

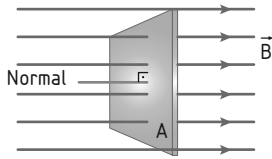


Elektromanyetik İndüksiyon

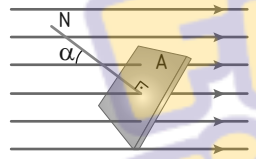
MANYETİK AKI

Birim yüzeyden dik olarak geçen manyetik alan çizgileri sayısına **manyetik akı** denir.

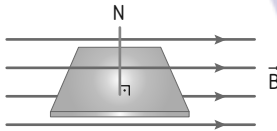
- Manyetik akı Φ sembolü ile gösterilir. Birimi **weber**dir.
- Bir yüzeyden geçen manyetik alan çizgi sayısı, manyetik alanın şiddetine, yüzey alanına, yüzeyin manyetik alan içindeki konumuna bağlıdır.
- Yüzey alanı A olan bir düzlemin, B manyetik alanındaki manyetik akı büyüklüğü, alan ile yüzey normalinin yaptığı açıya bağlı olarak hesaplanır.



$$\Phi = B \cdot A$$



$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$$



$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha \Rightarrow \Phi = B \cdot A \cdot \cos 90^\circ \Rightarrow \Phi = 0$$

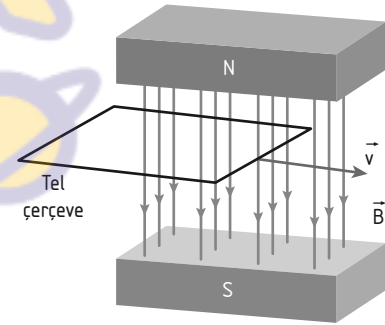
Tarihsel Süreç

- 1820'de Ørsted, elektrik akımlarının manyetik alanlar oluşturduğunu keşfetti.
- 1831'de Faraday, değişen manyetik alanların elektrik akımları oluşturduğunu göstererek elektromanyetik indüksiyonu keşfetti.
- Aynı yıl Joseph Henry de benzer bulgulara ulaştı.
- 1864'te Maxwell, Faraday'ın çalışmalarını denklemlerine entegre ederek teorik çerçeveyi sağlamlaştırdı.
- Daha sonraki yenilikler, 1870'lerde dinamo ve 1880'lerde transformatör gibi uygulamalarla elektromanyetik indüksiyonu kullanarak elektrik üretimi ve iletimini devrimleştirdi.

İNDÜKSİYON AKIMI (FARADAY YASASI)

Faraday'a göre, manyetik alan değişimleri iletkende elektrik alan meydana getirmektedir. Faraday, iletken tel çerçeveden geçen manyetik akı değiştirildiğinde, çerçevede bir elektromotor kuvvet ve dolayısıyla bir akım oluştuğunu keşfetmiştir.

- İletken çerçevede oluşan bu akıma **indüksiyon akımı**, bu akımı oluşturan elektromotor kuvvetine **indüksiyon elektromotor kuvveti**, manyetik alan değişimi ile elektrik akımı üretme olayına ise **elektromanyetik indüksiyon** denir.
- Şekildeki tel çerçeve $\vec{B}$ manyetik alanının içinde alana dik sabit v hızıyla hareket ettirilirse çerçevenin yüzeyinden geçen manyetik akı zamanla değişir. Manyetik akı değişiminden dolayı tel çerçevede indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur.

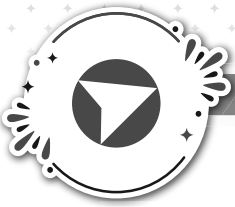


- Faraday Yasası,

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

NOT

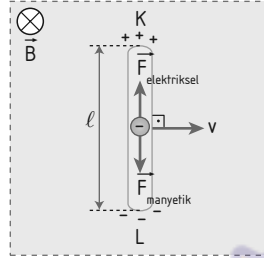
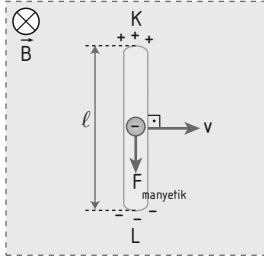
N tane sarımdan oluşan bir tel çerçeve, düzgün $\vec{B}$ manyetik alanının içine sabit v hızıyla çekilirse çerçevede oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti $\mathcal{E} = - N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ bağıntısı ile hesaplanır.



MANYETİK ALANDA HAREKET EDEN TELİN UÇLARI ARASINDAKİ ELEKTROMOTOR KUVVETİ

Düzgün manyetik alanda bulunan iletken telin hareket ettirilmesi yöntemi kullanılarak da indüksiyon elektromotor kuvvetinin oluşması sağlanabilir.

- İletken bir tel manyetik alan içinde şekildeki gibi v süratiyle hareket ederken telin üzerindeki “-” yükler manyetik kuvvetin etkisinde L ucunda toplanır. K ucunda ise “+” yük birikir.

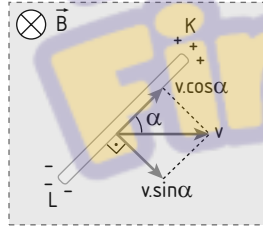


- İletken KL telinin uçları arasındaki potansiyel fark V_{KL} ye indüksiyon elektromotor kuvveti denir. $\mathcal{E}$ ile gösterilir.

$$\mathcal{E} = -B \cdot v \cdot \ell$$

- Formülde, B'nin birimi tesla, v'nin birimi metre/saniye ve ℓ 'nin birimi metre olarak alınırsa, $\mathcal{E}$ 'nin birimi volt olur. “-” işareti Lenz Yasası'ndan dolayı vardır.

$$\mathcal{E} = -B \cdot v \cdot \ell \cdot \sin \alpha$$

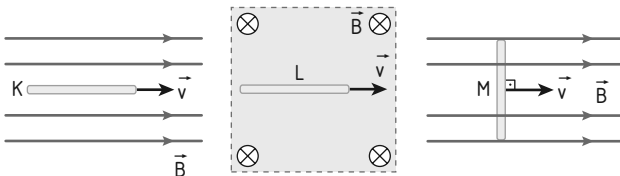


NOT

- Manyetik alanda hareket ettirilen bir telde indüksiyon elektromotor kuvvetinin oluşabilmesi için manyetik alan vektörü, hız vektörü ve telin uzunluğu birbirine dik olmalıdır.

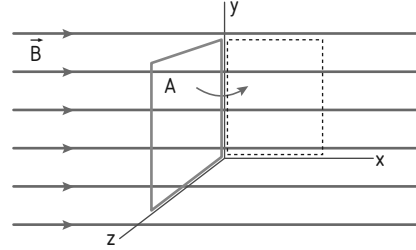
$$\vec{B} \perp \vec{v} \perp \ell$$

- Şekildeki K, L ve M tellerinin uçları arasındaki indüksiyon elektromotor kuvveti sıfırdır.



Örnek

Yüzey alanı A olan iletken çerçeve xyz koordinat sisteminde yz düzleminde şekildeki gibi tutulmaktadır.



+x yönünde düzgün $\vec{B}$ manyetik alan oluşturulduğuna göre,

- Çerçevenin manyetik akısı $B \cdot A$ 'dır.
- Çerçeve t sürede yz düzlemine getirilirse elde edilen elektromotor kuvvet BA/t 'ye eşit olur.
- Çerçeve xz düzlemine getirilseydi manyetik akıdaki değişimi $B \cdot A$ olurdu.

yargılarından hangileri doğrudur? (Akı değişimi düzgün olmaktadır.)

A) Yalnız I

B) Yalnız II

C) I ve II

D) I ve III

E) I, II ve III

ÖSYM Benzeri

İletken KLM çubuğu sayfa düzlemine dik ve içeriye doğru yönelmiş $\vec{B}$ manyetik alanı içinde, dönmeden, $\vec{v}$ hızıyla şekildeki yönde hareket ediyor.

Buna göre,

- KM uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetinin büyüklüğü $3B \cdot d \cdot v$ 'ye eşittir.
- K'nin yük işareti “+”dır.
- L ve M'nin yük işareti “-”dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

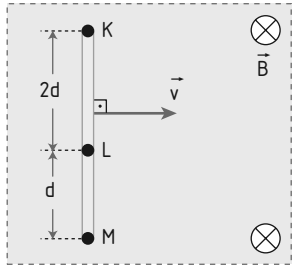
A) Yalnız I

B) Yalnız II

C) I ve II

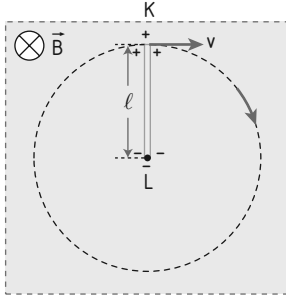
D) I ve III

E) I, II ve III





MANYETİK ALANDA DÖNEN TELİN UÇLARI ARASINDAKİ ELEKTROMOTOR KUVVETİ



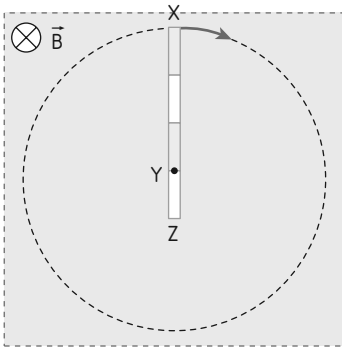
- İletken telin K ucunun sürati v , L ucunun sürati sıfır olduğu için, telin uçları arasındaki indüksiyon elektromotor kuvveti bulunurken telin ortalama sürati alınır.

- $\mathcal{E} = -B \cdot v_{\text{ort}} \cdot \ell$ olur. $v_{\text{ort}} = \frac{v}{2}$ olduğundan,

$$\mathcal{E} = -\frac{B \cdot v \cdot \ell}{2}$$

Örnek

Eşit bölmeli iletken çubuk $\vec{B}$ manyetik alanına dik olarak Y noktası etrafında döndürülüyor.

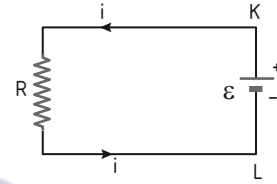
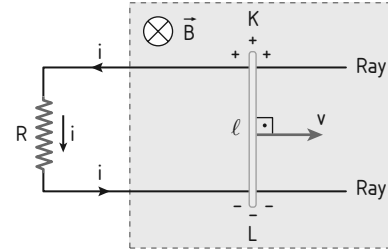


YZ noktaları arasındaki indüksiyon elektromotor kuvvetinin büyüklüğü $\mathcal{E}$ olduğuna göre; XZ noktaları arasındaki indüksiyon elektromotor kuvvetinin büyüklüğü kaç $\mathcal{E}$ 'dir?

- A) 2 B) 4 C) 8 D) 9 E) 10

İNDÜKSİYON AKIMININ ŞİDDETİ VE YÖNÜ

- İndüksiyon elektromotor kuvvetinden dolayı devrede oluşan akıma **indüksiyon akımı** denir.



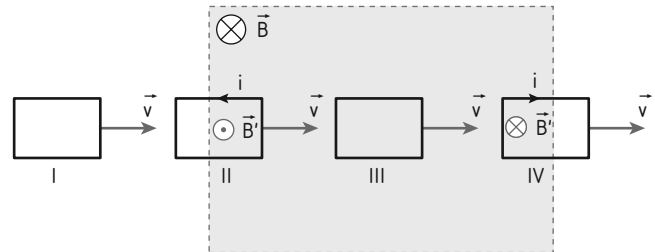
$$\mathcal{E} = B \cdot v \cdot \ell$$

$$\mathcal{E} = i \cdot R$$

$$i = \frac{B \cdot v \cdot \ell}{R}$$

LENZ YASASI

Lenz Yasası'na göre indüksiyon akımının yönü, kendisini meydana getiren sebebe karşı koyacak yöndedir. Başka bir ifade ile indüksiyon akımının oluşturacağı manyetik alan, devreden geçen manyetik akı değişimine karşı koyacak biçimde oluşur.



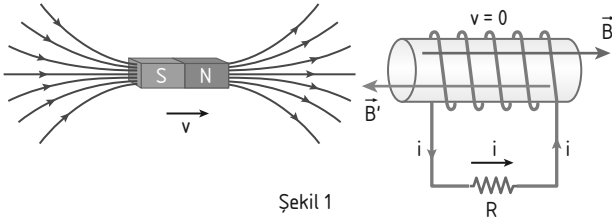
- Yukarıdaki düzenekte; I ve III durumlarında manyetik akı değişimi sıfır olduğundan indüksiyon akımı oluşmaz. II durumunda akı arttığı için Lenz Yasası'na göre, zıt yönde manyetik akı oluşturacak biçimde akım geçer. IV durumunda ise akı azaldığı için Lenz Yasası'na göre, aynı yönde manyetik akı oluşturacak biçimde akım geçer. İndüksiyon akımının yönü sağ el kuralına göre bulunur.



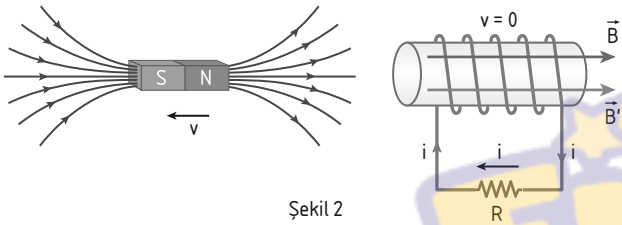
Elektromanyetik İndüksiyon

✓ Manyetik akı değişimi ile oluşan indüksiyon akımı, bir çubuk mıknatısı bobine yaklaştıırıp uzaklaştıırarak da elde edilebilir.

- Mıknatısı bobine Şekil 1'deki gibi yaklaştıırıldığında manyetik akı artar, devre zıt yönde manyetik alan oluştıırur. Mıknatısı bobinden Şekil 2'deki gibi uzaklaştıırırken manyetik akı azalır, devre aynı yönde manyetik alan oluştıırur.



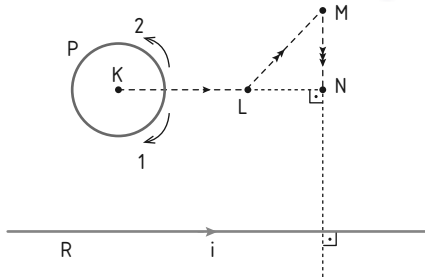
Şekil 1



Şekil 2

ÖSYM Benzeri

Üzerinden i akımı geçen yeterince uzun R teline yakın bir bölgede bulunan, iletken telden yapılan P halkası, şekildeki $KLMN$ yolu boyunca sabit hızla hareket ettiriliyor.



Buna göre,

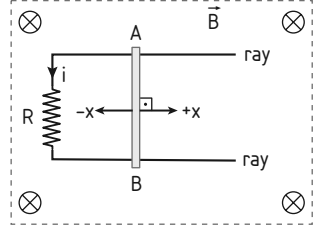
- KL arasında indüksiyon akımı oluşmaz.
- LM arasında 2 yönünde, MN arasında 1 yönünde indüksiyon akımı oluşur.
- LM arasında oluşan indüksiyon akımının şiddeti MN arasında oluşanıninkine eşittir.

İfadelerinden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III

Örnek

Sayfa düzlemine dik düzgün bir $\vec{B}$ manyetik alanı içinde iletken AB çubuğu, R direnci ve bu direncin bağlı olduğu, konumu sabitlenmiş, birbirine paralel iletken raylar ile şekildeki düzenek oluşturulmuştur. AB çubuğu hareket ettirildiğinde R direncinden gösterilen yönde i akımı geçiyor.



Buna göre,

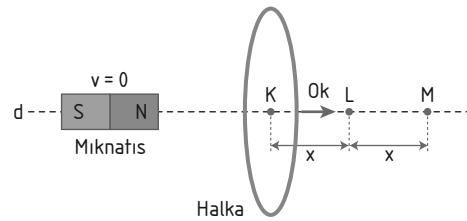
- Çubuğun A ucunun işareti "+", B ucunun işareti "-" dir.
- Çubuk $+x$ yönünde hareket ettirilmiştir.
- i akımının büyüklüğü R direncine bağlıdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I, II ve III

Örnek

Bir mıknatısı ve K merkezli metal bir halkadan oluşan düzende, halka; düzlemi d doğrusuna dik ve d doğrusu merkezinden geçecek biçimde sabit hızla ok yönünde hareket ettiriliyor.



Buna göre;

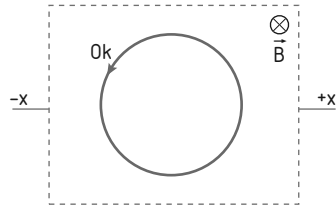
- Halka hareket ederken halkanın manyetik akısı azalır.
- LM noktaları arasındaki hareketinde, halkada oluşan indüksiyon akımı sıfırdır.
- Halkayı hareket ettirmek için halkaya hareket yönünde uygulanan ortalama kuvvetler; KL ve LM aralıkları için eşittir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) II ve III

**Örnek**

İletken ve esnek bir halka, sayfa düzlemine dik ve içeriye doğru olan $\vec{B}$ manyetik alanına, sayfa düzleminde şekildeki gibi konuluyor.



Buna göre;

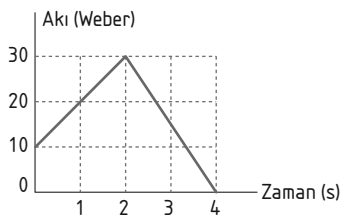
- I. manyetik alan şiddetini artırmak,
- II. düzlemini değiştirmeden halkanın yüzey alanını azaltmak,
- III. halkayı, tamamı manyetik alanın içinde kalacak şekilde +x yönünde hareket ettirmek

İşlemlerinden hangileri tek başına yapıldığında halkada ok yönünde indüksiyon akımı oluşur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

Örnek

Bir iletken çerçevenin manyetik akı - zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre,

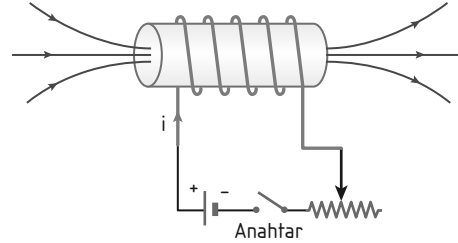
- I. 0 - 2 s zaman aralığında oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti -10 voltur.
- II. 2 - 4 s zaman aralığında oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti +15 voltur.
- III. Çerçeveden 0 - 4 s zaman aralığında aynı yönde indüksiyon akımı geçmiştir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) II ve III

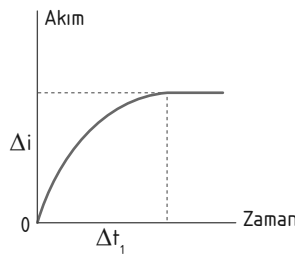
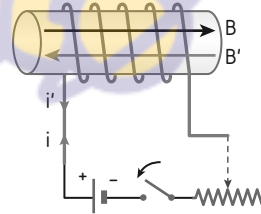
ÖZ İNDÜKSİYON AKIMI

Manyetik akı değişimi sonucunda oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetinin, indüksiyon akımı oluşturduğu gibi bobinden geçen akım şiddeti değiştiğinde, devre akımı haricinde başka bir akım oluşmaktadır.

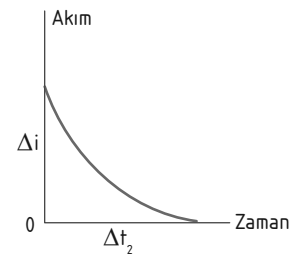
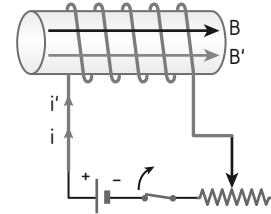


- Faraday Yasası'na göre, manyetik akı değişimi devrede elektromotor kuvvet oluşmasını sağlar. Oluşan bu elektromotor kuvvetine **öz indüksiyon** elektromotor kuvveti denir.
- Öz indüksiyon elektromotor kuvveti devre akımının değişim hızı $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ ile doğru orantılıdır.
- Öz indüksiyon elektromotor kuvvetinin oluşturduğu akıma **öz indüksiyon akımı** denir.

Aşağıdaki devrede anahtarın kapatılması ve açılması durumunda indüksiyon akımının oluşumu Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



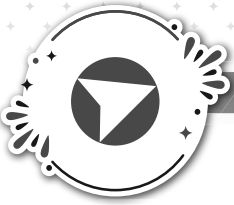
Şekil 1



Şekil 2

NOT

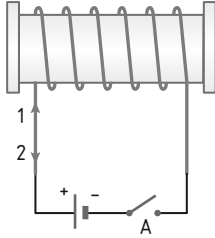
Pratik olarak öz indüksiyon akımının yönü, devre akımı artıyorsa akıma zıt yönde, devre akımı azalıyorsa akımla aynı yöndedir.



Elektromanyetik İndüksiyon

Örnek

Bir bobin, üreteç ve açık A anahtarıyla şekildeki devre kurulmuştur.



Buna göre,

- I. Anahtar kapatıldığında 2 yönünde öz indüksiyon akımı oluşur.
- II. Anahtar sürekli kapalıyken devrede indüksiyon akımı oluşmaz.
- III. Anahtar kapalıyken, açılırsa 1 yönünde öz indüksiyon akımı oluşur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

NOT

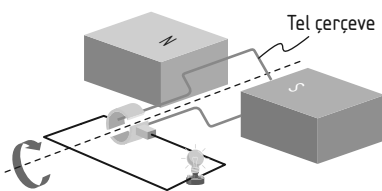
Televizyonların çalıştığını gösteren küçük kırmızı led lambaların ve şarj için kullanılan adaptörlerin üzerindeki led lambaların cihaz elektrikten çekildikten bir süre daha ışık vermesi, cihazın içindeki bobinlerde biriken enerjinin öz indüksiyon ile boşalması neticesinde gerçekleşir.



DİNAMO

Dinamo, hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren doğru akım jeneratörüdür.

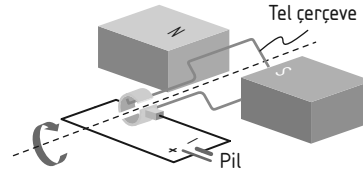
- Dinamoda, mıknatısın manyetik alanı içinde tutulan şekildeki kapalı bir tel çerçevenin döndürülmesiyle indüksiyon akımı elde edilir.



Dinamo modeli ve bir bisiklet dinamosu

- Tel çerçeve sürekli döndürülürse sürekli olarak akım elde edilir. Böylece elektrik enerjisi üretilmiş olur.

Elektrik motoru, manyetik tork sayesinde dönerek, elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştürür.



Elektrik motoru modeli ve elektrik motoru kullanılan bir dron

- Elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştüren elektrik motorları birçok yerde kullanılmaktadır. Örneğin uzaktan kumandalı bir dronun pervaneleri, oyuncak arabaların tekerlekleri ve matkabin dişlileri elektrik motorları sayesinde döndürülür.

GÜNLÜK HAYAT VE TEKNOLOJİDEKİ YERİ

İndüksiyon ocakları, bisiklet dinamo ışıkları, elektrik jeneratörleri, kredi kartının manyetik şeritleri, elektrikli gitarlar, metal dedektörleri, elektrikli diş fırçaları, manyetik kapı alarmları, kablosuz telefon şarj cihazları, tıbbi implantlar için indüktif şarj; elektromanyetik indüksiyonun günlük hayat ve teknolojideki kullanımına örneklerdir.

- Manyetik alan içinde metal levha hareket ettirilirse yüzeyde **girdap akımı** adı verilen indüksiyon akımı oluşur. Girdap akımı, metal levhanın içerisinde sürekli dönen elektronlardan kaynaklanır.



Girdap akımı indüksiyon ocaklarında da kullanılır. İndüksiyon ocağı el yakmaz, tencere tabanında oluşturduğu girdap akımları ile tencerenin sıcaklığını artırır.