

Física II – Efeito Doppler

João Francisco Fuzile Rodrigues Garcia -- 8549323

Maiara Fernanda Moreno – 8549344

Otávio Massola Sumi - 8549452

Ex. 15.73 •• Um radar emite micro-ondas com a frequência de 2,00 GHz. Quando as ondas se refletem num carro que se afasta do emissor, percebe-se uma diferença de frequência de 293 Hz. Estimar a velocidade do carro.

• Introdução

O **Efeito Doppler** é um fenômeno observado nas ondas quando emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento com relação ao observador. Se uma fonte sonora e um receptor estão se movendo, um em relação ao outro, a frequência recebida não é a mesma frequência da fonte. Se eles estão se aproximando, a frequência recebida é maior do que a frequência da fonte; se eles estão se afastando, a frequência recebida é menor do que a frequência da fonte. Um exemplo típico é o da sirene da ambulância: o som que se ouve quando está longe e perto do receptor é diferente. Neste caso, a onda se propaga num meio.

Esse fenômeno também pode ser visto em ondas eletromagnéticas, que não precisam de um meio para se propagarem, e então é feita uma análise relativística nesses casos. De acordo com a teoria da relatividade, o movimento absoluto não pode ser detectado, e todos os observadores medem a mesma rapidez c para a luz, independente do seu movimento em relação a fonte. Assim a seguinte equação não pode ser correta para o deslocamento Doppler da luz:

$$f' = \frac{v \pm u''}{v \pm u'} f$$

Onde:

f = frequência emitida pela fonte

f' = frequência percebida pelo receptor

v = velocidade da onda

u'' = velocidade do receptor

u' = velocidade da fonte

Duas modificações devem ser feitas para o cálculo do efeito Doppler relativístico para a luz.

Primeiro, a rapidez das ondas que passam por um receptor é c , que é independente do movimento do receptor. Segundo, o intervalo de tempo entre a emissão de cristas sucessivas, que é $T=1/f$ no referencial da fonte, é diferente no referencial do receptor quando os dois referenciais estão em movimento relativo, por causa da dilatação do tempo e da contração do comprimento relativísticos. Resulta que a frequência recebida depende apenas da rapidez relativa de aproximação (ou de afastamento) u , e relaciona-se com a frequência emitida por:

$$f' = \sqrt{\frac{c \pm u}{c \pm u}} f$$

Devem ser escolhidos os sinais que desloquem para a cima a frequência quando a fonte e o receptor se aproximam, e vice-versa.

Novamente, quando $u \ll c$, $\frac{\Delta f}{f} \approx \pm \frac{u}{c}$, onde $u = u' + u''$.

Um exemplo é o de um radar de polícia utilizado para medir a rapidez de um veículo. Nesta situação as ondas emitidas pelo transmissor atingem o carro em movimento. O carro atua tanto como um receptor em movimento quanto como uma fonte em movimento, quando a onda reflete nele de volta para o receptor do radar.

• Resolução

Dados do exercício:

$$f = 2,00 \text{ GHz} = 2,00 \times 10^9 \text{ Hz} \rightarrow \text{frequência emitida pelo radar}$$

$v = c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ -> velocidade das micro-ondas (utiliza-se a velocidade da luz, pois são ondas eletromagnéticas)

$u = \text{rapidez da fonte em relação ao receptor}$

Para resolver o exercício, é necessário fazer uso da seguinte fórmula que relaciona variação de frequência com a rapidez da fonte em relação ao receptor:

$$|\Delta f| = \frac{u f}{v}$$

A velocidade da fonte e a velocidade do receptor são as mesmas (logo utilizaremos o sinal positivo na equação a seguir), uma vez que u' refere-se à velocidade do carro quando reflete a frequência recebida do radar (age como fonte) e u'' refere-se à velocidade do carro quando recebe a frequência do radar (age como receptor). Como o carro é o mesmo nas duas situações, então as velocidades serão as mesmas. Assim, substituindo-se na equação $u = u' \pm u''$, teremos:

$$u = u' + u''$$

$$u = u'' + u''$$

$$u = 2u''$$

Substituindo essa igualdade na fórmula apresenta no começo da resolução, teremos:

$$|\Delta f| = \frac{u f}{v}$$

$$|\Delta f| = \frac{2 u'' f}{v}$$

Modificando agora essa equação para isolar o termo u'' :

$$u'' = \frac{|\Delta f| v}{2f}$$

Substituindo os valores fornecidos no enunciado:

$$u'' = \frac{293 \text{ Hz} \times 3,0 \times (10^8) \text{ m/s}}{4,00 \times (10^9) \text{ Hz}}$$

$$u'' \cong 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 79,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Portanto, a velocidade do carro é de 22 m/s, ou 79,2 km/h.

• **Bibliografia**

Paul A.Tipler - Física para cientistas e engenheiros – Quarta edição; V1.