

## XXVII Национална олимпиада по астрономия

Подборен кръг, 10.07.2024 г., Варна, практически тур  
Старша възраст

**Задача 1. Северно затъмнение.** Магнитното поле на Земята е сложно, като положението на магнитните полюси се променя с времето. На Фигура 1 е даден пътът на северния магнитен полюс, получен с помощта на реални измервания и моделиране. Всяка точка от пътя съответства на една година. Изопачаването на тългите и разстоянията поради проекцията на картата може да се пренебрегне, тоест мащабната отсечка може да се ползва навсякъде по картата. Приема се, че навсякъде компасите сочат право към северния магнитен полюс.

- а) Намерете максималната скорост  $v_{\max}$  на северния магнитен полюс по земната повърхност за дадения интервал. Дайте отговора си в mm/s. **[2 т.]**
- б) За някои места по Земята може да се окаже, че посоката север според компаса всъщност е географската посока юг. Между 2000 и 2020 такова явление е можело да се наблюдава поне веднъж в рамките на някаква зона по земната повърхност. Намерете каква част  $q$  от пълната площ на земната повърхност се явява тази зона. **[2 т.]**
- в) През 2003 изследовател тръгва на експедиция към северния полюс, следвайки компаса си. Той стартира от инуитското селище Grise Fiord и се движи със средна скорост за денонощие  $v = 2 \text{ km/h}$ . С какво разстояние  $s$  ще се е приближил до северния полюс за време  $T = 3 \text{ d}$  след старта? **[2 т.]**

Някъде из Канадския арктичен архипелаг, а може би и на самите океански ледове, живее самотен инуитски шаман. За него слънчевият диск не се подава над хоризонта за цели  $T_0 = 137 \text{ d}$  от годината. Между 1995 и 2015 направлението север според компаса му се е изместило с  $90^\circ$ , което той отдава на някаква магия. Още по-удивително за шамана е пръстеновидното слънчево затъмнение, което той наблюдава през 2021.

На Фигура 2 е дадена карта, показваща видимостта на това затъмнение от Земята. В рамките на пояса „Annular“ затъмнението се наблюдава като пръстеновидно. Кривите с 0.80, 0.60, 0.40 и т.н. указват местата, където затъмнението се наблюдава като частично и максималната му фаза е именно такава. Кривите с 9:00 UT, 9:30 UT, 10:00 UT и т.н. указват местата, където именно в такива моменти по UT затъмнението е в максимална фаза. Кривата с форма на осмица не е от значение за задачата. В затъмнената част от картата Слънцето е под хоризонта. Географските паралели са начертани през интервали от  $30^\circ$ .

- г) Нанесете върху Фигура 1 положението на шамана (точка  $W$ ). Опишете построенията си достатъчно подробно. **[3 т.]**
- д) По какво местно време наблюдава шаманът затъмнението? **[2 т.]**
- е) Оценете с точност  $5^\circ$  височината  $h$  над хоризонта, на която шаманът вижда Слънцето по време на затъмнението. Оценете с точност  $30^\circ$  астрономическия азимут на Слънцето в този момент. **[3 т.]**
- ж) През кой месец става затъмнението? **[2 т.]**

Както много други мекотели, варненският полярен охлюв може да усеща магнитни полета. През 2003 един такъв охлюв тръгва от изследователската станция Alert, като движението му е винаги насочено по направление към северния магнитен полюс. Скоростта му по земната

повърхност винаги се поддържа равна по големина на тази на полюса. След 2003 траекторията на полюса може да се приеме за праволинейна.

Оказва се, че при такова движение охлювът никога няма да успее да догони магнитния полюс. Той само ще достигне някакво минимално разстояние от него  $l_{\min}$ .

з) Намерете  $l_{\min}$ .

[4 т.]

Указание: Броят дни, през които никоя част от Слънцето не се подава над хоризонта, се задава приблизително с формулата

$$T = \left( \frac{1}{2} - \frac{\arcsin \left( \frac{\cos(\varphi - \rho_{\odot} - \rho)}{\sin \varepsilon} \right)}{180^\circ} \right) T_E,$$

където  $\varphi$  е географската ширина,  $\delta_{\odot}$  е ъгловият размер на Слънцето,  $\rho$  е рефракцията на хоризонта, а  $T_E$  е продължителността на годината.

Указание: При решаването на последната част разгледайте движението на охлюва и полюса в подходяща координатна система. Запишете изрази за темпа на промяната на пълното им отстояние и темпа на промяната на отстоянието им по посоката на движение на полюса. Така открийте удобна комбинация от величини, която ще се запазва през цялото движение.

#### Справочни данни:

Радиус на Земята

$$R_E = 6370 \text{ km}$$

Наклон на земната ос

$$\varepsilon = 23^\circ 26'$$

Ъглов радиус на Слънцето

$$\rho_{\odot} = 16'$$

Рефракция на хоризонта

$$\rho = 35'$$

**Задача 2. Повърхностна фотометрия на NGC 7217.** Повърхностната фотометрия на галактики е астрономически метод, чрез който се изследва разпределението на светлината в различните части на галактиките. Получените данни могат да се използват за анализиране разпределението на светецата маса, изчисляване на геометрични параметри на галактиката, както и изследване на цялостната ѝ структура.

При протяжни обекти се дефинира величината *повърхностна яркост*  $\mu$ , която се измерва в звездни величини на квадратни дъгови секунди [ $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ]. В сила е следната връзка между  $\mu$  и интензитета  $I$  [ $(\text{W}/\text{m}^2)/\text{arcsec}^2$ ] в дадена точка:

$$\mu = \mu_0 + 2.5 \lg \left( \frac{I_0}{I} \right),$$

където  $\mu_0$  и  $I_0$  са калибровъчни константи. Законите, които описват  $I(R)$ , където  $R$  е разстоянието от центъра на галактиката, са различни за двете компоненти на спирална галактика – балджа и дискът. За балджа е в сила законът на Де Вокулор

$$\lg \left( \frac{I}{I_e} \right) = -3.331 \left[ \left( \frac{R}{R_e} \right)^{1/4} - 1 \right], \quad \text{еквивалентно на} \quad \mu(R) = \mu_{0,\text{bulge}} + 8.327 \left[ \left( \frac{R}{R_e} \right)^{1/4} - 1 \right],$$

където  $I_e$ ,  $R_e$  и  $\mu_{0,\text{bulge}}$  са неизвестни параметри на галактиката за балджа. За диска на галактиката е в сила друг експоненциален закон

$$I = I_0 e^{-R/h}, \quad \text{еквивалентно на} \quad \mu(R) = \mu_{0,\text{disk}} + 1.086 \left( \frac{R}{h} \right),$$

където  $I_0$  и  $\mu_{0,\text{disk}}$  са неизвестни параметри на галактиката за диска.

Разполагате с таблица с истински наблюдателни данни, получени за спиралната галактика NGC 7217 в съзвездието Пегас. В таблицата са представени повърхностите яркости  $\mu$  в  $[\text{mag}/\text{arcsec}^2]$  спрямо разстоянията  $R$  от центъра на галактиката в парсеци  $[\text{pc}]$ .

- а) Начертайте графика на зависимостта  $\mu(R)$  по данните от таблицата и от нея оценете радиуса на балджа  $R_b$ . [5 т.]

Приемете, че яркостта на NGC 7217 се описва добре от закона на Де Вокулъор за балджа и от експоненциалния закон на диска.

- б) Начертайте отделна графика на зависимостта само за балджа в подходящи променливи. От нея определете параметрите  $R_e$  и  $\mu_{0,\text{bulge}}$ . [5 т.]

Указание: Намерете помощни променливи  $x$  и  $y$ , зависещи съответно от  $R$  и  $\mu$ , за които законът на Де Вокулъор предвижда, че зависимостта  $y(x)$  е линейна. Ако начертаете графика в такива променливи, точките ви би трябвало да се разполагат на права линия, чийто наклон ще е свързан с търсените в задачата параметри.

- в) Начертайте отделна графика на зависимостта само за диска в подходящи променливи. От нея определете параметрите  $h$  и  $\mu_{0,\text{disk}}$ . [5 т.]

За  $I_0$  и  $I_e$  може да използвате експериментално установените формули

$$\begin{aligned}\lg(I_0[\text{W}/\text{m}^2]) &= 14.50^{\text{m}}/\text{arcsec}^2 - \mu_{0,\text{disk}}, \\ \lg(I_e[\text{W}/\text{m}^2]) &= 15.94^{\text{m}}/\text{arcsec}^2 - \mu_{0,\text{bulge}}.\end{aligned}$$

- г) Пресметнете  $I_0$  и  $I_e$ . [1 т.]

Пълната светимост  $L$  на галактиката е сума от светимостите на диска и балджа и се задава с формулата

$$L = 2\pi(3.607I_eR_e^2 + I_0h^2).$$

- д) Пресметнете  $L$  за NGC 7217. [1 т.]

На Фигура 3 е дадена графика на ротационните скорости  $v$  на звезди от галактиката при различни разстояния от центъра  $R$ .

- е) Използвайте графиката, за да определите масата на галактиката  $M$ . Така определете отношението  $M/L$  (mass-to-light ratio) в мерни единици  $[M_\odot/L_\odot]$ . [3 т.]

| $R$ [pc] | $\mu$ [mag/arcsec <sup>2</sup> ] | $R$ [pc] | $\mu$ [mag/arcsec <sup>2</sup> ] | $R$ [pc] | $\mu$ [mag/arcsec <sup>2</sup> ] |
|----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| 11174    | 22.84                            | 4761     | 20.84                            | 777      | 18.32                            |
| 10591    | 22.71                            | 4178     | 20.64                            | 583      | 17.96                            |
| 10008    | 22.74                            | 3595     | 20.54                            | 388      | 17.52                            |
| 9425     | 22.30                            | 3012     | 20.10                            |          |                                  |
| 8842     | 22.30                            | 2429     | 19.82                            |          |                                  |
| 8259     | 22.03                            | 1943     | 19.57                            |          |                                  |
| 7676     | 21.80                            | 1749     | 19.43                            |          |                                  |
| 7093     | 21.64                            | 1554     | 19.28                            |          |                                  |
| 6510     | 21.55                            | 1360     | 19.07                            |          |                                  |
| 5927     | 21.40                            | 1166     | 18.85                            |          |                                  |
| 5344     | 21.17                            | 971      | 18.60                            |          |                                  |

Таблица 1

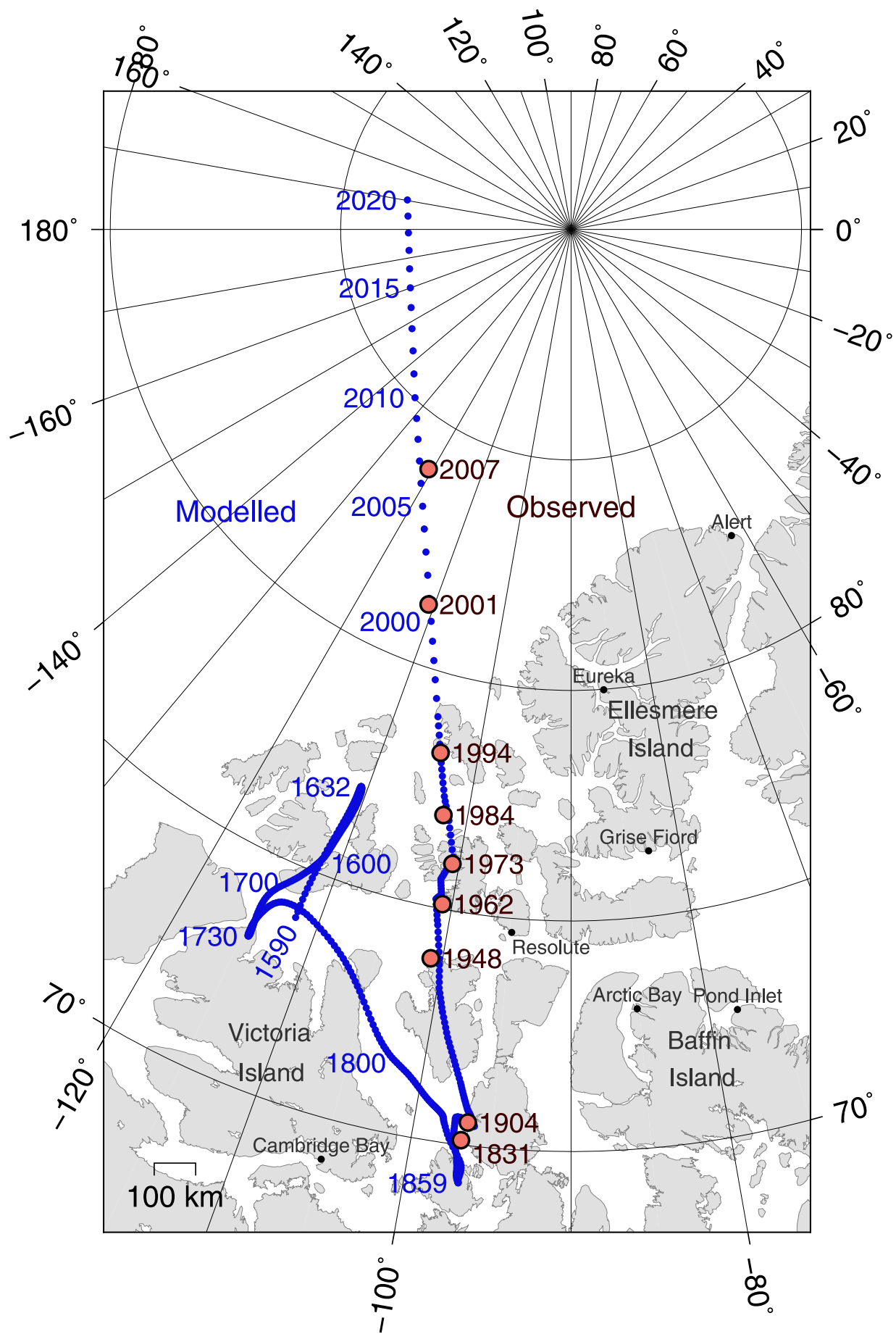
### Справочни данни:

Маса на Слънцето

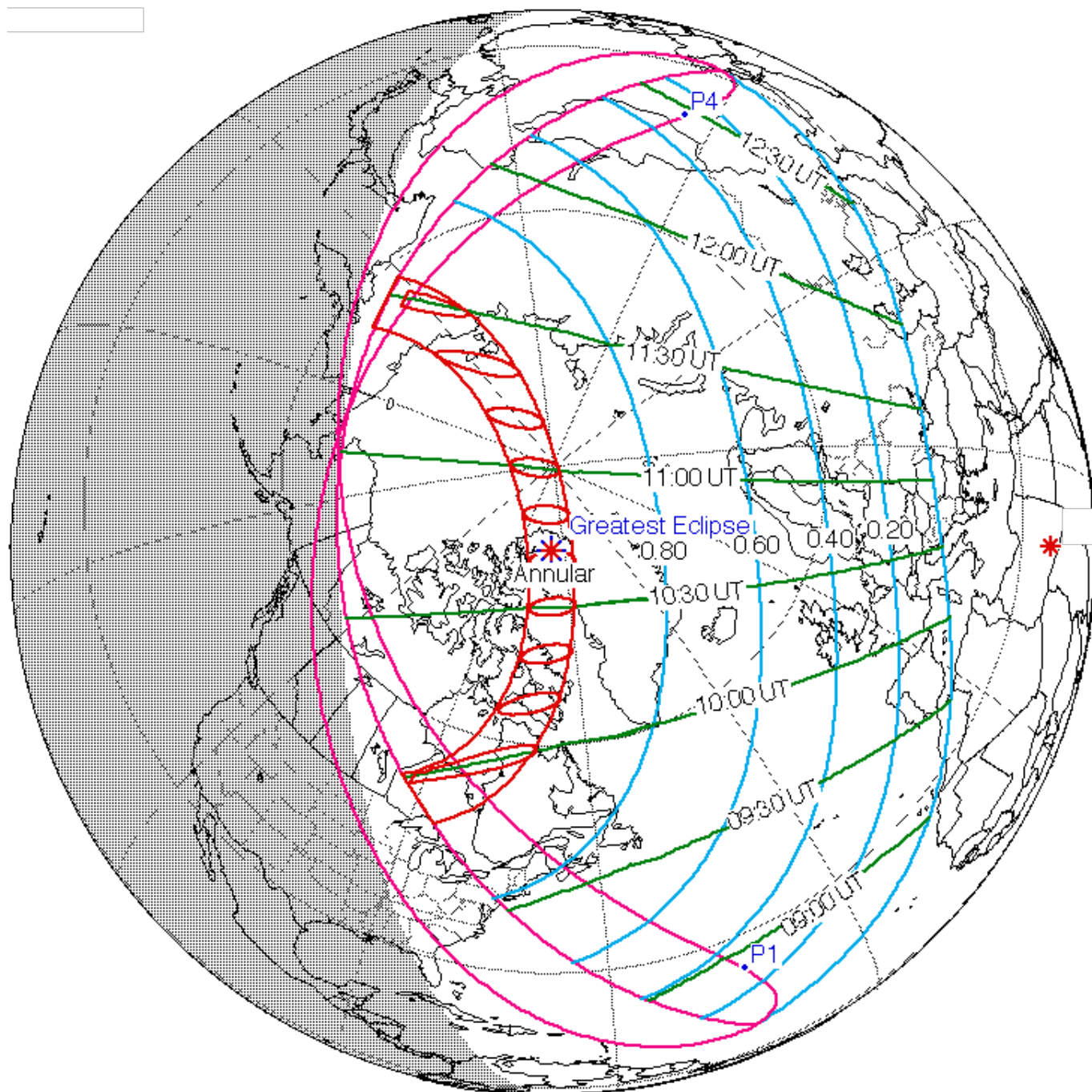
$$M_\odot = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Светимост на Слънцето

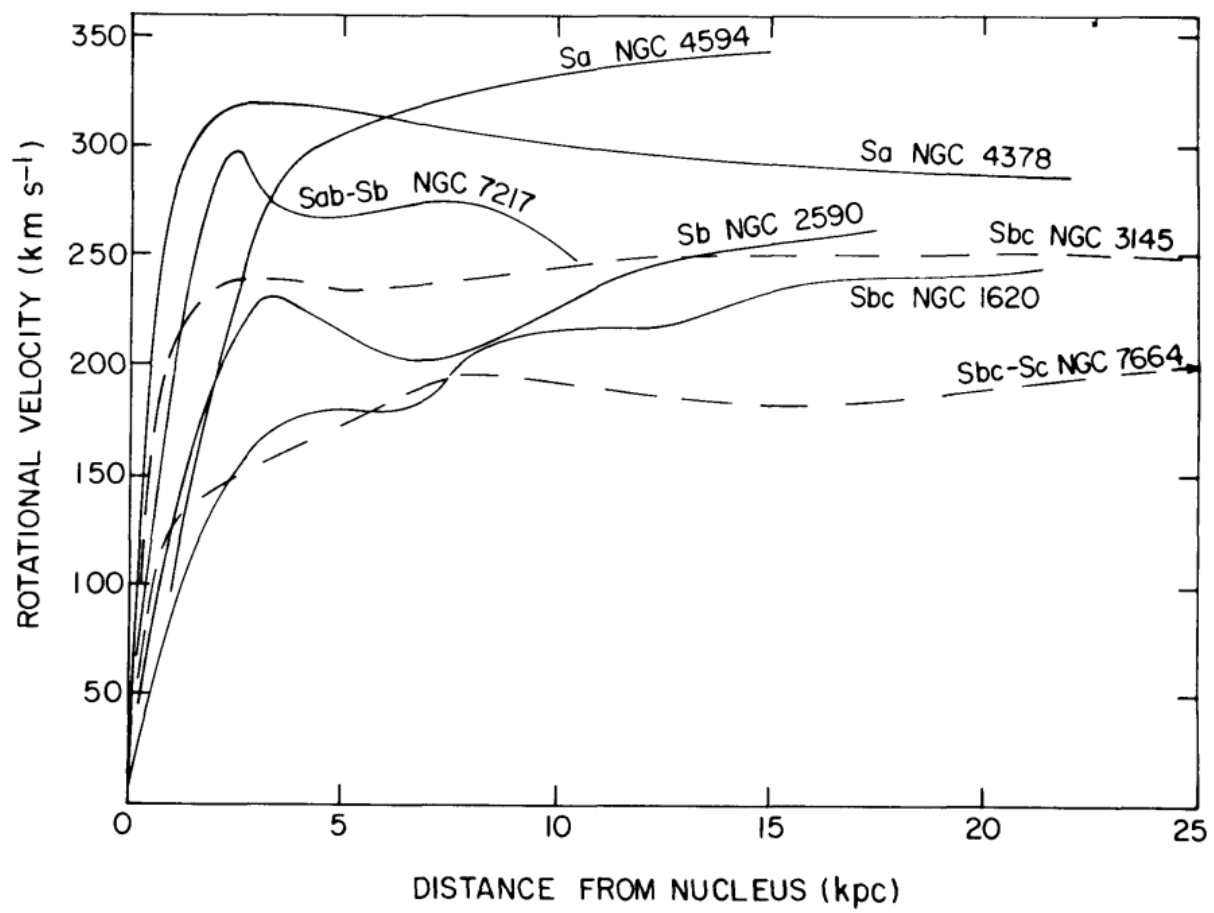
$$L_\odot = 3.86 \times 10^{26} \text{ W}$$



Фигура 1



Фигура 2



Фигура 3