

Время и календарь



В.Е.Жаров

Зав. кафедрой небесной механики, астрометрии
и гравиметрии физ. факультета МГУ

лауреат премии Р.Декарта Евросоюза

История вопроса

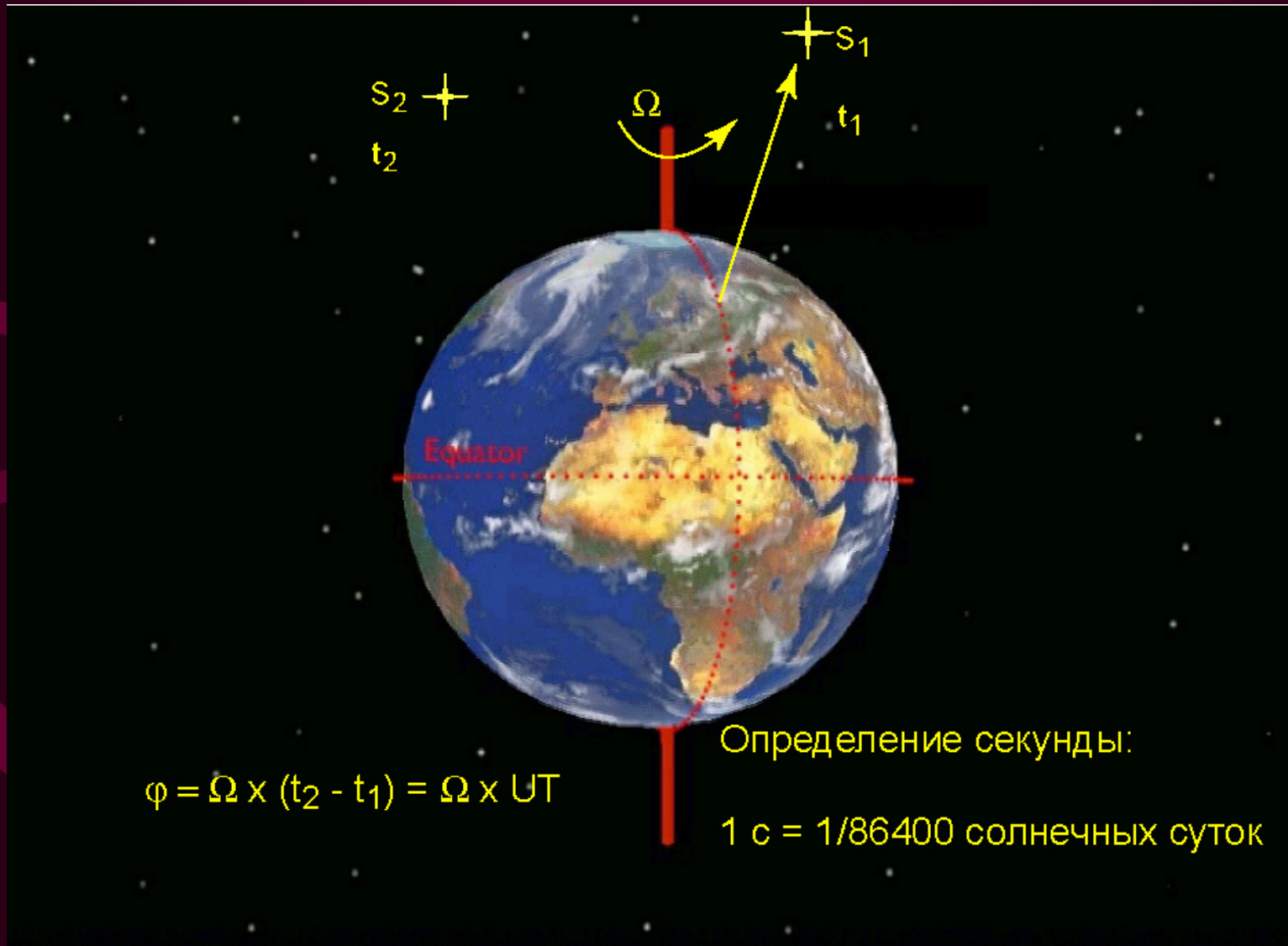
- Как измеряется время
- Как хранится время (часы, их характеристики)
- Зачем нужно изучать вращение Земли
- Как строятся календари (типы календарей)
- Как используются измерения времени
- Время и координаты

Вращение Земли – явление, которое привело к появлению астрономии

Определение шкалы времени означает:

- **выбор некоторого периодического астрономического или физического процесса,**
- **построение теории этого процесса,**
- **задание единицы времени.**

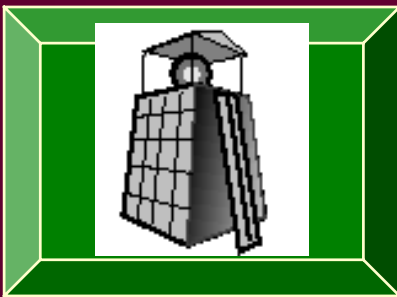
Вращение Земли: определение всемирного времени *UT*



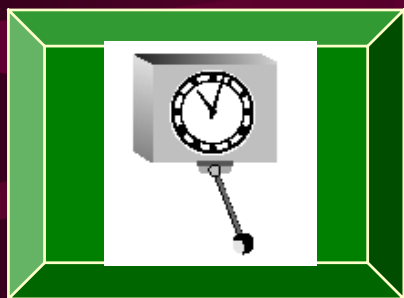
Основные вехи (появление часов)



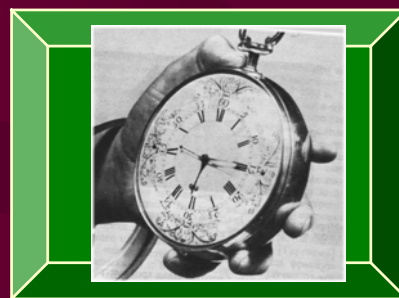
● Египет 3500 до н.э.



● Китай 1000 н.э.



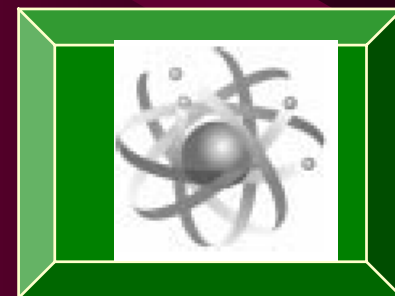
● Маятниковые часы – Гюйгенс, 1656



Хронометр – Гаррисон, 1736

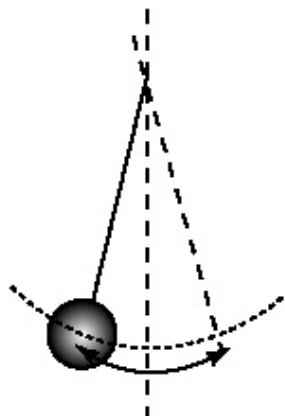


● Осциллятор на кристалле кварца – 1918



Атомные часы – 1955

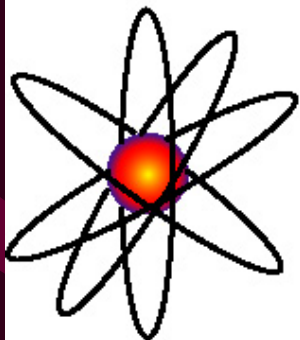
Что представляют собой часы? Осциллятор + счетчик



Осциллятор



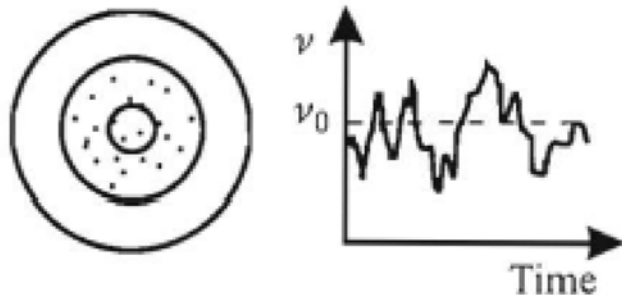
Счетчик периодов



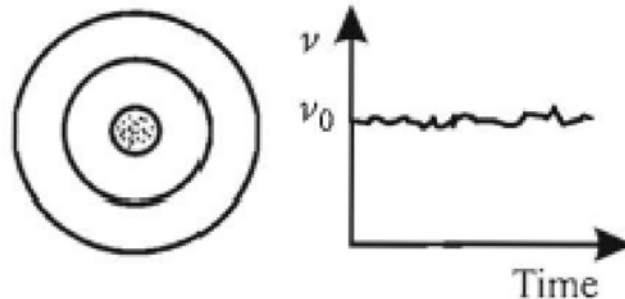
Атом H, Cs, Rb, ...



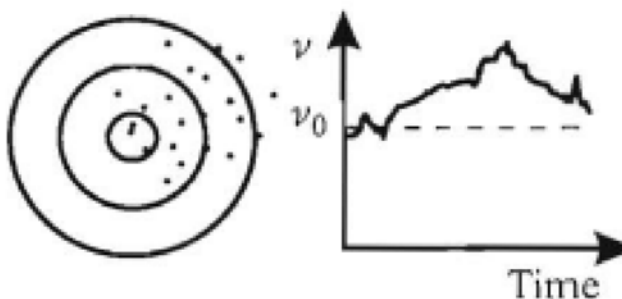
Точность и стабильность



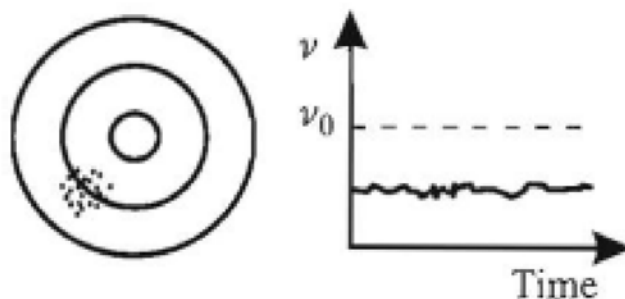
Высокая точность
Низкая стабильность



Высокая точность
Высокая стабильность

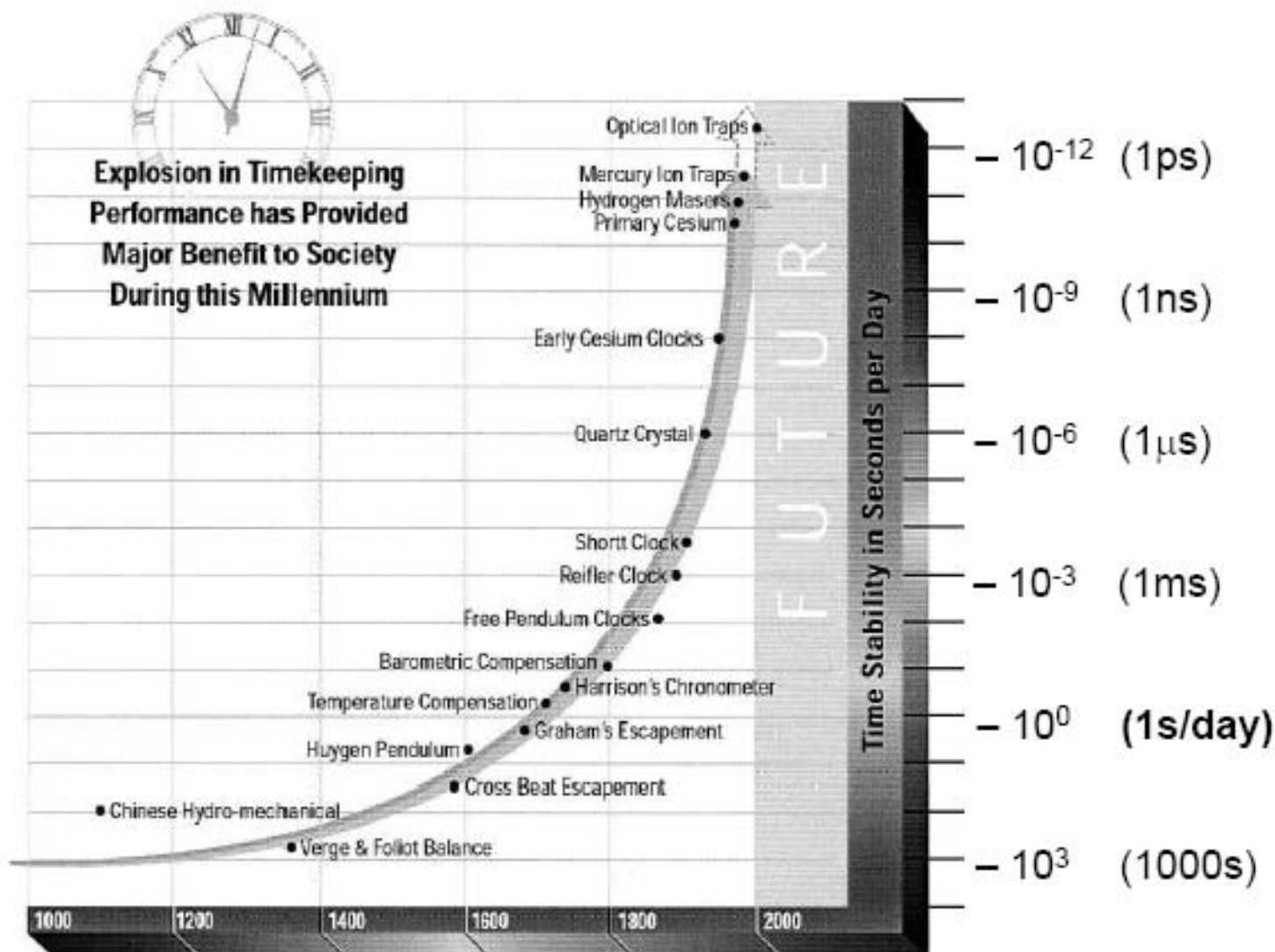


Низкая точность
Низкая стабильность



Низкая точность
Высокая стабильность

Нестабильность стандартов частоты

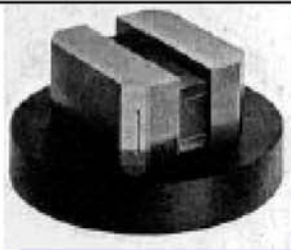


История секунды

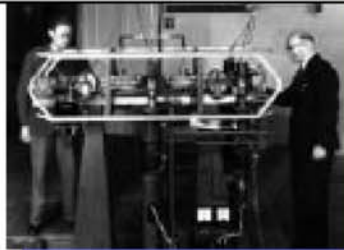
Маятниковые
часы



Кварцевые
часы



Атомные
часы



Атомный
фонтан



Оптические
часы



1930

1940

1950

1960

1967

1970

1980

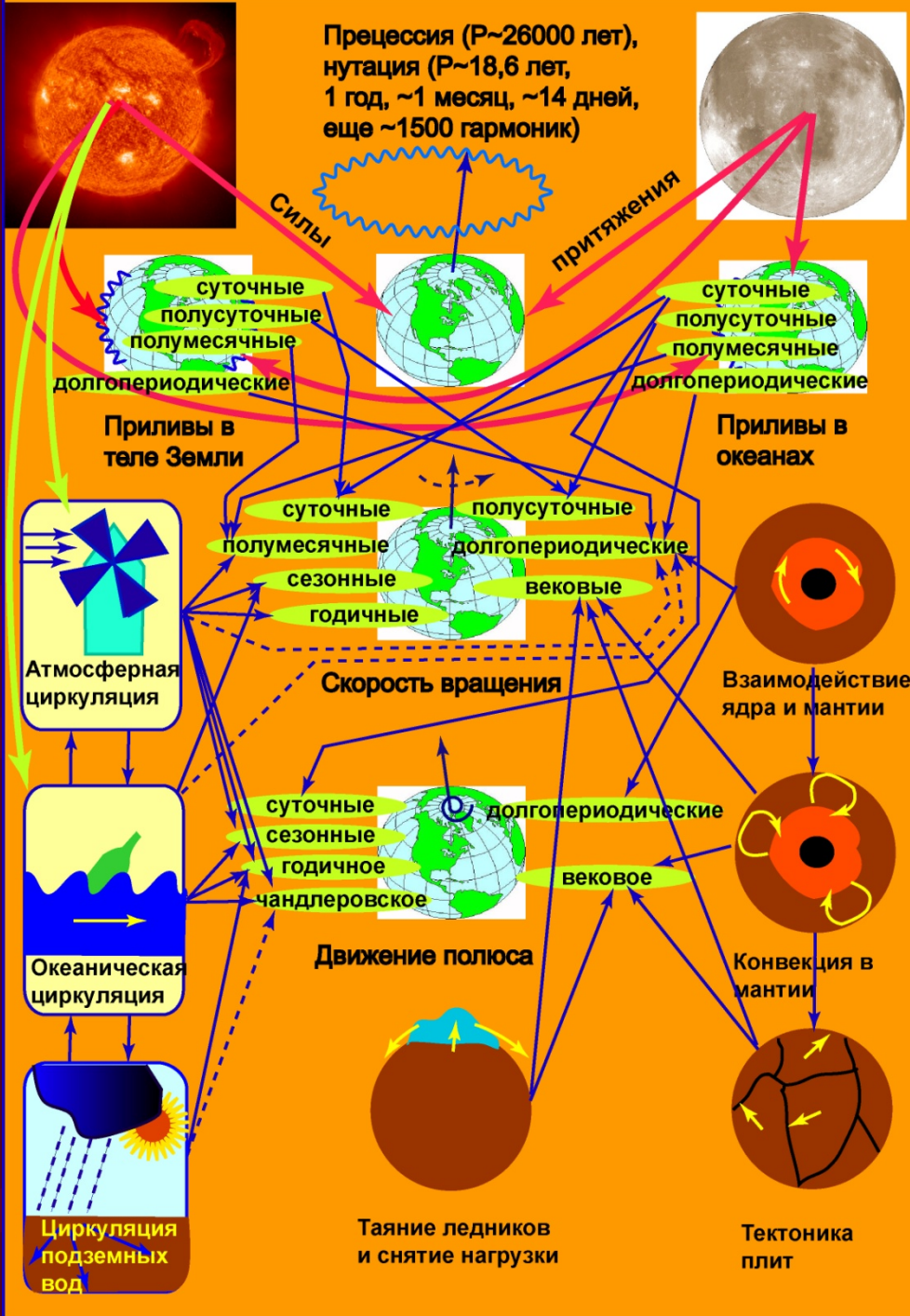
1990

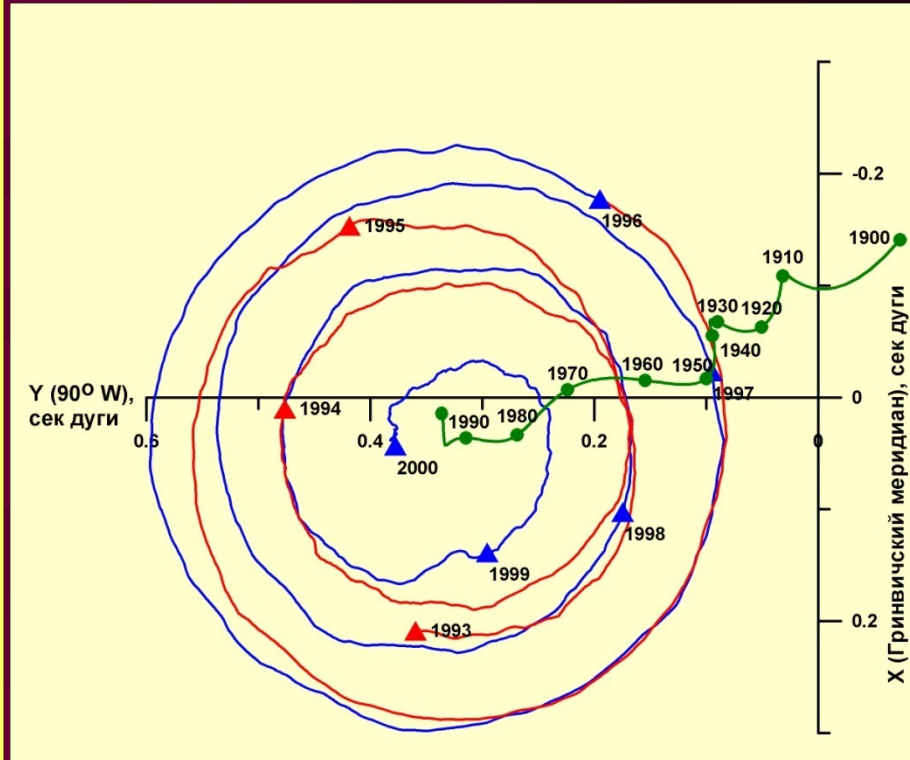
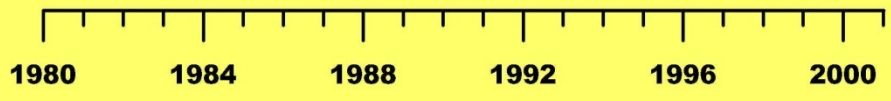
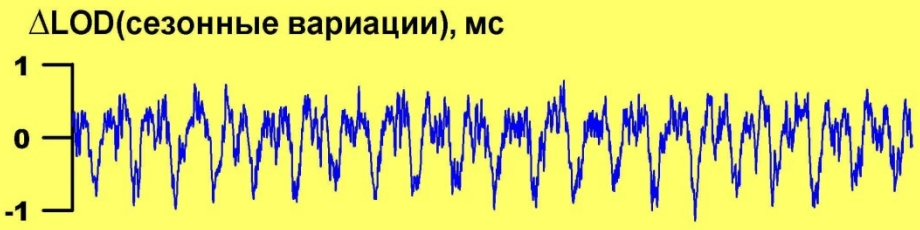
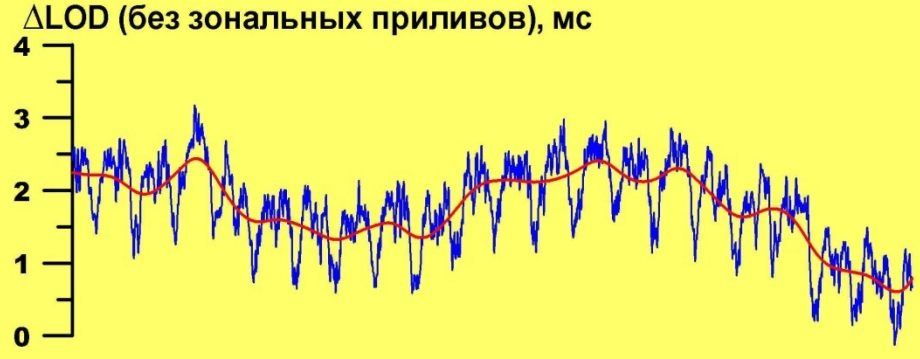
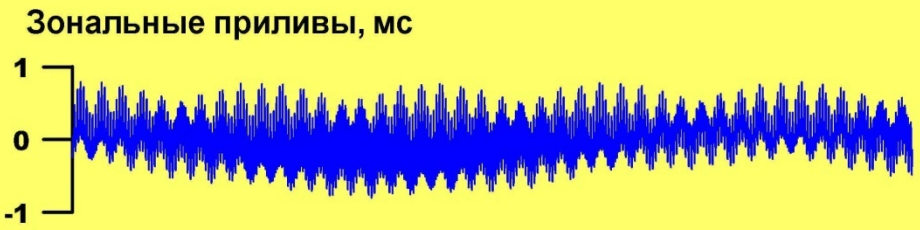
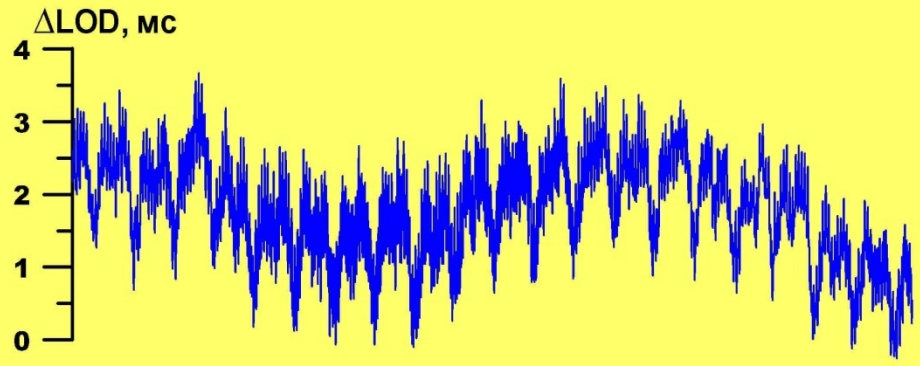
2000

$1 \text{ с} = 1/86400 \text{ солн.суток}$

$1 \text{ с} = 1/31556925,9747 \text{ тр.г.}$

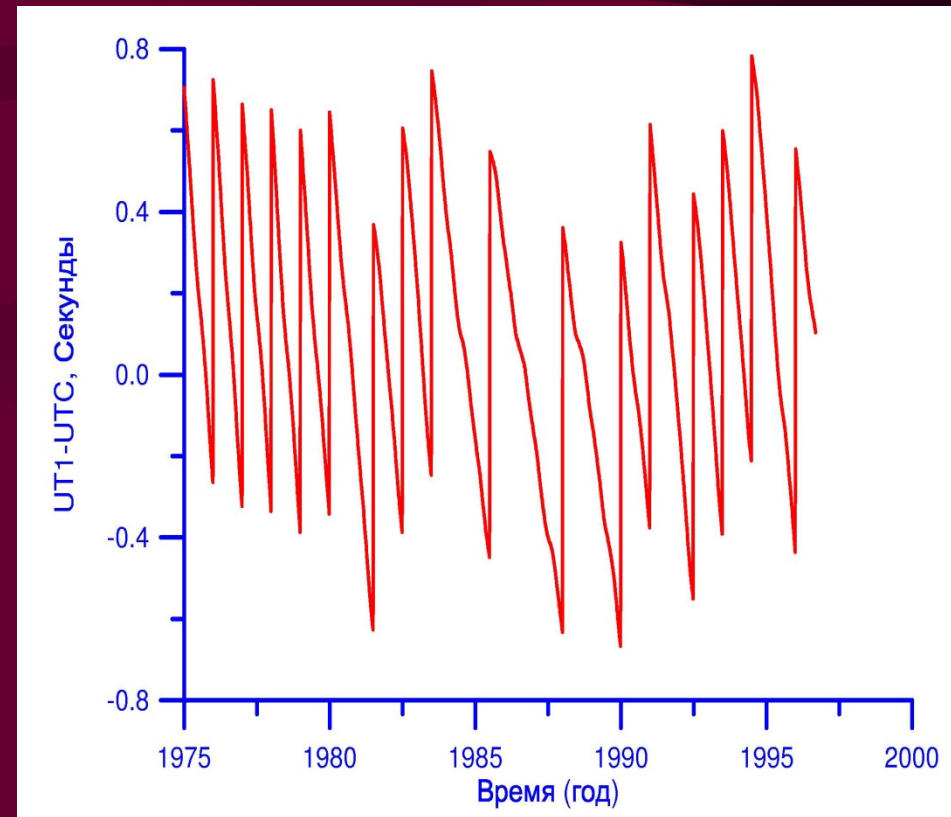
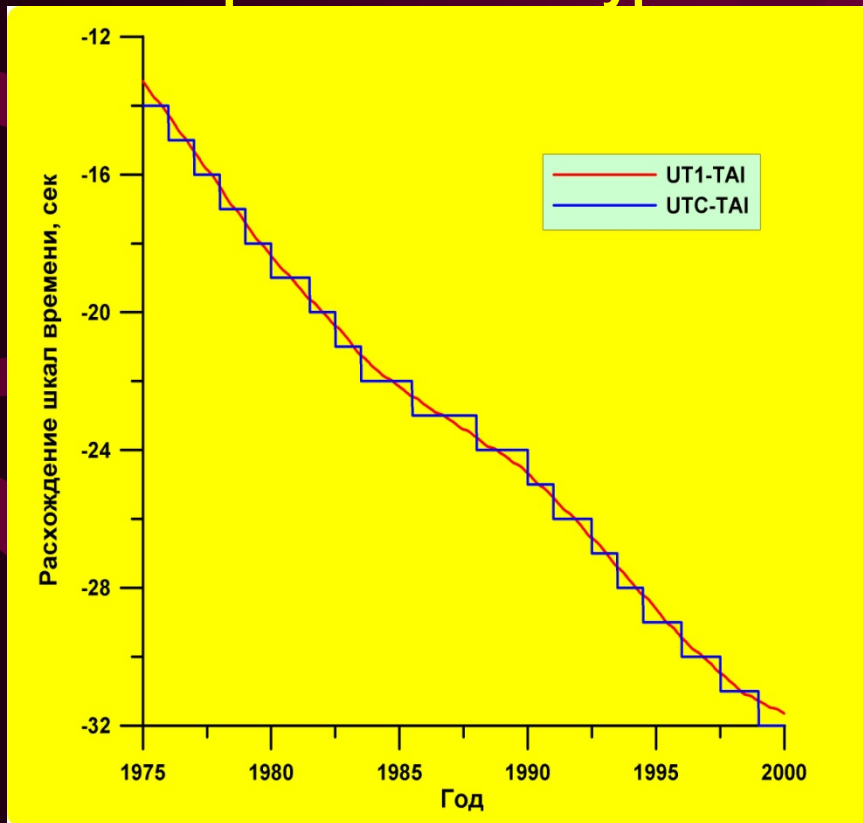
$1 \text{ с} = 9192631770 \text{ колебаний}$
атома ^{133}Cs





Всемирное $UT1$, атомное TAI и всемирное координированное время UTC

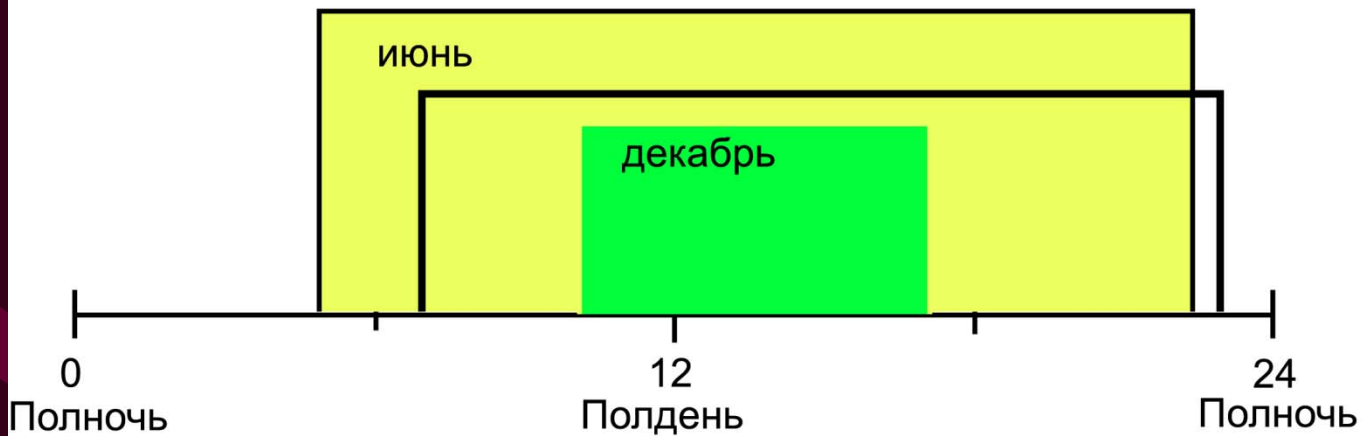
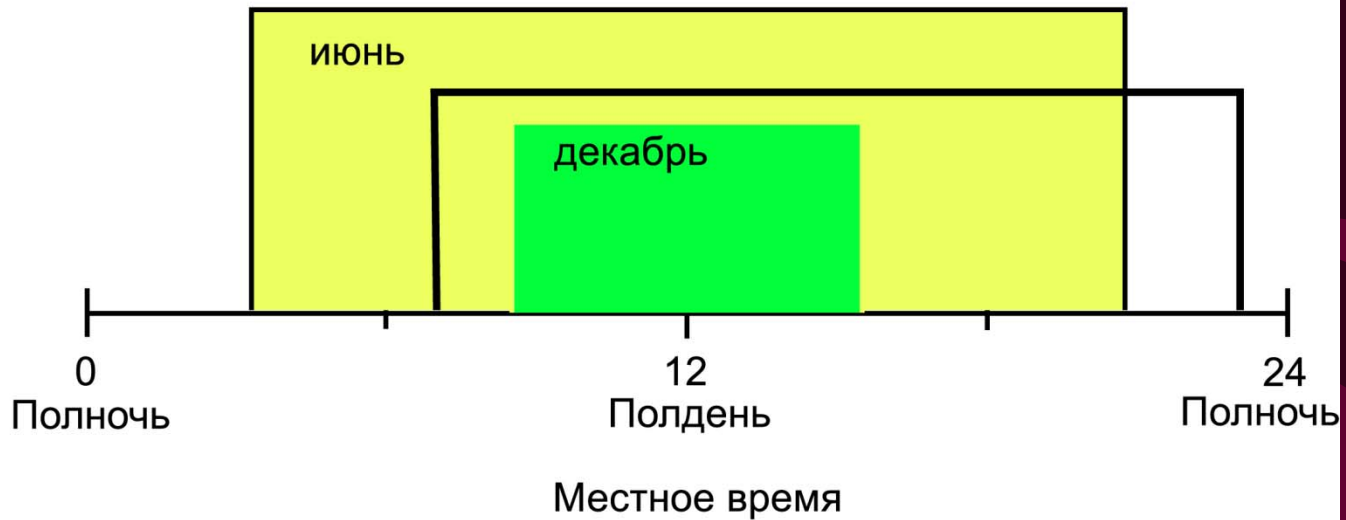
- **Определение атомной секунды (1967 г.):**
1 с (СИ) – 9192631770 колебаний, соответствующих частоте излучения атомом Cs^{133} при переходе между определенными энергетическими уровнями



- **С 1 июля 2012 г. $AT=TAI-UTC=35$ с**

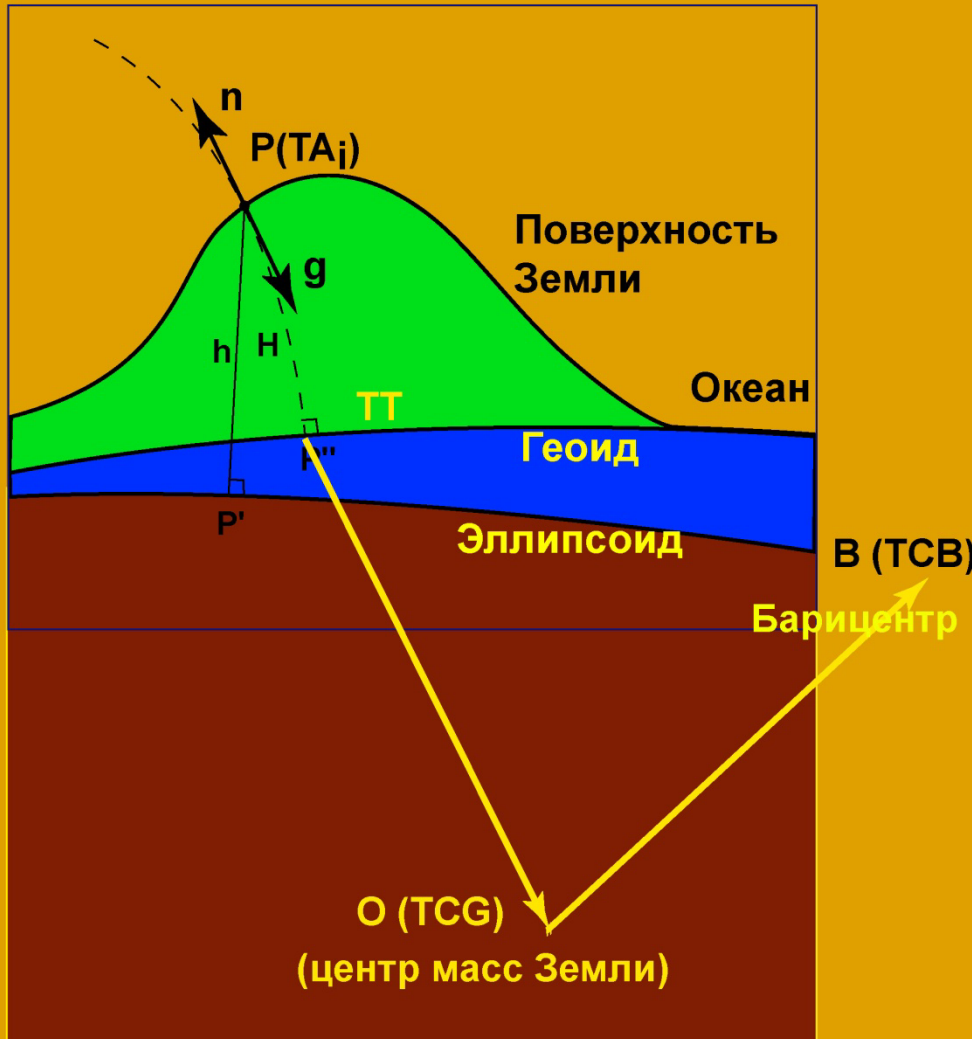
Местное, поясное, декретное, летнее время

Москва (долгота $37,5^{\circ} = 2,5h$)



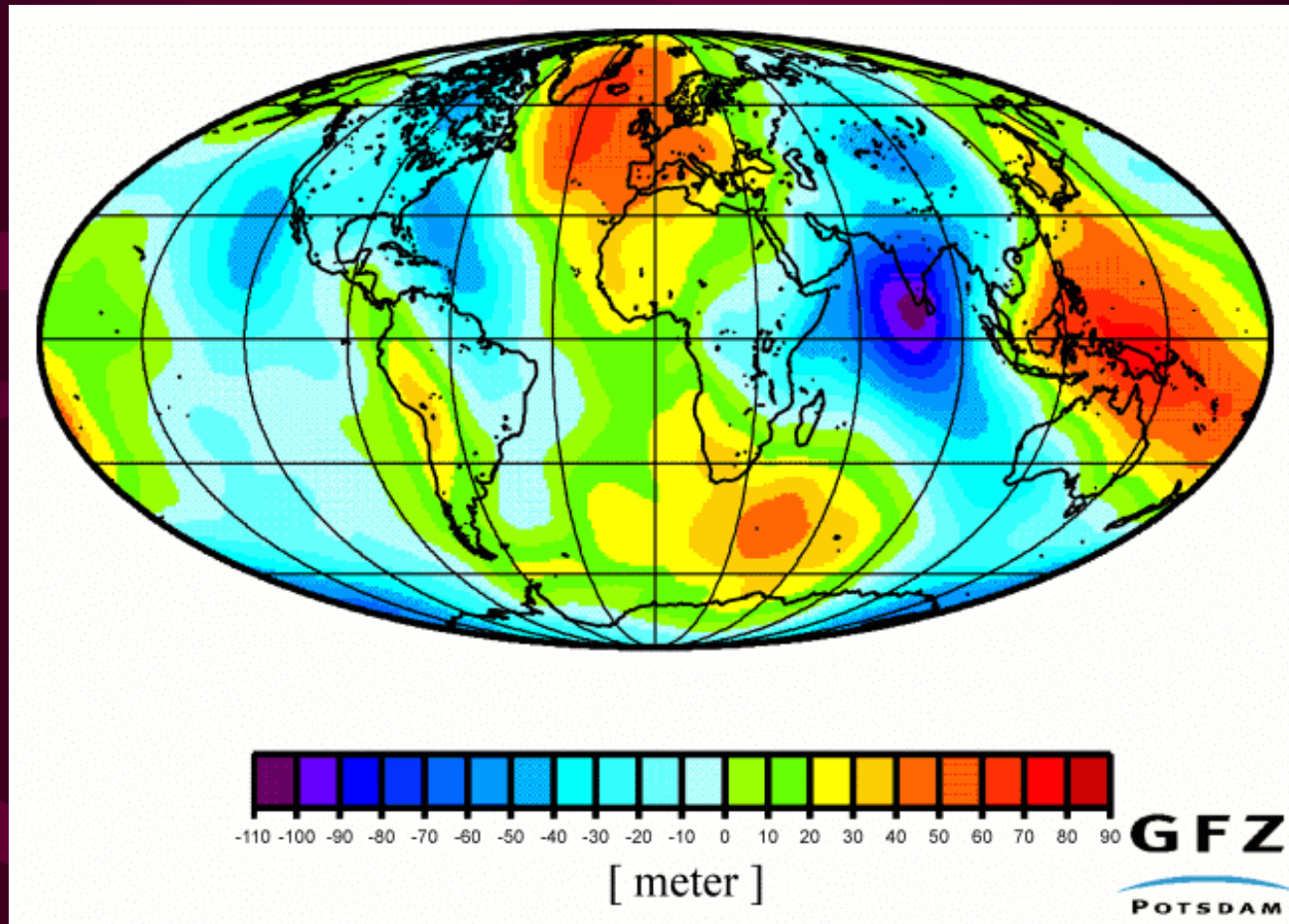
Московское летнее время (1h+2h+1h-2,5h)

Динамические шкалы времени (1)

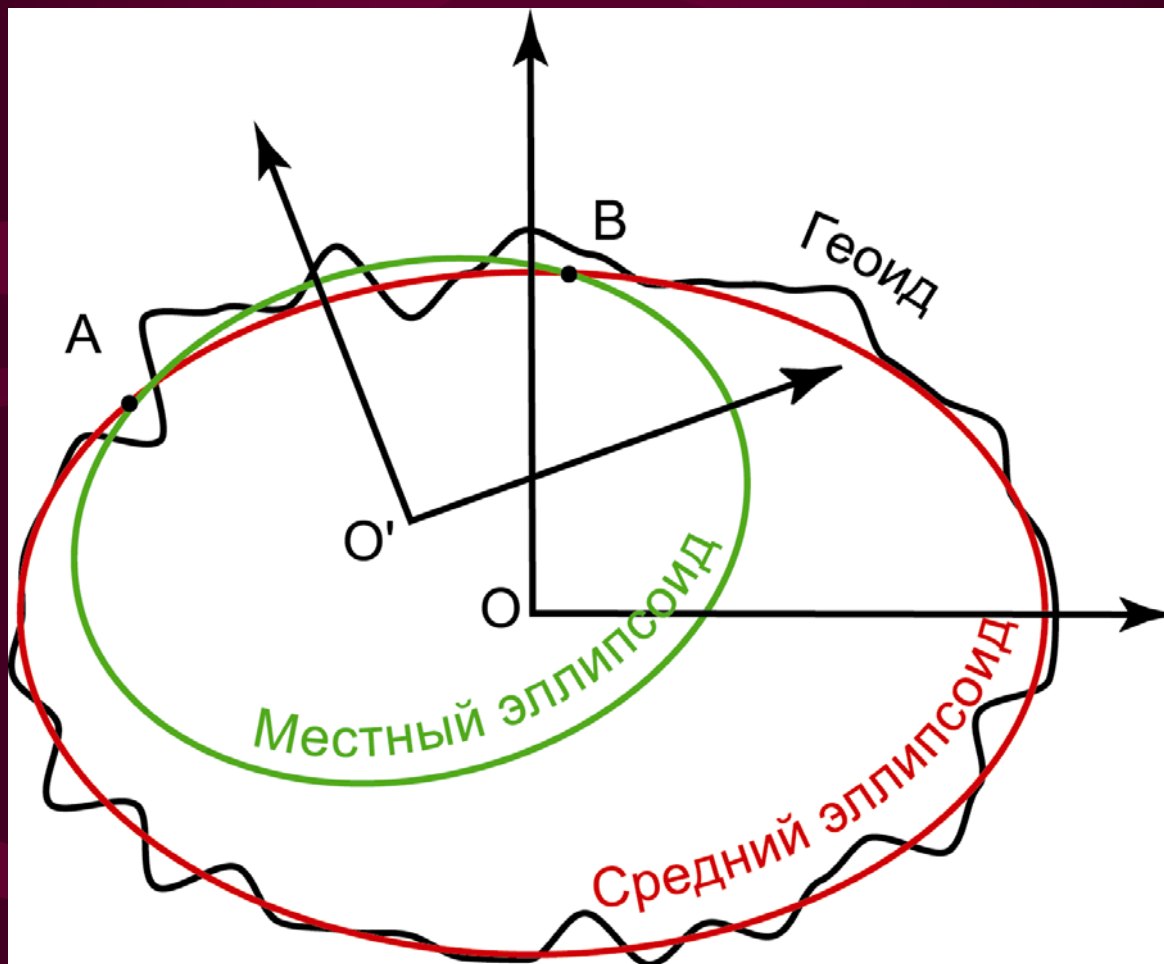


- Формирование шкалы $TAI \leftarrow (TA_1, TA_2, \dots, TA_n)$
 $\Delta t \sim 1.1 \times 10^{-13} \text{ Н [км]}$
- $UTC = TAI + N \text{ [с]}$
- $TT \text{ (Terrestrial Time)} = TAI + 32.184^s$
- $TT \rightarrow TCG \rightarrow TCB$

Геоид – система астрономических координат



Эллипсоид – система геодезических координат



Динамические шкалы времени (2)



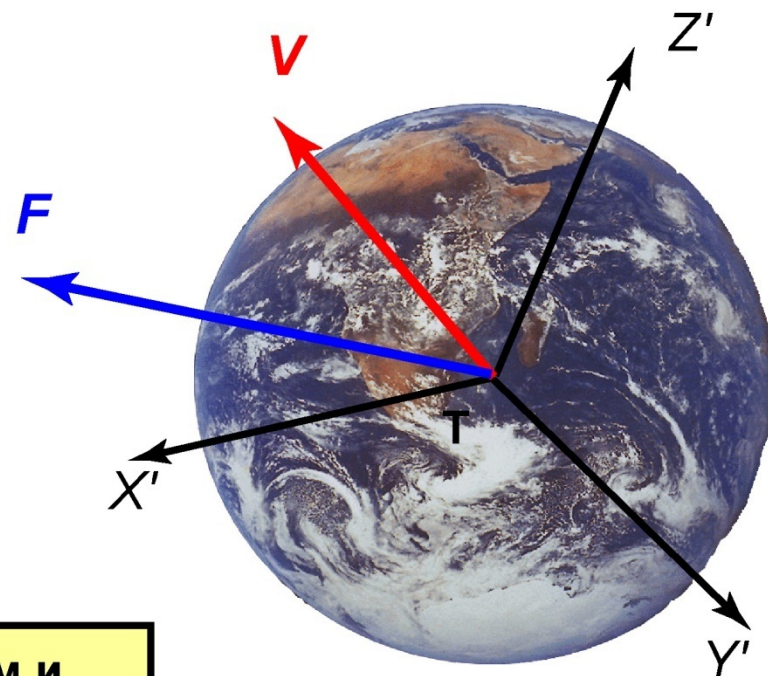
Барицентр Солнечной системы

В

X

Y

t, x, y, z
(координатное время,
барицентрические
координаты)



t', x', y', z'

(собственное время,
собственные координаты)

Соотношение между координатным и собственным временем:

$$\Delta t' [c_T] = \eta \Delta t [c_B]$$

$$\eta = \sqrt{1 - v^2/c^2} < 1 \quad (v > 0)$$

Если $\Delta t' = \Delta t$, то $1 [c_T] = \eta \times 1 [c_B]$

Хронометрирование и его применение (1)

Время - это физическая величина, которая может быть наиболее точно измерена современными методами.

Лучшие часы сейчас имеют точность порядка 10^{-14} или 10^{-15} , а в ближайшем будущем ожидается достижение точности 10^{-16} - 10^{-17} .

Если параметр может быть найден при помощи измерения временного интервала, то мы можем ожидать исключительную точность его определения.

Новое поколение атомных часов

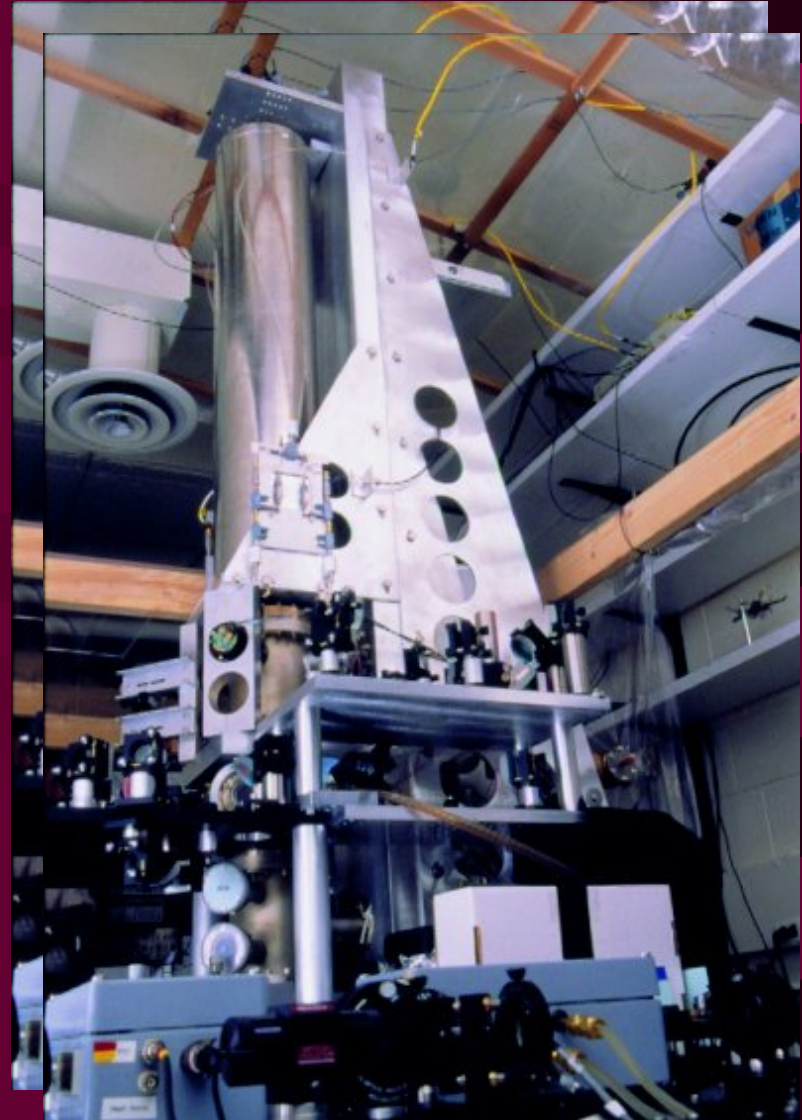
Создание атомного цезиевого стандарта частоты, метода охлаждения атомов лазерным пучком, который использован при разработке часов на цезиевом фонтане, изучение квантовой теории оптической когерентности – эти работы удостоены Нобелевских премий

(Н. Рамси, 1989;

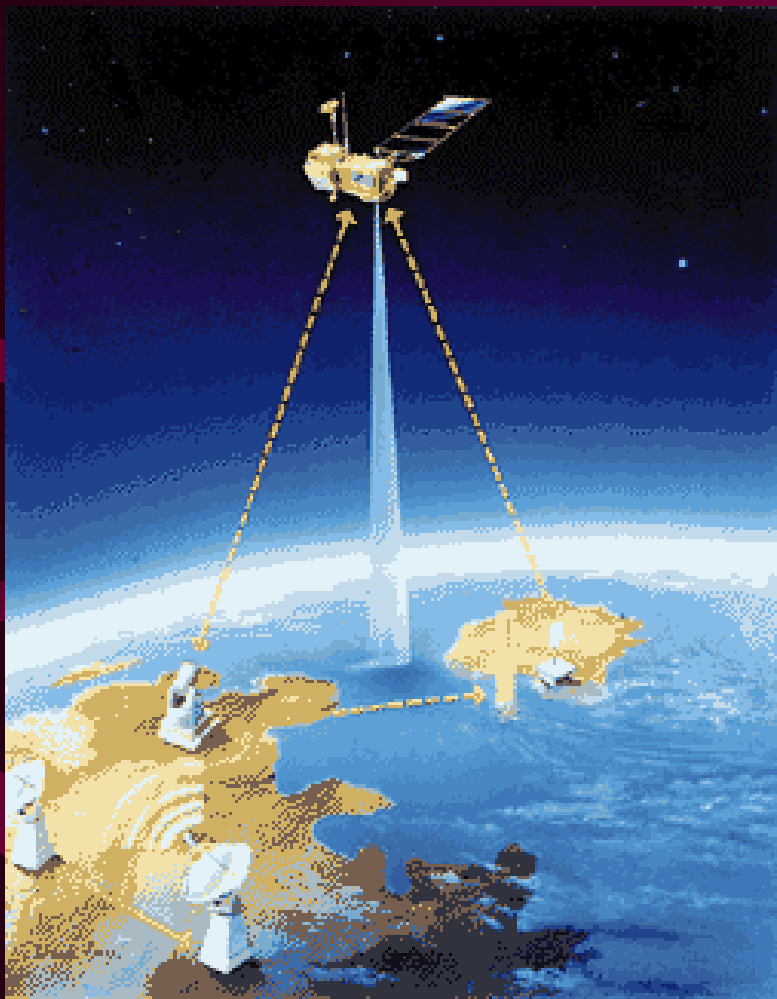
С.Чу, К.Козэн-Танноджи, В.Филлипс, 1997;

Р.Глаубер, Д.Холл, Т.Хэнш, 2005).

Цезиевый фонтан (точность $\sim 2 \times 10^{-15}$)



Хронометрирование и его применение (2)



Навигация на Земле и космическом пространстве (системы *GPS*, ГЛОНАСС)

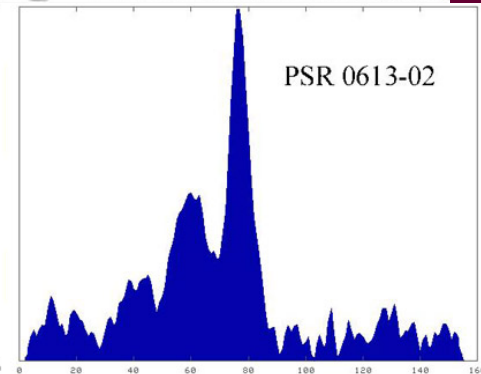
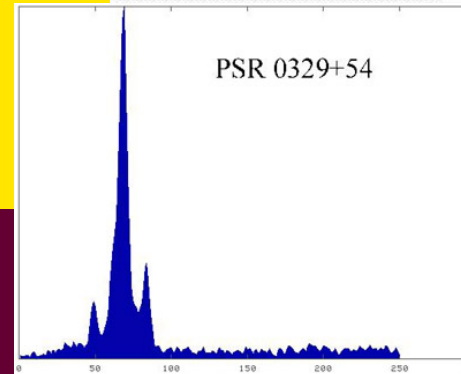
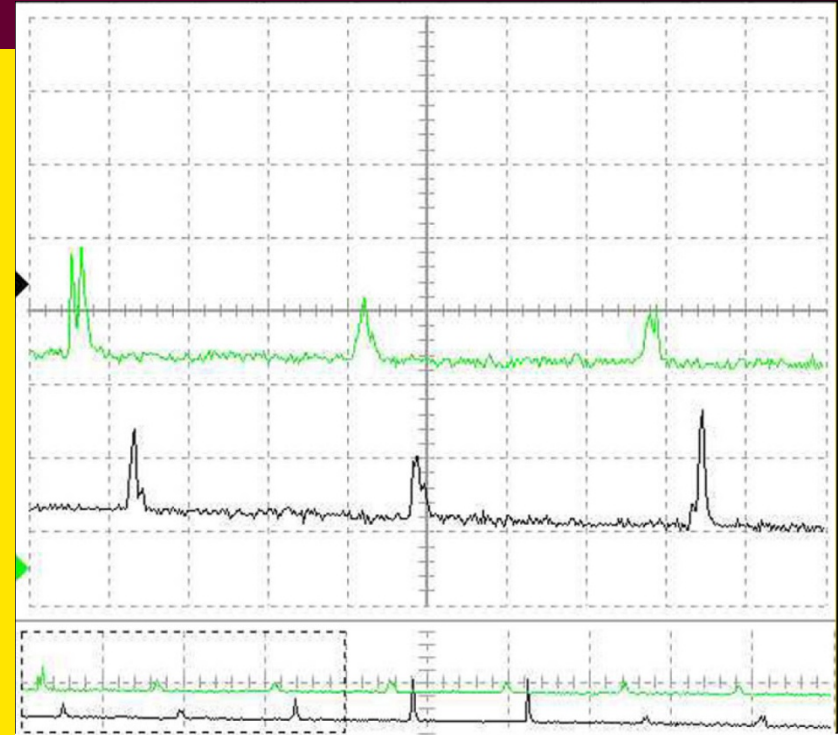
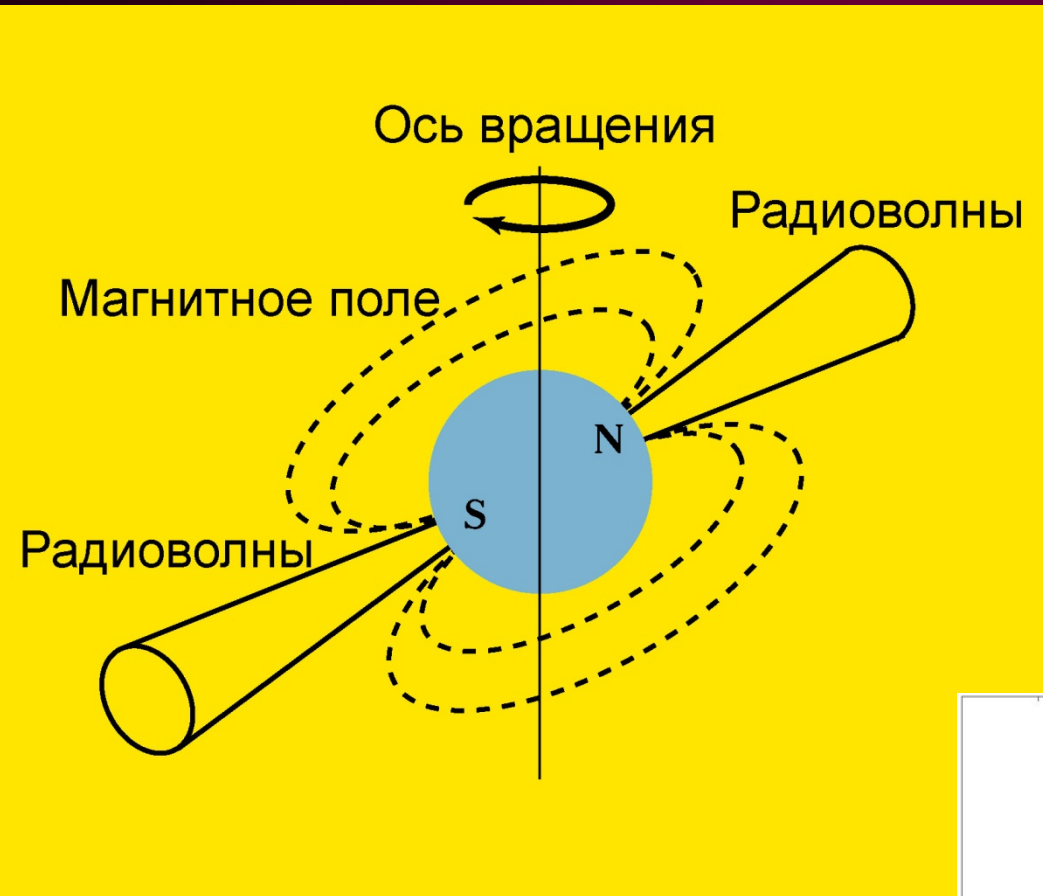
Лазерная дальнометрия

Интерферометрия

Альтиметрия

Гравиметрия (измерения силы тяжести)

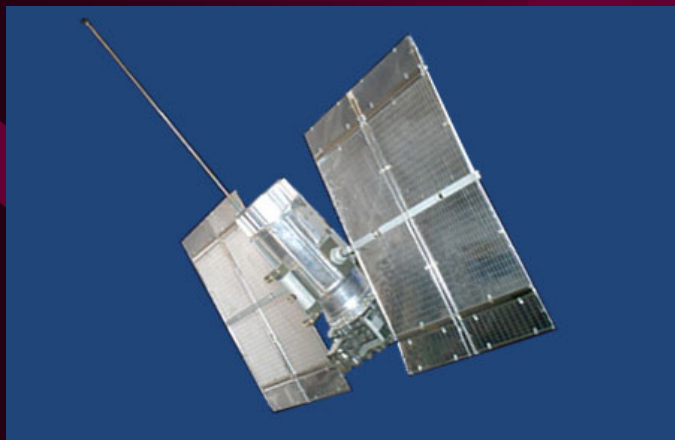
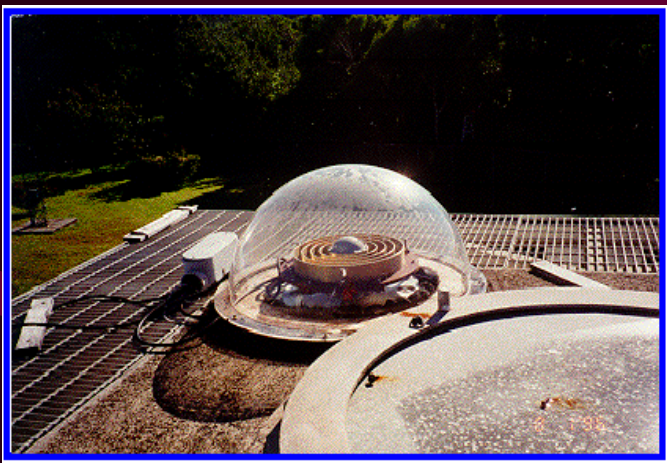
Пульсарная шкала времени



Инструменты для изучения вращения Земли (радиоинтерферометры) (1)



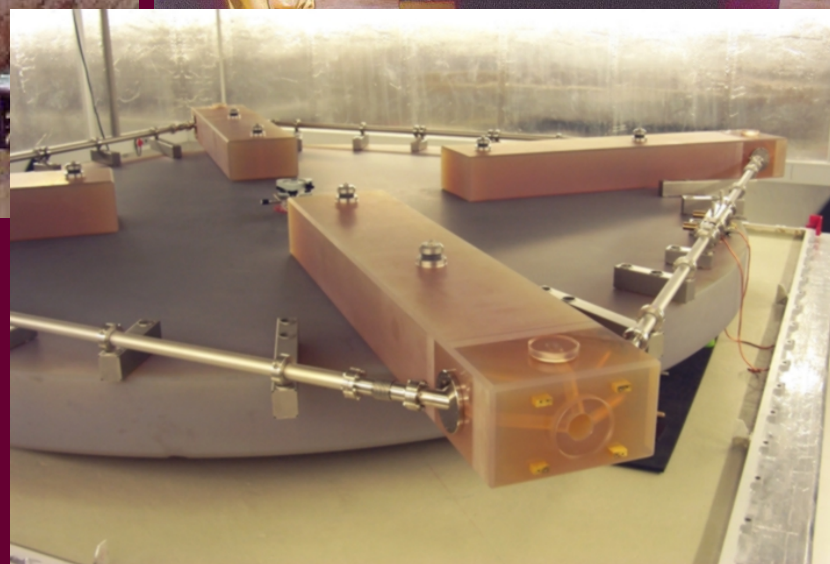
Инструменты для изучения вращения Земли (сеть антенн и приемников GPS/ГЛОНАСС) (2)



Инструменты для изучения вращения Земли (лазерные дальномеры) (3)



Инструменты для изучения вращения Земли (лазерные гироскопы) (4)



Принципы построения календарей

Календарь – система счета времени

1. Определение промежутков времени

Секунда – минута – час – **сутки** – неделя – месяц – год

2. Определение периодических явлений и их длительности

Сутки – смена дня и ночи

Синодический месяц – смена фаз Луны

Тропический год – смена времен года

3. Согласование целого числа промежутков времени с длительностью периодических явлений:

порядок вставки дополнительных месяцев (лунные)

или лет (солнечные календари)

Сутки средние

- Атомные сутки = 86400 с (СИ)
- Среднее солнце – фиктивная точка, **равномерно** движущаяся по **экватору**
- Средние солнечные сутки – промежуток между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего солнца = $86400 \text{ с} + \Delta$
- Среднее солнечное время Гринвичского меридиана – **всемирное время UT**

Тропический год

Промежуток времени, за который **среднее экваториальное солнце** проходит через **среднюю точку весеннего равноденствия**

$$T_{tr} = 365^d, 242198781 - 0^d, 000006138t$$

Синодический месяц

- Промежуток между двумя последовательными одноименными фазами Луны (29,530588 суток)

$$12 \times 29,530588 = 354,367056 \quad (365,242198)$$

Лунный календарь

354,367056 суток

1. Считаем, что календарный лунный год состоит из 354 суток:

$$354 = 6 \times 30 + 6 \times 29$$

Начало календарного месяца должно совпадать с новолунием: порядок чередования – нечетные месяцы по 30 суток, четные – по 29

2. $0,367056 \times 3 = 1,10117$ суток (в четвертом от начала счета году новолуния будут приходиться на вторые числа месяцев)

Каждые три года надо делать вставку 1 один день, т.е. длительность года = 355 суток (високосный год)

3. Надо найти порядок чередования простых и високосных годов, при котором начала календарных месяцев не отодвигались бы от новолуния

За 100 000 лунных лет -- 36706 дополнительных суток

$$K = \frac{36706}{100000} \approx \frac{m}{n}$$

«Турецкий цикл» $K=3/8$ (на протяжении восьми лет делается вставка трех дней)

«Арабский цикл» $K=11/30$ (на протяжении 30 лет делается вставка 11 дней)

Погрешность «арабского цикла» 0,0118 суток за 30 лет (новолуния передвигаются на 1 сутки вперед по отношению к первому числу календарных месяцев за 2500 лет)

4. Начало счета годов – от «переселения» («хиджры») пророка Мухаммеда из Мекки в Медину - от 16 июля 622 г.н.э.
5. Широко используется многими народами от Западной Африки до дальнего Востока.

Лунно-солнечный календарь

1 синодический месяц = 29,530588 суток

1 тропический год = 365,242198 суток

1 тропический год = 12,36826 синодических месяцев

Год состоит из 12 или 13 лунных месяцев

$$K = \frac{36826}{100000} \approx \frac{m}{n}$$

1. $K=3/8$ (октаэтерίδα) (Древний Вавилон, Древняя Греция)

2. $K=7/19$ (Метонов цикл) (основа для расчета даты Пасхи)

$19 \times 365,24220 = 6939,602$ суток

$235 \times 29,53059 = 6939,689$ суток

3. Циклы Каллиппа и Гиппарха (с учетом прецессии)

304 тр.года = 111035 суток

3760 лунных месяцев = 111035 суток

Ошибка продолжительности тр.года +6,5 минут

Ошибка продолжительности лунного месяца -0,5 с

Солнечный календарь

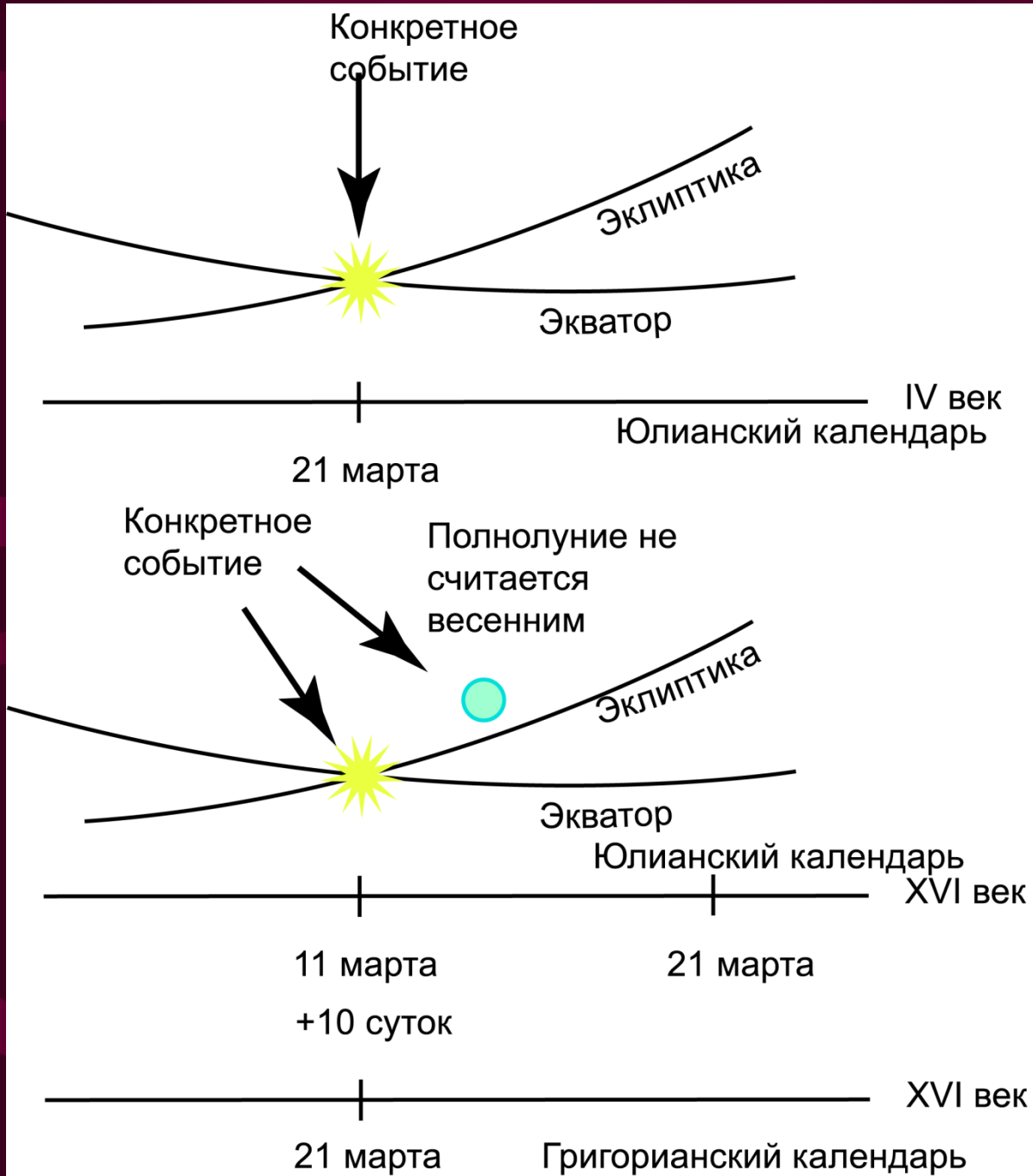
1 тропический год = 365,242198 суток

$$K = \frac{2422}{10000} \approx \frac{m}{n}$$

1. $K=1/4$ (юлианский календарь)
2. $K=8/33$ (персидский календарь – Омар Хайям, Иран до середины XIX в.)
3. $K=97/400$ (григорианский календарь)
4. $K=218/900$ (новоюлианский календарь, М.Миланкович)

Юлианский и григорианский календарь

- Продолжительность года в юлианском календаре 365,25 суток на 0,0078 суток больше тропического года
- Разница в 1 сутки набегаает за 128 лет (момент прохождения Солнца через точку весеннего равноденствия сдвигается назад)



Реформа календаря

Гюстав Армелин (1888 г.)

«Всемирный календарь»

1 год = 12 месяцев = 4 квартала = 364 суток

1 квартал = 91 сутки = 13 недель = 31+30+30 сутки

Первое число года и квартала – воскресенье

Квартал заканчивается субботой

В каждом месяце 26 рабочих дней

В простом году дополнительный праздничный день добавляется после 30 декабря

В високосном еще один день добавляется после 30 июня

Заключение (о роли измерения времени):

- **Время – это четвертая координата, необходимая для полного описания нашего положения во Вселенной ;**
- **Обеспечение функционирования сложных транспортных систем;**
- **Космические исследования, мониторинг Земли и околоземного пространства;**
- **Решение задач астрономии, геодезии, геофизики, поиск и разработка месторождений полезных ископаемых;**
- **Прокладка коммуникаций, строительство, сельское хозяйство и многие другие области экономики;**
- **Разработка новых технологий.**

Спасибо за внимание!