

Fizik II (ORMU-2)

Genel Fizik II (OREM-3)

Doç. Dr. Hasan H. Esenoğlu

2020

İçerik

1. Elektrik Yükü, Yük Kuantalanması, Yük Korunumu, İletkenler ve Yalıtkanlar, Bir İletkeni İndüksiyon Yoluyla Yükleme
2. Coulomb Yasası, Üstüste Binme İlkesi, Coulomb Yasası ile Elektriksel Kuvvet Hesaplanması ve Örnekleri
3. Elektrik Alan Vektörü, Nokta Yükün Elektrik Alanı, Nokta Yük Grubunun Oluşturduğu Elektrik Alan
4. Elektrik Dipol, Dipolün Oluşturduğu Elektrik Alan, Elektrik Alan Çizgileri
5. Elektrik Alan Akısı, Gauss Yasası, Gauss Yasası ile Elektrik Alan Hesaplanması ve Örnekleri

6. Elektrik Potansiyel, Nokta Yükün Potansiyeli, Eş Potansiyel Yüzeyler, Nokta Yük Sisteminin Potansiyel Enerjisi, Konu ile ilgili Örnekler

Arasınav Haftası

7. Sığa (Kapasitans), Paralel Plakalı Kapasitörler, Silindirik Kapasitörler, Küresel Kapasitörler, Sığa Hesaplanması ile ilgili Örnekler
8. Kapasitörde Depolanan Enerji, Dielektrik Kavramı, Dielektrikli Kapasitörler, Konu ile ilgili Örnekler
9. Elektrik Akımı, Akım Yoğunluğu, Direnç, Özdirenç, Ohm Yasası, Konu ile ilgili Örnekler

10. Elektrik Devreleri, Elektromotor Kuvvet (emk), Gerçek ve İdeal emk Kaynakları, Kirchhoff' un Çevrim Kuralı, Kirchhoff' un Kavşak Kuralı
11. Tek Halkalı Devreler, Çok Halkalı Devreler, Seri Bağlı Dirençler, Paralel Bağlı Dirençler, Konu ile ilgili Örnekler
12. Manyetik alan vektörü, Hareket Eden Yüklü Parçacığa Etkiyen Manyetik Kuvvet, Manyetik Alan Çizgileri, Düzgün Manyetik Alanda Yüklü Parçacığın Hareketi, Konu ile ilgili Örnekler

Bitirme Sınavı Haftası

Ayrıntılı İçerik

1. Elektrik Yükü, Yük Kuantalanması, Yük Korunumu, İletkenler ve Yalıtkanlar, Bir İletkeni İndüksiyon Yoluyla Yükleme

- Elektrik Yükü
- Yükün Kuantalanması
- Yükün Korunumu
- İletkenler ve Yalıtkanlar
- Bir İletkeni İndüksiyon Yoluyla Yükleme
- Coulomb Yasası
- Coulomb Yasası ve Üstüste Binme İlkesi

Elektrik Yüğü

Bu bölümde, maddenin özelliklerinden birisi olan “elektrik yükü” ile tanışacağız.

Atomu meydana getiren elektron, proton ve nötron’unun yüklerini öğreneceğiz ve devamında da aşağıdaki konulara değineceğiz:

- Elektrik yükünün çeşitleri

- İki yük arasındaki kuvvet (Coulombyası)

- Yükün kuantalığı

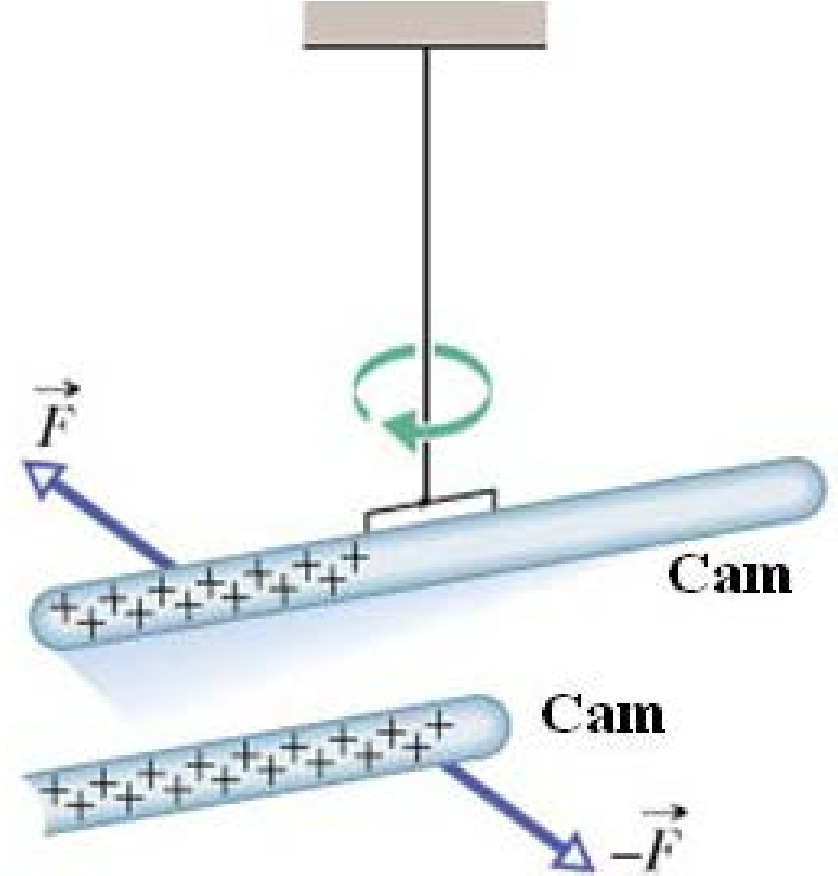
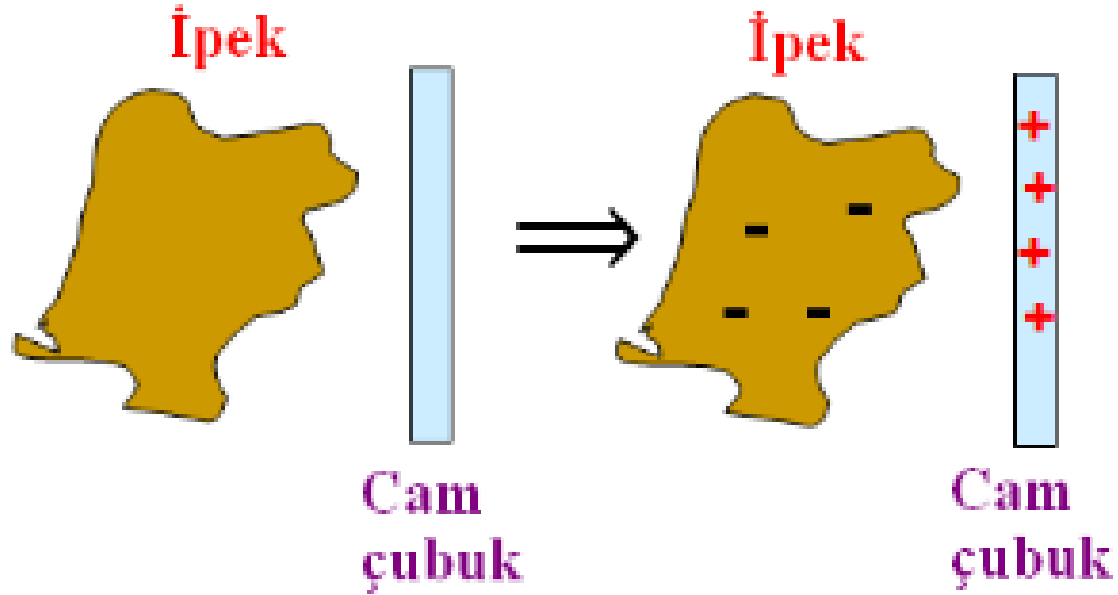
- Yükün korunumu

Bir kumaş parçası ile ovuşturulan kehribarın tüy gibi hafif nesneleri çektiği antik çağlardan beri bilinen bir şeydir.

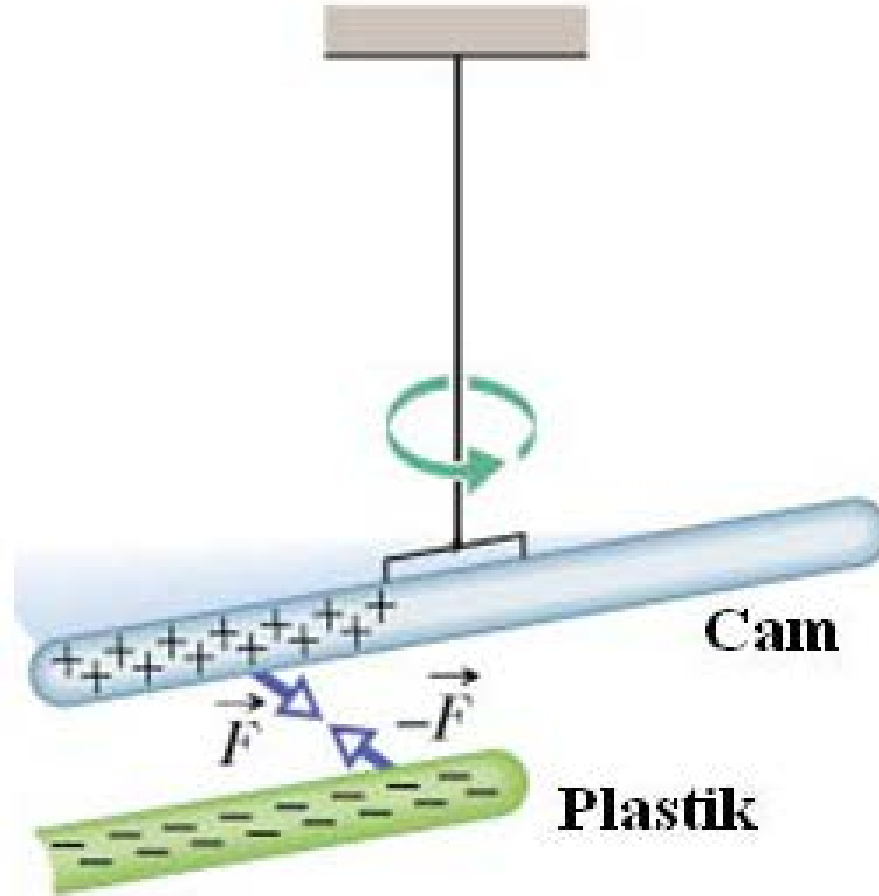
Bu olgu, maddenin yeni bir özelliği olan “**elektrik yükü**” ile ilgilidir.

Bir çok deney, iki tür elektrik yükünün varlığını göstermiştir: **pozitif** (renk kodu: kırmızı) ve **negatif** (renk kodu: siyah). “pozitif” ve “negatif” isimleri Benjamin Franklin tarafından verilmiş isimlerdir.

Cam bir çubuğu ipek bir kumaşla ovuşturduğumuzda, ikisi de elektrik yükü kazanır. Cam çubuğun kazandığı yükün işareti **pozitif** olarak tanımlanır.

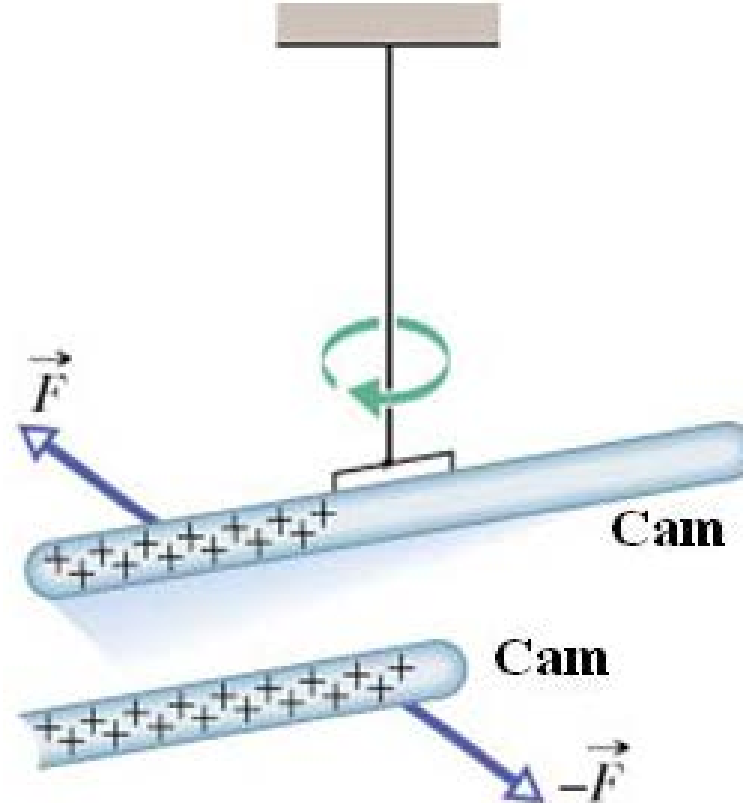


Benzer şekilde, plastik bir çubuğu bir kürk ile ovuşturduğumuzda, ikisi de elektrik yükü kazanır. Plastik çubuğun kazandığı yükün işareti **negatif** olarak tanımlanır.

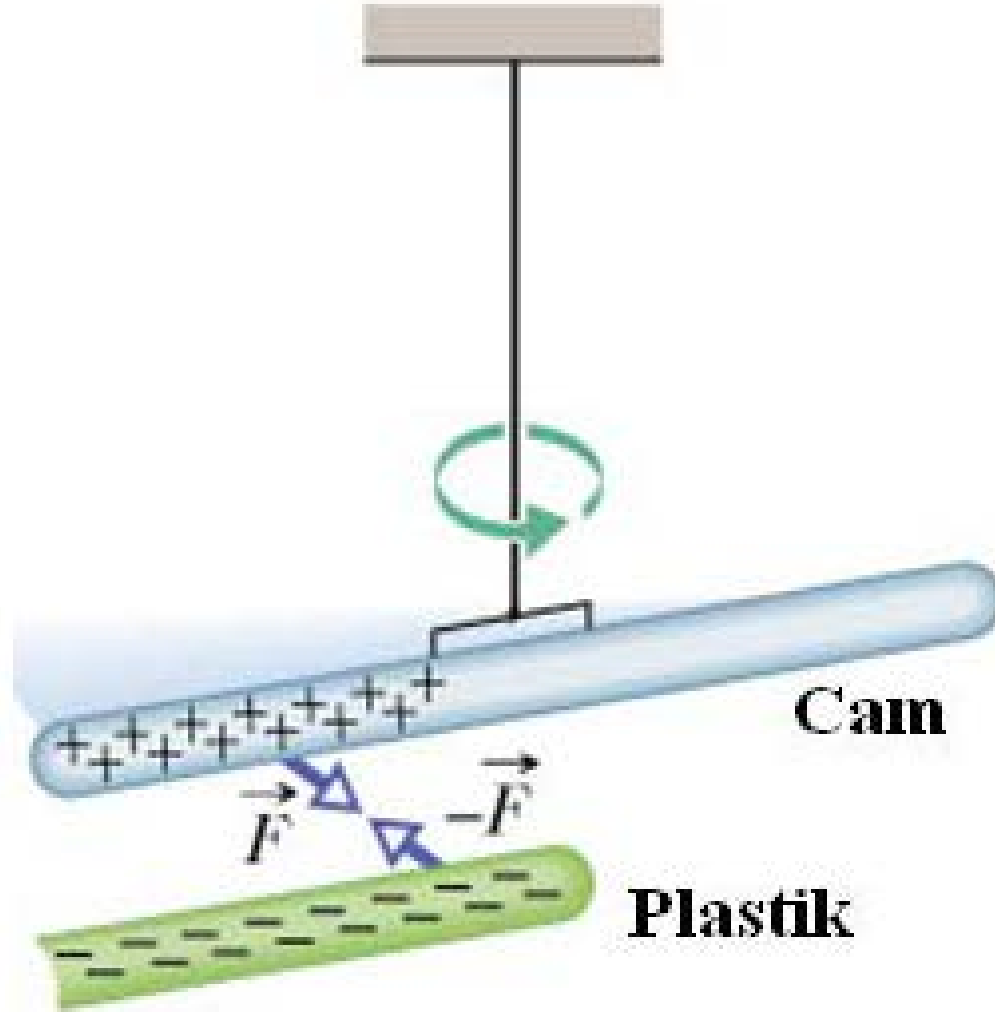


Yüklü cisimlerle yapılan bir çok deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Aynı işaretli yükler (her ikisi de pozitif veya negatif) birbirlerini iterler.



2. İşaretleri farklı olan yükler (biri pozitif, diğeri negatif) birbirlerini çekerler.



Yükünün işareti bilinen bir cisimle, yükünün işareti bilinmeyen cisim arasındaki etkileşme kuvvetinin yönünden yararlanarak, bilinmeyen cismin yükünün işaretini belirleyebiliriz.

Aynı işaretli yükler birbirini iter.
Zıt işaretli yükler birbirini çeker.

Yöntem:

İpek bir kumaşla ovuşturulan cam çubuğun pozitif yüklü olduğunu biliyoruz. Bu çubuğu, yükü kaybolmayacak ve etrafında serbestçe dönebilecek şekilde ortasından asalım. Sonrada, yükünü bilmediğimiz bir cismi cam çubuğa doğru yaklaştıralım.

Mümkün olan iki durum söz konusudur:

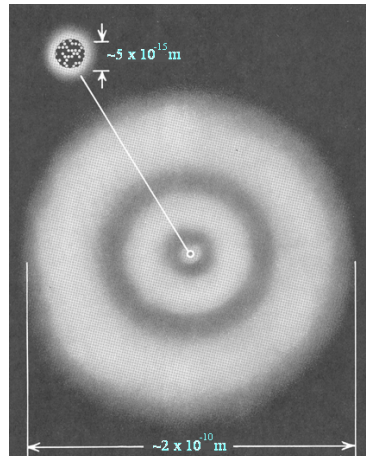
İki cisim bir birini **iterse** bilinmeyen yük **pozitif**, **çekerse negatif** işaretlidir.

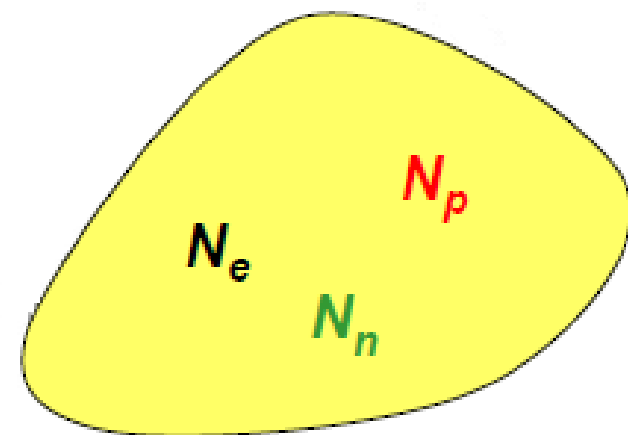
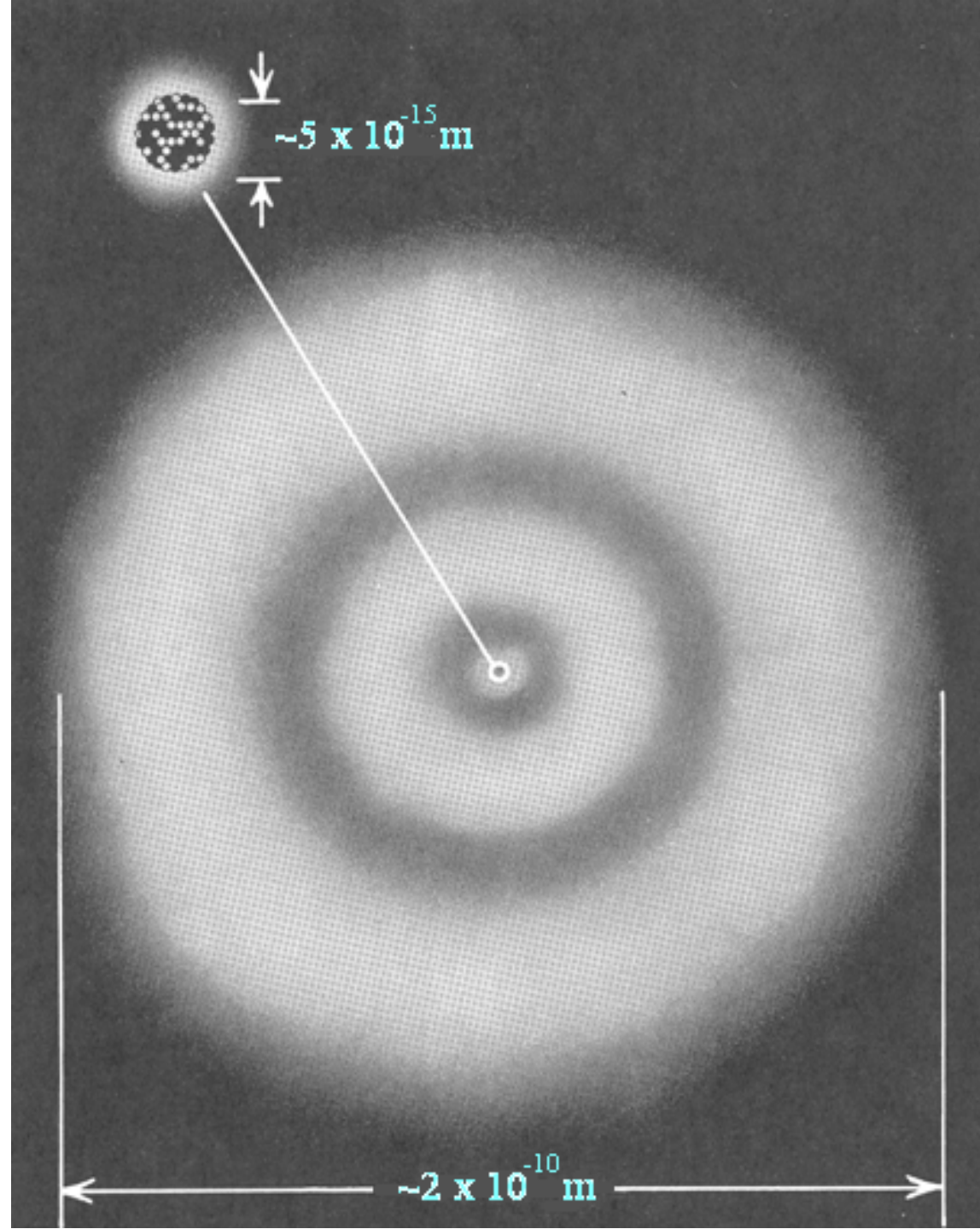
Benjamin Franklin zamanında (18. yy) elektrik yükünün bir çeşit ağırlıksız, sürekli akışkan olduğu kabul ediliyordu. 20. yy başlarında **Ernest Rutherford**'un atomun yapısı üzerinde yürüttüğü araştırmalar, maddenin ne şekilde meydana geldiğini ortaya koydu ve bileşenlerinin sahip oldukları yüklerin belirlenmesini sağladı.

Atomlar elektronlardan ve çekirdekten oluşur. Çekirdeğin kendisi de, proton ve nötronlardan oluşur.

Atomun çapı $\sim 5 \times 10^{-10} \text{ m}$

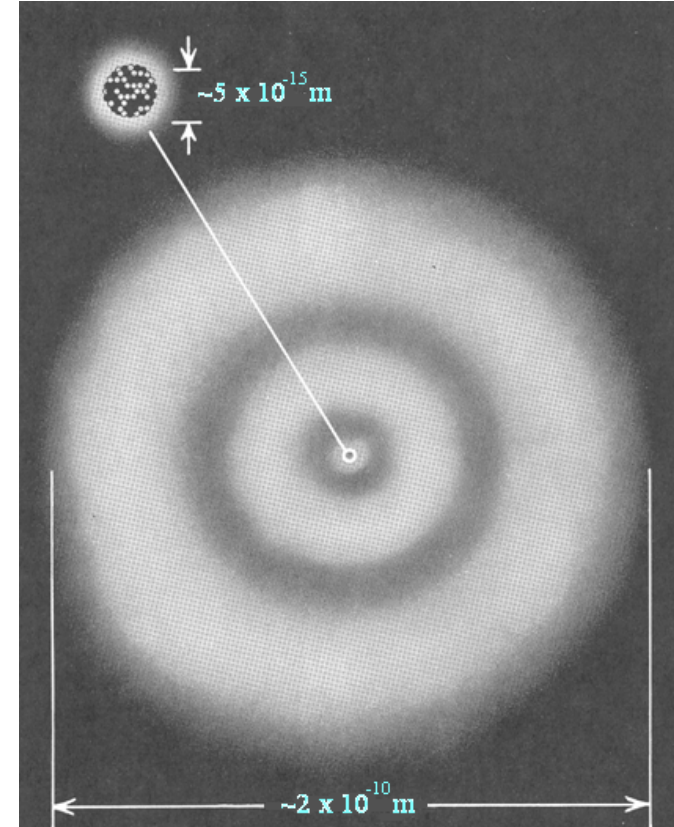
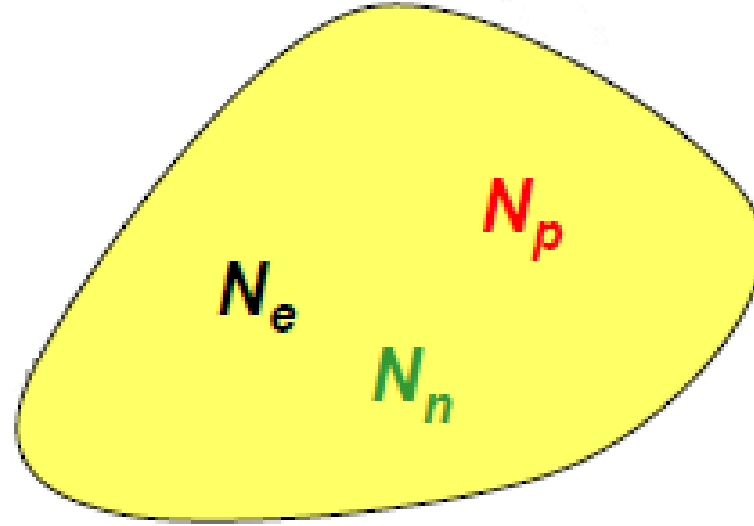
Çekirdeğin çapı $\sim 5 \times 10^{-15} \text{ m}$



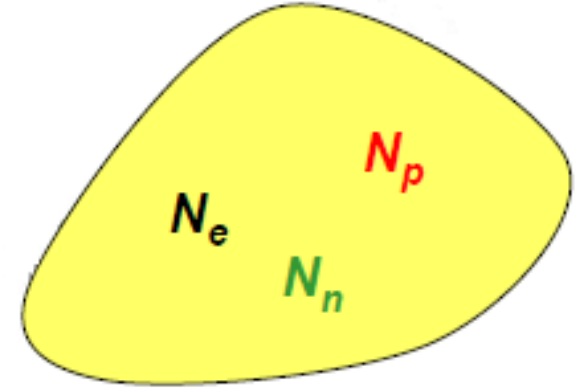


Elektronlar **negatif** yüklü, protonlar **pozitif** yüklü, nötronlar ise **yüksüzdür**.

Bu durumda elektrik yükü, atomu oluşturan parçacıkların (elektron, proton, nötron) temel bir özelliğidir.



Atomik Bileşenlerin Kütleleri ve Yükleri:



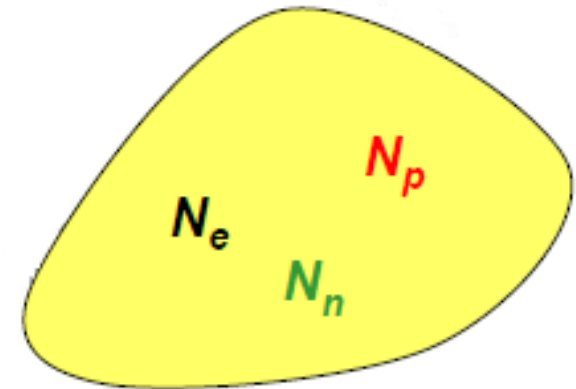
	Kütle- m (kg)	Yük- q (C)
Nötron (n)	1.675×10^{-27}	0
Proton (p)	1.673×10^{-27}	$+1.602 \times 10^{-19}$
Elektron (e)	9.11×10^{-31}	-1.602×10^{-19}

Not-1: “-e” elektron ve “+e” protonun yükleri için kullanılan semboller olup **temel yük** olarak bilinirler.

Not- 2: Bir atomdaki elektron ve proton sayıları eşitse, atom elektriksel olarak “nötr” olarak adlandırılır. Bu sayı “atom numarası (Z)” dır.

Not-3: Bir atomdaki proton ve nötron sayılarının toplamı ise “kütle numarası (A)” dır.

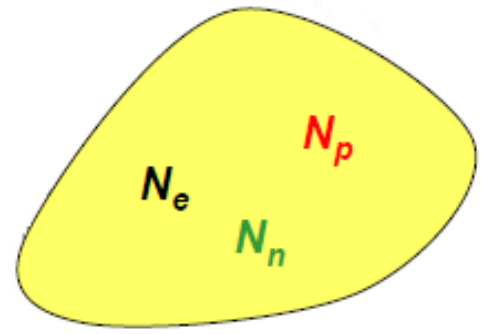
Gösterim: ${}^{235}_{92}\text{U}$



$Z = 92$ = elektron / proton sayısı (atom nötr)

$A = 235$ = proton + nötron sayısı

Yükün Kuantalanması



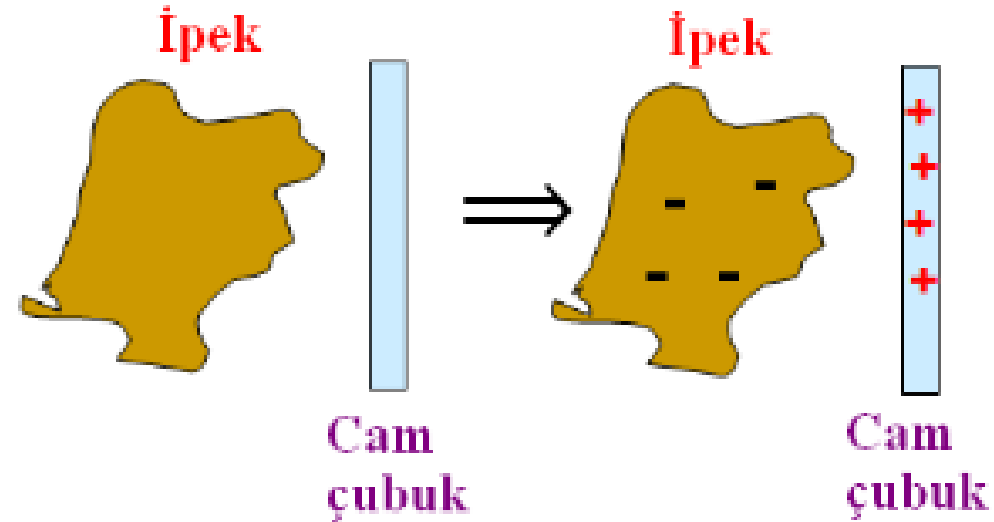
Bir nesnenin **toplam yükü**, o nesnedeki temel parçacıkların sayısına (elektron, proton, nötron) bağlıdır. Elektron sayısı N_e , proton sayısı N_p ve nötron sayısı N_n olan bir nesnenin net yükü

$$Q_{net} = -eN_e + eN_p + 0N_n = e(N_p - N_e) = en$$

olur. Burada, $n = (N_p - N_e)$ **tamsayı**dır. Bu, net yükün elektron yükünün tamsayı katları kadar olacağını gösterir. Yani yük **kuantalıdır**.

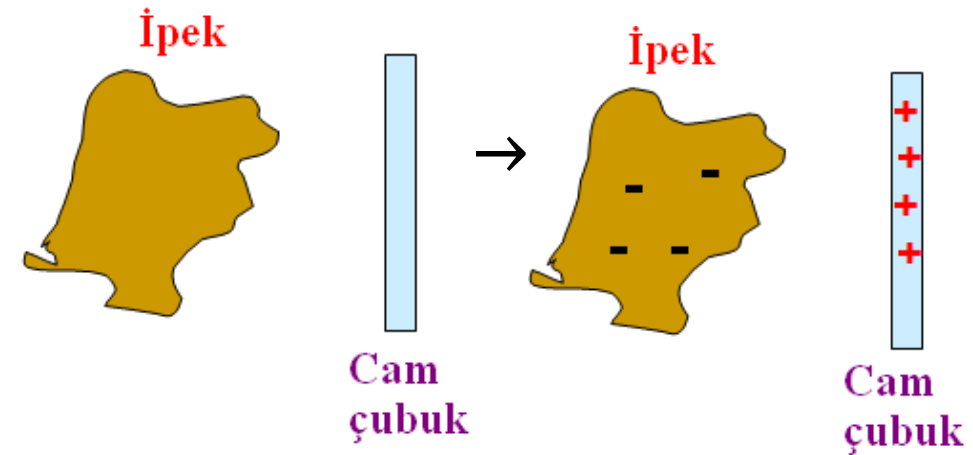
Yükün Korunumu

Her ikisi de yüksüz olan cam bir çubuk ile ipek bir kumaşımız olsun. Cam çubuğu ipek kumaşla ovuşturduğumuzda, cam çubuk pozitif yüklenir. Aynı anda, toplam yük sıfır olacak şekilde, ipek kumaş da eşit miktarda negatif olarak yüklenir.



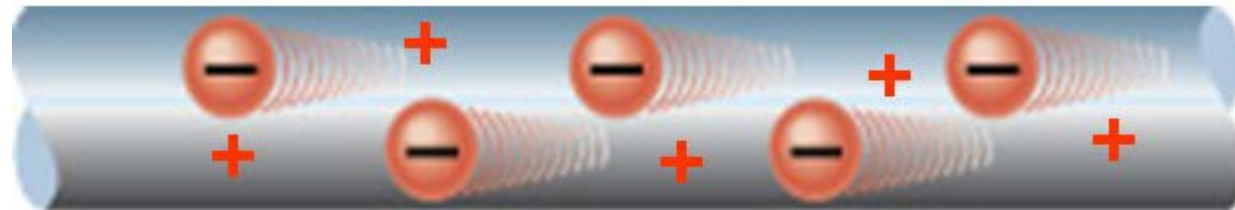
Buradan, ovuşturma işleminin her hangi bir yük oluşturmadığı ancak, birinden diğerine yük akışı sağladığı anlaşılır. Yükün korunumu şöyle özetlenebilir: “**Herhangi bir işlemin öncesindeki toplam yük, işlemden sonraki toplam yüke eşittir**”.

$$\text{Önceki Net Yük} = \text{Sonraki Net Yük}$$
$$Q_i = Q_s$$

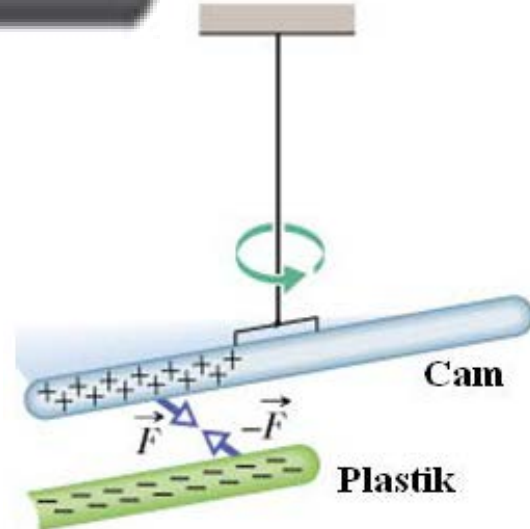
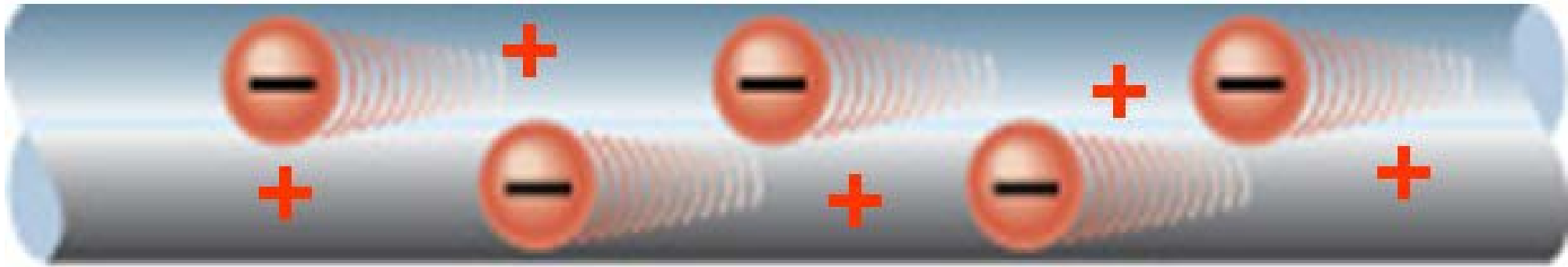


İletkenler ve Yalıtkanlar

İletkenler, yüklerin içlerinde serbestçe dolaşabilmelerine izin veren malzemelerdir. **Bakır, alüminyum, cıva** bunlardan bazılarıdır. Atomun son yörüngesindeki bir veya daha fazla elektron kolayca atomdan ayrılıp serbest hale gelebilir ve iletken içinde hareket eder. Bunlara **iletim elektronları** diyoruz. İletim elektronları geride iyon dediğimiz pozitif yüklü atomlar bırakırlar. İletkenin içinde sadece iletim elektronları serbestçe hareket edebilir, **pozitif yüklü iyonların konumları değişmez**.

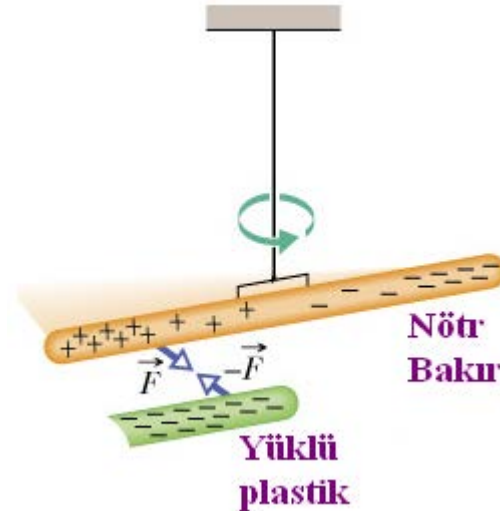


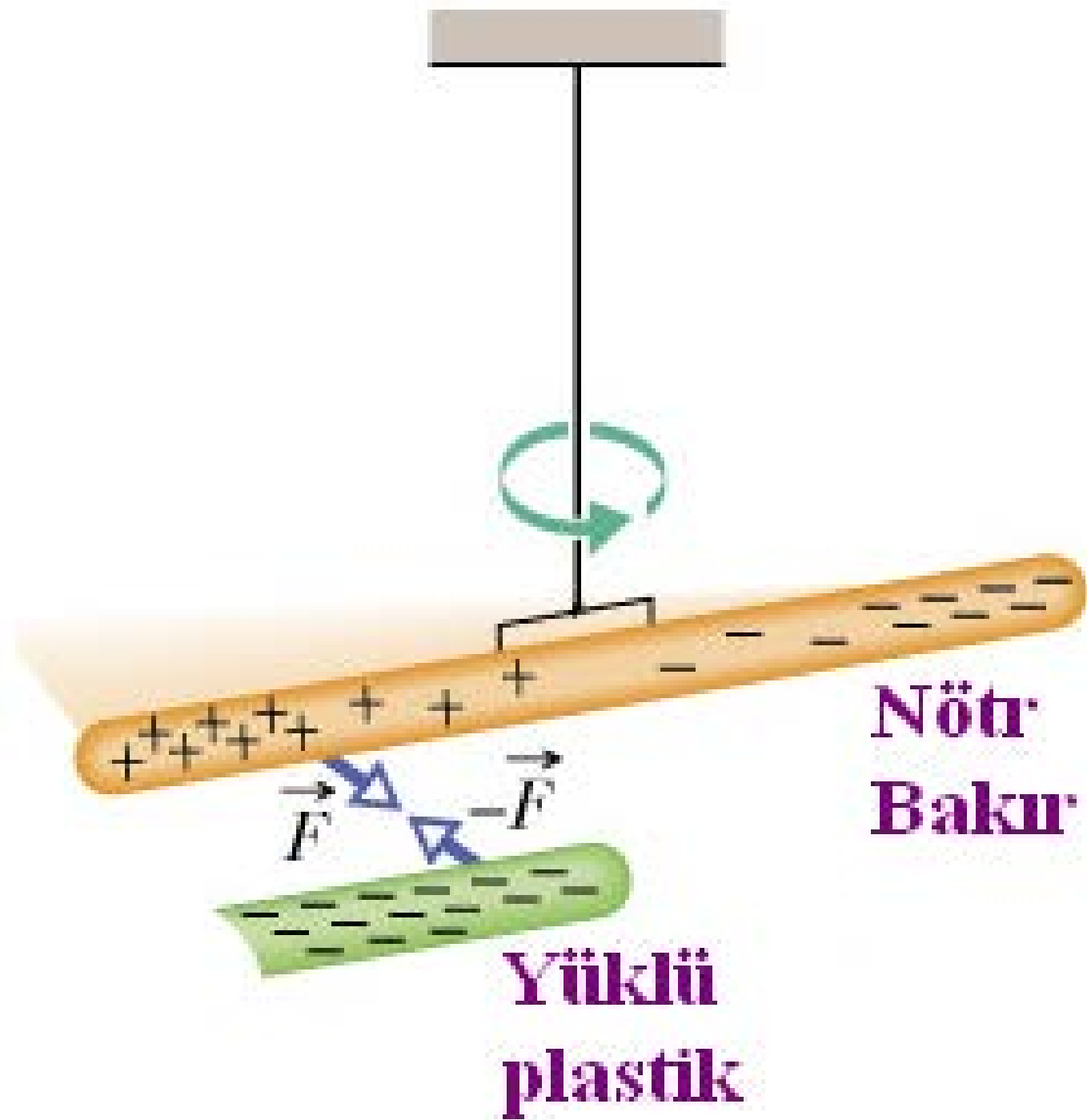
Yalıtkanlar, yüklerin içlerinde serbestçe dolaşmalarına izin vermeyen malzemelerdir. **Plastik, lastik, cam, seramik** bunlardan bazılarıdır. Yalıtkanlar **iletim elektronu içermezler**.



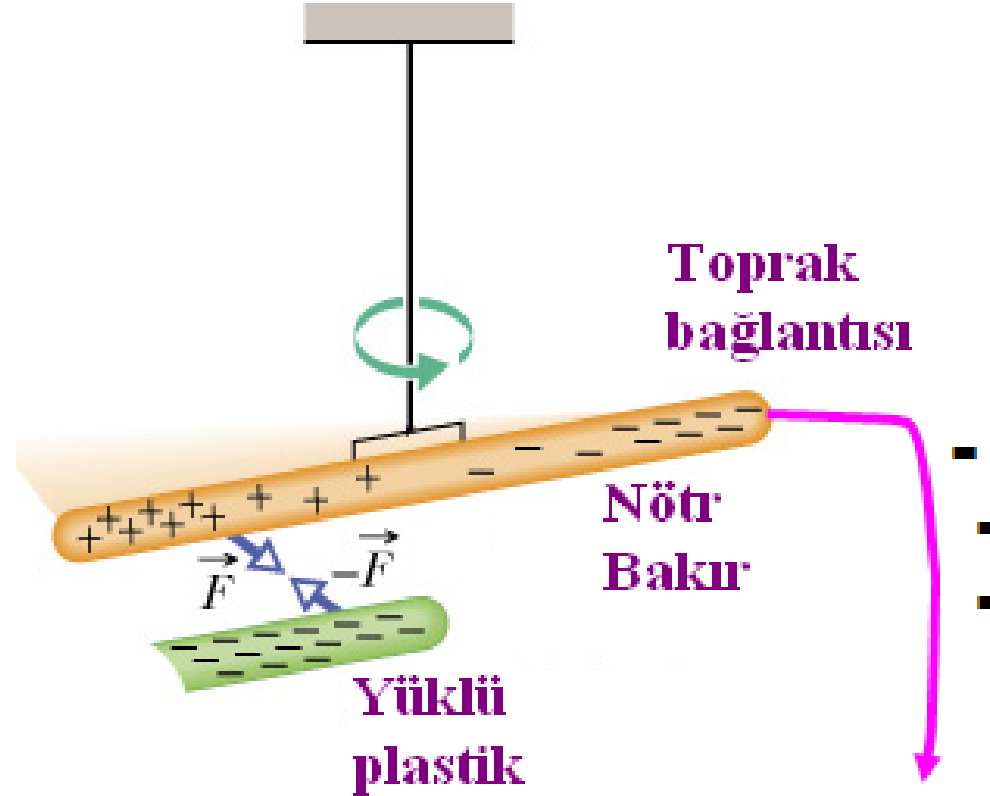
Bir İletkeni İndüksiyon Yoluyla Yükleme

Şekilde bir iletken yalıtkan bir ipe asılmıştır ve başlangıçta yüksüzdür. Negatif yüklü plastik çubuğu yavaşça yaklaştıralım. Plastik yalıtkandır ve üzerindeki negatif yükler hareketsizdir. Ancak, iletken içindeki negatif yükleri sağ uca doğru itecektir. İletkenin sol ucunda elektron boşluğu meydana geldiğinden pozitif yüklenmiş olacaktır.



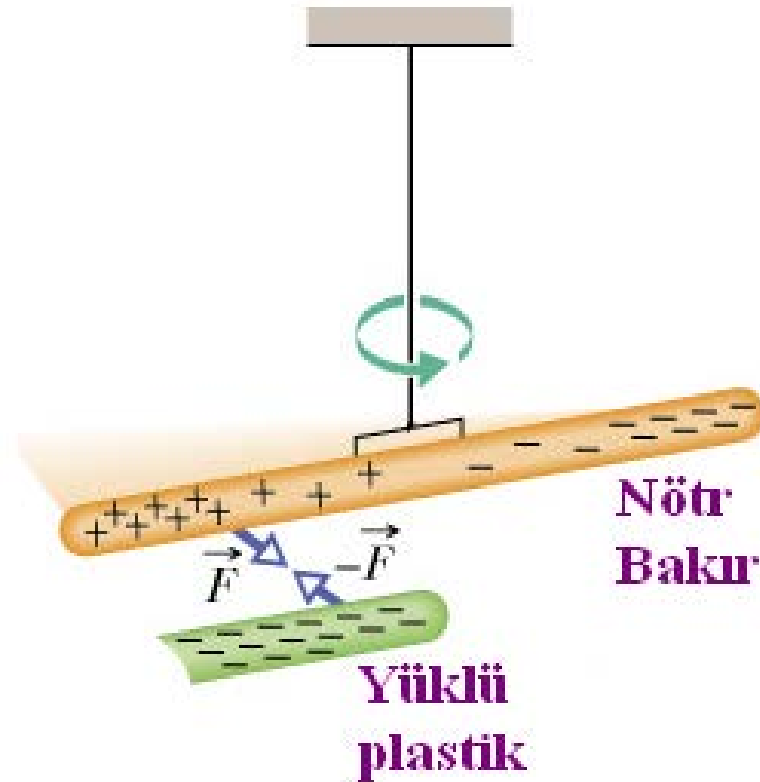


Şekilde toprağa bağlı bir iletim yolu oluşturulmuş, böylece elektronların toprağa akması sağlanmıştır. Toprak bağlantısını iptal eder ve plastik çubuğu uzaklaştırırsak, iletken çubuk pozitif yüklenmiş olacaktır.



Not 1: İletken üzerinde indüklenen yük, plastik çubuğun yükü ile ters işaretlidir.

Not-2: Plastik çubuk aynı amaçlı çok defa kullanılabilir.



Coulomb Yasası

Aralarındaki mesafe r olan, q_1 ve q_2 yükleri olsun. Bu yükler birbirlerine, aşağıda özellikleri verilen kuvvetler uygularlar.

1. Kuvvetler, yükleri birleştiren doğru boyuncadır.
2. Yükler aynı işaretliyse, kuvvet iticidir.
Yükler zıt işaretliyse, kuvvet çekicidir.



3. Kuvvetin büyüklüğü, Coulomb Yasası olarak bilinen

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \text{ olmak üzere,}$$

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

eşitliği ile verilir. Burada $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$, boşluğun veya havanın elektriksel geçirgenliği olarak bilinir.



Coulomb kuvveti ($F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$) ve Newton'un **gravitasyonel kuvveti** ($F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$) aynı formdadır. Tek fark, gravitasyonel kuvveti her zaman **çekici** bir kuvvettir. Buna karşın Coulomb kuvveti, yüklerin işaretine bağlı olarak **çekici** veya **itici** olabilir.



$$k = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

$$G = 6.7 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$$

Örnek

Hidrojen atomunda çekirdekteki proton ile yörüngedeki elektron arasındaki uzaklık ortalama $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ 'dir. Bunlar arasındaki elektriksel (F_E) ve gravitasyonel (F_g) kuvvetlerin büyüklüklerini bulunuz.

Çözüm ($r = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$; $F_E = ?$; $F_g = ?$)

Coulomb yasasından, bu iki yük arasındaki kuvvetin büyüklüğü:

$$F_E = k \frac{|e|^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.2 \times 8.2^{-8} \text{ N}$$

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

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Çözüm

$$(r = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m} ; F_E = 8.2 \times 8.2^{-8} \text{ N} ; F_g = ?)$$

İki kütle arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğü, Newton'un gravitasyon yasasından:

$$F_g = G \frac{m_e^2 \times m_p^2}{r^2}$$

$$= 6.7 \times 10^{-11} \frac{(9.11 \times 10^{-31})(1.673 \times 10^{-27})}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= 3.6 \times 8.2^{-47} \text{ N}$$

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6.7 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

Atomik boyutta, parçacıklar arasındaki kütle çekim kuvveti önemsenmeyecek düzeyde küçüktür.

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

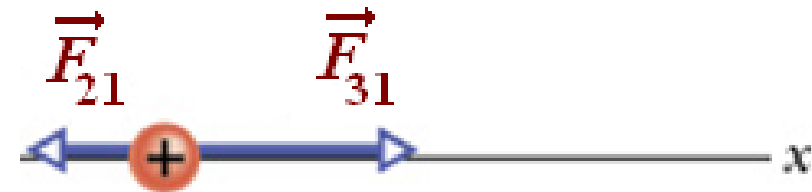
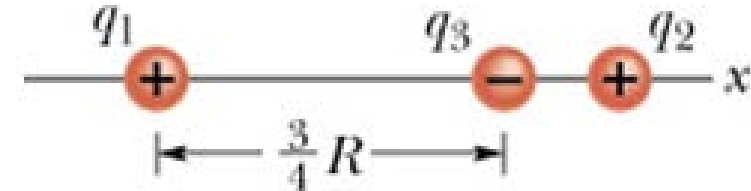
Coulomb Yasası ve Üst üste Binme İlkesi

Bir yük grubunun belirli bir yüke uyguladığı net kuvvet, tüm yüklerin uyguladığı kuvvetlerin vektörel toplamına eşittir.

Örneğin, q_2 ve q_3 yükleri tarafından q_1 yüküne uygulanan net kuvvet (\vec{F}_1),

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

ile verilir. Burada, \vec{F}_{21} ve \vec{F}_{31} sırasıyla q_2 ve q_3 yüklerinin q_1 Yüküne uyguladığı kuvvetlerdir.

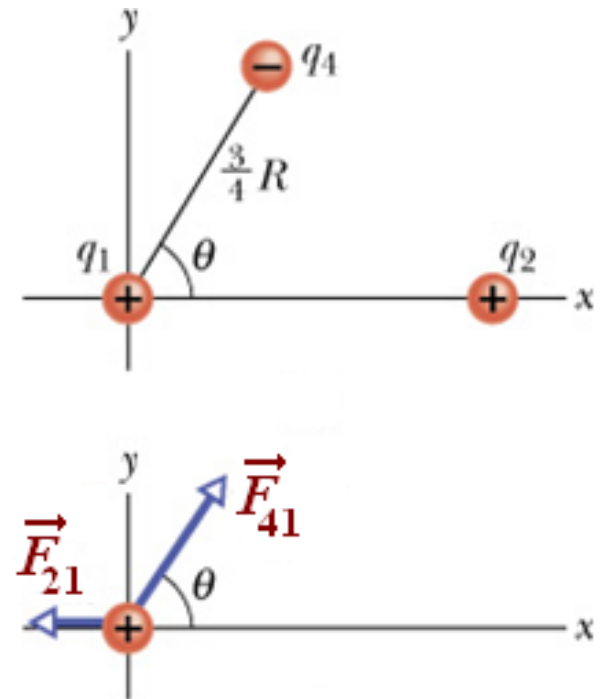


q_1 yüküne etkiyen n tane nokta yük olması durumunda ise net kuvvet,

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} + \cdots + \vec{F}_{n1} = \sum_{i=2}^n \vec{F}_{i1}$$

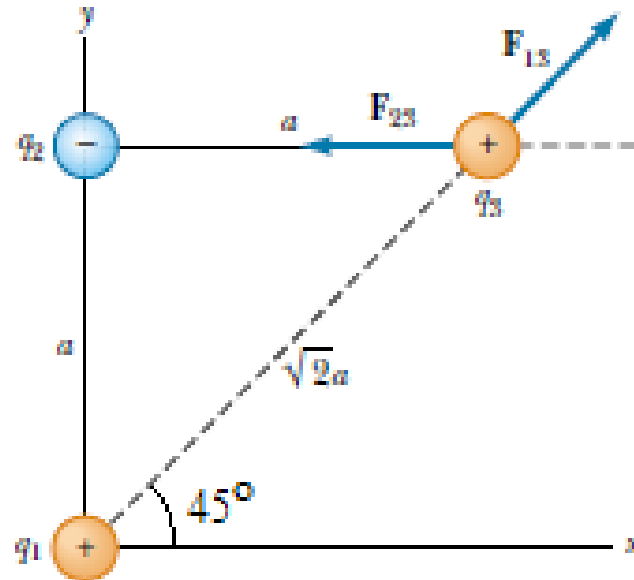
ile ifade edilir.

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



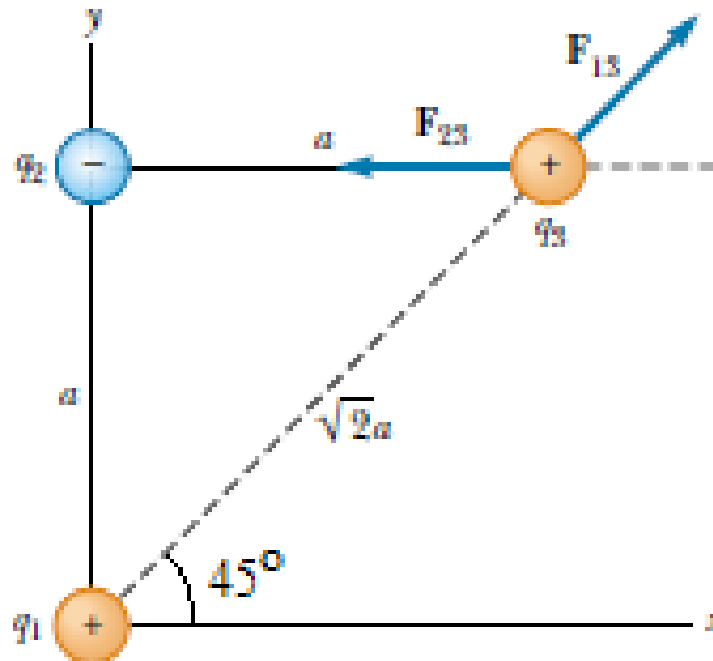
Örnek

Şekildeki gibi üç nokta yük, dik kenarlarının uzunluğu $a = 10 \text{ cm}$ olan ikiz kenar üçgenin köşelerine yerleştirilmiştir. $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$ ve $q_2 = 2 \mu\text{C}$ olduğuna göre q_3 yüküne etkiyen net kuvveti (F_{net}) bulunuz.



Çözüm

($a = 10 \text{ cm}$; $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$; $q_2 = 2 \mu\text{C}$; $F_{\text{net}} = ?$)

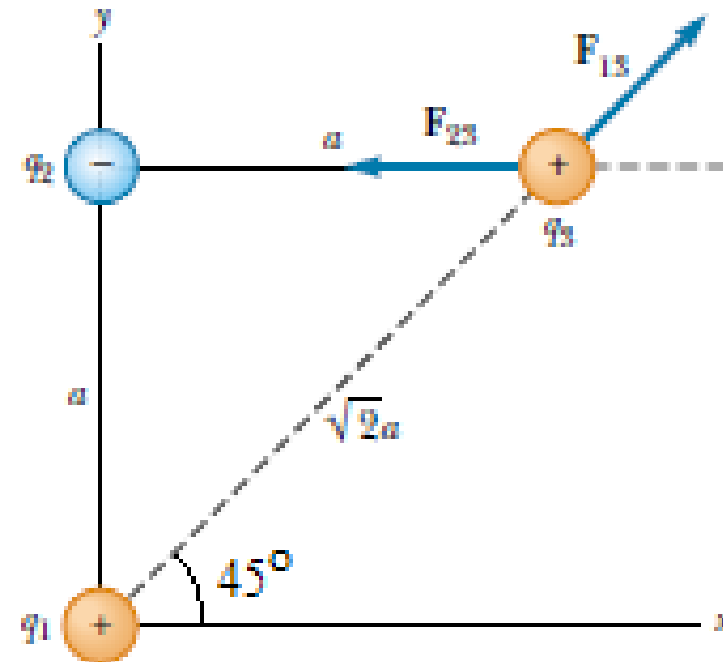


$$F_E = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Çözüm

($a = 10 \text{ cm}$; $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$; $q_2 = 2 \mu\text{C}$; $F_{13} = 11 \text{ N}$; $F_{\text{net}} = ?$)



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

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

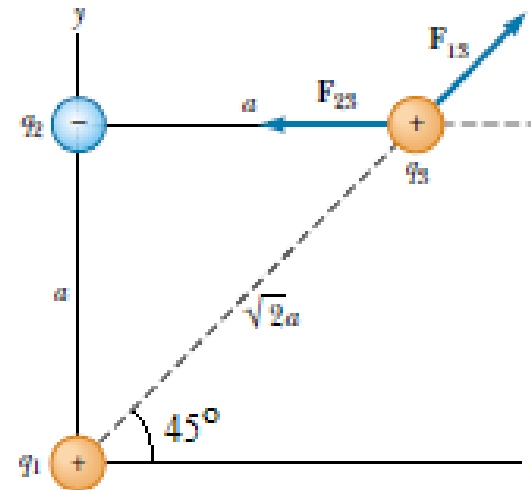
Çözüm

$$\left(a = 10 \text{ cm} ; q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C} ; q_2 = 2 \mu\text{C} ; F_{13} = 11 \text{ N} ; F_{23} = 9 \text{ N} ; F_{net} = ? \right)$$

$$\begin{aligned} \vec{F}_{net} &= \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (11 \cos 45 - 9)\vec{i} + (11 \sin 45 - 0)\vec{j} \\ &= (11 \times 0.707 - 9)\vec{i} + (11 \times 0.707 - 0)\vec{j} \cong -1.2\vec{i} + 7.8\vec{j} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\rightarrow F_{net} = \sqrt{(-1.2)^2 + (7.8)^2} = \sqrt{62.28} \cong 8 \text{ N}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{7.8}{-1.2} \right) \rightarrow \theta = 98^\circ$$



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

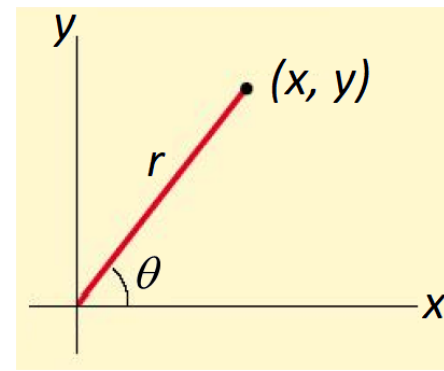
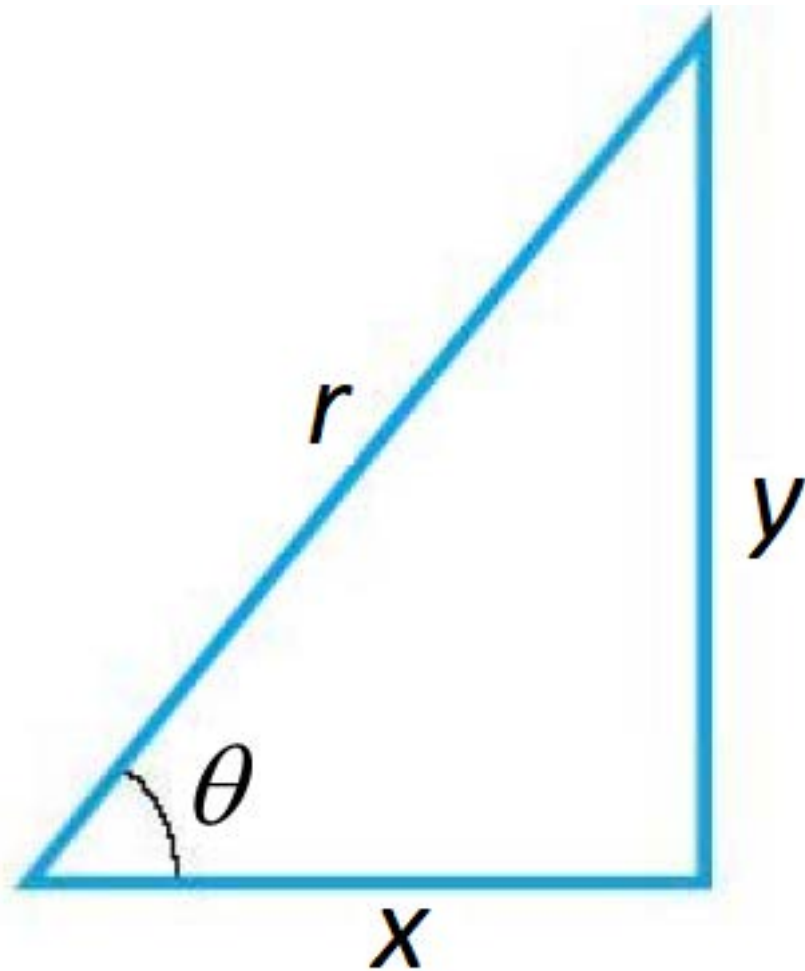
$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

$$\sin \theta = \frac{y}{r}$$

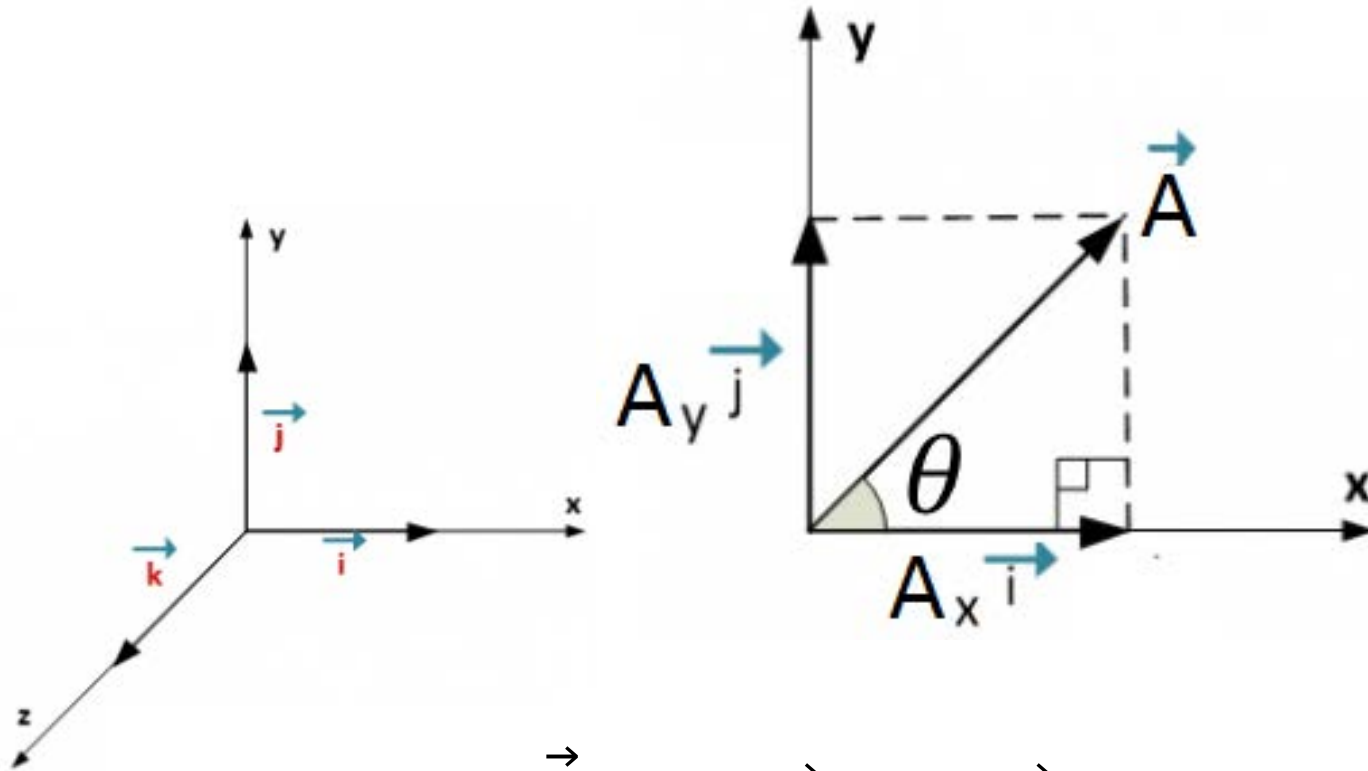
$$\cos \theta = \frac{x}{r}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$



Birim Vektör



$$\begin{aligned}\vec{A} &= A_x \vec{i} + A_y \vec{j} \\ \mathbf{A} &= A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} \\ \mathbf{A} &= A_x + A_y\end{aligned}$$

$$A_x = A \cos \theta$$

$$A_y = A \sin \theta$$

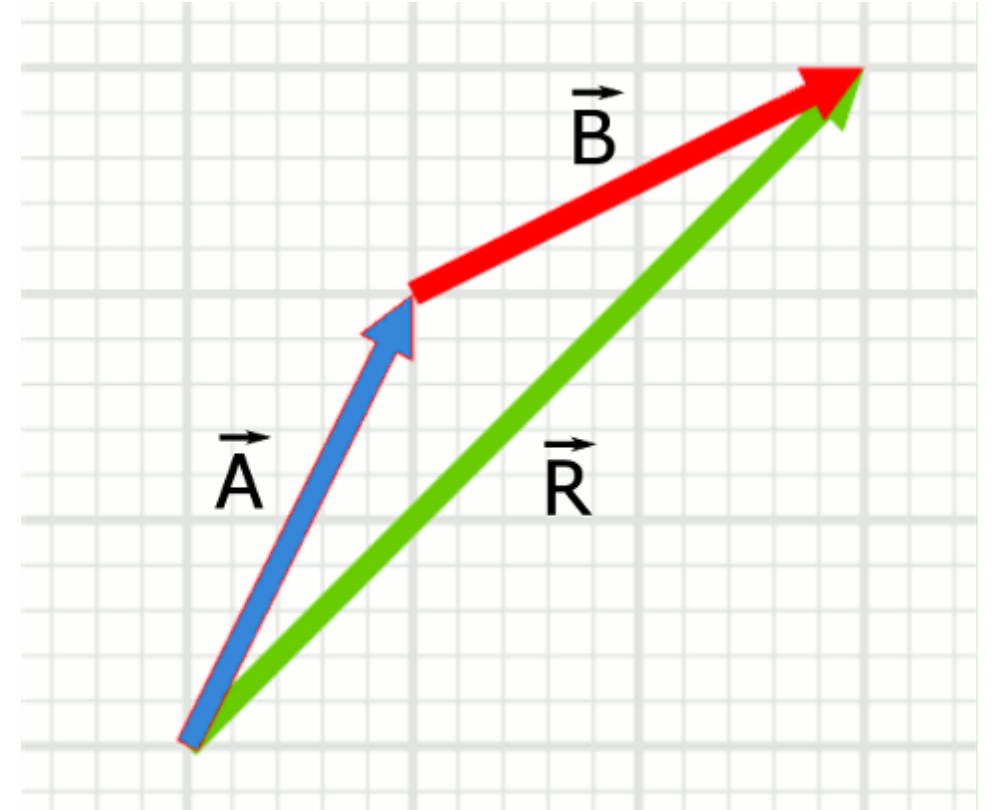
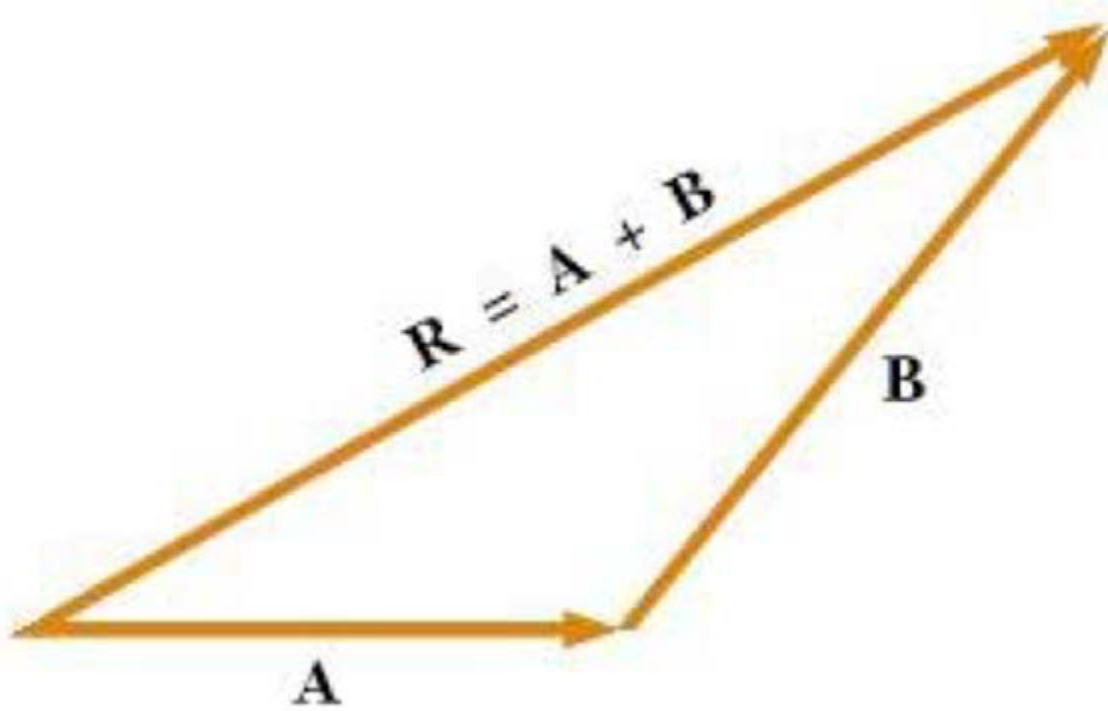
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{A_y}{A_x} \right)$$

$$A^2 = A_x^2 + A_y^2$$

Vektörlerin Toplanması

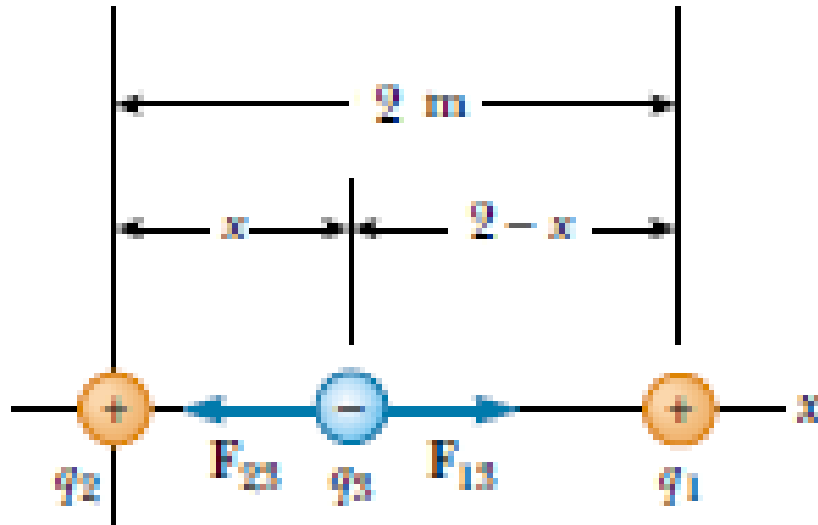
R: bileşke vektör

A, B: R'nin bileşenleri



Örnek

Şekildeki gibi üç nokta yük, x –ekseni üzerine yerleştirilmiştir. $q_1 = 15 \mu C$ 'luk yük $x = 2 \text{ m}$ noktasında, $q_2 = 6 \mu C$ 'luk yük ise orijinde bulunmaktadır. q_3 nokta yükü x –eksini üzerinde hangi noktada olmalıdır ki ($x = ?$), üzerine etkiyen net kuvvet (F_{net}) sıfır olsun?

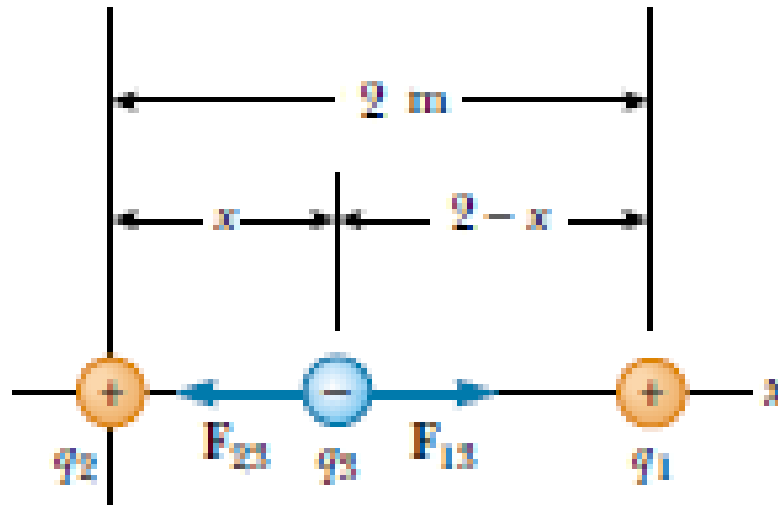


Çözüm

$$(q_1 = 15 \mu\text{C} ; q_2 = 6 \mu\text{C} ; -q_3 ; F_{net} = 0 ; x = ?)$$

q_1 ve q_2 yükleri aynı işaretli olduğu için, işareti ne olursa olsun q_3 yükünün arasına konulmalıdır. Bu durumda:

$$F_{13} = k \frac{|q_1||q_3|}{(2-x)^2} ; F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{x^2} ; F_{13} = F_{23} \rightarrow \frac{|q_1|}{(2-x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2}$$



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

$$\frac{|q_1|}{(2-x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2}$$

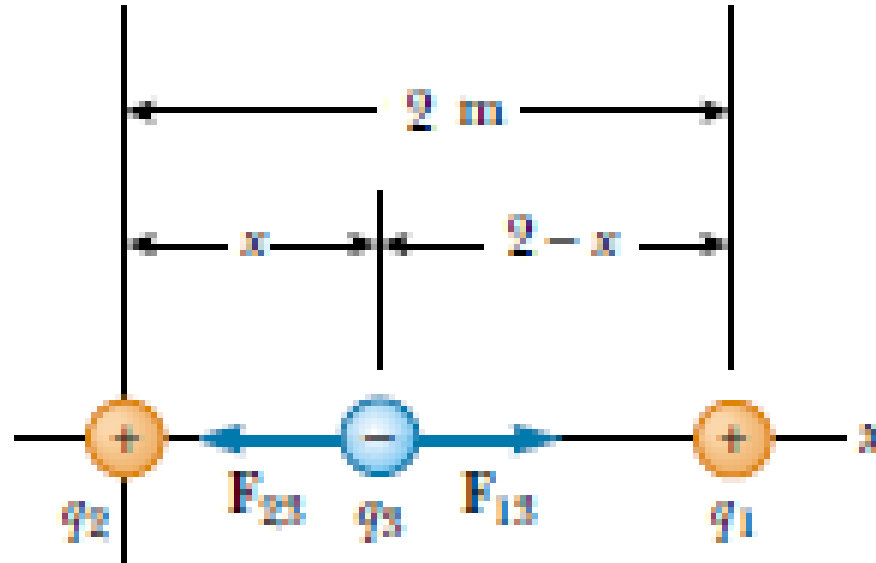
Çözüm

$$(q_1 = 15 \mu\text{C} ; q_2 = 6 \mu\text{C} ; -q_3 ; F_{\text{net}} = 0 ; x = ?)$$

$$\rightarrow \frac{15}{(2-x)^2} = \frac{6}{x^2} \rightarrow \frac{3 \times 5}{4-4x+x^2} = \frac{3 \times 2}{x^2} \rightarrow 5x^2 = 2(4-4x+x^2)$$

$$\rightarrow 5x^2 - 2(4-4x+x^2) = 3x^2 + 8x - 8 = 0$$

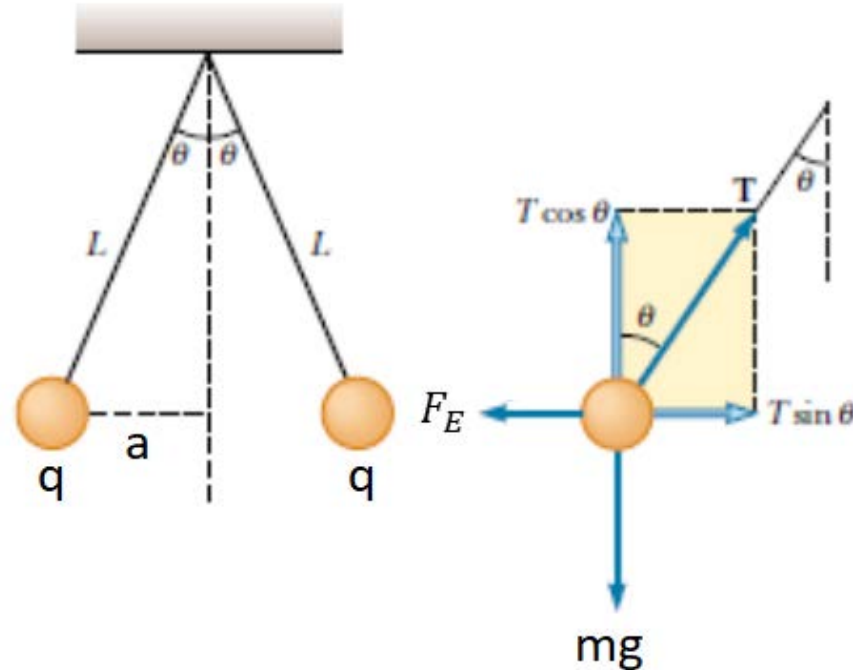
$$\rightarrow x = 0.775 \text{ m}$$



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

Örnek

Aynı noktadan asılmış, kütleleri $3 \times 10^{-2} \text{ kg}$ olan yüklü iki özdeş küre şeklindeki gibi **dengede**dirler. İplerin boyu 15 cm ve $\theta = 5^\circ$ olduğuna göre, kürelerin yükü (q) nedir?



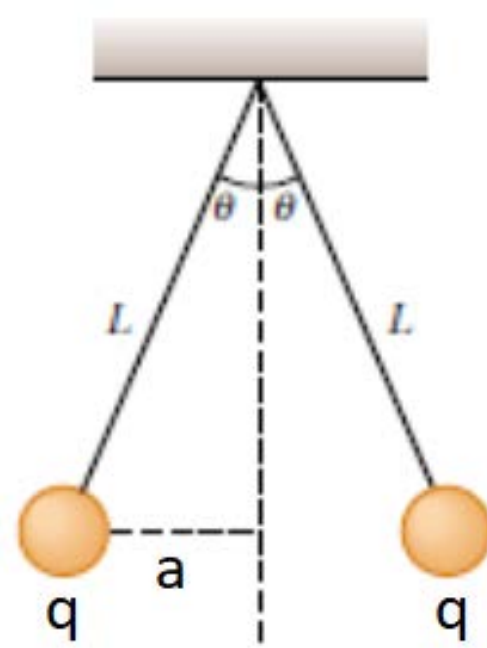
Çözüm

$$(m = 3 \times 10^{-2} \text{ kg} ; L = 0.15 \text{ m} ; \theta = 5^\circ ; q = ?)$$

Denge durumunda yükler arasındaki uzaklık:

$$\sin \theta = \frac{a}{L} \rightarrow a = L \sin \theta$$

$$\rightarrow 2a = 2L \sin \theta = 2 \times 0.15 \times \sin 5 = 0.026 \text{ m}$$



$$2a = 2L \sin \theta = 0.026 \text{ m}$$

Çözüm

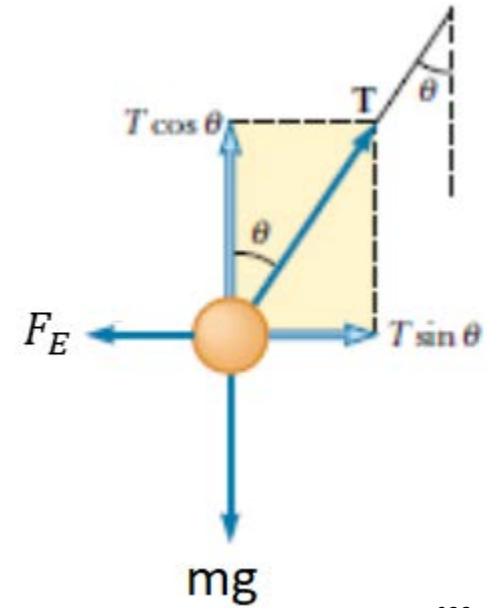
$$(m = 3 \times 10^{-2} \text{ kg} ; L = 0.15 \text{ m} ; \theta = 5^\circ ; q = ?)$$

Küreler dengede olduğuna göre:

$$F_E = k \frac{q^2}{(2a)^2} = T \sin \theta ; T \cos \theta = mg$$

$$\rightarrow \tan \theta = \frac{k \frac{q^2}{(2a)^2}}{mg} \rightarrow k \frac{q^2}{mg(2a)^2} \rightarrow q^2 = \frac{\tan \theta \times mg(2a)^2}{k}$$

$$\rightarrow q = \sqrt{\frac{\tan 5 \times 0.03 \times 9.8 \times (0.026)^2}{9 \times 10^9}} = \sqrt{19.54 \times 10^{-16}} = 4.42 \times 10^{-8} \text{ C}$$

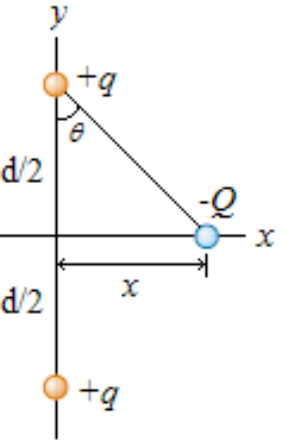


$$g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Örnek



Yükleri $+q$ olan iki özdeş parçacık, aralarındaki mesafe d olacak şekilde y –ekseni üzerinde sabitlenmişlerdir. Yükü $-Q$ ve kütlesi m olan üçüncü bir parçacık ise, iki yükün ortasından dik olarak geçen eksen üzerinde, merkezden x kadar uzaktaki bir noktaya konuyor. $-Q$ yükü bu eksen üzerinde rahatça hareket edebilmektedir. $x \ll d$ durumunda, $-Q$ yükünün basit harmonik hareket yapacağını gösteriniz. Hareketin periyodunu (T) bulunuz.

Çözüm

(harmonik hareket =? ; T =?)

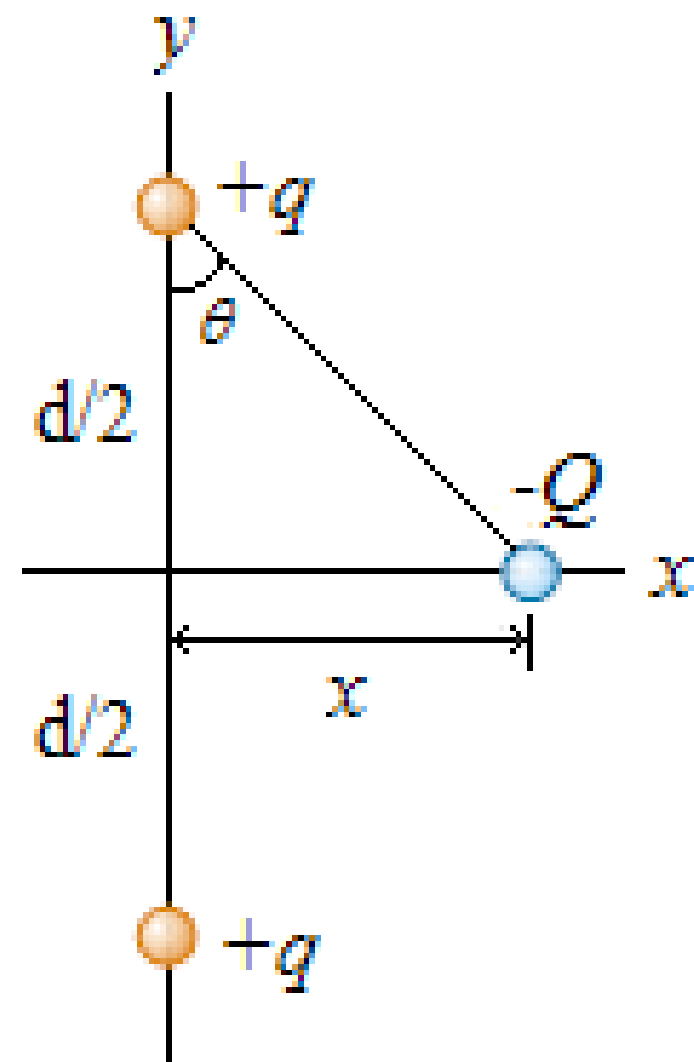
Basit harmonik hareket yapan bir cisim için,

$$F = -Cx$$

olmalıdır ($\omega = \sqrt{C}$).

$-Q$ yüküne etkiyen geri çağırıcı kuvvet:

$$F = -2k \frac{qQ}{x^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} \sin \theta = -\frac{2kqQx}{\left[x^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2\right]^{3/2}}$$



$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$F = -Cx$$

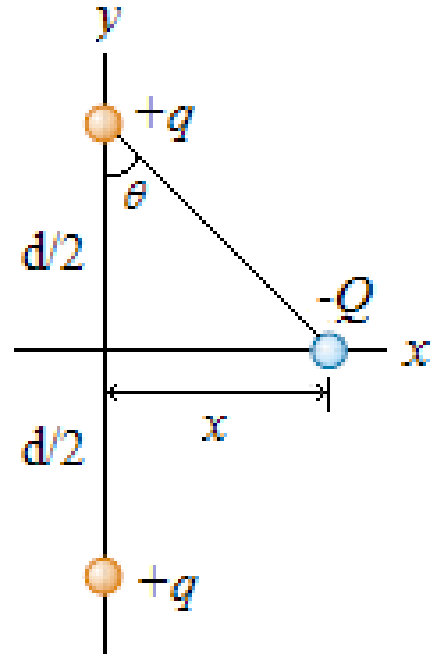
$$\omega = \sqrt{C}$$

Çözüm

(harmonik hareket =? ; T =?)

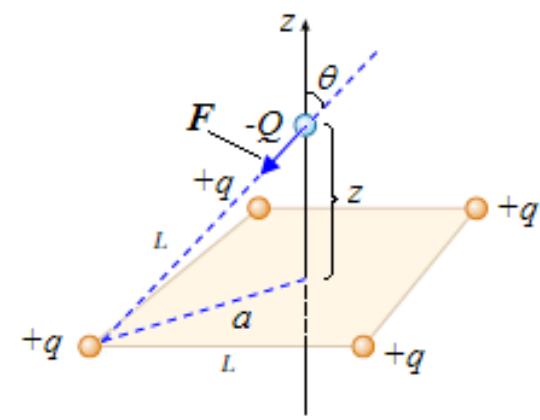
$$x \ll d \rightarrow F = - \frac{2kqQx}{\left[x^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} = - \frac{2kqQ}{\left[0 + \left(\frac{d}{2} \right)^3 \right]} x$$

$$\rightarrow F = - \left(\frac{16kqQ}{d^3} \right) x ; T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{16kqQ}{d^3}}} = 2\pi \sqrt{\frac{d^3}{16kqQ}}$$



$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Örnek



Yükleri $+q$ olan dört özdeş parçacık, xy – düzleminde bulunan, kenar uzunluğu L olan bir karenin köşelerine şekildeki gibi sabitlenmişlerdir. $-Q$ yüküne sahip başka bir parçacık ise, karenin merkezinden dik olarak geçen z – ekseninde, kare merkezinden z kadar uzaktaki bir noktaya konuluyor. $-Q$ yükü üzerine etkiyen net kuvveti (F_{net}) bulunuz.

Çözüm

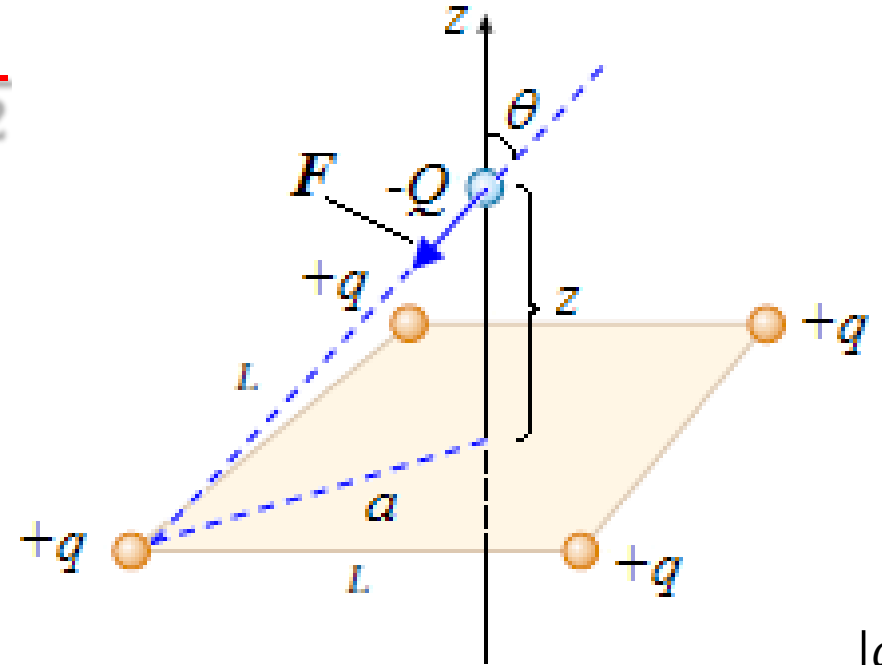
$$(F_{net} = ?)$$

$+q$ yüklerinden birisinin $-Q$ yüküne uyguladığı çekici kuvvet:

$$F = k \frac{qQ}{z^2 + a^2}$$

$$a^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{L^2}{2}$$

$$\cos \theta = \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}}$$



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

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Çözüm

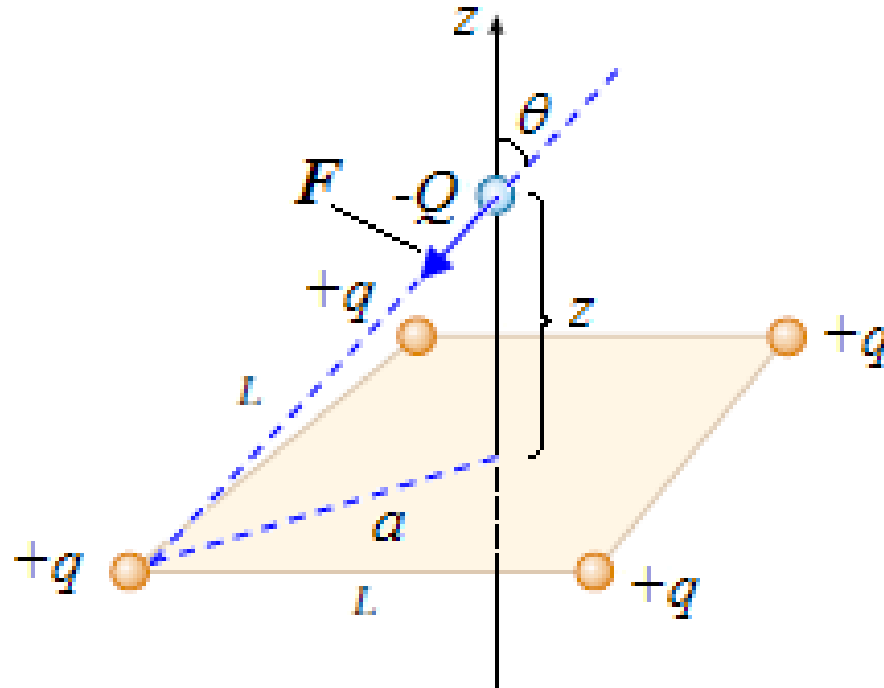
($F_{net} = ?$)

$$F = k \frac{qQ}{z^2 + a^2}$$

$$\cos \theta = \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}}$$

$$F_{net} = 4F \cos \theta \rightarrow \vec{F}_{net} = -\frac{4kqQz}{(z^2 + a^2)^{3/2}} \vec{k}$$

Bulunur.



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

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$