

# Kuantum Elektronığıne Giriş

Yazan :  
Erol GÜKAKAK  
EUek. Müh.

## ÖZET :

Madde ve iç yapısına ait araştırmalar ilerledikçe insanoğlu tabiatta mevcut kuvvetlere daha çok hakim olmakta ve onları daha iyi kullanabilmektedir. Bu yazıda, günümüzde geliştirilmiş olan MASER, LASER v.b gibi, modern bilim ve teknolojinin verilerini anlayabilmek için gerekli olan temel bilgi ve kavramlar, öz ve anlaşılır bir şekilde verilecektir. Gerçekte, bu konunun salt teorik fizik ve matematik konusu olduğu unutulmamalıdır. Bu yazı, konu ile yakından ilgisi olanlardan ziyade, bu konuyu tanımak isteyenler için yazılmıştır.\*

## SUMMARY :

in this paper the necessary background for understanding MASER, LASER and such kind of devices is given in an elementary level.

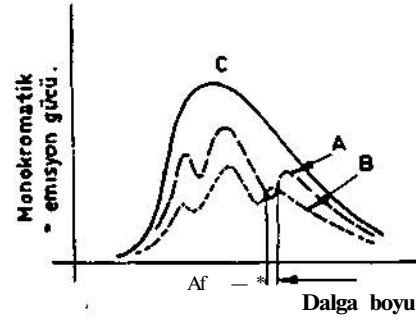
This paper is particularly for those, who are interested in these modern subjects, but have not been equipped with the required background.

**GİRİŞ :** Bütün ıgık kaynakları, řu veya bu şekilde enerjilenmiş madde veya maddelerden meydana gelirler. Kaynağı teşkil eden maddenin özelliklerine ve enerjilenmeye sebep olan etkenlere bağlı olarak, neşredilen radyasyon da çeşitlere ayrılır. Radyasyonun bütün çeşitleri, birbirlerinden sadece frekanslarının farklı olmaları ile ayrılmakta olup, bunların kapladıkları frekans bandı ve dalga boyları (tablo: 1) de gösterilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi, radyo dalgaları ile, ışığın orijini bir olup, hepsi, farklı frekanslarda elektromanyetik dalgalardır.

**TERMAL RADYASYON :** Cisimlerin radyasyon neşretmeleri için enerjilenmelerinin gerektiği yukarıda belirtildi. Bu enerji cisimlere ısı olarak tatbik edilebilir. Gerçekten, ısıtılan bir demir parçası önce kırmızı ve ısıtmaya devam edildikçe de akkor hale gelir. Bu gözlem, sıcaklık derecesi ile radyasyon arasında bir bağıntı bulunduğunu göstermektedir.

Sabit bir sıcaklıkta tutulan herhangi bir A maddesinin neşrettiği radyasyonun enerjisi, bir spektrometre ile ölçülecek olursa (şekil: 1) deki değişim görülür. Grafikte ordinat «monokromatik emisyon gücü» olarak alınmıştır ki bunu; Af frekans bandı içinde, birim. zamanda birim yüzeyden neşredilen enerji miktarı olarak tanımlayabiliriz. Aynı sıcaklık derecesinde bulunan bir B maddesinin monokromatik emisyon gücü, yine aynı grafikte görülmektedir.

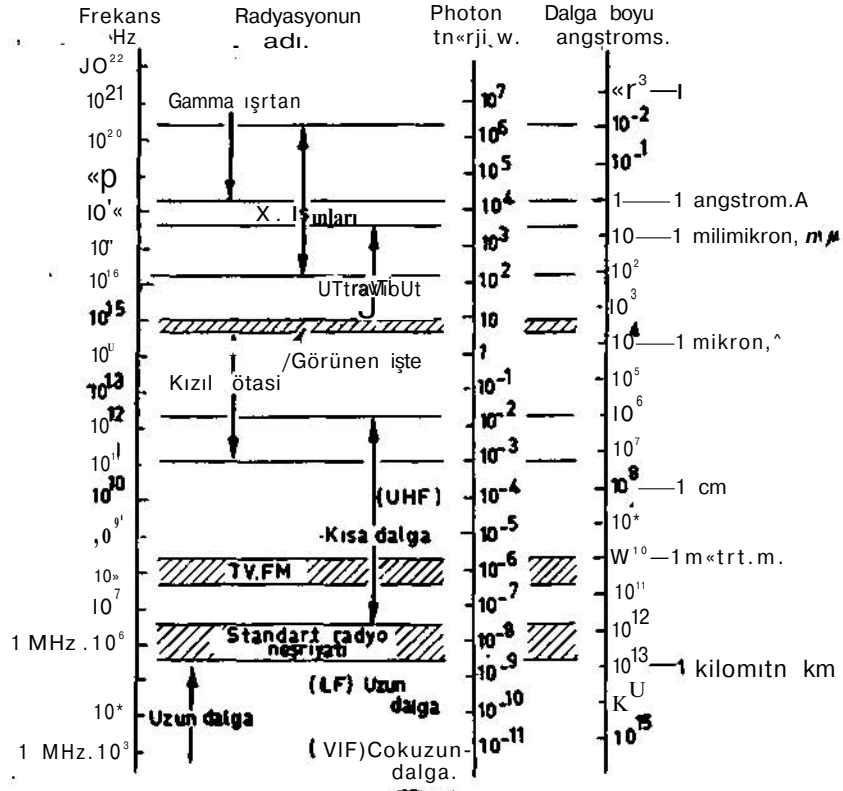
Buradan çıkan sonuca göre, aynı sıcaklık derecelerinde bulunan A ve B maddelerinden, A maddesi, &f frekans bandı dışındaki bütün frekanslarda, daha güçlü bir emisyon sahiptir. Tabiatta mevcut pek çok madde için yapılan bu ölçmeler farklı değişimler göstermiş, fakat hepsinin değişim eğrileri C eğrisinin (bak şekil: 1) altında kalmıştır.



Şekil:1.

İşin bu noktasında, sıcaklık dereceleri mutlak sıfırdan ( $-273^{10}C.$ ) yüksek olan bütün cisimlerin radyasyona sebep olacakları hatırlanmalıdır. Durum böyle olunca akla gelecek ilk soru, neden bütün cisimlerin, enerjilerini zamanla kaybedip soğumadıkları olacaktır. Fakat unutulmamalıdır ki çevrede bulunan bütün daimler aynı şekilde radyasyon neşretmekte ve neşredilen radyasyona maruz kalmaktadırlar. Cisimler, neşrettikleri radyasyon ile kaybettikleri enerjiyi, maruz kaldıkları radyasyon ile kazanmakta ve dengeli duruma ulaşmaktadırlar.

Kapalı bir kutu içine ince ipliklerle asılmış olan küçük zerreçikler düşünelim. Kutu ısıtılırsa (enerjilenirse), bir süre sonra kutu içinde asılı olan zerreciklerin sıcaklık dereceleri de yükselcektir. Deney, kutu içindeki hava boşaltılıp tekrarlanırsa (ince ipliklerin ısı geçirgenliklerini ihmal edelim.) aynı sonucu verir. Burada, kutu içindeki zerrecikler, kutu iç yüzeyinin neşrettiği radyasyona maruz kalmakta ve bu enerjiyi absorbe ettikleri için, sıcaklık dereceleri yükselmektedir. Ancak, zerreciklerin sıcaklık derecesi kutunun sıcaklık derecesine yaklaştıkça,

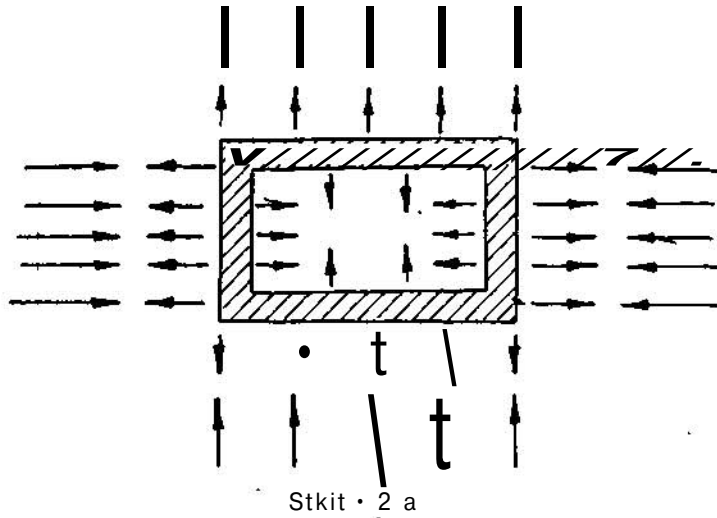


TABLO 1

zerrecikler tarafından neşredilen radyasyon enerjisinin miktarı, zerrecikler tarafından absorbe edilen radyasyon enerjisinin miktarına yaklaşmakta ve dengeli duruma ulaşan sistemde eşit olmaktadır. O halde; en iyi radyasyon neşreden cisimler, en iyi radyasyon absorbe eden cisimlerdir. Fakat hiçbir yüzey maruz kaldığı radyasyon enerjisinden fazlasını absorbe ede-

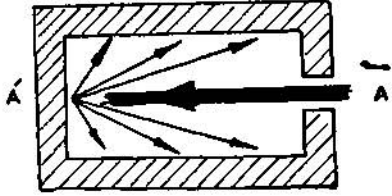
mez ve en iyi neşredici, maruz kaldığı radyasyonun hepsini absorbe edendir.

**İDEAL RADYASYON KAYNAĞI :** Mat yüzeyli bir kutu üzerinde açılan küçük bir delik, düşünülebilecek en iyi absorbe edici olarak tanımlanabilir. Kutuyu soğuk (normal oda sıcaklığı) ye dengeli durumda düşünelim (bak, şekil 2. a.): Bu durumda kutu dış yüzeyince neşredi-

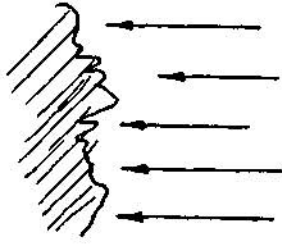


len radyasyon enerjisi, kutu dış yüzeyinin maruz kalarak absorbe ettiği radyasyon enerjisine eşit olacaktır. Kutu iç yüzeyi için de aynı hüküm geçerlidir.

Kutunun bir yüzüne küçük bir delik (bak, şekil 2. b.) açtığımızı farzedelim. Bu delikten içeri giren bir ışın demeti, A' noktasına çarpacaktır. Dalga boyu yaklaşık olarak 0.3 - 0.6 mikron (1 mikron  $e= 10^{-6}m$ ) olan görünür ışık bandı için, kutu yüzeyi düzgün bir yüz sayılmaz (bak, şekil 2. c). Dolayısıyla, A' noktasın-



Sekil : 2.b.



Şekil: 2 .c.

da yansımaya uğrayacak olan ışın demeti, kutu içinde her yönde dağılacaktır. Dağılma yoğunluğunu her yönde sabit kabul edersek, delikten çıkan ışık, delikten giren ışığın çok küçük bir kesri olacaktır. Bunu, aşağıdaki bağıntı ile gösterebiliriz.

$$I_2 = I_1 \frac{\Delta A}{2\pi r^2} \quad (D)$$

$I_1$  : delikten giren ışık

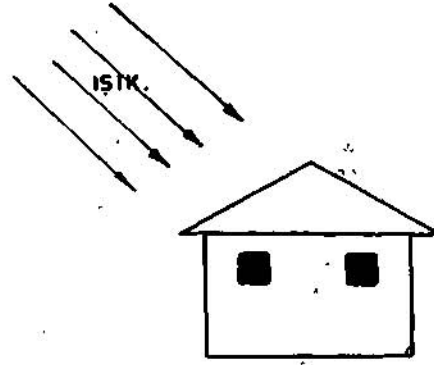
$I_2$  : delikten çıkan ışık

$\Delta A$  : delik alanı

$r$  : A A' uzunluğu

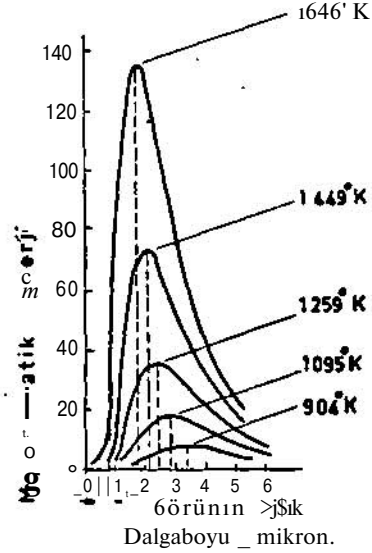
yukarıdan beri anlatılan olaya, güneşin aydınlattığı bir evde, pencerelerin karanlık görülmesi örnek olarak verilebilir (bak, şekil: 3).

Şimdi, kutuyu ısıttığımızı düşünelim: Isıtılan kutu, belirli bir sıcaklık derecesinden sonra, görülen ışık frekans bandında radyasyona başlayacaktır (bak, şekil 4). Bir önceki paragrafta T-kutu yüzeyinde en iyi absorbe edici yerin A deliği olduğunu izah etmiştik. Buna göre, A deliği, ay-



Şekil:3.

nı zamanda en iyi radyasyon neşredebilme özelliğine de sahiptir. Böyle bir düzenin monokromatik emisyon gücü (şekil 1.) de c eğrisi ile gösterilmiştir.



Şekil:4.

ARAŞTIRMALARIN BAŞLAMASI : Cisimlerin, bünyelerindeki enerjiden dolayı neşrettikleri elektromanyetik radyasyon, salt fizik açısından, fizikçilerin ve pratikte kullanış yerleri olmasından dolayı da mühendislerin ilgisini çekmektedir. Araştırmaların ilk devresinde fizikçiler, ısının sebep olduğu radyasyonun enerjisinin ısı derecesi ile olan bağıntısını bulmaya çalışmışlardır.

Fizikçiler, probleme kapalı bir kutu içindeki elektromanyetik radyasyonu ele alarak başlamışlardır. Böyle bir kutu, pek çok osilasyon modları olan bir rezonatördür. Herbir osilasyon modunun frekansı kutunun boyutları ile belirlenmiştir. Kutu içindeki elektromanyetik alanın belirli bir noktadaki değeri, kutu içinde belirli modlarda bulunan elektrik ve manyetik alanla-

rın, o noktadaki vektörel toplamlarına eşittir. Her bir osilasyon modunun ortalama enerjisi sıcaklık derecesinin bir fonksiyonudur ve belirli bir frekans bandı için, resonatörün kaç modu olacağını hesaplamak mümkündür. Şu halde; eğer, verilen her hangi bir sıcaklık derecesinde her bir moddaki ortalama elektromanyetik enerji hesaplanabilirse, belirli bir frekans bandı için, veya bir resonatör içinde ihtiva edilen toplam enerji hesaplanabilir.

**RAYLEIGH - JEANS ÇÖZÜMLEMESİ** ve **KLASİK FİZİK**: Rayleigh ve Jeans, gaz moleküllerinin hangi miktarlardaki kinetik enerjiye ne kadar süre ile sahip olabileceklerine dair Boltzman'ın yapmış olduğu çalışmadan faydalanmışlar ve, elektromanyetik resonator içindeki osilasyon modlarının, ne miktarda enerjiye ne kadar süre ile sahip olabileceklerine ait problemi, Boltzman'ın varmış olduğu sonuç ile bağdaştırmışlardır.

Boltzman dağılım eğrisi (şekil: 5). de görülmektedir. Burada E; bir modda bulunan enerjiyi, k; Boltzman sabitesini ve T; sıcaklık derecesini (kelvin derecesi) göstermektedir. Bu eğriden anlaşılacağı gibi, herhangi bir t anında resonator modlarının büyük çoğunluğu alçak enerji seviyelerinde bulunurlar. Yüksek ve daha yüksek enerji seviyelerinde bulunan modlar gittikçe azalır. Boltzman dağılım eğrisinden bir modun ihtiva ettiği ortalama enerji kT (joule) olarak bulunur ve bu enerji modun frekansına bağımsızdır. Resonatorun mod sayısı sonsuz olduğu için, resonator içinde ihtiva edilen enerji sonsuz olacaktır ki bu neticeyi fizikî olarak kabul etmek imkânsızdır.

**ENERJİNİN DEVAMLILIĞI** ve **PLANCK ÇÖZÜMLEMESİ**: Planck, Rayleigh ve Jeans tarafından klasik fizik kuralları ile varılan «İmkânsız» neticenin sebebini, klâsik fiziğin kendi

sinde aramıştır. Klasik fiziğe göre, herhangi bir osilasyon modu bütün enerji değerlerine sahip olabilir. Planck, çözümlemesine; belirli bir f frekansını haiz bir modun her değerdeki enerjiye sahip olamayacağını, ancak belirli değerlerdeki enerjilere sahip olabileceklerini ileri sürerek başlamıştır. Planck'a göre; frekansı f olan bir mod, hf, 2 hf, 3 hf... nhf... enerjilerini ihtiva edebilir. Buradaki «h» planck sabitesidir (h 6.62x10<sup>-34</sup> Joule-saniye). Planck'ın ileri sürdüğü fikre göre, Boltzman dağılım eğrisi (Şekil: 6) da olduğu gibi olacaktır. Dikkat edilirse, alçak frekanslı modların ihtiva ettikleri ortalama enerji miktarı daha fazla olup frekans yükseldikçe bu enerji sıfıra doğru azalmaktadır. Daha açık bir anlatımla, her bir modun ortalama enerjisi aşağıda olduğu gibi hesaplanabilir:

$$E_t = hf x p_1 + 2hf x p_2 + \dots + nhf x p_n$$

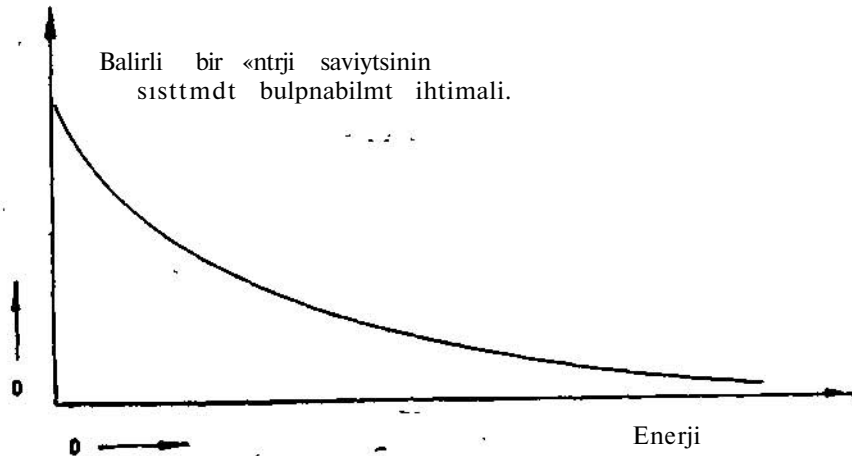
E<sub>t</sub> : toplam enerji

P<sub>n</sub> : modun nhf enerji seviyesinde bulunma ihtimali

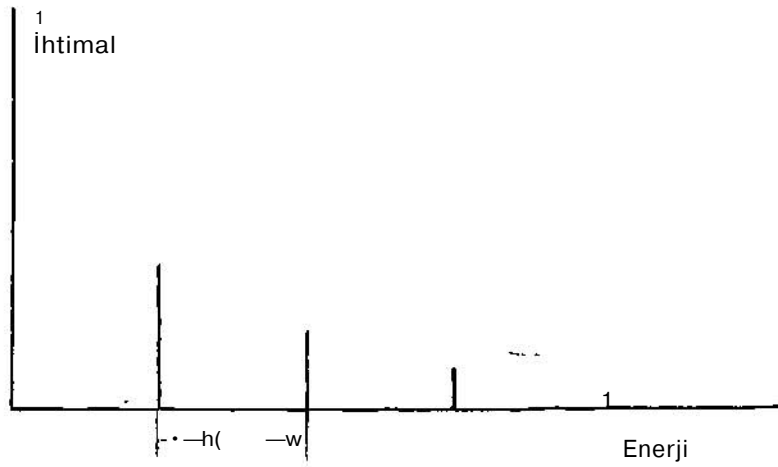
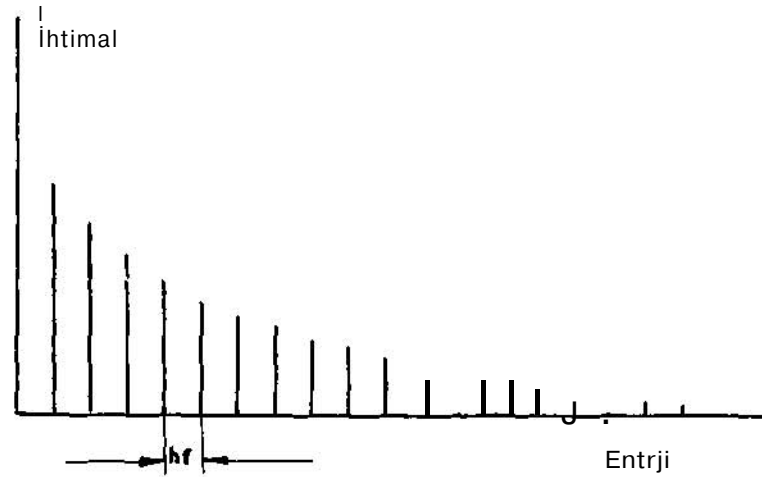
$$E_o = \frac{\sum_{i=1}^n ihf x P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

E<sub>o</sub> : her bir modun ortalama enerjisi

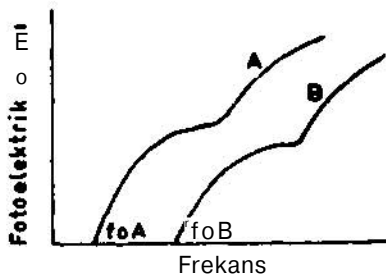
O halde, resonatorun sonsuz sayıda modu olmasına rağmen, yüksek frekanslı modların ihtiva ettiği ortalama enerji miktarı gittikçe azaldığı için, resonator içinde ihtiva edilen toplam enerji sonsuz olmayacak ve belirli bir değere doğru yaklaşacaktır. Planck'ın varmış olduğu sonuç, deneysel neticelerle mükemmel bir uygunluk vermiştir. Böylece Planck; herhangi bir modun haiz olabileceği enerji seviyelerinin, neşredilen radyasyonun frekansının belirli katları ile orantılı olduğunu göstermiştir. Bu enerji paketlerine «kuanta» veya «foton» denilmektedir.



Stkil : 5.



Enerjinin belirli «kuanta» lar halinde neşredilmelerine ait diğer bir örnek foto-elektrik olayıdır. Bazı cisimlerin aydınlatıldıkları zaman elektron fırlattıklarını ve bir elektrik alanı içinde bulunan bu elektronların devreden akım geçmesine sebep olduklarını biliyoruz. Işık şiddetinin ve elektrik akımının sabit tutuldukları böyle bir sistemde, cismi aydınlatan ışının (radyasyonun) frekansını değiştirirsek (şekil: 7.) deki değişim görülmektedir



ŞttMf.7

A ve B cisimlerinin emisyon güçleri, maruz kaldıkları radyasyonun frekansı ile değişmektedir. Belirli bir  $f_0A$  ve  $f_0B$  frekansına kadar olan radyasyon, A ve B cisimlerinden elektron emisyonuna sebep olamamaktadır ve bu frekans de-

ğişik cisimler için değişik değerlerdedir. Radyasyon frekansının, o radyasyonun haiz olduğu enerji ile bağıntısı hatırlanırsa (yani;  $E = hf$ ), A ve B maddelerinin elektron fırlatmaları için belirli bir minimum enerjiye ihtiyaç gösterdikleri neticesi ortaya çıkmaktadır. Bir elektronun serbest hale getirilebilmesi için o cisme tatbik edilmesi gereken minimum enerjiye fotoelektrik iş fonksiyonu (photoelectric work function) denmektedir. Belirli bir frekansa kadar olan radyasyonun enerjisi, belirli bir cismin fotoelektrik iş fonksiyonundan küçük olacağı için, elektron emisyonuna sebep olamamaktadır. Bu izahat 1905 te Albert Einstein tarafından yapılmıştır. (Tablo: 1) de, değişik frekanslardaki radyasyon enerjileri, elektron-volt (ev) olarak gösterilmiştir. Bir elektron-volt;

$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}$  joule olarak tarif edilmiştir.

**SONUÇ :** Bu yazıda, elektromanyetik radyasyonla ilgili deneysel neticeler ve bunların teorik olarak nasıl ele alındıkları incelendi. Elektromanyetik radyasyonun incelenmesinde klâsik fizik kurallarının yetersizliği ve «kuantum» kavramına nasıl geçildiği görüldü. Bilim ve teknolojinin bugünkü seviyesine ulaşabilmesi ancak bu gelişmelerden sonra mümkün olabilmektedir.