УДК 534.94
DOI 10.33514/1694-7851-2025-3/2-187-193

Артыкова С.И.
физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент
И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университети
Бишкек ш.
b_arykova@mail.ru
Шаршенова Х.А.
ага окутуучу
И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университети
Бишкек ш.

ЖАРЫК РЕФРАКЦИЯСЫ ЖАНА ЗАКЫМ

Аннотация. Жердин атмосферасында байкалган сырдуу жана табышмактуу болгон кубулуш – закым. Сунушталган макалада жарыктын сынуу кубулушунун колдонуп, анын пайда болуу шарттары, түрлөрү түшүндүрүлгөн. Сынуу көрсөткүчү өзгөрүп турган оптикалык бир тектүү эмес чөйрөдө, б.а. Жердин атмосферасында жер бетинде жайгашкан объекттерден байкоочуга келген жарык нурларынын траекториясынын ийриленишине алып келет. Мына ошондо анын жалган сүрөтү – закым пайда болот. Бул кубулушту байкоо үчүн төмөнкү шарттардын болушу зарыл: жалпак беттин болушу, байкоо жүргүзүлүүчү чоң мейкиндиктин жана жер бетинин ысышы. Оптикалык бир тектүү эмес чөйрөдө жарык нурунун траекториясынын томпогу чөйрөнүн сынуу көрсөткүчү азайган тарапты көздөй багытталып, жарык нуру дайыма ийриленет. Демек, качан асты жакта муздак аба катмары, анын үстүндө жылуураак аба катмары жайгашкан учурда жогорку закым байкалат. Ал эми, Күндөн ысыган беттердин үстүндө (чөлдө жана асфальт жолунун үстүндө) төмөнку закым пайда болот.

Негизги сөздөр: атмосфера, Жер, жалпак бет, мейкиндик, бир тектүү эмес чөйрө, сынуу кубулушу, траектория, горизонт, жарык нуру, закым, аба.

Артыкова С.И.
кандидат физико-математических наук, доцент
Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева
г. Бишкек
Шаршенова Х.А.
старший преподаватель
Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева
г. Бишкек

РЕФРАКЦИЯ СВЕТА И МИРАЖ

Аннотация. Необыкновенным и загадочным явлением, наблюдаемым в земной атмосфере, является мираж. В данной статье объясняется его возникновение и виды миражей с использованием явления преломления (рефракции) света. В оптически неоднородной среде, т.е. в атмосфере Земли показатель преломления изменяется непрерывно, в результате чего траектория световых лучей, идущих к наблюдателю от объектов, расположенных на Земле, искривляется. Вот тогда и возникает его мнимое изображение – мираж. Чтобы наблюдать

миражи должны соблюдаться следующие условия: наличие плоской поверхности, большого наблюдаемого пространства и сильно нагретой земной поверхности. В оптически неоднородной среде световой луч изгибается так, что его траектория всегда обращена выпуклостью в сторону уменьшения показателя преломления. Таким образом, когда внизу располагается слой холодного воздуха, а над ним – слой более теплого воздуха, то наблюдается верхний мираж. А, над раскаленными от Солнца поверхностями (в пустыне и над асфальтовой дорожкой) возникает нижний мираж.

Ключевые слова: атмосфера, Земля, плоская поверхность, пространство, неоднородная среда, рефракция, траектория, горизонт, луч, мираж, воздух.

Artykova S.I.
PhD in physical and mathematical sciences, associate professor
Kyrgyz state university named after I. Arabaev
Bishkek c.
Shashenova H.A.
senior teacher
Kyrgyz state university named after I. Arabaev
Bishkek c.

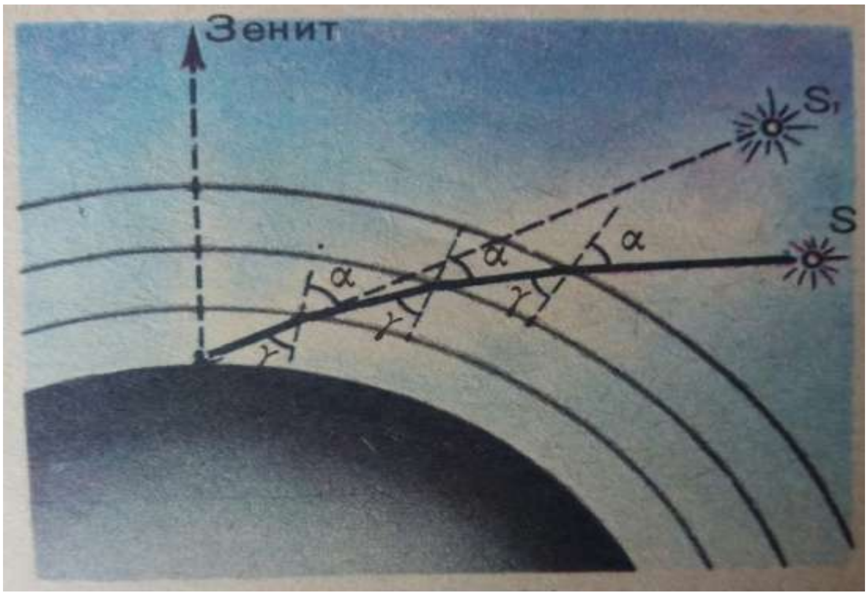
REFRACTION OF LIGHT AND MIRAGE

Abstract. An extraordinary and mysterious phenomenon observed in the Earth's atmosphere is the mirage. This article explains its occurrence and the types of mirages, using the phenomenon of light refraction. In an optically heterogeneous medium, that is, in the Earth's atmosphere, the refractive index changes continuously, causing the trajectory of light rays coming from objects on the Earth's surface to bend. This is when its apparent image – the mirage – appears. To observe mirages, the following conditions must be met: the presence of a flat surface, a large observable space, and a significantly heated ground surface. In an optically heterogeneous medium, a light ray bends such that its trajectory is always directed outward in the direction of decreasing refractive index. Thus, when a layer of cold air is located below a layer of warmer air above it, an upper mirage is observed. Conversely, above surfaces heated by the Sun (in the desert and over an asphalt path), a lower mirage occurs.

Key words: atmosphere, Earth, flat surface, space, heterogeneous medium, refraction, trajectory, horizon, ray, mirage, air.

Биз ар түрдүү жарык кубулуштары жүргөн дүйнөдө жашап жатабыз. Алардын көпчүлүгү, мисалы, жаан-чачын болгон күндөрдө атмосферада пайда болгон Асан-Үсөндүн (асман жаасынын), Күндүн жана Айдын королонушу, б.а. алардын айланасында түстүү шакекчелердин пайда болушу, ошондой эле шамал болбой, күн ачык болгондо, көбүнчө эртең менен жана кечки маалда, горизонттун үстүндө же горизонт сызыгынын асты жагында, бизге корунбогон ар түрдүү тоскоолдуктар жашырган, жер бетиндеги предметтердин түз же тескери жалган сүрөттөлүшү (закым) кээ бир убакта атмосферада пайда болот. Алардын пайда болуу себептерин билбегендерге бул кубулуштар таң калаарлык жана сырдуу болуп сезилет.

Тигил же бул жарык кубулуштарынын пайда болуу себептерин билиш үчүн, алардын башка кубулуштар менен болгон байланышын аныктап, анан физиканын закондорунун негизинде түшүндүрүү керек. Ошондо гана кубулуштун сырдуулугу жоголуп, ал жөнүндө илимий билимге ээ болобуз.



Оптикалык бир тектүү чөйрөдө жарык нурунун түз сызык боюнча тарала тургандыгы белгилүү. Жер атмосферасы оптикалык бир тектүү эмес чөйрө: анын сынуу көрсөткүчү жер бетинен бийиктиктин чоңойушуна жараша үзгүлтүксүз түрдө азайып турат. Ошол себептен атмосферадагы жарык нурунун траекториясы ийриленип отуруп, томпогу жер бетинен жогору көздөй карайт. Ушул кубулуш атмосфералык жарык рефракциясы деп аталат. Рефракция (лат. сөзү – сынуу дегенди билдирет). Демек, жарык рефракциясы – сынуу көрсөткүчү үзгүлтүксүз түрдө өзгөргөн чөйрөдө жарык нурларынын траекториясынын ийрилениши экен да [6, 54 б.].

Рефракция астрономиялык жана жер рефракциясы болуп экиге бөлүнөт. Асман телолорунан (Күн, Ай, жылдыздар) жердеги байкоочуга келген жарык нурларынын ийрилениши астрономиялык рефракция, ал эми жердеги объекттерден байкоочуга келген жарык нурларынын ийрилениши жер рефракциясы деп каралат. Эки учурда тең жарык нурларынын ийриленишинин натыйжасында байкоочу объектти анын чыныгы ээлеген ордун көрсөткөн багытта көрбөйт. Ал тургай объект горизонт сызыгынын асты жагында жайланышкан учурда да аны байкоого болот. Демек, жердин атмосферасындагы жарык рефракциясы өзгөчө түрдөгү алдамчы элести (закым) пайда кылышы мүмкүн экен. Эми анын пайда болушун түшүндүрөлү.

Деңиз деңгээлинен эсептелген бийиктик өскөн сайын жер атмосферасынын тыгыздыгы акырындап азаят. Ошондуктан, Күндөн, Айдан, жылдыздардан келген жарык нуру тыгыздыгы аз катмарлардан тыгызыраак катмарларга өткөндө жарык нурунун акырындап сынуусунун натыйжасында атмосферадагы жарык нурунун таралуу багыты ийриленет (1-сүрөт).

Ушундай ийриленүүнүн натыйжасында, зенитте жайланышпаган бардык учурларда, жарык чыгаруучуларды өздөрүнүн чыныгы орундарында эмес, андан өйдөрөөк көрөбүз (1-сүрөт). Демек, астрономиялык рефракциянын натыйжасында күндүн узактыгы экватордо 5 мин, ал эми орто кендиктерде болсо 8 мин га чейин созулат. Атмосфера Айда жок болгондуктан анда рефракция кубулушу байкалбайт [4, 59 б.].

Канчалык рефракция күчтүү болсо, ошончолук горизонттун ары жагында, андан алысыраак жайланышкан объекттерди көрүүгө мүмкүндүк түзүлөт.

1-сүрөт. Астрономиялык рефракция

Венеранын атмосферасын изилдеген “Венера-4” советтик автоматикалык станциядан (18-октябрь 1967-жыл) алынган маалыматтардан Венеранын атмосферасынын төмөнкү катмарларында ($\approx$ 12 км бийиктикте) эң күчтүү рефракция байкала тургандыгы белгилүү болгон. Бул жерде жарык нурларынын ийрилиги планетанын бетинин ийрилигинен чоң болгон. Ушундай өтө күчтүү рефракциянын натыйжасында жарык нурлары ошол жердин геометриялык горизонтунун астынан өтүп, 12 км ге жакын бийиктикте, нур планетаны тегеренип кете алышы мүмкүн [2, 433 б.].

Буга чейин биз жарыктын астрономиялык рефракциясы жөнүндө сөз кылдык. Эми жер бетинде жайланышкан объектерден байкоочуга келген жарык нурларынын ийрилениши – закым деп аталган жер рефракциясы жөнүндө сөз жүргүзөлү.

Закым француз сөзү mirage – алыс жайланышкан объекттердин (дарактардын, үйлөрдүн ж.б.) бир же бир нече түз же тескери (көңтөрүлгөн) жалган сүрөттөлүштөрүнүн пайда болушу дегенди түшүндүрөт.

Закым пайда болуу үчүн төмөнкү шарттардын аткарылышы зарыл:

1. Жалпак беттин болушу;
2. Байкоо жүргүзүүчү чоң мейкиндиктин;
3. Жер бетинин күчтүү ысышы.

Жер атмосферасында закымдын пайда болушун түшүндүрөлү [1, 83 б.]. Жер атмосферасынын тыгыздыгы бийиктик боюнча, барометрикалык туюнтманын негизинде, төмөндөгүдөй болуп өзгөрө тургандыгы белгилүү:

$$\rho(h) = \rho(0)\exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) \quad (1)$$

Мында $\rho(h)$ – абанын h бийиктиктеги тыгыздыгы, T – абанын абсолюттук температурасы (ал бардык бийиктиктерде турактуу деп каралат), g – эркин түшүү ылдамдануусу, k – Больцман турактуулугу, m – абанын составына кирген кислород, азот ж.б. газдардын массасы. Барометрикалык формула бийиктикке карата абанын тыгыздыгынын азайышын гана эске алып, ал эми шамал, конвекциялык агымдарды, температуранын өзгөрүшүн эске албайт. Ошондой эле эркин түшүү ылдамдануусунун бийиктикке жараша көз карандылыгы да эске алынбайт (бийиктик 100-200 км ден чоң болбогон учурда).

Жер атмосферасынын сынуу көрсөткүчү n менен анын тыгыздыгынын ρ байланышы төмөндөгүдөй туюнтма менен берилет [3]:

$$n - 1 = C \cdot \rho$$

Мында C – турактуу чоңдук. Алынган туюнтмага жогоруда берилген тыгыздыктын (1) туюнтмасын коюп, сынуу көрсөткүчүнүн өзгөрүшүн туюндурган төмөндөгүдөй туюнтманы алабыз:

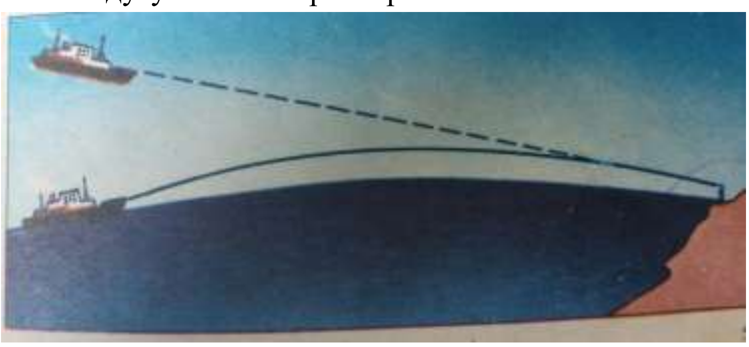
$$n = 1 + C\rho(0)\exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) \qquad (2)$$

Алынган (2) туюнтмадан атмосферанын сынуу көрсөткүчү бийиктиктин чоңоюшу менен акырындап азая тургандыгы көрүнүп турат. Сынуу көрсөткүчү төмөндөн жогору көздөй үзгүлтүксүз түрдө азайган чөйрөдө жарык таралганда, анын баштапкы таралуу багытынан көз карандысыз, дайыма траекториясынын томпогу жогору жакты көздөй карап жарык нуру ийриленет (2-сүрөт). Ал эми сынуу көрсөткүчү жогору жактан төмөндү карай азайган учурда ийриленген жарык нурунун томпок жагы төмөн жакты көздөй карайт. Жогоруда айтылгандарды жалпылап төмөндөгүдөй жыйынтык чыгарсак болот: оптикалык бир тектүү эмес чөйрөдө траекториясынын томпогу чөйрөнүн сынуу көрсөткүчү азайган жакты карай багытталып жарык нуру дайыма ийриленет.

2-сүрөт, Сынуу көрсөткүчүнүн бийиктикке карата азайышына карата траекториянын томпогунун жогору карашы

Деңиз деңгээлинен тартып эсептелген бийиктиктин чоңоюшуна карата жер атмосферасынын тыгыздыгынын азайышынан тышкары, жер бетине жакынкы жерлерде, абанын тыгыздыгы ал жерлердин өзүнүн температурасынан да көз каранды болот.

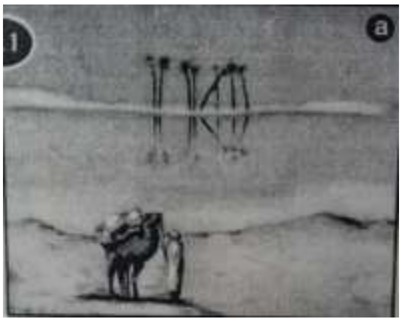
Океандагы кемеден чагылган жарык нурларынын багытынын ийрилениши 3-сүрөттө келтирилген [4, 59 б.]. Аба ырайы тынч болгон мезгилде, кемеден чагылган жарык нурларынын аймагында байкоочу болуп калса, анда ал ушул кеме тарапка жүргүзүлгөн түз сызыктын багыты боюнча анын түз сүрөттөлүшүн асманда горизонттун үстүнөн көрөт, ушуну өзү – закым. Байкоочу чыныгы кеменин өзүн көрбөйт, себеби жер бетинин, бул учурда суу бетинин томпок болгондугу кемени байкоочудан жашырып тургандыктан. Бул өңдүү закымдар жогорку деп аталат. Байкоочулардан алыс аралыкта болушкан предметтердин сүрөттөрүнүн даана болгондугу менен алар айырмаланышат.



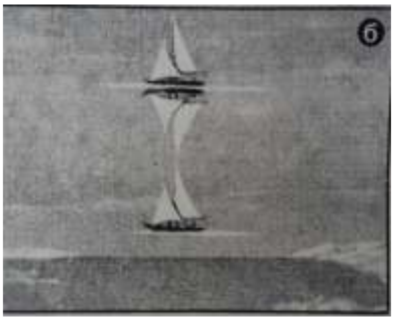
3-сүрөт, Жогорку закым берген түз сүрөттөлүш

Кандайча болуп жогорку закымдын пайда боло тургандыгы 3-сүрөттө көрсөтүлгөн [4, 59 б.]. Жогорку закым түз дагы, тескери дагы сүрөттөлүштү бериши мүмкүн. Келтирилген сүрөттө көрсөтүлгөн түз сүрөттөлүш качан беттин жанындагы аба катмарынын сынуу көрсөткүчү бийиктикке жараша салыштырмалуу аз азайганда байкалат, б.а төмөн жакта муздак аба катмары, ал эми анын үстүндө ага караганда жылуураак болгон аба катмары жайланышса. Эгерде сынуу көрсөткүчү бийиктиктин өсүшү менен тез азайса тескери сүрөттөлүш пайда болот. Тескери жана түз сүрөттөлүштөн турган эки жогорку закым (4а-сүрөт), кээ бир учурларда эки түз бир тескери сүрөттөлүштөн турган үч жогорку закым (4б-сүрөт) пайда болушу да мүмкүн [4, 60 б.]. Жогорку закым байкоочулардан чоң аралыкта жайланышкан объекттердин даана сүрөттөлүшүн берет. Мисалы, Наполеон аскерлеринин 1815-жылдын июнунда Ватерлоодо болгон тарыхый салгылашуусун андан 105 км аралыкта жайланышкан Вервьенин тургундары көрүшкөн (4в-сүрөт). Алар куралданган аскерлерди – артиллеристерди, ал тургай бир пушканын дөңгөлөгүнүн сынып калганын да байкашкан. Мындай закымдарды 1000 км ге чейинки аралыктан да байкоого болот. Буга “Учуучу голландец” мисал, аны өтө алыс закым же жаратылыштагы телекөрсөтүү десек болот.

Жогорку закымдар көбүнчө деңиздерде, уюлдук кеңдиктерде байкалат. Байкалдын жээгинде жашаган элдер деңиздин үстүнөн аба боюнча биринин артынан бири үнсүз жүргөн вагондорду тарткан поезддерди бир нече жолу көрүшкөн. Бул – алыс жакта темир жол боюнча жүргөн поезддердин эле сүрөттөлүшү.



а) түз жана тескери сүрөттөлүштөн турган жогорку закым



б) эки түз, бир тескери сүрөттөлүштөн турган жогорку закым

в) өтө алыс закым

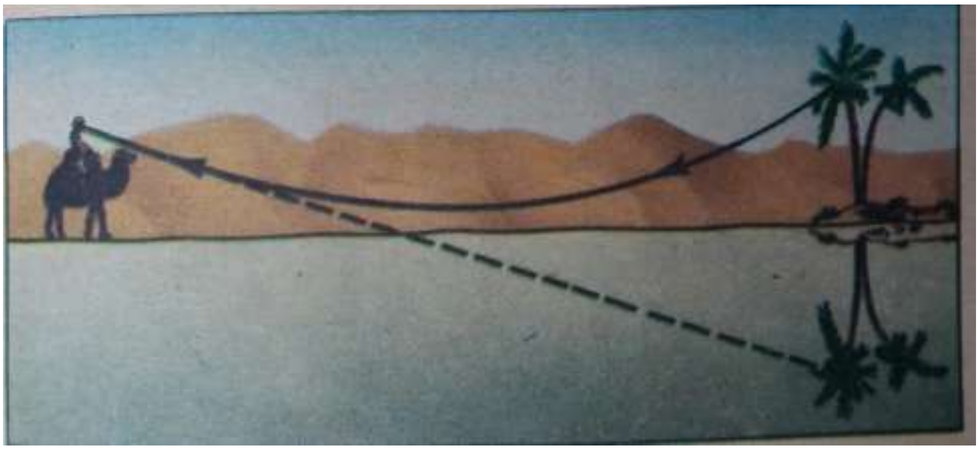
4-сүрөт, Эми төмөнкү закым кантип пайда боло турганын карайлы.

Күн нуру менен ысышкан беттердин үстүндө да закымдар байкалат. Алар горизонттун асты жагында жайланышкандай болуп сезилгендиктен төмөнкү закымдар деп аталышат.

Ысык өлкөлөрдө (өзгөчө чөлдөрдүн абдан ысыган кумдарында), ошондой эле орто кеңдиктердин талааларында ысык болгон күндөрдө, деңиздин кум төшөлгөн жайык жээктеринде, асфальтталган жолдордо кээ бир убакта горизонттун асты жагынан айрым предметтердин, мисалы, дарактардын, какыраган чөлдө оазистин (көк жайык) тескери сүрөттөлүшүн (5-сүрөт) байкоого болот.

Ушундай түрдөгү закымдын пайда болушу төмөндөгүдөй болуп түшүндүрүлөт. Шамал болбой, аба дээрлик кыймылсыз болгон учурда ысыган бетке жакын жердеги төмөнкү аба катмары жогору катмардагыга караганда көбүрөөк ысыйт. Ушунун натыйжасында абанын төмөнкү катмарларынын тыгыздыгы анын жогорку катмарынын тыгыздыгынан кичине болот. Ошондуктан, эгерде байкоочудан предмет чоң алыстыкта болуп жана абанын аптап

катмарында жайланышкан учурда андан чагылган жарык нуру томпогу ылдый жакты карап ийриленип, байкоочунун көзүнө түшөт. Пунктир менен көрсөтүлгөн пальманын горизонт сызыгынан төмөнүрөөк жакта көргөндөй болуп байкоочуга сезилет (5-сүрөт) [5, 41 б.].



5-сүрөт, Төмөнкү же көл закымы

Куму ысык чөл боюнча чарчап, суусап бараткан саякатчылардын көз алдыларына көк жайык же көл көрүнүп, ага жетүүгө шашылышып, мына эми жетебиз дегенде аларга көрүнгөн элестер алыстап отуруп, жок болуп кетишет.

Закымдын көрүнүү иллюзиясынын канчалык чоң экендигине төмөнкү мисал. Бири-бирин эмес жалган аскерлерди (закымдарды) атышып жаткандарын түшүнүшкөндөн кийин Месопотамиядагы түрк жана англис аскерлеринин арасындагы согуш 11-март 1917-жылы токтотулган [4, 62 б.].

Илимий, ошондой эле көркөм адабий китептерден көбүндө закымдар баяндалып жазылган. Абдан таасир калтырган закымдарга аттарды да элдер коюушкан. Мисалы, “Учуучу голландец” жөнүндө уламыш бар. Катуу толкундуу шамал (шторм) болгон учурга туш келген моряктарга көрүнүп, аларга жол көрсөткөндөй болгон.

Ушинтип, жаратылышта байкалган сырдуу, керемет болуп көрүнгөн кубулуштарды физиканын закондорунун жардамы менен илимий түрдө түшүндүрө алат экенбиз.

Колдонулган адабияттардын тизмеси:

1. С.И. Артыкова Табият кубулуштарынын физикасы [Текст] / С.И. Артыкова. – Бишкек, 2016. – 119 б.
2. Р.И. Грабовский Курс физики: учебное пособие [Текст] / Р.И. Грабовский. – М.: Высш.школа, 1980. – 607 с.
3. Ф.А. Королев Курс физики: Оптика, атомная и ядерная физика [Текст] / Ф.А. Королев. – М.: Просвещение, 1974.
4. А.В. Перышкин, В.П. Чемакин Факультативный курс физики [Текст] / А.В. Перышкин, В.П. Чемакин. – М.: Просвещение, 1979. – 143 с.
5. Л.В. Тарасов, А.Н. Тарасова Беседы о преломлении света [Текст] / Л.В. Тарасов, А.Н. Тарасова. – М.: Наука, 1982. – 176 с.
6. Артыкова С.И. Жаратылыш кубулуштары жана элдик фольклор // И. Арабаев ат. КМУнун Жарчысы. 2012, №1. – 53-56 бб.

Рецензент: кандидат физико-математических наук, доцент Рыспаев А.О.