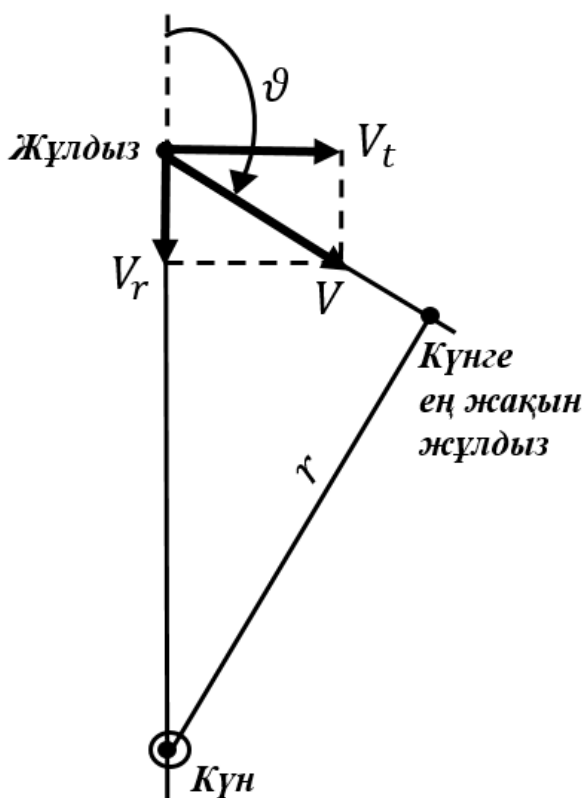


## Практикалық жұмыс №15

### Кеңістіктегі жұлдыздар мен галактикалардың қозғалысы

Жұлдыздардың кеңістіктегі  $V$  жылдамдығы әрқашан Күнге қатысты анықталады (1-сурет) және жұлдызды Күнмен байланыстыратын  $r$  сәулесінің бойымен бағытталған  $V_r$  радиалды және  $V_t$  тангенциалды жылдамдығымен есептеледі.

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_t^2},$$



Сурет 1. Күнге қатысты жұлдыздың қозғалысы.

Жұлдыздың  $V$  кеңістіктегі жылдамдығының бағыты оның және бақылаушының көру сызығы арасындағы  $\theta$  бұрышымен сипатталатыны анық:

$$\cos \theta = V_r/V$$

$$\sin \theta = V_t/V$$

және  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

Бақылау нәтижесінде жұлдыздың Жерге қатысты радиалды жылдамдығы  $V_r$ -мен анықталады. Егер жұлдыз спектрінде толқын ұзындығы  $\lambda$  болатын сызық өзінің қалыпты (зертханалық) күйінен

$\Delta x$  мм-ге ығысса және оның берілген бөлігіндегі спектрограмманың дисперсиясы  $D \text{ \AA}/\text{мм}$  болса, онда сызықтың ығысуы мынаған тең:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Delta x \cdot D$$

және  $\vartheta = \vartheta_r = c(\Delta\lambda/\lambda)$  сәйкес радиалды жылдамдық:

$$\vartheta_r = c(\Delta\lambda/\lambda)$$

мұндағы  $c = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с}$  – жарық жылдамдығы.

Содан кейін Күнге қатысты секундына километрдегі радиалды жылдамдық:

$$V_r = \vartheta_r - 29,8 \cdot \sin(\lambda_* - \lambda_{\odot}) \cos \beta_*,$$

мұндағы  $\lambda_*$  – эклиптикалық бойлық,  $\beta_*$  – жұлдыздың эклиптикалық ендігі,  $\lambda$  – жұлдыздың спектрограммасы алынған күндегі Күннің эклиптикалық бойлығы (астрономиялық жылнамадан алынған), ал 29,8 саны Жердің айналмалы жылдамдығы секундына километрмен беріледі.

Жылдамдық  $V_r$  (немесе  $\vartheta_r$ ) Күннен (немесе Жерден) алысқа бағытталған кезде оң, ал кері бағытта бағытталған кезде теріс болады.

Жұлдыздың тангенциалды жылдамдығы секундына километрмен  $V_t$  оның жылдық параллаксы  $\pi$  мен дұрыс қозғалысы  $\mu$ , яғни жұлдыз 1 жылда аспанда қозғалатын доға бойымен анықталады:

$$V_t = 4.74 \frac{\mu}{\pi} = 4,74 \mu \cdot r$$

оның үстіне  $\mu$  және  $\pi$  доғаның секундтарымен ("), ал жұлдызға дейінгі  $r$  қашықтығы парсекпен өрнектеледі.

Өз кезегінде,  $\mu$  жұлдыздың экваторлық координаталары  $\alpha$  және  $\delta$  жыл ішінде өзгеруінен анықталады (соның ішінде прецессия):

$$\mu = \sqrt{(15\mu_{\alpha} \cdot \cos \delta)^2 + \mu_{\delta}^2}$$

мұндағы жұлдыздың өзіндік қозғалысының оң жақ көтерілу компоненті  $\mu_\alpha$  уақыт секундтарымен (с), ал  $\mu_\delta$  көлбеу компоненті доғалық секундтармен (") өрнектеледі.

Өзіндік қозғалыстың  $\mu$  бағыты солтүстік аспан полюсіне бағыталған есептелетін  $\psi$  позиция бұрышымен анықталады:

$$\cos \psi = \frac{\mu_\delta}{\mu} \text{ және } \sin \psi = \frac{15\mu_\alpha \cos \delta}{\mu}$$

мұндағы  $\psi - 0^\circ$  мен  $360^\circ$  аралығында болады.

1-суретке сәйкес бізді жұлдыздың Күннен  $r_m$  ең аз қашықтықта өткен (немесе өтетін) дәуірінен бөлетін  $\Delta t$  уақыт аралығын есептеу оңай.

Галактикалар мен квазарлардың өзіндік қозғалысы  $\mu = 0$ , сондықтан олар үшін тек  $V_r$  радиалды жылдамдығы анықталады және бұл жылдамдық жоғары болғандықтан, Жердің жылдамдығы ескерілмегендіктен  $V_r = v_r$ -ге тең болады.  $\Delta\lambda/\lambda = z$  деп белгілей отырып, салыстырмалы жақын галактикалар үшін  $z \leq 0,1$  аламыз:

$$V_r = cz,$$

және Хаббл заңы бойынша олардың қашықтығы мегапарсекпен (Mpc)\*:

$$r = V_r/H = V_r/50$$

мұндағы Хаббл тұрақтысының ағымдағы мәні  $H = 50 \text{ км/с Мпс}$ .

$z > 0,1$  болатын алыс галактикалар мен квазарлар үшін релятивистік формуланы қолдану керек:

$$V_r = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1} c$$

ал олардың арақашықтығын бағалау Әлемнің қабылданған космологиялық моделіне байланысты. Сонымен, жабық пульсирленген модельде:

$$r = \frac{c}{H} \cdot \frac{z}{1+z}$$

және Эйнштейн-де Ситтердің ашық үлгісінде:

$$r = \frac{2c}{H} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}} \right).$$

### Мысал 1.

Жұлдыздың спектрінде толқын ұзындығы 5016 Å гелий сызығы қызыл ұшына 0,017 мм ығысқан, бұл аймақта спектрограмманың дисперсиясы 20 Å/мм. Жұлдыздың эклиптикалық бойлығы 47°55', ал эклиптикалық ендігі 26°45', ал спектрді суретке түсіру кезінде Күннің эклиптикалық бойлығы 223°14'-ге жақын болды. Жұлдыздың радиалды жылдамдығын анықтаңыз.

*Берілгені:* спектр,  $\lambda = 5016 \text{ Å}$ ,  $\Delta x = +0,017 \text{ мм}$ .  $D = 20 \text{ Å/мм}$ ; жұлдыз,  $\lambda^* = 47^\circ 55'$ ,  $\beta^* = -26^\circ 45'$ ; Күн,  $\lambda = 223^\circ 14'$ .

*Шешуі:*  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Delta x \cdot D$  және  $\vartheta = \vartheta_r = c(\Delta\lambda/\lambda)$  формулаларын пайдаланып, спектрлік сызықтың ығысуын табамыз:

$$\Delta\lambda = \Delta x D = +0,017 \cdot 20 = +0,34 \text{ Å}$$

және жұлдыздың Жерге қатысты радиалды жылдамдығы:

$$v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3 \cdot 10^5 \cdot \frac{+0,34}{5016}; \quad v_r = +20,5 \text{ км/с}$$

Күнге қатысты жұлдыздың радиалды жылдамдығын  $V_r$  есептеуде  $V_r = \vartheta_r - 29,8 \cdot \sin(\lambda_* - \lambda_\odot) \cos \beta_*$  формуланы қолдану үшін кестелерден мына мәндерді табу керек:

$$\sin(\lambda^* - \lambda_\odot) = \sin(47^\circ 55' - 223^\circ 14') = -0,0816$$

және

$$\cos \beta^* = \cos(-26^\circ 45') = +0,8930,$$

сонда

$$V_r - v_r - 29,8 \cdot \sin(\lambda_* - \lambda_\odot) \cos \beta_* = +20,5 + 29,8 \cdot 0,0816 \cdot 0,8930 \\ = +22,7; \quad V_r = +22,7 \text{ км/с.}$$

### Өз бетімен шығаруға арналған есептер:

1. Толқын ұзындығы 4861 Å және 4102 Å болатын  $H_\beta$  және  $H_\delta$  сутегі жұтылу сызықтары сәйкесінше 0,66 және 0,56 Å жұлдыз

спектріндегі қызыл ұшына қарай ығысады. Бақылау түніндегі жұлдыздың Жерге қатысты радиалды жылдамдығын анықтаңыз.

2. Егер оның спектріндегі бірдей сызықтар күлгін ұшына сәйкесінше  $0,32 \text{ \AA}$  және  $0,27 \text{ \AA}$  ығысқан болса, Регула (Арыстанның) жұлдызына алдыңғы есепті шешіңіз.

3. Егер спектрограмманың дисперсиясы оның бірінші бөлімінде  $25 \text{ \AA/мм}$ , ал екіншісінде  $20 \text{ \AA/мм}$ , радиалды жылдамдығы  $60 \text{ км/с}$  жұлдыздар спектрограммада болса, онда толқын ұзындығы  $5270 \text{ \AA}$  және  $4308 \text{ \AA}$  болатын темірдің жұтылу сызықтары спектрдің қай жағында және неше миллиметрге ығысады?

4.  $H_\beta$ ,  $H_\delta$  және  $H_x$  сутегі жұтылу сызықтарының жұлдыздардың спектрлеріндегі орнын есептеңдер, олардың бірінің радиалды жылдамдығы Жерге қатысты  $-50 \text{ км/с}$ , ал екіншісі  $+30 \text{ км/с}$ . Бұл сызықтардың қалыпты толқын ұзындығы сәйкесінше  $4861$ ,  $4102$  және  $3750 \text{ \AA}$ .

5.  $\beta$  Айдаһар және  $\gamma$  Айдаһар жұлдыздары солтүстік эклиптикалық полюске жақын орналасқан. Бірінші жұлдыздың спектрінде  $\lambda=5168 \text{ \AA}$  және  $\lambda=4384 \text{ \AA}$  темір сызықтары күлгін ұшына  $0,34 \text{ \AA}$  және  $0,29 \text{ \AA}$ , ал екінші жұлдыздың спектрінде  $0,47 \text{ \AA}$  және  $0,40 \text{ \AA}$  ығысады. Осы жұлдыздардың радиалды жылдамдығын анықтаңдар.

### **Жауаптары:**

1.  $+40.8 \text{ км/с}$ .
2.  $-19.7 \text{ км/с}$ .
3. Күлгін ұшына қарай:  $-0.042 \text{ мм}$  және  $-0.043 \text{ мм}$ .
4.  $4860.2$ ;  $4101.3$  және  $3749 \text{ \AA}$ ;  $4861.5$ ;  $4102.4$  және  $3750.4 \text{ \AA}$ .
5.  $-19.8 \text{ км/с}$  және  $-27.3 \text{ км/с}$ .

### **Әдебиеттер:**

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).

2. <http://spacescience.ru/content/view/441/>