

III. 7. MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİZMA

III.7.0 1. MANYETİK ALAN

Manyetik olaylar M.Ö 2000 yıllarında Çinliler tarafından bilinmekteydi. Doğada, kütle çekim kuvveti ve elektriksel etkileşim dışında bir başka etkileşim türünde, M.Ö. yaklaşık dördüncü yüzyılda bugünkü Manisa o devirdeki adıyla Magnesia'da yaşayan insanlarca bir demir filizi parçacıklarının diğer bir demiri çekme özelliği şeklinde gözlenmiştir. Tarihi inanışa göre, o zamanlarda Manisa dağlarında koyunlarını otlatan bir çoban , ucu demirli değneğin yerdeki bazı taşlar tarafından çekildiğini fark etmiştir. Bu tip etkileşmeye bu nedenle olayın geçtiği yere izafen *manyetik etkileşme* ve demir filizine de *mıknatıs* adı verilmiştir. Bir *mıknatısın* çekme ve itme özelliği *mıknatısın kutupları* denen bazı bölgelerinde daha belirgindir. M.Ö.'ki yüzyıllarda, mıknatıs yakınına getirilen bir demir çubuğun, doğal mıknatıstaki özelliği kazandığı ve bu çubuğun düşey bir eksen etrafında asıldığı vakit, kendiliğinden ve yaklaşık olarak kuzey ve güney doğrultusunu gösterdiği, Çinliler tarafından biliniyordu. Bu özellikten yararlanılarak mıknatısın pusula olarak kullanılması bildiklerimize göre onbirinci yüzyıldan öncedir.

Başka doğal büyük bir mıknatısta yerkürenin kendisidir. Yerkürenin , bir bir mıknatıs taşına sürtülerek mıknatıslanan ve yatay bir düzlem içinde serbestçe dönebilen bir demir iğneyi, yerküre kuzey – güney doğrultusunda yönelttiği ve bunun gemicilikte 12. Yüz yıla doğru pusula olarak kullanıldığı söylenmektedir.

Manyetik olaylarla elektriksel olaylar arasındaki ilişki, 1819 yılında H.C. Oersted tarafından, içinden akım geçen bir telin yanındaki pusulanın sapması etkisiyle, dene olarak gösterilmiştir. Manyetik etkileşimlerin, *hareket halindeki elektrik yükleri arasındaki kuvvetlerden oluştuğu* kabul edilmektedir. Hareket halindeki yükler birbirlerine, Coulomb yasasının belirttiği elektriksel kuvvetler dışında, *manyetik kuvvetler* uygularlar. Onun için manyetizma konusuna, hareketli yükler arasındaki kuvvetlerin incelenmesi ile devam edilecek ve maddenin manyetik özellikleri ileride incelenecektir.

Manyetik alan incelenirken, hareketli bir yük üzerine diğerince uygulanan kuvvetle doğrudan ilgilenmek yerine, hareketli bir yükün kendi bulunduğu uzayda bir *manyetik alan* oluşturduğu ve bu alanın diğer bir hareketli yüke etkidiğini kabullenmek daha uygun olmaktadır.

Elektrostatik kuvvetin olmadığı ve kütle çekim kuvveti önemsenemeyeceği uzayın bir noktasında, *hareketli bir yüke bir kuvvet etkidiğinde, bu noktada bir manyetik alan vardır* denir. Hareketli yükler üzerine etkiyen manyetik kuvvetlerin yanında, hareketli yükler ve akımlar tarafından oluşturulan elektrik alanı bir çok halde okadar küçüktür ki dolayısıyla bunlar ihmal edilebilir.

Elektrik alan, kütle çekim alanı nasıl kuvvet çizgileri ile tanınıyorsa, manyetik alanda alan çizgileri ile tanımlanır. Manyetik alan **B** vektörel bir nicelik. **B'** ye **manyetik akı yoğunluğu** veya **manyetik indüksiyon** adı verilir. Elektrik yüklü bir cismin çevresinde oluşturduğu elektrik alan gibi, bir mıknatıs veya içinden akım geçen bir telde çevresinde bir manyetik alan oluşturur. Bir manyetik alan ve bir elektrik alan doğal olarak birbirinden çok ayrı olmakla beraber aralarında birçok benzerlik vardır. Bir manyetik alanda bir elektrik alan gibi her noktada belirli bir büyüklük ve doğrultuya sahip olan vektörel bir niceliktir. Bir manyetik alan bir elektrik alan gibi, doğrultuları her noktada **B** nin doğrultusu olan, manyetik alan çizgileri ile gösterilirler ve bu çizgilerin sık olduğu yerde **B** nin şiddeti büyük seyrek olduğu yerlerde küçüktür. Böylece, bu çizgilerin kendi doğrultularına normal yüzey biriminden geçen toplam sayısına *manyetik alan akısı* adı verilir. Manyetik akı, elektrik alanına benzer tarzda vektörel olarak

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad (01)$$

veya onun şiddeti olarak

$$\Phi = \int B dS \cos \theta \quad (02)$$

şeklinde tanımlanır. Bağlıdaki, θ açısı **B'** nin, yüzeyin normali ile yaptığı açıdır.

SI birim sisteminde manyetik alan şiddeti birimi

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ N} / \text{Amp. m} = 1 \text{ Weber} / \text{m}^2$$

dır. Manyetik alanın eski birimi olan Gauss bazı hallerde kullanılmaktadır. Tesla ile Gauss arasındaki ilişkide

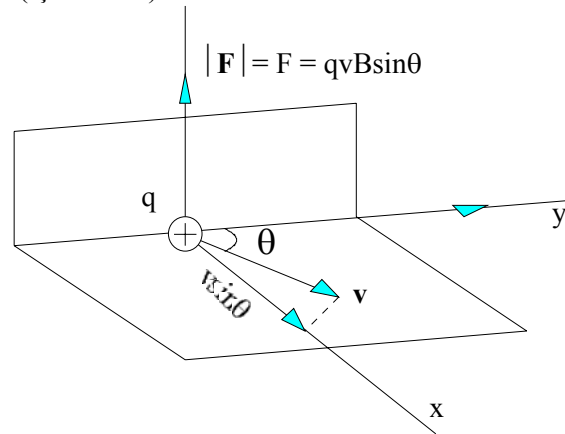
$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss (G)}$$

şeklindedir. Laboratuvarlarda elde edilebilen en büyük manyetik alan değeri 2,5 T dır. Bununla birlikte 25T (250 000 G) büyüklüğüne ulaşan manyetik alan üretebilen Süperiletken mıknatıslar yapılmıştır. yerkürenin yüzeyine yakın bölgelerdeki manyetik alan değeri yaklaşık olarak $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ veya 0,50 G dur.

III.7.02. HAREKETLİ YÜKE ETKİYEN MANYETİK KUVVET VE MANYETİK KUVVETİN ÖZELLİKLERİ

Göz önüne alınan uzayın bir noktasında, bir elektrik alanının olmadığı ve kütsel çekim kuvveti ihmal edildiğine göre bu noktadaki v hızı ile hareket eden bir q yüküne bir sapıtıcı kuvvet etkiyorsa bu kuvvete *elektromanyetik kuvvet* adı verilir. Gözlemlere göre v hızı ile hareket eden $+q$ yüküne etkiyen manyetik kuvvet aşağıdaki gibi belirtilir:

1) *Kuvvetin doğrultusu:* Kuvvet $\mathbf{B}$ ile v hızının oluşturduğu düzleme diktir. Buna göre kuvvet hem $\mathbf{B}$ 'ye hemde v 'ye dik olacaktır (Şekil 01).



Şekil 01 Manyetik kuvvetin yönünün bulunması

2) *Kuvvetin değeri:* manyetik kuvvet parçacığın yükü ve hızı ile orantılıdır ve

$$\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (03)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntıdan kuvvetin büyüklüğü (skaler değeri), yükün $\mathbf{v}$ hızı ile $\mathbf{B}$ arasında Θ açısı varsa

$$F = qvB \sin \theta \quad (04)$$

dır. Yükün $\mathbf{v}$ hızı $\mathbf{B}$ 'ye paralel olursa $F = 0$ olacaktır. Manyetik kuvvetin maksimum değeri, $\mathbf{v}$ hızının $\mathbf{B}$ 'ye dik olması ile ($\theta = \pi / 2$)

$$F_{\max} = q v B \quad (05)$$

olur. Bir pozitif yüke etkiyen kuvvet aynı yönde hareket eden nekadif kuvvete etkiyen kuvvetin yönüne testir.

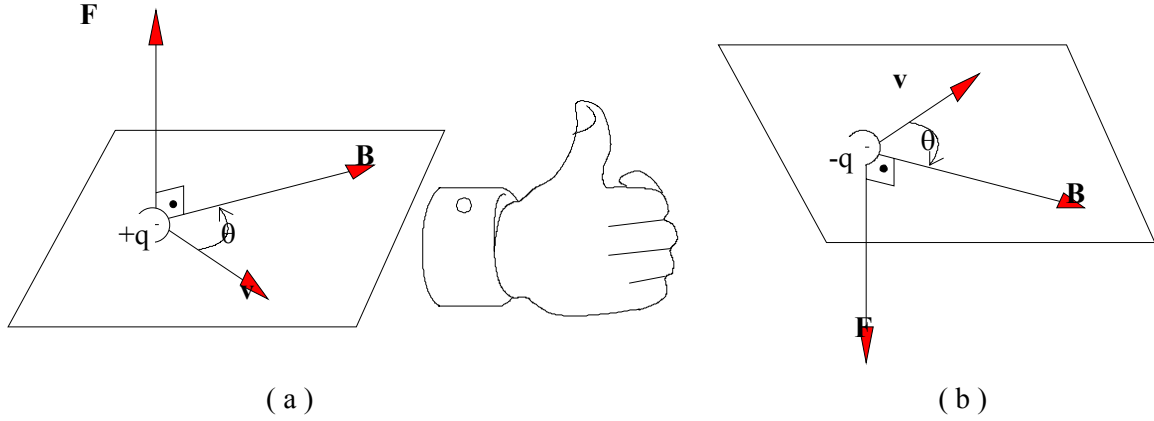
Elektrik yükü q olan bir parçacık, bir elektrik alan ve manyetik alanın olduğu uzayda hareket ederse ona etkiyen toplan kuvvete *Lorentz* kuvveti denir ve bu kuvvet

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E} + q \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (06)$$

Manyetik kuvvetin parçacığın hızına dik olması nedeniyle, yükün bir manyetik alanda hareketinde bir iş yapılmaz yani parçacığın kinetik enerjisi değişme bu kuvvet yalnızca onu yana saptırır. Esasında bu kuvvet *merkezcil kuvvettir* ve parçacığın yörüngesi bir *daire yayı* olacaktır. Manyetik kuvvetler çekim kuvvetlerinden yaklaşık olarak 10^9 defa daha büyüktürler.

3) *Kuvvetin yönü* . bu yön $\mathbf{B}$ ve $\mathbf{V}$ ' nin yönüne bağlıdır. Genelde bu yönün bulunması için *sol el kuralı* uygulanır. Sol elin şerçe ve yanındaki parmağı kapalı olmak üzere diğer üçü açıkken, *işaret parmağı $\mathbf{B}$ manyetik alanın yönünü, orta parmakı $+q$ yükünün $\mathbf{v}$ hızının ($v \sin \Theta$) (veya I akımının) yönünü göstermek üzere birbirlerine dik olarak tutulurlarsa, bunlara dik olan başparmakta elektromanyetik kuvvetin yönünü gösterir*. Parçacık eksi yüklü olursa etkiyen kuvvet pozitif parçacığa etkiyenle ters yönlü olacaktır.

Şekil 02.a $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ vektör çarpımının yönünü bulmaya yarayan sağ el kuralının kısa bir gösterimini vermektedir. Sağ elin dört parmağını $\mathbf{v}$ nin yönünde yöneltin ve sonra $\mathbf{B}$ nin yönünde gelinceye kadar bükün. Bu durumda açılan baş parmak $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ nin yönünü gösterir. $\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ olduğundan q pozitif ise $\mathbf{F}$, $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ nin yönünde, q negatifse $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ ile ters yönlüdür (Şekil 02.b).



Şekil 02.a.b Manyetik alanda v hızıyla hareket eden bir parçacığa etkiyen manyetik kuvvet

Elektrik ve manyetik kuvvetler arasında önemli farklar vardır.

- 1) $\mathbf{F}_E$ her zaman $\mathbf{E}$ ye paralel ($\mathbf{F}_E // \mathbf{E}$) buna karşın $\mathbf{F}_B$ her zaman $\mathbf{B}$ ye diktir ($\mathbf{F}_B \perp \mathbf{B}$).
- 2) $\mathbf{F}_E$ yükün $\mathbf{v}$ hızından bağımsız, oysa $\mathbf{F}_B$ yükün $\mathbf{v}$ hızına bağımlıdır.
- 3) $\mathbf{F}_E$ yükün konumunu değiştirmeye W işi yaoar, oysa $\mathbf{F}_B$ her zaman yerdeğiştirmeye dik olduğundan, $\mathbf{F}_B \cdot d\mathbf{s} = (\mathbf{F}_B \mathbf{v}) dt = 0$ dan yaptığı iş sıfırdır.

Buna göre yüklü bir parçacığın kinetik enerjisini yalnızca bir manyetik alanla değiştiremeyiz.

v hızı ile hareket eden bir yüke uygulanan manyetik alan onun hız vektörünün yönünü değiştirir fakat onun hızını değiştiremez.

III.7.03. YÜKLÜ PARÇACIKLARIN MANYETİK ALANDAKİ YÖRÜNGELERİ

Kütleleri aynı yükleri $+q$ ve $-q$ olan iki parçacık, düzgün bir B manyetik alanına dik aynı bir v hızı ile girsinler (Şekil 0 3.a). Buna göre bu iki parçacığa etkiyen kuvvetlerin büyüklüğü aynı, sol el kuralına görede yönleri zıt olacaktır. Yüklere etkiyen kuvvetin büyüklüğü $F = q v B$ dır. Kuvvet hıza dik olduğundan hızın değeri sabit kalacak fakat doğrultusu değişecek ve bunun sonucu yüklü partiküller *düzgün dairesel bir hareket* yapacaklardır. Buna göre kütlesi m olan $+q$ yüküne etkiyen *merkezcil kuvvet* ($m v^2 / R$) manyetik kuvvete eşit olacağından parçacık saat ibreleri tersinde bir dairesel yörünge

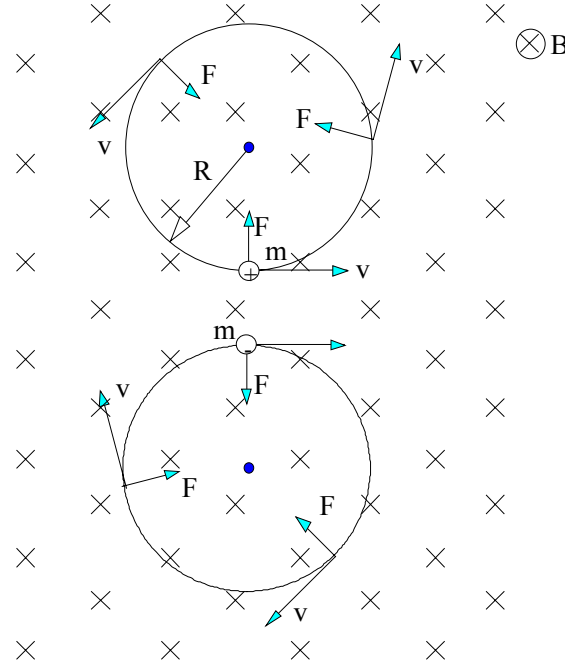
çizecektir: Eksi yüklü parçacıkta saat ibreleri yönünde dairesel bir yörünge çizer. Dairesel yörünge yarıçapı R ise bu yarıçap

$$m \frac{v^2}{R} = qvB$$

bağıntısından

$$R = \frac{m v}{q B} \quad (07)$$

olarak bulunur.



Şekil 0 3.a Düzgün manyetik alana dik bir v hızıyla giren parçacıkların
Yüklerinin çeşidine göre dairesel yörüngeleri.

Parçacığın hızı manyetik alana dik değilse yani B ile bir açı yapacak şekilde alana girerse, bu hız biri manyetik alana dik diğeride manyetik alana paralel olmak üzere iki bileşene ayrılır. Paralel bileşen etkilenmez, fakat dik bileşen değerce sabit kalarak doğrultusu sürekli olarak değişir. Buna göre parçacığın hareketi, alana düzgün bir hareketle $\omega = qBm$ açısal hızı ile alan etrafındaki dairesel hareketin bileşkesi olan bir helis. Olur Şekil 3.b .

Şekil 3.b

. Manyetik alana θ gibi bir açıyla giren bir parçacığın açısal hızı v ise bu hız biri manyetik alana dik diğeri manyetik alana paralel olmak üzere iki bileşene ayrılır. Manyetik alana paralel bileşenin değeri $v_{\text{paralel}} = v \cos \theta$ ve dik olan bileşenin değeri $v_{\text{dik}} = v \sin \theta$ olacaktır , Şekil 3.b.

07 Bağıntısına göre manyetik alana dik olan bir hızla girerek , dairesel bir yörüngede dolanan parçacığın w açısal hızı, v teğet hızına bağlı değildir, yalnızca (q / m) oranına ve B 'ye bağlıdır. Buradan açısal hız için,

$$w = \frac{v}{R} = \frac{q}{m} B \quad (08.a)$$

elde edilir.Burada w 'ya **siklotron frekansı** denilmektedir.Son bağıntıdan bu dairesel hareketin periyodu için

$$T = \frac{2\pi}{w} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (08.b)$$

bulunur. Görüldüğü gibi w ve T parçacığın hızına ve yörüngenin yarıçapına bağlı değildir. 07 bağıntısına gör aynı kütleyle sahip olan hızlı parçacıklar geniş daireler boyunca yavaş parçacıklar ise küçük daireciklere boyunca hareket yaparlar. Ancak hepsininde kendi dairesel yörüngelerini dolanma periyotları aynıdır.

Şekil 3.b 'deki gibi manyetik alana belli bir açıyla ve belli bir v hızıyla giren parçacığın alana paralel bileşeni " $v \cos \theta$ " manyetik alandan etkilenmez , fakat dik bileşen " $v \sin \theta$ " değerce sabit kalarak doğrultuca sürekli olarak değişir.Buna göre parçacığın hareketi, alana paralel düzgün bir hareketle $w = q B / m$ açısal hızıyla alan etrafında dairesel hareketin bir bileşkesi olan bir helis olur Şekil 03.b. Buna göre açısal hız alana paralel hıza bağlı değildir , yalnızca q / m oranına ve B değerine bağlıdır.

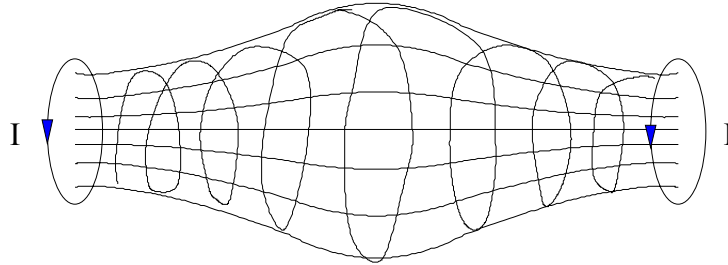
Helis yörünge üzerinde dolanan bir parçacığın **helisel yörünge adımı** Şekil 03.b. her periyot süresinde yer konumunun x eksenini boyunca aldığı yola eşittir. Helis yörüngedeki parçacığın x eksenini boyunca hız bileşeni $v \cos \theta$ olduğundan parçacığın **helisel yörünge adımı** :

$$e = v \cos \theta . T = v \cos \theta . \left(\frac{2\pi m}{Bq} \right) \quad (09)$$

bağıntısından hesaplanır.

Helis yörüngede hareketli parçacığın açısal hızının yönü bilinirse, böyle bir iyonun manyetik alandaki yörüngesinin eğilmesinden onun yükünün işareti tayin edilir. (08.a) bağıntısına göre, yüklü bir parçacığın yörüngesinin manyetik alanda eğilmesi, parçacığın enerjisine veya momentumuna ' $p = m v$ ' bağlıdır. Enerji büyüdükçe eğrilik yarıçapı, R büyük fakat eğrilik küçük olur. Bunun uygulanması sonunda 1932 yılında C.D. Anderson tarafından *kozmetik ışınlar içindeki pozitron bulunmuştur*. Pozitron temel bir parçacık olup, kütlesi elektron kütlesiyle aynı olup yükü artı elektron ($+e$) elektron yüküdür. Uzaydan yerküre üzerine düşen yüklü parçacıklara *kozmetik ışınlar* denilmektedir. Diğer taraftan pozitrona'da elektronun *antiparçacığı* adı da verilir.

Yüklü parçacıkla düzgün olmayan bir manyetik alanda hareket ettiklerinde hareket yönünde karmaşık bir görünüm sergilerler. Şekil 04 deki gibi iki akım ilmeğinin oluşturduğu uçlarda kuvvetli ortada zayıf bir manyetik alan içinde hareket eden yüklü parçacıklar uç noktalar arasında ileri geri salınım



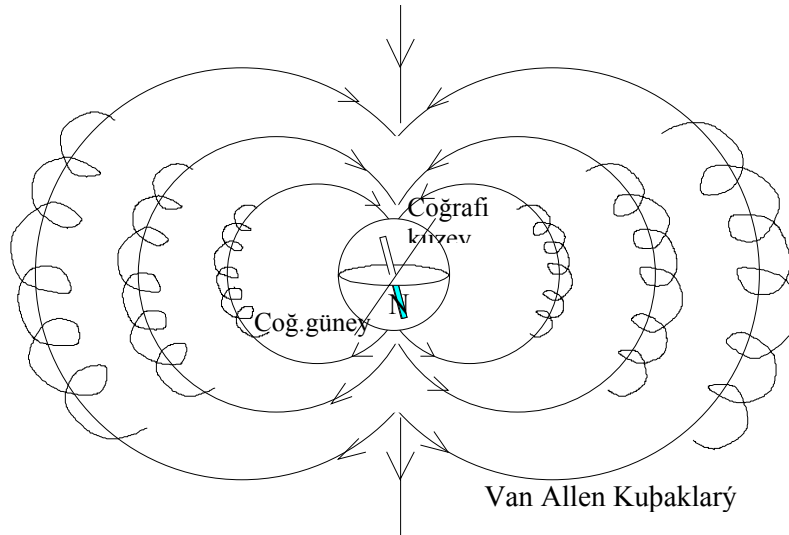
Şekil 04 Manyetik şişe

hareketi

yaparlar. Böylece bir uçtan harekete geçen bir yüklü parçacık diğer uca ulaşınca kadar alan çizgileri boyunca spiral çizerek ilerliyor ve uca ulaşınca geriye dönüyor. Bu tür şekillenmeye *manyetik şişe* denilmektedir. Yüklü parçacıklar böyle bir alan içinde tuzaklanabilmektedirler. Bu olaydan yararlanarak çekirdek birleştirme (füzyon) sürecini başlatmak amacıyla kullanılmaktadır. Pozitif iyonlar ve elektronlardan oluşan *PLAZMA* adı verilen oldukça sıcak gazları ($T > 10^6 \text{ K}$) hapsetmek amacıyla kullanılmaktadır. Füzyon reaksiyonu ile hemen hemen sonsuz enerji kaynağı elde edilebilecektir. Bu durumda bu reaksiyonun kullanışlı olarak kullanılması yönünden manyetik şişe problemleri

bulunmaktadır. Şişede çok fazla parçacık tutuklanınca bu kez parçacıklar birbirleriyle çarpışarak sistemden dışı kaçmaktadırlar.

Dünyayı yanlardan saran çoğunluğu elektron ve protonlardan oluşan parçacıkların oluşturduğu **Van Allen ışınlı kuşakları** içindeki parçacıklar yerkürenin düzgün olmayan manyetik alanda tuzaklanarak kutuptan kutuba spiraller çizerler. Bu parçacıklar genelde güneşten kaynaklanırlar, fakat bazıları yıldızlardan ve diğer gök cisimlerinden gelirler. Bu nedenle bu parçacıklara *kozmetik ışın* denilmektedir. Kozmik ışınların çoğu yerkürenin manyetik alanında saparlar ve yerküreye ulaşamazlar. Bununla birlikte bazıları tuzaklanırlar ve Van Allen kuşakları oluştururlar. Bu yüklü parçacıklar kutupların üzerindeki dünya atmosferinde diğer atomlarla çarpışarak, onların görünür ışık yaymalarına neden olurlar. Böylece kuzey ülkelerinin truzim kaynağı olan kuzey kutbu fecri veya kuzey ışınlımları oluşur. aynı olay güney kutbunda da olmaktadır. Şekil 05 de dünyayı saran Van Allen kuşakları ve yüklü parçacıkların tuzaklanma sonucu oluşturduğu sipiraller şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 05 Van Allen kuşakları, yerkürenin düzgün olmayan manyetik alanında tuzaklanan, elektron ve proton gibi yüklü parçacıklardan oluşur.

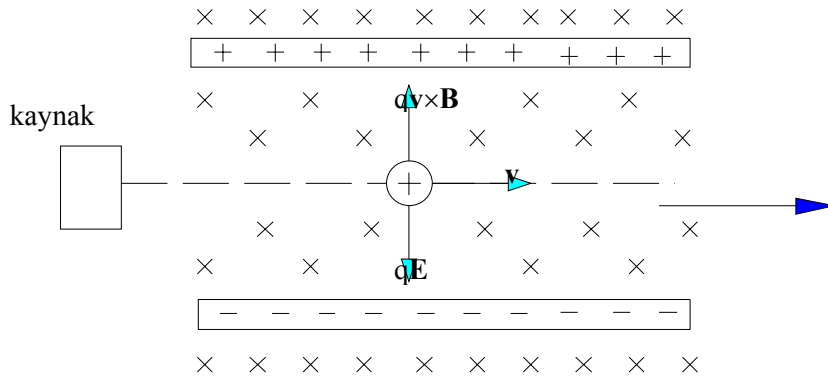
III.7.04. HIZ SEÇİCİ

Yüklü parçacık hem **E** elektrik alanı hem de **B** manyetik alanı içinde hareket ediyorsa yüke etkiyen elektrik kuvvet $q\mathbf{E}$ ve manyetik kuvvet $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ olmak üzere bu iki kuvvetin etkisi altında olacaktır. Yüke etkiyen toplam kuvvet,

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (10)$$

dır. Bu kuvvete **Lorentz Kuvveti** adı verilmektedir.

Yüklü parçacıkların hareketlerini inceleyen pek çok deneyde, aynı hızla hareket eden parçacıkların oluşturulduğu bir kaynağa ihtiyaç vardır. Böyle bir kaynağı Şekil 06 daki sistemle sağlayabiliriz. Sistemde paralel plakalar arasına düşey bir $\mathbf{E}$ elektrik alanı ve plakalar arasına şekil düzlemine dik içe yönlü, düzgün bir $\mathbf{B}$ manyetik alanı uygulanır. Kaynaktan v hızı ile çıkan, örneğin $+q$ yüküne yukarı yönlü $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ manyetik kuvveti ve aşağı yönlü $q\mathbf{E}$ elektrik kuvveti etkir. Alanlar manyetik ve elektrik kuvveti dengeleyecek şekilde seçilirlerse $q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = q\mathbf{E}$ olur. Buradan



Şekil 06 Hız seçici

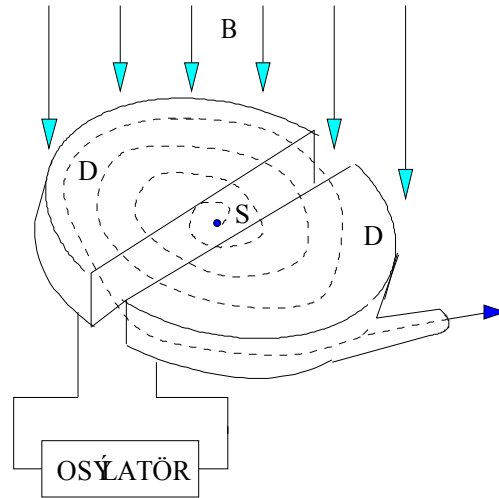
$$v = \frac{E}{B} \quad (11)$$

bulunur. Bu durumda parçacık düz yatay bir çizgi boyunca ilerler. Birbirine dik manyetik ve elektrik alanının içinde ancak (11) bağıntısındaki hıza sahip olan parçacıklar sapmadan ilerlerler. Uygulamalarda $\mathbf{B}$ ve $\mathbf{E}$ bu özel hızı verecek şekilde ayarlanır. Bundan hızlı parçacıklara etkiyen manyetik kuvvet elektrik

kuvvetten daha büyük olduğundan bu parçacıklar yukarı doğru sapacaklardır. Bundan daha düşük hızda olan parçacıklar da aşağı doğru saparlar.

III.7.05. SİKLOTRON VE SİNKRATRON

Siklotron, 1931 yılında ,yüksek hızlı yüklü parçacıklar demeti elde etmek amacıyla E.O. Lawrance ve M.S.Livington tarafından yapılmıştır. Çok büyük hacimli yapısına karşılık, çalışmasının temel teorisi basittir. Protonlar ve döteronlar gibi yüklü parçacıkların elektrik ve manyetik alanlardaki hareketlerinden yola çıkılarak ve yüklü parçacığın manyetik alandaki yörüngesinin dairesel olması bu tür parçacık hızlandırıcıların yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu tür bir cihaz bilimsel araştırmalar için düzenlenmişse’de, bu amaç sonraları askeri ve ticari istekler için yönlendirilmiştir.



Şekil 07 Siklotron

Siklotron, D_1 ve D_2 gibi yarım dairesel odacıklara ayrılmış ve bu iki kısım arasında bir boşluk bulunan bakırdan yüksekliği az olan silindirik bir sistemdir (Şekil 07). Bu sistem düzgün bir manyetik alan içindedir ve bu odacıklar birbirinden elektrikce izole edilmişlerdir. D 'ler arasındaki boşluğun ortası civarında bir iyon kaynağı (çoğunlukla ağır hidrojenin pozitif yüklü çekirdekleri yani döteron) kullanılır. D 'ler alternatif potansiyel farkı oluşturan bir ossilatörün uçlarına bağlanırlar. Bu alternatif potansiyel farkının frekansı saniyede birkaç milyondur ve D 'ler arsındaki elektrik alanda aynı frekansla yön değiştirir. D 'lerin iç kısımlarında elektrik alan değeri doğal olarak sıfır olacaktır.

Şekil 0 3.a.'da D_1 'in pozitif olduğu bir anda iyon kaynağı S'ten çıkan, $+q$ yüklü ve m kütlele bir iyon, D'ler arasındaki elektrik alanla hızlandırılır. Bu hızlandırılan iyon D_2 'nin içinden geçerek D'ler arasındaki serbest bölgeye bir v_1 hızı ile girer, hareket manyetik alana dik olduğundan bu iyon

$$r_1 = \frac{mv_1}{qB} \quad (12)$$

yarıçaplı dairesel bir yörünge boyunca hareket eder. İyonun bir yarım daire çizmek için geçen zaman içinde, *elektrik* alanında yönünde değişerek D'e doğru yönelmişse iyon D ler arasında boşluğa gelince tekrar hızlanacak ve D' e daha büyük bir v_2 hızı ile girecektir. Bu olaylar ard arda tekrarlanarak iyonun dairesel yörüngesi gittikçe bir spiral gibi genişleyecektir. Bu dairesel spiralin yarı çapı istenilen maksimum değer R 'ye ulaşınca hızlandırılmış iyon D_1 'deki A noktasından $v_{\max}$ hızı ile çıkarak istenilen hedefe gönderilecektir.

İyonun D'ler içindeki hareketindeki açısal hızı, yani frekansı (12) bağıntısına göre çizdiği dairenin yarıçapına bağlı değil sadece onun (q / m) oranına bağlıdır. Buna göre iyonun D bölgesindeki bu dolanım frekansı ν , alternatif potansiyel farkının yön değişim frekansı ν_0 eşit olunca yani bu

rezonans halinde, iyonun S kaynağından başlayan hareketi nedeniyle, onun D_2 'deki A noktasından, o noktadaki dairesel yörüngeye teğet $v_{\max}$ hızı ile fırlatılmasını sağlar. Burada bir tek iyondan bahsedilmekle beraber esasında A noktasından fırlatılanlar iyonlardan oluşan bir demettir. A'dan çıkan İyonun yörüngesinin maksimum yarıçapı R , $v_{\max}$ ve onun maksimum kinetik enerjisi

$$\begin{aligned} R &= \frac{m v_{\max}}{qB} \\ v_{\max} &= \left(\frac{q}{m} \right) B \cdot R \\ U_k &= \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{m} \right) q B^2 R^2 \end{aligned} \quad (13)$$

bağıntılarıyla verilir. Ayrıca potansiyel farkının yön değişim frekansı ν_0 ve iyonun dönme frekansı ν 'nın eşit olası halindeki rezonans frekansıda

$$\nu_0 = \nu = \frac{qB}{2\pi m} \quad (14)$$

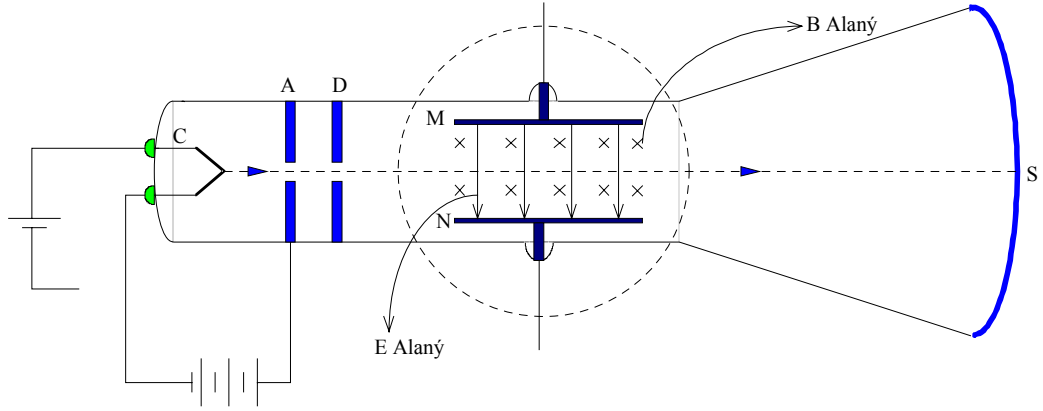
dır. (13) bağıntısından görüleceği gibi bu enerji değeri hızlandırıcı potansiyel farkının değerine bağlı değildir. Potansiyel farkı küçük olunca partikül son enerjisine ulaşmak için bir çok dönme yapar. Potansiyel farkı büyükse sadece bir kaç dönme yeterli olur.

İyonun manyetik alan içindeki dönme frekansı onun hızına bağlı değildir. Ancak bu hızın büyüklüğü ışık hızının (bu hız genellikle c harfi ile gösterilir.) alt katları ile ölçülecek seviyeye geldiğinde (0,1c; 0,2 c ; 0,3 c ;... gibi) iyonun kütlesi m , onun düşük hızlardaki kütlesi m_0 olmak üzere $m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$ şeklinde *relativistik* olarak artacak böylece iyonun dönme frekansı ile potansiyel farkının değişim frekansı arasındaki *rezonans* hali oluşamayacak, dolayısıyla iyon fazla hızlanamayacaktır. Böylece iyonun enerji değeride relativistik kütle etkisi ile sınırlanacaktır. Buna bir örnek olarak, siklotronda protonlar 50MeV (1MeV= 10^6 eV = $1,6021 \cdot 10^{-13}$ Joule) 'den daha fazla enerjilere çıkarılamazlar. Yüksek enerjilere ulaşmada karşılaşılan diğer bir engelde, iyonların manyetik alan içindeki hareketlerini ayarlayan mıknatısın çok büyük yapıda olmasıdır. Örnek olarak,protonları 500 Gev (1 Gev = 10^9 ev) enerjiye yükseltmek için kullanılan 1,5 T değerinde manyetik alan oluşturan mıknatısın çapı 2,24 km kadardır.

Siklotrondaki görülen bu aksaklıkları ve zorlukları gidermek amacıyla *Sinklatron* adı verilen bir sistem geliştirilmişti. *Sinklatron*'un siklotrondan farkı, bundaki manyetik alan ve potansiyel farkı değişim frekanslarının sabit olmaması ve alete bağlı koşullarda değişmesidir. Sinklatronlardaki iyon yörüngelere ait yarıçaplar siklotrondaki gibi artan değişken değerlerde olmayıp sabit değerde olmasıdır. Bunun sonucunda sinklatronun maliyetide siklotrona göre oldukça azalmaktadır. U.S.A.daki Fermi Milli hızlandırıcı laboratuvarında, 1980 yılında protonlar 500 Gev'e kadar, *sinklatronla* hızlandırılmışlardır. Aletteki ana mıknatıs 6440 m uzunluğundaki çember üzerinde 954 ayrı mıknatıstan oluşmuştur. Protonlar bu halka içinde hızlarına ulaşmak için 200 000 kadar devir yaparlar. Protonlar istenilen enerjilerine ulaşıncı bu halkadan deney yerine gönderilirler.

III.7.06. e/ m ORANININ ÖLÇÜLMESİ

Bir elektronun yükünün kütlesine oranı (e/m), J.J.Thomson tarafından 1897 yılında, İngiltere'deki Cavendish laboratuvarında ölçülmüştür. Şekil 08 'deki şekle sahip bir tüp içindeki havanın büyük bir kısmı çıkartılmış bir cam tüptür. A anodo ile C katodu arasındaki potansiyel farkı birkaç bin Volt civarında tutulmaktadır. Tüpte kalan gazdan, tabii radyoaktiflik veya kozmik ışınlarca oluşturulan birkaç pozitif iyon, anodla katot arasındaki elektrik alan tarafından katoda doğru hızlandırılırlar. Bunlar katoda çarpınca yüzeylerindeki elektronlar sarbest hale geçerler ve bu elektronlarda zıt yönde, A anoduna doğru hızlanırlar. Bu deneylerin yapıldığında henüz elektron demetinin doğası bilinmiyordu ve demeti oluşturan parçacıklara *katot ışınları* deniyordu.



Şekil 08 Thomson'nun e/m 'yi ölçtüğü düzeneğin şeması

Katot tarafından salınan elektronların çoğu anod tarafından durdurulurlar fakat dar bir demet anoddaki bir yarıktan geçerek D deki ikinci yarıktan geçerler. Tüpün yuvarlak S kısmı flüoresans bir malzeme ile kaplanmıştır ve elektron demetinin ona çarptığı nokta ışıklı leke halinde görünür. Bu tüp şimdiki kullanılan televizyon, bilgisayar ve ossilaskop tüplerinin ilk halidir.

Şekil 08 'deki tüpün MN plakaları arasında düşey ve aşağı yönlü bir elektrik alan oluşturulabilir ve dışardaki bir elektromıknatıslada, noktalı daire ile gösterilen bölgede, şekil düzlemine dik ve içe yönlü bir manyetik alan uygulanabilir. Bu durumda sadece elektrik alan var aşağı yönlü ise, elektron demeti levhalar arasından geçerken yukarı doğru sapar ve sapması flüoresan ekran üzerinde görünür. Eğer sadece içe yönlü manyetik alan varsa, elektron demeti aşağı doğru sapar. Hem elektrik hemde manyetik alan varsa bu kez elektrona

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

şeklinde bir kuvvet etkir. E ve B değerleri ile oynanarak her iki alan varkende sapma sıfır yapılabilir. Bu durumda elektrona etkiyen kuvvet $F = 0$ olacak ve son bağıntıdan

$$e E = e v m \quad \text{veya} \quad v = \frac{E}{B} \quad (15)$$

olarak elektronların hızı elde edilir. Bu durumda elektrik alan kesilirse, elektron demeti manyetik alan içinde bir daire yayı boyunca hareket eder, bu yayın yarıçapı, önceki bilgilerimize göre $R = mv/eB$ ve buradan

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{RB}$$

olur, bunu (15) ile kombine edersek

$$\frac{e}{m} = \frac{E}{RB^2} \quad (16)$$

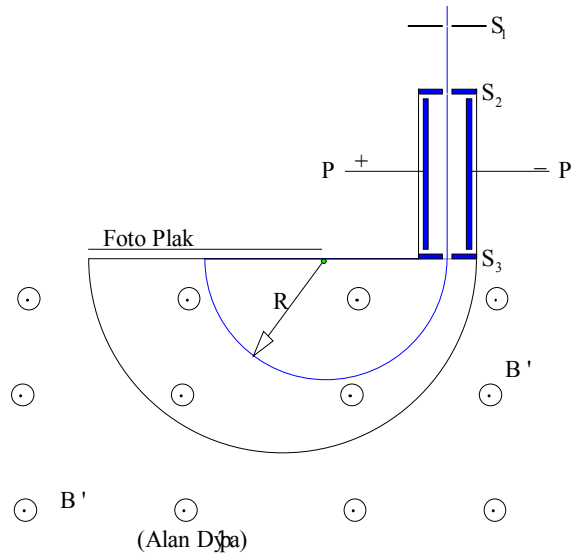
bulunur.

Thomson deneylerinde sadece e / m değeri 1897 yılında ölçülmüştür. Elektronun yükü ise bundan 12 yıl sonra Milikan tarafından tayin edilmiş ve bu son iki deney elektronun keşfine yol açmıştır. Thomson yaptığı deneylerinin sonunda elektron kütesinin hidrejen atomu kütesinin ancak $1 / 1860$ 'da biri kadar olduğu neticesine varmıştır. Bu şekilde, *atomdan daha küçük parçacıkların* olduğu sonucuna varılmış ve konu yarım ası boyunca denel fizik alanına hakim olmuştur.

Avogadro hipotezi 1811 yılında ortaya konulmuş ancak bunun doğrulanabilmesi yüzyıl sonra Perin , Millikan ve Flecher 'in yaptıkları deneyler sonucunda olmuştur.

III.7.07. KÜTLE SPEKTROMETRESİ. İZOTOPLARIN AYRIŞTIRILMASI

Kütle spektrometresi, aynı yüklü fakat farklı kütleli parçacıkların yani *izotopların*, ayrıştırılmasında ve onların kütlelerinin ölçülmesinde kullanılan bir alettir. Bainbridge tarafından geliştirilmiş bir kütle spektrometresi Şekil 09 da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 09 Bir hız seçicinin kullanıldığı Bainbridge'nin kütle spektrometresi

Bu aletde bir birine dik elektrik alan ve manyetik alan vardır. B alanı şekil düzlemine dik ve okuyucuya yönlü, E alanda P plakasında P' plakasına yönlüdür. Pozitif iyonlar S₁ 'in üst tarafındaki mekanda oluşturulurlar ve bunlar S₁ ve S₂ plakaları arasındaki birkaç bin Volt'luk potansiyel farkında S₂'ye doğru hızlandırılırlar. Potansiyel farkı nedeniyle iyonlara etkiyen q E kuvveti, manyetik alanın uyguladığı q v B kuvvetine eşit ve zıt olduğunda hızları $v = E / B$ olan iyonlar kütleleri ne olursa olsun sapmadan S₃ yarığından geçeceklerdir.

S₃'den çıkan bütün iyonların hızları aynı olacaktır. Çapraz alanların olduğu bölgeye *hız süzgeci* adı verilir. Bu hızlı iyonlar S₃'ün altında elektrik alanın bulunmadığı fakat B' düzgün manyetik alanının bulunduğu alanın içersine girecekler ve R yarıçaplı bir yarım daire şeklinde yörünge çizip fotoğraf plağı üzerine çarpacaklar ve orada iz bırakacaklardır. Burada çizilen dairesel yörüngenin yarı çapıda

$$R = \frac{mv}{eB'} = \left(\frac{v}{eB'} \right) m$$

olacaktır.

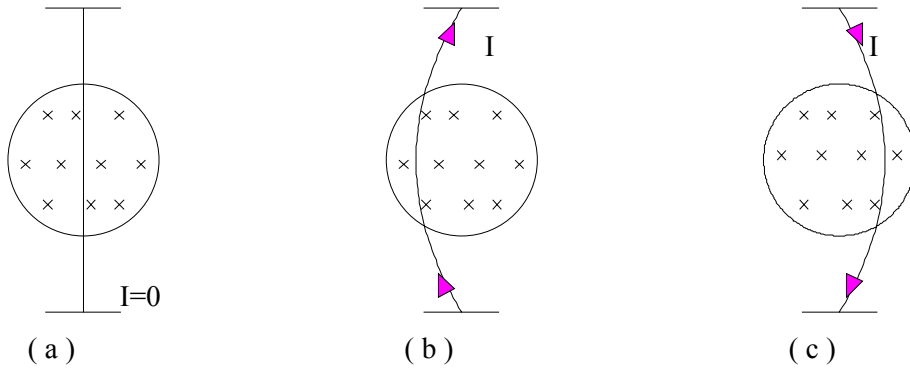
Burada *hız süzgeci*, bu bölgedeki bütün iyonların aynı hıza sahip olmalarını temin etmektedir. O halde v / eB' oranı bütün iyonlar için aynıdır ve R yarıçapı iyonun m kütlesi ile doğru orantılıdır.

Kütleleri farklı iyonlar farklı yarım dairesel yörüngeler üzerinde gider ve yarım devir sonunda bir fotoğraf plağına çarparlar. Kütleleri farklı olan iyonların bu plakadaki izleride farklı yerlerde olacaktır. Bu nedenle kütle spektrometreleri genellikle *izotopların* ayrıştırılmasında ve incelenmesinde kullanılır. *İzotop*, atom numarası aynı yani proton sayısı aynı fakat netron sayısı farklı olan elementlerdir.

Nükleer enerjinin elde edilmesinde çok önemli olan uranyum elementinin en az üç izotobu vardır. Bunlar kütle sayıları 234, 235 ve 238 olan U²³⁴, U²³⁵ ve U²³⁸ dır. Atom çekirdeğinin bölünmesinde ve atom bombasının yapımında doğal uranyumun çok nadir olan izotobu U²³⁵ kütle spektrometresi sayesinde Demster tarafından keşfedilmiştir. Bilindiği gibi izotoplar kimyasal analiz yoluyla ayrıştırılamazlar. Bu alet ilke bakımından, Thomson'nun e / m ölçmeye yarayan aletine benzemektedir fakat bu aletle negatif yüklü parçacıkların değil pozitif yüklü parçacıkların kütleleri tayin edilir.

III.7.08. AKIM GEÇEN İLETKENE ETKİYEN MANYETİK KUVVET

İçinden akım geçen bir iletken bir manyetik alan içinde bulunduğunda, iletken içindeki hareketli elektronların üzerine bir manyetik kuvvet etkir. Akımın geleneksel yönü elektronların hareket yönünün tersine veya elektrik alan doğrultusunda seçildiği için, bu kuvvetin yönü yine *sol el kuralı* ile bulunur. Bu hareketli yüklere etkiyen manyetik kuvvet iletken malzemesine etkir, dolayısıyla iletken toptan bir kuvvet veya moment veya her ikisinde birden etkiyecektir. Elektrik motoru, döner çerçeveli galvanometre, bir manyetik alan içinde bulunan ve içinden akım geçen bir çerçeveye etkiyen kuvvet çiftinin oluşturacağı moment etkisi ile çalışırlar. Uzunluğu l kesiti A olan ve içinden çeşitli yönlerde I akımı geçecek olan tel iletken parçasına şekil düzlemine dik ve içe yönlü bir $\mathbf{B}$ alanı etkisin (Şekil 10.a.b.c). Şekil 10.a da görüldüğü gibi telden yukarı yönlü akım geçtiğinde tele hiçbir kuvvet etki etmez. Şekil 10.b de görüldüğü gibi telden yukarı yönlü akım geçtiğinde tele sola doğru, Şekil 10.c de görüldüğü gibi telden aşağı yönlü akım geçtiğinde tel sağa doğru bir manyetik kuvvetin etkisinde kalır.



Şekil 10.a.b.c Manyetik alandaki akım geçiren iletkeni etkiyen manyetik kuvvet

İletkene etkiyen bu kuvveti hesaplayabiliriz; iletkende birim hacim başına hareket eden yüklerin sayısı n ve her bir birim yükün değeri q ve hızı v ise, bu iletkenden geçen akım şiddeti değeri, daha önceden gösterildiği gibi

$$I = nqvA$$

olacaktır. Hareketli her bir yüke etkiyen manyetik kuvvette yüklerin hız vektörü, $\mathbf{B}$ alana dik olduğundan,

$$f = qvB$$

dır. Buna göre l uzunluğundaki iletkendeki toplam yük sayısı

$$N = n l A$$

olacağından bileşke kuvvet F' in değeri

$$F = N f = n l A q B v$$

dir ve $I = n q v A$ olduğundan bu bileşke kuvveti

$$F = I l B \quad (17)$$

olarak yazabiliriz. Eğer iletkenin doğrultusu ile alanın doğrultusu arasında bir θ açısı varsa (17) bağıntısı

$$F = I B l \sin\theta \quad (18)$$

şeklinde olacaktır. Eğer iletken doğrusal değilse veya manyetik alan düzgün değilse bir dl iletken elemanına etkiyen kuvvet

$$dF = I B dl \sin\theta \quad (19)$$

dir. (16) ve (15) bağıntıları vektörel olarak

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad \text{ve} \quad \mathbf{F} = I \mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (20)$$

dır. I akımı taşıyan keyfi biçimli ilmek, düzgün bir manyetik alana yerleştirilirse (17) bağıntısını yerdeğişim vektörlerinin vektörel toplamı kapalı ilmek boyunca yapılmalıdır. Buna göre

$$\mathbf{F} = I \left(\oint d\mathbf{l} \right) \times \mathbf{B}$$

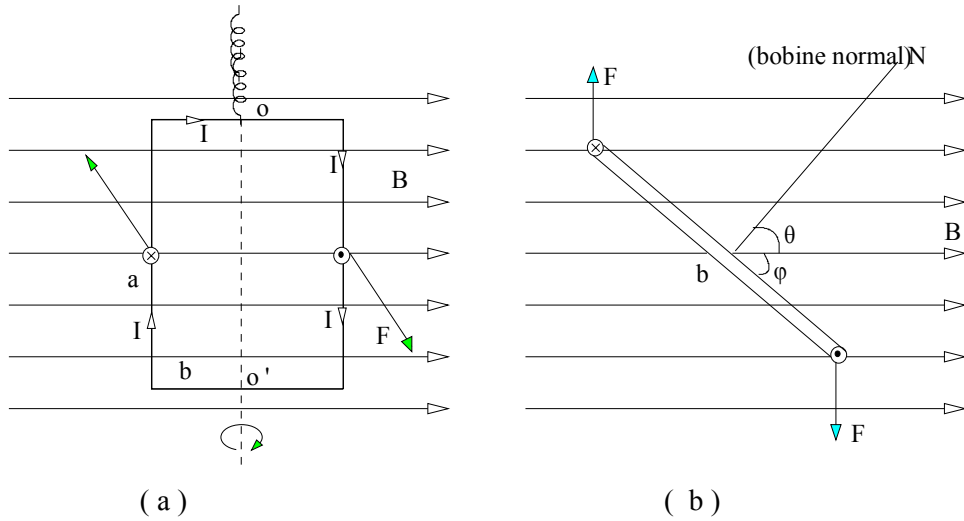
elde edilir. Yerdeğiştirme vektörleri kapalı ilmek oluşturduğundan vektörel toplam sıfır olmalıdır. Böylece

$$\oint d\mathbf{l} = 0 \quad \text{olduğundan} \quad \mathbf{F} = 0$$

sonucuna varılır. Buna göre düzgün bir manyetik alanda kapalı bir ilmeğe etkiyen kuvvet sıfırdır.

III.7.09. AKIMLI BOBİNE ETKİYEN KUVVET VE TORK(MOMENT)

Bir manyetik alan içindeki kapalı bir devreye " dikdörtgen biçimli bir bobin veya çerçeve" etkiyen net kuvveti veya momenti (16) bağıntısından yararlanarak hesaplayabiliriz.Bir B alanına paralel olan uzun kenarı a kısa kenarı b olan N sarımlı ve içinden I akımı geçiren bir dikdörtgensel bobinin alan içine asıldığını düşünelim (Şekil 11. a, b).



Şekil 11. a, b.Düzgün bir manyetik alan içinde bulunan ve içinden akım geçen dikdörtgensel biçimli bobine etkiyen kuvvet çifti.

Bobinin düşey uzun a kenerlarına etkiyen kuvvetlerin değeri $F = I a B N$ dir, doğrultusu ve yönler şekil üzerinde gösterilmiştir.Bu iki kuvvet paralel eşit ve zıt yönlü oldukları için bir *kuvvet çifti* oluştururlar.Bu kuvvet çifti bobini O O' eksenini etrafında döndürür ve bu dönme (momenti) torkunun büyüklüğü,

$$\tau = I a B N b \quad (21)$$

dir.Bobinin alanı $S = a b$ olduğuna göre

$$\tau = I B N S \quad (22)$$

olacaktır. Bobinin *manyetik momentinin* değeri

$$M = \frac{\tau_{\max}}{B} = I a b N = I S N \quad (23)$$

dir. Buna göre moment değeri, bobinin manyetik torku cinsinden

$$\tau = M B \quad (24)$$

olacaktır. Şekil 11. b 'de olduğu gibi bobin düzlemi normali ile B arasındaki açı θ olduğunda, F kuvveti değeri ve doğrultu aynı kaldığı halde, iki kuvvet arasındaki dik uzunluk $b \sin \theta$ olur. Bu durumda bobinin b kenarları üzerine etkiyen kuvvetlerden her birinin değeri $I B N b \cos \theta$ olacaktır fakat bunlar düşey ve zıt yönlü olduklarından bobini döndüren torka etkileri olmayacaktır. Buna göre bobine etkiyen tork değerinin genel ifadesi

$$\tau = I a B N b \sin \theta = I B N S \sin \theta = M B \sin \theta \quad (25)$$

olacaktır. Bobin düzlemi ile manyetik alan arasındaki açı ϕ olursa tork değeri

$$\tau = I B N S \cos \phi \quad (26)$$

dir.

Bobin düzlemi manyetik alana dik olursa $\theta = 0^\circ$ veya $\phi = 90^\circ$ olacağından moment sıfır, bobinin düzlemi alana paralel olursa, $\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ$ olacağından moment maksimum olur. *Bu hesaplamalar, manyetik alan içindeki yönelimi ve biçimi ne olursa olsun her bobin (dikdörtgensel, selonit, dairesel, v.b.) için geçerlidir.*

İçinden akım geçen bir çerçeve (halka), bir dış manyetik alan içine yerleştirildiğinde halkaya bir moment etki. Çerçeve bu etki ile, ilk konumuna göre θ açısı yapacak bir konuma gelirse, onun bu konumdaki manyetik potansiyel enerjisi, onu ilk konumdan θ açılı konuma getirmek için yapılan işe eşit olur. Buna göre,

$$U_p = \int \tau d\theta = I B N S \int \sin \theta d\theta = -I B N S \cos \theta \quad (27)$$

dır.

Tork için kullanışlı bir bağıntı aşağıdaki gibi verilir:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{IS} \times \mathbf{B} \quad (28)$$

Burada $\mathbf{S}$ ilmek düzlemine dik bir vektördür ve yönü sağ elin dört parmağı, ilmekteki alan yönünü göstermek üzere kıvrılırsa açık olan başparmak da $\mathbf{S}$ vektörünün yönünü verecektir. $\mathbf{IS}$ çarpımına ilmeğin *manyetik momenti* denir. Manyetik momentin SI birim sisteminde birimi $\mathbf{A.m^2}$ dir. Buna göre manyetik moment

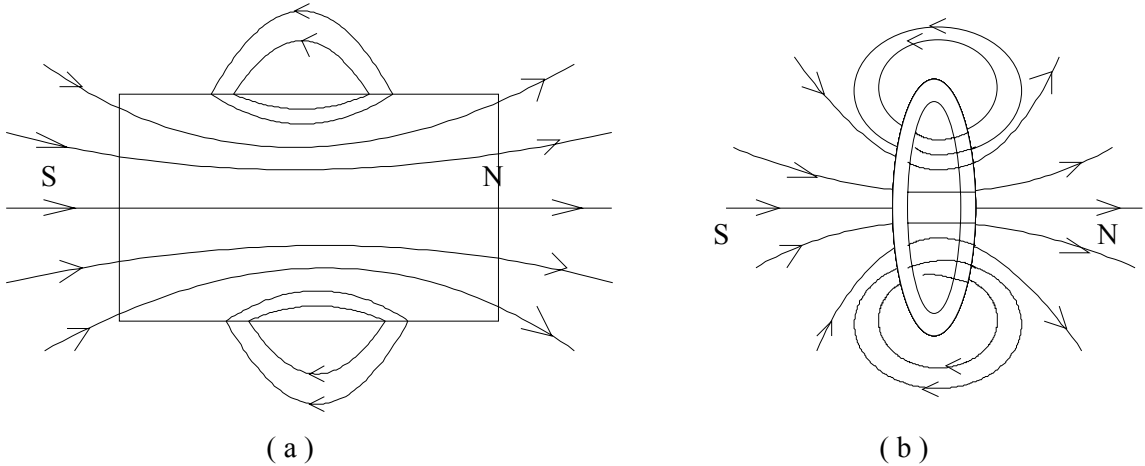
$$\boldsymbol{\mu} = \mathbf{IS} \quad (29)$$

ve tork

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B} \quad (30)$$

olarak verilebilir. Bu sonuç, elektrik alanda bulunan dipol momente ($\mathbf{p}$) etkiyen torka ($\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$) benzemektedir. Bir kangal aynı boyutlu N kangaldan oluşmuşsa buna etkiyen tork tek ilmeğe etkiyenden N kat daha fazladır.

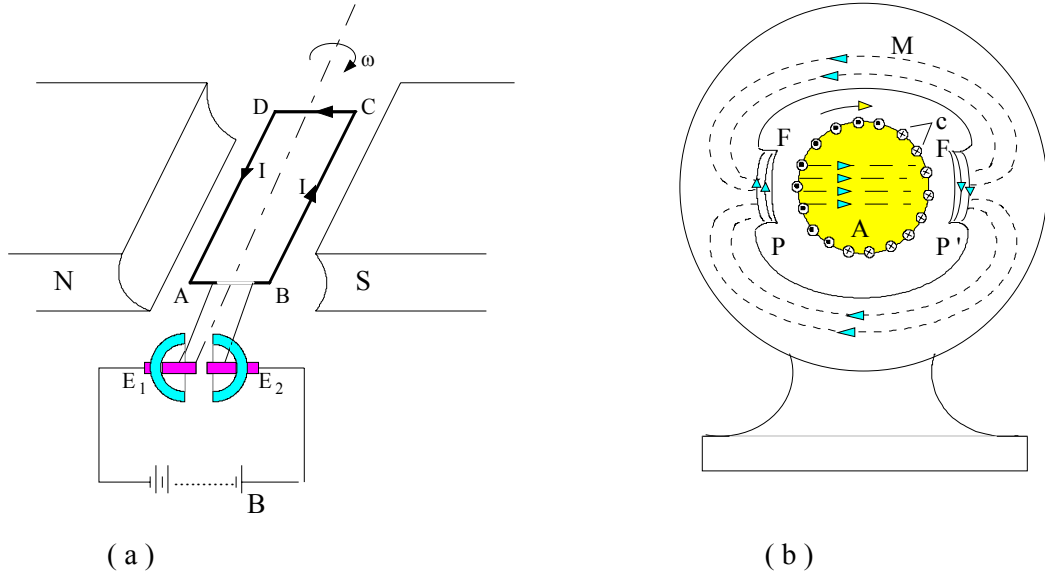
Bir dış manyetik alan içinde bir akım ilmeğin dönmek zorunda kalışı ile, yine böyle bir alan içinde pusula iğnesinin hareketi arasındaki benzerlik ilginçtir. Bir pusula veya bir çubuk mıknatıs da birer manyetik dipol gibi düşünülebilir. Akım ilmeğinin bir yüzü bir çubuk mıknatısın kuzey kutbu gibi davranırken diğer yüzü güney kutbu gibi davranır (Şekil 12.a.b).



Şekil 12.a.b. İçinden akım geçen bir akım ilmeğinin oluşturduğu manyetik alan çizgileri ve onun bir çubuk mıknatısın oluşturduğu manyetik alanla benzerliği.

III.7.10. DOĞRU AKIM ELEKTRİK MOTORLARI

Akımlı bir devreye manyetik alan içinde etki eden kuvvetlerin en yararlı uygulamalarından biride elektrik motorlarıdır. Elektrik motorunun çalışma ilkesi şeması Şekil 13.a.'da gösterilmiştir. Buna göre, uçları manyetik alan oluşturan bir N-S doğal mıknatısının (bu bir elektromıknatısta olabilir) kutupları arasına adına *armatür* adı verilen bir ABCD bobini (İndüi) konulmuştur ve bunun uçları *komütatör* denilen bir K yarık halkasına (motorun eksenine tutturulmuş parçalı bilezik) bağlıdır. Komütatörün üzerinde kaydığı ve bobine akım verilmesini sağlayan bir B e.m.k kaynağına bağlı E_1 E_2 fırçaları motorun çalışma sistemini tamamlar. Şekil 13 a.'dan görüleceği gibi bobin yatay olduğunda, AD kolu üzerine düşey ve yukarı yönlü ve CB koluna düşey ve aşağı yönlü bir kuvvet etki edecektir. DC ve AB kollarına, bu kollar manyetik alana paralel döndükleri için hiç bir kuvvet etkimeyecektir. Bobin bu şartlarda, etkisinde bulunduğu kuvvet çiftinin moment etkisi ile yatay eksen etrafında saat ibreleri yönünde dönecektir.



Şekil 13.a. b. a. Elektrik motorunun çalışma prensibi,
b. iki kutuplu bir doğru akım motorunun şematik görünümü.

Yarıklı halkanın iki parçası bobin ile birlikte döndüğü için bobin düşeyden geçince bu iki parçanın dokunduğu fırçalar değişir ve sonuçta bobinden geçen akım yön değiştirir ve bobin aynı yönde dönmeye devam eder.

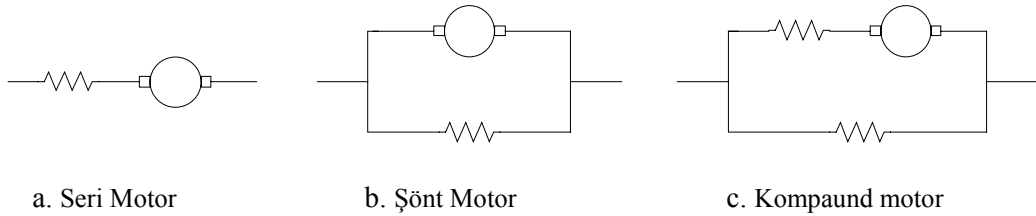
Çeşitli amaçlar için kullanılmakta olan bir doğru akım motorunun şeması Şekil 13.b 'de gösterilmiştir. Bunlardaki manyetik alan güçlü elektromıknatısları vasıtasıyla elde edilir. FF sargılarından geçen akım bu manyetik alanı oluşturur. PP' kutup parçalarının yapısı nedeniyle bu manyetik alan, PP' arasında düzgün ve

P den P' ye giden yöndedir..A *armatür*' ü, ısınmaları en aza indirmek için levhalar halinde yumuşak demirden yapılmış bir silindirdir ve bir mil üzerine kendi eksenine etrafında dönecek şekilde monte edilmiştir. *Armatür* üzerinde uzunluğuna açılmış yarıklara C bakır iletkenleri konulmuştur. Akım, mil üzerinde bulunan ve komütatör deneni parçalı bileziklerle, grafit fırçalar vasıtasıyla iki yönde gelir gider. Komütatör, armatürde bulunan iletkenlerdeki akımları armatürün durumu ne olursa olsun, şekilde gösterilen yönlerde tutan otomatik bir sistemdir. Şekil 13.b den görüleceği gibi, manyetik alan ve armatür akımlarının seçilen yönüne göre, sol el kuralına göre *armatür* üzerine saat ibreleri yönünde bir kuvvet dolayısıyla bir moment etkir. Motor döndüğünde, armatür elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Dolayısıyla motor bir *zıt e.m.k* kaynağıdır. Bu *zıt (indüksiyon) e.m.k* ε , armatür sarımlarından geçen akım şiddeti I_a , armatürün direnci R_a ve motorun uçları arasındaki potansiyel farkı V dir.

$$I_a = \frac{V - \varepsilon}{R_a} \quad (31)$$

Bir motor elektrik enerjisi harcayarak mekanik enerji verir, tersine olarak, bir *dinamo* (örnek; bisikletlerin lambalarına akım veren alet) mekanik enerji harcayarak elektrik enerjisi verir.

Eğer *armatür* ve *alan sargıları* seri halinde bağlanırsa *seri* motor, eğer paralel bağlanırlarsa *şönt* motor elde edilir. Bazı motorlarda alan sargıları iki parçalıdır, bunlardan biri armatürle seri, diğeri paralel haldedir bu motorada *kompaund* denir (Şekil 14 a,b,c.).

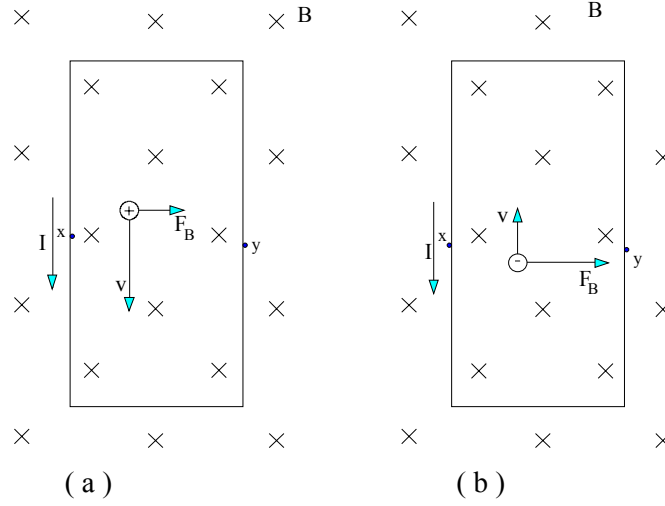


Şekil 14.a,b,c..Doğru akım elektrik motorunun alan bobinleriyle armatürünün üç bağlanma şekli .

III.7.11. HALL OLAYI

Bir iletken içindeki yük taşıyıcıların işaretini denel olarak ilk kez 1879 yılında E.H.Hall adındaki bilim adamı bulmuştur. Şekil 15.a,b. 'de içinden yönü belirtilmiş I akımı geçen iki bakır tabaka gösterilmiştir. Şekil 15.a'da yük taşıyıcıları pozitif ve Şekil 15.b'de yük taşıyıcıları negatif kabul edilmiştir. Bu bakır tabakalar şekil düzlemine dik ve içe yönlü bir manyetik alan içine konurlarsa,

hareketli yüklere sol el kuralına göre kuvvetler etkiyecektir. Her iki hareketli yük durumu içinde yüklere etkiyen kuvvetlerin bileşkesi F_B sağa doğru olacaktır.



Şekil 15.a,b.

Eğer yük taşıyıcılar pozitif olsalardı, akımın yönü şekilde gösterilen I yönünde olacaktı. Burada akımı belirleyen yön hem aşağı doğru hareket eden pozitif yükleri hemde yukarı doğru hareket eden negatif yükleri gösterecek şekildedir. Bu durumda Hall Olayı bunlardan hangisinin geçerli olduğunu bulmak için kullanılır.

Bakır levhalar içindeki pozitif ve negatif yük taşıyıcıların kendilerine etkiyen manyetik alan nedeniyle oluşan saptırıcı kuvvet etkisiyle bulundukları şerit boyunca sürüklenirken, aynı zamanda bulundukları şeridin sağına doğru sürüklenirler. Bunun sonucu olarak, xy noktaları arasındaki V_{xy} potansiyel farkı oluşur. Eğer yük taşıyıcılar pozitif iseler y' nin potansiyeli x' in potansiyelinden daha büyük olmalıdır. Eğer yük taşıyıcılar negatif iseler y' nin potansiyeli x' in potansiyelinden daha küçük olacaktır. Deney sonuçlarına göre yük taşıyıcıların metallerde negatif yükler olduğu kanıtlanmıştır. Hall olayı iletkenler ve yarı iletkenlerdeki elektrik iletiminin oluşması hakkında bilgilerin kaynağıdır.

III.7.12. ÖRNEK PROBLEMLER

1.) Bir kozmik ışın protonu 10^7 m / sn hızla yer kürenin manyetik ekvatorundaki manyetik alanına dik olarak giriyor. Protona etkiyen manyetik kuvveti, o noktadaki $B = 3,5 \cdot 10^{-5}$ T. ise hesaplayınız. Ayrıca Protonun manyetik alanda çiziceği dairesel yörüngenin yarıçapını bulunuz.

Çözüm: Protonun yükü $Q = + 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. ve $\theta = 90^\circ$ olduğundan (04) bağıntısına göre, bu manyetik kuvvet

$$F = Q v B = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^7 \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} = 5,6 \cdot 10^{-17} \text{ N.}$$

dur. Bu kuvvet, Protona etkiyen yerçekim kuvveti, $G = m_p \cdot g = 1,6 \cdot 10^{-26}$ N.'den 10^9 kat daha büyüktür. Demek ki manyetik kuvvet yanında çekim kuvveti ihmal edilebilir. Ayrıca Protonun kütlesi $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg olduğundan bu manyetik kuvvetin Protona verdiği ivmede $a = F/m_p$ $a = 5,356 \cdot 10^{10}$ m/s olacağından, bu ivmede yerçekim ivmesinden pek çok büyüktür. Protonun bu konumda çizeceği dairesel yörüngenin yarıçapıda

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,5 \cdot 10^{-5}} \approx 3 \cdot 10^3 \text{ m.}$$

olacaktır.

2.) Protonlar bir siklotronda $0,75 \text{ W / m}^2$ (Tesla= T) 'lık bir manyetik alanda yörüngelerinin yarıçapları. $0,5 \text{ m}$ oluncaya kadar hızlandırılıyorlar ve sonra bir hedefe yollanıp oraya çarptırıyorlar. Protonların kazandıkları kinetik enerjiyi ve siklotronun De leri arasında salınan potansiyel farkının frekansını hesaplayınız. $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg ' dır.

çözüm : (05) bağıntısına göre kinetik enerji,

$$U_k = \frac{1}{2} q \left(\frac{q}{m} \right) B^2 R^2 = \frac{1}{2} 1,6 \cdot 10^{-19} \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,67 \cdot 10^{-27}} \right) 0,75^2 \cdot 0,5^2 = 1,08 \cdot 10^{-12} \text{ Joule}$$

(11) bağıntısına göre potansiyel farkının salınım frekansı,

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,75}{2\pi 1,67 \cdot 10^{-27}} = 11,4 \cdot 10^6 \text{ 1/sn (Hz)} = 11,4 \text{ MHz.}$$

olacaktır.

3.) Etkin yarıçapı 5 cm , sarım sayısı 100 olan dairesel bir çerçeveden $0,1 \text{ Amp}$ 'lık akım geçmektedir .Bu verceve $1,5 \text{ T}$ 'lık bir manyetik alana konulduğunda, $\theta = 0$ konumundan $\theta = 180$ konumuna gelebilmesi için yapılan işi bulunuz.

Çözüm : (25) bağıntısına göre yapılan iş ,

$$W = U_{180} - U_0 = (-I B N S \cos 180) - (-I B N S \cos 0) = 2I B N S$$

$$W = 2.0,1.1,5.100\pi(5.10^{-2})^2 = 0,24 \text{ Joule}.$$

4.) Kütlesi 2 atomik kütle birimi (akb) olan hidrojenin ağır izotobu dötron 1,5 T. 'lik bir manyetik alan içinde yarıçapı 40 cm. olan dairesel bir yörünge üzerinde dolanmaktadır. a- dötronun hızını, b- yarım dönme için geçen zamanı, c- dötronun bu hızı kazanması için gerekli bir potansiyel farkın ne olması gerektiğini bulunuz ?

Çözüm : 2 akb = 2 . 1,66 . 10⁻²⁷ kg olduğundan

a- Dairesel yörüngede merkezci kuvvet manyetik kuvvete eşit olacağından, $m v^2 / R = n q v B$ ve

$$v = \frac{BRq}{m} = \frac{1,5.0,4.1,6.10^{-19}}{2.1,66.10^{-27}} = 0,29.10^8 \text{ m/sn.}$$

b- hareketin açısal hızı $\omega = v / R = B q / m$ ve periyodu, $T = 2 \pi / \omega = 2 \pi R / v$ den, yarım dolanma süresi

$$\frac{T}{2} = \frac{\pi R}{v} = \frac{\pi 0,4}{0,29.10^8} = 4,33.10^{-8} \text{ sn.}$$

c- dötronun aynı hızı elektrik alan içinde kazanması için, alanın iki noktası arasındaki potansiyel farkı V olduğuna göre, enerjinin korunumu ilkesinden $q V = 1/2 . m v^2$ ve buradan,

$$V = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{m} \right) B^2 . R^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1,6.10^{-19}}{2.1,66.10^{-27}} \right) . 1,5^2 . 0,4^2 = 8,67. 10^6 \text{ Volt.}$$

dır.

5.) Bir Bainbridge kütle spektrometresinin hız süzgecinin levhaları arasındaki elektrik alanı 1200Volt/cm şiddetindedir ve manyetik alan değeri de aletin her iki kısmında 0,6 T 'dir. Bir değerli neon iyonlarından oluşmuş bir demet aletin içinde 7,28 cm. yarıçaplı dairesel bir yörünge üzerinde dolanmaktadır. Bu neon izotobunun kütle numarasını bulunuz.

Çözüm: Bir değerli neon bir elektronunu kaybederek iyonlaşmış neon atomudur ve bu da Ne^+ şeklinde gösterilir. Daha açık olarak bunun yükü artı bir birim elektrik yüküdür ($q = +e$). Demetin önce bükülmeden geçebilmesi için $v = E / B$ olmalıdır ve $R = m v / B e$ olduğundan,

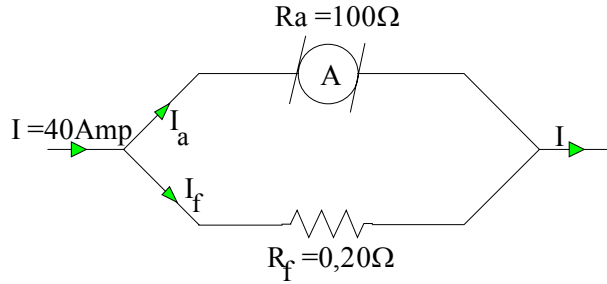
$$m = \frac{R e B}{v} = \frac{R e B^2}{E} = \frac{7,28 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,6^2}{(1,2 \cdot 10^3 / 10^{-2})}$$

$m = 34,94 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ buna göre neon' un kütle numarası A,

$$A = \frac{m}{1 \text{ akb}} = \frac{34,94 \cdot 10^{-27}}{1,66 \cdot 10^{-27}} = 21$$

olacaktır.

- 6.) 220 Volt ile çalışan bir şönt D.A. elektrik motorunda alan bobininin direnci $R_f = 100\Omega$ ve armatürün direnci $R_a = 0,20\Omega$ 'dur. Motordan geçen akım 40 Amp. olduğuna göre a- zıt e.m.k. değerini b- motora verilen gücü c- alan ve sarımlarda ısı şeklinde kaybolan güçleri ve motorun çevirme verimi hesaplayınız (Şekil 16).



Şekil 16. Doğru akım motorunun şematik görünümü. A armatür ve F alan bobinleridir.

Çözüm: a- Şönt motorda alan ve armatür bobinleri paralel bağlıdır. Buna göre alan bobininden geçen akım şiddeti,

$$I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ Amp.}$$

Armatürden geçen akım şiddeti, $I_a = I - I_f = 40 - 2,2 = 37,8 \text{ Amp.}$ dir. Armatürden geçen akım şiddeti

$$I_a = \frac{V - \varepsilon}{R_a} \Rightarrow 37,8 = \frac{200 - \varepsilon}{0,2} \quad \text{ve buradan} \quad \varepsilon = 192,44 \text{ Volt.}$$

bulunur.

b- motora verilen güç $P = V I = 220 \cdot 40 = 8800$ Watt.

c- Alan bobininde ısı şeklinde kaybolan güç : $P_f = R_f \cdot I_f^2 = 100 \cdot 2,2^2 = 484$ Watt

Armatürde ısı şeklinde kaybolan güç, $P_a = R_a \cdot I_a^2 = 0,2 \cdot 37,8^2 = 285,8$ Watt.

ve verim
$$\eta = \frac{EI_a}{VI} = \frac{VI - R_a I_a^2 - R_f I_f^2}{VI} = \frac{192,44 \cdot 37,8}{220 \cdot 40} \approx \%83$$

7.) Bir elektron bir manyetik alana dik 1,2 cm yarıçaplı dairesel bir yörünge üzerinde dönüyor. Elektronun hızı 10^6 m /sn olduğuna göre, yörüngenin sınırladığı yüzeyden geçen *manyetik akıyı* bulunuz.

Çözüm: $mv^2 = e v B$ ve $\phi = B \cdot S$ olduğundan $\phi = B \pi R^2 = \frac{mv}{e} \pi R^2$ olacaktır böylece,

$$\phi = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6 \text{ m/sn}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \pi (1,2 \cdot 10^{-2})^2 = 0,257 \cdot 10^{-8} \text{ Weber.}$$

III.7.13. PROBLEMLER

1.) Bir birim elektrik yüklü parçacık $5 \cdot 10^6$ m/sn hızla 0,25 T.'lık alana dik olarak giriyor ve yörüngesi 20 cm yarıçaplı daire yayı şeklinde bükülüyor. Parçacığın q / m oranını bulunuz.

Cevap: 10^8 .

2.) Bir parçacık 10^4 m/sn hızla yatay olarak, $4,9 \cdot 10^{-5}$ T.'lık alana dik olarak giriyor. Bir tek elektrik yükü taşıyan bu parçacık aynı yatay düzlamde kaldığına göre, onun kütlesini bulunuz.

Cevap : $8 \cdot 10^{-21}$ kg.

3.) Bir α parçacığı, 1,2 T 'lık bir manyetik alan içinde yarıçapı 0,45 cm. olan dairesel bir yörüngede hareket ediyor. Bu parçacığın, a- hızını, b- dönme periyodunu, c- kinetik enerjisini ve d- bu enerjiyi kazanması için hızlandırılacağı potansiyel farkını hesaplayınız.

Cevap: a- $2,6 \cdot 10^7$ m/ sn., b- $1,1 \cdot 10^{-7}$ sn., c- $2,243 \cdot 10^{-12}$ Joule veya 14 Mev. ($1\text{Mev}=1,6021 \cdot 10^{-13}$ J).

4.) 1500 V / m.'lik bir elektrik alanı ile 0,4 T.'lık bir manyetik alan bir hareketli elkektron üzerinde hiç bir kuvvet oluşturmayacak şekilde etki ediyorlar. a- elektronun hızını bulunuz. b- E , B ve v vektörlerini bir diyagramda gösteriniz.

Cevap: a- 3800 m / sn.

5.) Bir siklotronun manyetik alanı 1 T. ve D 'lerin yarıçapı 80 cm.dir. Uygulanması gereken alternatif elektrik alanının frekansını ve döteronların hızlandırıldıkları enerjiyi bulunuz.

Cevap : $7,7 \cdot 10^6$ Hz.= 7,7. MHz., $2,5 \cdot 10^{-12}$ Joule = 15,6 Mev.

6.) Uzunluğu l.m. olan bir telden geçen akım şiddeti 50 Amp. dir. Bu tel 1000 Gauss'luk = 1 T'lık bir alana dik olunca üzerine etkiyen kuvveti bulunuz.

Cevap: 10 N.

7.) 5×8 cm boyutunda telden bir dikdörtgenel bir bobinin düzlemi 0,15 T.'lık alana paraleldir. a-)Bobinden geçen akım şiddeti 10 amp olduğuna göre üzerine etkiyen momenti, b-)bobinin manyetik momentini ve c-) maksimum momenti bulunuz.

*Cevap:*Ç a - $4,5 \cdot 10^{-3}$ N.m , b- $4 \cdot 10^{-2}$ A.m. c- $8,07 \cdot 10^{-2}$ A. m² .

8.) 120 Volt ile çalışan bir şönt D.A elektrik motorunun alan sargılarının direnci 240 Ω ve armatür direnci 3 Ω dur.Motor şebekeden 4,5 Amp. akım çekmektedir. Buna göre a-) Armatürden geçen akım şiddetini, b-) alan sargılarından geçen akım şiddetini, c-) zıt e.m.k.2İ , d-)alan sarımlarında ısı şeklinde kaybolan güçü, e-) armatürde ısı şeklinde kaybolan güçü, f-) motora verilen güçü ve g-) sürtünme ve başka kayıplar 50 Watt olduğuna göre motorun gücünü hesaplayınız.

Cevap : a-) 0,5 Amp. b-) 4 Amp. c-) 108 Volt. d-) 60 Watt. e-) 48 Watt. f-) 540 Watt. g-) % 71

9.) Bir motorun plakasında yazılı aşağıdaki değerlerden onun verimini bulunuz. %. H.P ., 230 Volt , 18 Amp., 1200 devir / dak. 81.H.P. = 746 Watt

Cevap : % 90 .

10.) Normal hızla çalışan ve gücü 1492 Watt (H.P.) olan bir doğru akım şönt motoruna uygulanan potansiyel farkı 220 Volt iken armatürden geçen akım şiddeti 7. Amp.dir. a-) Motorun zıt e.m.k. 'ini , b-) armatürde ısı şeklinde kaybolan elektrik gücünü hesaplayınız.

(Motorun gücü = motora verilen güç - motorda ısı şeklinde kaybolan güç)

Cevap : a- 313 Volt. b- 48 Watt.

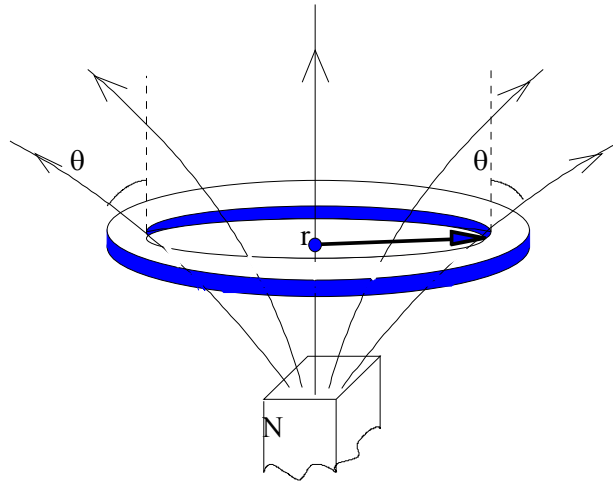
11.) Bir şönt motorun direnci $0,05 \Omega$ ve armatürünün direnci 50Ω 'dur. Motor 100 Volt'luk şebekeye bağlanınca normal hızla hareketinde 52 Amp. çekiyor. a-oluşan zıt e.m.k'ini,b - dirençlerdeki kayıplardan başka kayıplar olmadığına göre motorun verimini bulunuz.

Cevap: a - 97,5 Volt, b - % 94.

12.) Belirli bir bölgede manyetik alan $\mathbf{B} = 4\mathbf{i} + 11\mathbf{j} \text{ T}$ dır. Bir elektron bu alanda $\mathbf{v} = (-2\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 7\mathbf{k})$ m/s hızla hareket ettiğine göre manyetik alanın elektrona uyguladığı kuvveti birim vektörler gösterimiyle yazınız.

13.) X eksenini boyuca duran $0,5\text{gr /cm}$ kütleli ve 10 cm uzunluğunda bir telden pozitif x-ekseni boyunca yatay olarak 2A akım geçmektedir. Bu teli +y-ekseni boyunca kaldırmak için gerekli minimum manyetik alanı bulunuz.

14.) Şekil 17 deki r yarıçaplı halkaya etkiyen bileşke kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü bulunuz. Yol gösterme , $L = 2 \pi r$, $M = I S$ ve $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$ olduğunu hatırlayınız.



Şekil 17

Cevap . $F = 2 \pi r I B \sin \theta$ ve yukarı doğru , $M = 5,41 \cdot 10^3 \text{ A} \cdot \text{m}^2$, $\tau = 4,33 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}$.

15) Illinois Veston' da bulunan Fermi Laboratuvarındaki, Ferrmilab hızlandırıcısında, momentumu $4,8 \cdot 10^{-16} \text{kgm/s}$ olan protonlar yukarı yönlü bir manyetik alan sayesinde yarıçapı 1km olan çember şeklindeki yörüngede tutulurlar. Protonları bu yörüngede tutan yukarı yönlü manyetik alanın değerini hesaplayınız.