

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ

فصل ۲۷ – میدان الکتریکی

فصل ۲۷ - میدان الکتريکی

- میدان الکتريکی
- خطوط نیرو
- محاسبه میدان الکتريکی
- بار نقطه ای در میدان الکتريکی
- دوقطبی در میدان الکتريکی

از فیزیک فصل گذشته آموختیم که چگونه نیروی الکتریکی وارد بر ذره ۱ با بار $+q_1$ را که در نزدیکی ذره ۲ با بار $+q_2$ قرار گرفته است، محاسبه کنیم. با این حال هنوز یک پرسش آزار دهنده باقی است: ذره ۱ چگونه از حضور ذره ۲ «باخبر» می‌شود؟ یعنی وقتی ذره‌ها در تماس با یکدیگر نیستند چگونه ذره ۲ می‌تواند بر ذره ۱ نیرو وارد کند؟ - چگونه چنین کنش از راه دوری می‌تواند بدون هیچ ارتباط قابل مشاهده‌ای بین ذره‌ها، وجود داشته باشد؟

یک هدف فیزیک گزارش مشاهده‌هایی درباره دنیای ما، از قبیل بزرگی و جهت نیروی وارد بر ذره ۱ است. هدف دیگر فیزیک ارائه توضیحی عمیقتر از آن چیزی است که گزارش شده است. یکی از هدفهای این فصل، ارائه چنین توضیح ژرفتری به

پرسشهای آزار دهنده ما درباره نیروی الکتریکی در یک مسافت است. این پرسشها را با این گفته می توان پاسخ داد که ذره ۲ یک میدان الکتریکی در فضای اطراف خود ایجاد می کند. اگر ذره ۱ را در هر نقطه ای از این فضا قرار دهیم، این ذره به آن دلیل از وجود ذره ۲ «باخبر» می شود که تحت تأثیر میدان الکتریکی ذره ۲ که پیشتر در آن نقطه ایجاد شده است، قرار می گیرد. بنابراین، ذره ۲ نه با تماس با ذره ۱، بلکه به وسیله میدان الکتریکی ایجاد شده در اطراف خود بر ذره ۱ نیرو وارد می کند.

هدف ما در این فصل، تعریف میدان الکتریکی و بحث درباره چگونگی محاسبه آن برای آرایشهای مختلف ذره های باردار است.

میدان الکتریکی

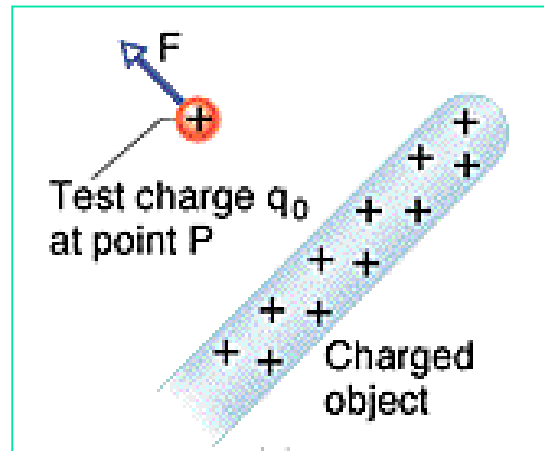
- به هر نقطه در فضای نزدیک به زمین می توان یک میدان گرانشی نسبت داد که شدت آن :

$$g = \frac{F}{m}$$

- که در آن F نیروی گرانشی وارد بر جسم m رها شده در میدان گرانشی است

میدان الکتریکی

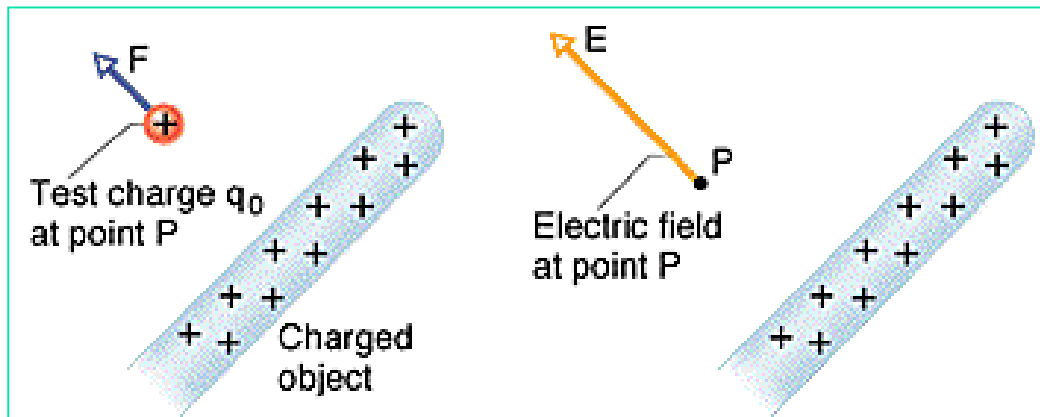
- اگر بار آزمونی را در فضا نزدیک یک میله باردار قرار دهیم بر آن نیروی الکترود استاتیکی وارد میشود بطور مشابه می گوییم که در این فضا میدان الکتریکی وجود دارد.



- بارهای الکتریکی از طریق میدانهای الکتریکی اطرافشان بر یکدیگر نیرو وارد می کنند.

میدان الکتریکی E

- اگر بر بار الکتریکی q_0 که مثبت فرض می شود در یک نقطه نیروی F وارد شود، شدت میدان الکتریکی در آن نقطه بنا به تعریف:



$$E = \frac{F}{q_0}$$

- چون q_0 کمیتی نرده ای است E یک بردار است که در جهت نیروی وارد بر بار آزمون مثبت است.

یکای SI میدان الکتریکی، نیوتون بر کولن (N/C) است.

میدان الکتریکی E

در صورتی که الکترون واقع در میدان الکتریکی E تحت تأثیر يك نیروی الکتریکی
برایر یا وزنش قرار بگیرد، بزرگی میدان چقدر است؟

■ مثال:

■ حل:

با گذاشتن e به جای q_0 و mg (m جرم الکترون) به جای F ، داریم

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{mg}{e}$$

$$= \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$= 5.6 \times 10^{-11} \text{ N/C}$$

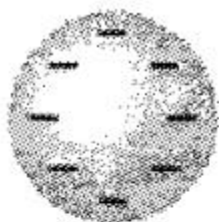
این میدان الکتریکی بسیار ضعیف است

خطوط نیرو

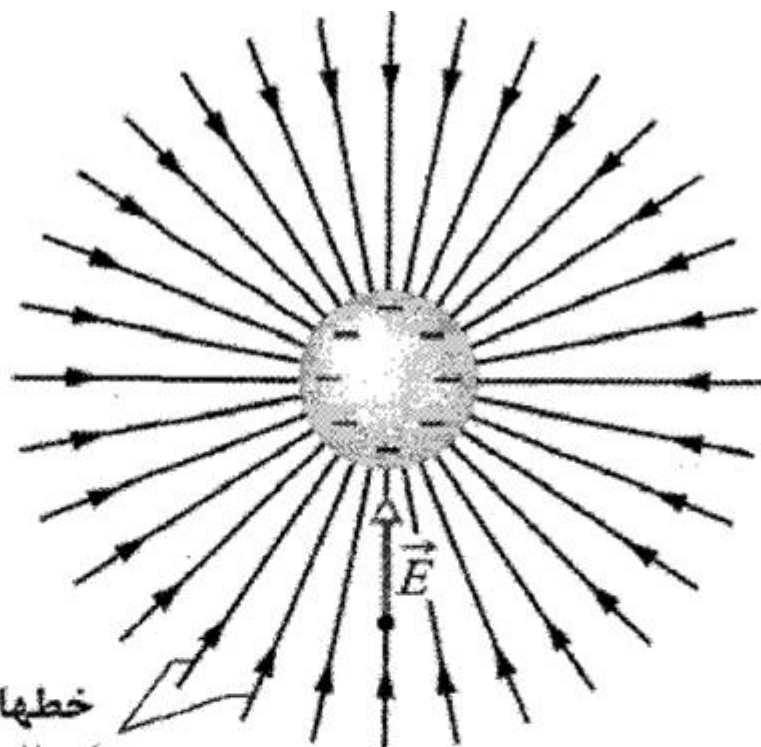
مایکل فارادی^۱، کسی که اندیشه میدانهای الکتریکی را در قرن نوزدهم میلادی مطرح کرد، براین باور بود که فضای اطراف یک جسم باردار با خطهای نیرو پر شده است. اگر چه دیگر برای این خطها، که امروزه به نام میدان الکتریکی خوانده می‌شوند، واقعیت زیادی قائل نیستیم، ولی با این حال آنها هنوز هم روش مناسبی برای تجسم نقشها در میدانهای الکتریکی به شمار می‌آیند.

- از خطوط نیرو برای نمایش تصویری اندازه و جهت میدان الکتریکی استفاده می‌شود.
- مماس بر هر خط نیرو در هر نقطه راستای E را بدست می‌دهد.
- تعداد خطوط موجود در واحد سطح مقطع (عمود بر خط) با بزرگی E متناسب است.

نمایش خطوط نیرو



(الف)



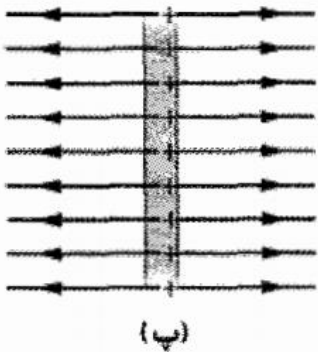
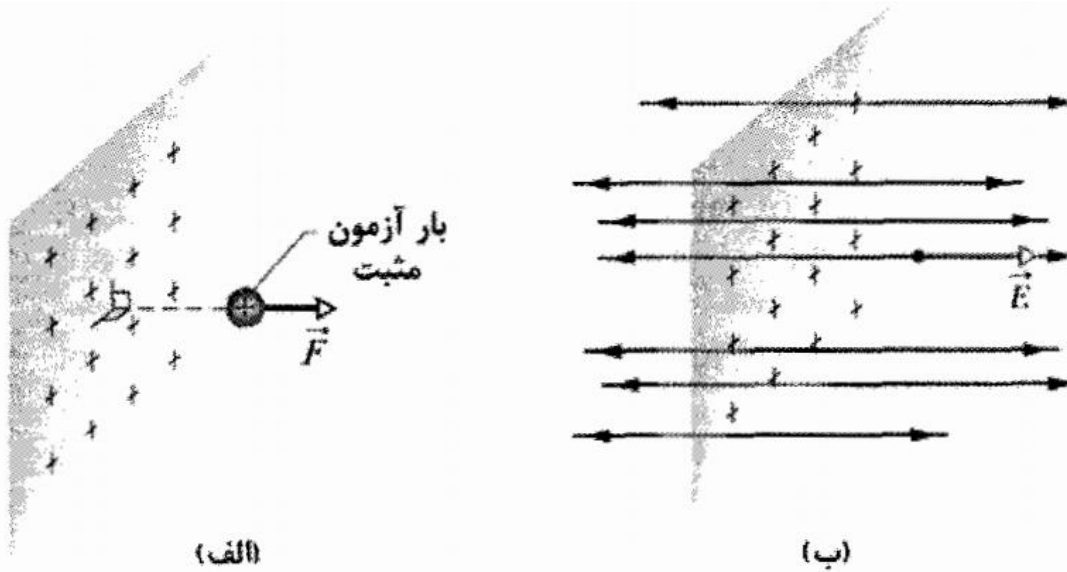
خطهای میدان الکتریکی

(ب)

شکل ۱۸-۲ (الف) نیروی الکترواستاتیکی \vec{F} وارد بر یک بار آزمون مثبت واقع در نزدیکی کره‌ای با بار منفی یکنواخت. (ب) بردار میدان الکتریکی \vec{E} در محل بار آزمون، خطهای میدان الکتریکی در فضای نزدیک کره. امتداد خطهای میدان روبه سمت کره باردار منفی است.

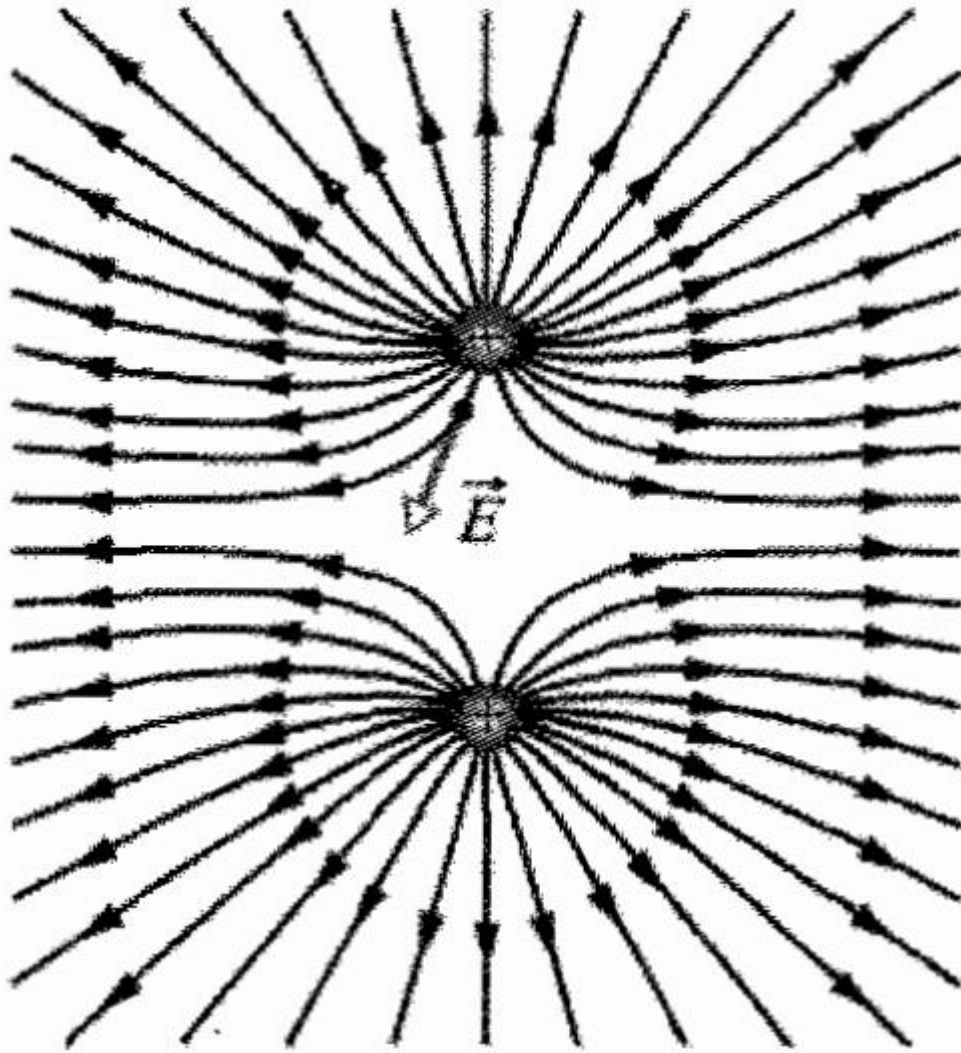
شکل ۱۸-۲ الف کره‌ای با بار منفی یکنواخت را نشان می‌دهد. اگر یک بار آزمون مثبت را در هر جایی نزدیک کره قرار دهیم، یک نیروی الکتروستاتیکی که جهت آن رو به سمت مرکز کره است، آن طور که در شکل نشان داده شده است، بر آن بار آزمون اثر می‌کند. به بیانی دیگر، بردارهای میدان الکتریکی در تمام نقطه‌های نزدیک به کره، به طور شعاعی به سوی مرکز کره‌اند. این نقش بردارها به سادگی با خطهای میدان شکل ۱۸-۲ ب نشان داده شده است، که در آن بردارهای نیرو و میدان در جهت‌های یکسانی سمتگیری کرده‌اند. افزون بر این، باز شدن خطهای میدان الکتریکی با فاصله گرفتن از کره نشان می‌دهد که بزرگی میدان الکتریکی با فاصله گرفتن از کره کاهش می‌یابد.

خطوط میدان الکتریکی در مجاورت یک ورقه نارسانای خیلی بزرگ

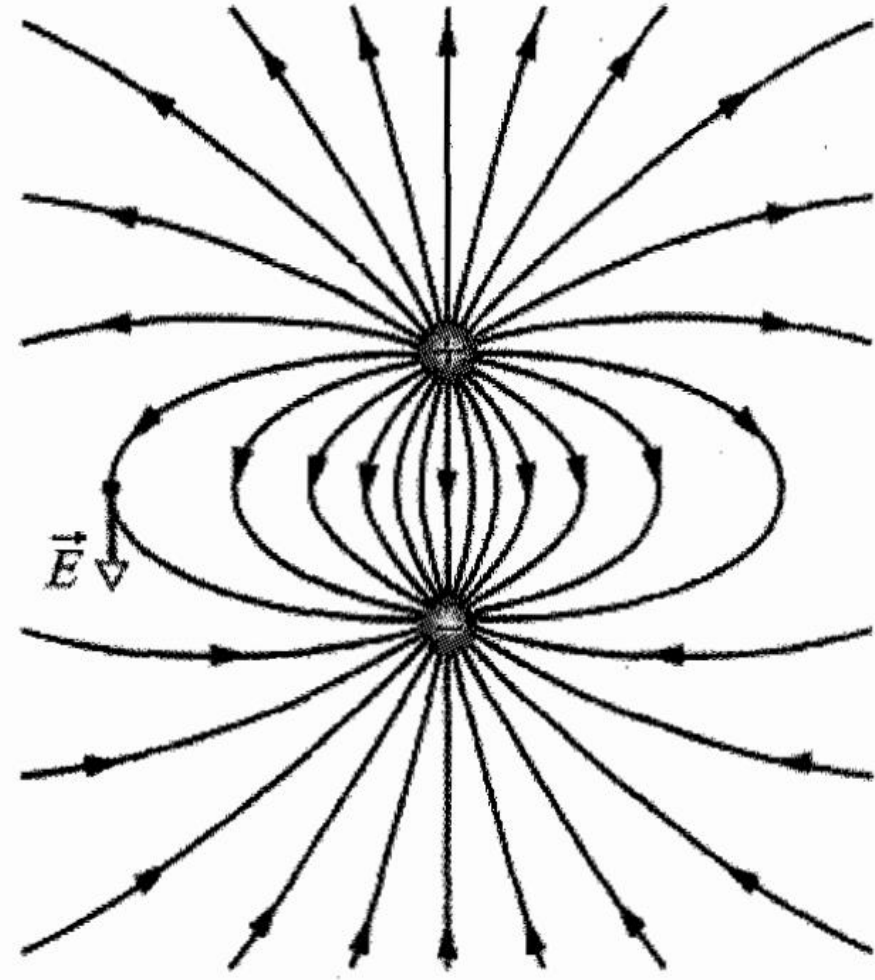


شکل ۱۸-۳ (الف) نیروی الکتروستاتیکی \vec{F} وارد بر بار آزمون مثبت در نزدیکی یک ورقه نارسانای بسیار بزرگ با توزیع یکنواخت بار مثبت در یک طرف آن. (ب) بردار میدان الکتریکی \vec{E} در محل بار آزمون، و خطهای میدان الکتریکی در فضای نزدیک ورقه. خطهای میدان از ورقه با بار مثبت دور می‌شوند. (پ) نمای جانبی شکل (ب).

خطوط میدان الکتریکی در مجاورت دو بار نقطه ای



دو بار نقطه ای مثبت



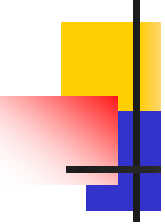
دو بار نقطه ای مثبت و منفی

محاسبه میدان الکتریکی ناشی از بار نقطه ای

برای یافتن میدان الکتریکی ناشی از بار نقطه‌ای q (یا ذره باردار) در هر نقطه به فاصله r از بار نقطه‌ای، یک بار آزمون مثبت q_0 را در آن نقطه قرار می‌دهیم. از قانون کولن بزرگی نیروی الکتروستاتیکی وارد بر بار q_0 چنین است

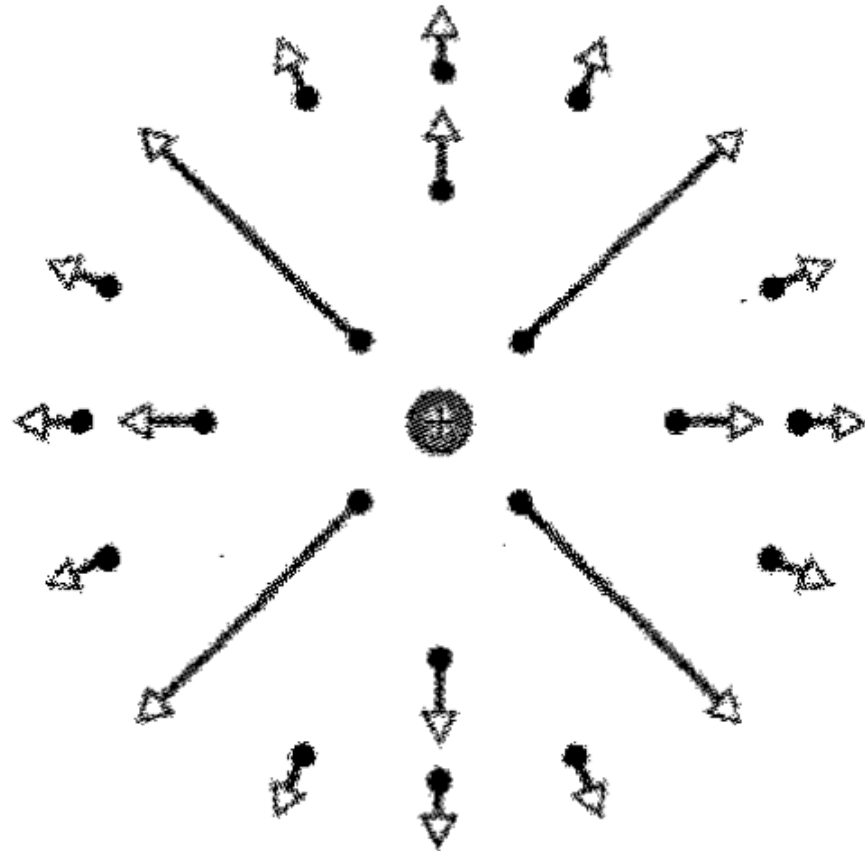
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \hat{r} \quad (۱۸-۲)$$

اگر q مثبت باشد، جهت \vec{F} مستقیماً در جهت دور شدن از بار نقطه‌ای، و اگر q منفی باشد، جهت \vec{F} مستقیماً در جهت نزدیک شدن به بار نقطه‌ای است. بزرگی بردار میدان الکتریکی با استفاده از معادله ۱۸-۱، چنین است



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (\text{بار نقطه‌ای}) \quad (3-18)$$

جهت \vec{E} در همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون مثبت است: یعنی مستقیماً در جهت دور شدن از بار نقطه‌ای اگر q مثبت باشد، و مستقیماً در جهت نزدیک شدن به آن، اگر q منفی باشد. چون نقطه‌ای که برای q_0 انتخاب می‌کنیم هیچ ویژگی خاصی ندارد، معادله ۳-۱۸ بزرگی میدان در هر نقطه‌ای پیرامون بار نقطه‌ای q را به دست می‌دهد. میدان یک بار نقطه‌ای در شکل ۶-۱۸ به صورت برداری (و نه به صورت خطهای میدان) نشان داده شده است.



شکل ۱۸-۶ بردارهای میدان الکتریکی در چند نقطهٔ مختلف پیرامون یک بار نقطه‌ای مثبت.

محاسبه E

- محاسبه E هنگامی که گروه بارهای نقطه ای وجود دارد:
- الف) E_n حاصل از هر بار را در یک نقطه معین بدست می آوریم.
- ب) میدان برآیند E ، جمع بردارهای E_n ها است:

$$\begin{aligned} E &= \frac{F_0}{q_0} = \frac{F_{01}}{q_0} + \frac{F_{02}}{q_0} + \dots + \frac{F_{0n}}{q_0} \\ &= E_1 + E_2 + \dots + E_n. \end{aligned}$$

محاسبه E

- اگر توزیع بار پیوسته باشد آن را به عناصر کوچک بار dq تقسیم می کنیم میدان ناشی از این بار کوچک:

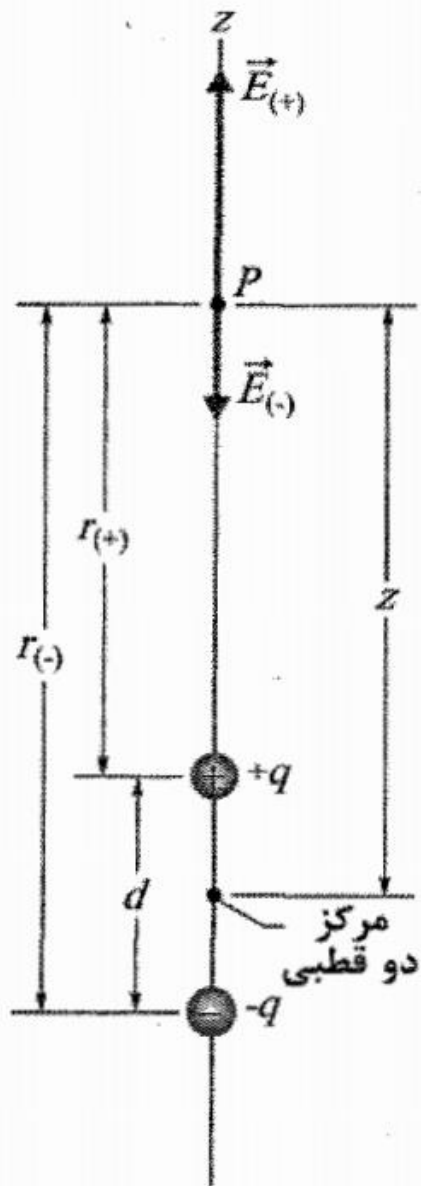
$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2}$$

- که در آن r فاصله عناصر بار dq تا نقطه مورد نظر است.
- میدان برآیند انتگرال میدان حاصل از عناصر بار است:

$$E = \int dE$$

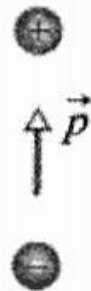
مثال ۱

شکل ۱۸-۸ الف، دو ذره باردار به بزرگی q ولی با علامت مخالف را نشان می‌دهد که به فاصله d از هم قرار گرفته‌اند. آرایش را دوقطبی الکتریکی می‌نامیم. می‌خواهیم میدان الکتریکی ناشی از دوقطبی شکل ۱۸-۸ الف را در نقطه P به فاصله z از وسط دوقطبی و روی محوری که از ذره‌ها می‌گذرد، موسوم به محور دوقطبی، بیابیم.



(الف)

شکل ۱۸-۸ (الف) یک دو قطبی الکتریکی. بردارهای میدان الکتریکی $\vec{E}_{(-)}$ و $\vec{E}_{(+)}$ در نقطه P واقع بر محور دو قطبی ناشی از دو بار دو قطبی اند. نقطه P در فاصله‌های $r_{(-)}$ و $r_{(+)}$ از بارهایی است که دو قطبی را ساخته‌اند. (ب) جهت گشتاور دو قطبی \vec{p} ، از بار منفی به سوی بار مثبت است.



(ب)

نظر به تقارن، میدان الکتریکی \vec{E} در نقطه P و نیز میدانهای $\vec{E}_{(+)}$ و $\vec{E}_{(-)}$ ناشی از هریک از بارها که دو قطبی را می سازند، باید روی محور دو قطبی قرار گیرند که آن را محور z در نظر گرفته ایم. با به کار بردن اصل برهم نهی برای میدانهای الکتریکی، در می یابیم که بزرگی E میدان الکتریکی در نقطه P برابر است با

$$\begin{aligned}
 E &= E_{(+)} - E_{(-)} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_{(+)}^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_{(-)}^2} \\
 &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(z - \frac{1}{2}d\right)^2} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(z + \frac{1}{2}d\right)^2} \quad (5-18)
 \end{aligned}$$

پس از کمی عملیات جبری، این معادله را می توانیم به صورت زیر بنویسیم

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{d}{2z}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{2z}\right)^2} \right) \quad (6-18)$$

پس از مخرج مشترک گرفتن و ضرب جمله‌های آن خواهیم داشت

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \frac{2d/z}{\left(1 - \left(\frac{d}{2z}\right)^2\right)^2} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 z^3} \frac{d}{\left(1 - \left(\frac{d}{2z}\right)^2\right)^2} \quad (7-18)$$

معمولاً به اثر الکتریکی یک دو قطبی فقط در فاصله‌هایی که در مقایسه با ابعاد دو قطبی بزرگ‌اند - یعنی، در فاصله‌هایی که $d \gg z$ است - علاقه‌مندیم. در چنین فاصله‌های بزرگی، در معادله 7-18 داریم $d/2z \ll 1$. در این صورت، با تقریب خود، می‌توانیم از $d/2z$ در مخرج چشمپوشی کنیم که به دست می‌دهد

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{qd}{z^3} \quad (8-18)$$

حاصلضرب qd که شامل دو ویژگی ذاتی q و d در دو قطبی است، برابر بزرگی p است که یک کمیت برداری است و گشتاور دو قطبی الکتریکی \vec{p} دو قطبی نامیده می‌شود. (یکای \vec{p} کولن - متر است). بنابراین، معادله 8-18 را می‌توان چنین نوشت

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

همان‌گونه در شکل 8-18 ب نشان داده شده است، جهت \vec{p} از سر منفی دو قطبی به سوی سر مثبت آن در نظر گرفته می‌شود. از جهت \vec{p} می‌توانیم برای تعیین سمتگیری یک دو قطبی استفاده کنیم.