

# GÖZLÜKTEN, ATOMLARIN DÜNYASINA

Peter MICHAEL

100, 1000,  
50.000 ve  
100.000 defa  
büyütülmüş  
küçük  
su piresi

• Üç Fizik bilgini, buluşlarıyla gizemli dünyanın kapılarını açtılar: Ernst Ruska'nın elektron mikroskobu, Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer'in Raster-Tünel mikroskobu, atomları ve yapılarını gün ışığına çıkardılar.

Vakit gece yarısı. Elektronik cihazlar ve esrarengiz aletlerle dolu bir laboratuvarında, beyaz önlükle giymiş iki adam, ekranda görünmeyen bir kalemın soldan sağa çizdiği bir çizgiyi izlemekteler. Ekranın sonuna gelince 1 mm aşağı kayan uç, yazma işine bu kez sağdan sola devam etmektedir. Bu iş bütün bir ekran doluncaya kadar sürer gider.

Düz yüzeydeki resim, bir mühendisin çizdiği dalgalı bir tarlanın topografik haritasını andırmaktadır. Derken, adamlardan biri heyecanla, bu bölgedeki bir çıkıntıyı kurşunkalemle işaret eder: "İşte burada, bu bir atomdur".

Laboratuvardaki iki adam, bu buluşu dört yıl önce geliştiren Fizik bilgileri Gerd Binnig (İsviçre) ve Heinrich Rohrer (Almanya)'dır.

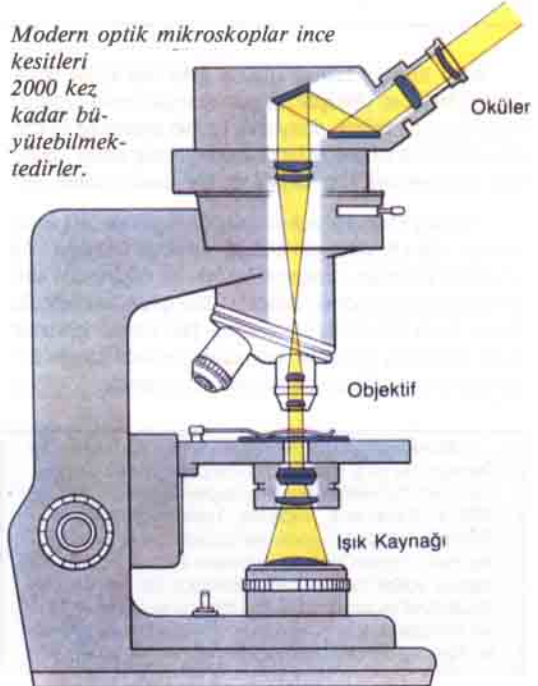
Fizik bilgileri Binnig ve Rohrer, silikon bir tabakanın üç boyutlu yüzeyinin görüntüsünü bir RTM mikroskobundan elde etmişlerdir. İki fizikçi bu aleti, 1983 yılında birlikte geliştirip meydana getirdiler ve Aralık 1986 yılında Stockholm'de Nobel Fizik ödülüne hak kazandılar. Buldukları RTM, bugüne kadar bulunan mikroskopların en modernini ve en fazla işe yarayanıdır. Bu gelişme ise 700 yıldır süregelen araştırmaların doruk noktasıdır.

13. yüzyılda İngiliz rahip Francis Bacon, gözlük mercekleri yapmayı başarmıştı. Kısa bir süre sonra, başparmak büyüklüğündeki metal bir boruya bağlı bir mercek taşımacı moda olmuştu. Bu merceklerle "pire gözü" deniliyordu. Ne işe ya-

radiğini adından anlamak hiç de zor olmasa gerek.

1590 yılında Hollandalı gözlükçü Zacharias Janssen, rastlantı sonucu iki merceği arka arkaya tutar ve büyük bir hayretle, herşeyin iki misli büyük gözüktüğünü farkeder. Bu durum onu oldukça eğlendirir. Belli ki, ne kadar önemli bir buluş yaptığının farkında değildir.

*Modern optik mikroskoplar ince kesitleri 2000 kez kadar büyütebilirler.*



Mikroskobu bilimsel araştırmalar için kullanan ilk kişi Galileo Galilei (1564-1642) olmuştur. Bir boru ve bir mercekten bir mikroskop yapıp, bir böceğin karmaşık yapılı gözünü incelemiştir. Galilei, uzakta bulunan nesneleri görmek için kullandığı, ancak mikroskoptan başka birşey olmayan dürbünü, gökyüzünü ve yıldızları seyretmek ve incelemek amacıyla da kullanan ilk kişidir.

Mikroskobun gerçeğ işlevini ise, ancak 1670 yılında, Hollandalı amatör araştırmacı Anthony van Leeuwenhoek keşfemiştir. Leeuwenhoek elmas tozuyla, bilye yuvarlağına benzer bir mercek yapmış, bunu delidiği metal bir levhanın oyuna yerleştirmiştir. Levhanın arkasında, bir metal çubuk ve yivlerden oluşan bir düzen kurulmuştu. Leeuwenhoek, çubuğun ucuna incelemek istediği şeyi, örneğin bir pileyi yerleştirmekte, çubuğu pileyle birlikte döndürdüğünde, hayvan merceğin odak noktasına gelmekte ve 300 kez büyütölmüş olarak görölebilmekteydi.

Leeuwenhoek, yengeç, inek ve başka hayvanların gözlerini, bit ve karıncaların yumurtalarını inceledi, balıkların kuyruk yüzgeçlerini ve daha birçok nesneyi araştırdı. Alyuvarları ve kas liflerindeki enine çizgileri, kıl kalınlığındaki yüzlerce sinir lifini keşfetti. Gölden aldığı bir damlayı mikroskobunda incelediğinde, çeşitli şekil ve büyüklükteki hayvancıkları, tek hücrelleri, kaynaşan canlıları farkettti.

Van Leeuwenhoek, hassas çalışması, ilgi ve hayranlığıyla, basit mikroskobu bilimin hizmetine sunan kişidir. Bu buluşla, birçok hastalığın önlenmesi sağlanmış, dünyamızdaki birçok varlığın yapılarının öğrenilmesi mümkün olmuştur.

Leeuwenhoek'in mikroskobu kuşkusuz müekmel bir

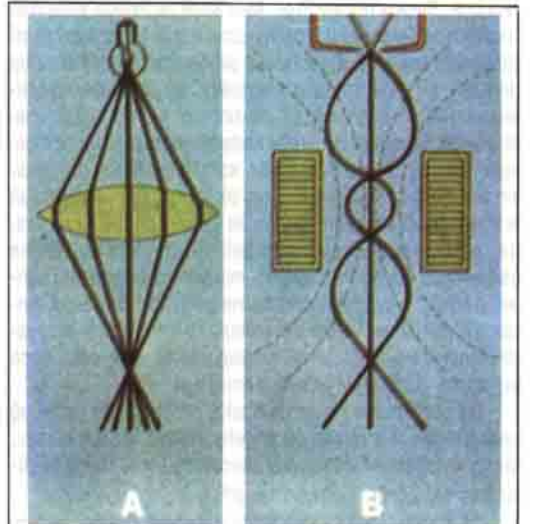


*Optik mikroskopta sadece 100 kez büyütölmüş mayıs böceği.*

buluştu. Ancak bilim adamları için bu alet yetersiz kalıyordu. Bu nedenle, kısa bir süre sonra, tek mercekli basit mikroskoptan, birçok merceğin bir tüp içerisine farklı konum ve açılardan yerleştirilmesiyle oluşan kompleks mikroskobun kullanılmasına geçilmiştir.

Leeuwenhoek'ten sonra bir bilim adamı, ışık mikroskobunu keşfetti. Burada ışık, alttan bir ayna veya bir lamba ile çok ince bir camdan, incelenecek nesneye gönderilir. Saydam olmayan nesne, ikinci bir nesne aracılığıyla aydınlatılır. Işık buradan, tüp ve mercekler üzerinden gözlemcinin gözüne yansıtılır ve nesne yüzeyinin büyütölmüş bir görüntüsü oluşur.

Işıkla işleyen bütün bu mikroskoplarda, optik veya ışık mik-



*Büyütme, optik mikroskopta (A) ışık ışınlarının mercekler; elektron mikroskopta (B) ise elektron ışınlarının manyetik alanlar tarafından kırılmasıyla sağlanır.*

*Optik mikroskopta oldukça büyütölmüş bir kuş tüyü.*



180 kez büyütülmüş kükürt kristali. 420 kez büyütülmüş naylon iplik ve elma kabuğu.

roskobu olarak adlandırılır. Bu mikroskoplar 2000 defa büyütülebilmektedirler; böylece bugün için Fizik kuralları dahilindeki maksimal büyütmeye ulaşılmıştır.

Bilindiği üzere ışık, dalgalar halinde yayılır. Suda olduğu gibi, ışık yayılımında da bir dalga yüksekliğinden diğerine olan uzaklıklar uzayıp kısalabilmekte, buna da dalga boyu değişimleri denilmektedir.

Işık dalgalarının dalga boyları 4-8/10.000 mm arasında değişmektedir. Ancak, optik mikroskopta incelemek istediğimiz nesnenin boyu ışığın dalga boyundan daha kısaysa ışık mikroskobuyla nesneyi incelemek mümkün olmayacaktır.

Fizik bilimi tarafından konulmuş bu sınırı aşan, Alman fizikçi Ernst August Friedrich Ruska olmuştur. Bu aşamayı yaptığı mikroskoba ilkin "süper mikroskop" adını vermiştir. Ruska, Binnig ve Rohrer ile birlikte üçüncü kişi olarak Stockholm'da 1986 Nobel Fizik Ödülünü almıştır.

Ruska 1931 yılında Berlin Teknik Yüksek Okulu'nda öğrenciydi. Burada hocası Prof. Max Knoll ile birlikte yıldırımın transformatör ve elektrik mekanizma üzerinde yaptığı hasarı araştırmaktaydı. Knoll ve Ruska şimdi elektron mikroskobu diye adlandırdığımız süper mikroskop düşüncesine tesadüfen vardılar. Aslında, düşen yıldırımların verdiği hasarı analiz edecek ve mümkün olduğu kadar engel olacak bir alet geliştirmek istiyorlardı. Bu amaçla, kompleks bir alet geliştirdiler: Elektronlar, elektrikle ısıtılmış bir telden, iki manyetik alan aracılığıyla 50 cm uzunluğunda bir boruya gönderilir ve orada, parlayan noktacıklar olarak belirledikleri fosfor levhalarına çarparlar. Daha o zamanlardan, manyetik alanların elektronları yansıttığı veya bir demet haline getirdiği biliniyordu. Ancak ışık ışınlarının yerine elektronun, merceğe yerine manyetik alanın kullanıldığı bir mikroskop yapma fikri, daha önce hiç kimse tarafından ortaya atılmamıştı.

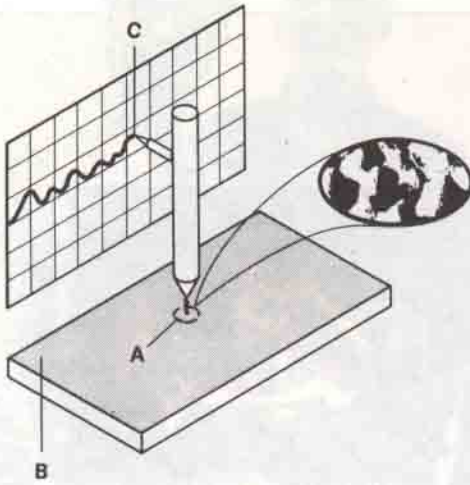
Bu araştırmalar sırasında Ruska, borulara ince bir tel ağı yerleştirir ve elektronları bu engelle yakalar. Ancak bu kez, fosfor levhalardaki parlayan noktacıklar yerine, 16 kat büyütülmüş ağı görür. Değişen neydi?

Elektronlar ince bir nesneden geçerken, birçoğunun rotası değişir ve çeşitli yönlere dağılırlar. Dağılıma olayı, nesnenin o noktasındaki yoğunluğa bağlıdır; nesnenin yoğunluğu arttıkça, dağılıma olayı da o kadar şiddetli olur. Arta kalan elektronların da bir merceğten geçen ışık ışınları gibi kolayca yönü değiştirilmekte, ancak yine de boruların alt kısmında fosfor levhaya isabet etmektedir; nesne yoğunluğu arttıkça, levhaya düşen elektronların sayısı azalmakta; böyle-



İki ekranlı RTM: "Bit" olarak adlandırılan RTM'nin tarama ucu birkaç atom çapındaki alanları araştırır. Aşağıdaki altın tabakasının yüzeyi (üstteki resim) ve silisyum (altta) görülmektedir. Tümsekler atomları, girintiler ise kristallere bağlanan atomları göstermektedir.





RTM'nin çalışma sistemi: Tarama ucu (A), nesne (B) yüzeyine sabit aralıklarla seyretmekte; yatay hareketleri ise bir bilgisayar (C) tarafından kaydedilmektedir.

ce, levhada nesnenin büyütülmüş negatif bir resmi oluşmaktadır.

Ruska ile Knoll, yaptıkları buluşun önemini hemen kavramışlardı. Bu deney düzenini, derhal gerçek bir elektron mikroskobuna çevirdiler: Başarmışlardı, alet çalışıyordu.

Gerçi aletin önceleri büyütme gücü oldukça düşüktü. Ancak daha sonra aleti 160 kez büyütme kapasitesine çıkardılar. Aslında bu bile ışık mikroskoplarının yapabildiğinin altındaydı. Ancak bu iki bilgin zaferlerinden emindiler. Hesaplar, aletleriyle 100.000 defa büyütme yapılabileceğini gösteriyordu. Buluşlarını Berlin Patent Bürosu'na bildirdiler.

Elektron mikroskobu, çağımızın çığır açan buluşlarından biriydi. Aleti bulanlardan biri olan Nobel ödülü sahibi Ruska, önce bunu pek farketmedi. Knoll ve beraberinde çalışanlardan bazıları sanayiye geçtiler. O zamanlar 100 Marklık bir bursla yaşamını sürdüren Ruska ise doktorasını tamamlamak için yüksek okulda kaldı.

Knoll ve Ruska başlangıçta buluşlarını açıklamak istemediler. Ruska kendilerine inanılmayacağı endişesini taşıyordu. İki araştırmacı aletlerinin çeşitli nedenlerden dolayı çalışmayacağı fikrine kapılmışlardı. Belki de, bilimin oldukça eski bir rüyasının, bir doktora öğrencisinin buluşuyla gerçekleşmiş olmasını akılları almıyordu: Bir hücrenin içini görmek ve hatta atomun yapısını inceleyip ilişkileri anlayabilmek bu kadar kolay mıydı?

Ancak Berlin'de Charite isimli ünlü bir kliniğin yöneticisi yeni aletin değerinin bilincindeydi. Yönetici, artık kendisine bir iş bulmuş olan Ruska'ya bu konuda olumlu bir rapor yazmıştı. Nihayet sanayi de işin ciddiyetini anlamıştı. Siemens firması, Ruska ve birkaç araştırmacı arkadaşına, Berlin'deki kapatılmış bir ekmek fabrikasında laboratuvar kurdu. Knoll ise bu gelişmeleri görece kadar yaşamadı. İki yıl sonra ilk elektron mikroskobu seri üretime hazırıldı.

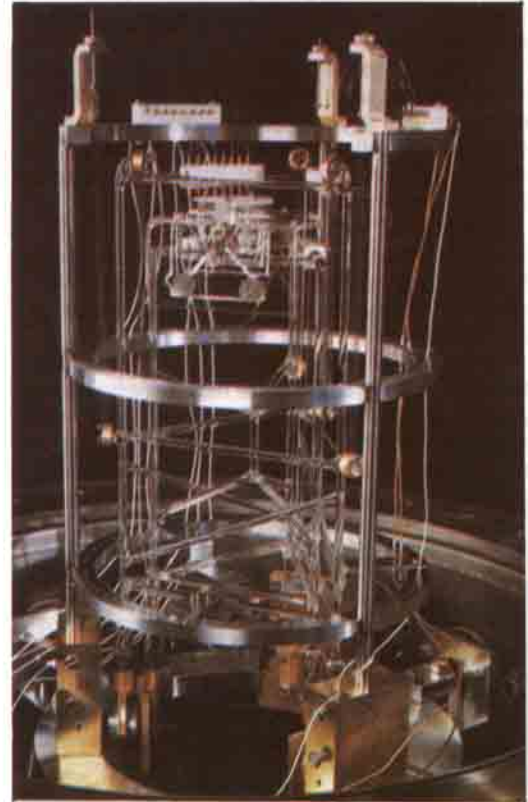
Bugün artık, Ruska'nın buluşu olmaksızın sanayi, tıp ve diğer bilim dallarının çalışmalarını sürdürmesi düşünülemez. Birçok yeni buluşun gerçekleşmesi ise yine bu aletle olmuştur.

Polis bile bu aletten büyük ölçüde yararlanmaktadır. Bir seferinde Münihli bir sürücüyü ait, kaza geçirmiş bir arabada kıl bulunmuş, bu kılın ezdiği bir geyiğe ait olduğunu iddia eden sürücü, hakkında soruşturma açılmıştır. Polis, Ruska mikroskobuyla yaptığı incelemede, bunun bir insana ait olduğunu tespit etmiştir. Bu sayede ağır bir trafik suçu ortaya çıkarılmıştır.

Yine başka bir trafik kazasında, bir arabayla çarpışan motorsikletli, gece seyrederken lambalarının yanıyor olduğunu iddia etmiştir. Polis, lambada elektron mikroskobuyla yaptığı incelemede, lambanın çok önceden bozulmuş olduğunu tespit eder. Dolayısıyla lambanın kaza sırasında yanıyor olma olasılığı ortadan kalkar ve araba sürücüsü cezalandırılmaktan kurtulur. Kuşkusuz, bu tür incelemeler ancak elektron mikroskobunun geliştirilmesinden sonra mümkün olmuştur.

Ruska'nın ilk modeli, ancak araştırılacak nesnenin çok ince kesitlerini ışıklandırabilen optik mikroskop idi. Elektron mikroskobu REM daha sonra geliştirildi. Bununla artık nesnenin yüzeyi de araştırılabiliyordu. REM, nihayet, büyütme ve aydınlatma kalmayan aynı zamanda nesne hakkında % 100 kesin kimyevi analizleri de ortaya koyan, daha mükemmel bir alet haline getirildi.

Birkaç yıl önce Amerikalılar ARM mikroskobunu bulunca, elektron mikroskobundaki gelişmeler doruk noktasına ulaştı.



Binnig ve Rohrer tarafından yapılan dünyanın en güçlü ve kullanışlı mikroskobunun seri üretiminde şimdilik güçlükler var.

miş bulunuyordu. Atomik yapıların çözümü anlamına gelen, ARM (Atomic Resolution Microscope) 3 milyon dolar değerinde, 10 metre yüksekliğinde 6 bilgisayar tarafından kumanda edilen dev bir araçtır. Bu araçla yapılan kayıtlarda en hafif bir sarsıntı resimlerin net olmasını engeller, yani bilimsel bir değeri kalmaz. Bu yüzden araç, 100 ton ağırlığında bir beton yığınının üzerinde, on adet havali amortisör tarafından zaptedilmektedir.

ARM, araştırılan nesneyi 500.000 defa büyütebilmekte, 1/10.000.000 mm'den daha küçük, yani atomdan da daha küçük maddeleri görünür hale getirmektedir. Acaba bu ulaşılabilecek son nokta mıdır?

Şimdi tekrar Rüşchlikon'daki laboratuvara, başta sözünü ettiğimiz, fizikçi Binnig ve Rohrer'e ve RTM'lerine dönelim.

Bu iki bilgin 1979 yılında metal yüzeylerdeki paslanmayı incelemektedirler. Paslanma olayını yeterli derecede büyütecek bir alet olmadığı için, henüz bu alanla ilgilenmek mümkün olmamıştı. Elektron mikroskobu bu iş için yeterli değildi. Ayrıca bu aletin güçlü ışınlarının, araştırılacak nesneyi tahrip etme tehlikesi vardı. Bu da yeni bir aletin bulunması gerekliliğini ortaya koymaktaydı.

Binnig ve Rohrer bu konuda düşünürken "Tünel olayı" akıllarına gelir. Her elektrik ileten madde, çok ince bir elektron bulutuyla sarılmıştır. Gerçi bu minik parçacıklar nesne de sabit olan atomlara bağlanmışlardır; ancak, yüzeye bir tür tünel kazmışlar ve orada Binnig'in ifadesiyle "çok ince bir sabah sisi" oluşturmuşlardır.

İki yüzey birbirine çok az, bir Angstroma ( $1\text{Å}=1/10.000.000\text{ mm}$ ) kadar yaklaşırlarsa, iki elektron bulutu teması geçer. Her iki yüzeye gerilim verildiğinde, zayıf elektriksel bir akım olan tünel akımı, bir yüzeyden diğer yüzeye, aralarında temas olmaksızın geçer. Bu yüzeyler birbirine yaklaştıkça, akım o oranda güçlenir.

Bu iki fizikçi "bit" diye adlandırdıkları, araştırılan nesnenin üst yüzeyinin çok yakınında hareket edebilen, üç ayaklı küçük bir masa yaparlar. Bu aletin üç ayağı, değişmeli olarak nesne tarafından tutulduğu bir sırada, üçüncü ayak öne doğru hareket eder.

Artık "tünel olayı" devreye girer; "bit" aleti nesneye 20A kadar yaklaştığında, alete ve nesneye gerilim verildiği andan itibaren tünel cereyanı akmaya başlar. Herbir A kadar yaklaştığında tünelin gerilimi 10 katına çıkar. Binnig ve Rohrer, aleti çok kısa adımlarla (mm'de 1 milyon adım) nesne-



*Eğer bir pire RTM'deki 10 milyon kez büyütülmüş olarak görüldüğü kadar büyük olsaydı, bir ayak darbesiyle New York'u yerle bir ederdi.*



*Binnig (sağda) ve Rohrer, Nobel ödülü alacakları RTM'nin mini modeli ile görülmüyorlar*

nin üzerinden yürüttüklerinde, yüzeyin her engebesinin tünel mikroskobunda bir değişiklik olarak belirmesi gerektiğini düşünmekteydiler. Aksi takdirde bir dağ ile çarpışacağı düşüncesiyle, aletlerinin tam yatay olarak hareket etmemesi gerekiyordu. Oysa, aletin yüzeye sabit bir aralıkta kalması, dolayısıyla altındaki nesne eğrisini takip etmesi zorunluuydu.

RTM'de bu işi, düzenleyici bir devre ve bir bilgisayar yapmaktadır. "Bit" bir yüksekliğe yaklaştığında tünel akımı yükselir; o zaman bir bilgisayar, akım tekrar normal değerini alacak şekilde aleti yükseltir. Bu rota değişimi, başka bir bilgisayar tarafından bir çizim makinasına aktarılır. Böylece başta sözünü ettiğimiz, nesneye ait "harita" meydana gelir.

RTM ile yapılan ilk başarılı deneyler, yalnızca geceleri yapılmaktaydı. Araştırmacıların iş arkadaşlarının koridorlarda yürümeleri dahi bu çok hassas düzeni bozmaya yetmişti. Oysa şimdi artık RTM ile gün boyunca da çalışmak mümkün. Çünkü Binnig ve Rohrer bütün bu düzeneği başka hiçbir şeyle bağlantılı olmayacak şekilde manyetik olarak odaya astılar. Böylece depremden dahi etkilenmez hale gelmiş oldu.

Bu aletle ulaşılabilen büyüme imkânı, en modern elektron mikroskoplardan 100 defa daha fazladır. Nesnelere artık 10.000.000 defa büyütülebilmektedir. Örneğin, bir pirenin büyüklüğü, (o derece büyük bir RTM olsa) 100 km civarında olurdu.

Uzmanlar, Binnig ve Rohrer'in laboratuvar aletlerini, seri üretimi yapılabilecek düzeye getirmeye çalışıyorlar. Bu, oldukça zor bir iş. Ancak IBM'den lisansını alan Leitz firması yetkilileri, "Önümüzde dikenli bir yol var, ama bu yolu aşacağımızdan eminiz" demektedirler.

Yeni buluşlarla Fizik, Metalurji ve Kimya için ortaya çıkan olanaklar müthiş; tek tek atomları ve hatta renklerini görmek mümkün olacak, virüslerin sırları çözülecek, genler bugünkünden daha fazla incelenebilecek, mikro elektronikte daha küçük ve daha yetenekli "chip"ler yapılabilecek, ayrıca yüzeyleri gerçekten kaygan ve tam anlamıyla düz olan makina parçaları arasındaki sürtünmeyi minimum düzeye düşürecek metaller imal edilebilecek.

**Hobby'den çev.: Ahmet KARAMERCAN**

## HAZİRAN SAYISINDAKİ ÖDÜLLÜ SORULARIN YANITLARI

### MATEMATİK:

1. Sözkonusu normalerin kesim noktası  $C$ , büyük eksen kesme noktaları  $A'$  ve  $B'$  olsun ve  $C$  noktasından büyük eksene çizilen  $\overline{AB'}$ 'yi  $M$ 'de kessin. Bir elipste normalin odaklarla yaptığı açılar eşit olduğundan, açı ortay özelliğini kullanırsak, ( $F$  ve  $F'$  odakları göstermek üzere)

$$\frac{|A'F|}{|AF|} = \frac{|A'F'|}{|AF'|} = \frac{|A'F| + |A'F'|}{|AF| + |AF'|} = \frac{c}{a}$$

$$\frac{|B'F|}{|BF|} = \frac{|B'F'|}{|BF'|} = \frac{|B'F| + |B'F'|}{|BF| + |BF'|} = \frac{c}{a}$$

ve

$$\frac{|AF|}{|A'F|} = \frac{|BF|}{|B'F|} \quad \text{elde ederiz.}$$

Öte yandan Tales teoreminden;

$$\frac{|AM|}{|MC|} = \frac{|AF|}{|A'F|} \quad \text{ve} \quad \frac{|BM|}{|MC|} = \frac{|BF|}{|B'F|}$$

elde edilir ki, eşitliklerin sağ taraflarının eşit olması bize  $|AM| = |BM|$  verir, yani  $M$  noktası  $\overline{AB'}$ 'nin orta noktasıdır.

2. Çözümün olduğu  $A$  değerleri  $f(x) = x^x$  fonksiyonunun değer kümesinden oluşur. Fonksiyon sürekli ve  $\lim_{x \rightarrow \infty} x^x = +\infty$  olduğundan

$f(x)$  fonksiyonunun  $(0, \infty)$  aralığındaki minimum (en küçük) değeri  $m$  ise, istenilen çözüm  $A \in [m, \infty)$  olur. Türev fonksiyonu  $f'(x) = x^x (1 + \ln x)$ 'in tek kökü  $x = 1/e$ 'dir ve  $x < 1/e$  için  $f'(x) < 0$ ,  $x > 1/e$  için  $f'(x) > 0$  olduğundan  $f(x)$  fonksiyonu  $1/e$ 'nin solunda azalan, sağında artandır, yani  $x = 1/e$  noktasında  $f(x)$ 'in bir lokal minimum değeri vardır. Bu değer  $m_1 = f(1/e) = 1/e^{1/e}$  olur. Ancak  $x = 0$  uç noktasındaki limit değeri,  $\lim_{x \rightarrow 0^+} x^x = m_2$ ,  $m_1$ 'den küçük

olabileceğinden kontrol edilmesi gerekir,  $y = x^x$ ,  $\ln y = x \ln x$  koyup  $L'$ Hopital kuralını kullanırsak  $\lim_{x \rightarrow 0^+} x^x = 1$  buluruz, yani

$m_2 > m_1$  ve  $m = m_1 = 1/e^{1/e}$  bulunur. İstenen çözüm kümesi  $A \in [1/e^{1/e}, \infty)$  olur.

### FİZİK:

1. Uçtaki topu sağa doğru  $x_2$  kadar çekelim. Bu arada, ortadaki top sağa doğru  $x_1$  kadar gelmiş olsun. Uçtaki topun üzerindeki kuvvet  $-k(x_2 - x_1)$ , ortadaki topta ise  $-kx_1 + k(x_2 - x_1)$  olacaktır. Hareket denklemleri,  $md^2x_2/dt^2 = -k(x_2 - x_1)$ ,  $md^2x_1/dt^2 = -k(2x_1 - x_2)$  olur.  $x_1 = A \cos \omega t$ ,  $x_2 = B \cos \omega t$  olsun. Hareket denklemlerine konulursa,  $m\omega^2 B = k(B - A)$ ,  $m\omega^2 A = k(2A - B)$  çıkar. Taraf tarafa bölünürse,  $\omega^4 - (3k/m)\omega^2 + (k/m)^2 = 0$  çıkar. Buradan  $\omega$ 'nın pozitif kökleri,

$$\omega_1 = (\sqrt{5} + 1) (k/m)^{1/2} / 2$$

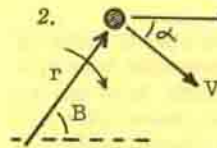
ve

$$\omega_2 = (\sqrt{5} - 1) (k/m)^{1/2} / 2$$

olarak bulunur.

2. Çubuğun içindeki her serbest elektron üzerinde  $F = e\omega B \sin \alpha = e\omega r B \cos \theta$  kadar bir magnetik kuvvet oluşacak ve

elektronlar bir uca doğru bu kuvvetle harekete geçeceklerdir. Pozitif yüklerden uzaklaşma sonucu bir elektrik alan doğacak ve elektronlar  $eE$  kuvvetiyle geri çekilecektir. Bu iki kuvvet dengelenince elektron hareketi duracak ve böylece çubuk boyunca  $E = \omega r B \cos \theta$  kadar bir elektrik alan oluşacaktır. Dolayısıyla iki uç arasında  $\omega r B b \cos \theta = \omega r B b \cos \omega t$  kadar bir potansiyel farkı doğacaktır.



### HAZİRAN AYI ÖDÜLLÜ SORULARINI DOĞRU CEVAPLAYANLAR

#### MATEMATİK:

Zekeriya GÜNEY, Fazilet BARIŞ, Ali TORUN, Onur TOKER (İZMİR) - Necmi Aydın ÜNVERDİ, Özgür AKKUYU (İSTANBUL) - Gürhan YILMAZ (TRABZON)

#### FİZİK

Onur TOKER (İzmir), Akif BAYSAL (Balıkesir), Gürhan YILMAZ (Trabzon)