

Efectul Doppler

Unda emisă de o sursă de oscilații se propagă de la sursă până la receptorul care o detectează. Prin detectarea undei se înțelege măsurarea unei anumite mărimi caracteristice ei, de exemplu, frecvența undei. Dacă sursa și receptorul sunt în repaus unul față de celălalt, frecvența undei măsurată de receptor este egală cu frecvența undei emisă de sursă. Așa se întâmplă atât cu undele sonore cât și cu cele luminoase. Dacă însă sursa de oscilații este în mișcare față de receptor, frecvența undei măsurată de receptor diferă de aceea a undei emisă de sursa de oscilații. Acest fapt care se observă când sursa și receptorul sunt în mișcare unul față de celălalt, se numește efectul Doppler; acest efect este foarte important atât în știință cât și în tehnică.

Explicația efectului Doppler se va face folosind figura 1. care redă undele sferice ce izvorăsc din sursa de oscilații S. Dacă sursa se mișcă, de exemplu din S în S', undele sferice emise succesiv, se apropie unele de altele în sensul de mișcare al sursei. Distanța dintre suprafețele sferice de egală fază reprezintă lungimea de undă; se observă astfel că la receptorul R staționar, ajung în unitatea de timp, unde cu suprafețele sferice mai apropiate între ele în comparație cu situația în care sursa ar fi în repaus față de receptor. Întrucât suprafețele de egală fază sunt aparent mai apropiate, lungimea de unda aparentă λ_a este mai mică și deci frecvența undelor măsurată de receptor este în acest caz mai mare. Dacă sursa este staționară, iar receptorul se deplasează către sursa S, ca în figura 2., acesta întâlnește în unitatea de timp mai multe unde sferice, decât dacă receptorul ar fi fost fix și undele ar fi ajuns la el. Ca urmare receptorul în mișcare către sursă detectează o frecvență mai mare.

În consecință, frecvența detectată de receptor crește dacă mișcarea relativă a sursei față de receptor, receptorul fiind în poziția R' în figura 1., printr-un raționament analog cu acela făcut mai înainte, se ajunge la concluzia că frecvența măsurată de receptor scade. Dacă sursa stă pe loc iar receptorul R' se deplasează, în situația figurii 2, de la dreapta spre stânga, depărtându-se de sursă, undele sferice ajung la receptor mai rar în timp, decât dacă receptorul ar fi fost în repaus și deci acesta detectează o frecvență mai mică. Prin urmare, frecvența detectată scade, dacă mișcarea relativă a sursei față de receptor îi depărtează pe unul de celălalt.

Pentru a exprima cantitativ modificarea frecvenței în efectul Doppler se notează cu v viteza de deplasare a sursei S față de receptor, cu v_S frecvența undelor emise de sursă și cu v_R frecvența undelor măsurate de receptor. Undele studiate se propagă cu viteza v în mediul în care se găsesc sursa și receptorul;

această viteză fiind o caracteristică a mediului respectiv nu este afectată de mișcarea sursei sau a receptorului.

În timpul t sursa emite $v_S \cdot t$ și, dacă sursa ar fi fixă, aceste unde ar parcurge distanța $v \cdot t$. Lungimea de undă se obține ca raportul între distanța $v \cdot t$ parcursă și numărul de unde care acoperă această distanță adică

Relația obținută este binecunoscută, dar ea a fost stabilită printr-un raționament nou care va fi folosit în cazul în care există mișcarea sursei sau a receptorului.

Dacă sursa se deplasează către receptor cele $v_S \cdot t$ unde emise de sursa se vor răspândi într-un spațiu mai mic decât $v \cdot t$, deoarece în timpul t sursa însăși s-a deplasat cu distanța $u \cdot t$. Aceasta înseamnă că numărul de unde $v_S \cdot t$ emise de sursă în timpul t se vor găsi în spațiul $v \cdot t - u \cdot t$, iar lungimea de undă aparentă, definită ca raportul între spațiul $v \cdot t - u \cdot t$ și numărul de unde $v_S \cdot t$ este

Frecvența corespunzătoare lungimii de undă λ_a este frecvența măsurată de receptor ν_R .

Dacă sursa se depărtează de receptor, numărul de unde $v_S \cdot t$ se întind pe distanța $v \cdot t + u \cdot t$; lungimea de undă aparentă este în acest caz $\lambda_a = (v+u)/v_S$. Adoptând convenția că u este pozitiv pentru mișcarea sursei către receptor și negativ când sursa se îndepărtează de receptor, relația (1) este aplicabilă și în acest caz.

Presupunând apoi că receptorul se mișcă spre sursă cu viteza u' , viteza sa relativă față de unde este $v+u'$, iar numărul de unde pe care receptorul le întâlnește în timpul t este $(v+u')t/\lambda_a$ în care $\lambda_a = v/v_S$. Frecvența măsurată de receptor este

Dacă receptorul se depărtează de sursă, la el ajung mai puține unde în timpul t , $(v-u')t/\lambda_a$, și deci frecvența măsurată de receptor va fi $(v-u')\lambda_a$. Convenția ca u' să fie pozitiv când receptorul se apropie de sursa și negativ când se depărtează de sursă, face ca relația (2) să se aplice și în acest caz.

În cazul în care atât sursa cât și receptorul sunt în mișcare unul față de altul, relația generală este

care se reduce la (1) pentru $u'=0$ (R staționar) și la (2) pentru $u=0$ (S staționar). În rezumat frecvența măsurată crește $\nu_R > \nu_S$, la apropierea relativă, adică fie pentru $u > 0$ fie pentru $u' > 0$ și frecvența măsurată scade, $\nu_R < \nu_S$, la depărtarea relativă, adică fie pentru $u < 0$ fie pentru $u' < 0$.

Aceste rezultate sunt aplicabile în multe cazuri. De exemplu pentru undele sonore un observator percepe o frecvență mai mare, adică sunete mai înalte dacă sursa de sunete se apropie de el și o frecvență mai mică, adică sunete mai joase, dacă sursa se depărtează.

Efectul Doppler este foarte important în astronomie unde prin măsurarea frecvenței radiațiilor care provin de la stele sau galaxii îndepărtate se poate stabili mișcarea acestora față de planeta noastră. Prin astfel de măsurători se obține întotdeauna o frecvență mai mică a radiațiilor luminoase caracteristice astrilor respectivi. Aceasta înseamnă că lungimea de undă măsurată este mai mare decât cea reală; cu alte cuvinte are loc o deplasare spre „roșu” a radiațiilor luminoase respective) lumina roșie are lungimea de undă cea mai mare în domeniul vizibil). Valoarea variației frecvenței crește cu distanța de la Pământ, ceea ce sugerează că întregul Univers este în expansiune, adică toți astrii se îndepărtează spre limitele Universului, cu viteze din ce în ce mai mari pe măsură ce sunt mai depărtați de Pământ. Aceasta este o problema majora a cosmologiei și studiul ei se bazează în principal pe efectul Doppler.