

Hızlandırıcı Fiziği

Demet Tanı Yöntemlerine Giriş

Öznur METE

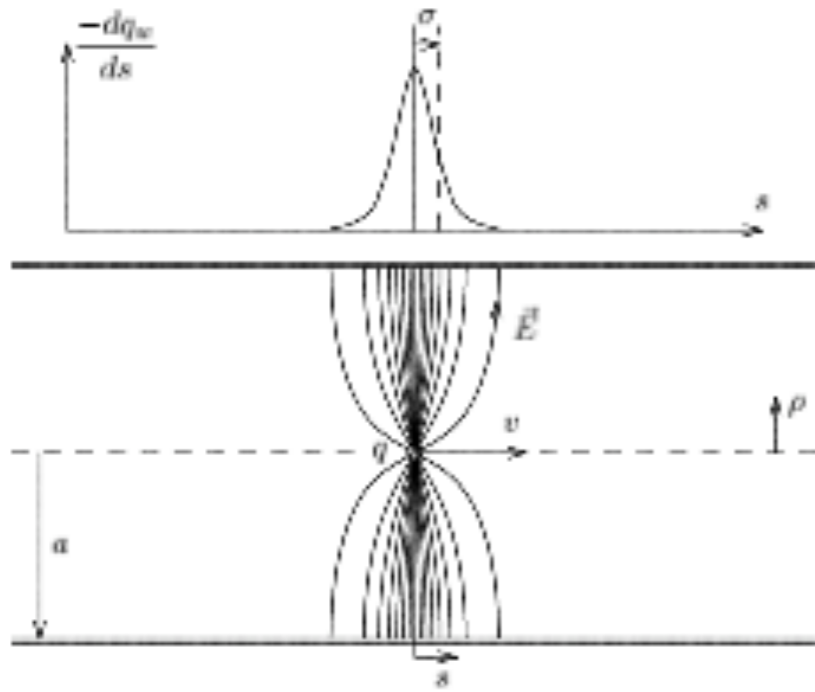
CERN, Hızlandırıcı Fizikçisi

e-posta: oznur.mete@cern.ch www: www.cern.ch/omete

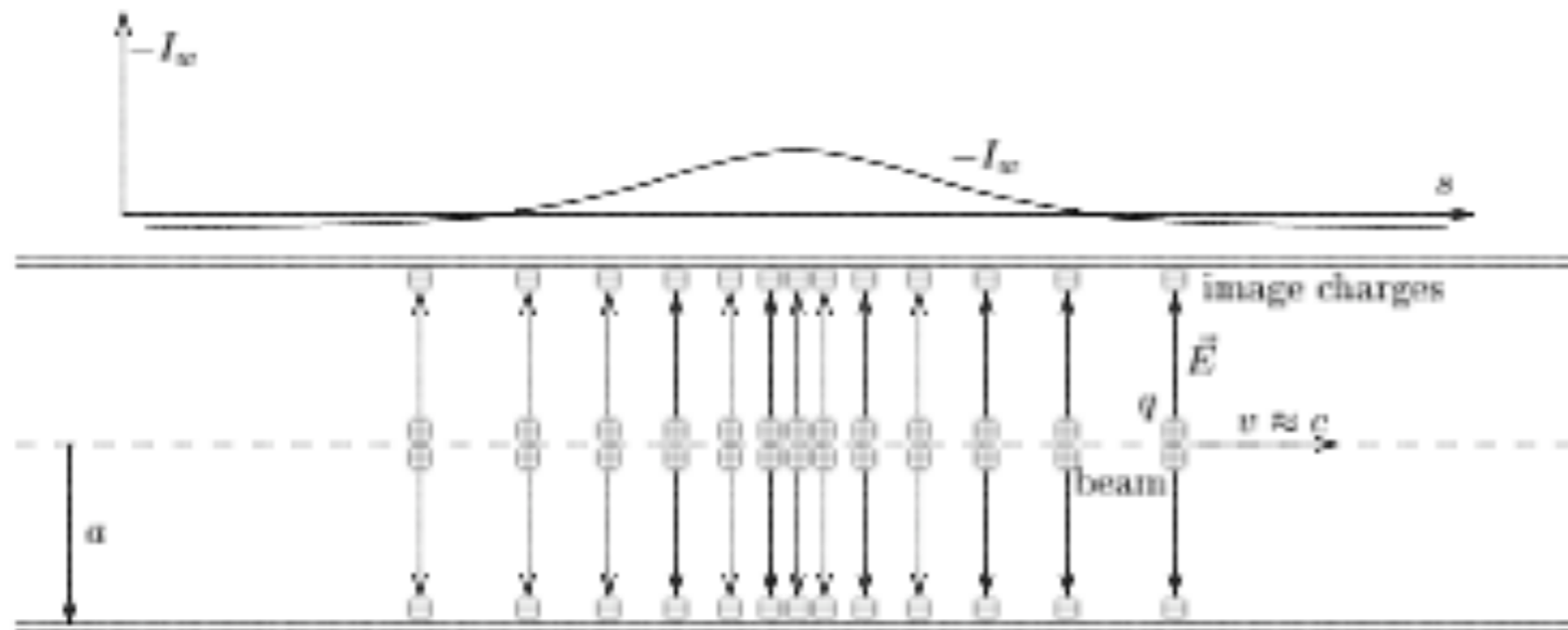
- ▶ Giriş
- ▶ Demet Akımı Göstergeleri
- ▶ Demet Konumu Göstergeleri
- ▶ Enine demet kesitleri ve Yayınım Tanı Yöntemleri
- ▶ Demet Enerjisinin Ölçümü
- ▶ Yüksek Parlaklıklı Demetler için Tanı Yöntemleri
- ▶ Işınlık Ölçümleri
- ▶ Ayar ve Renksellik Ölçümleri
- ▶ Örgü Ölçümleri
- ▶ Ek konular
 - ▶ Örnekselden sayısala çeviriciler (analog-to-digital converters)
 - ▶ Çoklu-bohça durumunda geribesleme
 - ▶ Demet halkası görüntüleme
 - ▶ Foton demet hattı tanı aletleri ve yöntemleri
 - ▶ Devinimli hizalama
 - ▶ Elektromagnetik girişim

GELECEK OKULLARDA...

Demet tanı yöntemleri çoğunlukla yüklü parçacıklar tarafından yaratılan \vec{E} ve \vec{B} elektromagnetik alanlarına dayanır. Bu tür alanları, parçacıkların eki olan "yakın alan" ve ilerleten "uzak alan" veya ışınım alanı olarak ayırabiliriz.

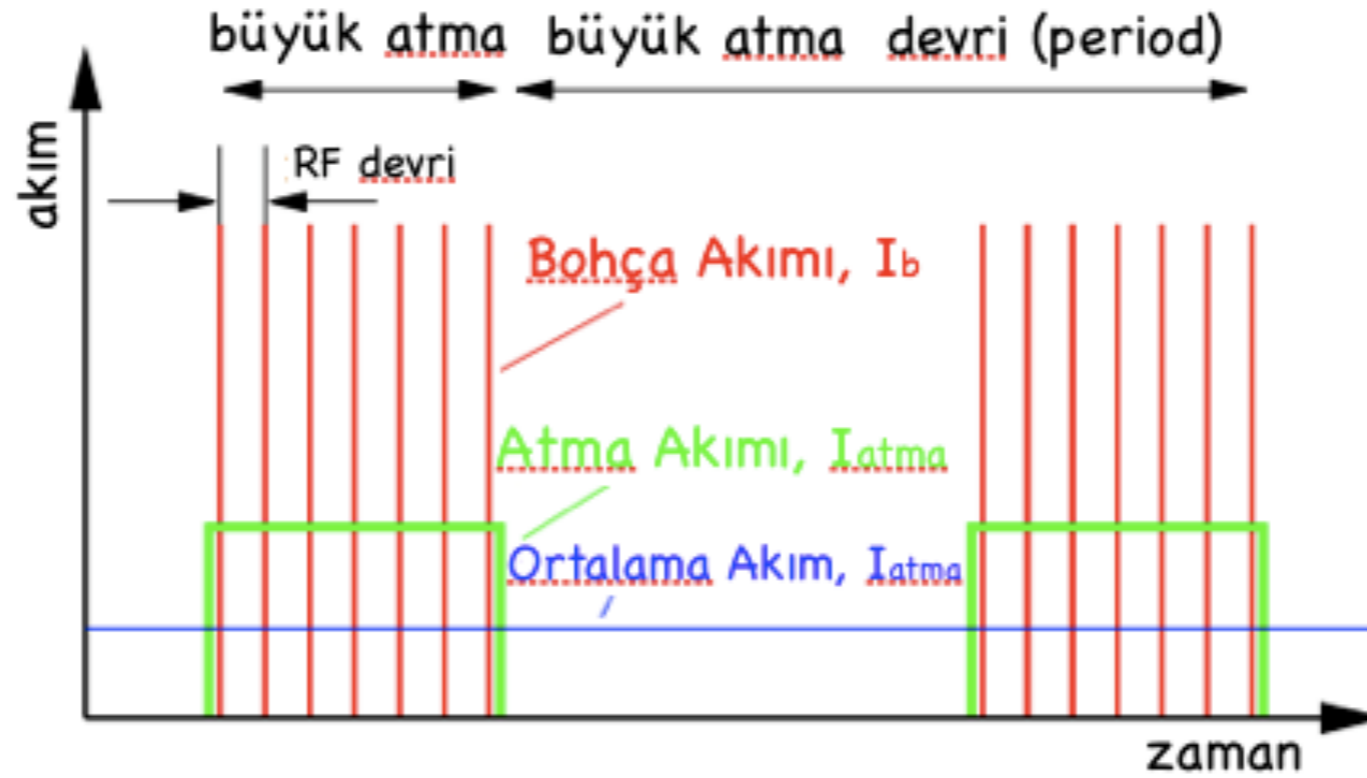


Göreceli durumda, bir nokta yük tarafından yaratılan alanlar küçük bir açı ile enine yön çevresinde yoğunlaşmıştır.



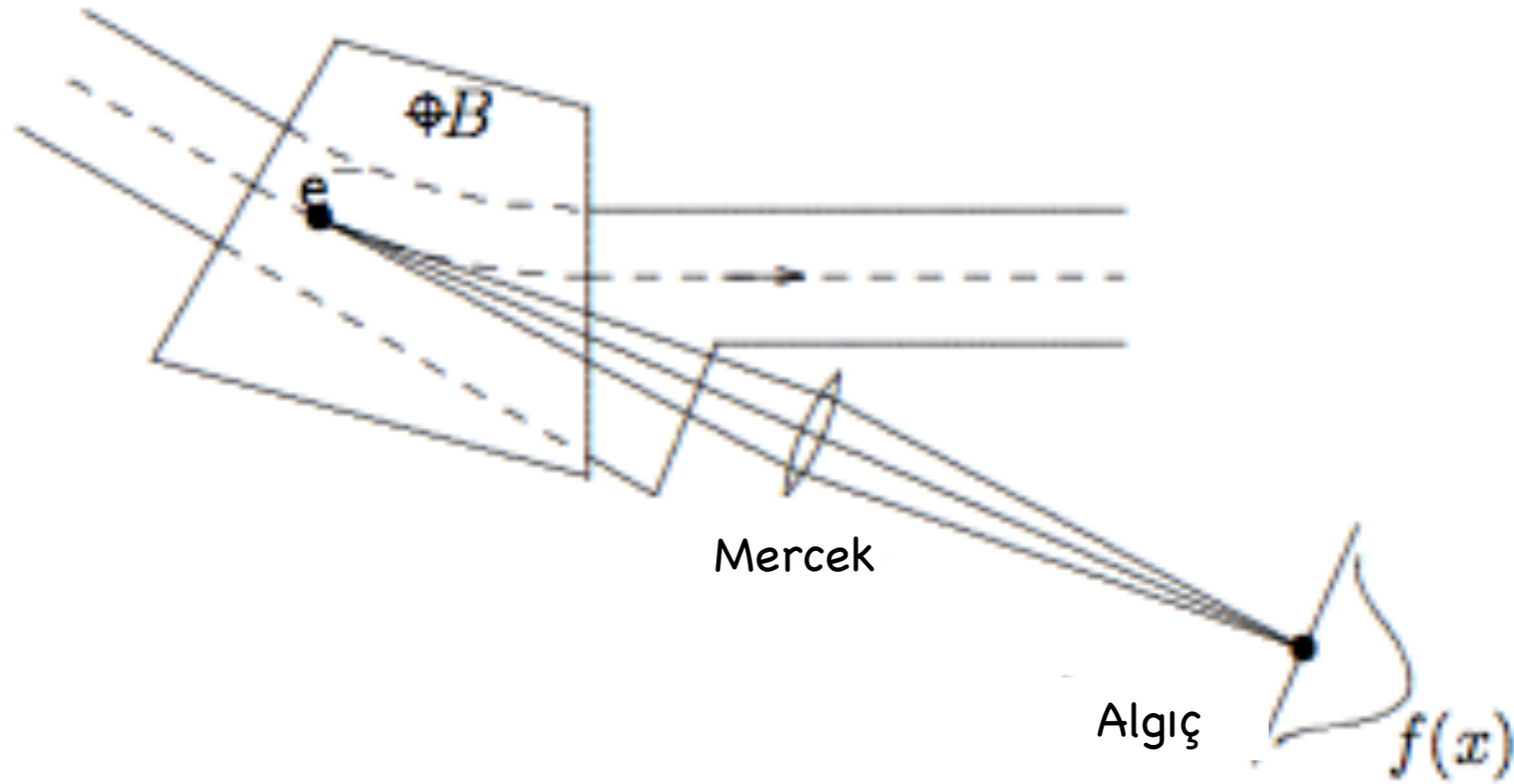
Demet borusu duvarında demet tarafında uyarılan yük ve akım.

Pekiye ölçeceğimiz demetin yapısı nasıl?



- Atmalı bir doğrusal hızlandırıcıda farklı akımların zamansal yapısı.

Demet tanı yöntemleri çoğunlukla yüklü parçacıklar tarafından yaratılan \vec{E} ve \vec{B} elektromagnetik alanlarına dayanır. Bu tür alanları, parçacıkların eki olan "yakın alan" ve ilerleten "uzak alan" veya ışınım alanı olarak ayırabiliriz.



Tanı için kullanılan en yaygın "uzak alan" synchrotron ışınımıdır. Bir magnet içinden geçen parçacıklar tarafından enine ivmelenmeye bağlı olarak yayınlanır, bir pencereden vakum ortamdan dışarı alınır ve belli bir uzaklıktaki bir algıç tarafından algılanır. Bu şekilde algıç, kaynağın bulunduğu konumdaki demet özelliklerini ölçebilir.

► Demet akımının ölçülebileceği ölçüm aletleri:

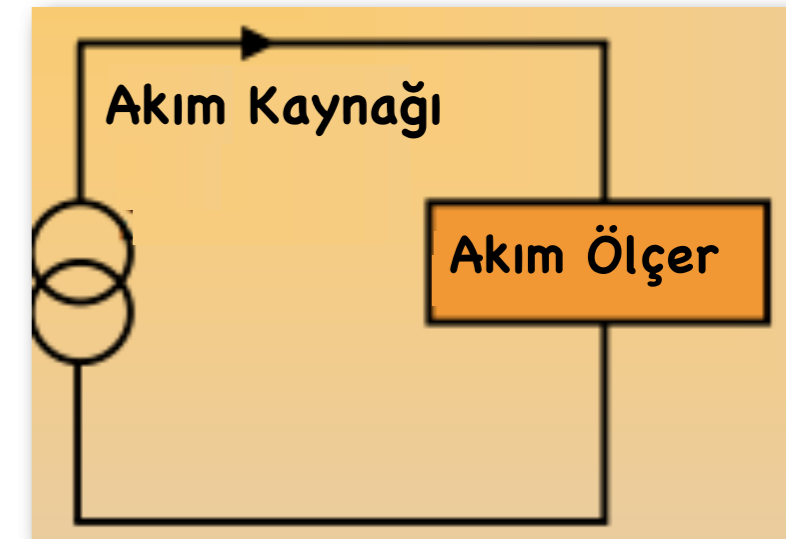
- α Akım dönüştürücüler
- α Duvar akımı göstergeleri
- α Faraday kabı
- α Parçacıkların madde içinde enerji kaybı ve erimi
- α İkincil elektron göstergeleri
- α İyonlaşma odaları
- α Pırıldama (scintillation) sayaçları

Bazı örnekler görelim...

- ▶ Pekçok demet akımı göstergesi **ticari olarak bulunmamaktadır**. Ancak farklı sistemlere uygulanması doğrudan olmamaktadır. Bu durumda **sistemin temel tasarım parametrelerine ve sorunlarının bilinmesine gereksinim** duyulur.

Faraday Kabi

- ▶ Bir hızlandırıcının sonundaki **tüm parçacıkları toplar**.
- ▶ **Yıkıcı** bir yöntemdir.
- ▶ Saçılan parçacıklara dikkat!
- ▶ Girişinde saptırıcı gerilim ya da magnetik alan kullanılabilir.
- ▶ 10-20 MeV'lik enerjilerin üzerinde elektron emilimi için ışınım uzunluğu* göz önünde bulundurulmalıdır.
- ▶ **%1'in altında ölçüm kesinliği** elde etmek güçtür.



*Yüksek enerjili elektronlar madde içinde ilerlerken, frenleme ışınımı ve çift oluşumu ile yüksek enerjili fotonlar şeklinde enerji kaybederler. Bu etkileşmeler düşünüldüğünde her içinde ilerlenen maddeye özel alınan yola ışınım uzunluğu denir.

Faraday Kabi



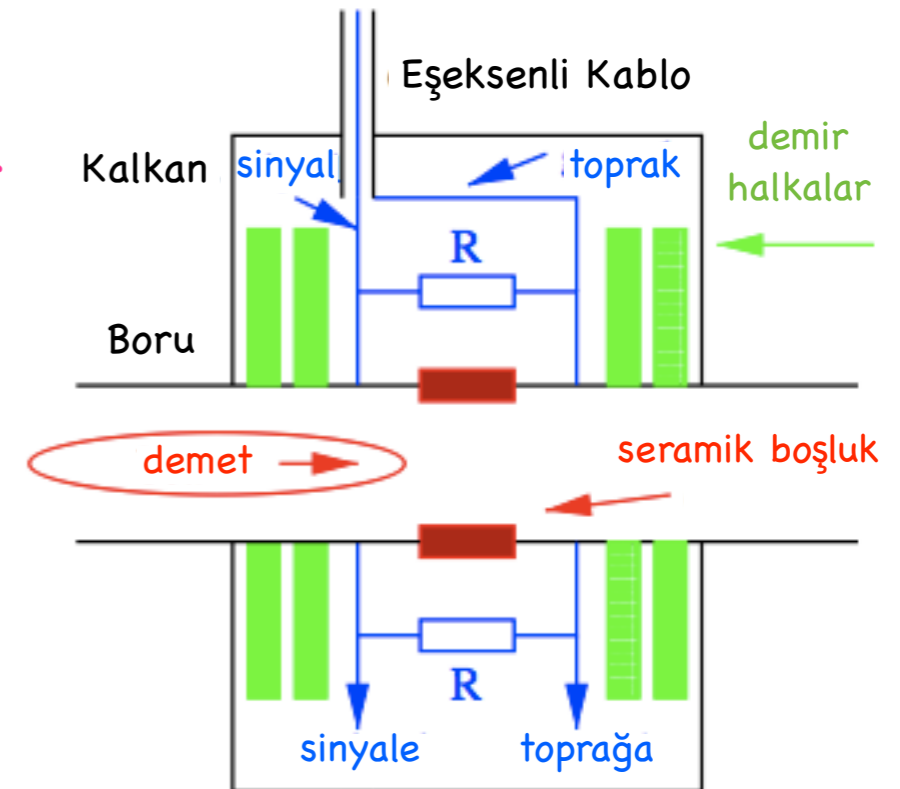
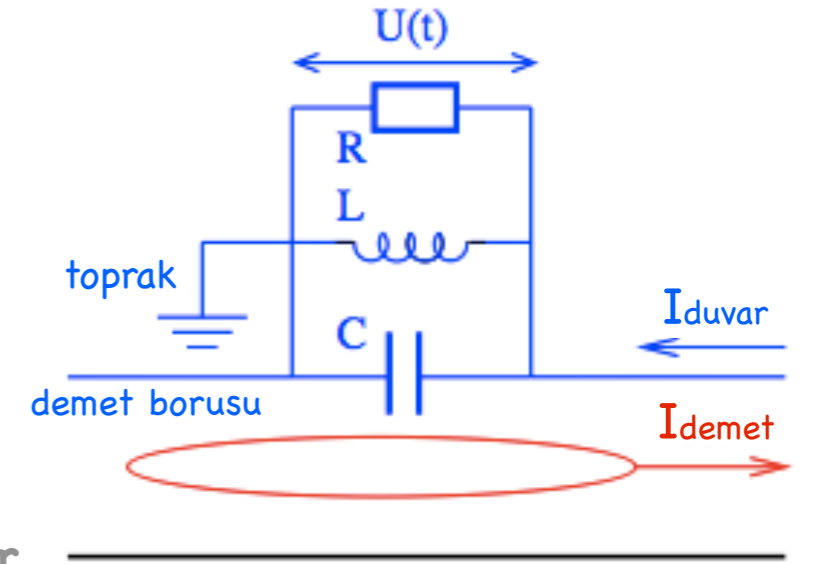
- ▶ Merkezdeki iletken demeti toplayacaktır.
- ▶ Eşeksenli iletim kanalı demete ait TEM spectrumunu 50Ω'luk vakum içi besleme kolu boyunca taşır.
- ▶ Bu sinyal düşük kayıplı bir eşeksenli kablo ile ölçüm aletine iletilir.
- ▶ Bu ölçüm şeklinin yüksek enerjili ve güçlü demetler için sınırlamaları vardır.

Demet akımı göstergeleri ile ilgili daha fazlası için, kalorimetreler hakkında okuyunuz...

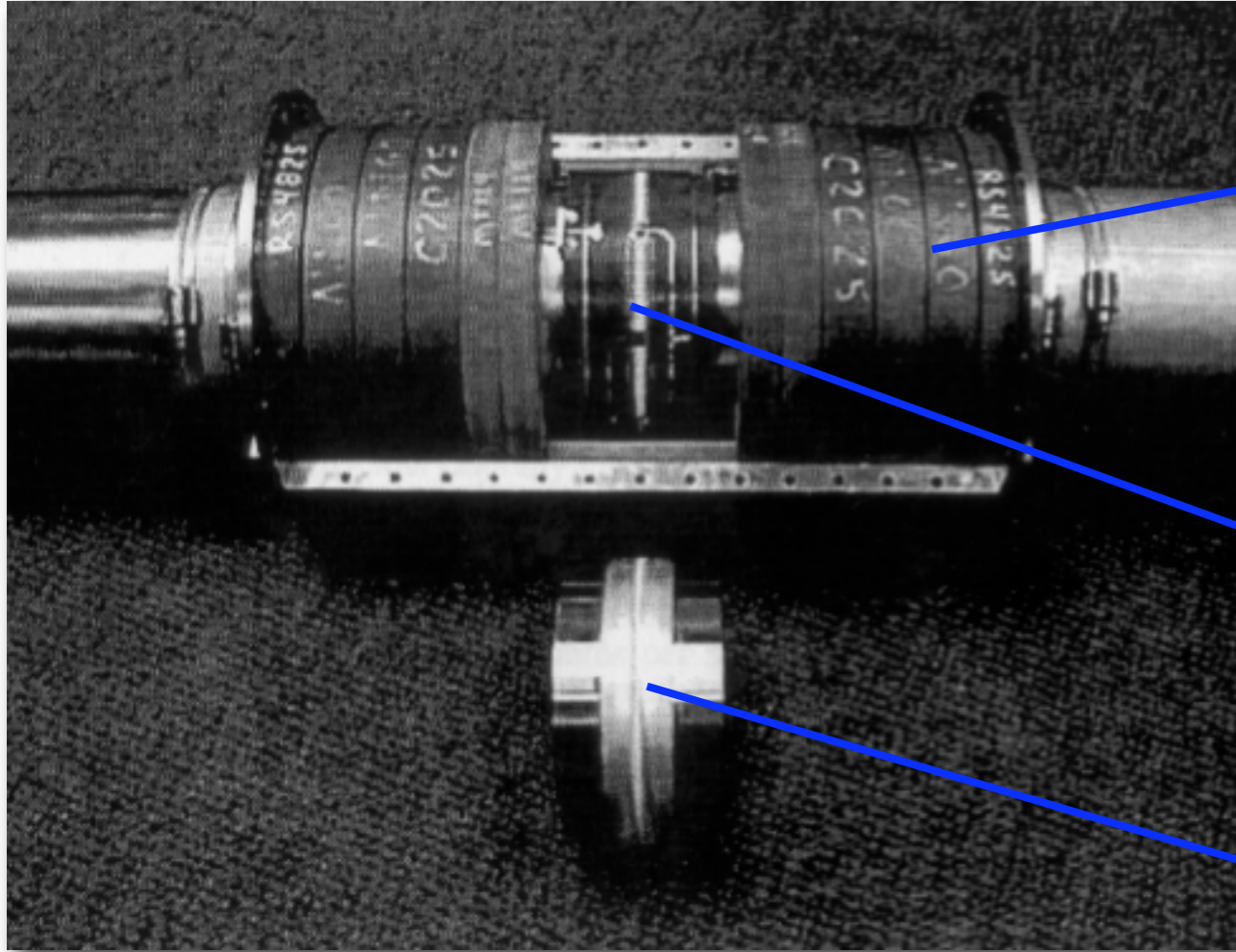
Duvar Akımı Göstergeleri

- ▶ Duvar akımı göstergeleri çoğunlukla **boyuna demet kesiti (bohçalar ve bunların zaman yapısı)** görüntülemeye kullanılır.
- ▶ Bu durumda ölçüm aletinin band genişliği yeterince geniş olmalıdır.
- ▶ Dirençsel (resistive) bir DAG ile GHz ölçeklerinde band genişliği elde edilebilir.
- ▶ Band genişliği için sınırlama sistemdeki dirençlerin öz dirençleri tarafından gelir. Bu yüzden GHz ölçeklerinde hala dirençsel davranan baskı devre dirençleri kullanılır. Dirençler yönel açısal eksen boyunca (azimutal) demet borusu çevresine yerleştirilir. Böylece ölçüm demet konumundan bağımsız olur.
- ▶ Demet her zaman, demet borusu üzerinde aynı şiddet ve zamansal yapıda bir görüntü akımı uyarır.
- ▶ Bu akımı ölçebilmek için demet borusu seramik bir boşluk ile aralanır.
- ▶ Seramik boşluk dirençler ile bağlanır ve dirençler boyunca **ölçülebilir bir gerilim** oluşturur.
- ▶ Bu dirençler band genişliğini sınırlamamaları için 10-100 Ohm arasındaki düşük değerlerden seçilir. Ortalama 10-100 arasında direnç kullanılır.
- ▶ Ölçülen sinyal çeşitli yerlerden bir eşeksenli kabloya aktarılır. Bu da bir yükselticiye gönderilir.
- ▶ Dirençler üzerindeki gerilim aşağıdaki gibi verilir:

$$I_{toplama} = \frac{R}{n} \cdot I_{demet}$$



Duvar Akımı Göstergeleri



FERMILAB'da protonlar için kullanılmış bir duvar akımı göstergesi.

- ▶ Yüksek magnetik geçirgenlikli demir halkalar kullanılarak düşük frekansın alt sınırı daha da düşürülür. (~10 kHz)

$$f_{dusuk} = 2\pi \cdot R_{toplama} / L$$

- ▶ Baskı devre üzerindeki dirençler.

- ▶ Yüksek frekans sınırı ise seramik bosluğun sığasına belirlenir.

$$f_{yuksekk} = 2\pi \cdot R_{toplama} \cdot C$$

- ▶ Dirençler dışardan gelebilecek gürültüye karşı dikkatle kalkanlanmalıdır. Örneğin RF sisteminden...
- ▶ Özenli bir tasarım ile birkaç GHz'lük bir band genişliği elde etmek mümkündür.

Akım Dönüştürücü

- Bir hızlandırıcıda demet akımını N tane parçacık tarafından, t birim zamanı ya da l uzunluğu boyunca βc hızıyla ilerleyen, q yükünce oluşturulur.

$$I_{demet} = \frac{qeN}{t} = \frac{qeN}{l} \cdot \beta c$$

- Bir akımın magnetik alanı Biot-Savart yasasından hesaplanabilir.

$$d\vec{B} = \mu_0 I_{demet} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$

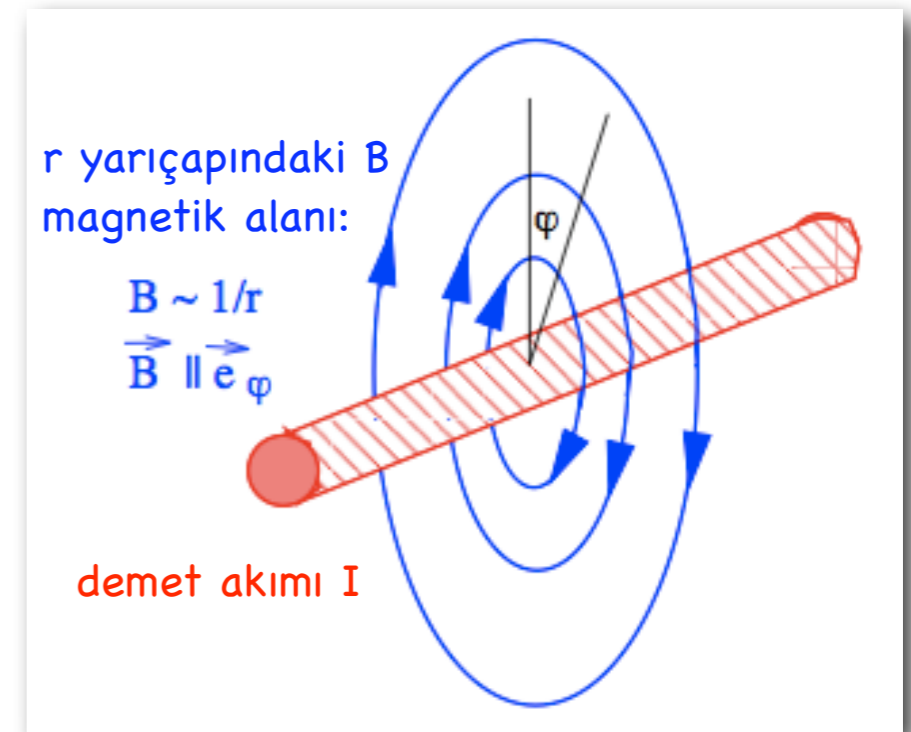
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{I_{demet}}{2\pi r} \cdot \vec{e}_\varphi$$

boşluğun magnetik geçirgenliği

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ V.s/A.m}$$

yönel açı (azimutal) yönünde birim vektör

demet merkezinden magnetik alanın ölçüldüğü noktaya olan uzaklık



Akım Dönüştürücü

- ▶ Demet akımı, ona bağlı olan magnetik alan bir akım dönüştürücü ile görüntülenerek belirlenebilir.
- ▶ Demet, magnetik geçirgenliği yüksek bir simit içinden geçer. Bu dönüştürücünün "**birincil sarımı**" oluşturur.
- ▶ Simit çevresine sarılan yalıtılmış bir tel ise, dönüştürücünün L irkilimli (inductance) "**ikincil sarımı**" oluşturur.
- ▶ Bir akım dönüştürücü için, genellikle bir direnç yük olarak kullanılır.
- ▶ Demet yönündeki uzunluğu l , iç yarıçapı r_i , dış yarıçapı r_o , görelî magnetik geçirgenliği μ_r ve üzerindeki ikincil sarımların sayısı N olan bir simitin irkilimi aşağıdaki gibidir.

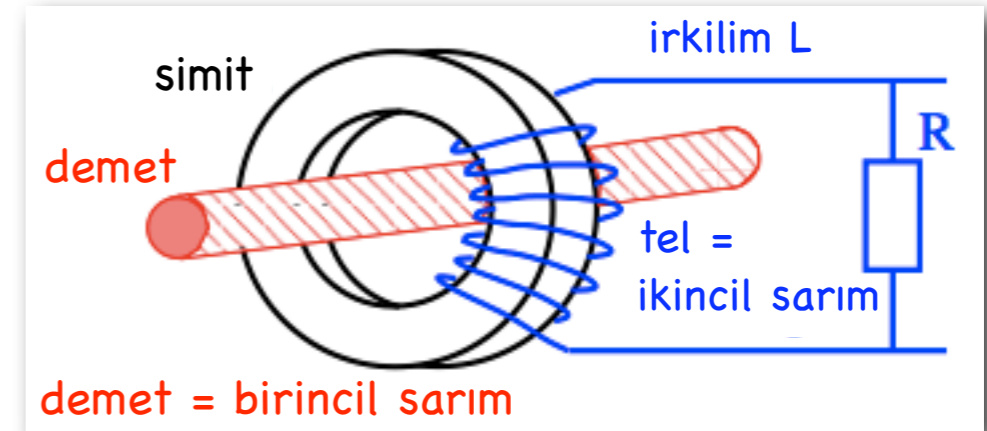
$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ell N^2 \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)$$

$$I_{ikincil} = \frac{N_{birincil}}{N_{ikincil}} I_{birincil} \quad I_{ikincil} = \frac{1}{N_{ikincil}} I_{birincil}$$

$$U = R \cdot I_{iki} = \frac{R}{N} I_{demet}$$

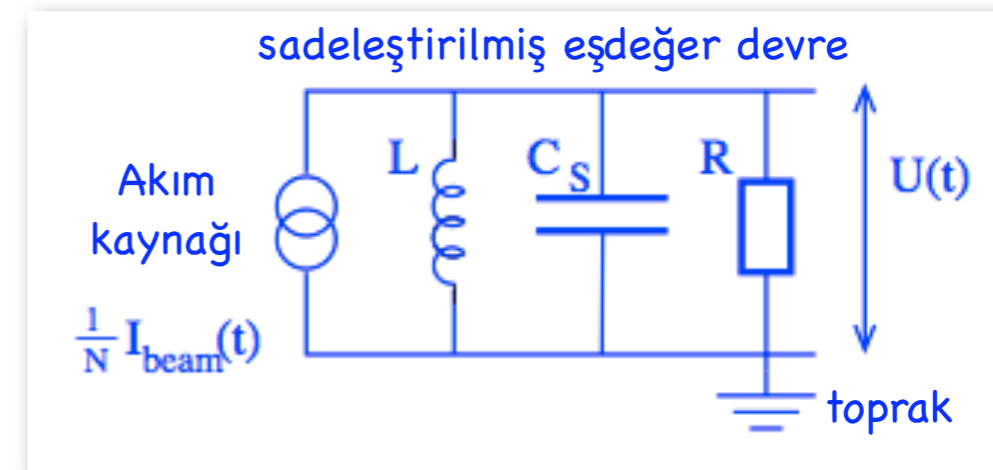
$$U = \underbrace{D \cdot I_{demet}}_{\text{duyarlılık}}$$

- ▶ Kullanılabilir gerilim ve demet akımı arasındaki orana "**duyarlılık**" denir.

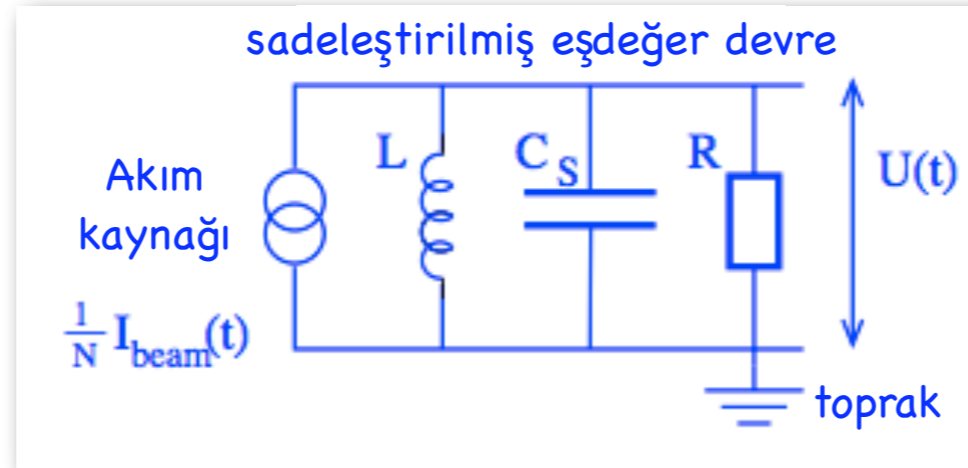


$$N_{birincil} = 1 \text{ (demetin kendisi)}$$

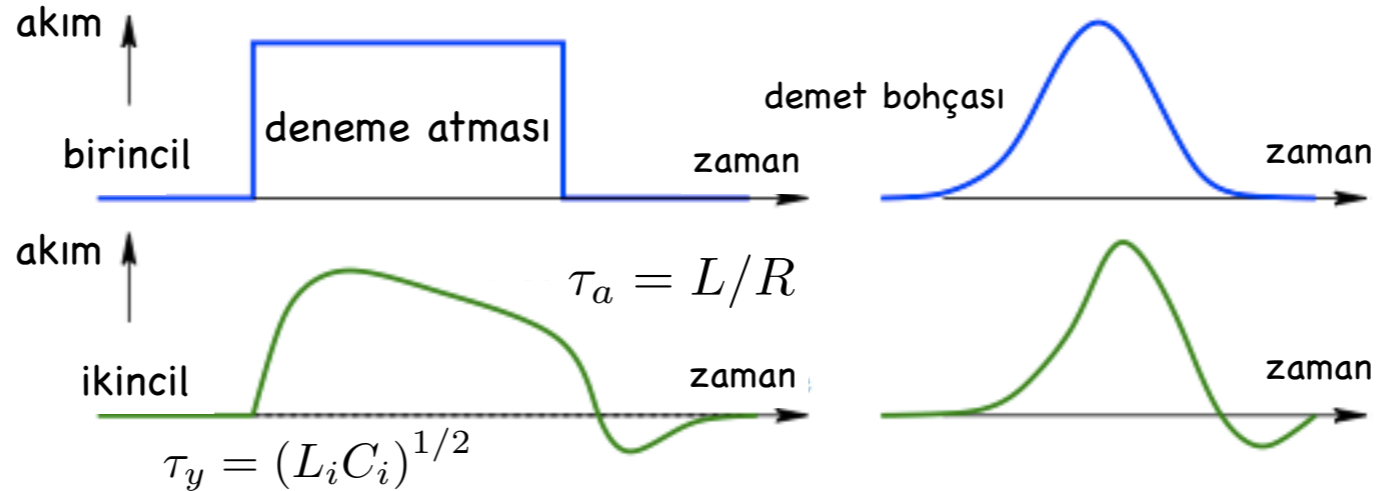
$$N_{ikincil} = N$$



Akım Dönüştürücü



- Bir alternatif akım dönüştürücünün çeşitli atmalara karşı tepkisi.



- Alçalma zaman sabiti, τ_a , düşük frekanslardaki tepkiyi sınırlayan parametredir.
- Yükselen zaman sabiti, τ_y , yüksek frekanslardaki tepkiyi sınırlayan parametredir.
- Alçalma zaman sabiti küçültülerek sinyal düşüşü azaltılabilir.
- Bu da ek sarımlı aktif devrelerle yapılır. Burada bahsetmeyeceğiz...

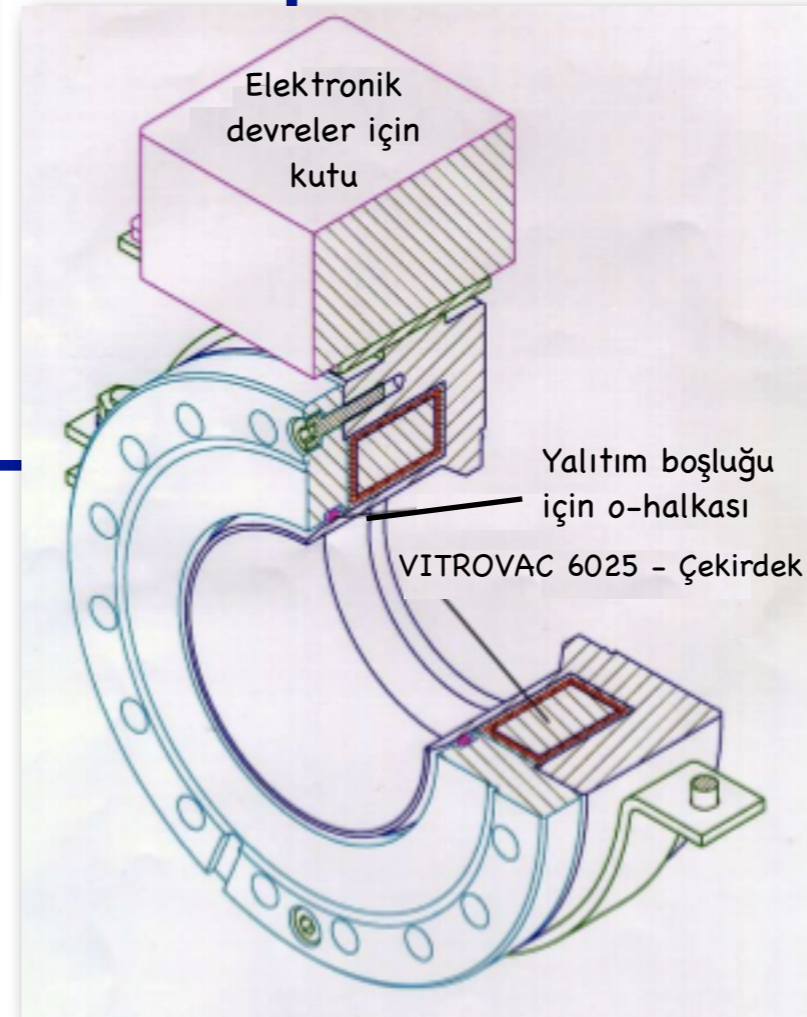
Akım Dönüştürücü



GSI



Bergoz, <http://www.bergoz.com/>



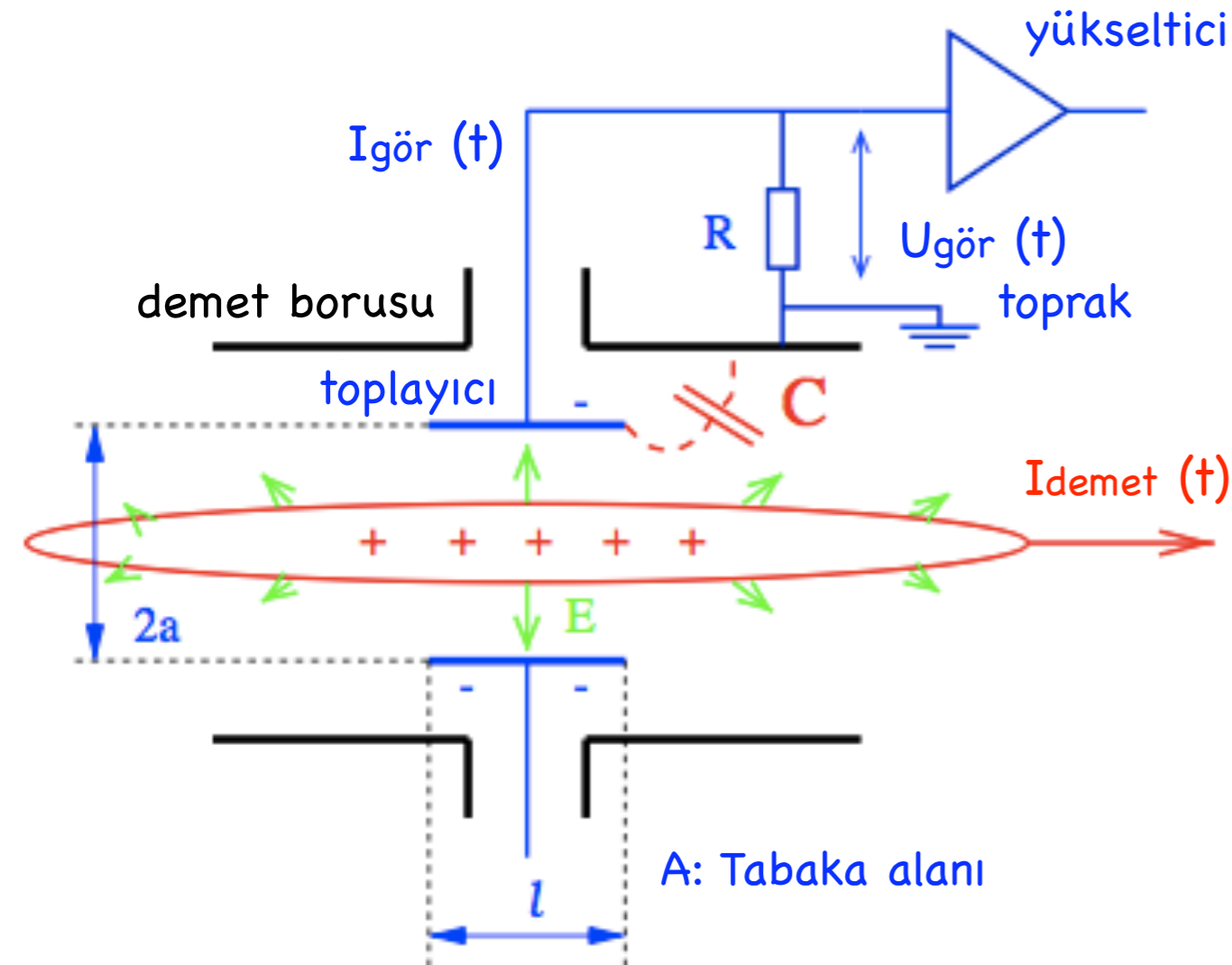
- ▶ Giriş
- ▶ Demet Akımı Göstergeleri
- ▶ Demet Konumu Göstergeleri
- ▶ Enine demet kesitleri ve Yayınım Tanı Yöntemleri
- ▶ Demet Enerjisinin Ölçümü
- ▶ Yüksek Parlaklıklı Demetler için Tanı Yöntemleri
- ▶ Işınlık Ölçümleri
- ▶ Ayar ve Renksellik Ölçümleri
- ▶ Örgü Ölçümleri
- ▶ Ek konular
 - ▶ Örnekselden sayısala çeviriciler (analog-to-digital converters)
 - ▶ Çoklu-bohça durumunda geribesleme
 - ▶ Demet halkası görüntüleme
 - ▶ Foton demet hattı tanı aletleri ve yöntemleri
 - ▶ Devinimli hizalama
 - ▶ Elektromagnetik girişim

GELECEK OKULLARDA...

- ▶ Demet konumunun ölçülebileceği ölçüm aletleri:
 - α Sıgal toplayıcılar (capacitive pick-ups)
 - α Düğme toplayıcılar (button pick-ups)
 - α "Ayakkabı kutusu" gibi toplayıcılar ("shoe box" pick-ups)
 - α Şerit çizgi biçimli toplayıcılar (stripline pick-ups)
 - α ...

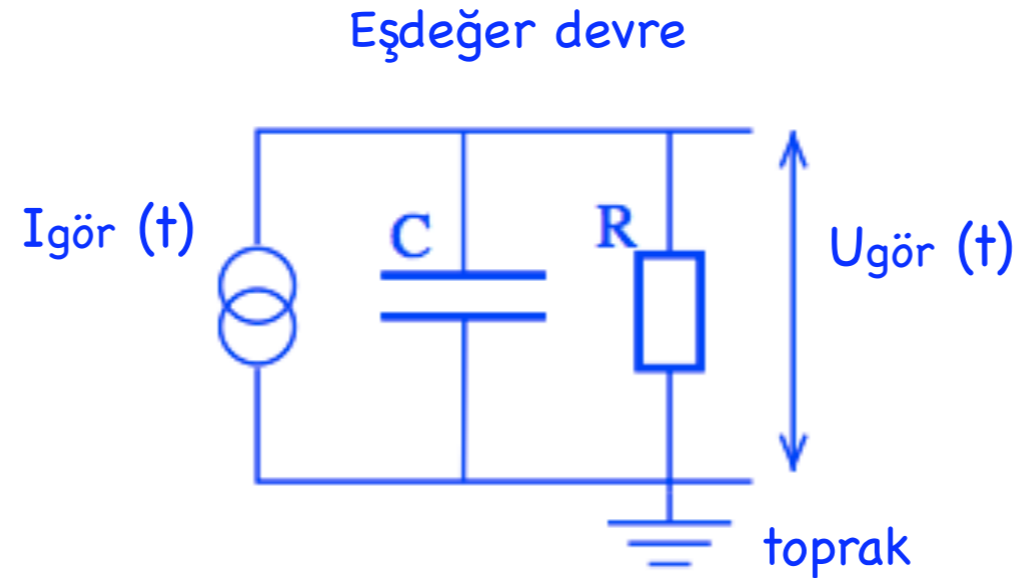
Bazı örnekler görelim...

Sığal (capacitive) konum göstergeleri



- ▶ Demet borusu içine yerleştirilen bir tabaka ya da halkadan oluşur.
- ▶ Demet tarafından oluşturulan görüntü yükü çözümlenmek üzere bir yükselticiye yönlendirilir.
- ▶ **Yıkıcı olmayan** bir tanı aletidir.
- ▶ Tüm doğrusal hızlandırıcılarda, cyclotronlarda ve synchrotronlarda yaygın olarak kullanılırlar.
- ▶ **Demetin kütle merkezinin konumunu** verir.
- ▶ **Boyuna bohça şekli için bir gösterge** olarak da kullanılır.
- ▶ **"Elektromagnetik toplayıcı (EM pick-up)"** olarak da adlandırılabilir.
- ▶ Yüklü parçacık tarafından üretilen EM alanına bağlıdır.

Sığıl (capacitive) konum göstergeleri



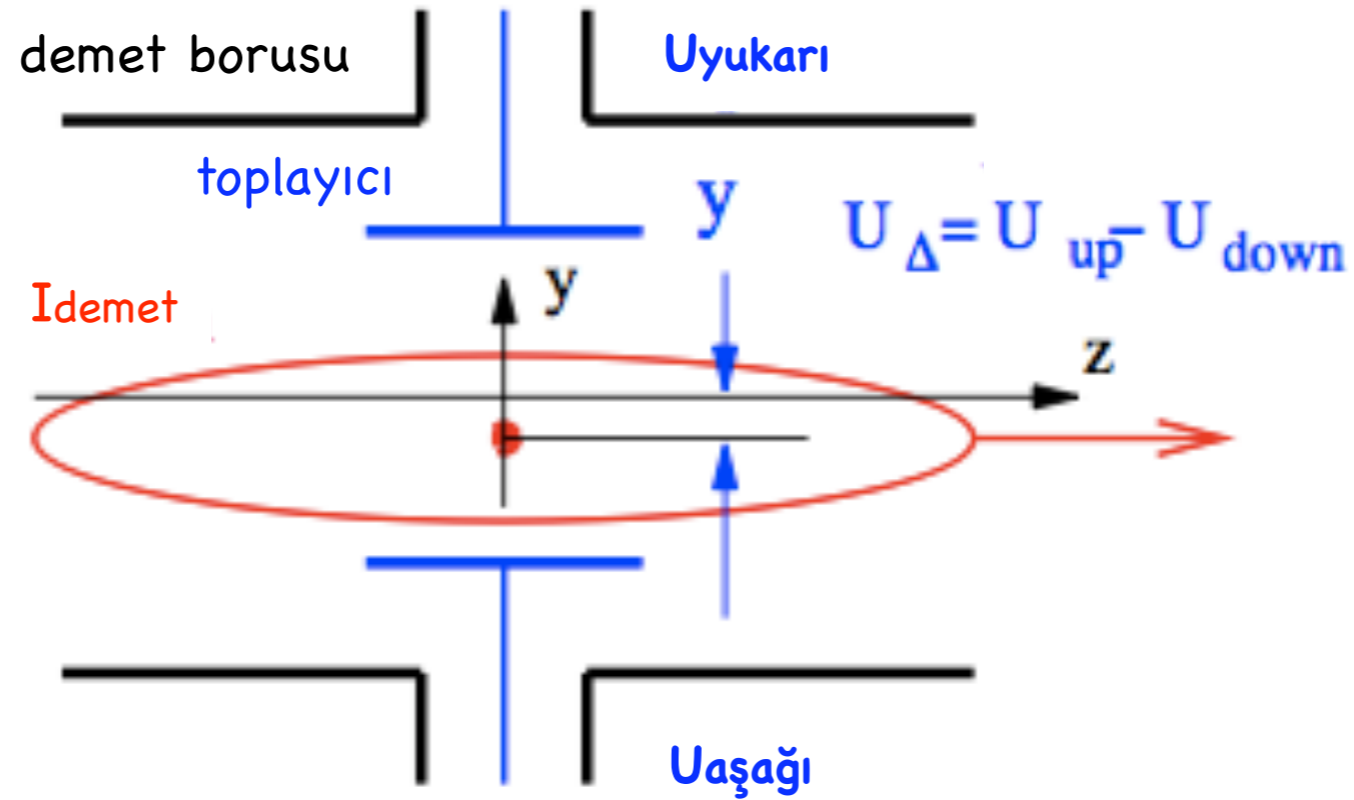
$$I_g(t) = \frac{dQ_g}{dt} = \frac{A}{\pi a l} \frac{dQ_d}{dt} = \frac{A}{\pi a l} \frac{l}{\beta c} \frac{dI_d}{dt} = \frac{A}{\pi a} \frac{1}{\beta c} i\omega I_d(\omega)$$

Fourier dönüşümünü kullanarak, $I_d = I_0 e^{i\omega t} \rightarrow \frac{dI_d}{dt} = i\omega I_d$

Demet akımı ve görüntü yüklerine bağlı potansiyel düşmesinin oranına iletim direnci, Z_t denir.

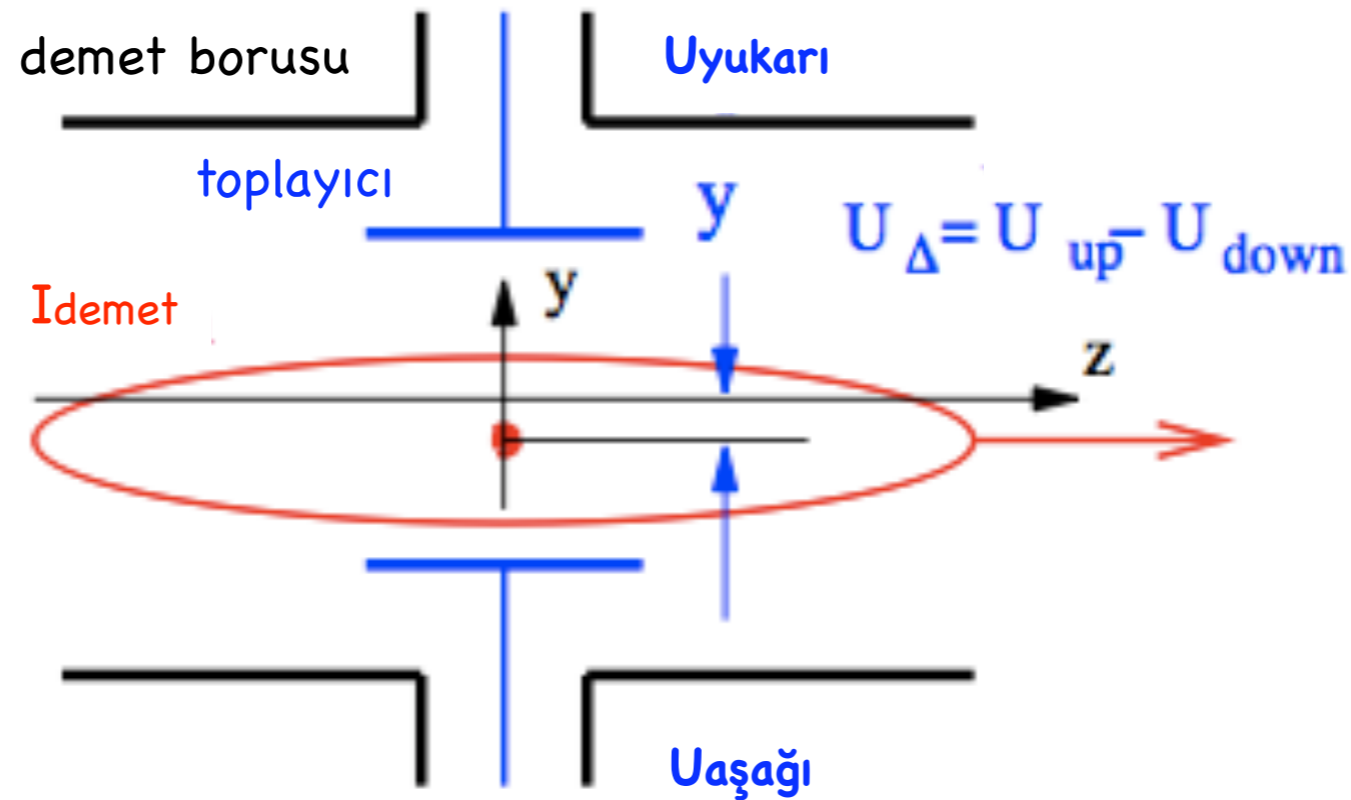
$$U_g(\omega) = R \cdot I_g(\omega) = Z_t(\omega, \beta) \cdot I_d(\omega)$$

Sığal (capacitive) toplayıcı ile konum ölçümü



- ▶ Demetin merkezi vakum odasının merkezine göre yukarıdaki düzenek olduğu gibi birbirinden yalıtılmış tabakalar ya da düğmeler kullanılarak görüntülenebilir.
- ▶ Demetin tabakalardan herhangi birine daha yakın olması bu tabakada daha yüksek bir gerilime neden olacaktır.
- ▶ Buna yakınlık etkisi denir.

Sığal (capacitive) toplayıcı ile konum ölçümü



Yatay konum

$$x = \frac{1}{S_x} \cdot \frac{U_{sag} - U_{sol}}{U_{sag} + U_{sol}} = \frac{1}{S_x} \cdot \frac{\Delta U_x}{\Sigma U_x}$$

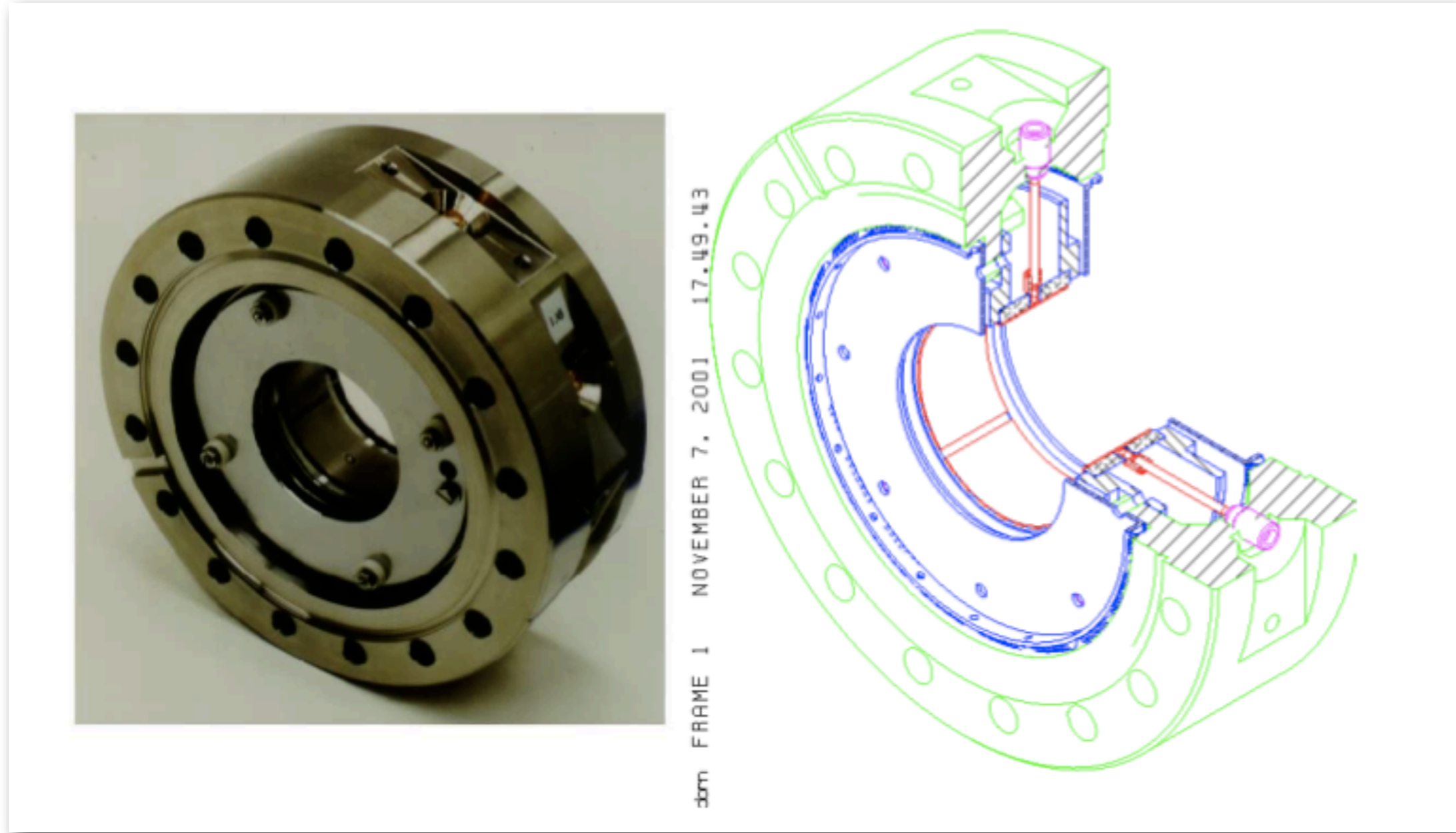
► Normalize gerilim farkı ve demetin gerçek konumu arasındaki orana "**S_x, S_y, konum duyarlılığı**" denir.

Dikey konum

$$y = \frac{1}{S_y} \cdot \frac{U_{yukari} - U_{asagi}}{U_{yukari} + U_{asagi}} = \frac{1}{S_y} \cdot \frac{\Delta U_y}{\Sigma U_y}$$

► Konum belirlemede kullanılan bu toplayıcılara "demet konum göstergesi" -- "Beam Position Monitor, BPM" denir.

Sığal (capacitive) toplayıcı ile konum ölçümü



GSİ'da bir doğrusal hızlandırıcıda demet konumu belirlemek için kullanılan bir sığal toplayıcı.

- ▶ Giriş
- ▶ Demet Akımı Göstergeleri
- ▶ Demet Konumu Göstergeleri
- ▶ Enine demet kesitleri ve Yayınım Tanı Yöntemleri
- ▶ Demet Enerjisinin Ölçümü
- ▶ Yüksek Parlaklıklı Demetler için Tanı Yöntemleri
- ▶ Işınlık Ölçümleri
- ▶ Ayar ve Renksellik Ölçümleri
- ▶ Örgü Ölçümleri
- ▶ Ek konular
 - ▶ Örnekselden sayısala çeviriciler (analog-to-digital converters)
 - ▶ Çoklu-bohça durumunda geribesleme
 - ▶ Demet halkası görüntüleme
 - ▶ Foton demet hattı tanı aletleri ve yöntemleri
 - ▶ Devinimli hizalama
 - ▶ Elektromagnetik girişim

GELECEK OKULLARDA...

► Demet kesitinin ölçülebileceği ölçüm aletleri:

- α Demetle uyarımlı ışınma göstergesi (beam induced fluorescence monitor)
- α Görünür bölgede geçiş ışınımı perdeleri (optical transition radiation screen)
- α İkincil elektron ızgarası
- α Tel tarayıcı
- α Çoklu-tel odası (multi-wire proportional chamber)
- α Kalan buhar göstergesi (residual gas monitor)
- α Pırıldama perdesi (scintillation screen)
- α Synchrotron ışınımı göstergeleri

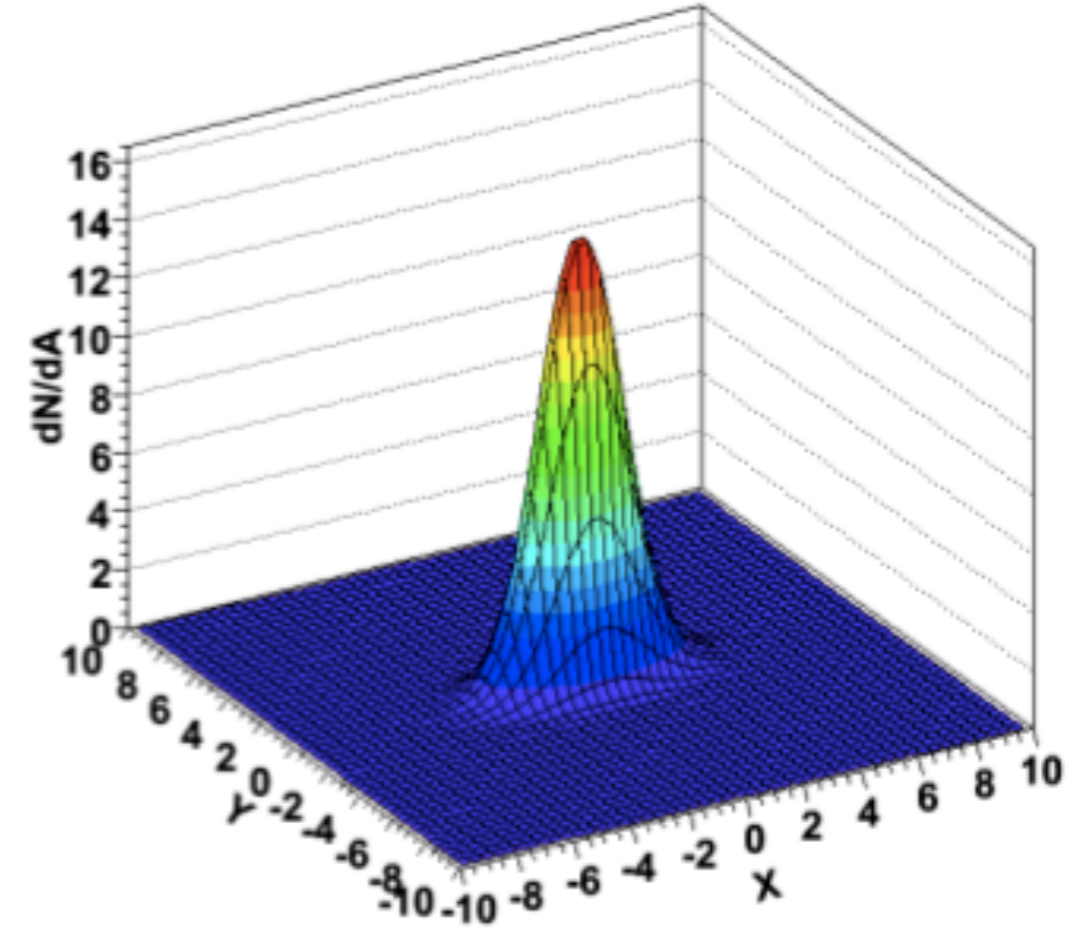
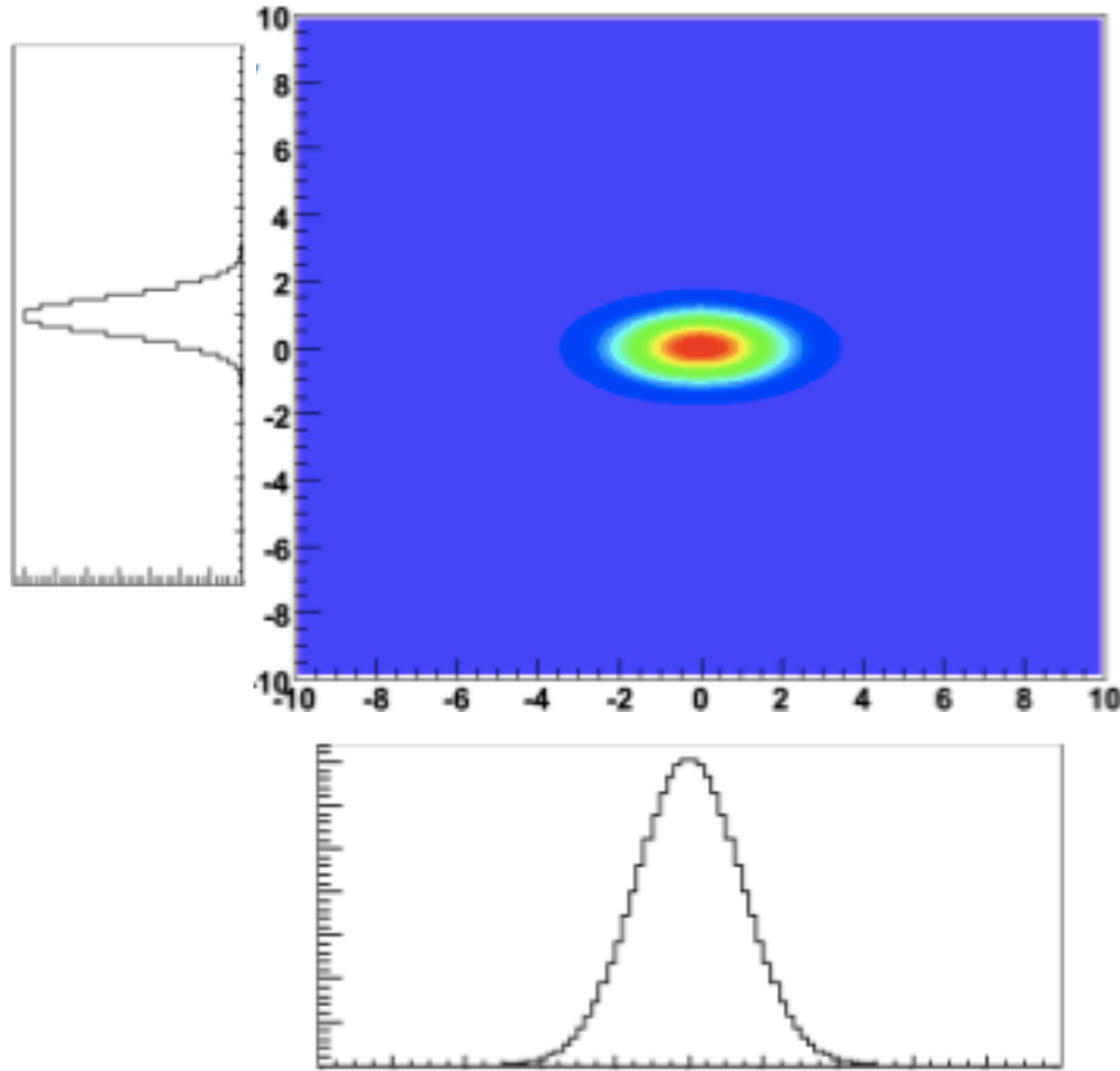
Niçin demet yayınıını ölçüyoruz?

- ▶ **Hızlandırıcının tümünün çalışma niteliğini ayarlamak** için demet yayınıını ölçülmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. Yayınıının etkilediği parametrelere örnek verirsek:
 - ▶ Çarpıştırıcılarda **ışınlık**
 - ▶ Synchrotron ışınıını kaynakları için **parlaklık**
 - ▶ Serbest elektron lazerleri için **dalgaboyu aralığı**
 - ▶ Sabit hedef deneylerinde **çözünürlük**
- ▶ **Twiss parameterlerinin** ölçümü demet yayınıını ile yakından ilgilidir.
- ▶ **Demet yayınıını büyümesi mekanizmalarını** belirlemek, anlamak ve azaltmak için yayınıını ölçümleri yaparız.

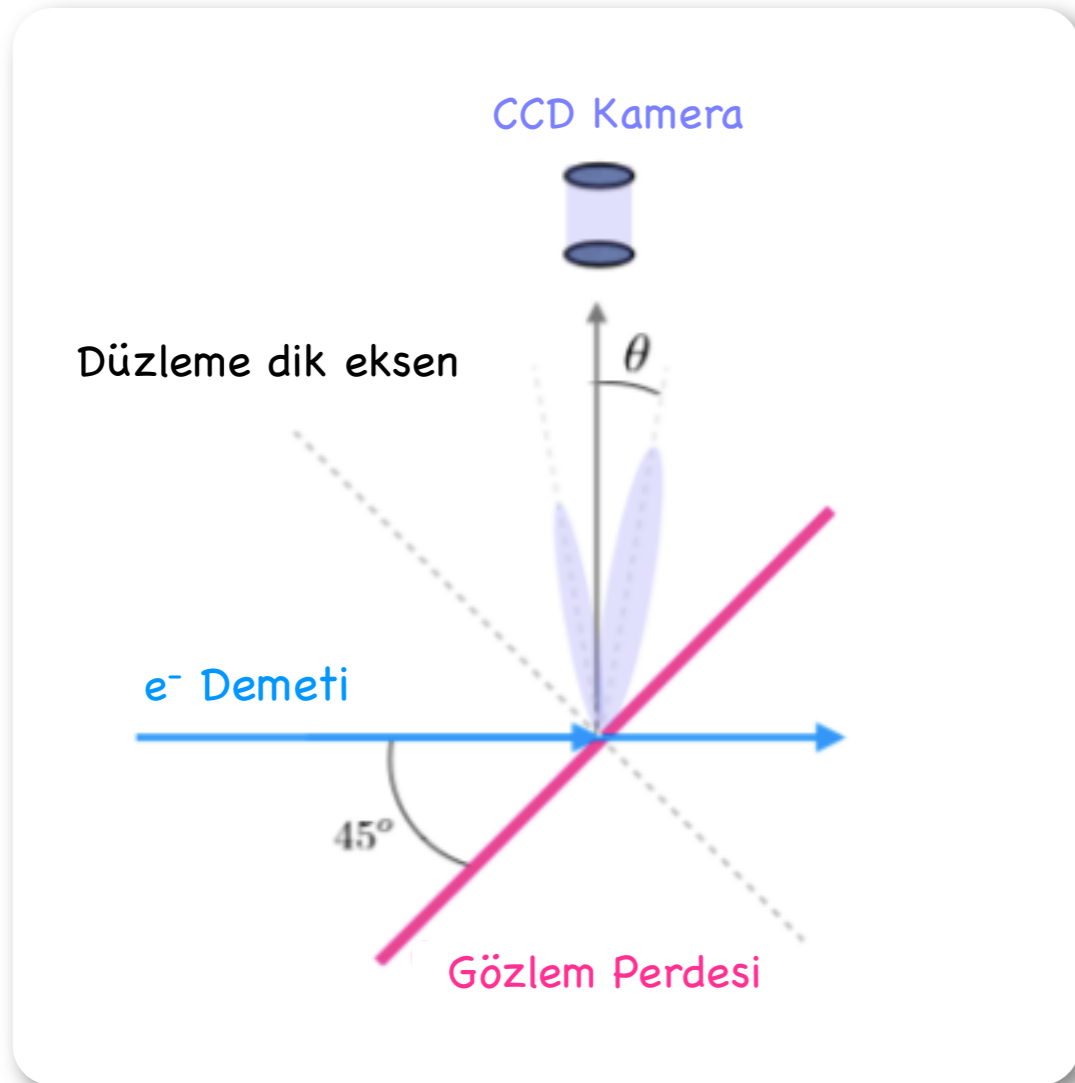
Demet yayınıını nasıl ölçeriz?

- ▶ Enine demet kesiti ölçümleri yardımı ile,
- ▶ çoklu yarık ve biberlik yöntemi ile,
- ▶ Schottky sinyal çözümülemesi
- ▶ demet kesiti ve sapmasının doğrudan ölçülmesi yolu ile demet yayınıını ölçebiliriz.

Demetin enine kesitinin resmini çekip, ölçülerini ve şiddet dağılımını ölçebiliriz.



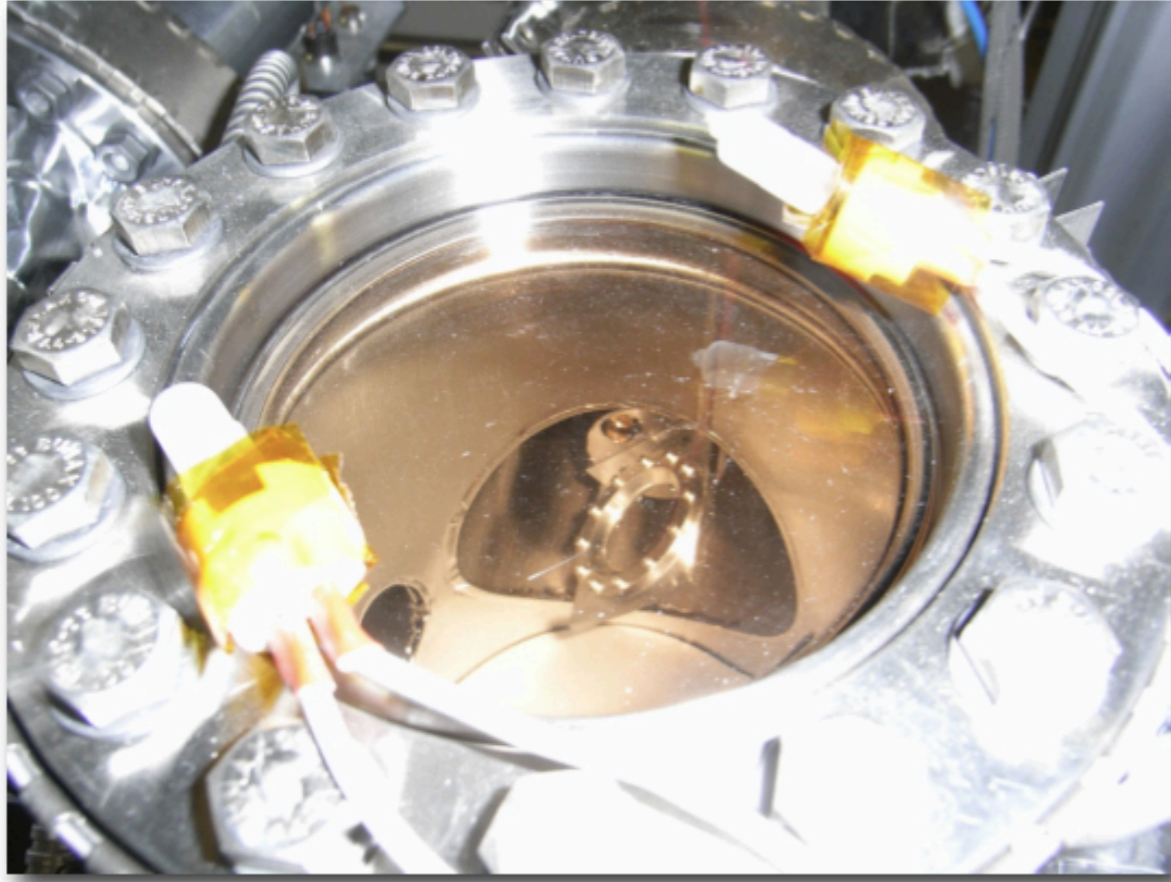
Görünür Bölge Geçiş Işıması (Optical Transition Radiation, OTR)



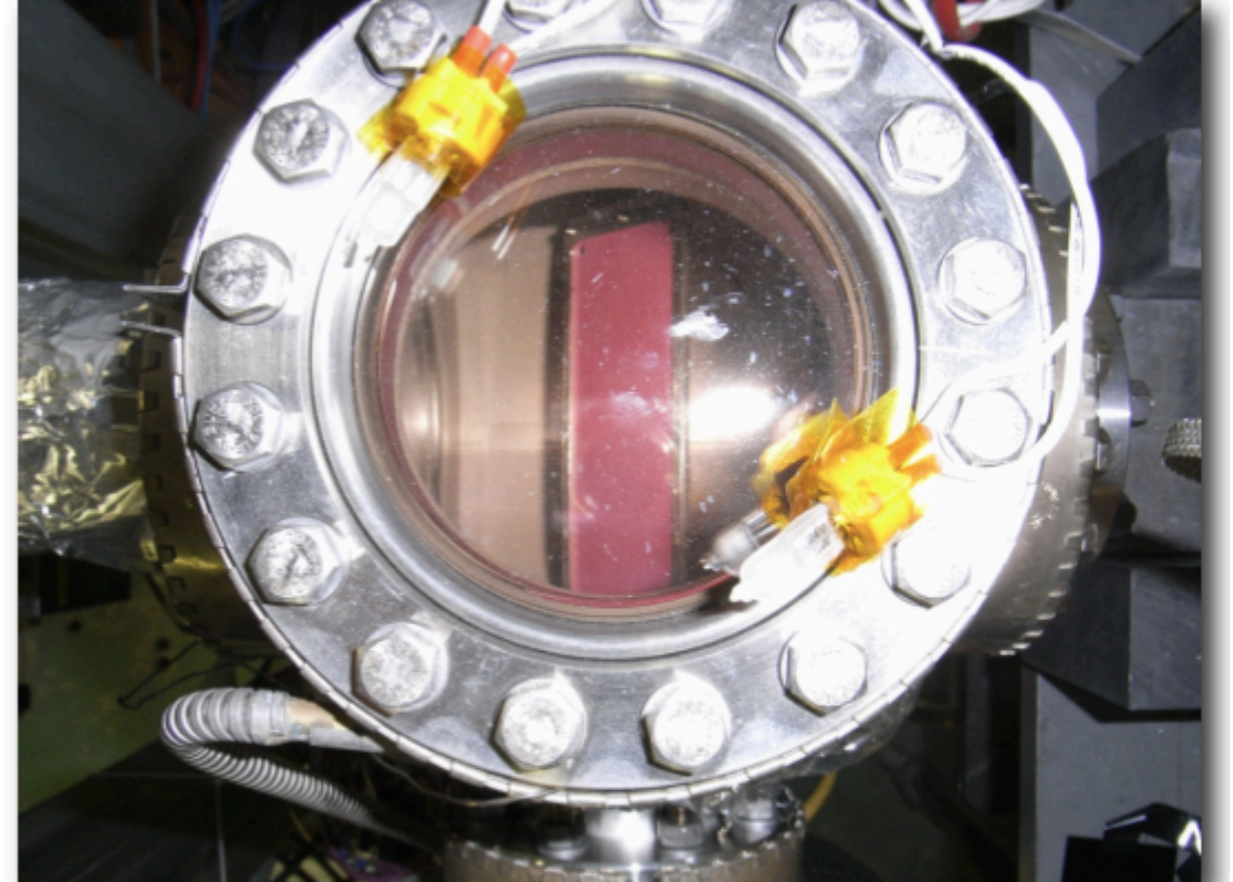
- ▶ Yüklü parçacıklar, farklı elektrik geçirgenliğine (dielectric) sahip iki ortamın arakesitinden geçerken görünür ışığın frekans aralığında ışınma yapar.
- ▶ Bu ışımaya Görünür Bölge Geçiş Işıması (Optical Transition Radiation, OTR) denir.
- ▶ Geçiş ışınması demetin kesitinin ölçülmesinde bir tanı aracı olarak kullanılır.
- ▶ Bu tür bir ölçüm için kullanılacak bir düzenek genel olarak yandaki çizimde gösterilmiştir.
- ▶ Düzenek, bir ışıl (florescent) gözlem perdesi, vakum ortamdaki ışınımın dışarı alınmasında kullanılacak bir pencere, ışınımın ölçülmesi için kullanılacak bir CCD (charge-coupled device, yük bağımlı aygıt) kameradan ve buna ek olarak gelecek veri iletim, sayısallaştırma ve kayıt birimlerinden oluşur.

Görünür Bölge Geçiş Işıması (Optical Transition Radiation, OTR)

Aluminum gözlem perdesi



Alumina (seramik) gözlem perdesi



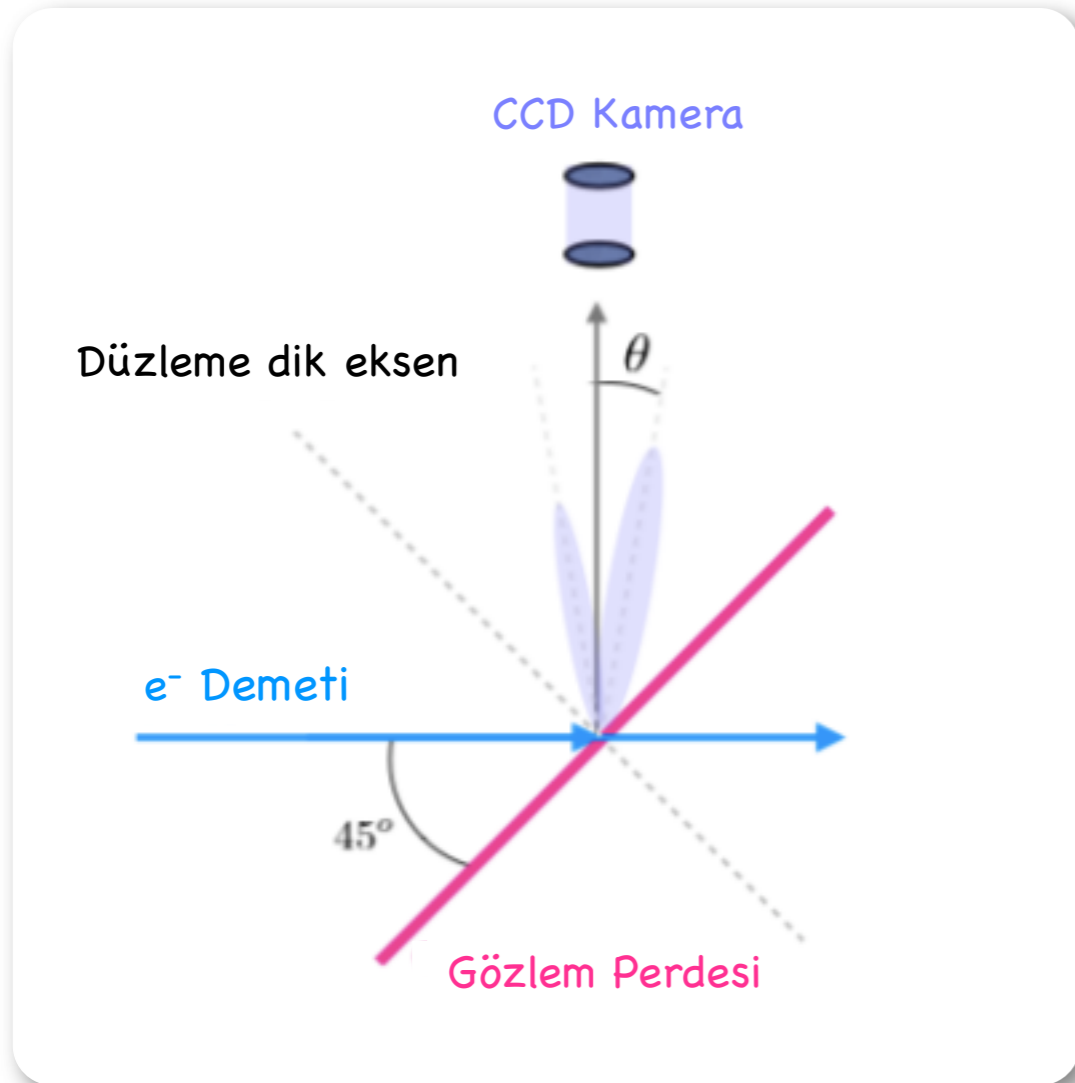
CCD kamera



Yükseltilmiş CCD kamera



Görünür Bölge Geçiş Işınması (Optical Transition Radiation, OTR)



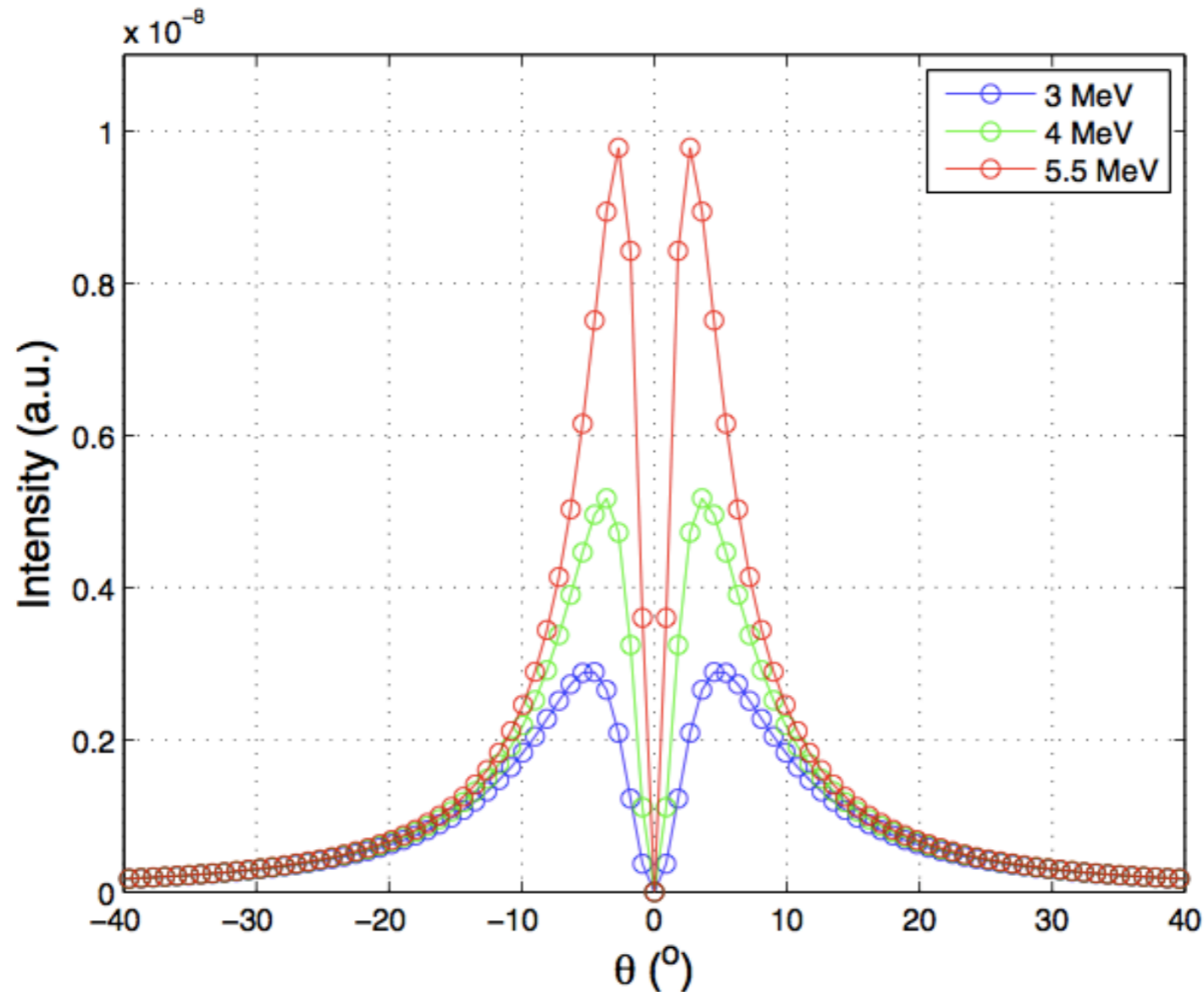
- ▶ Görünür bölge geçiş ışınımı arayüzeyin önünde (öncül) ve arkasında (ardıl) olmak üzere iki yönde yayımlanır.
- ▶ Tanı aracı olarak uygulama kolaylığı açısından perde şeklindeki gibi 45° açı ile yerleştirilir ve elektronların geliş doğrultusuna dik olarak yayımlanan ardıl ışınım kullanılır.
- ▶ Işınımın elektrik alanının gözlem düzlemine dik ve paralel olarak iki bileşeni vardır. Işınımın şiddeti olarak bu iki bileşenin toplamı kullanılır.
- ▶ Işınımı algılayacak kamera, şiddetin en yüksek olduğu açı ile yerleştirilir.

Görünür Bölge Geçiş Işınması (Optical Transition Radiation, OTR)

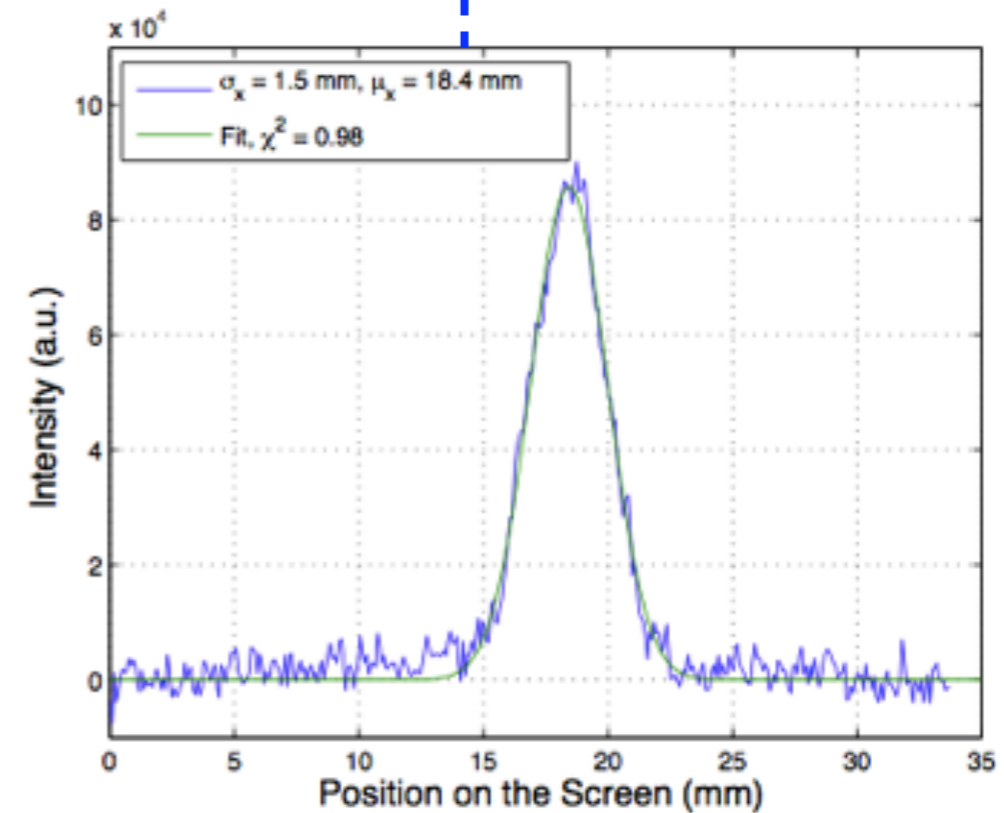
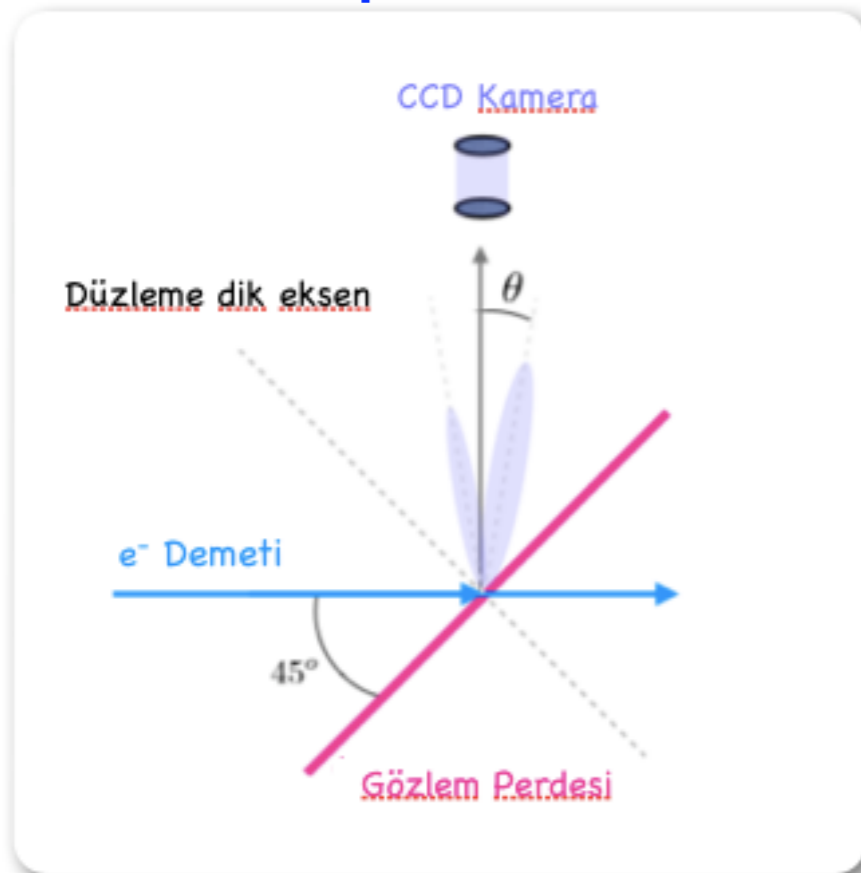
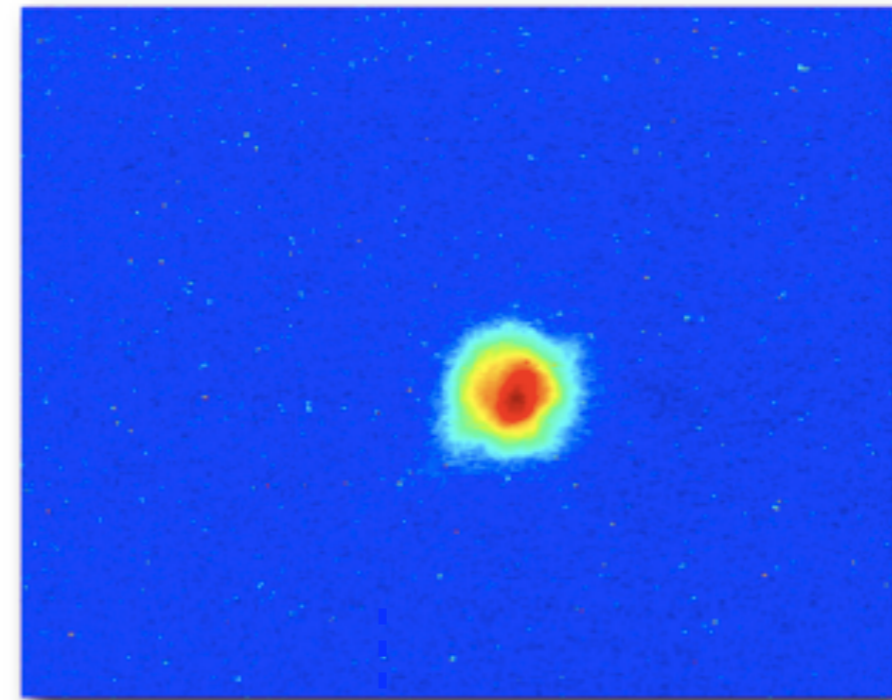
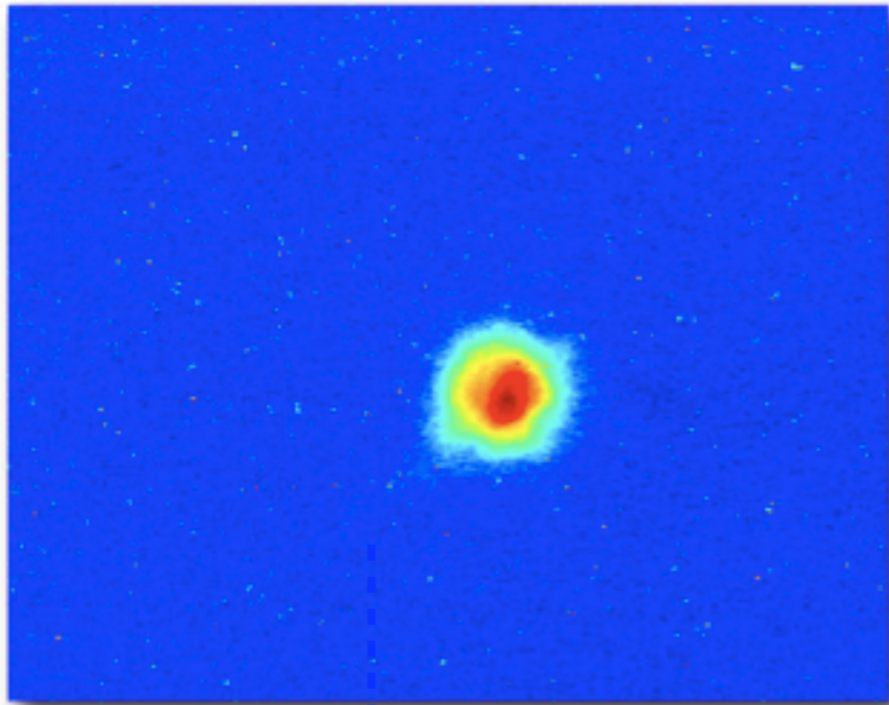
Birim katı açı $d\Omega$, ve birim frekans başına ışınım şiddeti; parçacığın enerjisi (γ) ve gözlem açısına (θ) bağlıdır.

$$I(\theta, \omega) = \frac{d^2W}{d\Omega d\omega} = \frac{d^2W_{\parallel}}{d\Omega d\omega} + \frac{d^2W_{\perp}}{d\Omega d\omega} \approx \frac{q^2}{\pi^2 c} \frac{\theta^2}{(\gamma^{-2} + \theta^2)^2}$$

Açıya ve demet enerjine göre toplam ışınım şiddeti dağılımı

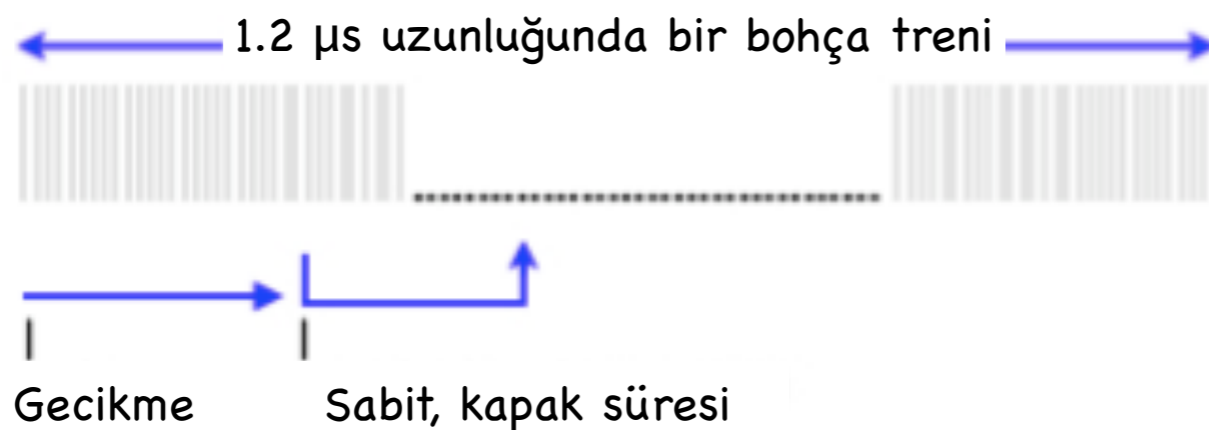


Görünür Bölge Geçiş Işıması (Optical Transition Radiation, OTR)

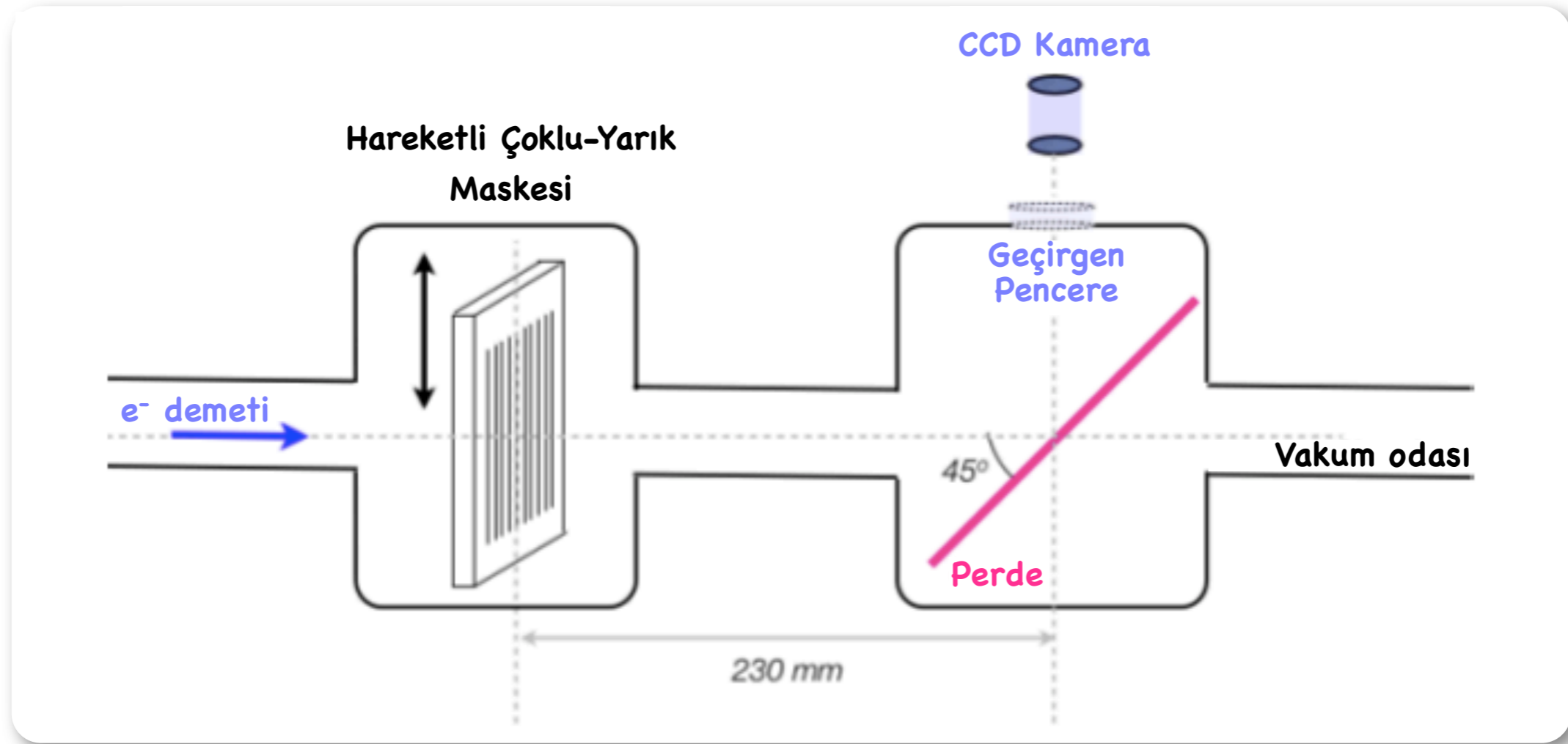


Görünür Bölge Geçiş Işıması (Optical Transition Radiation, OTR)

- ▶ Kamera, kapağının açık olduğu süre boyunca algıladığı ışığı toplayarak ölçer.
- ▶ Dolayısı ile tek bir ölçümümüzde demetin ne kadarı üzerinden ortalama bir değer ölçtüğümüzü belirleyebiliriz.
- ▶ Örneğim, 3 GHz frekansında tekrarlayan bohçalardan oluşan bir demeti 200 ns kapak süresi ile ölçersek, elde ettiğimiz şiddet dağılımı $3 \text{ GHz} \times 200 \text{ ns} = 600$ bohçanın toplam etkisi olacaktır.
- ▶ Demek ki kapak aralığını bir bohçanın uzunluğuna kadar düşürebilirse, tek bir bohçanın etkisini yansıtacak şekilde ölçüm yapabiliriz. **Peki, bu şekilde bir ölçüm yüksek çözünürlük açısından ideale yakın görünse de, teknolojik olarak nasıl bir zorluk getirebilirdi?**
- ▶ Kameranın ölçüm yapması demete göre doğru zamanlanmalıdır. Demet ile kameranın çekim zamanı bir tetikleme sistemi ile eşzamanlı hale getirilir.
- ▶ Bazı durumlarda kameranın çekim zamanı demete göre geciktirilerek, uzun bir bohça treni boyunca demetin enine düzlemdeki özelliklerinin ölçümü yapılır.
- ▶ Bu tür ölçümlere "zaman çözünürlüklü" ölçümler denir.

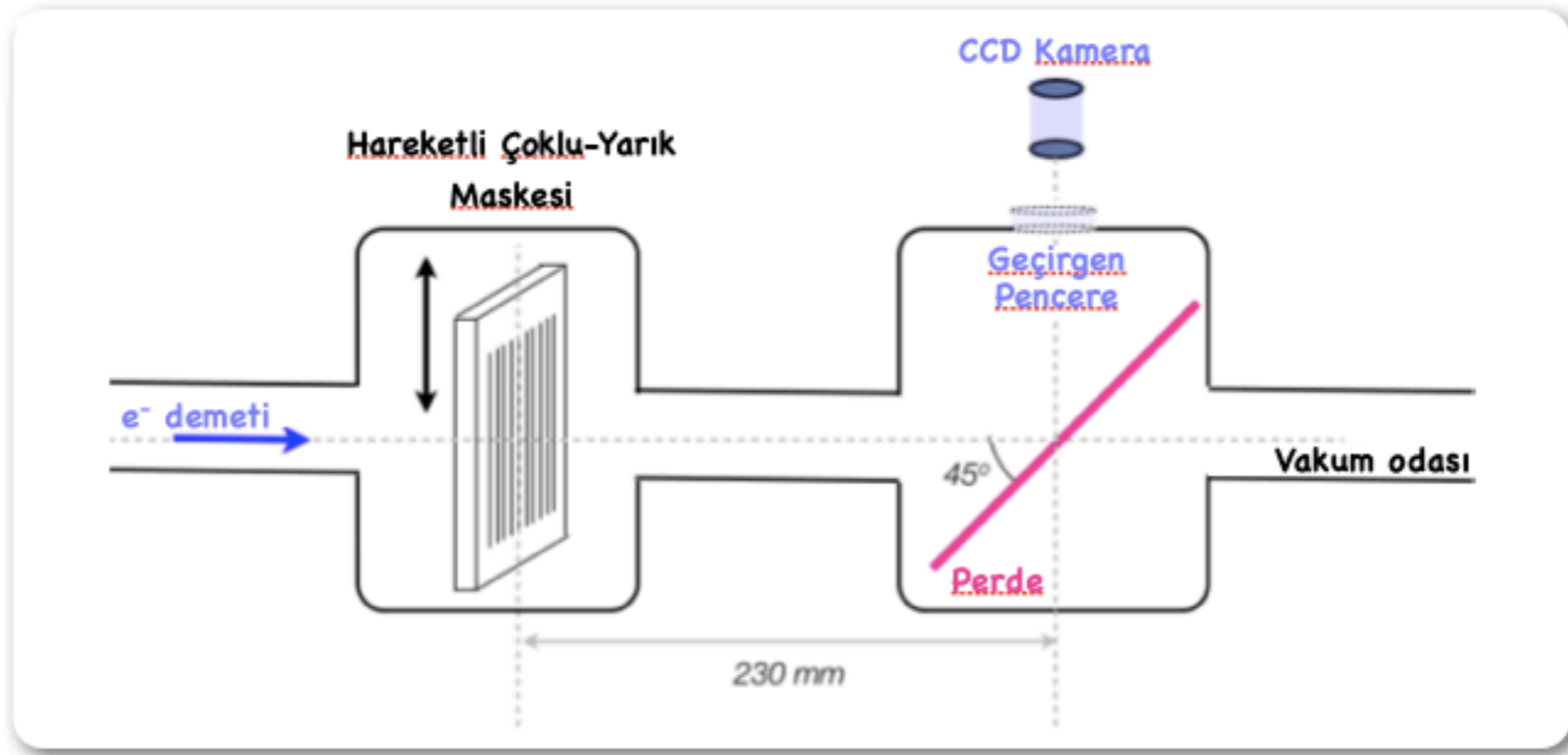


Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü

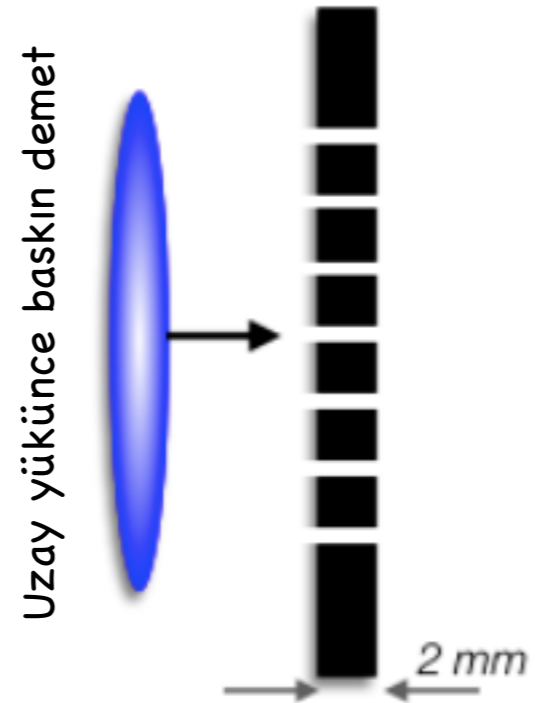


- ▶ Uzay yüküncü baskın demetlerde yayınım ölçümü için kullanılan bir yöntemdir.
- ▶ Çoklu yarık maskesi demetin önüne yerleştirilir.
- ▶ Demetin ~%80'i maske tarafından soğurulur.
- ▶ Maskedeki yarıklardan geçerek yoluna devam eden demet boyuna dilimlere (demetsilere) ayrılmıştır.
- ▶ Demetsilerin kesitleri bir gözlem perdesi üzerinden bir CCD kamera ile görüntülenir.

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü



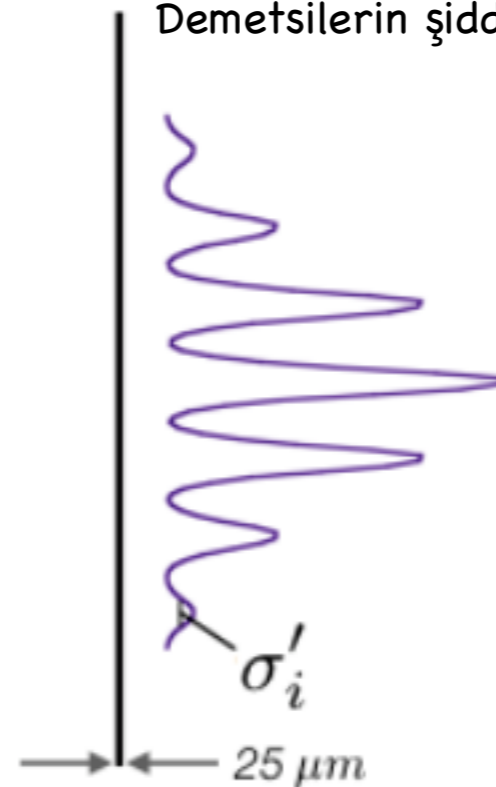
Çoklu-yarık maskesi



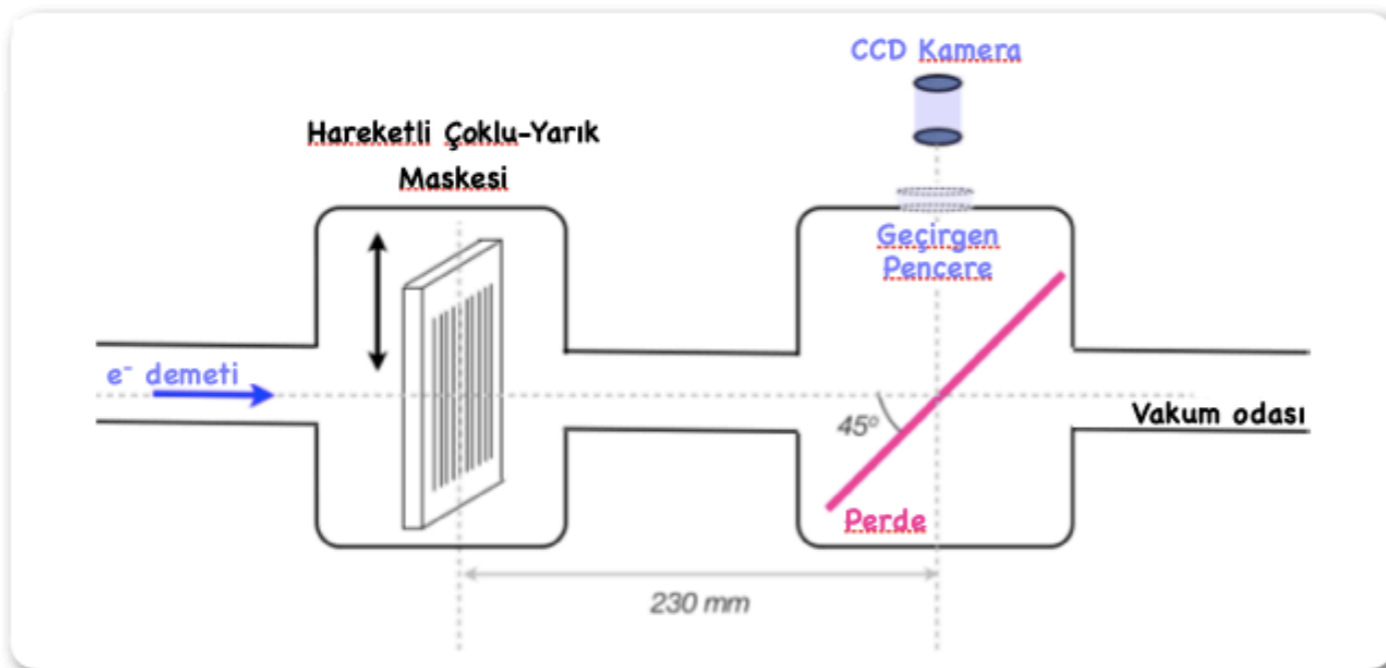
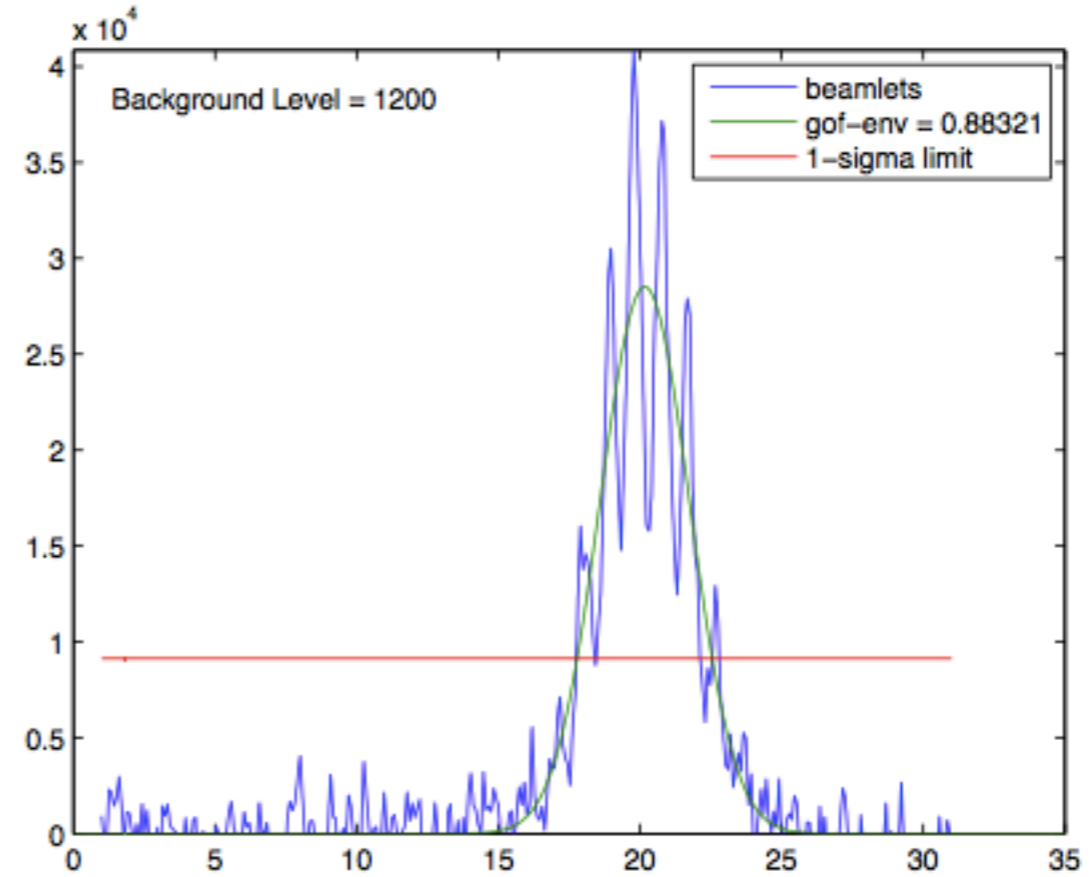
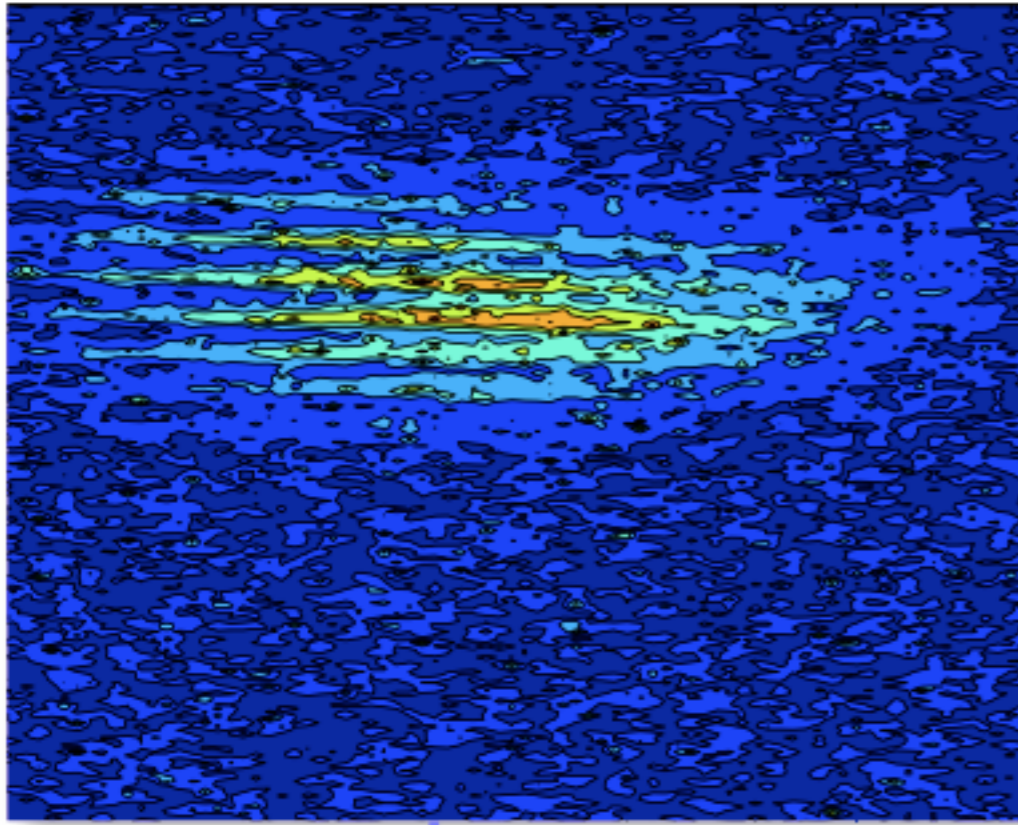
Demetsiler



Demetsilerin şiddet kesiti

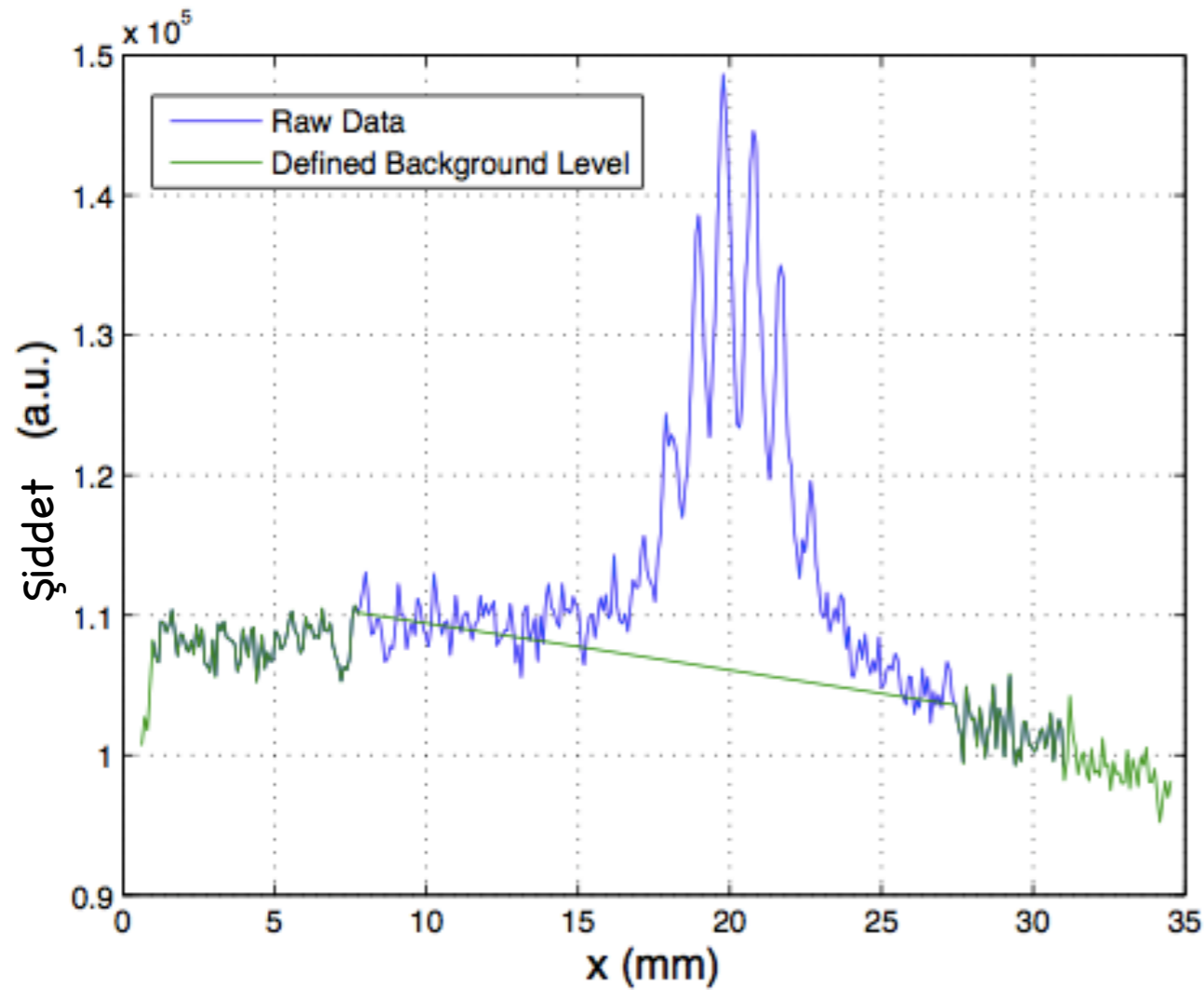


Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü



- ▶ Demetsilerin orta noktaları ve 1σ genişlikleri elde edilen demet kesiti kullanılarak belirlenir.
- ▶ Bu bilgiler kullanılarak, maskenin bulunduğu noktadaki demet yayını hesaplanır.

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü

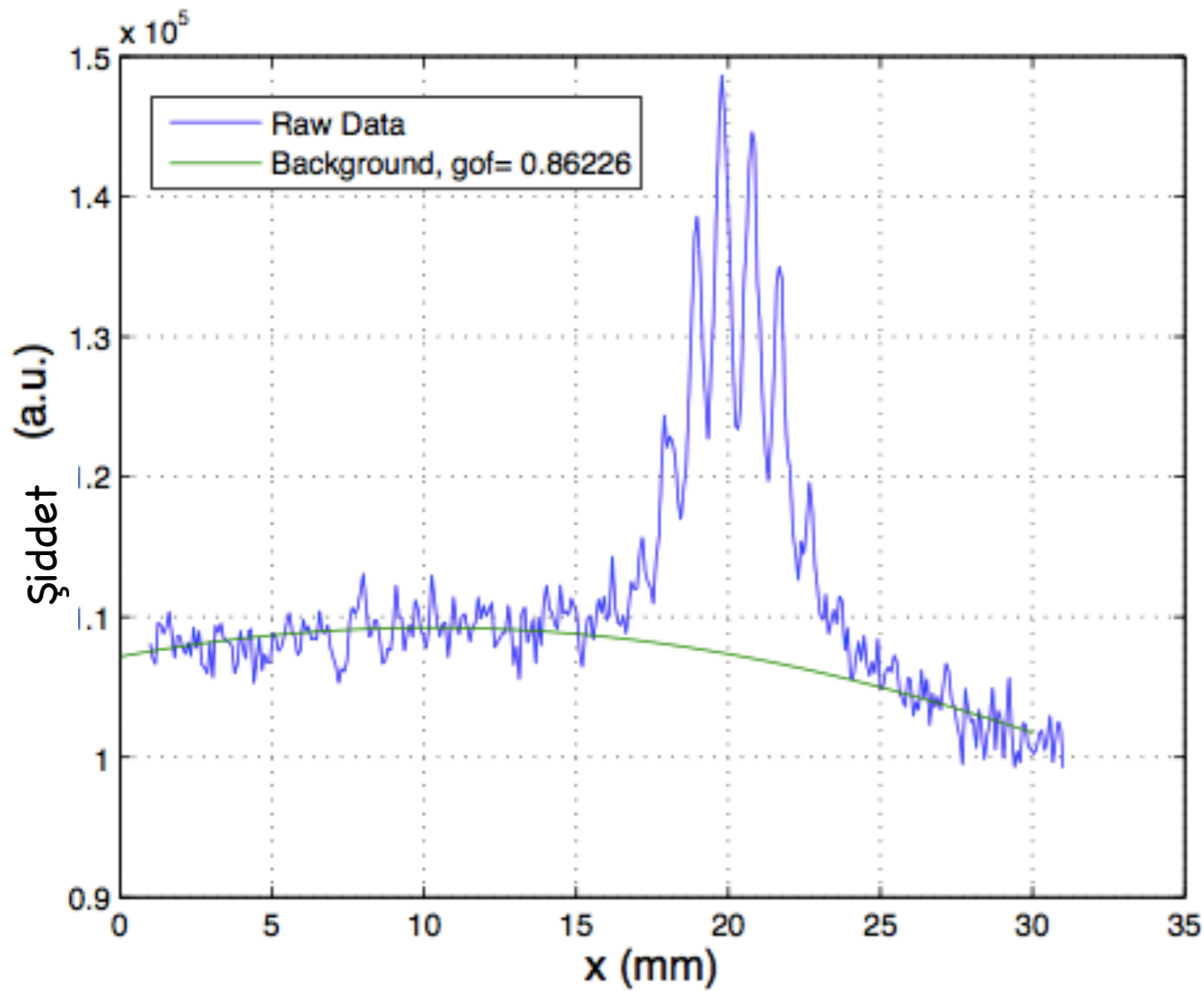


► Çoklu-yarık maskesinden sonra demet kesitine bir örnek.

► Veri çözümü yöntemi:

- Ardalan belirlemek için dağılımın kenarlarında uygun bölgeler belirlenir.
- Dağılımın belirlenen eteklerinin belirli bir modele uygunluğu test edilir.
- Belirlenen ardalardan dağılımdan çıkarılır.
- Ardalandan temizlenen dağılımda, demetsilerin orta noktaları ve genişlikleri belirlenir.
- Bu bilgilerle geometrik demet yayını hesaplanır.
- Demetin evre uzayında kapladığı alan yeniden yapılandırma ile maskenin bulunduğu konum için hesaplanır.

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü



► Çoklu-yarık maskesinden sonra demet kesitine bir örnek.

► Veri çözümü yöntemi:

– Ardalan belirlemek için dağılımın kenarlarında uygun bölgeler belirlenir.

– Dağılımın belirlenen eteklerinin belirli bir modele uygunluğu test edilir.

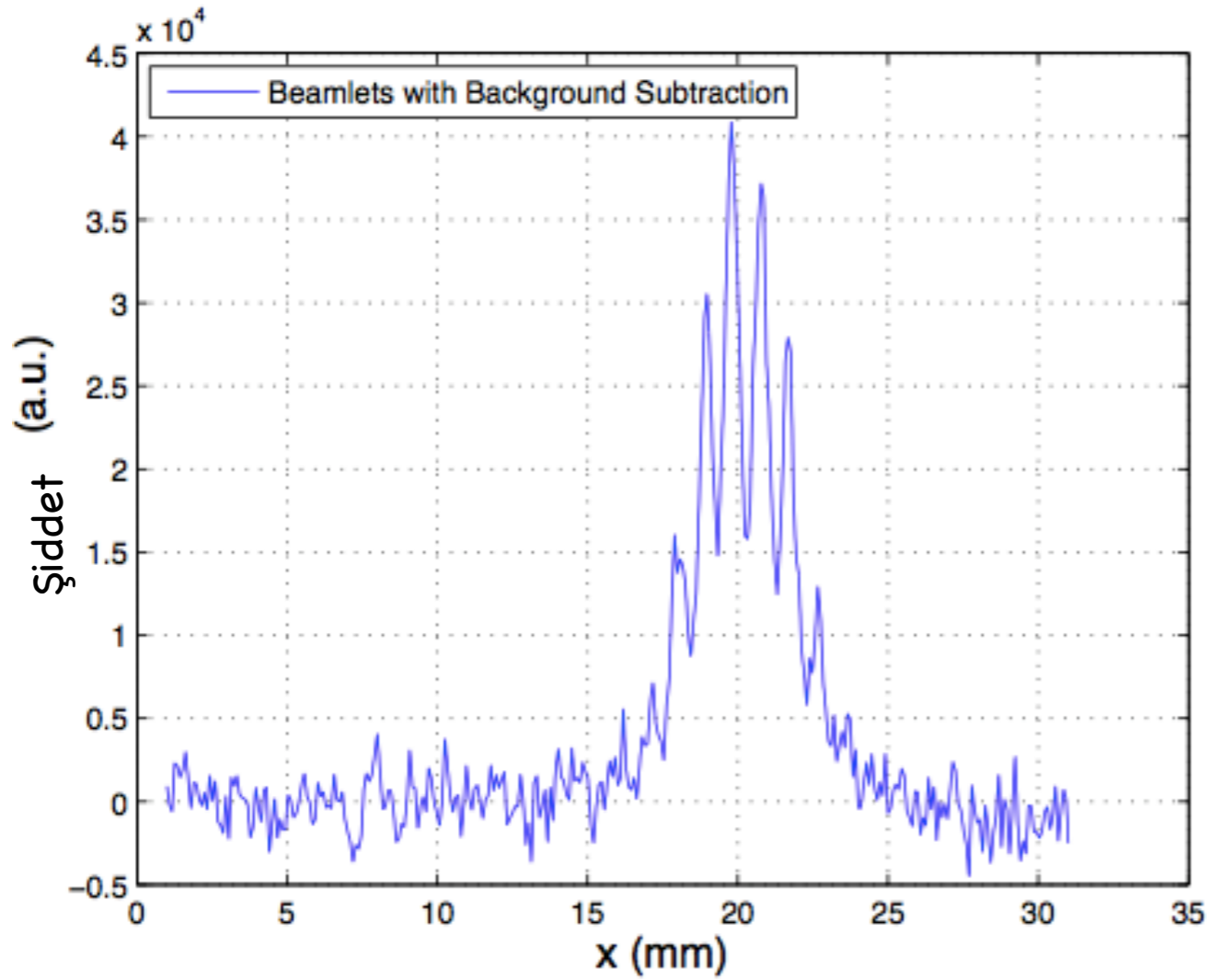
– Belirlenen ardalan dağılımdan çıkarılır.

– Ardalandan temizlenen dağılımda, demetsilerin orta noktaları ve genişlikleri belirlenir.

– Bu bilgilerle geometrik demet yayını hesaplanır.

– Demetin evre uzayında kapladığı alan yeniden yapılandırma ile maskenin bulunduğu konum için hesaplanır.

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü

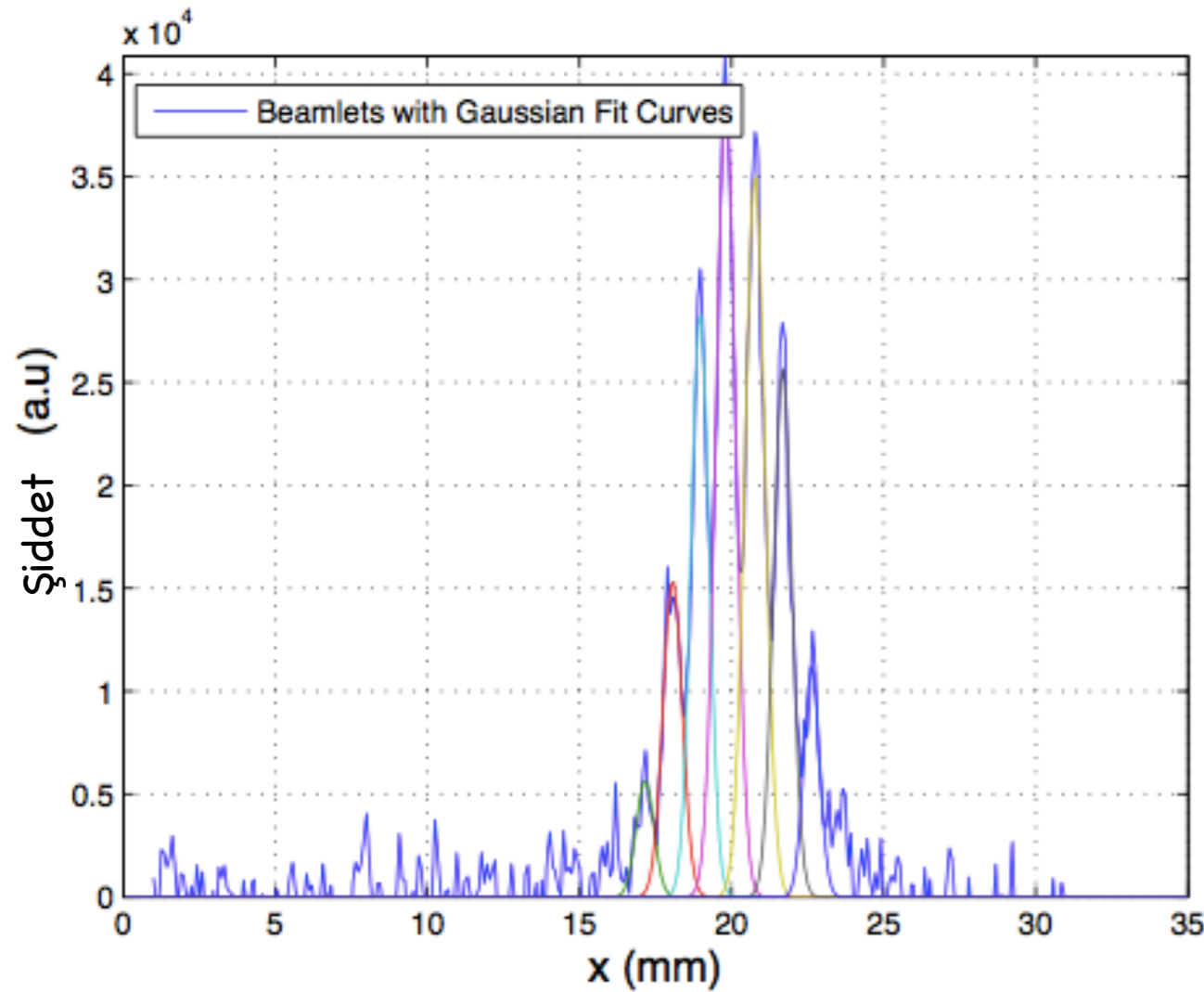


► Çoklu-yarık maskesinden sonra demet kesitine bir örnek.

► Veri çözümü yöntemi:

- Ardalan belirlemek için dağılımın kenarlarında uygun bölgeler belirlenir.
- Dağılımın belirlenen eteklerinin belirli bir modele uygunluğu test edilir.
- **Belirlenen ardalan dağılımdan çıkarılır.**
- Ardalandan temizlenen dağılımda, demetsilerin orta noktaları ve genişlikleri belirlenir.
- Bu bilgilerle geometrik demet yayını hesaplanır.
- Demetin evre uzayında kapladığı alan yeniden yapılandırma ile maskenin bulunduğu konum için hesaplanır.

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü

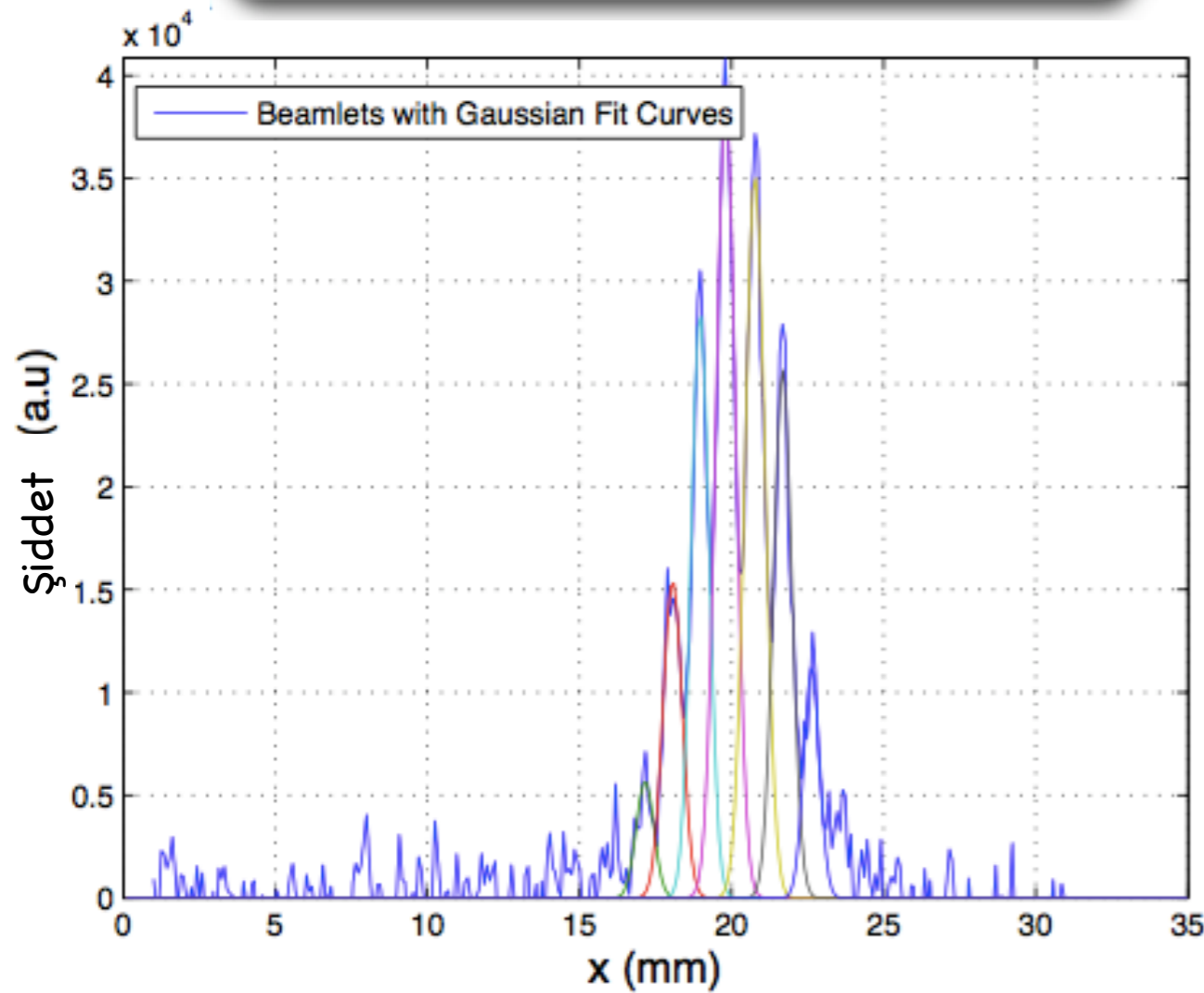


► Çoklu-yarık maskesinden sonra demet kesitine bir örnek.

► Veri çözümü yöntemi:

- Ardalan belirlemek için dağılımın kenarlarında uygun bölgeler belirlenir.
- Dağılımın belirlenen eteklerinin belirli bir modele uygunluğu test edilir.
- Belirlenen ardalan dağılımdan çıkarılır.
- Ardalandan temizlenen dağılımda, demetsilerin orta noktaları ve genişlikleri belirlenir.
- **Bu bilgilerle geometrik demet yayını hesaplanır.**
- Demetin evre uzayında kapladığı alan yeniden yapılandırma ile maskenin bulunduğu konum için hesaplanır.

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü

 ρ_i , tek tek demetsilerin şiddeti. $x_{i,c}$, demetsilerin ortalama konumları. $x'_{i,c} = \langle x_i - iw \rangle / L$, demetsilerin sapması. σ'_i , sapmalar üzerindeki yayılma (hata).

Demet Yayını Tanımı

Enine geometrik demet yayını tanımı.

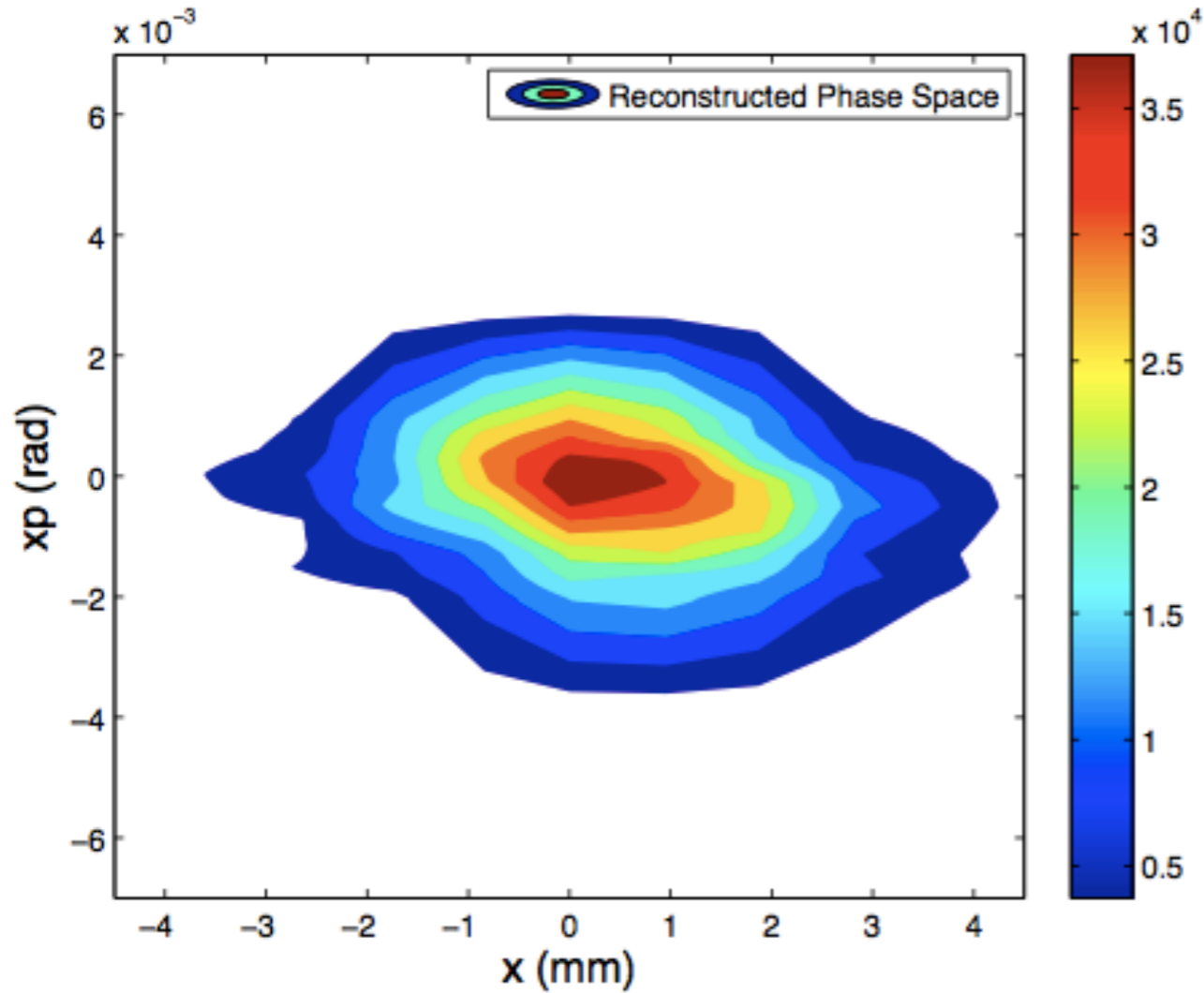
$$\epsilon_x \equiv \sqrt{\langle x^2 \rangle \langle x'^2 \rangle - \langle xx' \rangle^2}$$

$$\langle x^2 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N \rho_i x_{i,c}^2}{\sum_{i=1}^N \rho_i}$$

$$\langle x'^2 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N \rho_i (x_{i,c}'^2 - \sigma_i'^2)}{\sum_{i=1}^N \rho_i}$$

$$\langle xx' \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N \rho_i x_{i,c} x_{i,c}'}{\sum_{i=1}^N \rho_i}$$

Çoklu-yarık yöntemi ile demet yayını ölçümü



► Çoklu-yarık maskesinden sonra demet kesitine bir örnek.

► Veri çözümü yöntemi:

- Ardalan belirlemek için dağılımın kenarlarında uygun bölgeler belirlenir.
- Dağılımın belirlenen eteklerinin belirli bir modele uygunluğu test edilir.
- Belirlenen ardalardan dağılımdan çıkarılır.
- Ardalandan temizlenen dağılımda, demetsilerin orta noktaları ve genişlikleri belirlenir.
- Bu bilgilerle geometrik demet yayını hesaplanır.
- Demetin evre uzayında kapladığı alan yeniden yapılandırma ile maskenin bulunduğu konum için hesaplanır.

Görünür Bölge Geçiş Işınması (Optical Transition Radiation, OTR)

ölçümler üzerindeki ardalan (gürültü)

Olası Kaynaklar

- ▶ Çoklu-yarık tarafından durdurulamayan elektronlar,
- ▶ tek tek demetsiler arasındaki üst-üste gelme,
- ▶ x-ışınları,
- ▶ dışardan ölçüm düzeneğine gelebilecek ışık kirliliği,
- ▶ ışıl gözlem perdesinin ısınması.
- ▶ ...

Olası Çözümler

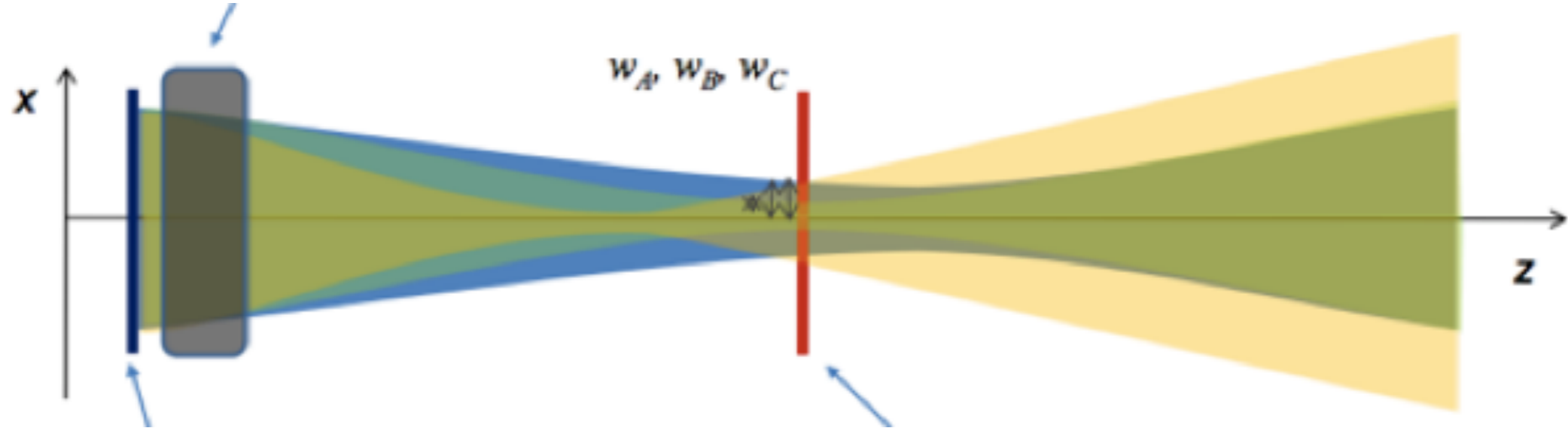
- ▶ Herşeyden önce, ölçüm düzeneği,
 - demetin şiddeti,
 - kameranın spektral duyarlılığı ve kazancı,
 - gözlem perdesinin yapıldığı malzeme (aluminum, seramik, silikon, ...),
 - sinyal/gürültü oranı,

göz önüne alınarak ayarlanmalıdır.

- ▶ çoklu-yarık maskesinin kalınlığı,
- ▶ kameranın uygun şekilde kalkanlanması (x-ışınlarına ve varsa çevreden gelecek ışınımına karşı)
- ▶ ölçüm sonrası veri çözümü sırasında ardalan temizlenebilir.

Dört-kutuplu yöntemi ile demet yayını ölçümü

A, B, C değerlerine ayarlanabilir magnetik mercek
(dört-kutuplu magnet, solenoid, dört-kutuplu magnetler dizisi...)



β, α, γ parametrelerinin belirleneceği örnek nokta.

Kesit Göstergesi

Demet matrisi:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \end{pmatrix} = \epsilon \begin{pmatrix} \beta & -\alpha \\ -\alpha & \gamma \end{pmatrix}$$

Perdede ölçülen demetin genişliği ve σ_{11} matris bileşeni aşağıdaki gibi verilir:

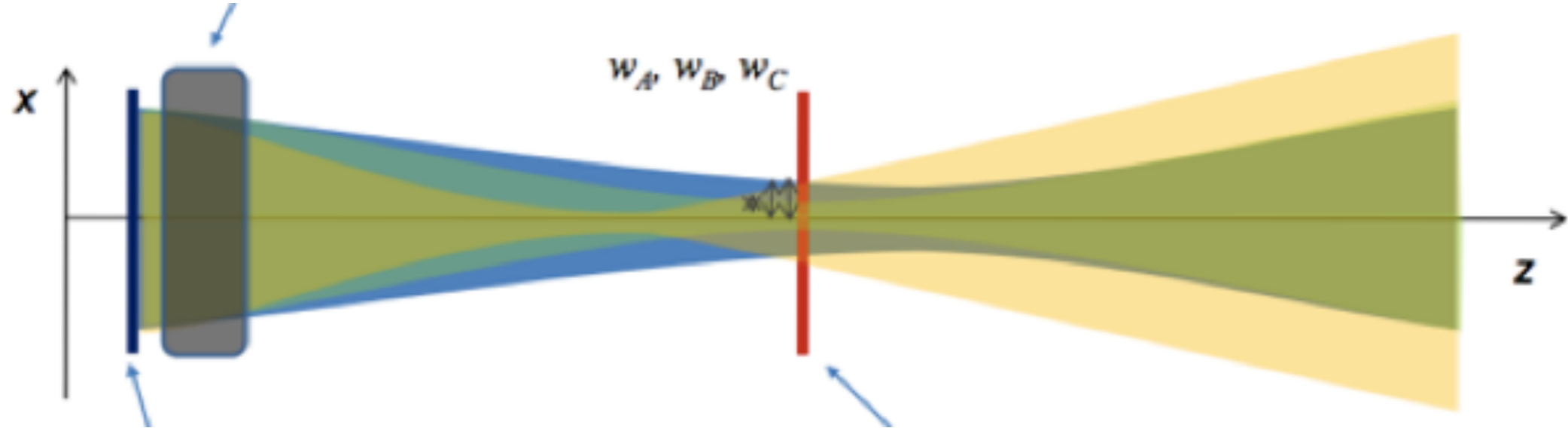
$$W_1^2 = \sigma_{11}(k) = C^2(k)\sigma_{11} + 2S(k)C(k)\sigma_{12} + S^2(k)\sigma_{22}$$

En az üç farklı ölçüm değeri ile bilinmeyen matris bileşenlerini ve buna bağlı olarak da Twiss parametrelerini bulabiliriz.

$$W^2 = \sigma_{i,11} = C_i^2\sigma_{11} + 2S_iC_i\sigma_{12} + S_i^2\sigma_{22}$$

Dört-kutuplu yöntemi ile demet yayını ölçümü

A, B, C değerlerine ayarlanabilir magnetik mercek
(dört-kutuplu magnet, solenoid, dört-kutuplu magnetler dizisi...)



β, α, γ parametrelerinin belirleneceği örnek nokta.

Kesit Göstergesi

$$W^2 = \sigma_{i,11} = C_i^2 \sigma_{11} + 2S_i C_i \sigma_{12} + S_i^2 \sigma_{22}$$

Özetle:

- ▶ Demet yayını ve Twiss parametrelerini, bir örnek nokta ve bir ölçüm noktası arasında yapılacak, farklı iletim matrisi bileşenlerine sahip **en az üç demet genişliği ölçümüne** dayanarak belirleyebiliriz.
- ▶ Farklı iletim matrisleri, **farklı perde konumları, farklı magnet değerleri ya da bunların bir karışımı** ile elde edilir.

$$\sigma_{11} = \beta \epsilon$$

$$\sigma_{12} = \alpha \epsilon$$

$$\sigma_{22} = \gamma \epsilon$$

$$\epsilon^2 = \sigma_{11} \sigma_{22} - \sigma_{12}^2$$

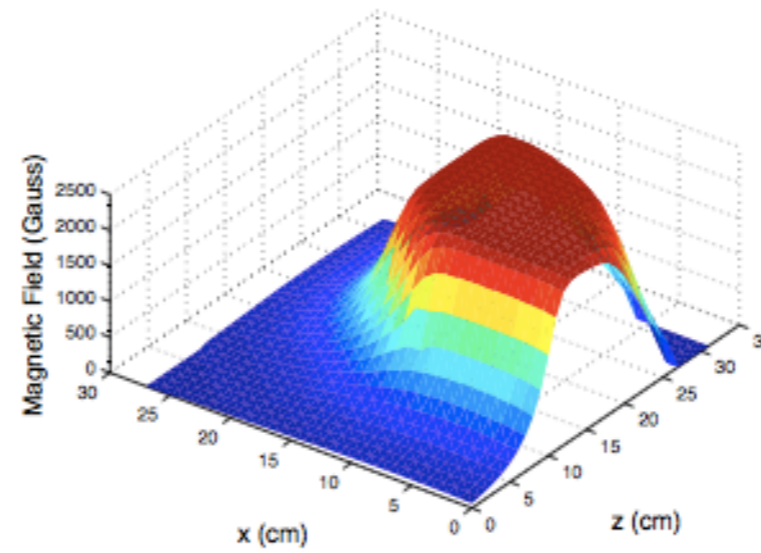
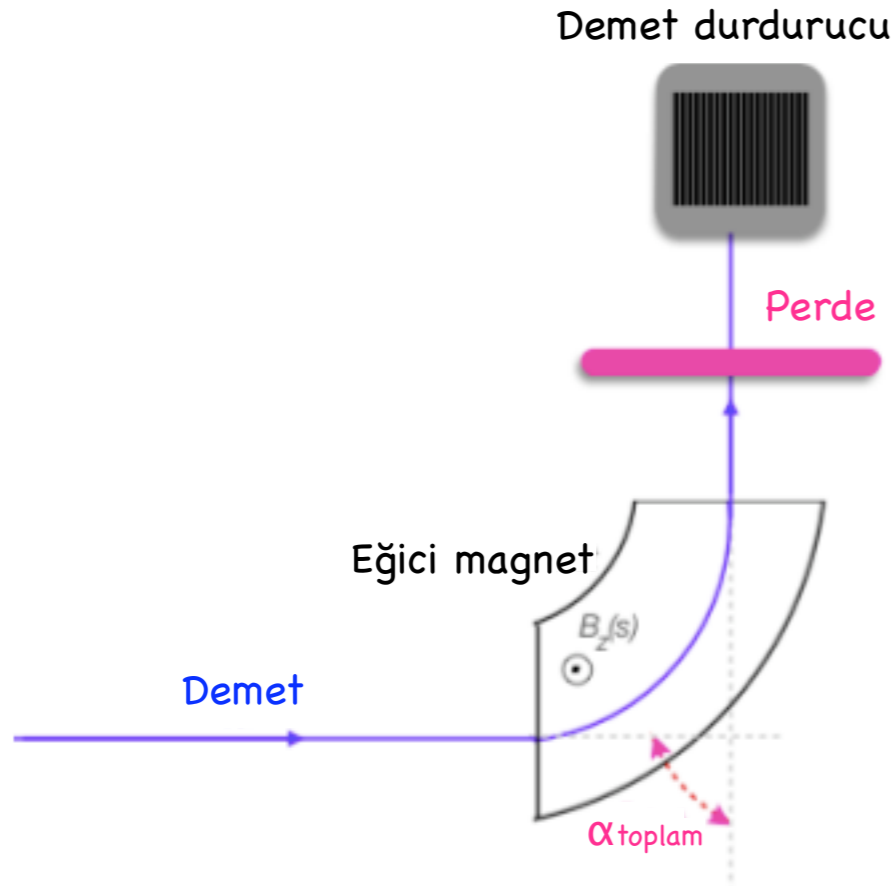
Matlab 2 dersinde buna bir örnek yapacağız.

- ▶ Giriş
- ▶ Demet Akımı Göstergeleri
- ▶ Demet Konumu Göstergeleri
- ▶ Enine demet kesitleri ve Yayınım Tanı Yöntemleri
- ▶ Demet Enerjisinin Ölçümü

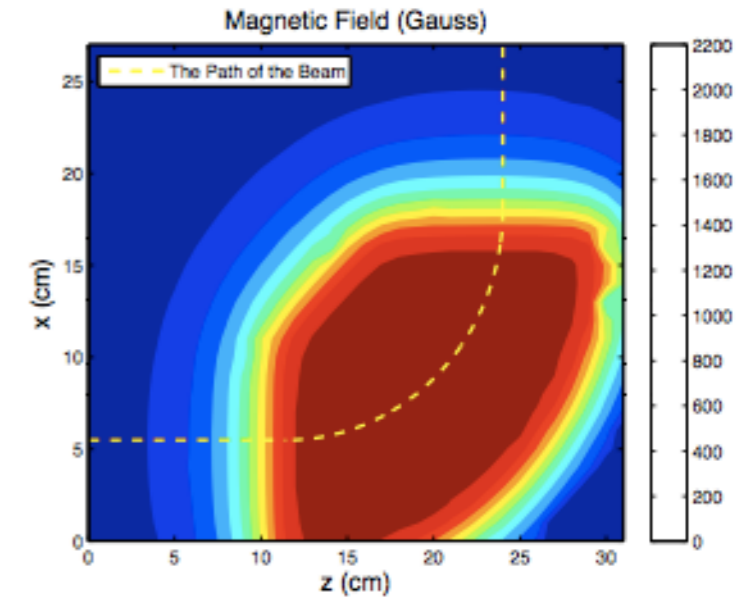
- ▶ Yüksek Parlaklıklı Demetler için Tanı Yöntemleri
- ▶ Işınlık Ölçümleri
- ▶ Ayar ve Renksellik Ölçümleri
- ▶ Örgü Ölçümleri
- ▶ Ek konular
 - ▶ Örnekselden sayısala çeviriciler (analog-to-digital converters)
 - ▶ Çoklu-bohça durumunda geribesleme
 - ▶ Demet halkası görüntüleme
 - ▶ Foton demet hattı tanı aletleri ve yöntemleri
 - ▶ Devinimli hizalama
 - ▶ Elektromagnetik girişim

GELECEK OKULLARDA...

Magnetik spektrometre



(a)

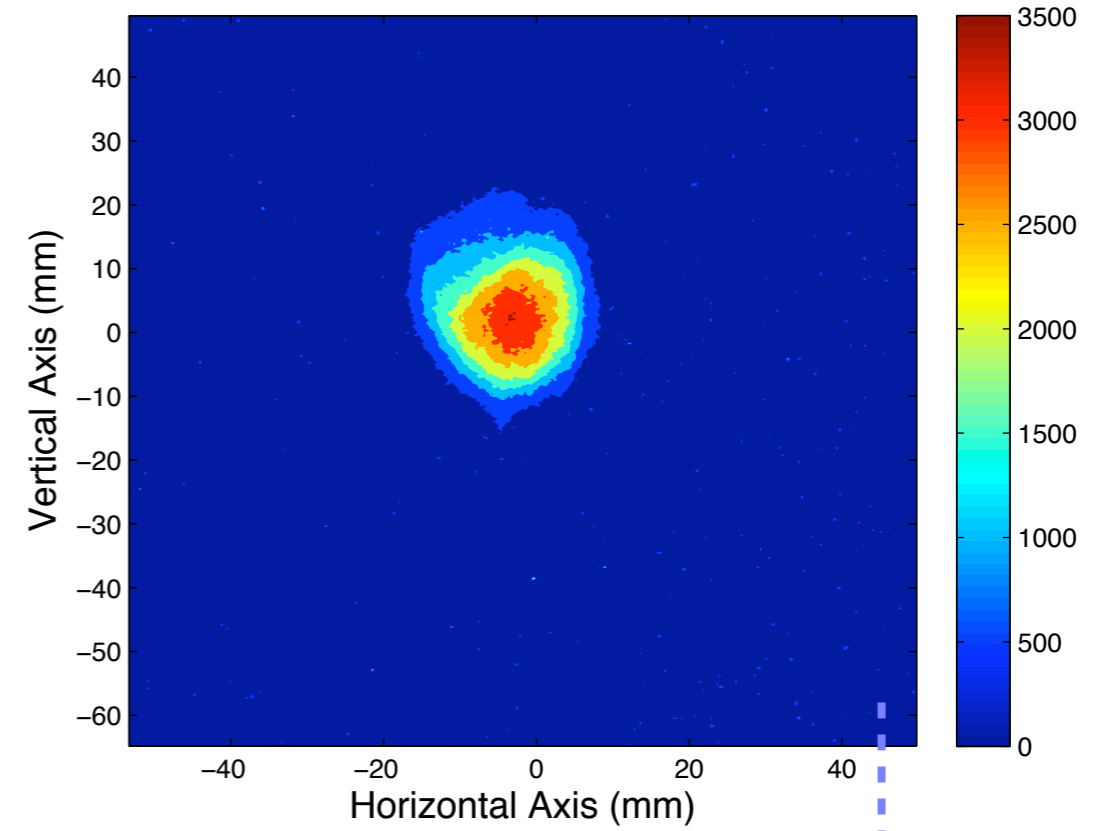
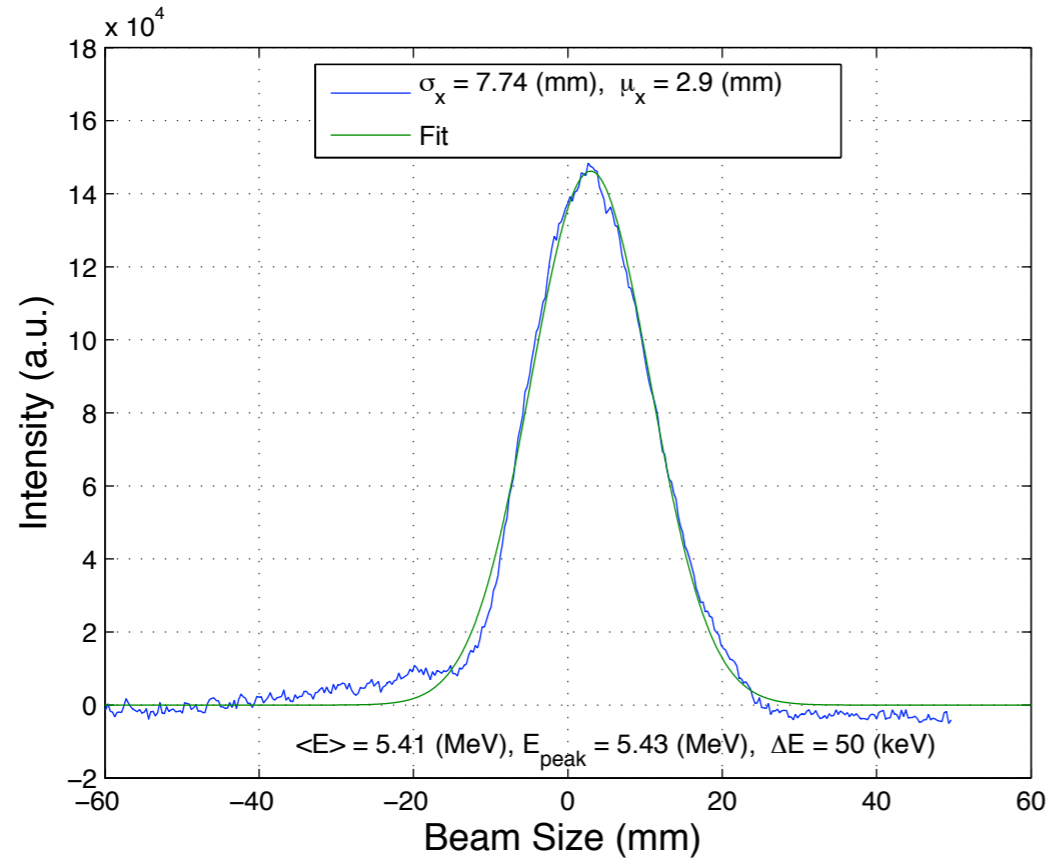


(b)

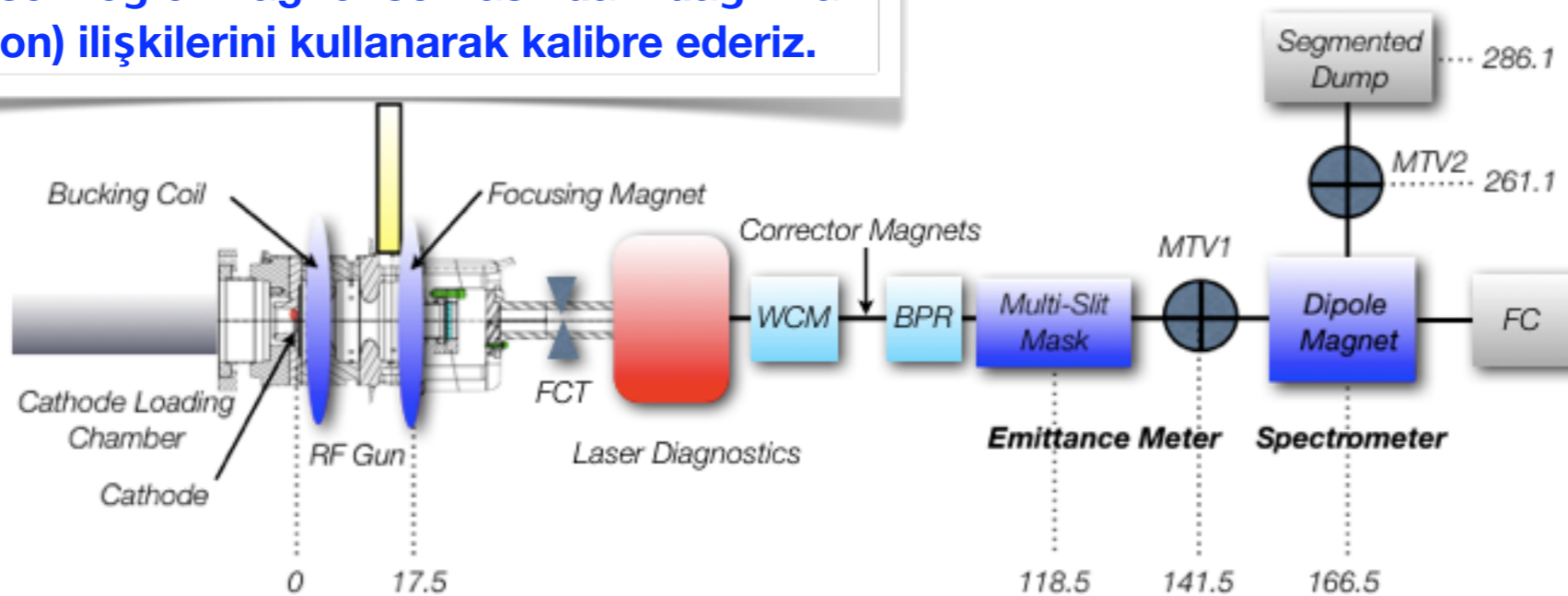
$$\theta \propto \frac{1}{p_0} \int B ds$$

- ▶ Parçacığın enerjisi, bir magnetik alan içindeki sapma açısı ölçülerek, yüksek kesinlikte ölçülebilir.
- ▶ Sapma açısı, parçacık tarafından görülen alan integrali ile orantılı, parçacığın enerjisi ile ters orantılıdır.

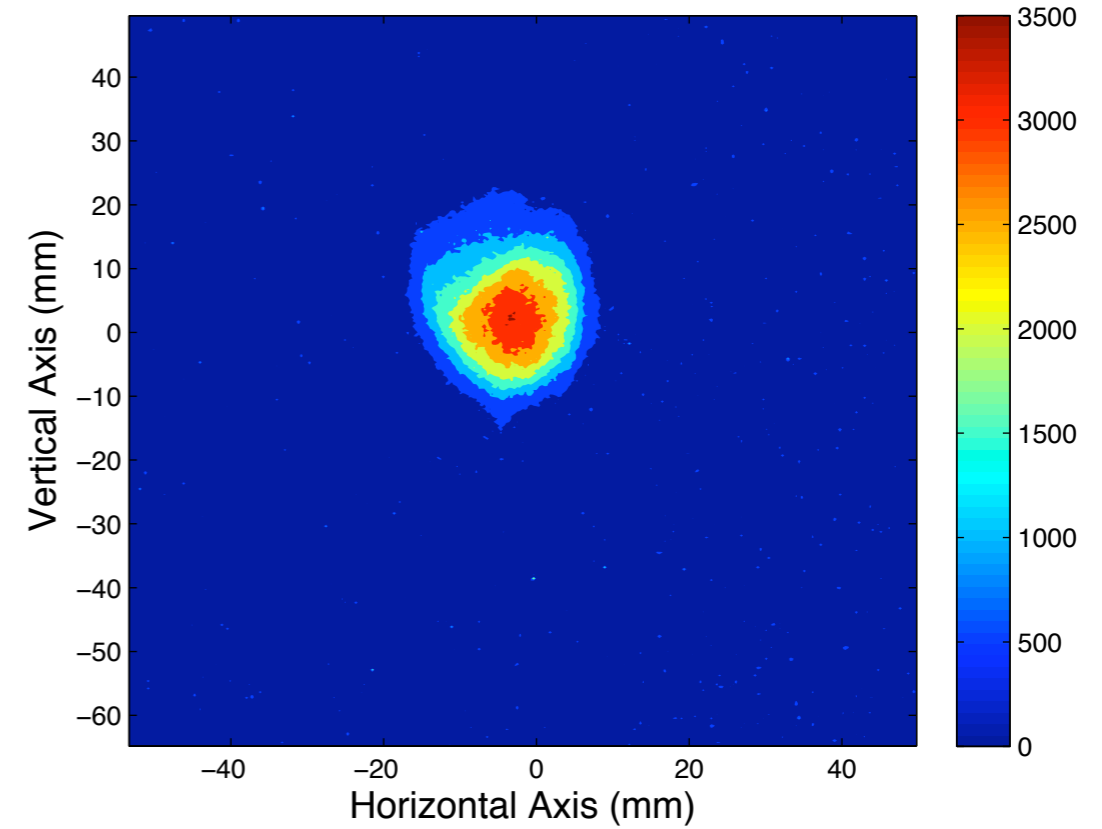
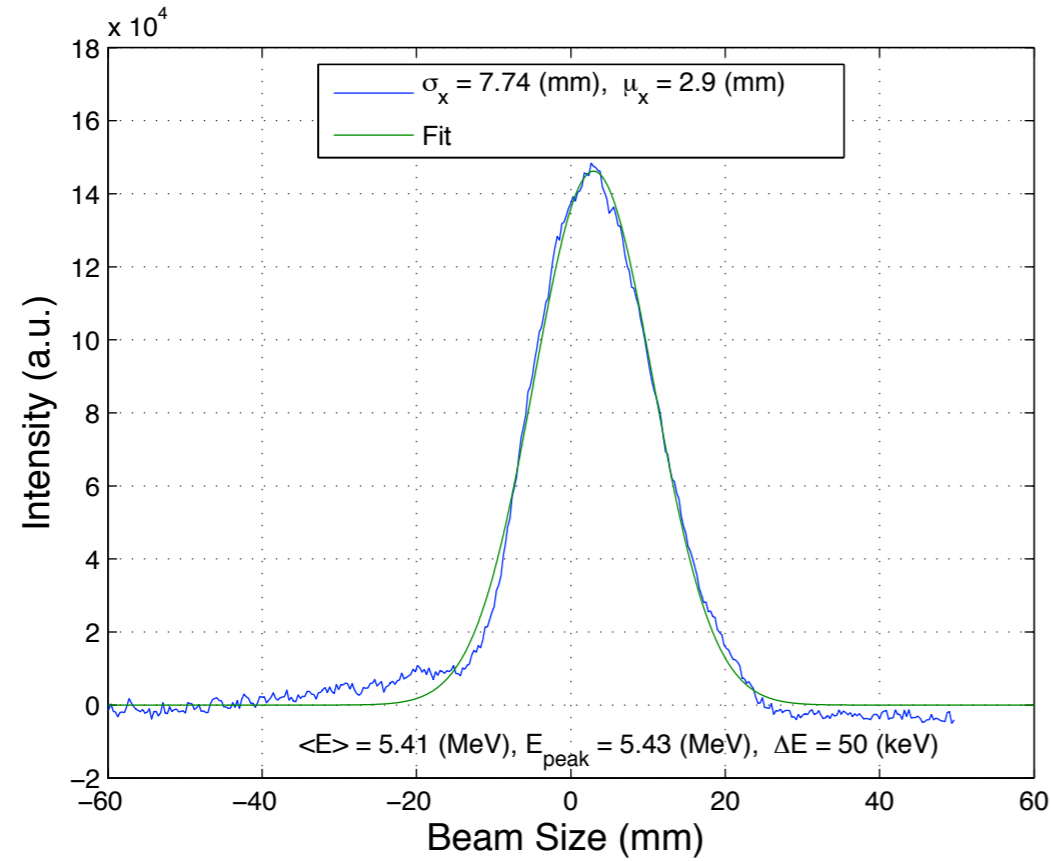
Magnetik spektrometre



Yatay ekseni eğici magnet sonrasında dağıtma (dispersion) ilişkilerini kullanarak kalibre ederiz.



Magnetik spektrometre



Yatay eksenini eğici magnet sonrasındaki dağıtma (dispersion) ilişkilerini kullanarak kalibre ederiz.

$$p = \frac{e}{\alpha_{\text{toplama}}} \int_{\text{yol}} B_z ds$$

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2}$$

$$E = pc = \frac{ec}{\alpha_{\text{toplama}}} \int_{\text{yol}} B_z ds$$

$$E_0 [\text{MeV}] = f(\alpha, \text{magnet}) \times I_{\text{magnet}} [\text{A}]$$

$$E_{\text{tepe}} [\text{MeV}] = E_0 [\text{MeV}] + \frac{\mu_z [\text{mm}]}{D [\text{mm}]} E_0 [\text{MeV}]$$

$$\Delta E [\text{keV}] = 10^3 \times E_{\text{tepe}} [\text{MeV}] \times \frac{\sigma_x [\text{mm}]}{D [\text{mm}]}$$

- ▶ CAS, CERN Accelerator School 2009 -- Beam Diagnostics
<http://cdsweb.cern.ch/record/1071486/files/cern-2009-005.pdf>
- ▶ JUAS 2011 - Lecture Notes on Instrumentation and Beam Diagnostics:
http://www-bd.gsi.de/conf/juas/juas_script.pdf