

FİZİK II

ELEKTRİK VE MANYETİZMA



Prof. Dr. İlker DİNÇER

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Fizik Mühendisliği Bölümü

Ders Hakkında

Fizik-II Elektrik ve Manyetizma Dersinin Amacı

Bu dersin amacı, fen ve mühendislik öğrencilerine elektrik ve manyetizmanın temel kanunlarını lisans düzeyinde öğretmektir.

Dersin İçeriği

Hafta	Konu
1. Hafta	Elektrik Yükü ve Elektrik Alan (<u>Ön Çalışma: Dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
2. Hafta	Gauss Yasası-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
3. Hafta	Gauss Yasası-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
4. Hafta	Elektriksel Potansiyel (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
5. Hafta	Sığa ve Dielektrikler (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
6. Hafta	Akım, Direnç ve Elektromotor Kuvvet (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
7. Hafta	Doğru Akım Devreleri-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
8. Hafta	Doğru Akım Devreleri-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
9. Hafta	Vize Sınavı (<u>Ön Çalışma: Önceki haftaların konularını gözden geçirip Vize Sınavına hazırlanınız.</u>)
10. Hafta	Manyetik Alanlar (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
11. Hafta	Manyetik Alan Kaynakları-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
12. Hafta	Manyetik Alan Kaynakları-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
13. Hafta	Faraday Yasası (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
14. Hafta	İndüktans (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)

Ders Hakkında

Fizik-II Elektrik ve Manyetizma Dersinin Amacı

Bu dersin amacı, fen ve mühendislik öğrencilerine elektrik ve manyetizmanın temel kanunlarını lisans düzeyinde öğretmektir.

Değerlendirme

Ara sınav: % 40

Final sınavı: % 60

Kaynaklar

1. Fen ve Mühendislik için FİZİK-1 (Mekanik) Yazarlar: R. A. Serway ve R. J. Beichner, (ÇE: K. Çolakoğlu), Palme Yayıncılık
2. Fiziğin Temelleri (Mekanik) Yazarlar: D. Halliday, R. Resnick (Çeviren: C. Yalçın), Arkadaş Yayıncılık

Elektrik ve Manyetizma

Bu dönem, Fizik dersinde, fiziğin elektrik ve manyetizma olayları ile ilgili dalını inceleyeceğiz.

Elektrik ve manyetizma radyo, televizyon, elektrik motoru, bilgisayar ve benzeri elektronik aygıtların çalışmasında başlıca rol oynarlar.

Katı ve sıvıların oluşmasını sağlayan atomlar ve moleküller arası kuvvetler temelde elektrik kökenlidir.

Eski Yunanlılar M.Ö. 700 yıllarında elektrik ve manyetizma olaylarını gözlemlediler. Bir kehribar parçasının sürtünmeyle elektriklenip saman parçalarını çektiklerini gördüler.

Doğal mıknatıs-manyetit (Fe_2O_3) parçalarının demir tarafından çekilmesi gözlemlerinden manyetik kuvvetlerin varlığını biliyorlardı.

Elektrik: Kehribarın Yunanca elektron adından ve

Manyetik: Manyetitin ilk bulunduğu Magnesia 'Manisa' bölgesinin adından gelmektedir.

Elektrik ve Manyetizma

İngiliz William Gilbert, 1600'lerde elektriklenmenin kehribarla sınırlı kalmayıp, genel bir olay olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Elektrikte ters kare kuvvet yasası, 1785'de Charles Coulomb'un deneyleri ile doğrulandı.

Elektrik ve Manyetizmanın gerçekte birbiri ile ilgili olduğu 19. yüzyılın başlarına dek ortaya konulamadı.

Hans Oersted 1819'da, akım geçiren bir elektrik devresi yakınına konulan bir pusula iğnesinin saptığını belirledi.

Michael Faraday ve Joseph Henry 1831'de hemen hemen aynı zamanda bir telin bir mıknatıs yakınında (veya eşdeğer biçimde bir mıknatısın bir tel yakınında) hareket ettirilmesiyle telde bir akım oluştuğunu gösterdiler.

Elektrik ve Manyetizma

James Clark Maxwell 1873'de bu gözlemleri ve başka deneysel olguları bugün bildiğimiz elektromanyetik yasaları formüllemekte temel olarak kullandı.

1888'de Heinrich Hertz, elektromanyetik dalgaları laboratuvarında oluşturarak Maxwell'in öngörülerini doğruladı.

Bunu radyo ve televizyon gibi uygulamalardaki gelişmeler izledi.

Maxwell'in elektromanyetizmaya katkısı formüllediği yasaların tüm elektromanyetik olaylara temel oluşturması bakımından özellikle önemli olmuştur.

Maxwell'in bu çalışması, Newton'un kütle çekim kuramı ve hareket yasaları kadar önemlidir.

Elektrik ve Manyetizma



James Clerk
Maxwell

Maxwell Denklemleri

Gauss Yasası

(\mathbf{E} 'nin kaynağı elektrik yükleridir)

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$
$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Gauss Yasasının benzeri

(Manyetik yükler yoktur)

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Faraday Yasası

(\mathbf{B} değiştiğinde \mathbf{E})

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$
$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Amper Yasası

(\mathbf{E} yokken \mathbf{B} 'nin değişimi I oluşturur)

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.1 Elektrik Yüklerinin Özellikleri

1.2 Yalıtkanlar ve İletkenler

1.3 Coulomb Yasası

1.4 Elektrik Alanı

1.5 Sürekli Bir Yük Dağılımının Elektrik Alanı

1.6 Elektrik Alan Çizgileri

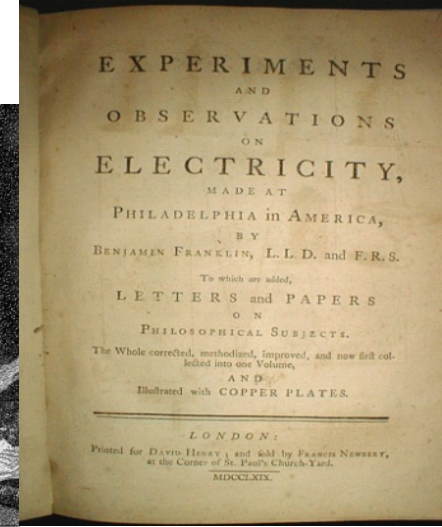
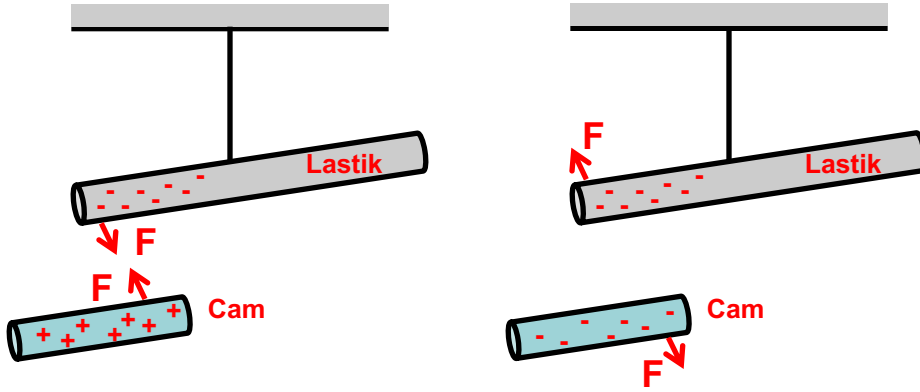
1.7 Düzgün Bir Elektrik Alanında Yüklü Parçacıkların Hareketi

1. Elektrik Yüklü ve Elektrik Alanları

Doğanın temel kuvvetlerinden biri, yüklü parçacıklar arasındaki elektromanyetik kuvvettir. Bu bölümde elektromanyetik kuvvetlerin başlıca özelliklerini anlatıp, iki yüklü parçacık arasındaki temel kuvvet yasası olan Coulomb yasasını tartışacağız. Daha sonra Elektrik alanı ve yüklü Parçacıklar üzerindeki etkisini inceleyeceğiz. Ayrıca belli bir yük dağılımının Elektrik alanının Coulomb yasasında nasıl hesaplanacağını inceleyeceğiz. Son olarak da yüklü bir parçacığın düzgün bir elektrik alandaki hareketini inceleyeceğiz.

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

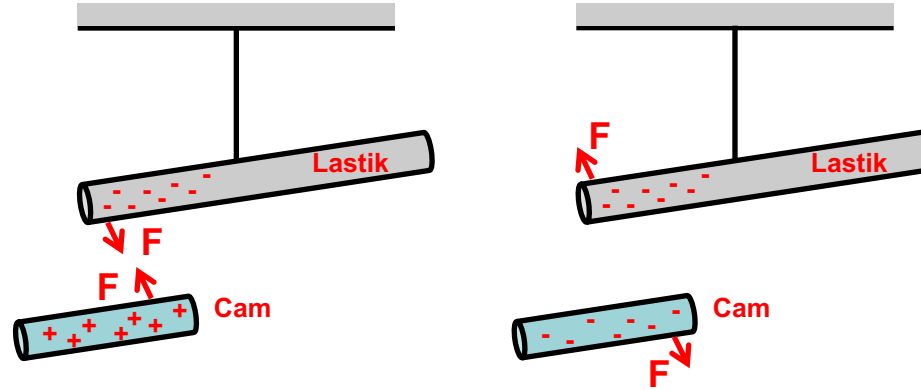
1.1 Elektrik Yüklerinin Özellikleri



- Yıldırımlar ve kuru bir havada halı üstünde hareket ederken kıvılcımların oluşması elektrik yükünün hareketine örnektir. Bu örnek elektrik yük kavramının temelini oluşturuyor.
- Yukarıdaki şekil 2 ayrı elektrik yükünün varlığının ispatlamaktadır. Cam veya plastik çubuklar ipek veya kürke sürtüldüklerinde elektriklenmiş olurlar. Elektriklenmiş çubuklar birbirlerine bir kuvvet etki ettirirler. Cam ile plastik çubuktaki yüklerin birbirinden farklı olduğu açıktır.
- Amerikalı fizikçi Benjamin Franklin cam çubukta oluşan elektrik yüküne artı, plastik çubukta oluşan elektrik yüküne eksi isim vererek elektrik kuvvetlerine bir anlatım getirmiştir.
- Deney sonuçlarına göre aynı cins elektrik yükleri birbirlerini iterler, ayrı cins elektrik yükleri ise birbirlerini çekerler.

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.1 Elektrik Yüklerinin Özellikleri



B. Franklin'in elektrik modelinin bir başka önemli yanı, **elektrik yükünün daima korunuyor olmasıdır**. Yani, bir cisim bir başkasına süttüğünde yük oluşmaz, elektriklenme yükün bir cisimden diğerine geçmesiyle olur. Böylece cisimlerin biri bir miktar eksi yük kazanırken diğeri artı yük kazanır.

Robert Millikan 1909'da elektrik yükünün her zaman bir temel e yük biriminin tam katları halinde bulunduğunu keşfetti. Yani **q yükü kuantumlanmıştır**. N tam sayı olmak üzere $q=Ne$ 'dir.

Aynı dönem yapılan deneyler, elektronun yükünü $-e$ ve protonun yükünün $+e$ olduğu ortaya koymuştur. Nötr parçacıkların elektrik yükleri yoktur.

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.1 Elektrik Yüklerinin Özellikleri

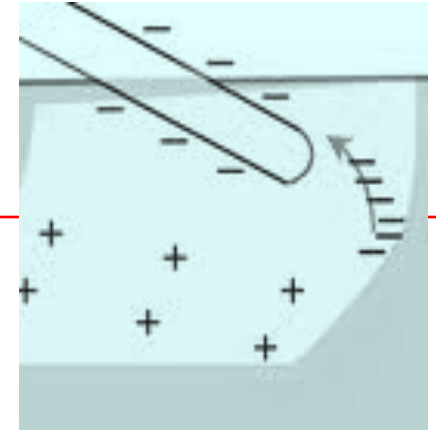
Elektrik Yükünün Özellikleri:

Doğada iki tür yük bulunur.

Benzer olanlar birbirlerini iterler, farklı olanlar ise birbirlerini çekerler.

Yük korunumludur.

Yük kuantumludur.



1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.1 Elektrik Yüklerinin Özellikleri

Elektriksel **iletkenler**, elektrik yüklerinin içinde özgürce hareket ettikleri, **yalıtkanlar** ise edemedikleri maddelerdir.

Cam, plastik gibi maddeler elektriksel yalıtkan sınıfına girerler. Bu tür maddeler sürtülerek yüklendiklerinde yalnızca sürtünen bölgeler yüklenir ve bu yük maddenin başka tarafına geçemez.

Bakır, Gümüş, alüminyum gibi maddeler iyi elektriksel iletkenlerdir. Bu maddelerin küçük bir bölgesi yüklenildiğinde yük iletkenin tüm yüzeyine çabukça dağılır.

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.1 Elektrik Yüklerinin Özellikleri

Charles Coulomb, kendi buluşu olan burulma terazisini kullanarak, yüklü cisimler arasındaki Elektrik kuvvetlerinin büyüklüklerini ölçtü. Coulomb, yüklü iki küçük küre arasındaki elektrik kuvvetinin $F \propto 1/r^2$ şeklinde, aralarındaki r uzaklığının karesiyle ters orantılı olduğunu doğruladı.

Coulomb yasasına göre:

Kuvvet, parçacıkları birleştiren doğru boyunca yönelmiş olup aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

Kuvvet, parçacıklardaki q_1 ve q_2 yüklerinin çarpımıyla orantılıdır.

Kuvvet, yükler zıt işaretli olduğunda çekici, aynı işaretli olduğunda iticidir. Gravitasyon daima bir çekim kuvvetidir. Bu ise elektriksel yükün iki ayrı cins, kütle için ise tek cins olduğu gerçeğini ortaya koyar.

Bu durumda k_e Coulomb sabiti olmak üzere **Coulomb** kuvveti:

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

Parçacık	Yük (C)	Kütle (kg)
Elektron (e)	$-1.6021917 \times 10^{-19}$	9.1095×10^{-31}
Proton (p)	$1.6021917 \times 10^{-19}$	1.67261×10^{-27}
Nötron (n)	0	1.67492×10^{-27}

$$k_e = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \quad k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$e = 1.60219 \times 10^{-19} \text{ C}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

Hidrojen atomundaki elektron ve proton arasındaki uzaklık ortalama olarak yaklaşık 5.3×10^{-11} m'dir. Bu parçacıklar arasındaki elektriksel ve kütle çekim kuvvetlerinin büyüklüğünü bulunuz.

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad k_e = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

$$F_e = k_e \frac{|e||-e|}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$\begin{aligned} F_g &= G \frac{m_e m_p}{r^2} \\ &= (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2) \\ &\quad \times \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} \\ &= 3.6 \times 10^{-47} \text{ N} \end{aligned}$$

Parçacık	Yük (C)	Kütle (kg)
Elektron (e)	$-1.6021917 \times 10^{-19}$	9.1095×10^{-31}
Proton (p)	$1.6021917 \times 10^{-19}$	1.67261×10^{-27}
Nötron (n)	0	1.67492×10^{-27}

Atomdaki yüklü parçacıklar arasındaki kütle çekim kuvveti, elektriksel kuvvetin yanında önemsenmeyebilir. İki kuvvet arasında biçimsel benzerlik vardır.

$$F_e/F_g \approx 2 \times 10^{39}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

Hidrojen atomundaki elektron ve proton arasındaki uzaklık ortalama olarak yaklaşık 5.3×10^{-11} m'dir. Bu parçacıklar arasındaki elektriksel ve kütle çekim kuvvetlerinin büyüklüğünü bulunuz.

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad k_e = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

$$F_e = k_e \frac{|e||-e|}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$
$$= (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2)$$
$$\times \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$
$$= 3.6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

Parçacık	Yük (C)	Kütle (kg)
Elektron (e)	$-1.6021917 \times 10^{-19}$	9.1095×10^{-31}
Proton (p)	$1.6021917 \times 10^{-19}$	1.67261×10^{-27}
Nötron (n)	0	1.67492×10^{-27}

Atomdaki yüklü parçacıklar arasındaki kütle çekim kuvveti, elektriksel kuvvetin yanında önemsenmeyebilir. İki kuvvet arasında biçimsel benzerlik vardır.

Gravitasyon daima bir çekim kuvvetidir. Bu ise elektriksel yükün iki ayrı cins, kütle için ise tek cins olduğu gerçeğini ortaya koyar.

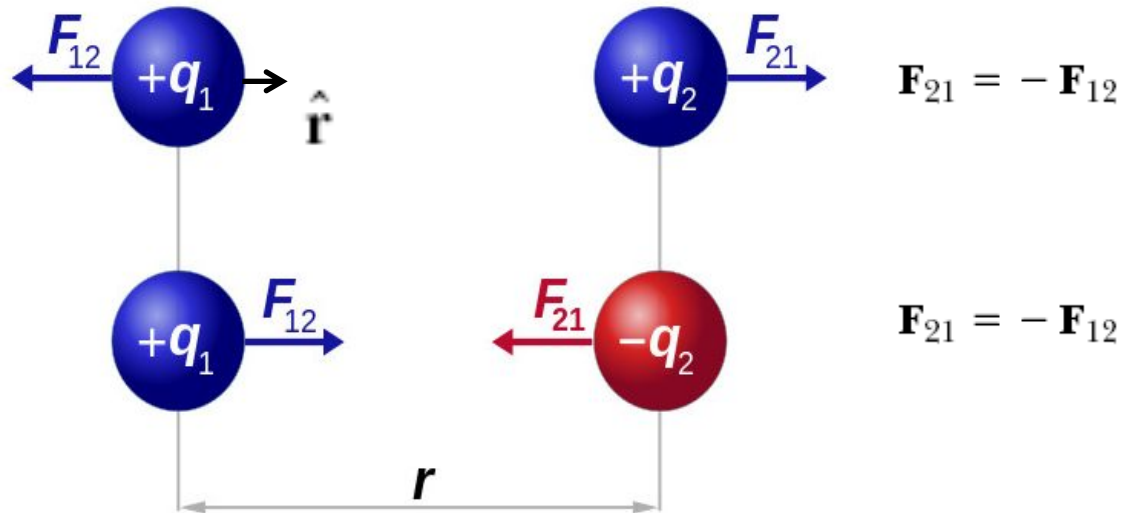
$$F_e / F_g \approx 2 \times 10^{39}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.3 Coulomb Yasası

Coulomb kuvveti vektörel bir niceliktir. Bu durumda Coulomb kuvveti:

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



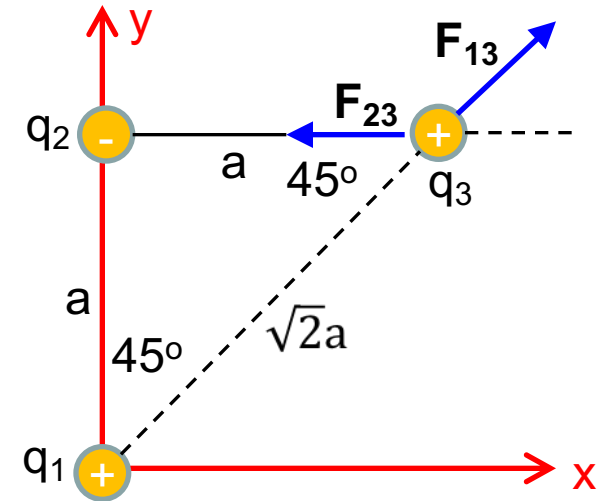
1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

q_3 yüküne etki eden bileşke kuvveti bulunuz.

$$q_2 = -2.0 \mu\text{C}, \quad q_1 = q_3 = 5.0 \mu\text{C} \quad a = 0.10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F_{23} &= k_e \frac{|q_2||q_3|}{a^2} \\ &= (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2.0 \times 10^{-6} \text{ C})(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.10 \text{ m})^2} \\ &= 9.0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{13} &= k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} \\ &= (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{2(0.10 \text{ m})^2} \\ &= 11 \text{ N} \end{aligned}$$



1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

q_3 yüküne etki eden bileşke kuvveti bulunuz.

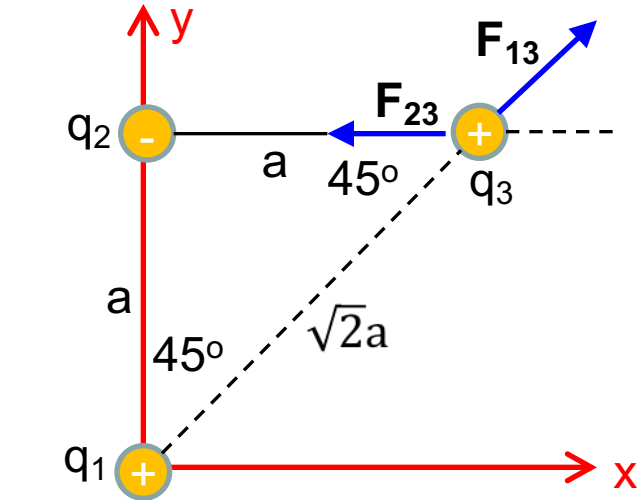
$$q_2 = -2.0 \mu\text{C}, \quad q_1 = q_3 = 5.0 \mu\text{C} \quad a = 0.10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F_{23} &= k_e \frac{|q_2||q_3|}{a^2} \\ &= (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2.0 \times 10^{-6} \text{ C})(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.10 \text{ m})^2} \\ &= 9.0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{13} &= k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} \\ &= (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{2(0.10 \text{ m})^2} \\ &= 11 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{3x} = F_{13x} + F_{23x} = 7.9 \text{ N} + (-9.0 \text{ N}) = -1.1 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_{13y} + F_{23y} = 7.9 \text{ N} + 0 = 7.9 \text{ N}$$



$$F_{13x} = F_{13} \cos 45^\circ = 7.9 \text{ N}$$

$$F_{13y} = F_{13} \cos 45^\circ = 7.9 \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_3 = (-1.1\hat{i} + 7.9\hat{j}) \text{ N}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

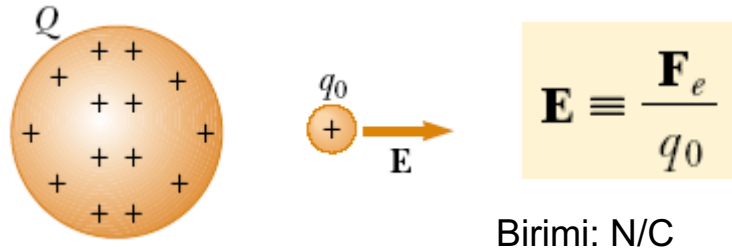
1.4 Elektrik Alanı

Şuana kadar kütle çekim ve elektrik kuvveti olmak üzere iki alan kuvvetini gördük. Alan kuvvetleri uzayda cisimler birbirine değmeseler bile etki ederler. Uzayda bir noktadaki, g kütle çekim alanı m deneme kütesine etki eden F_g kuvvetinin deneme kütesine bölümüne eşittir. Yani

$$g = F_g / m$$

dir. Elektrik kuvvetlerine benzer yaklaşım M. Faraday tarafından yapılmıştır. Bu yaklaşımda elektrik yüklü bir cismi saran uzay bölgesinde elektrik alanının bulunduğu söylenir. Bu alana başka bir yüklü cisim girdiğinde bu cisme bir elektrik kuvveti etki eder.

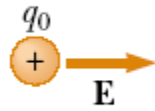
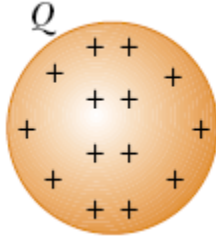
Küçük bir artı deneme yükünün daha büyük bir artı yük taşıyan ikinci bir cismin yakınında bulunduğunu düşünelim. Deneme yükünün konumundaki elektrik alanının şiddeti, birim yük başına elektrik kuvveti olarak tanımlanır. Yani, uzayda bir noktadaki E elektrik alanı, o noktaya konulan artı bir deneme yüküne etkiyen F_e elektrik kuvvetinin deneme yükünün q_0 büyüklüğüne bölümü olarak tanımlanır:



E , deneme yüküne oluşturulmayıp, deneme yüküne dışardan etki eden bir alandır. Elektrik alanının varoluşu, kaynağının bir özelliğidir. Örneğin her elektronun kendi E alanı vardır.

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

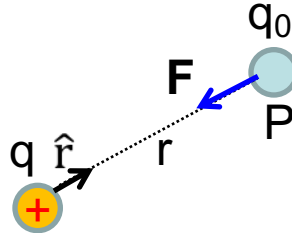
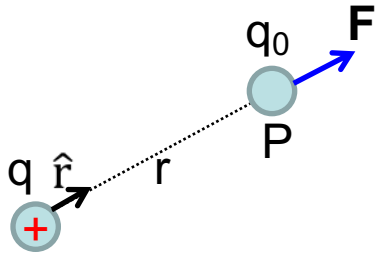
1.4 Elektrik Alanı



$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}_e}{q_0}$$

Birimi: N/C

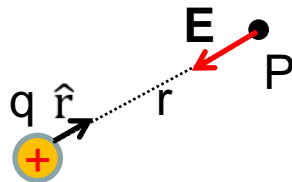
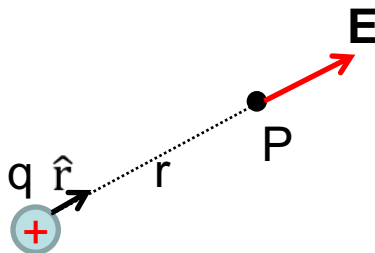
\mathbf{E} , alanının doğrultusu alana konulan artı bir deneme yüküne etki eden kuvvetin doğrultusudur.



$$\mathbf{F}_e = k_e \frac{qq_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\mathbf{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$



Yükler topluluğunun herhangi bir noktada oluşturduğu toplam elektrik alan bütün yüklerin elektrik alanlarının vektörel toplamına eşittir.

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

Örnek 1.5 İki Yükün Elektrik Alanı

$q_1=7.0 \mu\text{C}$ ve $q_2=-5.0 \mu\text{C}$ ise p noktasındaki elektrik alan nedir?

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(7.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.40 \text{ m})^2}$$
$$= 3.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.50 \text{ m})^2}$$
$$= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$
$$x \quad E_2 \cos \theta = \frac{3}{5} E_2 \quad y \quad -E_2 \sin \theta = -\frac{4}{5} E_2$$

$$\mathbf{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}} \text{ N/C} \quad \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} - 1.4 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}}) \text{ N/C}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}}) \text{ N/C}$$

$$\phi \text{ of } 66^\circ \quad 2.7 \times 10^5 \text{ N/C.}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.5 Sürekli Bir Yük Dağılımının Elektrik Alanı

Sürekli yük dağılımını, şekildeki gibi herbirinde Δq küçük yüklerin olacağı küçük parçalara ayıralım. Herbir Δq yükün p noktasında oluşturacağı elektrik alanı:

$$\Delta \mathbf{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

olsun. Bu durumda bütün parçaların p noktasında oluşturacağı \mathbf{E} alanı ise:

$$\mathbf{E} \approx k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

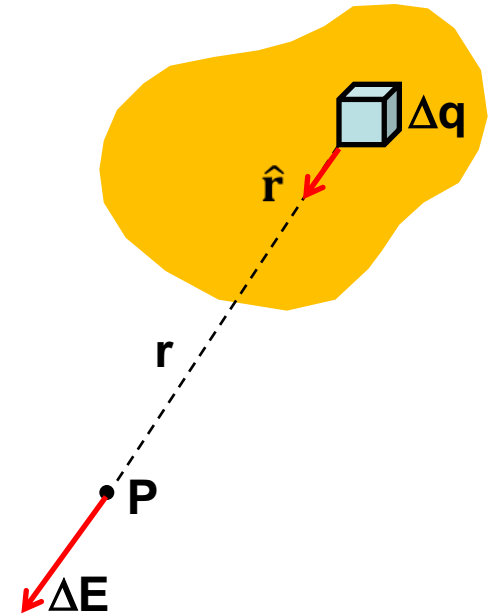
$$\Delta q_i \rightarrow 0 \quad \mathbf{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Hacim üzerine yük düzgün dağılmış ise: $\rho \equiv \frac{Q}{V}$

Yüzey üzerine yük düzgün dağılmış ise: $\sigma \equiv \frac{Q}{A}$

Yol üzerine yük düzgün dağılmış ise: $\lambda \equiv \frac{Q}{\ell}$

$$dq = \rho dV \quad dq = \sigma dA \quad dq = \lambda d\ell$$



1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

Çubuk üzerine yük düzgün dağılmış: $\lambda \equiv \frac{Q}{\ell}$ $Q = \lambda \ell$

$$dq = \lambda dx.$$

$$dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \frac{\lambda dx}{x^2}$$

$$E = \int_a^{\ell+a} k_e \lambda \frac{dx}{x^2}$$

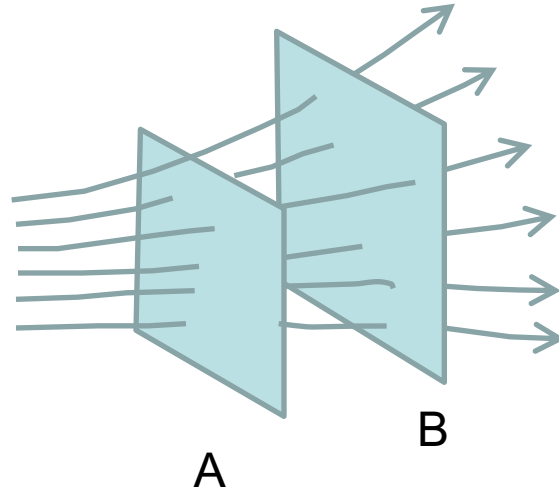
$$E = k_e \lambda \int_a^{\ell+a} \frac{dx}{x^2} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{\ell+a} = k_e \lambda \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\ell+a} \right) = \frac{k_e Q}{a(\ell+a)}$$

1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.6 Elektrik Alan Çizgileri

Elektrik alan desenlerini gözönünde canlandırmanın uygun yolu, doğrultusu her noktada elektrik alan vektörü ile aynı olan çizgiler çizmektir. Elektrik alan çizgileri denilen bu çizgiler uzayın herhangi bir bölgesinde elektrik alanına şu şekilde bağlıdır:

- E elektrik alan vektörü, elektrik alan çizgisine her noktada teğettir.
- Alan çizgilerine dik olan birim yüzeyden geçen çizgilerin sayısı, o bölgedeki elektrik alanın büyüklüğü ile orantılıdır. Buna göre alan çizgileri birbirlerine yakın olduğunda E büyük, uzak olduğunda küçüktür.



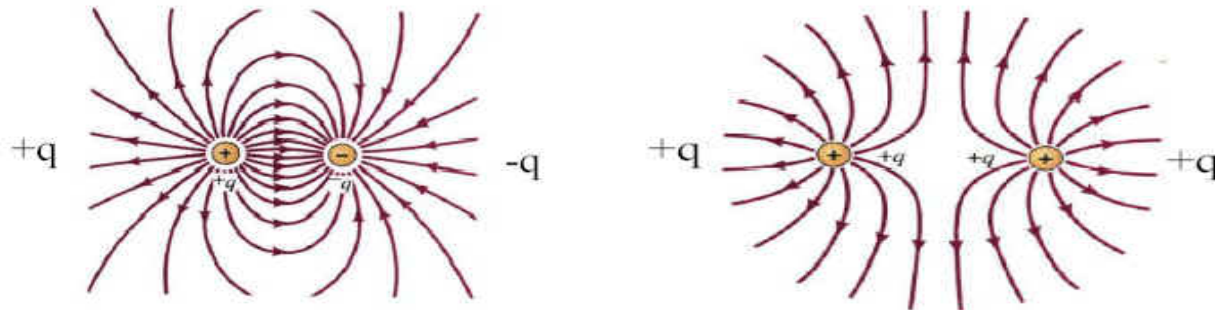
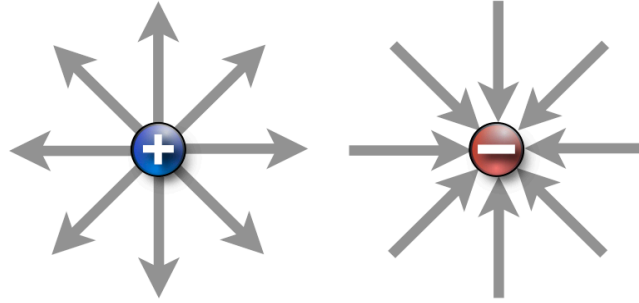
1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.6 Elektrik Alan Çizgileri

Elektrik alan çizgilerinin çizim kuralları:

- Alan çizgileri artı yükten çıkıp bir eksi yükte son bulmalıdır.
- Bir artı yükten ayrılan veya bir eksi yüke ulaşan alan çizgilerinin sayısı yük miktarıyla orantılıdır.
- İki alan çizgisi birbirini kesemez.

$$N_2/N_1 = Q_2/Q_1$$



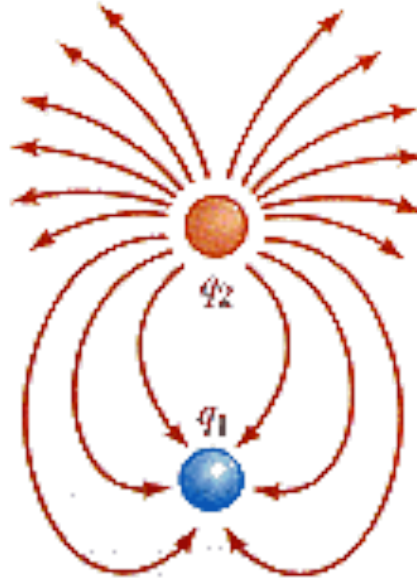
1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.6 Elektrik Alan Çizgileri

Elektrik alan çizgilerinin çizim kuralları:

- Alan çizgileri artı yükten çıkıp bir eksi yükte son bulmalıdır.
- Bir artı yükten ayrılan veya bir eksi yüke ulaşan alan çizgilerinin sayısı yük miktarıyla orantılıdır.
- İki alan çizgisi birbirini kesemez.

$$N_2/N_1 = Q_2/Q_1$$



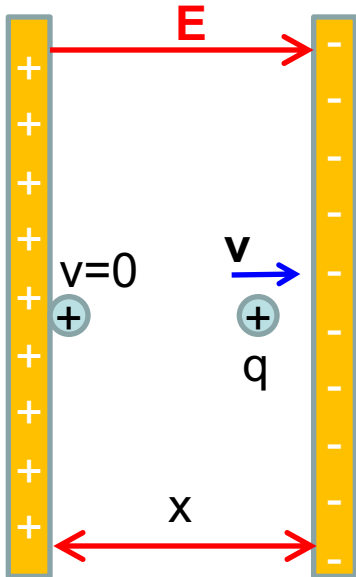
1. Elektrik Yükü ve Elektrik Alanları

1.7 Düzgün Bir Elektrik Alanında Yüklü Parçacıkların Hareketi Elektrik Alan Çizgileri

q yüklü m kütleli bir parçacık bir \mathbf{E} elektrik alanına konulduğunda yüke etkiyen elektrik kuvveti $q\mathbf{E}$ 'dir. Bu durumda parçacık hızlanacaktır ve Newton'un ikinci yasasına göre parçacığın ivmesi:

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} = m\mathbf{a} \quad \mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m}$$

\mathbf{E} elektrik alanı düzgün ise (yani doğrultu ve büyüklüğü sabit ise) ivmesi sabittir. Parçacığın yükü artı ise ivme Elektrik alan ile aynı, eksi ise zıt yöndedir.



$$\begin{aligned}x_f &= x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2 \\v_f &= v_i + at \\v_f^2 &= v_i^2 + 2a(x_f - x_i) \\x_i &= 0 \quad v_i = 0 \\x_f &= \frac{1}{2}at^2 = \frac{qE}{2m} t^2 \\v_f &= at = \frac{qE}{m} t \\v_f^2 &= 2ax_f = \left(\frac{2qE}{m}\right) x_f\end{aligned}$$

$$\Delta x = x_f - x_i$$

$$K = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}m \left(\frac{2qE}{m}\right) \Delta x = qE\Delta x$$

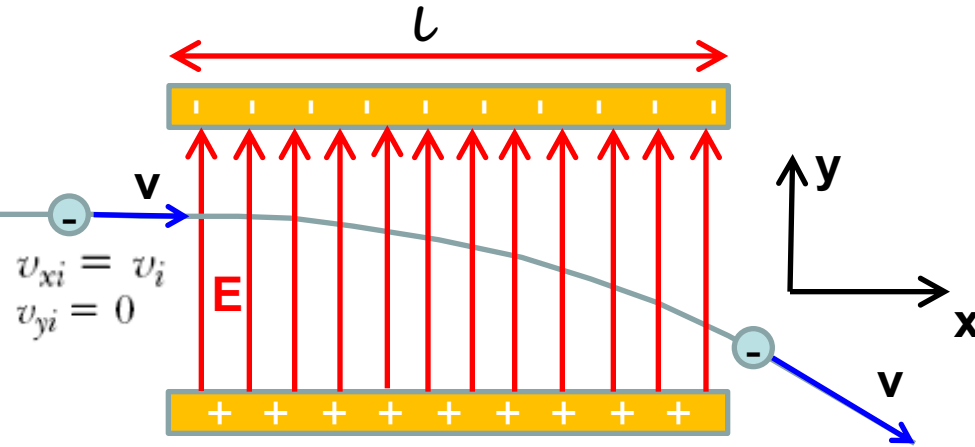
$$W = \Delta K$$

$$F_e \Delta x = qE\Delta x$$

23 Elektrik Alanları

1.7 Düzgün Bir Elektrik Alanında Yüklü Parçacıkların Hareketi Elektrik Alan Çizgileri

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} = m\mathbf{a} \quad \mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m}$$



$$\mathbf{a} = -\frac{eE}{m_e} \hat{\mathbf{j}}$$

$$v_x = v_i = \text{constant}$$

$$v_y = a_y t = -\frac{eE}{m_e} t$$

$$x_f = v_i t$$

$$y_f = \frac{1}{2} a_y t^2 = -\frac{1}{2} \frac{eE}{m_e} t^2$$