#knowledgeisourlostproperty
#don'thesitatetoasksomeonewhoknows

#musabbesbadem.com
#shareyourknowledge

Fizik 2
ilk Ders
(Colomb Yasası)

#bytheway

{ "Elektrik nedir?" "Elektriklenme neye dair?" sorularının cevapları için sitemdeki .... başlıklı yazıyı inceleyebilirsiniz.
Biz şimdi burada Coulomb Yasası ile başlayacağız. }

Bildiğimiz kadarıyla doğada bulunan en küçük yük elektrona aittir.*

*(Gaza gelip kuark diye bağırmayın, orası ayrı mesele :))

$$e^- = -1.6 \times 10^{-19} C$$

q_1 •——— r ———• q_2

iki yüklü cisim olsun. Bunlar arasında birbirini iten ya da çeken bir kuvvet olduğu ve bu kuvvetin cisimlerin yükleri ile doğru, aralarındaki uzaklık (r) ile ters orantılı old. ortaya çıkmış.
(Thanks to Colomb uncle)

birini Newton olması lazım!

$$F_c \sim q_1 q_2 \rightarrow (C^2)$$

$$F_c \sim \frac{1}{r^2} \rightarrow \left(\frac{1}{m^2}\right)$$

$$F_c \sim \frac{q_1 q_2}{r^2} \rightarrow \left(\frac{C^2}{m^2}\right)$$

Denklemi kullanmamız için bir k sabitine ihtiyacımız var.

iki şekilde ifade edebiliriz.

$$k = 8.99 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi \varepsilon_0}$$

ε_0 = Boş uzayın (vakum ortamının) elektriksel geçirgenlik katsayısı.
Değeri ise = $8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$

Denklemin Son hali :

$$(N) \; \vec{F_c} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$

(Birim vektör, boyu 1 br dir. Çarpıldığı ifadeye yön bilgisi yükler)

: 1. Videonun kalan kısmının özeti :

⇓

∝ iki yüklü cisim arasında meydana gelen elektrostatik çekme ya da itme kuveti olan F_e'yi ve F_e'nin formülünü gördük.

∝ F_c'yi arttırıp azaltan parametreleri formül üzerinden inceledik.

∝ Formüldeki k sabitini açıkladık ve onu etkileyen faktörleri belirttik.

∝ e^-, proton ve nötronun yüklerini ve kütlelerini tablo üzerinden değerlendirdik.

∝ Örnek bir soru üzerinden F_c kuvvet formülünün uygulanabilirliğini görmüş olduk.

∝ Kütle çekim kuvvetini ve formülünü hatırladık.
Akabinde de kütle çekim kuvveti ile F_c yi kıyasladık ve bir yorumda bulunduk.

⇓

fc kuvvetının yanında fg kuvvetının buyuklugu ihmal edilebilecek derecede cok kucuk bır dgere sahıptır.

/ 2 den fazla yuklu cısmın bır arada bulundugu bır problem cozerek 3 boyutlu ortamda (x,y,z duzlemlerınde) fc formulunun uygulamasını gerceklestırdık.

#bytheway
1 Coulomb = 10^{19} tane e^- nın yükü

"""" gene 3 farklı yuklu cısmı kullanarak bır soru cozduk fakat bu sefer bu 3 farklı yuk de aynı duzlemde,boyutta ıdı.

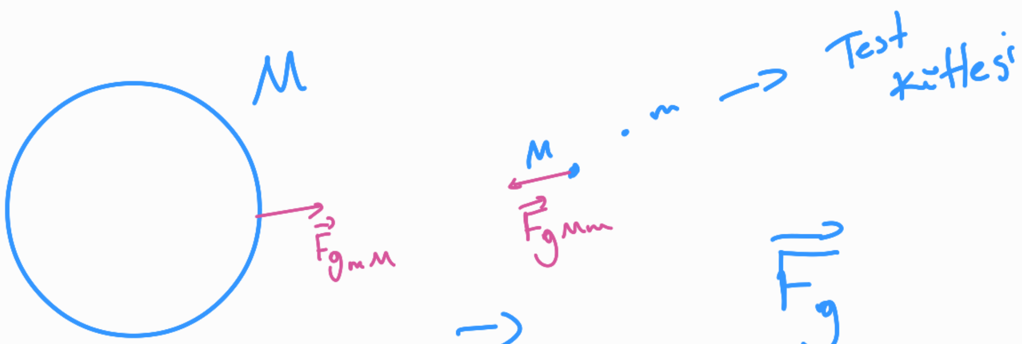
*2 yuklu cısmı bır ıple duvardan baglayıp dınamık konusunun parametrelerını de soruya dahıl ederek fc kuvvet formulunun uygulamasını gormus olduk.

---

2. video
elektrik alan
kavrami

kuvvetler temelde 2 cesittir. alan kuvvetleri(temas gerektirmeyen kuvvetler) ve temas gerektiren kuvvetler. temas gerektiren kuvvetlerde cisme etki eden kuvvet ile cisim birbirlerine temas ederler. temas gerektirmeyenlerde ise birbirlerine etki eden iki cismin birbirlerine temas etmeleri gerekmez. kuvveti olustran temel etmen cisimlerin ortak payede bulunduklari alanlardir. mesela kutle cekim kuvvetinni ele alacak olursak birbirlerine cekim uygulayan kuvvetler ortak bir kutle cekimsel ortamda, alanda bulunduklari icin birbirlerine cekme kuvveti uygularlar. elektriksel kuvvette de durum benzerdir. elektriksel cekim ya da itme kuvvetini anlayabilmemiz icin evvela elektrik alan kavarami uzerinde durmamiz gerekir. cunku birbirine kuvvet uygulayan iki yuklu cismin birbirine kuvvet uygulamasinin sebebi her bir yuklu cismin birer elektrik alan olusturmasi ve diger yuklu cismin de bu elekrik alan icerisinde bulunmasidir.

=Başlığımız elektrik alan=



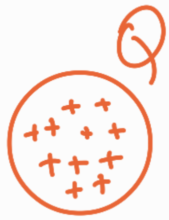
$$\vec{g} \equiv \frac{\vec{F}_g}{m_0}$$

$$\text{Yer çekimi ivmesi } (g) = \frac{\text{Test kütlesine etki eden kütle çekim kuvveti } (fg)}{\text{Test kütlesi } (m)}$$

$$\vec{F}_g = mg$$

Buradaki anlatımın sebebi

kütle çekimi kuvvetinin temel mantığı ile coloumb kuvvetinin temel mantığının aynı olmasıdır.



Kaynak yük

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_q}{q_0} = \frac{\text{Test yüküne etki eden coloumb kuvveti}}{\text{test yükünün kendisi (yükü)}} = \left(\frac{N}{C}\right)$$

• q

Test yükü (çok küçük, (+) yük)

$$\boxed{\vec{E} \cdot q_0 = \vec{F}_q}$$

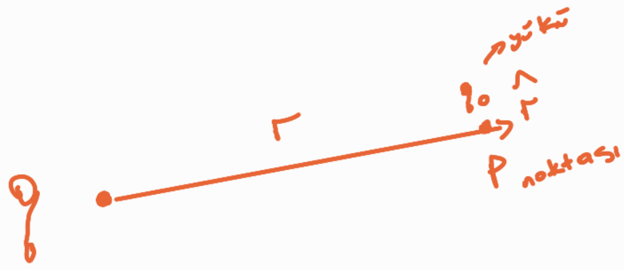
Kuvvetin yönü ile elektrik alanın yönü aynıdır.

Denklemin izahı = Bir elektrik alan içerisine yüklü bir cisim koyarsak üzerine bir elektrik kuvvet etki eder ve bu kuvvetin değeri $q \cdot \vec{E}$ kadardır.

Noktasal Yükün Oluşturduğu Elektrik Alan

#by the way
önümüzdeki bir kaç ders yüklü cisimlerin uzayın herhangi bir
bölgesinde oluşturdukları elektrik alanları bulacağız.

önce sununla baslıyoruz:
bir noktasal cismin uzayin herhangi bir noktasinda, bolgesinde olusturdugu elektrik alan ne kadardir?



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

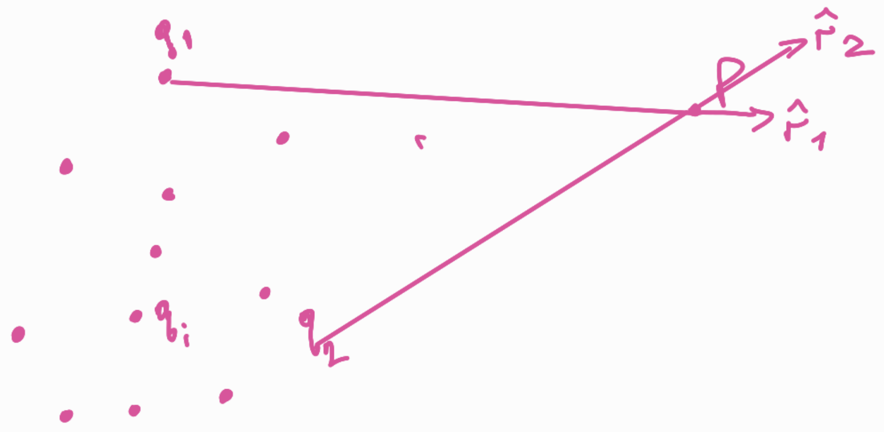
$$\vec{E}_p = k\,\frac{q \cdot \cancel{q_0}}{r^2 \cdot \cancel{q_0}} \cdot \hat{r}$$

$$\boxed{\vec{E}_p = k\,\frac{q}{r^2}\,\hat{r}}$$

#denklemdençıkarılacaklar

- elektrik alanın var olup olmaması için test yükü gerekli değil test yükü ile biz test yükünün bulunduğu noktadaki E.A'nın yönünü ve büyüklüğünü bulmuş oluruz.
- E.A'nı oluşturan temel etmen q yüküdür; q_0 değil.

Peki birden fazla noktasal yük varsa bunların herhangi bir yerde oluşturduğu EA'ı nasıl bulabiliriz?



el cevap:

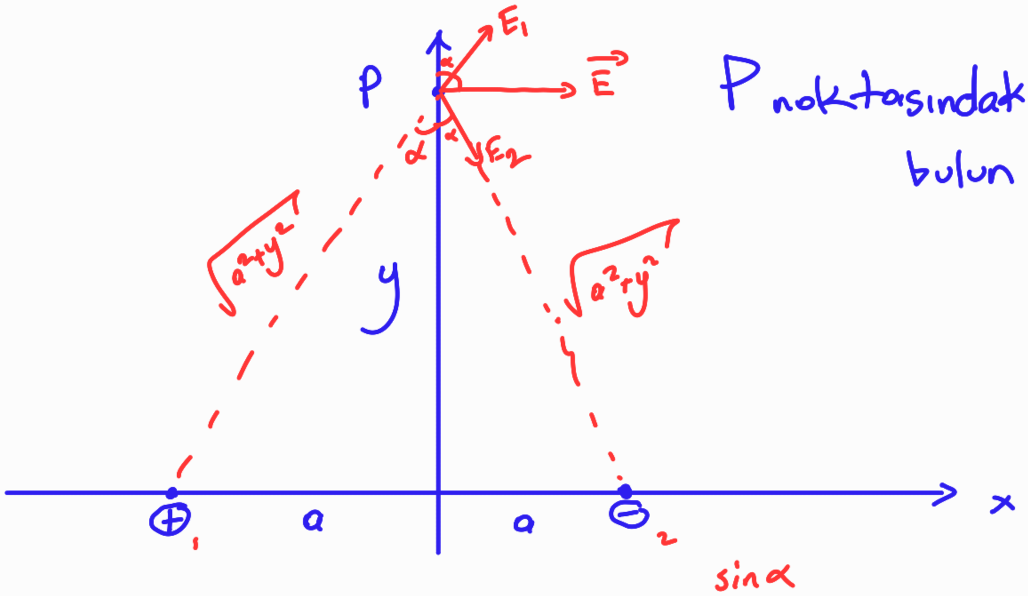
Bütün bu yüklü cisimlerin oluşturduğu E.A ları toplayıp nihai E.A'nı bulacağız. Burada şu hususa da dikkat etmek gerekir: EA vektörel bir büyüklük old. için yaptığımız toplama işlemi de vektörel toplama işlemi olmalıdır.

$$\vec{E}_p = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_i + \cdots$$

$$\vec{E}_p = k\frac{q_1}{r_1^2}\hat{r}_1 + k\frac{q_2}{r_2^2}\hat{r}_2 + \cdots + k\cdot\frac{q_i}{r_i^2}\cdot\hat{r}_i + \cdots$$

$$\boxed{\vec{E}_p = k\sum_{i=1}^{N}\frac{q_i}{r_i^2}\hat{r}_i}$$

Örnek:



P noktasındaki E.A nı bulun.

$$|\vec{E_1}| = k\frac{q}{a^2+y^2} \qquad E_{1x} = \frac{kq}{a^2+y^2}\cdot\overbrace{\frac{a}{\sqrt{a^2+y^2}}}^{\sin\alpha} = \frac{kq.a}{(a^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$|E_2| = k\frac{q}{a^2+y^2}$$

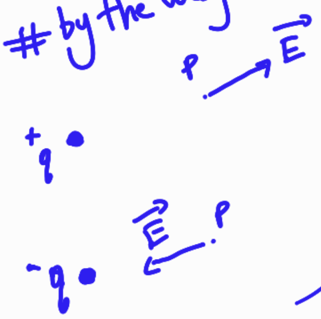
$$E_{1y} = \frac{k.q.y}{(a^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$E_{2x} = \frac{k.qa}{(a^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$E_{2y} = -\frac{kqy}{(a^2+y^2)^{3/2}}$$

$$\boxed{E = 2\frac{kqa}{(a^2+y^2)^{3/2}}\,\hat{i}}$$

#by the way



the meal of this figure

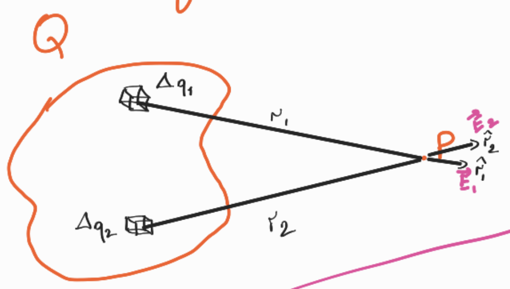
pozitif yüklü cisimlerin E.A'nı dışarı doğru
negatif yüklü " " içeri doğrudur.

Çünkü test yükü teorik olarak pozitif kabul edilmiştir.

Sürekli Yük
Dağılımına Sahip
: Cisimlerin Oluşturduğu E.A :

Artık elektrik alanını inceleyeceğim cisim noktasal değil. Önceki formül bu tarz cisimler için iş görmez. Fakat elimizde fazladan formülümüzde yok. O zaman yapacağımız iş Önceki konulardan da hatırlayacağımız üzere elimizdeki dağınık kütleli cismi birimlik küplere ayırıp her bir küpü noktasal bir cisim olarak kabul ederek bütün bu küpler için ayrı ayrı yukardaki formülü yapıcaz. Bu toplama işlemini de özel bir matematiksel operatör kullanarak yapıcaz. Senaryo bir yerden tanıdık geldi değil mi? :)

→ İNTEGRAL ←



Bu anlatımın matematiksel ifadesi

$$\vec{E}_p \simeq k\frac{\Delta q_1}{r_1^2}\hat{r}_1 + k\frac{\Delta q_2}{r_2^2}\hat{r}_2 + \ldots\ldots$$

$$\vec{E}_p \approx k\sum_{i=1}^{N}\frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i$$

$$\vec{E}_p = k\lim_{\Delta q_i \to 0}\sum_{i=1}^{\infty}\frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i$$

$$\boxed{\vec{E}_p = k\int\frac{dq}{r^2}\hat{r}}$$

Peki bu sürekli yük dağılımına sahip cisimler hangi formlarda karşımıza çıkabilir?

Tek boyutlu (Çubuk)

İki boyutlu (bir levha ya da disk)

Üç boyutlu (silindir)

according to these forms

her biri için ayrı işlemler yaparak oluşturdukları E.A. ları bulacağız.

a) Çubuk için:

Kenarlar ihmal edilecek kadar küçük. Tek boyutlu cisim olarak varsayım yapıyoruz.

∇ işimize yarayacak bir tanım:

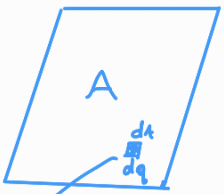
Çizgisel yük yoğunluğu $\lambda \equiv \frac{Q}{L} \left(\frac{C}{m}\right)$

$$\begin{array}{ccc} L & \times & Q \\ dl & & dq \end{array}$$

$dq = \frac{Q}{L} dl \Rightarrow \boxed{dq = \lambda dl}$

Seçilmiş parçanın yükü

b) İki boyutlu bir cisim ise:



İki boyutlu cisimler belirli bir "alana" (A) sahiptirler.

Dolayısıyla bu cisimler için "yüzeysel yük yoğunluğu" isimli bir kavram tanımlayıp bu kavramı kullanarak sonuca ulaşıcağız.

$\sigma = \frac{Q}{A} \left(\frac{C}{m^2}\right)$

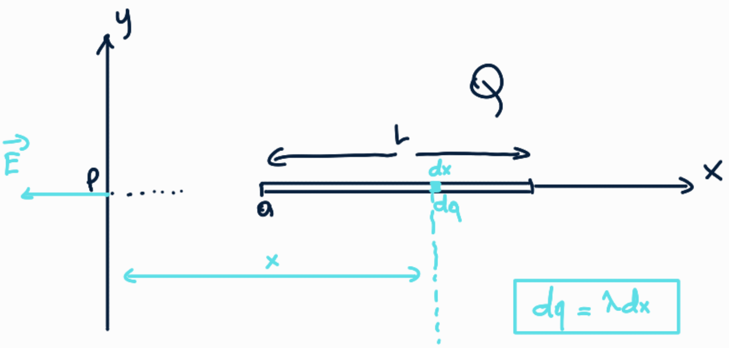
$\boxed{dq = \sigma dA}$

c) Üç boyutlu bir cisim ise:

$\rho = \frac{Q}{V} \left(\frac{C}{m^3}\right)$

$\boxed{dq = \rho dV}$

Örnek :



$\boxed{dq = \lambda dx}$

$$E = k\int \frac{dq}{x^2}$$

$$E = k\lambda \int_a^{a+l} \frac{dx}{x^2}$$

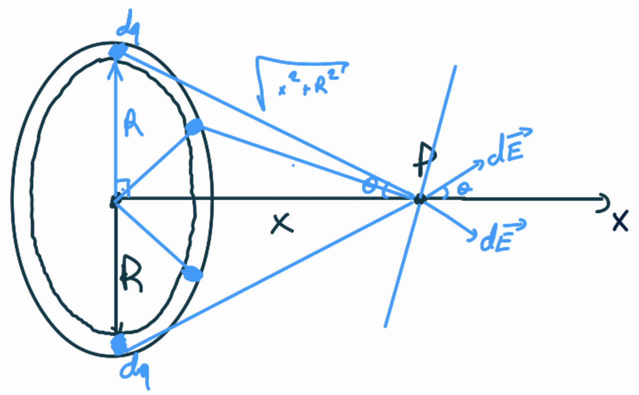
$$E = -k\lambda \left(\frac{1}{x} \Big|_a^{a+l} \right)$$

$$E = -k\lambda \left(\underset{(a)}{\frac{1}{a+l}} - \underset{(a+l)}{\frac{1}{a}} \right)$$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{-k\lambda l}{a(a+l)} \hat{i}}$$

\# Tip: Eğer çubuk +x yönünde baya uzak bir noktaya konursa $(a >> l)$ l ihmal edilir ve formül $\Rightarrow$ $\vec{E} = k\frac{Q}{a^2}$ alır. Yani cisim noktasal cisim özelliği gösterir.

Örnek (iki boyutlu bir halkanın elektrik alanı) :



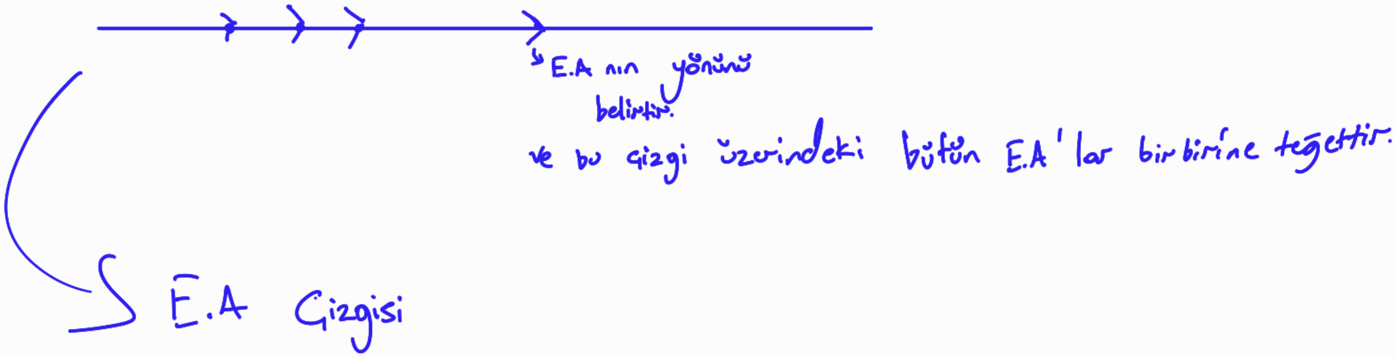
$$E_p = \int dE \cos\theta$$

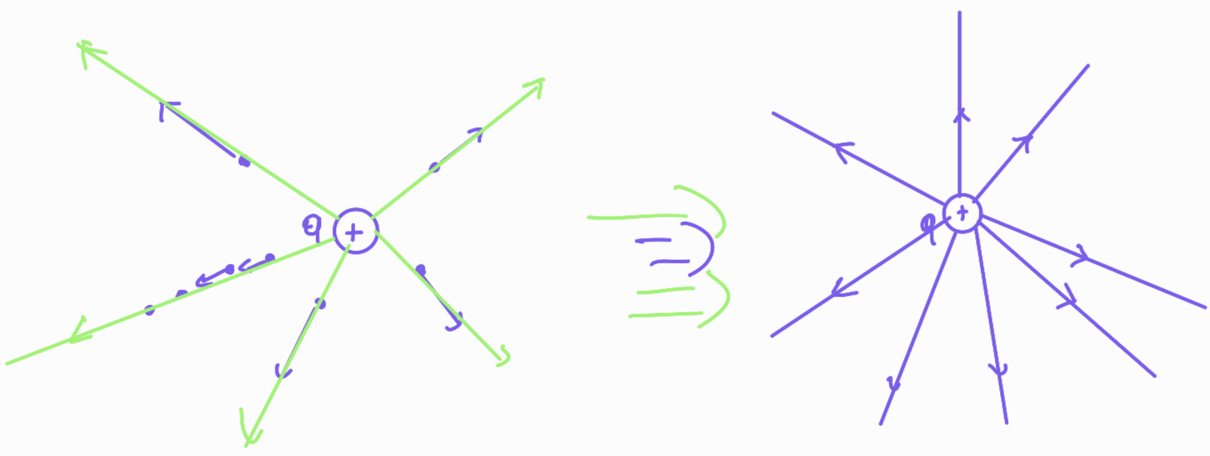
$$E_p = k\int \frac{dq\, x}{(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{k\,x}{(x^2+R^2)^{3/2}} \overbrace{\int dq}^{Q}$$

$$\boxed{E_p = \frac{kQx}{(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}}}$$

ELEKTRIK ALAN CIZGILERI

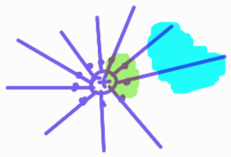
Elektrik alan dedigimiz fiziksel nicelik gozle gorulebilen bir olgu degildir.
Butun evreni kaplamistir ve icerisine yuklu bir cisim koydugunuzda ona itme ya da cekme gibi bir elektriksel kuvvet uygular. Buna ragmen biz onu gozlerimizle fiziksel olarak goremeyiz.
#bytheway buradan anlasiliyor ki bir olgunun varliginin tek gecer sarti onu gorup gorememememiz degildir. Ayrica gozun goremedigi ama varligini kabul ettigimiz bir cok gerceklik vardir.
Fakat onun mekanizmasini anlamak anlatmak icin de bir sekilde onu tasvir etmemiz gerekir. Bunu da bilim insanlari elektrik alan cizgileri seklinde hayali cizgiler kullanarak modellemisler.
Her ne kadar hayali cizgiler olsalar bile rast gele cizilmezler. Belirli kurallara bagli olarak modellenmislerdir. yani biz o modele bakarak bahsi gecen elektrik alanin karakteristik ozelliklerine dair yorumlar yapabiliriz.





• Eğer çizgiler birbirlerinden uzaklaşıyorlarsa o uzaklaşan yerlerde EA şiddeti azalıyor demektir.

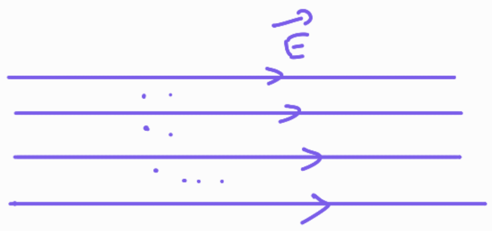
#logic $\frac{kq}{\uparrow r^2} = \overset{?}{E}\downarrow$



we call this model like : Noktasal Yükün E.A'nı

#Caution : Eğer E.A çizgileri paralel ise o zaman E.A bu bölgede değişmiyor demektir.

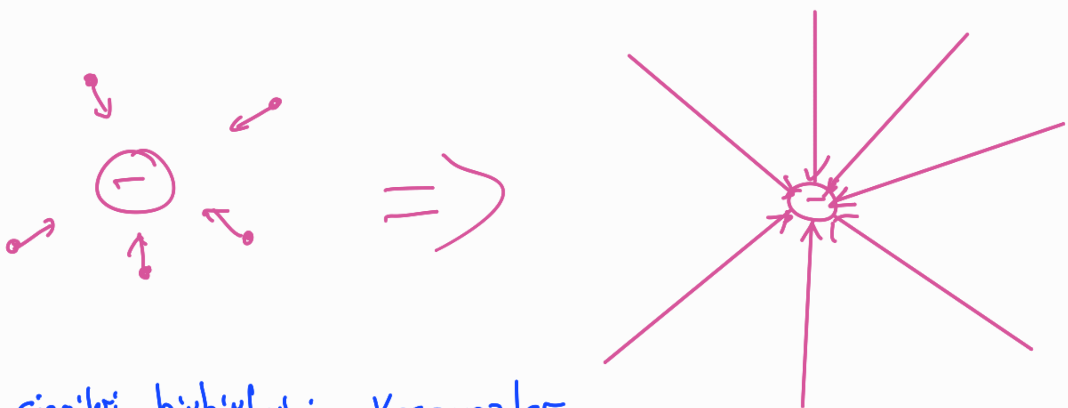
We call them like : (Düzgün E.A) Because :



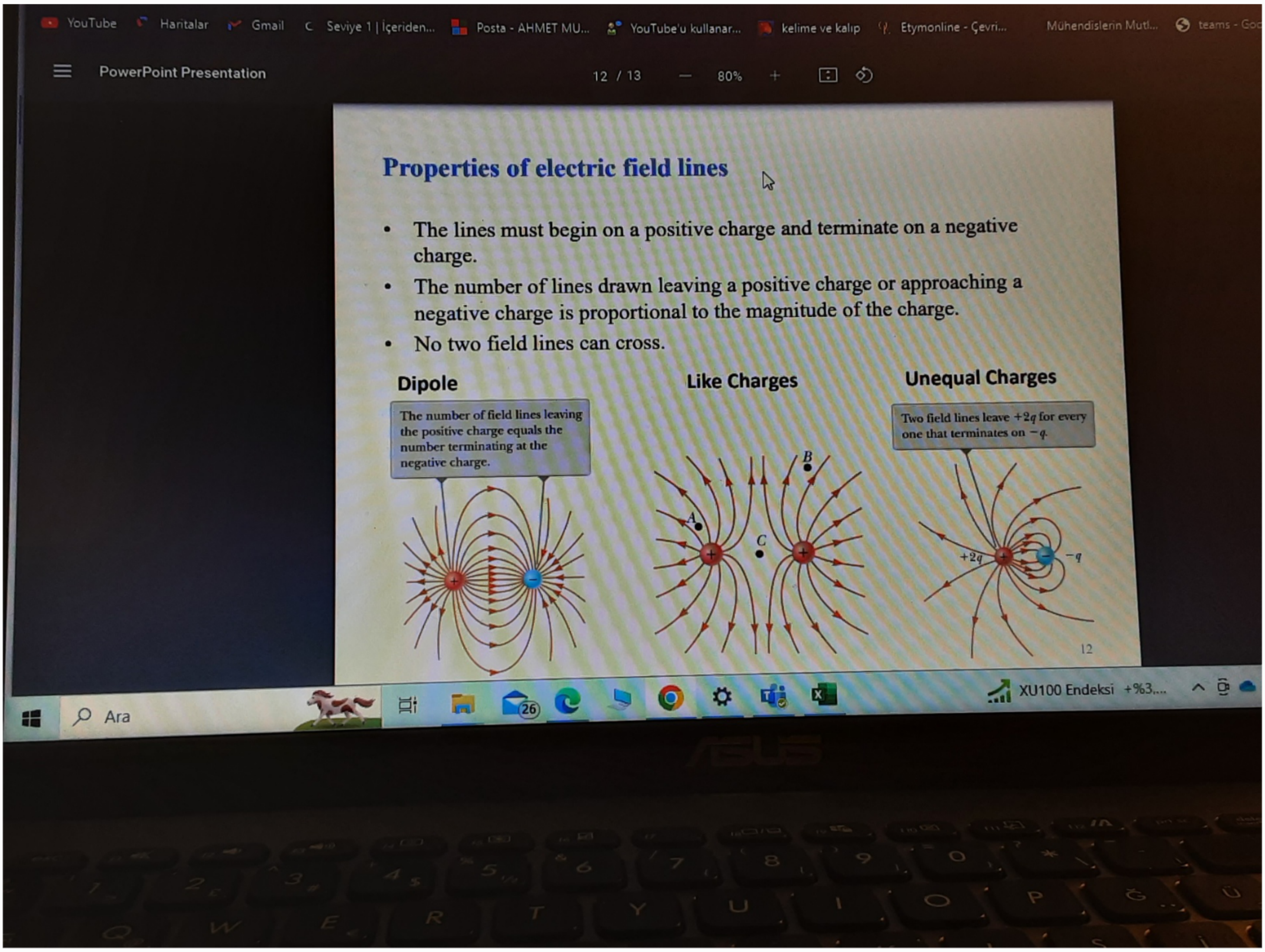
çizgiler arası uzaklık eşit. Don't care my drawing.

• EA. çizgileri (+) yükten doğru (−) yüke doğru giderler. Sonsuzda E.A = 0

$$\lim_{r\to\infty} \frac{kq}{r^2} = 0$$



E.A çizgileri birbirlerini kesemezler.



#bythewayquickremind

1 santimetre (cm) 1×10^{-2} m

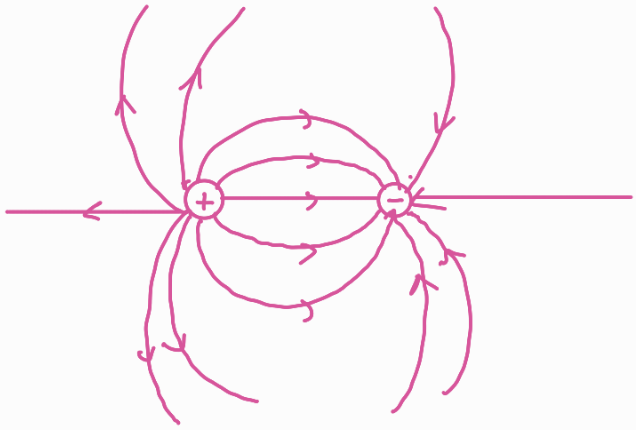
1 milimetre (mm) 1×10^{-3} m

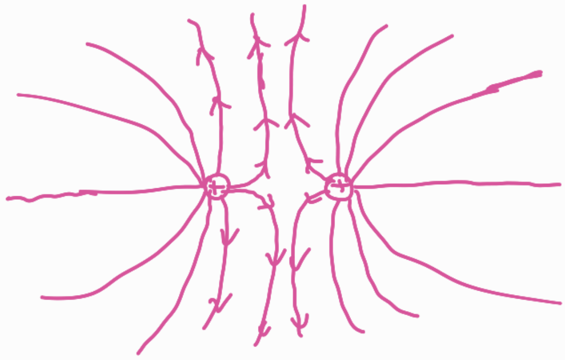
1 mikrometre (μm) = 1×10^{-6} m

1 nanometre (nm) = 1×10^{-9} m

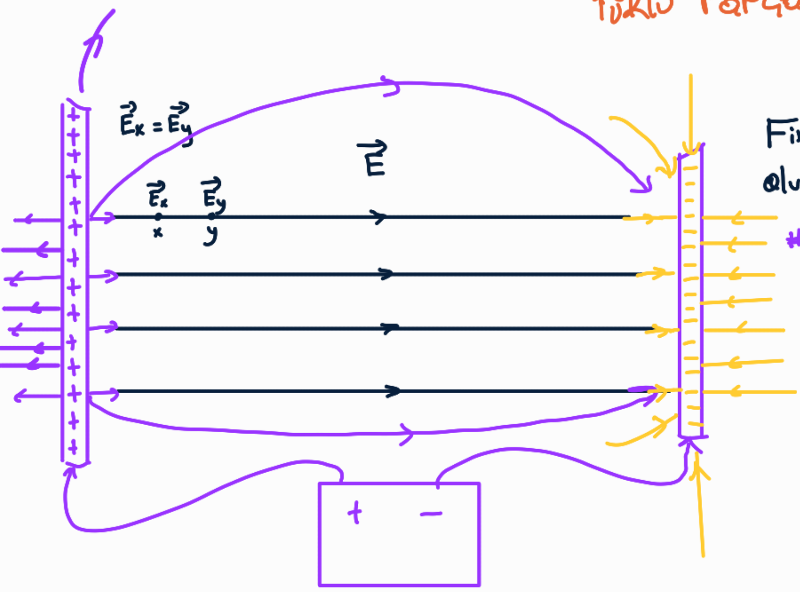
1 pikometre (pm) = 1×10^{-12} m

1 angstrom (Å) = 1×10^{-10} m





Düzgün E.A içerisindeki Yüklü Parçacığın Hareketi

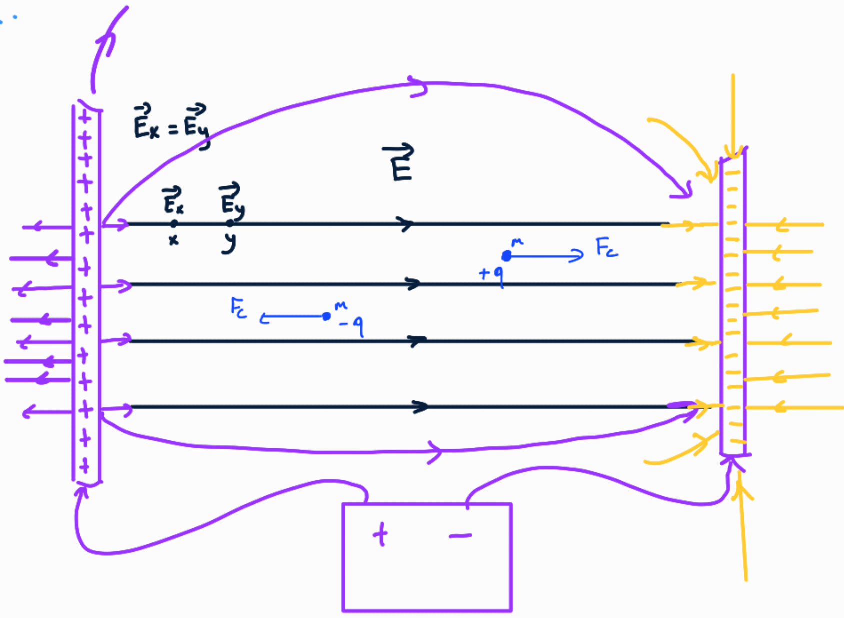


First Question: Böyle bir sistem nasıl oluşturulabilir.

#elcevap: 2 tane metal plaka al.

Sonra bu plakalara bir batarya bağlayın.

When you see a Düzgün E.A you need to imagine this kind of System.



$$F_c = \vec{E} q = m\vec{a}$$

(ulan Newton gene mi sen :)

$$F = ma$$

#essentialpoint

Eğer sistem <u>düzgün</u> E.A ise kuvvet de

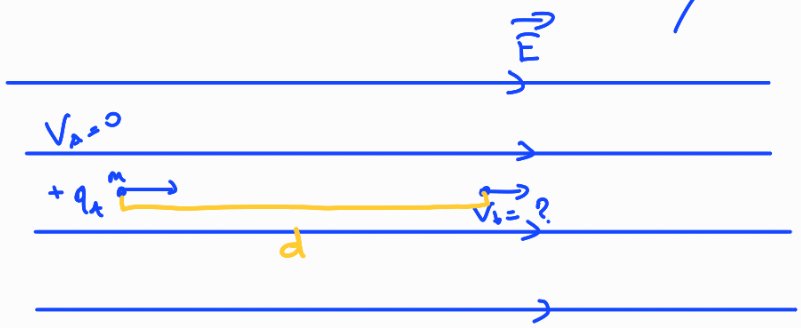
$$\vec{F_c} = \underbrace{\vec{E}}_{sbt} \cdot \underbrace{q}_{sbt}$$

Sabt dir. So cisim sbt ivmeli hareket yapar.

Eğer sistem <u>Düzgün</u> EA değilse $\vec{F}$ sbt değildir ve Dolayısıyla $\vec{a}$ da sbt değildir. değişken olur.

Örn:

What is the final velocity of the charge?



$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$q\vec{E} = m \cdot \vec{a}$$

$$\boxed{\frac{q\vec{E}}{m} = \vec{a}}$$

Zamansız hız formülü:

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta x$$

Burada $V_0 = 0$

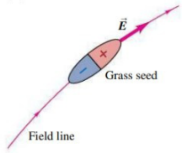
$$V^2 = 2a\Delta x$$

$$V = \sqrt{2a\Delta x}$$

$$\boxed{V = \sqrt{\frac{2 \cdot q\vec{E} \cdot \Delta x}{m}}}$$

Electric Dipoles

(b)



that region, will the trajectory of the particle be along a field line?

21.7 ELECTRIC DIPOLES

An **electric dipole** is a pair of point charges with equal magnitude and opposite sign (a positive charge q and a negative charge $-q$) separated by a distance d. We introduced electric dipoles in Example 21.8 (Section 21.5); the concept is worth exploring further because many physical systems, from molecules to TV antennas, can be described as electric dipoles. We will also use this concept extensively in our discussion of dielectrics in Chapter 24.

Figure 21.30a shows a molecule of water (H_2O), which in many ways behaves like an electric dipole. The water molecule as a whole is electrically neutral, but the chemical bonds within the molecule cause a displacement of charge; the result is a net negative charge on the oxygen end of the molecule and a net positive charge on the hydrogen end, forming an electric dipole. The effect is equivalent to shifting one electron only about 4×10^{-11} m (about the radius of a hydrogen atom), but the consequences of this shift are profound. Water is an excellent solvent for ionic substances such as table salt (sodium chloride, NaCl) precisely because the water molecule is an electric dipole (Fig. 21.30b).

?

Su molekülü bir bütün olarak elektriksel olarak nötrdür, ancak molekül içindeki kimyasal bağlar yükün yer değiştirmesine neden olur; sonuç, molekülün oksijen ucunda net bir negatif yük ve bir elektrik dipolü oluşturan hidrojen ucunda net bir pozitif yüktür. Etki, bir elektronun yalnızca

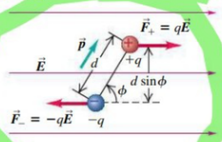
Force and Torque on an Electric Dipole

To start with the first question, let's place an electric dipole in a *uniform* external electric field $\vec{E}$, as shown in **Fig. 21.31**. Both forces $\vec{F}_+$ and $\vec{F}_-$ on the two charges have magnitude qE, but their directions are opposite, and they add to zero. *The net force on an electric dipole in a uniform external electric field is zero.*

However, the two forces don't act along the same line, so their *torques* don't add to zero. We calculate torques with respect to the center of the dipole. Let the angle between the electric field $\vec{E}$ and the dipole axis be ϕ; then the lever arm for both $\vec{F}_+$ and $\vec{F}_-$ is $(d/2)\sin\phi$. The torque of $\vec{F}_+$ and the torque of $\vec{F}_-$ both have the same magnitude of $(qE)(d/2)\sin\phi$, and both torques tend to rotate the dipole clockwise (that is, $\vec{\tau}$ is directed into the page in Fig. 21.31). Hence the magnitude of the net torque is twice the magnitude of either individual torque:

$$\tau = (qE)(d\sin\phi) \qquad (21.13)$$

21.31 The net force on this electric dipole is zero, but there is a torque directed into the page that tends to rotate the dipole clockwise.



discussed in Section 1.10. (You may want to review that discussion.) Hence we can write the torque on the dipole in vector form as

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \qquad (21.16)$$

Vector torque on an electric dipole; Electric dipole moment; Electric field

You can use the right-hand rule for the vector product to verify that in the situation shown in Fig. 21.31, $\vec{\tau}$ is directed into the page. The torque is greatest when $\vec{p}$ and $\vec{E}$ are perpendicular and is zero when they are parallel or antiparallel. The torque always tends to turn $\vec{p}$ to line it up with $\vec{E}$. The position $\phi = 0$, with $\vec{p}$ parallel to $\vec{E}$, is a position of stable equilibrium, and the position $\phi = \pi$, with $\vec{p}$ and $\vec{E}$ antiparallel, is a position of unstable equilibrium. The polarization of a grass seed in the apparatus of Fig. 21.29b gives it an electric dipole moment; the torque exerted by $\vec{E}$ then causes the seed to align with $\vec{E}$ and hence with the field lines.

where $d\sin\phi$ is the perpendicular distance between the lines of action of the two forces.

The product of the charge q and the separation d is the magnitude of a quantity called the **electric dipole moment,** denoted by p:

(C·m) $$p = qd \quad \text{(magnitude of electric dipole moment)} \qquad (21.14)$$

The units of p are charge times distance (C·m). For example, the magnitude of the electric dipole moment of a water molecule is $p = 6.13 \times 10^{-30}$ C·m.

CAUTION **The symbol p has multiple meanings** Do not confuse dipole moment with momentum or pressure. There aren't as many letters in the alphabet as there are physical quantities, so some letters are used several times. The context usually makes it clear what we mean, but be careful.

We further define the electric dipole moment to be a *vector* quantity $\vec{p}$. The magnitude of $\vec{p}$ is given by Eq. (21.14), and its direction is along the dipole axis from the negative charge to the positive charge as shown in Fig. 21.31.

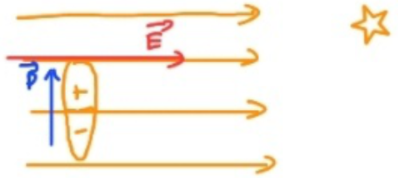
In terms of p, Eq. (21.13) for the magnitude τ of the torque exerted by the field becomes

$$\tau = pE\sin\phi \qquad (21.15)$$

Magnitude of torque on an electric dipole; Magnitude of electric field $\vec{E}$; Angle between $\vec{p}$ and $\vec{E}$; Magnitude of electric dipole moment $\vec{p}$

Since the angle ϕ in Fig. 21.31 is the angle between the directions of the vectors $\vec{p}$ and $\vec{E}$, this is reminiscent of the expression for the magnitude of the *vector product* discussed in Section 1.10. (You may want to review that discussion.) Hence we can write the torque on the dipole in vector form as

Vector torque on an electric dipole $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$ — $\vec{p}$: Electric dipole moment; $\vec{E}$: Electric field (21.16)



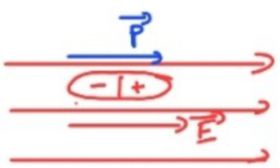
↳ max value of Torque

You can use the right-hand rule for the vector product to verify that in the situation shown in Fig. 21.31, $\vec{\tau}$ is directed into the page. The torque is greatest when $\vec{p}$ and $\vec{E}$ are perpendicular and is zero when they are parallel or antiparallel. The torque always tends to turn $\vec{p}$ to line it up with $\vec{E}$. The position $\phi = 0$, with $\vec{p}$ parallel to $\vec{E}$, is a position of stable equilibrium, and the position $\phi = \pi$, with $\vec{p}$ and $\vec{E}$ antiparallel, is a position of unstable equilibrium. The polarization of a grass seed in the apparatus of Fig. 21.29b gives it an electric dipole moment; the torque exerted by $\vec{E}$ then causes the seed to align with $\vec{E}$ and hence with the field lines.

Potential Energy of an Electric Dipole

MP

PhET: Microwaves



↳ min value of Torque

When a dipole changes direction in an electric field, the electric-field torque does *work* on it, with a corresponding change in potential energy. The work dW done by a torque τ during an infinitesimal displacement $d\phi$ is given by Eq. (10.19): $dW = \tau\, d\phi$. Because the torque is in the direction of decreasing ϕ, we must write the torque as $\tau = -pE\sin\phi$, and

$$dW = \tau\, d\phi = -pE\sin\phi\, d\phi$$

In a finite displacement from ϕ_1 to ϕ_2 the total work done on the dipole is

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} (-pE\sin\phi)\, d\phi$$

$$= pE\cos\phi_2 - pE\cos\phi_1$$

The work is the negative of the change of potential energy, just as in Chapter 7: $W = U_1 - U_2$. So a suitable definition of potential energy U for this system is

$$U(\phi) = -pE\cos\phi \tag{21.17}$$

In this expression we recognize the *scalar product* $\vec{p} \cdot \vec{E} = pE\cos\phi$, so we can also write

Potential energy for an electric dipole in an electric field $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ — $\vec{E}$: Electric field; $\vec{p}$: Electric dipole moment (21.18)

Nota!

The potential energy has its minimum (most negative) value $U = -pE$ at the stable equilibrium position, where $\phi = 0$ and $\vec{p}$ is parallel to $\vec{E}$. The potential energy is maximum when $\phi = \pi$ and $\vec{p}$ is antiparallel to $\vec{E}$; then $U = +pE$. At $\phi = \pi/2$, where $\vec{p}$ is perpendicular to $\vec{E}$, U is zero. We could define U differently so that it is zero at some other orientation of $\vec{p}$, but our definition is simplest.

Equation (21.18) gives us another way to look at the effect illustrated in Fig. 21.29. The electric field $\vec{E}$ gives each grass seed an electric dipole moment, and the grass seed then aligns itself with $\vec{E}$ to minimize the potential energy.