11. АПТЫЧНЫЯ З'ЯВЫ Ў ПРЫРОДЗЕ

Пры распаўсюджванні святла ў зямной атмасферы маюць месца такія аптычныя з'явы, як дыфракцыя, праламленне святла, яго палярызацыя, рассеянне і г. д. Акрамя таго, распаўсюджванне святла ў атмасферы суправаджаецца шэрагам спецыфічных аптычных з'яў. Некаторыя з іх праяўляюцца толькі пры пэўных умовах.

Існуе раздзел фізікі атмасферы, у якім вывучаюцца аптычныя з'явы, што ўзнікаюць пры праходжанні святла ў атмасферы. Ён атрымаў назву атмасфернай оптыкі.

11.1. Скрыўленне светлавых прамянёў у неаднародных асяроддзях

Рэальнае асяроддзе ніколі не з'яўляецца аднародным. У ім заўсёды маюць месца градыенты шчыльнасці, тэмпературы і інш. У выніку паказчык праламлення асяроддзя змяняецца і асяроддзе становіцца аптычна неаднародным.

У неаднародных асяроддзях светлавыя прамяні будуць крывалінейнымі. Разгледзім асяроддзе, якое складаецца з плоскапаралельных слаёў з пастаяннымі паказчыкамі праламлення. Светлавы прамень пры гэтым прымае форму ламанай лініі. Калі павялічваць бясконца колькасць такіх слаёў, то можна лічыць, што паказчык праламлення змяняецца безупынна, і светлавы прамень разглядаць як крывую лінію.

Вызначым радыус крывізны R светлавога праменя. Для гэтага выкарыстаем фармальную аналогію паміж рухам часціцы і распаўсюджваннем светлавога праменя. Нармальнае паскарэнне вызначаецца формулай

$$mv^2/R = F_N = -\frac{\partial u}{\partial N}, \qquad (11.1)$$

дзе u — патэнцыяльная энергія; F_N — праекцыя сілы F на напрамак галоўнай нармалі. Калі выконваецца закон захавання энергіі, то можа запісаць

$$mv^2/2 + u = \text{const}. \qquad (11.2)$$

Прадыферэнцыруем уздоўж N роўнасць (11.2), атрымаем

$$mv\frac{\partial v}{\partial N} + \frac{\partial u}{\partial N} = 0$$

або

$$-\frac{\partial u}{\partial N} = mv\frac{\partial v}{\partial N}.$$

З улікам (11.1) запішам

$$F_N = mv\frac{\partial v}{\partial N} = \frac{mv^2}{R}.$$

Адкуль маем

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{v}\frac{\partial v}{\partial N}.$$

Паколькі $n = v/c$, то

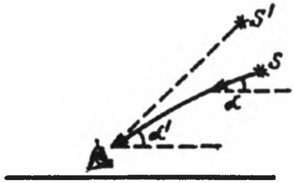
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{n}\frac{\partial n}{\partial N} = \frac{\partial}{\partial N}(\ln n). \qquad (11.3)$$

Прааналізуем атрыманы вынік (11.3). У неаднародным асяроддзі прамень выгінаецца ў бок найбольшага змянення паказчыка праламлення. Калі асяроддзе аднароднае (n = const), то $\partial n/\partial N = 0$ і $1/R \to 0$ або $R \to \infty$, г. зн. светлавыя прамяні прамалінейныя.

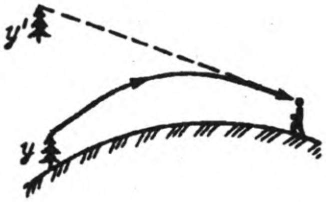
11.2. Аптычныя з'явы ў атмасферы

Атмасферная рэфракцыя. Міражы. У шырокім сэнсе слова пад рэфракцыяй разумеюць праламленне святла, г. зн. змяненне напрамку светлавых прамянёў пры змяненні паказчыка праламлення n асяроддзя, праз якое праходзяць прамяні. Часцей тэрмінам «рэфракцыя святла» карыстаюцца пры апісанні распаўсюджвання аптычнага выпраменьвання ў асяроддзі, у якім паказчык праламлення n плаўна змяняецца ад пункта да пункта.

У атмасферы Зямлі заўсёды маюць месца мікраскапічныя неаднароднасці (цеплавыя флюктуацыі шчыльнасці паветра, кропелькі



Рыс. 11.1.



Рыс. 11.2.

 вады, часцінкі пылу і інш.). Акрамя гэтага, атмасфера ўяўляе сабою асяроддзе, дзе шчыльнасць змяняецца з вышынёй у адпаведнасці з барametрычнай формулай

$$\rho = \rho_0 e^{-ghM/(RT)}, \qquad (11.4)$$

дзе ρ — шчыльнасць паветра на вышыні h; ρ_0 — шчыльнасць паветра на паверхні Зямлі; R — газавая пастаянная; g— паскарэнне сілы цяжару; T — абсалютная тэмпература; M — малекулярная маса паветра.

У адпаведнасці са шчыльнасцю змяняецца і паказчык праламлення паветра n:

$$n = 1 + C\rho,$$

дзе C — некаторая пастаянная.

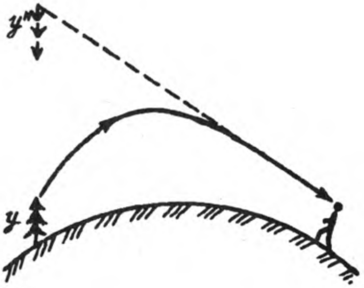
Улічваючы формулу (11.4), атрымаем

$$n = 1 + C\rho_0 e^{-ghM/(RT)}.$$

Такім чынам, паказчык праламлення паветра плаўна змяняецца з вышынёй h. У выніку гэтага ўзнікае безупыннае змяненне напрамку светлавых прамянёў, якое атрымала назву атмасфернай рэфракцыі.

Няхай прамяні распаўсюджваюцца ад некаторай зоркі S (рыс. 11.1) пад вуглом α да гарызонту ($\alpha < 90°$). У выніку безупыннага змянення напрамку светлавога праменя назіральнік убачыць зорку S ужо не ў напрамку вугла α, дзе яна знаходзіцца на самой справе, а ў напрамку, які вызначаецца вуглом α', г. зн. зорка будзе ўяўляцца зрушанай. Па гэтай прычыне Сонца і Месяц пры ўсходзе і захадзе ўяўляюцца сплюснутымі ў вертыкальным напрамку.

Разгледжаныя з'явы атмасфернай рэфракцыі маюць месца пры так званым нармальным размеркаванні шчыльнасці ў атмасферы, якое вызначаецца барametрычнай формулай (11.4). Аднак пры пэўных умовах можа здарыцца так, што тэмпература паветра па



Рыс. 11.3.

Рыс. 11.4.

вышыні зменіцца. Напрыклад, каля паверхні Зямлі тэмпература будзе нізкая, а на вышыні высокая. Пры гэтым з вышынёй шчыльнасць паветра, а значыць, і паказчык праламлення памяншаюцца. Пры праламленні святла ў верхніх слаях атмасферы прамяні адхіляюцца да паверхні Зямлі (рыс. 11.2). У выніку назіральнік бачыць відарыс прадмета (y), які падняты над паверхняй Зямлі (y'). Часам пры больш рэзкім змяненні тэмпературы на вышыні h адбываецца поўнае адбіццё прамянёў (рыс. 11.3), якія даюць перавернуты відарыс прадмета (y''). Такая з'ява называецца верхнім міражом.

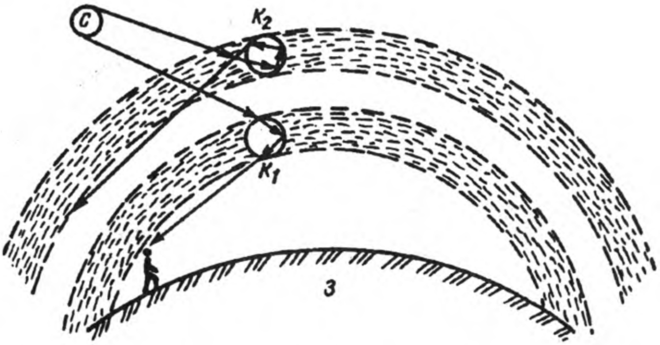
Акрамя верхняга, існуе і ніжні міраж. Ён мае месца ў тых выпадках, калі тэмпература ніжніх слаёў паветра большая за тэмпературу верхніх слаёў. Пры гэтым прамяні святла, якія ідуць у напрамку да паверхні Зямлі, будуць адхіляцца ад нармалі да паверхні (рыс. 11.4). Такая з'ява часта мае месца ў пустынях.

Пры змяненні атмасферных працэсаў можа назірацца пераход ніжняга міража ў верхні, і наадварот. Гэтая з'ява носіць назву фата-марганы і ўяўляе складаную форму міража, калі на гарызонце з'яўляюцца вельмі складаныя відарысы прадметаў, якія мяняюцца з цягам часу.

З'ява атмасфернай рэфракцыі перашкаджае праводзіць розныя аптычныя вымярэнні ў атмасферы, напрыклад пры аптычнай сувязі, геадэзічнай здымцы мясцовасці і інш.

Вясёлка. Вясёлка ўяўляе сабой рознакаляровую дугу на небе і назіраецца, калі Сонца асвятляе заслону дажджу, што размешчана на процілеглым ад яго баку. Часам назіраюцца адразу дзве вясёлкі.

Вясёлка ўзнікае, дзякуючы праламленню сонечных прамянёў у дажджавых кроплях. Пры гэтым адбываецца раскладанне святла ў спектр, у выніку чаго і атрымліваюцца колеры вясёлкі. Калі ўнутры кроплі вады адбываюцца два праламленні і адно адбіццё, атрымліваецца першая вясёлка (рыс. 11.5), а калі два праламленні і два адбіцці, то мае месца другая вясёлка, менш інтэнсіўная і



Рыс. 11.5.

большага дыяметра. Прамяні, якія выходзяць з кроплі K_1, утвараюць спектр, верхні край яго чырвоны, ніжні — фіялетавы. Паміж імі размешчаны ўсе астатнія ўчасткі спектра. У другой вясёлцы прамяні размешчаны ў адваротным парадку. Вясёлку можна назіраць таксама пры штучным асвятленні.

Гала. Гала (ад грэчаскага *hálōs* — круг, дыск) узнікае ў выніку праламлення і адбіцця сонечнага святла ў ледзяных крышталіках, якія суспензаваны ў паветры (перыстыя воблакі). Пры гэтым вакол Сонца (*S*) назіраюцца светлыя кругі, дугі, слупы, плямы (рыс. 11.6). У месцах перасячэння розных кругоў атрымліваюцца плямы з большай яркасцю, якія часам называюць «несапраўднымі Сонцамі». Розныя часткі гала абумоўлены і рознымі з'явамі ўзаемадзеяння святла з ледзянымі крышталікамі. Частка кругоў, якія ўтвораны дзякуючы адбіццю святла ад граней крышталікаў, не афарбавана. Другая частка кругоў узнікае ў выніку праламлення сонечных прамянёў у крышталіках і мае пэўную афарбоўку. Паколькі часцей за ўсё перыстыя воблакі не пакрываюць усё неба, то гала назіраецца часткова, відаць не ўсе яго дэталі.

Венцы. Яны ўяўляюць сабой адно або некалькі афарбаваных кольцаў вакол Сонца ці Месяца. Яны могуць назірацца і вакол іншых яркіх крыніц святла. Венцы абумоўлены дыфракцыяй сонечных прамянёў на вадзяных кропельках тонкіх празрыстых воблакаў. Цэнтр кольцаў супадае з цэнтрам свяціла, вакол якога яны ўтвараюцца.

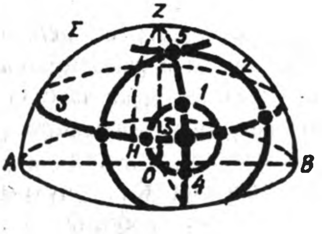
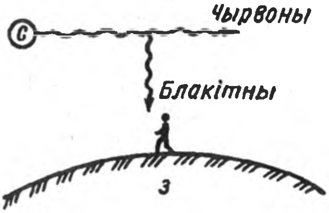


Рис. 11.6.

Мігценне. Нерэгулярнае змяненне інтэнсіўнасці выпраменьвання касмічных цел (зорак, квазараў) носіць назву мігцення.



Рыс. 11.7.

Рыс. 11.8.

Мігценне зорак з'яўляецца вынікам хуткага змянення яркасці і колеру, якое абумоўлена рассеяннем выпраменьвання на аптычных неаднароднасцях міжзоркавага і міжпланетнага асяроддзяў. Аптычныя неаднароднасці ў атмасферы могуць узнікаць дзякуючы розным атмасферным парушэнням, якія прыводзяць да выпадковых змяненняў шчыльнасці асяроддзя, а значыць, і паказчыка праламлення. Пры гэтым прамень, які ідзе да назіральніка, праламляецца і ў некаторы момант адхіляецца ад напрамку да назіральніка, што і прыводзіць да ваганняў яркасці крыніцы выпраменьвання. Гэта з'яўляецца таксама прычынай хуткага змянення бачнага становішча зоркі на небе (дрыжанне зорак). Такія з'явы маюць месца і пры назіранні крыніц святла, якія знаходзяцца на значных адлегласцях ад назіральніка.

Мігценне зорак і наземных крыніц святла часта з'яўляецца перашкодай пры правядзенні навуковых даследаванняў, ажыццяўленні шэрага аптычных вымярэнняў, аптычнай сувязі і інш.

Дзённае святло. Наяўнасць у атмасферы Зямлі розных аптычных неаднароднасцей (туману, часцінак пылу і дыму, флюктуацый шчыльнасці малекул паветра) прыводзіць да таго, што замест плаўнага змянення напрамку светлавых прамянёў адбываюцца рэзкія змяненні. Мае месца рассеянне сонечнага святла, дзякуючы якому нават чыстая атмасфера свеціцца па ўсіх напрамках і ўтварае спецыфічнае дзённае святло. Калі б такога не адбывалася, то прамое сонечнае святло магло б не трапіць на некаторыя ўчасткі зямной паверхні.

Блакітны колер неба і чырвоны колер зары. Блакітны колер неба тлумачыцца малекулярным рассеяннем сонечнага святла. Дзякуючы хаатычнаму руху малекул у атмасферы ўзнікаюць месцы разрэджвання і згушчэння паветра, якія і рассейваюць сонечнае святло. Пры гэтым, згодна з законам Рэлея, блакітныя і сінія прамяні рассейваюцца больш, чым жоўтыя і чырвоныя (рыс. 11.7). Калі назіральнік будзе глядзець уверх, ён убачыць блакітнае неба. Пры ўсходзе або захадзе прамое сонечнае святло, якое прайшло праз значную тоўшчу атмасферы павінна быць чырвона-аранжавым

(рыс. 11.8), сінія прамяні будуць рассейвацца ў бок. Чырвоны колер будзе мець таксама Месяц пры ўсходзе і захадзе.

Паколькі флюктуацыі шчыльнасці малекул і інтэнсіўнасць рассеянага святла з павелічэннем тэмпературы ўзрастаюць, то больш насычаны колер неба будзе ў ясны летні дзень у параўнанні з такім жа зімнім днём.

Змярканне. Дзякуючы рассеянню святла атмасферай пасля заходу Сонца на паверхні Зямлі не атрымліваецца поўнай цемры. Калі Сонца апускаецца ўсё ніжэй і ніжэй за гарызонт, інтэнсіўнасць рассеянага святла становіцца меншай. Перыяд плаўнага пераходу ад дзённага святла да наступлення ночы атрымаў назву змяркання. Працягласць гэтага перыяду залежыць ад геаграфічнай шыраты мясцовасці.