

فصل ۲۷ - میدان الکتریکی

- (۱) مقدمه
- (۲) میدان الکتریکی
- (۳) خطوط نیرو
- (۴) محاسبه میدان الکتریکی ناشی از یک بار نقطه ای
- (۵) میدان الکتریکی ناشی از یک توزیع پیوسته بار
- (۶) بار نقطه ای در میدان الکتریکی
- (۷) چند مثال از کاربرد بار در میدان الکتریکی
- (۸) دوقطبی در میدان الکتریکی
- (۹) انرژی پتانسیل یک دوقطبی الکتریکی

بار نقطه ای در میدان الکتریکی

در چهار بخش گذشته به یکی از دو کار پیش روی خود پرداختیم: با داشتن یک توزیع بار معین، میدان الکتریکی حاصل از آن را در فضای پیرامون به دست آوردیم. در اینجا به کار دوم می‌پردازیم: تعیین اینکه برای یک ذره باردار وقتی که در میدان الکتریکی ایجاد شده توسط بارهای ساکن یا در حال حرکت آهسته‌ای قرار گیرد، چه رخ می‌دهد؟

آنچه رخ می‌دهد این است که بر ذره باردار یک نیروی الکترواستاتیکی اثر می‌کند که با رابطه زیر داده می‌شود

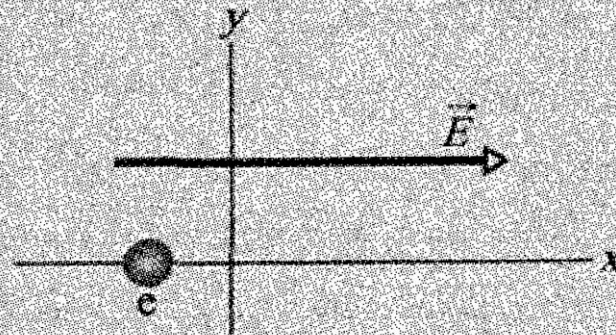
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

(۱۸-۲۸)

که در آن q بار ذره (شامل علامت آن) و \vec{E} میدان الکتریکی است که ذره‌های دیگر در محل ذره مورد نظر ایجاد کرده‌اند. (این میدان، میدان الکتریکی ایجاد شده توسط خود ذره نیست)؛ برای تمایز این دو میدان، میدان وارد بر ذره در معادله ۱۸-۲۸، اغلب میدان خارجی نامیده می‌شود. معادله ۱۸-۲۸ حاکی از آن است که

نیروی الکتروستاتیکی \vec{F} وارد بر یک ذره باردار که در میدان خارجی \vec{E} قرار گرفته، در صورتی که بار q ذره مثبت باشد در جهت \vec{E} و در صورتی که q منفی باشد، در جهت مخالف آن است.

✓ نکته واریسی ۳ (الف) در شکل زیر، جهت نیروی الکتروستاتیکی وارد بر الکترون ناشی از میدان الکتریکی خارجی نشان داده شده چگونه است؟ (ب) اگر الکترون پیش از روبه رو شدن با میدان خارجی، در جهت موازی محور y حرکت کند، در چه جهتی شتاب خواهد گرفت؟ (پ) حال اگر الکترون در ابتدا رو به سمت راست در حرکت باشد، آیا تندی آن افزایش می‌یابد یا کاهش، یا ثابت می‌ماند؟



۳- (الف) به طرف چپ؛ (ب) به طرف چپ؛ (پ) کاهش،

دلیل؟

کاربردهای حرکت بار نقطه ای در میدان الکتریکی

چاپ جوهرافشان

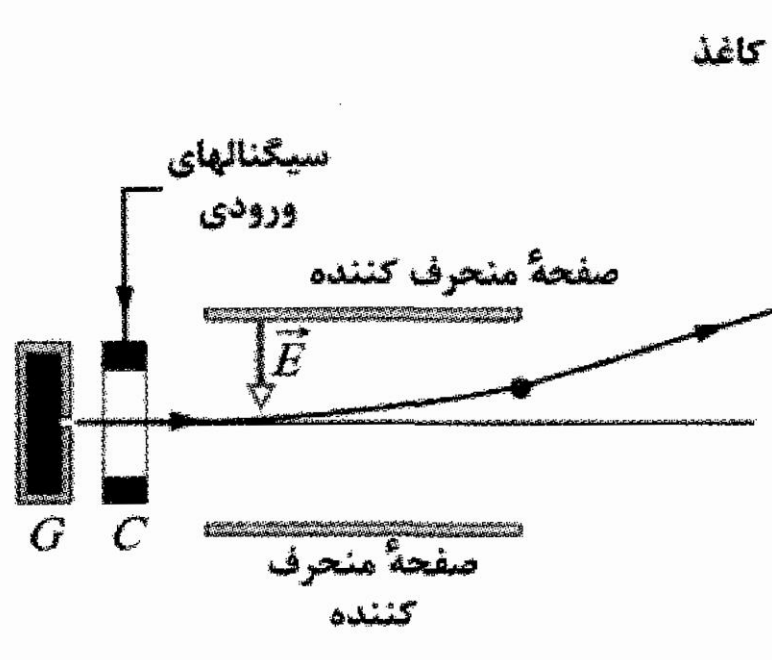
نیاز به چاپ کردن با کیفیت بالا و سرعت زیاد باعث شده است تا تلاشهایی برای جایگزین کردن چاپهای تماسی، از قبیل ماشینهای تحریر متداول، صورت بپذیرد. یکی از روشهای جایگزین، ثبت حروف با پاشاندن قطره‌های جوهر روی کاغذ است.



کارتريج يك چاپگر جوهرافشان

شکل ۱۵-۱۸ یک قطره باردار منفی را نشان می‌دهد که میان دو صفحه رسانای منحرف کننده که بین آنها میدان الکتریکی یکنواخت و رو به پایین \vec{E} برقرار است، حرکت می‌کند. قطره بنا بر معادله ۱۸-۲۸ رو به بالا منحرف می‌شود و آنگاه در مکانی که با بزرگی \vec{E} و اندازه بار q قطره تعیین می‌شود، با کاغذ برخورد می‌کند.

در عمل، E ثابت نگه داشته می‌شود و مکان قطره، با بار q که در واحد تولید بار به قطره داده می‌شود، جایی که باید پیش از ورود به دستگاه منحرف کننده از آن عبور کند، تعیین می‌شود. واحد باردار کننده به نوبه خود با سیگنالهای الکترونیکی که ماده آماده چاپ را رمزگذاری می‌کند، فعال می‌شود.

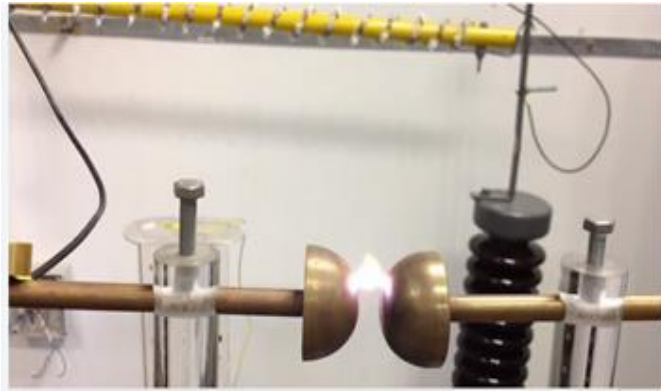


شکل ۱۵-۱۸ اساس کار یک چاپگر جوهر افشان. قطره‌ها از مولد G پرتاب و در واحد تولید بار C ، باردار می‌شوند. سیگنال ورودی از یک رایانه، بار داده شده به هر قطره و در نتیجه اثر میدان \vec{E} روی قطره و مکان برخورد قطره با کاغذ را کنترل می‌کند. حدود ۱۰۰ قطره ریز برای ثبت یک حرف تنها لازم است.

فروریزش الکتریکی و جرقه زنی

اگر بزرگی میدان الکتریکی در هوا از مقدار حدی معین E_C تجاوز کند، هوا دستخوش فرو ریزش الکتریکی می شود، فرایندی که به موجب آن، میدان الکترونها را از اتمها در هوا جدا می کند. آنگاه هوا شروع به رسانش جریان الکتریکی می کند، زیرا الکترونها آزاد شده توسط این میدان به حرکت درمی آیند. وقتی آنها حرکت کنند، با هر اتمی در مسیرشان برخورد می کنند و بدین ترتیب باعث می شوند که آن اتمها نور گسیل کنند. مسیرهای الکترونها آزاد را، که عموماً جرقه نامیده می شوند، به دلیل نور گسیل شده می توان دید. شکل ۱۸-۱۶ جرقه های بین کلاهک های فلزی بارداری را نشان می دهد که در آنجا میدانهای الکتریکی حاصل از کلاهک ها باعث فرو ریزش الکتریکی هوا شده اند.

صاعقه نیز مثالی از فروریزش الکتریکی است که در این شکل نشان داده شده است.



شکل ۱۸-۱۶

گرده افشانی و الکتروستاتیک

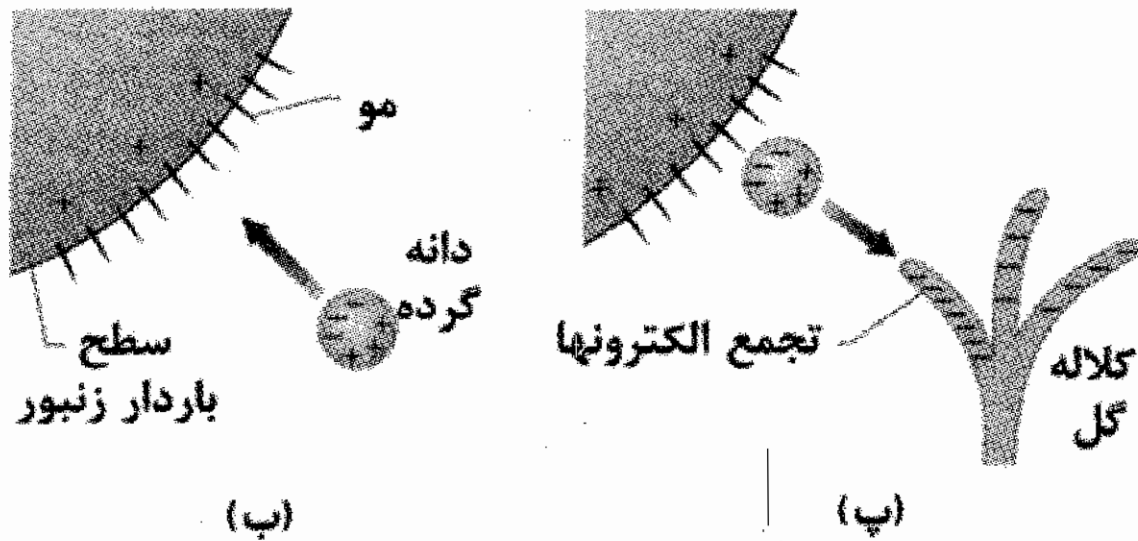
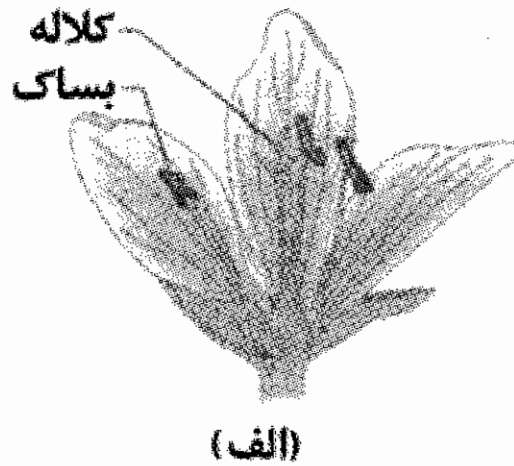
توانایی یک زنبور برای حمل گرده از گلی به گل دیگر به دو ویژگی بستگی دارد. (۱) زنبورها هنگام پرواز در هوا باردار می‌شوند. (۲) بساک گل (شکل ۱۸-۱۷ الف) به لحاظ الکتریکی از زمین جداست ولی کلاله به لحاظ الکتریکی به زمین متصل است. وقتی زنبوری نزدیکی بساک پر می‌زند، میدان الکتریکی ناشی از بار روی زنبور روی یک دانه گرده خنثی بار القا می‌کند، که موجب زیاد شدن بار منفی در قسمت نزدیک نسبت به قسمت دورتر می‌شود (شکل ۱۸-۱۷ ب). بارهای دو قسمت مساوی است ولی فاصله آنها از زنبور مساوی نیست، و نیروی ربایشی در قسمت نزدیک اندکی بیشتر از نیروی رانشی قسمت دور است. در نتیجه دانه گرده به طرف زنبور کشیده می‌شود، که ضمن پرواز زنبور به سمت بساک گل به آن می‌چسبند.

وقتی زنبور در گل دیگر به کلاله نزدیکی می‌شود، بار روی زنبور، و بار القا شده در دانه الکترونیهای رسانش را تا نوک کلاله می‌آورد (شکل ۱۸-۱۷ پ) چون کلاله به لحاظ الکتریکی

به زمین متصل است. این الکترونها به قسمت نزدیکتر دانه جذب شده و از طرف دورتر رانده می‌شود. اگر دانه به اندازه کافی به کلاله نزدیک باشد، نیروی خالص موجب می‌شود که دانه به کلاله بچسبد و گل را بارور کند. مهندسان کشاورزی این فرایند را با افشاندن دانه‌های گرده باردار روی گیاهان انجام می‌دهند، طوری که دانه‌ها به جای افتادن بیهوده روی زمین روی کلاله جمع می‌شوند.

گیاهانی که برای تولید میوه یا بذر باید حتما توسط زنبور گرده افشانی شوند: تولید میوه: سیب، زردآلو، گلابی، آلبالو، گیلاس، هلو، گوجه درختی، به، آلو، بادام، تمشک و ...
تولید بذر: انواع شبدرها، پنبه، یونجه، هویج، پیاز، خیار، خربزه و ...





شکل ۱۷-۱۸ (الف) قسمتهای بساک و کلاله یک گل (ب) دانه گرده در بساک توسط زنبور به طور القایی باردار شده است.. (پ) الکترونها جمع شده در نوک کلاله دانه را جذب می کنند.

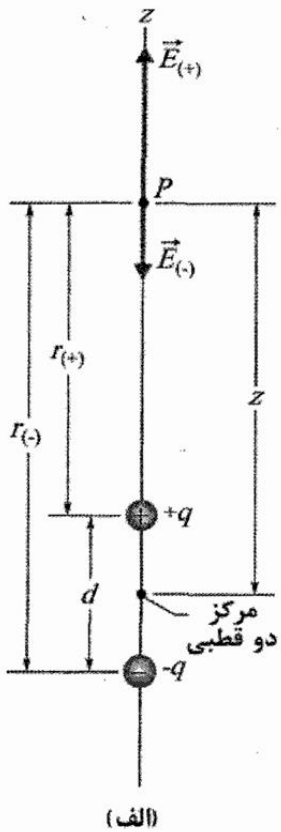
دوقطبی در میدان الکتریکی

گشتاور دوقطبی الکتریکی \vec{p} یک دوقطبی الکتریکی را به صورت برداری تعریف کردیم که جهت آن از سرمنفی دوقطبی به سر مثبت آن است. همان‌طور که خواهیم دید، رفتار یک دوقطبی در میدان الکتریکی یکنواخت خارجی \vec{E} را می‌توان به طور کامل برحسب بردارهای \vec{E} و \vec{p} توصیف کرد، بدون آنکه هیچ نیازی به جزئیات دربارهٔ ساختار دوقطبی باشد.

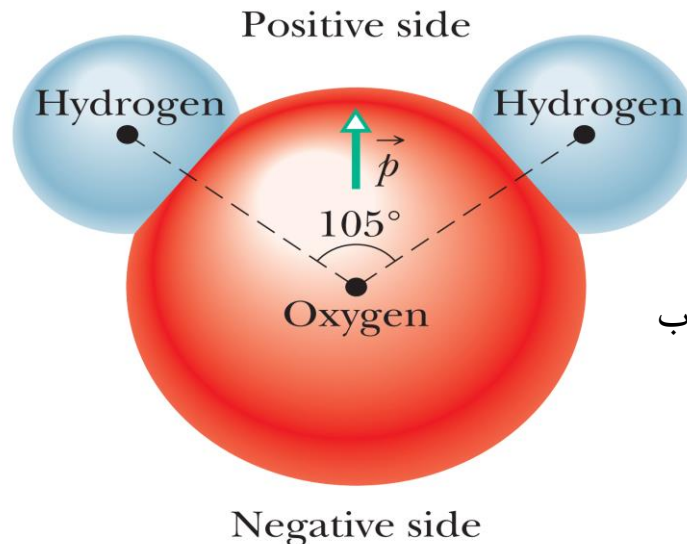
مولکول آب (H_2O) یک دوقطبی الکتریکی است؛ شکل ۱۸-۱۹ این امر را نشان می‌دهد. در این شکل نقطه‌های سیاه نشان دهندهٔ هستهٔ اکسیژن (دارای هشت پروتون) و دو هستهٔ هیدروژن (هریک دارای یک پروتون) هستند. ناحیه‌های خاکستری که آنها را در بر گرفته‌اند، ناحیه‌هایی هستند که در آنجا الکترون‌ها می‌توانند اطراف هسته قرار گیرند.

در مولکول آب، دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن بر یک خط مستقیم قرار ندارند، بلکه به ترتیبی که در شکل ۱۸-۱۹ نشان داده شده است، با هم زاویه‌ای در حدود 105° می‌سازند.

بنابراین، مولکول آب، یک «طرف اکسیژن» و یک «طرف هیدروژن» مشخص دارد. افزون بر این، ۱۰ الکترون مولکول آب مایل اند به هسته اکسیژن نزدیکتر باشند تا هسته‌های هیدروژن. این باعث می‌شود که طرف اکسیژن مولکول کمی بیشتر از طرف هیدروژن آن منفی شود و بدین ترتیب یک گشتاور دو قطبی الکتریکی \vec{p} ایجاد می‌شود که جهت آن، همان گونه که نشان داده شده است، در امتداد محور تقارن مولکول است. اگر مولکول آب در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، رفتار آن همان‌طور که انتظار می‌رود مشابه دو قطبی الکتریکی منفرد شکل ۱۸-۸ خواهد بود.

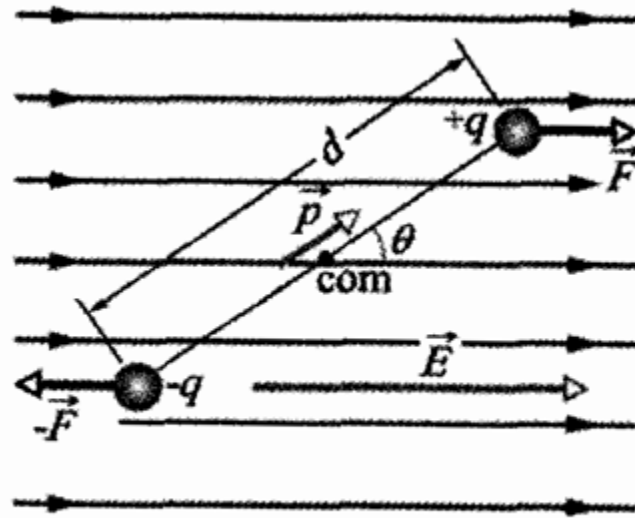


شکل ۱۸-۸

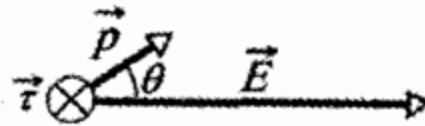


شکل ۱۸-۱۹ مولکول آب

برای بررسی این رفتار، یک دوقطبی الکتریکی منفردی را، همان‌گونه که در شکل ۱۸-۲۰ الف نشان داده شده است، در میدان الکتریکی خارجی یکنواخت \vec{E} در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم که این دوقطبی ساختار صلبی دارد که شامل دو مرکز با بارهای مخالف، هر یک به بزرگی q است که به فاصله d از هم قرار گرفته‌اند. گشتاور دو قطبی \vec{p} با میدان \vec{E} زاویه θ می‌سازد. نیروهای الکتروستاتیکی بر دو انتهای باردار دوقطبی وارد می‌شوند. چون میدان الکتریکی یکنواخت است، این نیروها در جهت‌های مخالف (همان‌گونه که در شکل ۱۸-۲۰ الف نشان داده شده است) و با بزرگی یکسان $F = qE$ وارد می‌شوند، بنابراین، چون میدان الکتریکی یکنواخت است، نیروی خالص وارد بر دو قطبی از سوی میدان برابر با صفر است و مرکز جرم دوقطبی حرکت نمی‌کند. ولی، نیروهای وارد بر دو انتهای باردار، گشتاور خالص $\vec{\tau}$ را بر دوقطبی حول مرکز جرم آن



(الف)



(ب)

شکل ۱۸-۲۰ (الف) یک دو قطبی الکتریکی در میدان الکتریکی خارجی و یکنواخت \vec{E} . بار دو مرکز، یکسان ولی با علامت مخالف است و به اندازه d از هم فاصله دارند. خط واصل آنها، اتصال صلب آنها را نشان می‌دهد. (ب) میدان \vec{E} گشتاور نیروی $\vec{\tau}$ بر دو قطبی وارد می‌کند. جهت $\vec{\tau}$ به داخل صفحه است که با نماد \otimes نمایش داده شده است.

وارد می‌کنند. مرکز جرم دوقطبی روی خط واصل دو انتهای باردار، به فاصله x از یک انتها و به فاصله $d - x$ از انتهای دیگر قرار دارد. با استفاده از معادله ۱۰-۳۹ ($\tau = rF \sin \theta$) بزرگی این گشتاور نیروی خالص $\vec{\tau}$ را می‌توانیم چنین بنویسیم

$$\tau = Fx \sin \theta + F(d - x) \sin \theta = Fd \sin \theta \quad (18-32)$$

همچنین بزرگی $\vec{\tau}$ را می‌توانیم برحسب بزرگیهای میدان الکتریکی E و گشتاور دوقطبی $p = qd$ بنویسیم. برای این کار، در معادله ۱۸-۳۲، qE را به جای F و p/q را به جای d قرار می‌دهیم و از آنجا بزرگی τ برابر است با

$$\tau = pE \sin \theta \quad (18-33)$$

این معادله را می‌توانیم به شکل برداری تعمیم دهیم

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (\text{گشتاور وارد بر یک دوقطبی}) \quad (18-34)$$

بردارهای \vec{P} و \vec{E} در شکل ۱۸-۲۰ ب نشان داده شده‌اند. گشتاور نیرویی که بر دو قطبی اثر می‌کند بردار \vec{P} (و در نتیجه دو قطبی) را در جهت \vec{E} می‌چرخاند و بدین ترتیب θ را کاهش می‌دهد. در شکل ۱۸-۲۰، چنین چرخشی ساعتگرد است. همان‌طور که در فصل ۱۰ دیدیم، می‌توانیم گشتاور نیروی ناشی از چرخش ساعتگرد را با قراردادن یک علامت منفی در کنار بزرگی گشتاور نیرو نشان دهیم. با این نمادگذاری، رابطهٔ مربوط به گشتاور نیرو از شکل ۱۸-۲۰ چنین می‌شود

$$\tau = -pE \sin \theta \quad (۱۸-۳۵)$$

انرژی پتانسیل یک دو قطبی الکتریکی

انرژی پتانسیل می تواند به چگونگی سمتگیری دو قطبی الکتریکی در میدان الکتریکی وابسته باشد. دو قطبی کمترین انرژی پتانسیل خود را هنگامی دارد که در وضعیت سمتگیری متعادل خود باشد، یعنی هنگامی که گشتاور دو قطبی \vec{p} با میدان \vec{E} در یک جهت باشد (در نتیجه $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} = 0$). در تمام سمتگیریهای دیگر، دو قطبی انرژی پتانسیل بیشتری دارد. بنابراین، دو قطبی شبیه یک آونگ است که کمترین انرژی پتانسیل گرانشی را در وضعیت سمتگیری تعادل یعنی در پایتترین نقطه دارد. برای چرخاندن دو قطبی یا آونگ به هر سمتگیری دیگری، به انجام کار توسط یک عامل خارجی نیاز داریم.

در هر وضعیتی که به انرژی پتانسیل مربوط باشد، مجازیم که پیکربندی انرژی پتانسیل صفر را کاملاً اختیاری تعریف کنیم، زیرا فقط اختلاف انرژی پتانسیل مفهوم فیزیکی دارد. این نشان می دهد که اگر انرژی پتانسیل را هنگامی که زاویه θ در شکل

۱۸-۲۰ برابر 90° است، صفر اختیار کنیم آنگاه عبارت انرژی پتانسیل دو قطبی الکتریکی در میدان الکتریکی خارجی به ساده‌ترین شکل در می‌آید. در این صورت می‌توانیم انرژی پتانسیل U دو قطبی را در هر مقداری از θ با معادله ۱-۸ $(\Delta U = -W)$ و با محاسبه کار W انجام شده میدان روی دو قطبی هنگامی که دو قطبی از 90° تا آن مقدار θ چرخیده است، پیدا کنیم. به کمک معادله ۱۰-۵۳ $(W = \int \tau d\theta)$ و معادله ۱۸-۳۵، درمی‌یابیم که انرژی پتانسیل U در هر زاویه θ چنین است

$$U = -W = - \int_{90^\circ}^{\theta} \tau d\theta = \int_{90^\circ}^{\theta} pE \sin \theta d\theta \quad (18-36)$$

محاسبه این انتگرال به رابطه زیر می‌انجامد

$$U = -pE \cos \theta \quad (18-37)$$

این معادله را می‌توانیم به شکل برداری چنین تعمیم دهیم

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E} \quad (\text{انرژی پتانسیل دو قطبی}) \quad (18-38)$$

معادله‌های ۱۸-۳۷ و ۱۸-۳۸ نشان می‌دهند که انرژی پتانسیل دو قطبی هنگامی که $\theta = 0$ باشد کمترین است ($U = -pE$)، و این در هنگامی است که \vec{p} و \vec{E} در یک جهت‌اند؛ وقتی $\theta = 180^\circ$ باشد، انرژی پتانسیل بیشترین است ($U = pE$)، و این در هنگامی است که \vec{p} و \vec{E} در جهت‌های مخالف‌اند.

وقتی یک دو قطبی از سمتگیری اولیه θ_i به سمتگیری بعدی θ_f می‌چرخد، کار W انجام شده روی دو قطبی توسط میدان الکتریکی برابر است با

$$W = -\Delta U = -(U_f - U_i) \quad (18-39)$$

که در آن U_f و U_i با معادله ۱۸-۳۸ محاسبه می‌شوند. اگر تغییر در سمتگیری بر اثر یک گشتاور نیروی خارجی باشد (که عموماً گفته می‌شود ناشی از یک عامل خارجی است)، آنگاه کار W_a انجام شده توسط این گشتاور نیروی خارجی روی دو قطبی، منفی کار انجام شده توسط میدان روی دو قطبی است؛ یعنی

$$W_a = -W = (U_f - U_i) \quad (18-40)$$

پخت و پز با میکروموج (مایکروویو، مایکروفر یا ماکروفر رایج)

اگر غذا محتوی آب باشد می تواند با یک اجاق میکروموج گرم و پخته شود چون مولکولهای آب به صورت دو قطبیهای الکتریکی هستند. وقتی اجاق را روشن می کنید، چشمه میکروموج خیلی سریع میدان الکتریکی \vec{E} را در داخل اجاق و هم چنین در داخل غذا برقرار می کند. از معادله $18-34$ ، می توان دید که هر میدان الکتریکی \vec{E} گشتاوری را بر یک گشتاور دو قطبی الکتریکی \vec{p} اعمال می کند تا \vec{p} در راستای \vec{E} قرار گیرد. چون \vec{E} اجاق نوسان می کند، مولکولهای آب به طور پیوسته در جهت خنثی کردن سمتگیری با \vec{E} جست و خیز می کنند.

انرژی از میدان الکتریکی به انرژی گرمایی آب (و غذا) منتقل می شود



گاهی گرمایش شگفت‌انگیز می‌شود. مثلاً اگر یک دونات ژله‌ای را گرم کنید، ژله (که مقدار زیادی آب دارد) از ماده دونات (که آب کمتری دارد) خیلی بیشتر گرم می‌شود. هرچند که بیرون دونات گرم نیست، اگر به ژله دست بزنید دستتان می‌سوزد. اگر مولکولهای آب دو قطبیهای الکتریکی نبودند، اجاقهای میکرو موج وجود نداشتند.



مولکول آب خنثی (H_2O) در حالت بخار خود دارای یک گشتاور دوقطبی الکتریکی به بزرگی $6/2 \times 10^{-30} \text{ C.m}$ است. (الف) مرکزهای بار مثبت و بار منفی مولکول در چه فاصله‌ای از هم قرار دارند؟

نکته کلیدی گشتاور دوقطبی مولکول به بزرگی q بار مثبت یا منفی مولکول و فاصله d میان بارها، بستگی دارد. محاسبه‌ها: در یک مولکول آب خنثی، 10 الکترون و 10 پروتون وجود دارد؛ در نتیجه، بزرگی گشتاور دوقطبی آن برابر است با

$$p = qd(10e)(d)$$

که در آن d فاصله مورد نظر و e بار بنیادی است. بنابراین، داریم

$$\begin{aligned} d &= \frac{p}{10e} = \frac{6/2 \times 10^{-30} \text{ C.m}}{(10)(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})} \\ &= 3/9 \times 10^{-12} \text{ m} = 3/9 \text{ pm} \end{aligned} \quad (\text{پاسخ})$$

این فاصله نه تنها کوچک است، بلکه در واقع از شعاع اتم هیدروژن نیز کوچکتر است.

(ب) اگر این مولکول در میدان الکتریکی $1/5 \times 10^4 \text{ N/C}$ قرار گیرد، گشتاور بیشینه‌ای که این میدان می‌تواند بر آن وارد کند چقدر است؟ (چنین میدانی را می‌توان به آسانی در آزمایشگاه ایجاد کرد.)

نکته کلیدی گشتاور نیروی وارد بر دو قطبی هنگامی بیشینه است که زاویه θ میان \vec{p} و \vec{E} برابر 90° باشد.
محاسبه‌ها: قراردادن این مقدار در معادله ۱۸-۳۳ چنین به دست می‌دهد

$$\begin{aligned}\tau &= pE \sin \theta \\ &= (6/2 \times 10^{-30} \text{ C.m})(1/5 \times 10^4 \text{ N/C})(\sin 90^\circ) \\ &= 9/3 \times 10^{-26} \text{ N.m}\end{aligned}$$

(پ) یک عامل خارجی چقدر کار باید انجام دهد تا این مولکول با شروع از وضعیت هم‌خط بودن کامل با میدان، که در آن $\theta = 0^\circ$ است، به اندازه 180° بچرخد؟

نکته کلیدی کار انجام شده توسط عامل خارجی (بر اثر گشتاوری که به مولکول وارد شده است) برابر با تغییر انرژی پتانسیل مولکول بر اثر تغییر سمتگیری آن است.

محاسبه‌ها: از معادله $40 - 18$ در می‌یابیم

$$\begin{aligned}
 W_a &= U_{180^\circ} - U_0 \\
 &= (-pE \cos 180^\circ) - (-pE \cos 0^\circ) \\
 &= 2pE = (2)(6/2 \times 10^{-30} \text{ C.m})(1/5 \times 10^4 \text{ N/C}) \\
 &= 1/9 \times 10^{-25} \text{ J} \quad (\text{پاسخ})
 \end{aligned}$$

بازنگری و خلاصه درس

میدان الکتریکی یک راه برای توضیح نیروی

الکتروستاتیکی میان دو بار این است که فرض کنیم هر بار در فضای پیرامون خود یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کند. آنگاه نیروی الکتروستاتیکی که به هر یک از دوبار وارد می‌شود، ناشی از میدان الکتریکی ایجاد شده توسط بار دیگر در محل آن است.

تعریف میدان الکتریکی میدان الکتریکی \vec{E} در هر

نقطه برحسب نیروی الکتروستاتیکی \vec{F} که بر بار آزمون مثبت q_0 واقع در آن نقطه اثر می‌کند، تعریف می‌شود

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1-18)$$

خطهای میدان الکتریکی خطهای میدان الکتریکی

وسیله‌ای برای تجسم جهت و بزرگی میدانهای الکتریکی است. بردار میدان الکتریکی در هر نقطه، مماس بر خط میدانی است که از آن نقطه می‌گذرد. چگالی خطهای میدان در هر ناحیه متناسب با بزرگی میدان الکتریکی در آن ناحیه است. خطهای میدان از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند.

میدان ناشی از یک بار نقطه‌ای بزرگی میدان الکتریکی

\vec{E} ناشی از یک بار نقطه‌ای در فاصله r از آن بار برابر است با

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (3-18)$$

جهت \vec{E} ، اگر بار مثبت باشد به سمت دور شدن از بار نقطه‌ای، و اگر بار منفی باشد به سمت نزدیک شدن به آن است.

میدان ناشی از دو قطبی الکتریکی دو قطبی الکتریکی

شامل دو ذره با بارهایی با بزرگی یکسان q ولی با علامت مخالف است که به فاصله کوچک d از هم قرار گرفته‌اند.

گشتاور دو قطبی الکتریکی p دارای بزرگی qd و جهت آن از

بار منفی به طرف بار مثبت است. بزرگی میدان الکتریکی ناشی

از دو قطبی در نقطه‌ای واقع بر محور دو قطبی (که از هر دو بار

می‌گذرد) برابر است با

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{p}{z^3} \quad (9-18)$$

که در آن z فاصله میان آن نقطه و مرکز دو قطبی است.

میدان ناشی از توزیع بار پیوسته میدان الکتریکی

ناشی از توزیع بار پیوسته با در نظر گرفتن عنصرهای دیفرانسیلی

بار به صورت بارهای نقطه‌ای و سپس با جمع کردن بردارهای میدان الکتریکی ناشی از همه آن عنصرهای بار، با انتگرالگیری، به دست می‌آید.

نیروی وارد بر یک بار نقطه‌ای در میدان الکتریکی

وقتی بار نقطه‌ای q در میدان الکتریکی خارجی \vec{E} که توسط بارهای دیگر ایجاد شده است، قرار گیرد نیروی الکتروستاتیکی که بر آن بار وارد می‌شود برابر است با

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (18-28)$$

نیروی \vec{F} در همان جهت \vec{E} است اگر q مثبت باشد، و در خلاف جهت \vec{E} است اگر q منفی باشد.

دو قطبی در میدان الکتریکی

هرگاه یک دو قطبی الکتریکی با گشتاور دو قطبی \vec{p} در میدان الکتریکی \vec{E} قرار گیرد، میدان گشتاوری بر دو قطبی وارد می‌کند که برابر است؛

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (18-34)$$

دو قطبی دارای انرژی پتانسیل U است که به سمتگیری آن در میدان وابسته است

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E} \quad (18-38)$$

هرگاه \vec{p} عمود بر \vec{E} باشد، این انرژی پتانسیل صفر در نظر گرفته می‌شود؛ هرگاه \vec{p} هم جهت با \vec{E} باشد، انرژی پتانسیل دارای کمترین مقدار ($U = -pE$) و هرگاه \vec{p} در خلاف جهت \vec{E} باشد، انرژی پتانسیل دارای بیشترین مقدار ($U = pE$) مقدار است.