

## 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.** *Чем реализована ICRS в оптическом диапазоне?*

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

**Вопрос 3.** *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 4.** *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 5.** *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 координатное время). Вращается вместе с Землей.  $\square$

**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.  $\square$

**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  $\gamma$  (настоящую), реализуется с помощью РСДБ.  $\square$

**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 расположена в плоскости Главного (Гринвичевского) меридиана.  $\square$

**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.

$\square$

**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.  $\square$

## 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. определение координат, не зная значение предварительной величины(???)  $\square$

**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 угла  $\alpha, \beta, \gamma$ .

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

$\square$

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

*Ответ.* Точность привязки осей  $\sigma_e = \pm 0.6$  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)  $\square$

**Вопрос 16.** Для чего использовался картограф в проекте HIPPARCOS?

*Ответ.* измерения для каталога Tycho  $\square$

### 3 Задержки

**Вопрос 17.** 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
- $\tau$ — задержка РСДБ
- $e$ — экваториальная проекция базы
- $p$ — полярная проекция базы
- $h$ — часовой угол от меридиана базы
- $b$ — априорный вектор базы

□

**Вопрос 18.** Геометрическая задержка

*Ответ.* Геометрическая задержка связана с базой и скоростью света

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

□

**Вопрос 19.** Групповая задержка.

*Ответ.* Групповая задержка связана с обработкой сигнала, самим сигналом

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

$\phi$  — фаза кросскорреляционного сигнала (получена после корреляционной обработки сигналов с обоих телескопов),  $\omega$  — циклическая частота сигнала. □

**Вопрос 20.** Гравитационная задержка.

*Ответ.* Для Земли гравитационная задержка составляет 20 пкс. □

**Вопрос 21.** 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 22.** *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 23.** *Периоды Эйлера, Чандлера*

*Ответ.*

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

$$\phi - \phi_p = x_p \cos \lambda + y_p \sin \lambda$$

- $\phi$  – широта пункта наблюдения;
- $\phi_p$  – средняя широта пункта;

- $x_p, y_p$  – координаты полюса;
- $\lambda$  – 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 24.** Основное уравнение космической геодезии:

Ответ.

$$r = R + \rho$$

- $r$  – радиус-вектор ИСЗ в геоцентрической сист.коорд.;
- $\rho$  – рад.-вект. от точки на Земле до спутника (топоцентрическая сист.коорд.);
- $R, y_p$  – рад.-вект. этой точки в геоцентрической сист.коорд.

$\square$

**Вопрос 25.** Параллакс  $0.01 \pm 0.001$  найти раст. в парсеках оценить среднеквадратичную ошибку:

Ответ.

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

$\square$

**Вопрос 26.** Что такое редуционное уравнение?

Ответ.

$$\rho' = M\rho$$

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

**Вопрос 27.** На каких инструментах можно делать относительные определения координат небесных тел?

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

**Вопрос 28.** Что такое «модель 6 параметров»?

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

**Вопрос 29.** 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 30.** Чем отличаются шкалы времени *UT1* и *UT2*?

*Ответ.*  $UT2=UT1+\Delta T_s$ ,  $\Delta T_s$ -сезонная поправка. □

**Вопрос 31.** Для чего в шкалу *UTC* вводят дополнительную секунду?

*Ответ.* для компенсации замедления Земли □

**Вопрос 32.** Какая точность определения координат небесных объектов достигнута методами космической астрометрии?

*Ответ.* 1 мсд □

**Вопрос 33.** Какой вклад внес космический аппарат им.Хаббла в программу *HIPPARCOS*?

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

**Вопрос 34.** Как определить среднее собственное движение звезды по координатам  $\mu_\alpha$  и  $\mu_\delta$ ?

*Ответ.*

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

□

**Вопрос 35.** Для чего использовался картограф в программе *HIPPARCOS*?

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

□

**Вопрос 36.** 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.*

$$\theta = \theta_1 \cdot D_1/D_2 = 0,000026$$

□

**Вопрос 37.** Чем определяется начало отсчета прямых восхождений в *ICRF*?

*Ответ.* Точка весеннего равноденствия □

**Вопрос 38.** Приведите примеры редуционных уравнений в астрометрии.

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

**Вопрос 39.** Какова причина появления систематических ошибок в астрометрических наблюдениях?

*Ответ.*

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

☐

**Вопрос 40.** На каких инструментах можно определить прямые восхождения небесных тел?

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

**Вопрос 41.** На каких инструментах можно делать абсолютные определения координат небесных тел?

*Ответ.* вертикальный круг, мер.круг, РСДБ ☐

**Вопрос 42.** Что такое «рабочие координаты» небесных объектов?

*Ответ.* определяют звезду в системе фотопластинки ☐

**Вопрос 43.** Чем отличается шкала  $UT1$  от  $UT0$ ?

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

**Вопрос 44.** Какова характерная точность определения координат небесных объектов методом РСБД?

*Ответ.* 1 мсд ☐

**Вопрос 45.** 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 46.** В какой астрометрической системе построен каталог HIPPARCOS?

*Ответ.* HCRF (HIPPARCOS Celestial Reference Frame)



- Основана на каталоге HIPPARCOS (точность  $\approx 1$  mas, как и у ICRF1).
- Точность привязки осей 0.6 mas
- Годовое изменение 0.25 mas/год.

□

**Вопрос 47.** 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 48.** 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 49.** Что такое шкала времени TDT(TT)?

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

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

□