

Elektron Demet Tanısı

Zafer Nergiz

Niğde Üniversitesi, Fen ve Edebiyat
Fakültesi,
Fizik Bölümü

Giriş

- ❑ Neden demet tanısı
- ❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler
 - ✓ Demetin profili
 - ✓ Demetin yükü
 - ✓ Demet borusundaki konumu
 - ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
 - ✓ Demet kaybı görüntülemesi
 - ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
 - ✓ Enerji ve enerji yayılması

Demet Tanısı Nedir ve Neden Önemlidir

Demet tanısı (Diagnostic): Parçacık Demetinin yük, pozisyon ve enine profili gibi fiziksel özelliklerinin ölçülmesidir.

Hızlandırıcının üzerindeki tanı elemanları hızlandırıcının gözü ve kulaklarıdır.

Demetin özelliklerinin ve kalitesinin belirlenmesi
Hızlandırıcının ekipmanlarının ve tesiste görev yapan çalışanların sağlığının korunması



Demet tanısı kabaca ikiye ayrılabilir

Kurulum ve işleme alma sürecinde demet tanısı

- ✓ Farklı hızlandırıcı kesimlerinden demetin iletimini ayarlamak için kullanılır
- ✓ Her hızlandırıcı kesiminden sonra demetin özelliklerinin belirlenmesi için gereklidir
- ✓ Daha düşük şiddette bir veya birkaç paketçik ile çalışılır.
- ✓ Doğruluk (Accuracy) gereksinimi daha azdır.
- ✓ Demeti bozan yöntemlerin kullanılması mümkündür

Standart çalıştırma sırasında demet tanısı

- ✓ Hızlandırıcının kontrolü ve geliştirilmesi için yüksek hassasiyet gereklidir.
- ✓ İstenmeyen hataların teşhis edilip hatanın düzeltilebilmesi için geribesleme veya sistemin kapatılmasını sağlar
- ✓ Yüksek Doğruluk gerektirir
- ✓ Demete zarar verecek uygulamalardan kaçınılır.

Doğrusal Hızlandırıcılarda Demet Tanısı

- ✓ Doğrusal hızlandırıcılarda çok sayıda hızlandırıcı kovuk vardır ve içerisinden demet sadece bir kere geçer
- ✓ Bir geri besleme mümkün değildir ve herşey başlangıç parametrelerine bağlıdır.
- ✓ Atmalı sistemlerdir dolayısıyla demetten alınan sinyal sürekli değişir
- ✓ Bir denge durumu söz konusu değildir.
- ✓ Emittans ve enerji hızlandırıcıdaki konumla değişir.
- ✓ Demet kaybı durumunda kaynak, interlok tarafından durdurulana kadar parçacık göndermeye devam eder.

Dairesel Hızlandırıcılarda Demet Tanısı

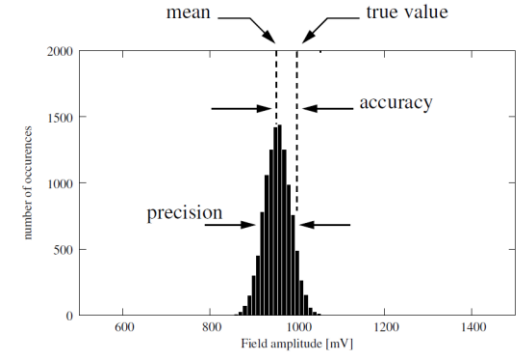
- ✓ Dairesel hızlandırıcılarda yalnızca birkaç hızlandırıcı kovuk vardır , parçacık yörüngesi için periyodik çözümler bulunmaktadır.
- ✓ Yörünge geri besleme mümkündür.
- ✓ Depolama halkaları sürekli yapıdadır (cw) demetten alınan sinyaller, çok sayıda tur için, karalıdır ve tekrarlanabilir.
- ✓ Denge durumu söz konusudur.
- ✓ Dolayısıyla ortalama olarak yüksek hassasiyet elde etmek mümkündür.
- ✓ Demet kaybı durumunda injektörden tekrar gönderilene kadar depolama halkasında demet yoktur.

Doğruluk ve Hassasiyet

Doğruluk (Accuracy): gerçek değer ile süreç tarafından üretilmiş değerlerin ortalamasının farkıdır. Kalibrasyonla ilgili bir ölçüm

Hassasiyet (Precision): Dalgalanmalar, gürültü ve diğer istatistik hatalardan gelen etkiler dolayısıyla ölçülen değerlerin yayılmasıdır. Standart sapma veya sinyal gürültü oranı (signal-to-noise ratio) olarak belirtilir.

Çözünürlük (Resolution): bir ölçüm aletinin, ölçülen bir nicelikte algılayabileceği en küçük değişim.



❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması

Demet Profiline Görüntülenmesi

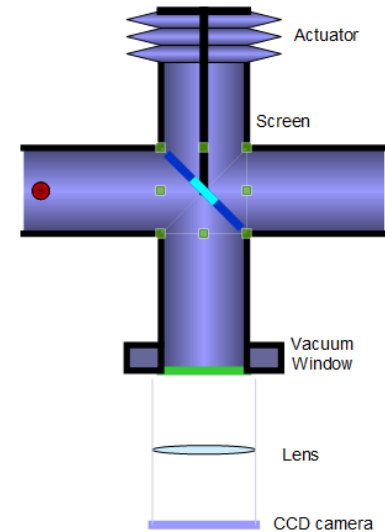
Telli tarama Yöntemi

Lazer tarama

Sinkrotron Işımı.....

Ekranlar Kullanılarak

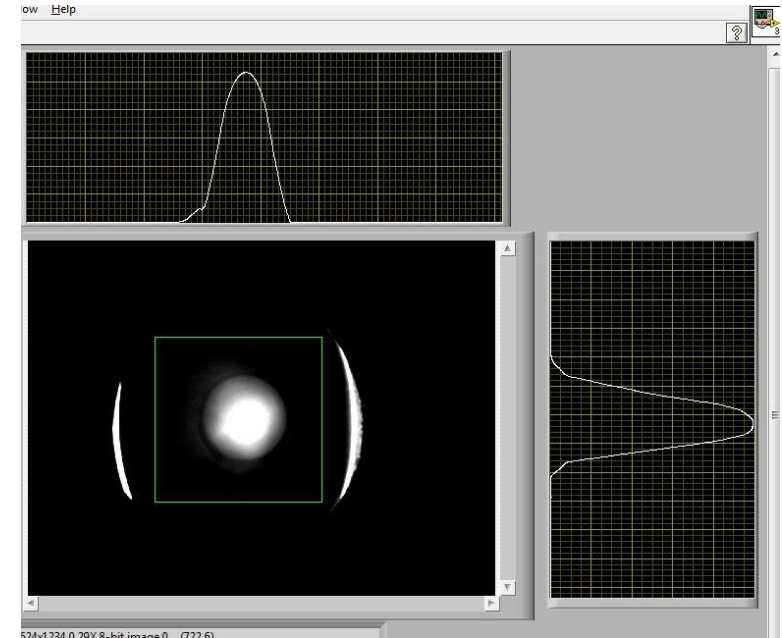
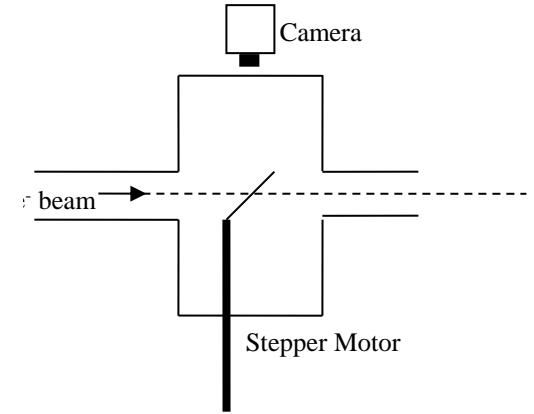
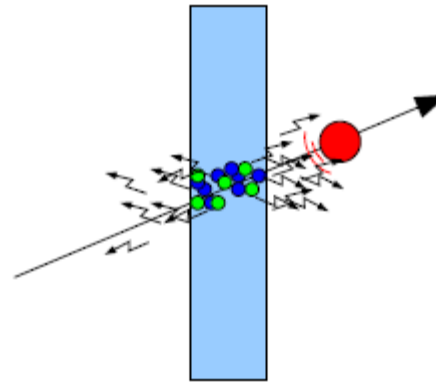
- ✓ 2D enine kesitinin görüntülenmesi
- ✓ Genellikle demeti bozucudur.
- ✓ Ekranı demet borusuna gerektiğinde sokacak bir mekanizma gerekir.



Flöresan ekranlar

Düşük enerjilerde

- ✓ Krom eklenmiş Aluminium oxide (alumina) (Chromax $Al_2O_3:Cr$)
- ✓ YAG (İtrium Aluminum Garnet) Kristalleri (YAG:Ce)

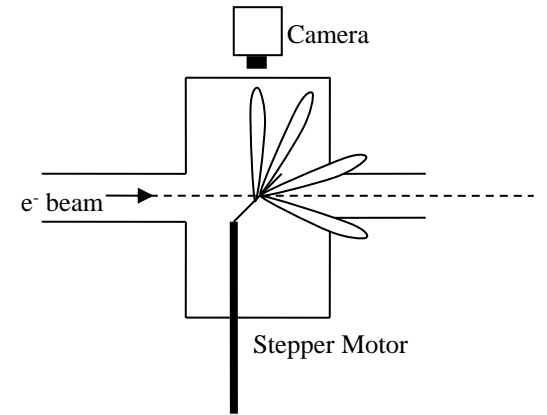


Type	Composition	Light Emission			Decay Time		
		Range		Maximum	Color	Decay of Light Intensity	
		from	to	typically at		from 90 % to 10 % in	from 10 % to 1 % in
P 43	Gd ₂ O ₂ S:Tb	360 nm	680 nm	545 nm	green	1 ms	1,6 ms
P 46	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ce	490 nm	620 nm	530 nm	yellow green	300 ns	90 μs
P 47	Y ₂ SiO ₅ :Ce,Tb	370 nm	480 nm	400 nm	blue white	100 ns	2,9 μs
P 20	(Zn,Cd)S:Ag	470 nm	670 nm	550 nm	yellow green	4 ms	55 ms
P 11	ZnS:Ag	400 nm	550 nm	450 nm	blue	3 ms	37 ms

OTR

- ✓ Optik geçiş ışması (Optical transition radiation) yüklü parçacıkların farklı dielektrik sabiti olan materyallerin sınırından geçerken yaptığı ışımadır
- ✓ Genellikle materyaller vakum ortamı ve metal yapraklardır.
- ✓ OTR çok karakteristik bir ışıma dağılımına sahiptir.
- ✓ Olumsuz yönü düşük enerjilerde verimliliğin az olmasıdır.
- ✓ İleri doğrultudaki ışıma demetten ayrılmasının zor olması sebebi ile kullanışlı değildir.

$$\frac{d^2W}{d\Omega d\omega} \approx \frac{Nq^2}{\pi^2 c} \left(\frac{\theta}{\gamma^{-2} + \theta^2} \right)$$

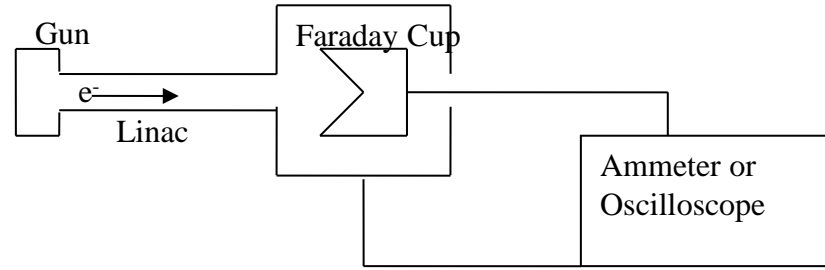


❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

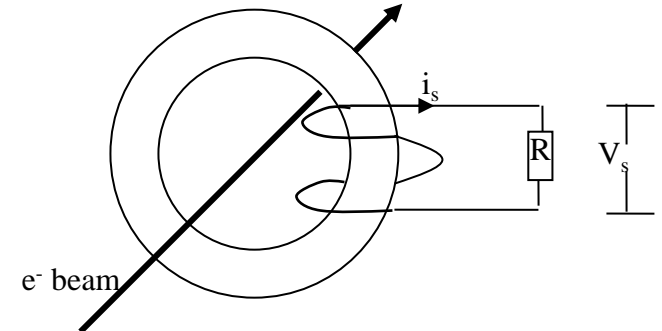
- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması

Yük Ölçümü

- Faraday Fincanı (Faraday Cup)-Demeti yok eden

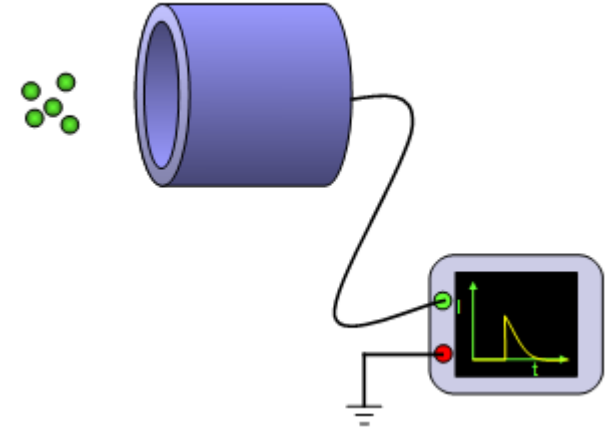


- Akım Dönüştürücüsü (Current Transformer) demete zarar vermeyen



Faraday Fincanı

- ✓ Yüklü parçacıklar soğurular
- ✓ Faraday Fincanına transfer edilir.
- ✓ Faraday Fincanındaki yük bir ampermetre üzerinden boşalır.
- ✓ Akımın zaman üzerinden integrali yükü verir.

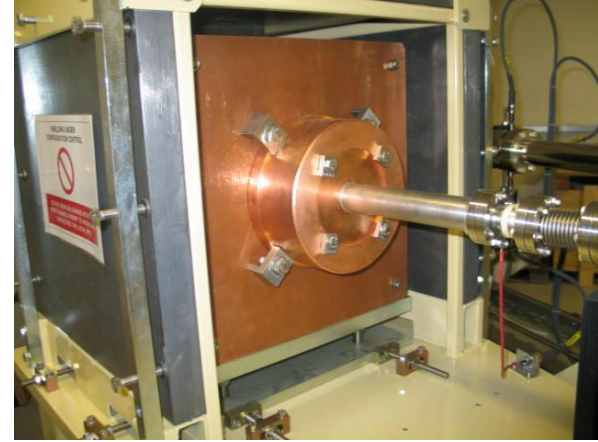
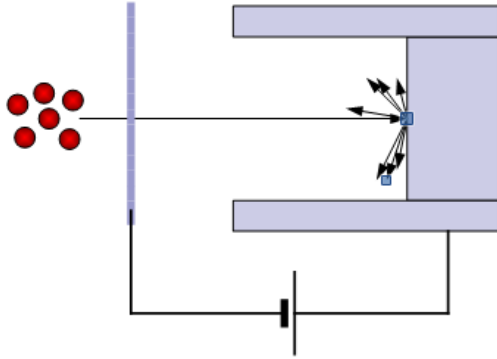


İyonlaşma kayıpları, Bremsstrahlung ve e+e- çift oluşumu olaylarının düşünülmesi gerekir.

Yüksek enerjili parçacıklar için yoğunluğu daha yüksek veya daha uzun materyaller gerekir.

Geri Saçılma

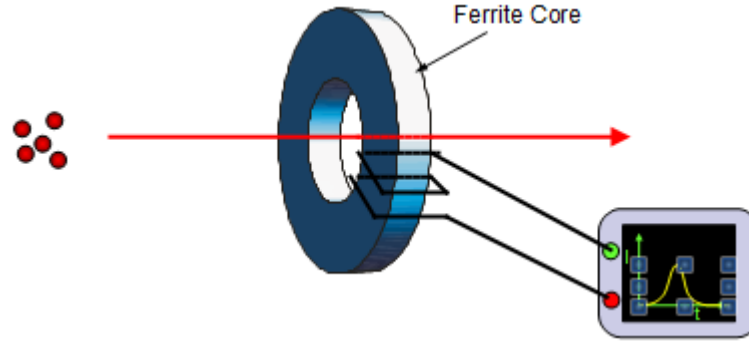
- ✓ Açılal dağınım parçacıkların enerjisi ve materyalin yoğunluğuna bağlıdır.
- ✓ Düşük Z'li materyaller, yan duvarlar ve ızgara voltajı geri saçılma kayıplarını düşürmek için kullanılır



Materyaller

- ✓ Grafit (düşük Z, yüksek ısı iletkenliği ve erime noktası)
- ✓ Bakır (Orta Z, yüksek ısı iletkenliği)
- ✓ Tungsten (Yüksek Z, Yüksek erime noktası)

Akım Dönüştürücüleri (Current Transformers)



- ✓ Yüklü parçacıklar akım dönüştürücüden geçerken akım oluştururlar
- ✓ Bu akım parçacık yükü ile orantılıdır.
- ✓ Oluşan akımın zaman üzerinden integrali alınarak yük bulunur.

ACCT

Birkaç ms'ye kadar, uzun atmaların ve macro atmaların ölçümü

- $\pm 10\text{mA}$ up to $\pm 2\text{A}$ full scale current range
- Output $\pm 10\text{V}$
- Dynamic range $>1\text{E}4$
- Bandwidth 3 Hz to 1 MHz (-3dB)
- Risetime (10%-90%) 350 ns
- Output signal droop $< 2 \%/ms$



DCCT-NPCT



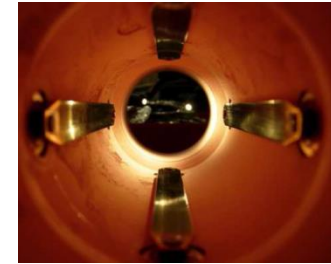
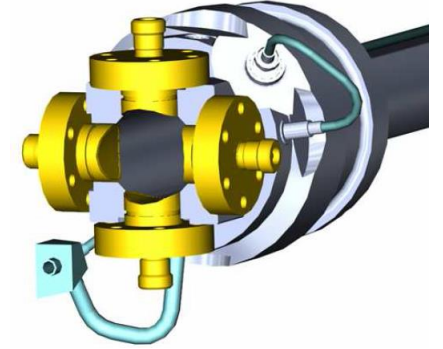
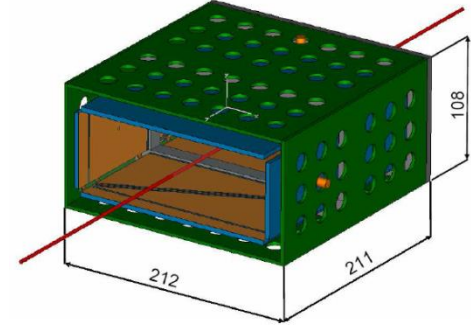
Full scale ranges:	$\pm 20\text{mA}$, $\pm 200\text{mA}$, $\pm 2\text{A}$, $\pm 20\text{A}$
Range control:	2 TTL lines
Output [V] :	± 10
Output bandwidth:	: 8KHz in 20mA range, 10 KHz other ranges
Response time (at 90%) [μs]:	< 50
Resolution [$\mu\text{A}/$] :	< 5
Output accuracy :	[%] ± 0.1
Linearity error [%]:	< 0.1
Output impedance [Ω]:	100

❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması

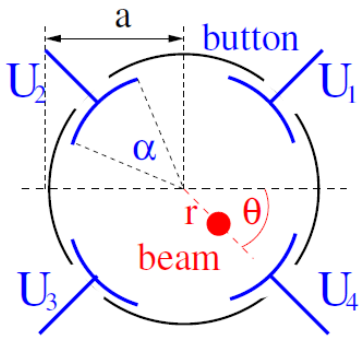
Konum Ölçümü

- Ayakkabı kutusu BPM (Shoes box)
- Düğme tipi BPM
- Şerit BPM
- Kovuk (Cavity) BPM



Düğme tipi BPM (Button BPM)

- Birkaç mm'den cm'ye kadar değişen metal plakalar ile yapılır.
- Hızlandırma frekansının $100 \text{ MHz} < f_{\text{acc}} < 3 \text{ GHz}$ olduğu hızlandırıcılar için uygundur.
- 10-100 ps Küçük paketçik uzunluğu olan lepton hızlandırıcıları için çok uygundur.
- Ucuz ve imalı kolaydır.
- Küçük olmaları avantajdır.



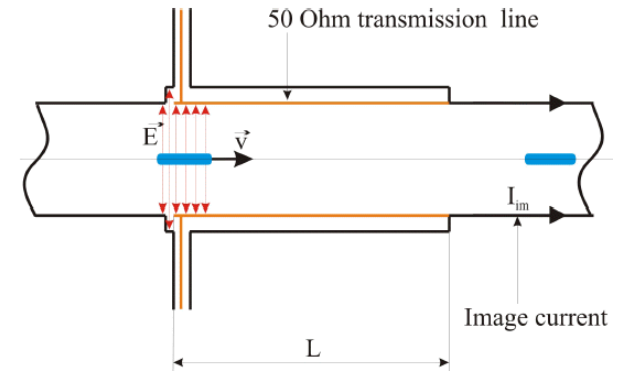
Elektron sinkrotronlarında sinkrotron ışınımı temelde yatay düzlemde yayınlandığı için hasarı engellemek amacı ile plakalar yatayla 45 derece açı yapacak şekilde yerleştirilir

$$x = \frac{1}{S} \cdot \frac{(U_1 + U_4) - (U_2 + U_3)}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}$$

$$y = \frac{1}{S} \cdot \frac{(U_1 + U_2) - (U_3 + U_4)}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}$$

Şerit Çizgili BPM (Stripline BPM)

- paketçik uzunluğu çok küçük olduğunda düğme tipi BPM'de küçük olur.
- Buda sinyalin çok zayıf olmasına sebep olur.
- Bu durumda şerit tipi BPM çok uygundur.



	Stripline BPM	Button BPM
Idea for design	travelling wave	electrostatic
BPM size (typical)	length: 5 to 30 cm per plane transverse coverage up to $\alpha \simeq 70^\circ$	diameter 0.5 to 5 cm otherwise signal deformation
Signal quality	minor deformation	possible deformations owing to finite size and capacitance
Signal strength	larger depending on trans. coverage	smaller
Bandwidth	nearly broadband with well defined minima	highpass with $f_{\text{cut}} \simeq 3 \text{ GHz}$
Requirement	careful 50Ω matching	
Mechanical realization	complex	simple
Installation	inside quadrupole possible	compact due to diameter $< 3 \text{ cm}$
Directivity	yes	no

❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması

Emittans Ölçümü

Çoklu Yarık (Multi Slit) veya Tuzluk (Pepper-Pot) yöntemi

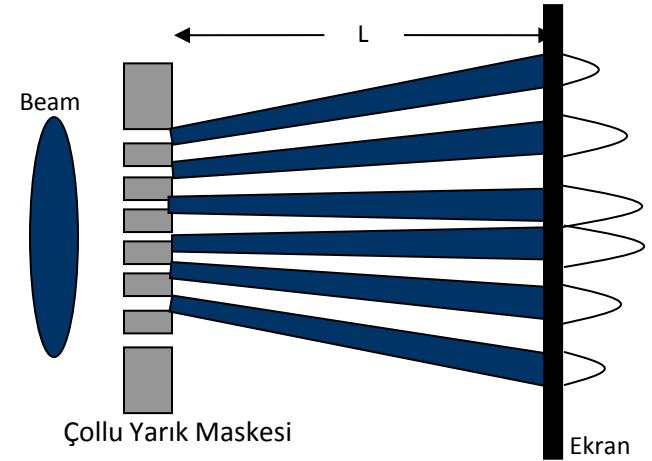
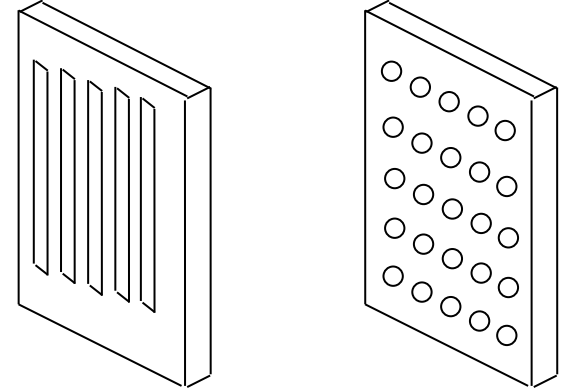
- Uzay yükü etkisinin baskın olduğu düşük enerjilerde

Kuadrupol tarama yöntemi

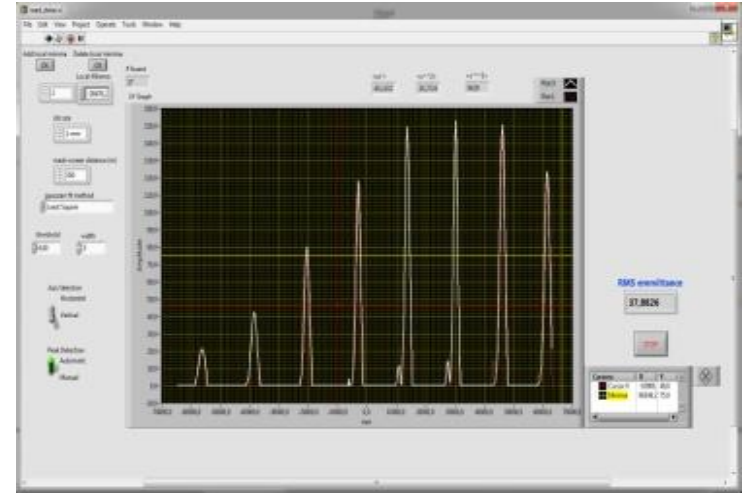
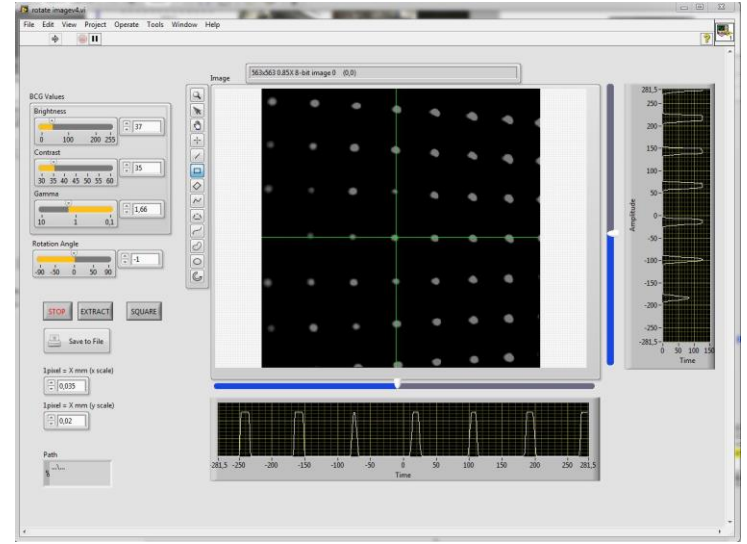
- Yüksek enerjilerde

Çoklu yarık (Multi-Slit) ve Tuzluk (Pepper-Pot) yöntemi

- Çoklu yarık yöntemi tek boyutlu ölçüm yaparken tuzluk yöntemi iki boyutta ölçüm yapar.
- Bu yöntemde demet maskelerde bulunan yarık veya delikler ile küçük dilimlere ayrılır
- bu sayede uzay yükü etkisi azaltılır.



- Yarıktan geçen elektronların sayısı ekrandaki parlaklıkla ilişkilidir
- x_{sj} yarığın konumu;
- p toplam yarık sayısı;
- n_j j'inci yarıktan geçen elektron sayısı;
- $\langle x \rangle$ bütün demetçiklerin ortalama pozisyonu;
- $\langle x'_j \rangle$ j'inci demetçiğin ortalama diverjansı;
- $\langle x' \rangle$ bütün demetçiklerin ortalama diverjansı;
- σ'_j j'inci demetin r.ms. diverjansı



$$\varepsilon = \sqrt{\langle x^2 \rangle \langle x'^2 \rangle - \langle xx' \rangle^2}$$

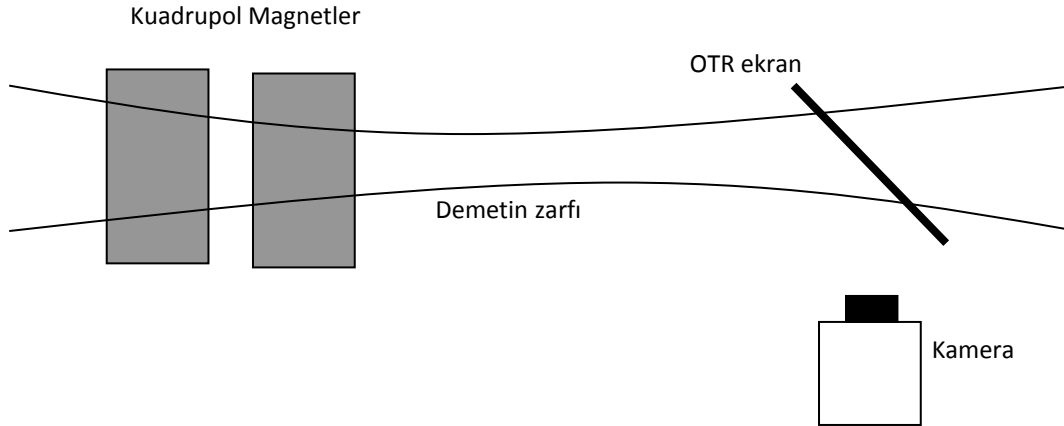
$$\langle x^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^p n_j (x_{sj} - \langle x \rangle)^2$$

$$\langle x'^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^p \left[n_j \frac{\sigma_j'^2}{L^2} + n_j (\langle x'_j \rangle - \langle x' \rangle)^2 \right]$$

$$\langle xx' \rangle = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^p n_j x_{sj} \langle x'_j - N \langle x \rangle \langle x' \rangle \rangle$$

Kuadrupol tarama yöntemi

- Kuadrupol tarama yönteminde demet ebatları farklı odaklama koşulları altında ölçülür.
- Kuadrupol kuvvetleri değiştirilerek demet ebatı sintilasyon veya OTR ekranlarda ölçülür.



- ✓ Demetin matris gösterimi

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} \end{bmatrix} = \varepsilon \begin{bmatrix} \beta & -\alpha \\ -\alpha & \gamma \end{bmatrix}$$

- ✓ $\beta\gamma - \alpha^2 = 1$ olduğundan demet emittansı

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

- ✓ ile buluanabilir

- ✓ Demet ebatı

$$* r(i)^2 = C(i)^2 \cdot \sigma_{11} + 2C(i)S(i)\sigma_{12} + S(i)^2\sigma_{22}$$

- ✓ denklemleri ile değişir.

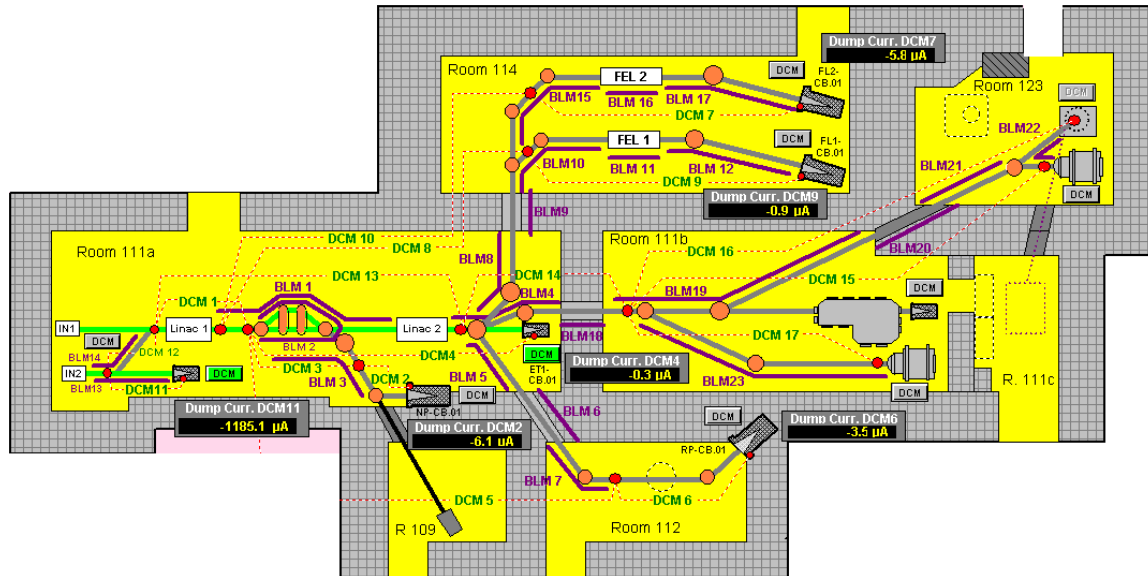
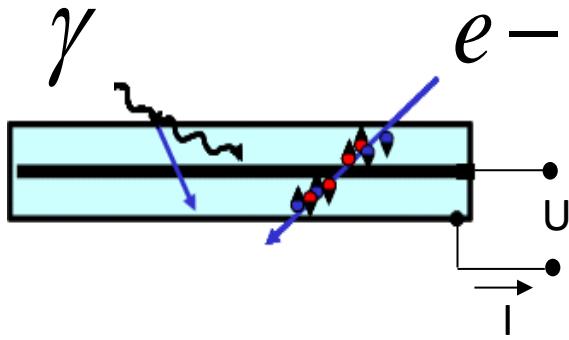
- ✓ Demet ebatları kuadrupol gücüne karşı çizdirilir.

ise sonuçlar * denklemlerine fit edilebilir.

- ✓ σ_{11} , σ_{12} and σ_{22} belirlenerek emittans ve Twiss parametreleri hesaplanır

❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması



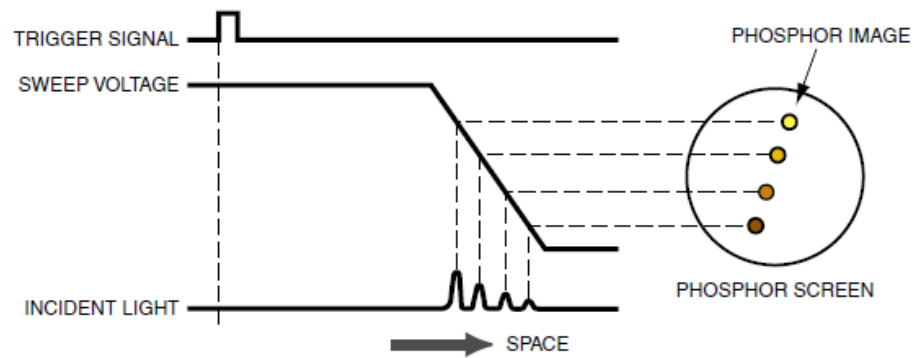
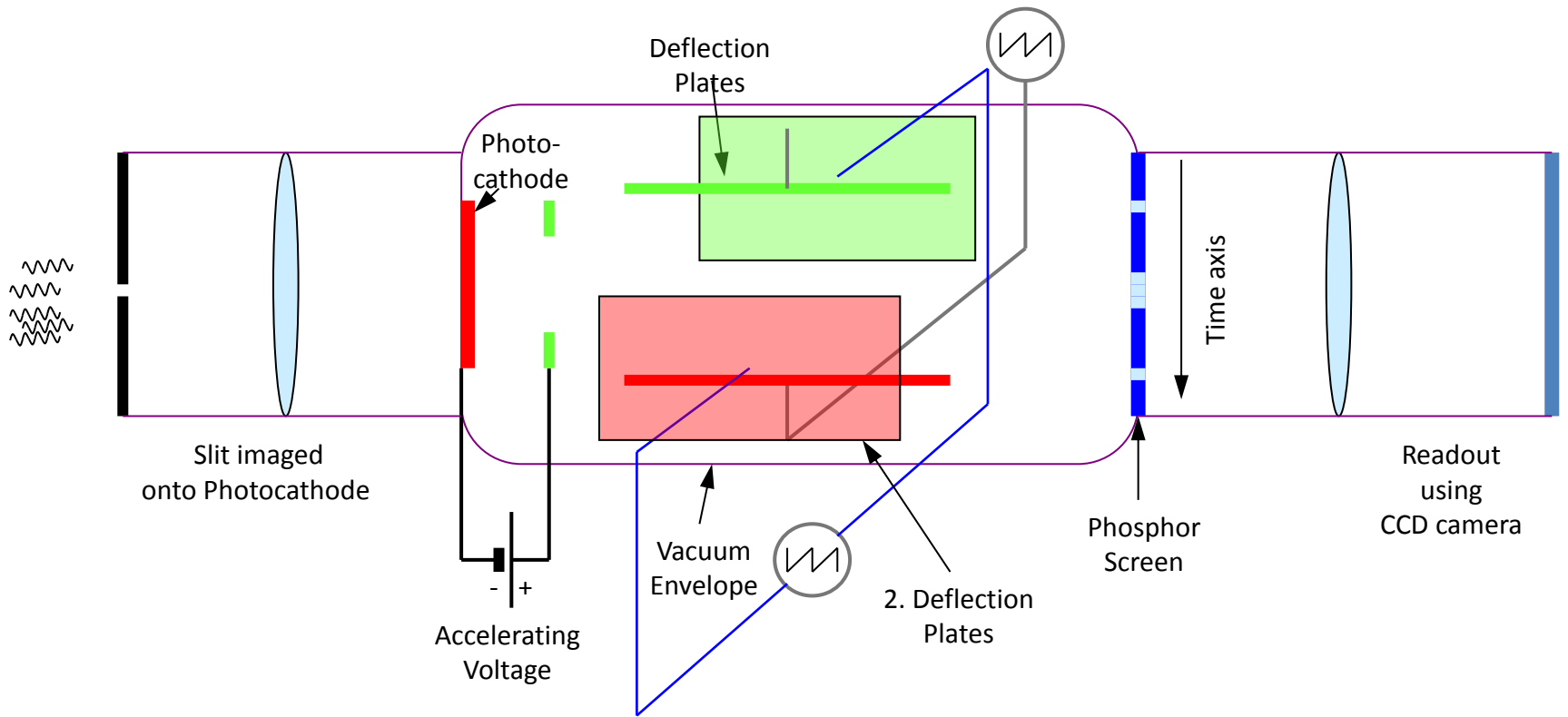
❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması

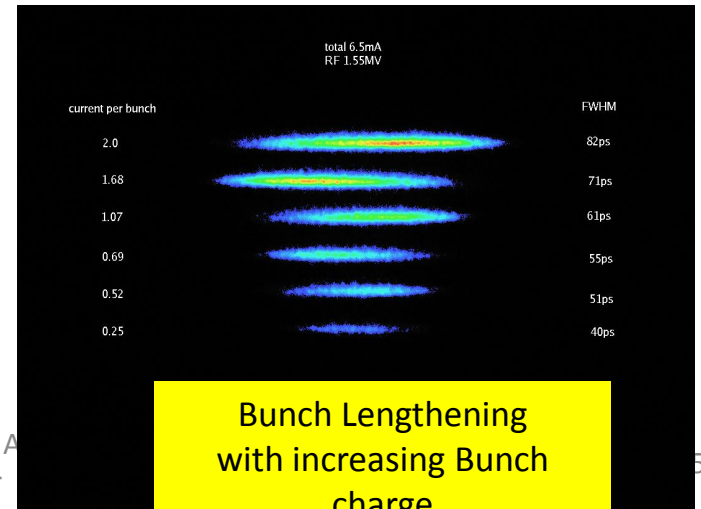
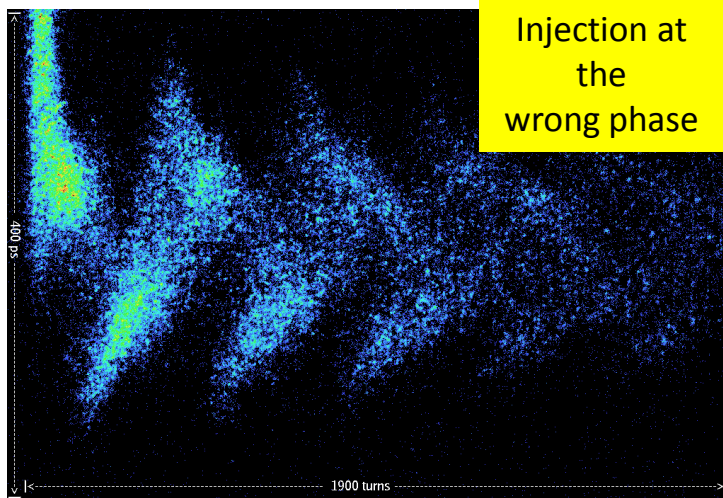
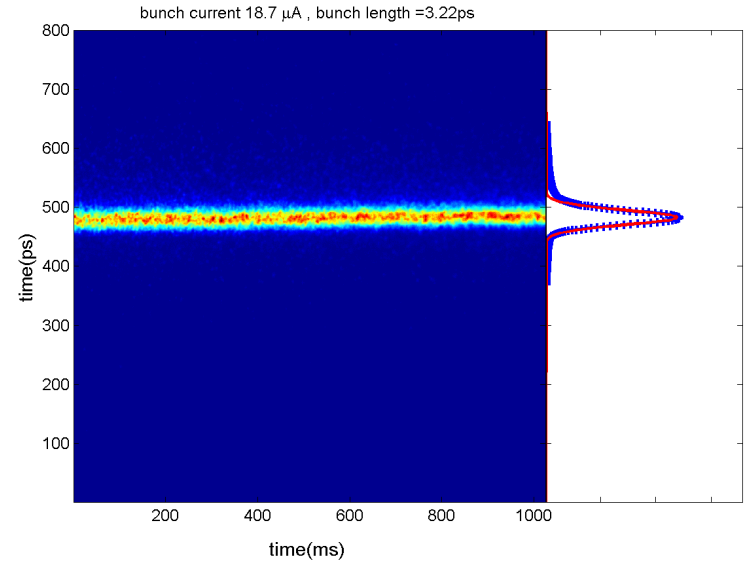
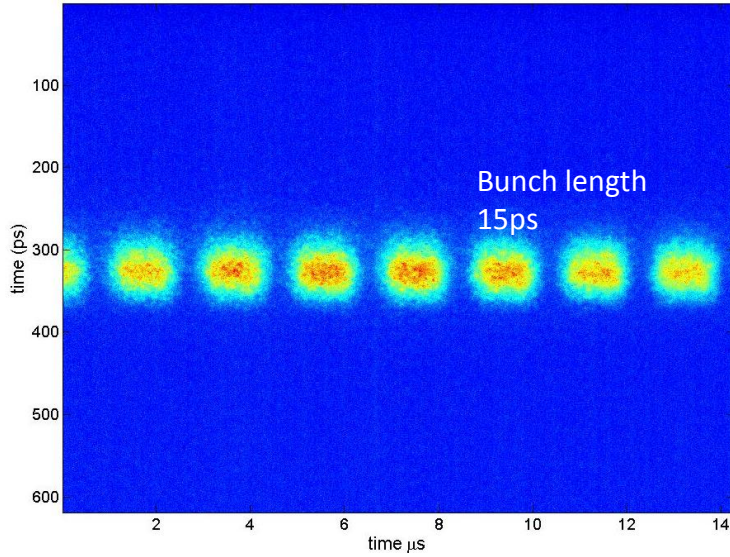
Paketçik uzunluğu ölçümü

Streak Kamera

- ✓ Işınım atmasının uzunluğu ölçülür.
- ✓ Hızlandırıcılarda yüklü parçacıklar OTR veya sinkrotron ışınımı yolu ışınım üretirler.
- ✓ Bu ışınımdan kendisini üreten parçacık demeti ile ilgili zamansal bilgiler alınabilir.
- ✓ Streak Kameralar ticari olarak ulaşılabilir sistemlerdir ve çözünürlüğu RMS olarak 1 ps civarındadır.

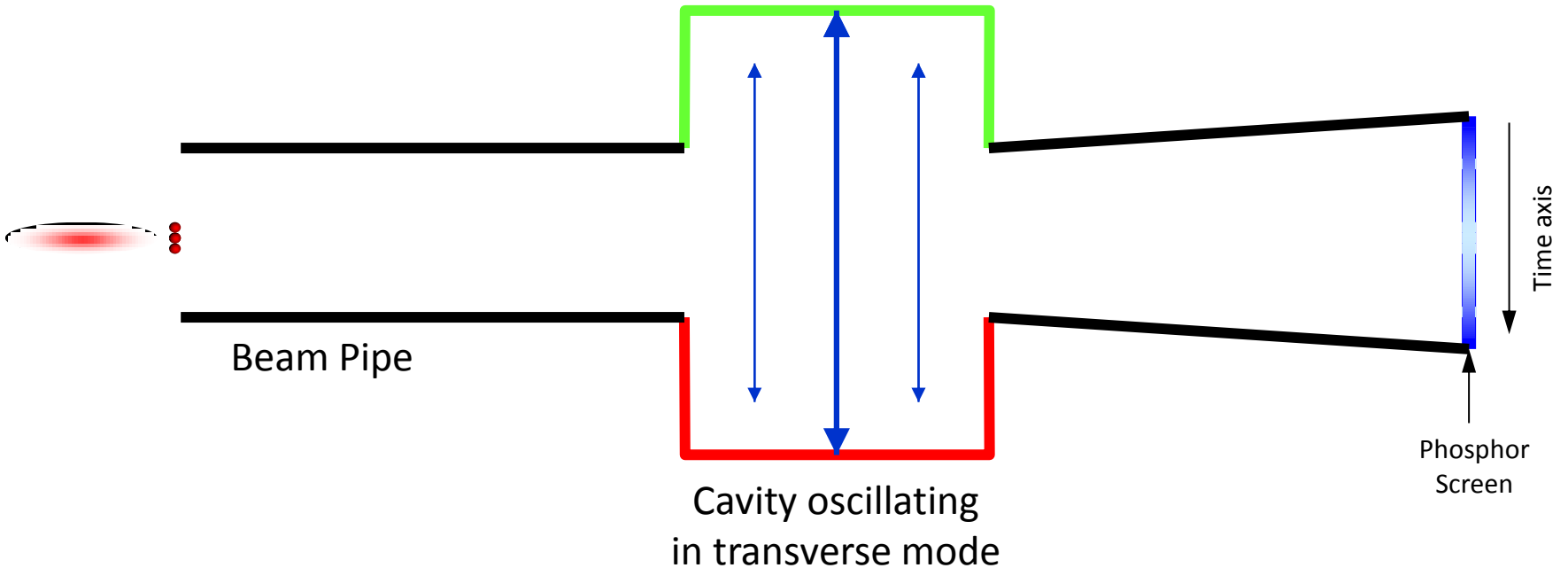


Streak Kamera ölçüm örneği



Transverse Deflecting Structure

- Çalışma prensibi Streak kamera ile aynıdır, ancak kırma doğrudan elektron paketçisine uygulanır.
- Demeti bozucu bir yöntemdir.
- 10 fs'ye kadar iyilikte çözünürlük gösterilmiştir.

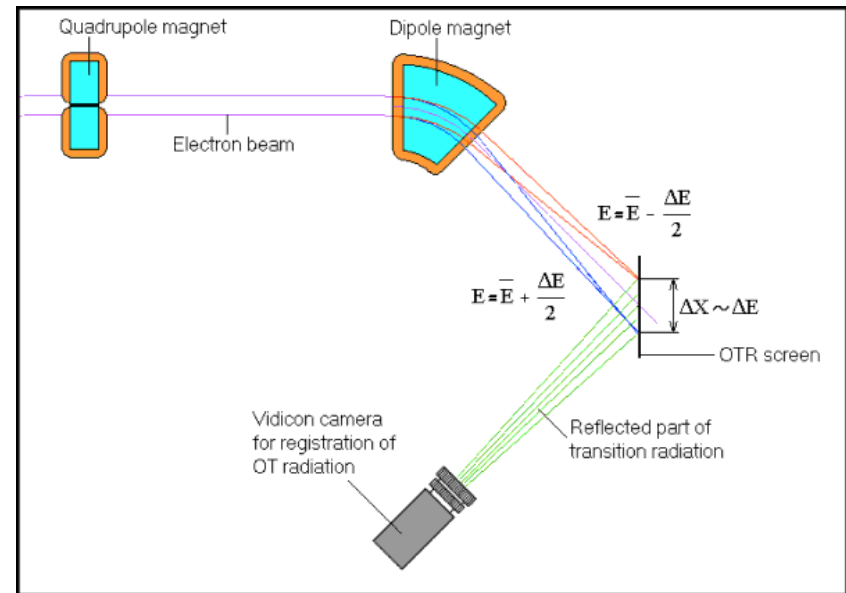


❑ Ölçülmesi gereken Nicelikler

- ✓ Demetin profili
- ✓ Demetin yükü
- ✓ Demet borusundaki konumu
- ✓ Yayınım (Emittance) ve Twiss parametreleri
- ✓ Demet kaybı görüntülemesi
- ✓ Paketçik boyu ve Boyuna Profil
- ✓ Enerji ve enerji yayılması

Enerji ve enerji yayılması ölçümü

$$\frac{1}{\rho} = \frac{eB_y}{p} = \frac{eB_y}{m_0 \gamma \beta c}.$$



DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİM