

### Поиск годичного параллакса Джеймс Брадлей (1693-1762)



### Поиск годичного параллакса

### Гринвичская обсерватория

**1725 г.** – Джеймс **Брадлей** (профессор в Оксфорде) - проверка результата Гука

(якобы годичный параллакс  $\gamma$  *Draconis* – 30 “)

Зенитный сектор радиусом 7.2 м, установленный в меридиане. Год наблюдений

Начинал наблюдения Самуэль **Молинё** (1689-1728), позже, назначенный в Адмиралтейство

### Поиск годичного параллакса

### Гринвичская обсерватория

Декабрь-март – 20" на юг

Март-сентябрь - 40" на север

К началу декабря – в прежнее положение

Погрешность наблюдений -  $< 2''$

При параллактическом смещении – наибольшее смещение – на три месяца раньше! (Зимой – как можно дальше к югу, летом – как можно дальше к северу)

### Поиск годичного параллакса

### Гринвичская обсерватория

Другие звезды: изменения тем меньше, чем ближе к эклиптике звезды

**(Берри, стр.223)**

**1728 г.** – объяснение – движение Земли! (Начало **1728 г.** – доклад Королевскому Обществу)

**Аберрация** (не нутация) – **первое доказательство движения Земли!**

**(Климишин, стр.223)**

### Поиск годичного параллакса

### Гринвичская обсерватория

Тогда же сделан вывод – на имеющихся инструментах параллактическое смещение необнаружимо

Первый параллакс – **1822 г.** (сто лет спустя!) – **В.Я.Струве (1793-1864)** –  $\alpha$  Орла – Альтаир (0.181")

### Нутация

#### Гринвичская обсерватория

**1742 г. – Бадлей** – королевский астроном

У звезды  $\gamma$  *Draconis* были обнаружены вторичные колебания положений с периодом примерно 19 лет и амплитудой 18". **Нутация**

Объяснение дано другими (**1748 г.**) – колебания оси вращения Земли, вызванные тяготением Луны и обусловленные несферичностью Земли

(Предел точности наблюдений. Редукции. После смерти **Бадлея** его наблюдения обработал **Бессель**)

### Фигура Земли

Жан Рише. 1672 г. - экспедиция в Кайенну ( $\varphi = +5^\circ$ )

Маятник качается медленнее

$g$  – меньше; действие центробежных сил + сплюснутость Земли (Гюйгенс – 1683 г., Ньютон)

Гюйгенс (1687) – сплюснутость  $1 / 572$

Ньютон –  $1 / 230$  ( $1 / 298.3$ ) – объяснил прецессию, предсказал нутацию

### Фигура Земли

Тем не менее французские астрономы (многолетние наблюдения дуги меридиана) сделали вывод об уменьшении дуги в  $1^\circ$  к северу

**(Климишин, стр.191, слова Вольтера)**

Граф Морепа добился в **1734** г. финансирования экспедиции



### Фигура Земли

#### Парижская обсерватория

(16 мая) **1735 г.** – руководитель – академик Луи **Годен**. Луи **Бугер** (гидрограф), Шарль-Мари **Ла Кондамин** (военный математик и астроном), Жозеф **Жюссье** (врач-натуралист).

Экспедиция в северную часть Перу (ныне Эквадор, горная долина Кито) – Анды, дуга меридиана в  $3^\circ$  - 320 км, от местечка Яруки, близ Кито, до точки за городом Куэнкой.

(Предполагалось измерить и дугу в направлении запад-восток)

Завершение экспедиции – **1743 г.**

### Фигура Земли

#### Парижская обсерватория

(**Годен** остался в Перу и стал преподавателем Университета в Лиме. Академия наук исключила его из своего состава (растраты). Позже он перебрался в Бразилию, затем в Испанию.

**Ла Кондамин** занимался переправкой драгоценностей.

**Буге** самостоятельно добрался до Парижа 27 июня **1744 г.**

**Ла Кондамин** пересек континент по течению Амазонки (каучук), а потом направился к французскому порту в Кайенне. 30 ноября **1744 г.** он высадился в Амстердаме.)

### Фигура Земли

#### Парижская обсерватория

(2 мая) **1736 г.** – **Мопертюи** и **Клеро** – экспедиция в Лапландию, Торнио – дуга меридиана в 57'

Завершение экспедиции – **1738 г.**

### Фигура Земли

#### Парижская обсерватория

Кито - 1 град. = 56 753 туаза

(“французский” градус = 57 057 туазов)

Торнио - 1 град. = 57 438 туазов

**К 1740 г. вопрос был решен: с увеличением широты  
длина  $1^\circ$  дуги меридиана возрастает!**

Торнио-Париж – сжатие 1/114

Кито-Париж – 1/279

### Масса Земли и масса Солнца

(Ньютон сделал относительные измерения)

Третий закон Кеплера (сначала для системы Земля-Луна, а потом – Солнце-Земля)

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM},$$

$$M_{Sun} = 330000M_{\oplus}$$

$$\rho_{\oplus} = ?$$

### Масса Земли и масса Солнца

$$\rho_{\oplus} = ?$$

✓ **Ньютон** – в 5 раз тяжелее воды. Оценка без измерений  
(Климишин, стр. 194)

✓ **1749 г.** наблюдения в Перу вблизи горы Чимборасо (Пьер Бугер и Шарль Мари **Ла Кондамин**). Отвес отклоняется на 7-8”



### Масса Земли и масса Солнца

- ✓ **1774 г.** - Невилл **Маскелайн (1732-1811)** выполнил аналогичные измерения на севере Шотландии (вблизи горы Шегальен, или Шихаллион, над озером Тэй). (Линии равных высот)

Измерения зенитного расстояния полюса на одном меридиане к северу и к югу от хребта

Расстояние 1330 м. Разность зенитных расстояний – 43“. Измерения - 54.8” (отклонение отвеса - 5.9”)

### Масса Земли и масса Солнца

- ✓ 1774 г. - Невилл Маскелайн - измерения вблизи горы Шихаллион

Плотность Земли – в 1.8 раза превышает плотность горы. При средней плотности гранита  $2.6 \text{ г/см}^3$

–

$$\rho_{\oplus} = 4,7 \text{ г / см}^3$$



### Масса Земли и масса Солнца

- ✓ **1797 г.** - Генри **Кавендиш (1731-1810)** “заменял” гору двумя свинцовыми шарами по 158 кг каждый. Масса пробных тел по 729 г. Подвешены на горизонтальной деревянной палочке, закрепленной в центре масс серебряной нитью. Измерялся угол закрутки нити

$$\rho_{\oplus} = 5,52 / \text{см}^3$$

**Масса Земли -  $5.98 \cdot 10^{27}$  г**

**Масса Солнца –  $2 \cdot 10^{33}$  г – взвешено при помощи деревянной палочки!**

### Определение параллакса Солнца

Античное значение (пользовался еще Тихо Браге)  
параллакса Солнца 3'

**Кеплер** по наблюдениям Марса (**Тихо**) вывел, что  
параллакс Солнца  $< 1'$

Около **1630 г. Венделин** (методом Аристарха, но уже  
пользуясь телескопом) для треугольника Аристарха  
определил угол Земля-Луна-Солнце в первую четверть:

$$90^\circ - 0'.25 (!)$$

### Определение параллакса Солнца

**Жан Рише.** Осень **1672 г.** - экспедиция в Кайенну ( $\varphi = +5^\circ$ ).  
Марс в противостоянии. Расстояние Земля-Марс  $0.37 \text{ а. е.}$

**Кассини** в Париже: параллакс Марса  $< 25''$ , следовательно  
параллакс Солнца  $< 10''$  ( $9''.5$ )

Расстояние до Солнца –  $140\,000\,000 \text{ км}$  (!)

### Определение параллакса Солнца

Николай Луи де **Лакайл**

**1750 г.** – экспедиция на мыс Доброй Надежды (5 лет)  
Параллакс Луны (57'5")

Наблюдения Марса в противостоянии и серпа Венеры  
вблизи нижнего соединения. Европейские  
корреспондирующие результаты не очень точные

По наблюдениям Марса – 10".2

По наблюдениям Венеры – 10".6

### Определение параллакса Солнца

**1676-1678** гг. – о. св.Елены – попытка определить параллакс Солнца, наблюдая прохождение Меркурия по диску Солнца (**1677**). Неудачная (45” вместо 8.79“)

Эдмунд **Галлей** предложил в **1691** г. использовать для решения этой задачи прохождение Венеры – в **1761** г. и в **1769** г.

**1716** г. – еще один призыв

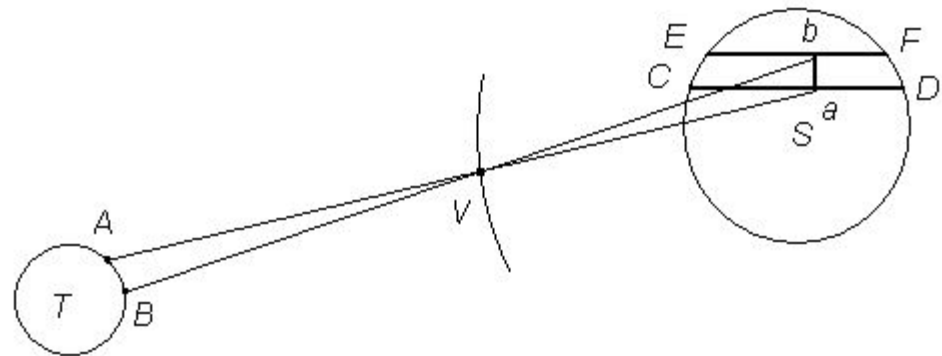
### Определение параллакса Солнца

6 июня **1761** г. ( $8'' - 10''$ )

3 июня **1769** г. ( $8'' - 9''$ ) - чуть больше 150 миллионов километров (**Лаланд** по наблюдениям **Джеймса Кука** на Таити).

(1874, 1882, ...

2004, 2012)



### Проблема устойчивости Солнечной системы

**1625 г. – Кеплер** – Юпитер и Сатурн уклоняются от движения по своим орбитам

**Галлей** – Юпитер движется ускоренно, а Сатурн замедленно. (За 1000 лет уклонения на  $0^{\circ}57'$  и  $2^{\circ}19'$  соответственно)

Возрастание скорости движения Луны

### Теория движения Луны

Проблема долгот

Погрешность в 1' – погрешность координат до 27 морских миль (до 50 км)

**Галлей** – 18 лет наблюдений



### Теория движения Луны

#### Д'Аламбер, Клеро, Эйлер

**Д'Аламбер, Клеро и Эйлер** - задача трех тел в форме, пригодной для лунной теории

**Жан Д'Аламбер (1717-1783)** – “Аналитическая механика” (1743) – общий подход к составлению дифференциальных уравнений движения

Неравенства Луны. Точная теория прецессии и физический смысл явления нутации (1749)

### Теория движения Луны

#### Д'Аламбер, Клеро, Эйлер

Алексис Клод **Клеро (1713-1765)** – премия Петербургской академии (1752 г.) – “Теория Луны”. (Комета Галлея)

До этого (1746 г.) – теория давала скорость вращения большой оси лунной орбиты  $20^\circ$ , а наблюдения в два раза больше

Попытка “уточнить” закон всемирного тяготения

$$F = Gm_1m_2 / r^2 * (1 + \alpha / r^n)$$

### Теория движения Луны Возмущенное движение

Леонард **Эйлер** (1707-1783) – 1753 г. – “Теория движений Луны” – премия Парижской академии 1752 г.

**Эйлер** – “Новая теория движения Луны” (1755).  
Бесконечные ряды для представления оскулирующих элементов. Вековые и периодические члены

Товия **Майер** (1723-1762) – объединение теории и практики (теория Эйлера, но амплитуда отклонений из наблюдений). Ошибки до 1'.5

### Проблема устойчивости Солнечной системы Возмущенное движение

Вековые и периодические члены (впоследствии – благодаря оценке отклонений элементов орбит удалось открыть Нептун и Плутон)

**Эйлер:** в параметрах орбит Юпитера и Сатурна есть вековые члены

**1763 г. – Жозеф Лагранж (1730-1813)** – подтвердил присутствие вековых членов

**1773 г. Иоганн Генрих Ламберт** – замедление Юпитера и ускорение Сатурна – периодические члены!

### Проблема устойчивости Солнечной системы

Симон Лаплас (1749-1827)

**1773 г.** – учел большее число членов. Система Солнце-Юпитер-Сатурн – устойчива

Большие полуоси – периодические изменения

**1776 г.** – **Лагранж** – эксцентриситет и наклон – периодические изменения

**1784 г.** – **Лаплас:**

$$\sum_{k=1}^n m_k e_k^2 \sqrt{a_k} = \text{const},$$

$$\sum_{k=1}^n m_k \sqrt{a_k} \text{tg}^2 i_k = \text{const}.$$

### Проблема устойчивости Солнечной системы

**1784 г. – Лаплас:** долгопериодические возмущения (с периодом около 900 лет) больших планет – резонанс

$$P_{Jup} \approx \frac{2}{5} P_{Sat} \cdot$$

(Климишин, стр.211)

**Лаплас** же ввел термин “небесная механика”.

“Трактат по небесной механике” (5 книг) – **1799-1825 гг.**

Лапласовский детерминизм