

1987 г. Апрель

Том 151, вып. 4

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53 (048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ
И ОТДЕЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК СССР**

(24—25 сентября 1986 г.)

24 и 25 сентября 1986 г. в Институте физических проблем им С. И. Вавилова АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

24 сентября

1. Э. Ж. Годик, Ю. В. Гуляев. Физические поля биологических объектов.

25 сентября

2. В. К. Абалакин, Г. И. Ерошкин, М. А. Фурсенко, А. А. Ширяев. Современные аспекты проблемы фундаментальных астрономических постоянных.

3. Е. Ю. Алешкина, Г. А. Красинский, Е. В. Питьева, М. Л. Свешников. Экспериментальная проверка релятивистских эффектов и оценка величины изменения гравитационной постоянной по наблюдениям внутренних планет и Луны.

Краткое содержание двух докладов приводится ниже.

521.9(048)

В. К. Абалакин, Г. И. Ерошкин, М. А. Фурсенко, А. А. Ширяев. Современные аспекты проблемы фундаментальных астрономических постоянных. Астрометрические исследования базируются на двух элементах, каждый из которых опирается на наблюдения, выполненные различными (классическими и новыми) методами измерения — на фундаментальном каталоге (например FK4) и на системе астрономических постоянных.

Фундаментальный каталог представляет наилучшее приближение к астрономической модели инерциальной системы, к которой могут быть отнесены положения небесных объектов и их движения. Координатные оси этой системы в определенный момент времени (эпоху) фиксируются положениями и собственными движениями звезд, приводимыми в таком фундаментальном каталоге. Чтобы редуцировать астрономические наблюдения, выполняемые из разных точек на поверхности Земли, движущейся относительно инерциальной системы отсчета, т. е. перевести их с одной эпохи на другую и учесть все необходимые астрометрические поправки, необходима определенная совокупность числовых параметров, часть из которых связана друг с другом тео-

ретическими соотношениями: система астрономических и геодезических постоянных. Таким образом, из всего многообразия параметров, играющих важную роль в астрономии вообще, в систему фундаментальных астрономических постоянных включены числовые значения тех из них, которые связаны с теоретическими и прикладными аспектами астрометрии и эфемеридной астрономии. При этом термин «система» подчеркивает согласованность принятых числовых значений астрономических постоянных в рамках принятых теорий; в системе различают основные постоянные, числовые значения которых определяют независимо на основе наблюдений, и теоретически связанные с ними производные постоянные. Отметим, что принятые значения астрономических постоянных, в силу требования их согласованности, не всегда являются наилучшими в смысле их точности.

В ходе астрономических исследований и совершенствования их экспериментальных и теоретических оснований можно выделить следующие три общепринятые системы астрономических постоянных:

1) Система, состоящая преимущественно из числовых значений, определенных выдающимся американским астрономом-теоретиком С. Ньюкомом, и принятая на двух международных конференциях, состоявшихся в Париже в 1896 и 1911 гг. Эта система астрономических постоянных использовалась во всех астрономических учреждениях мира более шестидесяти лет.

2) В 1950 г. на Парижской конференции по астрономическим постоянным было решено оставить Ньюкомову систему почти без изменений и ввести в качестве аргумента теорий движения Луны и планет и соответствующих эфемерид эфемеридное время — равномерное время ньютоновой динамики — вместо употреблявшегося ранее всемирного времени.

В 1963 г. на Симпозиуме 21-го МАС в Париже был рассмотрен проект новой системы астрономических постоянных, а в 1964 г. на XII Генеральной ассамблее МАС в Гамбурге была принята Система астрономических постоянных МАС (1964 г.) с рекомендацией введения в астрономическую практику с 1968 г.

3) Быстрый прогресс новых методов наблюдений и практические запросы в отношении более высокой точности эфемерид снова привели к пересмотру числовых значений постоянных и структуры Системы астрономических постоянных МАС (1964 г.). Проект новой системы, подготовленный Коллоквиумом 9-го МАС (Гейдельберг, 1970 г.), был принят Генеральной ассамблей МАС в 1976 г. в Гренобле и с некоторыми дополнениямитвержден Генеральной ассамблей МАС в Монреале в 1979 г.; так была рекомендована к всеобщему применению Система астрономических постоянных МАС (1976, 1979 гг.).

Система астрономических постоянных МАС (1976, 1979 гг.)

Единицы «метр» (м), «килограмм» (кг), «секунда» (с) являются единицами измерения длины, массы, времени в Международной системе единиц (SI, СИ).

Астрономическая единица времени есть интервал времени продолжительностью в одни сутки (D, d), равный 86 400 с. Интервал в 36 525 суток есть одно Юлианское столетие.

Астрономической единицей массы является масса Солнца (S).

Астрономической единицей длины (расстояния) является такая длина (A), для которой гауссова постоянная тяготения (k) принимает значение, равное 0,017 202 098 95, при выборе в качестве единиц измерения астрономических единиц длины, времени и массы. Размерность величины k^2 совпадает с размерностью постоянной тяготения Ньютона — Кавендиша G , т. е. равна $L^3 M^{-1} T^{-2}$. Длина A характеризуется также термином «единичное расстояние».

Определяющая постоянная

1. Гауссова постоянная тяготения:

$$k = 0,017\ 202\ 098\ 95.$$

Первичные постоянные

2. Скорость света:

$$c = 299792458 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

3. Световой промежуток для единичного расстояния:

$$\tau_A = 499,004\ 782 \text{ с.}$$

4. Экваториальный радиус Земли:

$$a_e = 6\ 378\ 140 \text{ м.}$$

5. Динамический коэффициент фигуры Земли:

$$J_2 = 0,001\ 082\ 63.$$

6. Геоцентрическая постоянная тяготения:

$$GE = 3,986\ 005 \cdot 10^{14} \text{ м}^3 \text{с}^{-2}.$$

7. Постоянная тяготения Ньютона — Кавендиша:

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{кг}^{-1} \text{с}^{-2}.$$

8. Отношение массы Луны к массе Земли:

$$\mu = 0,012\ 300\ 02.$$

9. Общая прецессия в долготе за Юлианское столетие в стандартную эпоху 2000.0:

$$p = 5029'',\ 0966.$$

10. Наклон эклиптики к экватору в стандартную эпоху 2000.0:

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26' 21'',448.$$

11. Постоянная нутация в стандартную эпоху 2000.0:

$$N = 9'',2025.$$

Производные постоянные

12. Единичное расстояние:

$$ct_A = A = 1,495\ 978\ 70 \cdot 10^{11} \text{ м.}$$

13. Параллакс Солнца:

$$\arcsin(\alpha_e/A) = \pi_\odot = 8'',794\ 148.$$

14. Постоянная aberrации для стандартной эпохи 2000.0:

$$\kappa = 20'',495\ 52.$$

15. Сжатие Земли:

$$\alpha = 0,003\ 352\ 81 = 1/298,257.$$

16. Гелиоцентрическая постоянная тяготения:

$$A^3 k^2 / D^2 = GS = 1,327\ 124\ 38 \cdot 10^{20} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2}.$$

17. Отношение массы Солнца к массе Земли:

$$(GS)/(GE) = S/E = 332\ 946,0$$

18. Отношение массы Солнца к массе системы Земля + Луна:

$$(S/E)/(1 + \mu) = 328\ 900,5.$$

19. Масса Солнца:

$$(GS)/G = S = 1,989\ 1 \cdot 10^{30} \text{ кг.}$$

Система планетных масс

20. Отношения массы Солнца к массам планет Солнечной системы:

Меркурий	6 023 600	Сатурн	3 498,5
Венера	408 523,5	Уран	22 869
Земля + Луна	328 900,5	Нептун	19 314
Марс	3 098 710	Плутон	3 000 000
Юпитер	1 047, 355		

21. Массы планет, выраженные в системе единиц СИ (кг):

Меркурий	$3,3022 \cdot 10^{23}$	Юпитер	$1,8992 \cdot 10^{27}$
Венера	$4,8690 \cdot 10^{24}$	Сатурн	$5,6856 \cdot 10^{26}$
Земля + Луна	$6,0477 \cdot 10^{24}$	Уран	$8,6978 \cdot 10^{25}$
Земля	$5,9742 \cdot 10^{24}$	Нептун	$1,0299 \cdot 10^{26}$
Луна	$7,3483 \cdot 10^{22}$	Плутон	$7 \cdot 10^{23}$
Марс	$6,4191 \cdot 10^{23}$		

22. Экваториальные радиусы планет в системе СИ (км):

Меркурий	2 439	Юпитер	71 389
Венера	6 052	Сатурн	60 000
Земля	6 378,140	Уран	25 400
Марс	3 397,2	Нептун	24 300
Луна	1 738	Плутон	2 500
Солнце	696 000		

Системе астрономических постоянных MAG (1976, 1979 гг.) сопутствует следующая система геодезических параметров, утвержденная Международной ассоциацией по геодезии в 1967 г. в Люцерне:

$$\begin{aligned} GE &= 398\,600,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3\text{с}^{-2}, & J_1 &= 108\,263 \cdot 10^{-8}, \\ Gm_{\text{атм}} &= 3,5 \cdot 10^8 \text{ м}^3\text{с}^{-2}, & J_3 &= -254 \cdot 10^{-8}, \\ a_e &= 6\,378\,140 \text{ м}, & J_4 &= -161 \cdot 10^{-8}, \\ \alpha &= 1/298,257, & J_5 &= -23 \cdot 10^{-8}; \\ g_e &= 978\,032 \cdot 10^{-5} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}, & J_6 &= 54 \cdot 10^{-8}, \\ \omega &= 7,292\,115 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}, & R_0 &= 6\,363\,676 \text{ м}. \\ W_0 &= 6,263\,683 \cdot 10^7 \text{ м}^2\text{с}^{-2}, & & \end{aligned}$$

W_0 означает здесь числовое значение потенциала силы тяжести на геоиде MAG (1976 г.), R_0 — масштабный множитель геопотенциала.

Однако, в соответствии с решениями, принятыми XVII Генеральной ассамблей Международного геодезического и геофизического союза, состоявшейся в 1979 г. в Канберре, в настоящее время введена новая Геодезическая система относимости 1980 г., в которой, в частности, принята $a_e = 6\,378\,137 \text{ м}$, $GE = 398\,600,47 \cdot 10^9 \text{ м}^3\text{с}^{-2}$, $W_0 = 6,263\,686\,40 \text{ м}^2\text{с}^{-2}$. Числовые значения остальных параметров оставлены прежними (или изменились на единицу последнего десятичного знака: $J_6 = 55 \cdot 10^{-8}$, $g_e = 978033 \times 10^{-5} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$).

Вместе с новой системой астрономических постоянных MAG (1976, 1979 гг.) в астрономические исследования была введена новая, основанная на релятивистских уравнениях движения, теория движения больших планет Солнечной системы и Луны DE 200/LE 200, новая теория нутации MAG (1980 г.), новые формулы учета прецессии, новые шкалы времени — шкала барицентрического динамического времени TDB, аргумента теорий планетных и лунного движений (координатное время в терминологии ОТО) и шкала земного динамического времени TDT, аргумента соответствующих эфемерид, используемая также для фиксации моментов наблюдений (собственное время). Отличительной чертой новой системы явилось, как видно из таблицы, также введение в нее системы единиц СИ; точнее в фундаментальной астрономии применяют лишь единицы длины (расстояния) и времени, так как масса всегда фигурирует в виде произведения на Кэвендишеву постоянную тяготения G , размерность которого $L^3 T^{-2}$.

Таким образом, в настоящее время с проблемой астрономических постоянных связано несколько сложных вопросов как теоретического, так и практического характера, относящихся к измерению времени и расстояний.

Прежде всего, следует отметить, что любая единица в системе СИ является собственной в смысле теории относительности, так как определена локальным физическим процессом; поэтому единицы системы СИ не могут считаться универсальными в различных системах отсчета. Например, когда речь

идет о земной системе отсчета, единица измерения времени — секунда СИ, принятая также в качестве единицы системы атомного времени ТАГ, определена на урвеннной поверхности — на геоиде, так что в любой точке вне геоида, в силу зависимости времени от локального гравитационного потенциала, единица измерения времени отлична от секунды СИ. Аналогичная ситуация складывается, конечно, в отношении определения единицы времени в системе отсчета, связанной с барицентром Солнечной системы, с учетом рекомендации 5 (с) резолюции МАС (1976 г.), согласно которой шкалы земного и барицентрического динамического времени должны отличаться друг от друга лишь периодическими членами.

Что же касается единицы расстояния, то японскими исследователями (Т. Фукусима, М.-К. Фудзимото, Х. Киносита и С. Аоки) предложены альтернативные решения, сводящиеся к следующему:

1) Числовое значение скорости света \tilde{c}_B , выраженное в единицах длины и времени на бесконечности, где гравитационное влияние Солнца исчезающее мало, считать совпадающим с числовым значением \tilde{c}_L , выраженным в единицах СИ.

2) На бесконечности за единицу длины принять метр СИ либо в старой дефиниции (в собственных длинах волн определенного квантовомеханического перехода), либо в новой дефиниции (используя как единицу собственного времени секунду СИ со значением скорости света).

Таким образом, вводя обозначения $[c]_L$ и $[c]_B$ для секунды в земной (локальной) и барицентрической системах отсчета, соответственно для частоты v излучения, обусловленного квантовомеханическим переходом между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния $^2S_{1/2}$ атома цезия ^{133}Cs имеем

$$v = 9\ 192\ 631\ 770 [c^{-1}]_L = 9\ 192\ 631\ 770/\eta [c^{-1}]_B,$$

где $\eta = (1 - \beta^2)^{1/2}$, $\beta = v/c$.

Так как скорость c является инвариантом, то

$$c = \tilde{c}_L [m]_L [c^{-1}]_L = \tilde{c}_B [m]_B [c^{-1}]_B,$$

отсюда

$$\tilde{c}_L [m]_L = \tilde{c}_B \eta [m]_B,$$

где \tilde{c}_L и \tilde{c}_B — числовые значения скорости света c в локальной и барицентрической системах отсчета, соответственно.

Таким образом, в случае альтернативы

$$\tilde{c}_B = \tilde{c}_L,$$

откуда

$$[m]_B = \frac{[m]_L}{\eta},$$

и в случае альтернативы 2)

$$[m]_B = [m]_L,$$

откуда

$$\tilde{c}_B = \frac{\tilde{c}_L}{\eta},$$

где $\tilde{c}_L = 299\ 792\ 458$ в единицах СИ.

Фукусима и др. после детального анализа обеих альтернатив пришли к выводу, что для сохранения числовых значений постоянных в Системе МАС

(1976, 1979 гг.) целесообразно считать СИ — единицы времени и длины барицентрическими. В этом случае преимущество состоит также в едином числовом значении скорости света c , согласующемся с новой дефиницией метра в системе СИ.

Поэтому Система астрономических постоянных МАС (1976, 1979 гг.) несколько изменяется в соответствующих частях:

1. Определяющие постоянные:

$$k = 0,017\ 202\ 098\ 95 \ [A^{3/2}]/[d],$$

$$c = 299\ 792\ 458 \ [m]_B [c^{-1}]_B = 299\ 792\ 458 \ [m]_L [c^{-1}]_L.$$

2. Основные постоянные:

$$\tau_A = 499\ 004\ 782 \ [c]_B,$$

$$a_e = 6\ 378\ 140 \ [m]_B,$$

$$GE = 3,986\ 005 \cdot 10^{14} \ [m^3]_B [c^{-2}]_B.$$

3. Производные постоянные:

$$GS = 1,327\ 124\ 385\ 769\ 386\ 5 \dots \cdot 10^{20} \ [m^3]_B [c^{-2}]_B,$$

$$A = 1,495\ 978\ 701\ 495\ 341\ 6 \dots \cdot 10^{11} \ [m]_B.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абалакин В. К., Фурсенко М. А.//Бюлл. ИТА АН СССР. 1968. Т. 11. С. 131.
Абалакин В. К.//Астрон. ж. 1981. Т. 58. № 3.

Идельсон Н. И.//Астрон. ежегодн. СССР на 1942 год.— 1941.

Паули В. Теория относительности.— М.: Л.: Гостехиздат, 1947.

Mögith H.//Vermess., Photogramm., Kulturtehn. 1975. Fachbl. III/IV; Bull. Geod. 1981. No. 3.

Lederle T.//Mitteil. Astron. Ges. 1980 Nr. 48.

Fukushima T., Fujimoto M.-K., Kinoshita H., Aoki S. System of Astronomical Constants in the Relativistic Framework//Cel. Mech. 1984.