

ISSN 2406-2626

Број 8
НАСТАВА ФИЗИКЕ



**Зборник радова
са XXXVII Републичког семинара о настави физике**



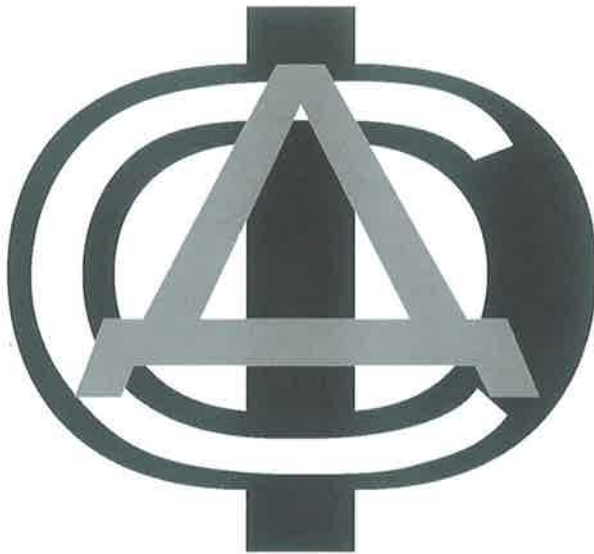
Кладово 2019.

Милош Дина

НАСТАВА ФИЗИКЕ

Број 8, Мај 2019

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



Часопис *Настава физике* је публикација Друштва физичара Србије. У часопису се публикују радови из методике наставе физике, историје и филозофије физике и прикази дисертација, монографских и уџбеничких публикација из области наставе физике. Намењен је наставницима физике основних и средњих школа, наставницима физике високих школа струковних студија, као и наставницима факултета који се баве истраживањима у области наставе физике.

Гостујуће уредништво
(Комисија за Семинаре ДФС-а)

Саша Ивковић, председник
Андријана Жекић
Милан Ковачевић
Маја Стојановић
Ненад Стевановић
Стеван Локић
Мирјана Поповић – Божић
Бранка Радуловић
Слађана Николић
Предраг Савић
Братислав Обрадовић

Организациони одбор Семинара

Братислав Обрадовић, председник
Нора Тркља
Иван Крстић
Никола Цветановић
Јелена Марковић
Марија Марковић
Милош Гојковић
Ненад Грозданић
Владимир Марковић
Јована Милијановић

ВД Главог и одговорног уредника
Ивана Богдановић

Технички уредници

Саша Ивковић
Иван Крстић

Наслов:
„Настава физике“

Поднаслов:
„Зборник радова са XXXVII Републичког семинара о настави физике“

Издавач:
Друштво физичара Србије, Београд

Штампарија:
СЗП „Сисеро“ Београд

ISSN: 2406-2626

Тираж: 300

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике: зборник радова са Републичког семинара о настави физике / уредник Ивана Богдановић - 2019, бр. 8 - Београд: Друштво физичара Србије, 2019 - (Београд: Сисеро) - 25 cm
Два пута годишње
ISSN 2406-2626 = Настава физике
COBISS.SR-ID 214910476

Доплеров ефекат

Милан С. Ковачевић, Марко М. Милошевић

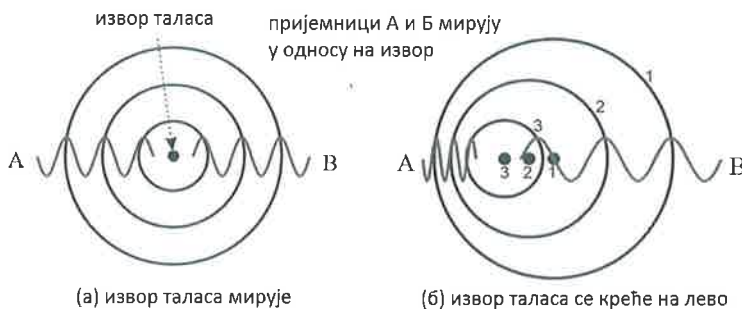
Природно-математички факултет у Крагујевцу

Апстракт. Доплеров ефекат је истакнута физичка тема у теоријској и у примењеној физици. То се види из бројних примера (проблем ширења васионе, ефекат супер снажних бљескова галактичког X зрачења и сл.). У раду је дата дефиниција Доплеровог ефекта - физички опис ове појаве на примеру звучних таласа.

Кључне речи: Доплеров ефекат.

ДЕФИНИЦИЈА

Доплеров ефекат повезује мерену фреквенцију таласа с релативном брзином предајника и пријемника. Услед релативног кретања пријемника и предајника долази до мењања фреквенције таласа, на страни пријемника. Ако се пријемник и предајник крећу један ка другом, фреквенција расте, а ако се пријемник и предајник крећу један од другог, фреквенција опада. Доплеров ефекат је општи таласни феномен. Примећује се код свих облика таласног кретања [1-4]. Најлакше је Доплеров ефекат сагледати на примеру звучних таласа (слика 1).



СЛИКА 1. Уз дефиницију Доплеровог ефекта: (а) извор звука се не креће, (б) извор звука се креће у односу на посматраче А и В.

Замислимо да се у некој еластичној средини (на пример, ваздух) шири механички талас који емитује извор (на пример, звучник). Овај талас се детектује пријемником, може то бити посматрач са слушалицама. Ако су извор и пријемник у стању релативног мировања, учестаност се не мења на путу од извора до пријемника. Међутим, ако се пријемник креће у односу на извор, промениће се и

примарна учестаност. Формула за израчунавање фреквенције таласа који стиже у пријемник може се написати у облику:

$$v_R = \frac{u \pm v_R}{u \mp v_S} v_S. \quad (1)$$

Овде су: v_R фреквенција пријемника (фреквенција коју слушаца чује), v_S фреквенција предајника (извора), u брзина звука у ваздуху (330 m/s), v_R брзина пријемника (слушаоца) у односу на непокретну средину, и v_S брзина предајника (извора) у односу на непокретну средину. Овде важи конвенција: горњи знаци у формули (1) су у случају релативног приближавања пријемника и извора, а доњи знаци одговарају случају када се извор и пријемник удаљавају. Посебни случајеви су: (А) Покретни извор: ако покретни извор емитује таласе кроз еластичну средину фреквенције v_0 , тада посматрач који мирује у односу на средину детектује таласе фреквенције v дате формулом: $v = v_0 (c / (c + u))$, где је c брзина таласа у средини, а u радијална (дуж праве која спаја извор и посматрача) брзина извора у односу на средину. Ова брзина се узима да је позитивна ако се извор удаљава, а негативна ако се приближава. Закључујемо да ће по овој формули примарна учестаност бити повећана кад је брзина негативна, а смањена кад је брзина позитивна, тј. ако се извор удаљава, тада је $v < v_0$, и обрнуто ако се извор приближава. Важно је разумети да се фреквенција таласа који емитује извор у ствари не мења. Талас је исти, само посматрач (пријемник) региструје другачију фреквенцију због кретања извора таласа. (Б) Покретни пријемник: Погледајмо сада како се манифестује Доплеров ефекат кад је извор у стању мировања, а пријемник се приближава или удаљава. Формула која описује ефекат сада гласи: $v = v_0 (1 - u / c)$. Овде важи конвенција: u је позитивно ако се посматрач удаљава од извора, а негативно ако се посматрач приближава извору. Видимо последице: учестаност расте у случају приближавања, и опада у случају удаљавања.

ЈЕДНО УОПШТАВАЊЕ

Претходно разматрање се може уопштити у једну векторску једначину. Узмимо координатни систем који мирује у односу на средину, у којој је брзина звука c . Извор S се креће брзином \vec{v}_S и емитује таласе фреквенције v_S . Пријемник R се креће брзином \vec{v}_R , а јединични вектор од S према R је \vec{n} . Другим речима је: $\vec{r}_R - \vec{r}_S = \vec{n} |\vec{r}_R - \vec{r}_S|$. Тада се фреквенција v_R коју пријемник опажа добија помоћу формуле:

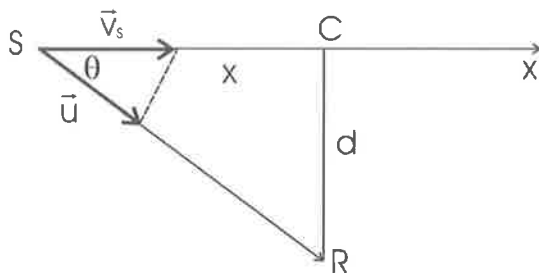
$$v_R = v_S \frac{1 - \vec{n} \cdot \vec{v}_R / c}{1 - \vec{n} \cdot \vec{v}_S / c}. \quad (2)$$

Видимо да је формула (1) специјалан случај формуле (4). Ако је $v_S \ll c$, промена фреквенције зависи углавном од релативне брзине извора у односу на пријемник:

$$v_R \approx v_S [1 - \vec{n} \cdot (\vec{v}_R - \vec{v}_S) / c]. \quad (3)$$

АНАЛИЗА ЈЕДНЕ СВАКОДНЕВНЕ ПОЈАВЕ

На слици 2 је приказан пријемник(микрофон), који је непокретан у односу на ваздух. Поред микрофона пролази аутомобил са укљученом сиреном- покретни извор звучних таласа. Тон сирене аутомобила који пролази поред пријемника у почетку је виши него кад аутомобил (сирена) мирује у односу на пријемник. Како се аутомобил приближава, тон сирене постаје све дубљи. Да је сирена (извор) прилазио микрофону (пријемнику) директно, тон би био константан и виши од уобичајеног (јер је u само радијална компонента брзине) све док аутомобил не би прошао непосредно поред пријемника, а затим би он скочио на нову, дубљу вредност. Разлика између вишег тона и тона при мировању била би иста као разлика између нижег тона и тона при мировању. Узрок овог ефекта је радијална брзина извора таласа (аутомобила, слика 2), која се мења као функција угла између линије погледа посматрача (пријемника) и брзине сирене: $u = v_s \cos \theta$ где је v_s брзина објекта (извора таласа) у односу на посматрача, а θ угао између вектора брзине објекта и праве која води од посматрача ка објекту (правац извор-пријемник, S-R).



СЛИКА 2. Доплеров ефекат код звучних таласа. Извор S (аутомобилска сирена) се креће брзином v_s дуж правца x . На растојању d од правца x налази се пријемник R (микрофон) који мирује у односу на извор звучних таласа (сирену).

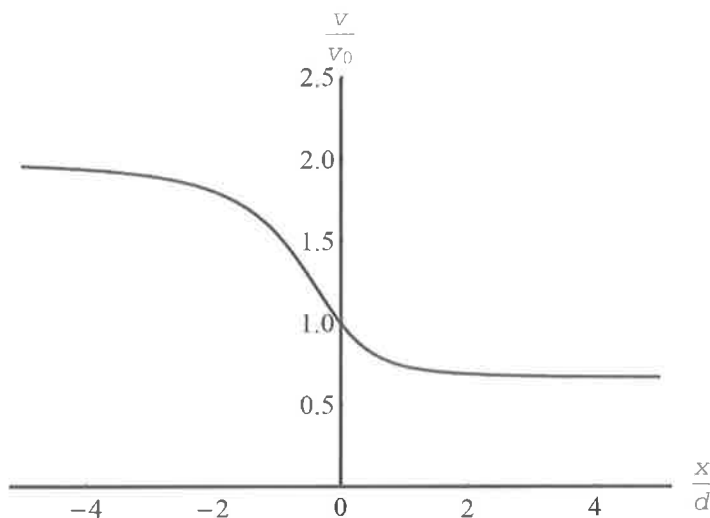
Релативна брзина међусобног приближавања $u = v_s \cos \theta$ зависи од тренутног положаја извора звука, јер угао θ зависи од тог положаја. Лако закључујемо да је

$u = v_s \frac{x}{\sqrt{x^2 + d^2}}$. Узевши у обзир релацију за Доплеров помак кад се извор креће

пишемо: $v = v_0 \frac{1}{1 + u/c}$. Простом заменом добијамо формулу:

$$\frac{v}{v_0} = \left[1 + \frac{1}{c} v_s \frac{x/d}{\sqrt{(x/d)^2 + 1}} \right]^{-1} \quad (4)$$

Програмирањем формуле (4) добија се график на слици 3 који представља зависност висине тона сирене аутомобила који се приближава посматрачу дуж x -осе (од негативног смера ка позитивном смеру) од односа x/d .



СЛИКА 3. Висина тона сирене аутомобила који се приближава посматрачу дуж x осе (слева на десно). Посматрач (микрофон) је испод координатног почетка, на јединичном растојању. Аутомобил се креће константном брзином која је једнака половини брзине звука у ваздуху.

Са слике 3 се види да посматрач прима тон опадајуће висине. Међутим, око координатног почетка, у кратком временском интервалу, висина тона се драстично промени.

О ЗНАЧАЈУ ТЕМЕ

К. Доплер је 1842. публиковао своје откриће утицаја брзине кретања на учестаност таласа [5]. Данас имамо такве примене овог открића да се оне могу видети у догађајима из свакодневног живота. Један од примера је горе описан случај кретања аутомобила са укљученом сиреном који пролази поред непокретног посматрача у односу на околни ваздух. Прави тријумф доживела је теорија Доплеровог ефекта у астрономији и астрофизици. Скоро да се може рећи како данас знамо за физичке ефекте у свемиру који се компетентно могу тумачити једино применом Доплерове формуле. Доплеров ефекат код електромагнетних таласа као што је светлост, од великог је значаја у астрономији, и доводи до схватања такозваног *помераја* спектралних линија, црвеног или плавог помераја. Користи се за мерење брзине којом нам се звезде или галаксије примичу или одмичу. Још једна примена Доплеровог ефекта, која се често користи у астрономији је процена температуре гаса који емитује спектралну линију. Доплеров ефекат се користи и у неким врстама радара, како би се измерила брзина детектованог објекта. Ултразвучна доплерска сонографија је група техника које користе Доплеров ефекат у циљу мерења или осликавања брзине тока крви у крвним судовима и срцу.

ЛИТЕРАТУРА

22. C. Kittel, W. D. Knight, M.A. Ruderman, Mechanics, Berkeley Physics Course 1, McGraw-Hill, 1973;184-186.
23. Н. Каделрбуг, В. Рапаић, Физика 3, Круг 2011; 92-94.
24. И. В. Савельев, Курс общей физики, том 2, "Наука", Москва 1978; 300-302.
4. Halliday, R. Resnick, Fundamentals of Physics, John Willey & Sons, New York 1988; 735-738.
5. Doppler, C. (1842). Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels (About the coloured light of the binary stars and some other stars of the heavens). Publisher: Abhandlungen der Königl. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften (V. Folge, Bd. 2, S. 465-482)

The Doppler Effect

Milan S. Kovačević, Marko M. Milošević

Abstract: The Doppler effect is the change in frequency or wavelength of a wave in relation to an observer who is moving relative to the wave source. A common example of Doppler shift is the change of pitch heard when a vehicle sounding a horn approaches and recedes from an observer. Compared to the emitted frequency, the received frequency is higher during the approach, identical at the instant of passing by, and lower during the receding. The total Doppler effect may therefore result from motion of the source, motion of the observer, or motion of the medium.