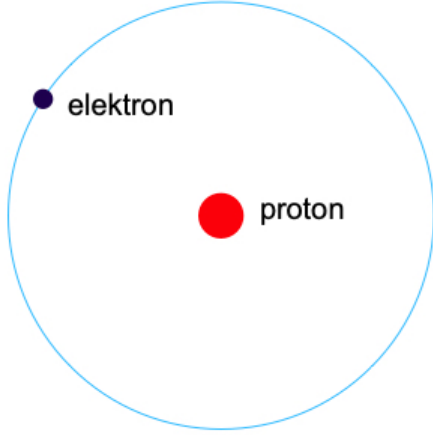


BÖLÜM 3.1

ELEKTRİK YÜKÜ ve ELEKTRİK ALANI



Elektriksel olarak nötr olan normal hidrojen atomu, çekirdeğinde sadece bir pozitif yüklü proton ve Coulomb kuvveti tarafından çekirdeğe bağlanan sadece bir negatif yüklü elektron içerir.

Sizce

Elektrik yükü nedir ve kaç çeşit elektrik yükü vardır?

Bölümün Hedefi

Elektrik yükünü tanıtmak, elektriksel etkileşmelerin nasıl olduğuyla ilgili bağlantıları çıkarmak ve elektriksel alanı anlatmak.

İÇİNDEKİLER

- 3.1.1 Giriş
- 3.1.2 Elektrik Yükü
- 3.1.3 Yalıtkanlar, İletkenler, Yarı İletkenler ve Tesirle Yüklenme
- 3.1.4 Coulomb Yasası
- 3.1.5 Elektrik Alan
- 3.1.6 Sürekli Yük Dağılımlarının Elektrik Alanı
- 3.1.7 Elektrik Alan Çizgileri
- 3.1.8 Elektrik Dipoller
- 3.1.9 Yüklü Parçacıkların Düzgün Bir Elektrik Alanda Hareketleri

Seçmeli Kısımlar

- 3.1.10 Katot Işını Tüpü

Özet

Tanımlar

Değerlendirme Soruları

Problemler

3.1.1 Giriş

Bilimin en büyük hedefi, hayatı kolay ve konforlu hâle getirerek tüm canlı ve hatta cansız varlıklara hizmet etmektir.

Elektrik akımı ve elektrikli aletlerin varlığı elektrik yükünün varlığına bağlıdır. İnsanoğlunun milattan önceki 6. asırda elektrik yükünden haberdar olduğu ve bazı elektrik olaylarının farkında olduğu bilinse de, elektrikle ilgili ilk ciddi sayılabilecek çalışmaların Benjamin Franklin (1706-1790) tarafından yapıldığını söyleyebiliriz.

Elektriğin ve elektriksel olayların en temel elemanı olan elektronun keşfi 1897 yılında J.J. Thomson tarafından yapıldı. Daha sonraki yıllarda, elektronların atomun ve moleküllerin, kısacası maddenin yapısında nasıl yer aldığı ve hangi işlevleri yerine getirdiği ile ilgili önemli ve geniş çapta çalışmalar yapılmıştır.

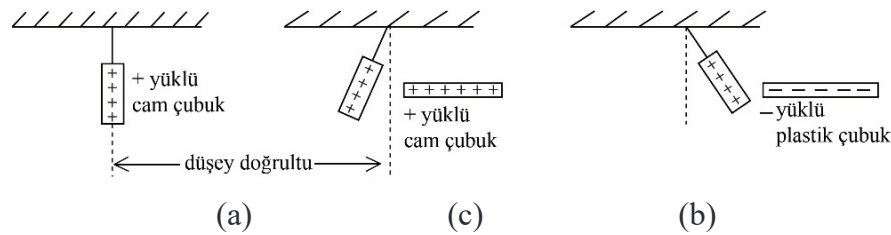
Mikroskopik fizik âleminde mevcut elektriksel kuvvetler gibi, günlük hayatımızda (yani makroskopik fizik âleminde) mevcut sürtünme kuvveti, normal kuvvet vb. kuvvetlerin elektriksel mahiyette olduğunu biliyoruz. Yani elektrik yükü, fizik âlemindeki varlıklar için kütleye gibi çok önemli bir fiziksel niceliktir. Elektrik yüklü makroskopik cisimlerin incelenmesi de ilginçtir. Elektrik yükünü, elektriksel olayları ve bu olaylar esasında yapılmış olan bazı sistemleri bu bölümde en temel hâliyle inceleyeceğiz.

3.1.2 Elektrik Yükü

Saçınıza sürdüğünüz plastik bir tarağın çok küçük kâğıt parçalarını çektiğini tecrübe etmişsinizdir. Ayağınızı halıya sürterek gidip çelik bir kapının koluna dokunduğunuzda, bazı otomobillerde seyahat sonrası inerken elinizi kapı koluna dokundurduğunuzda da küçük elektrik çarpmaları yaşamışsınızdır. Bu tür elektrikleşmeler, maddenin bir özelliği olan elektrik yükünün sürtünmeyle bir cisimden diğerine geçmesi neticesinde oluşmakta ve **sürtünmeyle elektrikleşme** olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde, bir kürke sürülmüş sert iki lastik çubuktan birini yalıtkan bir sicimle bir yerden asıp diğerini ona yaklaştırdığınızda bunların birbirini ittiğini görürsünüz. Bu deneyi ipeğe sürülmüş iki cam çubukla yaparsanız, cam çubukların da birbirini ittiğini görürsünüz. Fakat deneyi, yukarıda anlatıldığı şekilde yüklenmiş olan bir plastik ve bir cam çubuk kullanarak yaparsanız plastik ve cam çubukların birbirini çektiklerini görürsünüz.

Yukarıdaki deneylerden iki önemli sonuç çıkarılabilir: i) İki çeşit yük vardır; ii) aynı cins yükler birbirini itmekte fakat ayrı cins yükler birbirini çekmektedir.

Plastik ve cam çubuklardaki bu yüklere, anlaşmalı olarak sırasıyla – ve + yükler denilmiştir.



Şekil 3.1.1(a) Nötr bir cisim bir başka nötr cisimle elektriksel etkileşimde bulunamaz. (b) Aynı işaretli yükler birbirini iter, (c) zıt işaretli yükler birbirini çeker.

Kavrama Sorusu 3.1.1

Şekil 3.1.1'de verilen tüm yüklü cisimlerin yükleri zıt işaretli olacak şekilde değiştirilse etkileşme sonuçları değişir mi? Neden?

Kavrama Sorusu 3.1.2

Şekil 3.1.1'in alt yazısında verilen bilgilerden yararlanılarak elektrik yükünün cinsi ve miktarını ölçen bir alet yapılabilir mi? Nasıl?

Sinama Sorusu 3.1.1 Birbirinden farklı miktarda olan zıt işaretli iki yükten, a) büyük olan küçük olanı daha büyük bir kuvvetle, b) ikisi de birbirini eşit kuvvetle çeker cümlelerinden hangisi doğrudur?

Sinama Sorusu 3.1.2 Demir ve bakır gibi elektriği ileten çubuklara da sürtünmeyle elektrik yüklenebilir mi? Nasıl?

Yüklü atom-altı parçacıklara, elektron almış ya da vermiş (nötr olmayan) atomlara ve moleküllere **iyon** denir. Atomlar ve moleküller elektrona isteği-ihitiyac (elektron herisliğı) daha fazla olan atom veya moleküllere elektronlarını verme ya da isteksizlerden elektron alma eğilimindedirler. Ayrıca, atom ve moleküller başka etkileşmelerle de elektron kaybedip-kazanabilirler. Bu iki yoldan da atomlar ve moleküller nötr yapıdan çıkıp iyon yapısına geçmiş olurlar. Duman algılayıcılar, spektrum alma sistemlerinin sayaçları gibi birçok sistemlerin büyük ekseriyeti iyonlaşma esasına göre çalışırlar.

Nötr sistemlerde ise – yüklerle + yüklerin sayıları birbirine eşittir.

Plastik veya cam çubuktaki elektrik yükleri yoktan var edilmemiş olduğu gibi vardan da yok edilemezler; fakat bir maddeden diğerine geçebilirler. Yükün yoktan var ve vardan yok edilememesine **elektrik yükünün korunumluluğı** denir.

Sürtünmeyle elektriklenmede, diğer elektriklenmelerde de olduğu gibi, bir cins yük bir cisimden diğerine geçerek geride bıraktığı cismin zıt işaretli yük ile yüklenmesine, vardığı cismin ise kendi yükü ile yüklenmesine sebep olur.

R. Millikan herhangi bir elektrik yükünün, daima bir temel q yükünün tam katlarına eşit olduğunu keşfetti. Demek ki, herhangi bir Q yükü, n bir tamsayı olmak üzere,

$$Q = nq \quad (3.1.1)$$

şeklinde olabilir. n tamsayı olduğuna göre Q yükü, $1q, 2q, 3q$ gibi q 'nün tam katı olan değerler alır; fakat (birkaç istisna dışında¹) $1,2q, 2,5q, 3,8q$ gibi ara veya kesirli değerler alamaz. Q 'nün bu durumuna **yükün kuantumluluğu** denir. İlâveten yapılan başka deneyler elektronun yükünün temel yük olan $-e$ 'ye, protonunkinin ise $+e$ 'ye eşit olduğunu göstermiştir. Kuarklar haricindeki diğer tüm yükler bunların tam katlarından elde edilmektedir.

Elektrik yükünün SI birimler sistemindeki birimi Coulomb'dur ve C ile gösterilir. $1 C, 6,25 \times 10^{18}$ elektron (veya proton) yükünün büyüklüğüne eşittir.

3.1.3 Yalıtkanlar, İletkenler, Yarı İletkenler ve Tesirle Yüklenme

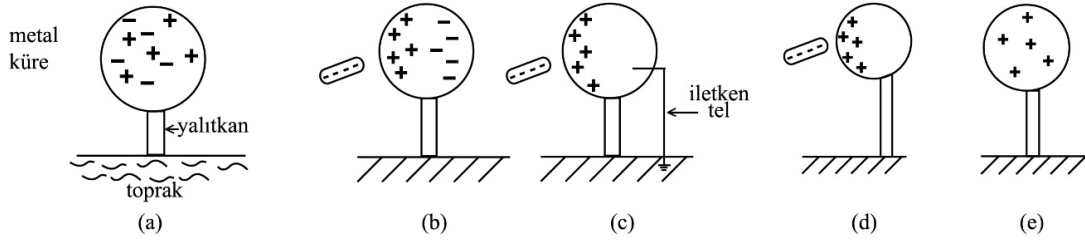
Maddelerin elektrik yükünü iletme özellikleri farklı farklıdır. Bu durum maddenin atom ve moleküllerinin valans (nispeten gevşekçe bağlı dış) elektronlarıyla izah edilebilmektedir.

Plastik, cam ve kuru kâğıt gibi birçok madde, dış elektronları (valans) atom veya moleküllerine sıkıca bağlı olduğundan, içindeki yükün serbestçe hareketine kolayca izin vermez. Bu tür maddelere **elektiriksel yalıtkan maddeler** denir. Bakır, demir ve alüminyum gibi maddeler ise, dış (valans) elektronları atom veya moleküllerine nispeten çok gevşekçe bağlı olduğundan, içlerindeki elektrik yükünün bir yerden başka bir yere hareketine kolayca izin verirler. Bu gibi maddelere **elektiriksel iletken maddeler** denir. Elektrik yükünü iletme özellikleri yalıtkan ve iletken maddelerinkilerin arasında olan üçüncü grupta maddeler de vardır. Bunlara **yarı iletken maddeler** denir. Silisyum, germanyum, gadolinyum, indiyum-antimonit ve galyum-arsenit gibi maddeler yarı iletkenlerdir. Bunlardaki taşıyıcı veya "serbest" elektron yoğunluğu metallerdekinin çok küçük bir kesri kadardır. Bunun da ötesinde, bunlardaki serbest taşıyıcı yoğunluğu sıcaklığa ve olabilecek kirlilik (veya katkı) miktarına da bağlıdır. Farklı tipleri seçilerek ve kirlilik oranları ayarlanılarak istenilen elektiriksel özelliklerde yarı iletkenler elde edilebilmektedir ki bunlar elektronik uygulamalarda yaygınca kullanılmaktadır.

Bir iletken, iletken bir telle toprağa bağlanırsa, bu bağlantıya **topraklama** denir. Yerküre elektrik yüklerinin kolayca gidebileceği sonsuz bir depo gibi düşünülebilir.

Tesirle (indüksiyonla) yüklenmeyi anlamak için iletken nötr bir küreyi göz önüne alalım (Şekil 3.1.2). Nötr küreye – yüklü ama yalıtılmış bir cisim (diyelim bir başka çubuk) yaklaştırılırsa, şeklin b şıkında görüldüğü gibi yüklerin homojen dağılımı bozulur. Bu durumdaki küreyi bir yerinden bir iletkenle toprağa bağlarsak – yükler kolayca toprağa akar.

¹Bağlı kuarklardan yukarı, charm (sihirli, çekici) ve top (üst) kuarkların elektron yükünün $+\frac{2}{3}$ katı, down (aşağı), strange (acayip) ve alt kuarkların elektron yükünün $-\frac{1}{3}$ katı bir yüke sahip olduklarına dair kuvvetli deneysel deliller mevcuttur. Fakat bunları serbest hâlde gözlemlemek henüz mümkün olmamıştır. Dolayısıyla, serbest olarak gözlemlenebilmiş varlıkların elektrik yükleri $+$ ya da $-$ elektron yüküne veya bu yüklerin tam katlarına eşittir denilebilir.

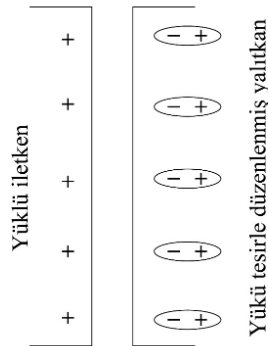


Şekil 3.1.2 Metal bir kürenin tesirle yüklenmesi.

Sistemi değiştirmeden toprak hattı ortadan kaldırılacak olsa küre + yükle yüklenmiş olarak kalır (bkz. Şekil 3.1.2'nin e şıkkı). Buna **tesirle (veya indüksiyonla) yüklenme** denir. Şayet tesir eden yüklü cisim ortamdan uzaklaştırılırsa küre üzerinde fazladan bulunan + yükler, homojen bir dağılım verecek şekilde küre yüzeyine dağılırlar.

Burada kullanılan – yüklü çubuk yerine + yüklü çubuk kullanılsa idi tesirle yüklenme gene olacaktı. Fakat bu kez küre + değil de – yükle yüklenmiş olacaktı.

İletkenlerde gözlemlenen tesirle elektrik yüklenmesi, benzer şekilde, yalıtkanlarda da gözlemlenebilir. Yalıtkan moleküllerinde de var olan – ve + yük merkezleri üst üste çakışabilecek gibi bazı yalıtkanların moleküllerinde bu yük merkezleri üst üste çakışmayabilir ki bu ikinci tür moleküllere **kutuplu moleküller** denir.



Şekil 3.1.3 Soldaki yüklü cisim, sağdaki cismin başlangıçta nötr olan yakın yüzeyinde yük nötrlüğünü bozarak kendisinininki ile zıt işaretli yük düzenlenmesine sebep olur. (Şeklin sağ tarafındaki – ve +'lar bir tam elektrik yükünü değil ama, sırasıyla, kısmi yük eksikliğini ve yük fazlalığını gösterir).

Yukarıda yaptığımız deneyin bir benzerini, Şekil 3.1.3'te görülen yalıtkan ile yapabiliriz. Yalıtkan olsun olmasın nötr moleküllerin çoğunda – ve + yük merkezleri çakışıktır. Yüklü bir cisimdeki yüklerin tesiriyle bu yük merkezleri hafifçe kayarak molekülün bir kısmını diğer kısmından farklı yükle yüklenmiş gibi yapar. Bu şekilde – ve + yük merkezleri çakışık olmayan moleküllere **kutuplanmış veya kutuplu moleküller** denir. Bu şekilde düzenlenmiş yalıtkanın yüzeyinde bir indüksiyon yükü oluşur. Saça sürtülen tarağın net elektrik yükü olmayan küçük kâğıt parçalarını nasıl çektiği veya koltuğa sürtülen bir balonun net elektrik yükü olmayan plastik veya yağlı boya ile boyanmış bir tavana ya da duvara nasıl yapıştığı bu yolla açıklanabilir.

3.1.4 Coulomb Yasası

Elinizde bulunan “Mühendisler ve Fen Bilimciler için FİZİK” serisinin 1. Cildinin 12. Bölümünde incelenen kütle çekim kuvveti nasıl ki Ay-Dünya, Dünya-Güneş gibi makroskobik cisimler arasındaki asıl etkileşme kuvveti olup bunlar arasındaki kararlılığı sağlıyorsa, elektrik kuvvetleri de çekirdek, atom ve molekül gibi mikroskobik yapılardaki kararlılığı sağlayan asıl kuvvetlerden biridir.

C. Coulomb, Cavendish'inkine benzer bir burulma terazisi kullanarak yüklü cisimler arasındaki elektrik kuvvetlerinin büyüklüklerini ve hangi yönde etkidiklerini belirledi. Yaptığı ölçümler sonucunda, yüklü iki küçük küre arasındaki elektrik kuvvetinin,

i) bunlar arasındaki mesafenin karesiyle

ters orantılı ($F_e \propto \frac{1}{r^2}$) olduğunu,

ii) yüklü parçacıkları birleştiren doğru boyunca etkidiğini (aynı işaretli yükler için dışa doğru, yani itici, ayrı işaretli yükler için içe doğru, yani çekici olduğunu),

iii) parçacıklardaki q_1 ve q_2 yükleriyle orantılı ($F_e \propto q_1 q_2$) olduğunu belirledi.

Böylece, q_1 ve q_2 yükleri arasındaki elektrik kuvvetinin büyüklüğü için,

$$F_e \propto \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

yazılabilir. Bu kuvvet başka hiçbir şeye bağlı olmadığından buradaki orantı işareti, bir katsayı kullanılarak eşit işaretine dönüştürülebilir:

$$F_e = k_e \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (3.1.2)$$

Bu deneysel sonuç **Coulomb yasası** olarak bilinir. Buradaki k_e ise **Coulomb sabiti** olarak bilinmektedir ve

$$k_e = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cong 8,98755 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

şeklinde de yazılabilir. Buradaki ϵ_0 **boş uzayın elektriksel geçirgenliği** olup değeri $8,8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ 'dir. Burada q_1 birinci yük q_2 ise ikinci ve ayrı bir yük olduğuna göre, etkileşme için en az iki yük gereklidir veya her hangi bir yük kendi kendisiyle etkileşemez sonucu çıkarılabilir.

(3.1.2) bağıntısının Newton'un kütle

çekim yasasına, $|F_g| = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 'ye biçimsel

olarak benzer olduğuna dikkat ediniz.

Örnek 3.1.1

Normal hidrojen atomu, çekirdeğinde bir proton ve çekirdek etrafında dönmekte olan bir elektronu olan mikroskobik bir sistemdir. Hidrojen atomunun protonu ile elektronu arasındaki mesafe yaklaşık $5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$ 'dir. Bunlar arasındaki elektrik ve kütle çekim kuvvetlerinin büyüklüklerini bularak karşılaştırınız.

Çözüm

Protonun yükünün büyüklüğü elektronun yükünün büyüklüğüne eşit olduğundan, elektriksel çekim kuvvetinin büyüklüğü,

$$F_e = k_e \frac{|e|^2}{r^2} = \left(8,99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(1,60 \times 10^{-19} \text{ C})}{(5,3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$

$$= 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

olur.

Kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü ise,

$$|\vec{F}_g| = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \left(6,7 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \right) \times \frac{(9,11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1,67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5,3 \times 10^{-11} \text{ kg})^2}$$

$$= 3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

olarak bulunur.

Değerlendirme: $F_e / F_g \simeq 2 \times 10^{39}$ olup bu sonuca göre, bu gibi mikroskopik sistemlerde elektriksel kuvvetin yanında kütle çekim kuvveti ihmal edilebilir.

Kuvvet vektörel bir nicelik olduğundan (3.1.2) bağıntısını, q_1 yükünün q_2 yüküne uyguladığı kuvvet olarak değerlendirip,

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (3.1.3)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada \hat{r}_{12} , q_1 'den q_2 'ye yönelmiş bir birim vektördür. q_1 ve q_2 aynı işaretli iseler \vec{F}_{12} ile \hat{r}_{12} aynı yönlü olur; bu ise bu yüklerin birbirini iteceği anlamına gelir. Yükler zıt işaretli iseler \vec{F}_{12} ile \hat{r}_{12} zıt yönlü olur ki bu, yüklerin birbirini çekeceği anlamına gelir (Şekil 3.1.4). Demek ki + işaretli kuvvetler itici – işaretli kuvvetler ise çekicidirler. Buradan şu sonucu çıkarabiliriz: Parçacıkların birbirine bağlanması ancak çekici kuvvetlerin varlığıyla mümkündür; itici kuvvetler ise yıkıcı, kırıcı veya bozucu olurlar.

Ayrıca 1. yükün 2. yüke uyguladığı kuvvet \vec{F}_{12} ise, 2. yük de 1. yüke, buna eşit büyüklükte fakat zıt yönde bir kuvvet uygular: $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$.



(a) Aynı işaretli yükler birbirini iter.

(b) Zıt işaretli yükler birbirini çeker.

Şekil 3.1.4 Elektrik yüklü varlıklar Coulomb yasasına göre etkileşirler.

Herhangi bir q_1 yüküne birden fazla kuvvetin etkimesi hâlinde, net kuvvet her bir yükün uyguladığı kuvvetlerin vektörel toplamına eşit olur:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} + \dots$$

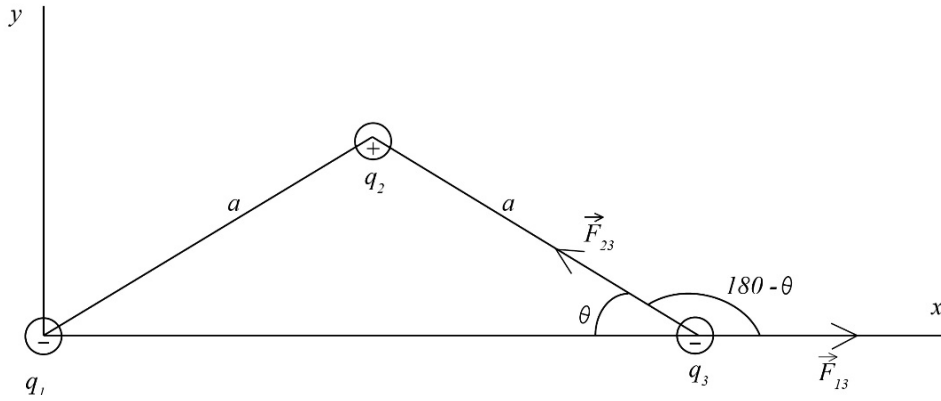
Örnek 3.1.2

Üç nokta yük, ikizkenar bir dik üçgenin köşelerine, Şekil 3.1.5'te görüldüğü gibi konulmuştur. $q_1 = -10 \mu\text{C}$, $q_2 = 5 \mu\text{C}$ ve $q_3 = -10 \mu\text{C}$ 'tur.

İkizkenarların boyu onar santimetre olduğuna göre q_3 yüküne etkileyen bileşke kuvveti bulunuz.

Çözüm

q_3 yüküne etkileyen kuvvetlerden \vec{F}_{13} kuvveti (q_1 ve q_3 yükleri aynı işaretli olduklarından) itici, \vec{F}_{23} kuvveti ise (q_2 ve q_3 yükleri zıt işaretli olduklarından) çekicidir.



Şekil 3.1.5 Birbirinden sonlu mesafede bulunan 3 yükten biri üzerine etkiyen net kuvvet, diğer iki yükün ayrı ayrı etkittiği kuvvetlerin vektörel toplamına eşittir.

$$\begin{aligned}
 |\vec{F}_{13}| &= k_e \frac{|q_1||q_3|}{r^2} \\
 &= \left(8,99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{|-10 \times 10^{-6} \text{ C}||-10 \times 10^{-6} \text{ C}|}{(\sqrt{0,02} \text{ m})^2} \\
 &= 44,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ve \vec{F}_{13} itici kuvvet olduğundan sağa doğrudur, yani $+x$ yönündedir.

$$\begin{aligned}
 |\vec{F}_{23}| &= k_e \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} \\
 &= \left(8,99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{|5 \times 10^{-6} \text{ C}||-10 \times 10^{-6} \text{ C}|}{(0,1 \text{ m})^2} \\
 &= 44,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

F_{23} kuvveti çekici kuvvet olduğundan q_2 yükünün bulunduğu noktaya doğrudur. (Her iki kuvvetin büyüklüğünün aynı olmasını nasıl değerlendirirsiniz?)

Bileşke kuvveti vektörlerin toplamından, yani $\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$ bağıntısından bulabiliriz. Bunun için öncelikle \vec{F}_{13} ve \vec{F}_{23} 'nin bileşenlerini bulmalıyız.

F_{13x} için $F_{13x} = F_{13}$, $F_{13y} = 0$, bu vektör sadece x bileşenine sahiptir.

Dolayısıyla $\vec{F}_{13} = F_{13x}\hat{i} + F_{13y}\hat{j}$ bağıntısında $\vec{F}_{13} = F_{13x}\hat{i}$ yazılabilir.

Benzer şekilde (gene şekilden istifadeyle) $\vec{F}_{23} = -F_{23x}\hat{i} + F_{23y}\hat{j}$ bağıntısında kullanılmak üzere, $F_{23x} = |F_{23x}| = |F_{23} \cos(180 - 45)| = |F_{23} \cos \theta| = 44,95 \times 0,7 = 31,46 \text{ N}$ ve $F_{13y} = F_{13} \sin \theta = 44,95 \times 0,7 = 31,46 \text{ N}$

şeklinde yazılabilir. Bu bileşenler vektörel toplama ifadesinde kullanılarak,

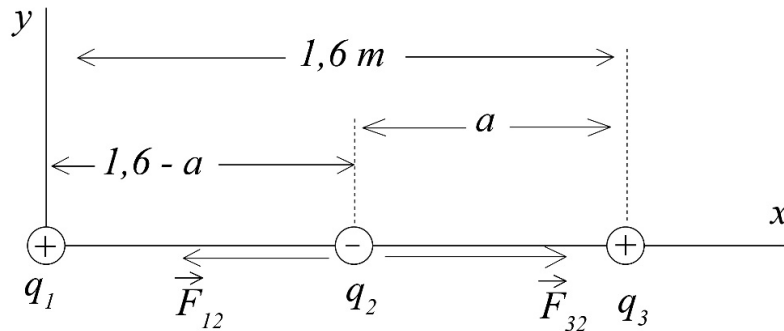
$$\vec{F}_3 = F_{13x}\hat{i} + F_{23x}\hat{i} + F_{23y}\hat{j} = 44,95N\hat{i} - 31,46N\hat{i} + 31,46N\hat{j} = 13,49N\hat{i} + 31,46N\hat{j} \text{ bulunur.}$$

Örnek 3.1.3

Şekil 3.1.6 'da verildiği gibi üç nokta yük bir doğru parçası üzerinde yer almaktadır. $q_1 = 10 \mu\text{C}$ ve $q_3 = 20 \mu\text{C}$ olduğuna göre q_2 yüküne etkiyen net kuvvetin sıfır olması için bu yük nerede olmalıdır?

Çözüm

Şekil 3.1.6 çizilirken de dikkate alındığı üzere, q_2 yükü hem q_1 ve hem de q_3 yükleri tarafından çekilecek veya itileceğinden q_2 yüküne etki eden net kuvvetin sıfır olması için iki yük arasında bir yerde olmalıdır.



Şekil 3.1.6 Üçlü bir yük sistemi. Aynı işaretli iki yükün arasındaki bir noktada yer alan zıt işaretli bir yüke etkiyen net kuvvetin sıfır olduğu bir nokta mutlaka vardır.

Coulomb yasasına göre, q_2 yüküne etkiyen kuvvetlerin büyüklükleri için,

$$F_{12} = k_e \frac{|q_1||q_2|}{(1,6-a)^2} \text{ ve } F_{32} = k_e \frac{|q_3||q_2|}{a^2}$$

yazılabilir. q_2 yüküne etkiyen kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olması, burada söz konusu olan iki kuvvetin toplamının sıfır olması veya büyüklüklerinin birbirine eşit olması demektir:

$$F_{12} = F_{32} \text{ veya } k_e \frac{|q_1||q_2|}{(1,6-a)^2} = k_e \frac{|q_3||q_2|}{a^2}$$

Son bağıntının her iki tarafında yer alan $k_e|q_2|$ 'ler sadeleştirilir ve içler dışlar çarpımı yapılırsa,

$$(1,6-a)^2|q_3| = a^2|q_1|$$

elde edilir. Burada q değerleri kullanılırsa,

$$(1,6-a)^2 20 \times 10^{-6} = a^2 10 \times 10^{-6}$$

bulunur. 2. dereceden bir bilinmeyenli bir denklem olan bu denklemin a için çözümünden biri 0,935 m ve diğeri 5,47 olan iki değer bulunur. Fakat bunlardan ikincisi fiziksel duruma uygun olmadığı için çözüm olarak birincisi alınır.

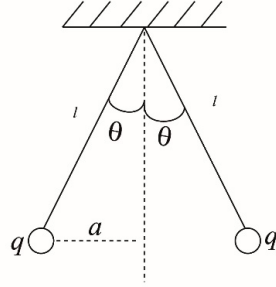
Değerlendirme: Bu örnekte olduğu gibi, 2. dereceden bir bilinmeyenli denklemin diskriminantının sıfır olması durumu özel hâli için ne söylenebilir?

Örnek 3.1.4

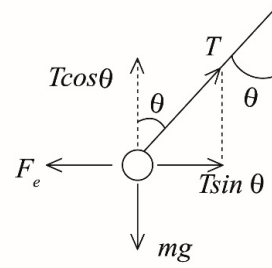
Ağırlıksız iki sicimle tavandan asılı olan aynı yüklü ve her biri 20 gram kütleli iki özdeş küreden oluşan bir sistem dengede durmaktadır. Her bir sicimin uzunluğu $\ell = 20 \text{ cm}$, her bir kütle 20 gram ve denge hâlinde sicimlerin her birinin düşeyle yaptığı açı 4° olduğuna göre, (a) kürelerdeki yük miktarını bulunuz, (b) kürelerden biri denge konumundan uzaklaştırılıp bırakılırsa küreler ne yapar?

Çözüm

(a)



(a)



(b)

Şekil 3.1.7(a) Dengedeki yüklü küreler sistemi. (b) Soldaki kürenin kuvvet diyagramı.

Şekil 3.1.7(a)'dan $\sin \theta = a/\ell$ yazılabilir. Buradan,

$$a = \ell \sin \theta = (0,20 \text{ m}) \sin 4^\circ = 0,014 \text{ m}$$

bulunur. Böylece küreler arası mesafe $2a = 0,028 \text{ m}$ olur.

Soldaki kürenin kuvvet diyagramı Şekil 3.1.7(b)'de görülmektedir. Yük sistemi ve dolayısıyla soldaki küre de dengede olduğundan,

$$\sum F_x = T \sin \theta - F_e = 0$$

$$\sum F_y = T \cos \theta - mg = 0$$

T 'nin değeri buradaki 2. bağıntıdan çekilip 1. bağıntıda yerine konulursa,

$$F_e = T \sin \theta = \frac{mg \sin \theta}{\cos \theta} = mg \tan \theta$$

$$F_e = T \sin \theta = \frac{mg \sin \theta}{\cos \theta} = mg \tan \theta$$

$$= (2 \times 10^{-2})(9,80)(0,07)$$

$$= 2,8 \times 10^{-4} \text{ N olur. Aynı zamanda}$$

$$F_e = k \frac{q^2}{(2a)^2} \text{ olduğundan}$$

$$2,8 \times 10^{-4} \text{ N} = 9 \times 10^9 \frac{q^2}{(2 \times 0,014)^2}$$

$$q = 0,49 \times 10^{-7} \text{ C}$$

bulunur.

(b) Kürelerden biri denge konumundan uzaklaştırılıp bırakılırsa kürelerin hareketi, iki hareketin bileşkesi şeklinde olacaktır. Buradaki bileşenlerden biri, yerçekimi ve elektrik kuvveti sayesinde kürelerin birbirine önce yaklaşma ve sonra uzaklaşma hareketidir. İkinci bileşen ise, sistemi iki kürenin kütle merkezinin, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle düşey eksen etrafında, bir basit sarkaç gibi salınım hareketidir. Böylece, hem küreler hem de iki kürenin kütle merkezi önceki denge konumlarına ulaşmak için salınacaklardır. Bu iki hareket ve sonuç olarak da bileşke hareket, sürtünmelerin elverdiği ölçüde, uzunca bir süre devam edebilir. Şayet hareketin ideal sürtünmesiz bir ortamda yapılması sağlanabilirse hareket sonsuza kadar sürecektir.

Yüklü cisimler, nötr cisimlere de elektriksel kuvvet uygulayabilir. Bu sonuç Şekil 3.1.3'te görüldüğü üzere tesirle elektrik yüklenmesinin ya da tesirle elektriksel kutuplanmanın bir sonucudur. Halıya sürtülen bir balonun, odanın plastik boyalı yan duvarlarına veya tavanına yapışması buna iyi örneklerden biridir. Bu gerçeğin yaygınca kullanıldığı alanlardan biri de boyama sanayiidir. Boyanacak madde üzerine boya püskürtülürken boya damlacıkları elektostatik olarak yüklenir ve boyanacak madde yüzeyine düzgün bir şekilde yapışır. Ayrıca fazla boya kullanılmasının da önüne geçilmiş olur.

Yukarıda verilen Coulomb yasası boşluktaki nokta yükler için kesinlikle doğrudur. Ancak, yükler arasındaki boşluk başka maddeler ile dolu ise, yüklerin etkileşmelerinde aradaki maddenin moleküllerinin tesirle elektriklenmesinin de hesaba katılması gerekebilir. Pratikte Coulomb yasası havadaki nokta yükler için, düzeltme yapılmaksızın kullanılabilir. Zira hava moleküllerinden, elektriksel kuvvete gelen katkı 1/2000'den daha küçüktür.

Kavrama Sorusu 3.1.3

Büyüklikleri dışında bu iki kuvvet (elektrik ve kütle çekim kuvveti) arasındaki fark(lar) ne(ler)dir?

3.1.5 Elektrik Alan

Kullanmakta olduğunuz FİZİK serisinin 1. Cildinin 5. Bölümünün 2. Alt bölümünde kuvvetleri niteliklerine göre sınıflandırırken, temas kuvvetleri ve alan kuvvetlerinden bahsetmiştik. Kütle çekim kuvvetinin bir alan kuvveti olduğunu ve kütle çekim alanının $\vec{g} = \vec{F}_g / m$ şeklinde tanımlandığını, buradaki \vec{g} 'nin yerçekimi ivmesiyle aynı olduğunu biliyoruz (bkz. Bölüm 1.12.4).

Elektrik kuvvetleri de alan kuvvetleri olup bunları da bir elektrik alan ile ilişkilendirmek mümkündür. Elektrik yüklü bir fiziksel varlık, çevresinde bir elektrik alan üretir ve bu alan içerisinde bulunan benzer veya aynı özellikli, yani elektrik yüklü, başka bir varlık ile etkileşir. Her hangi bir Q yüküne sahip bir A cisminin etkileşme (sonlu) uzaklığında bulunan (alanı bozmayacak kadar) küçük bir $+q_0$ deneme yüküne² sahip bir B cismi ile elektriksel etkileşmesini göz önüne alalım. Q yükünün, $+q_0$ deneme yükünün bulunduğu noktada meydana getirdiği elektrik alanı, o noktada birim yük başına düşen elektrik kuvveti olarak tanımlanır:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} \quad (3.1.4)$$

Buradaki \vec{E} , q_0 deneme yükünün bir özelliği olmayıp, Q yükünün, q_0 deneme yükünün bulunduğu noktada meydana getirdiği elektrik alandır; yani Q yükünün bir özelliğidir.

² q_0 deneme yükünün pozitif olması Q yükünün ürettiği alanın yönünün belirlenmesinde kullanılabilir. Öyle ki, Q yükü pozitif olursa bu iki yük birbirini iter; böylece $+q_0$ yükü ürettiği elektrik alanın Q yükünden dışarı doğru yöneldiği sonucu çıkar. Q yükünün negatif olması hâlinde $+q_0$ yükünü kendisine doğru çeker; böylece $-q_0$ yükü ürettiği alanın yönü kendisine doğrudur denilebilir.

\vec{E} 'nin yönü de Q 'nün işaretine bağlı ve \vec{F}_e ile aynı olacaktır. \vec{E} 'nin yönü, şayet Q yükü pozitifse dışarı (yani Q 'den dışarı) doğru, Q yükü negatifse Q 'ye doğru olacaktır. q_0 yükünü Q 'nün kendi etrafında ürettiği elektrik alanın büyüklüğünü belirlemek için kullandık; q_0 yükü olsa da olmasa da Q yükü kendi etrafında elektrik alanını oluşturacaktır. Bu alan, alan içine konulan her hangi bir yüklü parçacıkla etkileşmeyi daha kolayca bulmaya yarayacaktır.

Elektrik alanının SI birimi Coulomb başına Newtondur (N/C).

Yüklü bir cisme etkiyen elektrik kuvveti ancak diğer yüklü cisimlerin yarattığı elektrik alanlarından kaynaklanır; yoksa kendi alanı kendisi üzerinde bir etki yaratmaz.

Elektrik alanını belirlemede kullanılan q_0 deneme yükü oldukça küçük seçilir; öyle ki bunun elektrik alanı dış alanı önemli ölçüde bozmasın.

Bir noktadaki \vec{E} 'nin bilinmesi hâlinde, o noktadaki q_0 deneme yüküne etkiyen kuvvet için,

$$\vec{F}_{Qq_0} = \vec{E}q_0 \quad (3.1.5)$$

ve elektrik alan için,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{Qq_0}}{q_0} \quad (3.1.6)$$

yazılabilir.

Bu bağıntının $\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m_0}$ bağıntısına biçimsel benzerliğine dikkat ediniz.

\vec{F}_{Qq_0} değeri, (3.1.3) bağıntısındaki gibi,

burada kullanılacak olursa,

$$\vec{E} = k_e \frac{Qq_0}{q_0 r^2} \hat{r} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (3.1.7)$$

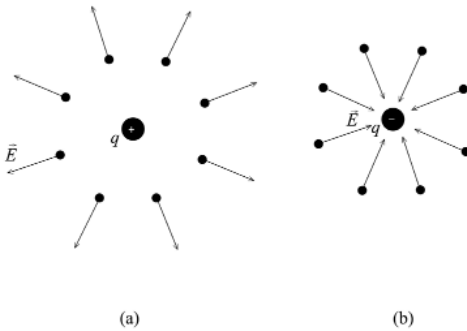
bulunur. Şayet Q yükü pozitifse, o noktada alan, kendi kaynağından uzaklaşacak şekilde, Q yükü negatifse alan kendi kaynağına yaklaşacak şekilde yönelir.

Çok sayıda ayrı yükün herhangi bir noktada meydana getirdiği elektrik alanını bulmak için, her bir yükün o noktada meydana getirdiği \vec{E} 'leri bulunur ve bunların vektörel toplamından net elektrik alan vektörü elde edilir.

$$\vec{E}_{net} = \sum_i \vec{E}_i = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (3.1.8)$$

Burada r_i , i yükün (q_i 'nin) söz konusu noktaya (deneme yükünün bulunduğu noktaya) olan uzaklık ve \hat{r}_i ise q_i 'den o noktaya yönelmiş birim vektördür.

Artı ve eksi işaretli nokta yüklerin farklı noktalarda meydana getirdiği elektrik alanların vektörleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.1.8 (a) Pozitif bir nokta yükün oluşturduğu alan (ışınal olup) yükten dışarı doğrudur ve (b) Negatif bir nokta yükün oluşturduğu alan (ışınal olup) yüke doğrudur.

Çok sayıda nokta yüklerin her hangi bir noktada meydana getireceği net (veya toplam) elektrik alanın, her bir yükün o noktada meydana getirdiği alanlar buluna-

rak bunların vektörel toplamından elde edilebileceğini bir kez daha belirtelim.

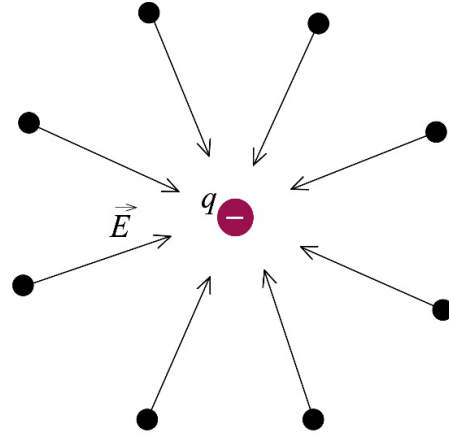
Örnek 3.1.5

$q = -5 \mu\text{C}$ 'luk bir nokta yükün, koordinatları $x = 5 \text{ m}$ ve $y = 10 \text{ m}$ olan bir noktada meydana getirdiği elektrik alanı bulunuz.

Çözüm

Önce \hat{r} 'nü bulmamız gerekir. Bunun için öncelikle $|\vec{r}| = r$ 'yi bulmalıyız:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{5^2 + 10^2} = 11,18 \text{ m}$$



Şekil 3.1.9 $q = -5 \mu\text{C}$ 'luk nokta yük negatif olduğundan elektrik alan yüke doğrudur.

Birim vektör (\hat{r}) kaynağın bulunduğu noktadan alanın istendiği noktaya ($A(x,y)$) doğru olup,

$$\begin{aligned}\hat{r} &= \frac{\vec{r}}{r} = \frac{x\hat{i} + y\hat{j}}{r} \\ &= \frac{5\hat{i} + 10\hat{j}}{11,18} = (0,45\hat{i} + 0,89\hat{j})\end{aligned}$$

bulunur. Burada bulunanlar

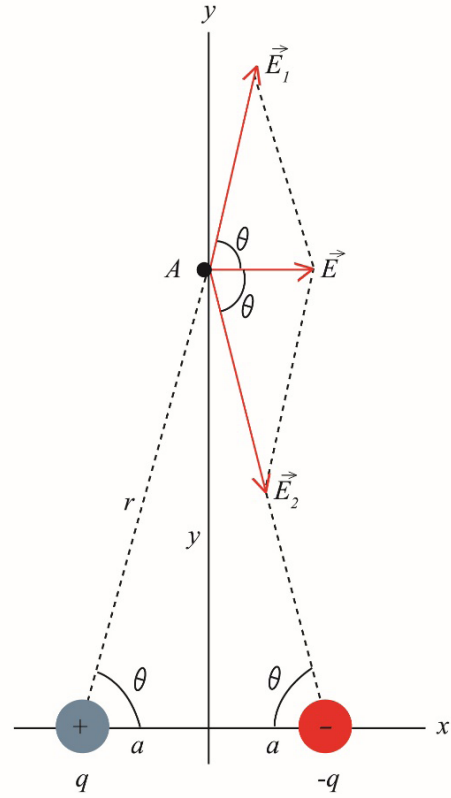
$$\vec{E} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r} \text{ bağıntısında kullanılırsa,}$$

$$\begin{aligned}\vec{E} &= (9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \left(\frac{5 \times 10^{-6} \text{ C}}{(11,18)^2 \text{ m}^2} \right) (0,45\hat{i} + 0,89\hat{j}) \\ &= (1,39\hat{i} + 2,75\hat{j}) \times 10^3 \text{ N/C}\end{aligned}$$

elde edilir.

Örnek 3.1.6

Bir elektrik dipol zıt işaretli fakat eşit büyüklükte iki yükten oluşan bir sistemdir. Söz konusu olan bu iki yükü birleştiren doğrunun orta dikmesi üzerinde bulunan ve dipol yarıçapına kıyasla çok büyük olan her hangi bir A noktasında oluşturulan elektrik alanı (\vec{E}) bulunuz.



Şekil 3.1.10 Kutup şiddeti q olan bir dipolün simetri ekseninde bir A noktasında meydana getirdiği elektrik alan.

Çözüm

Orta dikme üzerinde bulunan her hangi bir A noktası iki yükten de eşit uzaklıkta bulunduğundan, her iki yükün bu noktada oluşturduğu toplam elektrik alan,

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \\ &= \sum \vec{E}_x + \sum \vec{E}_y \\ &= (E_{1x} + E_{2x})\hat{i} + (E_{1y} + E_{2y})\hat{j} \text{ 'dir.}\end{aligned}$$

Şekilden de görüleceği üzere, \vec{E}_1 ve \vec{E}_2 'nin y bileşenleri birbirini yok eder; x bileşenleri ise $+x$ yönünde, birbirine eşit büyüklükte-
dir ($E_1 \cos \theta = E_2 \cos \theta$).

Böylece,

$$\begin{aligned}\vec{E} &= E_{1x}\hat{i} + E_{1y}\hat{j} + E_{2x}\hat{i} + E_{2y}\hat{j} \\ &= E_1 \cos\theta \hat{i} + E_2 \cos\theta \hat{i} = 2E_1 \cos\theta \hat{i}\end{aligned}$$

dir. Şekil 3.1.10'dan

$$\cos\theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} \text{ yazılabilir.}$$

Böylece

$$\vec{E} = 2E_1 \cos\theta \hat{i} = 2E_1 \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} \hat{i} \text{ yazılabilir.}$$

$$E_1 = k_e \frac{q}{r^2} \text{ yerine konulursa,}$$

$$\begin{aligned}\vec{E} &= 2k_e \frac{q}{r^2} \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} \hat{i} \\ &= 2k_e \frac{q}{y^2 + a^2} \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} \hat{i} \\ &= 2k_e \frac{q}{(y^2 + a^2)^{3/2}} a \hat{i} \quad \text{elde edilir.}\end{aligned}$$

$y \gg a$ için bu bağıntı,

$$\vec{E} = 2k_e \frac{qa}{y^3} \hat{i} \text{ olur.}$$

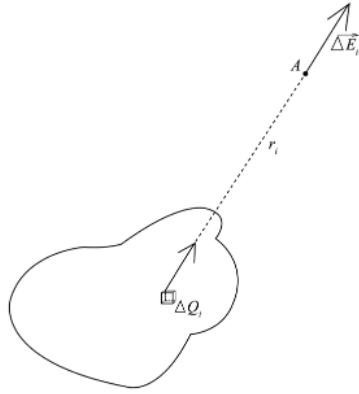
Aynı şart için \vec{E} 'nün büyüklüğü ise $E = 2k_e \frac{qa}{y^3}$ olur.

3.1.6 Sürekli Yük Dağılımlarının Elektrik Alanı

Öğrenme kolaylığı sağladığı için buraya kadar nokta yüklerle ilgilendik. Yüklü cismin büyük olması durumunda, ya da yükler topluluğunun yükleri arasındaki mesafenin, alanın hesaplanacağı noktaya olan mesafeye kıyasla çok küçük olması durumunda **yüklerin sürekliliğinden** söz edilebilir. Bir başka deyişle, birbirlerine yakın yükler sistemi bir çizgi boyunca, bir yüzey üzerinde veya bir hacim içinde dağılmış bir yüke eşdeğer olarak düşünülebilir.

Sürekli yük dağılımına sahip bir sistemin kendisinin dışındaki bir noktada oluşturacağı elektrik alanını hesaplamak için:

i) Yük dağılımı üzerinde, toplamları bu yükü verecek şekilde ve geometrisi yük dağılımının geometrisine uygun olan, küçük bir (ΔQ) yük elemanı seçilir.



Şekil 3.1.11 Sürekli bir yük dağılımının bir A noktasında oluşturduğu elektrik alanını bulmak için son-
suz küçük bir yük elemanı kullanılır.

ii) Bu ΔQ_i elemanı bir nokta yük gibi düşünülerek yüklü cismin dışındaki bir A noktasında meydana getireceği $\Delta \vec{E}_i$ elektrik alanı bulunur:

$$\Delta \vec{E}_i = k_e \frac{\Delta Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (3.1.9)$$

Burada \hat{r}_i , yük elemanından A noktasına yönelen \vec{r}_i 'nin birim vektörüdür.

iii) Bütün küçük yük elemanlarının oluşturduğu alanı bulmak için her bir ΔQ_i yük elemanının meydana getirdiği $\Delta \vec{E}_i$ alanları tüm i 'ler üzerinden vektörel olarak toplanır:

$$\vec{E} = \sum_i \Delta \vec{E}_i = k_e \sum_i \frac{\Delta Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (3.1.10)$$

iv) A noktasındaki toplam alan, hesaplamalarda daha fazla hassasiyet ve daha çok kolaylık sağlamak üzere, $\Delta Q_i \rightarrow 0$ limitinde,

$$\vec{E} = k_e \lim_{\Delta Q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i = k_e \int_{\text{tüm yük dağılımı}} \frac{dQ}{r^2} \hat{r} \quad (3.1.11)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu son bağıntı, düzgün veya düzgün olmayan tüm yük dağılımları için kullanılabilir. Ancak düzgün yük dağılımları ve düzgün olmayan yük dağılımları için, sırasıyla, aşağıdaki çizelgede verilen yük yoğunluğu ifadeleri kullanılabilir.

Çizelge 3.1.1 Sürekli yük dağılımına sahip cisimler için yük yoğunlukları.

	Düzgün dağılım için yük yoğunluğu	Düzgün olmayan dağılım için yük yoğunluğu
Hacimsel	$\rho = \frac{Q}{V}$	$\rho = \frac{dQ}{dV}$
Yüzeysel	$\sigma = \frac{Q}{A}$	$\sigma = \frac{dQ}{dA}$
Çizgisel	$\lambda = \frac{Q}{l}$	$\lambda = \frac{dQ}{dl}$

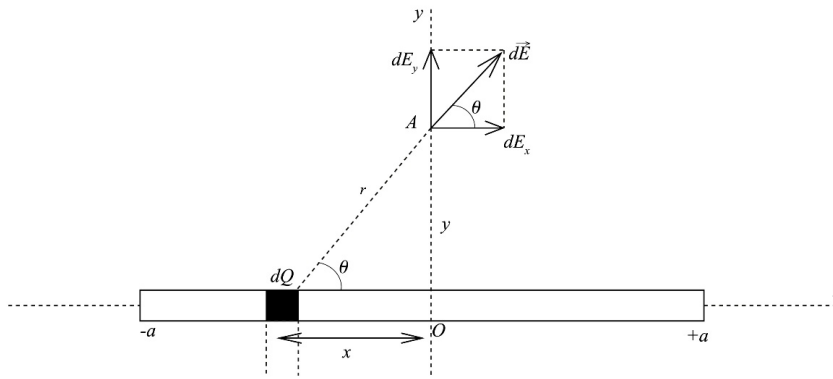
(3.1.11) bağıntısının kullanılabilirliği, bağıntıda yer alan dQ yük elemanının (yoğunluklar kullanılarak) cismin boyutlarıyla ilişkilendirilebilmesinden gelmektedir. Bu durum aşağıdaki örneklerden daha iyi anlaşılabacaktır.

Örnek 3.1.7

$2a$ uzunluğunda, Q yükü taşıyan ve x eksenini boyunca, y eksenine orta dikmesi olacak şekilde yerleşmiş olan ince bir çubuğun y ekseninde, a) her hangi bir A noktasında meydana getireceği elektrik alanı ve b) $Q=1$ mikrocoulomb, $a=3$ cm ve A noktasının orijinden uzaklığının 4 cm olması hâlinde alanın değerini bulunuz.

Çözüm

(a)



Şekil 3.1.12 Boyca yük yoğunluğu λ olan sonlu ve ince bir çubuğun simetri ekseninde herhangi bir noktadaki elektrik alanının bulunması için şematik gösterim.

Şekil 3.1.12'den görüldüğü üzere, A noktasındaki elektrik alanını y' nin fonksiyonu olarak bulmamız gerekir. Bunun için çubuk üzerindeki yük, her biri nokta yükü gibi alınabilecek sonsuz küçük parçalara bölünür. Orijinden x uzaklığındaki her hangi bir dx elemanı üzerindeki yük için,

$$dQ = \lambda dx = \frac{Q}{2a} dx$$

yazılabilir. Bu yük elemanından A noktasına olan uzaklık $r = (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}$ olduğundan bu elemanın A noktasında meydana getirdiği alanın büyüklüğü,

$$dE = k_e \frac{dQ}{r^2} = k_e \frac{Q}{2a} \frac{dx}{(x^2 + y^2)}$$

olur. Şekilden de görüleceği üzere bu alanın bileşenleri,

$$dE_x = dE \cos \theta \quad \text{ve} \quad dE_y = dE \sin \theta$$

olur. Ayrıca $\sin \theta = \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}}$ ve $\cos \theta = \frac{x}{(x^2 + y^2)^{1/2}}$ olduğundan,

$$dE_x = dE \frac{x}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \text{ ve } dE_y = dE \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \text{ olur.}$$

Buradan,

$$E_x = \int_{-a}^a k_e \frac{Q}{2a} \frac{x}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \frac{dx}{(x^2 + y^2)} = \int_{-a}^a k_e \frac{Q}{2a} \frac{x}{(x^2 + y^2)^{3/2}} dx$$

$$E_y = \int_{-a}^a k_e \frac{Q}{2a} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \frac{dx}{(x^2 + y^2)} = \int_{-a}^a k_e \frac{Q}{2a} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} dx \text{ olur.}$$

Ancak şekilden de görüleceği üzere simetriden dolayı $E_x = 0$ olur. Dolayısıyla,

$$E = E_y = \int_{-a}^a k_e \frac{Q}{2a} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \frac{dx}{(x^2 + y^2)} = \int_{-a}^a k_e \frac{Q}{2a} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} dx = k_e \frac{Q}{y(a^2 + y^2)^{1/2}}$$

elde edilir. Buradan elektrik alan vektörel olarak,

$$\vec{E} = k_e \frac{Q}{y(a^2 + y^2)^{1/2}} \hat{j}$$

şeklinde elde edilir.

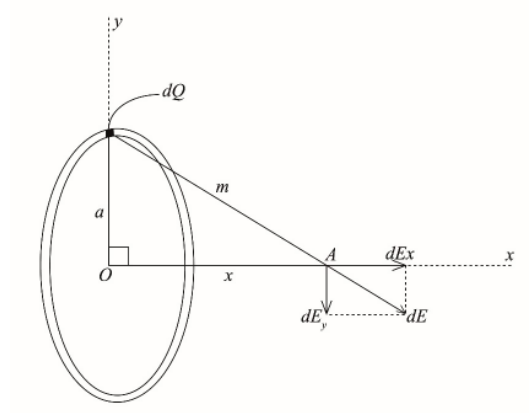
$$(b) \vec{E} = k_e \frac{Q}{y(a^2 + y^2)^{1/2}} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{1 \text{ C}}{(4 \text{ m})(3^2 \text{ m}^2 + 4^2 \text{ m}^2)^{1/2}} = 4,5 \times 10^8 \hat{j} \text{ N/C}$$

$$E = 4,5 \times 10^8 \text{ N/C}$$

Örnek 3.1.8

Düzgün dağılmış Q yüküne sahip a yarıçaplı ince bir halkanın simetri eksenini üzerinde ve halka merkezinden x mesafede bulunan bir A noktasında oluşturduğu elektrik alanı bulunuz.

Çözüm



Şekil 3.1.13 Düzgün dağılmış Q yüküne sahip a yarıçaplı ince bir halkanın simetri ekseninde ve halka merkezinden x mesafede bulunan bir A noktasında oluşturduğu elektrik alanı.

Halka üzerinde sonsuz küçük bir dQ yük elemanının A noktasında meydana getireceği elektrik alanının büyüklüğü,

$$dE = k_e \frac{dQ}{r^2}$$

olup, Şekil 3.1.13'ten de görüldüğü üzere bunun $dE_x = dE \cos \theta$ ve $dE_y = dE \sin \theta$ dik bileşenleri vardır.

Halkanın simetrisinden dolayı y bileşenler toplamda birbirini yok eder, Böylece alanı sadece x bileşen meydana getirir. $r = \sqrt{x^2 + a^2}$ ve $\cos \theta = x / r$ alınıp bunlar yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa

$$dE_x = dE \cos \theta = k_e \frac{dQ}{r^2} \frac{x}{r} = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} dQ$$

bulunur. Halka üzerindeki tüm noktalar A noktasına aynı uzaklıkta olduklarından bunlar A noktasında aynı büyüklükte elektrik alanlar oluştururlar. Toplam alanı bulmak için bu alanların toplamını almak (yani yukarıdaki bağıntının tüm yük üzerinden integralini almak) gerekir:

$$E_x = \int_{\text{tüm yük}} \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} dQ$$

$$= \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int_{\text{tüm yük}} dQ = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} Q$$

Buradan açıkça görüleceği üzere, x sıfır olduğunda E_x de sıfır olur.

Değerlendirme:

i) Halkanın merkezinde alan sıfır olur. Çünkü orada, y bileşenlerde olduğu gibi, x bileşenler de birbirini yok eder.

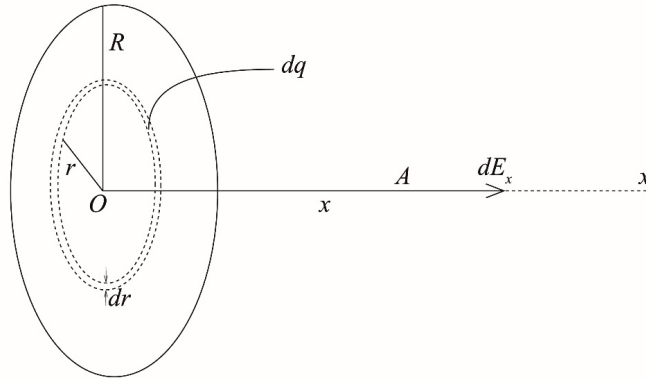
ii) A noktasının halkadan çok uzak olması $x \gg a$ hâli için,

$$E = E_x = \frac{k_e Q}{x^2}$$

olur ki bu, çok uzaktaki bir noktada halka yükünün meydana getireceği elektrik alan bir nokta yükün meydana getireceği elektrik alanı ile aynı demektir. Başka bir deyişle, halkadan uzaktaki bir nokta halka yükten nokta yükten etkileniyormuş gibi etkilenir.

Örnek 3.1.9

Düzgün σ yüzeysel yük yoğunluğuna sahip R yarıçaplı bir diskin, simetri ekseninde ve merkezinde $+x$ mesafede bulunan bir A noktasında meydana getirdiği elektrik alanı bulunuz.



Şekil 3.1.14 Düzgün yüklü bir diskin elektrik alanı.

Çözüm

Şekil 3.1.14'ten görüldüğü üzere, yük dağılımını iç içe geçmiş ince halkalar üzerindeki sonsuz küçük dQ yük elemanlarının oluşturduğunu kabul edebiliriz. Buna benzer bir halkanın x ekseninde meydana getirdiği elektrik alanını bir önceki örnekte bulmuştuk.

Burada, dr genişliğindeki küçük halkanın yüzey alanı $dA = 2\pi r dr$ olmak üzere $\sigma = \frac{dQ}{dA}$ 'den halkadaki yük için $dQ = \sigma 2\pi r dr$ yazılabilir.

Bu yük elemanının A noktasında meydana getirdiği elektrik alan için, bir önceki örnekteki benzer olarak (oradaki E yerine dE ve Q yerine dQ konularak),

$$dE_x = k_e \frac{(2\pi\sigma r dr)x}{(x^2 + r^2)^{3/2}}$$

yazılabilir. Bu diskin tamamının elektrik alanı, küçük yük elemanı için seçilen dr genişlikli halkanın 0'dan R 'ye kadar integrali alınarak bulunabilir:

$$E = \int_0^R k_e \frac{(\pi\sigma r dr)x}{(x^2 + r^2)^{3/2}} = k_e \pi\sigma x \int_0^R \frac{r dr}{(x^2 + r^2)^{3/2}}$$

buradaki integralin sonucunun,

$$\int_0^R \frac{r dr}{(x^2 + r^2)^{3/2}} = -\frac{1}{(x^2 + r^2)^{1/2}} \Big|_0^R = \frac{1}{(x^2 + R^2)^{1/2}} - \frac{1}{x} \text{ olduğunu integral tablolarından bulabilirsiniz.}$$

Böylece,

$$E_x = k_e 2\pi\sigma \left[1 - \frac{1}{(1 + R^2/x^2)^{1/2}} \right] \text{ olur. 3.1.4 alt başlığında verilen } k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ bağıntısı da}$$

$$\text{kullanılırsa, } E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{1}{(1 + R^2/x^2)^{1/2}} \right] \text{ elde edilir.}$$

Halkanın ve dolayısıyla diskin elektrik alanının y ve z bileşenleri yoktur. Yani, $E = E_x$ 'tir.

Değerlendirme:

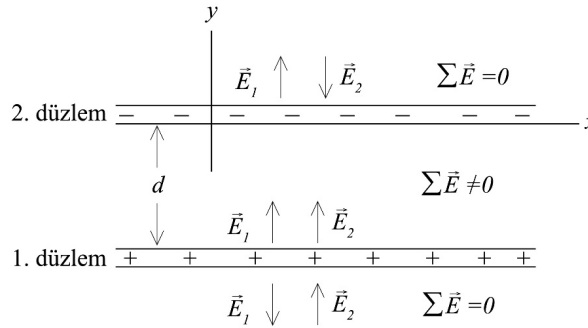
Yukarıdaki son bağıntıda R 'nin x 'ten çok büyük olması hâlinde (ki bu sonsuz büyük düzleme karşılık gelir)

$$E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

olur. Demek ki yüklü sonsuz bir düzlemin ürettiği elektrik alan düzleme dik ve alan çizgileri birbirine paralel olmaktadır. Bu kaideden yararlanılarak, küçük bölgelerde de homojen alan üretilebilmektedir.

Örnek 3.1.10

Aralarında d mesafesi olacak şekilde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş sonsuz büyüklüğe sahip iki düzlem, düzgün $+\sigma$ ve $-\sigma$ yük yoğunluğuna sahip olacak şekilde yüklenmişlerdir (Şekil 3.1.15). Düzlemlerin arasındaki bölgede ve dış bölgelerdeki elektrik alanını bulunuz.



Şekil 3.1.15 Zıt yüklü iki sonsuz düzlemin elektrik alanı.

Çözüm

Bir önceki örnekte bir tek düzlemin elektrik alanı bulunmuştu. Buna göre pozitif yüklü düz-

lemin her iki yanından dışarı doğru yönelmiş $E_y = \frac{+\sigma}{2\epsilon_0}$ büyüklüğünde, negatif yüklü düzle-

min her iki yanından içeri doğru yönelmiş $E_y = \frac{-\sigma}{2\epsilon_0}$ büyüklüğünde homojen alanlar vardır.

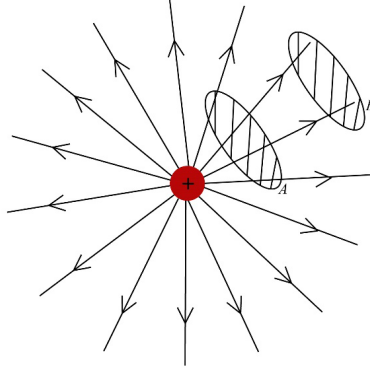
Her hangi bir yerde birden fazla alan üretiliyorsa, alanların toplanabilme özelliği kullanılabilir. Her bir düzlemin ürettiği alan şekil üzerinde gösterilmiştir. O hâlde buradaki iki düzlemin söz konusu bölgelerde ürettikleri alanlar toplanmalıdır:

Levhaların arasındaki bölgede her iki levhanın ürettiği alan aynı yöndedir:

$$E = E_{1y} + E_{2y} = \sigma / \epsilon_0, \text{ Levhaların dışındaki her iki bölgede de } E = 0 \text{ 'dır.}$$

3.1.7 Elektrik Alan Çizgileri

Elektrik alan çizgileri, bir ortamda veya boş uzayda çizilmiş hayalî çizgiler olup, her hangi bir noktada o noktadaki elektrik alan vektörüne teğet olan çizgiler veya eğrilerdir (bkz. Şekil 3.1.16). Elektrik alan çizgilerinin, onlara dik birim yüzeyden geçenlerinin sayısı o bölgedeki elektrik alanın büyüklüğü ile orantılıdır.



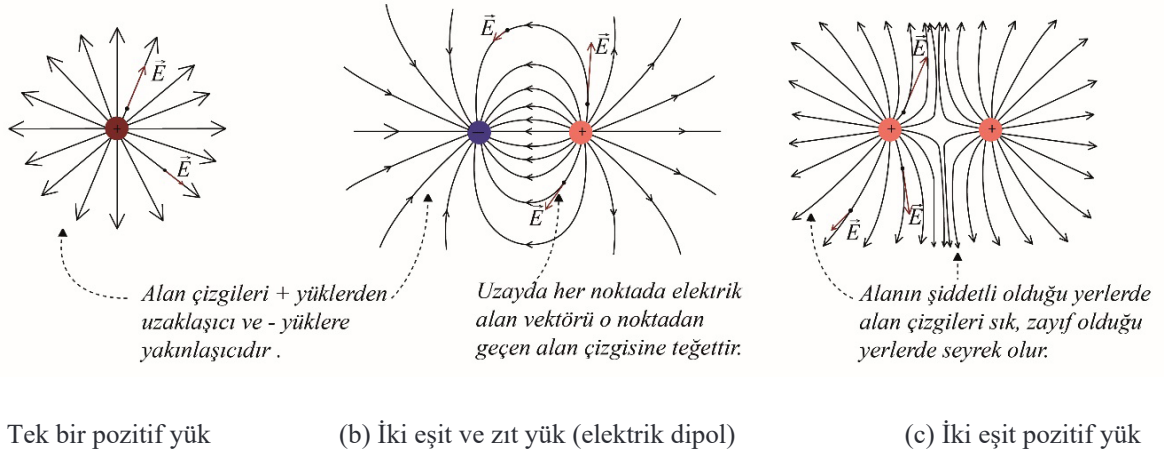
Şekil 3.1.16 Nokta yükten çıkan alan çizgileri. Yükten uzaklaştıkça, aynı büyüklükteki yüzeyden geçen alan çizgilerinin sayısı azalır. Böylece A yüzeyindeki elektrik alan B'dekinden daha şiddetlidir.

Alan çizgilerinin sıklığı, o bölgede elektrik alanın şiddetinin büyük olduğunu, seyrekliği ise küçük olduğunu gösterir. Alan çizgileri birbirlerini kesmezler; çünkü bir noktada elektrik alanın sadece bir tek yönü vardır.



Şekil 3.1.17 Uzayda her noktada elektrik alan vektörü o noktadan geçen elektrik alan çizgisine teğettir; alanın yönü bu teğetten bulunur.

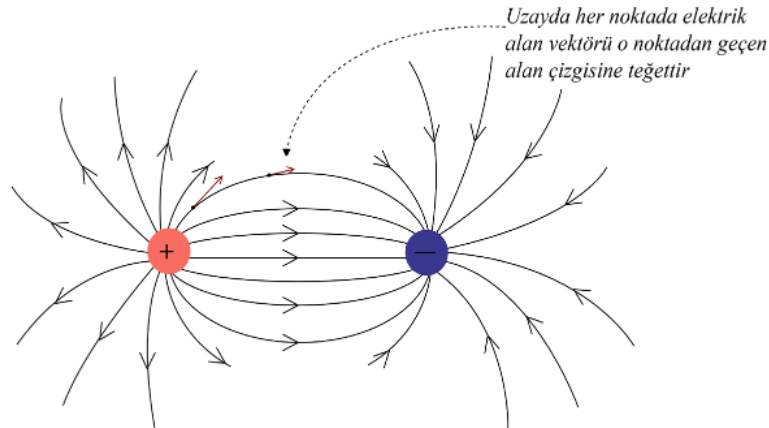
Şekil 3.1.18 (a) Tek bir artı yükün, (b) büyüklükleri eşit işaretleri zıt iki yükün (bir dipolün), (c) iki eşit eksi yükün alan çizgilerini göstermektedir. Şekillerde bazı noktadaki alan vektörleri de, büyüklükleri o noktadaki elektrik alan şiddetine uygun olacak şekilde çizilmiştir. Görüldüğü üzere, elektrik alan vektörünün büyüklüğü yük veya yükler sistemine farklı uzaklıktaki noktalarda farklı farklıdır.



Şekil 3.1.18 Alanın şiddetli olduğu yerlerde alan çizgileri sıktır, zayıf olduğu yerde ise seyrekler. (a) Tek bir yükün, (b) bir dipolün ve (c) eşit büyüklükte iki pozitif yükün elektrik alan çizgileri. \vec{E} 'nün büyüklüğü belirli bir alan çizgisi üzerindeki farklı noktalarda farklıdır.

Alan çizgileri + yüklerden dışarıya, dışarıdan – yüklere yöneliktir.

Elektrik alan çizgileri Şekil 3.1.19'da görüldüğü gibi iki elektrik kutbunu bir yalıtkan kâğıt üzerine sabitleyerek ve kâğıt üzerine ince ve küçük demir yongaları dökülerek belirlenebilir.



Şekil 3.1.19 Zıt işaretli iki nokta yükün elektrik alan çizgileri. Çizgilerin tümü + yükten başlayarak – yükte son bulur. Şekilde sığdırılmadığı için kesilmiş olan çizgiler için de bu geçerlidir.

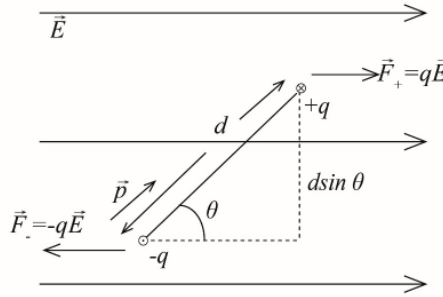
Sınama Sorusu 3.1.3 Elektrik alan çizgilerinden istifadeyle $E \propto \frac{1}{r^2}$ olduğu gösterilebilir mi?

3.1.8 Elektrik Dipoller

Eşit büyüklükte ve zıt işaretli iki yükün oluşturduğu sisteme dipol denir. Çekirdek, atom ve molekül gibi birçok mikroskobik sistem, televizyon, telsiz alıcı ve vericileri gibi birçok makroskobik sistemler (veya cihazlar) dipol esasında yayınlama veya soğurmada bulunurlar.³

Dünya'mızda ve bünyemizde meydana gelen çözünme ve biyokimyasal olaylar dipol etkileşmeler sayesinde oluşabilmektedir. Çeşitli yapıştırıcıların yapıştırma özellikleri de elektriksel dipollerle izah edilmektedir. Burada biyokimyasal olayları esas alarak şu sonucu çıkarabiliriz: Dipoller olmasaydı hayat da olmazdı.

Düzgün bir elektrik alana konulan su molekülü gibi herhangi bir polar moleküle, yani bir dipole etkiyen kuvvet ve kuvvet momentinin incelenmesi ilgi çekicidir.



Şekil 3.1.20 Torkla birlikte kullanılan \otimes işareti tork vektörünün sayfa düzleminden içeri doğru olduğunu, \odot işareti ise tork vektörünün sayfa düzleminden dışarı doğru olduğunu gösterir.

Şekil 3.1.20'de görüldüğü gibi + ve – yüklere etkiyen kuvvetlerin toplamı, yani net kuvvet sıfır olur. Halbuki, molekülün dipol merkezinden geçen dik eksene göre bu kuvvetlerin net torkları sıfırdan farklıdır. \vec{E} ile \vec{F} arasındaki açı θ olmak üzere kuvvet momentlerinin her birinin büyüklüğü $(qE)(d/2) \sin \theta$ 'dır. Her iki kuvvetin döndürme etkisi de molekülü saat yönünde döndürecek şekildedir. Dolayısıyla net tork $2\tau_{F_+}$ veya $2\tau_{F_-}$ olacaktır. Böylece,

$$\tau = (qE)(d \sin \theta) \quad (3.1.12)$$

olur. Buradaki $d \sin \theta$ 'nın kuvvet doğrultuları arasındaki dik mesafe (ya da en kısa mesafe) olduğuna dikkat ediniz.

Dipol kutbunun şiddeti (yani q yükü) ile d mesafesinin çarpımının büyüklüğüne **elektrik dipol moment**i denir ve p ile gösterilir:

$$p = qd \quad (3.1.13)$$

³Burada, başka bir ışıma çeşidi olan kuadropol ışımının da varlığını belirtmekle yetineceğiz

Aslında p vektörel bir niceliktir ve \vec{p} 'nin yönü dipolün – yükünden + yüküne doğrudur. p 'nin birimi Coul.m'dir. Tipik bir örnek olarak su molekülünün elektrik dipol momentinin büyüklüğü $p = 6,13 \times 10^{-30}$ C.m'dir.

Net torkun büyüklüğünü p cinsinden yazacak olursak,

$$\tau = pE \sin \theta \quad (3.1.14)$$

buluruz. Bu ifadedeki θ , \vec{p} ile \vec{E} arasındaki açı olduğundan ve Bölüm 1.2'den bildiklerimize dayanarak torkun (kuvvet momentinin) vektörel yazılışının,

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (3.1.15)$$

şeklinde olabileceğini değerlendirebiliriz.

Kuvvet momenti, \vec{p} ve \vec{E} 'yi aynı yöne getirmeye çalışır. Öyle ki \vec{p} ve \vec{E} 'nin paralel olduğu ($\theta = 0$ olduğu) durum dipol için kararlı denge, anti paralel ($\theta = \pi$ olduğu) durum dipol için kararsız denge durumudur. Şekil 3.1.3'te verilen yalıtkanların indüksiyonla kutuplanması buna iyi bir örnektir.

Elektrik alanın dipol üzerindeki kuvvet momenti dipol üzerinde iş yapar. Bu iş potansiyel enerji değişimine karşılık gelir.

Dönme dinamiği anlatılırken (bkz. Bölüm 1.10), $d\theta$ kadar dönmeye τ 'nin yaptığı dW işinin, $dW = \tau d\theta$ ile verilebileceğini görmüştük. Bu bağıntıyı elektrik dipolün dönmesine uygularsak,

$$dW = \tau d\theta = -pE \sin \theta d\theta \quad (3.1.16)$$

elde ederiz. θ_1 'den θ_2 'ye kadar sonlu bir dipol dönmesi için,

$$\begin{aligned} W &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} -pE \sin \theta d\theta \\ &= pE \cos \theta_2 - pE \cos \theta_1 \end{aligned} \quad (3.1.17)$$

elde ederiz. Bölüm 1.7 'de verildiği gibi, bu iş potansiyel enerjinin ters işaretlisidir:

$$W = -(U_2 - U_1) = U_1 - U_2$$

Buradan, dipol durumu için,

$$U(\theta) = -pE \cos \theta \quad (3.1.18)$$

yazılabilir. Buradaki p ve E 'nin vektörel nicelikler ve θ 'nın bunların arasındaki açı olduğu dikkate alınarak, Bölüm 1.2'de verilen bilgilerin de ışığı altında, dipolün potansiyel enerjisi-ni skaler çarpım şeklinde yazabiliriz:

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E} \quad (3.1.19)$$

U 'nun en büyük değerinin $\theta = \mu$ için (karasız denge), en küçük değerinin ise $\theta = 0$ için (ka-

rarlı denge) olduğuna dikkat ediniz. $\theta = \frac{\pi}{2}$ için U 'nun değeri sıfırdır.

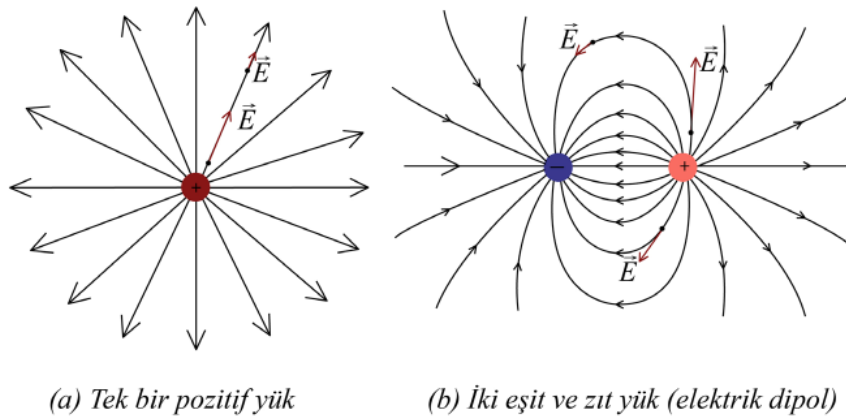
U 'nun bu tanımı, başka bir noktada, $U = 0$ seçiminden daha fazla kolaylık sağlar.

Bu son değerlendirme ışığında, elektrik alan içine konulan bir cismin dönme isteğinin tamamen enerjinin minimizasyonu prensibi gereği olduğunu söyleyebiliriz.

Sinama Sorusu 3.1.4 Elektrik dipolün değiştirilebilir bir dış alana konulmasıyla bir elektrik motoru yapılabilir mi?

Sinama Sorusu 3.1.5 Elektrik alanın dipol üzerinde yaptığı dönme işinin onun potansiyel enerjisinde değişikliğe karşılık geldiği söylendiğine göre, bu değişikliği serbest düşen bir parçacığın ötelenme hareketi ile potansiyel enerjisinde meydana gelen değişimle nitel ve nicel olarak karşılaştırabilir misiniz?

Bir dipolün elektrik alanını, dipolü oluşturan iki yükün istenilen noktadaki elektrik alan vektörlerinin vektörel toplamından bulabiliriz.



Şekil 3.1.21 Farklı üç yük sisteminin elektrik alan çizgileri. Belirli bir elektrik alan çizgisi üzerinde \vec{E} farkıdır.

3.1.9 Yüklü Parçacıkların Düzgün Bir Elektrik Alanda Hareketleri

q yüklü bir parçacığın bir elektrik alanda maruz kalacağı elektrik kuvvetinin $q\vec{E}$ olacağını biliyoruz. Böyle bir net kuvvetin yüklü parçacığa kazandıracığı ivme,

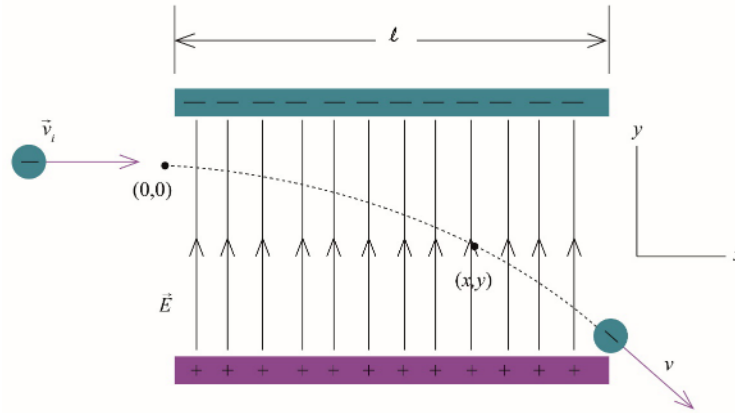
$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \quad (3.1.20)$$

olacaktır. \vec{E} 'nün büyüklüğü ve yönü sabit ise, yani elektrik alan düzgün ise ivme de sabit olur. Ayrıca q 'nün işareti $+$ ise ivme vektörü elektrik alan vektörü ile aynı yönlü, değilse zıt yönlü olur.

Örnek 3.1.11

Şekil 3.1.22'de görüldüğü üzere, bir elektron $v_i = 4 \times 10^6 \hat{i}$ m/s'lik bir ilk hızla $E = E_y = 250$ N/C şiddetindeki düzgün bir alan bölgesine x eksenine doğrultusunda girmektedir.

(a) Elektronun elektrik alandaki ivmesini ve (b) Elektronun elektrik alana girdikten sonra $1 \mu s$ 'de ulaşacağı noktanın koordinatlarını bulunuz.



Şekil 3.1.22 Düzgün bir elektrik alana giren elektron.

Çözüm

(a) Elektronun kütlesi $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg ve yükü $1,60 \times 10^{-19}$ C olduğundan,

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{eE}{m} \hat{j} = -\frac{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(250 \text{ N/C})}{9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}} \hat{j} \\ &= -4,39 \times 10^{13} \hat{j} \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ve

(b)

$$v_{x_i} = v_x = 4 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$v_{y_i} = 0$$

$$x = x_i + v_{x_i} t + \frac{1}{2} a_x t^2 = 0 + 4 \times 10^6 \text{ m/s} \times 1 \times 10^{-12} \text{ s} + 0 = 4 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\begin{aligned}y &= y_i + v_{y_i} t + \frac{1}{2} a_y t^2 = 0 + 0 + \left(\frac{1}{2} (-4,39 \times 10^{13} \text{ m/s}^2) 1 \times 10^{-12} \text{ s} \right) \\ &= 21,9 \text{ m}\end{aligned}$$

$$r = x\hat{i} + y\hat{j} = (4,00 \times 10^{-6} \text{ m})\hat{i} + (21,9 \text{ m})\hat{j}$$

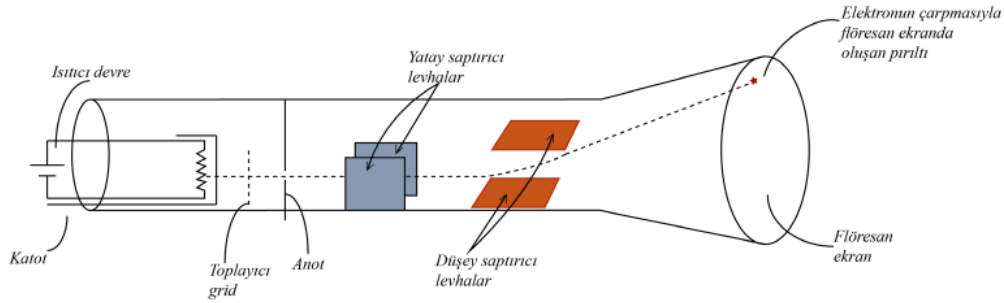
olur.

Seçmeli Kısım

3.1.9 Katot Işını Tüpü

Katot ışını tüpleri televizyon, osiloskop, radar sistemi ve bilgisayar gibi görüntü üreten birçok elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Katot ışını tüpünün şematik gösterimi Şekil 3.1.23'te verilmiştir.

Havası boşaltılmış olan bu tüplerin çalışma prensibi, içlerinde mevcut paralel plakalar arasında oluşturulan elektrik ve manyetik alanlarda elektronların saptırılması esasına dayanır. Elektron tabancasında⁴ üretilen ve ekrana doğru sabit hızlı olarak gönderilen elektronlar, levhalar arasına alan uygulanmadığı durumda, ekrana doğru düz bir çizgi boyunca ilerlerler. Bu parçacıklar tüpün ekranına çarpınca, oradan görünür bölgede ışık yayınlanmasına sebep olurlar. Çünkü cam ekran flöresan madde ile kaplıdır. Flöresan madde, en genel anlamıyla, üzerine foton veya bir parçacık çarpınca ışımda bulunan maddedir.



Şekil 3.1.23 Katot ışını tüpünün şematik gösterimi.

Paralel levhali düşey ve yatay saptırıcı levhalar arasında (bir şekilde) elektrik ve manyetik alan oluşturulacak olursa elektronlar bu levhalar arsından geçerken düşey ve yatay doğrultularda saptırılırlar. Bu sapma miktarları levhalara uygulanan potansiyel farkları veya yüklenen yük miktarları ile orantılı olup bu farklı sapmalar, ekranda görüntü oluşmasını sağlar.

⁴ Elektron tabancası, termoiyonik olaya (ısıtmayla iyonlaşma olayına) dayalı olarak her yönde elektronlar saçan bir katoda sahiptir. Bu elektronların büyük çoğunluğu, bir elektrik alan kullanılarak anoda doğru yönlendirilir ve bir hız seçici ile aynı hız değerlerinde olanlar seçilirler (bkz. Temel Moleküler Fizik, N. Goca, Y. Şahin, Ata. Uni. Basımevi, 1992).

Özet

Elektrik yükleri, i) korunumludur, ii) kuantumludur.

Yüklerin içerisinde kolayca hareket ettikleri maddelere iletkenler denir. Madde içinde yükler kolayca hareket edemiyorsa bunlara yalıtkan maddeler denir. Bu iki iletim özelliği arasında iletim özelliğine sahip maddelere ise yarıiletkenler denir.

Aralarındaki uzaklık r olan ikili bir yük sisteminde q_1 yükü q_2 yüküne,

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

bağıntısı gereğince bir kuvvet uygular. Bu bağıntı Coulomb yasası olarak bilinmektedir.

Bir Q elektrik yükünün etki alanında bulunan q_0 deneme yükünün, birim yükü başına etkileyen kuvvet Q yükünün elektrik alanı olarak tanımlanır:

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

\vec{F}_e 'nin matematik ifadesi kullanılarak elektrik alan,

$$\vec{E} = k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

şeklinde de verilebilir. Elektrik alan, nokta yükler için üst üste binme ilkesine uyar:

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{\Delta Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Sürekli yüklerin bir noktada oluşturduğu elektrik alan,

$$\vec{E} = k_e \int_{\text{tüm yük dağılımı}} \frac{dQ}{r^2} \hat{r}$$

bağıntısıyla verilir.

Elektrik alan çizgileri, uzayın herhangi bir noktasında elektrik alanı temsil ederler.

Elektrik alan çizgilerinin özellikleri:

i) Artı yükten dışarı doğru, eksi yükten ise yükün kendisine doğru yönelik olur.

ii) Alan çizgilerinin sayısı onları oluşturan yük miktarıyla doğru orantılıdır.

iii) İki alan çizgisi birbirini kesemez.

Elektromanyetik ışımaların büyük ekseriyeti ya elektrik, ya da manyetik dipol ışımaları şeklindedir. Algılayıcı sistemlerin büyük çoğunluğu da dipol soğurma esasında çalışır.

Tanımlar

İyon: Yüklü atom-altı parçacıklara, elektron almış ya da vermiş (nötr olmayan) atomlara ve moleküllere denir.

Elektrik yükü: Madde bir elektromanyetik alana konulduğunda onun bir kuvvete maruz kalmasına sebep olan fiziksel temel bir niceliktir.

Kuantumluluk: Bir değerin tam katları şeklinde olabilme, fakat kesirli değerlere sahip olamama.

Temel yük: Başka yüklerden oluşmayan veya daha küçük yüklere bölünemeyen en küçük yüke temel yük denir.

Nötr sistem: Yüksüz veya $-$ yüklerle $+$ yüklerin sayılarının birbirine eşit olduğu parçacık veya sistemler.

Elektriksel iletken: Elektrik yüklerini (kolayca) ileten maddelere elektriksel iletken denir.

Elektriksel yalıtkan: Elektrik yüklerini (kolayca) iletmeyen maddelere elektriksel yalıtkan denir.

Yarı iletken: Elektrik yükünü iletme özellikleri iletkenlerle yalıtkanlar arasında olan maddelere yarı iletkenler denir.

Elektrik alan: Birim yük başına düşen elektrik kuvvetine elektrik alan denir.

Elektrik alan çizgisi: Uzayda art arda gelen noktalardaki elektrik alan vektörlerine teğet olacak şekilde çizilebilen çizgilere elektrik alan çizgileri denir. Bunlar elektrik alanı temsil ederler.

Deneme yükü: İçine konulduğu her hangi bir elektrik alanda konulduğu noktada ki alanı dahi bozamayacak küçüklükteki elektrik yüküne deneme yükü denir.

Elektrik dipol: İşaretleri zıt fakat büyüklükleri eşit olan iki yükün oluşturduğu sisteme elektrik dipol denir.

Kutuplu molekül: Molekülün içindeki $-$ ve $+$ yük merkezleri çakışık değilse bu moleküle kutuplu veya kutuplanmış molekül, çakışıksa kutupsuz molekül denir.

Topraklama: Bir cismin veya sistemin, üzerinden yüklerin serbestçe akabileceği bir iletkenle, sonsuz yük alabilen veya verebilen yere (Yerküreye) bağlama.

Değerlendirme Soruları

3.1.1 Bir nokta yükün, uzağında bulunan bir halkada, bir düzlem cisimde ya da büyük bir hacimde bulunan yük ile etkileşmesi mi, yoksa da bu nokta yüke aynı uzaklıktaki bir noktada toplanan eşit büyüklükteki başka bir nokta yükü ile etkileşmesi mi daha büyük olur?

3.1.2 Bir cisme elektrik yüklemenin üç farklı yolu nedir?

3.1.3 Pozitronyum kütlesi elektronun kütlesine eşit, yükü elektronun yükü büyüklüğünde fakat elektronunki ile zıt işaretli olan bir parçacıktır. Pozitronyum atomu bir elektron ile bir pozitronun oluşturduğu (kısa ömürlü) bir atomdur. Bu atomda elektronla pozitron arasındaki uzaklık yaklaşık olarak $r = 2 \times 1,05 \times 10^{-10}$ m'dir. Bu değer Örnek 3.1.1'de kullanılan normal hidrojen atomunun yarıçapının kabaca yarısı kadardır. Pozitronyumda elektron ile pozitron arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğünü bulunuz. Bu yarıçapın küçüklüğünün pozitronyumun kısa ömürlü olmasına etkisi var mıdır?

3.1.4 Çevresinde (etkileşebilecek yakınlıkta) başka bir yüklü cisim olmayan yüklü bir cisim elektriksel etkileşimde bulunabilir mi?

3.1.5 Soru 3.1.1'deki düşüncenizi atomun yapısıyla ilişkilendirebilir misiniz? Nasıl?

3.1.6 Soru 3.1.1'deki durumu, a) elektriksel alan için de değerlendiriniz, b) Bu şekildeki etkileşmeler atomik ve moleküler sistemlerin büyüklüğünü nasıl etkiler?

3.1.7 Topraklama nedir? Yüklü bir iletken ve yüklü bir yalıtkan topraklanırsa ne olur?

3.1.8 Net yükü olmayan cisimler, herhangi bir elektrik alan içine konulduğunda bu alandan nasıl etkilenirler?

3.1.9 Siyah-beyaz televizyonda görüntü nasıl oluşmaktadır?

3.1.10 Yüklü bir sisteme ait bir tek elektrik çizgisi üzerinde elektrik alan birden fazla noktada aynı olabilir mi?

Problemler

3.1.2-3.1.3 Elektrik Yükü-Yalıtkanlar, İletkenler ve Tesirle Yüklenme

3.1.1. Fazladan 1 milyon elektron taşıyan bir yalıtkan kürenin net yükü kaç Coulomb'dur?

3.1.2. Üzerinde 2×10^{-14} elektron ve 4×10^{15} proton bulunan bir maddenin taşıdığı net yük ne kadardır?

3.1.3. Altının molar kütlesi yaklaşık olarak $m_{Au} = 197$ g/mol olduğuna göre nötr haldeki 1 g altında kaç tane elektron vardır?

3.1.4 Coulomb Yasası

3.1.4. İki kere iyonlaşmış helyum atomunun hızlı çekirdeğine alfa (α) parçacığı denir. Alfa parçacığının kütlesi $m = 6,64 \times 10^{-27}$ kg ve yükü $q = +2e = 3,2 \times 10^{-19}$ C 'dir. İki α parçacığı arasındaki elektriksel kuvvet ile kütle çekim kuvvetini karşılaştırınız.

3.1.5. Her hangi bir atom çekirdeğinde bulunan iki protonun arasındaki mesafenin yaklaşık $4,00 \times 10^{-15}$ m ve protonların birer nokta yük olduğunu kabul ederek, bu iki proton arasındaki elektrik ve kütle çekim kuvvetlerini bularak birbiriyle kıyaslayınız.

3.1.6. İki nokta yükün toplamı $8,00 \mu\text{C}$ olup aralarındaki mesafe $4,00$ cm'dir. Bu yükler birbirini 40 N'luk bir kuvvetle ittiklerine göre yüklerin değerlerini bulunuz. (Kuvvetin değeri negatif alınarak aynı yolun takip edilebileceğini unutmayınız).

3.1.7. 1 cm yarıçaplı ve 50 g kütleli iki özdeş yalıtkan kürenin her biri $+5 \mu\text{C}$ 'luk yük taşımaktadır. Küreler arasındaki mesafe 10 cm olup kürelerden biri serbest bırakıldığında ivmesi ne kadar olur? Her türlü kütle çekim kuvvetini ihmal ediniz.

3.1.8. $Q_1 = +5,0 \mu\text{C}$, $Q_2 = -6,0 \mu\text{C}$ ve $Q_3 = 4,0 \mu\text{C}$ 'luk nokta yükler, x ekseninde, sırasıyla, -20 cm 0 ve 10 cm noktalarına yerleştirilmişlerdir. 1. ve 2. yüklere etkiyen net kuvvetleri bulunuz.

3.1.9. $Q_1 = +4,0 \mu\text{C}$, $Q_2 = -5,0 \mu\text{C}$, $Q_3 = 6,0 \mu\text{C}$ ve $Q_4 = 4 \mu\text{C}$ 'luk nokta yükler kenar uzunluğu 9 cm olan bir karenin köşelerine yerleştirilmişlerdir. Her bir yüke etkiyen net elektrostatik kuvveti hesaplayınız.

3.1.10. Bohr atom modeline göre normal hidrojen atomunun elektronu durgun kabul edilen proton etrafında $0,53 \times 10^{-10}$ m yarıçaplı bir yörüngede dolanmaktadır. Protonun elektron üzerine etkittiği kuvveti ve bu merkezil kuvvetin elektronu bu yörüngede tutabileceği hız değerini bulunuz.

3.1.11. İkişer gramlık iki gümüş diskten her biri yaklaşık 10^{22} atoma sahiptir. Bunların her birinden $Q = 0,2 \mu\text{C}$ miktarda yük alınarak biri yalıtkan bir yatay yüzeye tutturulmuş ve diğeri yine yalıtkan bir sicimle merkezleri aynı düşey doğrultuda olacak şekilde tavan-dan asılmıştır. Askı sicimi uzatılıp kısaltılabildiğine göre, (a) üstteki gümüş diskin, sici-min etkisi olmaksızın dengede olabilmesi için üstteki disk hangi konuma götürülmelidir? (b) Bu $Q = 0,2 \mu\text{C}$ 'luk yük, her bir diskten kaç elektron alınarak elde edilmiştir? (c) Bir gü-müş atomunun ancak bir elektron kaybettiğini varsayarak, gümüş atomlarının yüzde kaçının elektron kaybettiğini bulunuz.

3.1.12. Her biri $6,0 \mu\text{C}$ büyüklüğünde yük taşıyan üç özdeş küre, her bir kenar uzunluğu 40 cm olan eşkenar üçgenin köşelerine tutturulmuştur. Her bir küreye etkiyen elektrostatik kuvveti bulunuz.

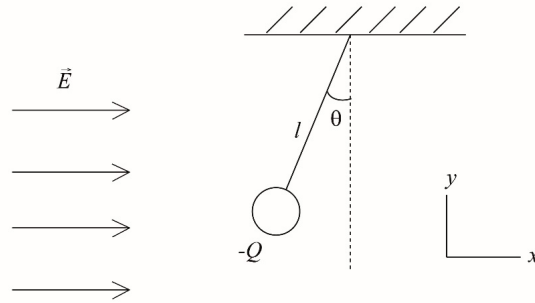
3.1.5 Elektrik Alan

3.1.13. Kütleli 0,02 g olan küçük bir top, deniz kenarında yerçekiminin olduğu bir ortamda, büyüklüğü 400 N/C , yönü düşey ve yukarı doğru olan düzgün bir elektrik alanına konuldu-ğunda dengede kalmaktadır. Toptaki yükü bulunuz.

3.1.14. Problem 3.1.13'teki alanın giderek zayıflayan ışınsal (radial) bir alan olması hâlinde, top denge konumundan biraz yukarıdan serbest bırakılırsa topun hareketi ne olur?

3.1.15. M kütleli küçük bir yağmur damlası net bir $+Q$ yükü taşımaktadır. Bu yağmur dam-lası düşey doğrultudaki bir elektrik alanına ilk hızsız olarak konulmuştur. Damlayı o noktada durgun olarak tutacak olan elektrik alanın yönünü ve büyüklüğünü bulunuz.

3.1.16. $-Q$ net yüküne ve M kütesine sahip bir küre Şekil 3.1.25'te görüldüğü gibi l uzun-luğunda bir ince ip ile tavadan asılmıştır. Topun bulunduğu bölgeye uygulanan E elektrik alanı, topun saparak düşeyle θ açısı yapacak şekilde dengede kalmasına sebep olmaktadır. E 'yi M , Q ve θ cinsinden bulunuz.

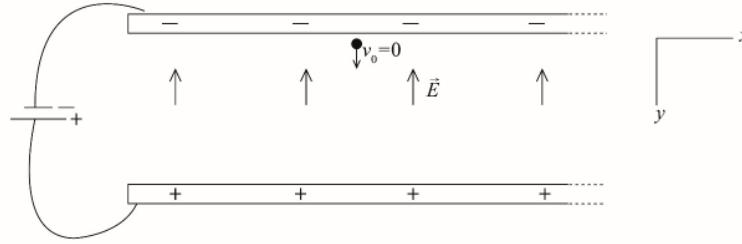


Şekil 3.1.24 Problem 3.1.16 için.

3.1.17. $q_1 = 6,00 \text{ nC}$ ve $p_2 = 8,00 \text{ nC}$ olan iki nokta yük, sırasıyla, $(1,00; 2,00)$ ve $(2,00; 4,00)$ noktalarındadırlar. Bu yüklerin $(6,00; 8,00)$ noktasında meydana getireceği elektrik alanı bulunuz.

3.1.6 Sürekli Yük Dağılımlarının Elektrik Alanı

3.1.18. İki büyük iletken plaka bir pilin uçlarına bağlanırsa plakalarda toplanan yüklerden dolayı plakalar arasında (kenarlara yakın bölgeler dışında) düzgün bir alan oluşur. Plakalar yatay ve aralarındaki mesafe $2,0 \text{ cm}$ ve elektrik alanın büyüklüğü $E = 2,00 \times 10^2 \text{ N/C}$ 'dur. Elektrik alanın yönü şekilde gösterildiği gibi yukarı doğrudur. **a)** Durağan hâldeki bir elektron üst plakadan serbest bırakılırsa ivmesinin büyüklüğü ne kadar olur? **b)** Elektron alt tabakaya ulaştığında ne kadar kinetik enerjiye sahip olur? **c)** Aynı şartlarda sadece plakalar arası mesafe yarıya indirilse, elektronun kinetik enerjisi ne kadar olur?

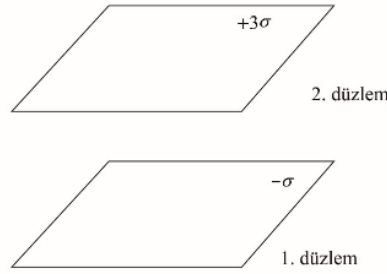


Şekil 3.1.25 Problem 3.1.18 için.

3.1.19. Normal atmosferik basınç ve sıcaklık (76 cmHg ve 25° C) altında kuru havanın elektrik şiddeti (havayı iletken hâle getiremeyen en büyük elektrik alan) $3 \times 10^6 \text{ N/C}$ olduğuna göre çapı 10 cm olan bir metal kürenin kıvılcım atmadan taşıyabileceği en büyük yük miktarını bulunuz.

3.1.7 Elektrik Alan Çizgileri

3.1.20. Birbirine paralel sonsuz iki düzlemden 1.si $-\sigma$ ve 2.si ise $+3\sigma$ düzgün yük yoğunluğuna sahiptir. Bu düzlemlerin arasındaki ve dışındaki bölgelerdeki alan çizgilerini çiziniz.



Şekil 3.1.26 Problem 3.1.20 için.

3.1.21. Boş uzayda sabit konumlu pozitif bir nokta yükün elektrik alanına serbestçe konulan pozitif bir deneme yükü, elektrik alan çizgisi boyunca hareket eder mi?

3.1.22. Büyüklükleri $2q$, $-q$ ve q olan üç elektrik yükü, eksi işaretli olan ortada olacak şekilde, x eksenine eşit aralıklarla yerleştirilmişlerdir. (a) Şekil üzerinde yüklere yakın bölgelerde alan çizgilerini çiziniz. (b) Şekilin hangi bölgesinde elektrik alan nispeten daha zayıftır? Neden?

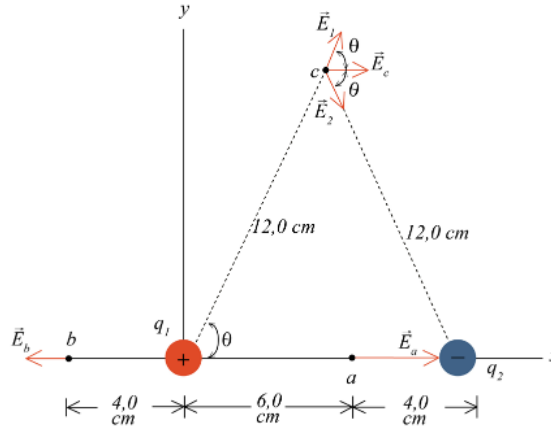


Şekil 3.1.27 Problem 3.1.22 için.

3.1.23. Üzerlerinde Q yükünü düzgün olarak taşıyan, (a) sonlu uzunlukta ince bir çubuk, (b) sonlu yarıçaplı bir disk ve (c) sonlu yarıçaplı bir küre kabuğu için elektrik alan çizgileri nasıl olmalıdır? Temsilen çiziniz.

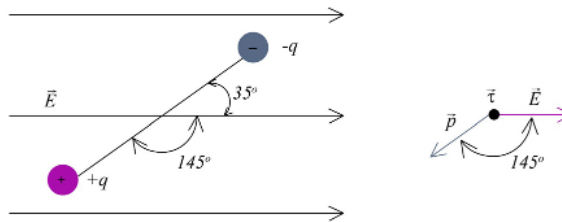
3.1.8 Elektrik Dipoller

3.1.24. Aşağıdaki şekilde görülen, $+10 \text{ nC}$ ve -10 nC büyüklüğünde iki yükten oluşan bir dipolün şekilde gösterilen a, b ve c noktalarında oluşturduğu alanları bulunuz.



Şekil 3.1.28 Problem 3.1.24 için.

3.1.25. Kutup yük değeri $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ olan bir dipol, düzgün bir elektrik alanı içine Şekil 3.1.29'da görüldüğü gibi konulmuştur. Dipolün boyu (yükleri arasındaki mesafe) $1,2 \times 10^{-8} \text{ m}$ 'dir. (a) Elektrik alanının dipole uyguladığı net kuvveti, (b) Elektrik dipol momentini, (c) Dipole uygulanan torku bulunuz.

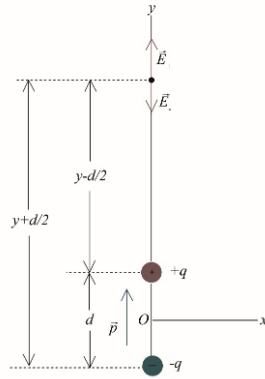


Şekil 3.1.29 Problem 3.1.25 ve Problem 3.1.26 için.

3.1.26. Üzerlerinde eşit büyüklükte fakat zıt işaretli yükler taşıyan iki molekül düzgün bir elektrik alanına Şekil 3.1.29'da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Alanın büyüklüğü $E = 5,0 \times 10^5 \text{ N/C}$, yüklerin büyüklüğü $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ olup aralarındaki mesafe $0,120 \text{ mm}$ 'dir. (a) Alanın, moleküllerin oluşturduğu bu dipole etkittiği net kuvveti, (b) Elektrik dipol momentini, (c) Dipole uygulanan torku bulunuz.

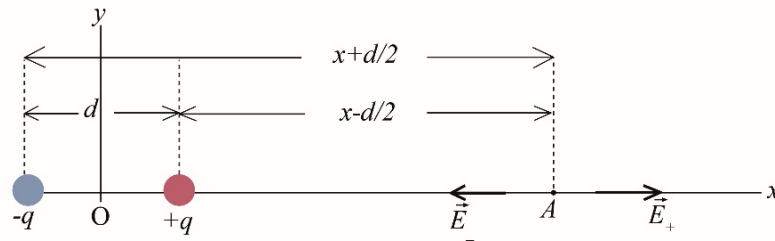
3.1.27. Şekil 3.1.30'da görüldüğü gibi, merkezi xy kartezyen koordinat sisteminin orijininde bulunan bir elektrik dipolün boyu $d = 0,5 \times 10^{-8}$ m, kutup şiddeti $q = 4$ nC'dur ve dipol moment vektörü $+y$ yönündedir. (a) y ekseninde, dipol boyuna kıyasla çok uzak olan herhangi bir A noktasında elektrik alanın yaklaşık ifadesini bulunuz. (b) A noktasının orijinden uzaklığını 1 cm, elektrik dipolün boyunu $d = 0,5 \times 10^{-8}$ m ve kutup şiddetini $q = 4$ nC alarak bu noktadaki elektrik alanın büyüklüğünü bulunuz. (c) Dipolu kaldırıp orijine $q = 4$ nC'luk bir yük konulduğunda bu yükün A noktasında meydana getireceği alanın, dipolun oluşturduğu alanın kaç katı olduğunu bulunuz.

(Bu problemin çözümünde, binom açılımından $(1+x)^n \cong 1 + n_x + n(n-1)x^2/2 + \dots$, $[|x| < 1 \text{ için}]$ yararlanabilirsiniz).



Şekil 3.1.30 Problem 3.1.24 için.

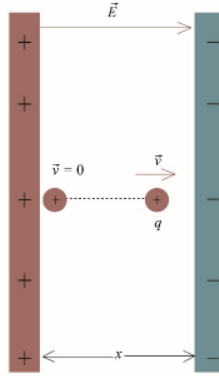
3.1.28. Şekil 1.1.31'de görüldüğü gibi, merkezi orijinde bulunan ve x eksenine çakışık olan d boyunda bir dipolün x eksenindeki bir A noktasında meydana getireceği elektrik alanını veren yaklaşık bir ifade bulunuz. A noktasının orijine olan x uzaklığının d 'den çok büyük olduğunu kabul ediniz.



Şekil 3.1.31 Prblem 3.1.28 için.

3.1.9 Yüklü Parçacıkların Düzgün Bir Elektrik Alanda Hareketleri

3.1.29. İki büyük levha arasında oluşturulan düzgün bir elektrik alanda, durgun hâlden serbest bırakılan pozitif q yüküne sahip olan bir parçacığın $x = x_s - x_i$ yolunu alınca kazanacağı kinetik enerji için, (a) Bir ifade bulunuz. (b) Bulduğunuz ifadenin alınan yola, parçacığın yüküne ve elektrik alana bağlı olduğunu fakat parçacığın kütlesine bağlı olmadığını nasıl değerlendirirsiniz? (c) Bu kinetik enerji yüklü parçacıkla elektrik alan kaynağının ortaklaşa ortaya çıkardıkları yoksa da dönüştürdükleri bir enerji midir?



Şekil 3.1.32 Problem 3.1.29 için.