

### ? Кантрольныя пытанні і заданні

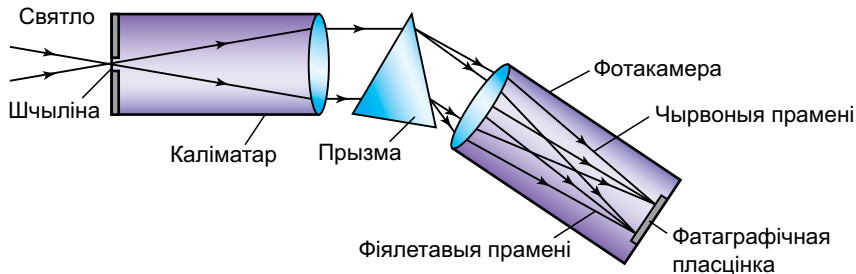
1. На якія дыяпазоны падазяляецца ўвесь спектр электрамагнітнага выпраменьвання?
2. Чаму з паверхні Зямлі нельга вывучаць нябесныя аб'екты ва ўсіх дыяпазонах электрамагнітнага выпраменьвання?
3. Якія асноўныя задачы рашаюць у астраноміі з дапамогай тэлескопаў?
4. Як можна вызначыць бачнае павелічэнне аптычнай сістэмы тэлескопа?
5. Што разумеюць пад распазнавальнай здольнасцю тэлескопа? Пранікальнай сілай?
6. Што разумеюць пад пазаатмасфернай астраноміяй?
7. Вызначце распазнавальную здольнасць глядзельнай трубы з дыяметрам аб'ектыва 5 см.
8. Павелічэнне тэлескопа роўна 75. Фокусная адлегласць аб'ектыва 5 м. Вызначце фокусную адлегласць акуляр.
9. З тэлескопа з фокуснай адлегласцю аб'ектыва 3 м вынялі акуляр і вокам разглядаюць вельмі далёкі прадмет, атрыманы ў галоўным фокусе аб'ектыва. Якое павелічэнне дае тэлескоп?

## § 18. Спектральны аналіз у астраноміі

**1. Віды спектраў.** У 1666 г. Ісаак Ньютан пры прапусканні пучка сонечнага святла праз трохгранную шклянную прызму заўважыў, што той не толькі праламляецца да асновы прызмы, але і распадаецца на колеравыя складальныя. Атрыманую на экране каляровую палоску з сямі асноўных колераў, якія паступова пераходзяць адзін у другі, назвалі **спектрам**.

Для назірання і даследавання спектраў выкарыстоўваюць прыладу — **спектраскоп**. Для атрымання і рэгістрацыі спектраў нябесных цел выкарыстоўваюць спецыяльную аптычную прыладу — **спектрограф**.

Спектры адносна яркіх святлаў фатаграфуюць шчыліннымі спектрографамі, якія складаюцца з каліметара, прызмы і фотакамеры (рыс. 106). Фатаграфічны



Рыс. 106. Схема шчыліннага спектрографа

здымак спектра нябеснага цела называецца **спектраграмай**. Спектраграмай называюць таксама графік залежнасці інтэнсіўнасці (магутнасці) выпраменьвання нябеснага цела ад даўжыні хвалі або частаты.

Любое цела, якое свеціцца, стварае **спектр выпраменьвання**. Спектры бываюць суцэльнымі (неперарыўнымі), лінейчастымі і паласатымі.

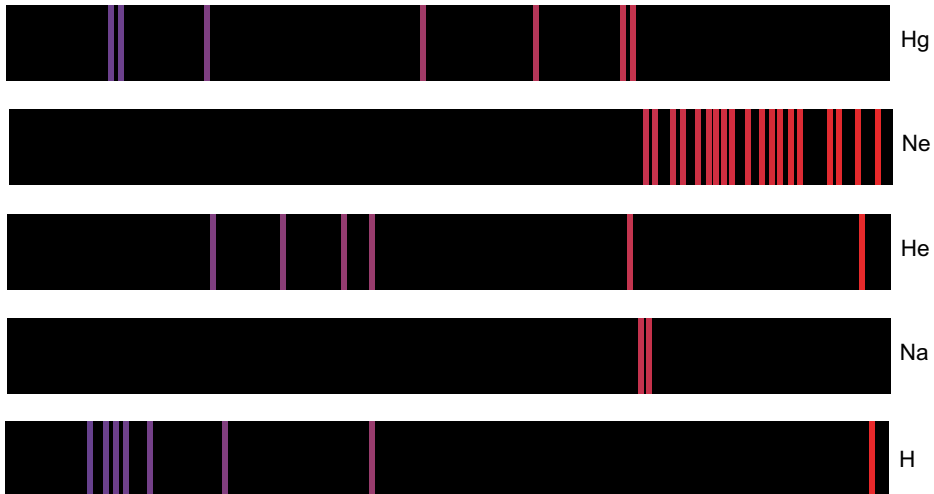
**Суцэльны спектр** мае выгляд неперарыўнай паласы, колеры якой паступова пераходзяць адзін у другі. Усе цвёрдыя целы, расплаўленыя металы, газы, што свеціцца, і пара, якая знаходзіцца пад вельмі высокім ціскам, даюць суцэльны спектр. Такі спектр можна, напрыклад, атрымаць ад дугаваго ліхтара і свечкі, якая гарыць.

Іншы выгляд мае спектр, калі ў якасці крыніцы святла выкарыстоўваецца распалены газ ці пара пры ўмове, што іх ціск мала адрозніваецца ад нармальнага і газ знаходзіцца ў атамарным стане. У гэтым выпадку гавораць аб **лінейчастым спектры** (атамным). Ён складаецца з асобных рэзкіх каляровых ліній, раздзеленых цёмнымі прамежкамі (рыс. 107). Устаноўлена, што кожны хімічны элемент у стане распаленага газу, які складаецца з атамаў, выпраменьвае ўласцівы толькі яму аднаму лінейчасты спектр з характэрнымі каляровымі лініямі, заўсёды размешчанымі на вызначаным месцы.

**Паласаты спектр** (малекулярны) складаецца з асобных ліній, якія зліваюцца ў палосы (выразныя з аднаго боку і размытыя з другога), раздзеленыя цёмнымі прамежкамі. Такі спектр выпраменьваюць малекулы газаў і пары.

Разам са спектрамі выпраменьвання існуюць спектры паглынання.

Суцэльны спектр, перасечаны цёмнымі лініямі або палосамі ў выніку праходжання белага святла праз распаленыя газы ці пару, называецца **спектрам па-**



Рыс. 107. Лінейчастыя спектры некаторых рэчываў (Hg, Ne, He, Na, H)

**глынання.** Даследаванне з'явы ўзнікнення спектраў паглынання паказала, што *рэчыва паглынае прамені тых даўжынь хваль, якія яно можа выпраменьваць у дадзеных умовах.*

Такім чынам, для кожнага хімічнага элемента яго лінейчасты спектр выпраменьвання і спектр паглынання з'яўляюцца абарачальнымі. Гэта азначае, што месцазнаходжанне цёмных ліній паглынання дакладна адпавядае месцазнаходжанню каляровых ліній выпраменьвання.

Спектр утрымлівае найважнейшую інфармацыю аб выпраменьванні. Агульны выгляд спектра і дэтальнае размеркаванне энергіі ў ім залежаць ад тэмпературы, хімічнага складу і фізічных уласцівасцей крыніцы, а таксама ад скорасці яе руху. Метад даследавання хімічнага складу цел і іх фізічнага стану пры дапамозе спектраў выпраменьвання і паглынання называецца **спектральным аналізам**.

**2. Хімічны склад нябесных цел.** У 1814 г. нямецкі фізік Ёзаф Фраўнгофер пры назіранні спектра Сонца з дапамогай зробленага ім спектраскопа з дыфракцыйнай рашоткай звярнуў увагу на тое, што суцэльны спектр Сонца мае значную колькасць цёмных ліній. Вучоны ўстанавіў, што гэтыя лініі (пазней названыя яго імем) невыпадковыя і заўсёды прысутнічаюць у спектры Сонца на строга вызначаных месцах. **Фраўнгоферавы лініі** — гэта лініі паглынання пары розных рэчываў, размешчаных паблізу ад крыніцы суцэльнага спектра — яркай паверхні Сонца (паміж фотасферай і спектральнай прыладай). Сонца акружана газавай абалонкай, якая мае больш нізкую тэмпературу і меншую шчыльнасць, чым фотасфера. Такім чынам, спектр Сонца з'яўляецца, па сутнасці, спектрам паглынання гэтай пары.

Пры дэтальвай класіфікацыі фраўнгоферавых ліній адзін за адным на Сонцы выявілі ўсе зямныя элементы. Пасля правядзення велізарнай па аб'ёме працы па ўстанаўленні адпаведнасці фраўнгоферавых ліній пэўным элементам высветлілася, што некалькі спектральных ліній не належаць ніводнаму зямному элементу. Так быў адкрыты новы элемент — гелій (сонечны). І толькі праз 26 гадоў гелій выявілі на Зямлі.

Пры параўнанні даўжынь хваль ліній паглынання, якія назіраюцца ў спектрах нябесных цел, з атрыманымі ў лабараторыі або тэарэтычна разлічанымі спектрамі розных рэчываў можна вызначыць хімічны склад касмічнага аб'екта, які выпраменьвае і знаходзіцца на вельмі вялікай адлегласці. Спектральны анализ дае магчымасць вызначыць склад не толькі Сонца, але і іншых аб'ектаў — зорак, туманнасцей. Анализ спектраў — асноўны метады вывучэння фізічнай прыроды касмічных аб'ектаў, які выкарыстоўваецца ў астрафізіцы.

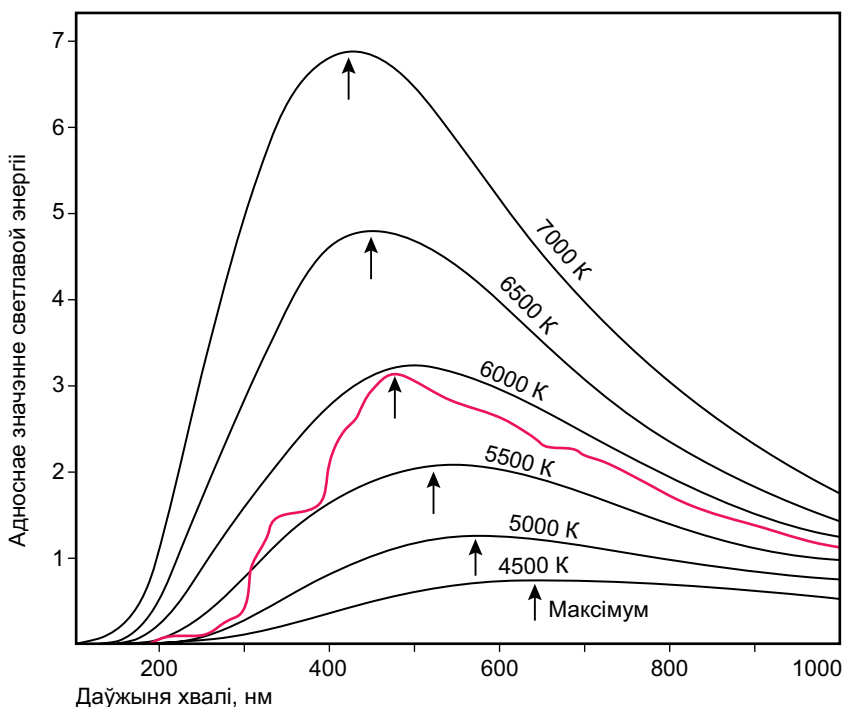
**3. Тэмпература. Законы Віна і Стэфана—Больцмана.** Кожнае, нават слаба нагрэтае цела выпраменьвае электрамагнітныя хвалі (цеплае выпраменьванне). Пры тэмпературах, не большых за  $10^3$  К, выпраменьваюцца галоўным чынам інфрачырвоныя прамені і радыёхвалі. Пры далейшым награванні спектр

цэплага выпраменьвання мяняецца: па-першае, павялічваецца агульная колькасць энергіі, якая выпраменьваецца, па-другое, з'яўляюцца прамені ўсё больш і больш кароткіх даўжынь хваль — бачныя (ад чырвоных да фіялетавых), ультрафіялетавыя, рэнтгенаўскія і г. д.

Пры цэплым выпраменьванні ўнутраная энергія цэплага руху атамаў і малекул цэла пераходзіць у энергію электрамагнітных хваль, што выпраменьваюцца. Пры паглыннанні святла адбываецца адваротны працэс пераходу электрамагнітнай энергіі ва ўнутраную энергію цэла.

Размеркаванне энергіі ў непарыўным спектры цел рознай тэмпературы можна паказаць у выглядзе графіка (рыс. 108). З павелічэннем тэмпературы максімум выпраменьвання абсалютна чорнага цэла зрушваецца ў караткахвалеваю частку спектра. Даўжыня хвалі  $\lambda_{\text{max}}$ , якой адпавядае максімум у размеркаванні энергіі, звязана з абсалютнай тэмпературай  $T$  суадносінай, якая называецца **законам зрушэння Віна**:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b,$$



Рыс. 108. Размеркаванне энергіі ў непарыўных спектрах цел, нагрэтых да розных тэмператур. Чырвоная крывая лінія — спектр Сонца

дзе  $b$  — пастаянная Віна ( $b \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ). Гэты закон выконваецца не толькі для аптычнага, але і для любога іншага дыяпазону электрамагнітнага выпраменьвання.

У спектраграме Сонца найбольшая інтэнсіўнасць выпраменьвання прыпадае на даўжыню хвалі  $\lambda = 480 \text{ нм}$ , таму тэмпература сонечнай фотасферы блізкая да  $6000 \text{ К}$ .

З павелічэннем тэмпературы мяняецца не толькі колер выпраменьвання, але і яго магутнасць. У выніку эксперыментаў і тэарэтычных разлікаў было даказана, што *магутнасць выпраменьвання абсалютна чорнага цела прапарцыянальна чацвёртай ступені тэмпературы (закон Стэфана—Больцмана)*. Кожны квадратны метр паверхні абсалютна чорнага цела выпраменьвае за  $1 \text{ с}$  па ўсім напрамках ва ўсім дыяпазоне даўжын хваль энергію:

$$\varepsilon = \sigma T^4,$$

дзе  $\varepsilon$  — магутнасць выпраменьвання адзінкі паверхні нагрэтага цела,  $T$  — абсалютная тэмпература,  $\sigma$  — пастаянная Стэфана—Больцмана, роўная  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Калі вядома колькасць энергіі, што прыходзіць ад зоркі да зямной паверхні, то па законе Стэфана—Больцмана можна вызначыць яе тэмпературу. Законы Віна і Стэфана—Больцмана справядлівыя для выпраменьвання абсалютна чорнага цела. У першым набліжэнні можна лічыць, што зоркі, у прыватнасці Сонца, выпраменьваюць як абсалютна чорнае цела.

**4. Эфект Доплера.** У астрафізіцы шырока выкарыстоўваецца **эфект Доплера**, які ўзнікае пры руху крыніцы выпраменьвання адносна назіральніка. Сутнасць эфекту Доплера заключаецца ў наступным: калі крыніца выпраменьвання рухаецца па прамені зроку назіральніка са скорасцю  $v_r$ , якая называецца прамянёвай скорасцю, то замест даўжыні хвалі  $\lambda_0$ , якую выпраменьвае крыніца, назіральнік фіксуе хвалю даўжынёй  $\lambda$ , так што

$$\lambda = \lambda_0 \left( 1 + \frac{v_r}{c} \right),$$

дзе  $c$  — скорасць святла.

Скорасць  $v_r$  дадатная пры аддаленні крыніцы святла ад назіральніка ( $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$ ) і адмоўная пры набліжэнні да яго ( $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$ ).

З эфектам Доплера мы часта сутыкаемся ў акустыцы. Напрыклад, калі вы стаіце на платформе, міма якой праходзіць цягнік, то можаце заўважыць, што пакуль ён набліжаўся, гукавы сігнал быў больш высокі, а калі стаў аддаляцца,

вышыня гуку адразу знізілася. Аналагічная з'ява назіраецца і ў оптыцы: святло ад крыніцы, якая набліжаецца, робіцца больш сінім (частата павялічваецца), а ад крыніцы, якая аддаляецца, — больш чырвоным (частата памяншаецца). Гэта змяненне адбываецца на месцазнаходжанні спектральных ліній у спектры: яны зрушваюцца ў сінюю або чырвоную частку спектра.

Для вымярэння зрушэння спектральных ліній побач са спектрам зоркі, якую даследуюць, на тую ж фотапласцінку фатаграфуюць спектр лабараторнай крыніцы, у якім ёсць вядомыя спектральныя лініі. Потым пры дапамозе мікраскопаў з дакладнымі мікрометрамі вымяраюць зрушэнне ліній аб'екта ў адносінах да лабараторнай сістэмы даўжынь хваль і такім чынам знаходзяць велічыню  $\Delta\lambda$ . Затым па формуле

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c},$$

якая вынікае з прыведзенай вышэй, вылічваюць прамянёвую скорасць  $v_r$ .

Прыведзеная вышэй формула Доплера прыдатная толькі для скарасцей  $v_r$  у межах да 0,1 скорасці святла. Пры руху крыніц выпраменьвання са скарасцямі, блізкімі да скорасці святла, неабходна ўлічваць законы тэорыі адноснасці.

Зрух спектральных ліній тэрэтычна прадказаў у 1842 г. аўстрыйскі фізік Х. Доплер. Правільнасць яго высноў пацвердзіў у 1899 г. лабараторнымі доследамі і назіраннямі спектраў зорак рускі астрафізік А. А. Белапольскі.



### Галоўныя вывады

1. Усе целы, што свецяцца, маюць спектры выпраменьвання, якія могуць быць суцэльнымі (неперарыўнымі), лінейчастымі і паласатымі.
2. Кожны хімічны элемент мае свой, толькі яму ўласцівы лінейчасты спектр. Лінейчасты спектр строга пастаянны і не залежыць ад таго, уваходзіць гэты элемент у склад складанага рэчыва ці ўзяты ў чыстым выглядзе.
3. Пры адносным перамяшчэнні крыніцы выпраменьвання і назіральніка адбываецца зрушэнне спектральных ліній у яе спектры.
4. У адпаведнасці з законам зрушэння Віна любое цела, нагрэтае вышэй тэмпературы абсалютнага нуля, выпраменьвае энергію. Дадзены закон тлумачыць зрух у бок кароткіх хваль максімуму (бачнага або нябачнага) выпраменьвання цел па меры іх нагрэву.
5. Закон Стэфана—Больцмана апісвае залежнасць энергіі цеплавога выпраменьвання ад тэмпературы.

**Кантрольныя пытанні і заданні**

1. Што такое спектр? Якія з’явы даказваюць складаны склад святла?
2. Назавіце і дайце азначэнні тром асноўным відам спектраў.
3. Што такое спектральны аналіз?
4. Сфармулюйце і запішыце закон зрушэння Віна і закон Стэфана—Больцмана. Якое значэнне гэтыя законы маюць у астраноміі?
5. У якім выпадку зрушэнне ліній спектраграмы можа не адбывацца, нягледзячы на рух аб’екта?
6. Вызначце тэмпературу зоркі, калі ў яе спектры максімум інтэнсіўнасці выпраменьвання прыпадае на даўжыню хвалі 340 нм.
7. Вымярэнне спектраграмы зоркі паказала, што лінія жалеза ( $\lambda = 530,2$  нм) у яе спектры зрушана ў параўнанні з лініямі лабараторнай крыніцы ў бок найбольш кароткіх хваль на 0,02 нм. Якая скорасць зоркі па прамені зроку?
8. Эфект Доплера выкарыстоўваецца для ацэнкі скорасці вываржэння вадароду ў сонечных пратуберанцах. Вызначце гэту скорасць, калі вымярэнні паказалі для  $\alpha$ -лініі вадароду ( $\lambda_\alpha = 656,3$  нм) доплераўскі зрух  $\Delta\lambda = 0,3$  нм.