

بسمه تعالیٰ

# مبانی فیزیک الکتریسیته و مغناطیسی

نرگس یزدان پناه

انتشارات ارسسطو  
(چاپ و نشر ایران)  
۱۳۹۴

سرشناسه: بیزدان پناه، نرگس، -۱۳۵۸

عنوان و نام پدیدآور: مبانی فیزیک الکتریستیه و مغناطیس

مشخصات نشر: مشهد: ارسسطو، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۱۶۵ ص.: مصور، جدول، نمودار

شابک: ۷-۹۹-۷۵۵۸-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی: فیبای مختصر

یادداشت: فهرستنويسي کامل اين اثر در نشانی: <http://opac.nlai.ir>

قابل دسترسی است

شماره کتابشناسی ملی: ۳۸۳۰۵۵۹

نام کتاب: مبانی فیزیک الکتریستیه و مغناطیس

مولف: نرگس بیزدان پناه

ناشر: ارسسطو (چاپ و نشر ایران)

صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر

تیراژ: ۱۰۰۰

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۴

چاپ: مهتاب

قیمت: ۱۰۰۰۰ تومان

شابک: ۷-۹۹-۷۵۵۸-۶۰۰-۹۷۸

تلفن های مرکز پخش: ۰۵۱ - ۳۵۰۹۶۱۴۶ - ۵۰۹۶۱۴۵

[www.chaponashr.ir](http://www.chaponashr.ir)

تقدیم به عزیزانم :

خانواده ام

همسرم و دخترم

که در راه رسیدن به اهدافم از هیچ کوششی دریغ نگردند.



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
-------------	--------------

### فصل اول

۱۹	الکتریسیته ساکن
۱۹	الکتریسیته و مغناطیس در تاریخ
۱۹	۱- بار الکتریکی
۲۱	۲- رساناها و نارساناها
۲۱	۳- بار دار شدن اجسام
۲۳	۴- قانون کولن
۲۴	راهنمای حل مساله
۲۸	خلاصه فصل اول
۲۹	مسائل

### فصل دوم

۳۱	میدان الکتریکی
۳۱	میدان الکتریکی چیست

۳۲	۱-۲- خطوط نیرو
۳۳	۲- محاسبه میدان الکتریکی
۳۷	۳-۲ قانون گاوس و بارهای پیوسته
۳۷	۴-۲ شار الکتریکی
۳۸	۵-۲ قانون گاوس
۴۴	خلاصه فصل دوم
۴۵	مسائل

### فصل سوم

۴۷	پتانسیل الکتریکی
۴۷	پتانسیل الکتریکی چیست
۴۷	۱-۳- محاسبه پتانسیل الکتریکی
۴۹	۲-۳- رابطه پتانسیل و میدان الکتریکی
۵۰	۳-۳- سطوح هم پتانسیل
۵۱	۴-۳- پتانسیل حاصل از بارهای نقطه ای
۵۳	۵-۳- انرژی پتانسیل بارهای نقطه ای
۵۴	۶-۳- محاسبه $\vec{E}$ با استفاده از $V$
۵۵	خلاصه فصل سوم
۵۶	مسائل

## فصل چهارم

خازن های الکتریکی ..... ۵۹
خازن ..... ۵۹
۱-۴-ظرفیت ..... ۵۹
۲-۴-خازن تخت ..... ۶۰
۳-۴- ترکیب خازن ها ..... ۶۲
۱-۳-۴ ترکیب متواالی ..... ۶۲
۲-۳-۴ ترکیب موازی ..... ۶۳
۴-۴ ارزش ذخیره شده در خازن ..... ۶۴
۴-۵ اثر جسم دی الکتریک ..... ۶۷
خلاصه فصل چهارم ..... ۶۹
مسائل ..... ۷۰

## فصل پنجم

جريان و مقاومت ..... ۷۳
جريان چیست ..... ۷۳
۱-۵ مقاومت و رسانندگی ..... ۷۵
۲-۵ قانون اهم ..... ۷۶
۳-۵ توان الکتریکی ..... ۷۷
خلاصه فصل پنجم ..... ۸۰
مسائل ..... ۸۱

## **فصل ششم**

نیروی محرکه و مدارهای جریان مستقیم.....	۸۲
مولدہای جریان.....	۸۲
۱-۱-۶ به هم بستن مقاومتها.....	۸۳
۱-۱-۶ سری .....	۸۳
۲-۱-۶ موازی .....	۸۴
۲-۶ مدارهای چند حلقه ایی .....	۸۶
۳-۶ مدارهای RC .....	۸۹
خلاصه فصل ششم .....	۹۲
مسایل .....	۹۳

## **فصل هفتم**

میدان مغناطیسی.....	۹۵
میدان مغناطیسی چیست.....	۹۵
۱-۷ تعریف میدان مغناطیسی .....	۹۷
۲-۷ نیروی وارد بر سیم حامل جریان .....	۹۸
۳-۷ کاربردهای میدان مغناطیسی .....	۱۰۰
۱-۳-۷ حرکت ذرات باردار متحرک در میدان مغناطیسی ..	۱۰۰
۲-۳-۷ سرعت گزینی .....	۱۰۱
۳-۳-۷ طیف سنج جرمی .....	۱۰۲

۱۰۳ .....	۷-۳-۴- اثر هال .....
۱۰۴ .....	خلاصه فصل هفتم
۱۰۵ .....	مسایل .....

## فصل هشتم

۱۰۶.....	تولید میدان مغناطیسی
۱۰۶.....	چگونگی تولید میدان مغناطیسی
۱۰۶.....	۱-۸- میدان سیم مستقیم و بلند
۱۰۲.....	۲-۸- نیروی مغناطیسی بین سیمهای موازی حاصل جریان
۱۱۰ .....	۳-۸- قانون بیو - ساوار
۱۱۱ .....	۴-۸- قانون آمپر
۱۱۵.....	خلاصه فصل هشتم
۱۱۶.....	مسایل .....

## فصل نهم

۱۱۷ .....	شار و القای الکترومغناطیسی
۱۱۷ .....	شار و القاء چیست
۱۱۷ .....	۱-۹- القای الکترو مغناطیس
۱۱۷ .....	۱-۱-۹- تغییر شدت میدان مغناطیسی
۱۱۸ .....	۲-۱-۹- تغییر مساحت
۱۱۸ .....	۳-۱-۹- تغییر زاویه یا سمتگیری

۱۱۹ .....	۲-۹ قانون فاراده
۱۱۹ .....	۱-۲-۹ شار مغناطیسی
۱۲۰ .....	۲-۲-۱۰ قانون القای فاراده
۱۲۱ .....	۳-۹ قانون لنز
۱۲۵ .....	۴-۹ مولدها
۱۲۸ .....	خلاصه فصل نهم
۱۲۹ .....	مسائل

## فصل ۱۰

۱۳۱ .....	القاییدگی
۱۳۱ .....	خودالقا
۱۳۱ .....	۱-۱۰ -القاییدگی
۱۳۲ .....	۲-۱۰ -القای متقابل
۱۳۵ .....	۳-۱۰ مدار RL
۱۳۵ .....	۱-۳-۱۰ -افزايش جريان
۱۳۶ .....	۲-۳-۱۰ -کاهش جريان
۱۳۷ .....	۴-۱۰ -انرژی ذخیره شده در القاگر
۱۳۹ .....	۵-۱۰ مدار LC
۱۴۲ .....	خلاصه فصل دهم
۱۴۳ .....	مسائل

## **فصل یازدهم**

.....	مدارهای جریان متناوب	۱۴۵
.....	جریان متناوب	۱۴۵
.....	۱-۱- نیروی محرکه متغیر با زمان	۱۴۵
.....	۲-۱- مدار مقاومتی $R$	۱۴۶
.....	۳-۱- مدار خازنی	۱۴۸
.....	۴-۱- مدار القایی	۱۵۰
.....	۵-۱- مدار تک حلقه ایی $RLC$	۱۵۳
.....	۶-۱- ترانسفور ماتور	۱۵۵
.....	خلاصه فصل یازدهم	۱۵۶
.....	مسائل	۱۵۷
.....	منابع	۱۵۹

## فهرست اشکال

عنوان	صفحة
شكل (۱-۱) تاثیرات بارهای الکتریکی ..... ۱۹	
شكل (۲-۱) ساختار اتم ..... ۲۰	
شكل (۳-۱) باردار شدن اجسام از طریق مالش ..... ۲۲	
شكل (۴-۱) باردار شدن اجسام از طریق القاء ..... ۲۲	
شكل (۵-۱) دستگاه کولن ..... ۲۳	
شكل (۶-۱) بارهای همنام یکدیگر را دفع می کنند و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می کنند ..... ۲۳	
شكل (۱-۲) نقش خطوط نیرو ..... ۳۲	
شكل (۲-۲) سطوح گاووسی ..... ۳۸	
شكل (۳-۲) بار نقطه ای در قانون گاووس ..... ۳۹	
شكل (۱-۳): جایه جایی بار $q$ از نقطه A تا نقطه B در میدان الکتریکی یکنواخت ..... ۴۹	
شكل (۲-۳): سطح هم پتانسیل برای (الف) میدان الکتریکی یکنواخت ب) میدان ناشی از یک بار نقطه ای (ج) میدان ناشی یک دو قطبی الکتریکی ..... ۵۰	
شكل (۴-۱): خازن در حالت کلی ..... ۵۹	
شكل (۴-۲): ساختار داخلی یک خازن ..... ۶۰	
شكل (۴-۳): خازن مسطح ..... ۶۰	

..... شکل(۴-۴): خازن در حالت سری	۶۲
..... شکل (۴-۵): خازن در حالت موازی	۶۳
..... شکل(۴-۶): اثر جسم دی الکتریک بعداز قرار گرفتن بین صفحات خازن	۶۸
..... شکل (۱-۵): عبور بارهای الکتریکی از یک مقطع از مدار	۷۳
..... شکل (۲-۵): مقاومت سیمی به طول $\ell$	۷۵
..... شکل(۵-۳): نمودار و مدار قانون اهم	۷۶
..... شکل(۱-۶): مقاومت در مدار سری	۸۳
..... شکل(۲-۶): مقاومت در مدار موازی	۸۴
..... شکل(۳-۶): مدار RC	۸۹
..... شکل(۴-۶): نمودار افزایش جریان	۹۰
..... شکل(۵-۶): مдра خالی شدن خازن	۹۰
..... شکل(۶-۶): نمودار خالی شدن خازن	۹۱
..... شکل(۱-۷): میدان مغناطیسی زمین	۹۵
..... شکل (۲-۷): میدان مغناطیسی آهنربا	۹۶
..... شکل(۳-۷): نقش خطوط میدان مغناطیسی	۹۶
..... شکل(۴-۷): تعیین جهت نیروی مغناطیسی با استفاده از قاعده دست راست	۹۷
..... شکل(۵-۷): نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان	۹۹
..... شکل(۶-۷): مسیر حرکت ذرات باردار در میدان مغناطیسی ..	۱۰۰
..... شکل(۷-۷): گزینش سرعت	۱۰۱
..... شکل(۷ - ۸): طیف سنج جرمی	۱۰۲

.....	شکل(۷-۹): اثر هال	۱۰۳
.....	شکل(۸-۱): میدان مغناطیسی سیم مستقیم	۱۰۷
.....	شکل (۸-۲): تعیین جهت میدان مغناطیسی در سیم مستقیم	۱۰۷
.....	شکل(۸-۳): میدان مغناطیسی دو سیم حامل جریان	۱۰۸
.....	شکل(۸-۴): تاثیر دو سیم حامل جریان بر یکدیگر	۱۱۰
.....	شکل (۸-۵): میدان مغناطیسی ناشی از جزء جریان	۱۱۰
.....	شکل (۸-۶): حلقه آمپری	۱۱۱
.....	شکل(۷-۸): میدان مغناطیسی سیم مستقیم با استفاده از قانون آمپر	۱۱۲
.....	شکل(۸-۸): محاسبه میدان مغناطیسی سیم لوله با استفاده قانون آمپر	۱۱۳
.....	شکل(۹-۱): تغییر میدان مغناطیسی	۱۱۸
.....	شکل(۹-۲): تغییر مساحت	۱۱۸
.....	شکل(۹-۳): تغییر زاویه	۱۱۹
.....	شکل(۹-۴): شار مغناطیسی	۱۱۹
.....	شکل(۹-۵): القای نیروی محرک	۱۲۰
.....	شکل(۹-۶): آهنربه پیچه نزدیک می شود	۱۲۱
.....	شکل(۹-۷): آهنربا از پیچه دور می شود	۱۲۲
.....	شکل(۹-۸): القا با تغییر مساحت	۱۲۴
.....	شکل(۹-۹): چرخش پیچه در میدان مغناطیسی	۱۲۵
.....	شکل(۹-۱۰): تغییرات نیروی محرکه با زمان	۱۲۶

شکل (۱۱-۹): تغییرات جریان با زمان ..... ۱۲۶	
شکل (۱۱-۱۰): القای دوپیچه شکل ..... ۱۳۳	
شکل (۱۱-۱۱): مدار RL، جریان در حال افزایش ..... ۱۳۵	
شکل (۱۱-۱۲): نمودار افزایش جریان در مدار RL ..... ۱۳۶	
شکل (۱۱-۱۳): نمودار کاهش جریان در مدار RL ..... ۱۳۷	
شکل (۱۱-۱۴): مدار LC ..... ۱۳۹	
شکل (۱۱-۱۵): نوسانات LC ..... ۱۴۰	
شکل (۱۱-۱۶): مولد جریان متناوب ..... ۱۴۶	
شکل (۱۱-۱۷): نمودار تغییرات جریان با زمان ..... ۱۴۶	
شکل (۱۱-۱۸): مدار مقاومتی ..... ۱۴۷	
شکل (۱۱-۱۹): نمودار تغییرات جریان و ولتاژ در مدار مقاومتی نسبت به زمان ..... ۱۴۷	
شکل (۱۱-۲۰): مدار خازنی ..... ۱۴۸	
شکل (۱۱-۲۱): نمودار تغییرات جریان و ولتاژ در مدار خازنی نسبت به زمان ..... ۱۴۹	
شکل (۱۱-۲۲): مدار القایی ..... ۱۵۰	
شکل (۱۱-۲۳): نمودار تغییرات جریان و ولتاژ در مدار القایی نسبت به زمان ..... ۱۵۰	
شکل (۱۱-۲۴): مدار RLC ..... ۱۵۳	
شکل (۱۱-۲۵): ترانسفورماتور ایده آل ..... ۱۵۵	



## مقدمه مولف

در بسیاری از دوره های کاردانی در رشته های مختلف و همچنین در مراکز فنی و علمی-کاربردی درسی تحت عنوان فیزیک عمومی یا فیزیک الکتریسته و مغناطیس ارائه می گردد. که مطالب این کتاب بنابر سرفصلهای موردناییداین دروس می باشد. در این کتاب به بررسی مفاهیم اولیه الکتریسته و مغناطیس پرداخته شده است. بنابر نیاز دانشجویان و برای درک بهتر از ریاضیات ساده تر و خلاصه تر استفاده شده است. در متن کتاب بعد از تو ضیحات مورد نظر مثالهای ساده ای گنجانده شده است که به درک بهتر مفاهیم کمک می کند، البته اگر در مواردی احتیاج به شکل و نمودار بوده در کنار مطالب آورده شده است. اساتید گرامی و همکاران محترم می توانند مناسب با سرفصلهای مورد نظرشان این کتاب را برای آموزش برگزینند. بدیهی است که این کتاب خالی از اشکال نیست بنابراین از همکاران عزیز و دانشجویان گرامی تقاضا دارم که با انتقادات و پیشنهادات خود اینجانب را در تصحیح کتاب یاری نمایند.

در پایان از خداوند سبحان سپاسگزارم که هیچ گاه بدون او هیچ موفقیتی قابل دستیابی نیست.

از سر کار مریم رستمی همکار عزیزم که در انتشار این اثر مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم. همچنین از خواهر عزیزم هدیه یزدان پناه که در ویرایش اشکال کتاب با من همکاری نمودند تشکر می کنم و همچنین از مدیریت انتشارات ارسسطو و سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران، جناب آقای حسین قنبری، به دلیل مساعدت در کار چاپ این کتاب بسیار سپاسگزارم.

از همه اعضای خانواده ام، به خصوص همسر عزیزم برای همراهی و تشویقهای او سپاسگزارم.



## فصل اول

### الکتریسیته ساکن

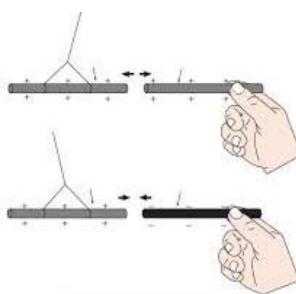
#### الکتریسته و مغناطیس در تاریخ

تاریخچه این علم به ۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. تالس متوجه شده بود که تکه کهربای مالش داده شده خرد های کاه را می‌رباید. و در بخش مغناطیس متوجه شده بودند که یک تکه سنگ مگنت خرد های آهن و یا یک قطب ناهمنام را جذب می‌کند.

در قرن یازدهم میلادی دریانوردان عرب و چینی از آهن ربای طبیعی شناور به عنوان قطب نما استفاده می‌کردند. دانشمندان زیادی همچون: کریستیان اورستد مایکل فاراده، کلرک ماکسول، الیورهیو ساید، لورنس و هاینریش هرتز و ... در زمینه الکترو مغناطیس گامهای موثری را برداشته‌اند.

#### ۱-۱-بار الکتریکی

اگر دو میله شیشه‌ای را با پارچه‌ایی ابریشمی مالش دهیم و آنها را به یکدیگر نزدیک کنیم یکدیگر را می‌رانند.

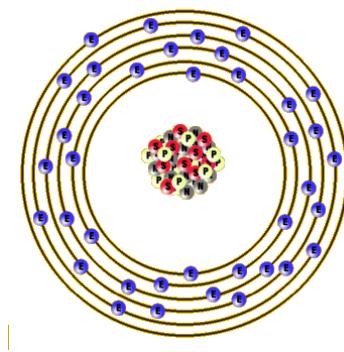


شکل (۱-۱) تاثیرات بارهای الکتریکی

ولی اگر یک میله شیشه را با پارچه ایی ابریشمی و یک میله پلاستیکی را با پوست خرمالش دهیم و آنگاه آنها را به هم نزدیک کنیم یکدیگر را می‌ربایند. علت این رباش و رانش در این است که در اثر مالش میله باردار می‌شود و این بارهای الکتریکی هستند که به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. این بارهای ظاهر شده دونوعند بار مثبت و بار منفی. بار روی شیشه مثبت و بار روی پلاستیک منفی است. در نتیجه مشاهدات را میتوان به این صورت نوشت:

بارهای همنام یکدیگر را می‌رانند و بارهای ناهم نام یکدیگر را می‌ربایند.

هر ماده از اتم‌ها تشکیل شده است و هر اتم شامل یک هسته بسیار کوچک است که پروتونها با بار مثبت و نوترونها با بار خنثی در آن قرار گرفته‌اند، هسته اتم را ابر الکترونی با لایه‌های الکترونی در بر گرفته است این الکترونها بار منفی دارند، در حالت عادی اتم چون تعداد پروتونها و الکترونها برابر است اتم از لحاظ الکتریکی خنثی است.



شکل(۲-۱) ساختار اتم

در هنگام مالش، الکترونها جاری می‌شوند و از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شوند به این ترتیب جسمی که الکtron دریافت کرده بار خالص منفی و جسمی که الکترون را از دست داده بار خالص مثبت می‌گیرد.

یکای بار در دستگاه  $SI$ ، کولن است که با  $6 \times 10^{-19}$  می شود. کولن یکای بسیار بزرگی است و چون مقدار بار مشاهده شده پس از مالش در حد  $10^{-8}$  کولن است از واحد میکروکولن یا نانوکولن استفاده می شود.

بار الکتریکی کمیتی کوانتیده است، بار هر جسم مضربی از یک بار الکترون است.

$$q = ne \quad e = 1/6 \times 10^{-19} C \quad (1-1)$$

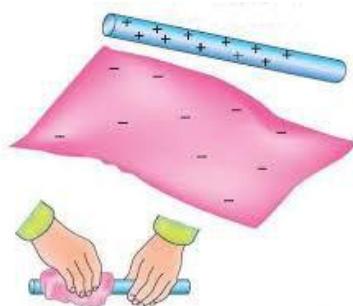
بار الکتریکی پا یسته است، نه به وجود می آید و نه نایود می شود فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می شود. کل بار موجود در هر سیستم منزوی مقداری ثابت است.

## ۱-رساناهای نارساناها

مواد موجود را می توان به دو دسته رسانا و نارسانا تقسیم بندی کرد. در رساناهای الکتریکی که همان الکترونهای آزادانه حرکت می کنند ولی در نارساناهای این طور نیست. برای تشکیل یک جسم جامد الکترونهای هراتم در لایه های اتمی قرار می گیرند و در اجسام رسانا الکترونهای خارجی ترین لایه به اتم مقید نیستند و آزادانه حرکت می کنند و این الکترونهای آزاد باعث رسانش الکتریکی در رساناهای نارساناها این الکترونهای آزاد وجود ندارند.

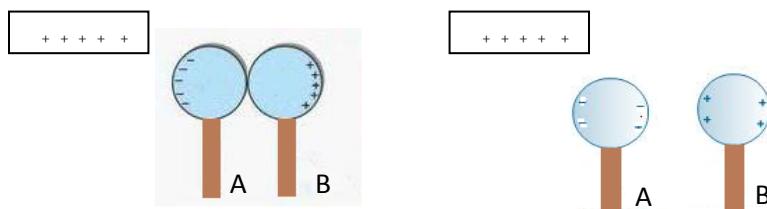
## ۲-بار دار شدن اجسام

راه اول از طریق مالش و یا تماس مستقیم است که الکترونهای از طریق مالش از یک جسم به جسم دیگر منتقل می شوند.



شکل (۱-۳) باردار شدن اجسام از طریق مالش

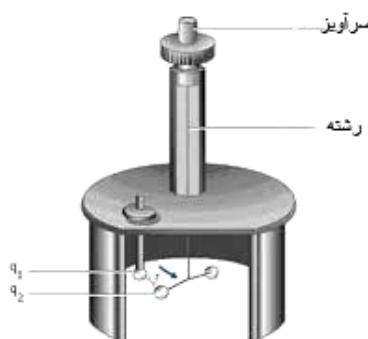
راه دوم از طریق القاء است به این ترتیب که دو کره فلزی را روی پایه های عایق قرار می دهیم و مطابق شکل (۱-۴) آنها را به هم متصل می کنیم. سپس میله بار مثبتی را به کره A نزدیک می کنیم، چون بارهای ناهم نام یکدیگر را جذب می کنند تعدادی از الکترونهای فلز در اثر رباش بارهای مثبت در سمت چپ کره مرکز می شوند. این انتقال بارهای منفی به سمت چپ کره A باعث می شود که بارهای مثبت در سمت راست کره B باقی بمانند. اگر د رهمن حالتها را از هم دور کنیم کره سمت راست بار مثبت و کره سمت چپ بار منفی می گیرد.



شکل (۱-۴) باردار شدن اجسام از طریق القاء

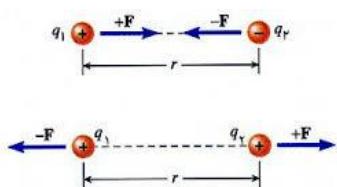
## ۴-۱-قانون کولن

شارل کولن اولین کسی بود که قانون دافعه و جاذبه بارهای الکتریکی را بدست آورد. او دستگاه کوچکی ابداع کرد و به کمک آن دستگاه متوجه شد که نیروی بین بارهای الکتریکی با حاصلضرب بارها ( $F \propto q_1 q_2$ ) رابطه مستقیم دارد و نیز با عکس مجدد فاصله  $r$  بین آنها متناسب است.



شکل (۵-۱) دستگاه کولن

از ترکیب این دو به رابطه  $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$  رسید که  $k$  ثابت کولنی یا ثابت الکترو استاتیکی است  $k = ۹ \times ۱۰^۹ \frac{Nm^۲}{C^۲}$  که در بسیاری از کتابها به صورت ثابت  $\frac{۱}{4\pi\epsilon_۰}$  نوشته میشود این ثابت باعث می شود که سایر معادلات الکترومغناطیس به شکل ساده تری نوشته شوند.



شکل (۶-۱) بارهای همانم یکدیگر را دفع می کند و بارهای نامنام یکدیگر را جذب می کند

نیرو کولنی که کمیتی برداری است و در راستای خط واصل بین دربار است.

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (2-1)$$

علامت  $\hat{r}$  به معنای بردار یکه در راستای خط واصل بین دو بار است جهت نیروی کولنی با جهت  $\hat{r}$  یکی است.

### توزیع گستردگی بارهای الکتریکی :

اگر بیش از دو بار الکتریکی داشته باشیم معادله (2-1) را می توانیم به ترتیب برای هر زوج بنویسیم و به عنوان مثال نیروی وارد بر بار  $q_1$  را اگر بخواهیم ابتدا باید نیروهای وارد از طرف تک تک بارها را حساب کنیم پس جمع برداری را اعمال می کنیم.

$$\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1N} \quad (3-1)$$

### راهنمای حل مساله:

برای محاسبه نیروی برانید دارد بر بار  $q_1$  مراحل زیر را طی کنید:

۱- مبدأ مختصات را روی بار  $q_1$  قرار می دهیم .

۲- با توجه به نوع نیروی جاذبه یا دافعه بودن ، بردار نیرو را از مبدأ  $q_1$  رسم می کنیم. اگر جاذبه بود به سمت بار مورد نظر و اگر دافعه بود از بار مورد نظر دور می شود.

۳- مقدار هر نیرو را از رابطه  $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$  بدست می آوریم.

۴- بردارهای نیرویی که روی محورهای مختصات قرار ندارند را به مولفه های  $F_x, F_y, F_z$  تجزیه می کنیم.