

Endüstriyel Elektroi ve Kontrolⁿ

— n —

Kaya ATLI
Müh.

ELEKTRON BALİSTİĞİ:

Yükli elemalann elektostatik ve magnetik alanlar dahilindeki hareketleri teorisine «elektron balistiği» denir. Bu partiküllerin hareketi, muhteli olduklan kütle ve yüke, alanın şiddetine ve hareket kanununa bağlıdır.

Elektron tüplerinde en ehemmiyetli eleman elektrondur. Gazlı ve buharlı tüplerde ise pozitif iyonlar elektronlar kadar mühimdir. Elektron tüplerinde cıva buharı ve atıl gazlar grubundan tek atomlu elemanlar kullanılır. Bu elemanlarda her molekül bir atomdan teşekkül etmiştir. Bu sebeple iyonların şekil ve hareket teorilerinin tetkikinde hem atom ve hem de molekül terimleri kullanılabilir. Tablo 1 elektron tüplerinde mevcut bazı elemanların nisbî yük ve kütlelerini vermektedir.

TABLO 1.

A d ı	Yük	Kütle
Elektron	— e	m_0
Pozitron	+ e	m_0
Proton (H iyon)	+ e	1,840 m_0^*
Nötron	0	1,840 m_0
Alfa partikülü (He++)	+ 2e	7,360 m_n
Neon (iyon)	+ e	37,200 m_0
Argon (iyon)	+ e	73,600 m_n
Merkür! (iyon)	+ e	372,000 m_n

(Not: Daha fazla bügi R. T. Birge'nin «A New Table of Values of General Physical Constants» Rev. Modern Phys. 13).

Elektron yükü için e, kütlesi için m_n sembolleri kullanılmıştır Bunların mks birimlerine (*) göre kıymetleri şunlardır :

$$e = 1.6 \times 10^{-10} \text{ kulomb} \quad (D)$$

$$m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kilogram} \quad (2)$$

$$\frac{e}{m_0} = 1.76 \times 10^{11} \text{ kulomb/kilogram} \quad (3)$$

m_0 için venlen bu değerler ışık hızına nazaran küçük elektron hızlarında, kullanılabilir. Daha yüksek hızlar için (ışık hızının

% 15 inin üstünde) aşağıdaki Lorentz formülü kabüi tatbiktir.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (4)$$

Burada:

m_v = Hareket halinde elektronun kütlesi (nisbî kütle),

m_0 = Sükûnet halinde elektronun kütlesi

v = Elektron hızı

c = Işık hızı (3×10^8) metre/saniye.

Elektrik yükü üzerine kuvvet tesir ettiren sahaya «elektostatik alan» denir. Alanın yönü pozitif yüke tesir eden kuvvetin yönüdür. Elektostatik alan E potansiyelinin mesafe üe değişimi ile elde edilir. Potansiyel değişiminin büyüklük ve işaretine potansiyel düşümü adı verilir. Eğer bir noktada E_1 potansiyeli mevcut ise ve bir s mesafesi boyunca E_2 değen alınıncaya kadar üniform olarak değişiyorsa potansiyel düşümünün değeri ($E_1 - E_2/s$) dir. Elektostatik alan elektrik alan şiddeti ile ifade edilir ve ξ sembolü ile gösterilir Elektrik alan şiddeti vektoriyel bir büyüklüktür ve alanın yönü ve büyüklüğü potansiyel düşümü ile ölçülür

$$\xi = - \frac{dE}{dS} \quad (5)$$

Elektostatik alanın kuvveti birim yük üzerine tesir eden kuvvet olarak tarif edilir. Böyle bir Q yükü için kuvvet:

$$f = \xi Q \quad (6) \text{ olacaktır.}$$

Temel mekanik kanununa göre denklemler aşağıdaki şekli alır :

$$f = ma \quad f = \xi Q = ma \quad a = \frac{KQ}{m} \quad (7)$$

(*) Bu yazının birinci kısmı Mecmuamızın 29-30. ou sayısında neşredilmiştir.

(**) Volt, kulornb vs gibi pratik elektrik birimlerinin bulunluğu mks (metre-kilogram-saniye) sistemi bilhassa elektostatik alanların hesabında çok faydalıdır

Burada I kuvvet, a lineer ivmedir.
Elektrik! potansiyel birim yükün hareketi ile yaptığı W işi ile ölçüldüğüne göre Q yükü için:

$$E = \frac{W}{Q} \text{ ve } W = EQ$$

Aynı zamanda,

$$\text{Potansiyel enerji} = \text{iş} = EQ$$

$$\text{Kinetik enerji} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\text{Kinetik enerji kazancı} = \text{Potansiyel enerji kaybı}$$

$$\frac{1}{2} mv^2 = EQ \quad (8)$$

$$v = \sqrt{2 \frac{Q}{m} E} \quad (9)$$

Denklem 9 elektrik! alanda hareket eden yüklü bir partikülün gerektirdiği hız ve kinetik enerjiyi tâyin eden faktörün yalnızca bu zerrinin tesir sahası içinde bulunduğu E potansiyeli olduğunu gösterir. Bu bize elektrik! alanda hareket eden partiküllerin enerjilerini ölçmekte faydalı bir birim olan elektron - volt'u verir. Elektron - volt, bir elektronun boşlukta sükûnetten hareketle 1 voltluk potansiyel farkına erişebilmesi için gerektirdiği enerji miktarıdır. Elektrik! - voltun kısaltılmış şekli ev dir. Denklem 8 den elektron - voltun muhtevi olduğu enerji bulunabilir.

$$1 \text{ elektronun } 1 \text{ voltluk potansiyele erişmesi} = 1 \text{ ev (enerji)}$$

$$1 \text{ elektronun } E \text{ voltluk potansiyele erişmesi} = E \text{ ev (enerji)}$$

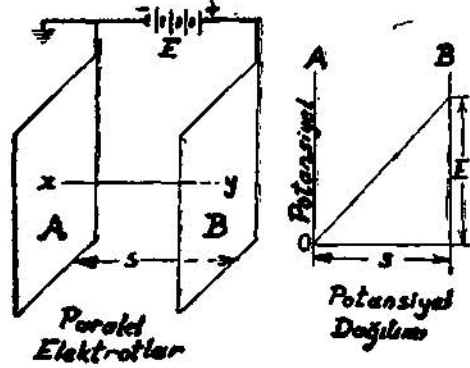
Aynı zamanda, (10)

$$1 \text{ ev} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Jul}$$

Uniform bir alan paralel yüzeyler arasında elde edilebilir. Şekil 3 de A ve B aralarında s mesafesi bulunan iki aynı paralel levhayı gösteriyor. İki levha arasına tatbik edilen potansiyel farkı E , xy eksenini boyunca ve levha boyuttan s' 'ye nazaran büyük ise diğer bütün kısımlarda da üniform bir alan meydana getirir. xy boyunca potansiyel yayılımı Şekil 3 de sağdaki şekilde görülmektedir. A ve B levhaları arasındaki potansiyel O dan E ye kadar üniform (lineer) bir tarzda yükselir. Potansiyel düşümü ve elektrik alan şiddeti sabit bir büyüklüktedir ve E/s ye eşittir. Bir elektron (negatif yüklü) x noktasına bırakıldığında, bu elektron y noktasına doğru \hat{a} bit \hat{e} kuvveti ile itilir ve üniform şekilde hızlanarak B plâkasındaki y noktasına varır. Eğer $E = 500$ volt ve $s = 2,5$ santimetre ise (mks sistemine göre) aşağıdaki değerler elde edilir:

Potansiyel düşümü :

$$S = \frac{E}{s} = \frac{500}{2,5 \times 10^{-2}} = 20.000 \text{ Volt/metre}$$



ŞEKİL: 3

İki levha arasında potansiyel dağılımı

İvme (Denklem 7) :

$$a = \frac{Q}{m} \frac{E}{S} \frac{e}{in_a} = 20.000 \times 1,76 \times 10^{11} \text{ metre/saniye}^2$$

y deki hız (Denklem 9) :

$$v = \sqrt{2 \frac{Q}{m} E} = \sqrt{2 \frac{Q}{m_0} E} = \sqrt{2 \times 1,76 \times 10^{11} \times 500} = 1,326 \times 10^7 \text{ metre/saniye}$$

Katod ışınlu bir tüpte elektrikî alan vasıtasıyla bir elektron demeti saptırılabilir. Şekil 4 deki durumu tetkik edelim, e elektronu aeb boyunca v_n yatay hızı ile iki plâka arasında uniform elektrik alanı (dikey) bulunan e noktasına gelir. Haiz olduğu polarite dolayısıyla elektron elektrik alanı tarafından dolu çizgi ile gösterilen yukarı istikamete yönlendirilir. Elektronların sağa doğru hareket hızı v_n , saptırma alanı, hareket yönüne dik olduğu için plâkalar arasında aynı kalır. Plâkalar arasındaki elektrik alanı (ki uniform farzedüir) elektrona, yukarı doğru ivmeli bir hareket verir. Plâkaları sağ kenarından çıktığında, elektron yukarı doğru bir v_y hızına sahip olur. Bu noktadan itibaren elektron, v_0 ve v_y nin bileşkesi ile tayin edilen bir hızla hareket eder. Bileşke sapmanın θ açısını, r_n ve v_y hız bileşenleri tâyin eder.

Hasıl olan hareketin yönü ve şiddeti şu şekilde hesaplanabilir: Elektronun başlangıç hızının, $1,326 \times 10^7$ metre/saniye olduğunu farzedelim. Plâkalar 1 santimetre aralıklı olup bunlara 100 volt tatbik edilmiştir. Plâkaların genişliği 1, 2,5 santimetre. Başlangıç yatay bileşen hızı v_n olan elektronun geçiş süresi şu şekilde hesaplanabilir:

$$l = \frac{v_n \times t}{1} = \frac{2.5 \times 10^{-2} \times 1.885 \times 10^{-9}}{1.325 \times 10^7} = 1.885 \times 10^{-9} \text{ saniye}$$

Yukarıya doğru ivme :

$$a = \frac{E}{s \cdot m_n} = \frac{100}{1 \times 1.76 \times 10^{15}} \times 1.76 \times 10^{11} = 1.76 \times 10^{15} \text{ metre/saniye}^2$$

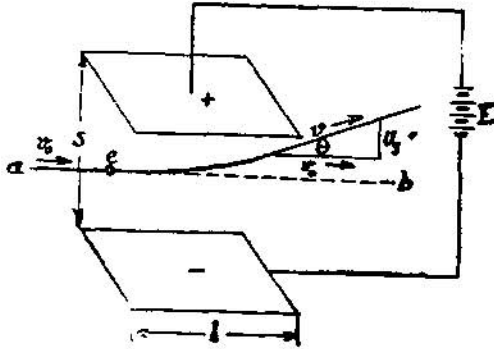
$$v_T = at = 1.76 \times 10^{15} \times 1.885 \times 10^{-9} = 3.32 \times 10^6 \text{ metre/saniye}$$

Sapma açısı:

$$\text{Teta} = \tan^{-1} \frac{v_T}{v_n} = \tan^{-1} \frac{3.32 \times 10^6}{1.325 \times 10^7} = \tan^{-1} 0.25 = 14'$$

Son hız :

$$v_n = \sqrt{v_0^2 + v_T^2} = \sqrt{1.325^2 \times 10^{14} + 0.332^2 \times 10^{14}} = 1.368 \times 10^7 \text{ metre/saniye}$$



ŞEKİL : 4

Elektrik alanında elektronun sapması.

Elektronun, plâkalar arasından geçerken yukarı doğru sapması şu formülle bulunabilir:

$$S = \frac{1}{2} at^2$$

$$S = \frac{1}{2} (1.76 \times 10^{15}) (1.885 \times 10^{-9})^2 = 3.12 \times 10^{-3} \text{ metre}$$

Yüklü zerrecelerin hareketlerini kontrol için magnetik alanlar kullanılır. Yüklü zerreceler üzerinde magnetik bir alanın etkisi, içinden akım geçen bir iletkenin magnetik alan dahiline yerleştirilmesi ile üzerine tesir eden kuvvete benzer.

$t \ll 0$ isine

Burada t birim uzunluk başına kuvvet, 3 akı yoğunluğu, i takım ve 0 da iletkenin magnetik alan yönü ile yaptığı açıdır. Akım, elektron veya diğer yüklü zerrecelerin hareketidir. Bundan dolayı

$i \gg Qnv$

olur. Q zerrecinin üzerindeki yük, v zerrecinin hızı ve n birim uzunluktaki zerrecin sayısıdır. Bir tek zerreye etkiyen kuvvet mevzubahis olduğundan, n birim olur ve

$$f = 3Qv \text{ sine}$$

Şekil 5 de, bir e elektronunun v_0 ilk hızı ile dik açıda ($0 = 90^\circ$) uniform bir magnetik alana tevcih edildiğini düşünelim. Alan içeri doğru (kâğıt yönünde) yöneltilmiş olduğundan, münasip herhangi bir kaidenin tatbiki ile (*), alana giren elektronun üzerine etkiyen kuvvetle, aşağı doğru yöneleceği görülür. Uniform bir alan ve sabit bir hız ile elektronun yörüngesi sabit bir açısal ivme değişimine maruz kalır ve bir daire boyunca hareket etmez. Mekanik kanunlarından, bu ivme v^2/r olup, burada r yörüngenin eğrilik yarıçapıdır. Bu durumda,

$$f = ma = pQv = m \frac{v^2}{r}$$

ve

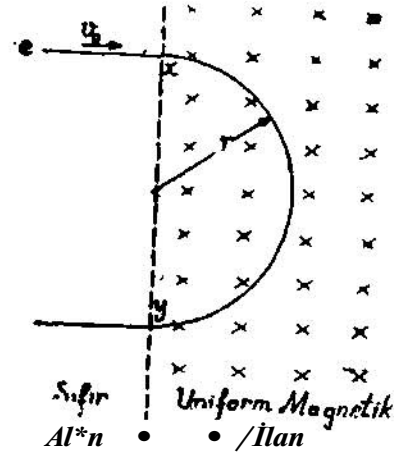
$$r = \frac{mv}{\beta Q}$$

ve bir elektron için $Q = e$ olduğunda,

$$r = \frac{mv}{3 \frac{e}{m}} = 5.69 \times 10^{-12} \frac{v}{3} \text{ metre}$$

Şekil 5 de $v_0 = 2 \times 10^8$ cm/san. ve alan şiddeti $3 = 10$ gauss

$$r = 5.69 \times 10^{-12} \frac{2 \times 10^7}{10 \times 10^8 \times 10^{-8}} = 11.38 \times 10^{-2} \text{ metre}$$



ŞEKİL : 5

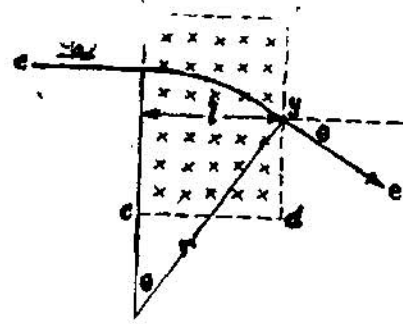
Uniform bir magnetik alan dahilinde bir elektronun dairesel sapması.

(*) Elektron akımı için sol el yerine sağ eli kullanınız.

Şekil 5 de şeması verilen duruma göre, hareket eden elektrona dik yöndeki magnetik alan teorisi, bir elektron demeti sapmasına tatbik edilir.

Bir elektron demetinin, uniform bir magnetik alan içindeki sapması, Şekil 6-da gösterilen münasebetlerden hesaplanabilir. Burada abcd dikdörtgeni içinde, biri sayfanın önünde, diğeri arkasında farzedilen iki paralel bobin tarafından bir magnetik alan husule getirilir. Soldan bu alana x noktasında v hızı ile giren bir elektron, yarıçapı r olan xy daire yayı boyunca saptırılır. Alandan y noktasında çıkan elektron, lineer yörüngede v hızı ile yoluna devam edecektir. xy yayının açısı 0 dır ve düzlem geometri kaidesine göre, sapma açısına eşittir. Bariz olarak görülmektedir ki, θ_0 açısının sinüsü $1/r$ dir. Alanın l uzunluğu bilinmektedir ve r denklem 12 den evvelki misalde olduğu gibi hesaplanabilir.

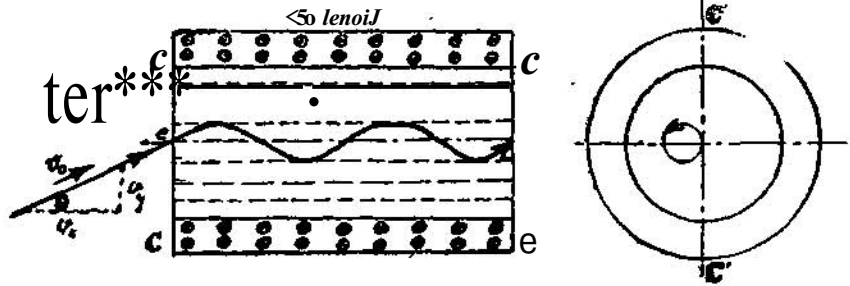
Şayet hareketteki bir elektron, magnetik bir alana 90° den küçük açıda girerse, entressan bir olay meydana gelir. Bu Şekil 7 de görülmektedir. v_n hızı ile hareket eden bir elektron yatay bir alana e noktasından, x eksenine θ_0 açısı yapacak bir doğrultuda girsin. Yatay magnetik alanı meydana getiren CCC C solenoididir. İşleri basitleştirmek için magnetik alanın CC sınırında başladığını ve C'C de nihayetlendiğini kabul edelim. Elektronun



ŞEKİL: 6

Magnetik alandan geçen bir elektronun açısal sapması.

odaklamanın bu tarz tatbikatında alan şiddeti o şekilde ayarlanır ki, elektronlar bir veya birkaç dönüşle, helisel bir yol katederler. Şayet bütün elektronlar magnetik alanın eksenine girerek aynı sayıda dönüş yaparlarsa bunlar bir noktaya toplanırlar. Elektronların eksenini boyunca helisel bir harekete değişmektedir. Aynı şekilde 90° den farklı açılarda magnetik alana tevcih edilen bir elektron demeti magnetik alan yönünde saptırılacaktır. Bu bazı katod ışınlu tüplerde ve elektron mikroskobunda kullanılan sistemdir. Magnetik alan içinde iken takip edecekleri yörünge, v_n in v_v bileşenine dairesel hareket



ŞEKİL: 7

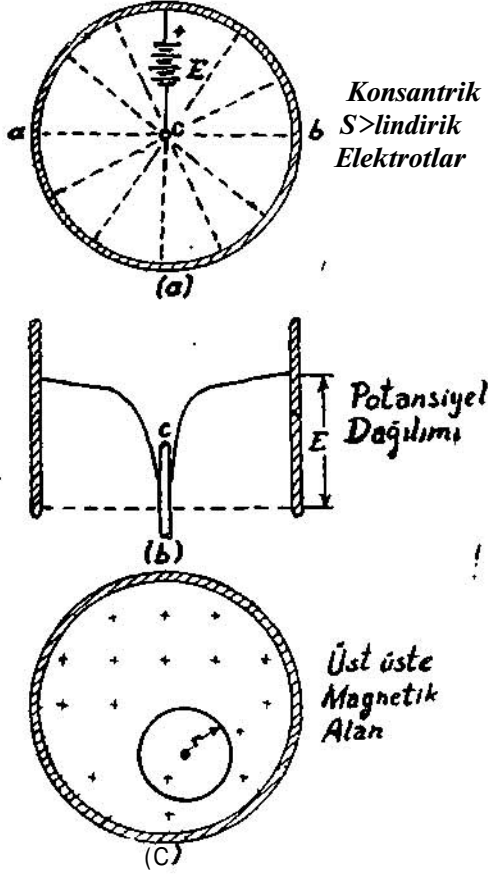
Bir solenoidteki boyuna magnetik alanın tesiri ile elektronun helisel hareketi.

v_n ilk hızının yatay v_x ve dikey v_y bileşenleri vardır. Yatay v_x bileşeni magnetik alana paralel olup, onun tesiri altında kalmaz. Dikey bileşen magnetik alanın normalindedir. Bundan dolayı da, evvelce de izah edildiği gibi, dairevi bir hareketle neticelenecek bir yan zorlanmaya maruz kalacaktır. Elektron magnetik alan içinde olduğu müddetçe bileşke hareket, v_x e eşit sağ yönde bir hareketle, yatay eksen etrafındaki dairesel bir hareketin toplamı olacaktır. Bu şekildeki hareketlerin kombinasyonu ise Şekil 7 den görüleceği gibi heliseldir. Görülüyor ki, magnetik alanın tesiri ile v_0 in hareket yönü, alan yönü veya x

teorisinin tatbik edilmesi ile ve helisin fiziki anlamından istifade ile bulunabilir.

Elektron tüplerinde iç içe silindirik elektrotlar ekseriya kullanılırlar. Şekil 8 a da bunun tatbiki görülmektedir. Silindirlere bir E potansiyeli, orta elektrot (c) negatif olacak şekilde tatbik edilirse, husule gelecek elektriki alan, şekilde kesikli hatla gösterildiği gibi radial yönde olur. Pratikte C elektrodu çok ince telden yapılmış olacağından. Şekil 8 b den görüleceği gibi, herhangi bir yönden potansiyel dağılımı verebilir, (c) ye yakın yerde potansiyel değişimi çok büyük olup, bilahare dış silindire gidildikçe azalır. Şayet elektronlar.

c telinde serbest kalırlarsa, elektrik! alanın tesiri altında, dış silindire doğru radyal yönde hareket ederler.



ŞEKİL : 8

Kongsantrik silindirik elektrotlar arasında hareket eden bir elektrona elektrik! alan ve magnetik alanların tesiri.

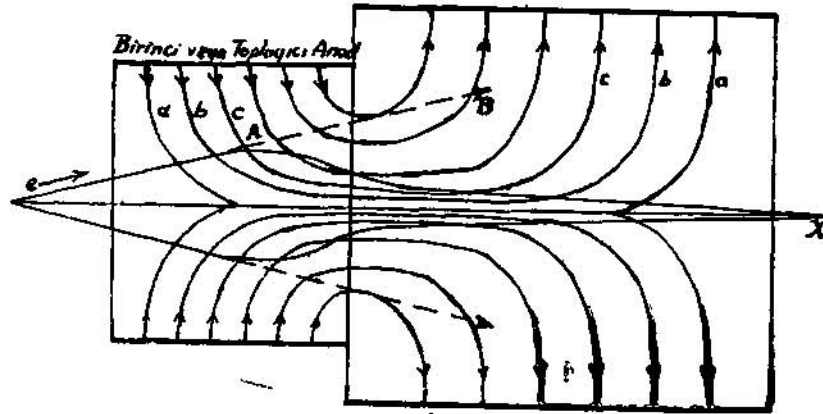
Eğer içinden doğru akım geçen bir solenoid, iç içe silindirik elektrotların etrafına yerleştirilecek olursa, silindirlerin eksenine

paralel bir alan meydana gelir. Şimdi c den bırakılan elektronlar evvelki gibi yine elektrknî alanın tesiri altında hareket ederler, fakat bu harekette yörünge magnetik alanın normalinde olduğu için kavisli bir yol takip ederler. Şayet, magnetik alan kâfi derecede kuvvetli ise, bu elektronlar dış elektroda asla erişmeden, şekilde görüldüğü gibi (c) elektroduna iade edilirler. Bu usul, magnetron denilen bir tüpte kullanılır ve çok yüksek frekanslar meydana getiren osilatöre tatbik edilir.

Magnetronun bir tatbikatında, magnetik alan o şekilde ayarlanır ki, elektron dış silindiri yalayarak geçen eğrisini takip eder. Bu hareketin tam matematik! metni burada verilemeyecek kadar karışıktır.

Elektron optiği, ışık şualarının optik adevselerle kontrol edildiği gibi, elektron demetinin kontrol) edilme tekniğidir. Elektron demetlen., paralel içe veya dışa bükülen yollarla elektrik ve magnetik alan ortamından geçirilir. Paralel magnetik alanın odaklama etkisi Şekil 7 de verilmiş olup, kullanılan metoda bir misaldir. İç büküye veya dış büküye magnetik alan, elektron demeti üzerinde kendine tekabül eden yöneltme etkisini yapar. İç içe silindirler arasındaki elektrik alanı, elektronların hareketi üzerine merkezleyici veya yayıcı bir tesir yapar. Bu durum Şekil 9 da yanyana silindirlerin meydana getirdiği alandaki elektrknî alan dağılımını gösterir. Silindir eksenine yönünde hareket eden elektronlar, elektrknî alana paralel hareket ederler. Şekil 9 da, AB boyunca hareket eden bir (e) elektronu da, görüldüğü gibi saptımlacak ve bu elektron grubu, x de odaklanacak şekilde gider. Elektrikî ve magnetik alanların bu şekildeki metodları ile elektron optiği gerçekleştirilir. Elektron optiği teorisi'nin tamamı bu yazıann gayesi haricinde kalır

ikinci vgyat Hızlastırıcı fneef



ŞEKİL: 9

Bir elektron demetinin elektrostatik merceklerle odaklanması.