Dopplerov efekt i njegove primjene

Heđi, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:810065

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek







SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA

ODJEL ZA FIZIKU



ANA HEĐI

DOPPLEROV EFEKT I NJEGOVE PRIMJENE

Završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA

ODJEL ZA FIZIKU



ANA HEĐI

DOPPLEROV EFEKT I NJEGOVE PRIMJENE

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2016.

Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom prof.dr.sc. Branka Vukovića i dr. sc. Maje Varga Pajtler u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Završni rad

Odjel za fiziku

DOPPLEROV EFEKT I NJEGOVE PRIMJENE

ANA HEĐI

Sažetak

Christian Doppler prvi je proučavao frekvencije zvuka te uočio da, ako nam se izvor zvuka približava ili udaljava, ne čujemo istu frekvenciju koju je izvor odaslao. Uspio je opisati i dokazati navedenu hipotezu javnim pokusom još u 19. st. Promatrajući iz perspektive tog vremena nikada ne bismo mogli pretpostaviti da će to otkriće doživjeti tako raznoliku primjenu i steći toliko veliku važnost u mnogim područjima fizike, kao što su astronomija, medicina, navigacija i mnoga druga područja.

U ovom radu, uz kratak teorijski uvod i matematički prikaz same pojave Dopplerovog efekta, bit će opisan način na koji se on primjenjuje u navedenim područjima.

(16 stranica, 9 slika)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: frekvencija / Doppler/ radar / odašiljač/ prijemnik / ultrazvuk / sonar

Mentor: izv. prof. dr. sc. Branko Vuković

Komentor: dr. sc. Maja Varga Pajtler

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek Završni rad

Department of Physics

DOPPLER EFFECT AND ITS APPLICATIONS

ANA HEĐI

Abstract

Christian Doppler was the first one who studied sound frequencies and noticed that, if the source is coming towards us or going away from us, we do not hear the same frequency as the source emitted. He managed to describe and demonstrate this hypothesis by public experiment in the 19th century. From the perspective of that time, it could never be assumed that this discovery would have a wide range of applications and gain great importance in many areas of physics. The present application of Doppler effect is very broad and it is used in astronomy, medicine, navigation and many other areas.

In this work, a short theoretical introduction and matematics from Doppler effect will be explained, as well as its application in different areas.

(16 pages, 9 figures)

Thesis deposited in Department of Physics

Library Keywords: Frequency / Doppler / radar / transmitter / receiver / ultrasound / sonar

Supervisor: Branko Vuković, Ph.D., Associate Professor

Co-Supervisor: Maja Varga Pajtler, Ph.D., Senior Assistant

Reviewers:

Thesis accepted:

SADRŽAJ

Uvod 7
Otkriće Dopplerovog efekta 8
Izvod matematičkog izraza Dopplerovog efekta 9
Dopplerov efekt kada se motritelj giba 10
Dopplerov efekt kada se izvor giba 12
Dopplerov efekt za elektromagnetske valove 14
Primjene Dopplerovog efekta 16
Primjena u astrofizici 16
Ultrazvuk u medicini 17
Dopplerov radar 18
Mjerenje morskih struja 20
Sonari 21
Zaključak 23
Literatura 24

Uvod

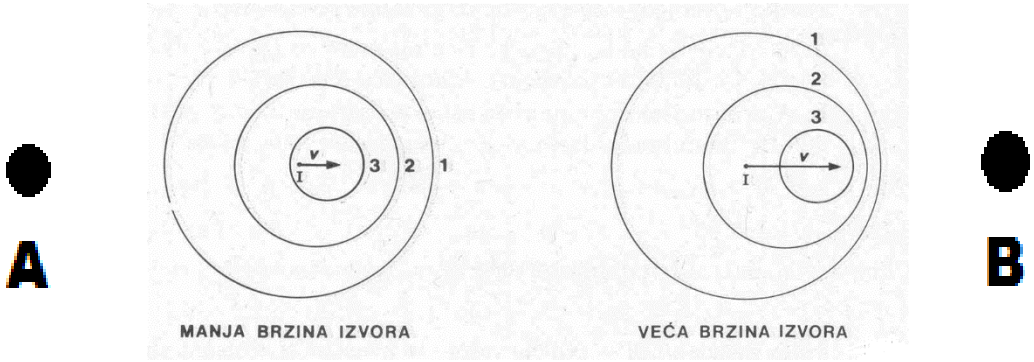
Titranje čvrstih tijela može proizvoditi longitudinalne valove pomaka. Svaki titraj ima frekvenciju. Frekvencija je fizikalna veličina kojom se izražava broj oscilacija u jedinici vremena. Frekvencije od 16 Hz do 20000 Hz normalno uho može zamijetiti u obliku zvuka ili šuma. Kada neki izvor zvuka miruje i odašilje frekvenciju, motritelj koji miruje zapaža frekvenciju jednaku onoj koju je izvor poslao. Međutim, kada se motritelj giba prema izvoru ili obrnuto, tada frekvencija koju opaža više nije jednaka frekvenciji koju izvor odašilje. Ta pojava naziva se Dopplerov efekt i kasnije ćemo ga pobliže objasniti. Dopplerov efekt ne mora se nužno primijeniti samo na frekvencije valova zvuka, nego može naći primjenu i u elektromagnetskim valovima. Dakle, on se može primijeniti i u drugim područjima osim akustike, kao što su astronomija, medicina i sl.

Otkriće Dopplerovog efekta

Christian Johann Doppler (1803.-1853.) prvi je pretpostavio da je frekvencija koju zapaža motritelj kada se giba prema izvoru veća od frekvencije izvora i obrnuto. Proučavao je frekvencije svjetlosti koje emitiraju zvijezde u dvojnom sustavu. Rad je iznio 1942. godine pod imenom „Über das fabrige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels“, što u prijevodu znači „O obojenoj svjetlosti binarnih zvijezda i drugih nebeskih zvijezda“. Nizozemski znanstvenik Buys Ballot smatrao je da tu tezu treba provjeriti jer nije vjerovao da ona može objasniti boje binarnih zvijezda. Eksperiment je javno demonstriran 1845. godine, s dva trubača u kočiji koja se kreće. Pozvao je ljude da dođu i sami uoče njegovu tezu. Mjerenja prve demonstracije trebalo je ponoviti zbog tuče i snježne oluje i to je učinjeno u uvjetima „lijepog“ vremena, 3. lipnja 1945. godine. I zaista, opažači su primijetili da različito čuju trubače koji su se gibali prema njima i one koji su odlazili od njih. Kada im se kočija približavala, prividno su čuli čak za pola tona viši ton od onog kojeg je trubač izvodio. Također, čuli su pola tona niži ton kada se kočija udaljavala od njih. Time je javno potvrđena Dopplerova teza i to je najpoznatije postignuće koje je dobilo ime po njemu - Dopplerov efekt [1].

Izvod matematičkog izraza Dopplerovog efekta

Titranje je periodično gibanje tijela po nekoj putanji koja se ponavlja. Frekvencija je mjera koja pokazuje broj nekih događaja u jedinici vremena u određenom periodičkom procesu, to jest broj titraja u sekundi i mjeri se u Hz (Hertz). Zvuk je longitudinalan val, što znači da ima određenu frekvenciju. Uho zamjećuje frekvencije od 16 do 20 000 Hz. Kao što smo već spomenuli, kada izvor i opažač miruju, uho čuje frekvenciju koju izvor odašilje. Doppler je opazio da uho ne čuje jednaku frekvenciju kada se izvor približava ili udaljava od opažača. Zamjetio je da, kada nam se približava izvor zvuka, naše uho će u jednoj sekundi primiti više titraja nego kada izvor zvuka miruje, stoga će nam se ton činiti višim. U suprotnom, kada se izvor zvuka udaljava, naše će uho primiti manje titraja u jednoj sekundi te će nam se ton činiti nižim od onog kojeg izvor zapravo proizvodi. U svakodnevnom životu to možemo primjetiti kada pored nas prolazi vozilo hitne pomoći. Zvuk sirene ne čujemo jednako kada nam se vozilo približva i kada nam se udaljava. Slika 1 prikazuje kako opažač A i opažač B opažaju frekvenciju izvora koji se kreće.



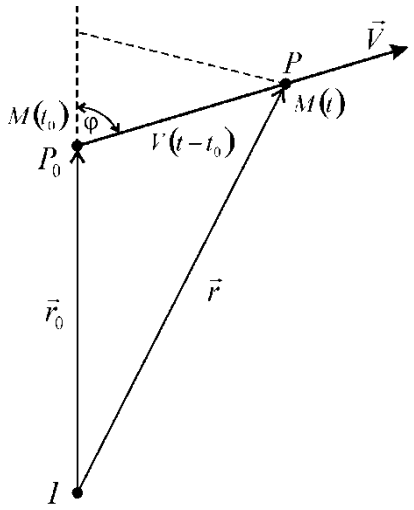
Slika 1. Valne fronte izvora zvuka pri udaljavanju zvuka (A) i pri približavanju zvuka (B). Valne fronte (u obliku kružnica) su pri udaljavanju rijeđe, a pri približavanju gušće [2].

Na slici su prikazane valne fronte pri udaljavanju vozila u odnosu na opažača A i približavanju u odnosu na opažača B. Prikazane su valne fronte u obliku kružnica koje su pri udaljavanju rijeđe, odnosno gušće pri približavanju. Razmak između valnih fronti odgovara valnoj duljini zvuka. Ako su valne fronte gušće, valna duljina je manja, a frekvencija zvuka je veća. To možemo uočiti iz relacije koja povezuje brzinu v i frekvenciju υ

$$v = \lambda \cdot \upsilon.$$

Dopplerov efekt kada se motritelj giba

Objasnit ćemo Dopplerov efekt u slučaju kada se motritelj giba nekom brzinom *V*, a izvor zvuka miruje. Promotrimo Sliku 2, gdje je P_0 položaj motritelja u trenutku t_0, P položaj motritelja u trenutku *t*, I položaj izvora zvuka, a φ kut što ga zatvaraju radijus vektor izvora zvuka $\overrightarrow{r_0}$ i brzina motritelja $\vec{V}$.



Slika 2. Slikovni prikaz položaja izvora i motritelja u slučaju kada je izvor fiksna točka, a moritelj se giba od točke P_o do P tijekom nekog vremena [2].

Izvor odašilje zvuk u obliku sfernih harmoničkih valova s pulzacijom (broj okreta u sekundi) ω i brzinom *v*. Akustični tlak u položaju P opisan je jednadžbom:

$$p = p_0 \sin \omega \, (t - \frac{r}{v}). \quad (1)$$

Kada je P blizu P_0, to jest kada se *t* malo razlikuje od t_0, trokut ΔP_0IP je približno pravokutan. Tada je kateta $|P_0P|$ razlika radijvektora izvora i motritelja, a hipotenuza pomak točke pa vrijedi:

$$r = r_0 + V(t - t_0)cos\varphi \ .(2)$$

Izraz (2) uvrštavamo u jednadžbu akustičnog tlaka (1)

$$p = p_0 \sin \omega \left[t - \frac{r_o + V(t - t_o)\cos\varphi}{v} \right].$$

Izraz u uglatoj zagradi raspisujemo:

$$t - \frac{Vt\cos\varphi}{v} - \frac{r_o - Vt_o\cos\varphi}{v} = \left(1 - \frac{V\cos\varphi}{v}\right)\left[t - \frac{r_o - Vt_o\cos\varphi}{v\left(1 - \frac{V\cos\varphi}{v}\right)} \right] .$$

Iz toga slijedi novi izraz za austični tlak:

$$p = p_0 \sin\left\{\omega\left(1-\frac{V\cos\varphi}{v}\right)\left[t-\frac{r_o - Vt_o\cos\varphi}{v\left(1-\frac{V\cos\varphi}{v}\right)}\right]\right\}.$$

Usporedimo novu jednadžbu s osnovnom jednadžbom za akustični tlak (1)

$$p = p_0 \sin\omega\left(t-\frac{r}{v}\right).$$

Vidimo da motritelj koji se giba brzinom *V* prima zvuk s novom pulzacijom:

$$\omega' = \omega\left(1-\frac{V}{v}\cos\varphi\right).$$

ω je pulzacija izvora, a ω' pulzacija koju prima motritelj. Veza između pulzacije i frekvencijedana je izrazom:

$$\omega = 2\pi\upsilon \quad (3)$$

Koristeći (3) dobivamo izraz za frekvenciju υ' koju prima motritelj:

$$\upsilon' = \upsilon\left(1-\frac{V}{v}\cos\varphi\right). \quad (4)$$

Jednadžbom (4) opisana je frekvencija koju prima motritelj koji se udaljava od izvora koji miruje [2]. Sada ćemo opisati kut za kojeg će Dopplerov efekt biti najviše izražen. Kada je kut φ jednak 0, tada se motritelj udaljava od izvora i čuje nižu frekvenciju od one koja je odaslana ($\cos 0 = 1$)

$$\upsilon' = \upsilon\left(1-\frac{V}{v}\right).$$

Kada je kut φ jednak π, tada se motritelj približava izvoru i čuje frekvenciju višu od odaslane ($\cos\pi = -1$)

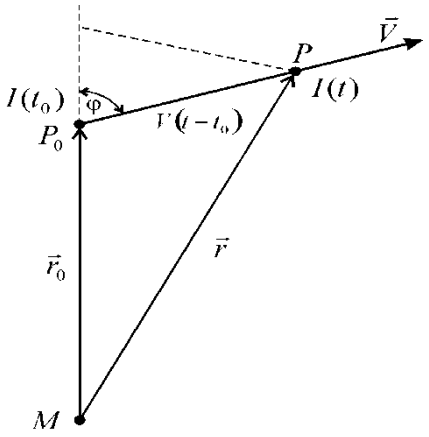
$$\upsilon' = \upsilon\left(1+\frac{V}{v}\right).$$

Kada je kut jednak $\frac{\pi}{2}$, ne se opaža razlika u frekvencijama ($\cos\frac{\pi}{2} = 0$)

$$\upsilon' = \upsilon.$$

Dopplerov efekt kada se izvor giba

Sada ćemo izvesti matematički izraz za frekvenciju koju prima motritelj kada miruje, a izvor se giba. Pri izvodu, koristit ćemo Sliku 3, pri čemu je P_0 položaj izvora u trenutku t_0, P položaj izvora u trenutku t, M položaj motritelja i φ kut što ga zatvaraju radijus vektor položaja motritelja $\overrightarrow{r_0}$ i vektor brzine izvora $\vec{V}$.



Slika 3. Slikovni prikaz položaja izvora i motritelja u slučaju kada je motritelj fiksna točka, a izvor se giba od točke P_0 do P tijekom nekog vremena [2].

Promatramo periode akustičnog tlaka. Neka u trenutku t_0 izvor daje maksimum akustičnog tlaka. Taj maksimum do motritelja stiže za vrijeme

$$t_0' = t_0 + \frac{r_0}{v},$$

Gdje je v brzina zvuka. Uzmimo točku P takvu da izvor dođe do nje za vrijeme

$$t = t_0 + T,$$

gdje je T period titranja izvora zvuka. Tada će prijeđeni put izvora biti jednak

$$\overline{\mathrm{P_0P}} = VT\ .$$

Maksimum iz točke P doći će do motritelja M za vrijeme

$$t' = t_0 + T + \frac{r}{v}\,.$$

Motritelj mjeri prividni period izvora *T'*, što je razlika vremenskih interavala koje on zapaža u točkama P i P_0.

$$T' = t' - t'_0 = t_0 + T + \frac{r}{\nu} - \left(t_0 + \frac{r_0}{\nu}\right) = T + \frac{(r-r_0)}{\nu}.$$

Kada je P blizu P_0, tj kada se *t* malo razlikuje od t_0, tada trokut ΔMP_0P možemo aproksimirati pravokutnim trokutom kojemu je kateta $|P_0P|$ razlika radijvektora, a hipotenuza pomak izvora. Tada imamo jednadžbe:

$$r - r_0 = V(t - t_0)cos\varphi = VTcos\varphi.$$

$$T' = T + \frac{r - r_0}{\nu}.$$

$$r - r_0 = VTcos\varphi.$$

$$T' = T + \frac{VTcos\varphi}{\nu} = T(1 + \frac{V}{\nu}cos\varphi). \quad (5)$$

Povezat ćemo period i frekvenciju ν pomoću relacije:

$$\upsilon = \frac{1}{T}. \quad (6)$$

Kada uvrstimo jednadžbu (5) u jednadžbu (6) dobijemo

$$\upsilon' = \frac{\upsilon}{1+\frac{V}{\nu}cos\varphi}. \quad (7)$$

Jednadžbom (7) opisali smo frekvenciju koju prima motritelj koji miruje kada se izvor giba [2]. Dopplerov efekt je najizraženiji kada je kut φ jednak 0 (tada se izvor udaljava)

$$\upsilon' = \frac{\upsilon}{1 + \frac{V}{\nu}}.$$

ili kada je kut jednak π (tada se izvor približava):

$$\upsilon' = \frac{\upsilon}{1 - \frac{V}{\nu}}.$$

Dopplerov efekt za elektromagnetske valove

U slučaju elektromagnetskih valova nema sredstva u kojem se valovi šire i prema kojim bi se mogla definirati brzina opažača ili brzina izvora. Umjesto toga, izvor se veže uz neki koordinatni sustav S, a opažač uz neki sustav S'. Sustavi se jedan prema drugom gibaju relativnom brzinom $\vec{v}$. U specijalnoj teoriji relativnosti vrijeme ne teče jednako u sustavu koji miruje i u sustavu koji se giba, stoga moramo uzeti u obzir dilataciju vremena.Također, u obzir uzimamo i kontrakciju duljine. U izvodu ćemo koristiti varijantu Lorentzovih transformacija (8):

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8)$$

Pri čemu su x' i t' duljina, odnosno vrijeme koje opaža motritelj u sustavu S', a c brzina svjetlosti ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s) [2].

Promatrat ćemo slučaj kada se izvor i motritelj udaljavaju. Izvor se nalazi u sustavu S na koordinati $x = 0$. Neka se prvi signal emitira u trenutku $t_1 = 0$, a drugi u trenutku t_2. Prema izrazu za relativističko vrijeme u sustavu S' (8), prvi signal se emitira u trenutku $t'_1 = 0$, a drugi u trenutku t_2':

$$t'_2 = \frac{t_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

No u trenutku odašiljanja drugog signala sa stanovišta sustava S', izvor se nalazi na koordinati

$$x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{-vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Da bi svjetlost došla do ishodišta sustava S', treba prijeći put x_2' brzinom c

$$\frac{-x_2'}{c} = \frac{\frac{t_2 v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Tako je ukupni vremenski razmak signala u vremenu u sustavu S' jednak:

$$\Delta t' = t_2' + \left(\frac{-x_2{}'}{c}\right) = \frac{t_2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + \frac{\frac{t_2 v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = t_2 \frac{\sqrt{1+\frac{v}{c}}}{\sqrt{1-\frac{v}{c}}}.$$

Frekvencija i vrijeme su međusobno recipročni, stoga vrijedi:

$$\upsilon' = \upsilon \frac{\sqrt{1-\frac{v}{c}}}{\sqrt{1+\frac{v}{c}}}, \text{ (9)}$$

pri čemu je v' frekvencija koju prima opažač u sustavu S'.

Proširivanjem izraza (9) s $\sqrt{1-\frac{v}{c}}$ dobivamo sljedeću relaciju:

$$\upsilon' = \upsilon \frac{1-\frac{v}{c}}{[1-\left(\frac{v}{c}\right)^2]^{\frac{1}{2}}}. \text{ (10)}$$

U relaciji (10) ponavlja se relativistički faktor $[1-(\frac{v}{c})^2]^{\frac{1}{2}}$, u kojem se može pretpostaviti da je $(\frac{v}{c})^2$ zanemariv u odnosu na 1 te početna jednadžba prelazi u Dopplerovu relaciju;

$$v' = v(1-\frac{v}{c}) \text{ . (11)}$$

Analaogno, za slučaj približavanja sustava S i S', izvod izraza za opaženu frekvenciju vodit će izrazu

$$v' = v\left(1+\frac{v}{c}\right). \text{ (12)}$$

Primjene Dopplerovog efekta

Primjena u astrofizici

U astrofizici se promatra svjetlost zvijezda, odnosno frekvencije te svjetlosti, što podrazumjeva primjenu Dopplerovog efekta na elektromagnetske valove. Dakle, promatramo kooridnatne sustave S i S', kao što je definirano u prethodnom poglavlju. Kada se sustavi S i S' međusobno udaljavaju, opažač u S' mjeri frekvenciju v' manju od frekvencije v u sustavu S. To je u astrofizici dobro poznati *crveni pomak* spektralnih linija galaksija, za koje se pretpostavlja da se međusobno udaljavaju veoma velikim brzinama. Zvijezde su naime sastavljene od istih atoma kao i Zemlja, no spektralne linije tih atoma, mjerene na Zemlji (sustav S'), pomaknute su prema manjim frekvencijama, odnosno većim valnim duljinama. Izrazimo taj pomak prema crvenom dijelu spektra pomoću duljina vala. Iz već navedene Dopplerove relacije (11) za elektromagnetske valove dobivamo;

$$\upsilon'-\upsilon=-\frac{v}{c}\upsilon\ . \quad (13)$$

Relacija (14) koja povezuje frekvenciju υ s brzinom svjetlosti c i valnom duljinom λ i glasi:

$$\upsilon=\frac{c}{\lambda}\ . \quad (14)$$

Uvrštavajući (14) u (13) slijedi:

$$\frac{c}{\lambda\prime}-\frac{c}{\lambda}=-\frac{v}{c}\cdot\frac{c}{\lambda}\ . (15)$$

Sređivanjem izraza (15) dobit ćemo:

$$\lambda-\lambda'=-\left(\frac{v}{c}\right)\lambda'.$$

I kada podijelimo s λ'

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda'}=\frac{v}{c}\ . \quad (16)$$

Pomoću Dopplerove relacije pokazali smo da je *crveni pomak* porast valne duljine elektromagnetskog zračenja izražen formulom (16) gdje je $\Delta\lambda$ promjena opažene valne duljine uslijed Dopplerovog efekta, a λ' opažena valna duljina [3].

Ultrazvuk u medicini

Ultrazvuk obuhvaća one mehaničke oscilacije čija je frekvencija iznad gornje granice čujnosti, tj. iznad 20000 Hz. Ultrazvučni valovi šire se istom brzinom kao i obični valovi zvuka, ali dok se valovi zvuka šire na sve strane u koncentričnim krugovima, valovi ultrazvuka mogu se usmjeriti u uskom snopu. Za proizvodnju ultrazvuka postoji više metoda, ali je najznačajnija ona koja se zasniva na tkz. magnetostrikciji[1] i na piezoelektričnom efektu[2]. U medicinskoj dijagnostici koriste se ultrazvuci frekvencija između 3 i 10 MHz. U ljudskom tijelu se ultrazvuk prvenstveno širi longitudinalnim valovima, kod kojih čestice sredstva titraju uzduž smjera širenja valova. Dopplerov efekt djeluje tako da prijemnik, koji se kreće relativno prema (piezoelektričnom) pretvaraču, prima drugačiju frekvenciju od odaslane. Piezoelektrični pretvarač pretvara električne pulseve u zvučne vibracije i obrnuto. Ako se prijemnik i odašiljač približavaju, frekvencija koju prima prijemnik viša je od odaslane, a ako se udaljavaju, primljena frekvencija je niža. Razlika odaslane i primljene frekvencije naziva se Dopplerovim pomakom, i upravo je proporcionalna brzini približavanja ili udaljavanja odašiljača i prijemnika. U medicini se ovaj efekt primjenjuje tako da se ultrazvuk usmjerava na pokretne reflektore (obično eritrociti u pokretu) i mjeri se razlika odaslane i reflektirane frekvencije, iz čega se može odrediti brzina i karakteristike protoka krvi. Važno je znati da Dopplerov efekt postoji samo ako se zbog kretanja mijenja udaljenost primopredajnika i reflektora. To znači da nema Dopplerovog pomaka ako je brzina kretanja pod pravim kutom na ultrazvučni snop. Kretanje pod nekim drugim kutom mora se uzeti u obzir odgovarajućim proračunom. Primjer jedne ultrazvučne slike nalazi se na Slici 4 [4].

[1] Pojava pri kojoj se mijenja duljina tijela načinjenih od feromagnetskih materijala pod utjecajem magnetskog polja [17]

[2] Stvaranje pozitivnih i negativnih naboja na suprotnim plohama nekih posebno brušenih kristala kao posljedica djelovanja vanjske sile na na kristal [18]



Slika 4. Ultrazvučna fotografija nerođenog djeteta [5].

Dopplerov radar

Dopplerov radar je specijalizirani radar koji radi na principu Dopplerovog efekta i mjeri brzinu objekata u daljini. Djeluje tako što odašilje mikrovalove u „metu“ kojoj mjeri brzinu i „čeka“ frekvenciju koju će meta odaslati nazad. Nakon toga analizira kako brzina mete utječe na vraćenu frekvenciju. Veza između frekvencije i brzine dana je jednadžbom: $v = \lambda\upsilon$, pri čemu je λ valna duljina elektromagnetskog vala, a ν njegova frekvencija. Radar se koristi u zrakoplovstvu, satelitima koji nas okružuju, meteorologiji, policijskim pištoljima koji mjere brzinu, radiologiji i bistatičkom radaru [6].

U meteorologiji on služi za detekciju oborina, računa njihovu brzinu i određuje tip oborine: kiša, snijeg, tuča itd. Radar odašilje mikrovalove koji traju mikrosekundu, koristeći šuplji magnetron[3] ili klistronsku cijev[4] povezanu valnim vodičem s paraboličnom antenom. Valne duljine od 1 do 10 centimetara su oko deset puta veće od promjera kapljice kiše ili čestica leda i njima se prepoznavaju čestice leda. Valne duljine od jednog centimetra koriste se i za prepoznavanje magle [7]. Uređaj se nalazi na Slici 5.

[3] Elektronska cijev za generiranje visokofrekventnih titraja. [19]
[4] Elektronska cijev za stvaranje i pojačavanje signala u višem radiofrekvencijskom (300 MHz do 3 GHz) i mikrovalnom području (3 do 30 GHz) [20]



Slika 5. Meteorološki radar za prepoznavanje oborina [8].

Policijski pištolj za mjerenje brzine (Slika 6) sastoji se od radio-odašiljača i prijemnika. Pištolj odašilje radio-signal u uskim snopovima, zatim prima signal koji se odbije od mete. Pomoću razlike dviju frekvencija pištolj može izračunati brzinu vozila prema izrazu:

$$v = \frac{\Delta f}{f}\frac{c}{2}.$$

Gdje je *c* brzina svjetlosti, *Δf* je razlika odaslane i primljene frekvencije, a *f* frekvencija koju je odaslao odašiljač [9].

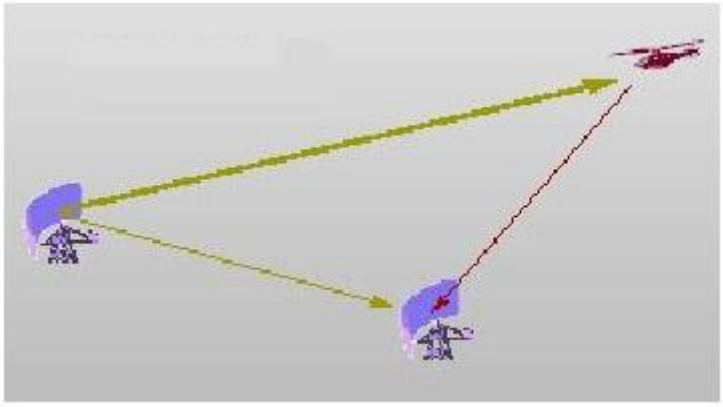


Slika 6. Policijski pištolj za mjerenje brzina vozila [10]

Bistatički radar služi za računanje udaljenosti nekog jako udaljenog objekta pomoću radiovalova. To je radarski sustav koji sadrži odašiljač i prijemnik koji su udaljeni tako da mogu uspoređivati udaljenost mete od jednog i drugog radara. Na Slici 7 prikazano je kako on

radi na primjeru letjelice. Odašiljač zrači elektromagnetske valove kao niz kratkih impulsa. U razdoblju između odašiljanja dvaju uzastopnih impulsa prijamnik prima odjeke koji nastaju refleksijom odašiljačkih impulsa od objekata u promatranom prostoru. Udaljenost *R* objekta od radara određuje se na temelju vremena *t* potrebnog da elektromagnetski val (brzinom svijetlosti *c*) prijeđe put od radara do objekta:

$$R = \frac{c\,t}{2}$$ [11].



Slika 7. Shema rada bistatičkog radara [12]. Oba radara mjere udaljenost do letjelice. Poznavajući udaljenosti triju objekata, može se odrediti točna koordinata letjelice u prostoru.

Mjerenje morskih struja

Uređaj koji mjeri brzine struja u moru, rijekama i jezerima je akustički Dopplerov strujomjer (ADCP, tj. Accoustic Doppler Current Profiler), Slika 8 ADCP koristi Dopplerov efekt tako što odašilje zvučne signale na određenoj fiksnoj frekvenciji i prima povratni eho dobiven od raspršivača zvuka u vodi. Raspršivači zvuka su bilo koje čestice ili planktoni koji rasrpšuju zvuk nazad u ADCP. Nalaze se svuda u vodi i u prosjeku se kreću istom horizontalnom brzinom kao i voda, što je najvažnija pretpostavka jer uređaj mjeri zapravo brzinu tih čestica [13].

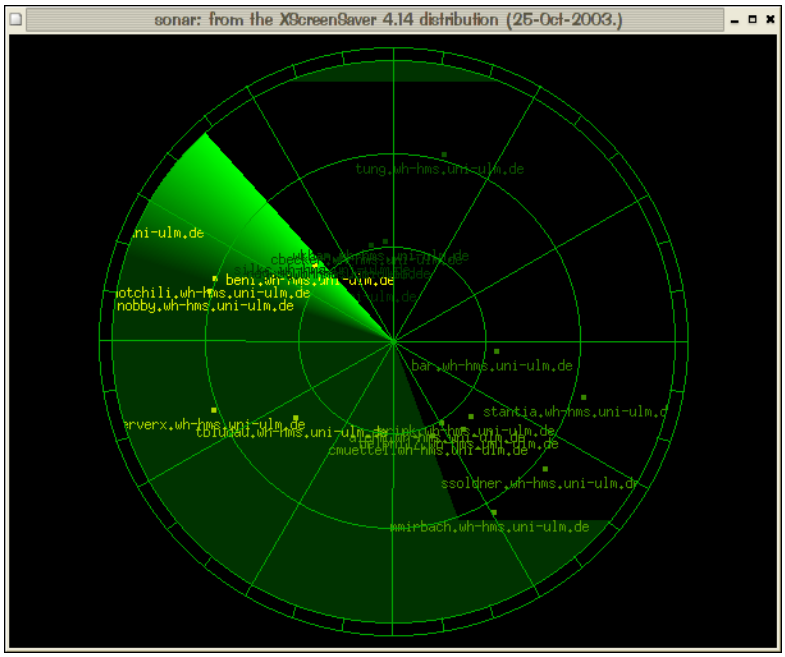


Slika 8. Uređaj ADCP (Accoustic Doppler Current Profiler) [14]

Uređaj koristi četiri karakteristične akustične zrake za mjerenje brzine. Jedan par zraka mjeri jednu horizontalnu komponentu i vertikalnu komponentu, a drugi par zraka mjeri drugu horizontalnu komponentu, okomitu na prvu, i vertikalnu komponentu. Ukupno, mjeri se procjena dvije horizontalne brzine i dvije vertikalne brzine. Iz dvije vertikalne brzine računa se greška brzine koja daje pretpostavku jesu li izračunate horizontalne brzine dobre ili ne. Na taj način vrši se provjera kvalitete podataka.

Sonari

Sound Navigation And Ranging zajedničko je ime za elektroničke uređaje koji se koriste za određivanje navigacijskih parametara ispod površine mora, najčešće za mjerenje brzina, dubina i podvodnih udaljenosti. Naziv se koristi isključivo za podvodne uređaje, bez obzira koju komponentu mjeri. Kod podvodnih mjerenja koriste se isključivo frekvencije iz frekventnog spektra od 30 kHz do 50 kHz jer valovi frekvencija koje su više od zvučnih ne mogu se rasprostirati ispod morske površine. Zvučne frekvencije zauzimaju frekventno područje od 100 Hz do 10 kHz, a ultrazvučne između 10 kHz i 55 kHz [15]. Primjer jednog sonarnog uređaja nalazi se na Slici 9. U središtu kružnice je plovilo u kojem se nalazi sonar. Kvadratići predstavljaju plovila koja je zabilježio sonar i koja se nalaze na određenoj udaljenosti od sonara.



Slika 9. Sonar [16]. U središtu kružnice je plovilo u kojoj se nalazi sonar. Kvadratići predstavljaju plovila koja se nalaze na nekoj udaljenosti od sonara.

Zaključak

Približavanjem ili udaljavanjem izvora frekvencija od nas, zapažamo frekvencije različite od odaslanih. Ovakva pojava je poznata pod nazivom Dopplerov efekt. Dopplerov efekt nalazi primjenu u puno aspekata života. Izvorno je Doppler primjenu tražio u astrofizici za računanje udaljenosti zvijezda kada je promatrao frekvencije svjetlosti koje emitiraju zvijezde.

Veliki doprinos Dopplerovog efekta nalazimo i u medicini. Pomoću ultrazvuka može se pratiti razvoj nerođene bebe, otkriti tumore i druge nepravilnosti unutarnjih organa, što poboljšava kvalitetu života u smislu zdravlja.

Po Doppleru je nazvan i radar koji ima mnogo primjena: mjerenje brzina predmeta, određivanje vremenske prognoze te bistatički radar koji služi za koordinaciju objekata oko nas.

Pomoću Dopplerovog strujomjera može se istraživati strujanje mora, što je korisno i za proučavanje klime, vjetrova pa i ekologije.

U moreplovstvu, pomoću sonara, mogu se pratiti plovila i određivati njihovu udaljenost. Uglavnom se sonari koriste za koordiniranje u prostoru.

Dopplerov efekt ima velike doprinose u znanosti i ima razne primjene koje su korisne za čovječanstvo.

Literatura

[1] E. J. Jonkman: *An Historical note; Doppler research in the nineteenth century,* URL: http://www.umbjournal.org/article/0301-5629(80)90056-3/abstract?cc=y, 6.8.2016.

[2] http://www.fizika.unios.hr/~branko/of3.htm, prezentacija Akustika.pptx, 6.8.2016

[3] M. Paić: *Osnove fizike 4 dio,* Sveučilišna naknada Liber, Zagreb 1983.

[4] M. Pecušak: *Primjena ultrazvuka u medicini,* Fakultet strojarstva i brodogradnje, URL: http://www.fsb.unizg.hr/ndt/stud/radovi/M_Pecusak.pdf

[5]http://nd03.jxs.cz/540/170/607d82da8b_89328742_o2.jpg, 6.8.2016.

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_radar, 6.8.2016.

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar, 6.8.2016.

[8] http://4warnwxteam.files.wordpress.com/2011/04/doppler1.jpg, 6.8.2016.

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Radar_gun, 6.8.2016.

[10] http://www.rctech.net/forum/attachments/monster-trucks/118019d1139390335-police-speed-gun-now-available-speedgun.jpg, 6.8.2016.

[11] http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51409, 6.8.2016.

[12] http://4.bp.blogspot.com/_kaQ5P19FVgk/TN7K7_MtfxI/AAAAAAAAHQA/n-GP_hDK8XA/s400/Bistatic_radar.JPG, 6.8.2016.

[13] I. Tomažić: *Dopplerov efekt i mjerenje morskih struja;* Zavod za istraživanje mora, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, URL: http://ljskola.hfd.hr/arhiva/2003/tomazic.pdf

[14] http://www.rdinstruments.com/images/web_sentinel1105.jpg, 6.8.2016.

[15] http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=57150, 6.8.2016.

[16] http://i726.photobucket.com/albums/ww264/Jinaki91/sonar.png, 6.8.2016.

[17] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=38046, 6.8.2016.

[18] http://www.medicinski-leksikon.info/znacenje/piezoelektricni-efekt.html, 6.8.2016.

[19] http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=38048, 6.8.2016.

[20] http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31930, 6.8.2016.

Životopis

Ana Heđi rođena je 25.10.1994. u Virovitici. Živi u Donjem Miholjcu. Osnovnu školu je do drugog razreda osnovne škole pohađala u OŠ Davorin Trstenjak u Čađavici, a završila u OŠ A. Harambašića u Donjem Miholjcu. Završila je opću gimnaziju u SŠ Donji Miholjac. Školovanje je nastavila na Preddiplomskom studiju fizike u Osijeku. U slobodno vrijeme voli se baviti raznim sportovima.