

سُبْحَانَكَ اللَّهُمَّ رَبِّ السَّمَاوَاتِ السَّبْعِ وَالْأَرْضِ وَالْعَرْشِ الْمَجِيدِ

فصل ۲۱ - ظرفیت

۱- انرژی ذخیره شده در میدان الکتریکی

۲- خازن با دی الکتریک

۳- دی الکتریکها: از دیدگاه اتمی

۴- دی الکتریکها و قانون گاوس

چگالی انرژی

در یک خازن تخت، با چشمپوشی از اثر لبه‌ها، میدان الکتریکی در تمام نقطه‌ها بین این صفحه‌ها یکسان است. بنابراین، چگالی انرژی u ، یعنی انرژی پتانسیل بر یکای حجم بین صفحه‌ها، نیز باید یکنواخت باشد. u را با تقسیم انرژی پتانسیل کل بر حجم Ad فضای بین صفحه‌ها می‌توان پیدا کرد. با استفاده از ۲۱-۲۲، بدست می‌آوریم

$$u = \frac{U}{Ad} = \frac{CV^2}{2Ad}$$

از معادله ۲۱-۹ ($C = \epsilon_0 A/d$)، نتیجه خواهد شد

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left(\frac{V}{d} \right)^2$$

ولی از معادله ۲۰-۴۲ ($E = -\Delta V / \Delta s$)، V/d برابر با بزرگی

میدان الکتریکی E است؛ پس

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (\text{چگالی انرژی}) \quad (21-25)$$

اگرچه این نتیجه را برای حالت خاص خازن تخت بدست آوردیم، در حالت کلی، منبع میدان الکتریکی هرچه باشد، برقرار است. اگر میدان \vec{E} در هر نقطه‌ای از فضا وجود داشته باشد، می‌توان آن نقطه را به عنوان محل انرژی پتانسیل الکتریکی در نظر گرفت که مقدار آن بر یکای حجم با معادله ۲۱-۲۵ داده می‌شود.

غالباً، یک مصدوم سوختگی در حالی که روی برانکاری در اتاقک سربسته‌ای که پر از هوای غنی شده با اکسیژن (اتاقک پرفشار) دراز کشیده است مورد درمان قرار می‌گیرد. وقتی دوره درمان تمام شد کارکنان بیمارستان برانکار و بیمار را از اتاقک به داخل چرخ دستی می‌کشند که بتواند حرکت کند. دست کم در دو وضعیت برانکار در پایان که از اتاقک دور می‌شود، آتش گرفته است. روشن است که آتش گرفتن برانکاری که بیمار صدمه دیده از سوختگی روی آن است وضع خطرناکی است و به آسانی هم در هوای غنی شده با اکسیژن آتش می‌گیرد، ولی این پرسش باقی می‌ماند که چه چیزی موجب می‌شود برانکار آتش بگیرد؟

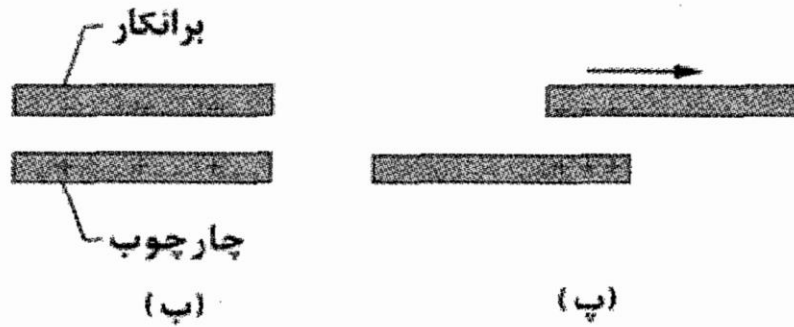
بازرسان دریافتند که جدایی بار بین پوست بیمار، روپوش بیمار، و ملافه روی برانکار رخ داده است. آنها همچنین دریافتند که برانکار و بخشی از چارچوب فلزی اتاقک زیر برانکار، یک

خازن تخت (شکل ۲۱-۱۲) به ظرفیت $C_i = 250 \text{ pF}$ تشکیل داده‌اند. اگر برانکار، بار اضافی و انرژی وابسته به آن را با جرقه زدن تخلیه کرده بود، آیا این جرقه می‌توانست برانکار را مشتعل کند؟ اندازه‌گیرها نشان داد جرقه تنها در صورتی می‌توانست رخ دهد که اختلاف پتانسیل خازن برانکار-چارچوب از 2000 V تجاوز کند و اشتعال در صورتی می‌توانست شروع شود که انرژی پتانسیل U خازن از 0.2 mJ بیشتر باشد. ولی، اختلاف پتانسیل در خازن برانکار-چارچوب فقط $V_i = 600 \text{ V}$ بود که برای تولید جرقه کافی نیست.

(الف) وقتی که برانکار از اتاق بیرون آورده می‌شد سطح مشترک صفحه‌های برانکار-چارچوب کاهش می‌یافت. بنابراین، مساحت صفحه خازن از مقدار اولیه A_i کمتر شده است. اختلاف پتانسیل V_f هنگامی که سطح مشترک صفحه‌ها برابر $A_f = 0.10 A_i$ باشد، چقدر است؟



(الف)



شکل ۲۱-۱۲ (الف) اتاقک پرفشار (ب) برانکار در یک اتاقک پرفشار و چارچوب فلزی اتاقک تشکیل خازنی را می‌دهند که توسط بارهای سرگردان، باردار شده‌اند. (پ) وقتی برانکار از اتاقک بیرون کشیده می‌شود، بار روی سطح کوچکتری جمع می‌شود.

نکته‌های کلیدی (۱) اختلاف پتانسیل V دو سر خازن، بنا بر

معادله ۲۱-۱ ($q = CV$) به بار q و ظرفیت C خازن بستگی دارد. (۲) وقتی برانکار از داخل اتاقک بیرون کشیده شده، بار q تغییر نکرده است. (۳) ظرفیت خازن تخت مطابق با معادله ۲۱-۹ ($C = \epsilon_0 A/d$) به مساحت صفحه مرتبط است.

محاسبه‌ها: با استفاده از معادله ۲۱-۱ بار عبارت است از

$$q = C_f V_f = C_i V_i$$

یا

$$V_f = \frac{C_i}{C_f} V_i \quad (21-23)$$

از معادله ۲۱-۹ می‌توانیم چنین بنویسیم

$$C_f = \frac{\epsilon_0 A_f}{d} = \frac{\epsilon_0 (0.10 A_i)}{d} = 0.10 \frac{\epsilon_0 A_i}{d} = 0.10 C_i \quad (21-24)$$

با قراردادن این نتیجه در معادله ۲۱-۳ خواهیم داشت

$$\begin{aligned} V_f &= \frac{C_i}{0.10 C_i} V_i = 10 V_i = (10)(600 \text{ V}) \\ &= 6000 \text{ V} \end{aligned}$$

(پاسخ)

وقتی که برانکار بیرون کشیده شده، اختلاف پتانسیل، به دلیل آنکه بار روی خازن روی سطح صفحه کوچکتري جمع شده، افزایش یافته و اختلاف پتانسیل $V_f = 6000V$ بیشتر از مقدار کافی برای تولید جرقه بوده است.

(ب) هنگامی که مساحت صفحه $0.10A_i$ بوده، انرژی U_f خازن برانکار - چارچوب چقدر بوده است؟

نکته کلیدی انرژی پتانسیل U ذخیره شده در خازن بنابر

معادله ۲۱-۲۲ $\left(U = \frac{1}{2} CV^2 \right)$ به ظرفیت C و اختلاف پتانسیل

V مربوط می شود.

محاسبه ها: با استفاده از معادله ۲۱-۲۴، چنین می نویسیم

$$\begin{aligned} U_f &= \frac{1}{2} C_f V_f^2 = \frac{1}{2} (0.10 C_i) V_f^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.10) (250 \times 10^{-12} F) (6000 V)^2 \\ &= 4.5 \times 10^{-4} J = 0.45 \text{ mJ} \end{aligned} \quad (\text{پاسخ})$$

این مقدار بیشتر از مقدار کافی برای اشتعال برانکار است. بازرسان نتیجه گرفتند، وقتی که هنگام خروج برانکار از اتاقک، بار روی سطح کوچکتري جمع شده بود، برانکار به دلیل جرقه ای که توسط خازن برانکار - چارچوب زده شده، مشتعل گردیده است.

مسئله نمونه ۲۱-۵

یک کره رسانای منزوی با شعاع $R = 6/85 \text{ cm}$ دارای بار $q = 1/25 \text{ nC}$ است.

(الف) چقدر انرژی پتانسیل در میدان الکتریکی این رسانای باردار ذخیره شده است؟

نکته‌های کلیدی (۱) یک کره منزوی دارای ظرفیتی است که با معادله ۲۱-۱۸ ($C = 4\pi\epsilon_0 R$) داده می‌شود. (۲) انرژی U ذخیره شده در خازن بنابر معادله ۲۱-۲۱ ($U = q^2/2C$) به بار q و ظرفیت C خازن بستگی دارد.
محاسبه‌ها: با قراردادن $C = 4\pi\epsilon_0 R$ در معادله ۲۱-۲۱ خواهیم داشت

$$\begin{aligned} U &= \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 R} \\ &= \frac{(1/25 \times 10^{-9} \text{ C})^2}{(4\pi)(6/85 \times 10^{-2} \text{ F/m})(0/0685 \text{ m})} \\ &= 1/03 \times 10^{-7} \text{ J} = 103 \text{ nJ} \end{aligned}$$

(پاسخ)

(ب) چگالی انرژی در سطح کره چقدر است؟

نکته کلیدی چگالی u انرژی ذخیره شده در میدان الکتریکی، بنابر معادله ۲۱-۲۵ $(u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2)$ به بزرگی E این میدان بستگی دارد.

محاسباتها: در اینجا نخست باید E را روی سطح کره بیابیم. این، با معادله ۱۹-۱۵ داده می‌شود

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}$$

در نتیجه، چگالی انرژی چنین است

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{q^2}{32\pi^2 \epsilon_0 R^4} \\ &= \frac{(1/25 \times 10^{-9} \text{ C})^2}{(32\pi^2)(8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2)(0.0685 \text{ m})^4} \\ &= 2/54 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3 = 25/4 \mu\text{J/m}^3 \quad (\text{پاسخ}) \end{aligned}$$

خازن با دی الکتریک

اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن را با دی الکتریک، که ماده‌ای عایق از قبیل روغن معدنی یا پلاستیک است، پرکنیم ظرفیت آن چه تغییری می‌کند؟ مایکل فارادی^۱ - که مفهوم ظرفیت به میزان زیادی مرهون اوست و به این خاطر یکای SI ظرفیت به نام او نامگذاری شده است- برای نخستین بار در سال ۱۸۳۷/۱۲۱۶ این موضوع را بررسی کرد. او با استفاده از ابزارهای ساده‌ای که بسیار شبیه به آنهایی است که در شکل ۲۱-۱۳ نشان داده شده است، دریافت که ظرفیت با ضریب عددی κ ، که او آن را ثابت دی الکتریک ماده عایق نامید، افزایش می‌یابد. جدول ۲۱-۱ چند ماده دی الکتریک و ثابتهای دی الکتریک آنها را نشان می‌دهد. بنا بر تعریف، ثابت دی الکتریک خلأ برابر با یک است. چون هوا تقریباً یک فضای خالی است،



The Royal Institute, England/Bridgeman Art Library/NY

شکل ۲۱-۱۳ ابزارهای الکتروستاتیکی ساده‌ای که توسط فارادی به کار گرفته شد. وسیله سوار شده (دومی از چپ) یک خازن کروی است. که شامل یک گوی برنجی مرکزی و یک پوسته برنجی هم مرکز با آن است. فارادی مواد دی‌الکتریک را در فضای میان گوی و پوسته قرار داد.

جدول ۲۱-۱

چند ویژگی دی الکتریکها*

ماده	ثابت دی الکتریک κ	استحکام دی الکتریک (kV/mm)
هوا (1 atm)	1/000054	3
پلی استیرن	2/6	24
کاغذ	3/5	16
روغن مبدل	4/5	
پیرکس	4/7	14
میکای یاقوتی	5/4	
چینی	6/5	
سیلیسیوم	12	
ژرمانیوم	16	
اتانول	25	
آب (20°C)	80/4	
آب (25°C)	78/5	
سرامیک تیتانیوم	130	
تیتانات استرانیوم	310	8

برای خلا $\kappa=1$

* بجز آب، بقیه در دمای اتاق اندازه گیری شده اند.

ثابت دی‌الکتریک اندازه‌گیری شده برای آن فقط اندکی از واحد بزرگتر است.

اثر دیگر حضور دی‌الکتریک، محدود ساختن اختلاف پتانسیلی است که می‌تواند میان صفحه‌های خازن تا مقدار معین V_{max} موسوم به پتانسیل فروشکست، اعمال شود. اگر این مقدار به میزان قابل توجهی افزایش یابد، ماده دی‌الکتریک فرو می‌شکند و در بین صفحه‌ها مسیر رسانایی به وجود می‌آید. هر ماده دی‌الکتریک دارای مشخصه‌ای موسوم به استحکام دی‌الکتریک است، و آن مقدار بیشینه میدان الکتریکی است که آن ماده می‌تواند بدون فروشکست تحمل کند. چند مقدار از این دست در جدول ۱-۲۱ آمده‌اند.

همان‌طور که درست پس از معادله ۱۸-۲۱ بحث کردیم، ظرفیت هر خازن را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$C = \epsilon_0 L, \quad (21-26)$$

که در آن \mathcal{L} دارای بعد طول است. مثلاً، برای یک خازن تخت $\mathcal{L} = A/d$ است. کشف فارادی این بود که در حضور دی‌الکتریکی که فضای میان صفحه‌ها را به طور کامل پرکند، معادله ۲۱-۲۶ چنین می‌شود

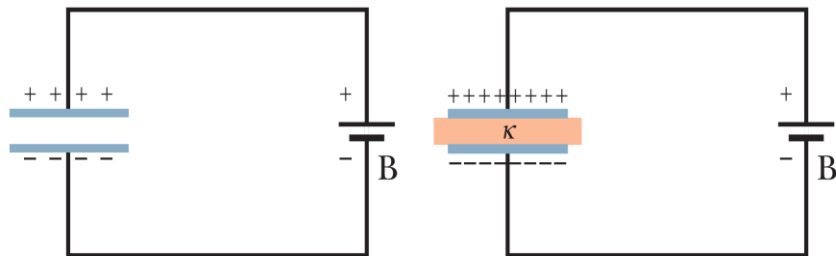
$$C = \kappa \epsilon_0 \mathcal{L} = \kappa C_{\text{air}}, \quad (21-27)$$

که در آن C مقدار ظرفیتی است که فقط هوا میان صفحه‌ها باشد.

شکل ۲۱-۱۴ شناخت بیشتری در مورد آزمایشهای فارادی به دست می‌دهد. در شکل ۲۱-۱۴ الف، وجود باتری ثابت ماندن اختلاف پتانسیل V میان صفحه‌ها را تضمین می‌کند. وقتی یک تیغه دی‌الکتریک در میان صفحه‌ها قرار داده شود، بار q روی صفحه‌ها با ضریب κ افزایش می‌یابد؛ باری اضافی توسط باتری به صفحه‌های خازن انتقال داده می‌شود. در شکل ۲۱-۱۴ ب در مدار باتری وجود ندارد، و بنابراین، بار q هنگامی که تیغه

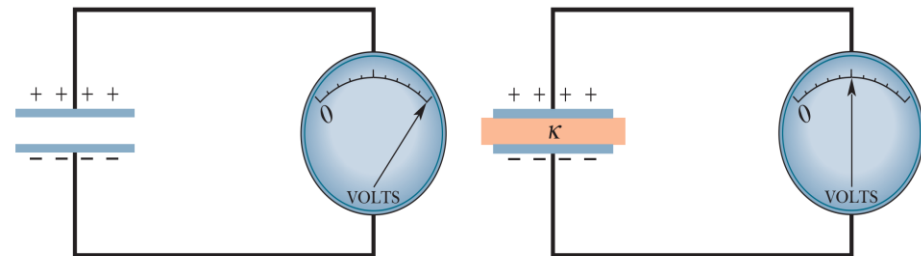
دی‌الکتریک قرار داده می‌شود باید ثابت باقی بماند؛ آنگاه، اختلاف پتانسیل V میان صفحه‌ها با ضریب κ کاهش می‌یابد. هر دو این مشاهدات با افزایش ظرفیت خازن در حضور دی‌الکتریک (از طریق رابطه $q = CV$) سازگارند. از مقایسه معادله‌های ۲۱-۲۶ و ۲۱-۲۷ در می‌یابیم که اثر دی‌الکتریک را می‌توان در عبارت کلی‌تری خلاصه کرد

👉 در ناحیه‌ای که به طور کامل با ماده‌ای دی‌الکتریک با ثابت κ پر شده است، همه معادله‌های الکتروستاتیکی را که شامل ثابت گذردهی ϵ_0 هستند باید با جایگزینی ϵ_0 با $\kappa\epsilon_0$ تصحیح کرد.



$V = \text{a constant}$

(a)



$q = \text{a constant}$

(b)

شکل ۲۱-۱۴ (الف) اگر اختلاف پتانسیلی میان صفحه‌های خازنی، مثلاً با باتری B، برقرار شده باشد، اثر دی‌الکتریک افزایش بار روی صفحه‌هاست. (ب) اگر، مانند این حالت، بار روی صفحه‌های خازن ثابت نگهداشته شود، اثر دی‌الکتریک کاهش اختلاف پتانسیل میان صفحه‌هاست. مقیاس نشان داده شده مربوط به پتانسیل سنج است، و آن وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل (اینجا، میان صفحه‌ها) به کار گرفته می‌شود. خازن نمی‌تواند از طریق پتانسیل سنج تخلیه شود.

بنابراین، بزرگی میدان الکتریکی که توسط بار نقطه‌ای در داخل دی الکتریک ایجاد شده است با شکل تصحیح شده معادله ۱۹-۱۵ به دست داده می‌شود

$$E = \frac{1}{4\pi\kappa\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (21-28)$$

همچنین، عبارت میدان الکتریکی درست بیرون یک رسانای منزوی که داخل یک دی الکتریک قرار داده شده است (معادله ۱۹-۱۱ را ببینید) چنین می‌شود

$$E = \frac{\sigma}{\kappa\epsilon_0} \quad (21-29)$$

چون κ همواره عددی بزرگتر از یک است، هر دو معادله نشان می‌دهد که برای توزیع ثابت شده بارها، اثر دی الکتریک تضعیف میدان الکتریکی نسبت به وضعیتی است که دی الکتریک حضور ندارد.

مسئله نمونه ۲۱-۶

یک خازن تخت که ظرفیت آن $13/5 \text{ pF}$ است با یک باتری تا اختلاف پتانسیل $V = 12/5 \text{ V}$ میان صفحه‌های خود، باردار شده است. سپس باتری باردار کننده قطع و تیغه‌ای از جنس چینی ($\kappa = 6/50$) در میان صفحه‌ها قرار داده می‌شود. (الف). انرژی پتانسیل خازن پیش از آنکه تیغه قرار داده شود و پس از آن چقدر است؟

نکته کلیدی انرژی پتانسیل U_i خازن را می‌توانیم به ظرفیت C یا پتانسیل V از (طریق معادله ۲۱-۲۲) یا به بار q (از طریق معادله ۲۱-۲۱) مربوط کنیم:

$$U_i = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{q^2}{2C}$$

محاسبه: چون پتانسیل اولیه داده شده است $V (= 12/5 \text{ V})$ ، از معادله ۲۱-۲۲ برای یافتن انرژی ذخیره شده اولیه استفاده می‌کنیم

$$U_i = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (13/5 \times 10^{-12} \text{ F}) (12/5 \text{ V})^2$$

$$= 1/0 \ 55 \times 10^{-9} \text{ J} = 10 \ 55 \text{ pJ} \approx 1100 \text{ pJ} \quad (\text{پاسخ})$$

(ب) انرژی پتانسیل پس از قرار دادن تیغه چقدر است؟

نکته کلیدی چون باتری قطع شده است، بار روی خازن با قراردادن دی الکتریک نمی تواند تغییر کند. ولی، پتانسیل تغییر می کند.

محاسبه ها: اکنون باید از معادله ۲۱-۲۱ برای نوشتن انرژی پتانسیل نهایی U_f استفاده کنیم، ولی باید توجه کنید که در حضور تیغه، ظرفیت خازن برابر با κC می شود. در نتیجه خواهیم داشت

$$U_f = \frac{q^2}{2\kappa C} = \frac{U_i}{\kappa} = \frac{10 \ 55 \text{ pJ}}{6/50} = 162 \text{ pJ} \approx 160 \text{ pJ} \quad (\text{پاسخ})$$

وقتی تیغه گذاشته شود، انرژی پتانسیل با ضریب κ کاهش می یابد.

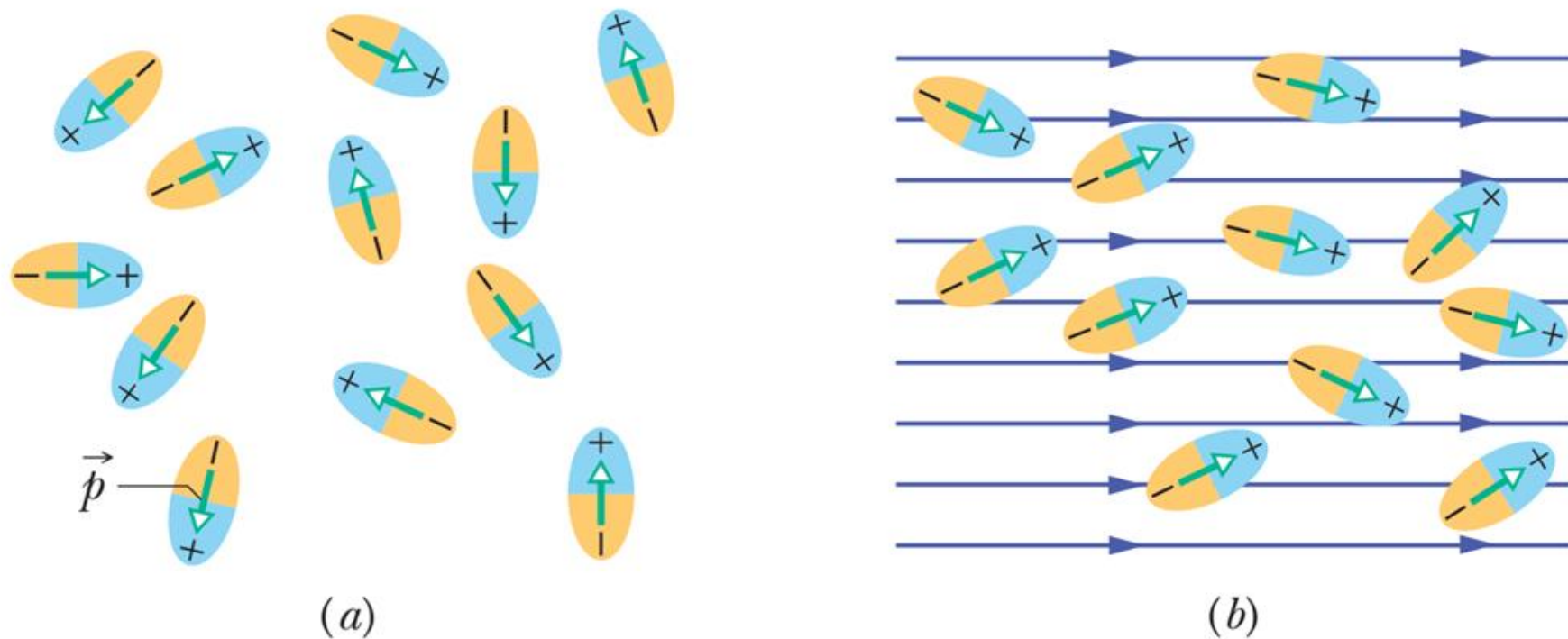
انرژی «ناپدید شده» اساساً در شخصی که تیغه را گذاشته است ظاهر می شود. خازن نیروی کششی کمی بر تیغه وارد می کند و روی آن کاری به مقدار زیر انجام می دهد

$$W = U_i - U_f = (10 \ 55 - 162) \text{ pJ} = 893 \text{ pJ}$$

دی الکتریکها: از دیدگاه اتمی

وقتی دی الکتریکی را در میدان الکتریکی قرار می‌دهیم از دیدگاه اتمی و مولکولی چه رخ می‌دهد؟ بسته به نوع مولکول، دو امکان وجود دارد:

۱. دی الکتریکهای قطبی. مولکولهای برخی از دی الکتریکها، مثل آب، گشتاور دو قطبی الکتریکی دائمی دارند. در چنین موادی (که دی الکتریکهای قطبی نامیده می‌شوند، دو قطبیهای الکتریکی، همان گونه که در شکل ۲۱-۱۵ نشان داده شده است، مایل اند که با میدان الکتریکی خارجی همسو شوند. چون این مولکولها بر اثر حرکت گرمایی کاتوره‌ای خود به طور مداوم به یکدیگر برخورد می‌کنند، این همسویی کامل نیست، ولی وقتی بزرگی میدان اعمال شده افزایش یابد (یا دما، و در نتیجه برخورد مولکولها، کاهش یابد)، این همسویی کاملتر می‌شود. همسوئی دو قطبیهای الکتریکی، میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند که جهت آن در خلاف جهت میدان اعمال شده و بزرگی اش کوچکتر از بزرگی آن میدان است.

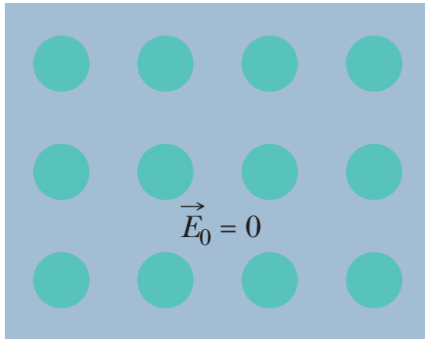


شکل ۲۱-۱۵ (الف) سمتگیری کاتوره‌ای مولکولهایی با گشتاور دوقطبی الکتریکی دائم در نبود میدان الکتریکی خارجی نشان داده شده است. (ب) اعمال یک میدان الکتریکی، باعث همسویی جزئی دوقطبیها می‌شود. اغتشاش گرمایی از همسویی کامل جلوگیری می‌کند.

۲. دی الکتریکهای غیرقطبی. بدون توجه به اینکه آیا مولکولها گشتاور دو قطبی الکتریکی دائمی دارند یا خیر، مولکولها هنگامی که در یک میدان الکتریکی خارجی قرار می گیرند بر اثر القا گشتاورهای دو قطبی به دست می آورند. در بخش ۲۰-۸ (شکل ۲۰-۱۱ را ببینید)، دیدیم که این اتفاق به این دلیل رخ می دهد که میدان خارجی می خواهد این مولکولها را با ایجاد فاصله اندکی میان مرکزهای بار منفی و مثبت آنها، به صورت «کشیده» درآورد.

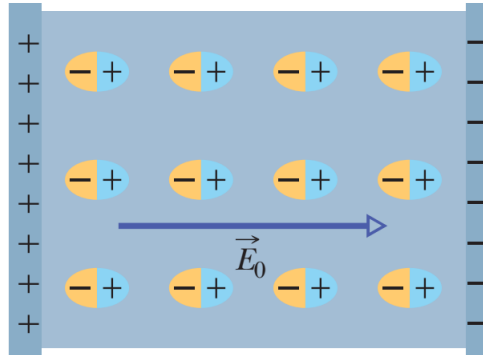
شکل ۲۱-۱۶ الف یک قطعه دی الکتریک غیر قطبی را نشان می دهد که هیچ میدان الکتریکی خارجی به آن اعمال نشده است. در شکل ۲۱-۱۶ ب، میدان الکتریکی \vec{E}_0 توسط خازنی که صفحه های آن مطابق شکل باردار شده اند، اعمال شده است. در نتیجه فاصله اندکی میان مرکزهای توزیعهای بار مثبت و منفی در داخل قطعه ایجاد می شود که این منجر به ایجاد بار مثبت روی یک وجه قطعه (ناشی از سرهای مثبت دو قطبیهای موجود در آنجا) و بار منفی روی وجه متقابل آن (ناشی از سرهای منفی دو قطبیهای موجود در آنجا) می شود. قطعه در کل

The initial electric field inside this nonpolar dielectric slab is zero.



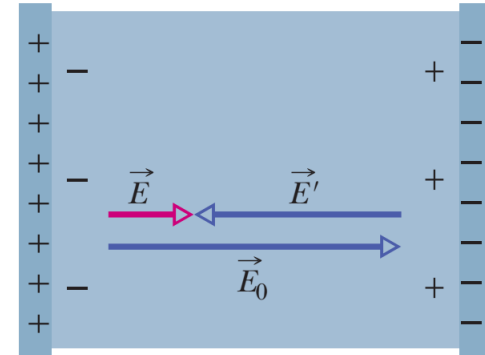
(a)

The applied field aligns the atomic dipole moments.



(b)

The field of the aligned atoms is opposite the applied field.



(c)

شکل ۲۱-۱۶ (الف) یک قطعه دی الکتریک غیرقطبی. دایره‌ها اتمهایی را نشان می‌دهند که از لحاظ الکتریکی خنثی هستند. (ب) یک میدان الکتریکی توسط صفحه‌های خازن باردار اعمال شده است؛ این میدان، اتمها را با جداکردن مرکزهای بارهای مثبت و منفی، اندکی می‌کشد. (پ) این جدایی، بارهایی سطحی روی وجوه قطعه ایجاد می‌کند. این بارها میدان \vec{E}' را ایجاد می‌کنند که در خلاف جهت میدان اعمال شده \vec{E}_0 است. میدان برآیند \vec{E} درون دی الکتریک (جمع برداری E_0 و \vec{E}') در همان جهت \vec{E}_0 ولی از نظر بزرگی کوچکتر از آن است.

از لحاظ الکتریکی ختشی باقی می ماند و - داخل قطعه - هیچ عنصر حجمی بار اضافی وجود ندارد.

شکل ۲۱-۱۶ پ نشان می دهد که بارهای سطحی القا شده روی دو وجه قطعه، یک میدان الکتریکی \vec{E}' در خلاف جهت میدان الکتریکی اعمال شده \vec{E}_0 ایجاد می کنند. میدان بر اینند \vec{E} درون دی الکتریک (جمع برداری میدانهای \vec{E}_0 و \vec{E}') در جهت \vec{E}_0 ولی از نظر بزرگی کوچکتر از آن است.

هم میدان \vec{E}' که توسط بارهای سطحی در شکل ۲۱-۱۶ پ ایجاد شده است و هم میدان الکتریکی که توسط دو قطبیهای الکتریکی در شکل ۲۱-۱۵ ایجاد شده است به یک نحو عمل می کنند - هر دو آنها در خلاف جهت میدان اعمال شده \vec{E}_0 هستند. بنابراین، اثر هر دو دی الکتریک قطبی و غیر قطبی تضعیف هر میدان الکتریکی اعمال شده به آنها، مانند میدان میان صفحه های یک خازن است.

حال می توانیم دریابیم که چرا تیغه دی الکتریک چینی در مسئله نمونه ۲۱-۶ به داخل خازن کشیده می شود: وقتی دی الکتریک به فضای داخل صفحه ها وارد می شود، علامت بار سطحی که روی هر وجه تیغه ظاهر می شود با علامت بار صفحه خازن مجاور آن مخالف است. بنابراین، تیغه و صفحه های خازن همدیگر را جذب می کنند.