

1 RS и RF.

Вопрос 1. Что такое RS?

Ответ. Reference System (RS), Пространственно-временная система координат (ПВСК) — теоретическая концепция пространственно-временных координат, моделей и стандартов, которая позволяет измерять положения и движения объектов в пространстве и времени. Для задания ПВСК необходимы:

1. Теория пространства-времени (классическая теория или ОТО)
2. Система координат и аппарат преобразования координат
3. Модели физических явлений, влияющих на измерения
4. Значения астрономических постоянных (параметры моделей)

□

Вопрос 2. Что такое ICRS?

Ответ. International Celestial Reference System — международная небесная система координат. Центр — барицентр Солнечной системы. Оси зафиксированы в пространстве относительно внегалактических радиоисточников (направление выбрано по осям в FK5). Основная плоскость — средний экватор FK5, ось X направлена в точку весеннего равноденствия на эпоху J2000. Шкала времени — TCB (Barycentric Coordinate Time).

□

Вопрос 3. Что такое ITRS?

Ответ. International Terrestrial Reference System — международная земная система координат. Центр — в геоцентре Земли (включая океан и атмосферу). Ориентация осей определяется из наблюдений IERS (international Earth Rotation and Reference Systems Service). Ось z является средней осью вращения Земли и направлена в опорный полюс (IRP — IERS Reference Pole). Ось x лежит в плоскости опорного меридиана (IRM — IERS Reference Meridian). Единицей длины является метр, шкалой времени — шкала TCG (Geocentric Coordinate Time (англ.) — геоцентрическое координационное время). Вращается вместе с Землей. □

Вопрос 4. Чем реализована ICRS в оптическом диапазоне?

Ответ. Каталоги HIPPARCOS (заменил HCRF), TYCHO, GAIA. □

Вопрос 5. Чем реализована ICRS в радио-диапазоне?

Ответ. ICRF3 (2018)

- 4536 радиоисточников с точностью до 0.03 mas.
- 303 defining радиоисточника.
- Изменен подход к выбору defining источников, предприняты меры по их равномерному распределению.

□

Вопрос 6. *Что такое RF?*

Ответ. Reference Frame, Пространственно-временная система отсчета (ПВСО) — практическая реализация концепции ПВСК, созданная с помощью создания шкал времени и каталогов опорных источников с известными положениями и собственными движениями. □

Вопрос 7. *Что такое ICRF?*

Ответ. International Celestial Reference Frame — практическая реализация ICRS в радиодиапазоне, с центром в барицентре Солнечной Системы, оси фиксированы по 212 (с точностью до 0,5 мсд) и по 608 (с точностью до 1 мсд) радиоисточникам. Главная плоскость совпадает со средним экватором FK5 (в пределах его точности), ось X направлена на точку весеннего равноденствия γ (настоящую), реализуется с помощью РСДБ. □

Вопрос 8. *Что такое ITRF?*

Ответ. International Terrestrial Reference Frame — практическая реализация ITRS, с центром в барицентре Земли, координаты фиксированы по (примерно) 800 опорным пунктам на поверхности Земли, имеющим декартовы координаты x, y, z, v_x, v_y, v_z , ось Z расположена в плоскости Главного (Гринвичевского) меридиана. □

Вопрос 9. *С помощью каких наблюдательных средств определяется связь ICRF и ITRF?*

Ответ.

- РСДБ — самая высокая точность для наземных наблюдений — порядка 0,1 мсд.
- ГНСС (GPS, ГЛОНАСС) — для определения координат самих пунктов наблюдений.

□

Вопрос 10. *Входит ли плоскость экватора в число базовых плоскостей ICRS?*

Ответ. Нет. В ICRS оси фиксированы на эпоху J2000, так что плоскость экватора уже не входит в число базовых плоскостей. □

2 Определения координат небесных тел.

Вопрос 11. *Что такое абсолютные определения координат небесных тел?*

Ответ. Абсолютный способ определения координат заключается в нахождении координат по непосредственному показанию приборов и последующей редукции данных (определения погрешностей), без использования опорных объектов. \square

Вопрос 12. *Что такое относительные определения координат небесных тел?*

Ответ. Относительный способ определения координат заключается в нахождении координат с помощью уже известных координат ранее наблюдавшихся объектов. При этом в ошибку включается ошибка определения координат опорных объектов.

Сводится к измерению разностей координат определяемых и опорных звезд. Использована идея RF. \square

Вопрос 13. *Написать матрицу преобразования:*

Ответ.

- прямоугольных координат (x, y, z) при повороте в положительном направлении (против часовой стрелки, если смотреть с конца оси) системы координат вокруг оси x, y, z на угол α, β, γ .

$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$
$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & -\sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix}$$
$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & \sin(\gamma) & 0 \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

\square

Вопрос 14. *Какова точность привязки каталога HIPPARCOS к системе ICRS?*

Ответ. Точность привязки осей $\sigma_\epsilon = \pm 0.6$ мсд., Годовое изменение $\omega = \pm 0.25$ мсд/год. \square

Вопрос 15. *Для чего использовалась главная решетка (Main Grid) в проекте HIPPARCOS?*

Ответ. Она увеличивала количество наблюдений одной звезды, таким образом повышая точность наблюдений. В решётке было порядка 1000 штрихов, получали некоторый периодический сигнал, который потом обрабатывался с помощью Фурье. Таким образом за один “проход” звезды по решётке получались очень точные измерения (наклон решетки позволяет определять координаты звезды в поле зрения) \square

3 Задержки

Вопрос 16. Основное уравнение РСДБ:

Ответ.

$$c\tau = e \cos \delta \cos h + p \sin \delta$$

$$e = b \cos \psi$$

$$p = b \sin \psi$$

- c — скорость света
- τ — задержка РСДБ
- e — экваториальная проекция базы
- p — полярная проекция базы
- h — часовой угол от меридиана базы
- b — априорный вектор базы

□

Вопрос 17. Геометрическая задержка

Ответ. Геометрическая задержка связана с базой и скоростью света

$$(b, \rho) = c\tau_g$$

ρ — направление на радиоисточник □

Вопрос 18. Групповая задержка.

Ответ. Групповая задержка связана с обработкой сигнала, самим сигналом

$$\tau_{gr} = \frac{d\phi}{d\omega}$$

ϕ — фаза кросскорреляционного сигнала (получена после корреляционной обработки сигналов с обоих телескопов), ω — циклическая частота сигнала. □

Вопрос 19. Гравитационная задержка.

Ответ. Для Земли гравитационная задержка составляет 20 пкс. □

Вопрос 20. Новые астрометрические методы.

Ответ.

Методы(инструменты)	Роль, достижения, результаты
Спутниковые радионавигационные системы и ГНСС	Геоданные и изучение Земли, в т.ч. движение и структура континентальных плит (точность – метры), изучение состава атмосферы, а также оценка вероятности землетрясений.
Радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой	ICRF и все пять параметров ориентации Земли.
Дальномерные измерения (Лазерная локация и радиолокация)	Параметры спутников и грав. поля Земли, координаты полюса Земли.
Космическая гравиметрия (исследование гравитационного поля Земли с помощью ИСЗ)	Изучение гравитационного поля Земли.
Космическая астрометрия (преимущественно в оптическом диапазоне)	Возможно, в конечном счете даст новую глобальную систему отсчета.

□

Вопрос 21. *Параметры ориентации Земли и методы их определения:*

Ответ.

- x_p, y_p – координаты полюса, фотозенитная труба, ГНСС, РСДБ, лазерная локация;
- $UT1 - UTC$ – угол собственного вращения, пассажный инструмент, часы, ГНСС, РСДБ;
- $LOD = (UT1 - UTC)$ – избыточная продолжительность суток;
- $\Delta\epsilon$ – угол прецессии, РСДБ;
- $\Delta\psi$ – угол нутации, РСДБ;

□

Вопрос 22. *Периоды Эйлера, Чандлера*

Ответ.

Период Эйлера — период свободной нутации — равен 305 дней, найден теоретически, из предположения, что Земля — абсолютно твёрдое тело Формула Коткинского:

$$\phi - \phi_{cp} = x_p \cos \lambda + y_p \sin \lambda$$

- ϕ – широта пункта наблюдения;
- ϕ_{cp} – средняя широта пункта;

- x_p, y_p – координаты полюса;
- λ – долгота пункта.

В действительности был найден другой период (Чандлером), равный 430 дней. Одно из первых предположений-объяснений, объясняющих разность периодов, состоит в том, что Земля не является абсолютно твердым телом. \square

4 Остальное

Вопрос 23. Основное уравнение космической геодезии:

Ответ.

$$r = R + \rho$$

- r – радиус-вектор ИСЗ в геоцентрической сист.коорд.;
- ρ – радиус-вектор от точки на Земле до спутника (топоцентрическая сист.коорд.);
- R – радиус-вектор этой точки в геоцентрической системе координат.

\square

Вопрос 24. Параллакс 0.01 ± 0.001 найти раст. в парсеках оценить среднеквадратичную ошибку:

Ответ.

$$r = \frac{1}{\pi''} = 100pc \pm 10(10\%)$$

\square

Вопрос 25. Что такое редуccionное уравнение?

Ответ.

$$\rho' = M\rho$$

Уравнение, исправляющее отличие реального инструмента от идеального, т.е. ошибки за наклон, азимут и коллимацию. \square

Вопрос 26. На каких инструментах можно делать относительные определения координат небесных тел?

Ответ. вертикальный круг, астрограф, мерид. круг \square

Вопрос 27. Что такое «модель 6 параметров»?

Ответ. $\zeta = ax + by + c, \eta = Ax + By + C$ – связь рабочих коорд. с тангенц. коорд. \square

Вопрос 28. Что такое уравнение яркости?

Ответ. связь почернения негатива фотопластинки с реальным блеском звезды.
(на рефракторах из-за дисперсии получается "микро- спектр" звезды на пластинке):

$$\zeta = \sum a x^i y^j m^k c^l$$

$$\eta = \sum A x^i y^j m^k c^l$$

□

Вопрос 29. Чем отличаются шкалы времени *UT1* и *UT2*?

Ответ. $UT2 = UT1 + \Delta T_s$, ΔT_s -поправка на сезонные вариации. □

Вопрос 30. Для чего в шкалу *UTC* вводят дополнительную секунду?

Ответ. для компенсации замедления Земли □

Вопрос 31. Какая точность определения координат небесных объектов достигнута методами космической астрометрии?

Ответ. 1 мсд □

Вопрос 32. Какой вклад внес космический аппарат им.Хаббла в программу *HIPPARCOS*?

Ответ. Является одним из методов привязки каталога HIPPARCOS к системе ICRF □

Вопрос 33. Как определить среднее собственное движение звезды по координатам μ_α и μ_δ ?

Ответ.

$$\mu = \sqrt{(\mu_\alpha \cos \delta)^2 + \mu_\delta^2}$$

□

Вопрос 34. Для чего использовался картограф в программе *HIPPARCOS*?

Ответ. Для определения ориентации спутника в пр-ве и выполнения прогн. ТУСНО

□

Вопрос 35. Угловое разрешение РСДБ при длине базы 10000 км достигает величины, равной 0,001 секунд дуги. Как изменится угловое разрешение РСДБ, если одну антенну поместить на Земле, а вторую – на Луне (длина волны регистрируемого излучения остается прежней)?

Ответ.

$$\theta = \theta_1 \cdot D_1 / D_2 = 0,000025$$

□

Вопрос 36. Чем определяется начало отсчета прямых восхождений в ICRF?

Ответ. Точка весеннего равноденствия □

Вопрос 37. Приведите примеры редуцированных уравнений в астрометрии.

Ответ. Уравнение яркости и Модель в постоянных (модель Тернера) ☐

Вопрос 38. Какова причина появления систематических ошибок в астрометрических наблюдениях?

Ответ.

- Инструментальные ошибки
- Неполный учет факторов воздействия окружающей среды
- Метод обработки наблюдений

☐

Вопрос 39. На каких инструментах можно определить прямые восхождения небесных тел?

Ответ. пассажный инструмент, меридианный круг, астрограф, РСДБ, спутник HIPPARCOS ☐

Вопрос 40. На каких инструментах можно делать абсолютные определения координат небесных тел?

Ответ. вертикальный круг, мер.круг, РСДБ ☐

Вопрос 41. Что такое «рабочие координаты» небесных объектов?

Ответ. определяют звезду в системе фотопластинки ☐

Вопрос 42. Чем отличается шкала $UT1$ от $UT0$?

Ответ. $UT1 = UT0 + \Delta\lambda$, $\Delta\lambda$ – поправка из-за движения полюсов. ☐

Вопрос 43. Какова характерная точность определения координат небесных объектов методом РСБД?

Ответ. 1 мсд ☐

Вопрос 44. Что такое RGC в программе HIPPARCOS?

Ответ. фиксированный большой круг, к которому редуцируются результаты измерений на IGC, полученные в течение одного поворота спутника вокруг Земли (10 часов 40 минут) ☐

Вопрос 45. В какой астрометрической системе построен каталог HIPPARCOS?

Ответ. HCRF (HIPPARCOS Celestial Reference Frame)

- Основана на каталоге HIPPARCOS (точность ≈ 1 mas, как и у ICRF1).

- Точность привязки осей 0.6 mas
- Годовое изменение 0.25 mas/год.

□

Вопрос 46. Почему различаются периоды Эйлера и Чандлера свободной нутации оси вращения Земли?

Ответ. Период Эйлера был вычислен предполагая, что Земля-абс. ТВ. Тело, а пер.Чандлера – упруга □

Вопрос 47. Что такое шкала времени UTC?

Ответ. всемирное координированное время. Атомное время, аппроксимирующее UT1:

$$|UTC - UT1| \leq 0^s.9$$

Фактически, $UTC = TAI + T$, где T - секунды координации. Добавляются (и вычитаются) при накоплении большего расхождения (больше 0s .9). □

Вопрос 48. Что такое шкала времени TDT(TT)?

Ответ. Земное динамическое время. Добавка к TAI для сохранения эфемеридного времени.

$$TDT = TAI + 32,184sec$$

□