

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Фізичний факультет

Кафедра астрономії

Г. О. Гарбузов, Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова

РОЗРАХУНОК ПРЕЦЕСІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ТАБЛИЦЬ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для студентів фізичного факультету

спеціальності «астрономія»

Одеса
«Астропринт»
2011

ББК 22.612я73
УДК 521.92(075.8)
Г20

Автори-укладачі:

Г. О. Гарбузов, кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник
Астрономічної обсерваторії Одеського національного університету;
Б. О. Мурніков, старший викладач кафедри астрономії Одеського
національного університету;
Т. І. Кабанова, зав. учбовою лабораторією кафедри астрономії Одесь-
кого національного університету

Рецензенти:

В. Г. Каретников, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри астрономії;
В. І. Марсакова, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри астрономії

Друкується згідно з рішенням вченої ради фізичного факультету
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Протокол № 11 від 1 липня 2011 р.

Гарбузов Г. О., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І.

Г20 Розрахунок прецесії за допомогою таблиць : методичні
вказівки для студентів фізичного факультету спеціальності
«астрономія» / Г. О. Гарбузов, Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова. —
Одеса : Астропринт, 2011. — 20 с.

ББК 22.612я73
УДК 521.92(075.8)

Навчальне видання

ГАРБУЗОВ Г. О., МУРНИКОВ Б. О., КАБАНОВА Т. І.

РОЗРАХУНОК ПРЕЦЕСІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ТАБЛИЦЬ

Методичні вказівки

для студентів фізичного факультету спеціальності «астрономія»

Надруковано в авторській редакції

Підписано до друку 17.08.2011. Формат 60х84/16. Папір офсетний. Гарнітура
«TimesNewRoman». Друк офсетний. Ум. друк. арк. 1,16. Тираж 50 прим. Зам. № 606.

Надруковано з готового оригінал-макета

Видавництво і друкарня «Астропринт». 65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21

Тел.: (0482) 37-07-95, 37-14-25, 33-07-17, (048) 7-855-855

www.astroprint.odessa.ua

Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.

© Гарбузов Г. О., Мурніков Б. О.,
Кабанова Т. І., автори-укладачі, 2011

Сонце рухається вздовж екліптики і повертається до точки весняного рівнодення за 365,2422 середніх сонячних діб. Це — тропічний рік. Він менший зоряного року, який визначається поверненням Сонця в його видимому русі по небосхилу до того ж самого розташування відносно зірок. Зоряний рік складає 365,2564^d. Це відбувається тому, що точка весняного рівнодення дуже повільно рухається вздовж екліптики назустріч Сонцю, тобто зі сходу на захід. Це явище, відкрите Гіппархом, носить назву *прецесія* або *випередження рівнодень*. Прецесія пояснюється наступним чином.

Якщо б Земля мала форму кулі, що складається з однорідних сферичних шарів однакової густини, і була б абсолютно твердим тілом, то, згідно законам механіки, напрямок осі обертання Землі та період її обертання залишались би незмінними на протязі будь-якого проміжку часу.

Однак форма Землі не сферична, а близька до сфероїда, який сплюснутий біля полюсів і витягнутий біля екватора. Схематично можна уявити Землю, що складається із кулі та екваторіального кільця AA' (Рис. 1). Знаходячись поблизу екліптики, Місяць і Сонце не завжди лежать в площині симетрії AA' . Притягання сфероїда матеріальним тілом L створюється із притягання F кулі, виділеної всередині сфероїда (ця сила прикладена до центра сфероїда), притягання F_1 найближчої до тіла L половини екваторіального виступу та притягання F_2 другої, більш далекої половини екваторіального виступу. Сила F_1 більша за силу F_2 , і тому притягання тіла L намагається повернути вісь обертання сфероїда $P_N P_S$ так, щоб площина екватора сфероїда співпала з напрямком TL (на рис. 1 проти годинникової стрілки). З механіки відомо, що вісь обертання $P_N P_S$ у цьому випадку буде переміщуватися у напрямку, перпендикулярному до площини, в якій лежать сили F_1 і F_2 , оскільки Земля також обертається навколо осі $P_N P_S$. В результаті складання цих двох обертань земна вісь $P_N P_S$ описує конус з вершиною в центрі Землі (Рис. 2).

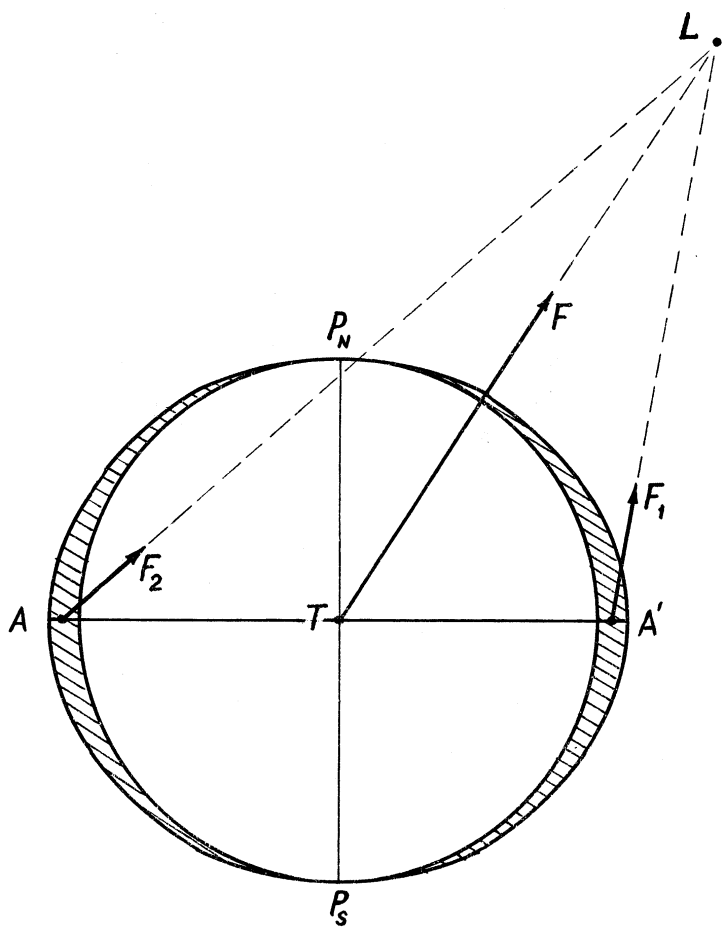


Рис. 1. Притягання сфероїда зовнішнім тілом

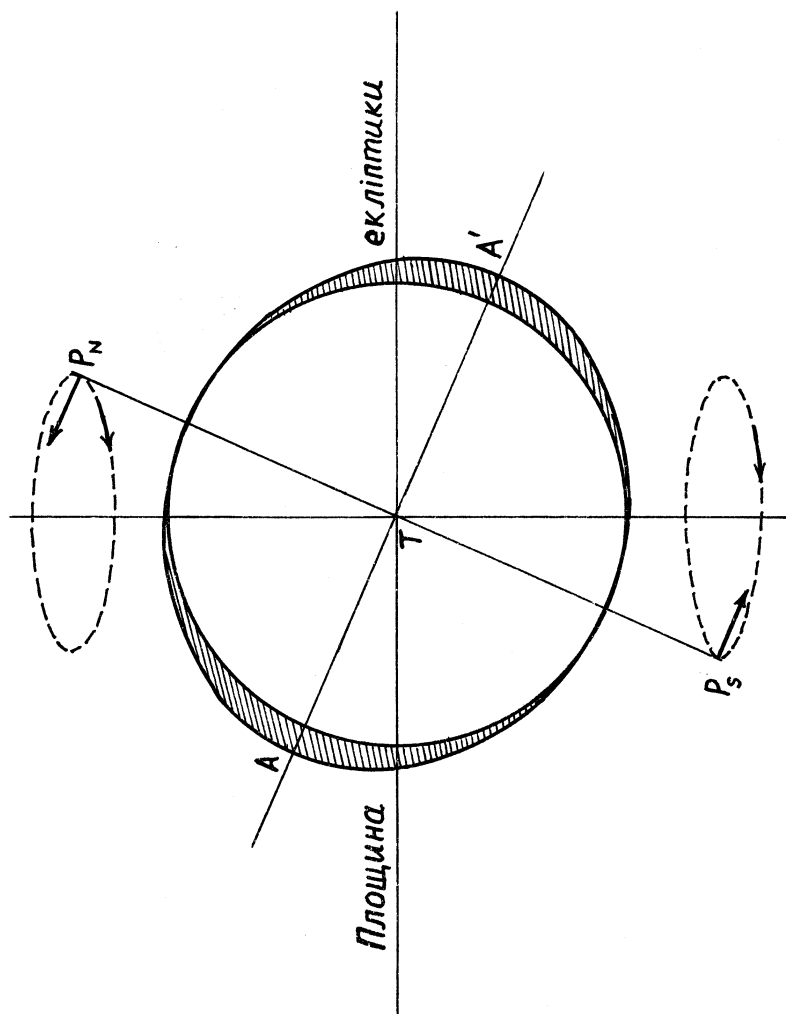


Рис. 2. Прецесійний рух земної осі

Внаслідок цього руху земної осі полюс світу описує на небесній сфері у першому наближенні мале коло з центром в полюсі екліптики, знаходячись від нього в наш час на відстані $\epsilon = 23,5^\circ$ (Рис. 3). Детальні дослідження, крім того, виявили, що полюс екліптики сам рухається по небесній сфері (це показано товстою дугою в центрі рис. 3, повний оберт здійснюється десь за 70 тисяч років), і, крім того, кутова відстань полюса світу від полюса екліптики (ϵ) також повільно змінюється, полюс світу описує не малий круг, а більш складну криву. Загалом точка весняного рівнодення переміщується вздовж екліптики, зміщуючись на захід на $50,37''$ за рік. Це так звана *місячно-сонячна прецесія*. На частку Сонця припадає $15,9''$, а на частку Місяця — $34,5''$. Крім того, деяке зміщення точки весняного рівнодення спричиняється сукупним впливом притягання планет на Землю. В цьому випадку форма Землі не має значення, планети притягують всю Землю в цілому, змінюючи трохи її орбіту, тобто впливаючи на положення самої площини екліптики. *Прецесія від планет* зміщує точку весняного рівнодення до сходу, тобто назустріч місячно-сонячній прецесії на $0,13''$ за рік. В цілому, під дією *загальної прецесії* точка весняного рівнодення зміщується на захід на $50,24''$ за рік, здійснюючи повний оберт приблизно за 26000 років. З таким самим періодом полюс світу описує мале коло на небесній сфері навколо полюса екліптики. В наш час полюс світу наближається до зірки α Малої Ведмедиці, тому ця зірка і зветься Полярною, в 2100 році відстань між ними складе $28'$. Але 4000 років тому найближчою до північного полюсу світу була зірка α Дракона, а через 7500 років це буде зірка α Цефея, через 13500 років "полярною зіркою" стане Вега — α Ліри.

Разом із зміною напрямку осі світу змінюється і положення небесного екватора, площина якого перпендикулярна до цієї осі і паралельна площині земного екватора. Площина екліптики також трохи змінює своє положення у просторі внаслідок прецесії від планет. Тому точки перетину небесного екватора з екліптикою (точки рівнодень) повільно переміщуються серед зірок на захід.

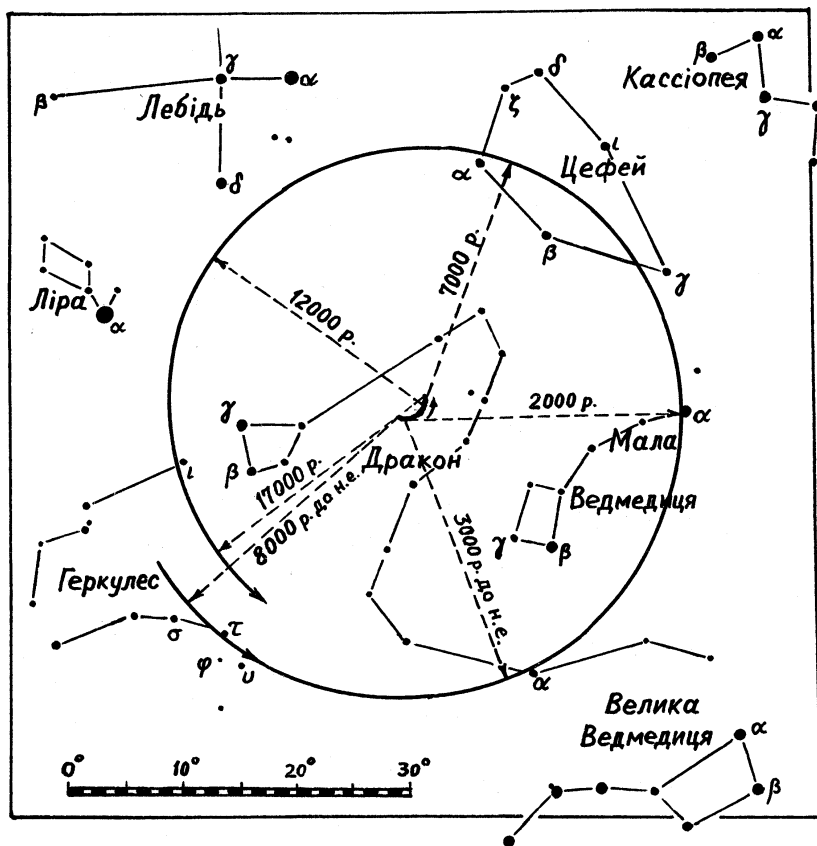


Рис. 3. Рух полюса світу серед зір за 26 тисяч років

$$\text{Швидкість цього переміщення вздовж екліптики за рік } l = \frac{360^\circ}{26000} = 50,26''$$

зветься загальною річною прецесією в екліптиці.

Загальна річна прецесія в екваторі (тобто вздовж екватора) $m = 50,26'' \cos \epsilon = 46,11''$, де ϵ — нахил екліптики до екватора, який в теперішній час повільно зменшується (на $0,47''$ за рік), але через декілька тисяч років зменшення зміниться таким самим повільним збільшенням, оскільки це збурення (прецесія від планет) має циклічний характер, із характерним часом 40000 років, при цьому ϵ змінюється в межах від 22° до $24,5^\circ$.

На початку нашої ери точка весняного рівнодення знаходилась у сузір'ї Овна, а точка осіннього рівнодення — у сузір'ї Терезів. Рівноденні точки позначались тоді знаками цих сузір'їв Υ і $\underline{\Omega}$ відповідно. З тих пір точка весняного рівнодення змістилась у сузір'я Риб, а точка осіннього рівнодення — у сузір'я Діви, але їхні позначення залишилися колишніми.

Точка весняного рівнодення є початком відліку в екваторіальній та екліптичній системах координат. Тому внаслідок її руху на захід екліптичної довготи всіх зірок щорічно збільшуються на $50,26''$, а екліптичні широти не змінюються, оскільки місячно-сонячна прецесія не змінює положення площини екліптики. Екваторіальні координати — пряме піднесення (α) і схилення (δ) всіх зірок безперервно змінюються. В результаті відбувається повільне зміння виду зоряного неба для даного місця на Землі. Деякі невидимі раніше зорі будуть сходити і заходити, а деякі видимі — стануть такими, що не сходять. Наприклад, через декілька тисяч років в Європі можна буде спостерігати Південний Хрест, але неможливо буде бачити Сіріус і частину сузір'я Оріона.

Оскільки координати зірок α і δ , а також їх екліптична довгота l безперервно змінюються, тому при зазначенні координат світил необхідно відмічати, до якого року, або, як кажуть, до якої епохи вони відносяться. Звичайно користуються так званими *середніми координатами*, віднесеними до рівнодення будь-якого року. Зараз в більшості зоряних атласів положення всіх

зірок віднесено до епохи 2000 року. Але досі використовують зоряні атласи, віднесені до епохи 1900 та 1950 років, а відомий всім астрономам «Боннський огляд» (Bonner Durchmusterung, *BD*) складено на епоху 1855 року. Для обчислення координат при переході від однієї епохи до іншої можна користуватися точними або наближеними формулами прецесії, або спеціальними таблицями.

Наближені значення прецесії наведені в таблицях 1 і 2. Для всіх наступних років поправку кожної координати можна отримати, якщо значення прецесії, що береться із потрібної таблиці, помножити на різницю епох і додати до початкової координати зі знаком, вказаним в таблиці. Для попередніх років поправку слід брати зі зворотнім знаком.

Для полегшення переходу до епохи 2000 року від епохи 1950 або 1900 року (епохи ряду зоряних атласів і каталогів) слугують таблиці 3 і 4, що дають прецесію по кожній координаті за 100 років.

Більш точно здійснити перехід від координат однієї епохи (t_0) до координат іншої (t) можна за наступними наближеними формулами:

$$\alpha_t = \alpha_{t_0} + \frac{d\alpha}{dt}(t - t_0),$$

$$\delta_t = \delta_{t_0} + \frac{d\delta}{dt}(t - t_0),$$

де $\frac{d\alpha}{dt}$ і $\frac{d\delta}{dt}$ — річна прецесія по прямому піднесенню і схиленню, яка визначається за формулами:

$$\frac{d\alpha}{dt} = m + n \sin \alpha \operatorname{tg} \delta,$$

$$\frac{d\delta}{dt} = n \cos \alpha.$$

Величини m і n часом змінюються дуже повільно, і їх можна вважати постійними. Для 2000 року $m = 3,0742''$; $n = 1,3359'' = 20,038''$.

Для обчислення координат на дату спостереження потрібно скористатися таблицями 5 і 6, де вказана частка року, що пройшла до 0^h кожного дня.

Приклад. Треба обчислити координати зірки α Суг на 8 серпня 2010 р. Координати α Суг на епоху 1900.0 дорівнюють: $\alpha = 20^h38,0^m$; $\delta = +44^\circ55'$. Користуючись таблицею 5, знаходимо частку року, що пройшла до 08.08.2010 року. Вона дорівнює 0,6. Таким чином, від 01.01.1900 р. до 08.08.2010 р. пройшло 110,6 років.

Із таблиці 1 визначаємо прецесію по δ . Треба провести операцію інтерполювання.

$$20^h30^m \text{ — } +12.2''$$

$$20^h40^m \text{ — } +12.9''$$

Маємо таку пропорцію. На 10^m приходить $+0,7''$, на 1^m — $+0,07''$, на 8^m — $+0,56''$. На $20^h38^m P_\delta$: $12,2'' + 0,56'' = 12,76''$. Або на 2^m — $0,14''$, на $20^h38^m P_\delta$: $12,9'' - 0,14'' = 12,76''$.

Таким чином, річна прецесія по δ складає $P_\delta = 12,76''$. Обчислюємо прецесію за вказаний проміжок часу (110,6 років).

$P_\delta = 110,6 \times 12,76'' = 1411,256'' = 23'31,3''$. Додаємо до координати $\delta_{1900,0}$ і отримуємо схилення на дату спостереження ($\delta_{\text{д.с.}}$):

$\delta_{\text{д.с.}} = +44^\circ55' + 23'31,3'' = +45^\circ18'31,3'' = +45^\circ18,5'$ (точність до $0,1''$ і навіть до $1''$ зайва).

Обчислимо тепер прецесію по α за таблицею 2. Це таблиця з двома входами. Нам відоме наступне:

	δ	$+45^\circ$	$+40^\circ$
α	20^h40^m	$2,05^s$	$2,21^s$
	20^h20^m	$1,98^s$	$2,15^s$

Можна провести інтерполяцію спочатку по α , а потім по δ . Проведемо інтерполяцію по α для $+45^\circ$.

Різниця $20^h40^m - 20^h20^m = 20^m$ відповідає різниці $2,05^s - 1,98^s = 0,07^s$. Задана $\alpha = 20^h38,0^m$ відстоїть на $2,0^m$ від 20^h40^m (або на $18,0^m$ від 20^h20^m). Складемо пропорцію:

$$\begin{array}{cc} 20^m & 0,07^s \\ 2^m & x \end{array} \quad \text{або} \quad \begin{array}{cc} 20^m & 0,07^s \\ 18^m & y \end{array}.$$

Розв'язок першої пропорції: $x = 0,07 \cdot 2/20 = 0,007^s$, а розв'язок другої:
 $y = 0,07 \cdot 18/20 = 0,063^s$. Тоді $P_\alpha = 2,05^s - 0,007^s = 2,043^s$ (або
 $P_\alpha = 1,98^s + 0,063^s = 2,043^s$).

Так само зробимо інтерполяцію по α для $+40^\circ$, маємо пропорцію:

$$\begin{array}{cc} 20^m & 0,06^s \\ 2^m & x \end{array} \quad \text{або} \quad \begin{array}{cc} 20^m & 0,06^s \\ 18^m & y \end{array}.$$

$$x = 0,006^s, y = 0,054^s.$$

$$P_\alpha = 2,21^s - 0,006^s = 2,204^s \text{ (або } P_\alpha = 2,15^s + 0,054^s = 2,204^s \text{)}.$$

Тепер треба провести інтерполювання по δ . Нам треба обчислити прецесію на $\delta = 44^\circ 55'$. Різниця $45^\circ - 40^\circ = 5^\circ = 300'$ відповідає різниці $2,043^s - 2,204^s = -0,161^s$. Задане $\delta = 44^\circ 55'$ відстоїть на $5'$ від 45° (або на $295'$ від 40°). Складаємо пропорцію:

$$\begin{array}{cc} 300' & 0,161^s \\ 5' & x \end{array} \quad \text{або} \quad \begin{array}{cc} 300' & 0,161^s \\ 295' & y \end{array}.$$

Отримаємо:

$$x = 5 \cdot 0,161/300 = 0,0027^s \text{ або } y = 295 \cdot 0,161/300 = 0,1583^s.$$

$$P_\alpha = 2,043^s + 0,0027^s = 2,0457^s, \text{ інакше}$$

$$P_\alpha = 2,204^s - 0,1583^s = 2,0457^s \approx 2,046^s.$$

Можна також спочатку провести інтерполювання по δ , а потім по α .
 Результат має бути таким самим.

	δ	$+45^\circ$	$+40^\circ$
α	$20^h 40^m$	$2,05^s$	$2,21^s$
	$20^h 20^m$	$1,98^s$	$2,15^s$

Різниця $45^\circ - 40^\circ = 5^\circ = 300'$ відповідає різниці $2,05^s - 2,21^s = -0,16^s$.
 Задане $\delta = 44^\circ 55'$ відрізняється від 45° на $5'$, а від 40° – на $4^\circ 55' = 295'$.
 Складаємо пропорцію:

$$\begin{array}{ccc} 300' & 0,16^s & 300' \\ 5' & x & 295' \end{array} \text{ або } \begin{array}{ccc} 0,16^s & & 0,16^s \\ & y & \end{array}.$$

Маємо:

$$x = 5 \cdot 0,16/300 = 0,0027^s \text{ або } y = 295 \cdot 0,16/300 = 0,1573^s. \text{ Тоді}$$

$$P_{\alpha} = 2,05^s + 0,0027^s = 2,053^s, \text{ інакше } P_{\alpha} = 2,21^s - 0,1573^s = 2,053^s.$$

$$\text{Отже, для } 44^{\circ}55' \text{ при } \alpha = 20^h40^m P_{\alpha} = 2,053^s.$$

Тепер визначимо прецесію P_{α} для 20^h20^m . Діємо аналогічно, маємо пропорцію:

$$\begin{array}{ccc} 300' & 0,17^s & 300' \\ 5' & x & 295' \end{array} \text{ або } \begin{array}{ccc} 0,17^s & & 0,17^s \\ & y & \end{array}.$$

Отримуємо:

$$x = 5 \cdot 0,17/300 = 0,0028^s \text{ або } y = 295 \cdot 0,17/300 = 0,1672^s. \text{ Тоді}$$

$$P_{\alpha} = 1,98^s + 0,0028^s = 1,983^s, \text{ інакше } P_{\alpha} = 2,15^s - 0,167^s = 1,983^s.$$

$$\text{Отже, для } 44^{\circ}55' \text{ при } \alpha = 20^h20^m P_{\alpha} = 1,983^s.$$

Таким чином, ми отримали прецесію

$$\text{для } 20^h40^m — 2,053^s,$$

$$\text{для } 20^h20^m — 1,983^s.$$

Тепер інтерполюємо по α . Різниця 20^m відповідає різниці $2,053^s - 1,983^s = 0,07^s$. Пропорція буде така:

$$\begin{array}{ccc} 20^m & 0,07^s & 20^m \\ 2^m & x & 18^m \end{array} \text{ або } \begin{array}{ccc} 0,07^s & & 0,07^s \\ & y & \end{array}.$$

$$x = 2 \cdot 0,07/20 = 0,007^s, \quad y = 18 \cdot 0,07/20 = 0,063^s.$$

Звідси $P_{\alpha} = 2,053^s - 0,007^s = 2,046^s$ або $P_{\alpha} = 1,983^s + 0,063^s = 2,046^s$ — те ж саме, що й на попередній сторінці.

Таким чином, ми отримали річну прецесію по α : $P_{\alpha} = 2,046^s$. Визначимо значення прецесії на дату спостереження:

$$2,046^s \times 110,6 = 226,3^s \approx 3^m46^s.$$

Тепер можна отримати пряме сходження на дату спостереження:

$$\alpha = 20^h 38^m + 3^m 46^s = 20^h 41^m 46^s = 20^h 41,8^m.$$

Таким чином екваторіальні координати на 08.08.2010 р. становлять:

$$\alpha = 20^h 41,8^m; \delta = +45^\circ 18',5.$$

Література

1. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. — М. : Физматгиз, 1961. — 496 с.
2. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії. — Одеса : Астропринт, 2010. — 480 с.
3. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. — М. : Наука, 1983. — 560 с.
4. Астрономический календарь. Постоянная часть. — М. : Наука, 1973. — С. 39–40.

Таблиця 1

Річна прецесія по схиленню (P_8)

α	0^m	10^m	20^m	30^m	40^m	50^m	60^m	α
0^h	+20,0''	+20,0''	+20,0''	+19,9''	+19,7''	+19,6''	+19,4''	0^h
1	+19,4	+19,1	+18,8	+18,5	+18,2	+17,8	+17,4	1
2	+17,4	+16,9	+16,4	+15,9	+15,4	+14,8	+14,2	2
3	+14,2	+13,5	+12,9	+12,2	+11,5	+10,8	+10,0	3
4	+10,0	+ 9,3	+ 8,5	+ 7,7	+ 6,9	+ 6,0	+ 5,2	4
5	+ 5,2	+ 4,3	+ 3,5	+ 2,6	+ 1,7	+ 0,9	0,0	5
6	0,0	- 0,9	- 1,7	- 2,6	- 3,5	- 4,3	- 5,2	6
7	- 5,2	- 6,0	- 6,9	- 7,7	- 8,5	- 9,3	-10,0	7
8	-10,0	-10,8	-11,5	-12,2	-12,9	-13,5	-14,2	8
9	-14,2	-14,8	-15,4	-15,9	-16,4	-16,9	-17,4	9
10	-17,4	-17,8	-18,2	-18,5	-18,8	-19,1	-19,4	10
11	-19,4	-19,6	-19,7	-19,9	-20,0	-20,0	-20,0	11
12	-20,0	-20,0	-20,0	-19,9	-19,7	-19,6	-19,4	12
13	-19,4	-19,1	-18,8	-18,5	-18,2	-17,8	-17,4	13
14	-17,4	-16,9	-16,4	-15,9	-15,4	-14,8	-14,2	14
15	-14,2	-13,5	-12,9	-12,2	-11,5	-10,8	-10,0	15
16	-10,0	- 9,3	- 8,5	- 7,7	- 6,9	- 6,0	- 5,2	16
17	- 5,2	- 4,3	- 3,5	- 2,6	- 1,7	- 0,9	0,0	17
18	0,0	+ 0,9	+ 1,7	+ 2,6	+ 3,5	+ 4,3	+ 5,2	18
19	+ 5,2	+ 6,0	+ 6,9	+ 7,7	+ 8,5	+ 9,3	+10,0	19
20	+10,0	+10,8	+11,4	+12,2	+12,9	+13,5	+14,2	20
21	+14,2	+14,8	+15,4	+15,9	+16,4	+16,9	+17,4	21
22	+17,4	+17,8	+18,2	+18,5	+18,8	+19,1	+19,4	22
23	+19,4	+19,6	+19,7	+19,9	+20,0	+20,0	+20,0	23
24	+20,0							

Таблиця 2

Річна прересія по прямому піднесенню (P_{α})

Для північного схилання	δ _{півн.}																		α _{півд.}
	+80°	+75°	+70°	+65°	+60°	+55°	+50°	+45°	+40°	+35°	+30°	+25°	+20°	+15°	+10°	+5°	+0°		
0°00 ^m	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	12°00 ^m	
0 20	3,73	3,50	3,39	3,32	3,27	3,25	3,21	3,19	3,17	3,15	3,14	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08	3,07	12 20	
0 40	4,39	3,94	3,71	3,57	3,47	3,40	3,35	3,30	3,26	3,20	3,18	3,15	3,13	3,12	3,10	3,09	3,07	12 40	
1 00	5,03	4,96	4,02	3,81	3,67	3,56	3,48	3,42	3,36	3,31	3,27	3,23	3,20	3,16	3,13	3,10	3,07	13 00	
1 20	6,66	4,78	4,33	4,05	3,86	3,72	3,62	3,53	3,45	3,39	3,33	3,28	3,24	3,19	3,15	3,11	3,07	13 20	
1 40	6,27	5,18	4,62	4,28	4,05	3,88	3,74	3,64	3,54	3,46	3,40	3,34	3,28	3,22	3,17	3,12	3,07	13 40	
2 00	6,86	5,56	4,91	4,50	4,23	4,02	3,87	3,74	3,63	3,54	3,46	3,38	3,31	3,25	3,19	3,13	3,07	14 00	
2 20	7,42	5,93	5,18	4,71	4,40	4,17	3,98	3,84	3,71	3,61	3,51	3,43	3,35	3,28	3,21	3,14	3,07	14 20	
2 40	7,95	6,28	5,43	4,91	4,56	4,30	4,09	3,93	3,79	3,67	3,57	3,47	3,38	3,30	3,22	3,15	3,07	14 40	
3 00	8,43	6,60	5,67	5,10	4,71	4,42	4,20	4,01	3,86	3,74	3,62	3,51	3,41	3,32	3,24	3,15	3,07	15 00	
3 20	8,60	6,89	5,88	5,27	4,84	4,53	4,29	4,09	3,93	3,79	3,66	3,55	3,44	3,34	3,25	3,16	3,07	15 20	
3 40	9,28	7,16	6,08	5,42	4,97	4,63	4,38	4,16	3,99	3,84	3,70	3,58	3,47	3,36	3,26	3,17	3,07	15 40	
4 00	9,64	7,39	6,25	5,55	5,07	4,72	4,45	4,23	4,04	3,88	3,74	3,61	3,49	3,38	3,27	3,17	3,07	16 00	
4 20	9,94	7,59	6,40	5,67	5,17	4,80	4,51	4,28	4,09	3,92	3,77	3,64	3,51	3,39	3,28	3,18	3,07	16 20	
4 40	10,19	7,76	6,52	5,76	5,25	4,86	4,57	4,32	4,12	3,95	3,80	3,66	3,53	3,41	3,29	3,18	3,07	16 40	
5 00	10,39	7,89	6,62	5,84	5,31	4,91	4,61	4,36	4,15	3,98	3,82	3,67	3,54	3,42	3,30	3,18	3,07	17 00	
5 20	10,54	7,98	6,69	5,89	5,35	4,95	4,64	4,39	4,18	4,00	3,83	3,68	3,55	3,42	3,30	3,19	3,07	17 20	
5 40	10,62	8,04	6,73	5,93	5,38	4,97	4,66	4,40	4,19	4,00	3,84	3,69	3,56	3,43	3,30	3,19	3,07	17 40	
6 00	10,65	8,06	6,74	5,94	5,39	4,98	4,66	4,41	4,19	4,00	3,84	3,69	3,56	3,43	3,31	3,19	3,07	18 00	
α _{півн.}	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	-45°	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	-0°	Для південного схилання	
	δ _{півд.}																		

Для північного схилення		$\delta_{\text{півн.}}$																		$\alpha_{\text{півд.}}$	
		+80°	+75°	+70°	+65°	+60°	+55°	+50°	+45°	+40°	+35°	+30°	+25°	+20°	+15°	+10°	+5°	+0°			
12°00' ^m 12 20 12 40 12 60	24°00' ^m 23 40 23 20 23 00	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s		
		3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07		
		2,41	2,64	2,75	2,82	2,87	2,90	2,93	2,95	2,97	2,99	3,00	3,02	3,03	3,04	3,05	3,06	3,07	3,07		
		1,75	2,20	2,43	2,57	2,67	2,74	2,79	2,84	2,88	2,91	2,94	2,96	2,99	3,01	3,03	3,05	3,07	3,07		
		1,11	1,78	2,12	2,33	2,47	2,58	2,66	2,72	2,78	2,83	2,87	2,91	2,94	2,98	3,01	3,04	3,07	3,07		
13 00 13 20 13 40 13 60	22 40 22 20 22 00 21 40	0,48	1,36	1,81	2,09	2,27	2,42	2,52	2,61	2,69	2,75	2,81	2,86	2,90	2,95	2,99	3,03	3,07	3,07		
		0,13	0,96	1,52	1,86	2,09	2,26	2,40	2,50	2,60	2,67	2,74	2,80	2,86	2,92	2,97	3,02	3,07	3,07		
		0,72	0,58	1,23	1,64	1,91	2,12	2,27	2,40	2,51	2,60	2,68	2,76	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,07		
		1,28	0,21	0,96	1,43	1,74	1,97	2,16	2,30	2,43	2,53	2,63	2,71	2,79	2,86	2,93	3,00	3,07	3,07		
		1,81	0,14	0,71	1,23	1,58	1,84	2,05	2,21	2,35	2,47	2,57	2,67	2,76	2,84	2,92	2,99	3,07	3,07		
15 00 15 20 15 40 15 60	21 00 20 40 20 20 20 00	2,29	0,46	0,47	1,04	1,43	1,72	1,94	2,13	2,28	2,40	2,52	2,63	2,73	2,82	2,90	2,99	3,07	3,07		
		2,74	0,75	0,26	0,87	1,30	1,61	1,85	2,05	2,21	2,35	2,48	2,59	2,70	2,80	2,89	2,98	3,07	3,07		
		3,14	1,02	0,06	0,72	1,17	1,51	1,76	1,98	2,15	2,30	2,44	2,56	2,67	2,78	2,88	2,97	3,07	3,07		
		3,50	1,25	0,11	0,59	1,07	1,42	1,69	1,91	2,10	2,26	2,40	2,53	2,65	2,76	2,87	2,97	3,07	4,00		
		3,80	1,45	0,26	0,47	0,97	1,34	1,63	1,86	2,05	2,22	2,37	2,50	2,63	2,75	2,86	2,96	3,07	4,20		
16 40 16 60 17 00 17 20 17 40	19 20 19 00 18 40 18 20 18 00	4,05	1,62	0,38	0,38	0,89	1,28	1,57	1,81	2,02	2,19	2,34	2,48	2,61	2,73	2,85	2,96	3,07	4,40		
		4,25	1,75	0,48	0,30	0,83	1,23	1,53	1,78	1,99	2,16	2,32	2,47	2,60	2,72	2,84	2,96	3,07	5,00		
		4,40	1,84	0,55	0,25	0,79	1,19	1,50	1,75	1,96	2,15	2,31	2,46	2,59	2,72	2,84	2,95	3,07	5,20		
		4,48	1,90	0,59	0,21	0,76	1,17	1,48	1,74	1,95	2,14	2,30	2,45	2,58	2,71	2,84	2,95	3,07	5,40		
		4,51	1,92	0,60	0,20	0,75	1,16	1,48	1,73	1,95	2,13	2,30	2,45	2,58	2,71	2,83	2,95	3,07	6,00		
$\alpha_{\text{півн.}}$		-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	-45°	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	-0°	Для південного схилення		

Числа, набрані жирним шрифтом, — від'ємні.

Таблиця 3

**Прецесія по схиленню за 100 років
(за аргументом річної прецесії)**

P_{δ}	$100 P_{\delta}$	P_{δ}	$100 P_{\delta}$	P_{δ}	$100 P_{\delta}$	P_{δ}	$100 P_{\delta}$
0,0''	0,0'	5,0''	8,3'	10,0''	16,7'	15,0''	25,0'
0,2	0,3	5,2	8,7	10,2	17,0	15,2	25,3
0,4	0,7	5,4	9,0	10,4	17,3	15,4	25,7
0,6	1,0	5,6	9,3	10,6	17,7	15,6	26,0
0,8	1,3	5,8	9,7	10,8	18,0	15,8	26,3
1,0	1,7	6,0	10,0	11,0	18,3	16,0	26,7
1,2	2,0	6,2	10,3	11,2	18,7	16,2	27,0
1,4	2,3	6,4	10,7	11,4	19,0	16,4	27,3
1,6	2,7	6,6	11,0	11,6	19,3	16,6	27,7
1,8	3,0	6,8	11,3	11,8	19,7	16,8	28,0
2,0	3,3	7,0	11,7	12,0	20,0	17,0	28,3
2,2	3,7	7,2	12,0	12,2	20,3	17,2	28,7
2,4	4,0	7,4	12,3	12,4	20,7	17,4	29,0
2,6	4,3	7,6	12,7	12,6	21,0	17,6	29,3
2,8	4,7	7,8	13,0	12,8	21,3	17,8	29,7
3,0	5,0	8,0	13,3	13,0	21,7	18,0	30,0
3,2	5,3	8,2	13,7	13,2	22,0	18,2	30,3
3,4	5,7	8,4	14,0	13,4	22,3	18,4	30,7
3,6	6,0	8,6	14,3	13,6	22,7	18,6	31,0
3,8	6,3	8,8	14,7	13,8	23,0	18,8	31,3
4,0	6,7	9,0	15,0	14,0	23,3	19,0	31,7
4,2	7,0	9,2	15,3	14,2	23,7	19,2	32,0
4,4	7,3	9,4	15,7	14,4	24,0	19,4	32,3
4,6	7,7	9,6	16,0	14,6	24,3	19,6	32,7
4,8	8,0	9,8	16,3	14,8	24,7	19,8	33,0
5,0	8,3	10,0	16,7	15,0	25,0	20,0	33,3

Таблиця 4

**Прецесія по прямому піднесенню за 100 років
(за аргументом річної прецесії)**

0,00 ^s	0 ^m 00 ^s	2,00 ^s	3 ^m 20 ^s	4,00 ^s	6 ^m 40 ^s	6,00 ^s	10 ^m 00 ^s	8,00 ^s	13 ^m 20 ^s	10,00 ^s	16 ^m 40 ^s
0,05	0 05	2,05	25	4,05	45	6,05	05	8,05	25	10,05	45
0,10	10	2,10	30	4,10	50	6,10	10	8,10	30	10,10	50
0,15	15	2,15	35	4,15	55	6,15	15	8,15	35	10,15	55
0,20	20	2,20	40	4,20	7 00	6,20	20	8,20	40	10,20	17 00
0,25	25	2,25	45	4,25	05	6,25	25	8,25	45	10,25	05
0,30	30	2,30	50	4,30	10	6,30	30	8,30	50	10,30	10
0,35	35	2,35	55	4,35	15	6,35	35	8,35	55	10,35	15
0,40	40	2,40	4 00	4,40	20	6,40	40	8,40	14 00	10,40	20
0,45	45	2,45	05	4,45	25	6,45	45	8,45	05	10,45	25
0,50	0 50	2,50	4 10	4,50	7 30	6,50	10 50	8,50	14 10	10,50	17 30
0,55	55	2,55	15	4,55	35	6,55	55	8,55	15	10,55	35
0,60	1 00	2,60	20	4,60	40	6,60	11 00	8,60	20	10,60	40
0,65	05	2,65	25	4,65	45	6,65	05	8,65	25	10,65	45
0,70	10	2,70	30	4,70	50	6,70	10	8,70	30	10,70	50
0,75	15	2,75	35	4,75	55	6,75	15	8,75	35	10,75	55
0,80	20	2,80	40	4,80	8 00	6,80	20	8,80	40	10,80	18 00
0,85	25	2,85	45	4,85	05	6,85	25	8,85	45	10,85	05
0,90	30	2,90	50	4,90	10	6,90	30	8,90	50	10,90	10
0,95	35	2,95	55	4,95	15	6,95	35	8,95	55	10,95	15
1,00	1 40	3,00	5 00	5,00	8 20	7,00	11 40	9,00	15 00	11,00	18 20
1,05	45	3,05	05	5,05	25	7,05	45	9,05	05	11,05	25
1,10	50	3,10	10	5,10	30	7,10	50	9,10	10	11,10	30
1,15	55	3,15	15	5,15	35	7,15	55	9,15	15	11,15	35
1,20	2 00	3,20	20	5,20	40	7,20	12 00	9,20	20	11,20	40
1,25	05	3,25	25	5,25	45	7,25	05	9,25	25	11,25	45
1,30	10	3,30	30	5,30	50	7,30	10	9,30	30	11,30	50
1,35	15	3,35	35	5,35	55	7,35	15	9,35	35	11,35	55
1,40	20	3,40	40	5,40	9 00	7,40	20	9,40	40	11,40	19 00
1,45	25	3,45	45	5,45	05	7,45	25	9,45	45	11,45	05
1,50	2 30	3,50	5 50	5,50	9 10	7,50	12 30	9,50	15 50	11,50	19 10
1,55	35	3,55	55	5,55	15	7,55	35	9,55	55	11,55	15
1,60	40	3,60	6 00	5,60	20	7,60	40	9,60	16 00	11,60	20
1,65	45	3,65	05	5,65	25	7,65	45	9,65	05	11,65	25
1,70	50	3,70	10	5,70	30	7,70	50	9,70	10	11,70	30
1,75	55	3,75	15	5,75	35	7,75	55	9,75	15	11,75	35
1,80	3 00	3,80	20	5,80	40	7,80	13 00	9,80	20	11,80	40
1,85	05	3,85	25	5,85	45	7,85	05	9,85	25	11,85	45
1,90	10	3,90	30	5,90	50	7,90	10	9,90	30	11,90	50
1,95	15	3,95	35	5,95	55	7,95	15	9,95	35	11,95	55
2,00	3 20	4,00	6 40	6,00	10 00	8,00	13 20	10,00	16 40	12,00	20 00

Таблиця 5

Частка року, що минула до 0^h кожного дня (в тисячних частках року)

А. Звичайний рік

Число	Місяць											
	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жов.	Лист.	Груд.
1	000	085	162	247	329	414	496	581	666	748	833	915
2	003	088	164	249	332	416	499	584	668	751	836	918
3	005	090	167	252	334	419	501	586	671	753	838	921
4	008	093	170	255	337	422	504	589	674	756	841	923
5	011	096	173	258	340	425	507	592	677	759	844	926
6	014	099	175	260	342	427	510	595	679	762	847	929
7	016	101	178	263	345	430	512	597	682	764	849	932
8	019	104	181	266	348	433	515	600	685	767	852	934
9	022	107	184	268	351	436	518	603	688	770	855	937
10	025	110	186	271	353	438	521	605	690	773	858	940
11	027	112	189	274	356	441	523	608	693	775	860	942
12	030	115	192	277	359	444	526	611	696	778	863	945
13	033	118	195	279	362	447	529	614	699	781	866	948
14	036	121	197	282	364	449	532	616	701	784	868	951
15	038	123	200	285	367	452	534	619	704	786	871	953
16	041	126	203	288	370	455	537	622	707	789	874	956
17	044	129	205	290	373	458	540	625	710	792	877	959
18	047	132	208	293	375	460	542	627	712	795	879	962
19	049	134	211	296	378	463	545	630	715	797	882	964
20	052	137	214	299	381	466	548	633	718	800	885	967
21	055	140	216	301	384	468	551	636	721	803	888	970
22	058	142	219	304	386	471	553	638	723	805	890	973
23	060	145	222	307	389	474	556	641	726	808	893	975
24	063	148	225	310	392	477	559	644	729	811	896	978
25	066	151	227	312	395	479	562	647	732	814	899	981
26	068	153	230	315	397	482	564	649	734	816	901	984
27	071	156	233	318	400	485	567	652	737	819	904	986
28	074	159	236	321	403	488	570	655	740	822	907	989
29	077	—	238	323	405	490	573	658	742	825	910	992
30	079	—	241	326	408	493	575	660	745	827	912	995
31	082	—	244	—	411	—	578	663	—	830	—	997

Таблиця 6

Б. Високосний рік

Число	Місяць											
	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жов.	Лист.	Груд.
1	000	085	164	249	331	415	497	582	667	749	833	915
2	003	087	167	251	333	418	500	585	669	751	836	918
3	005	090	169	254	336	421	503	587	672	754	839	921
4	008	093	172	257	339	423	505	590	675	757	842	923
5	011	096	175	260	342	426	508	593	678	760	844	926
6	014	098	178	262	344	429	511	596	680	762	847	929
7	016	101	180	265	347	432	514	598	683	765	850	932
8	019	104	183	268	350	434	516	601	686	768	852	934
9	022	107	186	270	352	437	519	604	689	770	855	937
10	025	109	189	273	355	440	522	607	691	773	858	940
11	027	112	191	276	358	443	525	609	694	776	861	943
12	030	115	194	279	361	445	527	612	697	779	863	945
13	033	117	197	281	363	448	530	615	699	781	866	948
14	036	120	199	284	366	451	533	617	702	784	869	951
15	038	123	202	287	369	454	536	620	705	787	872	954
16	041	126	205	290	372	456	538	623	708	790	874	956
17	044	128	208	292	374	459	541	626	710	792	877	959
18	046	131	210	295	377	462	544	628	713	795	880	962
19	049	134	213	298	380	464	546	631	716	798	883	964
20	052	137	216	301	383	467	549	634	719	801	885	967
21	055	139	219	303	385	470	552	637	721	803	888	970
22	057	142	221	306	388	473	555	639	724	806	891	973
23	060	145	224	309	391	475	557	642	727	809	893	975
24	063	148	227	311	393	478	560	645	730	811	896	978
25	066	150	230	314	396	481	563	648	732	814	899	981
26	068	153	232	317	399	484	566	650	735	817	902	984
27	071	156	235	320	402	486	568	653	738	820	904	986
28	074	158	238	322	404	489	571	656	740	822	907	989
29	077	161	240	325	407	492	574	658	743	825	910	992
30	079	—	243	328	410	495	577	661	746	828	913	995
31	082	—	246	—	413	—	579	664	—	831	—	997

Г. О. Гарбузов, Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова

РОЗРАХУНОК ПРЕЦЕСІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ТАБЛИЦЬ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**для студентів фізичного факультету
спеціальності «астрономія»**