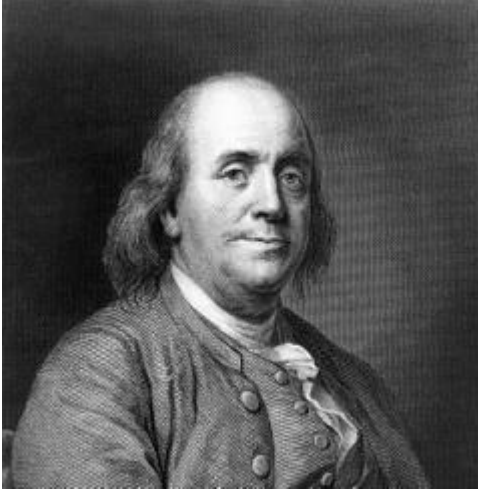


1.1 Elektrik Yüğü ve Korunumu



Şekil 1.1 Yüğüleri pozitif ve negatif olarak adlandıran Benjamin Franklin - Wikipedia'dan alınmıştır.

Negatif ve pozitif olmak üzere iki tür **elektrik yüğü** vardır.SI Birim sisteminde yüğüün birimi **Coulomb (C)**'dur. **Benzer yüğüler birbirlerini iter, karşıt yüğüler ise birbirini çekerler.**

Yüğülerin pozitif ve negatif olarak adlandırılması Benjamin Franklin (1706 - 1790) tarafından yapılmıştır. Tamamen keyfi olan ve kabul gören bu seçimin sonucunda, elektrik akımının yönü ve elektrik akımına yol açan yüğülerin hareketinin yönlerinin farklı olmasını da sağlamıştır. Bu konu daha detaylı olarak **Bölüm 5**'de incelenecektir.

Herhangi bir işlemde ne kadar pozitif yüğü ortaya çıkarsa, aynı miktarda negatif yüğü de ortaya çıkar. Örneğn cam bir çubuk ipek bir kumaşa sürtölerek pozitif yüğülendiğinde, aslında ipek de negatif olarak aynı miktarda yüğülenir. Yani **elektrik yüğü korunur**. Bunu şu şekilde de ifade edebiliriz:

Net bir elektrik yüğü yaratılamaz veya yok edilemez.

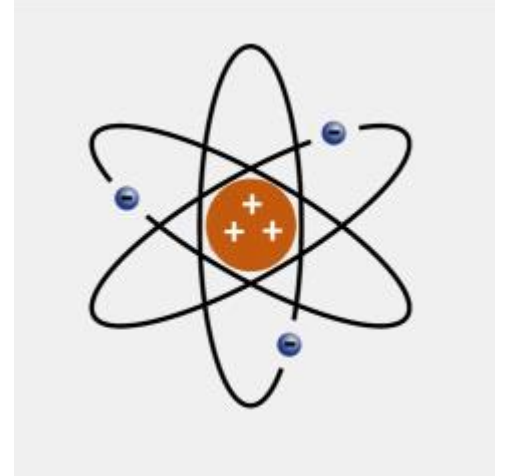
1.2 Elektrik Yüğü ve Atom

Atomik teoriye göre, elektrik yüğü atom çekirdeğindeki pozitif yüğülü protonlar ve çekirdek etrafındaki yörüngelerde bulunan negatif yüğülü elektronlardan kaynaklanmaktadır. **Şekil 1.2** 'de bu basit model gösterilmiştir. Her bir elektronun yüğü $-e = -1.6 \times 10^{-19}$ C, her bir protonun yüğü ise $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C'dur.

Atomlar aynı sayıda proton ve elektrona sahip olduğundan nötrdürler. Ancak elektron vermeleri halinde daha fazla protona sahip olacağından pozitif bir net yüğüe sahip olacaktır. Elektron almaları halinde ise, daha fazla elektrona sahip olacak ve net bir negatif yüğüe sahip olacaktır.

Az önceki kısımda bahsedilen örnekte cam çubuğun ipek kumaşa sürtölmesi sonucunda cam çubuğun pozitif yüğülendiğini söylemiştik. Aslında olan, camdan ipek kumaşa elektron transferidir. Cam çubuk net bir pozitif yüğüe sahip olacak, ipek ise elektron fazlalığından dolayı negatif yüğülü olacaktır.

Bir cisim, elektron veya proton fazlalığından dolayı net bir elektrik yüğüüne sahip olduğundan, cismin net yüğü $-e$ veya e 'nin tam katları olacaktır. Bu duruma yüğüün **kuantumlu** olması denir.



Şekil 1.2 Basit atom modeli: (+) yüğülü çekirdeğn (protonlardan dolayı) etrafında (-) yüğülü elektronlar. Orjinal figür Wikipedia'dan alınmıştır.

1.3 İletkenler, Yalıtkanlar ve İndüklenen Yüğü

Elektrik iletkenleri, içlerinde bir çok elektronun serbestçe hareket edebildiğı malzemeler iken, elektriğı iletmeyen yalıtkan malzemelerde ise yalnızca çok az elektron serbestçe hareket edebilir. Bunun temelinde, iletken malzemeleri oluşturan atomlarda, en dış yörüngelerdeki elektronları koparmanın çok kolay olması, yalıtkan malzemelerde ise bu elektronların koparılmasının çok zor olması yatar.

Bir cisim **sürtünme** (Sürtünen iki cisim arasında yüğü alışverişi) , **iletim**(yüğülü bir cisimden temas ettiğı cisme yüğü transferi) ve **indüklenme** (yüğülü bir cismin yaklaştırılması ile ikinci cismin yüğülerinin ayrışması) yolu ile yüklenebilir.

1.4 Coulomb Yasası

Elektrik yükleri birbirlerine kuvvet uygularlar. Uygulanan bu kuvvetin yönü yüklerin türlerine bağlıdır. **Aynı tip yükler birbirlerini iterken, karşıt yükler birbirlerini çekerler**. Örneğin, iki pozitif yük birbirlerini iterken, pozitif bir yük ile negatif bir yük ise birbirlerini çekecektir. Coulomb yüklü küreler ile yaptığı deneyler sonucunda iki yükün birbirine uygulayacağı elektrik kuvvetinin (bazen elektrostatik kuvvet olarak da karşınıza çıkabilir) büyüklüğü için nicel bir denkleme ulaşmıştır. Coulomb'a göre iki nokta yükün birbirine uyguladığı kuvvet;

$$F = k \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2} \quad (1.1)$$

Denk. 1.1 Coulomb Yasasıdır. k burada Coulomb sabiti, Q_1 ve Q_2 yükler, r ise iki yük arasındaki mesafedir.

Coulomb sabitinin değeri SI birim sisteminde $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ olacaktır. Coulomb sabiti aşağıdaki gibi de ifade edilir:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (1.2)$$

Burada ϵ_0 boş uzayın elektriksel geçirgenliğidir ve değeri $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$ 'dir.

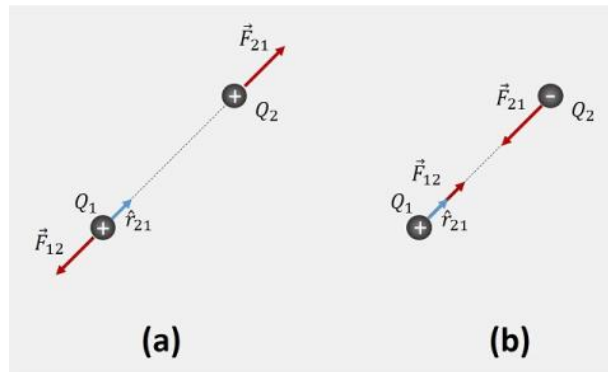
Kimi Türkçe kaynaklarda ϵ_0 boş uzayın elektriksel bırakırlığı olarak adlandırılmıştır. Biz geçirgenliğin daha doğru bir tercüme olduğunu düşünüyoruz ve onu kullanacağız.

Coulomb Yasasının Vektörel Formu

Coulomb Yasası hakkında dikkatli olmamız gereken husus kuvvetin bir vektör olduğu gerçeğidir. Şimdi dilerseniz Coulomb Yasasının vektörel formunu yazalım. Artık ifademizde yükler için mutlak değerleri kullanmayacağız. **Şekil 1.3** (a) ve (b) panellerinde olası durumlar gösterilmiştir. \hat{r}_{21} birinci yükten ikinci yüke doğru yönü gösteren birim vektördür. \vec{F}_{21} ise Q_2 'ye Q_1 tarafından uygulanan kuvvettir. Bu durumda;

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{r}_{21} \quad (1.3)$$

Newton'un 3.yasası kullanılarak da birinci yüke ikinci yük tarafından uygulanan kuvvetin $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 1.3 (a) İki pozitif yük ve (b) zıt yükler için Coulomb Kuvveti

Denk 1.3'ü anlamaya çalışalım şimdi. Eğer yüklerin çarpımı ($Q_1 Q_2$) pozitif ise (yani yüklerin ikisi de pozitif yada ikisi de negatif ise) yükler birbirini itecek ve \vec{F}_{21} ile \hat{r}_{21} aynı yönde olacaktır. (Bakınız **Şekil 1.3 - (a)** Burada iki yükün negatif olması hiç birşeyi değiştirmeyecektir.) Ancak yüklerin çarpımı negatif olursa, yani yüklerden birinin negatif değerinin pozitif olması durumu, \vec{F}_{21} **Şekil 1.3 - (b)**'de gösterildiği gibi \hat{r}_{21} 'e zıt yönde olacaktır. *Vektör ile skaler çarpımını hatırlayınız.*

Süperpozisyon İlkesi

Eğer birden fazla nokta yükümüz var ise, bunlardan birine etki eden net kuvvet, diğer yüklerin her birinin birinci üzerine uyguladığı elektrik kuvvetinin toplamı olacaktır. Bu süperpozisyon ilkesi olarak bilinir.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \vec{F}_{15} \dots \quad (1.4)$$

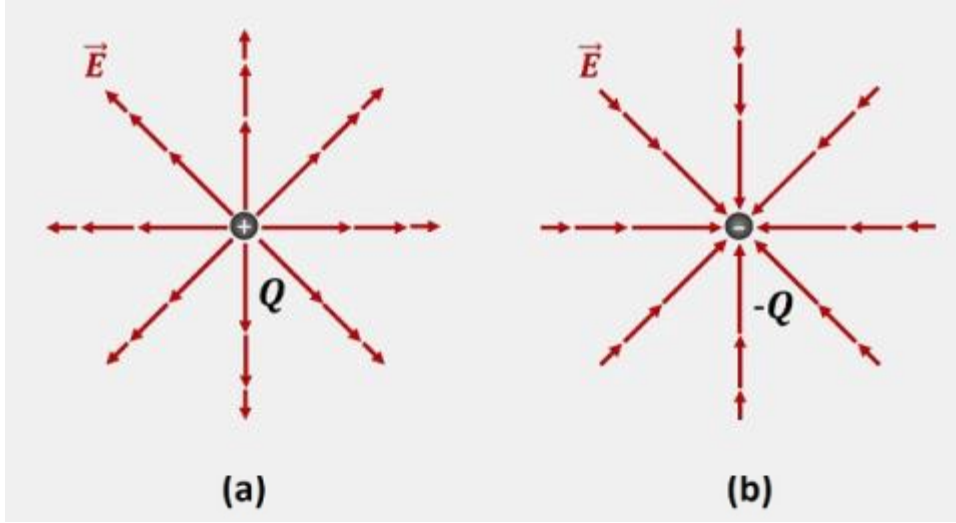
1.5 Elektrik Alan

Bir yük ya da yük topluluğu düşünelim ve buna Q_1 diyelim. Bu yük topluluğu etrafında bir elektrik alan oluşturur ve bu elektrik alan bütün uzaya yayılır. İkinci bir yüke (Q_2) uygulanan elektrik (Coulomb) kuvvetinin Q_1 'in Q_2 'nin konumunda oluşturduğu elektrik alandan dolayı olduğu söylenir.

Uzayın herhangi noktasında belirli bir yük ya da yük topluluğundan kaynaklanan **elektrik alan vektörü**, \vec{E} , birim yük başına düşen elektrik kuvveti, \vec{F}/q , olarak tanımlanır. Bir nokta yükün r uzaklıkta oluşturduğu elektrik alan

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (1.5)$$

olacaktır. Burada \hat{r} yükten dışarı doğru birim vektördür. Yani nokta yükünüz pozitif ise, oluşturacağı elektrik alan hep kendinden dışarı yöne doğru (radyal doğrultuda), yük negatif ise elektrik alan yüke doğru olacaktır. Bu denklemin bizlere anlattığı bir diğer şey ise \vec{E} 'nin büyüklüğünün r^2 ile azaldığıdır. **Şekil 1.5**'te pozitif ve negatif bir nokta yükün etrafında oluşturduğu elektrik alan resmedilmiştir.



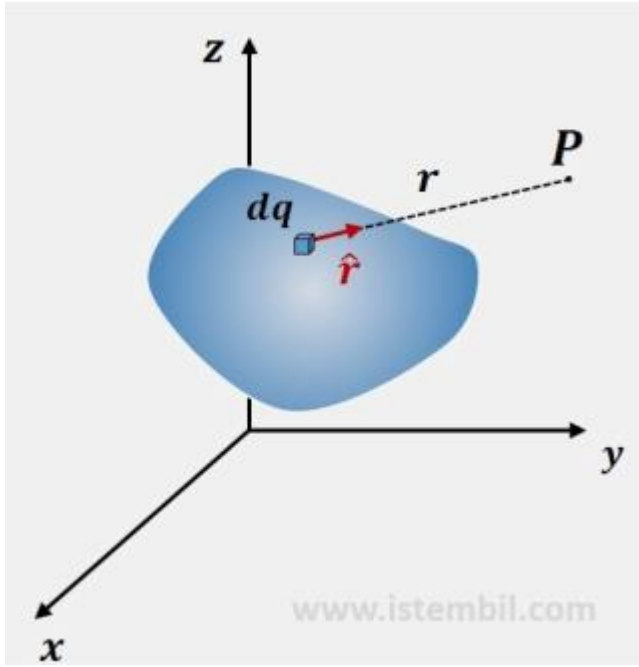
Şekil 1.4 Pozitif ve negatif yüklerin etrafında oluşturduğu elektrik alan vektörleri. Pozitif yükten dışarı doğru, negatif yüke doğru, uzaklaştıkça büyüklüğü r^2 ile azalan elektrik alan vektörleri. Burada ancak 2 boyutta gösterilmiştir. 3 boyutta her yöne doğru (bir plastik topun yüzeyine dik oklar düşünebilirsiniz) olacaktır.

Süperpozisyon İlkesi

Eğer birden fazla nokta yük var ise, uzayın herhangi bir noktasındaki elektrik alan, her bir yükün o noktada oluşturduğu elektrik alanın vektörel toplamına eşittir.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4 + \dots \quad (1.6)$$

1.6 Sürekli Yük Dağılımları İçin Elektrik Alan Hesabı



Şekil 1.5 Mavi ile gösterilen sürekli yük dağılımına sahip cisim ve P noktası.

Bir veya bir kaç nokta yükün herhangi bir noktada oluşturduğu elektrik alanı **süperpozisyon ilkesini** kullanarak hesaplamayı biliyoruz. Peki ama sonlu bir büyüklüğe sahip sürekli bir yük dağılımının herhangi bir noktada (örneğin **Şekil 1.5**'te gösterilen yüklü cisim için P noktasında) oluşturduğu elektrik alanı nasıl hesaplayabiliriz? **Bu bölümde bu soruya cevap vereceğiz.**

Yaklaşım: Öncelikli olarak bir şekilde elimizdeki bu problemi bildiğimiz bir hale sokmamız lazım. Neyi biliyoruz? Nokta yüklerin bir noktada oluşturduğu elektrik alanı hesaplamayı biliyoruz. O halde bu yüklü cismi o kadar küçük parçalara (dq) bölelim ki, her bir parçayı nokta parçacıkmış gibi düşünebileyim ve süperpozisyon ilkesi ile E 'yi P noktasında hesaplayabilelim. Sonsuz küçüklükteki bu dq 'ların her birinin P noktasında oluşturduğu elektrik alanı bulabiliriz. **Sonsuz küçükler hesabı ile uğraştığımızdan toplama işlemi integrale dönüşecektir.**

Sadece dq 'nın P noktasında oluşturduğu elektrik alan:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r} = k \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

Burada r seçtiğimiz dq ile P noktası arasındaki mesafe, (**hataya düşmeyin lütfen bu dq 'nın konumu değil**), \hat{r} ise minik yükten P noktasına yönü gösteren birim vektördür. Cismi minik dq 'lar ile (Tuğla ile duvar örmeye veya legolar ile birşeyler yapmaya benzetebilirsiniz.) tarayarak tekrar

oluşturacağız, bunu yaparken de her bir parçanın P noktasında elektrik alanını hesaplayacağız. P noktasındaki net elektrik alan ise;

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{cisim}} \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (1.7)$$

Sizin de farkedeceğiniz üzere, dq ile beraber hem r hem de \hat{r} değişmektedir ve vektörel olarak bu toplamın (integralin) hesaplanması oldukça karmaşık olabilecektir. Ancak genelde sistemin/problemin sahip olduğu simetri ile bu karmaşıklık ortadan kaldırılabilir. **Problem Setlerde buna örnek problemler bulabilirsiniz. Çözmenizi tavsiye ediyoruz.**

Yük Yoğunluğu

Denk. 1.7 kullanılarak herhangi bir yükdağılımının oluşturacağı elektrik alan hesaplanabilir. Hesaplamaların doğru yapılabilmesi için en önemli adımlardan biri de dq ile gösterilen sonsuz küçüklükteki yükün doğru tanımlanmasıdır. dq genelde yüklü bir cisim için, yükün cisim üzerinde nasıl dağıldığı bilgisini içeren yük yoğunluğu ile tanımlanır. Örneğin yüklü bir çubuk için dq , **birim uzunluk başına düşen yük miktarı** ile sonsuz küçüklükte bir uzunluğun çarpımı ile ifade edilebilir.

Kimi zaman ise yükü bir yüzeye (iki boyutlu bir cisim için, örneğin bir plaka veya disk) dağıtmamız, kimi zaman ise hacime (üç boyutlu bir cisim için, örneğin içi dolu bir küre veya silindir) dağıtmamız gerekebilir.

Aşağıdaki tabloda, bir, iki ve üç boyutda yük yoğunluğu için kullanılan semboller ve dq hesabının nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Burada dl sonsuz küçüklükteki uzunluk, dA sonsuz küçüklükteki alan, dV ise sonsuz küçüklükteki hacimdir. Tek boyutlu cismi küçük uzunlukların toplamı, iki boyutlu cismi küçük alanların toplamı ve üç boyutlu cismi ise küçük hacimlerin toplamı olarak ifade ediyoruz. Her bir parçanın yükü, dq ise tabloda verildiği gibi olacaktır.

Sembol	Tanım	dq
λ	Çizgisel Yük Yoğunluğu	$dq = \lambda dl$
σ	Yüzeysel Yük Yoğunluğu	$dq = \sigma dA$
ρ	Hacimsel Yük Yoğunluğu	$dq = \rho dV$

Not: Yük yoğunluğu cisim üzerinde sabit olabileceği gibi değişken de olabilir. Yük yoğunluğunun sabit olduğu durumlarda yükün **düzgün** dağıldığı söylenir. Yükün düzgün dağıldığı durumlarda bir,iki ve üç boyutlu cisimler için yük yoğunlukları aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Çizgisel Yük Yoğunluğu	Yüzeysel Yük Yoğunluğu	Hacimsel Yük Yoğunluğu
$\lambda = \frac{Q}{L_0}$	$\sigma = \frac{Q}{A_0}$	$\rho = \frac{Q}{V_0}$

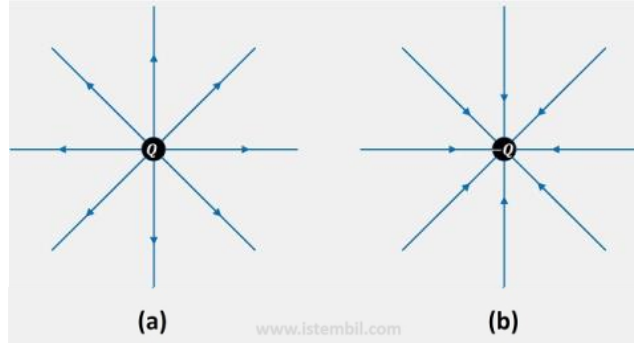
Burada L_0 tek boyutlu cismin uzunluğu, A_0 iki boyutlu cismin alanı ve V_0 ise üç boyutlu cismin hacmidir.

1.7 Elektrik Alan Çizgileri

Bir yük veya yük dağılımı bütün uzaya yayılan bir elektrik alan oluşturur. Uzayın her bir noktasında farklı boylarda (elektrik alanın büyüklüğü yükten olan uzaklığa bağlıdır hatırlarsanız) ve yönlerde oklar çizerek bu elektrik alanı resmedebiliriz. Ancak bu işi bir çok ok ile yapmaktansa, **Elektrik Alan Çizgileri** ile yapmak daha kolay olacaktır. Dilerseniz önce bu elektrik alan çizgilerinin nasıl çizilmesi gerektiği, özelliklerinin ne olduğunu listeleyelim;

- Elektrik alan çizgileri Elektrik Alanın yönünü verir: Elektrik alanın her hangi bir noktada yönü, elektrik alan çizgisine çizilen teğet yönündedir.
- Elektrik alan çizgileri ne kadar sık ise (geçtikleri dik birim yüzeyde elektrik alan çizgi sayısı) Elektrik Alanın büyüklüğü o kadar fazladır.
- Elektrik alan çizgileri **pozitif** yükte başlar, **negatif** yükte biter/sonlanır.
- Bir yükte başlayan yada biten (bir önceki özellik) elektrik alan çizgisi sayısı yükün büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Örneğin Q yükünde 16 çizgi başlıyorsa, $-2Q$ yükünde 32 çizgi bitmelidir.

Genel olarak elektrik alan çizgileri ve özellikle yukarıda listelenen 3.ve 4. özellikler, bir sonraki bölüm olan Gauss Yasası'nın anlaşılmasında çok önemlidir.



Şekil 1.6 (a) Pozitif ve (b) negatif yük için elektrik alan çizgileri

Şimdi dilerseniz bu özellikleri bir kaç örnek üzerinden anlamaya çalışalım. Şekil 1.6'da birbirinden çok uzakta ve izole pozitif ve negatif Q yükleri için elektrik alan çizgileri gösterilmiştir. Q başına 8 çizgi çizilmiş. a panelinde pozitif yükten çizgiler başlamış, b panelinde ise çizgiler negatif yükte bitmiştir (Ok yönlerine dikkat!). Buradan elektrik alanın yönünün (düz çizgiye teğet yine aynı çizgi üzerinde olacaktır.) oklar ile aynı yönde olacağını görebiliriz. Elektrik alan çizgileri yüke yakinken daha sık, uzaklaştıkça seyrekleşmektedir. Bu da Elektrik alanın büyüklüğünün uzaklıkla azaldığını göstermektedir. Bu azalmanın aslında $1/r^2$ ile gittiği **problem 5**'te gösterilmiştir.

İyi ama tek bir yükü anlamak zaten kolaydı. Ya iki yük varsa ne yapmalıyız? Ya da yüklü paralel plakalar, ya da sonsuz uzunlukta yüklü çubuk? Bu yük dağılımları için elektrik alan çizgileri **Şekil 1.7** ve **Şekil 1.8**'de gösterilmiştir. **Bu şekillerde neden çizgilerin gösterildiği gibi çizildiğini açıklayabilir misiniz? Dikkat ettiyseniz çizgiler birbirlerini hiç kesmiyor. Sizce neden?**

1.8 Yüklerin Elektrik Alan İçinde Hareketi

Herhangi bir yük dağılımından dolayı uzayın bir bölgesinde bir elektrik alan (\vec{E}) olduğunu varsayalım ve elektrik alanın her bir noktada ne olduğunu biliyor olalım. Eğer bu bölgeye q yüklü bir parçacık girerse, bu parçacık üzerine etki eden kuvvet olacak mıdır ve ivmelenir mi? Eğer ivmelenirse hangi yöne ivmelenir?

Bölüm 1.5'de elektrik alanı nasıl tanımladığımızı hatırlayalım;

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

Birim yük başına düşen elektrik kuvveti. Bu durumda verilen bir \vec{E} elektrik alanı altında bir q yüküne etki edecek kuvvet de

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad (1.8)$$

olacaktır. **Not: Denk. 1.8** bize pozitif yüklerin elektrik alan ile aynı yönde, negatif yüklerin ise elektrik alana zıt yönde bir elektrik kuvvetine maruz kalacağını söylüyor. Artık gerisi Newton'un ikinci yasasını, $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, uygulamaya kalıyor...

1.9 Elektrik Alan ve İletkenler

Evet iletkenleri bu kadar önemli kılan nedir ki ayrıca bundan bahsetme gereksinimi duyduk?

İletkenlerde iletim elektronlarının (hatırlarsanız atomların son yörüngelerindeki elektronların koparılmasının çok kolay olduğunu söylemiştik. (Termal enerji bu elektronları koparmaya yeterli - Bakınız Fizik I) Bu elektronlar iletken içerisinde serbetçe hareket edebilir diyebiliriz. **Peki bir iletken malzemeyi elektrik alan içerisinde koyarsak ne olur?** Bir önceki kısımda yüklerin elektrik alan altında kuvvet hissedeceğini söylemiştik. İletkenin sahip olduğu elektronlarda bu kuvveti hissedecek ve elektrik alana zıt yönde toplanmaya başlayacaktır. Diğer taraf ise elektron eksikliğinden pozitif yüklü olacaktır. Bu yük ayrışımı iletkenin içerisinde, dışarıdan uygulanan elektrik alan haricinde ama ona ters yönde, bir elektrik alan oluşturur. Bu elektrik alanın büyüklüğü, dışarıdaki elektrik alana eşit olana kadar artar. Artık sistem dengeye ulaşmıştır ve **iletkenin içerisinde artık net elektrik alan SIFIR olacaktır.**

İletkenin hemen dışındaki elektrik alan çizgileri iletkenin yüzeyine dik olacaktır. Bunun sebebi şu şekilde ifade edilebilir; Eğer elektrik alanın yüzeye paralel bir bileşeni olsa idi, iletkenin yüzeyindeki yükler yine bu elektrik alanı sıfırlayacak şekilde hareket edecekti.

Hazır yeri gelmişken şunu da not olarak düşelim: Yüklü bir iletkenin bütün yükü iletkenin yüzeyinde toplanır. **Sizce bunun sebebi nedir?**

1.10 Elektrik Dipolü

Bir elektrik dipolü, bir birinden l mesafesi ile ayrılmış, Q ve $-Q$ gibi eşit ama zıt işaretli iki yükten oluşur. Bu iki sistemi ifade etmek için bir **dipol moment** tanımlayabiliriz;

$$\vec{p} = Q \vec{l} \quad (1.9)$$

Burada l büyüklüğü l olan, $-Q$ ' dan Q 'ya doğru yöne sahip bir vektördür. Yani dipol moment vektörümüz de (-) yükten (+) yüke doğru olacaktır.

Eğer bir dipol, bir elektrik alana bırakılırsa, elektrik kuvvetinden dolayı dipol moment vektörünü elektrik alanla aynı yöne çevirecek bir tork oluşur. Bu etki LCD (Sıvı Kristal Ekranlar) ekranların çalışma prensibidir.

Bir elektrik dipolünün oluşturduğu elektrik alanın büyüklüğü dipolden uzaklaştıkça $1/r^3$ ile azalır.