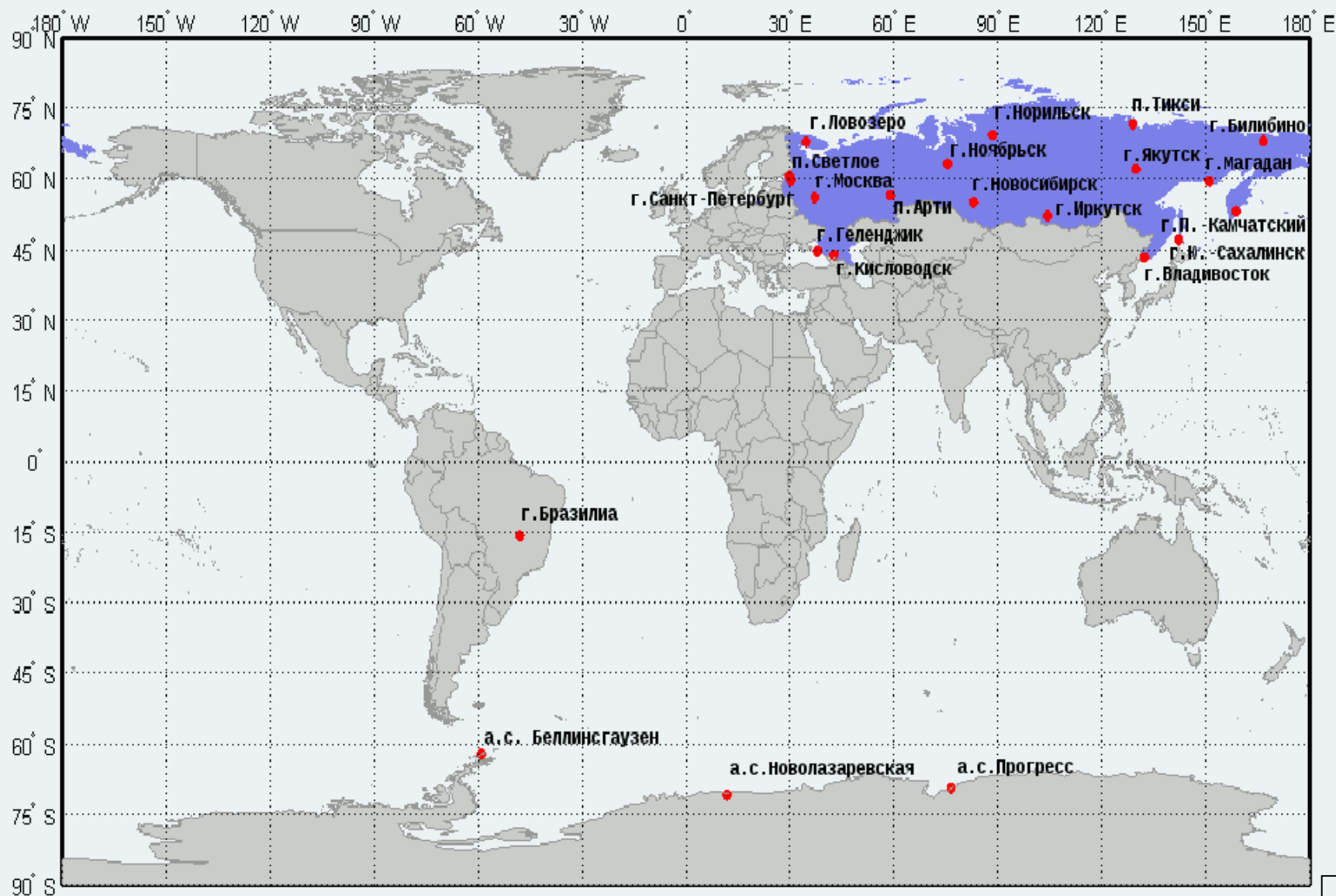


Зоны действия и обслуживания систем SBAS

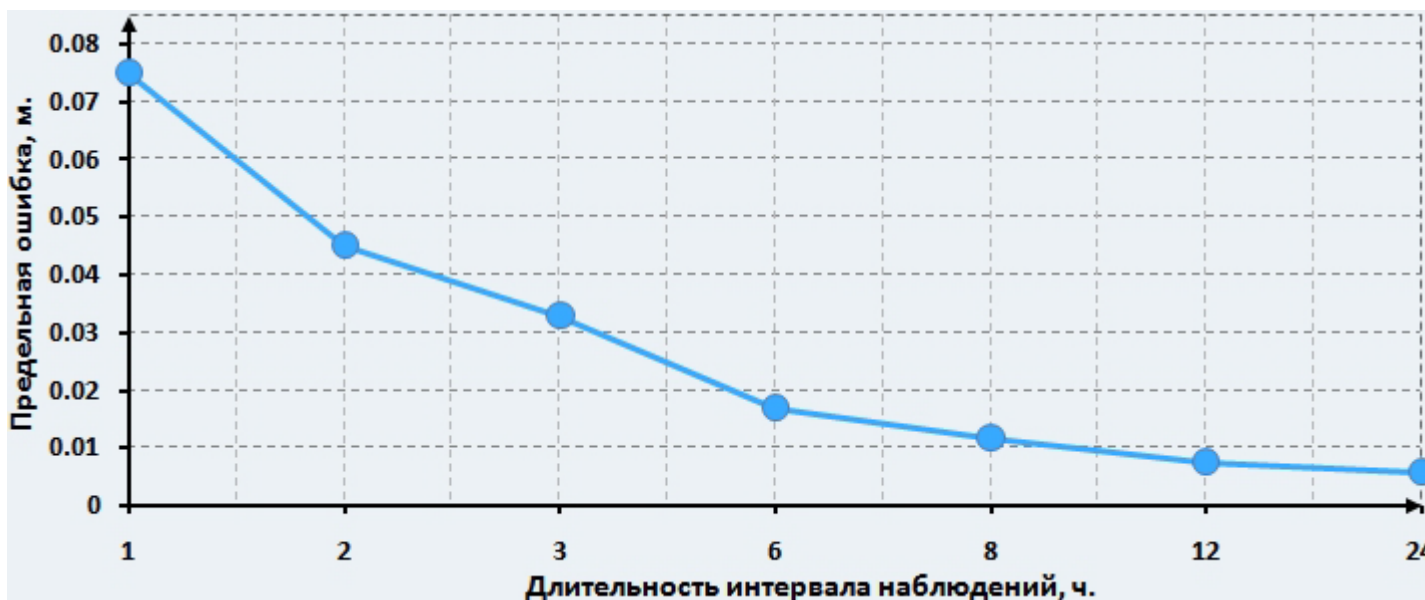
Satellite Based Augmentation System



Пункты наблюдения Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ)



Отечественная глобальная дифференциальная система позиционирования



- В настоящее время в завершающей стадии развертывания находится СДКМ (система дифференциальной коррекции и мониторинга) – глобальная широкозонная система дифференциальной коррекции для российской навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.
- В состав системы входит 18 станций мониторинга, расположенные в РФ, одна – в Бразилии и три станции, находящиеся в Антарктике (станции Новолазаревская, Прогресс и Беллинсгаузена).
- Корректирующие сигналы ретранслируются на навигационные устройства геостационарными спутниками Луч (до 3 КА).
- Проектируемая точность при накоплении данных за час <10 см, за 24 часа 0,5 см. Подробнее о текущем состоянии СДКМ и ГЛОНАСС см. <http://www.sdcm.ru>

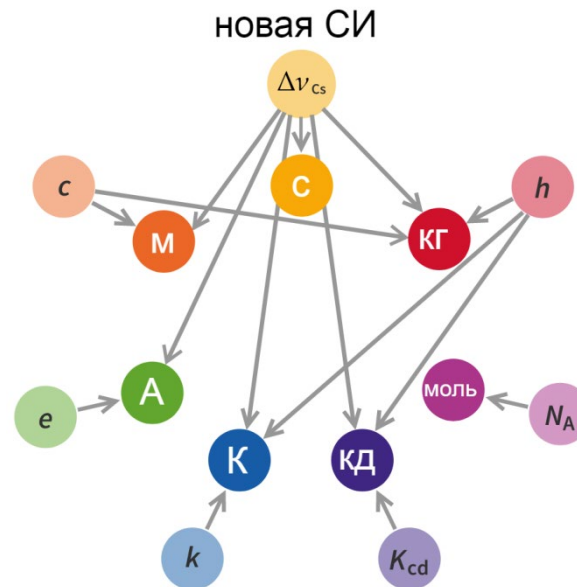
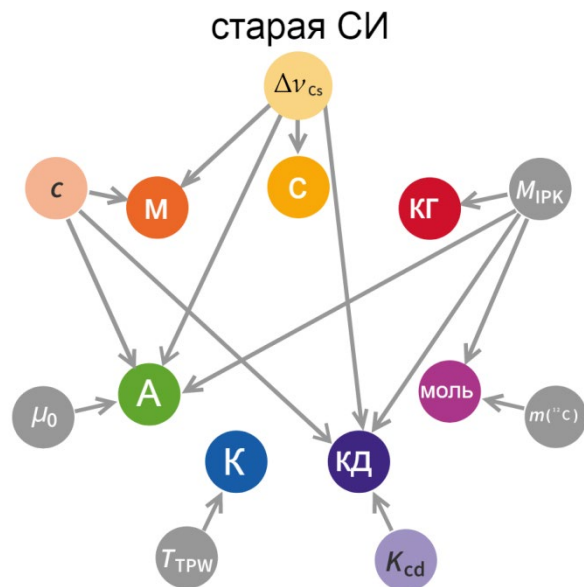
Новое определение СИ 20.05.2019

Международная система единиц, СИ, — это система единиц, в которой :

1. частота сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия-133 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ в точности равна 9 192 631 770 Гц;
2. скорость света в вакууме c в точности равна 299 792 458 м/с;
3. постоянная Планка h в точности равна $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ кг·м²·с⁻¹;
4. элементарный электрический заряд e в точности равен $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ А·с;
5. постоянная Больцмана k в точности равна $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
6. постоянная Авогадро N_A в точности равна $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹;
7. световая эффективность K_{cd} монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц в точности равна 683 лм/Вт.

Более подробно новое определение приводится в «Официальной брошюре» Росстандарта на сайте ВНИИМ – на русском, Le Bureau international des poids et mesures (BIPM) – на французском, в статье Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology – на английском. См. список литературы со ссылками на интернет ресурсы через один слайд.

Изменения СИ 20.05.2019



СИ до реформы.

- Во внутреннем кольце показаны основные единицы: секунда (с), метр (м), ампер (А), кельвин (К), кандела (КД), моль (моль), килограмм (кг).
- Величина каждой основной единицы СИ выражается через те константы, от которых к ним идут стрелки.
- Константы показаны во внешнем кольце: $\Delta\nu_{Cs}$ — частота сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия, c — скорость света, μ_0 — магнитная постоянная, T_{TPW} — температура тройной точки воды, K_{cd} — световая эффективность излучения определённой частоты, $m(^{12}C)$ — масса атома углерода, M_{IPK} — масса международного прототипа килограмма.

СИ после реформы.

- Часть определяющих констант заменены новыми: элементарный заряд e , постоянные Больцмана k , Авогадро N_A и Планка h .

СИСТЕМА ЕДИНИЦ (SI) ИЗДАНИЕ 9-е

20.05.2019 г. Описание, документы.

- <https://www.bipm.org/utils/common/pdf/si-brochure/SI-Brochure-9.pdf> The International System of Units (SI) 9th edition 2019
- <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/123/jres.123.021.pdf> How to Define the Units of the Revised SI Starting from Seven Constants with Fixed Numerical Values
- <https://www.vniim.ru/files/SI-2019.pdf> Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (SI) ИЗДАНИЕ 9-е. 2019 г. Официальная брошюра.
- <https://www.vniim.ru/index.html> Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И.Менделеева
- <http://www.vniiftri.ru/ru/etaloni-ru> ВНИИФТРИ. Реестр Государственных первичных эталонов

Где какие эталоны находятся и поддерживаются в России

**Распределение количества эталонов
по областям измерений и государственным научным метрологическим институтам (ГНИИ)**

Отметьте нужные данные и нажмите кнопку 'Поиск'

Количество эталонов	ГНИИ	Метрологическая область								
		Акустика, Ультразвук и Вибрация	Электричество и магнетизм	Длина и угол	Масса, сила, давление и вязкость	Фотометрия и радиометрия	Физико-химические измерения	Радиация и ионизирующие излучения	Термометрия	Время и Частота
	160	AUV 9 ☐	EM 43 ☐	L 13 ☐	M 26 ☐	PR 22 ☐	QM 15 ☐	RI 14 ☐	T 17 ☐	TF 1 ☐
ВНИИМ ☐	55	3 ☐	12 ☐	6 ☐	13 ☐	2 ☐	4 ☐	8 ☐	7 ☐	
ВНИИФТРИ ☐	51	6 ☐	17 ☐	1 ☐	6 ☐		7 ☐	6 ☐	7 ☐	1 ☐
ВНИИОФИ ☐	27		3 ☐		1 ☐	21 ☐	1 ☐		1 ☐	
ВНИИР ☐	5				4 ☐		1 ☐			
СНИИМ ☐	6		5 ☐						1 ☐	
УНИИМ ☐	10		2 ☐	2 ☐	2 ☐		3 ☐		1 ☐	
ВНИИМС ☐	8		4 ☐	4 ☐						

Спасибо за внимание!

Вопросы есть?

