در دو صفحهٔ روبه‌روی هم این کتاب، چی می‌بینید

۱ این‌جا شمارهٔ فصل یا درسی رو که قراره بخونید، می‌بینید.

۲ این عدده که این‌جا می‌بینید، به شما می‌گه اولین تمرینی که در این صفحه اومده از چه صفحهٔ کتاب درسی این‌جا قرار گرفته.

۳ این عدده که این‌جا می‌بینید، به شما می‌گه که آخرین تمرینی که در این صفحه اومده از چه صفحهٔ کتاب درسی در این‌جا قرارگرفته.

۴ در واقع این دوتا عدد بهتون می‌گن که تمرین‌های چه صفحه‌ای تا چه صفحه‌ای از کتاب درسی رو در این دو صفحه می‌بینید.

۵ این شماره‌ای که این‌جا می‌بینید شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی یار هستش. کتاب درسی یار پایهٔ یازدهم ریاضی مجموعاً ۱۰۱۵ صفحه داره.

۶ به کمک این تیتری که می‌بینید، می‌تونید بفهمید چه تمرینی از چه صفحه‌ای از کتاب درسی این‌جا قرارگرفته.

۷ درکتاب درسی یار پایهٔ یازدهم ریاضی عین متن سؤال‌های کتاب درسی رو به صورت پررنگ می‌بینید.

۸ در این کتاب، پاسخ‌های تمرین‌ها، پرسش‌ها، سؤال‌ها... کتاب درسی رو که توسط مؤلفت‌های خوبمون نوشته شده، به‌صورت ساده می‌بینید.

فهرست

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
	دین‌وزندگی ۲	
۱۲	درس ۱: هدایت الهی	۷
۲۲	درس ۲: تداوم هدایت	۱۰
۳۶	درس ۳: معجزهٔ جاویدان	۱۴
۴۸	درس ۴: مسؤلیت‌های پیامبر ﷺ	۱۸
۶۲	درس ۵: امامت، تداوم رسالت	۲۲
۷۴	درس ۶: پیشوایان اسوه	۲۷
۸۸	درس ۷: وضعیت فرهنگی، ...	۳۲
۹۸	درس ۸: احیای ارزش‌های راستین	۳۵
۱۱۰	درس ۹: عصر غیبت	۳۹
۱۲۴	درس ۱۰: مرجعیت و ولایت فقیه	۴۴
۱۳۸	درس ۱۱: عزّت نفس	۴۹
۱۴۸	درس ۱۲: پیوند مقدّس	۵۳
	آزمون‌ها	۵۸
	انگلیسی ۲ (StudentBook)	
۱۵	درس ۱	۶۲
۴۹	درس ۲	۸۸
۸۱	درس ۳	۱۱۲
	آزمون‌ها	۱۳۳
	انگلیسی ۲ (WorkBook)	
۷	درس ۱	۱۴۷
۲۵	درس ۲	۱۵۴
۴۳	درس ۳	۱۶۱
	زمین‌شناسی	
۹	فصل ۱: آفرینش کیهان و تکوین ...	۱۶۴
۲۳	فصل ۲: منابع معدنی و ذخایر ...	۱۷۳
۴۱	فصل ۳: منابع آب و خاک	۱۷۹
۵۹	فصل ۴: زمین‌شناسی و سازه‌های ...	۱۸۸
۷۳	فصل ۵: زمین‌شناسی و سلامت	۱۹۳
۸۹	فصل ۶: پویایی زمین	۱۹۶
۱۰۳	فصل ۷: زمین‌شناسی ایران	۲۰۱
	آزمون‌ها	۲۰۵
	عربی ۲	
۱	اَلدَّرْسُ الْأَوَّلُ: مِنْ آياتِ الْأَخلاقِ	۲۱۰
۱۷	اَلدَّرْسُ الثّاني: في مَحْضَرِ الْمُعَلِّم	۲۱۹
۲۹	اَلدَّرْسُ الثّالِثُ: عَجائِبُ الْأَشجارِ	۲۲۷
۴۳	اَلدَّرْسُ الرّابِعُ: آدابُ الْكَلامِ	۲۳۵
۵۵	اَلدَّرْسُ الْخامِسُ: اَلْكِذْبُ مِفْتاحُ ...	۲۴۳
۶۵	اَلدَّرْسُ السّادِسُ: آنَه ماري شيمِل	۲۵۰
۷۹	اَلدَّرْسُ السّابِعُ: تَأثيرُ اللُّغَةِ الْفارِسيَّةِ ...	۲۵۸
	آزمون‌ها	۲۶۶
	انسان‌ومحیط‌زیست	
۱	درس ۱: آب، سرچشمهٔ زندگی	۲۷۵
۲۱	درس ۲: خاک، بستر زندگی	۲۸۲
۳۳	درس ۳: هوا، نَفَسِ زندگی	۲۸۸
۴۷	درس ۴: انرژی، حرکت، زندگی	۲۹۳
۶۵	درس ۵: زباله، فاجعهٔ محیط زیست	۳۰۰
۸۵	درس ۶: تنوع زیستی، تابلوی ...	۳۰۶
۱۰۳	درس ۷: محیط زیست، بستر ...	۳۱۱
	آزمون‌ها	۳۱۶
	فارسی ۲	
۱۰	ستایش: لطف خدا	۳۲۱
۱۱	فصل ۱: ادبیات تعلیمی	۳۲۲
۱۲	درس ۱: نیکی	۳۲۲
۱۴	کارگاه متن‌پژوهی	۳۲۴
۱۶	گنج حکمت: همّت	۳۲۶
۱۷	درس ۲: قاضی بُست	۳۲۷
۲۱	کارگاه متن‌پژوهی	۳۳۱
۲۴	شعرخوانی: زاغ و کبک	۳۳۲
۲۷	فصل ۲: ادبیات پایداری	۳۳۴
۲۸	درس ۳: در امواج سند	۳۳۴
۳۱	کارگاه متن‌پژوهی	۳۳۸
۳۳	گنج حکمت: چو سرو باش	۳۳۹
۳۴	درس ۴: دربیابان‌های تبعید (درس آزاد)	۳۴۱
	کارگاه متن‌پژوهی	۳۴۲
۳۸	درس ۵: آغازگری تنها	۳۴۲
۴۳	کارگاه متن‌پژوهی	۳۴۴
۴۵	روان‌خوانی: تا غزل بعد ...	۳۴۵
۵۱	فصل ۳: ادبیات غِنایی	۳۴۷
۵۲	درس ۶: پروردهٔ عشق	۳۴۷
۵۴	کارگاه متن‌پژوهی	۳۵۰
۵۶	گنج حکمت: مردان واقعی	۳۵۱
۵۷	درس ۷: باران محبّت	۳۵۲
۶۰	کارگاه متن‌پژوهی	۳۵۶
۶۳	شعرخوانی: آفتاب حُسن	۳۵۷
۶۵	فصل ۴: ادبیات سفر و زندگی	۳۵۹
۶۶	درس ۸: در کوی عاشقان	۳۵۹
۷۲	کارگاه متن‌پژوهی	۳۶۱
۷۴	گنج حکمت: چنان باش ...	۳۶۲
۷۵	درس ۹: ذوق لطیف	۳۶۴
۷۹	کارگاه متن‌پژوهی	۳۶۵
۸۱	روان‌خوانی: میثاق دوستی	۳۶۶
۸۷	فصل ۵: ادبیات انقلاب اسلامی	۳۶۸
۸۸	درس ۱۰: بانگ جَرَس	۳۶۹
۹۰	کارگاه متن‌پژوهی	۳۷۱
۹۲	گنج حکمت: به یاد ۲۲ بهمن	۳۷۲
۹۳	درس ۱۱: یاران عاشق	۳۷۳
۹۴	کارگاه متن‌پژوهی	۳۷۵
۹۷	شعرخوانی: صبح بی تو	۳۷۶
۹۹	فصل ۶: ادبیات حماسی	۳۷۸
۱۰۰	درس ۱۲: کاوهٔ دادخواه	۳۷۸
۱۰۶	کارگاه متن‌پژوهی	۳۸۳
۱۰۸	گنج حکمت: کاردانی	۳۸۴
۱۰۹	درس ۱۳: باغ من (درس آزاد)	۳۸۶
۱۱۱	کارگاه متن‌پژوهی	۳۸۷
۱۱۲	درس ۱۴: حملهٔ حیدری	۳۸۷
۱۱۵	کارگاه متن‌پژوهی	۳۹۱
۱۱۷	شعرخوانی: وطن	۳۹۲
۱۱۹	فصل ۷: ادبیات داستانی	۳۹۴
۱۲۰	درس ۱۵: کبوتر طوق‌دار	۳۹۴
۱۲۳	کارگاه متن‌پژوهی	۳۹۸
۱۲۵	گنج حکمت: مهمان ناخوانده	۳۹۹
۱۲۶	درس ۱۶: قصهٔ عینکم	۴۰۰
۱۳۲	کارگاه متن‌پژوهی	۴۰۲
۱۳۴	روان‌خوانی: دیدار	۴۰۳
۱۴۱	فصل ۸: ادبیات جهان	۴۰۷
۱۴۲	درس ۱۷: خاموشی دریا	۴۰۷
۱۴۴	کارگاه متن‌پژوهی	۴۰۸
۱۴۶	گنج حکمت: تجسّم عشق	۴۰۹
۱۴۷	درس ۱۸: خوان عدل	۴۱۰
۱۴۹	کارگاه متن‌پژوهی	۴۱۱
۱۵۱	روان‌خوانی: آذرباد	۴۱۲
۱۵۷	نیایش: الهی	۴۱۳
	آزمون‌ها	۴۱۵

نگارش ۲

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۱۴	درس ۱: اجزای نوشته: ساختار ...	۴۲۲
۳۶	درس ۲: گسترش محتوا (۱): زمان ...	۴۲۴
۵۴	درس ۳: گسترش محتوا (۲): شخصیت	۴۲۷
۷۲	درس ۴: گسترش محتوا (۳): گفت‌وگو	۴۲۹
۸۶	درس ۵: سفرنامه	۴۳۲
۱۰۶	درس ۶: کاهش محتوا: خلاصه‌نویسی	۴۳۴

شیمی ۲

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۱	فصل ۱: قدر هدایای زمینی را بدانیم	۴۳۷
۴۹	فصل ۲: در پی غذای سالم	۴۷۱
۹۷	فصل ۳: پوشاک، نیازی پایان‌ناپذیر	۵۰۲
	آزمون‌ها	۵۲۲

آزمایشگاه علوم تجربی ۲

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۳	فصل ۱: کلّیات	۵۳۱
۲۱	فصل ۲: آزمایش‌های مرتبی	۵۳۱
۳۹	فصل ۳: آزمایش‌های دستورالعملی	۵۳۶
۸۹	فصل ۴: آزمایش‌های کاوشگری	۵۴۵
	آزمون‌ها	۵۵۷

تاریخ معاصر ایران

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۱۷	درس ۱: حکومت قاجار از آقامحمد...	۵۶۱
۲۷	درس ۲: دوران ناصرالدین‌شاه	۵۶۴
۳۸	درس ۳: زمینه‌های نهضت مشروطه	۵۶۷
۴۴	درس ۴: آغاز حرکت مردم علیه ...	۵۶۹
۵۳	درس ۵: مشروطه در دورهٔ ...	۵۷۲
۶۲	درس ۶: دورهٔ دوم مشروطه ...	۵۷۴
۷۴	درس ۷: کودتای ۱۲۹۹	۵۷۷
۸۳	درس ۸: رضاخان؛ تثبیت قدرت	۵۸۰
۹۱	درس ۹: ویژگی‌های حکومت ...	۵۸۲
۱۰۰	درس ۱۰: سقوط رضاشاه	۵۸۴
۱۰۷	درس ۱۱: اشغال ایران توسط ...	۵۸۶
۱۱۴	درس ۱۲: نهضت ملی‌شدن ...	۵۸۸
۱۲۰	درس ۱۳: زمینه‌های کودتای ...	۵۹۰
۱۳۰	درس ۱۴: کودتای بیست و هشتم ...	۵۹۳
۱۳۶	درس ۱۵: ربع قرن سیطرهٔ آمریکا ...	۵۹۴
۱۴۳	درس ۱۶: زمینه‌ها و هدف‌های ...	۵۹۶
۱۴۷	درس ۱۷: پیدایش نهضت ...	۵۹۸
۱۵۳	درس ۱۸: قیام ۱۵ خرداد	۵۹۹
۱۶۳	درس ۱۹: تحولات ایران پس از ...	۶۰۲
۱۷۴	درس ۲۰: ایران در مسیر ...	۶۰۴
۱۸۲	درس ۲۱: پیروزی انقلاب اسلامی	۶۰۶
۱۹۱	درس ۲۲: دولت موقت مهندس ...	۶۰۸
۲۰۰	درس ۲۳: اولین دورهٔ ریاست ...	۶۱۱
۲۱۱	درس ۲۴: جنگ تحمیلی رژیم ...	۶۱۳
۲۲۱	درس ۲۵: آرمان‌ها و دستاوردهای ...	۶۱۵
۲۳۵	درس ۲۶: بیداری اسلامی در ...	۶۱۷
	آزمون‌ها	۶۲۱

هندسه ۲

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۹	فصل ۱: دایره	۶۲۶
۱۰	درس ۱: مفاهیم اولیه و زاویه‌ها در دایره	۶۲۶
۱۸	درس ۲: رابطه‌های طولی در دایره	۶۳۶
۲۴	درس ۳: چندضلعی‌های محاطی و ...	۶۴۲
۳۳	فصل ۲: تبدیل‌های هندسی و ...	۶۵۰
۳۴	درس ۱: تبدیل‌های هندسی	۶۵۰
۵۲	درس ۲: کاربرد تبدیل‌ها	۶۶۳
۶۱	فصل ۳: روابط طولی در مثلث	۶۶۸
۶۲	درس ۱: قضیهٔ سینوس‌ها	۶۶۸
۶۶	درس ۲: قضیهٔ کسینوس‌ها	۶۷۱
۷۰	درس ۳: قضیهٔ نیمسازهای زوایای ...	۶۷۵
۷۳	درس ۴: قضیهٔ هرون ...	۶۷۸
	آزمون‌ها	۶۸۳

فیزیک ۲

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۱	فصل ۱: الکتریسیتهٔ ساکن	۶۸۹
۴۵	فصل ۲: جریان الکتریکی و ...	۷۱۶
۸۳	فصل ۳: مغناطیس	۷۳۶
۱۰۹	فصل ۴: القای الکترومغناطیسی ...	۷۵۲
	آزمون‌ها	۷۶۴

آمار و احتمال

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۱	فصل ۱: آشنایی با مبانی ریاضیات	۷۷۲
۲	درس ۱: آشنایی با منطق ریاضی	۷۷۲
۱۹	درس ۲: مجموعه ـ زیرمجموعه	۷۸۴
۲۶	درس ۳: قوانین و اعمال بین ...	۷۹۰
۳۹	فصل ۲: احتمال	۸۰۰
۴۰	درس ۱: مبانی احتمال	۸۰۰
۴۸	درس ۲: احتمال غیرهم‌شانس	۸۰۴
۵۲	درس ۳: احتمال شرطی	۸۰۷
۶۷	درس ۴: پیشامدهای مستقل و ...	۸۱۷
۷۳	فصل ۳: آمار توصیفی	۸۲۳
۷۴	درس ۱: توصیف و نمایش داده‌ها	۸۲۳
۸۴	درس ۲: معیارهای گرایش به مرکز	۸۳۳
۹۳	درس ۳: معیارهای پراکندگی	۸۳۹
۱۰۳	فصل ۴: آمار استنباطی	۸۴۹
۱۰۴	درس ۱: گردآوری داده‌ها	۸۴۹
۱۱۸	درس ۲: برآورد	۸۵۸
	آزمون‌ها	۸۶۷

حسابان ۱

شمارهٔ صفحهٔ کتاب درسی		شمارهٔ صفحهٔ درس‌یار
۱	فصل ۱: جبر و معادله	۸۷۳
۲	درس ۱: مجموع جملات دنباله‌های ...	۸۷۳
۷	درس ۲: معادلات درجه‌دوم	۸۷۷
۱۷	درس ۳: معادلات گویا و گنگ	۸۸۷
۲۳	درس ۴: قدرمطلق و ویژگی‌های آن	۸۹۲
۲۹	درس ۵: آشنایی با هندسهٔ تحلیلی	۹۰۱
۳۷	فصل ۲: تابع	۹۱۱
۳۸	درس ۱: آشنایی بیشتر با تابع	۹۱۱
۴۴	درس ۲: انواع تابع	۹۱۷
۵۴	درس ۳: وارون تابع	۹۲۶
۶۳	درس ۴: اعمال روی توابع	۹۳۴
۷۱	فصل ۳: توابع نمایی و لگاریتمی	۹۴۳
۷۲	درس ۱: تابع نمایی	۹۴۳
۸۰	درس ۲: تابع لگاریتمی و لگاریتم	۹۴۸
۸۶	درس ۳: ویژگی‌های لگاریتم و حل ...	۹۵۳
۹۱	فصل ۴: مثلثات	۹۵۹
۹۲	درس ۱: رادیان	۹۵۹
۹۸	درس ۲: نسبت‌های مثلثاتی برخی ...	۹۶۳
۱۰۵	درس ۳: توابع مثلثاتی	۹۶۹
۱۱۰	درس ۴: روابط مثلثاتی مجموع و ...	۹۷۴
۱۱۳	فصل ۵: حد و پیوستگی	۹۷۸
۱۱۴	درس ۱: مفهوم حد و فرایندهای حدی	۹۷۸
۱۲۳	درس ۲: حدهای یک‌طرفه ...	۹۸۴
۱۳۰	درس ۳: قضایای حد	۹۸۹
۱۴۱	درس ۴: محاسبهٔ حد توابع کسری ...	۹۹۶
۱۴۵	درس ۵: پیوستگی	۱۰۰۰
	آزمون‌ها	۱۰۰۸

آن‌چه در این درس می‌خوانیم

- دیباچه‌ای برای هر فصل
- واژه‌نامهٔ هر درس
- شرح تمامی ابیات و عبارات
- توضیح کامل نکات زبانی، ادبی و فکری
- پاسخ به کارگاه‌های متن‌پژوهی و درک و دریافت
- نمونه سؤالات امتحانی جهت ارزیابی درس‌به‌درس
- آموزش جامع مطالب جدید آرایه و دستور در قالب «بهتر بیاموزیم»
- جدول تاریخ ادبیات کامل کتاب به تفکیک هر درس و نوع آثار
- بودجه‌بندی سؤالات پایانی به همراه نمونهٔ آزمون نوبت اول و دوم

تاریخ ادبیات فارسی ۲ در یک نگاه

ردیف	درس	اثر	پدیدآورنده	نوع	توضیحات
۱	ستایش	فرهاد و شیرین	وحشی بافقی	نظم	در قالب مثنوی
۲	۱	بوستان	سعدی	نظم	در قالب مثنوی
۳	۱	بهارستان	جامی	نثر	–
۴	۲	تاریخ بیهقی	ابوالفضل بیهقی	نثر	–
۵	۲	تحفة‌الأحرار	جامی	نظم	در قالب مثنوی
۶	۳	در امواج سند	مهدی حمیدی شیرازی	نظم	در قالب چهارپاره
۷	۵	عباس‌میرزا، آغازگری تنها	مجید واعظی	نثر	–
۸	۵	زندان موصل	جواد کامور بخشایش	نثر	خاطرات اسیر آزادشده، اصغر رباط‌جزی
۹	۶	لیلی و مجنون	نظامی	نظم	در قالب مثنوی
۱۰	۶	تذکرة‌الاولیا	عطار	نثر	–
۱۱	۷	مرصادالعباد من المبدأ الی المعاد	نجم‌الدین رازی (معروف به دایه)	نثر آمیخته به نظم	–
۱۲	۷	غزلیات شمس	مولوی	نظم	–
۱۳	۸	زندگی جلال‌الدین محمد، مشهور به مولوی	بدیع‌الزمان فروزانفر	نثر	
۱۴	۸	اسرارنامه	عطار	نظم	عطار نسخه‌ای از اسرارنامهٔ خود را به جلال‌الدین خردسال (مولانا) هدیه کرد.
۱۵	۸	اسرارالتوحید	محمد بن منور	نثر	دربارهٔ جدّش ابوسعید ابوالخیر
۱۶	۹	روزها	محمد اسلامی ندوشن	نثر	–
۱۷	۹	نوشتهٔ «میثاق دوستی»	لطفعلی صورتگر	نثر	–
۱۸	۱۰	شعر «بانگ جرس»	حمید سبزواری	نظم	در قالب مثنوی
۱۹	۱۰	نوشتهٔ «به یاد ۲۲ بهمن»	ضیاءالدین شفیعی	نثر	–
۲۰	۱۱	هم‌صدا با حلق اسماعیل	سیّد حسن حسینی	نظم	–

ردیف	درس	اثر	پدیدآورنده	نوع	توضیحات
۲۱	۱۱	شعر «صبح بی‌تو»	قیصر امین‌پور	نظم	دربارهٔ امام زمان (عج) و در قالب غزل
۲۲	۱۲	شاهنامه	فردوسی	نظم	–
۲۳	۱۲	چشمهٔ روشن	غلامحسین یوسفی	نثر	–
۲۴	۱۲	روضهٔ خلد	مجد خوافی	نثر آمیخته به نظم	–
۲۵	۱۴	حملهٔ حیدری	باذل مشهدی	نظم	در قالب مثنوی
۲۶	۱۴	شعر «وطن»	نظام‌وفا	نظم	در قالب مثنوی
۲۷	۱۵	کلیله و دمنه	ترجمهٔ ابوالمعالی نصرالله منشی	نثر آمیخته به نظم	نصرالله منشی این اثر را از عربی به فارسی ترجمه کرده است.
۲۸	۱۵	جوامع الحکایات و لوامع الروایات	محمد عوفی	نثر آمیخته به نظم	–
۲۹	۱۶	شلوارهای وصله‌دار	رسول پرویزی	نثر	–
۳۰	۱۶	سه دیدار	نادر ابراهیمی	نثر	–
۳۱	۱۷	ماه نو و مرغان آواره	رابیندرانات تاگور	نظم	–
۳۲	۱۷	پیامبر و دیوانه	جبران خلیل جبران	نثر	–
۳۳	۱۸	دیوان غربی ـ شرقی	یوهان ولفگانگ گوته	نظم	–
۳۴	۱۸	پرنده‌ای به نام آذرباد	ریچارد باخ	نثر	ترجمهٔ سودابه پرتوی

ستایش لطف خدا

تاریخ ادبیات این شعر از منظومهٔ «فرهاد و شیرین» سرودهٔ «وحشی بافقی» و در قالب «مثنوی» است.

واژه‌نامه

چاشنی‌بخش: آن‌چه برای اثربخشی بیشتر کلام به آن اضافه می‌شود

حَلاوت: شیرینی

حلاوت‌سنج: آنچه میزانِ شیرینی و دلپذیری هر چیز را نشان می‌دهد.

نَژند: خوار و زبون، اندوهگین

احسان: نیکی‌کردن، بخشش

می‌بایست: ضرورت دارد، احتیاج دارد

لطف: مهربانی، نیکویی

قرین: همدم، یار، همراه

اِدبار: بدبختی، سیه‌روزی؛ متضادّ اقبال

اِقبال: خوشبختی، سعادت

توفیق: آن است که خداوند، اسباب را موافق خواهش بنده، مهیّا کند تا او به نتیجه برسد؛ سازگارگردانیدن

تدبیر: چاره‌جویی، اندیشیدن

رای: عقیده، اندیشه

تیره‌رایی: بداندیشی، گمراهی

کمال: نهایت، بالاترین مرتبهٔ چیزی

معنی، مفهوم، آرایه‌ها و نکته‌ها

صفحهٔ ۱۰ کتاب درسی

به نام چاشنی‌بخش زبان‌ها حَلاوت‌سنج معنی در بیان‌ها

معنی: به نام خداوندی که به سخنان، طعم بخشیده و معیارِ دلپذیریِ معنی، در بیان و گفتار، خودِ اوست.

مفهوم: نام خداوند، بیان را زیبا می‌کند.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «چاشنی‌بخش»: کنایه از زیباکننده، شیرین‌کننده / «زبان»: مجاز از سخن / «چاشنی‌بخش زبان» و «حلاوت‌سنج معنی»: کنایه از خداوند است؛ هم‌چنین هر دو عبارت «حس‌آمیزی» دارند. / «چاشنی و حلاوت» و «زبان، معنی و بیان»: مراعات‌نظیر / نهاد در این بیت «من» و فعل آن «شروع می‌کنم» است که هر دو حذف شده‌اند.

بلند آن سر که او خواهد بلندش نَژند آن دل، که او خواهد نَژندش

معنی: کسی برتر از دیگران خواهد شد که خداوند او را سربلند کند و شخصی اندوهگین می‌شود که خداوند او را اندوهگین بخواهد.

مفهوم: عزّت و ذلّت به ارادهٔ خداست.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «سر» و «دل»: مجاز از شخص / «سربلندبودن»: کنایه از برتری‌یافتن بر دیگران / «بلند» و «نَژند»: تکرار / ضمیر «ـَ ش» در «بلندش» و «نژندش» در نقش «مفعول» است. شکل مرتب‌شدهٔ بیت به این صورت است: «آن سر که او آن را بلند خواهد، بلند [می‌شود] و آن دل که او آن را نژند خواهد، نژند [می‌شود]»

درِ نابستهٔ احسان گشاده‌ست به هر کس آنچه می‌بایست داده‌ست

معنی: درِ نیکی و بخشش خداوند هرگز بر روی کسی بسته نخواهد شد؛ خداوند به هر کسی آنچه را که آن شخص احتیاج دارد، بخشیده است.

مفهوم: خداوند بخشنده است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «درِ احسان»: استعاره (احسان مانند ساختمانی است که درِ آن باز است.) / واج‌آرایی: تکرار صامت «س» / «می‌بایست» از مصدر «بایستن» به معنی «ضروری‌بودن و احتیاج‌داشتن» است. «باید» نیز از همین مصدر ساخته شده است.

به ترتیبی نهاده وضع عالم که نی یک موی باشد بیش و نی کم

معنی: وضع جهان را به شکلی ترتیب داده که نه ذرّه‌ای کم است و نه ذرّه‌ای زیاد است.

مفهوم: هیچ نقصی در جهان خلقت نیست.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «مو»: مجاز از هر چیز بسیار کوچک/ «یک مو بیش و کم نبودن»: کنایه از کامل‌بودن/ «بیش» و «کم»: تضاد

اگر لطفش قرین حال گردد همه اِدبارها اِقبال گردد

معنی: اگر مهربانی خداوند با حال کسی همراه شود، همهٔ بدبختی‌ها به خوشبختی تبدیل می‌شود.

مفهوم: لطف خداوند مایهٔ نجات است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: منظور از «ـَ ش»، خداوند است./ «ادبار» و «اقبال»: تضاد/ بیت یک جملهٔ مرکّب است./ در مصراع دوم «ادبارها» نهاد، «اقبال» مسند و «گردد» فعل اسنادی است.

و گر توفیق او یک سو نهد پای نه از تدبیر، کار آید نه از رای

معنی: و اگر توفیق و یاری خداوند در کاری با ما همراه نباشد، چاره‌جویی و اندیشه هیچ کمکی نخواهد کرد.

مفهوم: اگر خواست خداوند نباشد، تلاش‌کردن بی‌فایده است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «پای یک سو نهادن»: کنایه از کناره‌گیری کردن از انجام کاری/ «پای» و «رای»: جناس ناهمسان (ناقص)

خرد را گر نبخشد روشنایی بماند تا ابد در تیره‌رایی

معنی: اگر خداوند به عقل، قدرتِ درک و فهم ندهد، همیشه در گمراهی خواهد ماند.

مفهوم: عقل، قدرت خود را از خداوند می‌گیرد.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «روشنایی»: استعاره از قدرت درک/ «تیره‌رایی»: کنایه از نادرستی/ واج‌آرایی: تکرار صامت‌های «ر» و «د»

کمالِ عقل، آن باشد در این راه که گوید نیستم از هیچ آگاه

معنی: بالاترین مرتبهٔ عقل در راه شناخت خداوند، این است که عقل اعتراف کند که از هیچ چیز آگاه نیست.

مفهوم: کمال عقل، اعتراف به درک‌نکردن خداوند است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «عقل گوید»: تشخیص/ «آگاه» مسند است. ([من] آگاه نیستم.)

فصل یکم: ادبیات تعلیمی

دیباچه‌ای بر ادبیات تعلیمی

«بوستان» اثر پرآوازهٔ سعدی شیرازی و «تاریخ بیهقی» نوشتهٔ ابوالفضل بیهقی از جمله آثار بی‌نظیر ادب فارسی محسوب می‌شوند. در «بوستان» هر پندی دیده می‌شود، ارزش دوستی، رازداری، رفتارهای اجتماعی و بسیاری موارد دیگر. بیهقی نیز در کتاب خود، فقط به بیان تاریخ نپرداخته، بلکه در هر جا که توانسته از روزگار و مردمانِ آن روزگار، درس‌های بسیار برای ما اندوخته و مکتوب کرده است. در این فصل با چند نمونه از این نوع ادبی آشنا می‌شویم.

درس ۱ نیکی

تاریخ ادبیات: این شعر از کتاب «بوستان» سرودهٔ «سعدی» و در قالب «مثنوی» است.

واژه‌نامه

فرواماندن: متحیّر شدن
صُنع: آفرینش
درویش: فقیر، تهی‌دست
شوریده‌رنگ: آشفته‌حال
شغال: جانورِ پستانداری است از تیرهٔ سگان که جزو رستهٔ گوشتخواران است.
نگون‌بخت: بیچاره
قوت: رزق روزانه، خوراک، غذا
زَنَخدان: چانه
جیب: گریبان، یقه
غیب: پنهان، نهان از چشم؛ عالمی که خداوند، فرشتگان و ... در آن قرار دارند.
تیمارخوردن: غمخواری، دلسوزی
چنگ: نوعی ساز که سر آن خمیده است و تارها دارد.
محراب: قبله‌گاه
دَغَل: ناراست، حیله‌گر
شَل: دست و پای از کار افتاده
وامانده: پس‌مانده
کَرَم: بخشش
دون‌همّت: کوتاه‌همّت، دارای طبع پست و کوتاه اندیشه

معنی، مفهوم، آرایه‌ها و نکته‌ها

صفحهٔ ۱۲ کتاب درسی

یکی روبهی دید بی دست و پای فرومانده در لطف و صُنع خدای

معنی: شخصی روباهِ بی دست و پایی را دید و از لطف و آفرینش خداوند به فکر فرورفت.

مفهوم: تعجّب از آفرینش و لطف خداوند

آرایه‌ها و نکته‌ها: «بی دست و پا»: کنایه از ناتوان (در این بیت «بی دست و پا» می‌تواند معنای واقعی خود را هم داشته باشد.)/ شکل مرتب‌شدهٔ مصراع اوّل این‌گونه است: «یکی روباه بی دست و پایی [را] دید» ← «یکی»: نهاد؛ «روباه»: مفعول؛ «بی دست و پا»: صفت؛ «دید»: فعل/ «روباه» در این شعر، نماد انسان‌های ضعیفی است که از تلاش دیگران روزی می‌خورند.

که چون زندگانی به سر می‌برد؟ بدین دست و پای از کجا می‌خورد؟

معنی: که چگونه به زندگی ادامه می‌دهد و با این دست و پای ناتوان چگونه خوراک خود را فراهم می‌کند؟

مفهوم: تعجّب از روزی‌رسانی خداوند

آرایه‌ها و نکته‌ها: «به سر بردن»: کنایه از گذراندن/ «سر، دست و پای»: مراعات‌نظیر

در این بود درویش شوریده‌رنگ که شیری برآمد، شغالی به چنگ

معنی: فقیرِ رنگ‌پریده و متعجّب در این فکر بود که شیری در حالی که شغالی را شکار کرده بود، آمد.

مفهوم: پی‌بردن به نحوهٔ روزی‌رسانی خدا

آرایه‌ها و نکته‌ها: «شوریده‌رنگ»: کنایه از پریشان/ واج‌آرایی: تکرار صامت‌های «ر» و «د»/ «چنگ و «رنگ»: جناس ناهمسان (ناقص)

شغالِ نگون‌بخت را شیر خورد بماند آنچه، روباه از آن سیر خورد

معنی: شیر، شغال بیچاره را خورد و از باقی‌ماندهٔ آن، روباه سیر خورد.

مفهوم: پی‌بردن به نحوهٔ روزی‌رسانی خدا

آرایه‌ها و نکته‌ها: در مصراع اوّل «شیر» نهاد است. (شیر، شغال را خورد.)/ «سیر» و «شیر»: جناس ناهمسان (ناقص)/ در این بیت «شیر» و «سیر» قافیه و «خورد» ردیف است./ «شیر» در این شعر نماد انسان‌های تلاشگر و بخشنده است.

دگر روز باز اتّفاق اوفتاد که روزی‌رسان، قوتِ روزش بداد

معنی: روز بعد باز هم اتّفاقی افتاد و خداوندِ روزی‌رسان خوراک او را رساند.

مفهوم: روزی‌رسانی خداوند

آرایه‌ها و نکته‌ها: «دگر» یا «دیگر»، «صفت مبهم» و از وابسته‌های اسم است که گاه پیش از اسم و گاه پس از اسم به کار می‌رود. «دگر روز» ← «دگر»: صفت مبهم وابستهٔ پیشین؛ «روز»: هسته/ «روزی‌رسان»: کنایه از خداوند

یقین، مرد را دیده، بیننده کرد شد و تکیه بر آفریننده کرد

معنی: ایمان قلبی [به قدرت خداوند] چشمِ مرد را باز کرد و او را آگاه کرد. آن شخص رفت و تکیه بر خداوند کرد.

مفهوم: تکیهٔ درویش به روزی‌رسانی خداوند

آرایه‌ها و نکته‌ها: «را» در مصراع اوّل بین مضاف (دیده) و مضافٌ‌الیه (مرد) آمده است. شکل مرتب‌شدهٔ مصراع اوّل این‌گونه است: «یقین، دیدهٔ مرد را بیننده کرد»/ «آفریننده»: کنایه از خداوند/ «تکیه بر کسی یا چیزی کردن»: کنایه از اعتمادکردن بر آن

کزین پس به کُنجی نشینم چو مور که روزی نخوردند پیلان به زور

معنی: [با خود گفت] که از این پس مانند مور در گوشه‌ای می‌نشینم، زیرا حیوانات، از جمله فیل‌ها با زور و قدرت، روزی به دست نمی‌آورند.

مفهوم: بدون تلاش، منتظر روزی‌رسانی خداوند بودن

آرایه‌ها و نکته‌ها: «به کنجی نشینم چو مور»: تشبیه («م» در «نشینم»: مشبّه؛ «به کنجی نشستن»: وجه‌شبه؛ «چو»: ادات تشبیه؛ «مور»: مشبّه‌به)/ «مور» و «زور»: جناس ناهمسان (ناقص)

زَنَخدان فروبُرد چندی به جیب که بخشنده، روزی فرستد ز غیب

معنی: مدّتی سر در گریبان کرد و گوشه‌گیر شد و دست از تلاش برداشت، به این امید که خداوندِ بخشنده، روزی را از غیب می‌رساند.

مفهوم: بدون تلاش منتظر روزی‌رسانی خداوند بودن

آرایه‌ها و نکته‌ها: «زنخدان به جیب فروبردن»: کنایه از گوشه‌نشینی/ «چندی» در معنای «مدّتی» آمده و قید است./ واج‌آرایی: تکرار صامت «ب»

نه بیگانه تیمار خوردش نه دوست چو چنگش، رگ و استخوان ماند و پوست

معنی: نه غریبه‌ای دلش به حال او سوخت و نه آشنایی و او چون سازِ چنگ لاغر شد و تنها رگ و استخوان و پوستش باقی ماند.

مفهوم: ضعیف‌شدن از شدّت گرسنگی

آرایه‌ها و نکته‌ها: «تیمارخوردن»: کنایه از غمگین‌شدن و دلسوزی‌کردن/ ضمیر «ـَش» در هر دو مصراع مضافٌ‌الیه است ← «نه بیگانه تیمارش خورد نه دوست؛ چو چنگ رگ و استخوان و پوستش ماند»/ مصراع دوم تشبیه دارد («چو»: ادات تشبیه؛ «چنگ»: مشبّه‌به؛ «رگ و استخوان و پوست ماندن»: وجه‌شبه؛ [او]: مشبّه)

چو صبرش نماند از ضعیفی و هوش ز دیوار محرابش آمد به گوش:

معنی: وقتی از ضعیفی، صبر و هوشی برایش نماند، از دیوار محراب این صدا به گوشش رسید:

مفهوم: تمام‌شدن توان درویش و آگاه‌شدن او

آرایه‌ها و نکته‌ها: «هوش» معطوف به «صبر» است. (چو صبر و هوشش نماند)/ ضمیر «ـَش» در مصراع دوم مضافٌ‌الیه است ← «ز دیوار محراب به گوشش آمد»/ «هوش» و «گوش»: جناس ناهمسان (ناقص)

بـرو شـیـرِ درّنـــده بـــاش، ای دَغَـــل مَـیَـنـداز خـود را چـو روبـــاهِ شَل

معنی: ای حیله‌گر، برو مانند شیرِ درّنده باش و شکار کن و خود را مانند روباهِ بی دست و پا به زمین نینداز.

مفهوم: برای روزی خود، تلاش کردن

آرایه‌ها و نکته‌ها: «شیر درّنده باش»: تشبیه ([تو]: مشبّه؛ شیر درّنده: مشبّه‌به) دقّت کنید که در این بیت «درّنده» صفتِ شیر است و «وجه‌شبه»، نیست؛ زیرا وجه‌شبه بین شیر و آن شخص «تلاش و کوشش» است و نه «درّندگی». / مصراع دوم تشبیه دارد. ([تو]: مشبّه؛ «خود را انداختن»: وجه‌شبه؛ «چو»: ادات تشبیه؛ «روباهِ شل»: مشبّه‌به)

چـنـان سـعـی کـن کـز تـو مـانـد چـو شـیـر چـه بـاشـی چـو روبَـه بـه وامـانـده، سـیـر؟

معنی: آن‌چنان تلاش کن که مانند شیر از آنچه به دست آورده‌ای چیزی باقی بماند. چرا مانند روباه از پس‌ماندهٔ دیگران سیر باشی؟

مفهوم: به توانایی‌های خودت تکیه کن و منتظر بهره‌بردن از تلاش دیگران نباش.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «کز تو ماند چو شیر»: تشبیه ([تو]: مشبّه؛ «از تو ماندن»: وجه‌شبه؛ «چو: ادات تشبیه؛ «شیر»: مشبّه‌به) / مصراع دوم تشبیه دارد ([تو]: مشبّه؛ «چو»: ادات تشبیه؛ «روبه»: مشبّه‌به؛ «به وامانده سیر بودن»: وجه‌شبه / «سیر» و «شیر»: جناس ناهمسان (ناقص)

بـخـور تـا تـوانـی بـه بـــازوی خـویـش کـه سَعیَت بُـوَد در تـــرازوی خویش

معنی: تا وقتی که توانایی داری از قدرت خودت استفاده کن و روزی به دست آور؛ زیرا نتیجهٔ کوشش تو به خودت خواهد رسید.

مفهوم: تلاش در وقت توانایی به سود خود انسان است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «بازو»: مجاز از توانایی / مصراعِ دوم اشاره به آیهٔ شریفهٔ ﴿وَ أَن لَیسَ لِلإنسانِ إلّا ما سَعیٰ﴾ «و اینکه برای انسان چیزی جز آنچه تلاش کرده وجود ندارد.» (سورهٔ نجم، آیهٔ ۳۹)

بگیر ای جـــوان، دســتِ درویـــشِ پیر نـه خـــود را بیفکن کـه دستم بگیر

معنی: ای جوان، به فقیرِ پیر کمک کن؛ خود را به زمین نینداز و منتظر کمک دیگران نباش.

مفهوم: وقت توانایی باید به دیگران کمک کرد و زمین‌گیر نبود.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «دست کسی را گرفتن»: کنایه از کمک‌کردن / تکرار: «دست» / واج‌آرایی: تکرار صامت «ر»

خـدا را بـر آن بنـده بخشـایش اسـت که خلق از وجـــودش در آسایش است

معنی: بخشش خداوند شامل بنده‌ای می‌شود که مردم از وجود او به آسایش و راحتی می‌رسند.

مفهوم: کمک به دیگران، مایهٔ رحمت حق است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «را» در مصراع اوّل بین مضاف (بخشایش) و مضافٌ‌الیه (خدا) آمده است (بخشایش خدا بر آن بنده است.) / «خلق» در معنای «مخلوق» است.

کَـرَم وَرزد آن سر، که مغزی در اوست که دون‌هـمّـتـــان‌انـد بی مغز و پوست

معنی: هر انسانِ دانایی بخشش می‌کند در حالی که افراد پَست و خسیس، نادان هستند.

مفهوم: بخشش، نشانهٔ دانایی و کوتاه‌همّتی، نشانهٔ نادانی است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «سر»: مجاز از انسان / «مغز در سر داشتن»: کنایه از دانا بودن / «بی‌مغز»: کنایه از نادان / «دون‌همّت»: کنایه از خسیس / «اوست» و «پوست»: جناس ناهمسان (ناقص)

کسی نیک بیند بـه هـر دو سـرای کـه نیکی رسـانـد بـه خلق خـدای

معنی: کسی در هر دو جهان نیکی خواهد دید که به خلق خدا خوبی کند.

مفهوم: کمک به دیگران موجب سعادتمندی است.

آرایه‌ها و نکته‌ها: «دو سرای»: استعاره از دنیا و آخرت

کارگاه متن پژوهی

قلمرو زبانی

صفحهٔ ۱۴ کتاب درسی

۱- معنای واژه‌های مشخّص‌شده را بنویسید.

- **معیار دوستانِ دغل روزِ حاجت است قرضی به رسم تجربه از دوستان طلب** *صائب*

معنی: معیار دوستانِ حیله‌گر، روز نیاز است؛ برای شناختن دوستان، برای آزمودنشان از آنها چیزی قرض کن.

دغل: حیله‌گر، مکّار

- **صـــورتِ بـی صـــورتِ بـی‌حـدِّ غیب ز آینهٔ دل تافت بـر موسی ز جیب** *مولوی*

معنی: صورت بی‌ظاهر و بی‌حدّ غیب از آینهٔ دل موسی علیه‌السلام و از گریبان او می‌درخشید. (اشاره به معجزهٔ حضرت موسی علیه‌السلام که دست در گریبان می‌کرد و آن را نورانی بیرون می‌آورد.)

جیب: گریبان، یقه

فخری که از وسیلت دون‌همّتی رسد　　گر نام و ننگ داری، از آن فخر، عار دار　　اوحدی

معنی: افتخاری که با پست‌فطرتی و خوارشدن به دست آید، اگر آبرو و بدنامی برایت مهم است، آن افتخار را ننگ بدان.

دون‌همّتی: پست‌فطرتی، خوارکردن خود

۲- برای کاربرد هر یک از موارد زیر، نمونه‌ای در متن درس بیابید.

پیوند هم‌پایه‌ساز: یقین مرد را دیده، بیننده کرد　　شد و تکیه بر، آفریننده کرد

پیوند وابسته‌ساز: در این بود درویش شوریده‌رنگ　　که شیری برآمد، شغالی به چنگ

۳- معانی فعل «شد» را در سرودهٔ زیر بررسی کنید.

گریهٔ شام و سَحَر، شُکر که ضایع نگشت　　قطرهٔ بارانِ ما، گوهرِ یکدانه شد

منزلِ حافظ کنون، بارگه پادشاست　　دل برِ دلدار رفت، جان برِ جانانه شد　　حافظ

معنی: خداوند را شکر می‌کنم که گریه‌هایی که برای پذیرش دعاهایم ریختم هدر نرفت و اشک‌هایم مانند قطرهٔ باران درون صدف قرار گرفت و به مروارید تبدیل شد. اکنون که دعاهایم مستجاب شده، منزلم مانند قصر پادشاه است؛ زیرا دلم را به معشوق داده‌ام و جانم به سوی معشوق رفت.

«شد» در بیت اوّل در معنی «تبدیل شد» و فعل اسنادی است./ «شد» در بیت دوم در معنی «رفت» و فعل غیراسنادی است.

۴- معنای برخی واژه‌ها تنها در جمله یا زنجیرهٔ سخن قابل درک است.

با استفاده از شیوه‌های زیر، به معنای هر یک از واژه‌های مشخّص‌شده، دقیق‌تر می‌توان پی برد:

الف) قراردادن واژه در جمله:

- **ماه**، طولانی بود.
- **ماه**، تابناک بود.

ب) توجّه به رابطه‌های معنایی (ترادُف، تضاد، تضمّن و تناسب)

- سیر و بیزار ← ترادُف
- سیر و گرسنه ← تضاد
- سیر و پیاز ← تناسب
- سیر و گیاه ← تضمّن

اکنون برای دریافت معانی واژه‌های «دست» و «تند» با استفاده از دو روش بالا، نمونه‌های مناسب بنویسید.

- **«دست»**
  - دست یکی از دانش‌آموزان شکست.
  - یک دست لباس مناسب برای مهمانی خریدم.
  - از دست او کاری برنمی‌آید.
- **«تند»**
  - دوستم خیلی تند راه می‌رود.
  - امروز آفتاب تند است.
  - فلفل، غذا را تند کرده است.
  - اخلاق او کمی تند است.

قلمرو ادبی

صفحهٔ ۱۵ کتاب درسی

۱- از متن درس، دو کنایه بیابید و مفهوم آنها را بنویسید.

«بی دست و پای»: کنایه از ناتوان/ «تکیه بر چیزی کردن»: کنایه از اعتمادکردن/ «زنخدان به جیب فروبردن»: کنایه از گوشه‌نشینی

۲- در بیت زیر، شاعر، چگونه آرایهٔ جناس همسان (تام) را پدید آورده است؟

با زمانی دیگر انداز، ای که پندم می‌دهی　　کاین‌زمانم‌گوش‌برچنگ‌است‌ودل‌درچنگ‌نیست　　سعدی

معنی: «ای کسی که مرا نصیحت می‌کنی، پنددادن را به وقت دیگری بینداز؛ زیرا اکنون به صدای سازِ چنگ گوش می‌کنم و بی‌اختیار شده‌ام.»

«چنگ» در دو معنای «نوعی ساز» و «پنجهٔ دست» به کار رفته است.

۳- ارکان تشبیه را در مصراع دومِ بیت دوازدهم مشخّص کنید.

چنان سعی کن کز تو ماند چو شیر　　«چه باشی چو روبه به وامانده سیر؟»

در مصراع دوم، این تشبیه دیده می‌شود: [تو]: مشبّه؛ «به وامانده سیربودن»: وجه‌شبه؛ «چو»: ادات تشبیه؛ «روبه»: مشبّه‌به

۴- در این سروده، «شیر» و «روباه» نماد چه کسانی هستند؟

«شیر» نماد انسان‌های تلاشگر که بخشنده‌اند. «روباه» نماد انسان‌های ضعیف که از تلاش دیگران روزی می‌خورند.

قلمرو فکری

صفحهٔ ۱۵ کتاب درسی

۱- معنی و مفهوم بیت شانزدهم را به نثر روان بنویسید.

کَرَم ورزد آن سر که مغزی در اوست　　که دون‌همّتان‌اند بی مغز و پوست

معنی: هر انسان دانایی بخشش می‌کند، در حالی که افراد پست و خسیس، نادان هستند.

۲- درک و دریافت خود را از بیت زیر بنویسید.

یقین، مرد را دیده، بیننده کرد　　شد و تکیه بر آفریننده کرد

معنی: ایمان قلبی [به قدرت خداوند] چشم مرد را باز کرد و او را آگاه کرد. آن شخص رفت و تکیه بر خداوند کرد.

درک و دریافت: اینکه خداوند به آن روباهِ ناتوان روزی رساند، مرد را مطمئن کرد که خداوند روزی او را در هر شرایطی خواهد رساند.

۳- برای مفهوم هر یک از سروده‌های زیر، بیتی مناسب از متن درس بیابید.

رزق هر چند بی‌گمان برسد　　شرط عقل است جُستن از درها　　سعدی

معنی: اگرچه مطمئناً روزی به آدمی خواهد رسید امّا شرط عقل این است که برای یافتن آن تلاش انجام شود.

«برو شیر درّنده باش ای دَغَل　　مینداز خود را چو روباه شَل»

سحر دیدم درخت ارغوانی کشیده سر به بام خسته‌جانی
به گوش ارغوان آهسته گفتم: بهارت خوش که فکر دیگرانی *فریدون مشیری*

معنی: صبحگاه دیدم که درخت ارغوانی خود را به بام خانهٔ ناتوانی رسانده است؛ آهسته به او گفتم آفرین بر تو که به فکر دیگران هستی.

«خدا را بر آن بنده بخشایش است که خلق از وجودش در آسایش است»

چه در کار و چه در کارآزمودن نباید جز به خود، محتاج‌بودن *پروین اعتصامی*

معنی: چه در انجام کار و چه در آموختن کار تنها باید محتاج و متّکی به خود بود.

«بخور تا توانی به بازوی خویش که سَعیَت بُوَد در ترازوی خویش»

۴- دربارهٔ ارتباط معنایی متن درس و مَثَل «از تو حرکت، از خدا برکت» توضیح دهید.

پیام داستان این است که روزی، با توجّه به شرایط هر آفریده به او می‌رسد و نباید به امید روزی‌رسانی خداوند تلاش را رها کرد و منتظر ماند. در مَثَل «از تو حرکت، از خدا برکت» هم به همین موضوع اشاره شده است.

گنج حکمت: همّت

تاریخ ادبیات این حکایت از کتاب «بهارستان» اثر «جامی» است.

واژه‌نامه

زورمندی: قدرت، توانایی **گرانی:** سنگینی **همّت:** اراده **حمیّت:** غیرت، جوانمردی، مردانگی

معنی، مفهوم، آرایه‌ها و نکته‌ها

صفحهٔ ۱۶ کتاب درسی

موری را دیدند که به زورمندی کمر بسته و ملخی را ده‌برابر خود برداشته.

معنی: مورچه‌ای را دیدند که با قدرت، کمر بسته و ملخی را که ده‌برابر خود وزن داشت، برداشته بود.

به تعجّب گفتند: «این مور را ببینید که [بار] به این گرانی چون می‌کشد؟»

معنی: از روی تعجّب گفتند: «این مورچه را ببینید که چگونه باری به این سنگینی را می‌کشد؟»

مور چون این بشنید، بخندید و گفت: «مردان، بار را به نیروی همّت و بازوی حمیّت کشند، نه به قوّت تن.»

معنی: زمانی که مورچه این سخن را شنید، خندید و گفت: «مردان، بار را با قدرتِ اراده و همّت و نیروی جوانمردی می‌کشند، نه با قدرت جسم.»

آرایه‌ها و نکته‌ها: «بازوی حمیّت»: تشخیص

سؤالات امتحانی

۱ عبارات و اشعار زیر را به نثر روان معنی کنید.

الف) به ترتیبی نهاده وضع عالم که نی یک موی باشد بیش و نی کم

ب) یقین، مرد را دیده بیننده کرد شد و تکیه بر آفریننده کرد

پ) مردان، بار را به نیروی همّت و بازوی حمیّت کشند، نه به قوّت تن.

۲ معنای واژگان مشخّص‌شده را بنویسید.

الف) بلند آن سر که او خواهد بلندش نَژَند آن دل که او خواهد نَژَندش

ب) زَنَخدان فروبُرد چندی به جیب که بخشنده روزی فرستد ز غیب

۳ در میان گروه کلمات زیر، نادرستی‌های املایی را بیابید و تصحیح کنید.

«شیر و شغال ـ قوت و خوراک ـ زَنَخدان و جیب ـ مهراب مسجد ـ فریبکار و دَغَل ـ دون‌همّت»

۴ در بیت «دگر روز باز اتّفاق اوفتاد/ که روزی‌رسان قوتِ روزش بداد»، «صفتِ مبهم» را مشخّص کنید.

۵ در بیت «یقین، مرد را دیده بیننده کرد/ شد و تکیه بر آفریننده کرد»، فعل «شد» در چه معنایی است؟

۶ با توجّه به بیت «شغالِ نگون‌بخت را شیر خورد/ بماند آنچه، روباه از آن سیر خورد»، «شیر» و «روباه» نماد چه کسانی هستند؟

۷ با توجّه به بیت زیر، چه چیزی شرط کارآمدیِ تدبیر و اندیشه است؟

«و گر توفیق او یک سو نهد پای نه از تدبیر کار آید نه از رای»

پاسخ سؤالات امتحانی

۱ **الف)** وضع جهان را به شکلی ترتیب داده که نه ذرّه‌ای کم است و نه ذرّه‌ای زیاد است. **ب)** ایمان قلبی [به قدرت خداوند] چشمِ مرد را باز کرد و او را آگاه کرد. آن شخص رفت و تکیه بر خداوند کرد. **پ)** مردان، بار را با قدرتِ اراده و همّت و نیروی جوانمردی می‌کشند، نه با قدرت جسم.
۲ **الف)** نَژَند: خوار و زبون، اندوهگین **ب)** زَنَخدان: چانه ۳ «مهراب» نادرست و «محراب» صحیح است. ۴ «دگر» صفت مبهم (وابستهٔ پیشین) است. ۵ در این بیت، فعل «شد» در معنای «رفت» است. (رفت و بر آفریننده تکیه کرد) ۶ «شیر» نماد انسان‌های تلاشگر که بخشنده‌اند و «روباه» نماد انسان‌های ضعیف که از تلاش دیگران روزی می‌خورند. ۷ موافق‌بودن با ارادهٔ خداوند

فرمول‌های مهم

فصل اول: الکتریستهٔ ساکن

۱- اصل پایستگی بار الکتریکی: $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$

۲- اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی: $q = \pm ne, n = 0,1,2,\dots$

۳- قانون کولن: $F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$

۴- میدان الکتریکی: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$

۵- میدان الکتریکی یک ذرهٔ باردار: $E = k\frac{|q|}{r^2}$

۶- تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی: $\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed\cos\theta$

۷- اختلاف پتانسیل الکتریکی: $\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q}$

۸- کار انجام‌شده توسط نیروی خارجی: $\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E = W_{\text{خارجی}} - \Delta U_E = W_{\text{خارجی}} - q\Delta V$

۹- چگالی سطحی بار: $\sigma = \frac{Q}{A}$

۱۰- بار ذخیره‌شده در خازن: $Q = CV$

۱۱- ظرفیت خازن تخت: $C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d}$

۱۲- انرژی الکتریکی ذخیره‌شده در خازن: $U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

فصل دوم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

۱- جریان الکتریکی متوسط: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

۲- قانون اهم: $R = \frac{V}{I}$

۳- مقاومت الکتریکی: $R = \rho\frac{L}{A}$

۴- اثر دما بر مقاومت ویژهٔ الکتریکی: $\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$

۵- مقاومت‌های ترکیبی: $R = \overline{ab} \times 10^{n \rightarrow \text{رقم سوم}}$ (رقم اول: a، رقم دوم: b)

۶- نیروی محرکهٔ الکتریکی: $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q}$

۷- توان الکتریکی: $P = I \times \Delta V$

۸- توان مصرفی در مقاومت: $P = RI^2 = \frac{\Delta V^2}{R}$

۹- مقاومت معادل مقاومت‌های متوالی: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$

۱۰- مقاومت معادل مقاومت‌های موازی: $\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots$

۱۱- توان مصرفی کل در یک مدار: $P_T = P_۱ + P_۲ + P_۳ + \cdots$

فصل سوم: مغناطیس

۱- نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی: $F = |q| vB\sin\theta$

۲- نیروی مغناطیسی وارد بر سیم بلند حامل جریان: $F = I\ell B\sin\theta$

۳- میدان مغناطیسی ناشی از پیچهٔ دایره‌ای حامل جریان: $B = \frac{\mu_۰ NI}{۲R}$

۴- میدان مغناطیسی سیم‌لولهٔ حامل جریان: $B = \frac{\mu_۰ NI}{\ell}$

فصل چهارم: القای الکترومغناطیس و جریان متناوب

۱- شار مغناطیسی: $\Phi = BA\cos\theta$

۲- قانون القای فاراده: $\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = -\frac{N}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$: جریان القایی و $\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$: نیروی محرکهٔ القایی

۳- ضریب القاوری: $L = \mu_۰ \frac{N^۲ A}{\ell}$

۴- انرژی ذخیره‌شده در القاگر: $U = \frac{۱}{۲}LI^۲$

۵- جریان متناوب: $I = I_m \sin(\frac{۲\pi}{T}t), I_m = \frac{\varepsilon_m}{R}$

۶- نیروی محرکهٔ القایی متناوب: $\varepsilon = \varepsilon_m \sin(\frac{۲\pi}{T}t)$

۷- شار مغناطیسی متناوب: $\Phi = BA\cos(\frac{۲\pi}{T}t)$

۸- رابطهٔ بین ولتاژ ورودی و خروجی در مبدل‌ها: $\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{N_۲}{N_۱}$

درس‌نامه

بارالکتریکی

بار الکتریکی را با نماد q نشان می‌دهیم و یکای آن در SI کولن (C) است. دو نوع بار الکتریکی وجود دارد: ۱ مثبت ۲ منفی. بارهای همنام یکدیگر را جذب و بارهای ناهمنام یکدیگر را دفع می‌کنند.

اصل پایستگی بار الکتریکی: مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است؛ یعنی بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود، بلکه از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود: $q_۱ + q_۲ = q'_۱ + q'_۲$

اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی: بار الکتریکی موجود در یک جسم همواره مضرب درستی از بار بنیادی $e = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ است: $q = \pm ne \quad , \quad n = ۰, \pm۱, \pm۲, \ldots$

مثال چند الکترون باید از یک جسم خنثی خارج شود، تا بار الکتریکی آن $+۲\ \mu C$ شود؟ $(e = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C)$

پاسخ

$q = +۲\ \mu C = ۲\times۱۰^{-۶}\ C$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توان تعداد الکترون‌هایی که لازم است از جسم خارج شود را محاسبه کرد:

$q = +ne \Rightarrow ۲\times۱۰^{-۶}\ C = +n\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C \quad , \quad n = \frac{۲\times۱۰^{-۶}\ C}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C} = ۱/۲۵\times۱۰^{۱۳}$

سری الکتریسیتهٔ مالشی: به کمک سری الکتریسیتهٔ مالشی می‌توان تعیین کرد که در اثر مالش دو جسم به هم، کدام جسم دارای بار مثبت و کدام جسم دارای بار منفی می‌شود. در این سری هر چه ماده به انتهای منفی نزدیک‌تر باشد، خاصیت الکترون‌خواهی بیشتری دارد و در اثر مالش، الکترون جذب می‌کند.

الکتروسکوپ (برق‌نما): وسیله‌ای است که با آن می‌توانیم ۱ **رسانا یا نارسانای الکتریکی بودن یک جسم**، ۲ **باردار بودن یا باردارنبودن آن** و هم‌چنین ۳ **نوع بار آن** را تعیین کنیم.

مولد واندوگراف: وسیله‌ای است که با استفاده از تسمه‌ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می‌کند.

قانون کولن و برهم نهی نیروهای الکتروستاتیکی

قانون کولن: اندازهٔ نیروی الکتریکی (F) بین دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل‌ضرب بزرگی آن‌ها متناسب است و با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها (r^2) نسبت وارون دارد:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

در این رابطه اگر F برحسب نیوتون، q_1 و q_2 برحسب کولن و r برحسب متر باشد، ثابت کولن $k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ است.

مثال **دو بار الکتریکی ۵ و ۴ میکروکولنی در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری نسبت به هم قرار دارند. این دو بار الکتریکی چه نیرویی به یکدیگر وارد می‌کنند؟**

پاسخ $q_1 = 5\,\mu C = 5\times10^{-6}\ C\ ,\ q_2 = 4\,\mu C = 4\times10^{-6}\ C\ ,\ r = 10\ cm = 0/1\ m$

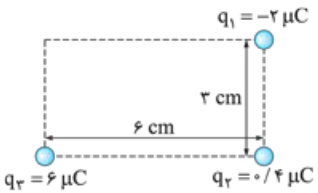
از آن‌جایی که بارها همنام هستند، بنابراین دو بار یکدیگر را دفع می‌کنند. با استفاده از قانون کولن، می‌توان اندازهٔ نیرویی که این دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند را محاسبه کرد:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9\times10^9\left(\frac{N.m^2}{C^2}\right)\times\frac{(5\times10^{-6}\ C)\times(4\times10^{-6}\ C)}{(0/1\ m)^2} = 18\ N$$

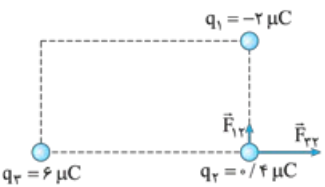
پس این دو بار یکدیگر را با نیروی ۱۸ نیوتونی دفع می‌کنند.

اصل برهم‌نهی نیروهای کولنی: اگر تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر ذرهٔ باردار، برایند (جمع برداری) نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند.

مثال **سه ذرهٔ باردار مطابق شکل مقابل، در سه گوشهٔ یک مستطیل قرار دارند. نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست آورید.**



پاسخ نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 برایند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_3 به آن وارد می‌شود. بنابراین ابتدا این دو نیرو را به دست می‌آوریم:



بارهای q_1 و q_2 ناهمنام هستند، پس این دو بار به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند. از طرفی بارهای q_2 و q_3 همنام هستند، پس این دو بار به یکدیگر نیروی دافعه وارد می‌کنند. بنابراین با توجه به شکل مقابل و قانون کولن داریم:

$$r_{12} = 3\ cm = 3\times10^{-2} m\ ,\ r_{23} = 6\ cm = 6\times10^{-2} m$$

$$q_1 = -2\,\mu C = -2\times10^{-6}\ C\ ,\ q_2 = 0/4\,\mu C = 0/4\times10^{-6}\ C\ ,\ q_3 = 6\,\mu C = 6\times10^{-6}\ C$$

$$F_{12} = k\frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\frac{(2\times10^{-6}\ C)(0/4\times10^{-6}\ C)}{(3\times10^{-2}\ m)^2} = 8\ N$$

با توجه به شکل بالا می‌توان نوشت: $\vec{F}_{12} = (8\ N)\vec{j}$

$$F_{32} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\frac{(0/4\times10^{-6}\ C)(6\times10^{-6}\ C)}{(6\times10^{-2}\ m)^2} = 6\ N$$

با توجه به شکل بالا می‌توان نوشت: $\vec{F}_{32} = (6\ N)\vec{i}$

بنابراین نیروی برایند وارد بر بار q_2 برابر است با: $\vec{F}_{T2} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = (8\ N)\vec{j} + (6\ N)\vec{i}$

به کمک قضیهٔ فیثاغورس می‌توانیم بزرگی نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست آوریم:

$$F_{T2} = \sqrt{(F_{T2})_x^2 + (F_{T2})_y^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\ N$$

پرسش ۱–۱ صفحهٔ ۳ کتاب درسی

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟

هنگامی که روکش پلاستیکی را به بدنهٔ ظرف مالش می‌دهیم، الکترون‌ها از بدنهٔ ظرف به روکش پلاستیکی منتقل می‌شوند. در این صورت روکش پلاستیکی دارای بار منفی و بدنهٔ ظرف دارای بار مثبت می‌شود و جاذبهٔ بین بارهای ناهمنام، باعث چسبیدن روکش پلاستیکی به لبه‌های ظرف می‌شود.

تمرین ۱–۱ صفحهٔ ۵ کتاب درسی

عدد اتمی اورانیوم $Z = ۹۲$ است. بار الکتریکی هستهٔ اتم اورانیم چه‌قدر است؟ عدد اتمی برابر با تعداد پروتون‌های درون هسته است و بار الکتریکی هر پروتون تقریباً معادل $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ است؛ از آن‌جایی که عدد اتمی اورانیم $Z = ۹۲$ است، بار الکتریکی هستهٔ اتم اورانیم برابر است با:

$$Z = ۹۲ \Rightarrow q_{\text{هستهٔ اورانیم}} = +ne = +(۹۲)(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C) = +۱/۴۷\times۱۰^{-۱۷}\ C$$

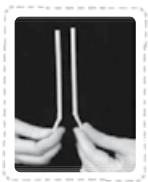
مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم اورانیم (خنثی) چه مقدار است؟ در اتم اورانیم (خنثی) ۹۲ عدد الکترون (به تعداد پروتون‌های درون هستهٔ اورانیم) در اطراف هسته در حرکت هستند؛ بنابراین مجموع بار الکتریکی الکترون‌های یک اتم اورانیم برابر است با:

$$q_{\text{الکترون‌های اورانیم}} = -ne = -(۹۲)(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C) = -۱/۴۷\times۱۰^{-۱۷}\ C$$

بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) چه‌قدر است؟ بار الکتریکی اتم اورانیم، حاصل‌جمع بارهای الکتریکی هستهٔ اورانیم و بارهای الکتریکی الکترون‌های آن است:

$$q_{\text{اتم اورانیم}} = q_{\text{هستهٔ اورانیم}} + q_{\text{الکترون‌های اورانیم}} = (+۱/۴۷\times۱۰^{-۱۷}\ C) + (-۱/۴۷\times۱۰^{-۱۷}\ C) = ۰$$

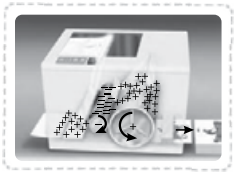
فعالیت ۱–۱ (کار در کلاس) صفحهٔ ۵ کتاب درسی



مطابق شکل، دو نیِ پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آن‌ها خم کنید و پس از مالش‌دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعهٔ آن‌ها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

نی‌های پلاستیکی در اثر مالش با پارچهٔ پشمی دارای بارهای همنام (منفی) می‌شوند؛ به همین دلیل به یکدیگر نیروی الکتریکی رانشی (دافعه) وارد می‌کنند.

فعالیت ۱–۲ صفحهٔ ۷ کتاب درسی



شکل روبه‌رو تصویری از مرحله‌های ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را نشان می‌دهد. در مورد چگونگی کار دستگاه‌های فتوکپی تحقیق کنید.

مراحل کار دستگاه کپی:

۱- در ابتدا یک استوانهٔ آلومینیمی که با سلنیم پوشانده شده است و به آن درام می‌گوییم، تحت ولتاژی در حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ ولت، دارای بار الکتریکی مثبت می‌شود (شکل الف).

۲- کاغذی را که می‌خواهیم از آن رونوشت تهیه کنیم روی صفحهٔ شیشه‌ای دستگاه فتوکپی قرار می‌دهیم. در این حالت باریکهٔ نور شدیدی به کاغذ می‌تابد و نوشته‌های تیرهٔ روی کاغذ، نور را جذب می‌کنند و قسمت‌های سفید کاغذ نور را به سطح درام منعکس می‌کنند. نور با برخورد به سطح باردار درام، آن نقاط از سطح درام را از لحاظ بار خنثی می‌کنند و نواحی با بار مثبت که نمایانگر نوشته‌های روی کاغذ هستند روی درام باقی می‌ماند (شکل ب).

۳- سپس درام در تماس با پودر سیاه رنگی به نام تونر که با بار منفی شارژ شده است قرار می‌گیرد. نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین پودر تونر و نواحی دارای بار مثبت درام سبب می‌شود که پودر تونر روی سطح درام بنشیند و تصویر سیاه رنگی به مانند نوشته‌های روی کاغذ روی سطح درام ایجاد شود (شکل پ).

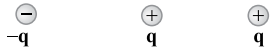
۴- در مرحلهٔ بعد سطح کاغذهای سفید ورودی به دستگاه فتوکپی نیز دارای بار مثبت می‌شوند؛ به طوری که مقدار بار مثبت آن‌ها بیشتر از بار مثبت سطح درام باشد. کاغذها هنگامی که در تماس با درام قرار می‌گیرند، ذرات سیاه رنگ تونر را جذب می‌کنند (شکل ت).

۵- در انتها ذرات سیاه رنگ تونر با استفاده از حرارت به کاغذ می‌چسبند. به این صورت فرایند رونوشت به پایان می‌رسد (شکل ث).

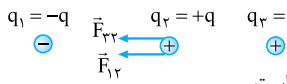
الف) باردارکردن استوانه — ب) افتادن تصویر برگه روی استوانه — پ) تماس استوانه با تونر — ت) انتقال تصویر از تونر به کاغذ — ث) استوانهٔ چاپگر لیزری

پرسش ۱–۲ صفحهٔ ۸ کتاب درسی

سه ذرهٔ باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصلهٔ بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است.



الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید. اگر دو بار الکتریکی همنام باشند، نیروی دافعه و اگر دو بار الکتریکی ناهمنام باشند، نیروی جاذبه به هم وارد می‌کنند.

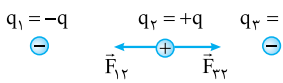


ابتدا نیروهای وارد بر بار میانی را رسم می‌کنیم:

با توجه به هم‌جهت بودن نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$، نیروی برایند وارد بر بار میانی به سمت چپ است.

ب) اگر ذرهٔ سمت راست به جای q، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟

ابتدا نیروی وارد بر بار میانی را در حالت جدید رسم می‌کنیم:



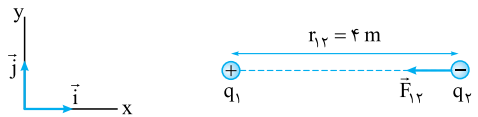
از آن‌جایی که فاصلهٔ ذرهٔ میانی از ذره‌های کناری برابر و بزرگی تمامی بارها نیز یکسان است، نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ هم‌اندازه هستند. از طرفی دو نیروی $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ در خلاف جهت هم هستند و یکدیگر را خنثی می‌کنند؛ بنابراین نیروی خالصی به ذرهٔ میانی وارد نمی‌شود.

تمرین ۱–۲ صفحهٔ ۹ کتاب درسی

در مثال ۱–۳، نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست آورید.

نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 برایند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_3 به آن وارد می‌شود. بنابراین ابتدا این دو نیرو را محاسبه می‌کنیم.

نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ q_2 از طرف q_1 به صورت جاذبه است؛ پس، با توجه به شکل مقابل و قانون کولن داریم:

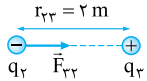


$$q_1=+2/5\,\mu C=2/5\times10^{-6}\,C\ ,\ q_2=-1\,\mu C=-10^{-6}\,C$$

$$F_{12}=k\frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}=(9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\frac{(2/5\times10^{-6}\ C)(10^{-6}\ C)}{(4\ m)^2}=1/4\times10^{-3}\ N$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{12}=(1/4\times10^{-3}\ N)(-\vec{i})=(-1/4\times10^{-3}\ N)\vec{i}$$

نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ q_2 از طرف ذرهٔ q_3 به صورت جاذبه است؛ پس، با توجه به شکل زیر و قانون کولن داریم:



$$q_2=-1\,\mu C=-10^{-6}\,\mu C\ ,\ q_3=+4\,\mu C=4\times10^{-6}\,C$$

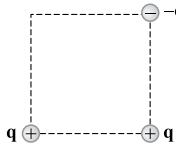
$$F_{32}=k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}=(9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\frac{(10^{-6}\ C)(4\times10^{-6}\ C)}{(2\ m)^2}=9\times10^{-3}\ N\Rightarrow \vec{F}_{32}=(9\times10^{-3}\ N)\vec{i}$$

در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست می‌آوریم:

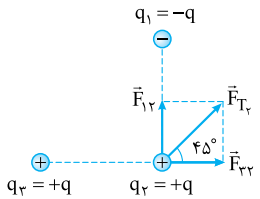
$$\vec{F}_{T_2}=\vec{F}_{12}+\vec{F}_{32}=(-1/4\times10^{-3}\ N)\vec{i}+(9\times10^{-3}\ N)\vec{i}=(7/6\times10^{-3}\ N)\vec{i}$$

پرسش ۱–۳ صفحهٔ ۹ کتاب درسی

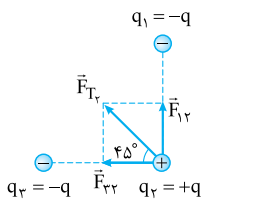
سه ذرهٔ باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشهٔ یک مربع قرار دارند.



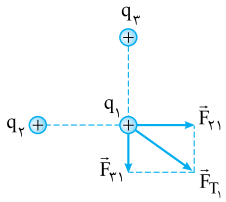
الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی را تعیین کنید. مطابق شکل روبه‌رو، نیروی وارد بر ذرهٔ q_2 از طرف ذرهٔ q_1 به صورت جاذبه و به سمت بالا و نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ q_2 از طرف ذرهٔ q_3 به صورت دافعه و به سمت راست است. از آن‌جایی که اندازهٔ تمامی بارها یکسان و فاصلهٔ بار q_2 از بارهای q_1 و q_3 برابر است، بنابراین نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ هم‌اندازه هستند؛ در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_2 با جهت مثبت محور x زاویهٔ 45° می‌سازد:



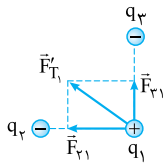
ب) اگر ذرهٔ سمت چپ پایینی به جای q، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی چگونه خواهد بود؟ مطابق شکل روبه‌رو، اگر ذرهٔ سمت چپ پایینی به جای q، بار $-q$ داشته باشد، هر دو بار q_1 و q_3 بار q_2 را به سمت خود جذب می‌کنند. از آن‌جایی که اندازهٔ تمامی بارها یکسان و فاصلهٔ بار q_2 از بارهای q_1 و q_3 برابر است، بنابراین نیروهای $\vec{F}_{32}$ و $\vec{F}_{12}$ هم‌اندازه هستند؛ در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_2 با جهت منفی محور x زاویهٔ 45° می‌سازد:



در مثال ۱-۴ الف) اگر علامت بار q_3 تغییر کند، جهت نیروی برایند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟ اگر علامت بار q_3 مثبت شود، بارهای q_2 و q_3 بار q_1 را دفع می‌کنند و مطابق شکل مقابل نیروی خالص $\vec{F}_{T_1}$ بر بار q_1 وارد می‌شود:



ب) اگر علامت بار q_2 تغییر کند، جهت نیروی برایند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟ اگر علامت بار q_2 منفی شود، هر دو بار q_2 و q_3 بار q_1 را به سمت خود جذب می‌کند و نیروی خالص $\vec{F}'_{T_1}$ به صورت مقابل بر بار q_1 وارد می‌شود:



پ) آیا اندازهٔ نیروی برایند وارد بر بار q_1 در قسمت‌های (الف) و (ب) با مقدار به دست آمده در مثال ۱-۴ متفاوت است؟

خیر ـ اندازهٔ نیروی برایند وارد بر بار q_1 از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید: $F_{T_1} = \sqrt{F_{21}^2 + F_{31}^2}$

با توجه به ثابت‌ماندن اندازهٔ بارها و فاصلهٔ بارها از یکدیگر، اندازهٔ نیروهای $\vec{F}_{21}$ و $\vec{F}_{31}$ ثابت می‌ماند؛ در نتیجه اندازهٔ نیروی برایند وارد بر بار q_1 در هر دو حالت برابر با مقدار نیروی برایند وارد بر بار q_1 در مثال ۱ـ ۴ یعنی 10^{-2} N است.

درس‌نامه

میدان الکتریکی و اصل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی

میدان الکتریکی ($\vec{E}$): میدان الکتریکی بار q به خاصیتی گفته می‌شود که این بار در فضای اطراف خود ایجاد می‌کند و از طریق آن به بارهای اطراف خود نیروی الکتریکی وارد می‌کند. فرض کنید بار q به بار کوچک و مثبت q_0 موسوم به بار آزمون که در اطراف بار q قرار گرفته است، نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد می‌کند. میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از بار q در محل قرارگیری بار q_0 برابر است با:

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

واحد میدان الکتریکی در SI نیوتون بر کولن (N/C) است و جهت آن همان جهت نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت آزمون است.

مثال **اگر در نقطه‌ای از فضا به بار الکتریکی ۲۰ μC از طرف میدان الکتریکی نیروی ۰/۰۲ نیوتون وارد شود، بزرگی میدان الکتریکی در آن نقطه چند نیوتون بر کولن است؟**

پاسخ

$q = ۲۰\,\mu C = ۲۰\times۱۰^{-۶}\,C$

$F = ۰/۰۲\,N$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توان بزرگی میدان الکتریکی را در نقطهٔ مورد نظر به دست آورد:

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{۲\times۱۰^{-۲}\,N}{۲۰\times۱۰^{-۶}\,C} = ۱۰^{۳}\,N/C$$

میدان الکتریکی یک ذرهٔ باردار: بزرگی میدان الکتریکی یک ذرهٔ باردار (بار نقطه‌ای) با بار q در فاصلهٔ r از آن با رابطهٔ روبه‌رو به دست می‌آید:

$$E = k\frac{|q|}{r^2}$$

مثال **میدان الکتریکی حاصل از یک بار الکتریکی ۶ nC در فاصلهٔ ۳ متری از آن را محاسبه کنید.**

پاسخ

$r = ۳\,m$

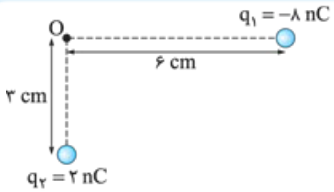
$q = ۶\,nC = ۶\times۱۰^{-۹}\,C$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توانیم بزرگی میدان الکتریکی را به دست آوریم:

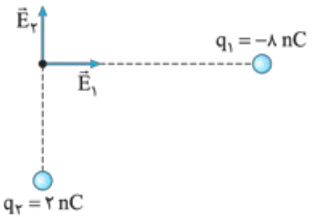
$$E = k\frac{|q|}{r^2} = ۹\times۱۰^{۹}\,\frac{N.m^2}{C^2}\times\frac{۶\times۱۰^{-۹}\,C}{(۳\,m)^2} = ۹\times۱۰^{۹}\,\frac{N.m^2}{C^2}\times\frac{۶\times۱۰^{-۹}\,C}{۹\,m^2} = ۶\,N/C$$

اصل برهم‌نهی میدان الکتریکی: اصل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی نشان می‌دهد که میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، برابر با برایند (جمع برداری) میدان‌هایی است که هر بار الکتریکی در نبود سایر بارها در آن نقطه ایجاد می‌کند.

مثال شکل مقابل، آرایشی از دو بار الکتریکی را نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص این دو بار را در نقطهٔ O به دست آورید.



پاسخ میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای مثبت، در فضای اطرافش در راستای شعاعی به سمت خارج بار و در اطراف بار نقطه‌ای منفی، در راستای شعاعی به سمت بار است؛ بنابراین میدان حاصل از بار q_1 در نقطهٔ O در جهت مثبت محور x و میدان حاصل از بار q_2 در نقطهٔ O در جهت مثبت محور y است و داریم:



$$q_1 = -8\ nC = -8\times10^{-9} C \ , \ q_2 = 2\ nC = 2\times10^{-9} C$$

$$r_1 = 6\ cm = 6\times10^{-2}\ m \ , \ r_2 = 3\ cm = 3\times10^{-2}\ m$$

$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = (9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\frac{8\times10^{-9}\ C}{(6\times10^{-2}\ m)^2} = 2\times10^4\ N/C$$

با توجه به شکل بالا می‌توان نوشت: $\vec{E}_1 = (2\times10^4\ \frac{N}{C})\vec{i}$

$$\vec{E}_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = (9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\frac{2\times10^{-9}\ C}{(3\times10^{-2}\ m)^2} = 2\times10^4\ N/C$$

با توجه به شکل بالا می‌توان نوشت: $\vec{E}_2 = (2\times10^4\ \frac{N}{C})\vec{j}$

بنابراین میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ O برابر است با: $\vec{E}_O = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (2\times10^4\ \frac{N}{C})\vec{i} + (2\times10^4\ \frac{N}{C})\vec{j}$

به کمک رابطهٔ فیثاغورس می‌توانیم بزرگی میدان الکتریکی را در نقطهٔ O به دست آوریم:

$$E_o = \sqrt{(E_o)_x^2 + (E_o)_y^2} = \sqrt{(2\times10^4)^2 + (2\times10^4)^2} = 2\sqrt{2}\times10^4\ N/C$$

خطوط میدان الکتریکی: برای مجسم‌کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خط‌های جهت‌داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می‌کنیم. خط‌های میدان در هر نقطه، هم‌جهت با بردار میدان الکتریکی در آن نقطه است.

قواعد رسم خطوط میدان عبارت‌اند از:

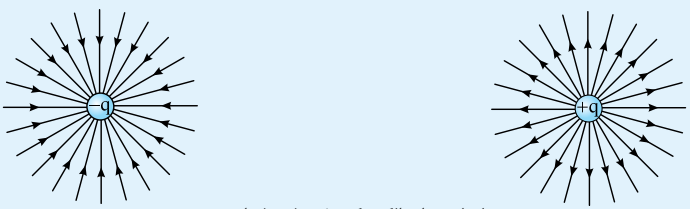
۱) در هر نقطه بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد.

۲) میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان‌دهندهٔ اندازهٔ میدان در آن ناحیه است. هر جا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، اندازهٔ میدان بیشتر است.

۳) در آرایشی از بارهای الکتریکی خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شود.

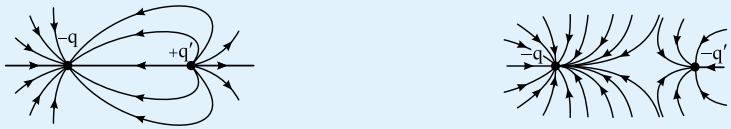
۴) خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؛ یعنی از هر نقطهٔ فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.

نمونه‌هایی از خطوط میدان اطراف بارهای الکتریکی:



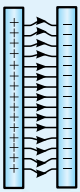
خطوط میدان الکتریکی ذره‌های باردار منزوی

خطوط میدان الکتریکی دو بار هم‌اندازهٔ همنام (راست) و ناهمنام (چپ)



$|q|>|q'|$ $|q|>|q'|$

خطوط میدان الکتریکی دو بار غیرهم‌اندازهٔ همنام (راست) و ناهمنام (چپ)



میدان الکتریکی یکنواخت: به میدانی گفته می‌شود که در آن بردار میدان در تمام نقاط هم‌اندازه و هم‌جهت باشد. در این حالت خطوط میدان، **مستقیم**، **موازی** و **هم‌فاصله** هستند. در شکل روبه‌رو میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه و دور از لبه‌ها یکنواخت است.

نکته نیروی وارد بر بار الکتریکی q که در میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از بارهای دیگر قرار گرفته است، با استفاده از رابطهٔ $\vec{F}=q\vec{E}$ به دست می‌آید.

تمرین ۱ـ۴ صفحهٔ ۱۴ کتاب درسی

طبق مدل بور برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصلهٔ الکترون از پروتون هسته برابر با $۵/۳\times۱۰^{-۱۱}\ m$ است.

الف) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید.

اندازهٔ میدان الکتریکی در فاصلهٔ $۵/۳\times۱۰^{-۱۱}\ m$ از پروتون (درون هسته) برابر است با:

$$E=k\frac{|q_{\text{پروتون}}|}{r^۲}=(۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C)}{(۵/۳\times۱۰^{-۱۱}\ m)^۲}\simeq ۵/۱\times۱۰^{۱۱}\ N/C$$

ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان‌دوگراف مثال پیش در فاصلهٔ $۱\ m$ از مرکز کلاهک آن است؟

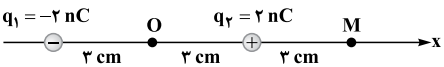
بزرگی میدان الکتریکی در فاصلهٔ یک متری از مولد وان‌دوگراف در مثال ۱ـ ۶ برابر با $۹\times۱۰^۳\ N/C$ است. این مقدار را مساوی میدان ناشی از پروتون در فاصلهٔ r قرار می‌دهیم. بنابراین داریم:

$$E_{\text{پروتون}}=E_{\text{وان‌دوگراف}}\ \Rightarrow\ k\frac{|q_{\text{پروتون}}|}{r^۲}=۹\times۱۰^۳\ N/C$$

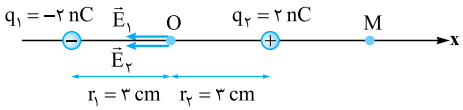
$$\Rightarrow (۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})\times(\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C}{r^۲})=۹\times۱۰^۳\ N/C\Rightarrow r=۴\times۱۰^{-۷}\ m$$

تمرین ۱ـ۵ صفحهٔ ۱۶ کتاب درسی

شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که در آن، فاصلهٔ دو بار از هم $۶\ cm$ است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به دست آورید.



می‌دانیم که میدان الکتریکی بار نقطه‌ای مثبت در فضای اطرافش در راستای شعاعی به سمت خارج بار و در اطراف بار نقطه‌ای منفی، در راستای شعاعی به سمت بار است؛ بنابراین میدان الکتریکی حاصل از هر دو بار $q_۱$ و $q_۲$ در نقطهٔ O به سمت چپ (در جهت $-\vec{i}$) است. از این‌رو اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از هر دو بار با هم جمع می‌شود.



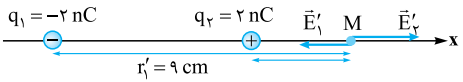
$$q_۱=-۲\ nC=-۲\times۱۰^{-۹}\ C\ ,\ q_۲=۲\ nC=۲\times۱۰^{-۹}\ C\ ,\ r_۱=۳\ cm=۳\times۱۰^{-۲}\ m\ ,\ r_۲=۳\ cm=۳\times۱۰^{-۲}\ m$$

$$\vec{E}_O=(-E_۱)\vec{i}+(-E_۲)\vec{i}=(-k\frac{|q_۱|}{r_۱^۲})\vec{i}+(-k\frac{|q_۲|}{r_۲^۲})\vec{i}=-k(\frac{|q_۱|}{r_۱^۲}+\frac{|q_۲|}{r_۲^۲})\vec{i}$$

$$=-(۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})(\frac{۲\times۱۰^{-۹}\ C}{(۳\times۱۰^{-۲}\ m)^۲}+\frac{۲\times۱۰^{-۹}\ C}{(۳\times۱۰^{-۲}\ m)^۲})\vec{i}=(-۴\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i}$$

بنابراین میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ O برابر است با: $\vec{E}_O = (-۴\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i}$

برای به دست آوردن میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ M، ابتدا میدان الکتریکی حاصل از بارهای $q_۱$ و $q_۲$ را در نقطهٔ M به صورت جداگانه به دست می‌آوریم:



$$q_۱ = -۲\ nC = -۲\times۱۰^{-۹}\ C\ ,\ q_۲ = ۲\ nC = ۲\times۱۰^{-۹}\ C\ ,\ r'_۱ = ۹\ cm = ۹\times۱۰^{-۲}\ m\ ,\ r'_۲ = ۳\ cm = ۳\times۱۰^{-۲} m$$

$$E'_۱ = k\frac{|q_۱|}{r'^{۲}_۱} = (۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۲\times۱۰^{-۹}\ C)}{(۹\times۱۰^{-۲}\ m)^۲} = \frac{۲}{۹}\times۱۰^۴\ N/C \Rightarrow \vec{E}'_۱ = (-\frac{۲}{۹}\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i}$$

$$E'_۲ = k\frac{|q_۲|}{r'^{۲}_۲} = (۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۲\times۱۰^{-۹}\ C)}{(۳\times۱۰^{-۲}\ m)^۲} = ۲\times۱۰^۴\ N/C \Rightarrow \vec{E}'_۲ = (۲\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i}$$

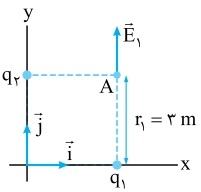
بنابراین میدان برایند در نقطهٔ M برابر است با:

$$\vec{E}_M = \vec{E}'_۱ + \vec{E}'_۲ = (-\frac{۲}{۹}\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i} + (۲\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i} = (\frac{۱۶}{۹}\times۱۰^۴\ N/C)\vec{i}$$

تمرین ۱–۶

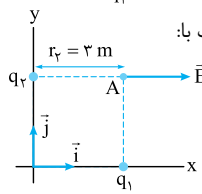
صفحهٔ ۱۷ کتاب درسی

میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش بار مثال ۱–۸ را در نقطهٔ A تعیین کنید.



میدان حاصل از بار $q_۱$ در نقطهٔ A در جهت مثبت محور y $(+\vec{j})$ بوده و بزرگی آن برابر است با:

$$E_۱ = k\frac{|q_۱|}{r_۱^۲} = (۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۵\times۱۰^{-۶}\ C)}{(۳\ m)^۲} = ۵\times۱۰^۳\ N/C \Rightarrow \vec{E}_۱ = (۵\times۱۰^۳\ N/C)\vec{j}$$



هم‌چنین میدان حاصل از بار $q_۲$ در نقطهٔ A در جهت مثبت محور x $(+\vec{i})$ بوده و بزرگی آن برابر است با:

$$E_۲ = k\frac{|q_۲|}{r_۲^۲} = (۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۵\times۱۰^{-۶}\ C)}{(۳\ m)^۲} = ۵\times۱۰^{+۳}\ N/C \Rightarrow \vec{E}_۲ = (۵\times۱۰^۳\ N/C)\vec{i}$$

میدان خالص در نقطهٔ A برابر با جمع برداری میدان‌های الکتریکی $\vec{E}_۱$ و $\vec{E}_۲$ است؛ یعنی:

$$\vec{E}_{T_A} = \vec{E}_۱ + \vec{E}_۲ = (۵\times۱۰^۳\ N/C)\vec{i} + (۵\times۱۰^۳\ N/C)\vec{j}$$

بنابراین بزرگی میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ A برابر است با:

$$E_{T_A} = \sqrt{E_۱^۲ + E_۲^۲} = \sqrt{(۵\times۱۰^۳\ N/C)^۲ + (۵\times۱۰^۳\ N/C)^۲} \simeq ۷/۱\times۱۰^۳\ N/C$$

فعالیت ۱–۳ (کار در کلاس)

صفحهٔ ۱۷ کتاب درسی

درون یک ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی با عمق کم، مقداری پارافین مایع یا روغن کرچک به عمق حدود ۰/۵ cm بریزید و داخل آن دو الکترود نقطه‌ای قرار دهید. الکترودها را با سیم به پایانه‌های مثبت و منفی یک مولد ولتاژ بالا،مانند مولد وان‌دوگراف وصل کنید. روی سطح پارافین مقدار کمی بذر چمن یا خاکشیر بپاشید. مولد را روشن کنید. اکنون به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید. شکل سمت‌گیری دانه‌ها در این فضا را رسم کنید.

دانه‌های بذر تحت تأثیر میدان الکتریکی ایجادشده توسط الکترودها، در کنار هم قرار می‌گیرند و نمایشی از خطوط میدان الکتریکی موجود در ظرف را به نمایش می‌گذارند که به صورت مقابل است.

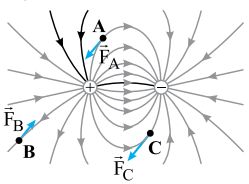
پرسش ۱–۴

صفحهٔ ۱۹ کتاب درسی

به نظر شما چرا خطوط میدان الکتریکی برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؟ از آن‌جایی که به بار الکتریکی در راستای خطوط میدان الکتریکی نیروی الکتریکی وارد می‌شود، اگر خطوط میدان در یک نقطه یکدیگر را قطع کنند، آن‌گاه در این نقطه دو نیروی الکتریکی برایند (در جهت‌های مختلف) به بار وارد می‌شود. این موضوع باعث می‌شود که با قراردادن یک ذرهٔ باردار در این نقطه، ذره به طور هم‌زمان در دو مسیر متفاوت حرکت کند که این مسئله امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین خطوط میدان الکتریکی برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند.

پرسش ۱–۵

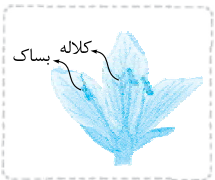
صفحهٔ ۱۹ کتاب درسی



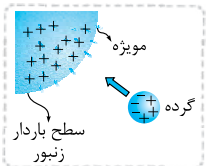
بار q− را در نقطه‌های A، B و C از میدان الکتریکی غیریکنواخت شکل روبه‌رو قرار دهید و جهت نیروی الکتریکی وارد بر این بار منفی را تعیین کنید. جهت نیروی الکتریکی وارد بر یک بار منفی در هر نقطه از میدان الکتریکی در خلاف جهت بردار میدان الکتریکی در آن نقطه است. از طرف دیگر می‌دانیم که در هر نقطه از فضا، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خطوط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد؛ در نتیجه جهت نیروی وارد بر بار q− در نقاط A، B و C به صورت شکل مقابل است.

فعالیت ۱–۴ صفحهٔ ۱۹ کتاب درسی

تولیدمثل برخی از گل‌ها به زنبورهای عسل وابسته است. گرده‌ها به واسطهٔ میدان الکتریکی، از یک گل به زنبور و از زنبور به گل دیگر منتقل می‌شوند. در این باره تحقیق کنید. زنبورها معمولاً در حین پرواز، به واسطهٔ مالش بدن زنبور با هوا، دارای بار مثبت می‌شوند. هنگامی که یک زنبور عسل به گردهٔ بدون باری بر روی یک بساک خنثی نزدیک می‌شود (شکل الف)، میدان الکتریکی حاصل از زنبور عسل بر روی گردهٔ خنثی، منجر به القای بار الکتریکی در گرده می‌شود. با توجه به این موضوع سمت نزدیک‌تر گرده به زنبور عسل دارای بار منفی و سمت دیگر آن دارای بار مثبت خواهد شد. به همین خاطر نیروی جاذبه بین گرده و زنبور از نیروی دافعهٔ بین آن‌ها بیشتر می‌شود و گرده به سمت زنبور عسل کشیده می‌شود (شکل ب). به این ترتیب گرده‌ها بر روی مویژه‌های ریز زنبور قرار می‌گیرند. هنگامی که زنبور عسل در اطراف گل دیگری پرواز می‌کند، بارهای مثبت روی گرده بر روی کلالهٔ آن گل بارهای منفی القا می‌کند. در صورتی که نیروی الکتریکی وارد به گردهٔ متصل به زنبور از طرف کلالهٔ گل بیشتر از نیروی الکتریکی وارد بر گرده از طرف زنبور باشد، گرده به سمت کلاله کشیده می‌شود (شکل پ). در این حالت گرده‌افشانی صورت می‌گیرد.



الف) اجزای بساک و کلالهٔ یک گل

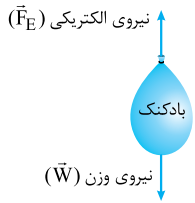


ب) بر اثر حضور زنبور، روی گردهٔ نزدیک بساک، بار القا شده است. (جذب گرده توسط مویژه‌های زنبور)

پ) الکترون‌هایی که در نوک کلاله جمع شده‌اند، گرده را جذب می‌کنند. (مرحلهٔ گرده‌افشانی)

تمرین ۱–۷ صفحهٔ ۲۱ کتاب درسی

روی سطح بادکنکی به جرم ۱۰ g بار الکتریکی ۲۰۰ nC− ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان الکتریکی را در صورتی که بادکنک معلق بماند، تعیین کنید. از نیروی شناوری وارد به بادکنک چشم‌پوشی کنید.



برای آن‌که بادکنک معلق بماند، باید برایند نیروهای وارد بر بادکنک صفر شود. از آن‌جایی که نیروی وزن وارد بر بادکنک $(\vec{W})$ به سمت پایین است، بنابراین نیروی الکتریکی وارد بر بادکنک $(\vec{F}_E)$ باید به سمت بالا و هم‌اندازهٔ با نیروی وزن باشد؛ بنابراین داریم:

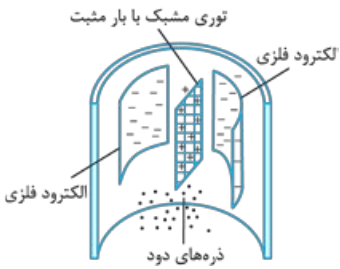
$$m = ۱۰\,g = ۱۰\times۱۰^{-۳}\,kg \;,\; q = -۲۰۰\,nC = -۲۰۰\times۱۰^{-۹}\,C$$

$$(F_E)\text{ نیروی الکتریکی} = (W)\text{ نیروی وزن} \Rightarrow |q|E = mg \Rightarrow E = \frac{mg}{|q|} = \frac{(۱۰\times۱۰^{-۳}\,kg)(۹/۸\,N/kg)}{(۲۰۰\times۱۰^{-۹}\,C)} = ۴/۹\times۱۰^{۵}\,N/C$$

چون جهت نیروی الکتریکی وارد بر بادکنک (که دارای بار منفی است) باید به سمت بالا باشد، بنابراین جهت میدان الکتریکی به سمت پایین است.

فعالیت ۱–۵ صفحهٔ ۲۱ کتاب درسی

رسوب‌دهندهٔ الکتروستاتیکی (ESP) دود و غبار را از گازهای زائدی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌آید جدا می‌سازد. رسوب‌دهنده‌ها انواع مختلفی دارند. در مورد اساس کار این رسوب‌دهنده‌ها تحقیق کنید. شکل‌های روبه‌رو تأثیر رسوب‌دهنده را در کاهش آلودگی هوای ناشی از یک دودکش نشان می‌دهد. رسوب‌دهندهٔ الکتروستاتیکی دستگاهی است که با ایجاد یک میدان الکتریکی، ذرات (دود و غبار) معلق موجود در گازهای زائد خارج‌شده از دودکش کارخانه را جدا می‌سازد. عمل جداسازی توسط رسوب‌دهنده‌ها در دو مرحله انجام می‌شود:



مرحلهٔ اول: در ابتدا ذرات معلق از میان توری مشبکی با بار مشخص (مثبت یا منفی) عبور می‌کنند تا باردار شوند.

مرحلهٔ دوم: این ذرات باردار تحت یک میدان الکتریکی بسیار قوی از جریان هوا جدا شده و به سوی یک الکترود با بار مخالف هدایت می‌شوند تا پس از تماس با آن، بار ذرات خنثی شود. در انتها این ذرات بر روی یک بستر مناسب ته‌نشین می‌شوند. به این ترتیب هوای خارج‌شده از رسوب‌دهنده‌های الکتروستاتیکی تا حد زیادی فاقد ذرات آلاینده است.

انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی

به انرژی‌ای که به نیروی الکتریکی بین بارها وابسته است، انرژی پتانسیل الکتریکی می‌گوییم.

تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی: کار نیروی الکتریکی وارد بر یک ذرهٔ باردار در میدان الکتریکی در یک جابه‌جایی مشخص برابر با منفیِ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن بار الکتریکی در همان جابه‌جایی است: $W_E = -\Delta U_E$

نکته اگر میدان الکتریکی ثابت باشد، تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی یک بار از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q| E d \cos\theta$$

در این رابطه $|q|$ اندازهٔ بار، E اندازهٔ میدان، d اندازهٔ جابه‌جایی و θ زاویهٔ جابه‌جایی با نیروی الکتریکی وارد بر بار است.

نکته انرژی پتانسیل الکتریکی ذره با بار **مثبت** با حرکت در جهت خطوط میدان الکتریکی کاهش و با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان الکتریکی افزایش می‌یابد. (برای بار منفی این موضوع برعکس است.)

مثال **بار الکتریکی $q = +2\ \mu C$ را در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = 5\times10^4\ N/C$ با سرعت ثابت در خلاف جهت میدان الکتریکی به اندازهٔ ۲۰ سانتی‌متر جابه‌جا می‌کنیم. انرژی پتانسیل الکتریکی ذرهٔ باردار چگونه تغییر می‌کند؟**

پاسخ

$$q = 2\ \mu C = 2\times10^{-6}\ C \quad , \quad d = 40\ cm = 0/4\ m \quad , \quad E = 5\times10^4\ N/C$$

با استفاده از رابطهٔ $\Delta U_E = -|q| E d\cos\theta$ می‌توان تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی ذرهٔ باردار را به دست آورد. نیروی الکتریکی وارد بر این بار مثبت هم‌جهت با میدان الکتریکی است، بنابراین جهت نیروی الکتریکی وارد بر ذره در خلاف جهت جابه‌جایی ذره است؛ یعنی $\theta = 180^\circ$. بنابراین داریم: $\Delta U_E = -|q| E d\cos(180^\circ) = -|q| E d(-1) = |q| E d$

$$= (2\times10^{-6}\ \mathcal{C}) \times (5\times10^4\ \frac{N}{\mathcal{C}}) \times (0/4\ m) = 4\times10^{-2}\ N.m = 4\times10^{-2}\ J$$

بنابراین انرژی پتانسیل الکتریکی ذرهٔ باردار به اندازهٔ $4\times10^{-2}\ J$ افزایش می‌یابد.

اختلاف پتانسیل الکتریکی: اگر باری از نقطهٔ ۱ به نقطهٔ ۲ برود، به نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذرهٔ باردار به بار آن، اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌گوییم. اختلاف پتانسیل الکتریکی مستقل از نوع و اندازهٔ بار الکتریکی است:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q}$$

در رابطهٔ بالا V کمیتی نرده‌ای است که به آن پتانسیل الکتریکی می‌گوییم. V_1 و V_2 پتانسیل الکتریکی در نقاط ۱ و ۲ هستند. یکای پتانسیل الکتریکی، ولت (V) و معادل با ژول بر کولن (J/C) است.

مثال **در یک میدان الکتریکی، بار $q = -2\ \mu C$ از نقطهٔ A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی آن در نقطه‌های A و B به ترتیب $0/4\ mJ$ و $0/6\ mJ$ باشد و پتانسیل نقطهٔ A برابر با $20\ V$ باشد، پتانسیل نقطهٔ B چند ولت است؟**

پاسخ

$$q = -2\ \mu C = -2\times10^{-6}\ C \ , \ V_A = 20\ V \ , \ U_A = 0/4\ mJ = 4\times10^{-4}\ J \ , \ U_B = 0/6\ mJ = 6\times10^{-4}\ J$$

ابتدا با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توان پتانسیل الکتریکی نقطهٔ B را به دست آورد:

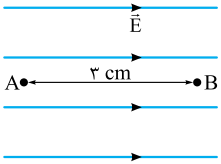
$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q} \Rightarrow V_B - 20\ V = \frac{6\times10^{-4}\ J - 4\times10^{-4}\ J}{-2\times10^{-6}\ C} = -100\ V$$

$$V_B = -80\ V$$

اختلاف پتانسیل دو نقطه در میدان الکتریکی یکنواخت: اختلاف پتانسیل بین دو نقطه، مستقل از نوع و اندازهٔ بار جابه‌جا شده بین آن دو نقطه است. با توجه به آن‌که جابه‌جایی‌های مورد نظر کتاب درسی فقط جابه‌جایی‌های موازی و عمود بر خطوط میدان یکنواخت است، اختلاف پتانسیل میان دو نقطه (ΔV) از جدول زیر قابل محاسبه است:

وضعیت جابه‌جایی در میدان الکتریکی یکنواخت	رابطهٔ ΔV
جابه‌جایی d عمود بر خطوط میدان الکتریکی	۰
جابه‌جایی d هم‌جهت با خطوط میدان الکتریکی	$-Ed$
جابه‌جایی d در خلاف جهت خطوط میدان الکتریکی	$+Ed$

مثال **شکل مقابل یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۲۵۰۰\ V/m$ را نشان می‌دهد. اختلاف پتانسیل الکتریکی نقاط A و B چند ولت است؟**



پاسخ با توجه به جدول قبل، هنگامی که از نقطهٔ A به نقطهٔ B جابه‌جا می‌شویم (جابه‌جایی در جهت میدان) پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ Ed کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نوشت: $E = ۲۵۰۰\ V/m\ ,\ d = ۳\ cm = ۳\times۱۰^{-۲}\ m$

$$\Delta V = V_B - V_A = -Ed = -(۲۵۰۰\ V/m)\times(۳\times۱۰^{-۲} m) = -۷۵\ V$$

بنابراین پتانسیل الکتریکی نقطهٔ B به اندازهٔ ۷۵ ولت از پتانسیل الکتریکی نقطهٔ A کم‌تر است.

کار انجام‌شده توسط نیروی خارجی: اگر به غیر از میدان الکتریکی، نیروی خارجی هم روی بار الکتریکی کار انجام دهد، در این صورت تغییرات انرژی جنبشی برابر است با:

$$\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E = W_{\text{خارجی}} - q\Delta V$$

و اگر در یک جابه‌جایی $\Delta K = ۰$ باشد، داریم:

$$W_{\text{خارجی}} = -W_E = q\Delta V = \Delta U_E$$

مثال **بار الکتریکی $q = +۴\ \mu C$ را در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۴\times۱۰^{۵}\ N/C$ با سرعت ثابت در خلاف جهت میدان الکتریکی به اندازهٔ $۵۰\ cm$ جابه‌جا می‌کنیم. چند ژول کار برای جابه‌جایی این بار الکتریکی انجام داده‌ایم؟**

پاسخ $q = -۴\ \mu C = -۴\times۱۰^{-۶} C\ ,\ E = ۴\times۱۰^{۵}\ N/C\ ,\ d = ۵۰\ cm = ۰/۵\ m$

از آن‌جایی که بار الکتریکی با سرعت ثابت جابه‌جا شده است، با توجه به رابطهٔ بالا، کاری که ما برای جابه‌جایی بار الکتریکی در میدان انجام می‌دهیم برابر با تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی است. از طرفی می‌دانیم که نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت هم‌جهت با میدان الکتریکی است. بنابراین نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ باردار در خلاف جهت با جابه‌جایی آن است $(\theta = ۱۸۰^\circ)$. بنابراین می‌توان نوشت:

$$W_{\text{خارجی}} = \Delta U_E = -|q|Ed\cos\theta = -(۴\times۱۰^{-۶} C)\times(۴\times۱۰^{۵}\frac{N}{C})\times(۰/۵\ m)\times\underbrace{\cos۱۸۰^\circ}_{-۱} = ۰/۸\ J$$

بنابراین ما به اندازهٔ ۰/۸ ژول بر روی بار الکتریکی برای این جابه‌جایی کار انجام داده‌ایم.

میدان الکتریکی در داخل رساناها: بار اضافی یک رسانا، روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود. این توزیع به گونه‌ای است که میدان داخل رسانا صفر شود.

جسم رسانا در میدان الکتریکی: فرض کنید یک جسم رسانای خنثی در یک میدان الکتریکی قرار بگیرد. در این حالت الکترون‌های آزاد رسانا روی سطح خارجی آن به گونه‌ای توزیع می‌شود که اثر میدان خارجی در درون رسانا خنثی شود و میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود.

نکته همهٔ نقاط یک جسم رسانا دارای پتانسیل الکتریکی یکسان هستند.

چگالی سطحی بار الکتریکی: به نسبت بار الکتریکی جسم رسانا به مساحت سطح آن جسم، چگالی سطحی بار الکتریکی گفته می‌شود. چگالی سطحی بار الکتریکی را با نماد σ نشان می‌دهیم و یکای آن کولن بر متر مربع $(C/m^۲)$ است:

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

مثال **به دو کرهٔ فلزی A و B به مقدار مساوی بار الکتریکی داده شده است. اگر شعاع کرهٔ A دو برابر شعاع کره B باشد، چگالی سطحی بار کرهٔ A چند برابر چگالی سطحی بار کرهٔ B است؟**

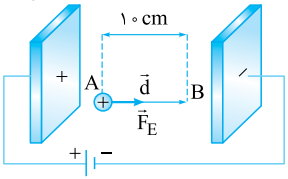
پاسخ $Q_A = Q_B\ ,\ R_A = ۲R_B$ ، مساحت جانبی کره: $A = ۴\pi R^۲$

با توجه به رابطهٔ بالا، می‌توان چگالی دو جسم را به صورت زیر مقایسه کرد.

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{Q_A}{Q_B}\times\frac{A_B}{A_A} = \frac{Q_A}{Q_B}\times\frac{\cancel{۴\pi}R_B^۲}{\cancel{۴\pi}R_A^۲} = \frac{Q_A}{Q_B}\times(\frac{R_B}{R_A})^۲ = ۱\times(\frac{۱}{۲})^۲ = \frac{۱}{۴}$$

نکته چگالی سطحی بار در نقاط نوک‌تیز بیشتر از بقیهٔ نقاط است.

در مثال ۱–۱۰ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطهٔ A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی‌ای به نقطهٔ B می‌رسد؟



با تغییر جای قطب‌های باتری و تغییر جهت میدان الکتریکی، جهت نیروی الکتریکی $(\vec{F}_E)$ وارد بر پروتون در نقطهٔ A به سمت راست خواهد بود:

با توجه به قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی داریم: $W_E = \Delta K = \frac{1}{2}m(v_B^2 - v_A^2)$ (۱)

از طرفی می‌دانیم که کار نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ باردار در میدان الکتریکی برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی ذره است؛ یعنی داریم: $W_E = -\Delta U_E = |q|Ed\cos\theta$ (۲)

با توجه به روابط (۱) و (۲) می‌توان نوشت: $|q|Ed\cos\theta = \frac{1}{2}m(v_B^2 - v_A^2)$

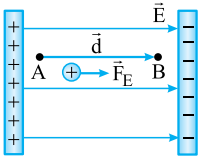
با توجه به این‌که ذره در نقطهٔ A ساکن بوده $(v_A = 0)$ و زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و میدان الکتریکی در طی حرکت همواره صفر درجه است $(\theta = 0^\circ)$، داریم:

$$|q|Ed = \frac{1}{2}mv_B^2 \Rightarrow (1/6\times10^{-19}\ C)(2\times10^3\ N/C)(0/1\ m) = \frac{1}{2}\times(1/67\times10^{-27}\ kg)v_B^2$$

$$\Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{2(1/6\times10^{-19}\ C)(2\times10^3\ N/C)(0/1\ m)}{(1/67\times10^{-27}\ kg)}} \simeq 1/96\times10^5\ m/s$$

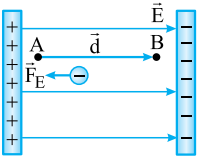
الف) نشان دهید در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در سوی خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

حالت اول: اگر ذره‌ای با بار مثبت **در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود**، زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و نیروی الکتریکی وارد بر آن صفر درجه است؛ یعنی: $\theta = 0^\circ$.



بنابراین داریم:
$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{+q} = \frac{-|q|Ed\cancel{\cos\theta}^{1}}{+q} = -Ed$$
$$\Rightarrow \Delta V_{AB} = V_B - V_A = -Ed < 0 \Rightarrow V_B < V_A$$

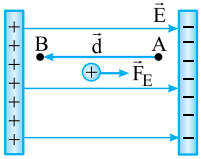
حالت دوم: اگر ذره‌ای با بار منفی **در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود**، زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و نیروی الکتریکی وارد بر آن ۱۸۰ درجه است، یعنی: $\theta = 180^\circ$.



بنابراین داریم:
$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{-q} = \frac{-|q|Ed\cancel{\cos\theta}^{-1}}{-q} = -Ed$$
$$\Rightarrow \Delta V_{AB} = V_B - V_A = -Ed < 0 \Rightarrow V_B < V_A$$

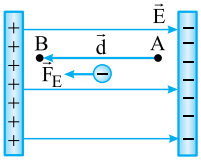
نتیجه‌گیری: با حرکت ذرهٔ باردار در جهت خطوط میدان الکتریکی، همواره پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد. این نتیجه مستقل از نوع بار الکتریکی است.

حالت سوم: اگر ذره‌ای با بار مثبت **در خلاف جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود**، زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و نیروی الکتریکی وارد بر آن ۱۸۰ درجه است؛ یعنی: $\theta = 180^\circ$.



بنابراین داریم:
$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{+q} = \frac{-|q|Ed\cancel{\cos\theta}^{-1}}{+q} = +Ed$$
$$\Rightarrow \Delta V_{AB} = V_B - V_A = +Ed > 0 \Rightarrow V_B > V_A$$

حالت چهارم: اگر ذره‌ای با بار منفی **در خلاف جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود**، زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و نیروی الکتریکی وارد بر آن صفر درجه است؛ یعنی: $\theta = 0^\circ$.

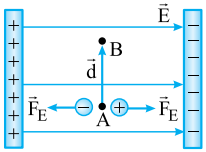


بنابراین داریم:
$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{-q} = \frac{-|q|Ed\cancel{\cos\theta}^{1}}{-q} = +Ed$$
$$\Rightarrow \Delta V_{AB} = V_B - V_A = +Ed > 0 \Rightarrow V_B > V_A$$

نتیجه‌گیری: با حرکت ذرهٔ باردار در خلاف جهت میدان الکتریکی، همواره پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد. این نتیجه مستقل از نوع بار الکتریکی است.

ب) نشان دهید در میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

حالت پنجم: اگر ذره‌ای با بار q **در جهت عمود بر میدان الکتریکی جابه‌جا شود**، زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و نیروی الکتریکی وارد بر آن ۹۰ درجه است؛ یعنی: $\theta = 90^\circ$.



بنابراین داریم:
$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-|q|Ed\cancel{\cos 90^\circ}^{0}}{q} = 0$$
$$\Rightarrow \Delta V_{AB} = V_B - V_A = 0 \Rightarrow V_B = V_A$$

نتیجه‌گیری: با حرکت ذرهٔ باردار در جهت عمود بر میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی تغییری نمی‌کند.

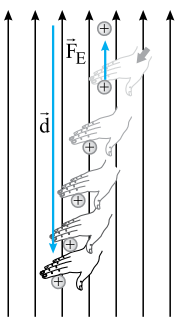
اگر پایانهٔ مثبت یک باتری ۱۲ ولتی را مرجع پتانسیل در نظر بگیریم، پتانسیل پایانهٔ منفی آن چند ولت خواهد شد؟

در یک باتری ۱۲ ولتی، پتانسیل پایانهٔ مثبت به اندازهٔ ۱۲ ولت از پتانسیل پایانهٔ منفی آن بیشتر است؛ یعنی: $\Delta V = V_+ - V_- = ۱۲\ V$

از آن‌جایی که پایانهٔ مثبت باتری را مرجع پتانسیل در نظر گرفته‌ایم $(V_+ = ۰)$، برای پایانهٔ منفی باتری داریم:

$$۰ - V_- = ۱۲\ V \Rightarrow V_- = -۱۲\ V$$

عمل مغز اساساً بر مبنای کنش‌ها و فعالیت‌های الکتریکی است. سیگنال‌های عصبی چیزی جز عبور جریان‌های الکتریکی نیست. مغز این سیگنال‌ها را دریافت می‌کند و اطلاعات به صورت سیگنال‌های الکتریکی در امتداد اعصاب گوناگون منتقل می‌شوند. هنگام انجام هر عمل خاصی، سیگنال‌های الکتریکی زیادی تولید می‌شوند. این سیگنال‌ها حاصل کنش الکتروشیمیایی در یاخته‌های عصبی موسوم به نورون هستند. دربارهٔ چگونگی کار نورون‌ها تحقیق و به کلاس گزارش کنید. سطح خارجی نورون‌ها توسط غشایی از جنس چربی و پروتئین پوشانده شده است. این غشا نسبت به بعضی مواد مانند اکسیژن نفوذپذیر است و به آن‌ها اجازهٔ عبور می‌دهد، در صورتی که نسبت به بعضی مواد دیگر مانند پروتئین‌ها نفوذناپذیر است. این خاصیت غشای نورون‌ها سبب می‌شود که ترکیب مواد در داخل نورون‌ها با ترکیب مواد در محیط خارج آن‌ها متفاوت باشد. داخل نورون‌ها، بار مثبت زیادی وجود دارد، در حالی که خارج نورون‌ها بار منفی بیشتری وجود دارد که باعث ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در حدود ۶۰ تا ۹۰ میلی‌ولت بین داخل و خارج سلول می‌شود که به آن پتانسیل استراحت نورون می‌گوییم. وقتی نورون تحریک می‌شود (از طریق عواملی مانند گرما، سرما، نور و ...)، نفوذپذیری غشا نسبت به سدیم افزایش یافته و ترکیبات سدیم‌دار زیادی وارد آن می‌شود. در این صورت تغییر لحظه‌ای بزرگی در پتانسیل استراحت رخ می‌دهد که به آن پتانسیل کنش می‌گوییم. این تغییر پتانسیل به صورت سیگنالی و نقطه به نقطه در امتداد آکسون‌ها منتشر شده و بار الکتریکی هر نقطه پس از تحریک، فوراً به حالت اولیه باز می‌گردد. این پیام‌های الکتریکی از طریق آزادشدن مواد شیمیایی در سیناپس (محل اتصال نورون‌ها به هم) از یک نورون به نورون بعدی منتقل می‌شود تا پیام حرکتی از مغز به اندام‌های بدن برسد.



در شکل ۱-۲۷ الف) با فرض آن‌که بار q+ در ابتدا و انتهای جابه‌جایی ساکن باشد، آیا کار نیروی دست، مثبت است یا منفی؟

با توجه به این‌که q+ در ابتدا و انتهای جابه‌جایی ساکن است، داریم: $K_۱ = K_۲ \Rightarrow \Delta K = ۰$

با توجه به قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی داریم:

$$\Delta K = W_{\text{دست}} + W_E = ۰ \Rightarrow W_{\text{دست}} = -W_E = -|q|Ed\cos\theta$$

از آن جایی که زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی و نیروی الکتریکی وارد بر ذره ۱۸۰ درجه است $(\theta = ۱۸۰^\circ)$، بنابراین داریم:

$$W_{\text{دست}} = -|q|Ed\underbrace{\cos ۱۸۰^\circ}_{-۱} = |q|Ed > ۰$$

ب) آیا بار q+ به نقطه‌ای با پتانسیل بیشتر حرکت کرده است یا به نقطه‌ای با پتانسیل کم‌تر؟ توضیح دهید.

با توجه به نتیجه‌گیری در تمرین ۱ـ ۹، می‌دانیم که با حرکت ذرهٔ باردار در خلاف جهت میدان، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد؛ بنابراین بار q+ به نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی بیشتر جابه‌جا شده است.

الف) در شکل شخصی را داخل یک قفس توری فلزی می‌بینید که نوعی از قفس فاراده است. در مورد قفس فاراده و کاربردهایش تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

قفس فاراده یک قفس یا فضای بستهٔ فلزی است که براساس آزمایش فاراده موجب حفاظت الکتروستاتیکی می‌شود؛ به این صورت که اگر فردی را درون این قفس فلزی قرار دهیم و مولد وان‌دوگرافی در نزدیکی قفس نصب و آن را تا حد زیادی باردار کنیم، با وجود این‌که بارهای الکتریکی به صورت جرقه از مولد به قفس جریان پیدا می‌کنند، اما فرد درون قفس آسیبی نمی‌بیند. در واقع اگر یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار دهیم، آزاد رسانا، به گونه‌ای روی سطح خارجی آن توزیع می‌شوند که میدان ناشی از آن‌ها اثر میدان خارجی درون رسانا را خنثی و میدان خالص درون رسانا را صفر می‌کند. هم‌چنین بار خارجی، روی سطح خارجی جسم رسانا توزیع می‌شود و به داخل آن وارد نمی‌شود. طبق نظریهٔ فاراده، امواج الکترومغناطیس که به طور طبیعی از اطراف یک مادهٔ رسانا گذر می‌کنند، به درون آن نفوذ نمی‌کنند. بنابراین قفس فاراده علاوه بر این‌که در برابر نفوذ بارهای الکتریکی به درونش مقاوم است، در برابر امواج رادیویی و تابش‌های

الکترومغناطیس نیز مقاوم است. بنابراین از این وسیله می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

- حفاظت از افراد در برابر امواج الکترومغناطیس تولیدشده توسط رادارهای پرقدرت.
- حفاظت از سیستم‌های الکترونیکی و مخابراتی پیشرفته.

ب) تحقیق کنید چرا معمولاً شخصی که در داخل اتومبیل یا هواپیماست از خطر آذرخش در امان می‌ماند. بدنهٔ اتومبیل یا هواپیما از جنس فلز (رسانا) است؛ بنابراین بار الکتریکی منتقل‌شده به آن‌ها طبق آزمایش فاراده در سطح خارجی قرار گرفته و به افراد اتومبیل یا هواپیما آسیبی نمی‌رسد.

پ) با اعضای گروه خود آزمایش‌های دیگری را طراحی و اجرا کنید که نشان دهد بار اضافی داده‌شده به رسانا، روی سطح خارجی آن قرار می‌گیرد. یک استوانهٔ فلزی توخالی را به مولد وان‌دوگراف وصل می‌کنیم و مولد را روشن می‌کنیم. سپس دو گلولهٔ فلزی را به سطح داخلی لوله تماس می‌دهیم، وقتی گلوله‌ها را بیرون می‌آوریم و به هم نزدیک می‌کنیم، می‌بینیم که هیچ نیرویی به هم وارد نمی‌کنند. اما اگر گلوله‌ها را به سطح خارجی لوله تماس دهیم و سپس آن‌ها را به هم نزدیک کنیم، می‌بینیم که گلوله‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند.

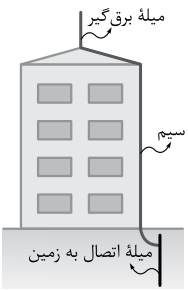
فعالیت ۱–۸ صفحهٔ ۳۰ کتاب درسی

دو قطعه ورقهٔ آلومینیمی به ابعاد $۴\ cm \times ۳\ cm$ را مچاله کنید و به سرهای دو تکه نخ هم‌اندازه به طول $۳۰\ cm$ وصل کنید. پس از آن‌که جسم فلزی دوکی‌شکل را با مولد وان‌دوگراف باردار کردید، یکی از آونگ‌ها را مقابل نوک تیز و دیگری را مقابل بخش پهن دوک بیاویزید. چه مشاهده می‌کنید؟ مشاهدهٔ خود را توجیه کنید.

ابتدا هر دو آونگ که بدون بار هستند به علت القای بار الکتریکی به سمت دوک جذب می‌شود. بعد از برخورد آونگ‌ها با سطح دوک، مقداری از بار دوک به آن‌ها منتقل شده و باری همنام با بار دوک پیدا می‌کنند. هر یک از آونگ‌ها به علت نیروی دافعه بین بارهای همنام از دوک دور می‌شوند. پس از مدتی آونگ‌ها در فاصلهٔ معینی در دو طرف دوک می‌ایستند به طوری که آونگی که با نوک تیز تماس پیدا کرده است در زاویهٔ بیشتری نسبت به امتداد قائم قرار می‌گیرد. از این مشاهده می‌توان نتیجه گرفت که چگالی بار در قسمت نوک‌تیز دوک بیشتر است؛ در نتیجه میدان الکتریکی در نزدیکی نوک‌تیز دوک قوی‌تر و نیرویی که به آونگ وارد می‌کند، بیشتر است.

فعالیت ۱–۹ صفحهٔ ۳۱ کتاب درسی

در مورد برق‌گیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید آن‌ها چگونه ساختمان‌ها را از گزند آذرخش در امان نگه می‌دارند؟



برق‌گیر جسمی نوک‌تیز است که در بالاترین نقطهٔ ساختمان نصب می‌شود و اولین نقطهٔ اصابت آذرخش است. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های برق‌گیر، سیم اتصال به زمین است که به آن سیم اِرت گفته می‌شود. با نزدیک‌شدن ابرها به میلهٔ برق‌گیر، مقداری بار غیرهمنام با بار ابر در ساختمان و میلهٔ برق‌گیر القا می‌شود. با توجه به نوک‌تیز بودن میلهٔ برق‌گیر، چگالی بار در نوک میلهٔ برق‌گیر بیشتر از ساختمان است؛ بنابراین میدان الکتریکی قوی‌تر در اطراف میله ایجاد و بارها در این نقطه تخلیه و از طریق سیم اِرت به میلهٔ اتصال به زمین هدایت می‌شوند؛ به این ترتیب انرژی آذرخش به زمین انتقال یافته و ساختمان از خطر اصابت آذرخش و در نتیجه آتش‌سوزی در امان می‌ماند.

درس‌نامه

خازن

خازن وسیله‌ای است که می‌تواند انرژی و بار الکتریکی در خود ذخیره کند و آن را با آهنگ بسیار بالایی تخلیه کند.

ظرفیت خازن: به نسبت بار ذخیره‌شده در خازن به اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن ظرفیت خازن گفته می‌شود که مقدار ثابتی دارد. ظرفیت خازن را با C نشان می‌دهیم و واحد آن در SI کولن بر ولت (C/V) است که **فاراد** (F) نامیده می‌شود.

$$C = \frac{Q}{V}$$

مثال **خازن مسطحی با ظرفیت ۲۰ میکروفاراد به منبع برق ۲۰۰ ولتی وصل است. در این حالت چند کولن بار الکتریکی در خازن ذخیره می‌شود؟**

پاسخ

$$C = ۲۰\,\mu F = ۲۰ \times ۱۰^{-۶}\ F \ , \ V = ۲۰۰\ V$$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توانیم مقدار بار ذخیره‌شده در خازن را به دست آوریم:

$$Q = C \times V = (۲۰ \times ۱۰^{-۶}\ F) \times (۲۰۰\ V) = ۴ \times ۱۰^{-۳} C = ۴\ mC$$

بنابراین در خازن ۴ میلی‌کولن بار الکتریکی ذخیره می‌شود.

ظرفیت خازن تخت: ظرفیت خازن تخت به ویژگی‌های ساختمانی آن بستگی دارد و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$C = \kappa \varepsilon_{\circ} \frac{A}{d}$$

A: مساحت صفحه‌های خازن تخت، d: فاصلهٔ بین صفحات خازن تخت

در رابطهٔ قبل κ ثابت دی‌الکتریک است که مقدار آن برای خلأ برابر یک و برای دی‌الکتریک‌های دیگر بیشتر از یک است. همچنین ε_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ است که تقریباً $8/85\times10^{-12}\ F/m$ است.

مثال **مساحت سطح مشترک صفحه‌های خازن تختی $600\ cm^2$ و فاصلهٔ بین صفحات برابر با $4\ mm$ بوده و فضای بین این صفحات از دی‌الکتریکی با ثابت ۲ پر شده است. ظرفیت این خازن چند فاراد است؟** $(\varepsilon_0 = 8\times10^{-12}\ \frac{C^2}{N.m^2})$

پاسخ $A = 600\ cm^2 = 6\times10^{-2}\ m^2 \quad , \quad d = 4\ mm = 4\times10^{-3}\ m \quad , \quad \kappa = 2$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توان ظرفیت خازن را به دست آورد:

$$C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d} = 2\times(8\times10^{-12})\times\frac{6\times10^{-2}}{4\times10^{-3}} = 2/4\times10^{-10}\ F$$

نقش دی‌الکتریک‌ها در خازن: با قرارگیری دی‌الکتریک میان صفحه‌های خازن، ظرفیت خازن و حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن (پتانسیل فروریزش) افزایش می‌یابد.

فروریزش الکتریکی: هرگاه اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را به اندازهٔ کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون‌های اتم‌های مادهٔ دی‌الکتریک توسط میدان الکتریکی ایجادشده بین دو صفحه کنده می‌شوند و مسیر رسانایی درون دی‌الکتریک ایجاد می‌شود که سبب تخلیهٔ خازن می‌گردد. به این پدیده فروریزش الکتریکی گفته می‌شود. معمولاً فروریزش با ایجاد جرقه همراه است و باعث سوختن خازن می‌شود.

انرژی الکتریکی ذخیره‌شده در خازن: انرژی ذخیره‌شده در خازن از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$U = \frac{1}{2}QV \quad , \quad U = \frac{1}{2}CV^2 \quad , \quad U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

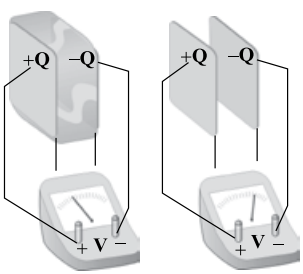
مثال **خازنی با ظرفیت $90\ \mu F$ به اختلاف پتانسیل ۱۰۰ ولت وصل شده است. مقدار انرژی ذخیره‌شده در این خازن چند ژول است؟**

پاسخ $C = 90\ \mu F = 9\times10^{-5}\ F \quad , \quad V = 100\ V$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توان انرژی ذخیره‌شده در خازن را به دست آورد:

$$V = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times(9\times10^{-5}F)\times(100\ V)^2 = 0/45\ J$$

پرسش ۱–۶ صفحهٔ ۳۶ کتاب درسی



در شکل مقابل صفحه‌های باردار یک خازن تخت را که بین آن‌ها هوا است، به ولت‌سنج وصل می‌کنیم. با واردکردن دی‌الکتریک در بین صفحه‌ها، اختلاف پتانسیل دو صفحه کاهش می‌یابد. علت آن را توضیح دهید. (توجه کنید که این آزمایش با بیشتر ولت‌سنج‌های معمولی و رایج ممکن نیست.)

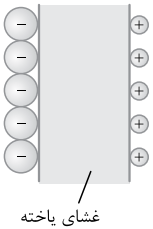
با توجه به رابطهٔ $C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d}$، قرارگرفتن دی‌الکتریک در بین صفحات خازن منجر به افزایش ظرفیت خازن می‌شود. از آن‌جایی که بار ذخیره‌شده در خازن ثابت است، طبق رابطهٔ $V = \frac{Q}{C}$، اختلاف پتانسیل دو سر خازن کاهش می‌یابد.

فعالیت ۱–۱۰ صفحهٔ ۳۷ کتاب درسی

در حسگر کیسهٔ هوای برخی از خودروها از یک خازن استفاده می‌شود. دربارهٔ چگونگی عملکرد این حسگرها تحقیق کنید و نتیجهٔ آن را به کلاس گزارش دهید.

حسگر کیسه‌های هوا در برخی از خودروها شامل خازنی است که از دو صفحهٔ رسانا تشکیل می‌شود. صفحهٔ عقبی خازن بسیار سبک بوده و به سادگی حرکت می‌کند؛ در صورتی که صفحهٔ جلویی خازن کاملاً ثابت است. هنگام توقف ناگهانی و ترمزهای شدید، صفحهٔ عقبی خازن به علت سبک‌بودن به صفحهٔ ثابت و سنگین خازن نزدیک شده، که همین امر منجر به افزایش ظرفیت خازن می‌شود؛ در نتیجه پتانسیل دو سر خازن نیز تغییر می‌کند که این تغییر توسط یک مدار الکتریکی آشکارسازی شده و کیسه‌های هوا را به کار می‌اندازد.

یک یاختهٔ عصبی (نورون) را می‌توان با یک خازن تخت مدل‌سازی کرد، به طوری که غشای سلول به عنوان دی‌الکتریک و یون‌های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند، به عنوان بارهای روی صفحه‌های خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون‌های لازم (با فرض آن‌که هر یون یک بار یونیده باشد)، برای آن‌که یک اختلاف پتانسیل $85\ mV$ ایجاد شود چه‌قدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی‌الکتریک $\kappa = 3$ ، ضخامت $10\ nm$ و مساحت سطح $1\times10^{-10}\ m^2$ است.



$$d = 10\ nm = 10\times10^{-9}\ m$$

ظرفیت یک یاختهٔ عصبی که با یک خازن تخت مدل‌سازی شده، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \kappa\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d} = (3)(8/85\times10^{-12}\ F/m)\frac{(10^{-10}\ m^2)}{(10\times10^{-9}\ m)} = 2/655\times10^{-13}\ F$$

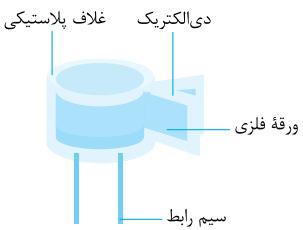
بار الکتریکی موجود در یاختهٔ عصبی که تحت اختلاف پتانسیل $85\ mV$ قرار دارد، برابر است با: $V = 85\ mV = 85\times10^{-3}\ V$

$$Q = CV = (2/655\times10^{-13}\ F)(85\times10^{-3}\ V) \simeq 2/26\times10^{-14}\ C$$

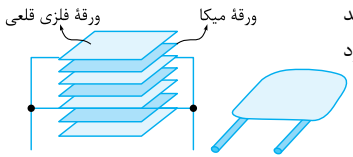
تعداد یون‌های لازم برای ایجاد چنین باری را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$Q = ne \Rightarrow n = \frac{Q}{e} = \frac{2/26\times10^{-14}\ C}{1/6\times10^{-19}\ C} \simeq 1/41\times10^{+5}$$

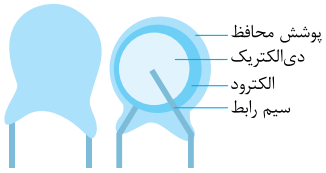
خازن‌ها انواع متعددی دارند؛ زیرا برای کاربردهای مختلفی طراحی و ساخته می‌شوند. دربارهٔ خازن‌های مختلف مانند خازن‌های ورقه‌ای، میکا، سرامیکی، الکترولیتی، خازن‌های متغیر و آبرخازن‌ها و ظرفیت آن‌ها تحقیق کنید. هر گروه می‌تواند روی یک نوع خازن تحقیق کند.



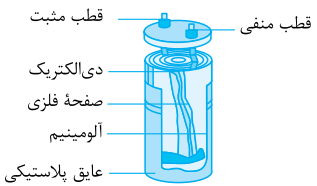
خازن‌های ورقه‌ای: این خازن‌ها از دو ورقهٔ قلع یا آلومینیم تشکیل شده‌اند که بین آن‌ها دو ورقهٔ دی‌الکتریک مانند کاغذ یا پلاستیک جا داده می‌شود. این ورقه‌ها را لوله می‌کنند و به صورت یک استوانه در می‌آورند و در محفظهٔ پلاستیکی قرار می‌دهند. ظرفیت این نوع خازن‌ها از $1\ nF$ تا $1\ \mu F$ است.



خازن‌های میکا: بین ورقه‌های فلزی نازک قلعی، ورقه‌های نازک میکا قرار می‌دهند و ورقه‌های قلع را یک در میان به یکدیگر وصل می‌کنند. ظرفیت این خازن‌ها حدود ۵۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است.

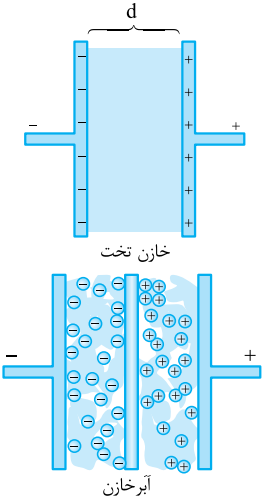


خازن‌های سرامیکی: دی‌الکتریک این خازن‌ها سرامیک است که با استفاده از انواع سیلیکات‌ها در دمای بالا تهیه می‌شود. ثابت دی‌الکتریک این خازن‌ها زیاد و در حدود ۱۰۰۰ است. خازن‌های سرامیکی به شکل عدس تهیه می‌شوند و حجم کمی دارند. صفحه‌های رسانای آن‌ها نیز با ذوب نقره در دو طرف سرامیک تهیه می‌شود. ظرفیت این خازن‌ها حدود ده‌ها نانوفاراد (nF) است.



خازن‌های الکترولیتی: این خازن‌ها از یک صفحهٔ فلزی اندودشده با اکسید آلومینیم تشکیل می‌شود، به طوری که صفحهٔ فلزی قطب مثبت خازن و لایهٔ اکسید آلومینیم، دی‌الکتریک آن می‌باشد. الکترولیت جامد یا مایع (که غالباً کاغذی آغشته به مایع الکترولیت است) به عنوان قطب منفی خازن عمل می‌کند. ظرفیت این خازن‌ها بالاست و تا حدود $0/1\ F$ می‌رسد.

خازن‌های متغیر: دی‌الکتریک این خازن‌ها معمولاً هواست. در ساختمان آن‌ها دو نوع صفحهٔ فلزی، یک دستهٔ ثابت و دستهٔ دیگر متحرک به کار رفته است که هر دو دسته، روی یک محور قرار گرفته‌اند؛ ولی صفحه‌های متحرک روی این محور می‌چرخند. صفحه‌ها به شکل نیم‌دایره‌اند و با چرخیدن صفحه‌های متحرک، مساحت خازن کم و زیاد می‌شود. این نوع خازن‌ها در گیرنده‌های رادیویی به کار می‌رفته است. نماد مداری این خازن‌ها به صورت ⊣⊢ است.



آبَر خازن: این نوع خازن‌ها از موادی مانند زغال فعال پر شده‌اند که خود درون نوعی دی‌الکتریک قرار گرفته‌اند. زغال‌ها پس از قرارگرفتن در دو سوی خازن که توسط غشای عایق و نفوذپذیری به نام جداکننده از هم جدا شده‌اند، بارهایی با علامت مخالف می‌گیرند. با توجه به نفوذپذیری جداکننده، یون‌های موجود در الکترولیت از غشای جداکننده عبور می‌کنند به طوری که یون‌های منفی در سمت زغال‌های باردار مثبت و یون‌های مثبت در سمت زغال‌های باردار منفی قرار می‌گیرند. هر یک از جفت بارهای مثبت و منفی زغال ـ یون به مثابه خازنی با فاصلهٔ جدایی d است که میلیون‌ها بار کوچک‌تر از فاصلهٔ جدایی صفحه‌های یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال‌های فعال اسفنجی‌شکل است، به طوری که در مقیاس نانو سطح تماس بسیار بزرگی با یون‌ها دارند و بدین ترتیب مساحت A‌ی صفحه‌های این خازن نیز به مراتب بزرگ‌تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است. بنابراین این خازن‌ها ظرفیت‌های بسیار بزرگی از مرتبهٔ کیلوفاراد دارند که میلیون‌ها برابر ظرفیت خازن‌های معمولی است. یکی از ویژگی‌های این خازن‌ها آن است که خیلی سریع‌تر از باتری‌های شارژشدنی، شارژ می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به دفعاتی تا هزاران بار بیشتر از باتری‌ها شارژ کرد.

همین ویژگی است که باعث استفاده از این خازن‌ها در وسایل نقلیهٔ الکتریکی می‌شود.

طرحی از ساختار یک اَبَر خازن در مقایسه با یک خازن تخت معمولی، به تفاوت dها توجه کنید. در عمل این تفاوت به مراتب بیشتر است. d یک خازن از مرتبهٔ نانومتر است.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ — صفحهٔ ۴۱ کتاب درسی

۱ـ۱ و ۱ـ۲ بار الکتریکی، پایستگی و کوانتیده‌بودن بار

۱- چگونه توسط یک الکتروسکوپ می‌توانیم تشخیص دهیم که:

الف) یک میله باردار است یا نه؟ میله را به کلاهک الکتروسکوپ بدون باری نزدیک می‌کنیم. اگر فاصلهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ تغییری نکند، میله بدون بار است و در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله بگیرند، نتیجه می‌گیریم که میله باردار است.

ب) میلهٔ رساناست یا عایق؟ میله را به کلاهک الکتروسکوپ بارداری تماس می‌دهیم. اگر میله رسانا باشد، منجر به تخلیهٔ بار الکتروسکوپ شده و ورقه‌های الکتروسکوپ بسته می‌شوند و در صورتی که میله نارسانا (عایق) باشد، بارهای الکتریکی از الکتروسکوپ خارج نمی‌شوند و فاصلهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ ثابت باقی می‌ماند.

پ) نوع بار میلهٔ باردار چیست؟ میله را به الکتروسکوپ بارداری نزدیک می‌کنیم. اگر فاصلهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر شود، نتیجه می‌گیریم بارهای میله و الکتروسکوپ همنام بوده و در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شود، نتیجه می‌گیریم که بارهای میله و بار الکتروسکوپ ناهمنام هستند.

۲- یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی $-۱۲/۸\ \text{nC}$ می‌شود.

الف) بار الکتریکی ایجادشده در پارچهٔ پشمی چه‌قدر است؟ بار الکتریکی در پارچهٔ پشمی به همان اندازه ولی با علامت مثبت است؛ یعنی $+۱۲/۸\ \text{nC}$.

ب) تعداد الکترون‌های منتقل‌شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی را محاسبه کنید. با توجه به اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی، تعداد الکترون‌های منتقل‌شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی را به دست می‌آوریم:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{۱۲/۸\times۱۰^{-۹}\ \text{C}}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ \text{C}} = ۸\times۱۰^{۱۰}$$ الکترون

۳- الف) بار الکتریکی اتم و هستهٔ اتم کربن $(\text{C}^{۱۲}_{۶})$ چند کولن است؟ اتم کربن خنثی، بدون بار الکتریکی است $(q = ۰)$. هستهٔ اتم کربن $\text{C}^{۱۲}_{۶}$، ۶ پروتون و ۶ نوترون دارد؛ بنابراین بار الکتریکی هستهٔ اتم کربن برابر است با:

$$q = +ne = (+۶)\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ \text{C}) = +۹/۶\times۱۰^{-۱۹}\ \text{C}$$

ب) بار الکتریکی کربن یک بار یونیده (C^{+}) چه‌قدر است؟ اتم کربن یک بار یونیده (C^{+})، یک الکترون از دست داده است و به همین دلیل تعداد پروتون‌های آن یک عدد بیشتر از تعداد الکترون‌هایش است؛ بنابراین بار الکتریکی آن برابر است با:

$$q = (+۱)\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ \text{C}) = +۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ \text{C}$$

۱ـ۳ قانون کولن

۴- دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_۱ = ۴\ \text{nC}$ و $q_۲ = -۶\ \text{nC}$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصلهٔ $r = ۳۰\ \text{cm}$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید.

از آن‌جایی که دو گوی رسانا و شبیه هم هستند، وقتی آن‌ها را با هم تماس می‌دهیم گوی‌ها دارای بار یکسان و برابر با میانگین بارهای اولیه خواهد شد؛ یعنی:

$$q'_۱ = q'_۲ = \frac{q_۱ + q_۲}{۲} = \frac{۴\ \text{nC} + (-۶\ \text{nC})}{۲} = -۱\ \text{nC}$$

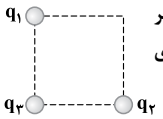
نیروی بین دو گوی پس از تماس آن‌ها به هم، طبق قانون کولن برابر است با:

$$q_1' = q_2' = -1\,nC = -10^{-9}\,C\ ,\ r = 30\,cm = 30\times10^{-2}\,m$$

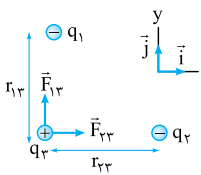
$$F = k\frac{|q_1'||q_2'|}{r^2} = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\frac{(1\times10^{-9}\,C)(1\times10^{-9}\,C)}{(30\times10^{-2}\,m)^2} = 10^{-7}\,N$$

این نیرو رانشی است یا ربایشی؟ به دلیل هم‌علامت بودن بار الکتریکی گوی‌ها پس از تماس‌دادن به هم، نیروی بین گوی‌ها رانشی است.

۵- سه ذرهٔ باردار q_1، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع ۳ m ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -5\,\mu C$ و $q_3 = +0/2\,\mu C$ باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_3 را برحسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.



نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ q_3 از طرف ذرهٔ q_1 به صورت جاذبه است؛ پس با توجه به شکل و قانون کولن داریم:



$$q_1 = q_2 = -5\,\mu C = -5\times10^{-6}\,C\ ,\ q_3 = +0/2\,\mu C = 0/2\times10^{-6}\,C$$

$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\times\frac{(5\times10^{-6}\,C)(0/2\times10^{-6}\,C)}{(3\,m)^2} = 10^{-3}\,N$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{13} = (10^{-3}\,N)\vec{j}$$

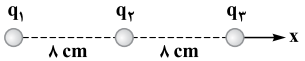
نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ q_3 از طرف ذرهٔ q_2 نیز به صورت جاذبه است؛ پس با توجه به شکل بالا و قانون کولن داریم:

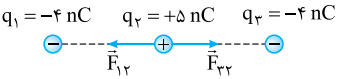
$$F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\times\frac{(5\times10^{-6}\,C)(0/2\times10^{-6}\,C)}{(3\,m)^2} = 10^{-3}\,N \Rightarrow \vec{F}_{23} = (10^{-3}\,N)\vec{i}$$

در نتیجه نیروی خالص وارد بر ذرهٔ q_3 برابر است با:

$$\vec{F}_{T_3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (10^{-3}\,N)\vec{i} + (10^{-3}\,N)\vec{j}$$

۶- بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -4\,nC$، $q_2 = +5\,nC$ و $q_3 = -4\,nC$ مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای q_2 و q_3 را محاسبه کنید.



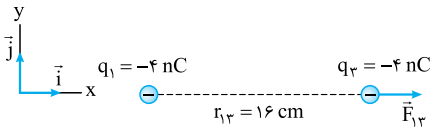


نیروهای وارد بر بار q_2 مانند شکل مقابل است:

از آن‌جایی که بارهای q_1 و q_3 برابر و در فاصلهٔ یکسان از بار q_2 قرار دارند، پس $F_{12} = F_{32}$ است؛ بنابراین، با توجه به شکل بالا می‌توان نتیجه گرفت که نیروی خالص وارد بر بار q_2 صفر است؛ بنابراین داریم: $\vec{F}_{T_2} = 0$

نیروی الکتریکی خالصی که بر بار q_3 وارد می‌شود، برایند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_2 بر بار q_3 وارد می‌شود. نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ q_3 از طرف ذرهٔ q_1، به صورت دافعه است؛ پس،

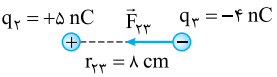
با توجه به شکل مقابل و قانون کولن داریم:



$$q_1 = q_3 = -4\,nC = -4\times10^{-9}\,C\ ,\ r_{13} = 16\,cm = 16\times10^{-2}\,m$$

$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\frac{(4\times10^{-9}\,C)(4\times10^{-9}\,C)}{(16\times10^{-2}\,m)^2} = \frac{9}{16}\times10^{-5}\,N \Rightarrow \vec{F}_{13} = (\frac{9}{16}\times10^{-5}N)\,\vec{i}$$

نیروی وارد بر ذرهٔ q_3 از طرف ذرهٔ q_2 به صورت جاذبه است. پس، با توجه به شکل زیر و قانون کولن داریم:



$$q_2 = +5\,nC = +5\times10^{-9}C\ ,\ q_3 = -4\,nC = -4\times10^{-9}C\ ,\ r_{23} = 8\,cm = 8\times10^{-2}m$$

$$F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\frac{(5\times10^{-9}\,C)\times(4\times10^{-9}\,C)}{(8\times10^{-2}\,m)^2} = \frac{45}{16}\times10^{-5}\,N \Rightarrow \vec{F}_{23} = (-\frac{45}{16}\times10^{-5}\,N)\vec{i}$$

در انتها نیروی خالص وارد بر بار q_3 را به دست می‌آوریم:

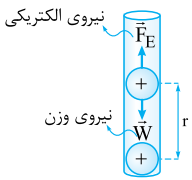
$$\vec{F}_{T_3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (\frac{9}{16}\times10^{-5}\,N)\vec{i} + (-\frac{45}{16}\times10^{-5}\,N)\vec{i} = (-\frac{36}{16}\times10^{-5}\,N)\vec{i} = (-2/25\times10^{-5}\,N)\vec{i}$$

۷- در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم $۲/۵\ g$ و بار یکسان مثبت q در فاصلهٔ $۱\ cm$ از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازهٔ بار q را به دست آورید. برای آن‌که گوی بالایی معلق بماند، باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر شود. با توجه به شکل مقابل نتیجه می‌گیریم که نیروی الکتریکی $(\vec{F}_E)$ وارد بر گوی باید هم‌اندازه با نیروی وزنش $(\vec{W})$ باشد. بنابراین داریم:

$$r = ۱\ cm = ۰/۰۱\ m\ ,\ m = ۲/۵\ g = ۲/۵\times۱۰^{-۳}\ kg$$

$$F_E = W \Rightarrow k\frac{|q||q|}{r^۲} = mg \Rightarrow k\frac{q^۲}{r^۲} = mg$$



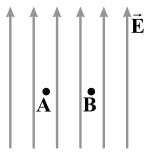
$$\Rightarrow (۹\times۱۰^۹\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{q^۲}{(۰/۰۱)^۲} = (۲/۵\times۱۰^{-۳}\ kg)\times(۹/۸\ N/kg)$$

$$\Rightarrow q = \sqrt{\frac{(۲/۵\times۱۰^{-۳}\ kg)(۹/۸\ N/kg)(۰/۰۱m)^۲}{(۹\times۱۰^۹\frac{N.m^۲}{C^۲})}} \simeq \frac{۵}{۳}\times۱۰^{-۸}\ C \simeq ۱۶/۷\ nC$$

ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چه‌قدر است؟ با توجه به رابطهٔ $q = ne$، تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{۱/۶۷\times۱۰^{-۸}\ C}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C} \simeq ۱۰^{۱۱}\ \text{الکترون}$$

۱ـ۴، ۱ـ۵ و ۱ـ۶ میدان الکتریکی، میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار و خطوط میدان الکتریکی



۸- یک ذرهٔ باردار را یک بار در نقطهٔ A و بار دیگر در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. نیرویی که از طرف میدان الکتریکی بر این ذرهٔ باردار در این دو نقطه وارد می‌شود را مقایسه کنید. با توجه به برابری میدان الکتریکی $(\vec{E})$ در نقاط A و B، طبق رابطهٔ $\vec{F} = q\vec{E}$، نیروی یکسانی بر ذرهٔ باردار در این دو نقطه وارد می‌شود.

۹- هستهٔ اتم آهن شعاعی در حدود $۴\times۱۰^{-۱۵}\ m$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است.

الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون این هسته که به فاصلهٔ $۴\times۱۰^{-۱۵}\ m$ از هم قرار دارند، چه‌قدر است؟

نیروی دافعهٔ الکتریکی بین دو پروتون در فاصلهٔ $۴\times۱۰^{-۱۵}\ m$ از هم به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F = k\frac{|q_p||q_p|}{r^۲} = (۹\times۱۰^۹\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C)^۲}{(۴\times۱۰^{-۱۵}\ m)^۲} = ۱۴/۴\ N$$

ب) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصلهٔ $۱\times۱۰^{-۱۰}\ m$ از مرکز هسته چه‌قدر است؟ هستهٔ آهن شامل ۲۶ پروتون است.

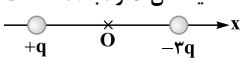
بنابراین طبق رابطهٔ $q = ne$، بار هسته برابر است با:

$$q = ne = ۲۶\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C) = ۴۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$$

حال میدان ناشی از بار درون هسته را در فاصلهٔ $۱\times۱۰^{-۱۰}\ m$ به دست می‌آوریم:

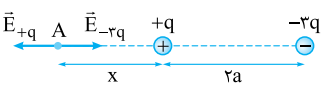
$$E = k\frac{|q|}{r^۲} = (۹\times۱۰^۹\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۴۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C)}{(۱\times۱۰^{-۱۰}\ m)^۲} = ۳/۷۴\times۱۰^{۱۲}\ N/C$$

۱۰- شکل زیر، دو ذرهٔ باردار را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. بارها در فاصلهٔ یکسان a از مبدأ مختصات (نقطهٔ O) قرار دارند.



الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آن‌جا میدان الکتریکی برایند برابر با صفر است؟

چون دو بار غیرهمنام هستند، میدان الکتریکی خالص روی خط واصل بین بارها، در نقطه‌ای خارج از محدودهٔ دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر صفر است (به طور مثال نقطهٔ A).

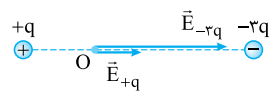


مطابق شکل بالا برای صفرشدن میدان خالص در نقطهٔ A، باید بزرگی میدان ناشی از بارهای $+q$ و $-۳q$ در نقطهٔ A برابر باشند؛ یعنی داریم:

$$E_{+q} = E_{-۳q} \Rightarrow \frac{k|q|}{x^۲} = \frac{k|-۳q|}{(x+۲a)^۲} \Rightarrow ۳x^۲ = (x+۲a)^۲ \Rightarrow \sqrt{۳}x = x + ۲a$$

$$\Rightarrow (\sqrt{۳}-۱)x = ۲a \xrightarrow{\text{طرفین در } (\sqrt{۳}+۱) \text{ ضرب شوند.}} x = a(\sqrt{۳}+۱)$$

ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در مبدأ مختصات را بیابید.



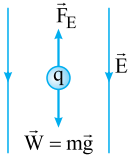
از آن‌جایی که جهت میدان‌های الکتریکی بارهای $+q$ و $-۳q$ در نقطهٔ O به سمت راست است (در جهت $+\vec{i}$)، بنابراین اندازهٔ میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ O برابر با حاصل‌جمع میدان الکتریکی حاصل از هر یک از بارهاست:

$$E_O = E_{+q} + E_{-۳q} = \frac{k|+q|}{a^۲} + \frac{k|-۳q|}{a^۲} = \frac{k}{a^۲}(q+۳q) = \frac{۴kq}{a^۲}$$

بنابراین میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ O برابر است با:

$$\vec{E}_O = (\frac{۴kq}{a^۲})\vec{i}$$

۱۱- در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۵\times۱۰^{۵}\ N/C$ که جهت آن قائم و رو به پایین است. ذرهٔ بارداری به جرم $۲\ g$ معلق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g = ۱۰\ N/kg$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.



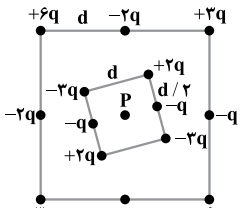
برای معلق‌ماندن ذرهٔ باردار، باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر شود؛ به عبارت دیگر نیروی الکتریکی و نیروی وزن ذره باید هم‌اندازه ولی در خلاف جهت هم باشند. بنابراین نیروی الکتریکی رو به بالا به ذره وارد می‌شود. از آن‌جایی که جهت نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ باردار در خلاف جهت میدان الکتریکی است، می‌توان نتیجه گرفت که ذره دارای بار منفی است و مقدار آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$m = ۲\ g = ۲\times۱۰^{-۳}\ kg$$

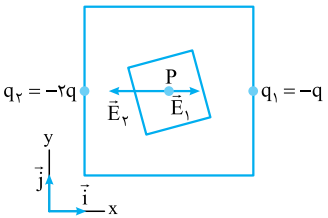
شرط معلق‌ماندن ذره: $F_E = W \Rightarrow |q|E = mg \Rightarrow |q| = \frac{mg}{E} = \frac{(۲\times۱۰^{-۳}\ kg)(۱۰\ N/kg)}{(۵\times۱۰^{۵}\ N/C)} = ۴\times۱۰^{-۷}\ C$

$$\Rightarrow q = -۴\times۱۰^{-۷}\ C$$

۱۲- شکل زیر آرایهٔ مربعی از ذرات باردار را نشان می‌دهد. مربع‌ها که در نقطهٔ P هم‌مرکزند، هم‌ردیف نیستند. ذره‌ها روی محیط مربع به فاصلهٔ d یا $d/۲$ از هم قرار گرفته‌اند. بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در نقطهٔ P چیست؟



با توجه به تقارن شکل می‌توان نتیجه گرفت که میدان‌های حاصل از بارهای روی دو مربع در نقطهٔ P یکدیگر را دوبه‌دو خنثی می‌کنند؛ به‌جز دو بار $-q$ و $-۲q$ که بر روی ضلع سمت راست و چپ مربع بزرگ قرار دارند. بنابراین برای محاسبهٔ میدان خالص در نقطهٔ P، کافی است میدان برایند ناشی از این دو بار را در نقطهٔ P به دست آورد:

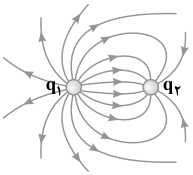


$$E_۱ = k\frac{|-q|}{d^۲} = \frac{kq}{d^۲} \Rightarrow \vec{E}_۱ = (\frac{kq}{d^۲})\vec{i} \quad , \quad E_۲ = k\frac{|-۲q|}{d^۲} = \frac{۲kq}{d^۲} \Rightarrow \vec{E}_۲ = (\frac{-۲kq}{d^۲})\vec{i}$$

بنابراین میدان خالص در نقطهٔ P برابر است با:

$$\vec{E}_{T_P} = \vec{E}_۱ + \vec{E}_۲ = (\frac{kq}{d^۲})\vec{i} + (-\frac{۲kq}{d^۲})\vec{i} = (-\frac{kq}{d^۲})\vec{i}$$

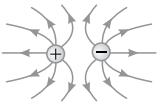
۱۳- خطوط میدان الکتریکی برای دو کرهٔ رسانای باردار کوچک در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازهٔ آن‌ها را مقایسه کنید.



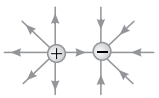
با توجه به این‌که خطوط میدان الکتریکی از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شود، نتیجه می‌گیریم که بار $q_۱$ مثبت و بار $q_۲$ منفی است. چون فشردگی خطوط میدان الکتریکی در نزدیکی بار $q_۱$ بیشتر است، درمی‌یابیم که بزرگی بار $q_۱$ بیشتر از بار $q_۲$ است؛ یعنی: $|q_۱| > |q_۲|$

۱۴- در شکل‌های زیر، اندازهٔ دو بار، یکسان ولی علامت آن‌ها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.

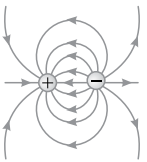
الف) در این شکل خطوط میدان الکتریکی نادرست رسم شده است، چون خطوط میدان الکتریکی باید به بار منفی وارد شود.


(الف)

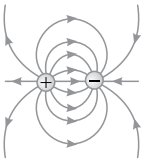
ب) خطوط میدان الکتریکی در این شکل نادرست رسم شده است، چون تراکم خطوط میدان در فضای بین دو بار باید از سایر نقاط بیشتر باشد.


(ب)

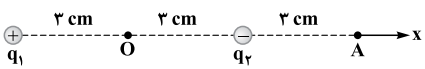
پ) خطوط میدان الکتریکی در این شکل نادرست رسم شده است، چون خطوط میدان الکتریکی باید از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد شود.


(پ)

ت) این شکل خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو بار غیرهمنام ولی هم‌اندازه را به درستی نشان می‌دهد.

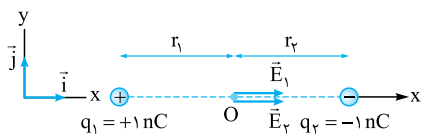

(ت)

۱۵- دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_۱ = +۱\ nC$ و $q_۲ = -۱\ nC$ مطابق شکل مقابل به فاصلهٔ $۶\ cm$ از یکدیگر قرار دارند.



الف) جهت و اندازهٔ میدان الکتریکی را در نقطه‌های O و A به دست آورید.

مطابق شکل مقابل، میدان الکتریکی بارهای $q_۱$ و $q_۲$ در نقطهٔ O به سمت راست (در جهت $+\vec{i}$) است؛ در نتیجه اندازهٔ میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ O برابر با حاصل‌جمع میدان الکتریکی حاصل از هر یک از بارها است.

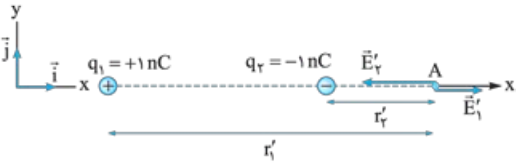


$r_۱ = r_۲ = ۳\,cm = ۳\times۱۰^{-۲}\,m$, $q_۱ = ۱\,nC = ۱\times۱۰^{-۹}\,C$, $q_۲ = -۱\,nC = -۱\times۱۰^{-۹}\,C$

$$E_O = E_۱ + E_۲ = k\frac{|q_۱|}{r_۱^۲} + k\frac{|q_۲|}{r_۲^۲} = ((۹\times۱۰^۹\,\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۱\times۱۰^{-۹}\,C)}{(۳\times۱۰^{-۲}\,m)^۲}) + ((۹\times۱۰^۹\,\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۱\times۱۰^{-۹}\,C)}{(۳\times۱۰^{-۲}\,m)^۲}) = ۲\times۱۰^۴\,N/C$$

$\vec{E}_O = (۲\times۱۰^۴\,\frac{N}{C})\vec{i}$ بنابراین میدان برایند در نقطهٔ O برابر است با:

برای به دست آوردن میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ A، ابتدا میدان الکتریکی حاصل از بارهای $q_۱$ و $q_۲$ را در نقطهٔ A به صورت جداگانه به دست می‌آوریم:



$r_۱' = ۹\,cm = ۹\times۱۰^{-۲}m$, $r_۲' = ۳\,cm = ۳\times۱۰^{-۲}m$

$$E_۱' = \frac{k\,|q_۱|}{r_۱'^۲} = (۹\times۱۰^۹\,\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۱\times۱۰^{-۹}\,C)}{(۹\times۱۰^{-۲}\,m)^۲} = \frac{۱}{۹}\times۱۰^۴\,N/C \Rightarrow \vec{E}_۱' = (\frac{۱}{۹}\times۱۰^۴\,N/C)\vec{i}$$

$$E_۲' = \frac{k\,|q_۲|}{r_۲'^۲} = (۹\times۱۰^۹\,\frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۱\times۱۰^{-۹}\,C)}{(۳\times۱۰^{-۲}\,m)^۲} = ۱\times۱۰^۴\,N/C \Rightarrow \vec{E}_۲' = (-۱\times۱۰^۴\,N/C)\vec{i}$$

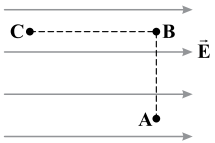
سپس میدان حاصل از هر یک از بارهای $q_۱$ و $q_۲$ در نقطهٔ A را با هم جمع برداری می‌کنیم:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_۱' + \vec{E}_۲' = (\frac{۱}{۹}\times۱۰^۴\,N/C)\vec{i} + (-۱\times۱۰^۴\,N/C)\vec{i} = (-\frac{۸}{۹}\times۱۰^۴\,N/C)\vec{i}$$

ب) آیا بر روی محور، نقطه‌ای وجود دارد که میدان خالص در آن صفر شود؟

خیر؛ در نقطه‌ای میدان الکتریکی خالص صفر می‌شود که میدان حاصل از بارهای $q_۱$ و $q_۲$ هم‌اندازه و در خلاف جهت هم باشند. از آن‌جایی که بزرگی بارهای $q_۱$ و $q_۲$ با یکدیگر برابر است، میدان ناشی از هر دو بار تنها در نقطهٔ وسط بین دو بار هم‌اندازه است؛ اما در این نقطه میدان‌های حاصل از این دو بار هم‌جهت می‌باشند. بنابراین نقطه‌ای وجود ندارد که میدان الکتریکی خالص در آن نقطه صفر شود.

۱ـ۷ و ۱ـ۸ انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی



۱۶- مطابق شکل روبه‌رو، بار $q = +۵۰\,nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $۸\times۱۰^۵\,N/C$ نخست از نقطهٔ A تا نقطهٔ B و سپس تا نقطهٔ C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = ۰/۲۰\,m$ و $BC = ۰/۴۰\,m$ باشد، مطلوب است:

الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q:

طبق رابطهٔ $\vec{F} = q\vec{E}$، نیروی الکتریکی وارد بر بار q را به دست می‌آوریم: $F = |q|E = (۵۰\times۱۰^{-۹}\,C)(۸\times۱۰^۵\,N/C) = ۴\times۱۰^{-۲}\,N$

ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد. با توجه به رابطهٔ $W = Fd\cos\theta$، کار نیروی الکتریکی روی بار q را در هر مسیر به دست می‌آوریم:

در مسیر A تا B : $\theta = ۹۰^\circ \Rightarrow W_{AB} = Fd\cancel{\cos ۹۰^\circ} = ۰\,J$

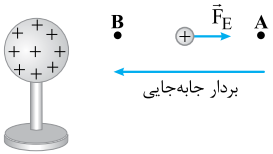
در مسیر B تا C : $\theta = ۱۸۰^\circ \Rightarrow W_{BC} = Fd\cancel{\cos ۱۸۰^\circ}^{-۱} = (۴\times۱۰^{-۲}\,N)(۰/۴\,m)(-۱) = -۱/۶\times۱۰^{-۲}\,J$

کار نیروی الکتریکی بر روی بار q در مسیر A تا C برابر با حاصل جمع کار نیروی الکتریکی در مسیرهای A تا B و B تا C است؛ بنابراین کار نیروی الکتریکی در کل جابه‌جایی برابر است با: $W_E = W_{AB} + W_{BC} = ۰ - ۱/۶\times۱۰^{-۲}\,J = -۱/۶\times۱۰^{-۲}\,J$

پ) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در این جابه‌جایی.

با توجه به رابطهٔ $\Delta U_E = -W_E$ داریم: $\Delta U_E = -(-۱/۶\times۱۰^{-۲}\,J) = ۱/۶\times۱۰^{-۲}\,J$

۱۷- در شکل زیر، ذرهٔ باردار مثبت و کوچکی را از حالت سکون، از نقطهٔ A به سمت کرهٔ باردار که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطهٔ B قرار می‌دهیم.



الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ در جابه‌جایی ذره از نقطهٔ A تا B، نیروی الکتریکی وارد بر ذرهٔ باردار در خلاف جهت جابه‌جایی است.

بنابراین طبق رابطهٔ $W_F = F_E d\cos\theta$ و این‌که $\theta = ۱۸۰^\circ$، کار نیروی الکتریکی در طی این جابه‌جایی منفی است.

ب) کاری که ما در این جابه‌جایی انجام می‌دهیم مثبت است یا منفی؟ با توجه به قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی می‌دانیم:

$$\Delta k = W_T = W_{\text{خارجی}} + W_E = ۰ \Rightarrow W_{\text{خارجی}} = -W_E$$

از آن‌جایی که W_E منفی است، نتیجه می‌گیریم که کار انجام‌شده توسط ما در طی این جابه‌جایی مثبت است: $W_{\text{خارجی}} > ۰$

پ) انرژی پتانسیل ذرهٔ باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ با توجه به رابطهٔ $\Delta U_E = -W_E$، داریم:

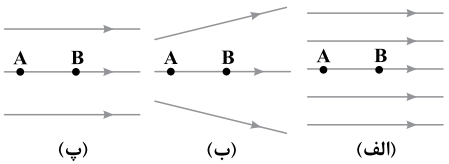
$$\Delta U_E = -W_E \xrightarrow{W_E < ۰} \Delta U_E > ۰$$

بنابراین انرژی پتانسیلی ذرهٔ باردار در طی جابه‌جایی افزایش می‌یابد.

ت) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.

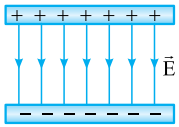
با حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد؛ بنابراین: $V_B > V_A$

۱۸- شکل مقابل، سه آرایش خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. در هر آرایش، یک پروتون از حالت سکون در نقطهٔ A رها می‌شود و سپس توسط میدان الکتریکی تا نقطهٔ B شتاب می‌گیرد. نقطه‌های A و B در هر سه آرایش در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. در کدام شکل سرعت پروتون در نقطهٔ B بیشتر است؟ توضیح دهید.



شکل الف ـ خطوط میدان الکتریکی از نقطهٔ A تا B در این شکل نسبت به دو شکل دیگر متراکم‌تر بوده و این یعنی میدان الکتریکی در این حالت قوی‌تر است؛ در نتیجه نیروی الکتریکی بیشتری در این حالت به پروتون وارد می‌شود و طبق قانون دوم نیوتون $(a = \frac{F}{m})$، پروتون در میدان شکل (الف) شتاب بیشتری پیدا می‌کند و در نتیجه با سرعت بیشتری نسبت به حالت‌های (ب) و (پ) به نقطهٔ B می‌رسد.

۱۹- دو صفحهٔ رسانا با فاصلهٔ ۲ cm را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آن‌ها را به اختلاف پتانسیل ۱۰۰ V وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به طور منفی و دیگری به طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به وجود می‌آید. اندازهٔ این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدام‌یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند؟



با استفاده از رابطهٔ $|\Delta V| = Ed$، میدان الکتریکی بین دو صفحهٔ رسانای موازی را به دست می‌آوریم:

$$d = ۲\,cm = ۲\times۱۰^{-۲}\,m \quad , \quad E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{۱۰۰\,V}{۲\times۱۰^{-۲}\,m} = ۵\times۱۰^{۳}\,V/m$$

خطوط میدان الکتریکی از صفحه با بار مثبت به سمت صفحه با بار منفی است. با حرکت در جهت خطوط میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد؛ بنابراین صفحه با بار مثبت دارای پتانسیل الکتریکی بیشتری است.

۲۰- بار الکتریکی $q = -۴۰\,nC$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۱ = -۴۰\,V$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_۲ = -۱۰\,V$ آزادانه جابه‌جا می‌شود.

الف) انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟ با توجه به رابطهٔ $\Delta U = q\Delta V$ داریم:

$$q = -۴۰\,nC = -۴۰\times۱۰^{-۹}\,C$$

$$\Delta U_E = q(V_۲ - V_۱) = (-۴۰\times۱۰^{-۹}\,C)\times\underbrace{[(-۱۰\,V) - (-۴۰\,V)]}_{۳۰\,V} = -۱/۲\times۱۰^{-۶}\,J$$

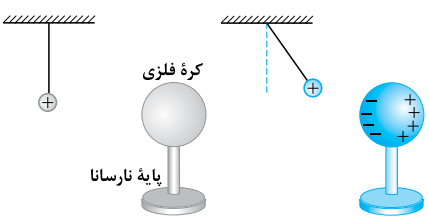
علامت منفی نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در طی این جابه‌جایی کاهش یافته است.

ب) با توجه به قانون پایستگی انرژی، در مورد چگونگی تبدیل انرژی بار q در این جابه‌جایی توضیح دهید.

طبق قانون پایستگی انرژی، با کاهش انرژی پتانسیل الکتریکی ذرهٔ باردار، انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت ذره لحظه‌به‌لحظه بیشتر می‌شود.

۱ـ۹ میدان الکتریکی در داخل رساناها

۲۱- یک کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد؟ وقتی یک جسم رسانا در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، بارهای الکتریکی روی سطح رسانا به گونه‌ای القا می‌شوند که میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود. بنابراین با نزدیک‌کردن کرهٔ فلزی خنثی به آونگ باردار، بارهای مثبت و منفی به گونه‌ای بر روی کره القا می‌شود که سطح نزدیک به آونگ دارای بار منفی و سطح دور از آن دارای بار مثبت می‌شود (مشابه شکل مقابل). از آن‌جایی که فاصلهٔ بین بارهای ناهمنام کم‌تر است، بنابراین نیروی جاذبهٔ بین آونگ و کرهٔ فلزی بیشتر می‌باشد؛ در نتیجه آونگ جذب کرهٔ فلزی شده و به سمت آن منحرف می‌شود (شکل مقابل).



۲۲- یک صفحهٔ پلاستیکی باردار (تلق یا ورق باردار) را به براده‌های ریز آلومینیمی بدون بار نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که براده‌ها به طرف صفحهٔ پلاستیکی جذب می‌شوند. علت این پدیده را توضیح دهید.

این پدیده بر اثر القای الکتریکی صورت می‌گیرد. براده‌های ریز آلومینیمی بدون بار مانند یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحهٔ پلاستیکی باردار قرار گرفته‌اند. با نزدیک‌کردن صفحهٔ پلاستیکی به براده‌ها، بارهای منفی و مثبت به گونه‌ای روی سطح براده‌های ریز توزیع می‌شوند که میدان الکتریکی درون براده‌ها صفر شود. بنابراین سمتی از براده‌ها که نزدیک به صفحهٔ پلاستیکی است دارای بار غیرهمنام با صفحهٔ پلاستیکی و سمت دیگر براده‌ها دارای بار همنام با صفحهٔ پلاستیکی می‌شود؛ در نتیجه نیروی جاذبه قوی‌تر از نیروی دافعه بوده و به همین دلیل براده‌های ریز آلومینیمی جذب صفحهٔ پلاستیکی می‌شوند.

۲۳- وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد، بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود. این بارها ممکن است موجب آسیب رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهواره‌ای در اثر عبور از یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی $q = ۲\times۱۰^{-۹}\ C$ شود. این ماهواره، مکعبی به ضلع $۴۰\ cm$ است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار بر روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود.)

بار q بر روی شش وجه ماهوارهٔ مکعبی‌شکل پخش شده است. بنابراین چگالی سطحی بار روی این ماهواره برابر است با:

$$a = ۴۰\ cm = ۰/۴\ m$$

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{۶a^۲} = \frac{۲\times۱۰^{-۹}\ C}{۶\times(۰/۴\ m)^۲} \simeq ۲/۰۸۳\times۱۰^{-۹}\ C/m^۲$$

۱ـ۱۰ خازن

۲۴- اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هر یک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می‌کند؟

الف) بار آن دو برابر شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

ظرفیت خازن فقط به مشخصات ساختمانی آن (مانند فاصلهٔ صفحات خازن، سطح مقطع صفحات خازن و عایق درون خازن) بستگی دارد؛ بنابراین با دو برابر کردن بار الکتریکی خازن (تغییر الف) و یا سه برابر کردن اختلاف پتانسیل دو سر آن (تغییر ب)، ظرفیت خازن تغییری نمی‌کند.

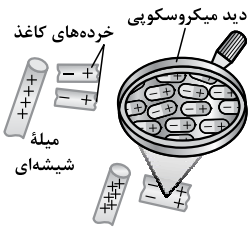
۲۵- اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ یک خازن را از ۲۸ ولت به ۴۰ ولت افزایش دهیم. اگر با این کار ۱۵ میکروکولن بر بار ذخیره‌شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

با توجه به رابطهٔ $Q = CV$ و ثابت‌بودن ظرفیت خازن، در صورت تغییر ولتاژ دو سر خازن داریم:

$$Q_۲ - Q_۱ = CV_۲ - CV_۱ \Rightarrow \Delta Q = C\Delta V \Rightarrow (۱۵\times۱۰^{-۶}\ C) = C(۴۰\ V - ۲۸\ V) \Rightarrow C = ۱/۲۵\times۱۰^{-۶}\ F = ۱/۲۵\ \mu F$$

۱ـ۱۱ خازن با دی‌الکتریک

۲۶- بادکنک باردار شکل روبه‌رو را به آب نزدیک کرده‌ایم. توضیح دهید چرا آب به جای این‌که به طور قائم فرو ریزد، خمیده می‌شود؟وقتی بادکنک باردار را به باریکهٔ آب نزدیک می‌کنیم، مولکول‌های دوقطبی آب با میدان الکتریکی خارجی (میدان ایجادشده توسط بادکنک) هم‌سو می‌شوند. به طور مثال اگر بادکنک دارای بار منفی باشد، آن‌گاه سر مثبت مولکول‌های دوقطبی آب در برابر بادکنک قرار می‌گیرد. با توجه به فاصلهٔ کم‌تر سرهای مثبت نسبت به سرهای منفی هر مولکول آب تا بادکنک که بارش منفی است، نیروی جاذبهٔ بین بادکنک و مولکول‌های آب قوی‌تر از نیروی دافعه است؛ به همین دلیل بادکنک باردار، باریکهٔ آب را به سمت خود جذب می‌کند.



۲۷- با توجه به شکل روبه‌رو، توضیح دهید چرا یک میلهٔ باردار، خرده‌های کاغذ را می‌رباید؟

با نزدیک‌کردن میلهٔ شیشه‌ای باردار به خرده‌های کاغذ، میدان الکتریکی خارجی (میدان ایجادشده توسط میلهٔ شیشه‌ای) باعث می‌شود مرکز بارهای مثبت و منفی اتم‌ها و مولکول‌های خرده‌های کاغذ از هم جدا شده و مولکول‌های کاغذ قطبیده شوند. از آن‌جایی که فاصلهٔ بارهای مثبت میلهٔ شیشه‌ای تا بارهای منفی خرده‌های کاغذ کم‌تر از بارهای مثبت آن است، بنابراین نیروی جاذبهٔ بین خرده‌های کاغذ و میلهٔ شیشه‌ای قوی‌تر از نیروی دافعه است؛ به همین دلیل خرده‌های کاغذ توسط میلهٔ شیشه‌ای جذب می‌شوند.

۲۸- ظرفیت یک خازن تخت با فاصلهٔ صفحات $۱\ mm$ که بین صفحه‌های آن هوا قرار دارد، برابر $۱\ F$ است. مساحت صفحه‌های این خازن چه‌قدر است؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

$$d = ۱\ mm = ۱۰^{-۳}\ m$$

با توجه به رابطهٔ ظرفیت خازن $C = \kappa\varepsilon_۰\frac{A}{d}$ داریم: $A \simeq ۱/۱۳\times۱۰^{۸}\ m^۲ \Leftarrow ۱\ F = ۱\times(۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\frac{C^۲}{N.m^۲})\times\frac{A}{۱۰^{-۳}\ m}$

این مساحت متناظر با مساحت مربعی به ضلع حدوداً $۱۰\ km$ است و ساخت چنین خازنی عملاً امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین $۱\ F$ ظرفیت بسیار بزرگی برای یک خازن به شمار می‌رود.

۲۹- یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، در حالی که باتری هم‌چنان به خازن متصل است، فاصلهٔ بین صفحه‌های خازن را دو برابر می‌کنیم. کدام‌یک از موارد زیر درست است؟

الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

پ) ظرفیت خازن دو برابر می‌شود.

ت) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

تنها مورد (الف) درست است.

خازن به باتری متصل است؛ بنابراین اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های خازن با تغییر فاصلهٔ بین صفحات تغییری نمی‌کند (نادرستی مورد (ب)).

طبق رابطهٔ $E = \frac{V}{d}$، با دو برابر شدن فاصلهٔ بین صفحات خازن (d) و ثابت‌ماندن اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن (V)، می‌توانیم نتیجه بگیریم که میدان میان صفحات خازن نصف می‌شود (درستی مورد (الف)).

با توجه به رابطهٔ ظرفیت خازن $C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d}$، با دو برابر شدن فاصلهٔ بین صفحات خازن (d)، ظرفیت آن نصف می‌شود (نادرستی مورد (پ)).

طبق رابطهٔ $Q = CV$ و با ثابت‌ماندن اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن و نصف‌شدن ظرفیت (C)، بار ذخیره‌شده بر روی صفحه‌های خازن نیز نصف می‌شود (نادرستی مورد (ت)).

۳۰- مساحت هر یک از صفحه‌های خازن تختی، $1\,m^2$ و فاصلهٔ دو صفحه از هم، $500/0\,mm$ است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک $4/9$ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

$d = 0/5\,mm = 5\times10^{-4}\,m$

با توجه به رابطهٔ $C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d}$، داریم:

$$C = (4/9)(8/85\times10^{-12}\,\frac{C^2}{N.m^2})\frac{(1\,m^2)}{(5\times10^{-4}\,m)} = 8/67\times10^{-8}\,F \simeq 87\,nF$$

۱ـ۱۲ انرژی خازن

۳۱- دو صفحهٔ خازن تخت باردار را به هم وصل می‌کنیم. در نتیجه جرقه‌ای زده می‌شود. حال اگر دوباره صفحات را به همان اندازه باردار کنیم ولی فاصلهٔ آن‌ها را دو برابر کنیم و سپس دو صفحه را به هم وصل کنیم، آیا جرقهٔ حاصل بزرگ‌تر از قبل می‌شود یا کوچک‌تر و یا تغییری نمی‌کند؟ توضیح دهید. هر چه قدر انرژی ذخیره‌شده در خازنی بیشتر باشد، با وصل‌کردن دو صفحهٔ خازن به هم جرقهٔ پرانرژی‌تر و بزرگ‌تری زده می‌شود. با توجه به رابطهٔ انرژی ذخیره‌شده در خازن $U = \frac{Q^2}{2C}$ و رابطهٔ ظرفیت خازن $C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d}$، اگر فاصلهٔ بین صفحات خازن را دو برابر کنیم، آن‌گاه داریم:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} = 2$$

با توجه به یکسان‌بودن بار ذخیره‌شده در خازن و دو برابر شدن فاصلهٔ بین صفحات آن، انرژی خازن در حالت جدید دو برابر حالت اولیه می‌شود؛ بنابراین جرقهٔ حاصل از تخلیهٔ الکتریکی در حالت جدید بزرگ‌تر از حالت اولیه است.

۳۲- ظرفیت خازنی ۱۲ میکروفاراد و بار الکتریکی آن q است. اگر $+3\,mC$ بار الکتریکی را از صفحهٔ منفی جدا کرده و به صفحهٔ مثبت منتقل کنیم، انرژی ذخیره‌شده در خازن به اندازهٔ $8\,J$ زیاد می‌شود. q را محاسبه کنید. اگر $\Delta q = +3\,mC$ بار الکتریکی را از صفحهٔ منفی خازن جدا کنیم و به صفحهٔ مثبت آن منتقل کنیم، بار الکتریکی خازن برابر با $q + \Delta q$ می‌شود.

با توجه به رابطهٔ انرژی ذخیره‌شده در خازن $U = \frac{q^2}{2C}$، داریم:

$$q_1 = q \Rightarrow U_1 = \frac{q^2}{2C} \quad , \quad q_2 = q + \Delta q \Rightarrow U_2 = \frac{(q+\Delta q)^2}{2C}$$

انرژی خازن در حالت جدید ۸ ژول نسبت به حالت اولیه افزایش می‌یابد؛ یعنی داریم:

$$U_2 - U_1 = \frac{(q+\Delta q)^2}{2C} - \frac{q^2}{2C} = 8\,J \Rightarrow \frac{1}{2C}(\cancel{q^2} + \Delta q^2 + 2q\Delta q - \cancel{q^2}) = 8\,J \quad , \quad \Delta q = 3\times10^{-3}\,C$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2(12\times10^{-6}\,F)}[(3\times10^{-3}\,C)^2 + 2q(3\times10^{-3}\,C)] = 8 \Rightarrow q \simeq 3/05\times10^{-2}\,C = 30/5\,mC$$

سوالات امتحانی

۱ کلمهٔ مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید. (۰/۷۵)

الف) طبق اصل (کوانتیده‌بودن ـ پایستگی) بار، مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است.

ب) در تعادل الکتروستاتیکی، (میدان ـ پتانسیل) الکتریکی در داخل رسانای منزوی همواره صفر است.

پ) ظرفیت خازن به ولتاژ دو سر آن بستگی (دارد ـ ندارد).

۲ درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید. (۰/۷۵)

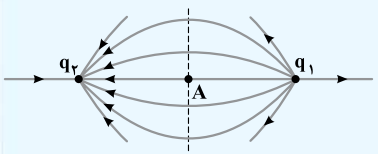
الف) اگر خطوط میدان موازی باشند، میدان یکنواخت است.

ب) بار الکتریکی در ماده همواره کمیتی پیوسته است که نمی‌تواند کم‌تر از بار الکتریکی پایه باشد.

پ) خطوط میدان الکتریکی نمی‌توانند یکدیگر را قطع نمی‌کنند.

۳ با ذکر دلیل بگویید، اگر یک میلهٔ فلزی خنثی را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ بارداری نزدیک کنیم، برای ورقه‌های الکتروسکوپ چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ (۰/۵)

۴ خط‌های میدان الکتریکی ناشی از دو ذرهٔ باردار q_1 و q_2 مطابق شکل است: (۰/۷۵)



الف) نوع بار الکتریکی q_1 را تعیین کنید.

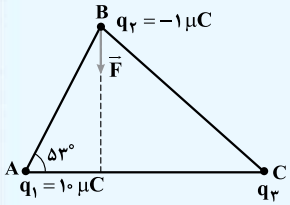
ب) اندازهٔ بار الکتریکی دو ذره را با یکدیگر مقایسه کنید.

پ) اگر بار الکتریکی مثبت در نقطهٔ A قرار گیرد، جهت نیروی الکتریکی وارد بر آن را با رسم شکل نشان دهید.

۵ گزینهٔ درست را انتخاب کنید. (۱)

الف) در مثلث قائم‌الزاویهٔ شکل مقابل، نیروی برایند وارد بر بار $q_2 = 1\,\mu C$ از طرف دو بار دیگر نشان داده شده است. اندازهٔ $\vec{F}$ چند نیوتون است؟

$(k = 9\times10^9\ \frac{N.m}{C^2},\ \sin53^\circ = 0/8,\ AC = 10\ cm)$



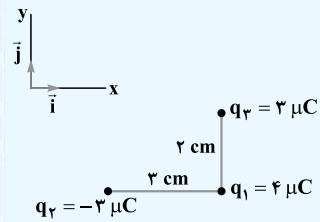
۱) $\frac{125}{3}$ ۲) $\frac{125}{4}$ ۳) ۵۰۰ ۴) ۲۵۰

ب) یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. بدون جداکردن خازن از باتری، فاصلهٔ بین صفحه‌های آن را سه برابر می‌کنیم. در این حالت کدام‌یک از گزینه‌های زیر درست است؟

۱) انرژی خازن تغییر نمی‌کند. ۲) ظرفیت خازن سه برابر می‌شود.

۳) میدان الکتریکی میان صفحه‌های خازن تغییر نمی‌کند. ۴) بار الکتریکی روی هر یک از صفحه‌های خازن $\frac{1}{3}$ برابر می‌شود.

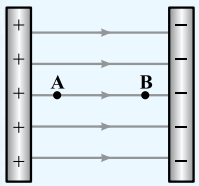
۶ مطابق شکل، سه بار الکتریکی نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای قرار دارند. برایند نیروهای وارد بر بار q_1 را برحسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ دستگاه مختصات نشان داده شده در شکل بنویسید. (۱/۲۵)



۷ مطابق شکل، یک غبار که دارای بار الکتریکی $1\times10^{-15}\ C$ و جرم $1\times10^{-8}\ g$ است، در میدان الکتریکی یکنواخت $1/2\times10^5\ N/C$ بین دو صفحهٔ افقی قرار گرفته است. اگر در ابتدا ساکن و در نقطهٔ A به فاصلهٔ $4\ cm$ از صفحهٔ بالایی قرار داشته باشد، شتاب حرکت غبار را تا رسیدن به صفحهٔ بالایی حساب کنید. $(g = 10\ N/kg)$ (۱/۵)

۸ در میدان الکتریکی یکنواخت نشان داده شده در شکل، بار الکتریکی $q = +2\times10^{-15}\ C$ از نقطهٔ A تا نقطهٔ B جابه‌جا می‌شود. (۱/۲۵)

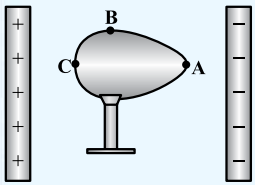
$(E = 1/2\times10^5\ N/C, AB = 4\times10^{-2}\ m)$



الف) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار را در این جابه‌جایی محاسبه کنید.

ب) با جابه‌جایی از نقطهٔ A تا نقطهٔ B پتانسیل الکتریکی چگونه تغییر می‌کند؟

۹ در شکل مقابل، جسم رسانای منزوی و خنثی که روی پایهٔ عایقی قرار دارد؛ بین دو صفحهٔ رسانای باردار موازی، در تعادل الکتروستاتیکی قرار دارد. (۰/۵)



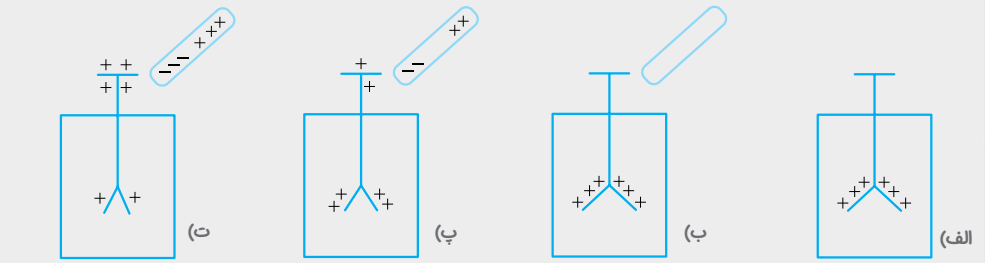
الف) میدان الکتریکی خالص درون جسم رسانا چه‌قدر است؟

ب) پتانسیل الکتریکی نقاط A، B و C را با یکدیگر مقایسه کنید.

۱۰ ظرفیت خازنی $12\ \mu F$ و بار الکتریکی آن Q است. اگر $+3\ mC$ بار الکتریکی را از صفحهٔ منفی جدا و به صفحهٔ مثبت منتقل کنیم، انرژی ذخیره‌شده در خازن به اندازهٔ $8\ J$ زیاد می‌شود. Q را محاسبه کنید. (۱/۷۵)

پاسخ سوالات امتحانی

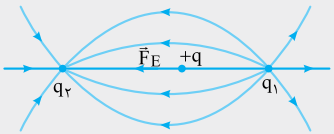
۱ الف) پایستگی / ب) میدان / پ) ندارد. ۲ الف) نادرست ـ در صورتی میدان الکتریکی یکنواخت است که علاوه بر موازی‌بودن خطوط میدان الکتریکی، فاصلهٔ بین خطوط میدان الکتریکی با هم برابر باشد. / ب) نادرست ـ بار الکتریکی کمیت کوانتیده است و همیشه مضرب صحیحی از بار پایه است. / پ) درست ۳ چون الکتروسکوپ باردار است، وقتی یک میلهٔ خنثی را به آرامی به کلاهک نزدیک می‌کنیم، در میله بار مخالف القا می‌شود؛ از این‌رو بارهای الکتروسکوپ توسط میله جذب می‌شوند. با جذب بار توسط میله، بارهای روی ورقه‌ها به روی کلاهک می‌آیند و ورقه‌ها به تدریج بسته می‌شوند.



۴ **الف)** مثبت ـ چون خطوط میدان الکتریکی از بار q_1 خارج شده است.

ب) چون خطوط میدان متقارن است، اندازهٔ بارها مساوی است.

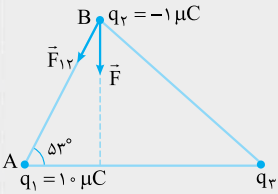
پ) نیروی وارد بر بار $+q$ مطابق شکل روبه‌رو است.



۵ **الف)** گزینهٔ «۲»: ابتدا در مثلث قائم‌الزاویهٔ ABC طول ضلع AB را به دست می‌آوریم:

$$\cos 53^\circ = \frac{AB}{AC} \xrightarrow[\cos 53^\circ = 0/6]{AC = 10\,cm} \frac{6}{10} = \frac{AB}{10} \Rightarrow AB = 6\,cm$$

اکنون نیرویی که از طرف بار q_1 بر بار q_2 وارد می‌شود را رسم نموده و اندازهٔ آن را با استفاده



از رابطهٔ $F = \frac{9\times10^9\,|q_1||q_2|}{r^2}$ به دست می‌آوریم.

در این رابطه باید q_1 و q_2 برحسب μC و r برحسب cm باشد.

$$F_{12} = \frac{k\,|q_1||q_2|}{r_{12}^2} \Rightarrow F_{12} = \frac{9\times10^9\times10\times10^{-6}\times10^{-6}}{36\times10^{-4}} = 25\,N$$

در آخر با داشتن F_{12}، برای مثلث فوق می‌توان نوشت:

$$\cos 37^\circ = \frac{F_{12}}{F} \xrightarrow[F_{12}=25]{\cos 37^\circ = \frac{8}{10}} \frac{8}{10} = \frac{25}{F} \Rightarrow F = \frac{125}{4}\,N$$

ب) گزینهٔ «۴»: وقتی خازن به باتری وصل باشد، اختلاف پتانسیل آن ثابت می‌ماند، اما وقتی فاصلهٔ بین صفحه‌های خازن سه برابر شود، طبق رابطهٔ $C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d}$ ظرفیت آن، $\frac{1}{3}$ برابر خواهد شد. بنابراین با دانستن تغییرات V و C به بررسی هر یک از گزینه‌ها می‌پردازیم.

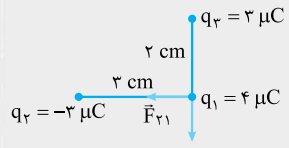
گزینهٔ (۱): نادرست است ـ چون V ثابت و $C_2 = \frac{1}{3}C_1$ است؛ طبق رابطهٔ $U = \frac{1}{2}CV^2$، انرژی خازن نیز $\frac{1}{3}$ برابر می‌شود.

گزینهٔ (۲): نادرست است ـ همان‌طور که در بالا توضیح داده شده است، ظرفیت خازن $\frac{1}{3}$ برابر می‌شود.

گزینهٔ (۳): نادرست است ـ طبق رابطهٔ $E = \frac{|\Delta V|}{d}$، چون $|\Delta V|$ ثابت و d سه برابر شده است، میدان الکتریکی بین صفحات خازن $\frac{1}{3}$ برابر خواهد شد.

گزینهٔ (۴): درست است ـ چون V ثابت و $C_2 = \frac{1}{3}C_1$ است، طبق رابطهٔ $Q = CV$، بار الکتریکی نیز $\frac{1}{3}$ برابر خواهد شد.

۶ ابتدا جهت نیروهای وارد بر بار q_1 را تعیین می‌کنیم:



حالا نیروی $\vec{F}_{21}$ را به دست می‌آوریم:

$$\vec{F}_{21} = k\frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2}(-\vec{i}) = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\frac{(3\times10^{-6}\,C)(4\times10^{-6}\,C)}{(3\times10^{-2}\,m)^2}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{21} = (-120\,N)\vec{i}$$

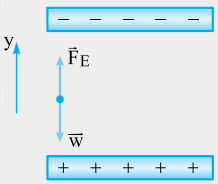
سپس نیروی $\vec{F}_{31}$ را به دست می‌آوریم:

$$\vec{F}_{31} = k\frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2}(-\vec{j}) = (9\times10^9\,\frac{N.m^2}{C^2})\frac{(3\times10^{-6}\,C)(4\times10^{-6}\,C)}{(2\times10^{-2}\,m)^2} \Rightarrow \vec{F}_{31} = -270\,N\vec{i}$$

براساس اصل برهم‌نهی داریم:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = (-120\,N)\vec{i} + (-270\,N)\vec{j}$$

۷ مطابق با آن‌چه در علوم نهم یاد گرفته‌ایم، نیروی خالصی که به جسمی به جرم m، شتاب $\vec{a}$ می‌دهد برابر است با $m\vec{a}$. مطابق شکل مقابل دو نیروی الکتریکی و وزن به غبار وارد می‌شود،



پس داریم:

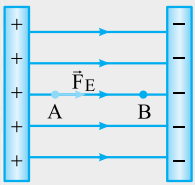
$$\vec{F}_E + \vec{W} = m\vec{a} \Rightarrow qE - mg = ma$$

$$\Rightarrow (1\times10^{-15}\,C)\times(1/2\times10^5\,\frac{N}{C}) - (10^{-8}\times10^{-3}\,kg)\,(10\,\frac{N}{kg}) = (10^{-11}\,kg)\times a$$

$$\Rightarrow 1/2\times10^{-10}\,N - 10^{-10}\,N = (10^{-11}\,kg)\times a$$

$$\Rightarrow 0/2\times10^{-10}\,N = (10^{-11}\,kg)\times a \Rightarrow a = 2\,m/s^2$$

۸ **الف)** به بار مثبت در جهت میدان الکتریکی نیرو وارد می‌شود، پس مطابق شکل مقابل زاویهٔ بین نیرو و جابه‌جایی صفر است و داریم:



$$d = ۴\times۱۰^{-۲}\ m$$

$$\Delta U_E = -|q|Ed\cos\theta = -(۲\times۱۰^{-۱۵}\ C)\times(۱/۲\times۱۰^{۵}\ \frac{N}{C})\times(۴\times۱۰^{-۲}\ m)\times\cos۰$$

$$= -۹/۶\times۱۰^{-۱۲}\ J$$

ب) با استفاده از رابطهٔ $\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$ به راحتی می‌توانیم تغییرات پتانسیل الکتریکی بین نقاط A و B را به دست آوریم:

$$\Delta V_{A\to B} = V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-۹/۶\times۱۰^{-۱۲}\ J}{۲\times۱۰^{-۱۵}} = -۴/۸\times۱۰^{۳} = -۴۸۰۰\ V$$

یعنی پتانسیل الکتریکی ۴۸۰۰ ولت کاهش می‌یابد.

۹ **الف)** میدان الکتریکی داخل یک رسانا که از اطراف خودش با عایق جدا شده است (رسانای منزوی)، صفر است. $E = ۰$

ب) پتانسیل نقاط مختلف یک رسانای منزوی با هم برابر است. $V_A = V_B = V_C$

۱۰ Q را برحسب میلی‌کولن در نظر می‌گیریم و هر چه‌قدر که آن را به دست آوردیم برحسب میلی‌کولن بیان می‌کنیم. پس در حالت اول بار الکتریکی برابر است با: $Q_۱ = Q\times۱۰^{-۳}\ C$

$۱۰^{-۳}$ را برای تبدیل‌کردن میلی‌کولن به کولن استفاده کردیم، بار در حالت دوم نیز برابر است با: $Q_۲ = (Q+۳)\times۱۰^{-۳}\ C$

حال انرژی ذخیره‌شده در خازن را در هر حالت محاسبه می‌کنیم:

$$U_۱ = \frac{۱}{۲}\frac{Q_۱^۲}{C} = \frac{۱}{۲}\frac{(Q\times۱۰^{-۳})^۲}{۱۲\times۱۰^{-۶}} = \frac{Q^۲\times۱۰^{-۶}}{۲۴\times۱۰^{-۶}} \Rightarrow U_۱ = \frac{Q^۲}{۲۴}$$

$$U_۲ = \frac{۱}{۲}\frac{Q_۲^۲}{C} = \frac{۱}{۲}\frac{((Q+۳)\times۱۰^{-۳})^۲}{۱۲\times۱۰^{-۶}} = \frac{(Q^۲+۶Q+۹)\times۱۰^{-۶}}{۲۴\times۱۰^{-۶}} \Rightarrow U_۲ = \frac{Q^۲+۶Q+۹}{۲۴}$$

حال $U_۱$ را از $U_۲$ کم می‌کنیم و برابر با ۸ ژول قرار می‌دهیم:

$$U_۲ - U_۱ = ۸\ J \Rightarrow \frac{Q^۲+۶Q+۹}{۲۴} - \frac{Q^۲}{۲۴} = ۸ \Rightarrow \frac{۶Q+۹}{۲۴} = ۸ \Rightarrow \frac{۲Q+۳}{۸} = ۸ \Rightarrow ۲Q+۳ = ۶۴ \Rightarrow Q = ۳۰/۵\ mC$$

فصل دوم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

درس‌نامه

جریان الکتریکی

در رساناها الکترون‌های آزاد به طور کاتوره‌ای در حال حرکت هستند. اگر به دو طرف یک رسانا اختلاف پتانسیل اعمال کنیم، الکترون‌ها با تغییر حرکت کاتوره‌ای خود، با سرعت بسیار کمی موسوم به سرعت سوق در خلاف جهت میدان الکتریکی شروع به حرکت می‌کنند. در این حالت جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. جهت جریان الکتریکی بنا به قرارداد:

۱ در جهت میدان الکتریکی، ۲ در جهت کاهش پتانسیل الکتریکی، ۳ در خلاف جهت سرعت سوق الکترون‌ها است.

جریان الکتریکی متوسط: به نسبت بار خالص عبوری از مقطع رسانا (Δq) به مدت زمان عبور بار (Δt)، جریان الکتریکی متوسط می‌گوییم. جریان الکتریکی را با I نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، کولن بر ثانیه است که آمپر (A) نامیده می‌شود.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

مثال **اگر از مقطع یک سیم رسانا تا لحظات ۱۰ s و ۷۰ s به ترتیب ۵ C و ۲۰ C بار الکتریکی عبور کند، جریان الکتریکی متوسط عبوری از این سیم چند آمپر است؟**

پاسخ

$q_۱ = ۵\ C\ ,\ q_۲ = ۲۰\ C$

با استفاده از رابطهٔ بالا می‌توان جریان الکتریکی متوسط عبوری از سیم را به دست آورد:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q_۲ - q_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{۲۰\ C - ۵\ C}{۷۰\ s - ۱۰\ s} = \frac{۱۵\ C}{۶۰\ s} = ۰/۲۵\ A$$

مقاومت الکتریکی: به نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا به جریان الکتریکی عبوری از آن، مقاومت الکتریکی می‌گوییم. مقاومت الکتریکی را با R نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، اهم (Ω) است.

$$R = \frac{V}{I}$$