

Kankor Widget ابزار کانکور

جدیدترین تکنالوژی آموزشی در سطح کشور

امواج الکترومغناطیسی





فهرست مطالب

1.....	امواج الکترومغناطیسی
1.....	تعریف موج الکترومغناطیسی
2.....	چگونگی تشکیل موج های الکترومغناطیسی توسط یک آنتن
5.....	مفاهیم
7.....	معادله موج الکترومغناطیسی
10.....	انرژی امواج الکترومغناطیسی
11.....	سوالات
12.....	منابع
14.....	مأخذ

امواج الکترومغناطیسی

اهدای کننده: ابزار کانکور

منبع: کتابخانه درخت دانش

جواز / دارنده حق چاپ: دامنه عمومی / CC.0

امواج الکترومغناطیسی

نوع دیگری از امواج، امواج الکترومغناطیسی می‌باشند. این امواج هم در ماده و هم در خلا منتشر می‌شوند. مایکل فارادی دانشمند انگلیسی و جیمز کلارک ماکسول فزیکدان سکاتلندی نقش‌های عمده در کشف پدیده‌های الکترومغناطیسی و مطالعه بر روی آنها را داشتند.

در فیزیک در فصل القای الکترومغناطیسی، در قانون فارادی دیدیم اگر مقدار چارچ عبور کننده از یک مدار بسته تغییر کند نیرو محرکه در مدار ایجاد می‌شود که بزرگی آن با میزان تغییر چارچ متناسب است، این نیرو محرکه القایی ایجاد کننده یک جریان برقی القایی می‌باشد:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{N}{R} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \dots\dots\dots(1)$$

اگر دقیق به موضوع بنگریم درمی‌یابیم که به دلیل تغییر شار مغناطیسی، یک ساحه الکتریکی القایی E به وجود می‌آید، که در این ساحه طبق رابطه:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \dots\dots\dots(2)$$

به الکترون‌ها قوه وارد شده و سبب حرکت انتقالی آن شده است.

نکته مهم این است، که این ساحه الکتریکی حتی وقتی مدار وجود ندارد نیز ایجاد می‌شود، یعنی ساحه مغناطیسی متغیر با زمان، ساحه الکتریکی را به وجود می‌آورد یعنی:

« ساحه الکتریکی را تنها چارچ‌های الکتریکی تولید نمی‌کند، بلکه در اثر تغییر ساحه مغناطیسی نیز بوجود می‌آید »

ماکسول، پیش‌بینی نمود همانطوریکه در اثر تغییر ساحه مغناطیسی در فضا ساحه الکتریکی تولید می‌شود، در اثر تغییر ساحه الکتریکی نیز ساحه مغناطیسی ایجاد می‌شود، یعنی علاوه بر جریان الکتریکی و آهنربا، تغییر ساحه الکتریکی نیز می‌تواند منشأ ساحه مغناطیسی باشد. ساحه مغناطیسی ایجاد شده همه جا بر راستای تغییرات ساحه برقی (E) عمود است.

به همین ترتیب نیز یک ساحه مغناطیسی متغیر نظر به زمان یک ساحه الکتریکی ایجاد می‌کند که همه جا بر راستای ساحه مغناطیسی (B) عمود است.

تعریف موج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی یک دسته از امواج است که دارای مشخصات زیر است:

- امواج الکترومغناطیسی دارای ماهیت و سرعت یکسان هستند و فقط از لحاظ فریکوانسی، یا طول موج با هم تفاوت دارند.
- در طیف امواج الکترومغناطیسی هیچ خالیکه وجود ندارد. یعنی هر فریکوانسی دلخواه را می‌توانیم تولید کنیم.
- برای مقیاس‌های فریکوانسی یا طول موج، هیچ حد بالا یا پائین تعیین شده‌ای وجود ندارد.
- از جمله منابع زمینی امواج الکترومغناطیسی می‌توان به امواج دستگاه‌های تلفن، چراغ‌های روشنایی و مانند آن اشاره کرد.
- این امواج برای انتشار خود نیاز به محیط مادی ندارند.

- امواج الکترومغناطیسی جز و امواج عرضی هستند.

از کورس فزیک برق می‌دانیم که اگر چارج برقی حرکت نماید به اطراف آن ساحه مقناطیسی تولید می‌شود. به عباره دیگر هرگاه در نقطه از محیط جریان متناوب ایجاد گردد، همراه با آن ساحه مقناطیسی متحول بروز می‌کند (الکترومگنیتیسم). ساحه مقناطیسی متحول بنوبه خود سبب بوجود آمدن ساحه برقی متغیر می‌گردد (الفا الکترومقناطیسی) که این ساحه همچنان سبب بوجود آمدن جریانی می‌گردد، که بنام جریان تغییرمکان یاد می‌شود. جریان تغییر مکان مانند جریان عادی از نو باعث بروز ساحه مقناطیسی می‌گردد. شرح فوق را می‌توان طور سیستماتیک در ذیل چنین ارائه کرد:



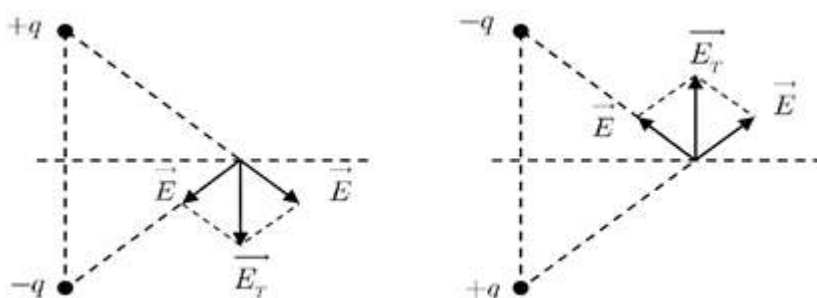
همین طور هرگاه در نقطه از فضا اهتزاز برقی بوجود آید، بتدریج میدان عمل آن قسمت های جدید فضا را احتوا می‌کند، یعنی هنگامیکه یک اهتزاز برقی در محل معین ایجاد شد، این اهتزاز محدود در محل خود نمانده و بشکل انتشار موج الکترومقناطیسی هر چه بیشتر حجم جدیدی از فضا را اشغال می‌کند. افاده ریاضی این حوادث عبارت از معادلات ماکسویل است که بر پایه حقایق تجربی استوار می‌باشد که در بخش معادلات موج های الکترومقناطیسی آنها را بیان خواهیم نمود.

چگونگی تشکیل موج های الکترومقناطیسی توسط یک آنتن

عامل اصلی ایجاد موجهای الکترومقناطیسی، ذرات چارچ دار شتابدارند. این ذرات بخشی از انرژی خود را به صورت موج های الکترومقناطیسی پخش میدارند. در یک فرستنده رادیویی ذرات چارچ دار شتابدار الکترون هایی هستند که در یک آنتن به جلو و عقب می‌روند. حرکت این چارچ ها از یک ولتاژ متغیر سرچشمه می‌گیرد. یکی از انواع حرکت های شتابدار، حرکت هماهنگ ساده (نوسانی ساده) است.

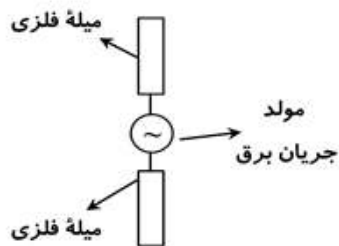
در یک آنتن یک منبع ولتاژ متناوب (برق شهر) بارهای الکتریکی آنها را وادار به نوسان میکند. برای درک ساز و کار چگونگی تولید یک موج الکترومقناطیسی به موارد زیر توجه میکنیم:

(۱) ساحه الکتریکی دو قطبی الکتریکی، روی عمود منصف این دو قطبی الکتریکی در شکل (۱) نشان داده شده است:



شکل (۱) ساحه الکتریکی دو قطبی الکتریکی را نشان می‌دهد

(۲) در آنتن های فرستنده برای به نوسان در آوردن ذره های چارچ دار از مولد جریان متناوب (AC) استفاده می شود. برخی آنتن های فرستنده از دو میله تشکیل شده اند که به دو سر مولد (AC) متصل شده اند، قسمتی که در تصویر (۲) مشاهده می کنید.



می دانیم قوه محرکه القایی ایجاد شده در یک مولد جریان برق (متناوب) در ساده ترین شکل $(\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cdot \sin \omega t)$ می باشد.

شکل (۲) دو میله یک آنتن را نشان

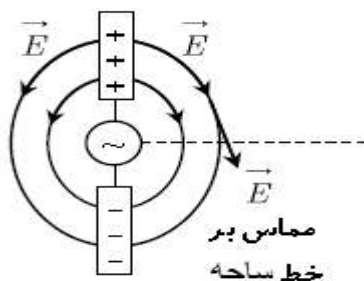
(۳) وضعیت چارچ دار شدن میله ها و نوع می دهد که به جریان متناوب وصل است

ان ها؟ همان گونه که می دانیم در یک مولد جریان برق متناوب $\left(\begin{matrix} \mathcal{E} = \mathcal{E}_m \cdot \sin \omega t \\ I = I_m \cdot \sin \omega t \end{matrix} \right)$

است، طوریکه $(\mathcal{E})$ و (I) با یک دیگر هم فاز اند (با هم صفر و با هم max می شوند) اما طبق رابطه $(\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \cdot \sin \omega t)$ واضح است وقتی (I) تابع سینوسی است، (q) چون آنتی گرال تابع جریان می باشد تابع کوسینوسی می باشد پس (I) و (q) به اندازه $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ با یک دیگر اختلاف فاز دارند، یعنی:

$$\left\{ \begin{matrix} \text{if : } q = \pm q_0 \Leftrightarrow I = 0 \\ f : q = 0 \Leftrightarrow I = I_{\max} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} I \uparrow \Leftrightarrow q \downarrow \\ I \downarrow \Leftrightarrow q \uparrow \end{matrix} \right\}$$

(۴) شکل های زیر طرز تولید یک موج الکترومغناطیسی را در یک آنتن نشان می دهند، در $t = 0$ فرض شده که میله بالایی دارای بیش



ترین چارچ مثبت و میله پایینی دارای همان مقدار چارچ منفی است که در تصویر (۳) نشان داده شده است. خطوط ساحه الکتریکی تولید شده توسط میله ها مشابه خطوط ساحه برقی است که توسط مولد های دو قطبی تولید می شود. در حالت $(q = \pm q_m)$ و $(I = 0)$ با افزایش (I) و در نتیجه کاهش (q) چارچ میله ها کاهش و توانایی میله ها در ایجاد ساحه برقی کاهش می یابد. برای اینکه این موضوع واضعتر شود، تصویر (۴) و (۵) را در نظر می گیریم، و گراف ان را رسم می کنیم.

تصویر (۳) میله آنتن را نشان می دهد، که چارچ

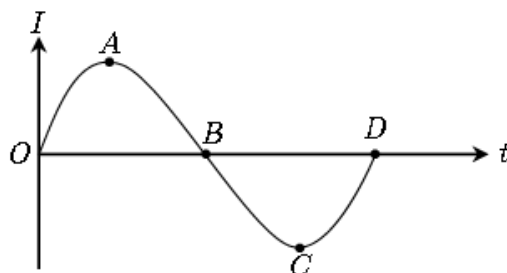
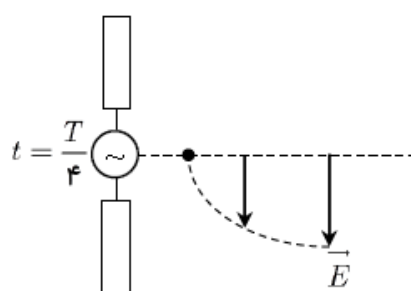
های مثبت

و منفی در میله های بالای و پایینی مساویانه

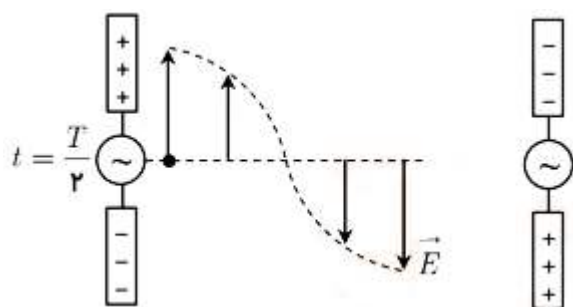
تقسیم شده است.

مطابق به تصویر (۴) در صورت $\left(t = \frac{T}{4}\right)$ که در آن $(I = I_m)$ و در

نتیجه $(E = 0)$ ، در نقطه A.



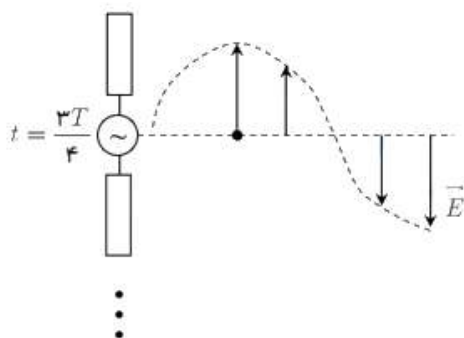
تصویر (۴) در سمت چپ تغییرات ساحه را در روی یک انتن، و در سمت راست گراف جریان را نظر به زمان نشان می‌دهد.



از A تا B، جهت جریان عوض نمی‌شود، یعنی همچنان از میله پائینی تعداد الکترون‌ها جدا و به میله بالایی جریان می‌نمایند، چون قبل از اتفاق اخیر میله‌ها بدون چارچ شده‌اند، با این کار میله پائینی به دلیل از جریان و از دست دادن الکترون‌ها چارچ مثبت را اختیار نموده و در مقابل میله بالایی چارچ منفی به دست آورده است. قسمیکه در تصویر (۵) به مشاهده می‌رسد.

در مرحله بعدی از میله‌ای بالای الکترون گرفته شده و به میله پائینی داده می‌شود، که این پروسه در تصویر (۶) نشان داده شده است. تصویر (۵) نشان می‌دهد، که میله بالایی چارچ مثبت و میله پائینی چارچ منفی را از دست می‌دهند.

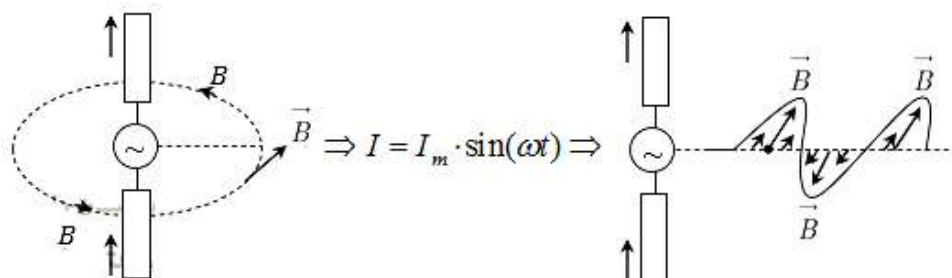
در نتیجه می‌توان گفت که دلیل تشکیل امواج الکترومغناطیسی در یک انتن عبارت از جریان می‌باشد، که در اثر جریان چارچ‌ها بین



دو میله آن تشکیل می‌شود، قسمیکه در تصاویر فوق مشاهده نمودیم، میله بالایی دارای چارچ مثبت و میله پائینی دارای چارچ منفی بوده‌اند، که بعداً الکترون‌های میله پائینی جریان نموده و به میله بالایی انتقال می‌نمایند، که در اثر این جریان ساحه مقناطیسی تولید می‌گردد که تمام پروسه انتقال چارچ بین میله‌ها در تصاویر (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است.

پروسه انتقال چارچ بین میله‌ها در گراف تصویر (۴) نشان می‌دهد، که جریان الکترون‌ها در میله‌های انتن شکل گراف سین را دارد، طوریکه اولاً بین مرحله O الی B تص جریان از یک میله به میله دیگر، و در مرحله B الی D دوباره به میله دومی جریان پیدا می‌کند.

(۶) تغییر چارچ‌های الکتریکی در میله‌ها، سبب ایجاد جریان الکتریکی در میله‌ها شده و در نتیجه یک ساحه الکتریکی در اطراف میله‌ها ایجاد می‌شود. این ساحه نیز به شکل تابع سین تغییر می‌کند و همانند ساحه الکتریکی با سرعت بسیار بالا از انتن دور می‌شود. که این حادثه در تصویر (۷) نشان داده شده است.



تصویر (۷) نشان می‌دهد، که جریان الکترون‌ها در میله‌ها باعث تولید ساحه مقناطیسی گردیده است.

مفاهیم

(۱) دامنه ساحه های الکتریکی و مقناطیسی با دور شدن از آنتن به شدت کاهش می یابد و این ساحه ها در فاصله های خیلی دور از آنتن اهمیتی ندارند. در فاصله دور این تغییرات در ساحه الکتریکی نسبت به زمان است که مسئولیت ایجاد ساحه مقناطیسی القایی را دارد و بالعکس.

(۲) ساحه های الکتریکی و مقناطیسی بر یکدیگر و هر دوی آن ها بر راستای حرکت موج عمود اند. بنابر این امواج الکترومغناطیس، امواج عرضی هستند.

(۳) موجهای الکترومغناطیس همانند امواج میخانیکی، در زمان و مکان تغییر می کنند و انرژی را از منطقه ای به منطقه دیگر منتقل می کنند.

(۴) امواج الکترومغناطیس برای انتشار خود الزاماً به محیط مادی نیاز ندارند و در خلاء نیز منتشر می شوند.

(۵) جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی در جهت حاصل ضرب وکتوری $\vec{E} \times \vec{B}$ است. یعنی اگر چهار انگشت دست راست در جهت ساحه الکتریکی باشد طوری که کف دست تان در جهت ساحه مقناطیسی B قرار گیرد، انگشت شست باز شده جهت انتشار امواج را نشان می دهد.

(۶) می توان امواج الکترومغناطیسی را مانند امواج میخانیکی با استفاده از تابع موج شرحه داد. به فرض اینکه E و B مقادیر لحظه ای و $E_{\max}$ و $B_{\max}$ دامنه های ساحه های الکتریکی و مقناطیسی باشند. در این حالت تابع موج به شکل ذیل خواهد بود:

$$E = E_{\max} \cdot \sin(\omega t - kx) \dots\dots\dots(3)$$

$$B = B_{\max} \cdot \sin(\omega t - kx) \dots\dots\dots(4)$$

تعداد نوسان یا دور های ساحه الکتریکی و یا مقناطیسی در واحد زمان را فریکونسی یاد می کنند، و زمانی که طول می کشد تا میدان الکتریکی و یا مقناطیسی یک دور کامل را انجام دهد، پریود نامیده می شود.

طول موج (λ) نیز فاصله دو نقطه متوالی از موج است که در آن دو نقطه ساحه های الکتریکی و یا مقناطیسی هم فازند و نیز رابطه طول موج با فریکونسی $\left(\lambda = \frac{v}{f}\right)$ می باشد.

مثال ۱) اگر فریکونسی نوسان ولتاژ در یک آنتن فرستنده 200Hz باشد، طول موج ساحه الکتریکی حاصل از آن در خلاء چند متر خواهد بود؟ $\left(c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}\right)$

$$\left. \begin{aligned} \lambda = \frac{v}{f} &= \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{200\text{Hz}} = \frac{3 \cdot 10^6 \text{ m/s}}{2 \text{ 1/s}} & f &= 200\text{Hz} \\ v &= c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} & \lambda &= ? \\ \Rightarrow \lambda &= 1.5 \cdot 10^6 \text{ m} \end{aligned} \right\} \text{ حل:}$$

(۷) ماکسول به کمک دستاوردهایی که در زمینه الکتریسیته و مقناطیس توسط دانشمندان بزرگی چون: کولن، آمپیر، اورستد و فارادی کشف شده بود، دست به کار بزرگی زد. او بدون آنکه موج های الکترومقناطیسی را تجربه کند، وجود آن ها را پیش بینی کرد. جالب است بدانید وجود موج های الکترومقناطیسی، ۸ سال بعد توسط هرتر به اثبات رسید. برای پی بردن به این که ماکسول چگونه توانست چنین کاری انجام دهد، لازم است به چگونگی تغییر میدان مقناطیسی و ساحه الکتریکی که قبلاً توضیح داده شد، دقت شود.

(۸) موج های الکترومقناطیسی برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند، زیرا ساحه های الکتریکی و مقناطیسی در خلاء هم ایجاد و منتشر می شوند.

(۹) فریکونسی یک موج الکترومقناطیسی با رفتن از محیطی به محیط دیگر تغییر نمی کند. توجه شود فریکونسی نوسانات ساحه های الکتریکی و مقناطیسی با هم برابر و مساوی با فریکونسی جریان متناوب متصل به فرستنده است.

(۱۰) در فزیک نور، در بحث انکسار نور، رابطه ضریب انکسار و سرعت انتشار نور را دیده اید. سرعت انتشار موج های

الکترومقناطیسی نیز در هر محیط از همان رابطه محاسبه می گردد:

$$v = \frac{c}{n} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} \dots\dots\dots(5)$$

از این تساوی نتیجه می شود که سرعت موج های الکترومقناطیسی در محیطی با ضریب انکسار n پس از مقایسه آن با سرعت آن در خلاء از رابطه $\left(v = \frac{c}{n}\right)$ محاسبه می شود.

(۱۱) با توجه به نکات ذکر شده در جمله (۹) در می یابیم، اگر موج های الکترومقناطیسی از محیطی وارد محیط دیگر شود، با ثابت ماندن فریکونسی طول موج آنها نیز متناسب با سرعت تغییر می کند، یعنی:

$$\begin{cases} \lambda = v \cdot T = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda \sim v \\ v = \frac{c}{n} \Rightarrow v \sim \frac{1}{n} \end{cases} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} \dots\dots\dots(6)$$

اگر طول موج، یک موج الکترومقناطیسی را در خلاء داشته باشیم λ_0 می توان طول موج، موج الکترومقناطیسی را در محیط دیگر با ضریب انکسار n ذیلاً بدست آورد: (طوری که در خلاء $n_0 = 1$ می باشد)

$$\begin{cases} \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{n_0}{n} \\ n_0 = 1 \end{cases} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \dots\dots\dots(7)$$

(۱۲) سرعت انتشار موج های الکترومقناطیسی در خلاء (قبلاً گفتیم که اهتزاز های ایجاد شده داخل ساحه مقناطیسی به طورانی منتشر نمی شوند و سرعت آن ها محدود و متناهی است. امواج الکترومقناطیسی هم که حاصل اهتزازات ساحه های الکتریکی و مقناطیسی هستند نیز سرعت محدود دارند. سرعت این امواج در خلاء از رابطه ذیل بدست می آید:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \dots\dots\dots(8)$$

در رابطه فوق (ϵ_0) ضریب نفوذ پذیری الکتریکی در خلا و (μ_0) ضریب نفوذ پذیری در مقناطیسی در خلا می باشد که مقدار این دو ثابت مساوی است به:

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \left(\frac{C^2}{N \cdot m^2} \right), \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{T \cdot m}{A} \right)$$

قیمت بدست آمده همانا سرعت نور می باشد.

$$C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8.85 \cdot 10^{-12} \left(\frac{C^2}{N \cdot m^2} \right) \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{T \cdot m}{A} \right)}}$$

$$\Rightarrow c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

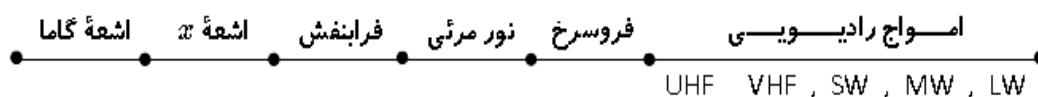
(۱۳) با توجه به رابطه ($c = \lambda \cdot f$) و با توجه به ثابت بودن سرعت نور در خلا نتیجه می گیریم که طول موج و فریکونسی با هم رابطه معکوس دارند. یعنی به هر اندازه یک فریکونسی یک موج الکترومقناطیسی بیشتر باشد، به همان اندازه طول موج کوتاه تر است. و به هر اندازه یک فریکونسی موج الکترومقناطیسی بیشتر و طول موج آن کوتاه تر باشد، انرژی و قابلیت نفوذ آن بیشتر است.

(۱۴) بخاطر باید داشت، که سرعت تمام امواج الکترومقناطیسی در خلا با هم مساوی بوده، و در محیط های دیگر از هم فرق می کنند.

(۱۵) موج های الکترومقناطیسی از نظر فریکونسی و طول موج، بسیار متنوع و گسترده هستند، به طوریکه موج های الکترومقناطیسی شامل طیف های با طول موج بسیار بلند (بیش از ۱۰۰۰ کیلو متر) تا طول موج های بسیار کوتاه (کمتر از فمتو متر $10^{-15} m$) می باشند.

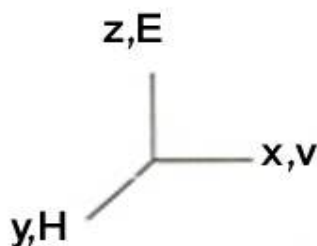
(۱۶) طیف های الکترومقناطیسی را می توان به صورت زیر نشان داد:

به طرف کاهش فریکونسی و افزایش طول موج



معادله موج الکترومقناطیسی

افاده مختصر ریاضی پدیده های الکترومقناطیسی و القا الکترومقناطیسی که علت بوجود آمدن امواج الکترومقناطیسی می گردند، در شکل معادلات ماکسویل که ارتباط بین ساحه برقی و ساحه مقناطیسی را نشان می دهند، انعکاس می نماید، نظریات ماکسویل موافق به نتایج تجربی بیان می کنند که وکتور های شدت ساحه برقی (E) و شدت ساحه مقناطیسی (H) از یک طرف متقابلاً بالای یکدیگر و از طرف دیگر بالای سمت انتشار موج عمود می باشند قرار شکل (۱).



شکل (۱) کمیات وضعیه قایم

هرگاه جهت E را به امتداد محور Z و جهت H را موازی به محور y در نظر بگیریم، در این صورت معادلات یک بعدی ماکسویل چنین خواهد بود :

$$\frac{\mu}{c} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = - \frac{\partial E}{\partial x} \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{\epsilon}{c} \cdot \frac{\partial E}{\partial t} = - \frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{.....(2)}$$

(μ) و (ϵ) بترتیب بنام قابلیت نفوذ پذیری مقناطیسی و برقی یاد می‌شوند، C سرعت امواج الکترومقناطیسی است که برابر به سرعت نور یعنی ($3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$) می‌باشد. از معادلات (۲) ماکسویل نتیجه می‌گردد، که هرگاه در قسمتی از فضا ساحه الکترومقناطیسی بوجود آید فوراً با سرعت $\left(v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \right)$ انتشار می‌یابد. هرگاه اطراف معادله اول (۱) نظر به X و اطراف معادله دوم را نظر به t مشتق گرفته و پارامتر مشترک بین شان افنا گردد خواهیم داشت :

$$\frac{\mu}{c} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\mu}{c} \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t} = - \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} \quad \text{.....(3)}$$

$$\frac{\epsilon}{c} \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = - \left(\frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} \right) \quad \text{.....(4)}$$

افاده $\left(\frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} \right)$ را از یک معادله (۳ و ۴) استخراج و به معادله دیگر آن وضع می‌کنیم در نتیجه خواهیم داشت:

$$- \frac{\epsilon}{c} \frac{\mu}{c} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = - \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} \quad \text{.....(5)}$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \frac{\epsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad \text{.....(6)}$$

هرگاه در معادله (۶) قیمت $\left(v^2 = \frac{c^2}{\epsilon \mu} \right)$ وضع گردد می‌یابیم:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \frac{1}{v} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad \text{.....(7)}$$

به همین طریقه میتوان از معادلات (۲) به آسانی معادله ذیل را استخراج کرد:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \dots\dots\dots(8)$$

از معادلات (۷) و (۸) چنین بر می آید که ساحه های برقی و مقناطیسی همزمان چون موج با سرعت معین V به روی محور X انتشار می یابند. حل معادلات موجی (۷) و (۸) شکل ذیل را دارند:

$$E_x = E = E_0 \cdot \cos(\omega t - kx) \dots\dots\dots(9)$$

$$H_x = H = H_0 \cdot \cos(\omega t - kx) \dots\dots\dots(10)$$

روابط (۷) و (۸) را معادلات تفاضلی و معادلات (۹) و (۱۰) را بنام معادلات موج مستوی امواج الکترومقناطیسی یاد می کنند. وقتی که شدت ساحه برقی E و ساحه مقناطیسی H چون موج حرکت کنند می توان نوشت $E = f(x, t)$ با استفاده از معادلات (۹) معادلات (۱) را می توان چنین نوشت :

$$\frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial x} \Rightarrow -\frac{\mu}{c} H_0 \omega \sin(\omega t - kx) = -E_0 k \sin(\omega t - kx)$$

$$\frac{\mu}{c} H_0 \omega = E_0 k \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{\epsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial x} \Rightarrow \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial x} \Rightarrow \frac{\epsilon}{c} E_0 \omega \sin(\omega t - kx) = -H_0 k \sin(\omega t - kx)$$

$$\frac{\epsilon}{c} E_0 \omega = H_0 k \dots\dots\dots(12)$$

از حاصل ضرب معادلات (۱۱) و (۱۲) می یابیم:

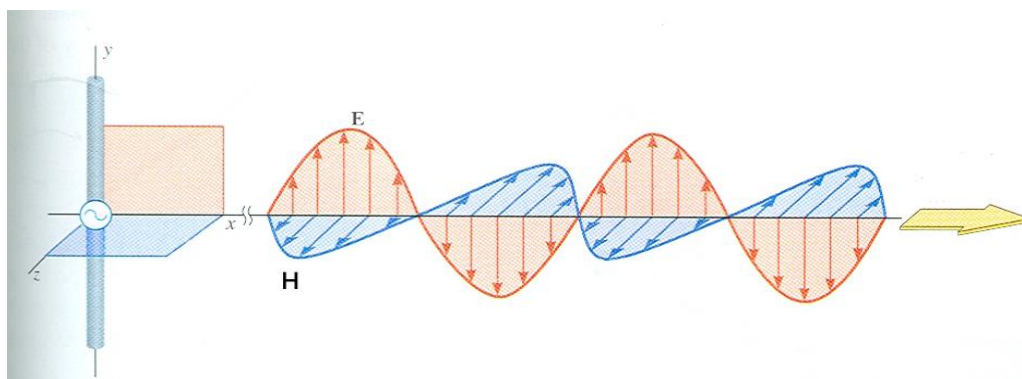
$$\frac{\mu}{c} H_0^2 k \omega = \frac{\epsilon}{c} E_0^2 k \omega$$

$$\sqrt{\mu} H_0 = \sqrt{\epsilon} E_0 \dots\dots\dots(13)$$

از معادله (۱۳) چنین نتیجه می شود که ساحه برقی و مقناطیسی طور خطی باهم مربوط بوده و می توانند از نقاط اعظمی و اصغری بگذرند. با در نظر داشت معادلات (۱۰) و (۱۳) می توان حرکت امواج الکترومقناطیسی را توسط گراف ارائه نمود. گراف می تواند بسیاری

از خواص پوشیده امواج را نمایان سازد. موج مربوط به شدت ساحه مقناطیسی و شدت ساحه برقی با سرعت $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ همزمان

از نقاط اعظمی و اصغری عبور نموده و به استقامت X قرار شکل (۲) انتشار می یابند. موج ساحه مقناطیسی در مستوی OY و موج ساحه برقی در مستوی OEX اهتزاز می نماید. مستوی OEX را بنام مستوی اهتزاز موج الکترومقناطیسی و مستوی OY را بنام مستوی استقطاب امواج الکترومقناطیسی یاد می کنند.



شکل (۲) نشان می‌دهد که ساحه برقی و ساحه مقناطیسی بالای هم عمود بوه

و همچنان هردو به جهت انتشار عمود اند

انرژی امواج الکترومغناطیسی

موج الکترومغناطیسی عبارت از تغییر شکل (اضطراب) الکترومغناطیسی است که در خلا با سرعت C و در داخل جسم با سرعت انتشار می‌یابد. با این تغییر شکل‌ها انرژی همراه است که متناسب به مربع دامنه معادلات (۷) و (۸) بوده و کثافت این انرژی (انرژی فی واحد حجم) برای ساحه برقی $\left(\frac{\epsilon}{8\pi} E^2\right)$ و برای ساحه مقناطیسی $\left(\frac{\mu}{8\pi} H^2\right)$ می‌باشد. به این ترتیب کثافت انرژی مجموعی الکترومغناطیسی عبارت است از:

$$U = \frac{1}{8\pi} (\epsilon E^2 + \mu H^2) \dots\dots\dots (14)$$

وقتیکه امواج الکترومغناطیسی انتشار می‌یابند، با آنها انرژی الکترومغناطیسی حمل می‌گردد. نظر به این مفهوم می‌توان از جریان انرژی یا فلکس انرژی صحبت نمود. می‌توان جریان انرژی را توسط وکتور ارائه کرد که وکتور مذکور بتواند اولاً تغییر کثافت انرژی مجموعی U را نشان دهد، ثانیاً دارای واحد U باشد. ثالثاً جهتی موافق به جهت انتشار موج را اختیار نماید. این چنین وکتور که برای جریان انرژی امواج الکترومغناطیسی در نظر گرفته شده است، بار اول توسط پوینتینگ (pointing) معرفی گردیده و به S نشان داده شده است که ذیلاً به مطالعه آن می‌پردازیم:

اگر اطراف رابطه معادلات (۷) ضرب H و رابطه دوم آن ضرب E گردیده و سپس طرف به طرف باهم جمع گردند: داریم

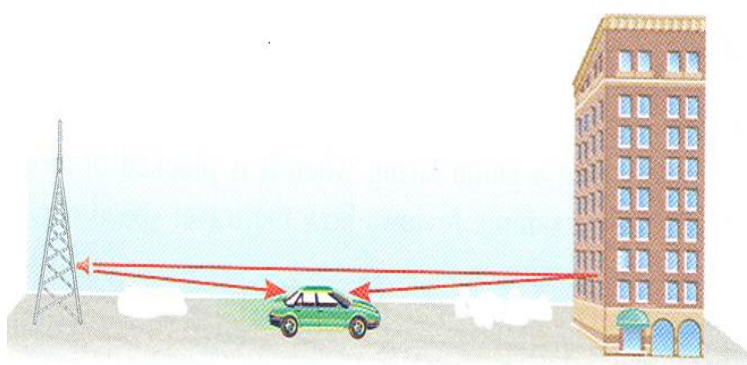
$$\frac{1}{2c} \frac{\partial}{\partial t} (\mu H^2 + \epsilon E^2) = - \frac{\partial}{\partial x} (EH)$$

هر دو طرف این رابطه را ضرب $\left(\frac{c}{4\pi}\right)$ نموده می‌یابیم:

$$\begin{aligned} \frac{1}{8\pi} \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon E^2 + \mu H^2) &= - \frac{\partial}{\partial x} (EH) \frac{c}{4\pi} \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\epsilon E^2 + \mu H^2}{8\pi} \right) &= - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{c}{4\pi} EH \right) \\ \frac{\partial U}{\partial t} &= - \frac{\partial S}{\partial x} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

در حالیکه $S = \frac{c}{4\pi} (E \times H)$ و $U = \frac{1}{8\pi} (\epsilon E^2 + \mu H^2)$ اند.

چون U کمیت وکتوری است، بنابراین S باید نیز کمیت وکتوری باشد. از طرف دیگر چون در افاده S وکتورهای E و H بقسم حاصل ضرب قرار دارند، لذا ضرور است که آنها به شکل وکتوری ضرب شوند تا وکتور S بدست آید از آنچه گفتیم چنین نتیجه می شود. $S = \frac{c}{4\pi} (E \times H)$ از اینجا دیده می شود که جهت وکتور S عمود است بالای مستوی (E, H) و همچنان می دانیم که جهت وکتور سرعت و یا وکتور تغییر مکان نیز عمود بالای این مستوی می باشد (شکل ۳ را ببینید). بنابر این نتیجه می شود که جهت وکتور S عبارت از جهت وکتور v و یا x می باشد. معادلات فوق نشان می دهد که وکتور S شرایط لازم را تأمین کرده می تواند. وکتور S بیان می کند که چه مقدار انرژی فی واحد وقت از سطح 1 m^2 در جهت انتشار موج الکترومغناطیسی کاهش یافته است.



شکل (۳) در سربام برج لود سپیکر نصب گردیده امواج مخالف یکدیگر در حال حرکت اند

سوالات

(۱) جریان تغییر مکان توسط کدام حادثه ایجاد می گردد؟

(۱) القا الکترومغناطیسی (۲) ساحه برقی (۳) چارج های زیاد (۴) هر سه درست است

(۲) کدام یک از روابط ذیل بیان گر روابط ماکسویل است؟

(۱) $\frac{\mu}{c} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial x}$ (۲) $\frac{\epsilon}{c} \cdot \frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial x}$ (۳) $\frac{\mu}{c} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial t}$ (۴) ۱ و ۲ درست است

(۳) در رابطه $\frac{\mu}{c} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial x}$ سمبول (μ) کدام یک از کمیت های ذیل را بیان می دارد؟

(۱) قابلیت نفوذ پذیری برقی (۲) قابلیت نفوذ پذیری مقناطیسی

(۳) قابلیت نفوذ پذیری نوری (۴) هیچکدام

(۴) هرگاه در قسمتی از فضا ساحه الکترومغناطیسی بوجود آید فوراً با کدام سرعت انتشار می‌یابد؟

$$v = \frac{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}{c} \quad (۴) \quad v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad (۳) \quad v = \frac{\epsilon c}{\sqrt{\mu}} \quad (۲) \quad v = \frac{\mu c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (۱)$$

(۵) ساحه برقی و ساحه مقناطیسی با هم چی نوع رابطه دارند؟

(۱) رابطه معکوس (۲) رابطه مستقیم (۳) هیچ رابطی ندارند (۴) جواب ۲ درست است

(۶) مستوی ساحه مقناطیسی با مستوی ساحه برقی چی نوع رابطه دارند؟

(۱) موازی اند (۲) عمود اند (۳) در یک مستوی قرار دارند (۴) هیچ ارتباطی ندارند

(۷) اگر طول موج نوری در اب با ضریب انکسار $\frac{4}{3}$ مساوی به 0.45 میکرون باشد، در شیشه با ضریب انکسار $\frac{3}{2}$ چند میکرون خواهد بود؟

(۱) 0.3 (۲) 0.4 (۳) 0.5 (۴) 0.6

(۸) همه امواج الکترومغناطیسی در خلا:

(۱) با سرعت یکسانی حرکت می‌کنند

(۲) با سرعت هایی متناسب با فریکونسی شان حرکت میکنند

(۳) با سرعت هایی متناسب با عکس فریکونسی شان حرکت می‌کنند

(۴) هیچکدام

(۹) اگر ضریب نفوذ الکتریکی در خلا را با ϵ_0 و ضریب نفوذ مقناطیسی را در خلا را با μ_0 نشان دهیم، واحد $\epsilon_0 \mu_0$ کدام است:

$$\left(\frac{m}{s}\right)^2 \quad (۱) \quad \frac{m}{s} \quad (۳) \quad \frac{s}{m} \quad (۲) \quad \left(\frac{s}{m}\right)^2 \quad (۴)$$

منابع

(۱) لکچر نوت های انستیتوت های مسلکی وزارت معارف، صنف چهاردهم.

Fundamental of physics, Halliday, David, 8th edition, ۲۰۰۸, chapter ۲۰ (۲)

(۳) دانشگاه غیر دولتی، دانشگاه صنعتی شریف، جزوه آموزشی، نمونه مسائل درس فزیک.

مأخذ:

این ممد درسی با همکاری کتابخانه درخت دانش به شما اهداء گردیده است.

www.ddl.af



Darakht-e Danesh Information



@AfghanOERs

