

HPFBU

Hızlandırıcı Fiziği

Işıl Elektron Kaynağı

Kuramsal Bilgiler

Dr. Öznur METE

University of Manchester

The Cockcroft Institute of Accelerator Science and Technology

İletişim Bilgileri

oznur.mete@cockcroft.ac.uk

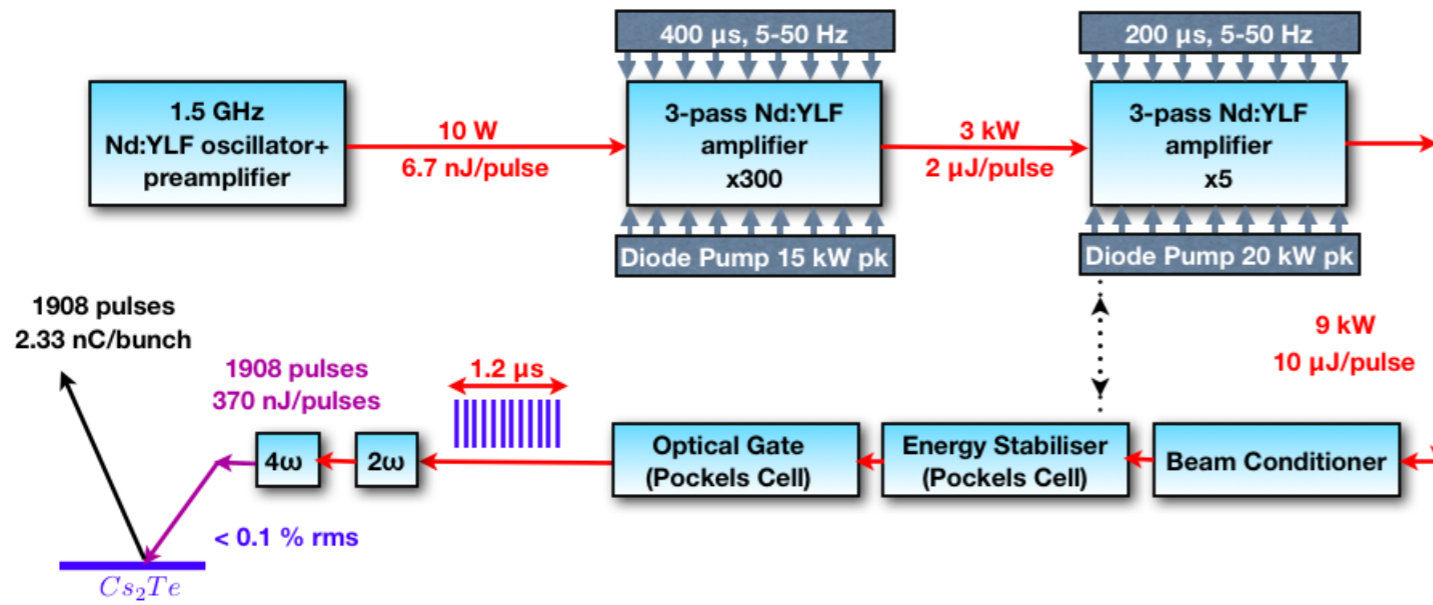
oznur.mete@manchester.ac.uk

www.cern.ch/omete

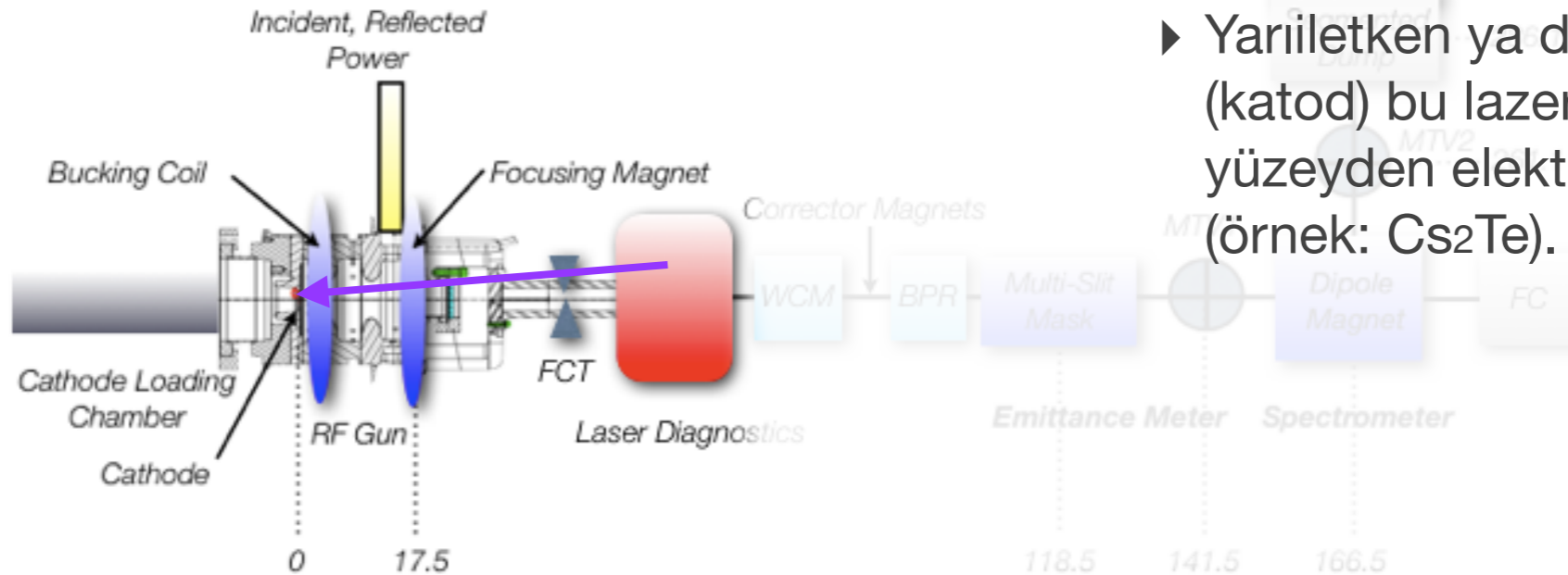
- Işıl elektron kaynağı düzeneğinin bileşenleri **(Ders 1)**,
- Işıl elektronların dinamiği **(Ders 1)**,
 - devinim denklemi,
 - yayınım kazanma süreçleri,
 - yayınımın giderilmesi,
 - hızlanma altında demet çerçevesinin davranışı,
 - Bazı gözlenebilir niceliklerin kolay birimler cinsinden gösterimi.
- Bir ışıl demet kaynağının sistematik benzetim çalışmaları ile tasarımı **(Ders 2 ve ödevler)**.

- ▶ Işıl elektron kaynağı düzenineğinin bileşenleri **(Ders 1)**,
- ▶ Işıl elektronların dinamiğı **(Ders 1)**,
 - ▶ devinim denklemi,
 - ▶ yayınım kazanma süreçleri,
 - ▶ yayınımın giderilmesi,
 - ▶ hızlanma altında demet çerçevesinin davranışı,
 - ▶ Bazı gözlenebilir niceliklerin kolay birimler cinsinden gösterimi.
- ▶ Bir ışıl demet kaynağının sistematik benzetim çalışmaları ile tasarımı **(Ders 2 ve ödevler)**.

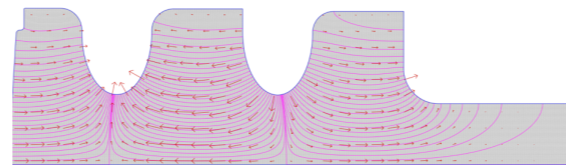
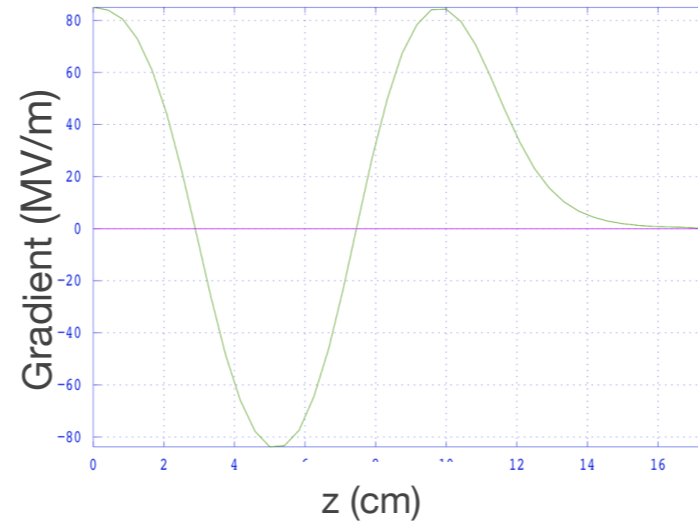
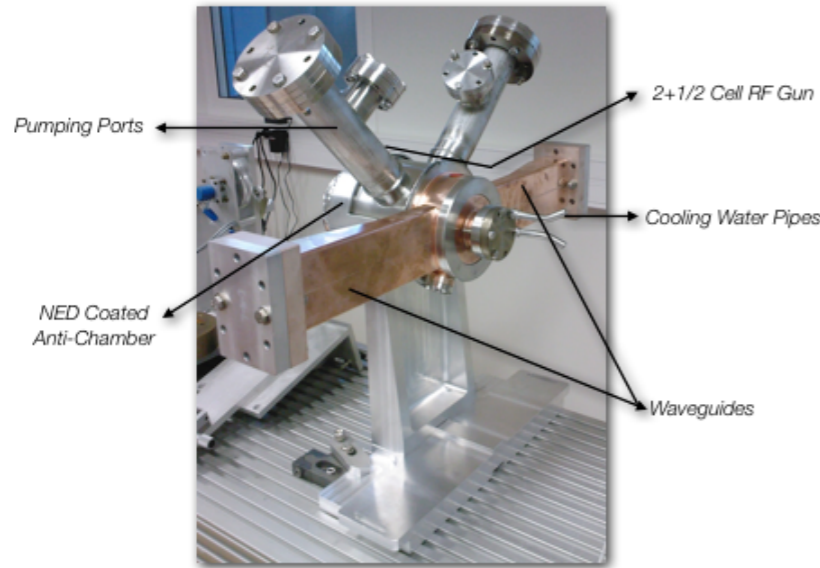
Lazer



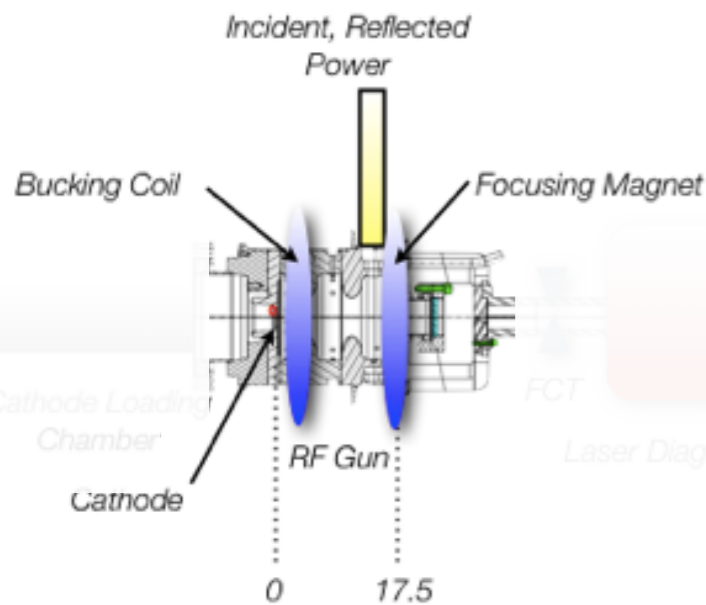
- ▶ Belli bir frekansta (örnek: Nd:YLF salınıcından @ 1.5 GHz) “sürekli” atmalar elde edilir,
- ▶ Amma başına lazer enerjisi birkaç yükseltme adımıyla (örnek: 6.7 nJ’den 370 nJ’e) gereken enerjilere kadar yükseltilebilir,
- ▶ Atma treninin uzunluğu Pockels hücreleri kullanılarak değiştirilebilir (örnek: 1.2 μ s),
- ▶ İstenilen frekansa dönüşüm yapılabilir (örnek: UV),
- ▶ Yarıiletken ya da metal bir yüzey (katod) bu lazerle aydınlatılarak yüzeyden elektronlar sökölür (örnek: Cs₂Te).



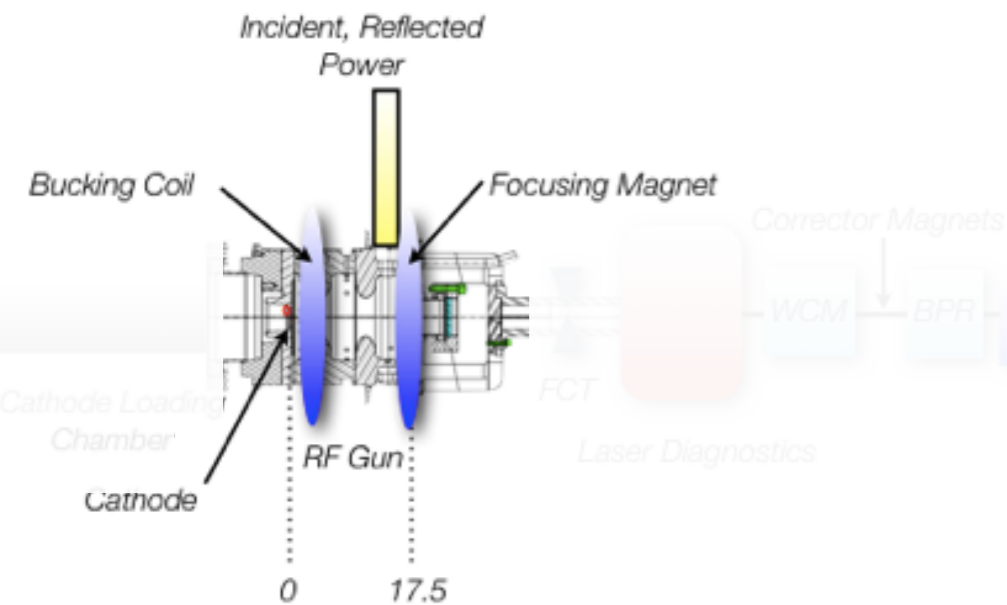
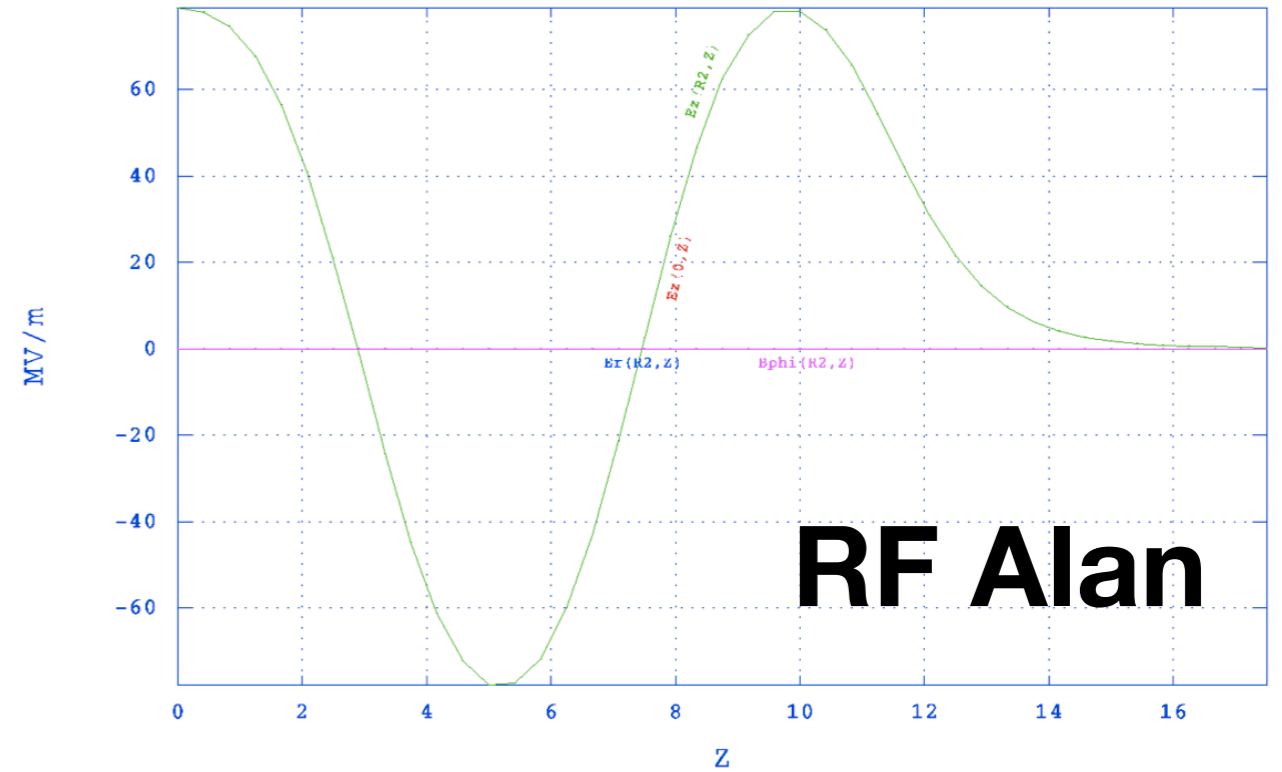
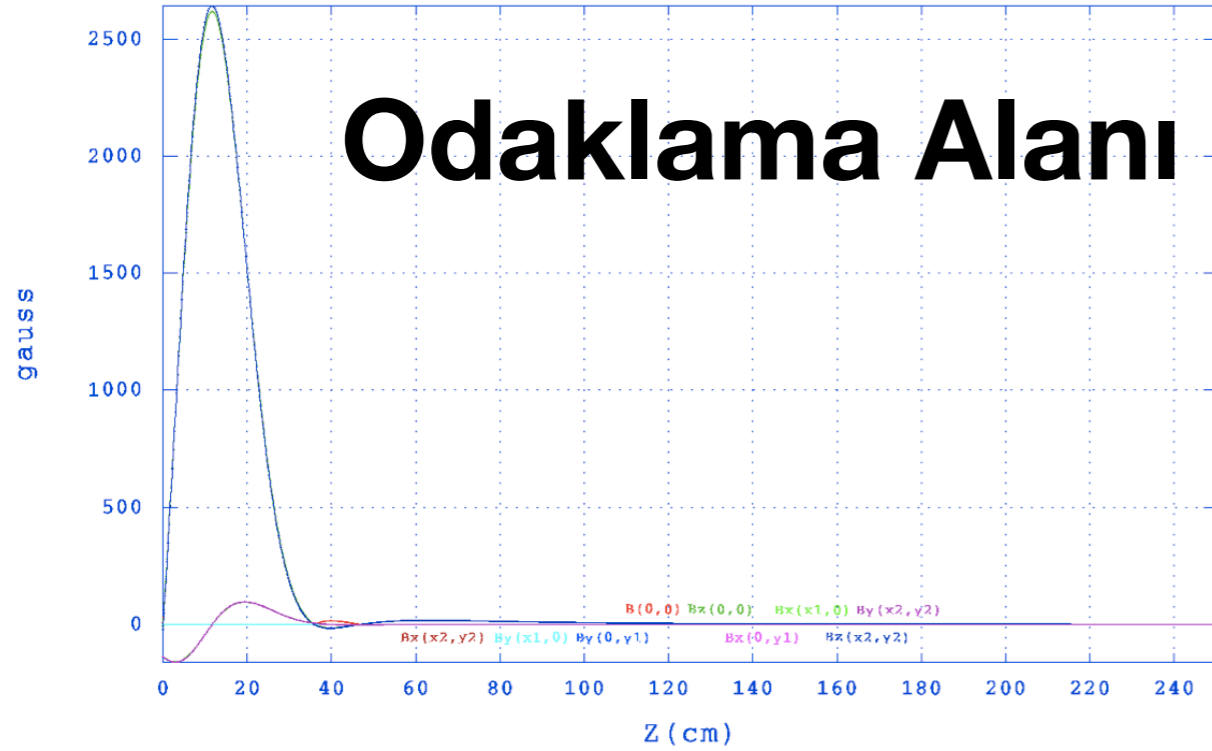
RF kovuk



- ▶ Normal iletken $n+1/2$ hücreli RF kovuk (örnek, $2+1/2$ hücre) kullanılabilir,
- ▶ L (1-2 GHz) veya S-band (2-4 GHz) frekanslarında ayarlanır (örnek: 3 GHz),
- ▶ Yüksek elektrik alanla (örnek, 85 MV/m) elektronların demet hattına iletimi yapılır,
- ▶ Başlangıç düzeyi RF kovuk benzetimi SUPERFISH ile yapılabilir, daha sonra CST, HFSS gibi daha ileri düzey programlar kullanılır,

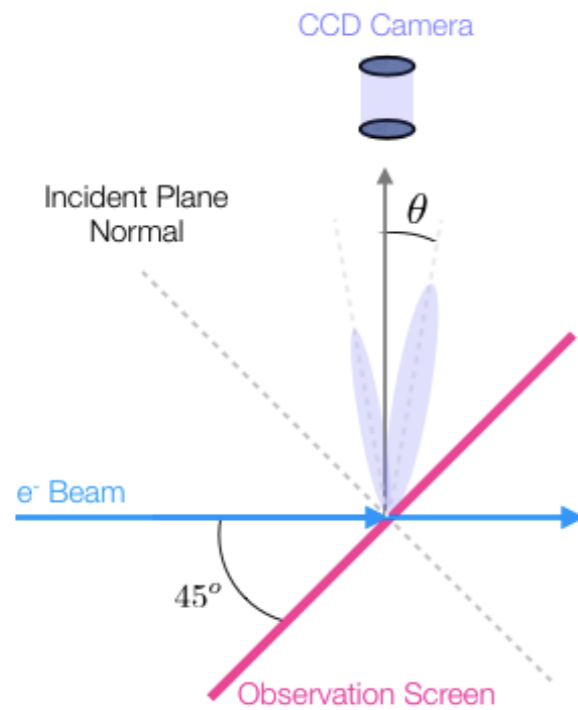


- ▶ Demet dinamiği benzetimleri (örnek, PARMELA) için hesaplanan alan haritaları kullanılır,
- ▶ Düzenek yüksek yük, düşük elektriksel kırılma ve düşük gizli akım için uygunlaştırılır,
- ▶ Yüksek yük üretimini başarmak için kovuk yüksek kalitede vakum için uygunlaştırılabilir (vakum odası iç yüzeyi "buharlaşmaz gaz tutucu", Non-Evaporable Getter, NEG)
- ▶ Yayınım kontrolü için 2 sarım halkası kullanılır.



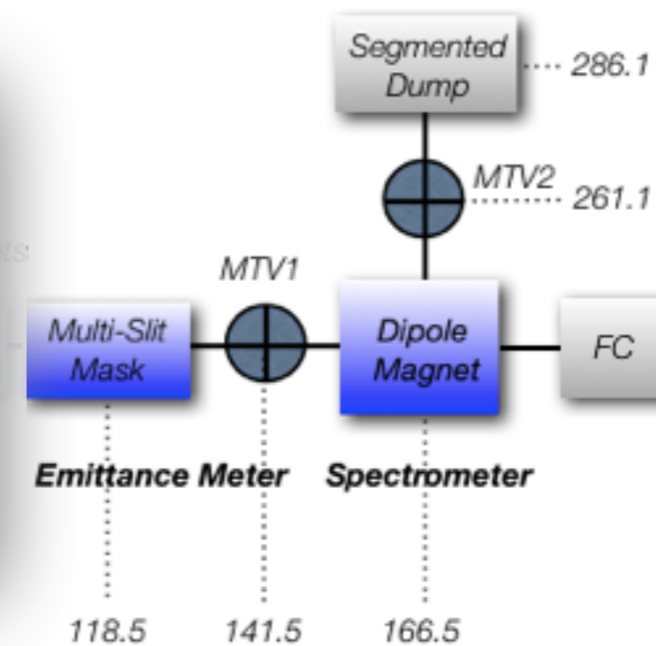
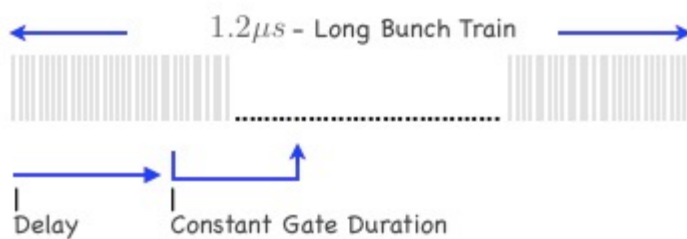
Üzerinde çalışacağımız örnek için uygun yayılım ve demet-alan evreleri sağlayan alanlar.

OTR Kesitleme

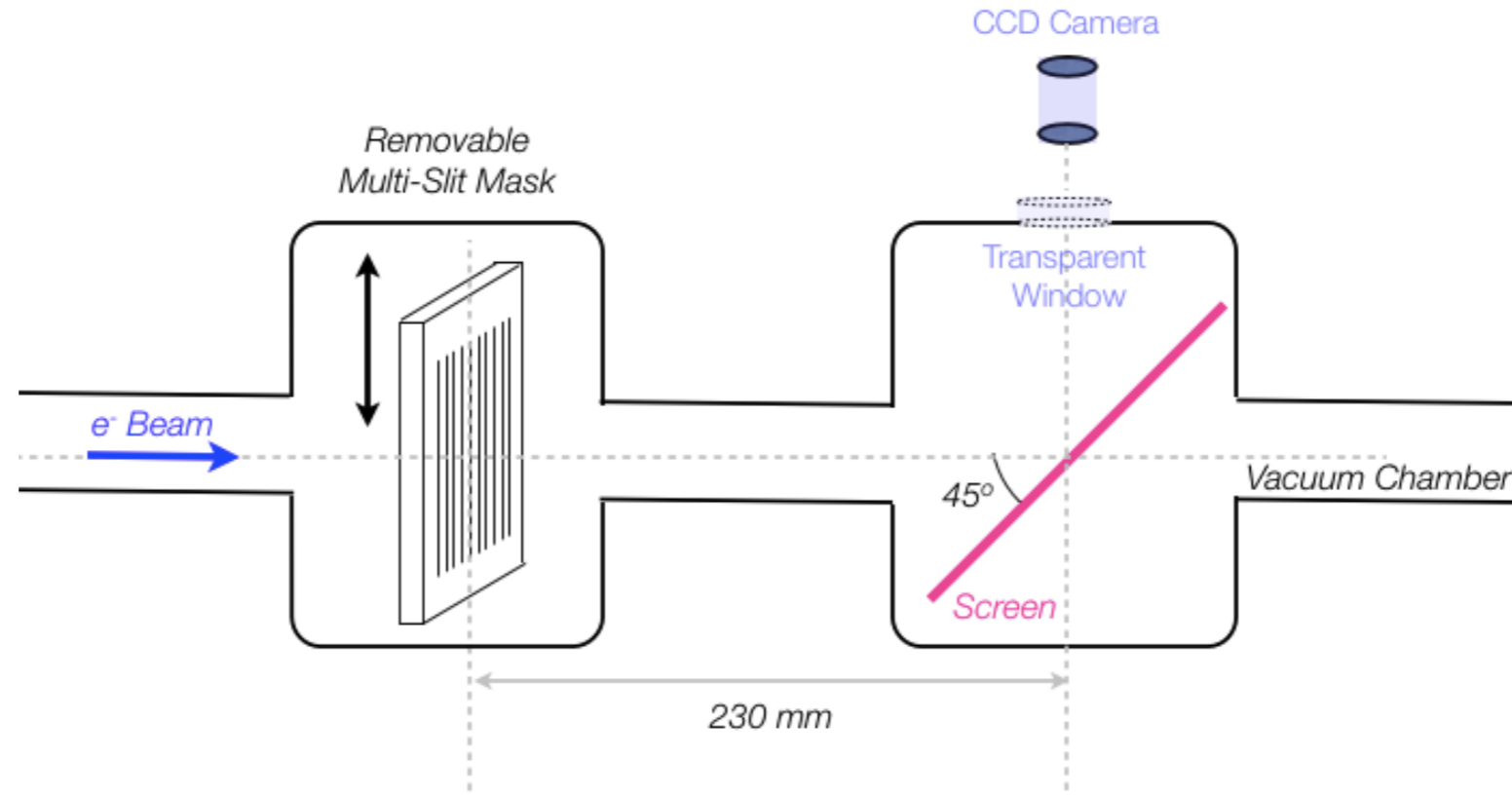


- ▶ Göreli hızlardaki yüklü parçacıklar değişik dielektrik katsayılı iki ortamın arayüzeyinden geçerken Görünür Geçiş Işınımı (Optical Transition Radiation, OTR) yayarlar,
- ▶ OTR demet kesiti ölçümlerinde bir tanı aracı olarak kullanılır,
- ▶ Örneğimizde (PHIN photoinjetör), yayınım (MTV1) ve enerji ölçümleri (MTV2) için iki OTR göstergesi kullanılmıştır,
- ▶ OTR, ICCD (Intensified Charge Coupled Device, yoğunlaştırılmış yük bağışimli aygıt) kamera kullanılarak gözlemlenebilir,
- ▶ Yoğunlaştırma düzeneği aynı zamanda kamerayı belli bir çözünürlükte tetikleyebilmemizi yani zaman çözünürlüklü ölçüm yapabilmemizi sağlar.

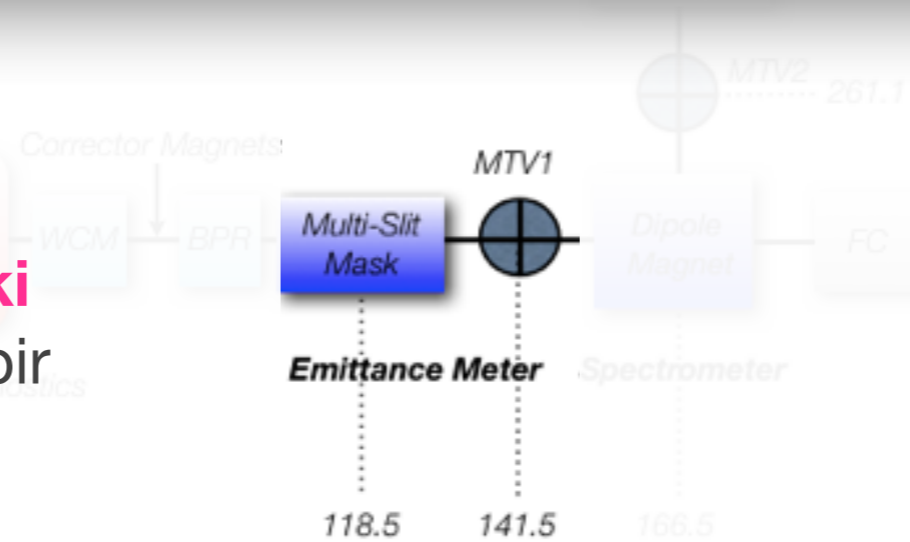
Zaman-Çözünümlü ölçümler kesitleme



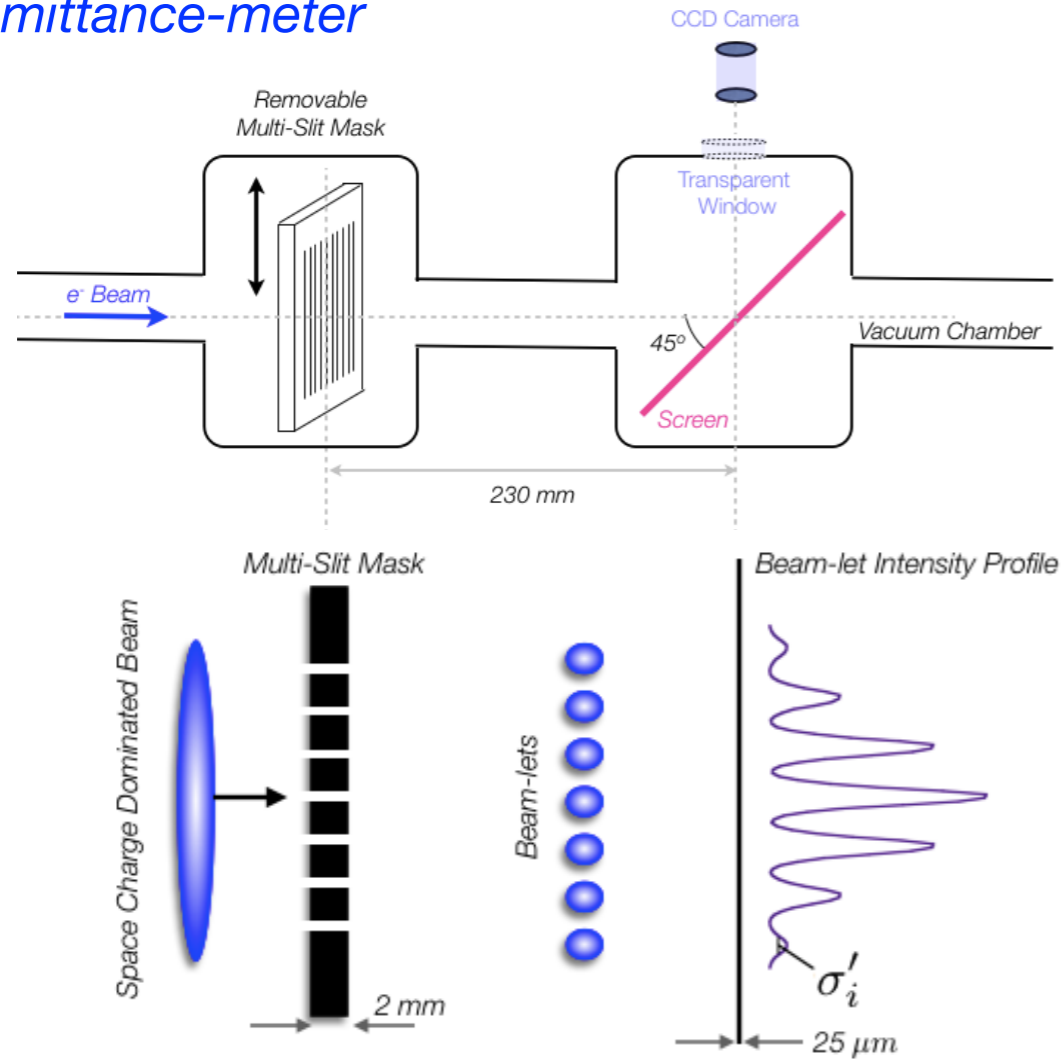
Yayınım-ölçer



- ▶ Demetin enine yayınımlı **çoklu-yarıklık yöntemi** ile ölçülebilir,
- ▶ Bu yöntem **uzay yükü etkisi altındaki düşük enerjili demetler** için uygun bir yöntemdir,



Emittance-meter



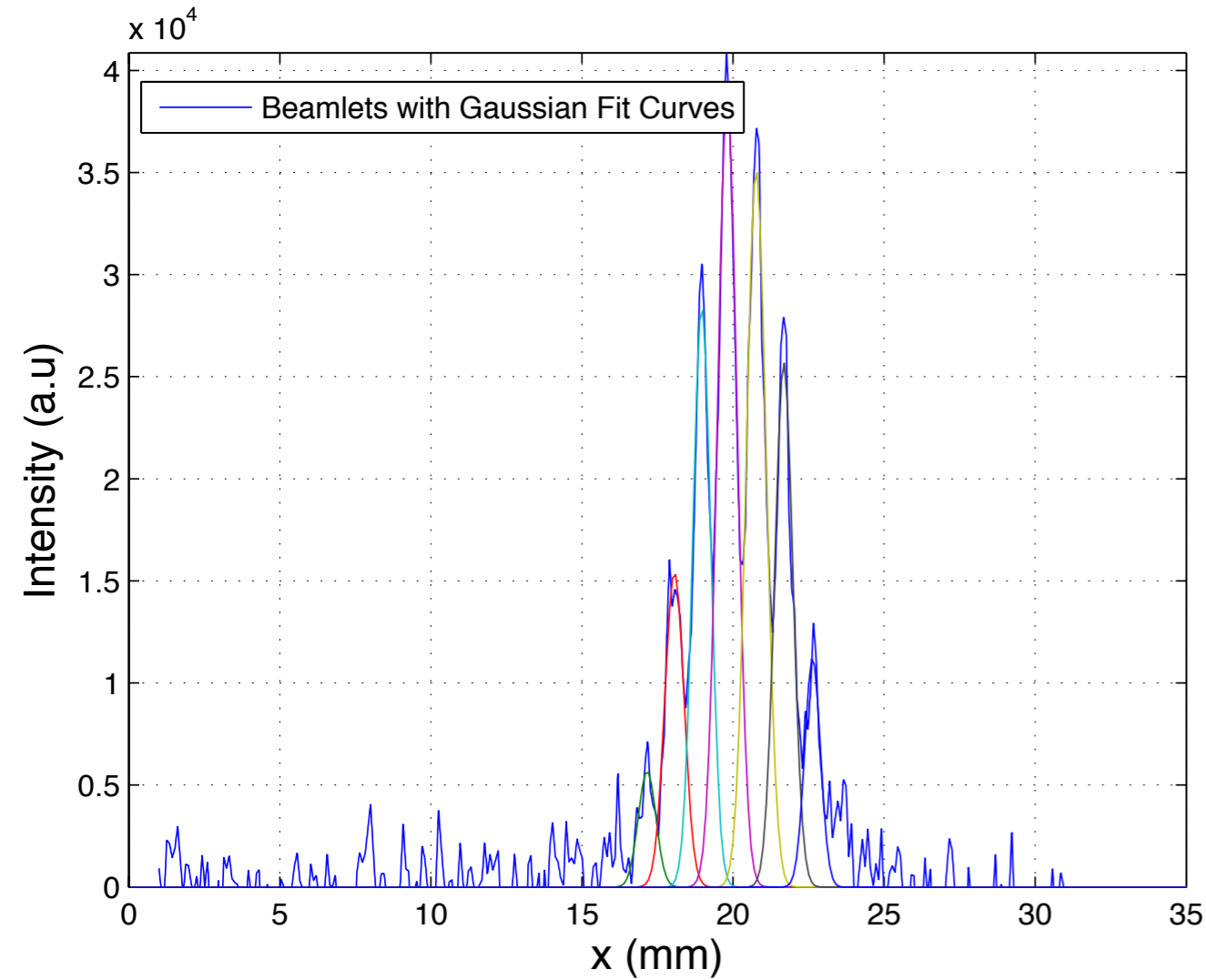
Çoklu yarık ya da Tuzluk Yöntemi

- ▶ Çok yarıklı ya da delikli maske demetin önüne yerleştirilir,
- ▶ Demet daha küçük demetçiklere ayrılarak uzay yükü etkisi giderilir,
- ▶ Demetçikleri oluşturan parçacıkların ortama konumu ve açıları bulunur,
- ▶ Maskenin bulunduğu noktadaki demet yayılımı her bir demetçiğe ait bilgilerle çıkarılabilir,



ρ_i , her bir demetçiğin yoğunluğu.

$x_{i,c}$, demetçiklerin ortalama konumları.



$x'_{i,c} = \langle x_i - iw \rangle / L$, demetçiklerin açıları.

σ'_i , açı değerlerinin yayılımı.

Yayınım Çıkarımı

Enine geometrik yayınımın tanımı:

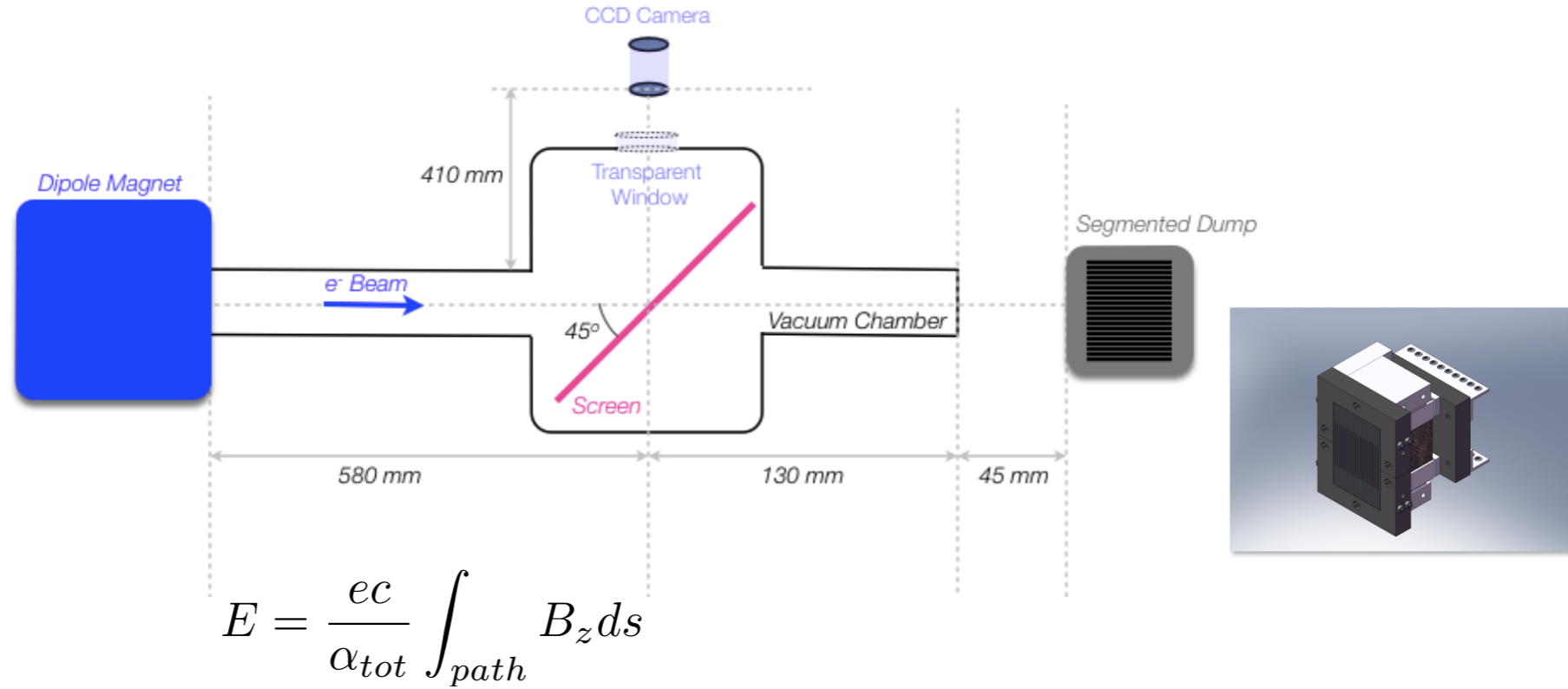
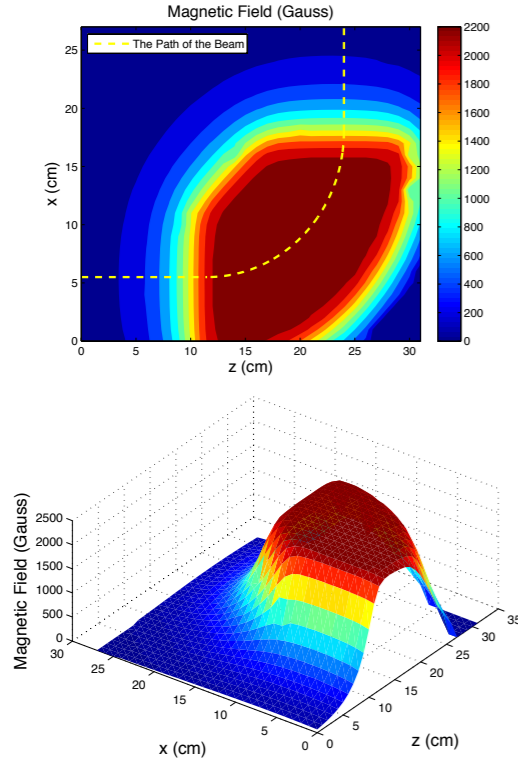
$$\epsilon_x \equiv \sqrt{\langle x^2 \rangle \langle x'^2 \rangle - \langle xx' \rangle^2}$$

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

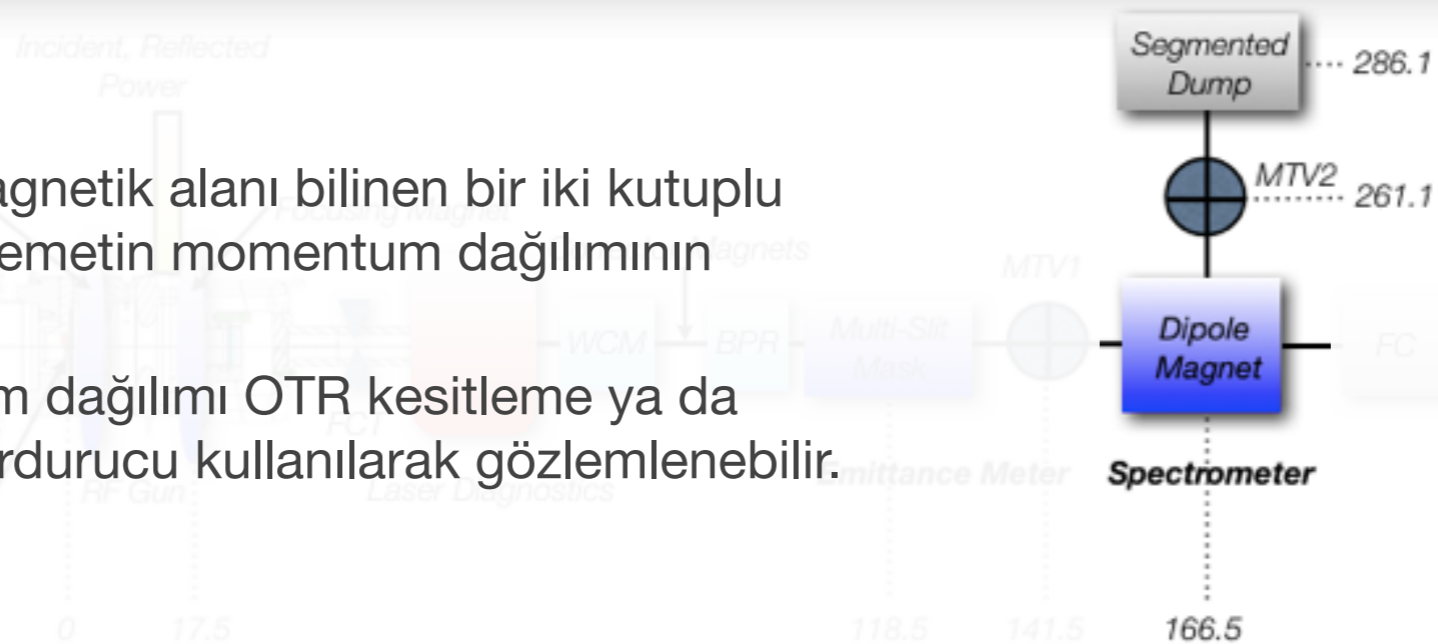
$$\langle x'^2 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N \rho_i (x_{i,c}'^2 - \sigma_i'^2)}{\sum_{i=1}^N \rho_i}$$

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

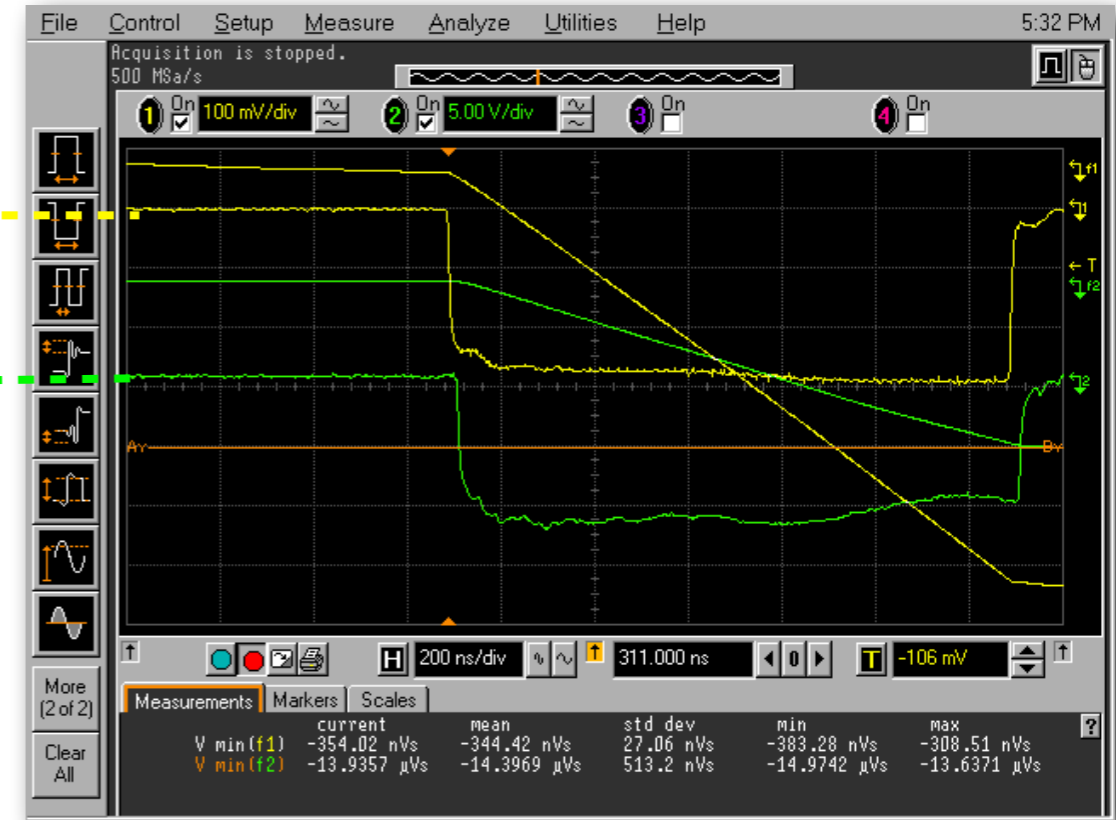
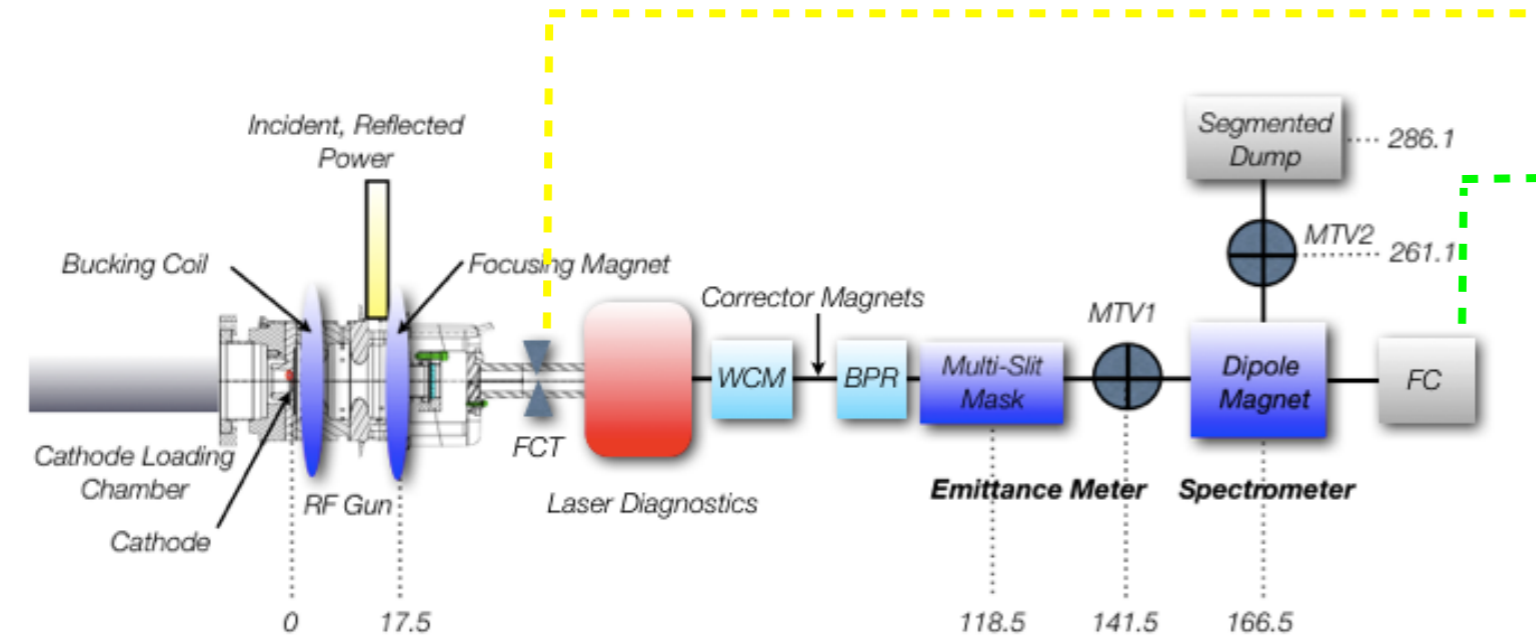
Magnetik Spektrometre



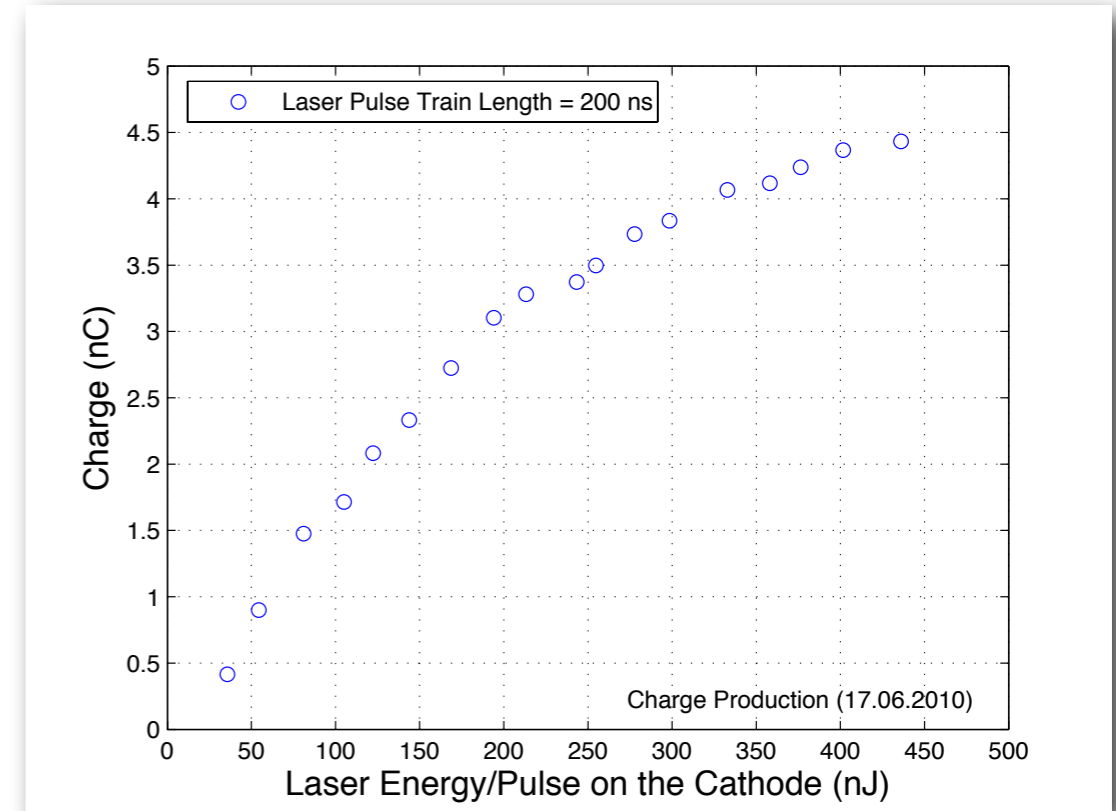
- ▶ Ölçüm prensibi: magnetik alanı bilinen bir iki kutuplu magnetten sonra demetin momentum dağılımının ölçülmesi,
- ▶ Demetin momentum dağılımı OTR kesitleme ya da tungsten demet durdurucu kullanılarak gözlemlenebilir.



$$Q_{max}[nC] = \frac{E_{acc}[MV/m]\sigma_x^2}{18} = \frac{85[MV/m](1[mm])^2}{18} = 4.7nC$$



- ▶ Demetin yükü FCT (fast current transformer, hızlı akım dönüştürücü) ile demetin elektromanyetik alanına bağlaşım yöntemi ile ölçülebilir,
- ▶ Faraday fincanı ise üzerine düşen elektronları yakalayarak toplam akıma bağlı olarak ölçüm yaptığımız başka bir tanı aletidir.
- ▶ Bir ışıl kaynakta yük artan lazer atma enerjisinin belli bir değerinden sonra doyuma ulaşır. Bu yandaki ölçümde de bir parça gözlemlenmektedir.
- ▶ **Örneğimiz için üretilebilecek en yüksek yük değeri 4.4 nC'dur ve yukarıda verilen kuramla uyum sağlamaktadır.**



- Işıl elektron kaynağı düzeneğinin bileşenleri (Ders 1),
- Işıl elektronların dinamiği (Ders 1),
 - hareket denklemi,
 - yayılım kazanma süreçleri,
 - yayılımın giderilmesi,
 - hızlanma altında demet çerçevesinin davranışı,
 - bazı gözlenebilir niceliklerin kolay birimler cinsinden gösterimi.
- Bir ışıl demet kaynağının sistematik benzetim çalışmaları ile tasarımı (Ders 2 ve ödevler).

- ▶ Işıl demeti oluşturan tüm parçacıkların gezingelerini bir bütün olarak kapsayan çerçeveye "demet çerçevesi" diyelim.
- ▶ Işıl kaynağın barındırdığı etkiler altında demet çerçevesinin devinimi aşağıdaki denklemle verilir:

$$\sigma'' + \sigma' \frac{\gamma'}{\beta^2 \gamma} + K_r \sigma - \frac{\kappa_s}{\sigma \beta^3 \gamma^3} - \frac{\epsilon_n^2}{\sigma^3 \beta^2 \gamma^2} = 0$$

Dışarıdan uygulanan doğrusal odaklama.

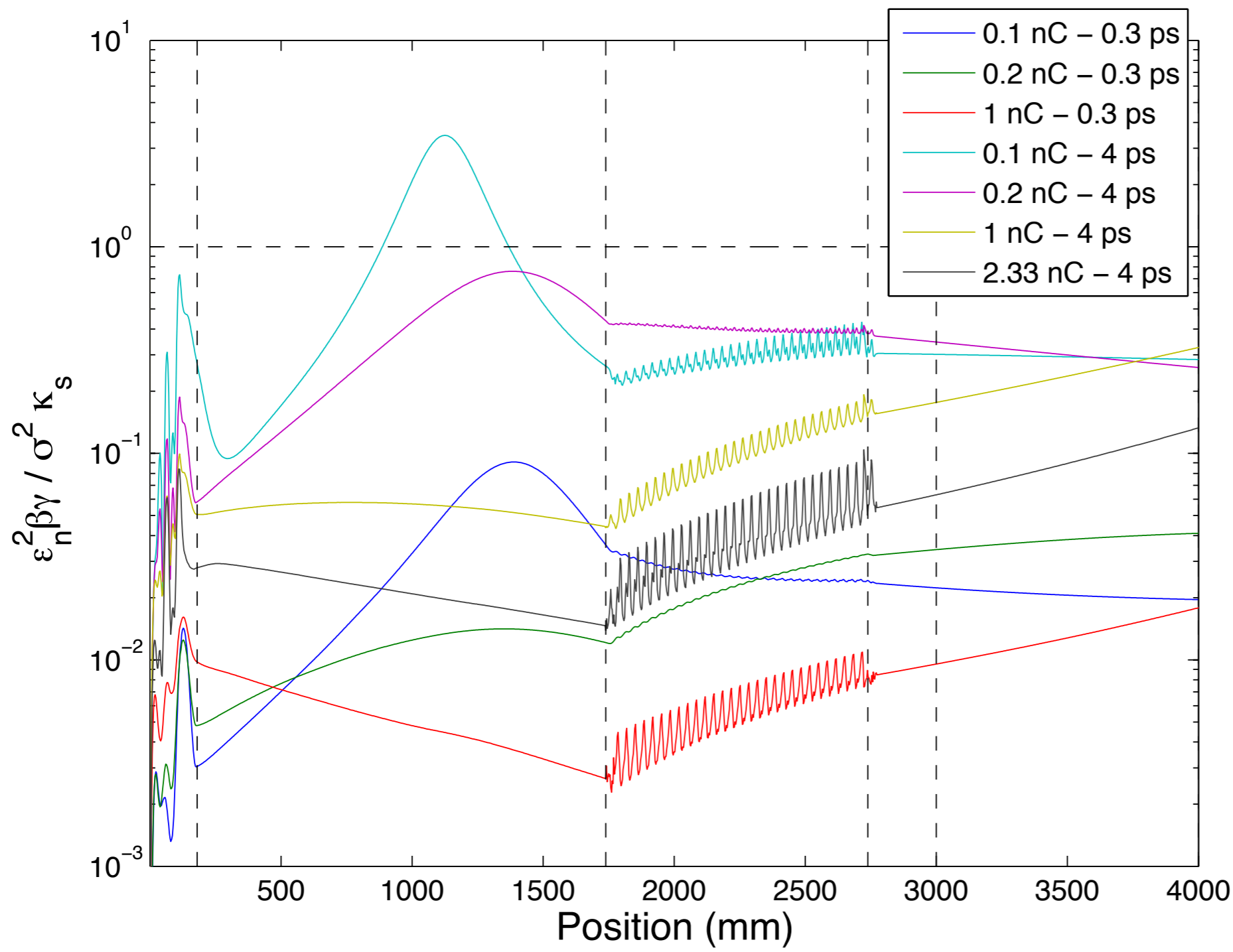
Dağıtıcı uzay yükü etkisi.

Normalize yayınının dağıtıcı baskısı.

$\kappa_s = \frac{I}{2I_0}$ Demetin etkisi altında olduğu uzay yükünün bir ölçüsü. Demet yüklülüğü (beam perveance).

$\epsilon_n = \beta \gamma \epsilon = \frac{\beta \gamma}{2} \sqrt{\langle r^2 \rangle \langle r'^2 \rangle - \langle r r' \rangle^2}$ Silindirik koordinatlarda normalize yayınım.

$$\sigma'' + \sigma' \frac{\gamma'}{\beta^2 \gamma} + K_r \sigma - \frac{\kappa_s}{\sigma \beta^3 \gamma^3} - \frac{\epsilon_n^2}{\sigma^3 \beta^2 \gamma^2} = 0$$



Yayınım baskın

$$\epsilon_n^2 \beta \gamma \gg \sigma^2 \kappa_s$$

Uzay yükü baskın

$$\epsilon_n^2 \beta \gamma \ll \sigma^2 \kappa_s$$

Bir ışıl kaynakta,

- ▶ RF alanının elektron atması boyunca değişiyor olmasından (f , RF frekansı; E_0 maksimum elektrik alan değeri, σ enine ve boyuna rms demet boyu),

$$\epsilon_{rf}[mm\ mrad] = 2.73 \times 10^{-11} E_0[MV/m] f^2[MHz] \sigma_x^2[mm] \sigma_b^2[ps]$$

- ▶ uzay yüküne bağlı olarak Coulomb etkisi altında,

$$\epsilon_{sc}[mm\ mrad] = 3.76 \times 10^3 \frac{Q[nC]}{E_0[MV/m] (2\sigma_x[mm] + \sigma_b[ps])}$$

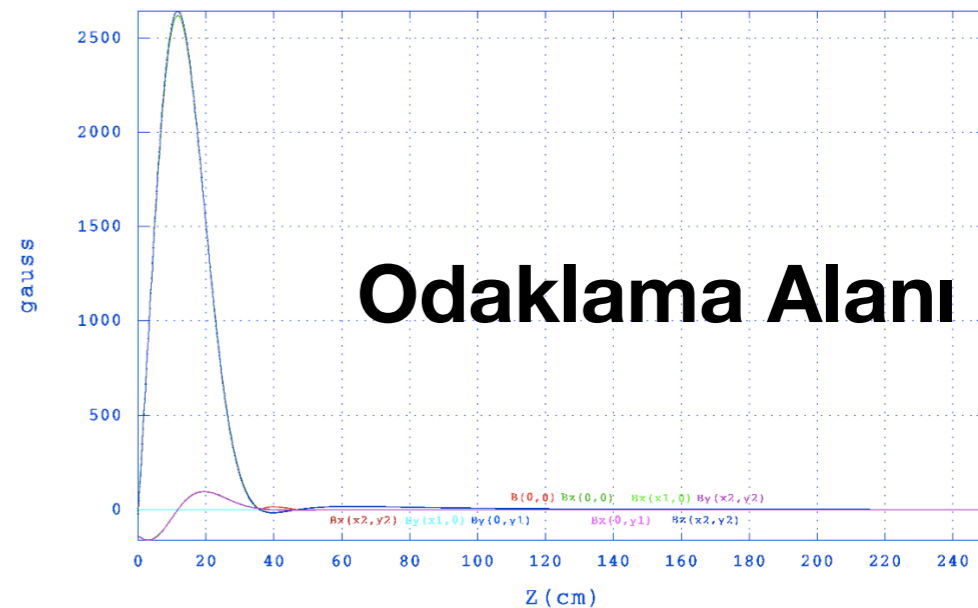
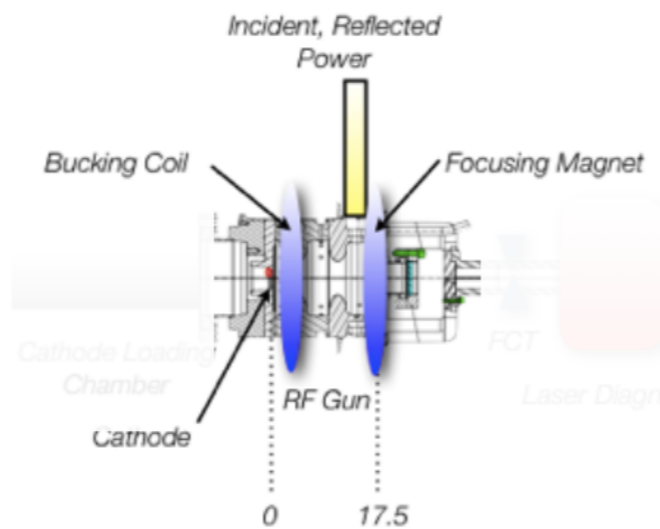
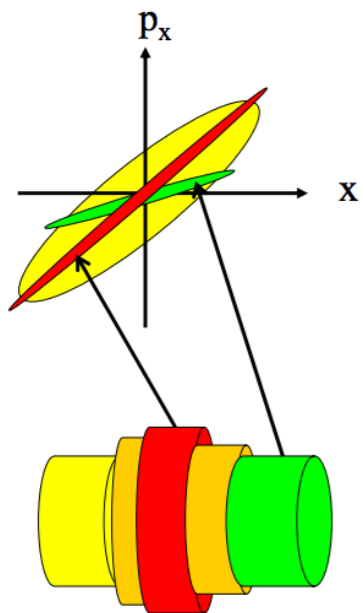
- ▶ ve elektronların ısı enerjisinden kaynaklanan yayınım artması gözlenebilir.

$$\epsilon_{n,th} = \gamma \frac{r_c}{2} \sqrt{\frac{k_b T_e}{m_e c^2}}$$

- ▶ Toplam yayınım tüm etkenlerin bileşkesi şeklinde bulunur.

$$\epsilon_{n,x,y,tot} = \sqrt{\epsilon_{rf}^2 + \epsilon_{sc}^2 + \epsilon_{th}^2}$$

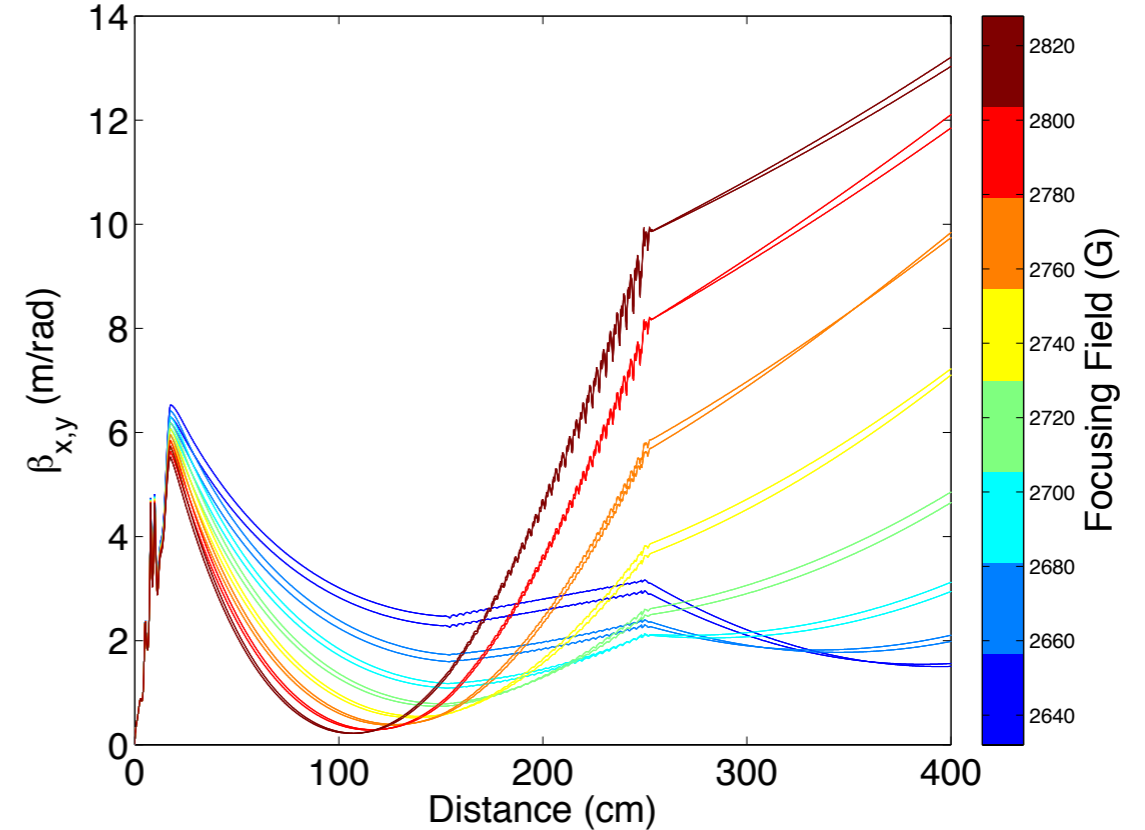
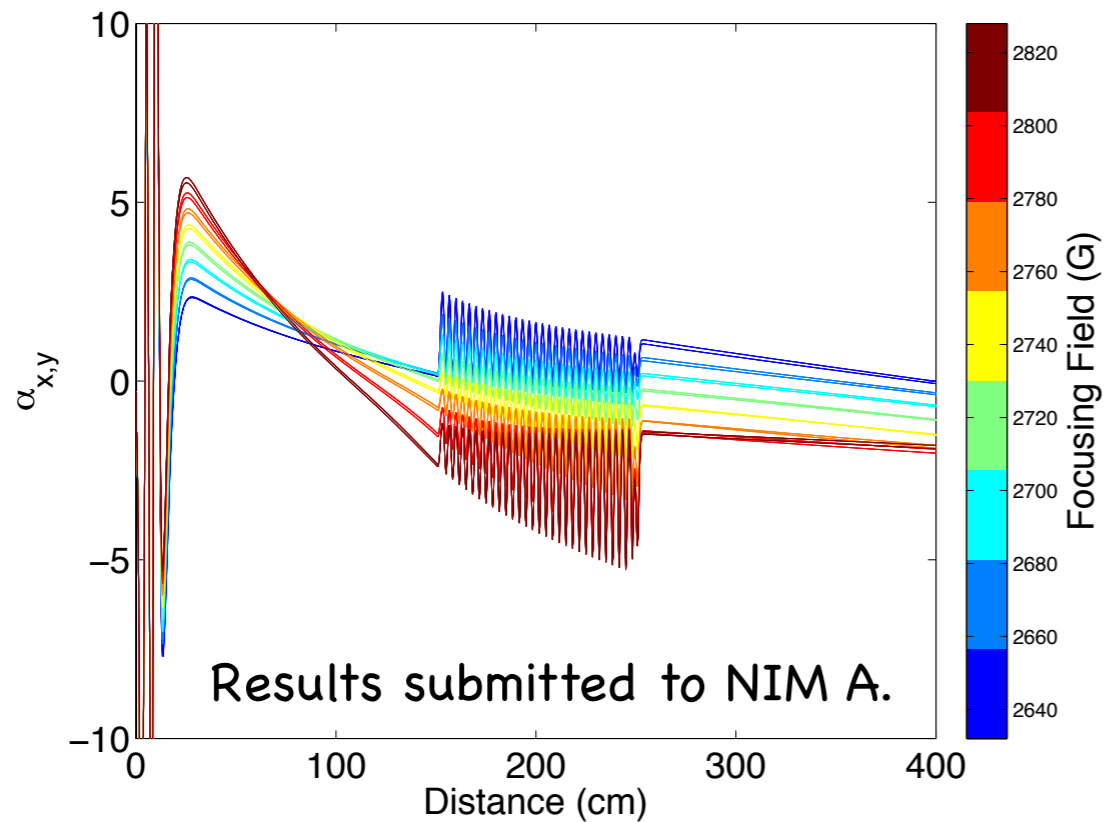
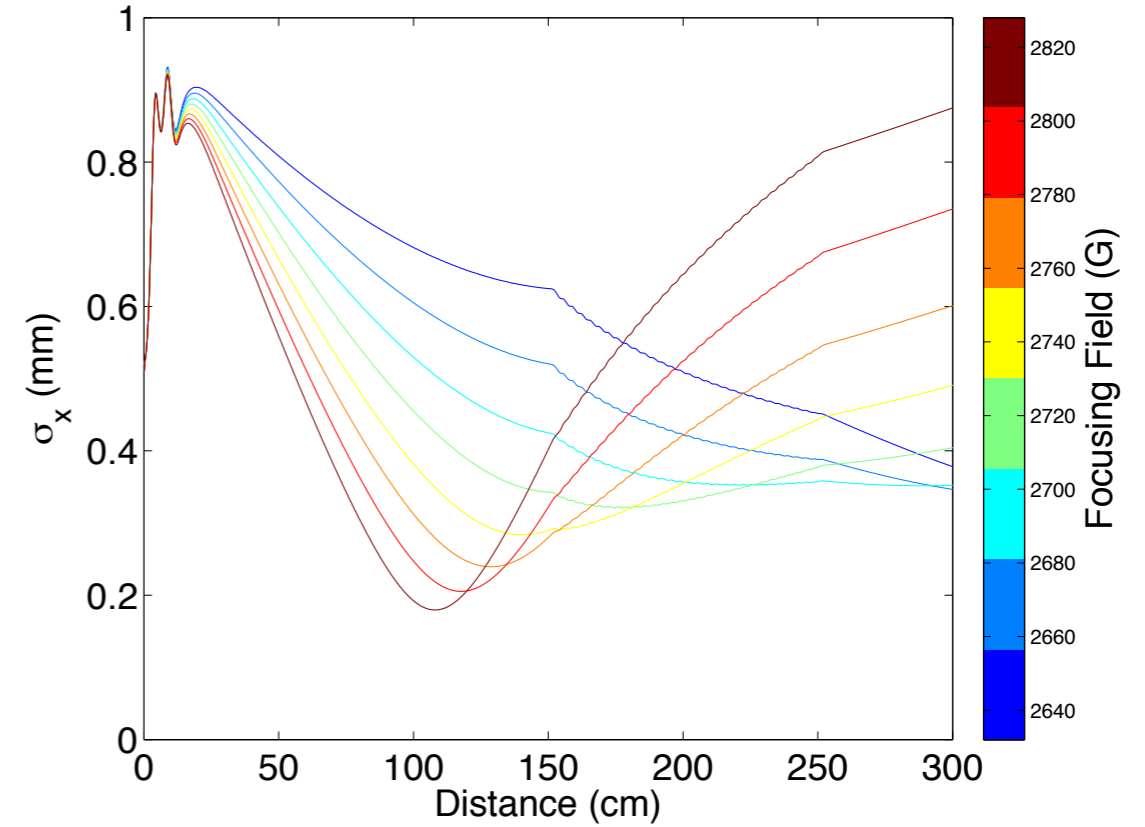
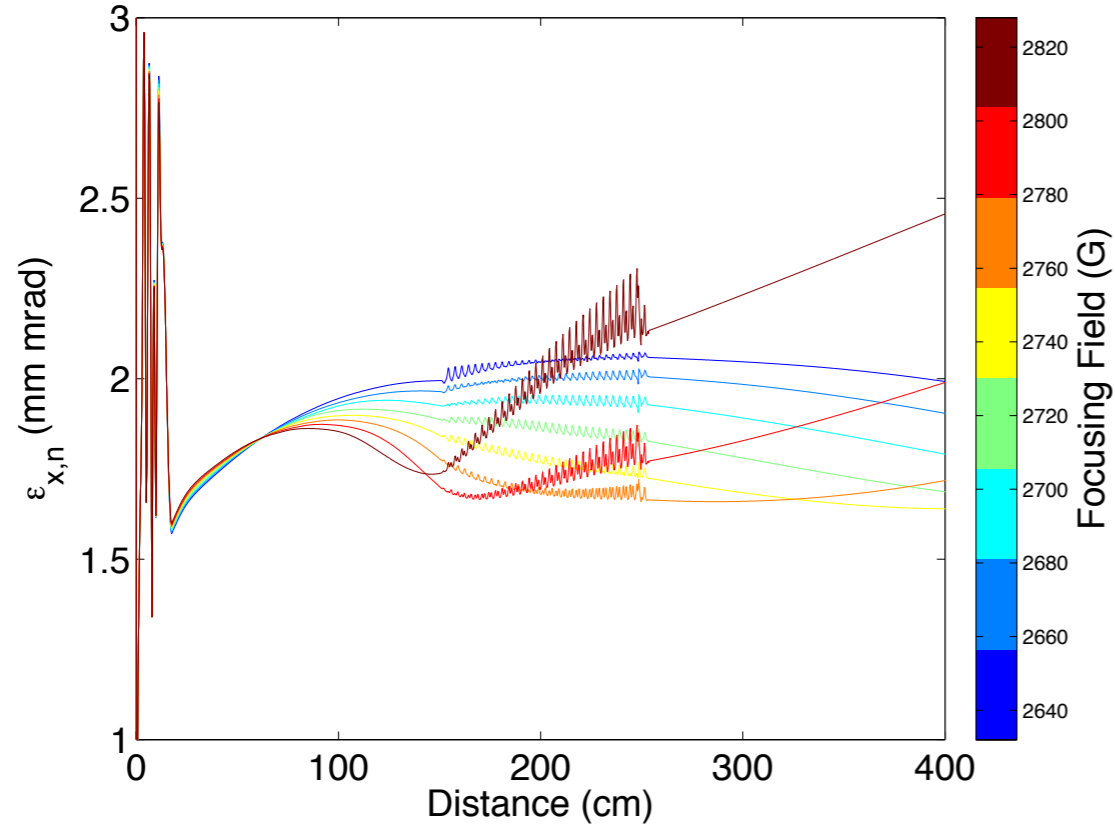
- ▶ Bir ışıltı elektron kaynağında yayıma en düşük katkı elektronların ısıltı enerjisinden, en yüksek katkı ise uzay yüküne bağıltı dağıtıcı etkiden gelir.
- ▶ Dolayısıyla, minimum yayıma ulaşmak için uzay yükü etkisinden doğan bileşeni gidermek gerekir,
- ▶ Toplam yayım farklı uzay yükü etkisi altındaki demet dilimlerinin izdüşümüdür. Dilimler evre uzayında hem-yönelimleştirilerek toplam yayım giderilebilir.



$$\epsilon_{x,n} = \frac{1}{2} \beta \gamma \sqrt{\langle \Lambda^2 \rangle \langle \rho^2 \rangle - \langle \Lambda \rho \rangle^2} \left(2r_0(z_l + z_d) - \frac{z_d^2 r_0}{f} \right)$$

- ▶ Λ , yarıçapsal uzay yükü etkisi, ρ elektron atması içindeki yarıçapsal konum, r_0 demetin yarıçapı, z_l merceğin konumu ve z_d merceğin ilerisinde herhangi bir noktadır.

Davranışın kuramı için kaynak: Phys. Rev. E 55 7565 (1997).



Elde edilebilir en yüksek elektrik alan Killpatrick kriterince verilir. Mutlak sonuçlardan çok frekansa bağlı olarak değişimin gidişini gösterir.

$$E_{0,max}[MV/m] = 8.47 + 1.57\sqrt{f[MHz]}$$

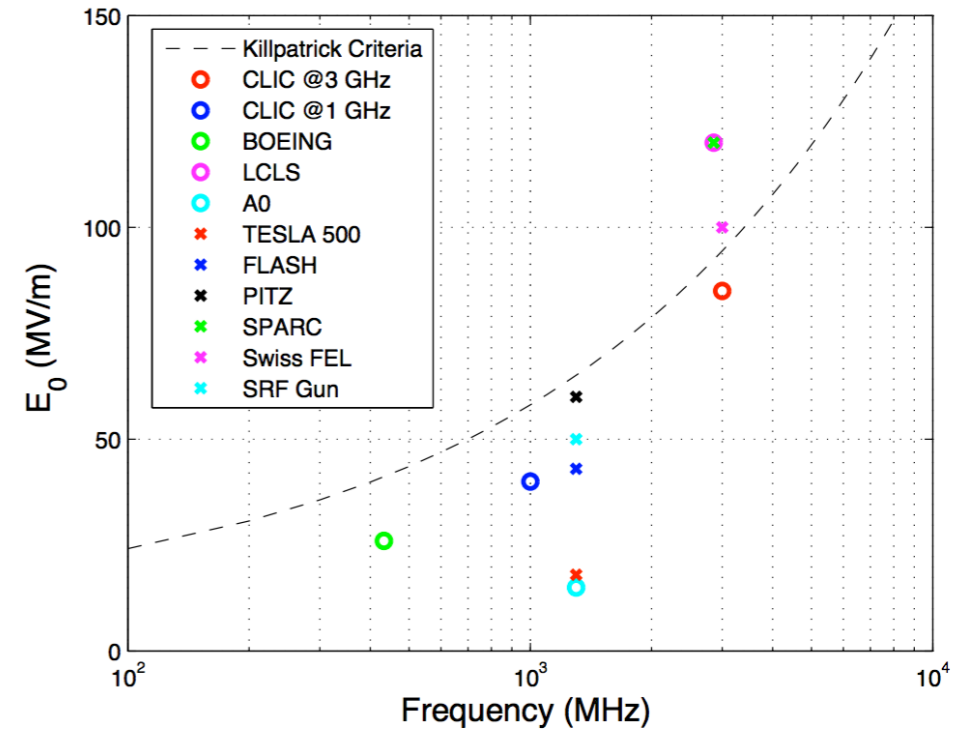
$$\sigma_b[ps] \leq \frac{5 \times 10^4}{f[MHz]}$$

Enerji yayılımının 1%'in üstüne çıkmaması için izin verilebilecek en büyük bohça uzunluğunu.

$$E_{dec}[MV/m] = 18 \frac{Q[nC]}{\sigma_x^2[mm^2]},$$

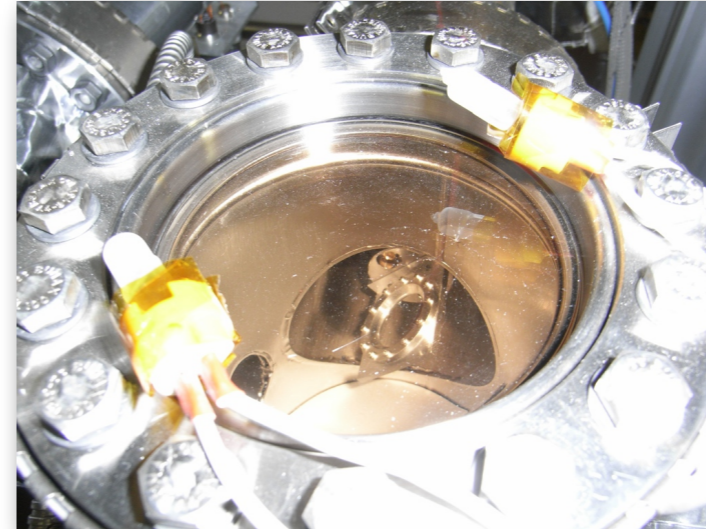
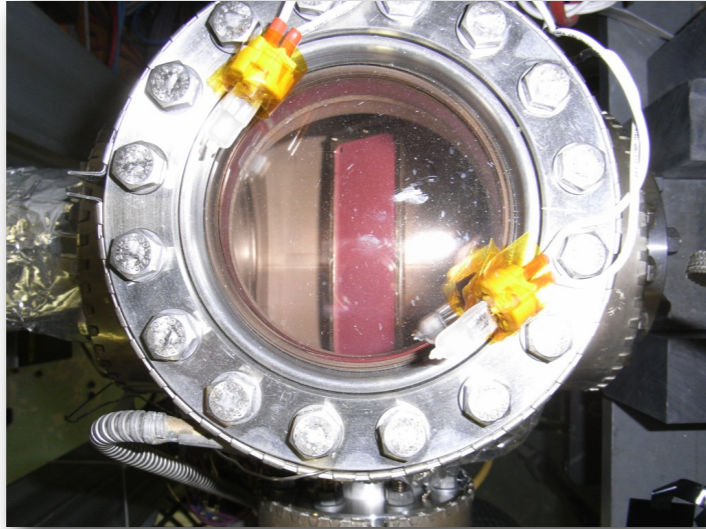
Katod önünde oluşan elektron bulutundan en çok elektronu sökebilmek için gereken hızlandırma alanı uzay yükü etkisince uyarılan yavaşlatma alanına en az eşit olmalıdır.

$$Q_{max}[nC] = \frac{E_{acc}[MV/m]\sigma_x^2[mm^2]}{18}.$$



- ▶ Işıl elektron kaynağı düzeneğinin bileşenleri (Ders 1),
- ▶ Işıl elektronların dinamiği (Ders 1),
 - ▶ devinim denklemi,
 - ▶ yayınım kazanma süreçleri,
 - ▶ yayınımın giderilmesi,
 - ▶ hızlanma altında demet çerçevesinin davranışı,
 - ▶ Bazı gözlenebilir niceliklerin kolay birimler cinsinden gösterimi.
- ▶ Bir ışıl demet kaynağının sistematik benzetim çalışmaları ile tasarımı (Ders 2 ve ödevler).

- PARMELA'ya giriř,
- Verilen bir RF kovuk iin PARMELA programını kullanarak demetin maksimum enerji kazandığı RF evresinin bulunması,
- Demet yayınıminin uzay ykne bağlı bileşeninin dışardan odaklama uygulanarak giderilmesi,
- Elde edilen demetin ilerleyen dalga yapılarında hızlandırılması,
- Hızlanma boyunca devinim gzlenebilirlerinin davranışının incelenmesi,
- Belli katod ve lazer zellikleri iin elde bir ışıl elektron kaynağından elde edilebilecek maksimum ykn hesaplanması,
- Genel bir ışıl elektron kaynağı iin PARMELA benzetim sonuları kullanılarak iletim matrisinin bulunması.



Possible Background Sources for OTR Measurements

- ▶ the electrons that are not stopped by the slit-mask,
- ▶ the overlapping between the individual beamlets,
- ▶ x-rays
- ▶ external light pollution
- ▶ radiation due to the heating of the OTR screen

Possible Cure

First of all, consider the intensity of the beam, gain and spectral sensitivity of the camera, type of the observation screen, always respect the signal/noise ratio.

- ▶ thickness of the multi-slit mask,
- ▶ optimization of distance between the screen and the mask,
- ▶ shielding the camera properly,
- ▶ shielding or using a light-tight enclosure,
- ▶ offline treatment (usually the background has a Gaussian distribution in this case),