

## RELATIVISTIK DOPLER EFFEKTI

*Xurramov Ramziddin Sherzodovich*

*Qobulova Nigora Soatmo'min qizi*

*Abdunazarov Samandar Abdusattor o'g'li*

*Dinov tadbirkorlik pedagogika instituti talabalari*

**Anatatsiya.** Ushbu maqolada Relativistik Doppler effektini o'rganishning tezkor usullari o'rganilgan va ularning yechimlari nazariy yoritilgan Relativistik Doppler effektini o'rganish talabalarga mantiqiy fikirlash, ijodkorlik, kreativlikni rivojlantradi.

**Kalit so'zlar:** bilim, ko'nikma, malaka, kreativlik, mantiqiy, ijod, tezkorlik, nazariy.

Uzunlamasini kassa uchun relyativistik Doppler siljishi, manba va qabul qilgich to'g'ridan-to'g'ri yoki bir-biridan uzoqlashganda, ko'pincha klassik hodisa kabi kelib chiqadi. Relativistik uzunlamasini Doppler effektini olish bo'yicha ushbu yondashuvdan so'ng, qabul qilgich va manba harakatlanmoqda uzoqda nisbiy tezlik bilan bir-biridan  $v$  qabul qiluvchida yoki manbada kuzatuvchi tomonidan o'lchangan (bu erda qabul qilingan konventsiya shu  $v$  bu salbiy agar qabul qilgich va manba harakatlanayotgan) Muammoni ko'rib chiqing mos yozuvlar ramkasi manbaning bittasini deyluk to'lqin jabhasi qabul qiluvchiga keladi. Keyingi to'lqin jabhasi masofada  $\lambda_s = \frac{c}{f_s}$  qabul qiluvchidan uzoqda ( $\lambda_s$  bo'ladi to'lqin uzunligi,  $f_s$  chastota manba chiqaradigan to'lqinlarning va  $c$  yorug'lik tezligi).

To'lqin jabhasi  $c$  tezlik bilan harakat qiladi, lekin ayni paytda qabul qilgich  $v$  tezlik bilan uzoqlashadi  $t_s$  vaqt ichida  $t_s = 1, c/\lambda_s = f_s$  shuning uchun

$$\lambda_s + vt_{s,r} = ct_{s,r}, \lambda_s = ct_{s,r} \left( 1 - \frac{v}{c} \right), t_{s,r} = \frac{1}{f_s (1 - \beta)}$$

$\beta = \frac{v}{c}$  bu yorug'lik tezligi bo'yicha qabul qiluvchining tezligi va qayerda  $t_{s,r}$  bu qabul qiluvchiga ta'sir qiladigan yorug'lik to'lqinlari davri, manba ramkasida kuzatilganidek. Tegishli chastota  $f_{s,r}$  bu:

$$f_{s,r} = \frac{1}{t_{r,s}} = f_s (1 - \beta)$$

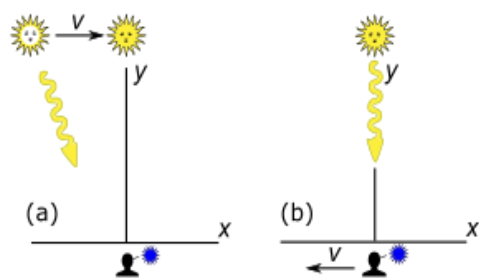
Shu paytgacha tenglamalar harakatsiz manba va harakatlanuvchi qabul qilgich bilan klassik Doppler effekti bilan bir xil bo'lgan. Biroq, relyativistik ta'sir tufayli qabul qilgichdagi soatlar vaqt kengaytirilgan manbadagi soatlarga nisbatan:  $t_r = \frac{t_{r,s}}{\gamma}, \gamma = \sqrt{1 - \beta^2}$  bo'ladi. Qaysi vaqt kengayganligini bilish uchun biz buni eslaymiz.  $t_{s,r}$  manba dam oladigan kadrda vaqt. Qabul qilgich qabul qilingan chastotani qanday bo'lishini o'lchaydi

$$f_r = f_{s,r} \gamma = \frac{1-\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} f_s = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$$

Bu nisbat  $\frac{f_s}{f_r} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$  deyiladi. Dopler omili qabul qiluvchiga nisbatan manbaning tegishli to'liq uzunliklari bilan bog'liq.

$$\frac{\lambda_r}{\lambda_s} = \frac{f_s}{f_r} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$$

Relyativistik Dopler siljishining bir xil ifodalarining mos yozuvlar tizimida tahlilni o'tkazish olinadi qabul qiluvchi harakatlanuvchi manba bilan. bu kutilgan natijalarga mos keladi. Nisbiylik printsipi, bu natija qaysi obyekt dam olish obyekt deb hisoblanishiga bog'liq bo'lishi mumkin emasligini belgilaydi. Buning aksincha, klassik norelativistik Doppler effekti bu vositaga nisbatan statsionar bo'lgan manba yoki qabul qiluvchiga bog'liq.



1-rasm.

Manba va qabul qiluvchining eng yaqin nuqtalarida manba va qabul qilgich eng yaqin nuqtalarda. (a) qabul qilgich doirasidagi tahlil. (b) manba doirasidagi tahlili.

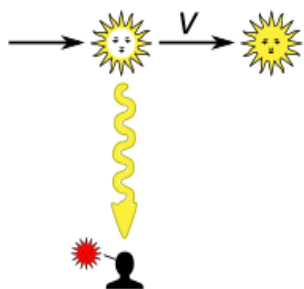
Ushbu stsenariyda eng yaqin yondashuv nuqtasi ramkadan mustaqil bo'lib, vaqtga nisbatan masofa o'zgarishini anglatadi. 1-rasm shuni ko'rsatadiki, ushbu stsenariyni tahlil qilish qulayligi u tahlil qilinadigan kadrda bog'liq.

Agar stsenariyni qabul qiluvchining ramkasida tahlil qilsak, tahlil qilish kerak bo'lganidan ancha murakkabligini aniqlaymiz. Osmon jismining ko'rinadigan pozitsiyasi, uning nurini kuzatuvchiga etib borishi uchun vaqt davomida harakatlanishi sababli, uning haqiqiy holatidan (yoki geometrik holatidan) siljiydi. Manba qabul qiluvchiga nisbatan vaqtni kengaytirishi mumkin edi, ammo bu vaqt kengayishi nazarda tutilgan qizil siljish qabul qiluvchi va manbaning ko'rinadigan pozitsiyasi orasidagi nisbiy harakatning uzunlamasini komponenti tufayli ko'k rang bilan qoplanadi.

Buning o'rniga stsenariyni manba ramkasidan tahlil qilsak, bu juda oson. Manbada joylashgan kuzatuvchi, qabul qiluvchining unga eng yaqin nuqtada ekanligini muammoning bayonotidan biladi. Bu shuni anglatadiki, qabul qilgichda tahlilni murakkablashtiradigan uzunlamasini harakat komponenti yo'q. (ya'ni  $\frac{dr}{dt} = 0$ , bu erda r qabul qiluvchi va manba orasidagi masofa) Qabul qiluvchining soatlari

manbaga nisbatan vaqt kengayganligi sababli, qabul qiluvchi qabul qiladigan nur gamma faktori bilan ko'k rangga siljiydi. Boshqa so'zlar bilan aytganda,

$$f_r = \gamma f_s$$

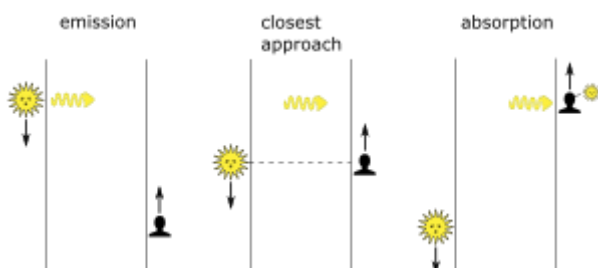


2-rasm

Qabul qiluvchi ko'radi manba eng yaqin nuqtada qabul qilgich joylashgan stsenariy uchun ko'ndalang doppler siljishi ko'radi manba eng yaqin nuqtada. Ushbu stsenariy qabul qiluvchining manba yo'liga to'g'ridan-to'g'ri to'g'ri burchakka qarashiga tengdir. Ushbu stsenariyni tahlil qilish eng yaxshi qabul qiluvchining ramkasidan amalga oshiriladi. 2-rasmda qabul qilgich manba qabul qiluvchiga eng yaqin bo'lgan vaqtdan boshlab yorug'lik bilan yoritilgan, hatto manba harakatlangan bo'lsa ham. manba soati qabul qiluvchining ramkasida o'lchangan vaqtni kengaytirganligi va uning harakatining uzunlamasini komponenti bo'lmaganligi sababli, mana shu eng yaqin nuqtadan chiqadigan yorug'lik chastota bilan qayta almashtiriladi.

$$f_r = \frac{f_s}{\gamma}$$

Adabiyotda aksariyat Doppler smenasi hisobotlari qabul qiluvchining nuqtai nazaridan ta'sirni manba yo'liga to'g'ri burchakka qaratgan holda tahlil qiladi. Ko'rish manba eng yaqin nuqtada va qizil siljishni kuzatayotganda. nol chastotani siljitish nuqtasi



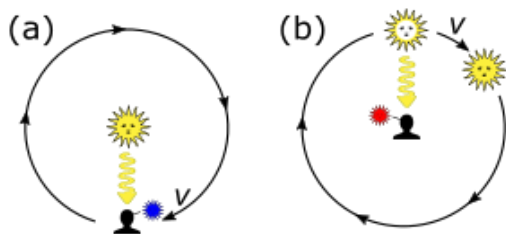
3-rasm

nol chastotali siljish manbadan qabul qiluvchiga eng qisqa masofani bosib o'tadigan impuls uchun sodir bo'ladi.

Inersial ravishda harakatlanadigan manba va qabul qilgich geometrik jihatdan bir-biriga yaqinlashganda, qabul qiluvchida mavimislikd kuzatiladi, qabul qiluvchida ko'radi manba eng yaqin nuqtada bo'lgani kabi, qabul qilgich qizil siljishni kuzatadi,

shubhasiz mavimsi qizil siljishga o'zgaradigan nuqta bo'lishi kerak. 1-rasmda signal qabul qiluvchining yo'liga perpendikulyar ravishda o'tadi va ko'k rangga aylanadi. 2-rasmda signal manba yo'liga perpendikulyar ravishda o'tib, qayta yo'naltiriladi.

3-rasmda ko'rinib turganidek, manbadan qabul qiluvchiga eng qisqa masofani bosib o'tgan puls uchun nol chastotali siljish sodir bo'ladi. Manba va qabul qiluvchining tezligi bir xil bo'lgan freymda ko'rib chiqilganda, ushbu impuls manba yo'liga perpendikulyar ravishda chiqariladi va qabul qiluvchining yo'liga perpendikulyar ravishda qabul qilinadi. Puls yaqinlashish nuqtasidan biroz oldin chiqariladi va u birozdan keyin qabul qilinadi.



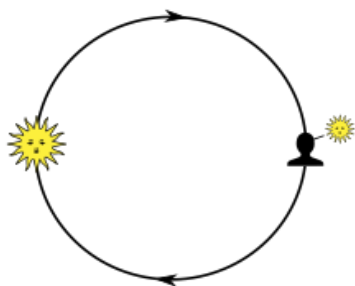
4-rasm

Bittasi boshqasi atrofida aylana harakatida ikki stsenariy uchun ko'ndalang doppler effekti: (a) qabul qiluvchi manba atrofida aylana bo'ylab harakatlanadigan; (b) qabul qilgich atrofida aylana bo'ylab harakatlanadigan manba.

4-rasm ushbu stsenariyning ikkita variantini tasvirlaydi. Ikkala variantni vaqtni kengaytirishning oddiy argumentlari yordamida tahlil qilish mumkin bo'lgan tasvirlangan stsenariyga teng keladi va qabul qiluvchi manbadan nurni koeffitsient bilan ko'k rangga aylanganligini kuzatadi. 4 b-rasm mohiyatan 3-rasmda tasvirlangan stsenariyga teng keladi va yorug'lik qizil rangga o'tkaziladi.

Faqatgina ko'rinadigan murakkablik shundaki, orbitadagi ob'ektlar tezlashtirilgan harakatda. Tezlashtirilgan zarrachada u doimo tinch holatda bo'lgan inersiya doirasi bo'lmaydi. Shu bilan birga, zarracha bilan bir lahzada birlashuvchi inersial ramkani har doim topish mumkin. Ushbu ramka, bir zumda mos keladigan mos yozuvlar ramkasi, tezlashtirilgan zarralarni tahlil qilish uchun maxsus nisbiylikni qo'llashga imkon beradi. Agar inertsional kuzatuvchi tezlashayotgan soatga qarasa, vaqt kengayishini hisoblashda faqat soatning oniy tezligi muhimdir.

Biroq, aksincha, bu to'g'ri emas. Stsenariylarning tahlili qaerda ikkalasi ham tezlashtirilgan harakatda bo'lgan narsalar biroz murakkabroq tahlilni talab qiladi. Ushbu fikrni tushunmaslik chalkashlik va tushunmovchilikka olib keldi.



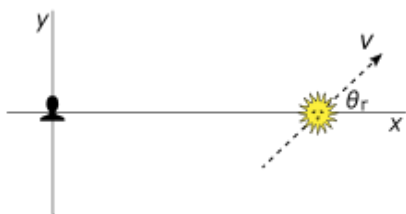
5-rasm

Resurs va qabul qilgich ikkala umumiy markaz atrofida aylana harakatida resurs va qabul qilgich rotorning qarama-qarshi uchlariga, markazdan teng masofada joylashgan.

Aytaylik, manba va qabul qilgich aylanuvchi rotorning qarama-qarshi uchlarida joylashgan bo‘lib, 5-rasmda ko‘rsatilgan. Kinematik argumentlar (maxsus nisbiylik) va rotorning psevdogravitatsion maydonida manba va qabul qiluvchi o‘rtasida potentsialning farqi yo‘qligiga asoslangan dalillarning (umumiy nisbiylik) ikkalasi ham manba va qabul qiluvchi o‘rtasida Doppler siljishi bo‘lmasligi kerak degan xulosaga keladi. Ushbu xulosa ba'zi tortishuvlarga sabab bo‘ldi. Nisbiylikning doimiy bir tanqidchisi, tajriba umumiy nisbiylik bilan mos kelishiga qaramay, maxsus nisbiylikni rad etdi, degani uning fikri shundan iboratki, emitent va absorber bir xil nisbiy harakatda bo‘lganligi sababli, maxsus nisbiylik Doppler siljishini kuzatishni talab qildi. Bo‘limda ko‘rsatilgandek, ushbu tanqidchining argumenti noto‘g‘ri edi Nolinchi chastotani siljitish nuqtasi Doppler siljishini har doim bir xil nisbiy harakatda ikki kadr o‘rtasida kuzatilishi kerakligi shunchaki haqiqat emas. Bundan tashqari, bo‘limda ko‘rsatilgandek Manba va qabul qiluvchining eng yaqin nuqtalarida, relyativistik stsenariyni tahlil qilishning qiyinligi ko‘pincha mos yozuvlar tizimini tanlashga bog‘liq. Qabul qiluvchining ramkasida stsenariyni tahlil qilishga urinish juda zerikarli algebrani o‘z ichiga oladi. Laboratoriya sharoitida emitent va absorber o‘rtasida Doppler siljishining etishmasligini aniqlash ancha oson, deyarli ahamiyatsiz. Aslida, Champeney va Moonning tajribalarida maxsus nisbiylik haqida hech qanday ma‘no yo‘q. O‘rnatishning simmetriyasi tufayli, deyarli shunday bo‘ladi har qanday Dopplerning bir tekis harakatsiz harakatdagi kadrlar orasidagi siljish nazariyasi bu tajribada nol natija berishi kerak Markazdan teng masofada bo‘lishdan ko‘ra, emitent va absorber rotor markazidan har xil masofada joylashgan deb taxmin qiling. Radiusda emitent uchun  $R'$  va radiusda absorber  $R''$  har qanday joyda rotorda, emitent chastotasining nisbati,  $\nu'$  va absorber chastotasi,  $\nu''$  tomonidan berilgan

$$\frac{\nu'}{\nu''} = \left( \sqrt{\frac{1 - R''^2 \omega^2}{1 - R'^2 \omega^2}} \right)$$

Qayerda rotorning burchak tezligi. Manba va emitent  $180^\circ$  masofada bo‘lishi shart emas, lekin markazga nisbatan har qanday burchak ostida bo‘lishi mumkin



6-rasm

Ixtiyoriy yo‘nalishdagi harakat manba va qabul qilgich o‘rtasidagi chiziqqa nisbatan ixtiyoriy burchak ostida harakatlanadigan manba bilan Doppler siljishi bo‘limda ishlatiladigan tahlil Relativistik uzunlamasini Doppler effekti manba va qabul qiluvchining inersion harakatlari har qanday belgilangan burchak ostida bo‘lgan holat uchun Doppler siljishini hisoblash uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri kengaytirilishi mumkin. 6-rasm, qabul qiluvchining ramkasidan stsenariyni taqdim etadi, manba tezlikda harakatlanadi va burchak ostida  $\theta_r$  qabul qiluvchining ramkasida o‘lchangan. Manba ko‘rish chizig‘i bo‘ylab harakatlanishining radiusli komponenti tengdir  $v\cos\theta_r$

Quyidagi tenglamani Lorents faktori bilan o‘zgartirilgan statsionar va harakatlanuvchi manba uchun klassik Doppler siljishi deb talqin qilish mumkin.  $\gamma$

$$f_r = \frac{f_s}{\gamma(1 + \beta\cos\theta_r)}$$

Bunday holatda  $\theta_r = 90^\circ$ , birini oladi ko‘ndalang doppler effekti:  $f_r = \frac{f_s}{\gamma}$  1905 yildagi maxsus nisbiylik haqidagi maqolasida, Eynshteyn Doppler siljish tenglamasi uchun biroz boshqacha ko‘rinishdagi tenglamani qo‘lga kiritdi. Eynshteyn tenglamasidagi o‘zgaruvchan nomlarni bu erda ishlatilganlarga mos ravishda o‘zgartirgandan so‘ng, uning tenglamasi o‘qiydi

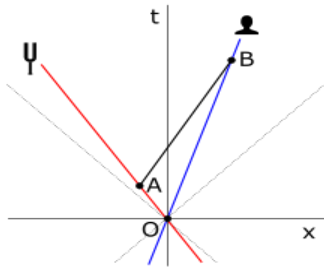
$$f_r = \gamma(1 - \beta\cos\theta_s)$$

Turli xilliklar, Eynshteynning burchakka baho berganligidan kelib chiqadi  $\theta_s$  qabul qilgichning ramkasiga emas, balki manba dam olish doirasiga nisbatan.  $\theta_s$  ga teng emas  $\theta_r$  ta'siri tufayli relyativistik aberatsiya. Relyativistik aberatsiya tenglamasi

$$\beta\cos\theta_r = \frac{\cos\theta_s - \beta}{1 - \beta\cos\theta_s}$$

Relyativistik aberatsiya tenglamasini almashtirish tenglama 8 ichiga tenglama 6 hosil tenglama 7, Doppler almashinuvi uchun ushbu muqobil tenglamalarning izchilligini namoyish etadi.

O‘rnatish  $\theta_r = 0$  yilda tenglama 6 yoki  $\theta_s = 0$  yilda Tenglama 7 hosil Tenglama 1, relyativistik uzunlamasina doppler siljishi ifodasi.



7-rasm

7-rasmdagi bo‘shliq vaqtining diagrammasini ko‘rib chiqing. Sozlama vilkasi (manba) va qabul qiluvchining dunyoviy yo‘nalishlari ushbu diagrammada ko‘rsatilgan. Tadbirlar O va A sozlash vilkasining ikkita tebranishini ifodalaydi. Vilkaning davri – kattaligi OA va ning teskari qiyaqligi AB signalning hodisaga tarqalish tezligini (ya'ni tovush tezligini) ifodalaydi B. Shuning uchun biz quyidagilarni yozishimiz mumkin:

$$c_s = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A} \text{ (tovush tezligi)}$$

$$v_s = -\frac{x_A}{t_A} \quad v_r = \frac{x_B}{t_B} \text{ (manba va qabul qiluvchining tezligi)}$$

$$OA = \sqrt{t_A^2 - \frac{t_A^2}{c^2}} \quad OB = \sqrt{t_B^2 - \frac{t_B^2}{c^2}}$$

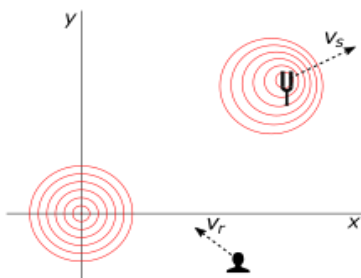
$v_s$  va  $v_r$  dan kam deb taxmin qilinadi chunki aks holda ularning vositadan o‘tishi zarba to‘lqinlarini keltirib chiqaradi va hisobni bekor qiladi. Ba'zi muntazam algebra chastotalar nisbatini beradi:

$$\frac{f_r}{f_s} = \frac{OA}{OB} = \frac{1 - \frac{v_r}{c_s}}{1 + \frac{v_s}{c_s}} \sqrt{\frac{1 - \frac{v_s^2}{c^2}}{1 + \frac{v_r^2}{c^2}}}$$

Agar  $v_r$  va  $v_s$  bilan solishtirganda kichikdir  $c$ , yuqoridagi tenglama tovush uchun klassik Doppler formulasini kamaytiradi.

Agar signalning tarqalish tezligi  $c_s$  yondashuvlar  $c$ , mutlaq tezliklarni ko‘rsatishi mumkin  $v_r$  va  $v_s$  manbai va qabul qiluvchisi sobit muhitga har qanday murojaatidan mustaqil ravishda bitta nisbiy tezlikka birlashadi. Darhaqiqat, biz olamiz Tenglama 1, relyativistik uzunlamasına doppler siljishi formulasi.

7-rasmdagi bo‘sh vaqt diagrammasini tahlil qilish manba va qabul qiluvchining to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘rish chizig‘i bo‘ylab harakatlanishi, ya'ni kollinear harakatida umumiy formulasini berdi.



8-rasm

Manba va qabul qilgich tovush tezligi yoʻnalishdan mustaqil boʻlgan freymda turli yoʻnalishlarda va tezlikda harakatlanmoqda.

8-rasm ikki oʻlchovli stsenariyni tasvirlaydi. Manba tezlik bilan harakat qiladi  $E_s$  (emissiya paytida). U tezlikda harakatlanadigan signalni chiqaradi  $V$  tezlikda harakat qilayotgan qabul qiluvchiga qarab  $E_r$  qabul paytida. Tahlil signal tezligi boʻlgan koordinata tizimida amalga oshiriladi  $V$  yoʻnalishdan mustaqil.

Manba va qabul qiluvchi uchun mos chastotalar orasidagi nisbat

$$\frac{f_r}{f_s} = \frac{1 - \frac{E_r}{V} \cos(\theta_{V,E_r})}{1 - \frac{E_s}{V} \cos(\theta_{V,E_s})} = \sqrt{\frac{1 - \frac{v_s^2}{c^2}}{1 - \frac{v_r^2}{c^2}}}$$

yetakchi nisbat klassik Dopler effekti shakliga ega, kvadrat ildiz atamasi esa relyativistik tuzatishni anglatadi. Agar manba ramkasiga nisbatan burchaklarni koʻrib chiqsak, u holda  $v_s = 0$  va tenglama kamayadi. Dopler effekti uchun Eynshteynning 1905 yildagi formulasi. Agar qabul qiluvchining ramkasiga nisbatan burchaklarni koʻrib chiqsak, u holda  $v_r = 0$  va tenglama, ilgari muhokama qilingan Dopler siljish tenglamasining muqobil shakli.

Eynshteyn oʻzining 1905 yildagi maxsus nisbiylikni taqdim etgan yakuniy maqolasida cheksiz uzoq yorugʻlik manbasiga nisbatan ixtiyoriy burchak ostida harakat qilayotgan kuzatuvchi tomonidan qabul qilingan Dopler siljishining ifodasini allaqachon nashr etgan edi. Eynshteynning 1907 yilda TDE-ni keltirib chiqarishi uning ilgari nashr etilgan umumiy ifodasining ahamiyatsiz natijasni anglatadi.

Shuni xulosa qilish mumkun-ki, Relativistik Doppler effektini toʻliq yoritib, laboratoreiya sharoitlarida Relativistik Doppler effektini aniqlash usullari keltrib chiqarilgan.

Mavzuni yoritishda keltrilgan formulalar Relativistik Doppler effekti orqali tushuntrib berishda, tezkorlik metodlarini talabalarga kreativlikni rivojlantradi. Bu esa talabalarda blim, koʻnikma, malaka, kompetentlikni shakillantradi.

### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Gayibnazarov Rozimurod Bakhtiyorovich, Axmedova Manzura Gulomjonovna, Berdikulova Shakhsanam Umaralievna, Saparova Gulmira Bakhtiyarovna. [Principles of Selection of Materials on the Problem Method of Teaching Physics in Secondary Schools](#) // Texas Journal of Multidisciplinary Studies, 2022. - 283-288 –p.

2. Makhmudov Yusup Ganievich, Boymirov Sherzod Tuxtaevich. [Step-By-Step Processes of Creative Activity of Students in ProblemBased Teaching of the Department of Physics “Electrodynamics” in Secondary Schools](#) // Eurasian Journal



3. Boymirov Sherzod, Ashirov Shamshiddin. [Principles Of Selecting Materials For Problem Based Training In The Section Electrodynamics Physics](#) // Solid State Technology. 2020. 5213-5220 –p.

4. Sherzod Boymirov, Shamshiddin Ashirov, Alijon Urozbokov, Abduraim Mamatov, Olimjon Xolturayev. [Increase the creativity of students by creating problem situations when teaching the physics mechanics section](#) // Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR). 2021. 247-253 –p.

5. Sherzod Tuxtayevich Boymirov. [PRINCIPLES OF MATERIAL SELECTION IN PROBLEM TEACHING OF ELECTRODYNAMICS](#) // Scientific Bulletin of Namangan State University. 2020. 362-368 –p.

6. Сивухин Д.В. Общей курс физики. Атомная и ядерная физика.

7. Shpolskiy E.V. Atom fizikasi. I tom. - Toshkent: O‘qituvchi, 1970, -584 b.