

МОК КазГАСА

Дисциплина: Геодезическая астрономия

**Л6-7. Факторы, вызывающие
изменения координат светил.
Вращательное движение Земли.**



Содержание лекции

- Астрономическая рефракция.
- Абберрация.
- Параллакс.
- Нутация.
- Прецессия.
- Собственное движение звезд.
- Движение полюсов Земли.

Астрономическая рефракция

Рефракция астрономическая (атмосферная рефракция) — преломление в атмосфере световых лучей от небесных светил. Поскольку плотность планетных атмосфер всегда убывает с высотой, преломление света происходит таким образом, что своей выпуклостью искривленный луч всегда обращен в сторону зенита.

В связи с этим рефракция всегда «приподнимает» изображения небесных светил над их истинным положением. Другое видимое следствие рефракции (точнее, разницы её значений на разных высотах) — сплющивание видимого диска Солнца или Луны на горизонте.

Астрономическая рефракция



Астрономическая рефракция

- Величина рефракции сильно зависит от высоты наблюдаемого объекта над горизонтом и меняется от 0 в зените до около 35 минут дуги на горизонте. Кроме того, есть зависимость от атмосферного давления и температуры: увеличение значения рефракции на 1 % может быть вызвано повышением давления на 0,01 атм или понижением температуры на 3 градуса Цельсия.
- Есть и зависимость величины рефракции от длины волны света (атмосферная дисперсия): коротковолновый (синий) свет преломляется сильнее длинноволнового (красного), и на горизонте эта разница достигает около 0,5 минуты дуги.

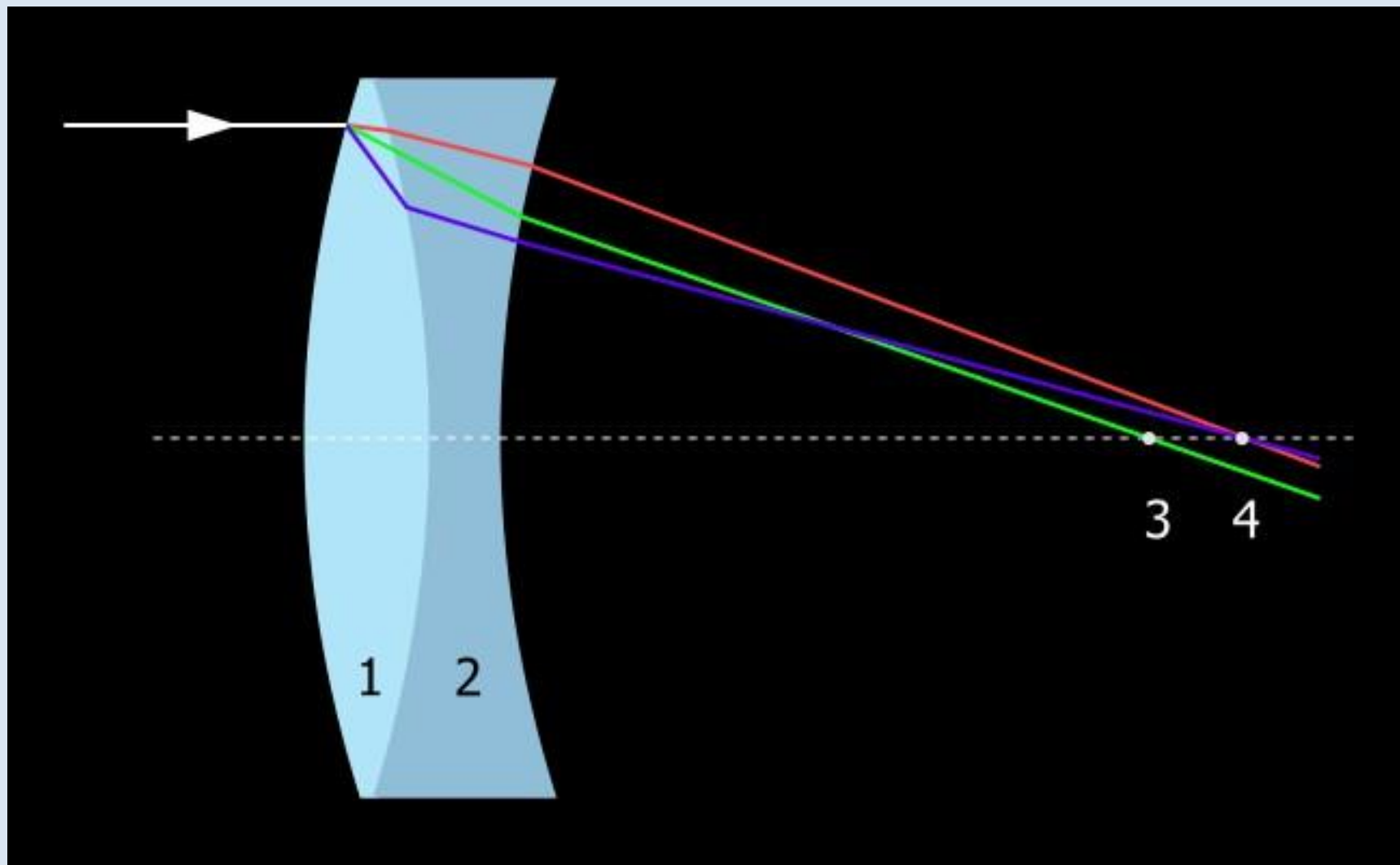
Аберрация

- **Аберрация света** в астрономии это кажущееся смещение небесного объекта вследствие конечной скорости распространения света в сочетании с движением наблюдаемого объекта и наблюдателя.
- Действие аберрации приводит к тому, что видимое направление на объект не совпадает с геометрическим направлением на него в тот же момент времени.
- Эффект состоит в том, что вследствие движения Земли вокруг Солнца и времени, необходимого для распространения света, наблюдатель видит звезду не в том месте, где она находится.

Аберрация

- Если бы Земля была неподвижна, или если бы свет распространялся мгновенно, то световой аберрации не было бы. Поэтому, определяя положение звезды на небе посредством телескопа, мы должны отсчитать не тот угол, под которым наклонена звезда, а несколько увеличив его в сторону движения Земли.
- Эффект аберрации не велик. Наибольшая его величина достигается при условии движения земли перпендикулярного направлению луча. При этом отклонение положения звезды составляет всего 20,4 секунды, потому что земля в 1 секунду времени проходит только 30км, а луч света— 300 000км.

Аберрация



Параллакс

- **Параллакс** (параллактическое смещение) в астрономии, видимое перемещение светил на небесной сфере, обусловленное перемещением наблюдателя в пространстве вследствие вращения Земли (суточный П.), обращения Земли вокруг Солнца (годовой П.) и движения Солнечной системы в Галактике (вековой П.). Точно измеренные П. небесных светил и групп светил позволяют определять расстояния до них.
- Суточный П. определяют как угол с вершиной в центре небесного светила и со сторонами, направленными к центру Земли и к точке наблюдения на земной поверхности. Величина суточного П. зависит от зенитного расстояния светила и меняется с суточным периодом.

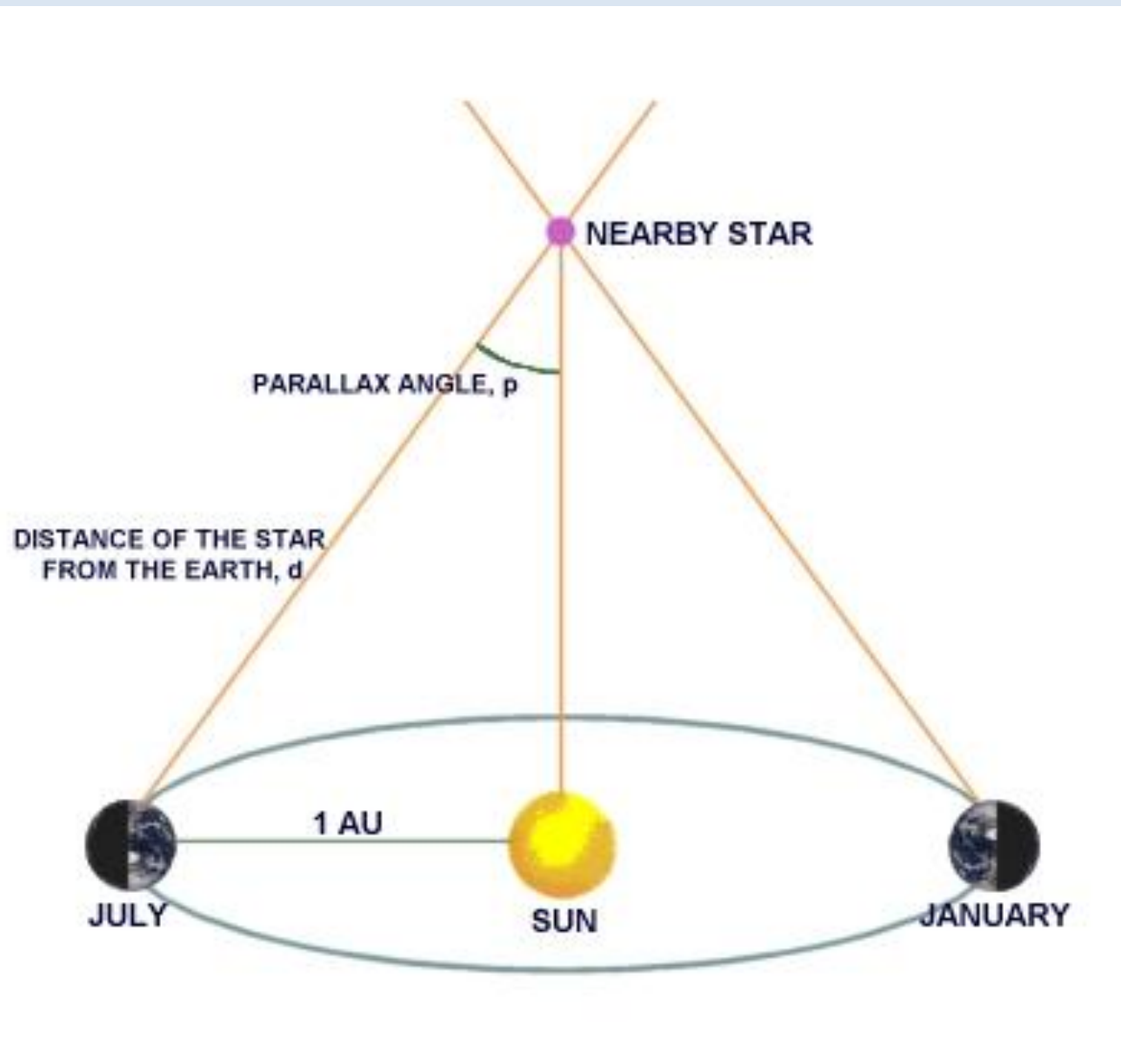
Параллакс

- П. светила, находящегося на горизонте места наблюдения, называется горизонтальным П., а если при этом место наблюдения лежит на экваторе,— горизонтальным экваториальным П., постоянным для светил, находящихся на неизменном расстоянии от Земли. Горизонтальный экваториальный П. небесного светила p_0 связан с его геоцентрическим расстоянием r соотношением



где R — радиус земного экватора. В значениях горизонтального экваториального П. выражают расстояния до Солнца, Луны и др. тел в пределах Солнечной системы. Для среднего расстояния Солнца принята величина $8,79''$, для среднего расстояния Луны $57'2,6''$.

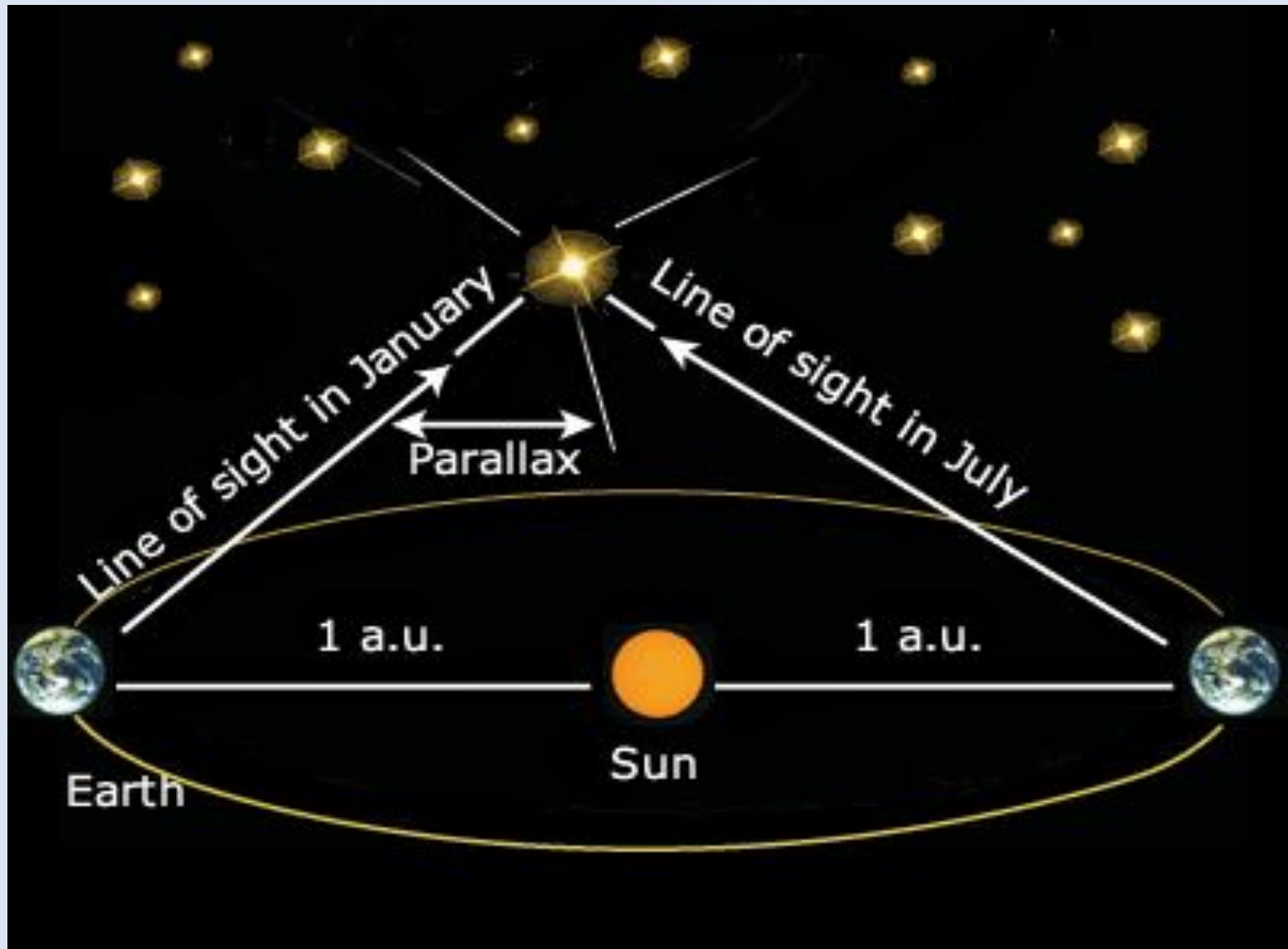
Параллакс



Параллакс

- На положение звёзд вследствие их большой удалённости суточный П. практически не влияет.
- Годичный П.— малый угол (при светиле) в прямоугольном треугольнике, в котором гипотенуза есть расстояние от Солнца до звезды, а малый катет — большая полуось земной орбиты.
- Годичные П. служат для определения расстояний до звёзд; эти П. вследствие их малости могут считаться обратно пропорциональными расстояниям до звёзд (параллаксу $1''$ соответствует расстояние в 1 [парсек](#)).
- П. ближайшей звезды — Проксимы Центавра — $0,76''$.
- П., определённые путём непосредственных измерений видимых смещений звёзд на фоне значительно более удалённых звёзд, называются тригонометрическими.

Параллакс



Нутация

В астрономии **Нутация** — небольшие колебания земной оси, накладывающиеся на прецессионное её движение. Эти колебания обусловлены изменениями притяжения, оказываемого Луной и Солнцем на т. н. экваториальный избыток массы вращающейся Земли (который является следствием сжатия Земли), и называется лунно-солнечной, или вынужденной **Нутацией**.

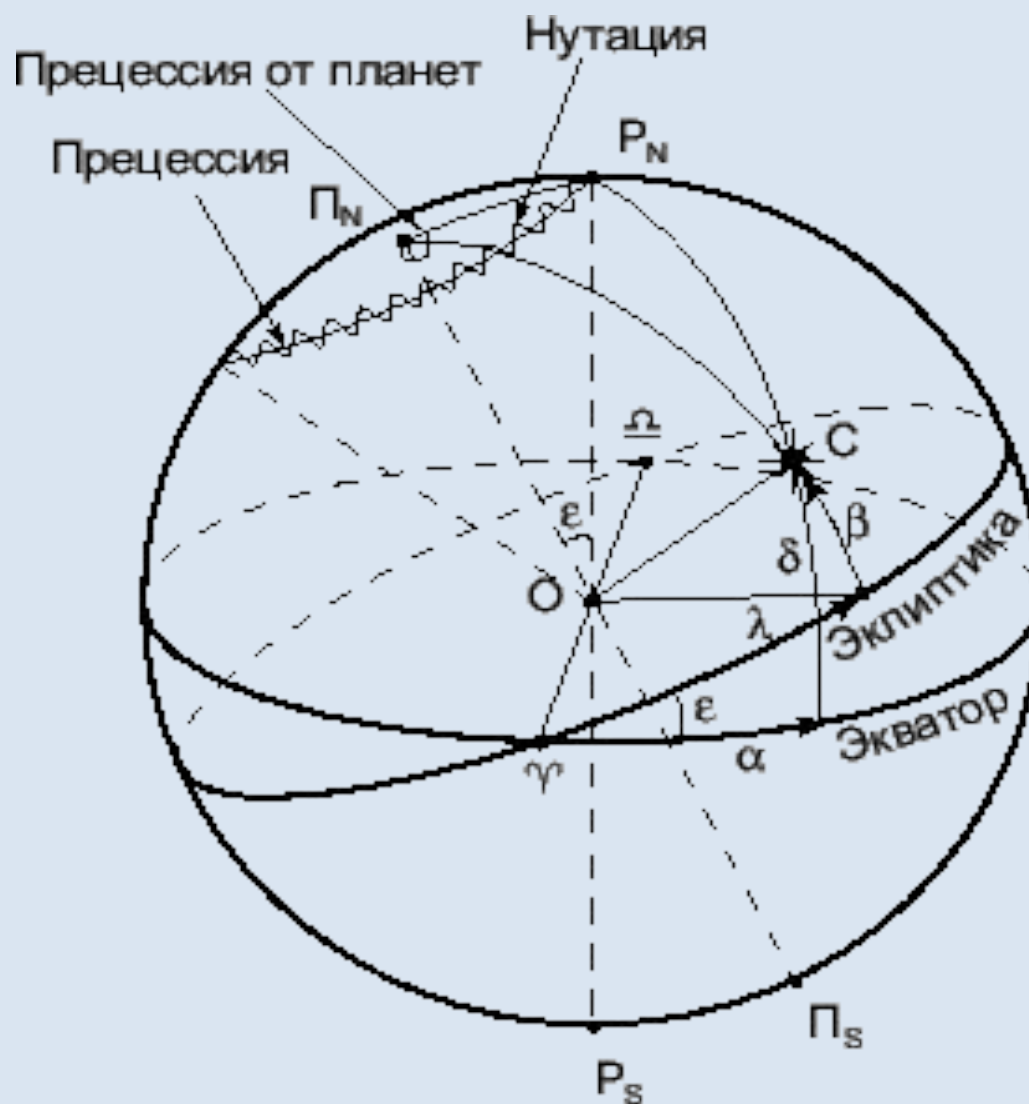
Возмущающие силы Луны и Солнца вызывают вынужденные колебания земной оси, которые могут рассматриваться как совокупность простых колебаний с различными периодами и амплитудами.

Нутация

Нутация вызывает изменение положения точки весеннего равноденствия на эклиптике, что является причиной соответствующего изменения эклиптической долготы, причём эклиптическая широта остаётся неизменной. Вследствие **Нутация** изменяется наклон эклиптики к экватору изменяются экваториальные координаты небесных светил.

Наибольшее колебание вызывается изменением (превышающим 10°) наклона орбиты Луны к земному экватору. Это изменение связано с попятным движением линии узлов лунной орбиты; поэтому основной период Нутации равен 18,6 года — периоду оборота линии узлов. Соответствующие главные члены **Нутация** равны $+ 9,21'' \cos \underline{W}$ в наклоне и $- 17,23'' \sin \underline{W}$ по долготе, где $\underline{W}$ — средняя долгота восходящего узла орбиты Луны на эклиптике.

Нутация и прецессия



Прецессия

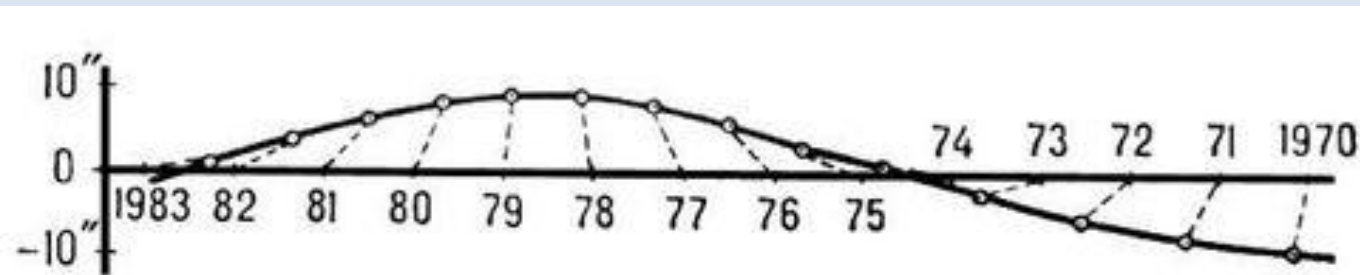
Прецессия в астрономии - медленное движение оси вращения Земли по круговому конусу, ось симметрии которого перпендикулярна к плоскости эклиптики, с периодом полного оборота » 26 000 лет.

Прецессия называется также предварением равноденствий, т. к. она вызывает медленное смещение точек весеннего и осеннего равноденствий, обусловленное движением плоскостей эклиптики и экватора (*рис. 2*) (точки равноденствия определяются линией пересечения этих плоскостей). Упрощённо Прецессия можно представить как медленное движение оси мира (прямой, параллельной средней оси вращения Земли PP'') по круговому конусу, ось которого перпендикулярна к эклиптике (*см. рис. 2*), с периодом полного оборота » 26000 лет.

Прецессия

Перемещение точек равноденствия происходит по эклиптике с востока на запад, т. е. навстречу видимому годовому движению Солнца, на $50,3''$ в год. В результате этого тропический год (промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия), с которым связана смена времён года на Земле, на $20 \text{ мин } 24 \text{ сек}$ короче звёздного года, т. е. периода полного обращения Земли вокруг Солнца (см. [Год](#)).

Вследствие **Прецессия** изменяются эклиптические и экваториальные координаты небесных тел (см. [Небесные координаты](#)). Долготы звёзд, отсчитываемые от точки весеннего равноденствия, возрастают на $50,3'''$ в год, широты же меняются незначительно.



Прецессия

Прямые восхождения и склонения звёзд изменяются более сложным образом. В результате **Прецессия** медленно изменяется картина суточного вращения звёздного неба: около 4600 лет тому назад полюс мира был вблизи звезды Дракона, теперь он расположен вблизи Полярной звезды (Малой Медведицы), а через 12 000 лет «полярной» звездой станет Вега (Лирь) (*рис. 3*).

С перемещением полюса мира среди звёзд связано изменение условий видимости созвездий в данной географической области; это позволяет по упоминаниям тех или иных созвездий в древнейших памятниках письменности приближённо установить время появления этих памятников.

Собственное движение звезд

Из сравнения экваториальных координат одних и тех же звезд, определенных через значительные промежутки времени, было обнаружено, что их прямые восхождения и склонения меняются с течением времени. Значительная часть этих изменений вызывается прецессией, нутацией, абберрацией и, в меньшей степени, годичным параллаксом.

Если исключить влияние этих причин, то изменения уменьшаются, но не исчезают полностью. Оставшееся смещение звезды на небесной сфере за год называется собственным движением звезды μ .

Оно выражается в секундах дуги в год.

Собственные движения у разных звезд различны по величине и направлению. Только несколько десятков звезд имеют собственные движения больше $1''$ в год.

Собственное движение звезд



Собственное движение звезд

Самое большое известное собственное движение $m = 10'',27$ (у “летающей” звезды Барнарда). Громадное же большинство измеренных собственных движений у звезд составляют сотые и тысячные доли секунды дуги в год.

Из-за малости собственных движений изменение видимых положений звезд не заметно для невооруженного глаза. В свое время это дало повод к возникновению термина “неподвижные звезды”. Однако за очень большие промежутки времени фигуры созвездий меняются весьма заметно.

Например, на рис. 68 изображено взаимное расположение семи ярких звезд Большой Медведицы в настоящее время (б), 50 000 лет тому назад (а) и через 50 000 лет (в).

Собственное движение каждой звезды происходит по дуге большого круга и с постоянной скоростью. Небольшие периодические отклонения от дуги большого круга в собственном движении замечены лишь у нескольких звезд.

Собственное движение звезд

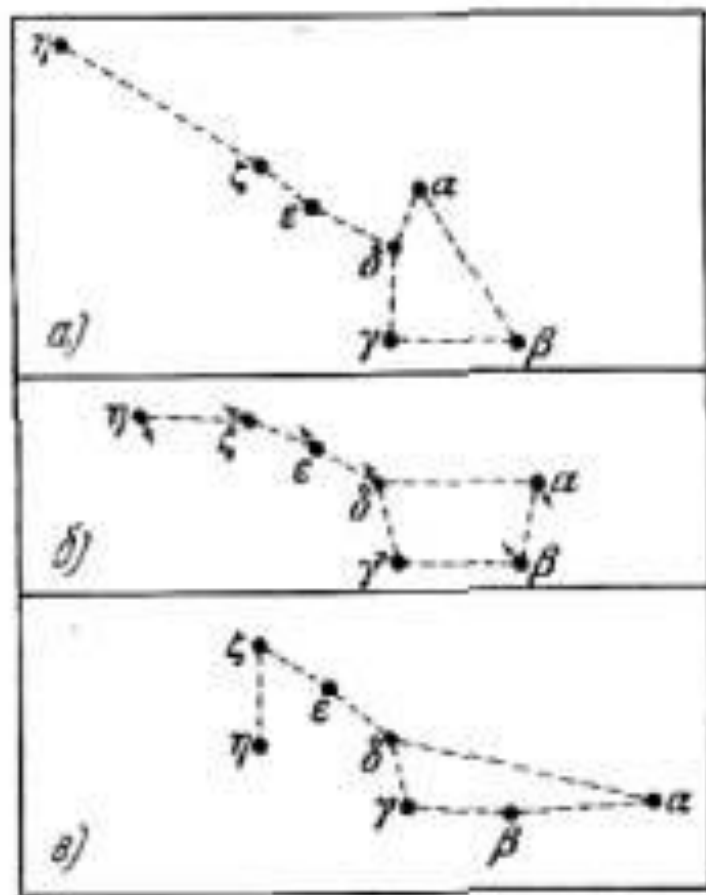


Рис. 68. Изменение вида Большой Медведицы за 100 000 лет.

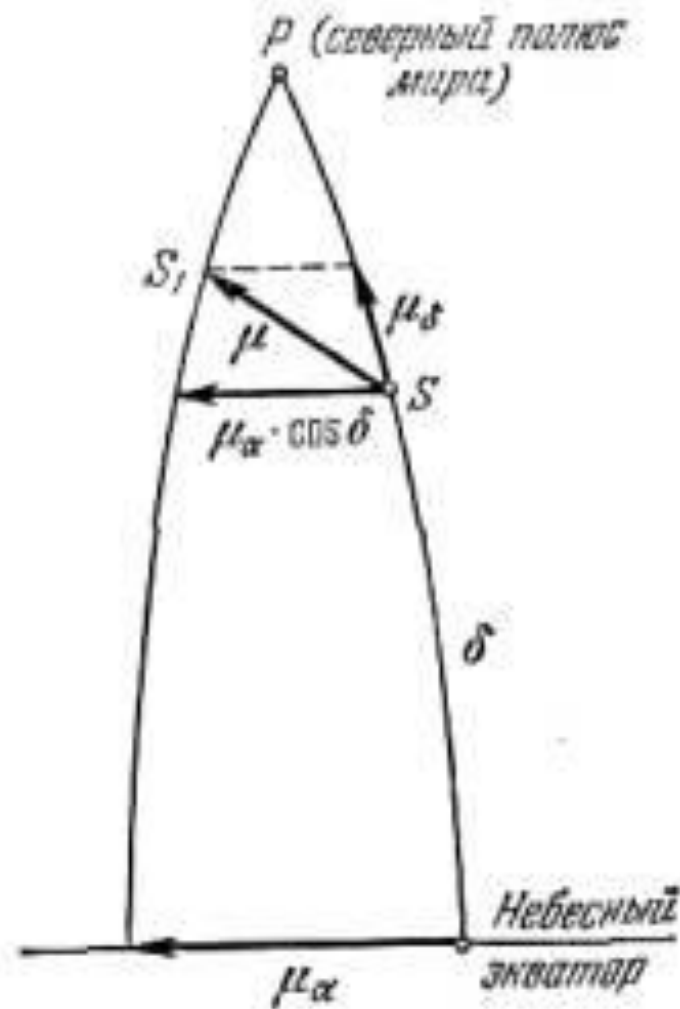


Рис. 69. Компоненты собственного движения звезды.

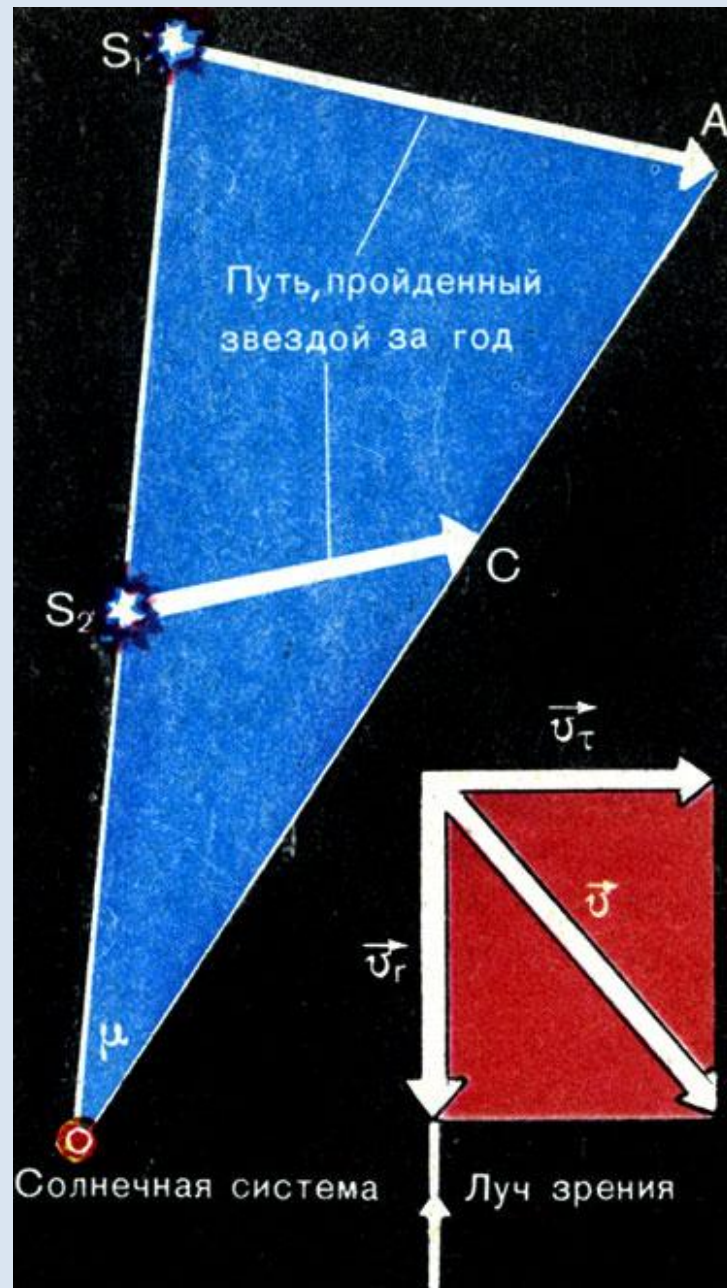
Собственное движение звезд

Вследствие собственного движения звезды m по дуге большого круга SS_1 (рис. 69) прямое восхождение звезды изменяется на величину m_a , называемую собственным движением по прямому восхождению, а склонение — на величину m_δ , называемую собственным движением по склонению. Непосредственно из сравнения координат звезды определяются m_a и m_δ , выраженные в секундах дуги. Если же m_a выражено в секундах часовой меры (обозначается m_a^s), то $m_a = 15 m_a^s \cos \delta$.

Собственное же движение звезды m вычисляется по формуле

$$m = \sqrt{m_a^2 + m_\delta^2}$$

Собственное движение звезд

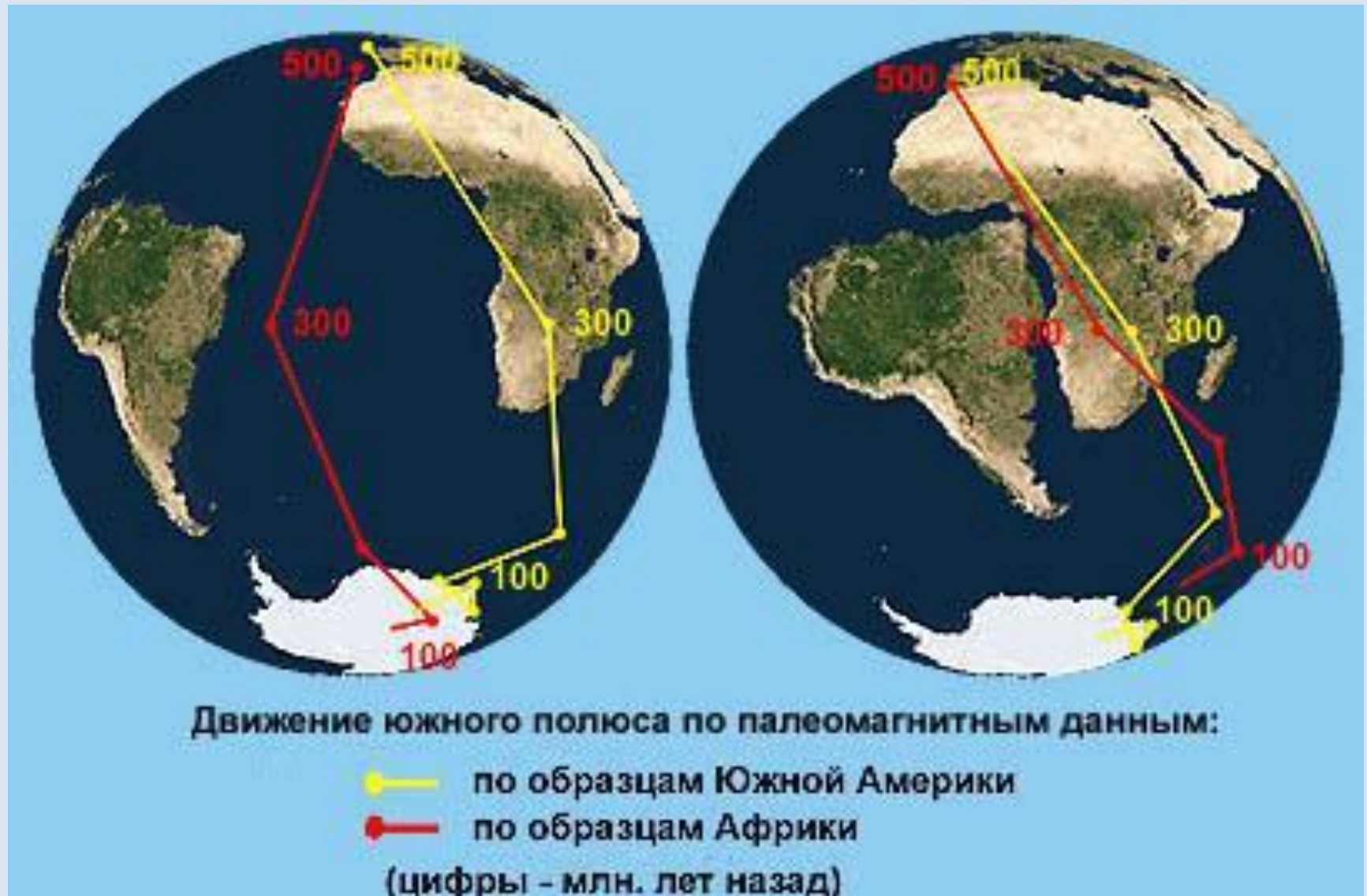


Движение полюсов

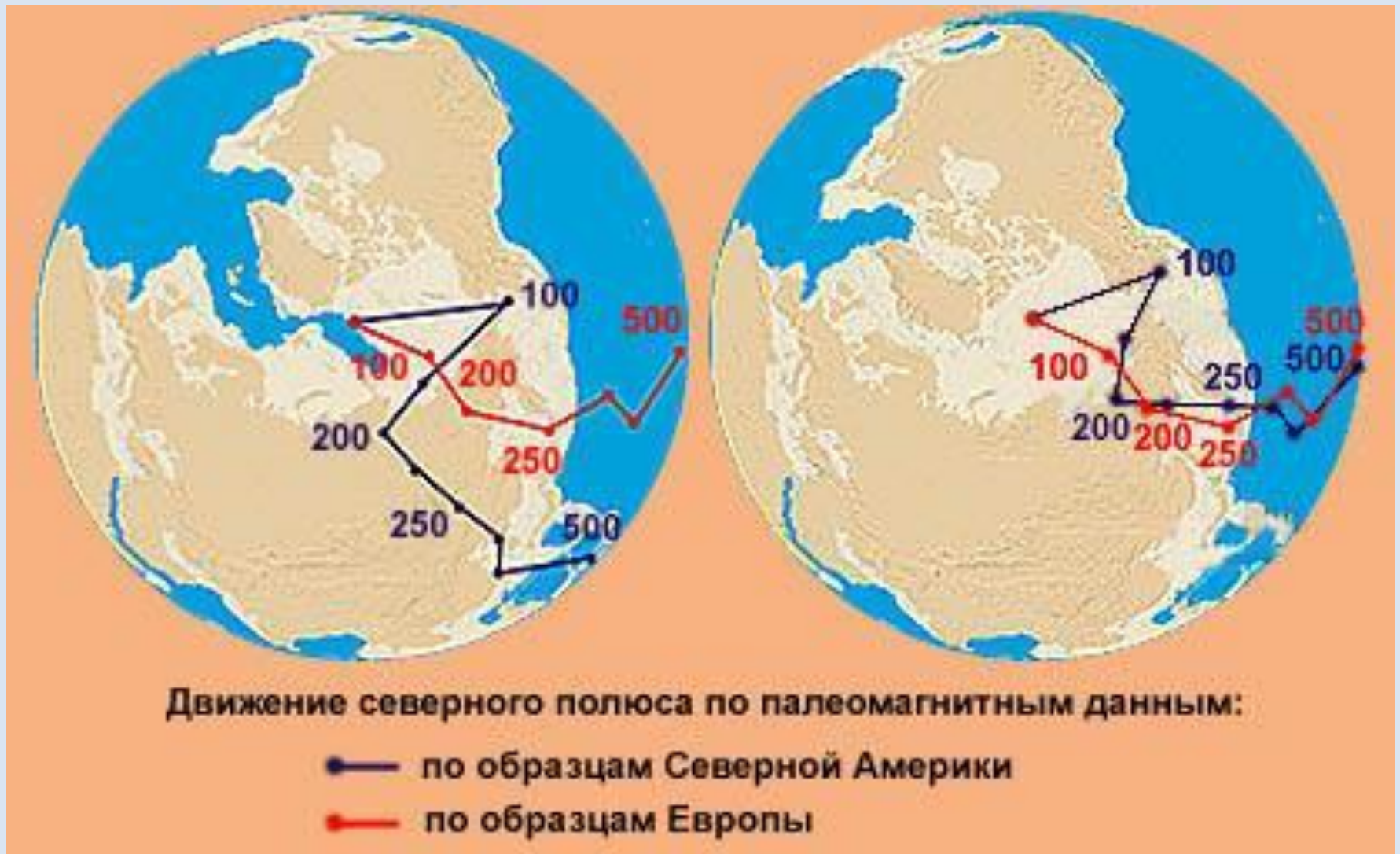
Ось вращения Земли не занимает постоянного положения в теле Земли, которая как бы покачивается на своей оси, вследствие чего земные полюсы описывают на земной поверхности сложную кривую, не удаляясь от некоторого среднего положения более чем на $0,3\text{--}0,4''$.

Это явление полностью соответствует законам вращения тел, изучаемых механикой. Было, в частности, теоретически доказано (Л. Эйлером в России в 1765 г.), что если ось вращения Земли не совпадает с ее осью инерции, то должно происходить колебание полюсов вращения вокруг полюсов инерции с периодом в 305 сут.

Движение полюсов



Движение полюсов



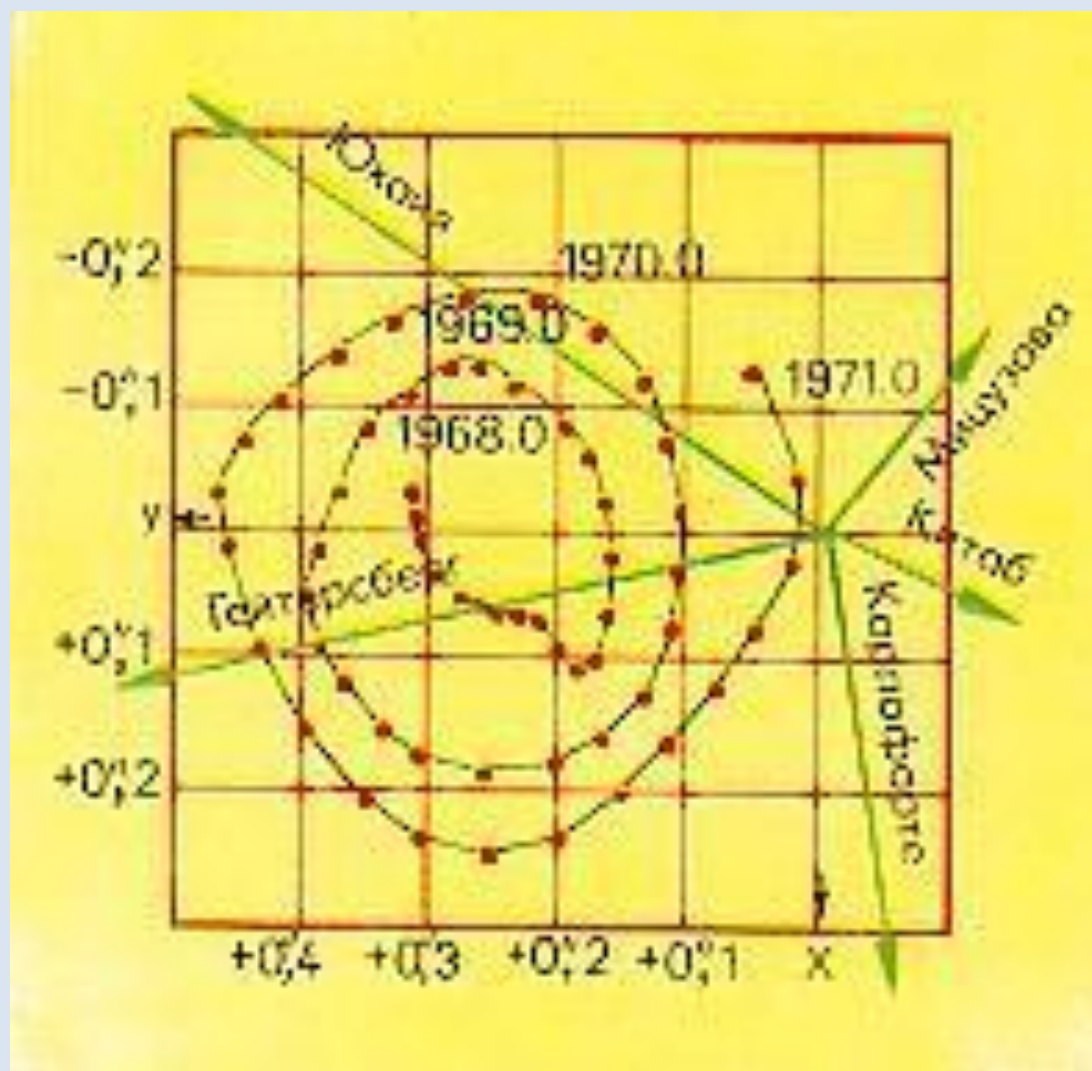
Движение полюсов

Вследствие блуждания полюса по поверхности Земли должны изменяться географические координаты пунктов, находящихся на поверхности Земли, — широты и долготы. В течение более чем 100 лет после открытия Эйлера астрономы пытались обнаружить изменение широты с 305-суточным периодом.

Но лишь в 90-х гг. XIX в. американский астроном С. Чандлер в результате анализа нескольких десятков тысяч наблюденных значений широты, полученных на разных обсерваториях почти за 200 лет наблюдений, обнаружил, что наблюдаемые географические широты колеблются с периодом около 14 месяцев.

Несоответствие обнаруженного периода предсказанному периоду объяснялось тем, что Эйлер в своей теории рассматривал движение Земли как абсолютно твердого тела, не подверженного никаким деформациям.

Движение полюсов

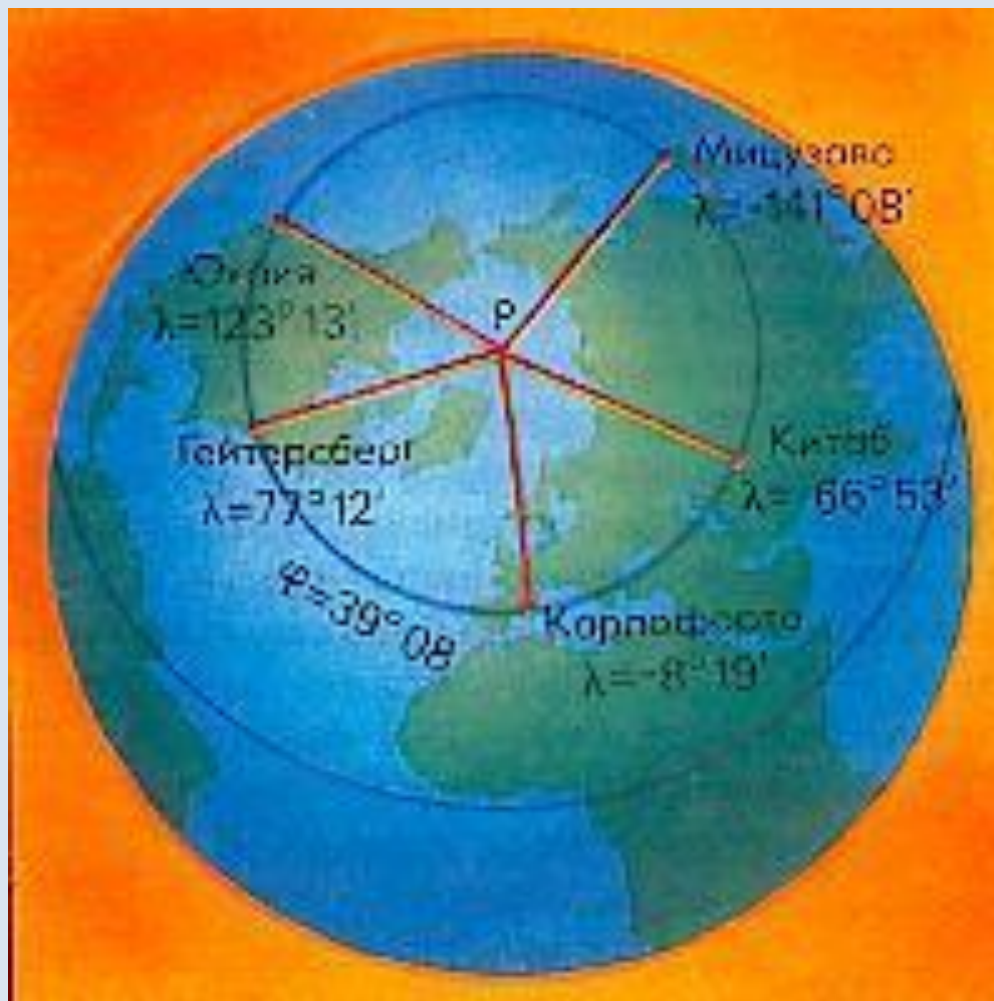


Движение полюсов

Вскоре было найдено, что на чандлерово колебание накладывается другое, с годичным периодом, вызванное метеорологическими явлениями сезонного характера. Интерес к проблеме изменяемости широт и движения полюсов Земли был столь велик, что привел к созданию в 1898 г. Международной службы широты (МСШ). С 1961 г. она называется Международной службой движения полюсов (МСДП).

По международному соглашению были образованы 4 станции на параллели $39^{\circ}8'$: две — в Америке (Гейтерсберг и Юкайя), третья — в Италии (Карлофорте), четвертая — в Японии (Мицузава). Затем станция была создана в России (Чарджоу; позже станция была перенесена в Китаб Узбекской ССР). В настоящее время свыше 30 станций на пяти материках производят широтные наблюдения для исследований движения земных полюсов.

Движение полюсов



Движение полюсов

Из приведенных рисунков видно, что за период 500 - 200 млн. лет назад “дрейф” полюсов носит взаимосогласованный характер. При этом, если присмотреться, то можно заметить, что “дрейф” полюсов в период времени 500 - 200 млн. лет назад очень близок к движению по прямой ! И лишь менее 200 млн. лет назад полюса вдруг “заходили ходуном”.

В связи с этим весьма логичной выглядит следующая гипотеза: не было никакого “дрейфа” полюсов, а было их вращение вокруг некоей оси !!! И в этом нет ничего особенного: как известно любому физику, любое трехмерное тело имеет по вращению три степени свободы.

Два из них науке хорошо известны: одно - это суточное вращение Земли вокруг своей оси, другое, носящее наименование “прецессия”, заключается во вращении оси Земли вокруг некоей оси прецессии с периодом в 25800 (по другим источникам - 25920) лет.

Литература

Основная:

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. Серия "Классический университетский учебник". Изд.2, испр. 2009.
2. Уралов С.С. Курс геодезической астрономии. - М.: Недра, 2003г.-234 с.
3. Халхунов В.З. Сферическая астрономия. - М.: Недра, 2003г. - 304 с.

Дополнительная:

1. Постригань Т.А. Определение астрономического азимута направления (приближенный метод), Алматы, КазГАСА, 2001 г.-14с.
2. Постригань Т.А. Приближенный способ определений астрономической широты пунктов земной поверхности./МУ. Алматы, КазГАСА, 2003 г.-14с.