فیزیک ۲
یازدهم

رشته تجربی
دورهٔ دوم متوسطه

مؤلف: غلامعلی محمودزاده

بسم الله الرحمن الرحیم

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول: الکتریسته ساکن	
درسنامهٔ ۱	۸
درسنامهٔ ۲	۸
درسنامهٔ ۳	۸
درسنامهٔ ۴	۱۰
درسنامهٔ ۵	۱۰
درسنامهٔ ۶	۱۱
درسنامهٔ ۷	۱۲
درسنامهٔ ۸	۱۲
درسنامهٔ ۹	۱۳
درسنامهٔ ۱۰	۱۰
درسنامهٔ ۱۱	۲۰
درسنامهٔ ۱۲	۲۵
درسنامهٔ ۱۳	۳۳
درسنامهٔ ۱۴	۳۵
درسنامهٔ ۱۵	۳۹
پرسش‌های مفهومی بخش اول بار و نیروی الکتریکی	۴۲
پاسخ پرسش‌های مفهومی بخش اول	۴۵
بخش دوم: میدان الکتریکی	۵۱
پاسخ پرسش‌های بخش دوم	۵۳
بخش سوم: کار ـ انرژی پتانسیل و اختلاف پتانسیل الکتریکی	۵۹
پاسخ بخش سوم	۶۱
بخش چهارم: خازن	۶۵
پاسخ بخش چهارم	۶۶
پرسش‌های چهارگزینه‌ای	۷۰
بخش اول: بار نیروی الکتریکی	۷۰
پاسخ بخش اول	۷۸
بخش دوم: میدان الکتریکی	۹۱
پاسخ بخش دوم	۹۶

عنوان	صفحه
بخش سوم: انرژی، پتانسیل و پتانسیل الکتریکی	۱۰۳
پاسخ بخش سوم:	۱۰۹
بخش چهارم: خازن	۱۱۷
پاسخ بخش چهارم	۱۲۴
فصل دوم: جریان‌های الکتریکی ـ مدارهای جریان مستقیم	
درسنامهٔ ۱	۱۳۶
درسنامهٔ ۲	۱۳۸
درسنامهٔ ۳	۱۴۶
درسنامهٔ ۴	۱۴۹
درسنامهٔ ۵	۱۵۵
پرسش‌های مفهومی	۱۶۲
پاسخ پرسش‌های مفهومی	۱۶۵
پرسش‌های چهارگزینه‌ای	۱۷۴
پاسخ پرسش‌های چهارگزینه‌ای	۱۹۸
فصل سوم: میدان‌های مغناطیسی و نیروهای مغناطیسی	
درسنامهٔ ۱	۲۳۲
درسنامهٔ ۲	۲۳۶
درسنامهٔ ۳	۲۳۹
درسنامهٔ ۴	۲۴۲
درسنامهٔ ۵	۲۵۴
پرسش‌های مفهومی	۲۵۷
پاسخ پرسش‌های مفهومی	۲۵۹
پرسش‌های چهارگزینه‌ای	۲۶۶
پاسخ پرسش‌های چهارگزینه‌ای	۲۸۵

به نام خدا

سخنی با دانش‌آموزان

کتاب فیزیک ۲- یازدهم رشتهٔ تجربی شامل ۳ فصل به شرح زیر است:

۱- فصل اول: الکتریستهٔ ساکن

۲- فصل دوم: جریان الکتریکی

۳- فصل سوم: میدان‌های مغناطیسی و نیروهای مغناطیسی، القای الکترومغناطیسی

هریک از فصل‌های این کتاب شامل چهار بخش زیر است:

الف) درسنامه‌ها

ب) پرسش‌های مفهومی

پ) پاسخ پرسش‌های مفهومی

ت) پرسش‌های چهارگزینه‌ای (تستی)

ث) پاسخ پرسش‌های چهارگزینه‌ای

الف

مطلب‌های هر فصل کتاب به چند درسنامه تقسیم شده به طوری که هر قسمت در یک جلسهٔ درسی دبیرستانی قابل تدریس باشند. هر درسنامه با شماره و عنوان اصلی آن قسمت، مشخص شده است. مطلب هر درسنامه به طور کامل و در حد لازم بیان شده و شما را برای گذراندن امتحان تشریحی در دبیرستان و آزمون‌های تستی، آماده می‌کند.

با مثال‌های حل شده، شما با کاربرد مطلب یا فرمول‌های ذکرشده، در پاسخ به پرسش‌های تشریحی و تستی آشنا می‌شوید.

ب

در این بخش، عنوان‌های اصلی و کلیدی هر فصل کتاب را با طرح پرسش‌هایی مورد بررسی قرار داده‌ام تا شما دربارهٔ آن‌ها فکر کرده و تلاش به پاسخ دادن کنید. در هر جا لازم بوده، راهنمایی انجام شده است.

پ

در این بخش، ضمن پاسخ به هر پرسش، مطلب درسی به طور مختصر و مفید بیان کرده‌ام تا شما با مفهوم مطلب درسی آشنا شده و آن را فراگیرید. در جای لازم، شمارهٔ درسنامهٔ مربوط به آن مطلب درسی بیان شده که شما با مراجعه به آن، با تشریح بیش‌تر و کامل‌تر، مطلب درسی را بیاموزید. این پاسخ‌ها شبیه به پاسخی است که شما در امتحان‌های دبیرستانی باید به پرسش‌ها جواب دهید.

ت

این قسمت با طرح پرسش‌های تستی و نیز نمونهٔ تست‌های کنکور سراسری در سال‌های گذشته، شما را برای گذراندن این گونه آزمون‌ها و نیز کنکورهای سراسری، آماده می‌کند. ابتدا خود به پاسخ‌گویی بپردازید. اگر پاسخ تستی برای شما مشخص نبود، به درسنامهٔ مربوط به آن رجوع کنید و پاسخ تست را مشخص کنید. در انتها به پاسخ من هم رجوع کنید، شاید نکتهٔ تستی در آن‌جا ذکر کرده باشم.

توجه کنید که تست‌های دشوار یا اختیاری یا با حل طولانی عمداً آورده شده‌اند. زیرا این‌گونه تست‌ها برای تشخیص دانش‌آموزان ممتاز، ساعی و تیزهوش در کنکورهای سراسری گنجانده می‌شود. علاوه بر آن، این تست‌ها شامل مطلب‌های کتاب درسی‌اند که در مدرسه‌های برتر و تیزهوشان تدریس می‌شوند. حتماً این‌گونه تست‌ها را نیز حل کنید.

فراموش نکنید که فراگیری این‌گونه مطلب‌ها باعث می‌شود که تست‌ها را خیلی سریع‌تر حل کنید. در کنکور، شما باید پاسخ درست را مشخص کنید. کسی از شما راه‌حل نمی‌خواهد.

سخنی با همکاران

در تألیف این کتاب، مطلب‌های درسی و نکته‌های مربوط به آن‌ها را تا آن‌جا که لازم است و در بضاعتم بوده، که حاصل بیش از چهل سال تدریس و تألیف کتاب‌های درسی دبیرستانی و کمک آموزشی است، آورده‌ام. امیدوارم مانند کتاب‌های قبلی اینجانب، مورد اقبال همکاران گرامی قرار گیرد.

خواهشمندم، دانش‌آموزان را در استفادهٔ درست و بهینه از کتاب، راهنمایی کنید و مرا از نظرها و راهنمایی‌های خود، بی‌نصیب نفرمایید، متشکرم.

سخن آخر

خدای بزرگ را شکرگزارم که مرا یاری و توان آن داد که با تألیف کتابی جدید در خدمت سرمایه‌ها و امیدهای آیندهٔ کشور و در خدمت آموزش و پرورش کشورم، ایران عزیز باشم.

لازم می‌دانم از تمام کسانی که مرا در آماده‌سازی کتاب یاری داده‌اند، تشکر کنم.

- از یار دیرین، جناب آقای یحیی دهقانی مدیرعامل شرکت آموزشی فرهنگی مبتکران به خاطر همراهی مداومشان.
- از آقای خدایار مبین مدیر واحد حروف‌چینی و گرافیک به خاطر سرپرستی در تایپ و صفحه‌آرایی کتاب.
- از خانم ملیحه محمدی آندرس به خاطر پشتکار و همراهی صبورانه در تایپ و صفحه‌آرایی کتاب
- از خانم نرگس سربندی برای رسم شکل‌ها
- از خانم سمانه ایمان‌فرد به خاطر طراحی جلد
- از خانم نسیم مرادی مقدم مدیر واحد تولید و همکاران ایشان به خاطر فراهم کردن زمینهٔ چاپ کتاب.
- از آقای میرحمید خاتمی مدیر واحد پخش و همکاران ایشان به خاطر معرفی و پخش کتاب

با سپاس بیکران از رحمت‌های بی‌پایان خداوند

غلامعلی محمودزاده

فصل اول

الکتریسیتهٔ ساکن

درسنامهٔ ۱

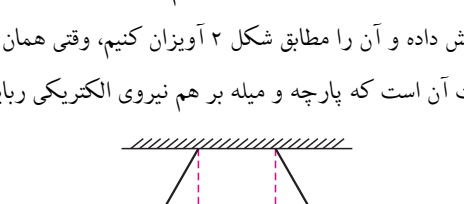
بار الکتریکی، کمیتی بنیادی

ماده دارای سه خاصیت بنیادی «حجم، جرم و بار الکتریکی» است. این به معنای آن است که هر ماده‌ای دارای این سه خاصیت است و هیچ ماده‌ای وجود ندارد که یکی از این سه خاصیت را نداشته باشد. در دانش فیزیک، به هر یک از این سه خاصیت، کمیت گفته می‌شود. وقتی می‌گوییم که این کمیت‌ها بنیادی هستند؛ یعنی تعریف ناپذیرند و نمی‌دانیم که مثلاً بار الکتریکی یا جرم، چیست؟ فقط می‌دانیم که ماده دارای خاصیتی است که ما آن را جرم یا بار الکتریکی یا حجم، نام‌گذاری کرده‌ایم. اصولاً در دانش فیزیک، صحبت از «چیستی» نمی‌شود و این پرسش که «این چیست؟» پرسشی است فلسفی که فیلسوف‌ها در پی پاسخ آن‌اند ... در دانش فیزیک، اثرهایی که به علت وجود این کمیت‌ها در جسم ظاهر می‌شوند، مورد رسیدگی و بررسی قرار می‌گیرند؛ مثلاً یک جسم باردار، به علت داشتن بار الکتریکی، بر جسم‌های باردار دیگر، نیرو وارد می‌کند. یا برای شتاب دادن به یک جسم، به این دلیل باید به آن نیرو وارد کنیم که جسم دارای جرم است.

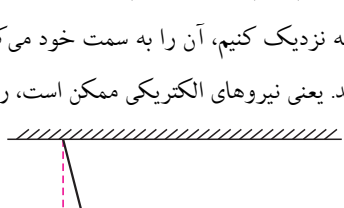
درسنامهٔ ۲

نیروی الکتریکی

تجربه و آزمایش نشان می‌دهد که دو جسم باردار بر هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. نیروی الکتریکی ممکن است رانشی یا ربایشی باشد. اگر دو جسم هم‌جنس، مثلاً دو شانهٔ پلاستیکی هم‌جنس را به موهای خشک و تمیز خود مالش داده و مانند شکل (۱) در مجاورت هم آویزان کنیم، از هم دور می‌شوند. دور شدن آن‌ها به دلیل آن است که بر هم نیروهای الکتریکی رانشی وارد می‌کنند. چنان‌چه یک میلهٔ پلاستیکی (مثل شانهٔ پلاستیکی) را با پارچهٔ پشمی مالش داده و آن را مطابق شکل ۲ آویزان کنیم، وقتی همان پارچه را به میله نزدیک کنیم، آن را به سمت خود می‌کشد. نزدیک شدن میله به پارچه به علت آن است که پارچه و میله بر هم نیروی الکتریکی ربایشی وارد می‌کنند. یعنی نیروهای الکتریکی ممکن است، رانشی یا ربایشی باشند.



شکل (۱)



شکل (۲)

درسنامهٔ ۳

پایستگی بار الکتریکی

هر ماده‌ای **متشکل** از اتم‌هاست. اتم از دو قسمت هسته و الکترون‌ها که (در خارج از هسته‌اند) تشکیل شده است. در هستهٔ اتم، دو ذرهٔ پروتون و نوترون وجود دارند. الکترون‌ها و پروتون‌ها دارای بار الکتریکی و نوترون‌ها بدون بار الکتریکی‌اند. بار الکترون و پروتون یک نوع نیستند، زیرا دو الکترون و نیز دو پروتون بر هم نیروی رانشی الکتریکی وارد می‌کنند، در حالی که نیروی الکترون و پروتون برهم، ربایشی است.

برای تشخیص دو نوع بار الکتریکی از یک‌دیگر، آن‌ها را نام‌گذاری کرده‌اند. **بنا به تعریف، بار الکترون و بارهای مشابه آن را «منفی» و بار پروتون و بارهای مشابه آن را «مثبت»** نامیده‌اند.

پرسش: چرا گفته می‌شود که دو نوع بار الکتریکی داریم؟ چرا سه نوع بار نداریم؟ اگر نوع سوم بار الکتریکی وجود داشته باشد، نیروی الکتریکی که به دو نوع اول وارد می‌کند، ربایشی است؟ رانشی است؟ چگونه است؟

توجه کنید که منفی یا مثبت فقط نام این بارهای الکتریکی است و معنای دیگری ندارند؛ مثلاً منفی به معنای از دست دادن یا مثبت به معنای دریافت کردن و اضافه شدن نیست.

بار الکتریکی الکترون، هم‌اندازهٔ بار الکتریکی پروتون است. در هر اتم و در حالت طبیعی، به همان تعداد پروتون‌هایی که در هسته‌اند، الکترون در خارج از هسته وجود دارد؛ درنتیجه یک اتم (در حالت طبیعی) بدون بار الکتریکی است. ماده هم که از این اتم‌های خنثی ساخته شده، با وجود داشتن دو نوع بار الکتریکی، خنثی است؛ می‌گوییم «بار خالص آن صفر است».

هر الکترون با یک انرژی به هسته (و اتم مادر خود) وابسته است. بسته به فاصلهٔ الکترون از هسته، این انرژی که به آن «**انرژی بستگی الکترون**» گفته می‌شود، کم یا زیاد است. الکترون‌هایی که انرژی بستگی آن‌ها کم‌ترین است، به سادگی از اتم جدا شده و از اتمی به اتم دیگر می‌جهند و به این ترتیب در ماده جابه‌جا می‌شوند. به این گونه الکترون‌ها، «**الکترون آزاد**» (غیرمستقر) گفته می‌شود.

همین الکترون های آزاد، نقش اساسی در باردار کردن جسم‌ها دارند. در روش‌های مختلف باردار کردن یک جسم، تعدادی الکترون آزاد از یک جسم به جسم دیگر منتقل شده و دو جسم دارای بار الکتریکی خالص می‌شوند. جسمی که الکترون از دست داده، کمبود الکترون داشته و درنتیجه «**دارای بار مثبت**» می‌شود. بار خالص جسم دیگر که الکترون دریافت کرده، **منفی** خواهد شد.

بار پایه: کم‌ترین بار الکتریکی (بدون علامت) که می‌تواند وجود داشته باشد، بار پایه نام دارد و با نماد « e » نشان داده می‌شود. یکای بار الکتریکی، کولن (C) نام دارد. مقدار بار پایه برابر است با:

$$e \simeq ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

رقم‌های بعد از ممیز ادامه دارد و تاکنون تا رقم ۳۵ام اندازه‌گیری شده است. مقدار بار پایه تا رقم نهم بعد از ممیز برابر است با:

$$e = ۱/۶۰۲۱۷۶۵۶۹ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

اگر بخواهید مقدار دقیق‌تر در محاسبه‌ها به کار برید، ضریب را ۱/۶۰۲ بگیرید.

بار خالص یک جسم: اگر تعداد الکترون‌های گرفته یا داده شده به یک جسم برابر n باشد، بار الکتریکی خالص جسم (که آن را با نماد q نشان می‌دهیم)، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$q = \pm ne \quad و \quad n = ۰,۱,۲,۳,...$$

توجه کنید: وقتی گفته می‌شود «بار الکتریکی جسم»، منظور بار خالص آن است.

بار الکتریکی کمیتی ناپیوسته: بار الکتریکی یک جسم، مضرب درستی از بار پایه است؛ بنابراین اندازهٔ بار جسم می‌تواند e یا ۲e یا ۳e یا ... ۵۳۸e یا ... باشد؛ یعنی امکان ندارد بار جسم مثلاً ۱۱/۲۵e یا ۱۱۷/۹e یا ... باشد؛ بنابراین بار الکتریکی، کمیتی ناپیوسته است.

$$q = \pm e \text{ یا } \pm ۲e \text{ یا } \pm ۳e \text{ یا } ... \pm ۲۶۴e$$

یعنی همواره:

$$q = \pm ne \quad و \quad n = \text{عددی درست}$$

پایستگی بار الکتریکی: بار الکتریکی از خاصیت‌های بنیادی ماده و مربوط به الکترون‌ها و پروتون‌هاست. از آن‌جا که الکترون یا پروتونی خلق نشده و از بین هم نمی‌رود، بار الکتریکی نیز به وجود نمی‌آید و نابود هم نمی‌شود. به همین دلیل، قانون پایستگی دربارهٔ بار الکتریکی نیز کاربرد داشته و به صورت زیر بیان می‌شود:

قانون پایستگی بار الکتریکی: بار الکتریکی نه تولید می‌شود و نه از بین می‌رود، و در هر کنش و واکنشی، مقدار آن ثابت مانده و فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود.

بیان بالا به این معناست که جمع جبری بارهای الکتریکی جسم‌های شرکت‌کننده در هر کنش و واکنشی، قبل و بعد از واکنش با هم برابراند:

قبل از واکنش بعد از واکنش

$$q_1+q_2+q_3+...=q'_1+q'_2+q'_3+....$$

درسنامهٔ ٤

رسانا، نارسانا و نیمرسانا

رسانای الکتریکی: وقتی به بعضی از جسم‌ها بار الکتریکی داده می‌شود، بار الکتریکی در جسم ساکن نمانده و در جسم پخش می‌شود. به این گونه جسم‌ها، **رسانای الکتریکی** یا به طور خلاصه، **رسانا** گفته می‌شود. فلزها و بعضی از محلول‌ها رسانای الکتریکی‌اند. نقره و بعد از آن مس و آلومینیوم از بهترین رساناهای الکتریکی‌اند. فلزها رسانا هستند.

علت رسانایی فلزها وجود الکترون‌های آزاد بی‌شمار در آن‌هاست (در یک سانتی‌مترمکعب مس، 10^{22} الکترون آزاد وجود دارد.) وقتی به یک رسانا بار الکتریکی داده می‌شود، الکترون‌های آزاد جسم، توسط بار الکتریکی ربوده یا رانده می‌شوند و به این ترتیب، بار الکتریکی در جسم جابه‌جا شده و در آن پخش می‌شود. با چگونگی پخش بار در رساناها، در همین فصل آشنا می‌شوید.

نارسانای الکتریکی: بار الکتریکی در بعضی جسم‌ها جابه‌جا نشده و در همان محل داده شده به جسم، ساکن می‌ماند. به این جسم‌ها، نارسانای الکتریکی یا نارسانا می‌گوییم. غیرفلزها، گازها، شیشه، چوب خشک و ... نارسانای الکتریکی‌اند.

نارساناها الکترون آزاد ندارند (یا تعداد آن‌ها در جسم، ناچیز است). به همین دلیل بار الکتریکی که به یک جسم نارسانا می‌دهیم، در همان محل ساکن مانده و در جسم جابه‌جا نمی‌شود.

نیمرسانا: بعضی جسم‌ها در دماهای پایین، نارسانای الکتریکی‌اند و با افزایش دمای آن‌ها، به تدریج رسانا می‌شوند. به این جسم‌ها «نیمرسانا» گفته می‌شود. عنصرهای خانوادهٔ کربن نیمرسانا هستند. نیمرساناها به ویژه «سیلیسیوم و ژرمانیوم» در صنعت الکترونیک کاربرد زیاد دارند.

درسنامهٔ ۵

القای الکتریکی

در یک جسم می‌توان به سه روش زیر، بار الکتریکی خالص ایجاد کرد:

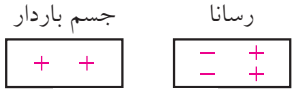
۱) تماس با یک جسم باردار ۲) مالش ۳) القای الکتریکی

۱- تماس: وقتی یک جسم بدون بار را به جسم بارداری تماس می‌دهیم، مقداری بار الکتریکی به جسم بدون بار منتقل می‌شود.

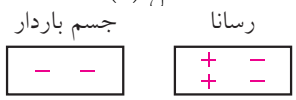
۲- **مالش:** در مالش دو جسم به یک‌دیگر، تعدادی الکترون آزاد از یکی به دیگری منتقل شده و دو جسم باردار می‌شوند. یکی بار مثبت و دیگری به همان اندازه بار منفی.

۳- **القای الکتریکی:** به کمک القای الکتریکی، می‌توان در جسم‌های رسانا بار الکتریکی ایجاد کرد.

اگر مانند شکل‌های ۱ و ۲، جسم بارداری را به جسم رسانای بدون باری نزدیک کنیم، در رسانا بارهای مثبت و منفی از هم جدا شده و در آن دو نوع بار مثبت و منفی مشاهده می‌شود. علت آن است که الکترون‌های آزاد رسانا به دلیل تأثیر بارهای جسم دیگر، جابه‌جا شده و درنتیجه یک طرف آن دارای بار مثبت و طرف دیگرش، دارای بار منفی می‌شود.



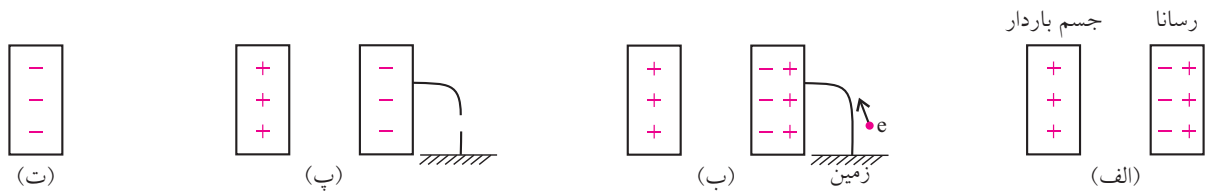
شکل (۱)



شکل (۲)

جسم رسانا طوری باردار می‌شود که بین آن و جسم باردار اولیه، نیروی ربایش الکتریکی ایجاد شود. به این روش باردار کردن که ویژهٔ جسم‌های رساناست، **القای الکتریکی** می‌گوییم. روشن است که با دور کردن جسم باردار اولیه، بارهای جابه‌جا شده در رسانا به جای اول خود برگشته و جسم، بار خود را از دست می‌دهد؛ یعنی **القای الکتریکی، موقتی است.**

توجه کنید: به شکل‌های زیر نگاه کنید، در شکل الف جسم باردار در جسم رسانای بدون بار، بارهای مثبت و منفی القا کرده است. مطابق شکل ب برای لحظه‌ای، جسم رسانا را به زمین وصل می‌کنیم. الکترون‌ها از زمین به جسم رسانا منتقل شده و بارهای مثبت آن را خنثی می‌کنند. روشن است که اگر بار جسم باردار اولیه منفی باشد، الکترون‌ها از جسم رسانا به زمین شارش می‌کنند. مطابق شکل پ، ابتدا اتصال به زمین را قطع می‌کنیم. درنتیجه، الکترون‌های جابه‌جا شده، نمی‌توانند به جای اول خود برگردند، سپس مانند شکل ت، جسم باردار اولیه را دور می‌کنیم. به این ترتیب در جسم رسانا بار دائمی ایجاد کرده‌ایم. برای دادن بار خالص مثبت به رسانای بدون بار، باید جسم باردار اولیه (که به آن القاکن گفته می‌شود) را با بار منفی انتخاب کنیم.

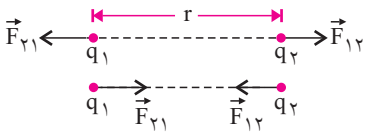


درسنامهٔ ٦

قانون کولن

قانون کولن، رابطهٔ بین اندازهٔ (بزرگی) نیروی الکتریکی که دو ذرهٔ باردار بر هم وارد می‌کنند را با عامل‌های مؤثر بر آن، مشخص می‌کند. این قانون به صورت زیر بیان می‌شود.

قانون کولن: بزرگی **نیروی الکتریکی که دو ذرهٔ باردار بر هم وارد می‌کنند، با حاصل‌ضرب اندازهٔ بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آن‌ها از هم، نسبت وارون دارد.**



نیروهایی که دو ذره بر هم وارد می‌کنند، کنش و واکنش‌اند و درنتیجه، هم‌اندازه‌اند:

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| \Rightarrow F_{12} = F_{21}$$

این دو نیرو در امتداد خط واصل بین دو ذره‌اند و اگر بارها هم‌نام باشند (هر دو مثبت یا هر دو منفی)، نیروها رانشی و در حالتی که ناهم‌اند، نیروها ربایشی خواهند بود. اندازهٔ نیروی الکتریکی، F_e ، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2}$$

در این رابطه و در SI ، بارهای الکتریکی برحسب کولن (C) ، فاصله برحسب متر (m) و نیروی الکتریکی برحسب نیوتون (N) است.

ε_0 ثابتی جهانی به نام «**گذردهی الکتریکی خلأ**» است که اندازهٔ آن برابر است با:

$$\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

برای سادگی رابطه، ضریب $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ را با نماد k به نام «**ضریب قانون کولن**» نشان می‌دهیم:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \simeq 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2} \Rightarrow F_e = k\frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2}$$

درسنامهٔ ۷

بهتر است بدانید

چگالی سطحی بار

بار الکتریکی در سطح خارجی جسم‌های رسانا پخش می‌شود. اگر سطح خارجی جسم مانند کره یکنواخت باشد، بار الکتریکی به طور یکنواخت در سطح خارجی جسم پخش می‌شود. اما اگر سطح خارجی جسم یکنواخت نباشد، مانند مکعب، پخش بار در سطح خارجی یکنواخت نشده و در نقطه‌های مختلف جسم، متفاوت می‌شود. در این گونه جسم‌ها، تجمع بار در نقطه‌های نوک تیز بیش‌تر از سطح‌های پهن می‌شود. برای مقایسه پخش بار در نقطه‌های مختلف سطح خارجی جسم‌های رسانا با هم، کمیتی به نام «**چگالی سطحی بار الکتریکی**» به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

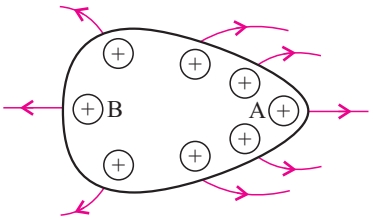
«چگالی سطحی بار الکتریکی برابر اندازهٔ بار موجود در یکای سطح خارجی جسم است.»

اگر بار الکتریکی موجود در سطحی به مساحت A برابر q باشد، چگالی سطحی بار آن که با نماد « σ » نشان داده می‌شود، با توجه به تعریف بالا از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\sigma = \frac{|q| \to \text{C} \quad \text{کولن}}{\text{A} \to \text{m}^2 \ \text{مترمربع}} \leftarrow \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \ \text{کولن بر متر مربع}$$

یکای دیگر چگالی سطحی بار، میکروکولن بر سانتی‌متر مربع است.

$$1\frac{\text{C}}{\text{m}^2} = 1 \times \frac{10^6\,\mu\text{C}}{10^4\,\text{cm}^2} = 10^2\,\frac{\mu\text{C}}{\text{cm}^2} \Leftrightarrow 1\frac{\mu\text{C}}{\text{cm}^2} = 10^{-2}\,\frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$



چگالی سطحی بار الکتریکی کرهٔ رسانای باردار در همه جای آن یکسان است. اما برای جسم‌های دیگر، چگالی سطحی بار در مکان‌های برجسته و نوک تیز، از سایر مکان‌های دیگر جسم، بیش‌تر است. به شکل روبه‌رو نگاه کنید، فاصلهٔ بارهای الکتریکی در A کم‌تر از فاصلهٔ بارهای الکتریکی در B است. درنتیجه، چگالی سطحی بار الکتریکی در A بزرگ‌تر از چگالی سطحی در B است. این مسئله باعث می‌شود که میدان الکتریکی (در دنبالهٔ همین فصل، با میدان الکتریکی آشنا می‌شوید) در مکان‌های برجسته و نوک‌تیز، قوی‌تر از مکان‌های دیگر جسم است.

توجه کنید که چگالی سطحی بار بیش‌تر، الزاماً به معنای بار الکتریکی بیش‌تر نیست (چرا؟) برای دو سطح مختلف داریم:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{|q_2|}{|q_1|} \times \frac{A_1}{A_2}$$

درسنامهٔ ۸

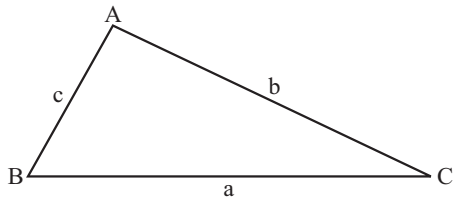
برآیند نیروهای الکتریکی

اگر در یک ناحیه از فضا تعداد $n\ (n \geq 2)$ بار الکتریکی قرار داشته باشد، به هر یک از بارهای الکتریکی تعداد « $n-1$ » نیرو وارد می‌شود. نیروی وارد بر هر یک از این بارهای الکتریکی، برآیند نیروهایی است که بارهای دیگر به آن وارد می‌کنند. با توجه به آن‌چه که دربارهٔ محاسبهٔ برآیند نیروهای وارد بر یک جسم فرا گرفته‌اید، برآیند نیروهای وارد بر هر یک از بارهای الکتریکی را محاسبه کنید. این محاسبه به روش متوازی‌الاضلاع (برای دو نیروی متقاطع) یا به روش تصویری و بردارهای یکّه محورهای مختصات می‌توان انجام داد. دراین‌باره بهتر است آن‌چه را که در سال‌های قبل فرا گرفته‌اید، مرور کرده و به حل پرسش‌های بعدی نیز دقت کنید.

توجه کنید: دو قانون ریاضی زیر را فراگیرید و در حل مسئله‌ها از رابطه‌های مربوط به آن‌ها، استفاده کنید.

الف) قانون کسینوس‌ها در مثلث

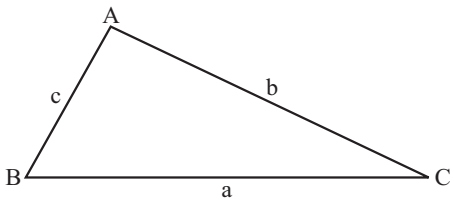
در هر مثلث، مجذور طول یک ضلع برابر مجموع مجذورهای طول دو ضلع دیگر، منهای دو برابر حاصل‌ضرب طول دو ضلع دیگر در کسینوس زاویهٔ روبه‌رو به آن ضلع است.



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos A$$
$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac\cos B$$
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos C$$

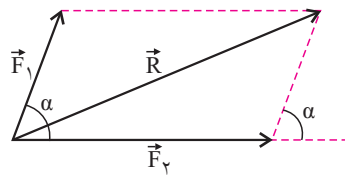
ب) قانون سینوس‌ها

در هر مثلث، نسبت طول هر ضلع به سینوس زاویهٔ روبه‌رو به آن ضلع، مقداری است ثابت.



$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

۱- **استفاده از قانون کسینوس‌ها:** از قانون کسینوس‌ها در مثلث، معلوم می‌شود که برآیند دو نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ که با هم زاویهٔ α می‌سازند، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

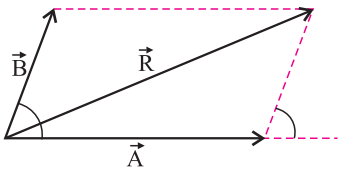


$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \times F_2 \cos\alpha$$

در حالت خاصی که دو نیرو هم‌اندازه باشند $(F_1 = F_2)$ رابطهٔ بالا به صورت زیر ساده می‌شود:

$$F_1 = F_2 \Rightarrow R = 2F_1 \cos\frac{\alpha}{2}$$

۲- **استفاده از قانون سینوس‌ها:** از قانون سینوس‌ها در مثلث و شکل زیر، برآیند دو نیرو را با معلوم بودن زاویه‌های «β، γ و θ» می‌توان از رابطهٔ زیر به دست آورد:



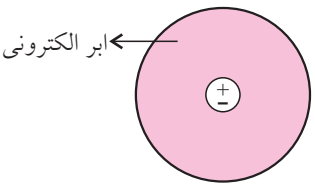
$$\frac{R}{\sin\theta} = \frac{F_1}{\sin\beta} = \frac{F_2}{\sin\gamma}$$

درسنامهٔ ۹

قطبش بار الکتریکی

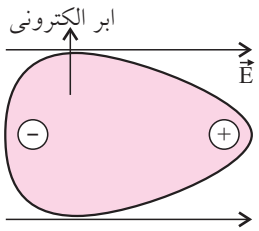
در درسنامهٔ ۱۰ همین فصل، با میدان الکتریکی آشنا می‌شوید. به طور خلاصه، میدان الکتریکی خاصیتی است که هر جسم باردار در فضای اطراف خود ایجاد می‌کند. اگر جسم باردار دیگری وارد میدان الکتریکی شود، از طرف میدان بر آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود.

به شکل‌های روبه‌رو نگاه کنید، شکل الف یک اتم را خارج از میدان الکتریکی نشان می‌دهد. در این شکل، مرکز مؤثر بارهای مثبت و منفی اتم، بر هم منطبق‌اند و اتم دارای قطب (مثبت یا منفی یا هر دو) نیست. به این معنا که یک طرف اتم مثبت (قطب مثبت) و طرف دیگر آن منفی (قطب منفی) نیست.



شکل الف

اگر همین اتم مانند شکل ب درون میدان الکتریکی $(\vec{E})$ قرار گیرد، به علت تأثیر میدان، ابر الکترونی در خلاف جهت میدان کشیده شده و اتم دارای دو قطب مثبت و منفی می‌شود. می‌گوییم اتم «قطبیده» شده است.



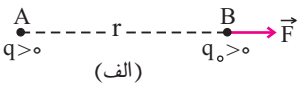
شکل ب

توجه کنید که بارهای مثبت و منفی اتم از هم جدا نشده‌اند. به این پدیده «قطبش بار الکتریکی» گفته می‌شود. مولکول‌های نارسانا ممکن است خود قطبیده باشند یا نباشند. به هر حال وقتی یک نارسانا در میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، مولکول‌های آن قطبیده شده و یک طرف جسم مثبت و طرف دیگرش منفی می‌شود. (درست مثل اتم قطبیده شده در میدان الکتریکی).

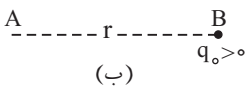
درسنامهٔ ۱۰

میدان الکتریکی

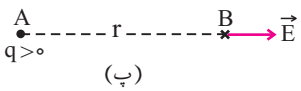
بارهای الکتریکی بدون هیچ واسطه‌ای، از فاصلهٔ نزدیک یا از دور و بدون تماس با هم، بر یک‌دیگر نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. چگونه یک جسم از دور و بدون هیچ واسطه و وسیله‌ای بر جسم دیگر نیرو وارد می‌کند؟ به نظر می‌رسد که جسم باردار در نقطه‌های فضای اطراف خود، چه در این فضا هوا یا محیط نارسانای دیگری باشد یا اطراف آن خلأ باشد، چیزی ایجاد می‌کند که اگر جسم بارداری در هر یک از این نقطه‌ها قرار گیرد، از طرف جسم باردار بر آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود. در این‌باره به مثال و شرح زیر توجه کنید:



(الف)



(ب)



(پ)

به شکل‌های روبه‌رو نگاه کنید. در شکل الف، بار مثبت q و بار مثبت و بسیار کوچک q_0 (که به آن بار آزمون می‌گوییم) در نقطه‌های A و B به فاصلهٔ r از هم قرار دارند.

بار q از فاصلهٔ r نیروی الکتریکی $\vec{F}$ را بر q_0 وارد می‌کند. اگر مانند شکل (ب) بار q را از نقطهٔ A برداریم، دیگر بر بار q_0 واقع در نقطهٔ B، نیروی الکتریکی وارد نمی‌شود. بنابراین وجود بار q در نقطهٔ A است که باعث می‌شود در نقطهٔ B بر q_0 نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد شود.

می‌توان نتیجه گرفت که بار q در نقطهٔ A باعث می‌شود که چیزی (خاصیتی) در نقطهٔ B ایجاد شود که وقتی بار q_0 در این نقطه قرار می‌گیرد، این چیز بر بار q_0 نیرو وارد کند. این چیز (خاصیت) در شکل (پ) با بردار $\vec{E}$ نشان داده شده است و به آن «**میدان الکتریکی**» می‌گوییم. بنابراین، میدان الکتریکی را به طور **کیفی** می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

«میدان الکتریکی، خاصیتی است که یک جسم باردار در فضای اطراف خود به وجود می‌آورد» و به کمک همین خاصیت، بر بارهای الکتریکی دیگر واقع در این فضا، نیروی الکتریکی وارد می‌کند.»

بار q به کمک همین میدان الکتریکی و از راه دور، بر بار q_0 نیرو وارد می‌کند. متقابلاً، بار q_0 نیز با ایجاد میدان الکتریکی، بر q نیرو وارد می‌کند. دیاگرام زیر بیانگر همین مطلب است.

نیروی وارد بر بار q_0 ⇒ میدان الکتریکی بار q ⇒ بار q

و عمل متقابل بار q_0 به صورت زیر است:

بار q_0 ⇐ میدان الکتریکی بار q_0 ⇐ نیروی وارد بر بار q

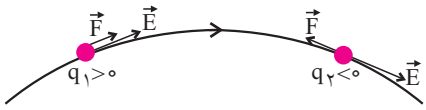
با شناخت میدان الکتریکی، باید آن را به گونه‌ای که قابل اندازه‌گیری باشد، تعریف کنیم که به آن، **تعریف کمی میدان الکتریکی** می‌گوییم و به صورت زیر بیان می‌شود:

میدان الکتریکی در هر نقطه، نیرویی است که از طرف میدان بر یکای بار مثبت واقع در آن نقطه وارد می‌شود.

اگر در یک نقطهٔ فضا بر بار الکتریکی مثبت $(q>0)$ نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد شود، بنا به تعریف بالا، میدان الکتریکی در آن نقطه $(\vec{E})$ به کمک یک تناسب ساده از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

بار الکتریکی	نیروی وارد بر بار	
q	$\vec{F}$	$\Rightarrow \vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}$
$+1C$	$\vec{E}=?$	

بنابراین، چون q کمیتی نرده‌ای است، میدان الکتریکی کمیتی برداری خواهد بود. توجه کنید که چون q را در رابطه بالا مثبت انتخاب کردیم، $\vec{E}$ و $\vec{F}$ هم‌جهت می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در میدان الکتریکی:



۱- بر بار مثبت، نیرو در جهت میدان

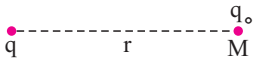
۲- بر بار منفی، نیرو در خلاف جهت میدان وارد می‌شود. شکل روبه‌رو را ببینید.

بزرگی میدان الکتریکی را از رابطهٔ زیر به دست می‌آوریم:

$$E=\frac{F}{|q|}\ \begin{matrix}\rightarrow \text{نیوتون} \text{ N}\\ \rightarrow \text{کولن} \text{ C}\end{matrix} \Rightarrow \frac{\text{N}}{\text{C}} \text{ نیوتون بر کولن}$$

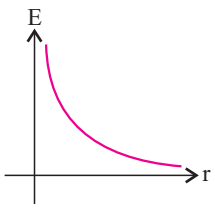
میدان الکتریکی یک ذرهٔ باردار

اگر بار الکتریکی بسیار کوچک q_0 (بار آزمون) را مطابق شکل زیر در نقطهٔ M که به فاصلهٔ r از بار ذره‌ای q است، قرار دهیم، از طرف بار q به آن نیرویی به بزرگی $F=k\frac{|q|\times|q_0|}{r^2}$ وارد می‌شود. اندازهٔ میدان الکتریکی که ذرهٔ باردار q در نقطهٔ M ایجاد می‌کند با توجه به رابطهٔ $E=\frac{F}{|q_0|}$ برابر E می‌شود که از رابطهٔ زیر به دست می آید:



$$E=k\frac{|q|\rightarrow \text{کولن} \text{ C}}{r^2\rightarrow \text{متر} \text{ m}} \Rightarrow \frac{\text{N}}{\text{C}} \text{ نیوتون بر کولن}$$

بنا به رابطهٔ بالا، اندازهٔ میدان الکتریکی یک ذرهٔ باردار در هر نقطهٔ فضا:



الف) با اندازهٔ بار ذره نسبت مستقیم دارد.

ب) با مجذور فاصله از ذرهٔ باردار نسبت وارون دارد.

از رابطهٔ $E=k\frac{|q|}{r^2}$ نتیجه می‌شود که:

$$\frac{E_2}{E_1}=(\frac{r_1}{r_2})^2$$

نمودار تغییرات اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار برحسب فاصله از آن، مطابق شکل بالا است.

بر هم نهی میدان‌های الکتریکی

اگر در یک منطقه از فضا چند بار الکتریکی نقطه‌ای وجود داشته باشد، هر یک از بارهای الکتریکی در یک نقطه واقع در آن منطقه، میدانی الکتریکی ایجاد می‌کنند. **میدان الکتریکی در آن نقطه، برابر برآیند میدان‌های حاصل از بارهای مختلف است که آن بارها ایجاد می‌کنند.**

توجه کنید: در یک نقطهٔ فضا در مجاورت چند بار الکتریکی، فقط میدان الکتریکی برآیند یعنی $\vec{E}_t$ موجود است و $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ و $\vec{E}_3$ و ... وجود ندارد.

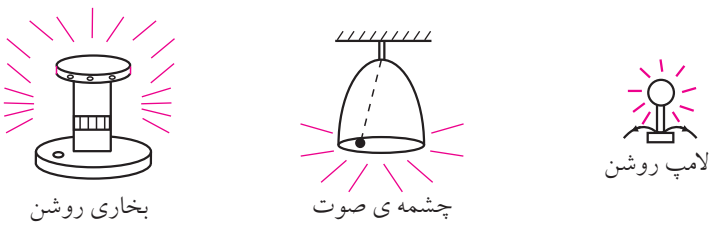
نیروی وارد به بار نقطه‌ای در میدان الکتریکی

اگر بار نقطه‌ای q در نقطه‌ای که میدان الکتریکی در آن جا $\vec{E}$ است قرار گیرد، از طرف میدان نیرویی به بزرگی F به آن وارد می‌شود که برابر است با:

$$F = |q|E$$

تجسم میدان الکتریکی

وجود نور (میدان نور) در اطراف یک لامپ روشن را با خط‌ها (پرتوهای نور) نشان می‌دهیم. وجود گرما در اطراف یک بخاری را با خط‌ها و یا وجود صوت در اطراف یک چشمهٔ صوت را با خط‌ها نشان می‌دهیم. به شکل‌های زیر توجه کنید:

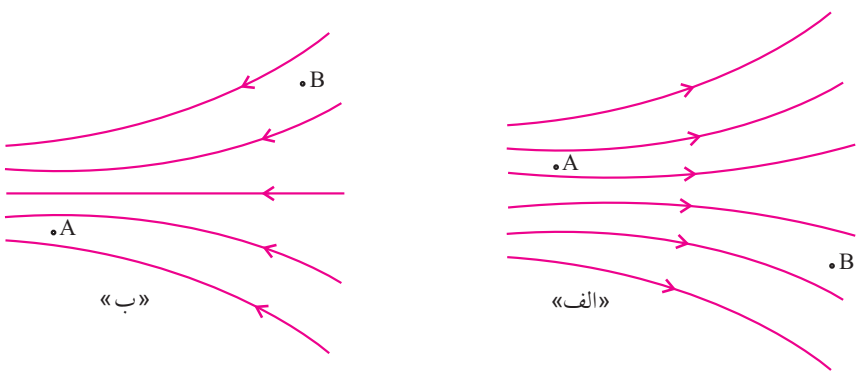


میدان الکتریکی در فضای اطراف یک بار الکتریکی را نیز با «**خط‌های میدان**» نشان می‌دهیم. این خط‌ها دارای ویژگی‌های زیرانند:

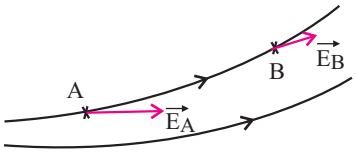
۱. **جهت آن‌ها، جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت است. بنابراین، در میدان الکتریکی بر بار الکتریکی مثبت، نیرو در جهت میدان و بر بار منفی نیرو درخلاف جهت میدان وارد می‌شود.**

۲. **از بار مثبت شروع شده و به بار الکتریکی منفی ختم می‌شوند یعنی خط‌های باز هستند، در حالتی که یک بار الکتریکی منفرد وجود دارد، فرض می‌کنیم بار الکتریکی ناهم‌نام آن در بی‌نهایت دور است.**

۳. **تراکم آن‌ها نشان‌دهندهٔ اندازهٔ میدان الکتریکی است. به این معنا که هر جا خط‌های میدان متراکم‌تر باشند، میدان در آنجا قوی‌تر است. در شکل‌های زیر، میدان در نقطهٔ A قوی‌تر از میدان در نقطهٔ B است** $(E_A > E_B)$.

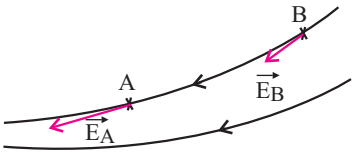


۴) میدان الکتریکی در هر نقطه را با بردار $\vec{E}$ نشان می‌دهیم. این بردار، مماس بر خط میدانی است که از آن نقطه می‌گذرد و با آن خط، هم جهت است.



$\vec{E}_A \neq \vec{E}_B$ و $E_A > E_B$

«الف»



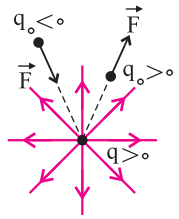
$\vec{E}_A \neq \vec{E}_B$ و $E_A > E_B$

«ب»

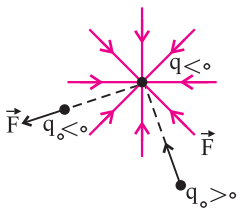
۵) نیروی وارد بر بارالکتریکی در یک نقطه از میدان، مماس بر خط میدانی است که از آن نقطه می‌گذرد. اگر بارالکتریکی واقع در میدان مثبت باشد، نیروی وارد بر آن هم جهت با خط میدان و اگر منفی باشد، نیروی وارد بر آن درخلاف جهت خط میدان است. اما اندازهٔ نیرو در هر حال از رابطهٔ $F = |q|E$ به دست می‌آید که E بزرگی میدان در آن نقطه است.

۶) خط‌های میدان یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند و بر یک‌دیگر مماس هم نمی‌شوند.

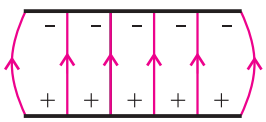
شکل‌های زیر، خط‌های میدان الکتریکی را در اطراف چند جسم باردار، نشان می‌دهند.



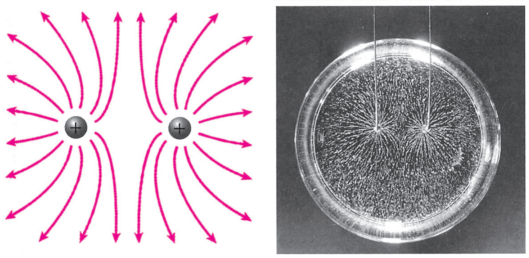
الف) خط‌های میدان در اطراف بار نقطه‌ای مثبت ($q>۰$)



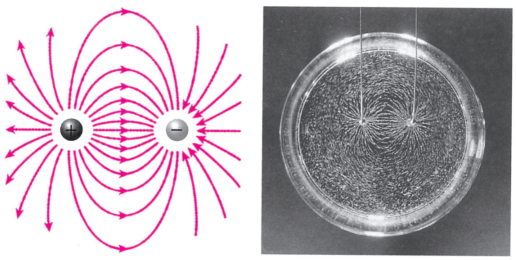
ب) خط‌های میدان در اطراف بار نقطه‌ای منفی ($q<۰$)



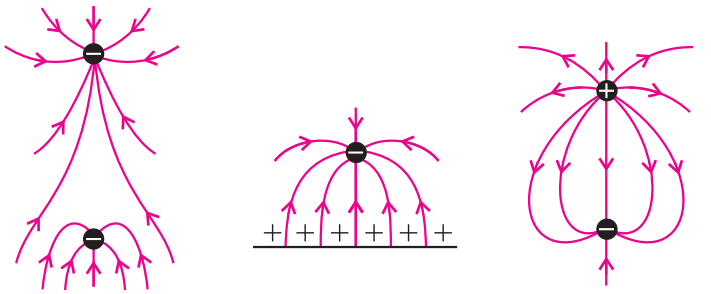
پ) خط‌های میدان میان دوصفحه رسانای موازی با بار هم‌اندازه و ناهم‌نام، میدان یکنواخت



ت) خط‌های میدان در اطراف دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌اندازه و هم‌نام



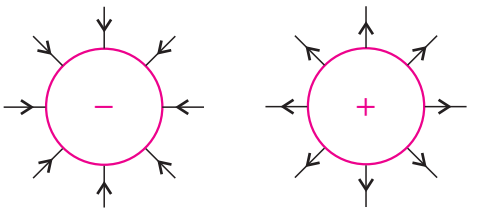
ث) خط‌های میدان در اطراف دو بارنقطه‌ای با بار هم‌اندازه و ناهم‌نام (دوقطبی الکتریکی)



ج) خط‌های میدان در اطراف دو بار نقطه‌ای با بار غیر هم اندازه و نا هم‌نام

چ) خط‌های میدان در اطراف یک صفحهٔ رسانای باردار و یک بار نقطه‌ای

ح) خط‌های میدان در اطراف دو بار نقطه‌ای با بارغیرهم اندازه وهم‌نام



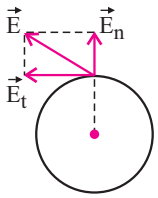
خ) خط های میدان الکتریکی در اطراف کرهٔ رسانای باردار مثبت

د) خط های میدان الکتریکی در اطراف کرهٔ رسانای باردار منفی

توجه کنید: ۱) **میدان الکتریکی درون هر رسانای در حال تعادل الکتروستاتیکی (رسانا باردار یا بدون بار اما واقع در میدان الکتریکی خارجی)، صفر است.** زیرا اگر میدان درون رسانا صفر نباشد، میدان بر بارهای آزاد رسانا نیرو وارد کرده و باعث جابه‌جایی دائم آن‌ها می‌شود، و این مغایر پایستگی انرژی است.

۲) با توجه به قسمت ۱، **خط‌های میدان الکتریکی درون رسانا ادامه نمی‌یابد.**

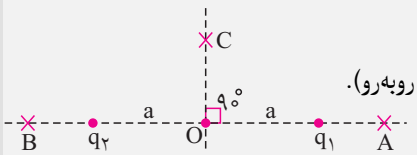
۳) **میدان الکتریکی و خط‌های میدان الکتریکی بر سطح خارجی جسم رسانای در حال تعادل الکتروستاتیکی عمودند.** در غیر این صورت، میدان الکتریکی در راستای مماس بر سطح جسم، مؤلفه‌ای مانند $\vec{E}_t$ در شکل روبه‌رو خواهد داشت که باعث جابه‌جایی دائم بارهای الکتریکی واقع در سطح رسانا می‌شود که این نیز با پایستگی انرژی همخوانی ندارد. بنابراین، $\vec{E}_t = 0$ و میدان بر سطح خارجی جسم عمود است و خط‌های میدان الکتریکی که مماس بر میدان در هر نقطه‌اند نیز بر سطح خارجی جسم عمود می‌شوند.



بهتر است بدانید:

دوقطبی الکتریکی

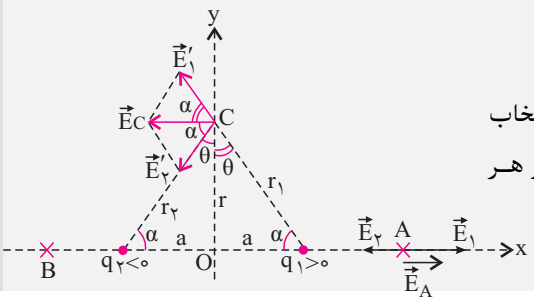
به مجموعهٔ دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌اندازه، یکی با بار مثبت $q_1 (q_1 > 0)$ و دیگری با بار منفی $q_2 (q_2 < 0)$ که به فاصلهٔ $2a$ از هم قرار داشته باشند، «دوقطبی الکتریکی» گفته می‌شود. (شکل روبه‌رو).



میدان الکتریکی حاصل از دوقطبی در نقطهٔ A ، B و C به فاصله‌های مساوی $r (r > a)$ از نقطهٔ O به روش زیر محاسبه می‌شود.

ابتدا به تعریف‌های زیر توجه کنید:

خط واصل بین دو بار را «محور دوقطبی» می‌نامند که در شکل روبه‌رو آن را محور x انتخاب کرده‌ایم. نقطهٔ O وسط دوبار الکتریکی، «مرکز دوقطبی» نامیده می‌شود که فاصلهٔ آن از هر یک از دو بار، برابر a است.



الف) در شکل، میدان الکتریکی بارهای $q_۱$ و $q_۲$، در نقطهٔ A با $\vec{E}_۱$ و $\vec{E}_۲$ نشان داده شده‌اند. روشن است که $E_۱ > E_۲$ و درنتیجه $\vec{E}_A$ در جهت محور x می‌شود (میدان در نقطهٔ B ، $\vec{E}_B$، در کدام جهت است؟). داریم:

$$k = \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰} \quad \text{و} \quad d_۲ = r + a \quad \text{و} \quad d_۱ = r - a \quad \text{و} \quad |q_۱| = |q_۲| = q \quad \text{و} \quad E = k\frac{|q|}{d^۲}$$

$$E_A = E_۱ - E_۲ \Rightarrow E_A = kq\left(\frac{۱}{(r-a)^۲} - \frac{۱}{(r+a)^۲}\right) \Rightarrow E_A = k \times \frac{۴aqr}{(r^۲ - a^۲)^۲}$$

روشن است که $E_B = E_A$ می‌شود.

ب) به شکل بالا نگاه کنید، فاصلهٔ نقطهٔ C روی عمودمنصف دوقطبی تا مرکز دوقطبی (نقطهٔ O) برابر r است. فاصلهٔ نقطهٔ C از $q_۱$ را $r_۱$ و از $q_۲$ را $r_۲$ نامیده‌ایم. داریم:

$$r_۱ = r_۲ = \sqrt{r^۲ + a^۲} \Rightarrow \cos\alpha = \frac{a}{r_۱} = \frac{a}{\sqrt{r^۲ + a^۲}}$$

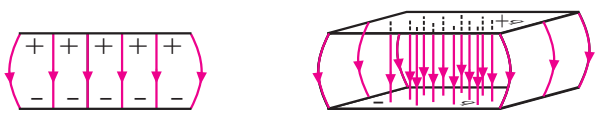
$$E'_۱ = k\frac{|q_۱|}{r_۱^۲} \Rightarrow E'_۱ = \frac{k|q|}{r^۲ + a^۲}$$

$$E'_۱ = E'_۲ \Rightarrow E_C = ۲E'_۱ \cos\alpha \Rightarrow E_C = \frac{۲k|q|}{r_۱^۲ + a^۲} \times \frac{a}{\sqrt{r^۲ + a^۲}}$$

$$E_C = k \times \frac{۲a|q|}{(r^۲ + a^۲)^{\frac{۳}{۲}}} = k \times \frac{۲a|q|}{\sqrt{(r^۲ + a^۲)^۳}} \quad \text{و} \quad k = \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰}$$

میدان الکتریکی یکنواخت

اگر اندازه و جهت میدان الکتریکی در یک منطقه از فضا ثابت باشد، آن میدان الکتریکی را، یکنواخت می‌نامیم. خط‌های میدان الکتریکی یکنواخت، مستقیم، موازی، هم‌جهت و به فاصلهٔ مساوی از یک‌دیگرانند (چرا؟) اگر دو صفحهٔ رسانا را به‌موازات یک‌دیگر قرار دهیم و به یکی از آن‌ها بار الکتریکی $q > ۰$ و به دیگری بار $q < ۰$ بدهیم، میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه و دور از لبه‌های دو صفحه، یکنواخت می‌شود (شکل الف). معمولاً برای سادگی در رسم، میدان الکتریکی یکنواخت را به صورت شکل ب نشان می‌دهند.



(ب) (الف)

پخش بار الکتریکی اضافی در یک رسانا

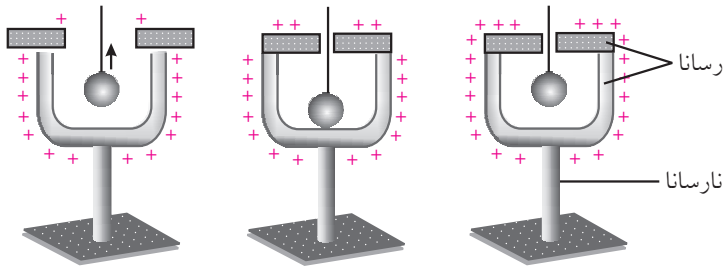
اگر مقداری بار الکتریکی به یک نارسانا بدهیم، بار الکتریکی در محل دادن بار به جسم، ساکن می‌ماند. آزمایش، درستی این بیان را نشان می‌دهد.

اگر مقداری بار الکتریکی به یک رسانا که با رسانای دیگری تماس الکتریکی ندارد (رسانای عایق‌بندی شده) بدهیم، آیا مانند نارسانا، بار الکتریکی در آن ساکن می‌ماند ؟ آیا بار در رسانا جابه‌جا می‌شود، پخش بار در رسانا چگونه است ؟

فرانکلین و فارادی به کمک آزمایش‌های مختلفی، دریافته بودند که بار الکتریکی در سطح خارجی جسم رسانا پخش می‌شود.

اگر آزمایش‌هایی به ترتیب شکل‌های زیر (الف، ب و پ) انجام دهیم، معلوم می‌شود که بار الکتریکی داده شده به رسانا، به سطح خارجی آن منتقل شده است. در این آزمایش، ابتدا مانند شکل الف، به جسم رسانا بار الکتریکی می‌دهیم. سپس گلوله‌ی فلزی که به یک نخ نارسانا بسته شده است را به سطح درونی رسانا تماس می‌دهیم

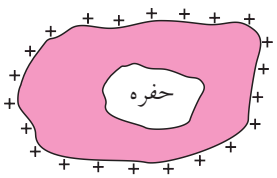
(شکل ب). در انتها، بعد از آن که تماس گلوله را از رسانا قطع کردیم، مانند شکل پ با باز کردن در جسم رسانا، گلوله را از آن خارج می‌کنیم. تماس گلوله با کلاهک برق نمای (الکتروسکوپ) بدون بار، نشان می‌دهد که در گلوله بار الکتریکی وجود ندارد.



الف ب پ

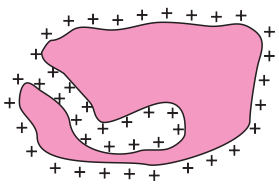
بنابراین، در سطح داخلی جسم رسانا بار الکتریکی وجود ندارد و بارالکتریکی به سطح خارجی آن منتقل شده است.

توجه کنید: اگر مانند شکل الف، درون جسم رسانا حفره‌ای وجود داشته باشد، باز هم وقتی به جسم، بارالکتریکی می‌دهیم، بار در سطح خارجی جسم پخش شده و در سطح داخلی حفره بارالکتریکی وجود ندارد.



الف

اما اگر مانند شکل ب، حفرهٔ درون جسم رسانا به بیرون راه داشته باشد، سطح داخلی حفره، جزیی از سطح خارجی جسم محسوب می‌شود و بار الکتریکی، در سطح داخلی حفره نیز پخش می‌شود.



ب

درسنامهٔ ۱۱

کار میدان الکتریکی ـ انرژی پتانسیل الکتریکی

یادآوری

در مبحث کار و انرژی دیده‌ایم که اگر جسمی به جرم m نزدیک زمین و در ارتفاع h از سطح زمین قرار گیرد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی $U_g = mgh$ می‌شود. این انرژی به آن علت ذخیره می‌شود که به جسم در میدان گرانشی زمین، نیروی گرانشی (وزن) وارد می‌شود. وقتی جسم، بالا می‌رود، جابه‌جایی آن درخلاف جهت نیروی گرانش زمین (نیروی وزن جسم) است. درنتیجه برای غلبه بر نیروی وزن، ما باید کار انجام دهیم. انجام این کار می‌تواند با دادن انرژی جنبشی به جسم و پرتاب آن به بالا باشد یا در طول مسیر به آن نیرویی رو به بالا وارد کنیم. همین انرژی جنبشی یا کار انجام شده توسط ما است که به صورت انرژی پتانسیل گرانشی، ذخیره می‌شود. به مثال زیر توجه کنید.

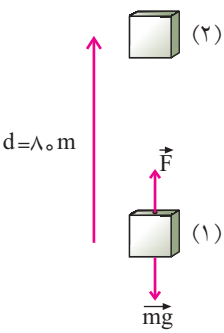
مثال: **می‌خواهیم جسمی به جرم $5kg$ را از سطح زمین تا ارتفاع ۸۰ متری بالا ببریم. اگر $g = 10\frac{N}{kg}$ باشد.**

الف) چه نیرویی به آن وارد کنیم و چه مقدار کار انجام دهیم تا جسم را بسیار آرام و با سرعت ثابت به این ارتفاع برسانیم.

ب) به جسم چه اندازه انرژی جنبشی بدهیم تا به ارتفاع مزبور برسد؟ مقاومت هوا ناچیز است.

پاسخ: الف) وقتی که جسم با سرعت ثابت بالا می‌رود، درضمن حرکت برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است.

بنابراین نیرویی که ما به جسم وارد می‌کنیم، باید هم‌اندازه و درخلاف جهت نیروی وزن یعنی در جهت جابه‌جایی، $\vec{d}$، باشد.



$$F - mg = ۰ \Rightarrow F = mg = ۵۰N$$

$$W_F = F\,d\cos\alpha \Rightarrow W_F = ۵۰\times۸۰\times\cos(۰) = ۴۰۰۰J$$

بنابراین، برای آن که جسم با سرعت ثابت بالا رود، برای غلبه بر وزن آن باید انرژی مصرف کرده و کار انجام دهیم. انرژی مصرفی ما به صورت انرژی پتانسیل گرانشی، ذخیره می‌شود.

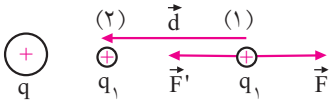
ب) برای آن که جسم به ارتفاع ۸۰ متری برسد، (یعنی در آن ارتفاع سرعتش صفر شود)، باید در پایین و در سطح زمین، به آن انرژی جنبشی بدهیم به‌طوری که انرژی جنبشی داده شده به جسم در پایین، برابر انرژی پتانسیل گرانشی آن در بالا شود.

$$K = U_g = mgh \Rightarrow K = ۵\times۱۰\times۸۰ = ۴۰۰۰J$$

روشن است که اگر نیروی وزن وجود نداشت، در بالا بردن جسم، نیازی به انجام کار نبود و انرژی‌ای نیز به صورت انرژی پتانسیل گرانشی ذخیره نمی‌شد.

به همین ترتیب، یک ذرهٔ باردار در یک نقطه درون میدان الکتریکی (حاصل از بار الکتریکی دیگر)، دارای انرژی پتانسیل الکتریکی است. این انرژی نیز به آن علت ذخیره می‌شود که به ذره‌ی باردار در میدان الکتریکی، نیروی الکتریکی وارد می‌شود.

اگر مطابق شکل زیر بخواهیم ذرهٔ باردار مثبت $q_۱$ را با سرعت ثابت و بسیار آرام به جسم باردار مثبت **q** نزدیک کنیم، نیروی رانشی الکتریکی $\vec{F}$ وارد بر $q_۱$ مانع انجام این عمل است و درست مانند میدان گرانشی، برای غلبه بر نیروی الکتریکی، باید کار انجام دهیم. انرژی مصرفی ما به صورت «*انرژی پتانسیل الکتریکی*» ذخیره می‌شود.



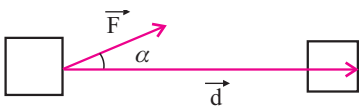
در شکل بالا، $\vec{F}$ نیروی الکتریکی است که میدان بار q بر بار $q_۱$ وارد می‌کند و $\vec{F'}$ نیرویی است که برای جابه‌جایی بار $q_۱$ باید بر آن وارد کنیم.

توجه کنید:

کار نیروی ثابت: اندازه‌ی نیروی $\vec{F}$ در مثال‌بالا و درنتیجه اندازه‌ی نیروی $\vec{F'}$ ثابت نیست. این موضوع در میدان گرانشی نیز وجود دارد. می‌دانیم که میدان گرانشی با مجذور فاصله از مرکز زمین نسبت وارون دارد و درنتیجه اندازه‌ی $\vec{g}$ از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر، تغییر می‌کند. اگر جابه‌جایی جسم کوچک باشد، از تغییرات $\vec{g}$ به علت کوچکی چشم‌پوشی می‌کنیم و $\vec{g}$ را ثابت می‌گیریم، یعنی میدان گرانشی را یکنواخت فرض می‌کنیم. در غیر این صورت باید با محاسبهٔ خاص ریاضی، انرژی پتانسیل گرانشی را محاسبه کنیم.

در مبحث الکتروستاتیک نیز در شروع و در دورهٔ دبیرستان، محاسبهٔ کار الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی را در میدان الکتریکی یکنواخت انجام می‌دهیم. درنتیجه با ثابت بودن بزرگی و جهت میدان الکتریکی (ثابت = $\vec{E}$)، نیروی الکتریکی وارد بر بارالکتریکی درضمن جابه‌جایی تغییر نکرده و ثابت می‌ماند (ثابت = $\vec{F} = \vec{E}.q$).

از طرف دیگر، در دورهٔ دبیرستان با محاسبهٔ کار نیروی ثابت آشنا شدیم و دیدیم که اگر در جابه‌جایی $\vec{d}$ بر جسم نیروی ثابت $\vec{F}$ وارد شود، کار انجام شده روی جسم از رابطهٔ زیر به دست می‌آید. در این رابطه، α زاویهٔ بین نیروی $\vec{F}$ و جابه‌جایی $\vec{d}$ است. محاسبهٔ کار نیروی متغیر (تغییر در جهت و یا اندازه‌ی نیرو) خارج از برنامهٔ دورهٔ دبیرستان است.



$$W = \vec{F}.\vec{d} = F\,d\cos\alpha$$

در رابطهٔ بالا، نیرو برحسب نیوتون (N)، جابه‌جایی برحسب متر (m) و کار برحسب ژول (J) است.