

OPTİK SPEKTROSKOPİSİ CİHAZLARI

Elemanlar ve Cihaz Dizaynları

Ref. Işın Kaynakları, Dalga Boyu Seçiciler, Örnek Kapları, Dedektörler

I. Elemanlar

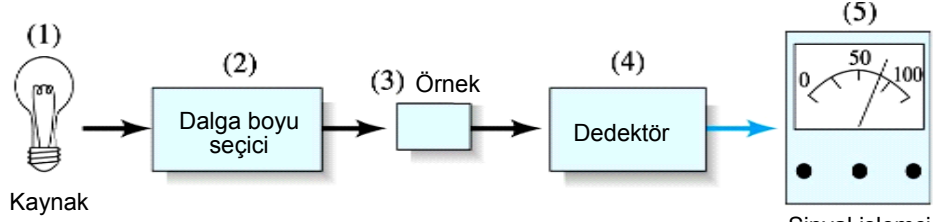
Optik spektroskopisi cihazları ultraviyole (UV), görünür ve infrared (IR) bölgelerde çalışan cihazları kapsar. Spektroskopik yöntemler "emisyon", "absorbsiyon", "flüoresans" veya "saçılma" olaylarına dayanır. Her biri için kullanılan cihazın konfigürasyonunun diğerlerinden farklı olmasına karşın, temel kısımlar birbirine çok benzerlik gösterir. Spektroskopik cihazlarda beş kısım bulunur, bunlar:

1. Kararlı bir ışın kaynağı.
2. Sınırlı bir dalga boyu aralığının kullanılmasına olanak veren bir dalga boyu seçici.
3. Örneğin yerleştirildiği şeffaf (geçirgen) bir örnek kabı.
4. Işın enerjisini kullanılabilir bir sinyale dönüştüren ışın dedektörü.
5. Bir sinyal işlemci ve okuma kısımları.

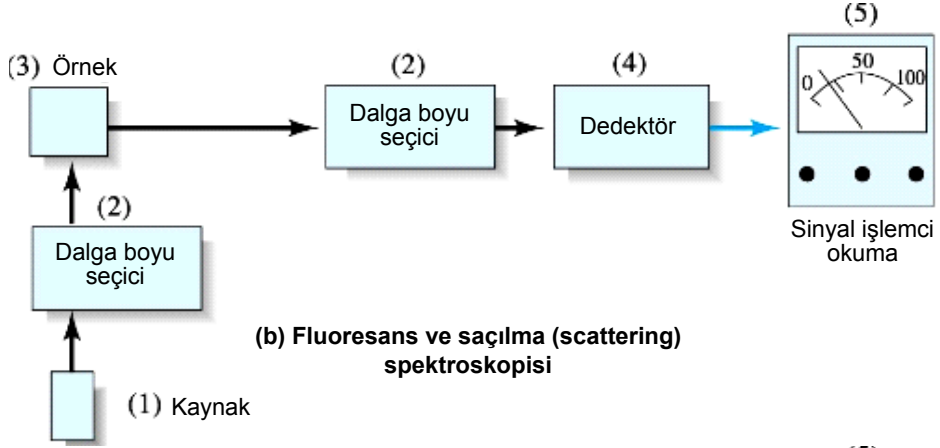
İlk dört kısmın özellikleri kullandıkları dalga boyu bölgesine göre birbirinden farklıdır. Ayrıca her birinin dizaynı da cihazın temel kullanım ilkelerine göre değişir; yani parçaların dizaynı, cihazın atomik veya moleküler spektroskopi cihazı olmasına ve kalitatif veya kantitatif amaçlarla kullanılmasına bağlıdır. Yine de her kısmın genel işlevleri ve kalitesi dalga boyu bölgesine ve uygulamaya göre değişmez. Şekilde görüldüğü gibi (4) ve (5) numaralı kısımların yerleşim yerleri her tip cihazda aynıdır.

Emisyon spektroskopisinde bir dış ışın kaynağına gereksinim olmaz, örnek kendisi emitleyicidir. Bu özelliği ile emisyon yöntemi diğer üç spektroskopik yöntemden ayrılır. Burada, örnek kabı bir ark, bir kıvılcım, veya bir alev olabilir, hem örneği içerir hem de örneğin özel ışın yaymasını sağlar.

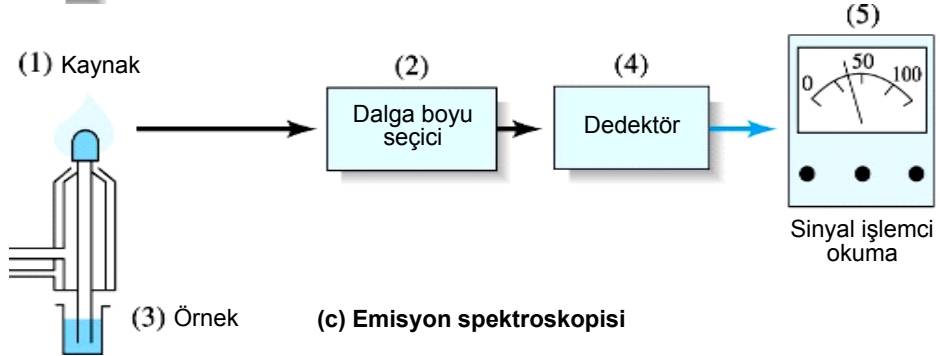
Fluoresans ve saçılma spektroskopilerinde olduğu gibi absorpsiyonda da bir dış ısı enerjisi kaynağı bulunur. Absorpsiyonda kaynaktan gelen demet dalga boyu seçiciden çıktıktan sonra örnekten geçer. Fluoresans ve saçılmada ise kaynaktan gelen demet önce örneğe girer ve örnekten özel fluoresans veya saçılmış ışın yayınlanmasını sağlar, çıkan ışın kaynağa göre belli bir açıda (90^0 gibi) ölçülür.



(a) Absorbsiyon spektroskopisi



(b) Fluoresans ve saçılma (scattering) spektroskopisi

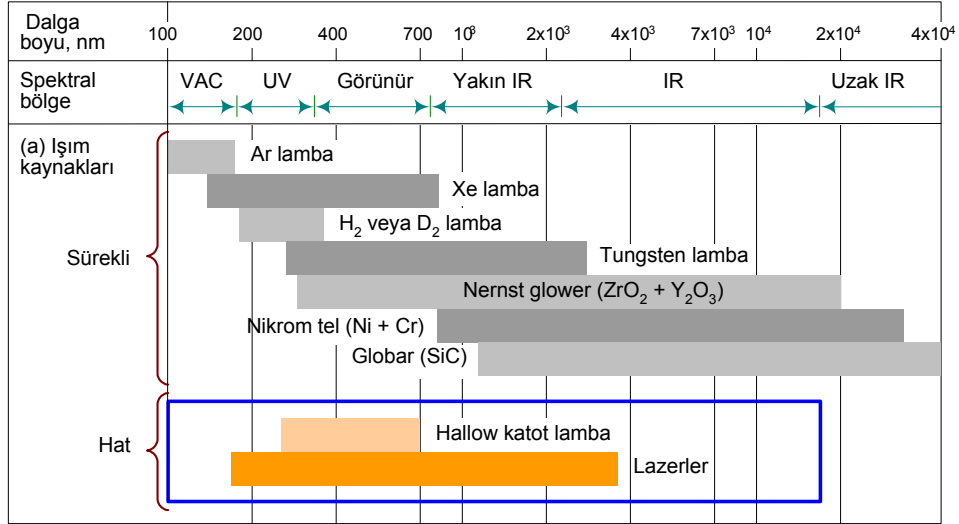


(c) Emisyon spektroskopisi

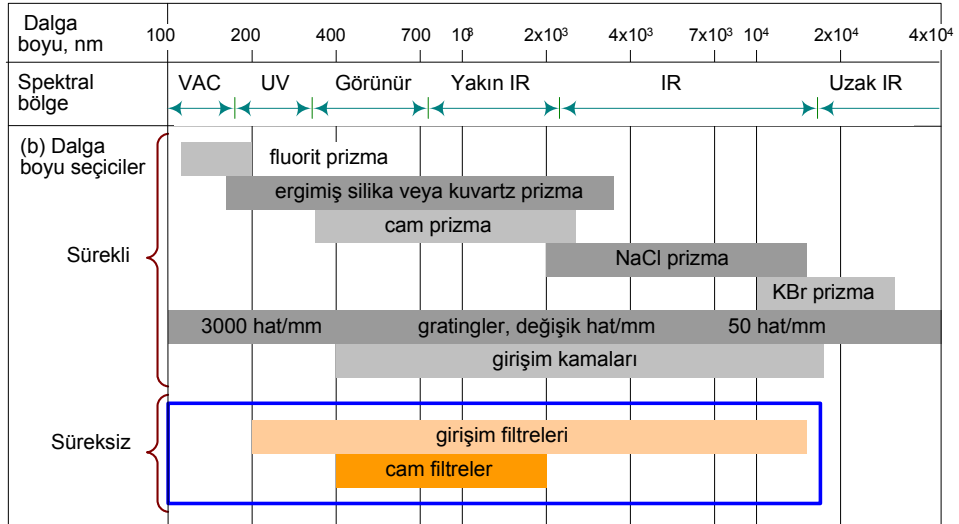
http://mail.swu.ac.kr/~cat/ac_skoog_8_08_2/F_AC_25_08_instrument_optical_spectrometry.ppt#2

Çeşitli optik spektroskopi cihazlarında kullanılan kısımlar

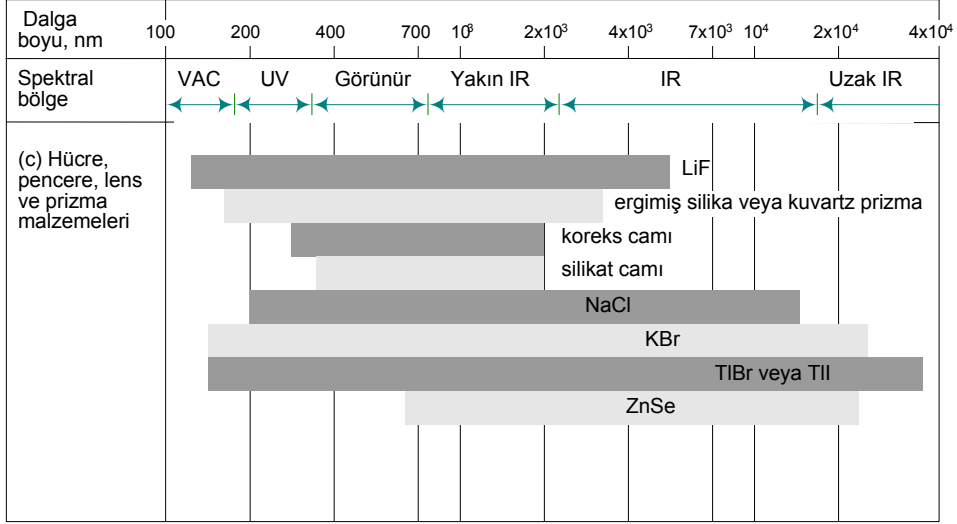
Işın Kaynakları



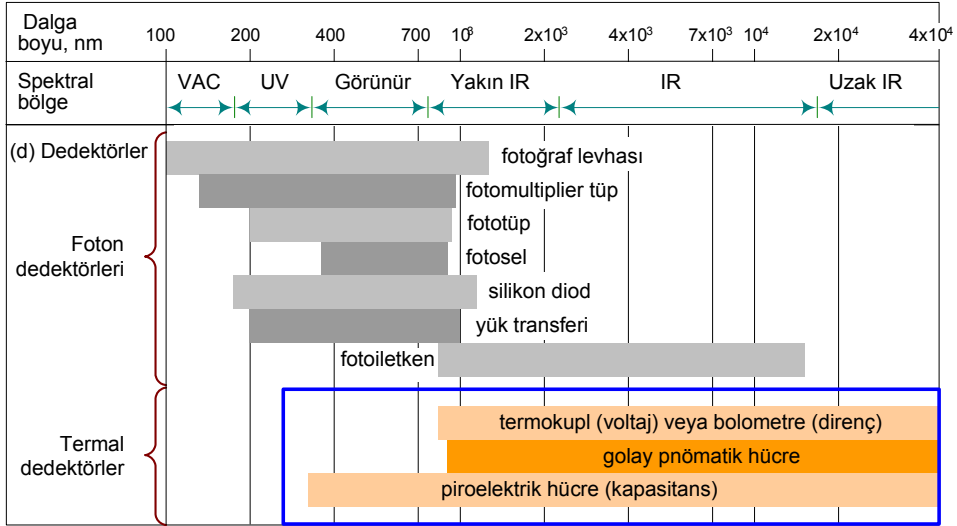
Dalga Boyu Seçiciler



Örnek Kapsları



Dedektörler



Sinyal İşlemciler ve Okuyucular

Sinyal prosesörü, dedektörden gelen elektrik sinyalini yükselten sıradan bir elektronik alettir; ayrıca, sinyali dc den ac ye (veya tersine) çevirir, fazını değiştirir, ve süzerek istenmeyen bileşenlerden ayırır.

Bunlardan başka, bir sinyal prosesörü sinyalle ilgili diferensiyel, integral veya logaritma gibi işlemleri de yapar. Modern cihazlarda bulunan çeşitli okuyucu aletlerden bazıları d'Arsonval metre, digital metreler, potansiyometrelerin skalaları, kaydediciler, ve katot ışını tüpleridir.

Foton Sayma

Dedektörlerin çıkışı, analog yöntemlerle işlenir ve görüntülenir; dedektörün ortalama akımı, potansiyeli veya iletkenliğin yükseltilmesi ve kaydedilmesidir. Bu tip sinyaller sürekli olarak değişir; spektroskopide bunlar, yoğunlukla, gelen demetin ortalama ışın gücü ile orantılıdır.

Bazı hallerde doğrudan digital yöntemler uygulanabilir ve daha avantajlıdır; bu yöntemlerde fotonların ürettiği elektrik pulsları ayrı ayrı sayılır. Burada, ışın gücü ortalama akım veya potansiyelin değil, pulsların sayısı ile orantılıdır.

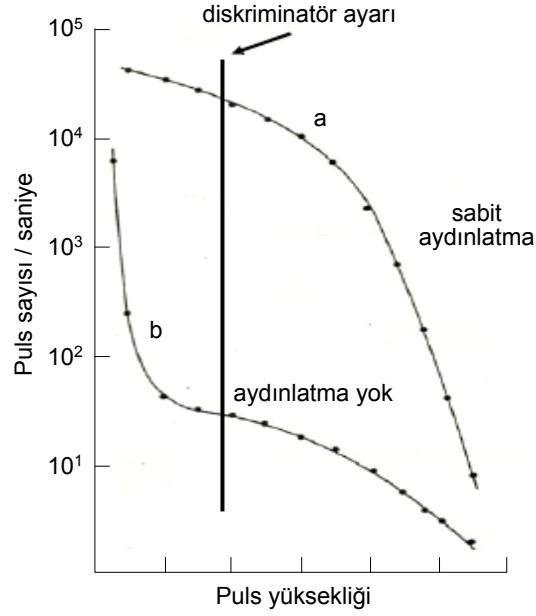
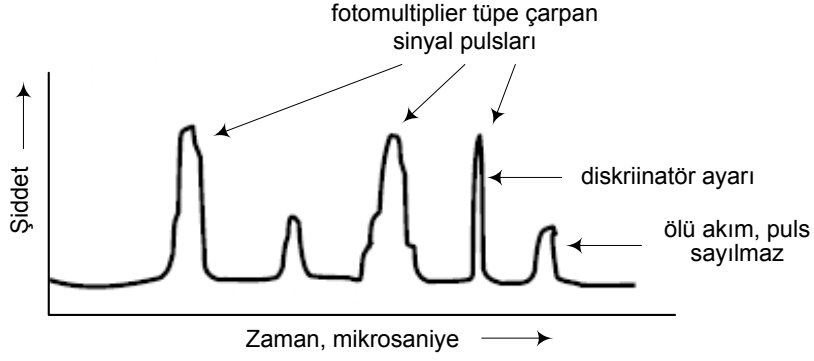
Sayma teknikleri, uzun yıllardan beri, X-ışını demetlerinin gücünü ve radyoaktif taneciklerin bozunmalarıyla çıkan ışını ölçmede kullanılmaktadır; UV ve görünür ışında da foton sayma uygulanmaktadır. Bunun için, bir fotomultiplier (PMT) tüpünün çıkışı kullanılır. Normal olarak PMT'de oluşan tüm elektronlardan dolayı oluşan akım ölçülür; yine de düşük ışık seviyelerinde foton sayma yapılabilir.

Foton saymanın analog sinyal işlemlerine göre avantajları, yükseltilmiş sinyal/gürültü oranı, düşük ışın seviyelerine duyarlılık, belirli bir ölçme süresinde yüksek hassasiyet, voltaj ve sıcaklık değişikliklerine karşı düşük hassasiyettir.

Foton sayıcı cihazlarda bir puls-yüksekliği diskriminatörü (ayırıcı) bulunur.

Dedektör (PMT) → Amplifier → Diskriminatör → Sayıcı

Diskriminatör önceden saptanmış minimum voltajın altındaki pulsları geçirmez. Ölü akım ve cihaz gürültüsü, çoğu zaman, sinyal pulsundan daha küçük olduğundan böyle bir aletin bulunmasıyla sayım dışı bırakılırlar; böylece daha iyi sinyal/gürültü oranı elde edilir.



http://faculty.uml.edu/david_ryan/84.314/Gang%20Wang%20Instrumental_Week3_4_5_CH7-2010.pdf

Gözlenen foton sayıcı pulsaların, iki farklı koşuldaki puls yükseklikleriyle değişmesi (sabit ışıkta ve ışıksız).

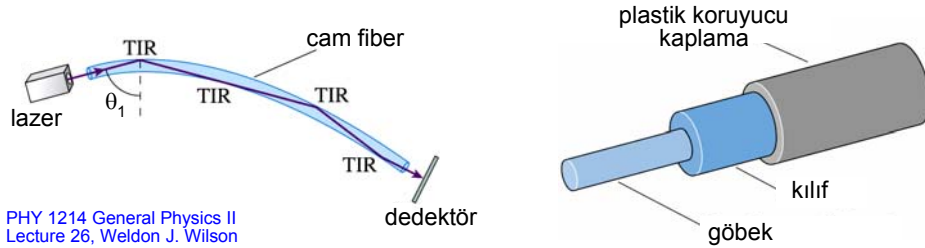
Diskriminatör ayarı çok yüksekse, çok az puls sayılır (şekil-a), diskriminatör ayarı çok düşükse, çok fazla puls sayılır (şekil-b).

Fiber (Lif) Optikler

1960'lı yılların sonlarında, ışın ve görüntülerin cihazın bir kısmından bir diğer kısmına geçirme işinin fiber optiklerle yapılan analitik cihazlar üretilmeye başlandı. Böylece optik cihaz dizaynlarında yeni bir eleman kazanılmış oldu.

Optik fiberler (bunlara ışık boruları da denir) ışını birkaç yüz feet veya daha fazla mesafelerde geçirebilen ince cam veya plastik liflerdir. Optik fiberlerin çapı $2 \mu\text{m}$ den 0.6 cm ye kadar değişebilir. Görüntünün geçirileceği yere uçlarından ergitilmiş fiber blokları konulur. Fiber bloklarının en çok kullanıldığı alan tıptır; bunların esnek yapıları dolambaçlı yollardan geçmesine olanak verdiği için organları görüntülemek mümkün olur. Işık boruları sadece gözlem yapmak için değil, aynı zamanda maddelerin aydınlatılmasında da kullanılır; ısıtmadan aydınlatma yeteneği önemli bir özelliktir.

Bir optik fiberdeki ışık geçişi, toplam iç yansıtma (Total Internal Reflectance, TIR) ile olur. Toplam iç yansıtmanın oluşabilmesi için geçirici fiberin, kendi malzemesinin kırılma indisinden daha küçük kırılma indisli bir malzeme ile kaplanmış olması gerekir. Tipik bir cam fiber, kırılma indisi 1.6 kadar olan bir göbek ve refraktif indisi yaklaşık 1.5 olan bir cam kılıftan oluşur. Bir polimetilmetakrilat gibi tipik plastik fiberlerde göbek ($n_1 = 1.5$) ve bir polimer kılıf ($n_2 = 1.5$) bulunur.



PHY 1214 General Physics II
Lecture 26, Weldon J. Wilson

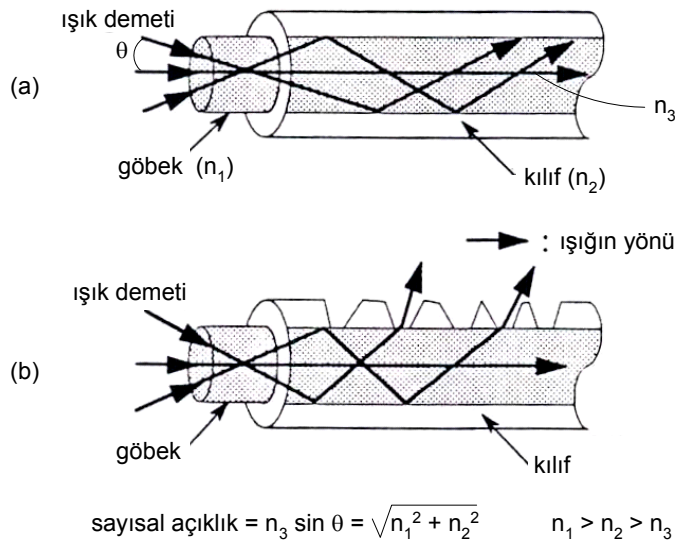
Normal Optik Fiberler (Şekil-a)

Normal optik fiberler, bir filament-tip foton (light) modelidir, cam veya plastik gibi dielektrik bir malzemeden yapılır. Bu fiberler, dışı kaplanmış silindirik bir göbekten oluşan optik geçirgen bir elemandır. Göbeğin refraktif indeksi, kılıf malzemesinin refraktif indisinden daha büyüktür; böylece, fotonların fiber içinde kalması ve

ilerlemesi sağlanmış olur. Normal optik fiberler, fotonları uzun mesafelerde bozulmadan, sinyaller veya enerji taşıyıcıları olarak geçirmekte kullanılır.

Difüsil Optik Fiberler (Şekil-b)

Difüsil optik fiberlerde ise bir ince hat kaynağı kullanılır. Bunun için normal optik fiberin kılıfı kimyasal olarak bir miktar aşındırılarak (çizdirilmiş) fiber boyunca, fotonların kılıftan bir dereceye kadar çıkmasına olanak sağlanmıştır. Fotonlar, fiberin bir ucundan veya her iki ucundan (merkez kesiti) gönderilebilir.



http://www.controlledenvironments.org/Light1994Conf/6_8_Kozal/Kozal%20Fiber%20text.htm

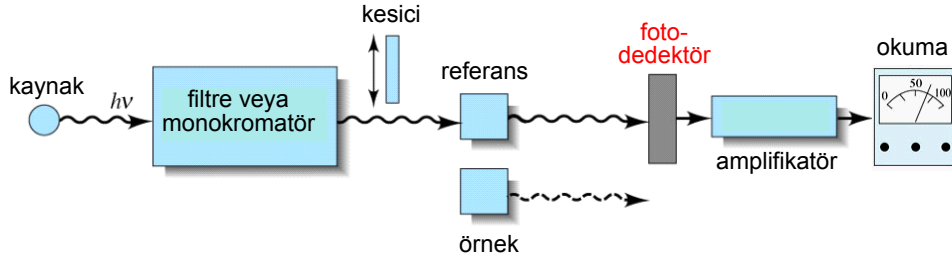
İşığın, (a) normal optik fiberdeki ve (b) difüsil optik fiberdeki geçiş yollarını gösteren şematik diyagram

Şekil-a'da görülen fiber, yarım-açısı θ olan bir ışın konisini geçirebilir, fakat daha büyük açılarda gelen ışın geçirilmez, kılıf tarafından yansıtılır. Fiberin delik büyüklüğünü ışık konisinin büyüklüğü belirler. Uygun yapı malzemeleri seçilerek ultraviyole, görünür, veya infrared ışını geçiren fiberler yapılabilir.

II. Cihaz Dizaynları

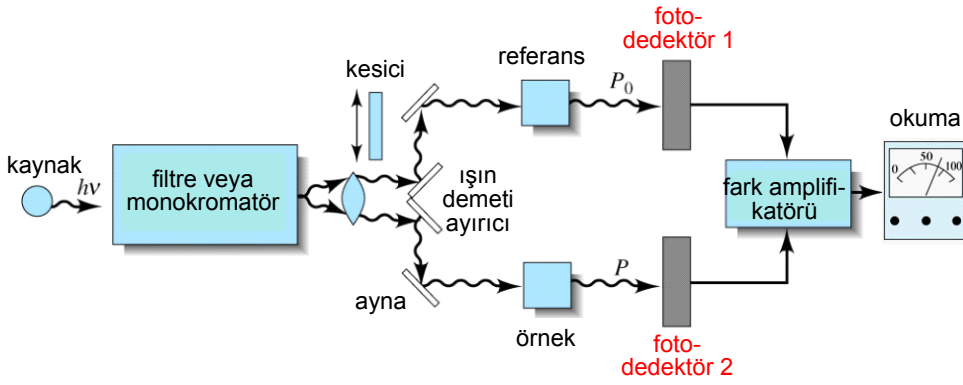
Optik cihaz dizayn tipleri dört grup altında toplanabilir:

1. Tek-ışın yollu cihazlar; monokromatör veya filtreden gelen ışın demeti, fotodedektöre çarpmadan önce ya referans veya örnek hücrelerinden geçer.



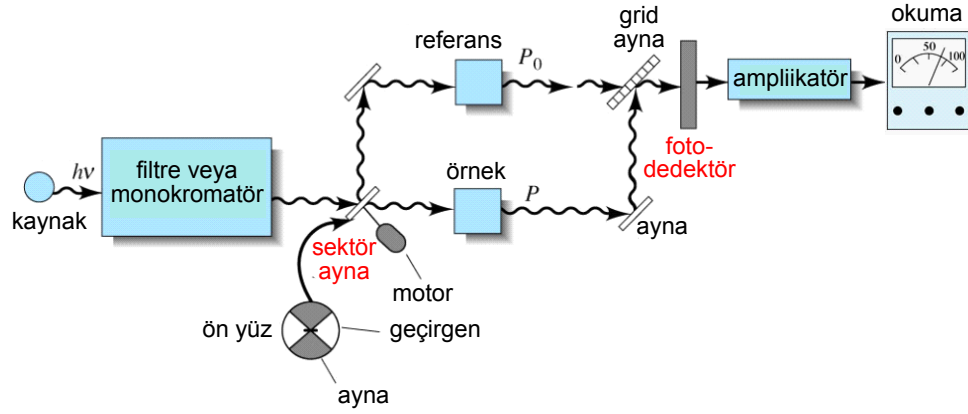
Bir tek-ışın yollu cihaz dizaynı şeması

2. Çift-ışın yollu uzamsal cihazlar; monokromatör veya filtreden gelen ışın demeti, uzayda ikiye ayrılır, aynı anda referans ve örnek hücrelerinden geçer, eşleşmeli, (birleştirmeli) iki fotodedektöre çarpar.

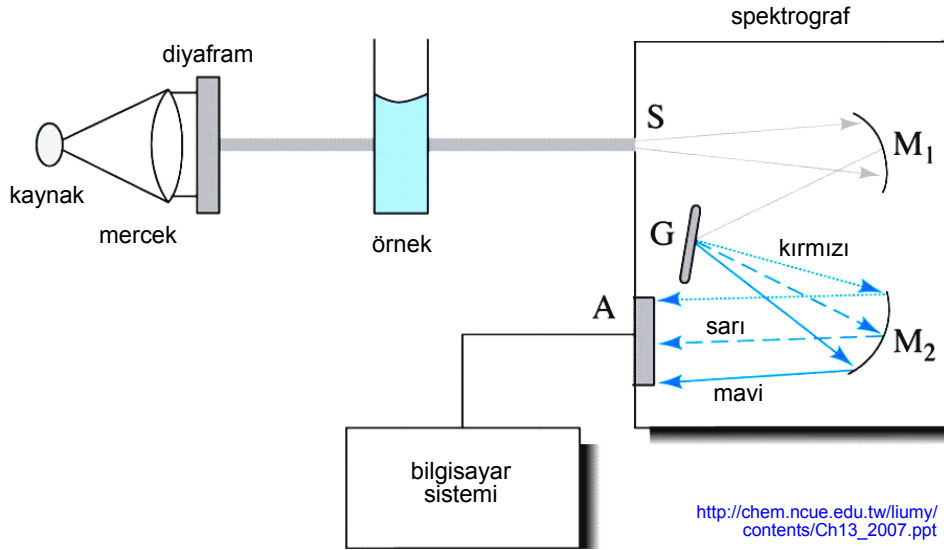


Bir çift-ışın yollu uzamsal cihaz dizaynı şeması

3. Çift-ışın yollu zaman-bağımlı cihazlar; ışın demeti, sistemdeki tek dedektöre çarpmadan önce, sırayla referans ve örnek hücrelerine gönderilir. Demetin iki hücreden geçişi arasında sadece milisaniye kadar bir zaman farkı vardır.



Bir çift-ışın yollu zaman-bağımlı cihaz dizaynı şeması



Bir çok kanallı cihaz dizaynı şeması

4. Çok kanallı cihazlar; dizi (array) dedektörlü bir grating spektrograf sistemine göre hazırlanmıştır. Tungsten veya deuteriyum kaynaktan gelen ışın paralelleştirilerek, diyafram ve mercekler tarafından şiddeti azaltılır. Örnekten geçen ışın S yarığından spektrografa girer. Yönlendirici ayna M_1 , ışın demetini G gratinge çarpmadan önce paralelleştirir. Grating tarafından içerdiği dalga boylarına dağıtılan demet sonra odaklama aynası M_2 ile, fotodiod veya CCD dizisi üzerinde odaklanır. Dizi dedektör çıkışı işlenmeye (bilgisayar) gönderilir.

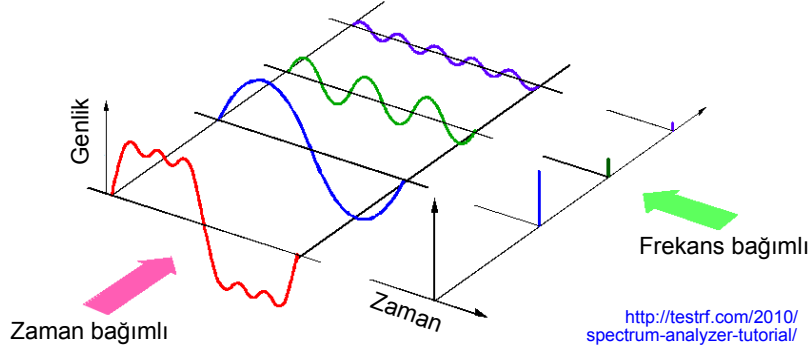
Optik Cihazların Dizayn Tipleri

Spektroskopik cihazlar, bilinen dalga boyundaki bantları, çoğu kez de bu bantların gücü veya şiddeti hakkında bilgi verebilecek şekilde dizayn edilir. Bu gereksinimleri karşılayabilen üç temel cihaz dizayn sınıfı vardır:

- Zamansal (Zaman-bağımlı, Temporal) dizaynlar
- Uzamsal (Spatial) dizaynlar
- Çoklu (Multiplex)dizaynlar

Dizayn tip	Kanal sayısı	Alt sınıf	Örnek
Zamansal (Temporal)	1	dağıtmasız	değiştirilebilir filtre ayarlanabilir lazer
		dağıtmalı	ardışık (sequential) doğrusal tarama ardışık (sequential) devirli tarama
Uzamsal (Spatial)	çok	dağıtmasız	çoklu filtre ve dedektör sistemleri
		dağıtmalı	fotoğraf levhası çoklu dedektör sistemi doğrusal dod dizileri vidicon tüpler şarj transfer dedektörler
Çoklu (Multiplex)	1	dağıtmasız	Fourier transform sistem korelasyon (ilişki) metotlar
		dağıtmalı	Hadamard transform sistem

Skoog, Lary; Principles of Instrumental Analysis, fourth ed.



Bir spektrum analizörü, saf sinüs dalgası sinyallerinin veya harmonikleri de içeren kompleks module sinyallerin frekanslarını verebilen özel bir enstrümandır.

Zaman-Bağımlı Dizaynlar

Zaman-bağımlı cihazlar bir dedektörle çalışır ve bunlara çoğu zaman "tek kanallı" cihazlar denir. Bunlarda birbirini takip eden ışın bandları, zaman içinde sırayla incelenir.

Zamansal (Temporal)	dağıtmasız	değiştirilebilir filtre ayarlanabilir lazer
	dağıtmalı	ardışık (sequential) doğrusal tarama ardışık (sequential) devirli tarama

1. Dağıtmasız Sistemler

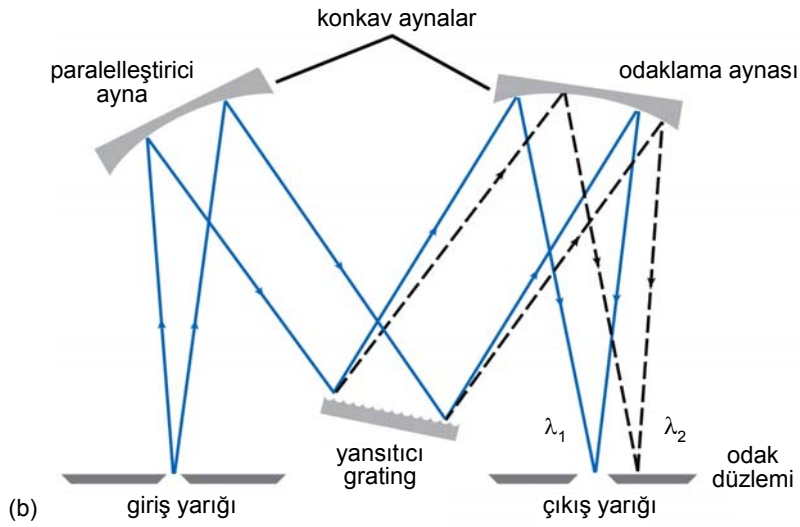
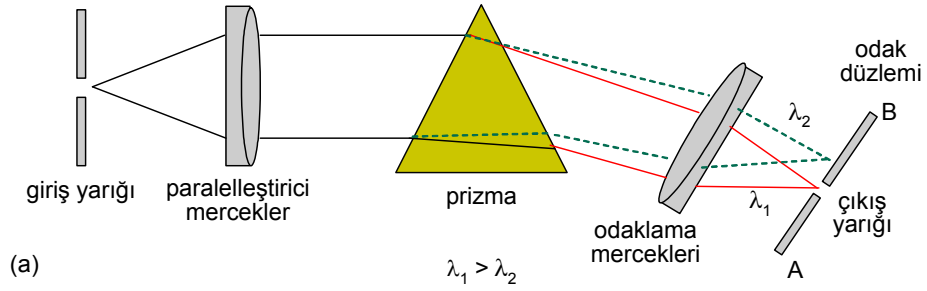
Dağıtmasız bir zaman-bağımlı cihaza örnek olarak, uygun dalga boyunda bir seri dar band filtreleri içeren bir fotometre gösterilebilir. Böyle bir cihazla, bir örnek çözeltisinin alevle injekte edilmesiyle alkali metallerin kantitatif analizi yapılabilir. Her bir alkali metal için filtre değiştirilerek ölçüm alınır.

Ayarlanabilir lazerlerle de absorpsiyon veya emisyon spektrumunun bir bölümünü tayin edebilen dağıtmasız cihazlar yapılabilir. Bunlarda lazer, bir dalga boyundan bir sonrakine ayarlanırken, bir fotomultiplier tüpten ışık şiddeti verileri alınır.

Dağıtmasız cihazlar basit, ucuz, yüksek enerjilidir (sinyal/gürültü oranı yüksek) ve başıboş ışınlar oldukça azdır. Ancak geniş bir dalga boyu aralığında, kalitatif ve yapısal çalışmalar için önemli spektral detayları göstermezler.

2. Dağıtmalı Cihazlar

Spektrografların tersine, spektrometreler veya spektrofotometreler tek kanallı cihazlardır ve spektrumun her elementi anında değil sırayla görüntülenir.



<http://www.chem.unt.edu/golden/courses/Lecture%206%20Opt%20Instr%202011.ppt>

(a): Bunzen prizmalı monokromatör, (b): Czerny-Turner gratingli monokromatör

Şekilde görülen iki monokromatör, çıkış yarığına bir fotoelektrik dedektör yerleştirildiğinde zaman-bağımlı dağıtım cihazları olarak çalışır. Spektra, dedektör çıkışı izlenirken, dağıtıcı elemanı elle (veya mekanik) döndürerek elde edilir.

Bir "ardışık (sequential) doğrusal taramalı cihaz"da bir motor-hareketli prizma veya grating sistem bulunur; bu sistem ilgilenen spektral bölgeyi sabit bir hızda süpürür. Kaydedici kağıdın hareketi, dağıtıcı elementin hareketiyle eşanlı yapılarak zamana bağımlı bir dalga boyu skalası elde edilir. Spektral bölgelerin taranmasında hem uzun zaman harcanır, hem de yeterli spektral bilgi alınmaz.

Bir "ardışık devirli taramalı cihaz" yukarıda anlatılan cihaza benzer, farkı uygun bir sinyal/gürültü oranına ulaşıncaya kadar önemli spektral verilerde (pikler gibi) bekleyecek şekilde programlanmış olmasıdır. Işın gücünün süratle değişmediği bölgeler (yani, gücün zamana göre türevinin sıfıra yaklaştığı haller), bir sonraki pike kadar, yüksek hızda taranır. Devirli (veya çevirmeli) taramalı cihazlarda pik maksimasının yerini çok hassas olarak belirleyecek yöntemlere, tarama hızını kontrol eden yerel devrelere gereksinim vardır. Basit fotometreler bu tip cihazlara örnek olarak gösterilebilir.

Uzamsal Dizaynlar

Uzamsal cihazlar spektrumun bölümleri veya farklı kısımları hakkında "anında" bilgi verebilen çoklu dedektörler veya kanallara dayanır.

	dağıtmasız	çoklu filtre ve dedektör sistemleri
Uzamsal (Spatial)	dağıtım	fotoğraf levhası çoklu dedektör sistemi doğrusal dod dizileri vidicon tüpler şarj transfer dedektörler

1. Dağıtmasız Sistemler

Na, K ve Li'un anında tayininde kullanılan bir fotometre, dağıtmasız bir uzamsal cihaza örnektir; bunda, içinde örneğin bulunduğu alevden gelen ışın, kaynaktan

farklı açılarda yerleştirilmiş üç yarığı aydınlatır. Her bir yarığa, elementlerden sadece birinin pik ışınını seçerek geçiren (girişim filtreleri olarak çalışan) bir fotomultiplier tüp, elektronik kısımlar ve okuma kısmı konulmuştur. Böylece her elementin konsantrasyonunun aynı anda izlenmesi sağlanır.

2. Dağıtım Sistemleri

Klasik dağıtım uzamsal cihaz spektrograftır; bu, bir monokromatörün odak düzlemine yerleştirilen ve bir spektrumun tüm elementlerini aynı anda depolayabilen bir fotoğraf levhasıdır. Ancak depolanan bilgileri tekrar ele geçirmek için, fotoduyar yüzeyin kararma derecesini belirleyen bir film işlemi zamanına gereksinim vardır.

Metal endüstrisinde çok kullanılan doğrudan-okumalı spektrometrede bir düzineden fazla element anında analiz edilebilmektedir. Analiz emisyon hatlarının şiddetine dayanır. Spektrometre odak düzlemi üzerine uygun bir konumda yerleştirilmiş bir monokromatör (bir seri çıkış yarığı bulunan) ve fotomultiplier tüplerden oluşur. Her bir fototüpün çıkışı, uyarılma işlemi tamamlandığında okumaya gönderilmek üzere, bir kapasitörde toplanır. Yarığın boyutu ve fotomultiplier tüpün büyüklüğü gözlenen kanalların sayısını sınırlar. Ayrıca, bu tip cihazların bir elementler takımından bir başka elementler takımında kullanılması zor veya olanaksızdır.

Uzamsal dağıtım cihazları silikon diodlar veya vidicon tüplerine dayanır. Bu dedektörler, bir monokromatörün odak düzlemindeyken çıkışları kuvvetlendirilebilen, işlenen ve anında okunabilen 1000 kadar ayrı dedektör görevi yaparlar.

Çok kanallı dağıtım cihazları tek kanallı zaman-bağımlı cihazlardan daha kompleks ve daha pahalıdır. Çoğu mikroişlemci kontrollüdür ve verileri çeşitli şekillerde çıkarır, spektrumun, sinyal/gürültü oranında bozulma olmadan, çok hızlı alınmasını sağlar. Bu hız, spektrumun tüm bölgesinin aynı anda ölçülmesinden dolayıdır. Çok kanallı cihazların hassasiyet ve doğrulukları da çok yüksektir, çünkü ölçümün hızlı yapılması sinyal ortalama işlemini kolaylaştırır. Sinyal ortalama en küçük sinyal çevre gürültüsünden ayrılabilir. Çok kanallı cihazlarda kullanılan örnek miktarı çok azdır.

Çoklu Dizaynlar

Çoklu terimi iletişim teorisinden gelmektedir; terim, tek bir kanaldan anında taşınan pek çok bilginin bulunduğu sistemler için kullanılır. Adından da anlaşıldığı gibi

çoklu analitik cihazlar, tüm sinyal elementlerinin "anında" gözlenebildiği tek kanallı cihazlardır. Bu elementlerin her birinin büyüklüğünü saptamak için analit sinyali değiştirilerek, içerdiği bileşenleri veya elementleri verecek şekilde çözülür.

Çoklu (Multiplex)	dağıtmasız	Fourier transform sistem korelasyon (ilişki) metotlar
	dağıtmalı	Hadamard transform sistem

1. Dağıtmasız Sistemler

Fourier Transform Spektroskopi

Çoklu cihazların çoğunda sinyal çözme işlemi "Fourier transform" a dayanır ve bu nedenle Fourier transform cihazlar denir. Fourier transform aletleri sadece optik spektroskopiyle sınırlandırılmaz. Nükleer magnetik rezonans, kütle, ve mikrodalga spektroskopileri ve ayrıca bazı elektroanalitik ölçmeler için de kullanılır. Bu cihazlardan bazılarına, ilerdeki bölümlerde değinilmiştir.

Fourier transform spektroskopisini, ilk olarak 1950'li yılların başında uzak yıldızların infrared spektra çalışmalarını yapan astronomlar geliştirmişlerdir; bu kaynaklardan alınan çok zayıf sinyallerin çevresel gürültülerden ayrılması sadece Fourier tekniği ile sağlanabilmektedir.

Fourier transform spektroskopinin ilk kimyasal uygulamaları, on yıl kadar sonra uzak-infrared bölgede yapılabilmektedir. 1960'lı yılların sonunda uzak infrared ($10-400 \text{ cm}^{-1}$) ve orta-infrared bölgelerde çalışabilen cihazlar yapılmıştır.

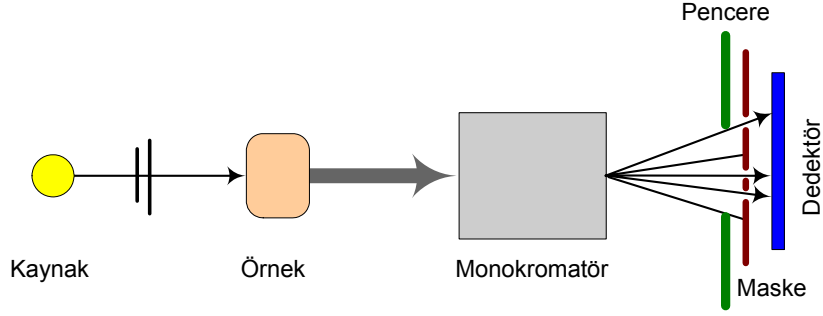
Bak. [Fourier Transform Infrared \(FTIR\) Spectrometreler](#)

2. Dağıtmalı Sistemler

Hadamard Transform Spektroskopi

Fellgett avantajının kullanıldığı diğer karmaşık bir tanımlama yöntemi hadamard transform spektroskopisidir. Bu yöntemde geliştirilmiş-gratingli infrared spektrometre kullanılır. Dağıtılan ışın monokromotör temel düzlemi üzerinde bulunan bir maskeye odaklanır. Maske temel düzleminin iki katından daha uzundur, opak ve şeffaf şeritlerin rastgele sıralanmasıyla oluşan bir levha ile kaplanmıştır; şeritler giriş silitinin genişliğindedir. Maske çeşitli konumlara gelerek, dağıtılan ışını m

resolusyon elementine böler, bunların her biri şeritlerin (veya giriş slitinin) genişliğinin belirlediği band genişliğindedir. Maskeden geçen ışın geri yansıtılarak gratinge gelir, burada birleştirilir ve giriş slitinden geçerek çıkar; uyarılan ışının toplam gücü bir ışın dedektörü ile ölçülür.



Hadamard çok kanallı spektrometrenin şematik diyagramı

Ölçme işlemi ışının temel düzlemde bir slit genişliğindeki kısmının bir süre maskelemesi ve toplam gücünün ölçülmesi kademelerinden oluşur. Ölçme işlemi m defa yapılmışsa, her bir resolusyon elementinin P m gücünü hesaplayabilecek sayıda denklem yazılabilir. Böyle bir spektrum bir bilgisayarla matematiksel olarak çıkarılabilir.

$$(P_T)_1 = a_{1,1} P_1 + a_{1,2} P_2 + \dots + a_{1,m} P_m$$

$$(P_T)_2 = a_{2,1} P_1 + a_{2,2} P_2 + \dots + a_{2,m} P_m$$

.....

$$(P_T)_n = a_{n,1} P_1 + a_{n,2} P_2 + \dots + a_{n,m} P_m$$

$(P_T)_n$ miktarı n. kademedeki gücü, $a_{n,m}$ opak şerit için 0, şeffaf şerit için 1 olan bir katsayıdır. $n = m$ olduğu zaman P_1 den P_m 'e kadar denklemler grubunu çözebilecek yeterli veri toplanabilir.

İnterferometrik deneylerde olduğu gibi spektrum süreklidir. Bu nedenle teorik sinyal/gürültü oranı \sqrt{m} faktörü kadar düzeltilmiş olur. Hadamard transform yöntemi cihazın basit ve ucuz olmasına rağmen fazla kullanılan bir yöntem değildir.

Yararlanılan Kaynaklar

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981

http://www2.fiu.edu/~cai/index_files/Chapter%207%20Components%20of%20Optical%20Instruments.ppt

http://chem.ncue.edu.tw/liumy/contents/Ch13_2007.ppt