

Bir elektron kaynağı olarak  
**Foto-enjektör**

Öznur METE

CERN, Accelerators Beam Transfer Group

[oznur.mete@cern.ch](mailto:oznur.mete@cern.ch)

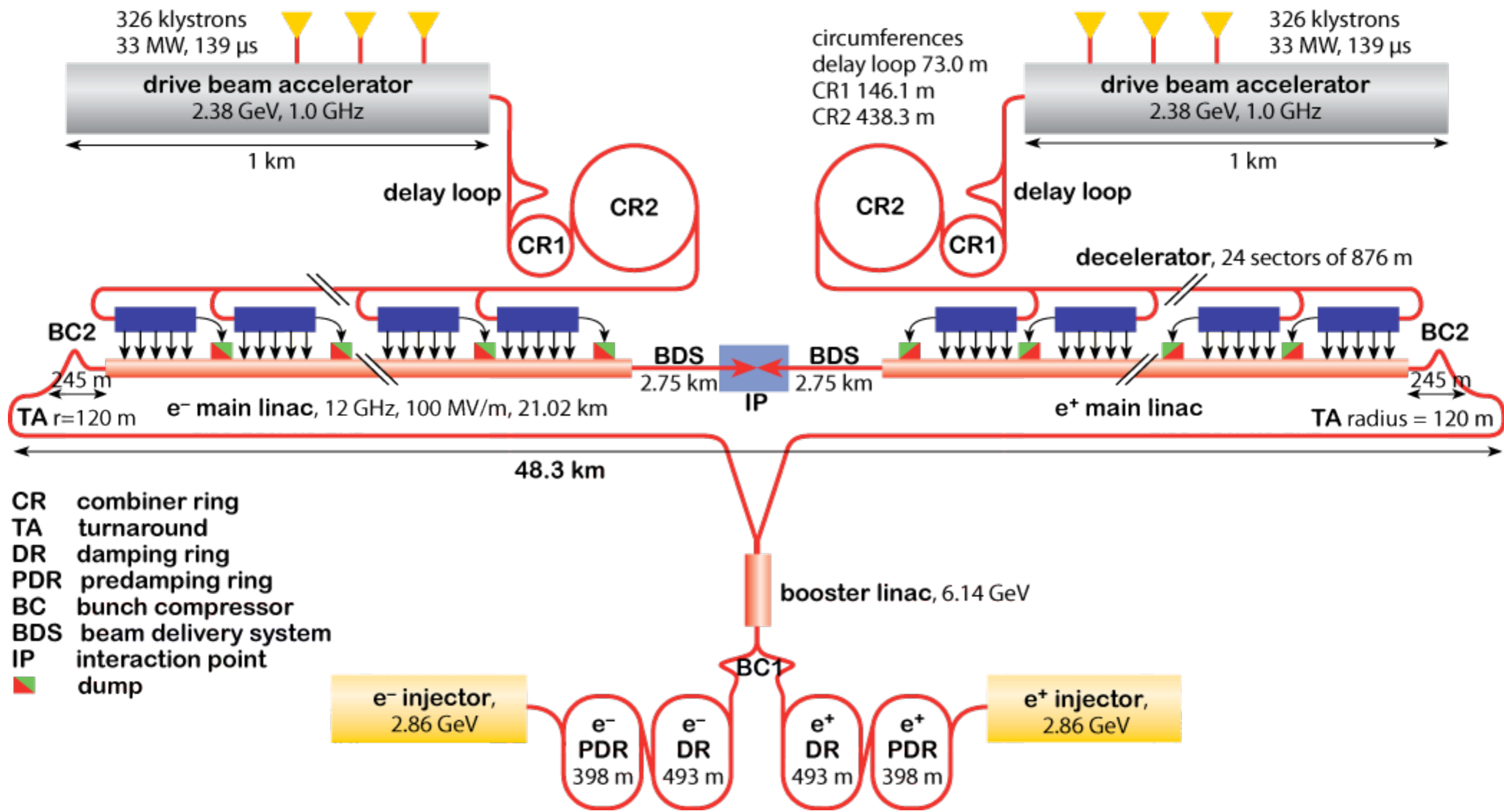
[www.cern.ch/omete](http://www.cern.ch/omete)

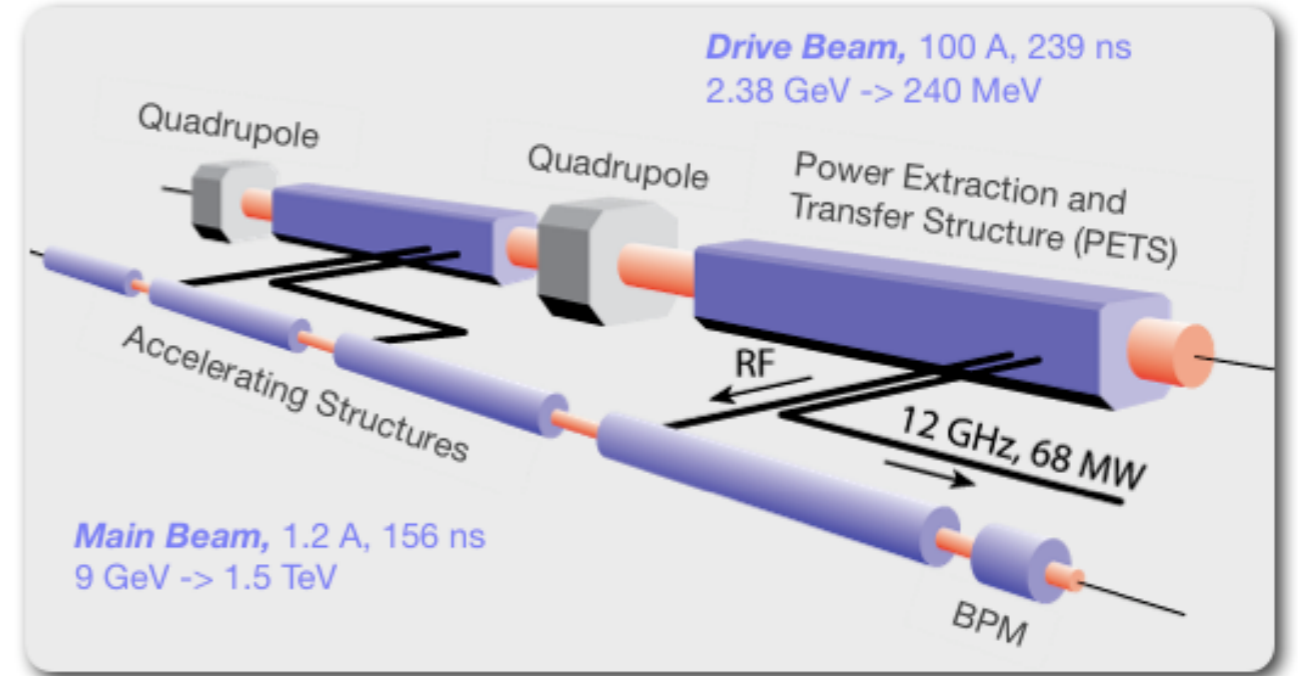
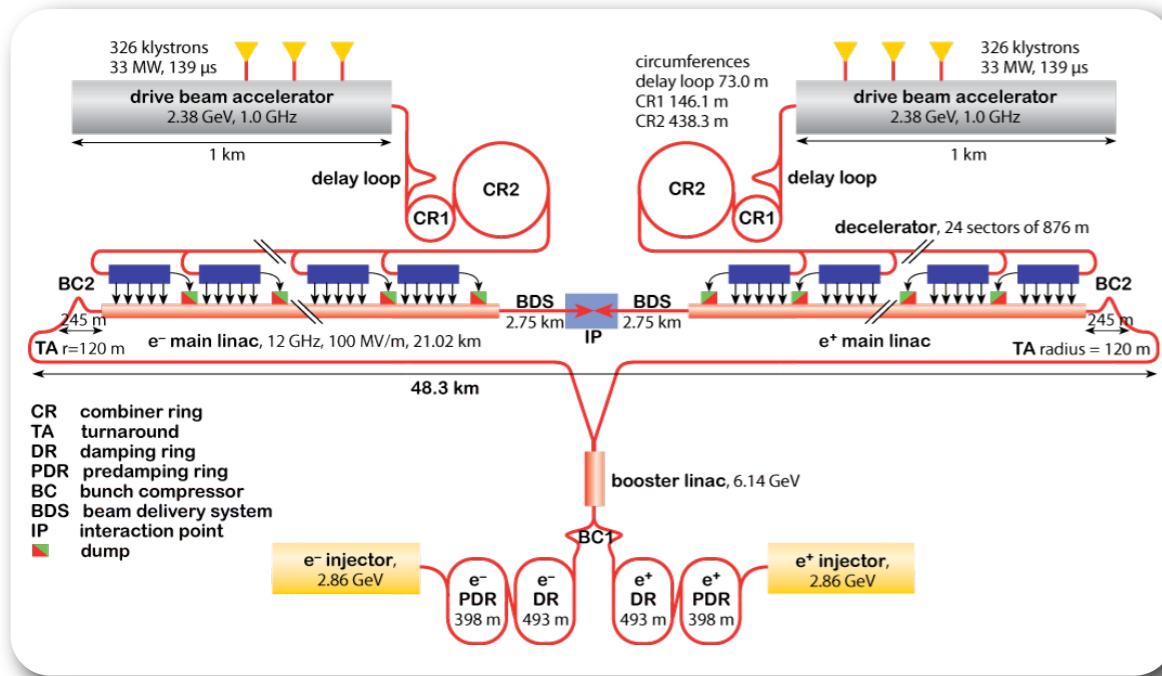
## Bu ders kapsamında:

- ▶ Bir örnek üzerinden düşünelim: CLIC Projesi ve elektron kaynakları
- ▶ Termiyonik (ısı) elektron kaynağı nedir?
- ▶ Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir ve ısı elektron kaynağına göre üstünlükleri nelerdir?
- ▶ CERN'deki CLIC projesi için PHIN ışıksal elektron kaynağının araştırma ve geliştirme çalışmaları.
  - PHIN foto-enjektörüne giriş
  - Demet özelliklerinin ölçülmesi, ölçüm aletleri, yöntemleri, PHIN'in işletmeye alma sürecinden başlıklar

## Bu ders kapsamında:

- ▶ Bir örnek üzerinden düşünelim: CLIC Projesi ve elektron kaynakları
- ▶ Termiyonik (ısı) elektron kaynağı nedir?
- ▶ Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir ve ısı elektron kaynağına göre üstünlükleri nelerdir?
- ▶ CERN'deki CLIC projesi için PHIN ışıksal elektron kaynağının araştırma ve geliştirme çalışmaları.
  - PHIN foto-enjektörüne giriş
  - Demet özelliklerinin ölçülmesi, ölçüm aletleri, yöntemleri, PHIN'in işletmeye alma sürecinden başlıklar





**CLIC projesinin gerçekleşmesi için bir takım tekniklerin başarılacağı gösterilmelidir.**

- ▶ Yüksek şiddette bir sürücü demetin verimli bir şekilde üretilmesi.
- ▶ Ana demetin hızlandırılmasında gerektirdiği kadar gücün sürücü demetten **PETS\*** kullanılacak çekilebilmesi.
- ▶ Demetin nanometre mertebesine kadar odaklanması.
- ▶ Farklı bileşenlerin hizalanma kesinliği.

**\*Google dedeye sorunuz.**

**GERÇEK** Ana demetin hızlandırılması sırasındaki nicelikleri sürücü demetin niceliklerine dayanmaktadır.

**GÖREV** Sürücü demet kaynağının doğru seçilmesi ve en uygun şekilde tasarımının en uygun şekilde yapılması.

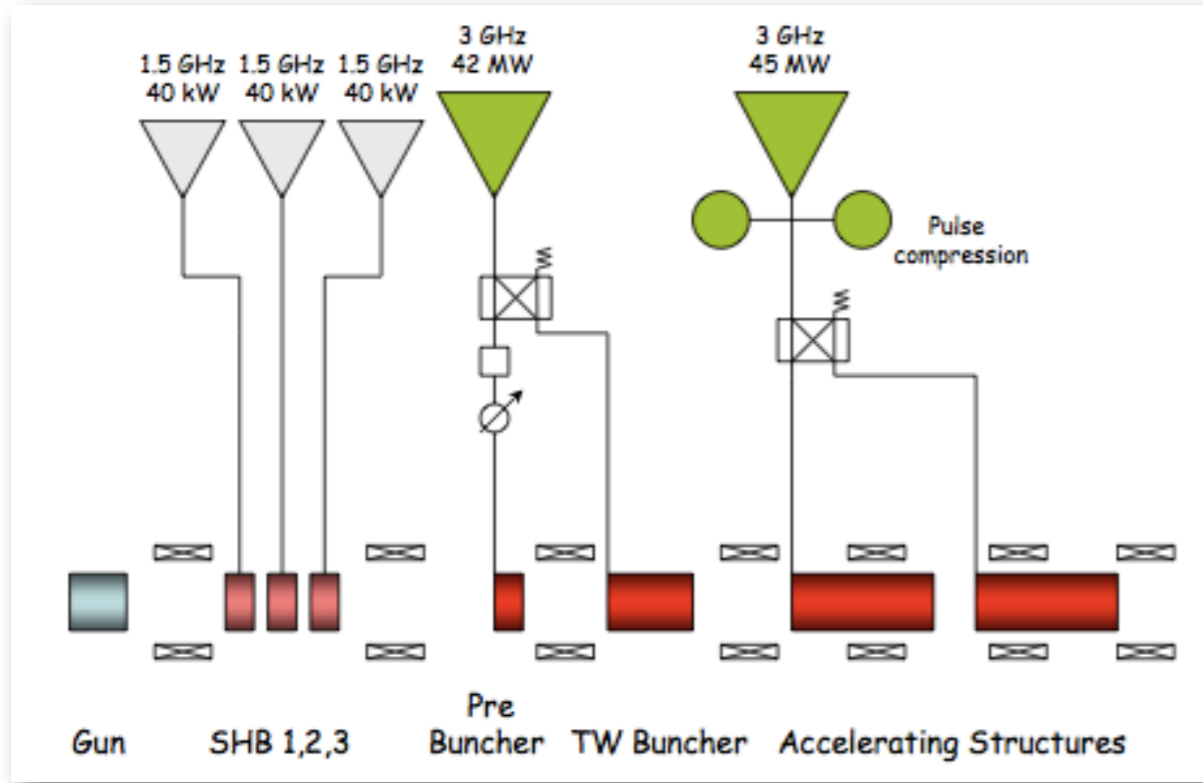
## Bu ders kapsamında:

- ▶ Bir örnek üzerinden düşünelim: CLIC Projesi ve elektron kaynakları
- ▶ Termiyonik (ısı) elektron kaynağı nedir?
- ▶ Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir ve ısı elektron kaynağına göre üstünlükleri nelerdir?
- ▶ CERN'deki CLIC projesi için PHIN ışıksal elektron kaynağının araştırma ve geliştirme çalışmaları.
  - PHIN foto-enjektörüne giriş
  - Demet özelliklerinin ölçülmesi, ölçüm aletleri, yöntemleri, PHIN'in işletmeye alma sürecinden başlıklar

Bir metalik katodun ısıtılması ile katod yüzeyinden elektron yayınlama olayına “ısı yayılımı” denir. Aşağıdaki eşitlikle verilen Richardson yasası elektronların ısı yayılımının yayıcı yüzeyinin ısısının bir fonksiyonu olarak açıklar.

$$j_{iy} = c_3 T^2 \exp\left(-\frac{\phi}{k_b T}\right)$$

Burada  $j_{iy}$  yayınlanmış elektronların akım yoğunluğu,  $c_3$  bir sabit,  $T$  yayıcı yüzeyin sıcaklığı,  $\phi$  yayıcı metalin iş fonksiyonu ve  $k_b$  Boltzmann sabitidir.

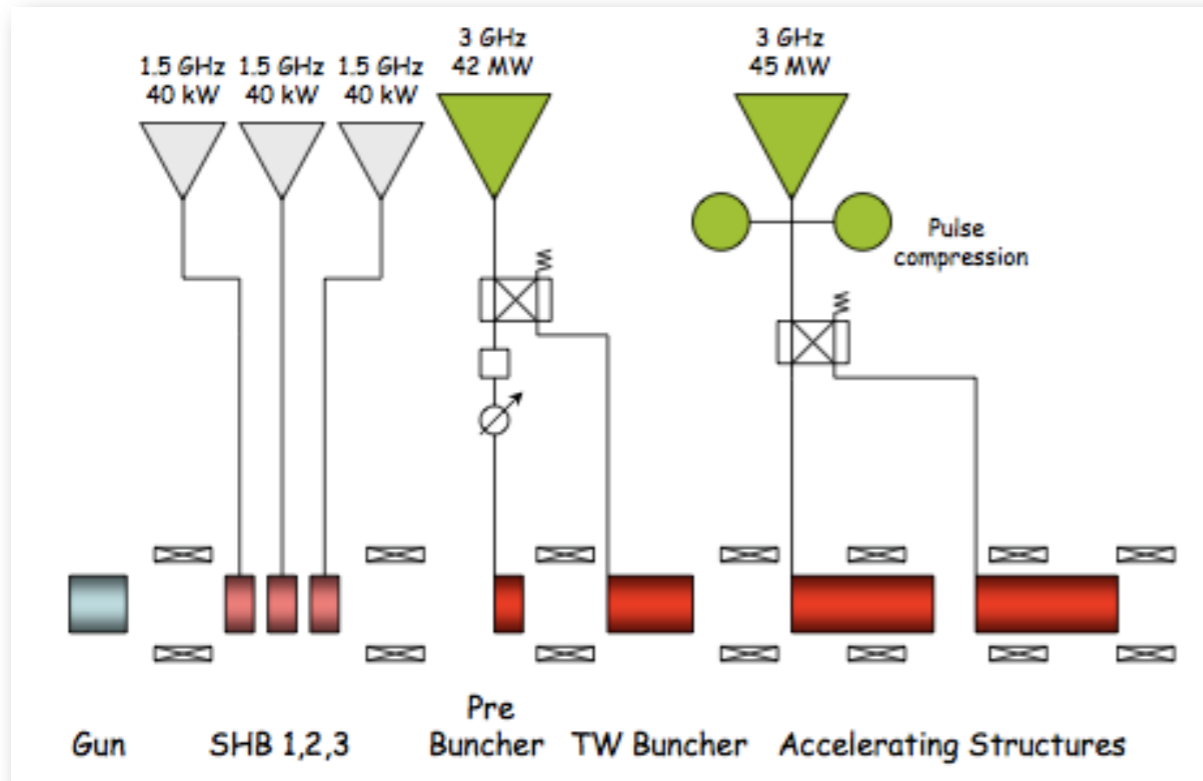


- ▶ Bir termiyonik tabancadan  $1.6 \mu\text{s}$  uzunluğunda sürekli bir **sürücü demet** üretilir,
- ▶ daha sonra, demetin zamansal yapısı çeşitli aşamalardan sonra oluşturulur;
  - ▶ üç 1.5 GHz (sub-harmonic) alt-uyak bohçalayıcısı,
  - ▶ S-bandında ön-bohçalayıcı,
  - ▶ ilerleyen dalga bohçaşayıcısı.
- ▶ Bu aşamalardan sonra demet iki hızlandırma kovuğundan geçerek istenilen özelliklerde üretilmiş ve hızlandırıcıya enjekte edilmiş olur.

**Sürücü demet: CLIC projesinde hızlandırma kovukları için güç sağlamak üzere kullanılacak yardımcı elektron demeti.**



Kaynak çıkışında bizden beklenen demet özellikleri nelerdir?

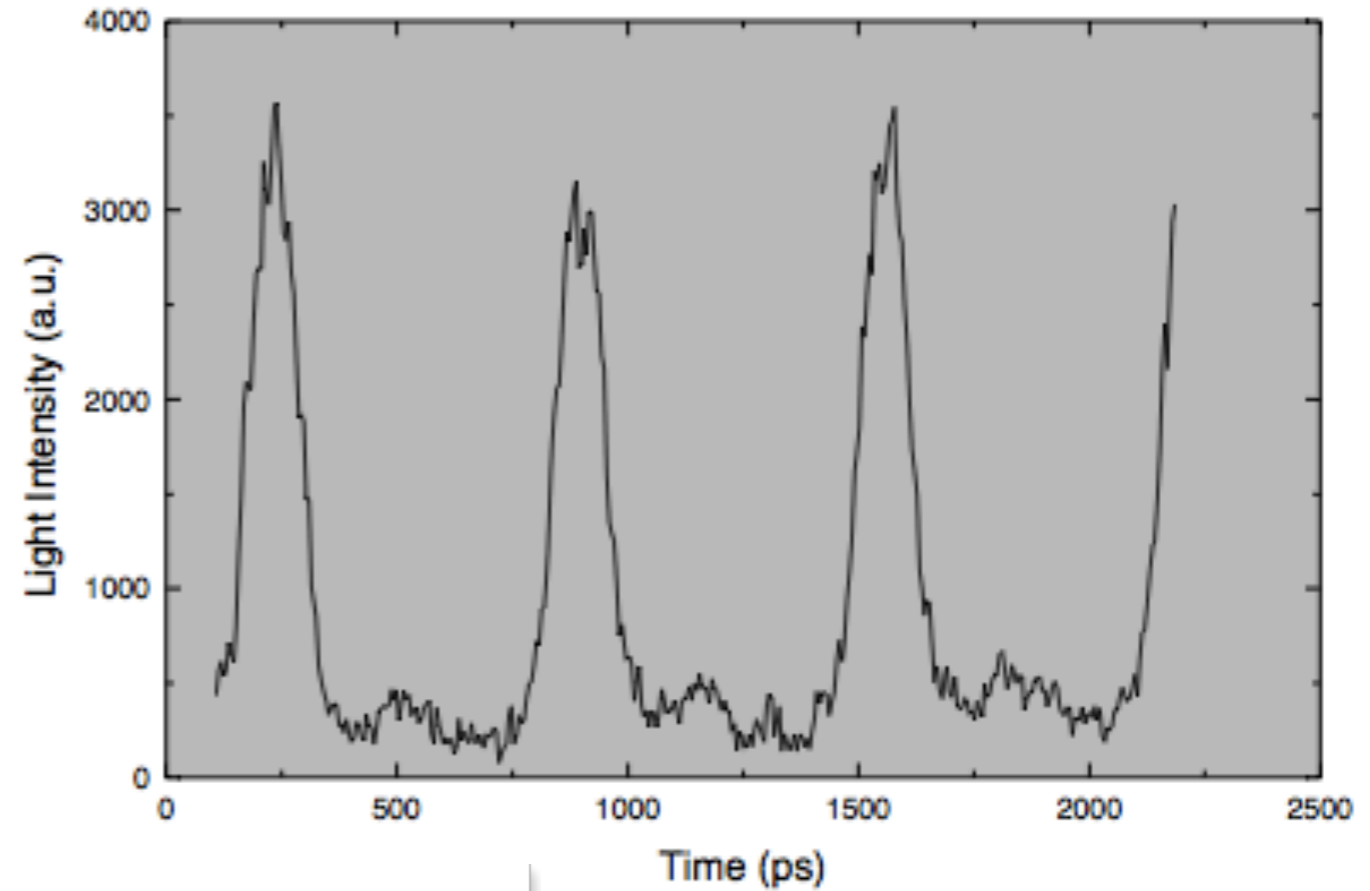
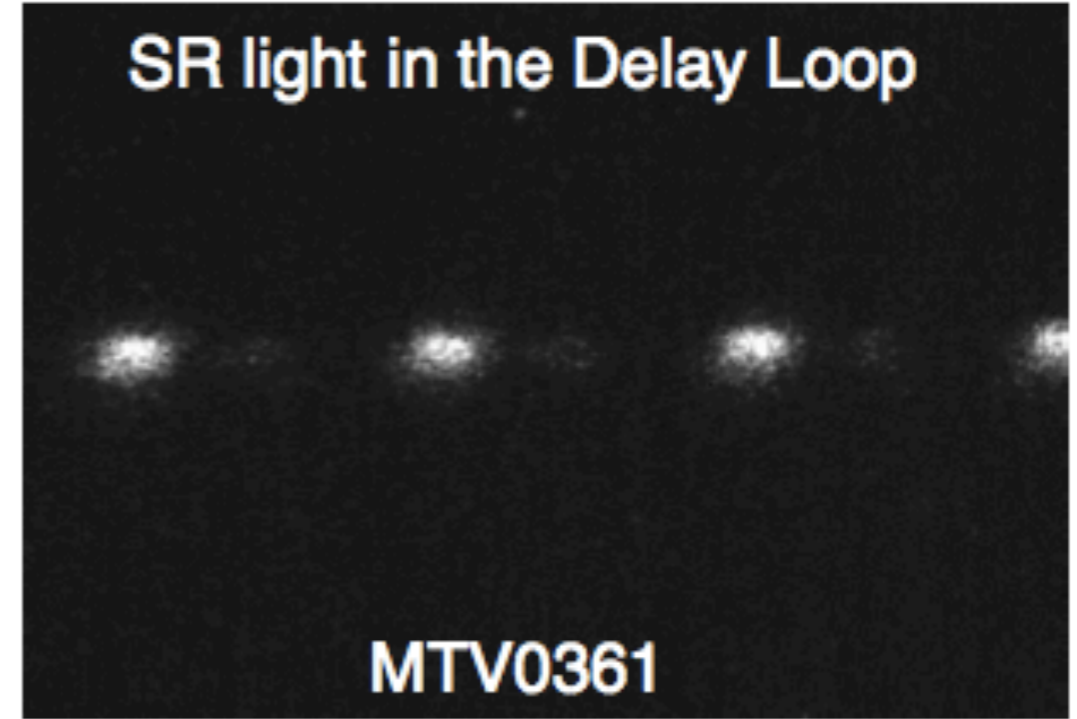


Parametre	Değeri
Enerji [MeV]	20
Akım [A]	3.5
Atma Treni Uzunluğu [ $\mu$ s]	1.6
Bohça Sayısı / Tren	2310
Bohçalar Arası Uzaklık [ns]	0.67
Bohça Uzunluğu (FWHM) [ps]	8
Yük / Bohça [nC]	2.33
Enerji Dağılımı (%)	<1
Normalize Yayınım [mm mrad]	<25

## Sorun, parazitik yük (Uydu Bohçalar)

(Streak) **Çizgi kamerası** ile yapılan ölçümler ile parazitik bohçalar gözlenebilir.

- ▶ Alt-uyak bohçalayıcısından dolayı %7-8 parazitik yük (uydu bohça) oluşumu gerçekleşir.
- ▶ Uydu bohçaların içindeki yük hızlandırıcının geri kalanında kullanılamaz hale gelmektedir.
- ▶ Uydu bohça ana demet hızlanmasını olumsuz etkiler.
- ▶ Tıkızlık (compactness), zamansal yapıdaki esneklik ve kararlılık açılarından ısı kaynakları yeterli değildir.

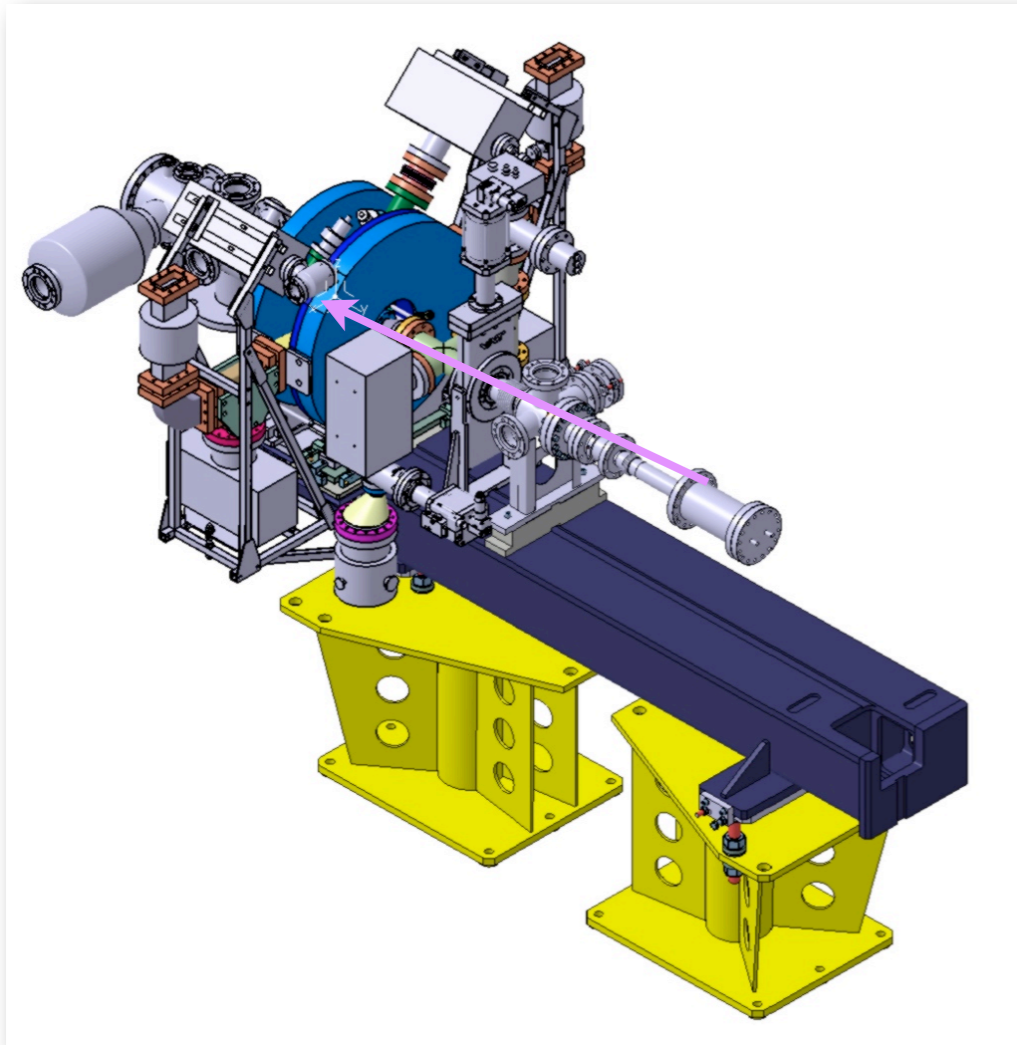


Çizgi kamerasının çalışma prensibi tanıtı yöntemleri dersinde

## Bu ders kapsamında:

- ▶ Bir örnek üzerinden düşünelim: CLIC Projesi ve elektron kaynakları
- ▶ Termiyonik (ısı) elektron kaynağı nedir?
- ▶ Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir ve ısı elektron kaynağına göre üstünlükleri nelerdir?
- ▶ CERN'deki CLIC projesi için PHIN ışıksal elektron kaynağının araştırma ve geliştirme çalışmaları.
  - PHIN foto-enjektörüne giriş
  - Demet özelliklerinin ölçülmesi, ölçüm aletleri, yöntemleri, PHIN'in işletmeye alma sürecinden başlıklar

## Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir?



- ▶ Foto-enjektör **lazer** atmalarını kullanarak metalik ya da yarıiletken bir **katot** yüzeyinden **fotoyayınım** (photoemission) sürecinden yararlanarak elektron çıkartan bir elektron kaynağıdır.
- ▶ Elektron demeti lazerin zamansal yapısını almaktadır. Böylece fotoenjektör ek bir bohçalama sistemine gerek duymayan **tıkız bir sistemdir**.
- ▶ Katotdan sonra yerleştirilen bir **RF kovuk** ile elektronların çabucak hızlandırılmaları sağlanır.
- ▶ Düşük enerjide uzay yükü etkisi altındaki **demet yayılımı karşılanması** RF kovuk çevresine yerleştirilecek iki solenoid magnet ile yapılır.

## Yakın zamandaki fotoenjektörler için tasarım parametreleri.

Parameter	BNL (BOE- ING)	SLAC (LCLS)	FNAL (A0)	DESY (TESLA 500)	DESY (PITZ)	DESY (FLASH)	INFN (SPARC)	PSI (Swiss FEL)	ELBE (SRF Gun)	CERN (PHIN)
Purpose	ERL	FEL	Linear Collider	Linear Collider	X-FEL	X-FEL	X-FEL	X-FEL	FEL	DB*
First Operation	1992	-	1999	-	2002	2004	2006	2010	2009	2008
Number of Cells	4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	2.5	3.5	2.5
Frequency (MHz)	433	2856	1300	1300	1300	1300	2856	2997.9	1300	2998.55
Macropulse ( $\mu s$ )	10000	-	-	800	800	800	-	1.2	CW	1.27
Repetition Rate (Hz)	30	120	-	10	10	5	1-10	10	1000	5-50
RF Gradient (MV/m)	26	120	35	35	60	43	120	25	50	85
Cathode Type	$K_2CsSb$	$Cu/Mg$	$Cs_2Te$	$Cs_2Te$	$Cs_2Te$	$Cs_2Te$	$Cu/Mg$	$Cu$	$Cs_2Te$	$Cs_2Te$
Quantum Efficiency (%)	5-12	$\sim 10^{-5}$	1	1	2-10	2-10	$10^{-4}$	$10^{-5}$	1	3
Laser	-	$Nd:$ $YLF$	$Nd:$ $YLF$	$Nd:$ $YLF$	$Ce:$ $YAG$	$Nd:$ $YLF$	$Ti:Sa$	$Ti:Sa$	$Nd:$ $YLF$	$Nd:$ $YLF$
Wavelength (nm)	527	255	263	262	257	262	266	250-300	262	266
Laser Energy / Pulse ( $\mu J$ )	0.47	200	30	5	1	1	500	200	-	0.37
Laser Spot Size FWHM (mm)	3-5	2.5	-	6.3	0.2-3	3.5	-	0.1-0.27	2.7	2-4
Pulse Length FWHM (ps)	53	10-20	10	7.4	20	20	10	3-10	20	8
Beam Energy (MeV)	5	5	3.8	3.8	6.6	5	5.6	6.6	9.5	5.5
Charge/Bunch (nC)	1-7	1	8	8	1	1	1.1	0.2	1	2.33
Energy Spread (%)	2-3	0.1	1.15	1.15	1-2	1-2	0.2	-	-	1
Norm. Trans. Emittance (mm mrad)	20-40	1	19.3	20	0.9	1.5	2	<0.4	2.5	14

\* Drive Beam

Ö. Mete, Doktora Tezi, S29

# Işıksal elektron kaynakları

Işıl kaynakların tarihi gelişimlerinden başlıklar (S. J. Russel'in tablosuna eklemelerle).

Year	Highlight	Ref.
1985	First photoinjector experiment at LANL.	[25]
1988	Stanford FEL has been driven by a photoinjector.	[46]
	Theory of emittance compensation has been proposed.	[36]
1989	First high gradient S-band photoinjector at BNL.	[47]
1991	First RF integrated photoinjector with emittance compensation at LANL.	[48]
1992	High duty factor, RF photoinjector experiment at Boeing.	[49]
	First photocathode in a superconducting cavity.	[50]
1993	LANL photoinjector driven FEL lasers in the UV.	[51]
1995	Experimental demonstration of the emittance compensation.	[52]
1996	First operation of DC photoinjector at TJNAF.	[53]
	Experimental demonstration of microbunching in a photoinjector.	[54]
1997	Envelope analysis of emittance compensation.	[55]
1999	TJNAF FEL demonstrates 1.72 kW average power.	[56]
<b>2000</b>	<b>First systematic measurement of multipacting in a photocathode RF gun.</b>	[57]
<b>2001</b>	<b>First operation of an X-band (8.547 GHz) photoinjector.</b>	[58]
2002	First operation of a superconducting RF photoinjector.	[59]
<b>2003</b>	<b>The initial studies on the use of needle cathodes in photoinjectors to enhance the beam brightness.</b>	[60]
<b>2007</b>	<b>SPARC has done the first direct observation of the double emittance minimum.</b>	[61]
<b>2008</b>	<b>First Operation of PHIN photoinjector.</b>	[62]
<b>2009</b>	<b>The first simultaneous demonstration of emittance compensation and velocity bunching.</b>	[63]

\*The modifications to the original table have been denoted with bold blue fonts.

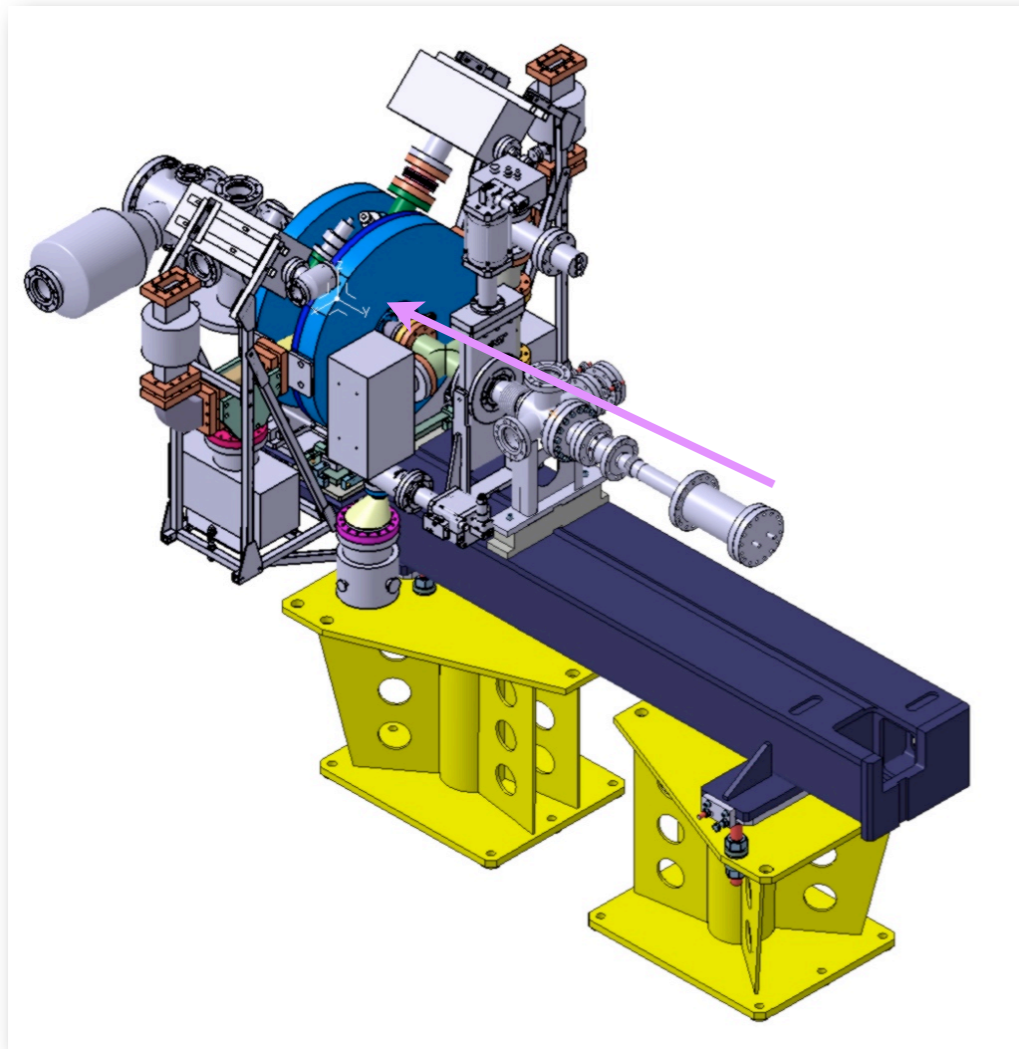
1985 -- İlk ışıksal kaynak deneyi.

Kaynaklar için:

[http://omete.web.cern.ch/omete/OM/research\\_files/references.pdf](http://omete.web.cern.ch/omete/OM/research_files/references.pdf)

## Bu ders kapsamında:

- ▶ Bir örnek üzerinden düşünelim: CLIC Projesi ve elektron kaynakları
- ▶ Termiyonik (ısı) elektron kaynağı nedir?
- ▶ Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir ve ısı elektron kaynağına göre üstünlükleri nelerdir?
- ▶ CERN'deki CLIC projesi için PHIN ışıksal elektron kaynağının araştırma ve geliştirme çalışmaları.
  - PHIN foto-enjektörüne giriş
  - Demet özelliklerinin ölçülmesi, ölçüm aletleri, yöntemleri, PHIN'in işletmeye alma sürecinden başlıklar



- ▶ CTF3 termiyonik kaynağının çıkışındaki demet özelliklerini sağlamak üzere tasarlanmış bir fotoenjektördür.
- ▶ Proje CARE (Coordinated Accelerator Research in Europe) programı çerçevesinde gerçekleştirilmektedir.
- ▶ Çeşitli kurum ve kuruluşların işbirliği ile yürümetedir...  
“Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL)”

## **RF tabanca**

“Rutherford Appleton Laboratory (RAL)”

## **Lazer**

“European Organization for Nuclear Research (CERN)”

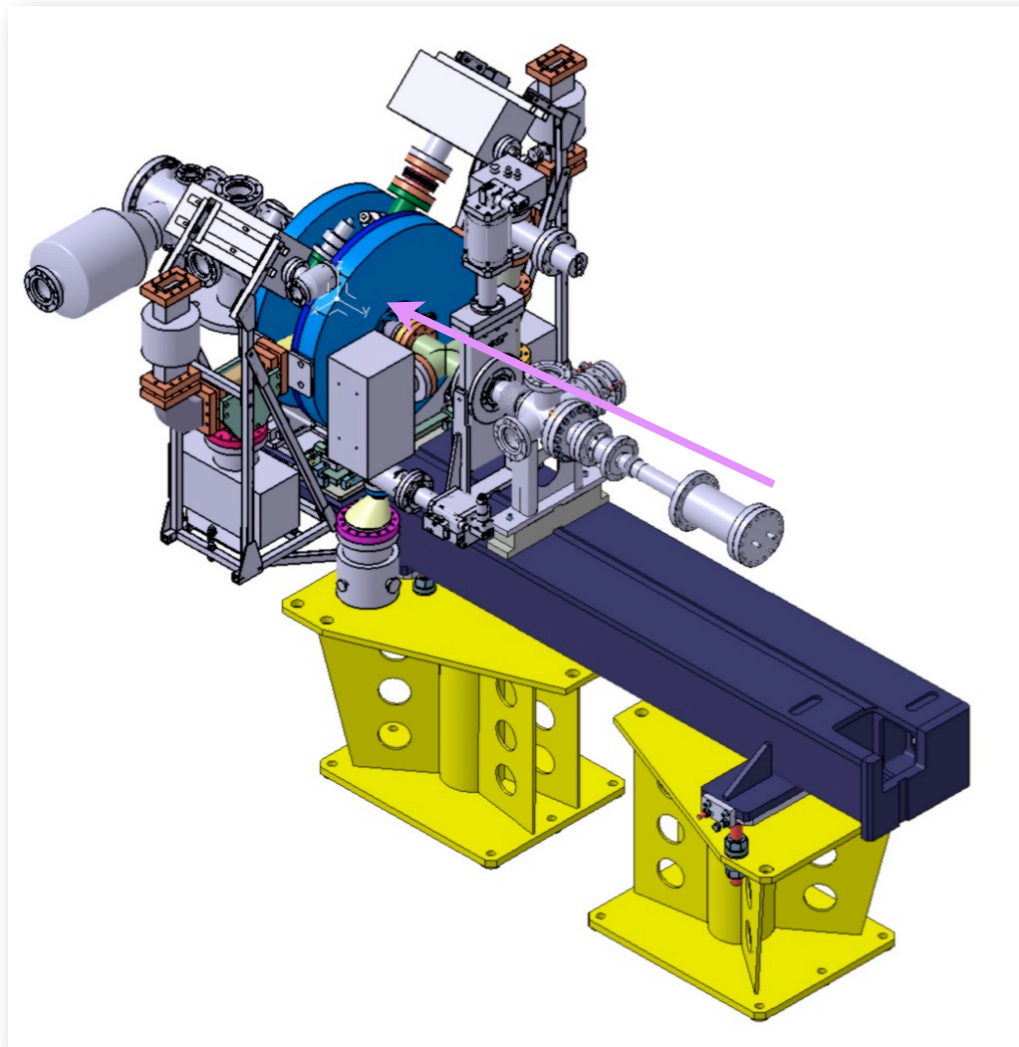
## **Fotokatot üretimi,**

## **Genel düzenleme,**

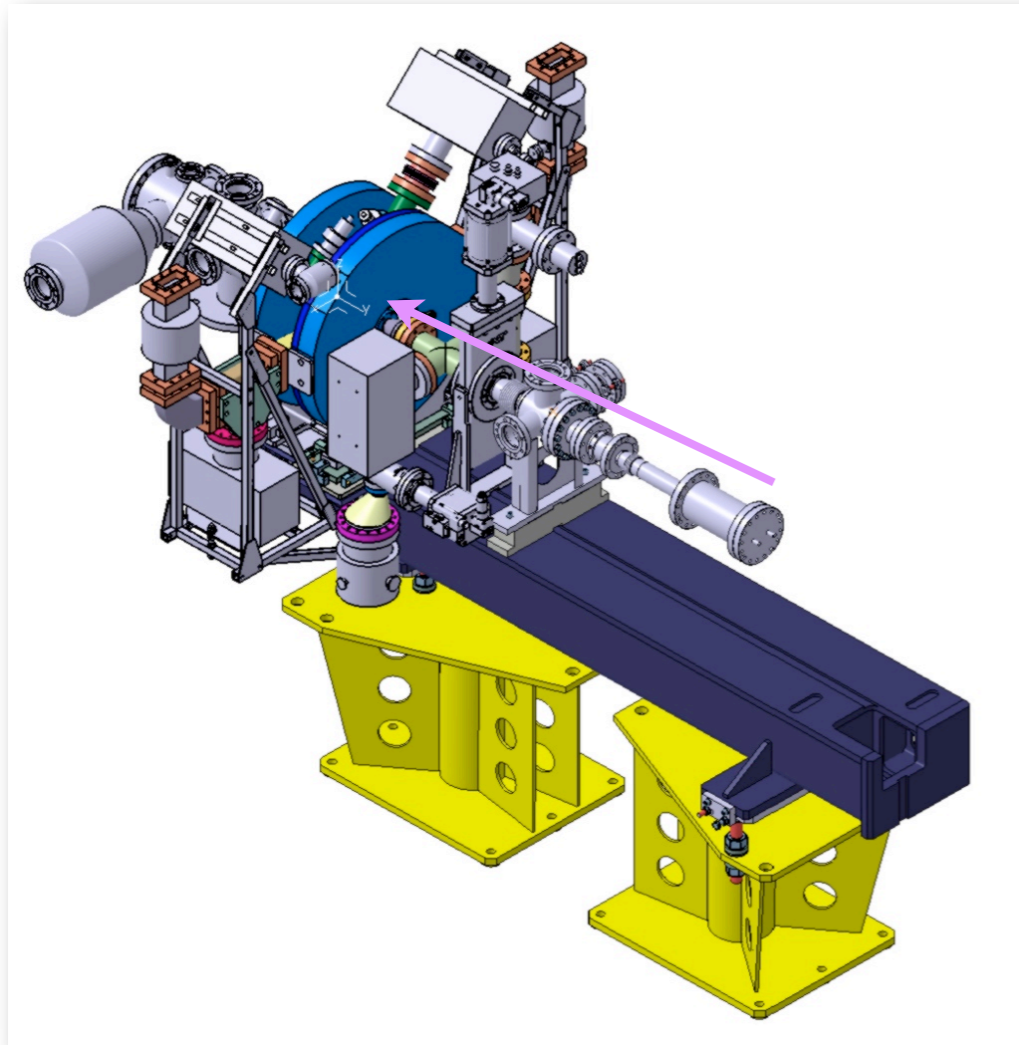
## **İşlemeye alma sürecindeki test çalışmaları.**



PHIN'in sağlaması gereken parametreleri ve değerlerini hatırlayalım.



Parametre	Değeri
<b>RF</b>	
RF Gradyeni (MV/m)	85
RF Sıklığı (GHz)	2.99855
<b>Elektron Demeti</b>	
Bohça başına yük (nC)	2.33
Tren başına yük (nC)	4446
Tren uzunluğu (ns)	1273
Bohça uzunluğu (ps)	8
Bohça sayısı / Tren	1908
Akım (A)	3.5
Normalize yayılım (mm mrad)	<25
Enerji yayılımı (%)	<1
Enerji (MeV)	5.5
<b>Lazer ve Katot</b>	
Yük Karalılığı (%)	<0.25 rms
Katot	Cs <sub>2</sub> Te
Kuantum Verimliliği (%)	3
UV Lazer Enerjisi / Atma (nJ)	370
Mikroatma Tekrarlama Hızı (GHz)	1.5
Makroatma Tekrarlama Hızı (Hz)	1-5



- ▶ Fotoenjektör kavramının ortaya çıkışı ve ilk uygulamaları 1980'lere kadar geriye gitmektedir.
- ▶ **PHIN enjektörünü özgün yapan özellikleri, tasarım değerleri (specifications) aşağıda sıralanmıştır.**
  - ▶ *Bohça başına yük* 2.33 nC
  - ▶ 1.2  $\mu$ s uzunluğunda 1908 bohçadan oluşan bohça treni.
  - ▶ Zorlayıcı kararlılık gereksinimi. Örneğin: Tren boyunca genlik (yük) kararlılığı %0.25 olması gerektiği belirlenmiştir.

Bir ışıl kaynak tasarırken düşünülmesi gerekenlere örnekler nelerdir? Nereden başlamalıyız?

► Belirtilen, gereken yük miktarının üretilmesi ve iletilmesi gerekecektir.

- Lazer beneğinin ölçüsü (yarıçapı),
- Elde edilebilen en yüksek alan gradyeni,
- Parçacıkların RF alanına göre yayılım evreleri.

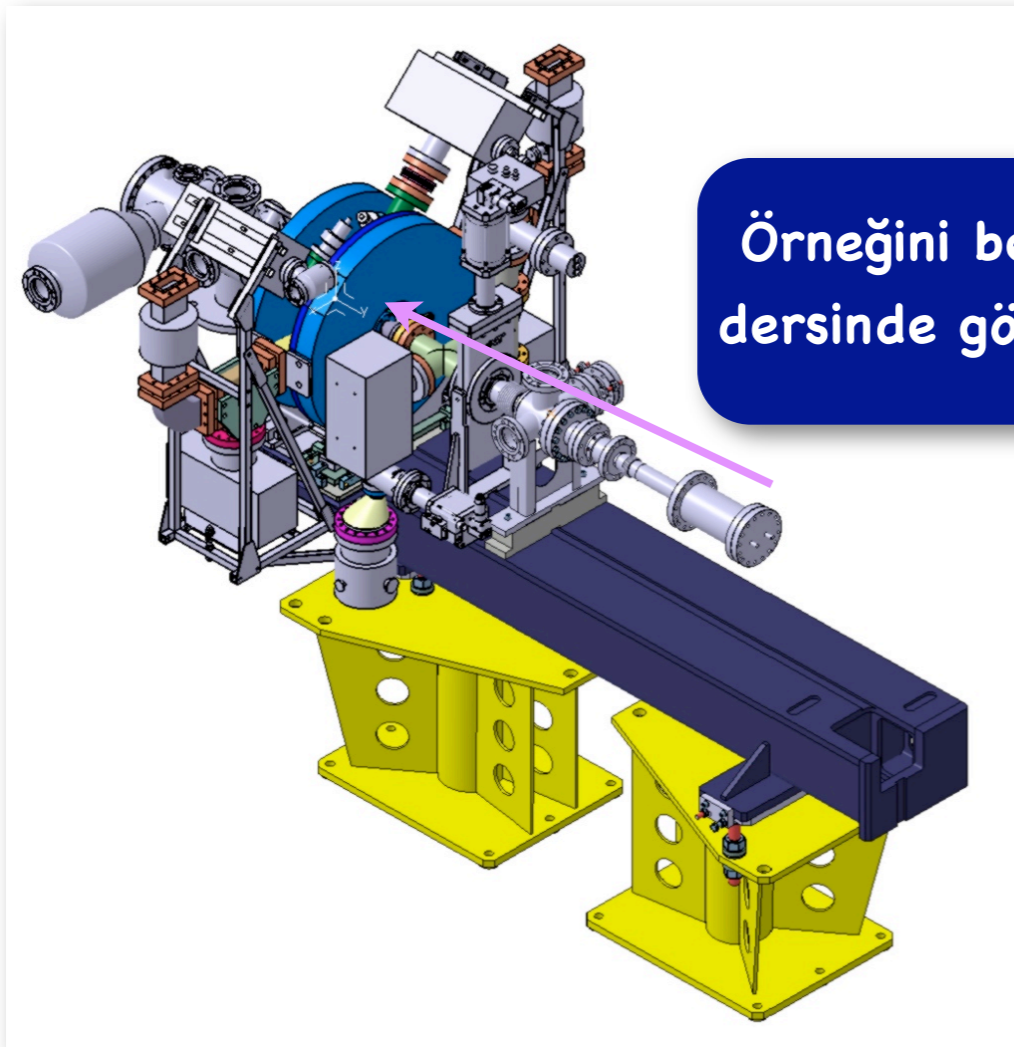
$$Q_{max}[nC] = \frac{E_{acc}[MV/m]\sigma_x^2}{18}$$

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

► En düşük demet yayılımı veya en düşük enerjiyi sağlayan çalışma noktaları arasında ödün verilmesi gerekecektir.

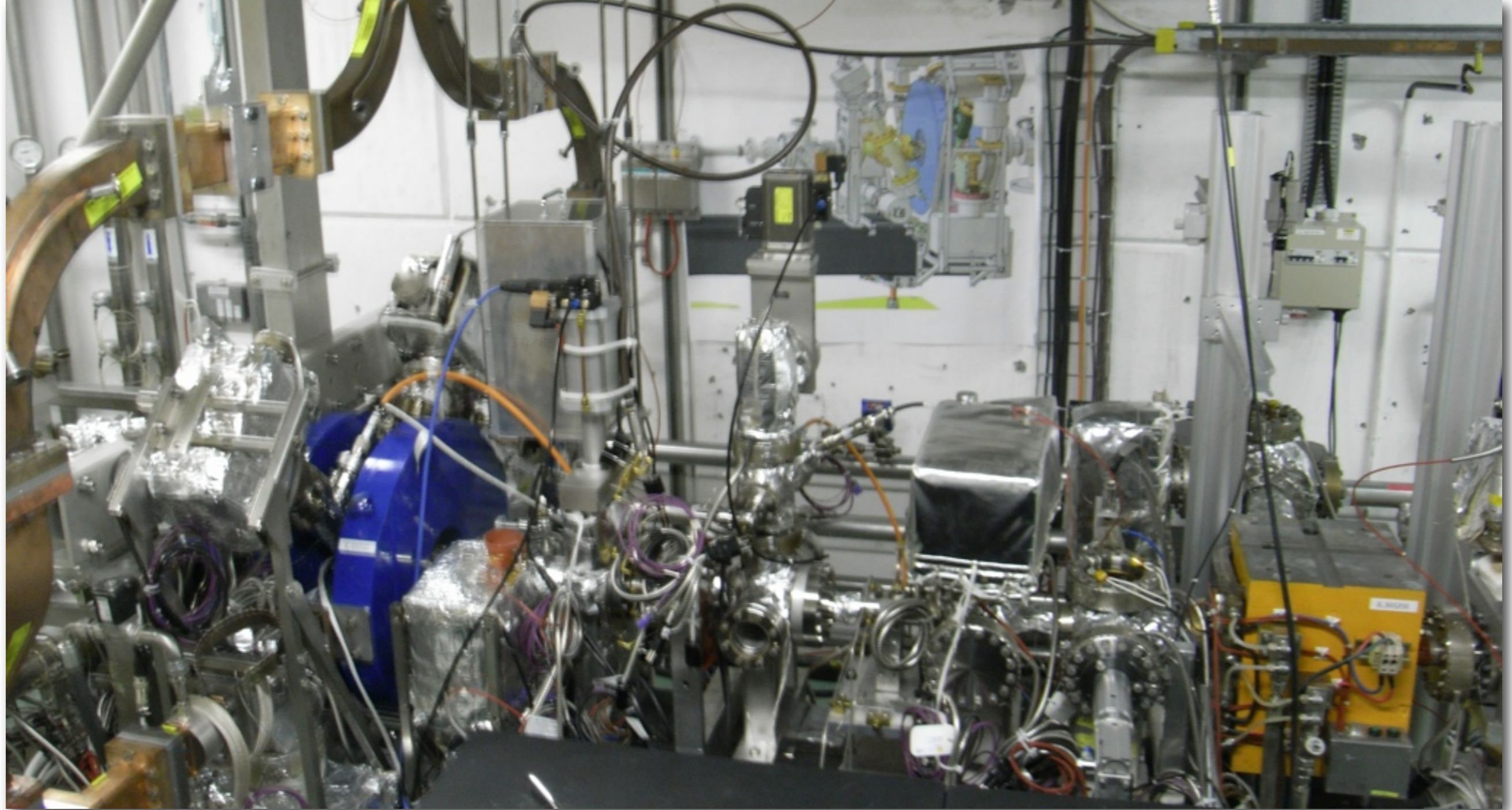
- Yine de, demet yayılımı karşılması için uygun odaklama sağlanabilir.

► Bunlara benzer bir dizi nokta göz önünde bulundurularak elektron kaynağı için çeşitli koşullar altında farklı çalışma noktaları belirlenebilir.

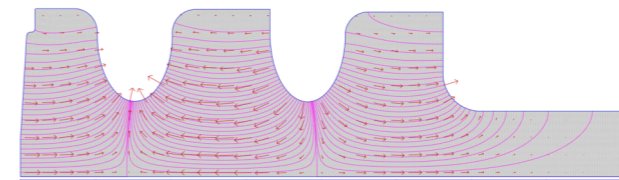
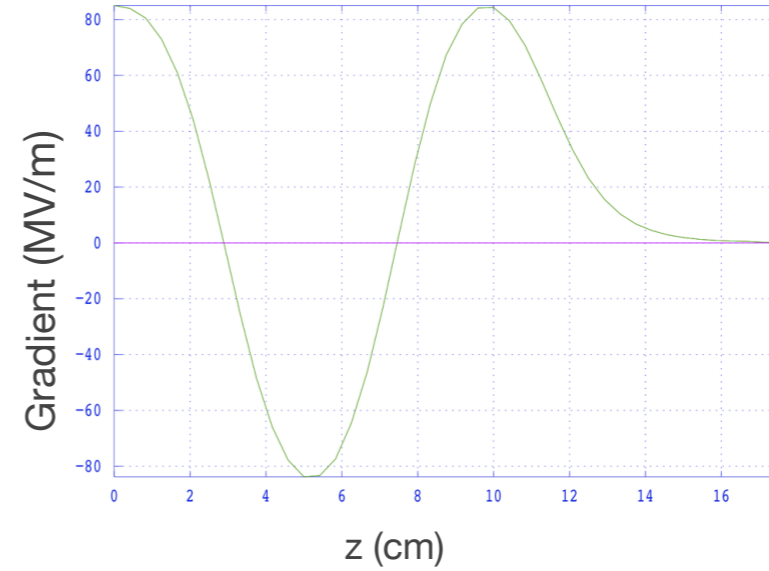
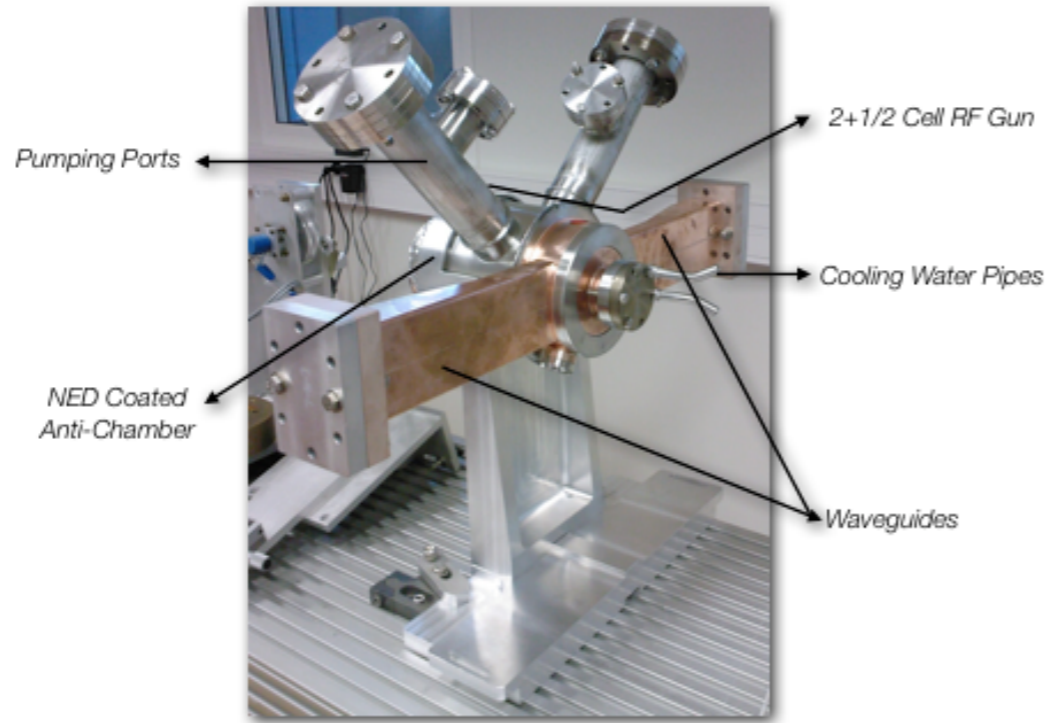


Örneğini benzetim dersinde göreceğiz.

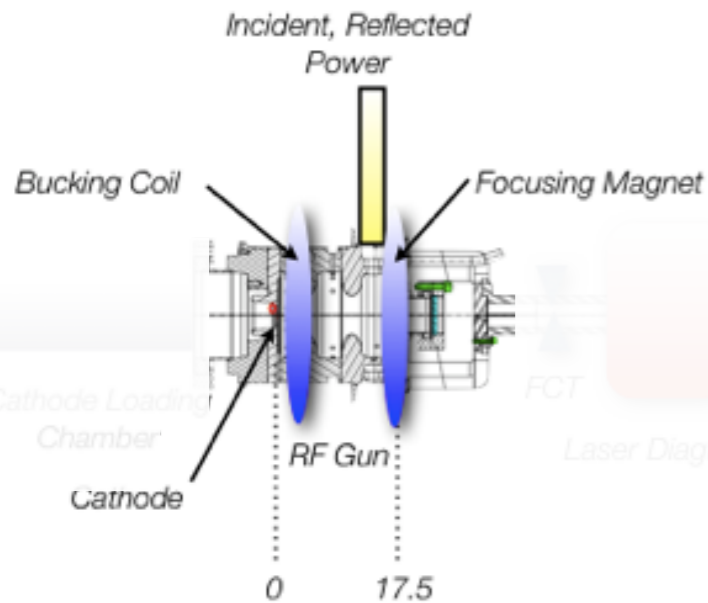
Uygunlaştırma çalışmaları için C. Travier tarafından sunulan kullanışlı model örnek olarak alınabilir.  
[Kaynak] Christian Travier. "An introduction to photo-injector design". NIMA, 340(1):26 – 39, 1994



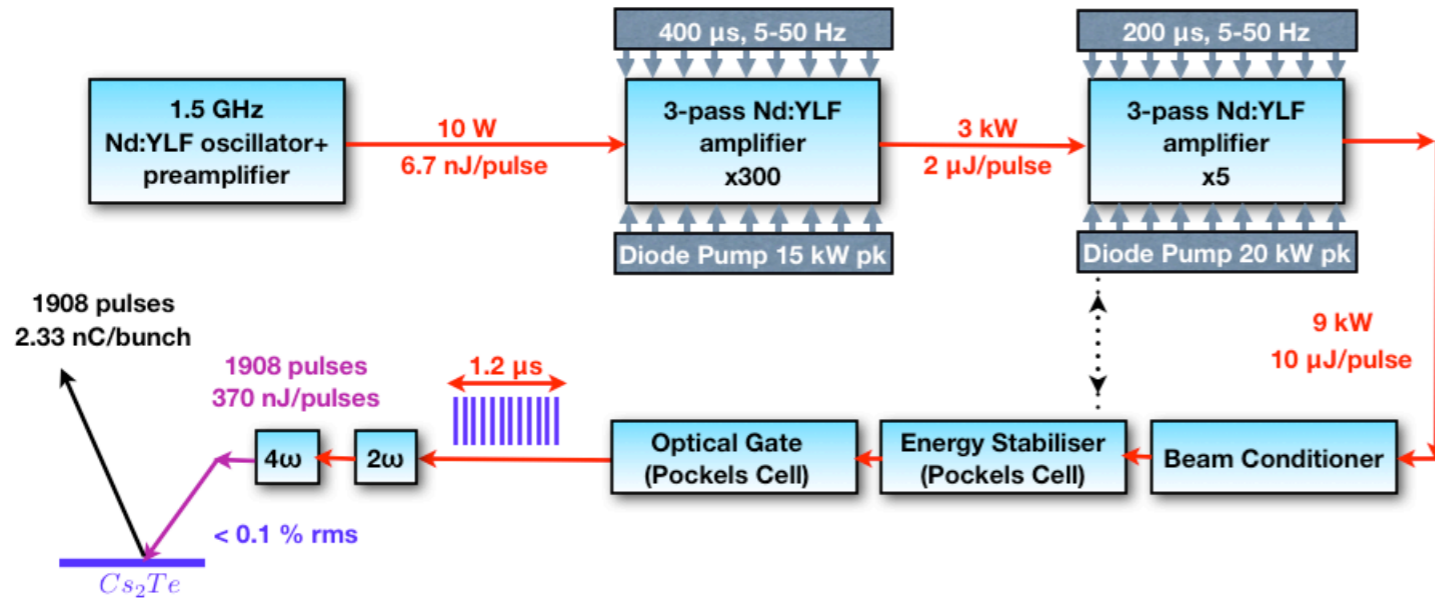
## RF Gun



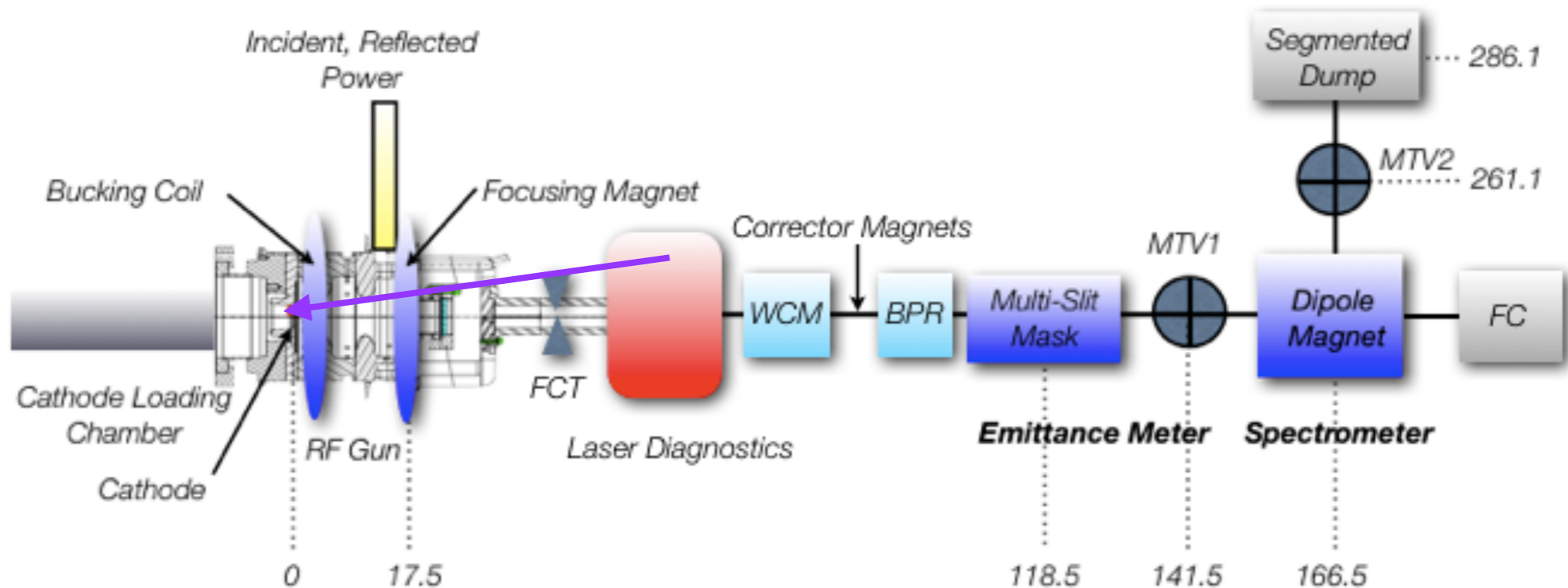
- ▶ Normal iletken 2+1/2 hücreli RF kovuktur.
- ▶ S-band için (3GHz)  $\pi$ -modda ayarlanmıştır.
- ▶ Hızlandırma 85 MV/m'lik gradyen altında gerçekleşir.
- ▶ RF kovuk benzetimleri SUPERFISH programı kullanılarak yapılmıştır.
- ▶ SUPERFISH benzetimleri sonucunda üretilen alan haritası PARMELA demet dinamiği benzetimlerinde girdi olarak kullanılmıştır.
- ▶ Yüksek yük değeri, düşük elektriksel kırılma, ve karanlık akım için uygunlaştırılmıştır (yarım hücre duveri açısı, eliptik iris)
- ▶ İyi dinamik vakum sağlayacak şekilde uygunlaştırılmıştır (Non-Evaporable Getter, NEG, ön-odacığı gaz alıcı kaplama yapılmıştır.).
- ▶ Uygun demet odaklanmasını sağlamak için çevresine iki solenid yerleştirilmiştir.



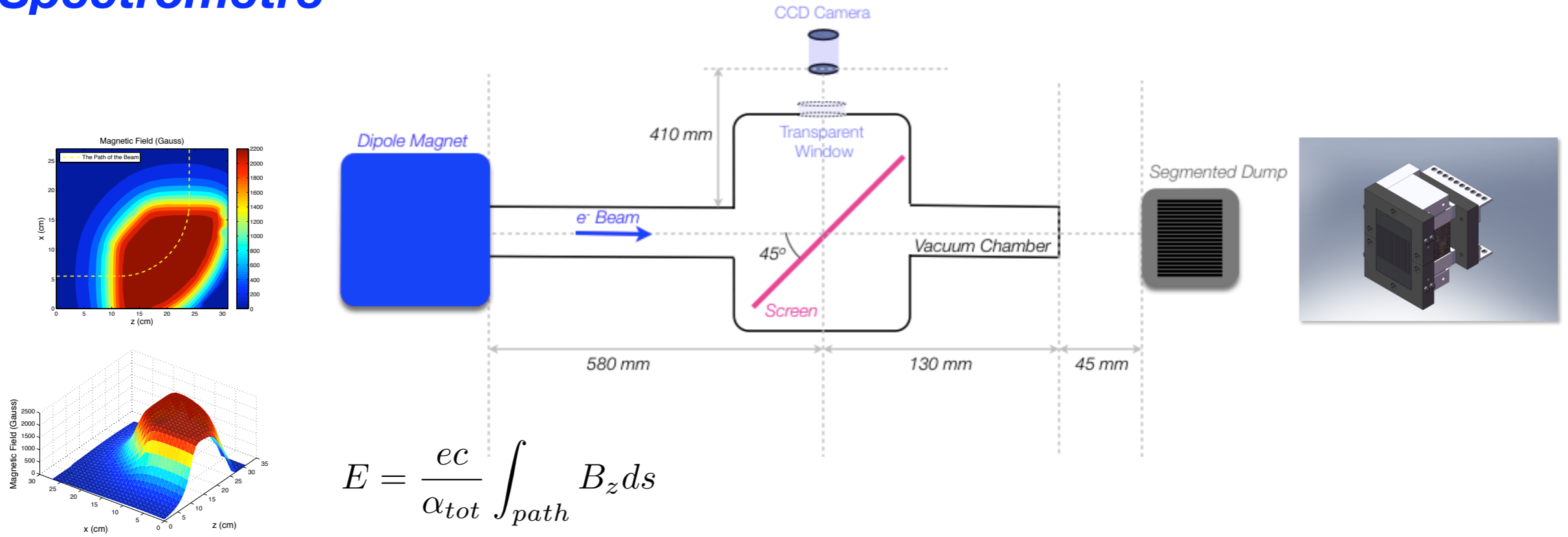
## Laser



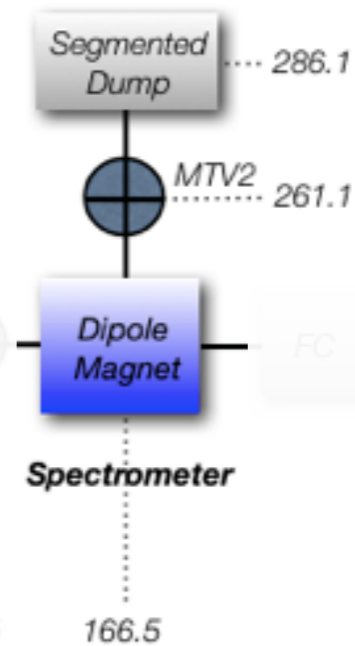
- ▶ Nd:YLF (Neodymium-doped yttrium lithium fluoride) kristali salıncı olarak kullanılarak 1.5 GHz iç yapılı sürekli atma trenleri oluşturulur.
- ▶ Çeşitli yükseltme basamaklarından sonra atma başına enerji 6.7 nJ'den 370 nJ'e kadar çıkarılır (UV dönüşümünden sonra).
- ▶ Atma treni uzunluğu, Pockels hücreleri kullanılarak 1.2  $\mu\text{s}$  olarak ayarlanır.
- ▶ UV dönüşümü gerçekleştirilir.
- ▶ Üretilen bu lazerle bir Cs<sub>2</sub>Te katod yüzeyi aydınlatılır.



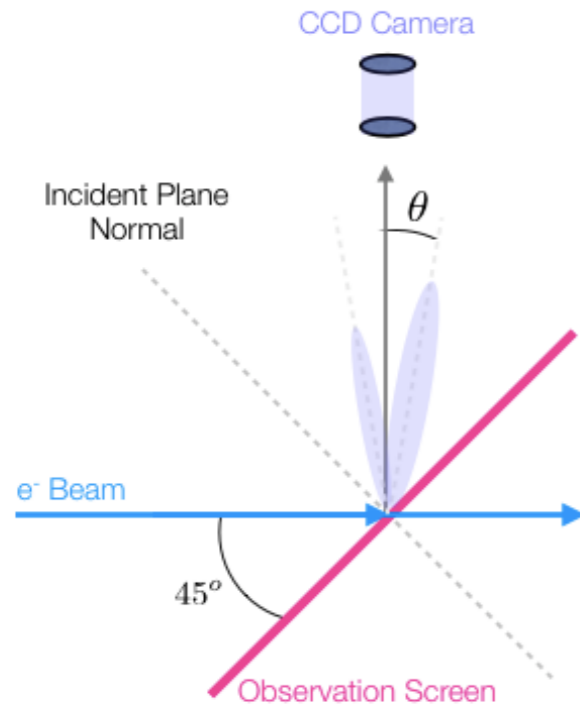
## Spectrometre



- ▶ Enerji ölçümleri için magnetik bir spektrometre kullanılmıştır.
- ▶ Çalışma prensibi: magnetik alanı bilinen bir dipolden geçtikten sonra demeti oluşturan parçacıkların momentum dağılımlarının ölçülmesi.
- ▶ Demetin momentum dağılımı bir OTR profil görüntüleyici ya da bölmelendirilmiş bir demet durdurucu ile ölçülebilir.

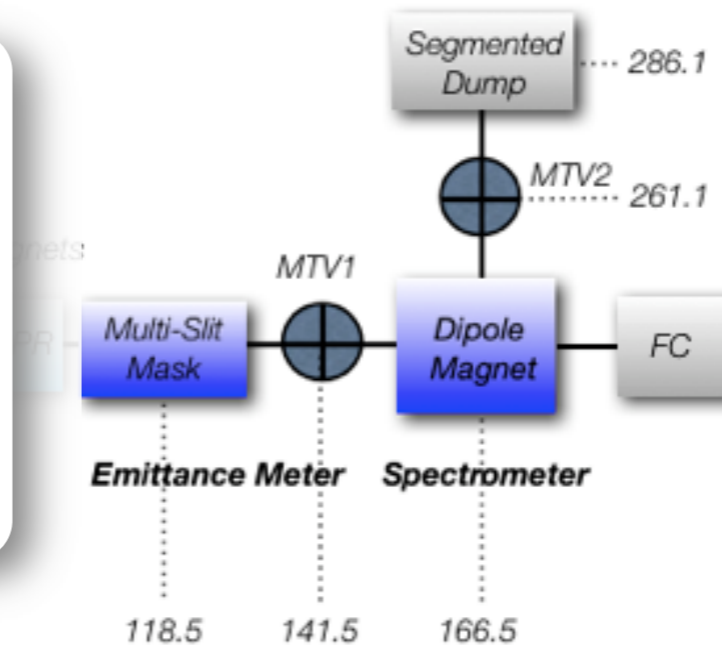
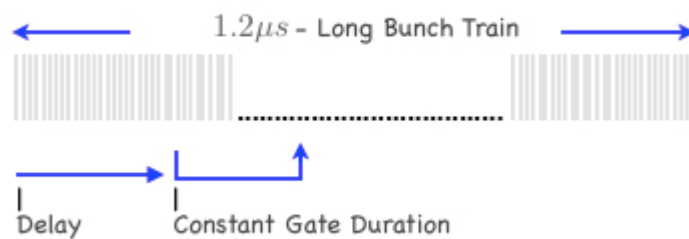


## OTR Profil Görüntüleme



- ▶ Yüklü parçacıklar, farklı dielektrik özelliklere sahip iki ortamı ayıran sınırdan geçerken Optik Geçiş Yayınlamı [Optical Transition Radiation] (OTR) yaparlar.
- ▶ OTR demet profilinin ölçümü için bir tanı aleti olarak kullanılır.
- ▶ PHIN üzerinde iki demet yayını ölçer (MTV1) ve spektrometre (MTV2) için iki OTR görüntüleyici bulunmaktadır.
- ▶ OTR **yükseltilmiş-CCD** (ICCD) [Intensified Charge Coupled Device] kameralar yardımıyla ölçülmektedir.
- ▶ Kesitlendirme (gating) özelliğinden dolayı ICCD kameralar zaman-çözünürlüklü ölçümlerde kullanılabilirler.

## Zaman-Çözünürlüklü OTR Profil Görüntüleme





## ÖDEV??

- ▶ CCD kamera nasıl çalışır?
- ▶ Yükseltilmiş CCD kameradaki yükseltme basamağının nasıl çalışır?

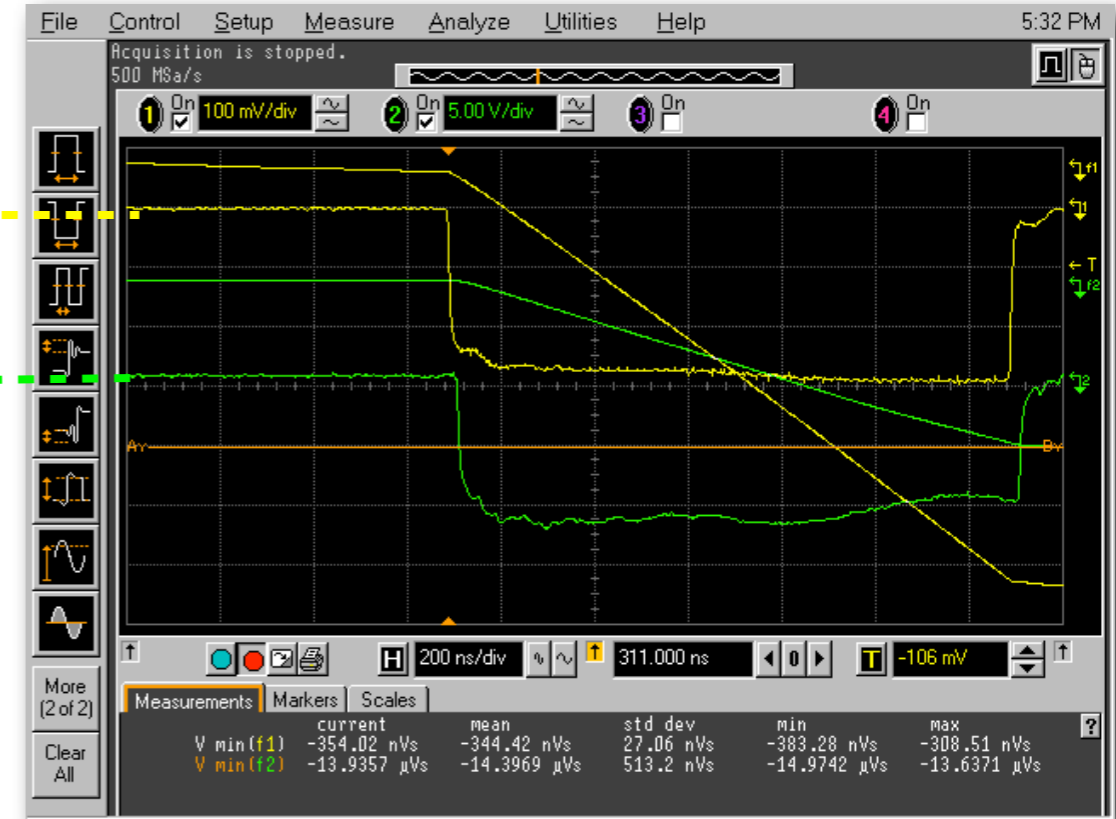
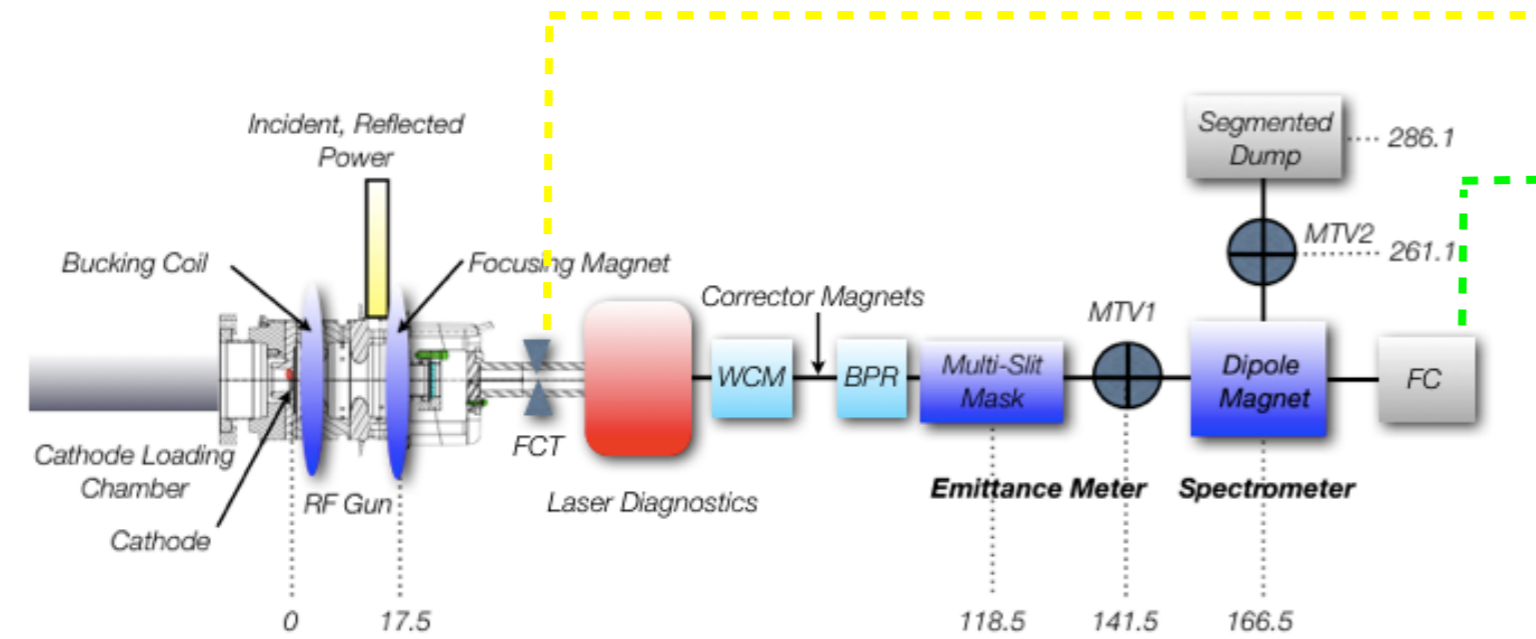
## *PHIN, Araştırma Programının Hedefleri*

- ▶ PHIN ışıl kaynağı için demet dinamiğini anlamaya yönelik ayrıntılı **benzetimler**in yapılması,
- ▶ tasarım özelliklerini sağlayacak uygun bir **çalışma noktası**nın bulunması,
- ▶ **deneysel tanımlaması**nın kısa ve uzun atma trenleri için tam olarak yapılması,
- ▶ uzay yüküncce baskın demetin yayınıminin ölçülmesi için **tek atımlı yayınım ölçme sistemi**nin geliştirilmesi,
- ▶ demet **özelliklerinin kararlılığı**nın uzun tren boyunca ölçülmesi (zaman-çözünürlüklü ölçümler),
- ▶ ölçümlerle benzetimlerin karşılaştırılması,
- ▶ Devamı olarak, elde edilen bulguların **CLIC-DB kaynağı için birincil bir RF ışıl kaynak tasarımı**nın oluşturulmasında kullanılmasıdır.

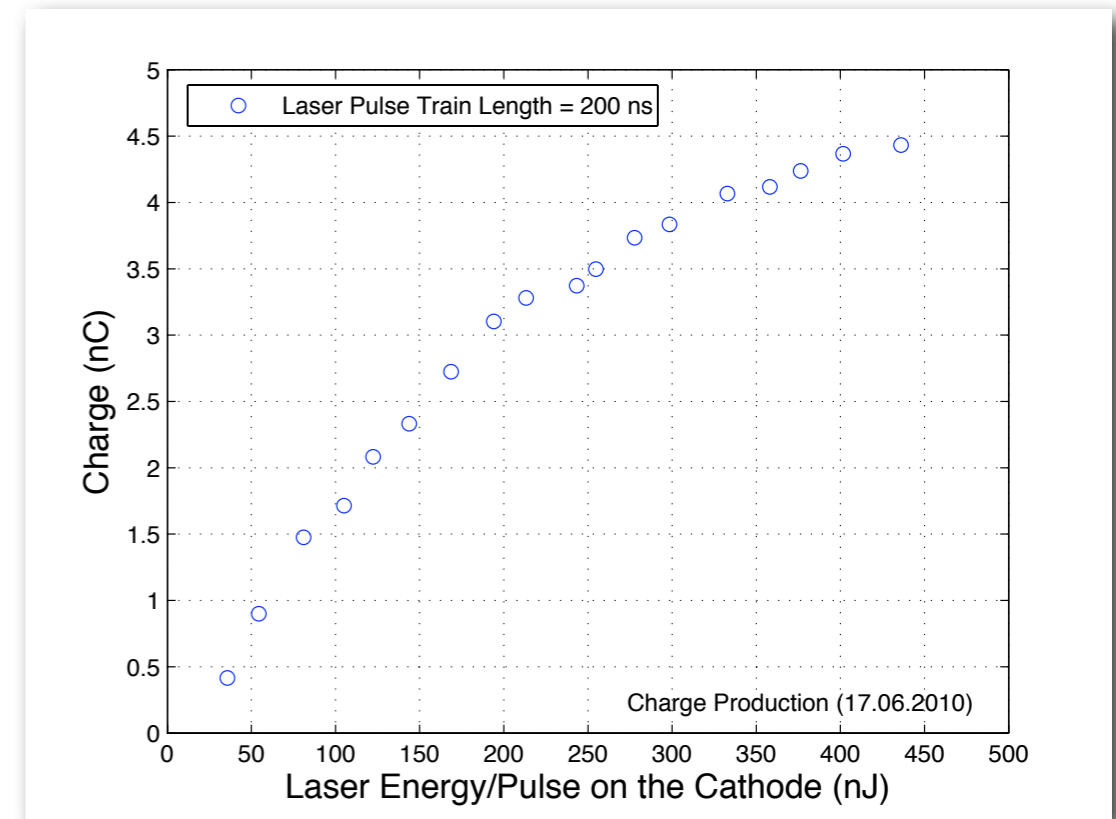
## Bu ders kapsamında:

- ▶ Bir örnek üzerinden düşünelim: CLIC Projesi ve elektron kaynakları
- ▶ Termiyonik (ısı) elektron kaynağı nedir?
- ▶ Foto-injektör (ışıksal elektron kaynağı) nedir ve ısı elektron kaynağına göre üstünlükleri nelerdir?
- ▶ CERN'deki CLIC projesi için PHIN ışıksal elektron kaynağının araştırma ve geliştirme çalışmaları.
  - PHIN foto-enjektörüne giriş
  - Demet özelliklerinin ölçülmesi, ölçüm aletleri, yöntemleri, PHIN'in işletmeye alma sürecinden başlıklar

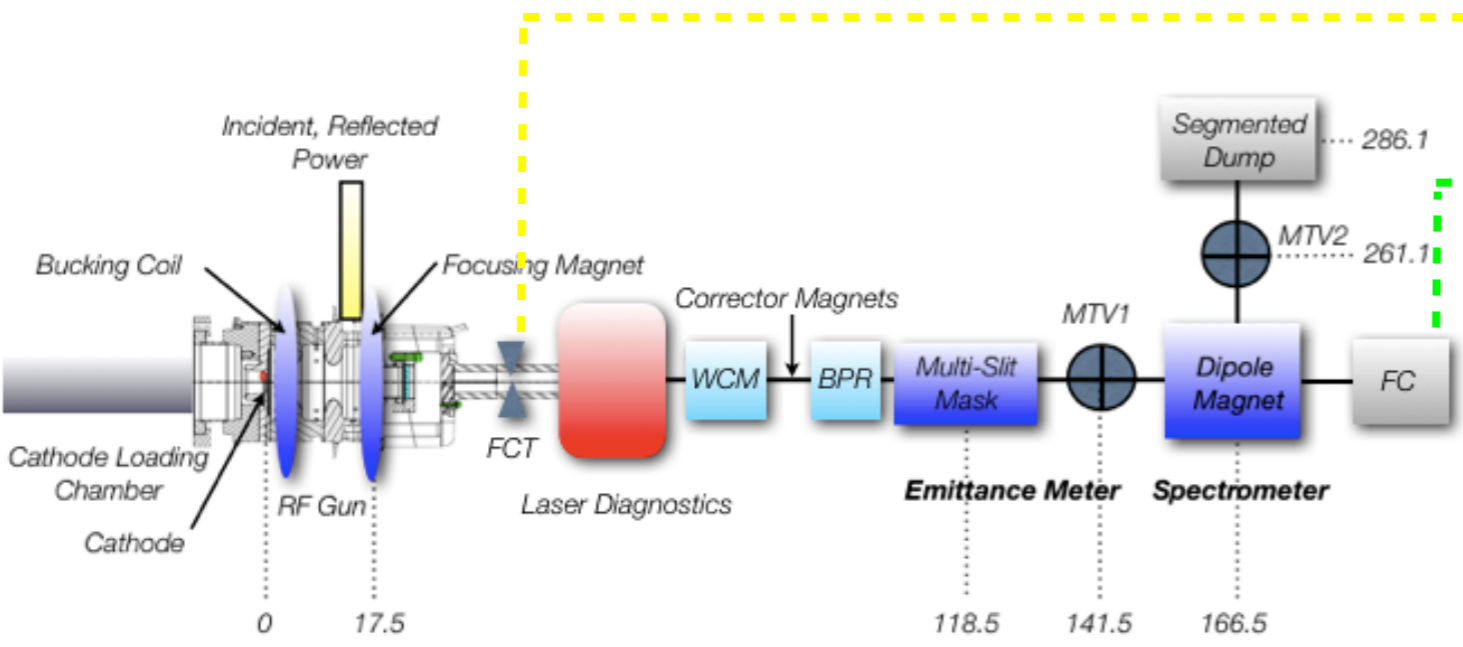
## Yük Üretimi -- Işıqla Elektron Yayımlı



- ▶ RF kovuğun hemen sonrasındaki pozisyonundan dolayı, yük ölçümlerinde çoğunlukla FCT tercih edildi.
- ▶ Yine de, FC, demet hattının sonlarına doğru yük iletmini gözlemlemek için en uygun ölçüm aleti olarak kullanıldı.
- ▶ Temelde, yük üretimi atma başına lazer enerjisi artarken belli bir değerden sonra doyuma ulaşır. Bu davranış yapılan ölçümler sonunda da doğrulanmış ve bu doyuma ulaşma sınırı PHIN'de kullanılan katodlar için belirlenmiştir.
- ▶ **İşletmeye alma süreci çalışmalarında PHIN için elde edilebilecek en yüksek yük miktarı 4.4 nC olarak belirlenmiştir.**



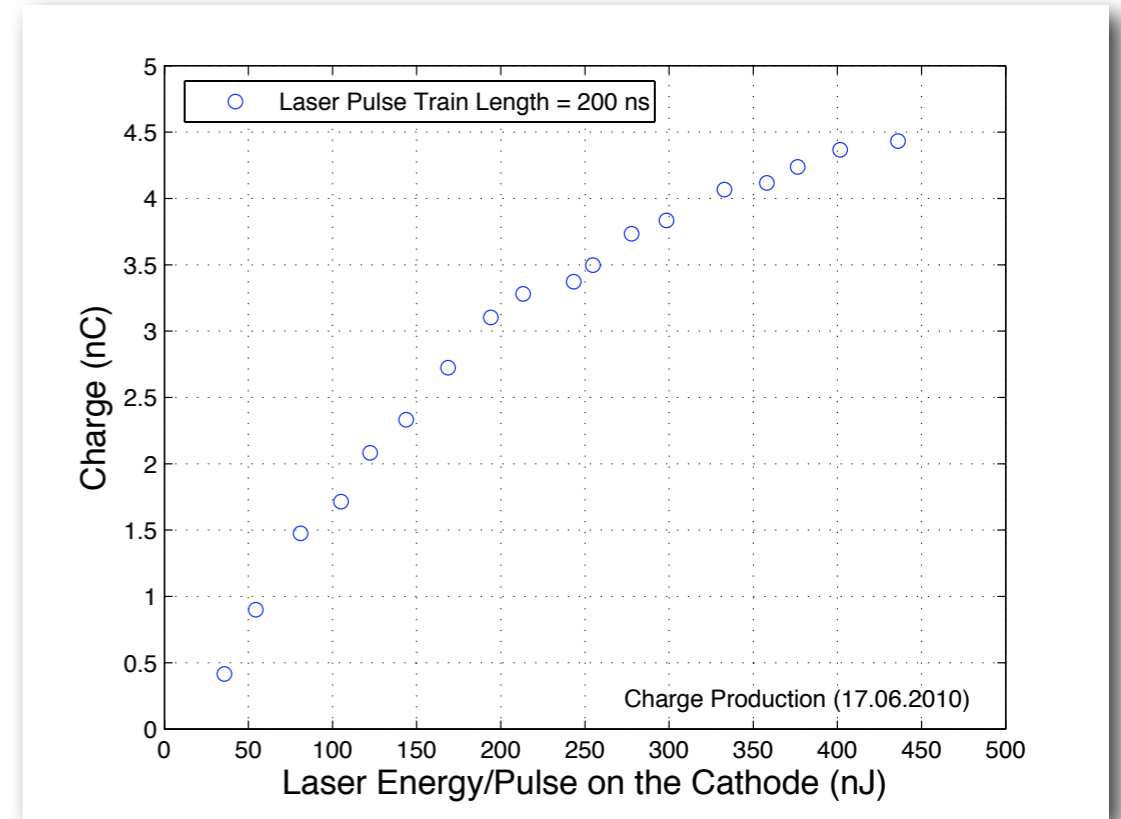
## Yük Üretimi -- Işıklı Elektron Yayımları



Teorik öngörü ile tutarlılık kaydedilmiştir.

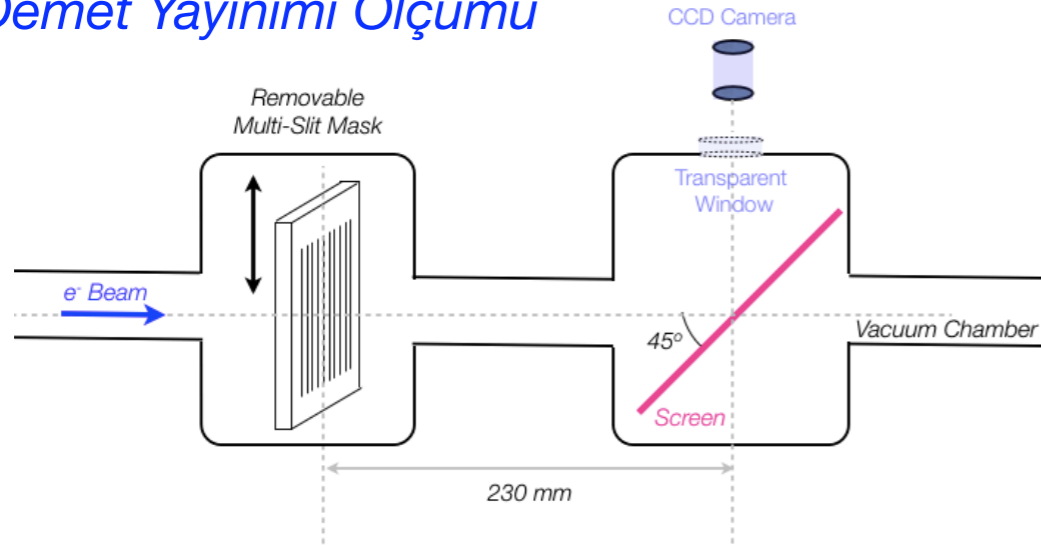
$$Q_{max}[nC] = \frac{E_{acc}[MV/m]\sigma_x^2}{18} = \frac{85[MV/m](1[mm])^2}{18} = 4.7nC$$

► İşletmeye alma süreci çalışmalarında PHIN için elde edilebilecek en yüksek yük miktarı 4.4 nC olarak belirlenmiştir.

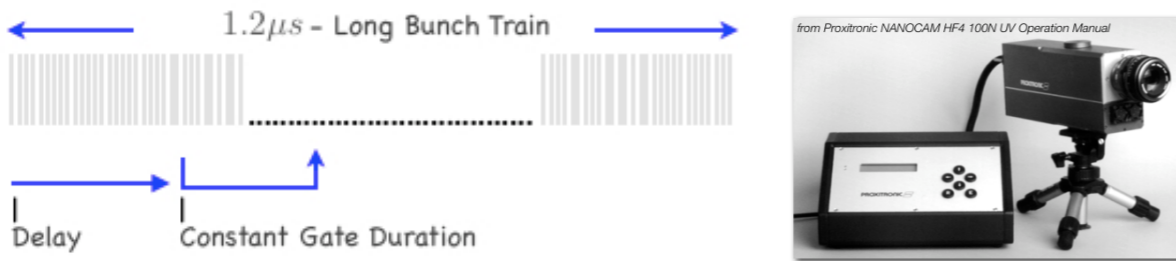


## Demet Yayınımı (Emittance) Ölçümü

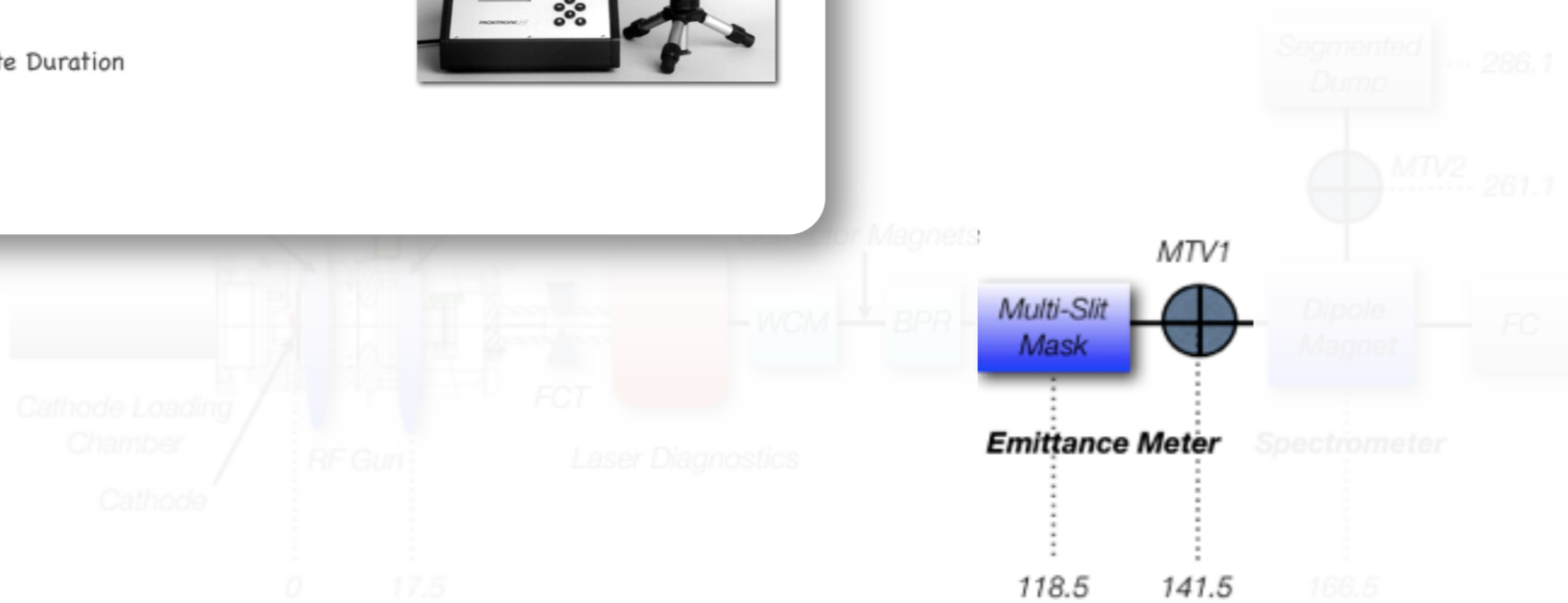
### Demet Yayınımı Ölçümü



### Zaman Çözünürlüklü OTR Profil Ölçümü

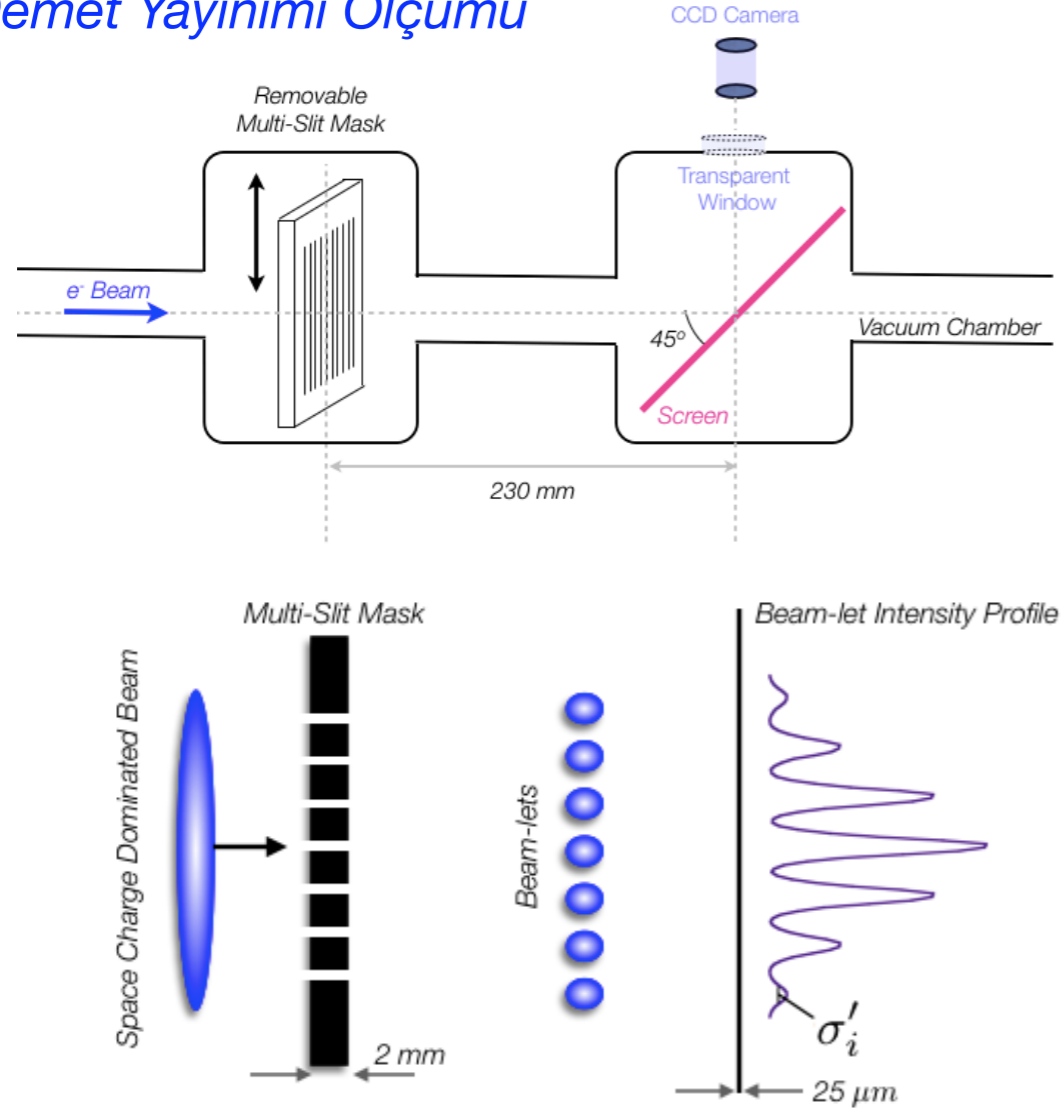


- ▶ Demetin enine yayınımı **çoklu-yarık yöntemi (ÇY)** ile ölçüldü.
- ▶ ÇY yöntemi **düşük enerjili, uzay yükünce baskın demetler** için geliştirilmiş bir ölçüm yöntemidir.
- ▶ **[Optical Transition Radiation] OTR** demet profilinin ölçülmesinde **tanı aleti** olarak kullanıldı.
- ▶ ICCD kameraların **kesitlendirme (gating)** özelliği kullanılarak zaman çözünürlüklü yayılım ölçümleri de yapıldı.



## Demet Yayınımı (Emittance) Ölçümü

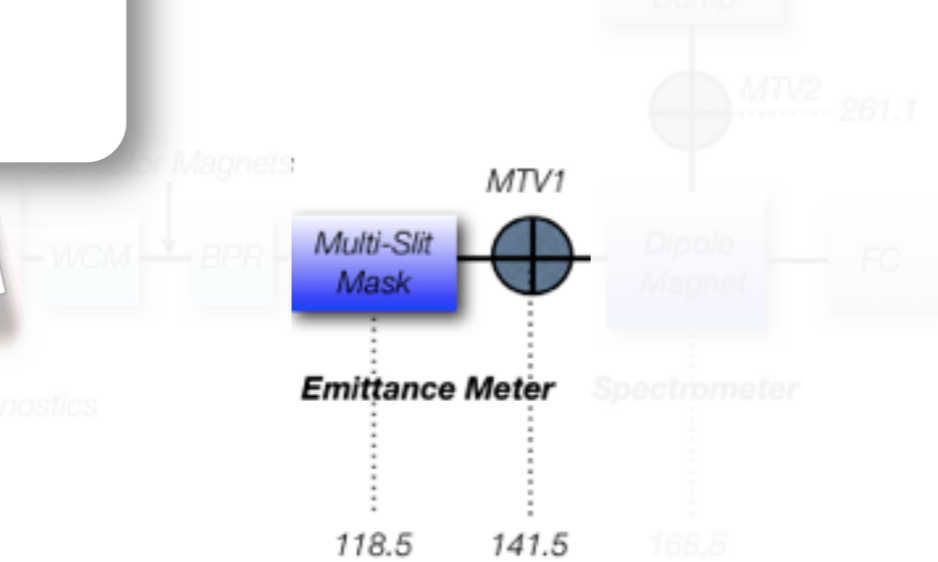
### Demet Yayınımı Ölçümü



### ÇY [MS] Yöntemine Göre

- ▶ ÇY maskesi demetin önüne yerleştirilir,
- ▶ demet demetsi dilimlere ayrılır,
- ▶ demetsilerin profillerinden birinci ve ikinci momentleri ile her bir demetsinin göreceli şiddeti belirlenir.
- ▶ Bu bilgileri kullanılarak birincil demetin yayınımı yarık maskesinin bulunduğu konum için hesaplanır.
- ▶ Çoklu-yarık yöntemi CERN'de ilk defa PHIN deneyleri sırasında kullanılmıştır.
- ▶ Bu araştırmada değişik ardalı biçimleri için değişik belirleme ve dışarlama algoritmaları geliştirilmiştir.
- ▶ **PHINEMA**: **PHIN** photo-injector **E**mittance **M**asurement and **A**nalysis software

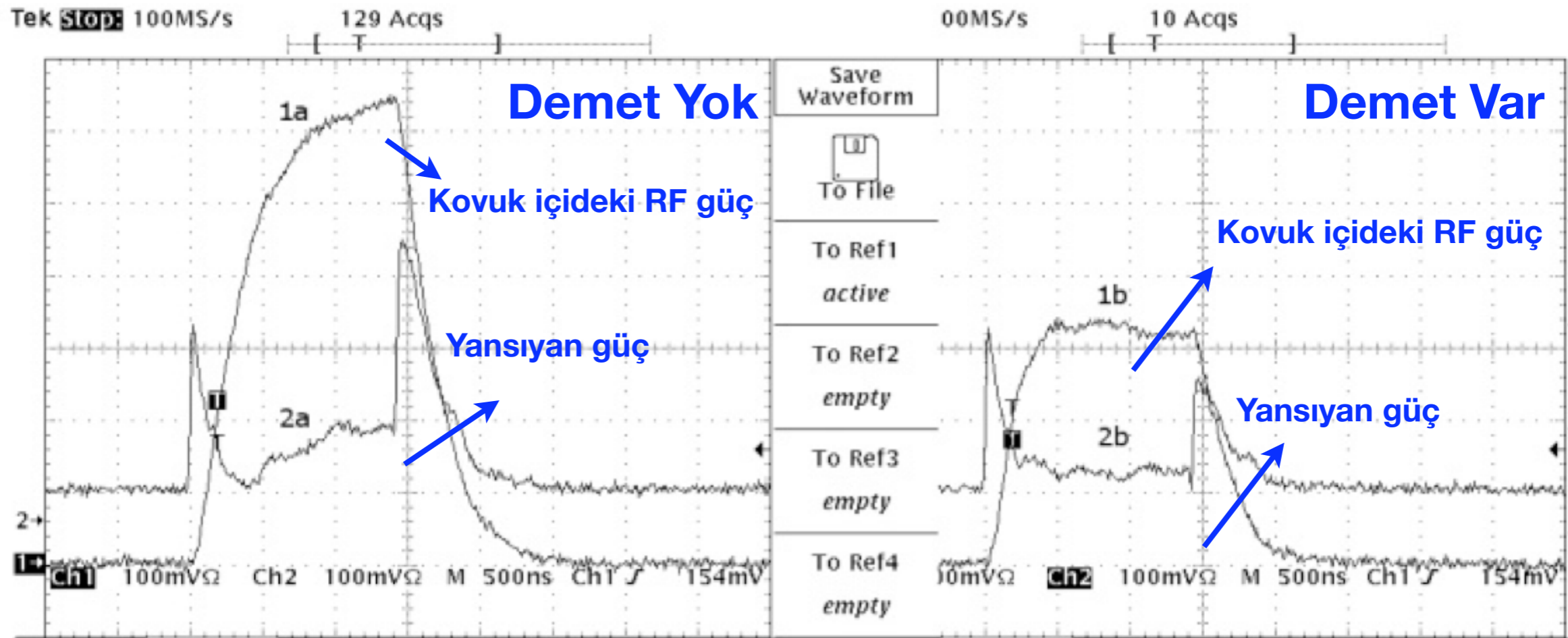
Ayrıntıları tanı yöntemleri dersinde ...



### Demetsel Yüklemenin Dengelenmesi

Kavite içinde elektronlar tarafından görülen alan **RF alanı** ve **demetin kavitede uyardığı alan**ların bileşkesidir. Demetin uyardığı alanın RF alana göre 180 derece evre farkı vardır. Buna göre hızlandırma alanı ile yıkıcı girişim yapacaktır. Bu durumda, demetin zamanlaması bu bileşkenin düzgün bir hızlandırma alanı ile sonuçlanacağı şekilde seçilmelidir. PHIN demeti gibi yüksek parlaklıkta demetler için demetsel yükleme önemli ölçüde olacaktır.

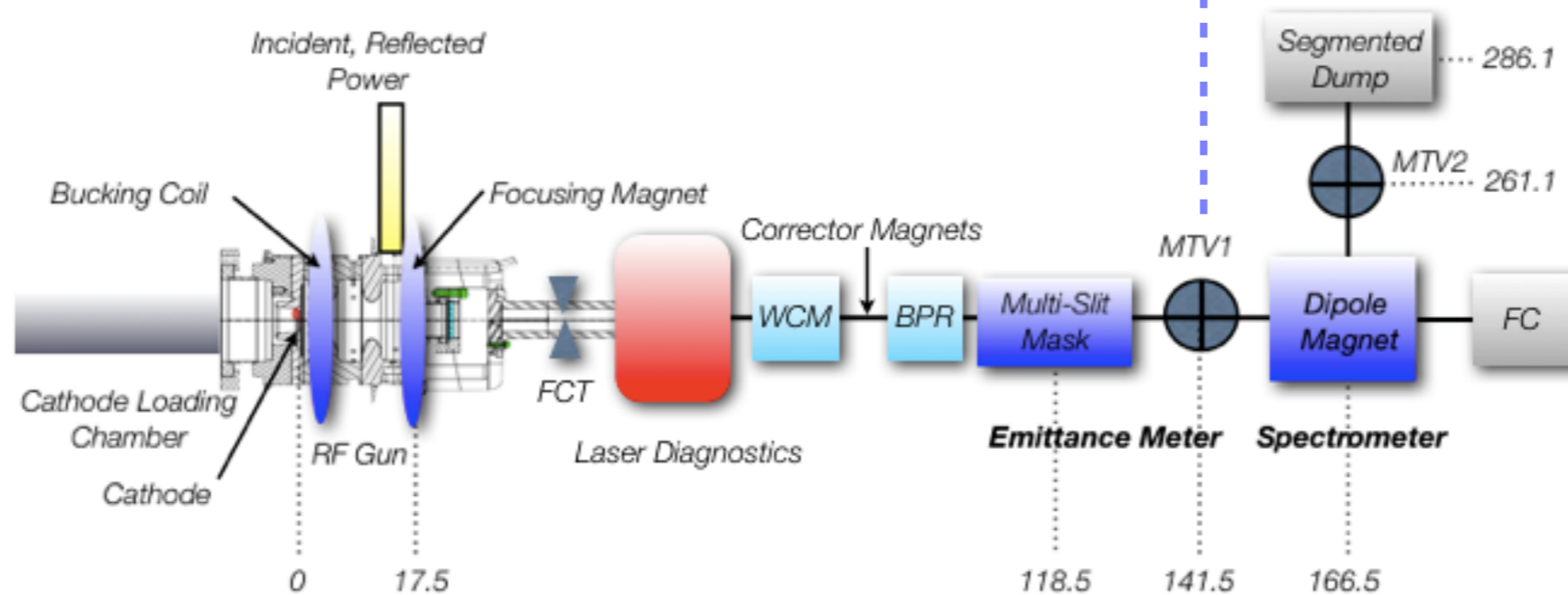
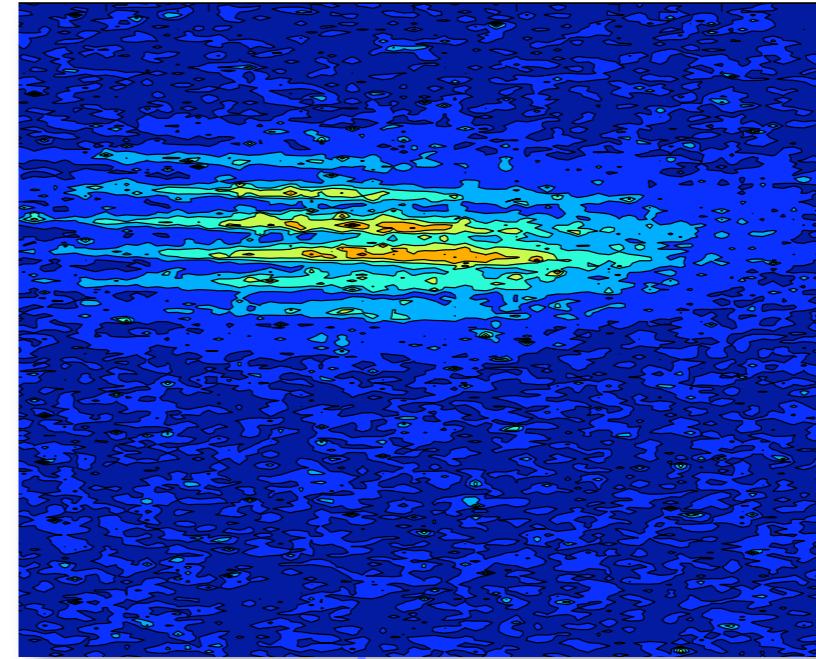
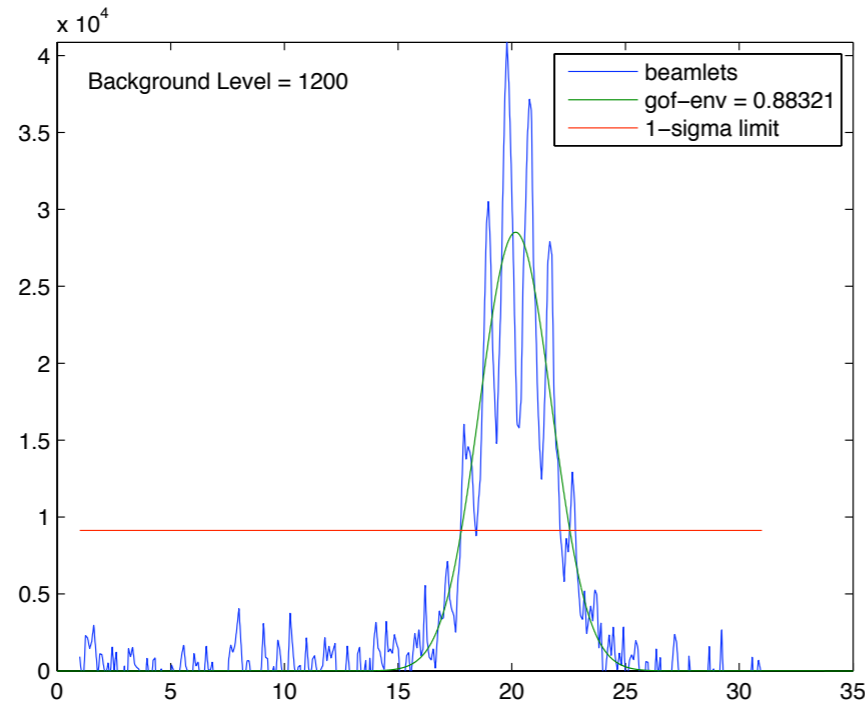
PHIN ışıksal kaynağında demetsel yüklemenin dengelenmesi **demetin zamanlamasının RF alanın zamanlamasına göre uygun şekilde ayarlanması** ile çalışıldı.



**PHIN üzerinde yapılan ölçümlerin tamamı demetsel yüklemenin dengelenmiş olduğu şartlar altında yapılmıştır.**

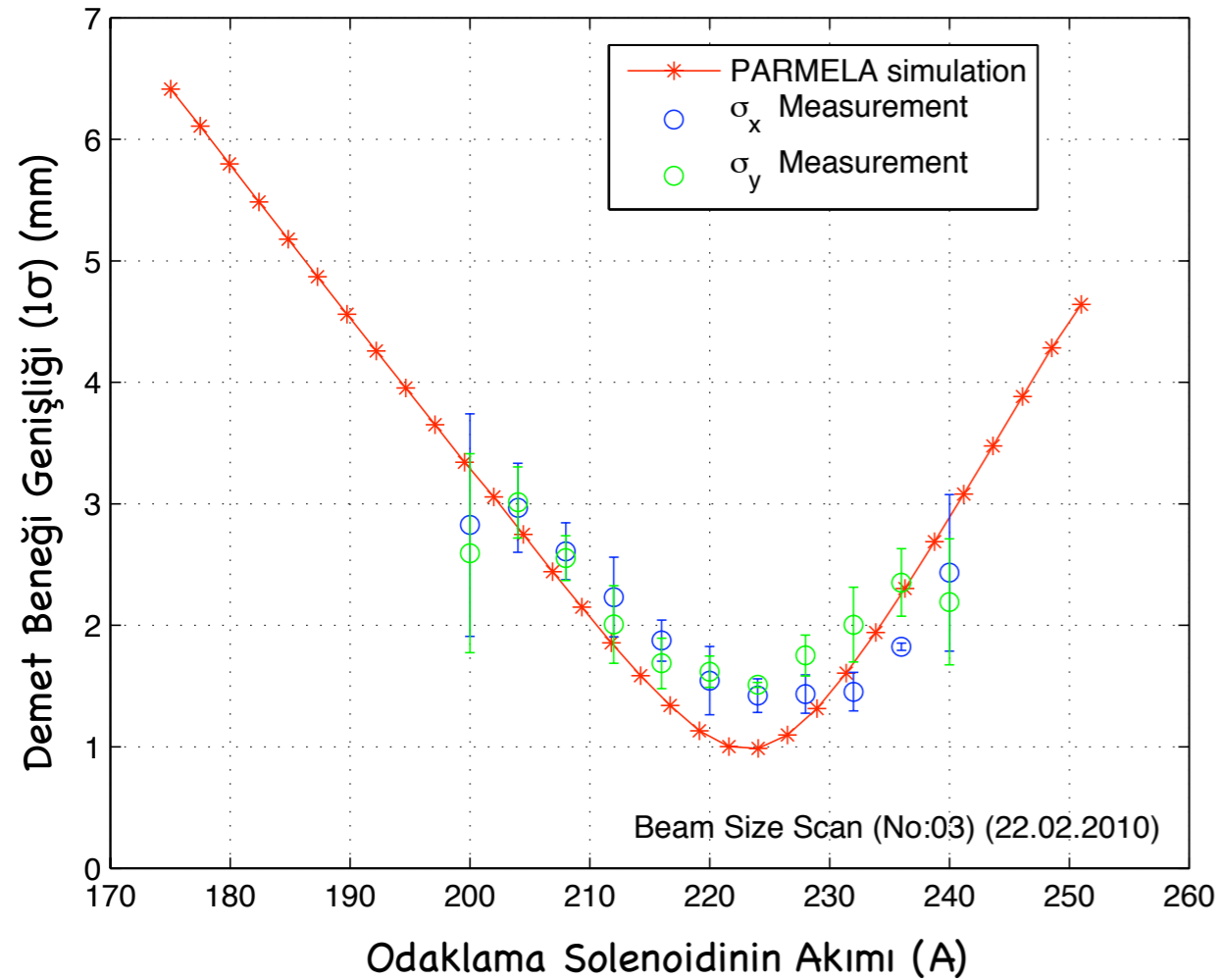


## Demetin OTR Resminin Görüntülenmesi



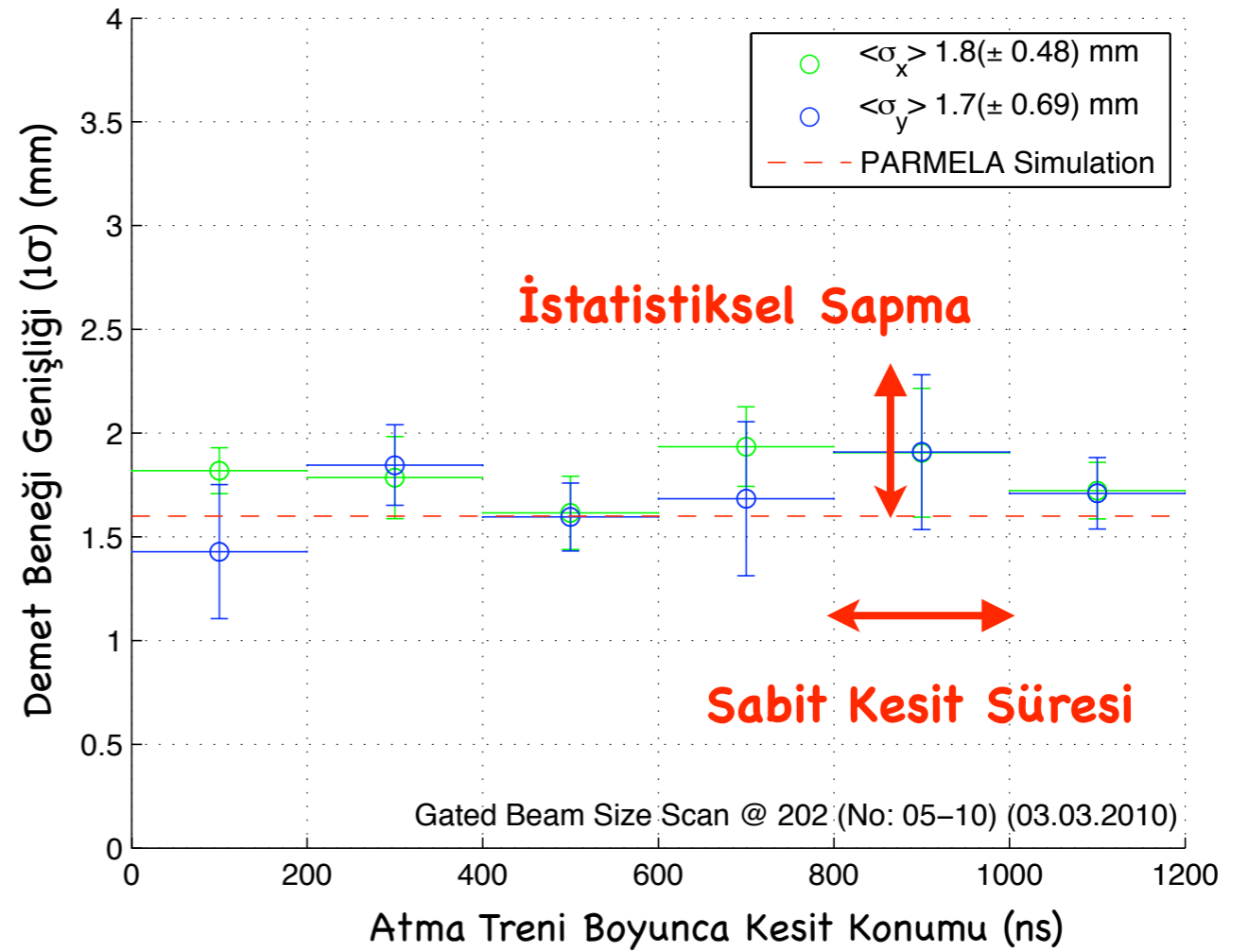
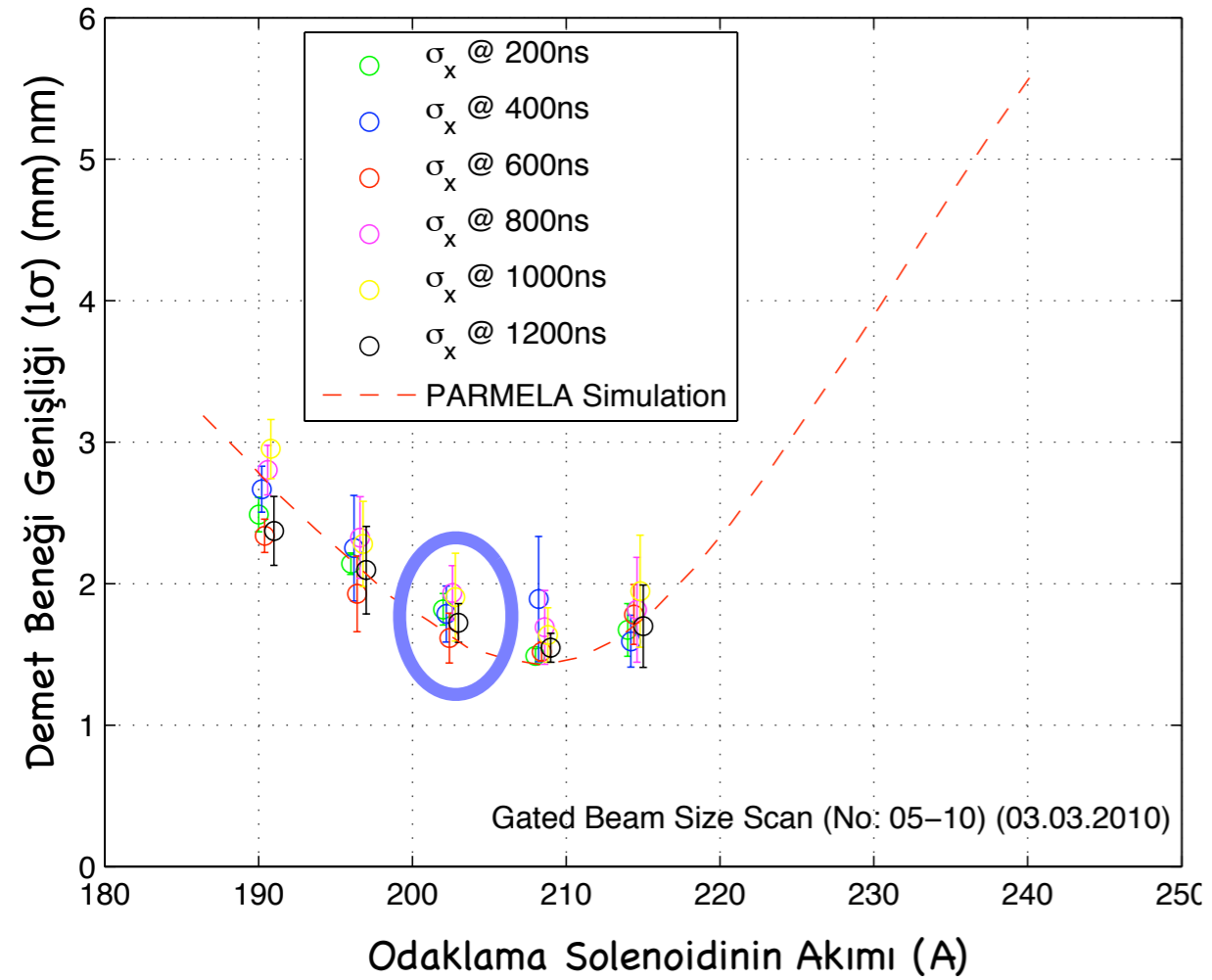
## Demet Beneğinin Ölçülmesi

### Tek Atımlı Solenoid Taraması

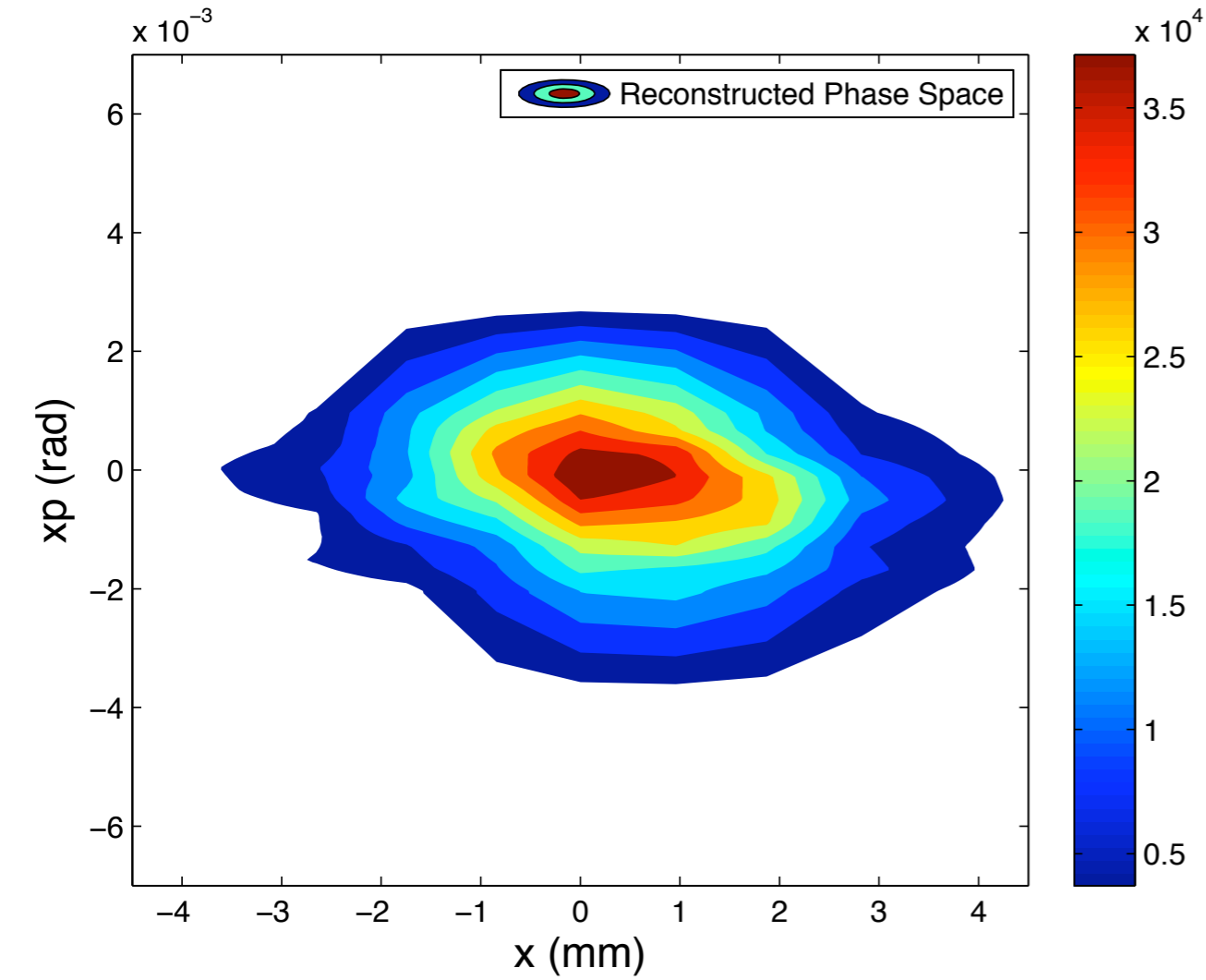


- ▶ Demet beneği odaklamanın bir fonksiyonu olarak ölçülebilir.
- ▶ Basit ama kilit bir ölçümdür, çünkü;
  - ▶ demetin davranışı ve ölçüm aletlerinin davranışına ilk elden ışık tutar,
  - ▶ sistemin gerçek hayat parametreleri ile benzetim girdilerinin ayarlanmasını sağlar,
  - ▶ **ör:** lazer benek ölçüsü, odaklama magnetinin akımı, RF alanının evresi...
- ▶ Yandaki ölçümde hata çizgileri atımdan atıma istatistiksel sapmayı göstermektedir. Bu da bize atımdan atıma kararlılık konusunda bir fikir vermektedir.

## Atma Treni Boyunca Demet Beneğinin Ölçümü



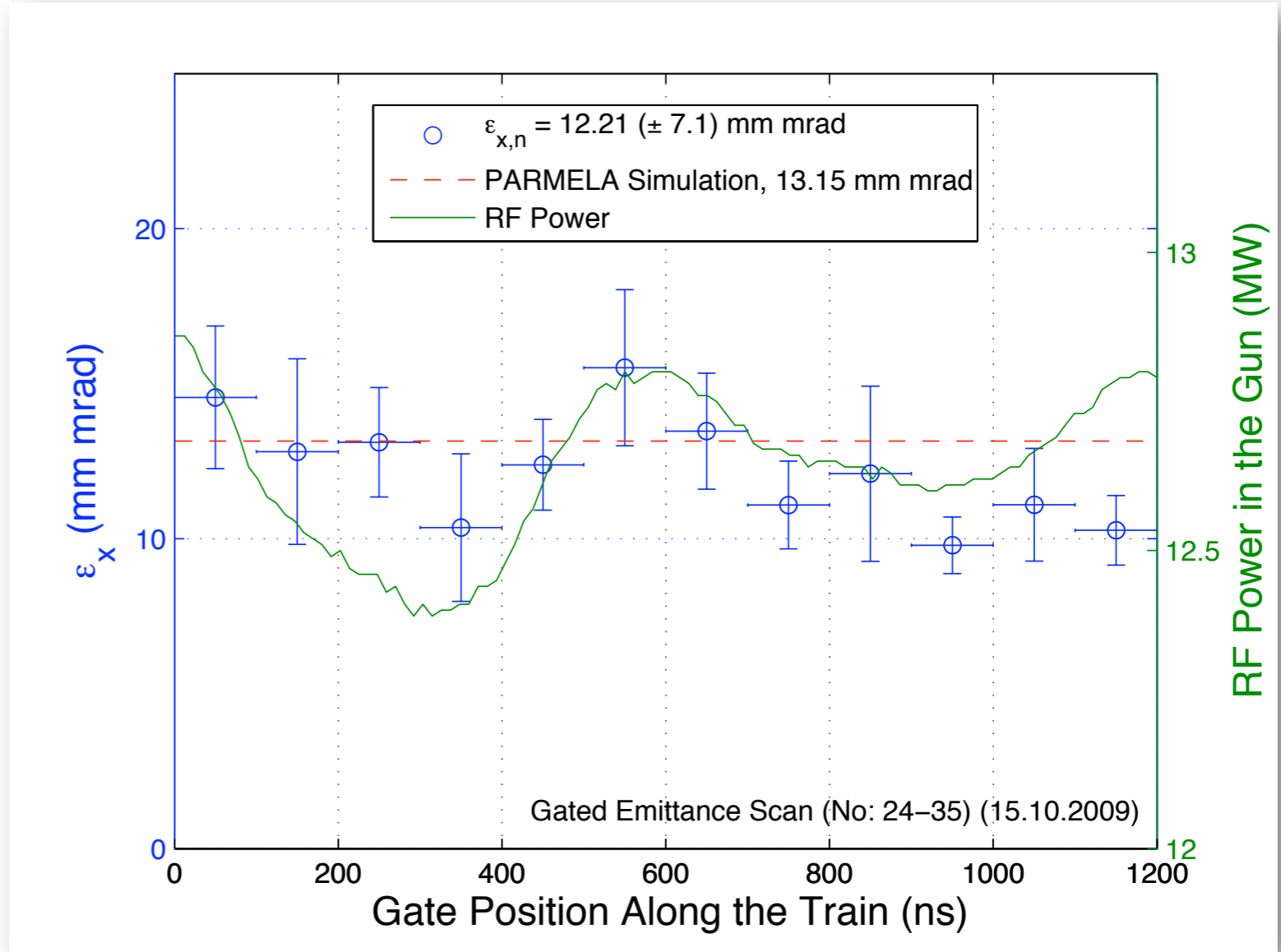
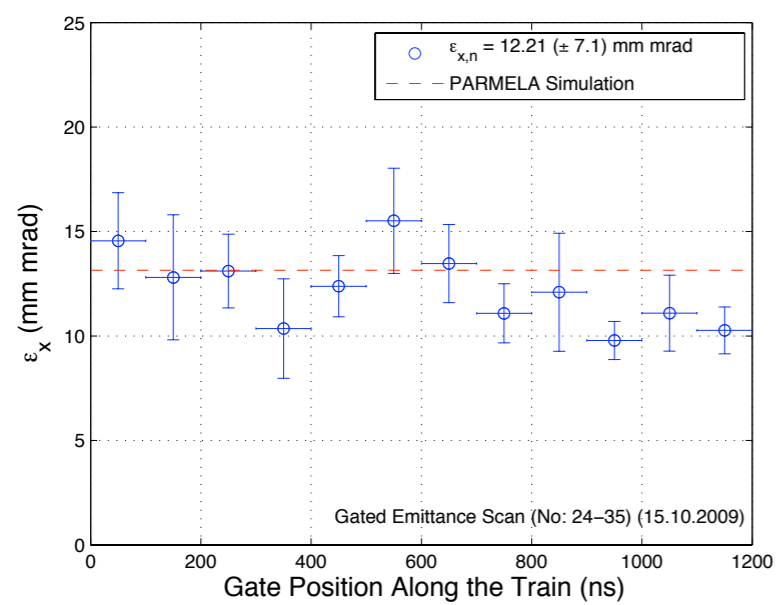
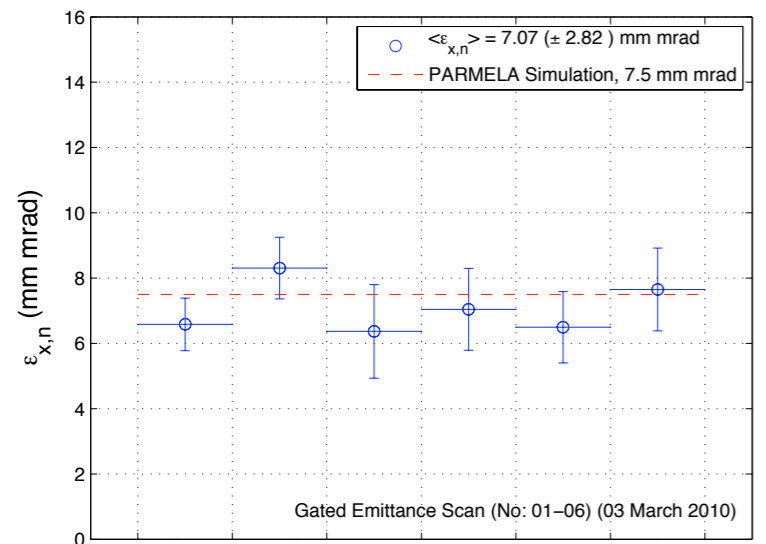
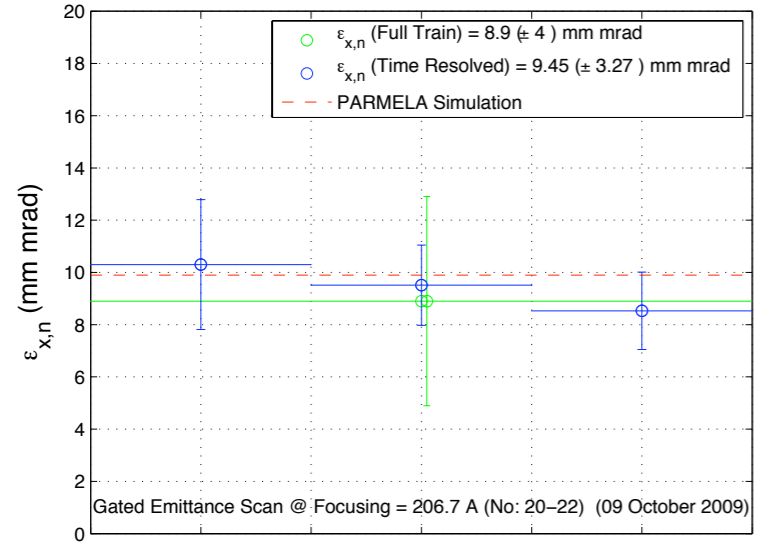
## Demet Yayınımı Ölçümü için Veri Analizi Yöntemi



- ▶ Çoklu-yarıktan sonra demet profiline bir örnek,
- ▶ Veri analizi yöntemi:
  - ▶ profil üzerindeki ardalanı belirlemek için profilin eteklerinden ilgilenilen bölgeler belirlenir,
  - ▶ ardalanı tanımlayan en uygun model bulunur,
  - ▶ bu model ölçülen toplam sinyalden çıkarılır,
  - ▶ demetsilerin ilk ve ikinci momentleri ile görelî şiddetleri belirlenir,
  - ▶ geometrik demet yayılımı hesaplanır,
  - ▶ evre uzayında demetin kapladığı alan yeniden kurgulanır.

## Zaman-Çözünürlüklü Demet Yayınımı Ölçümü

- Dalgalanma-türü bir değişim atma treni boyunca artan çözünürlükle daha da görünür oluyor.
- Peki bu değişim nereden geliyor olabilir?
- “Olağan Şüpheliler”: **Lazer şiddetindeki ya da RF gücü atma şeklindeki sapmalar?**
- Ölçümler incelendiğinde RF gücü atma şekli ile demet yayınının tren boyunca değişiminin ilişkili olduğu saptandı.



**Genel bir yorum**

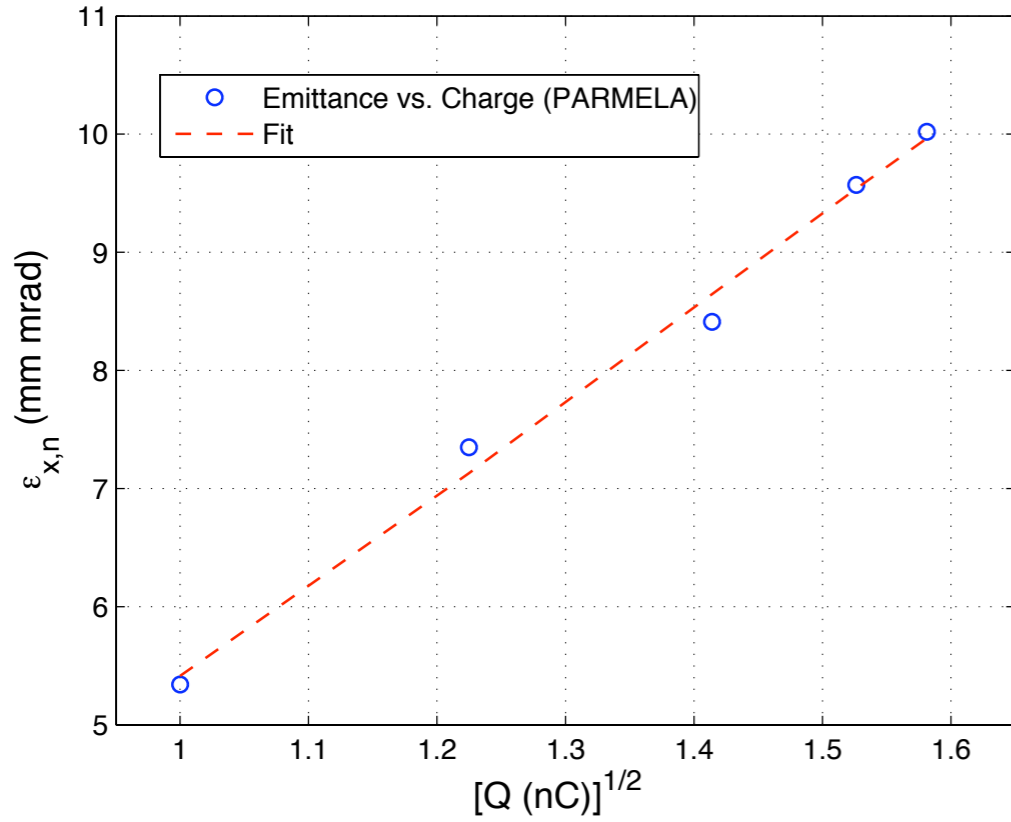
ICFA'nın Geleceğin Işık Kaynakları (Future Light Sources) konferansında varılan sonuca göre:

<http://www-conf.slac.stanford.edu/icfa2010/>

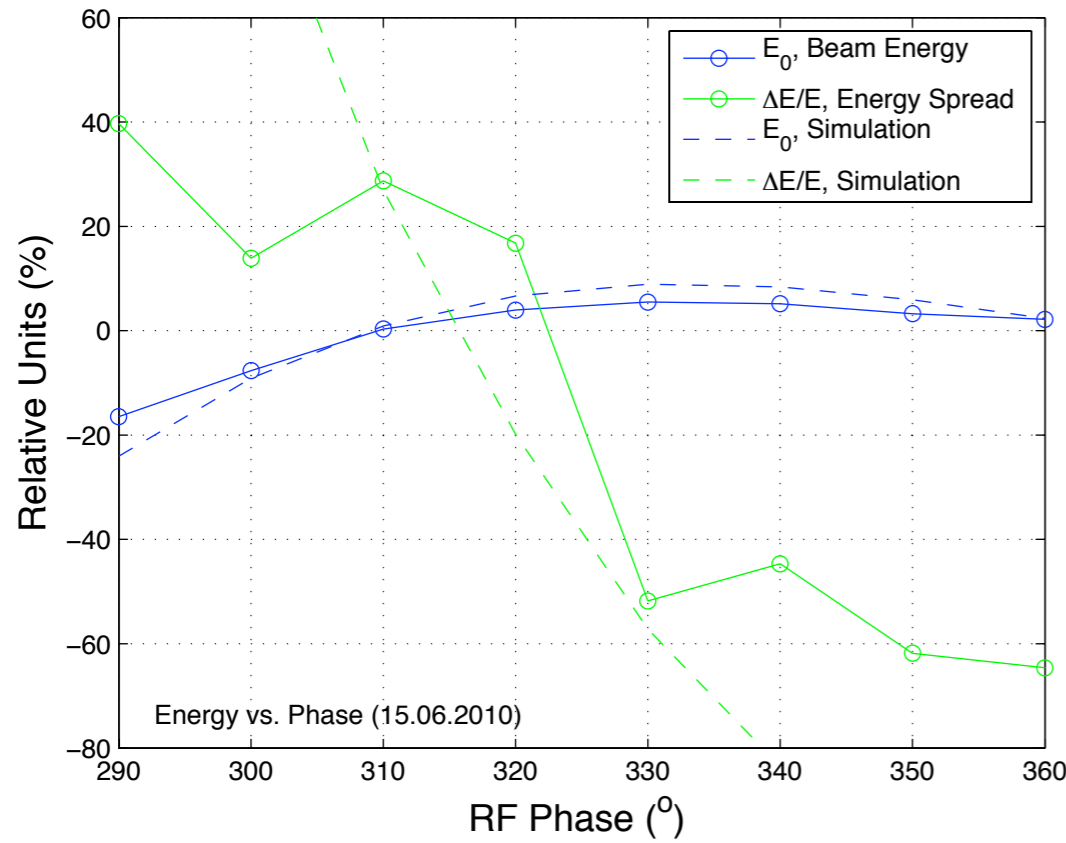
$$\epsilon_n [mm \text{ mrad}] \approx 1 \mu m \sqrt{Q [nC]}$$

**PARMELA ile yapılmış benzetim çalışmaları da benzeri birşey söylüyor:**

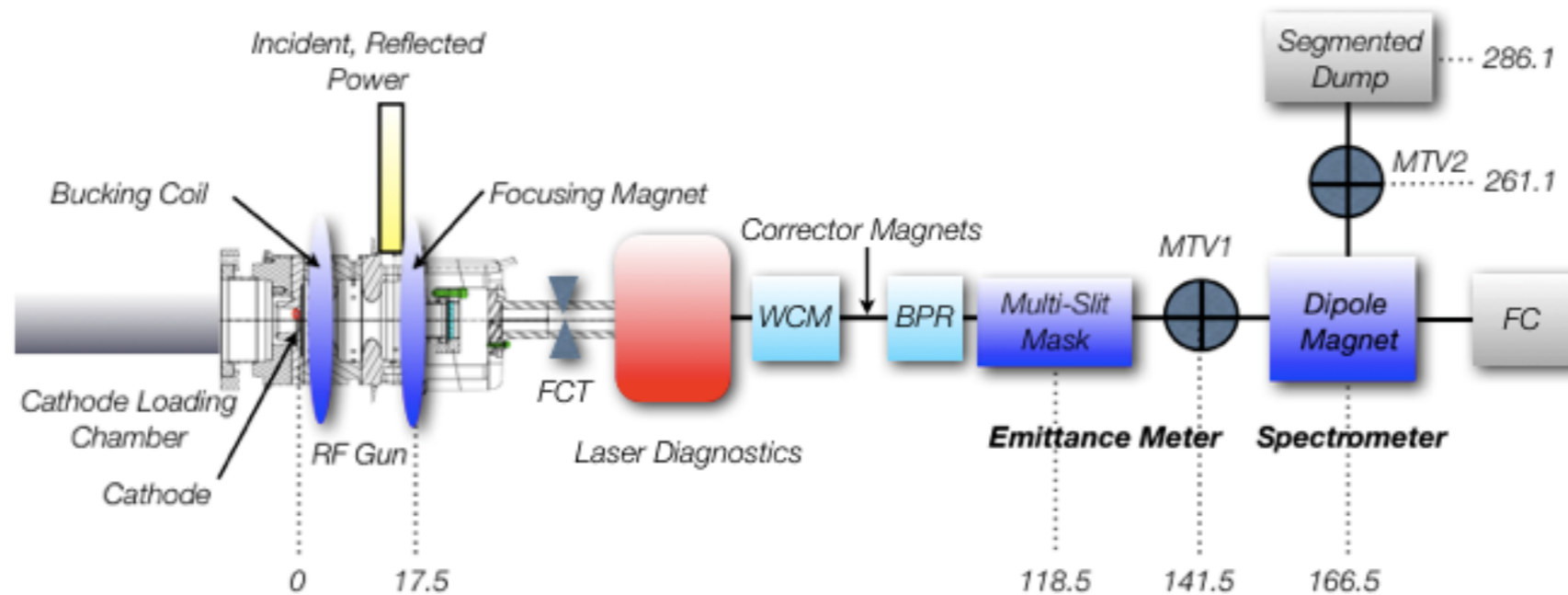
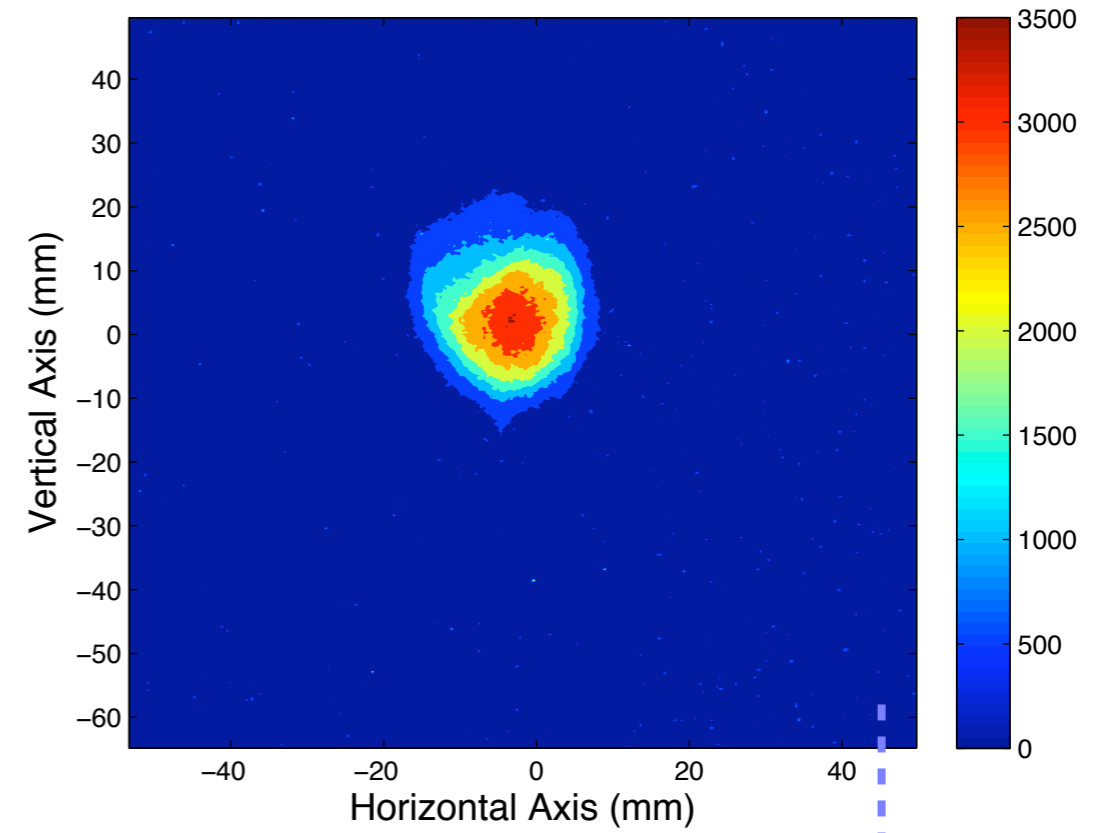
- ▶ Kaynağın çalışma noktasının en düşük demet yayınımasını sağlayacak şekilde uygunlaştırıldığı koşullarda yukarıdaki eşitlik geçerlidir.
- ▶ Orantı sabiti ise lazer atma şeklinin bir fonksiyonu olacaktır..
- ▶ Yakın zamanda, PIZ kaynağı için bu tarz lazer şekillendirme çalışmaları sürdürülmektedir..



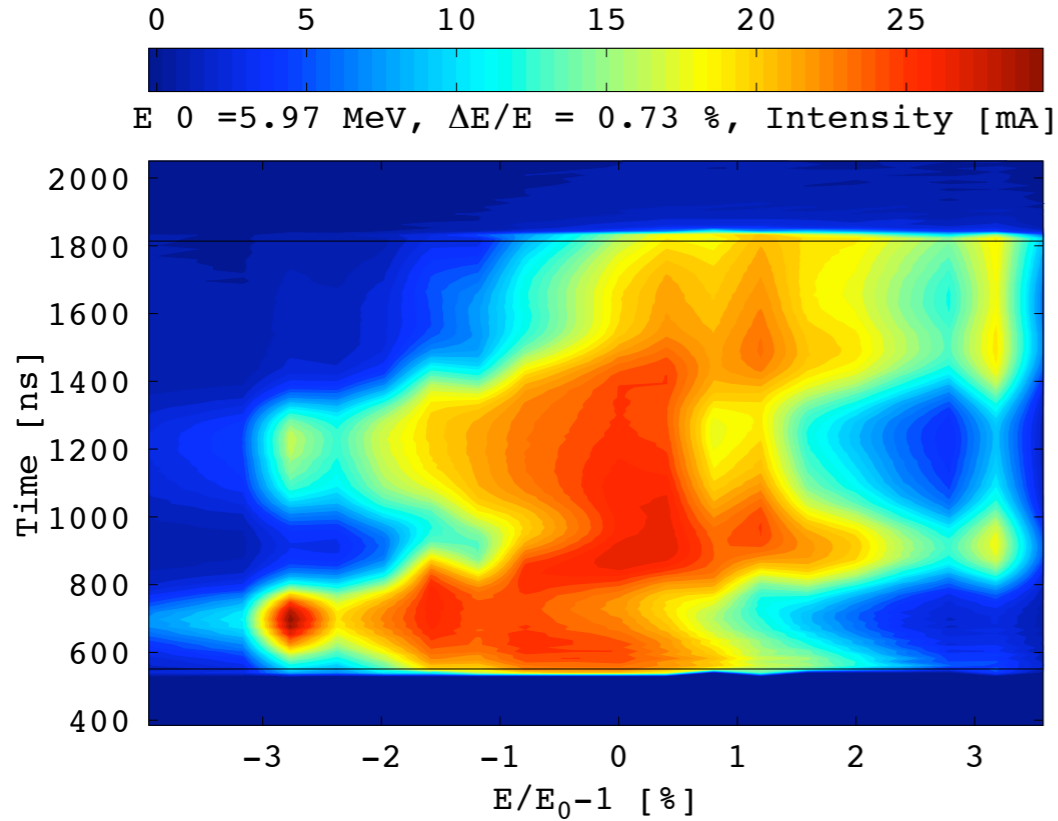
## Magnetik Spektrometre ile Enerji Ölçümü



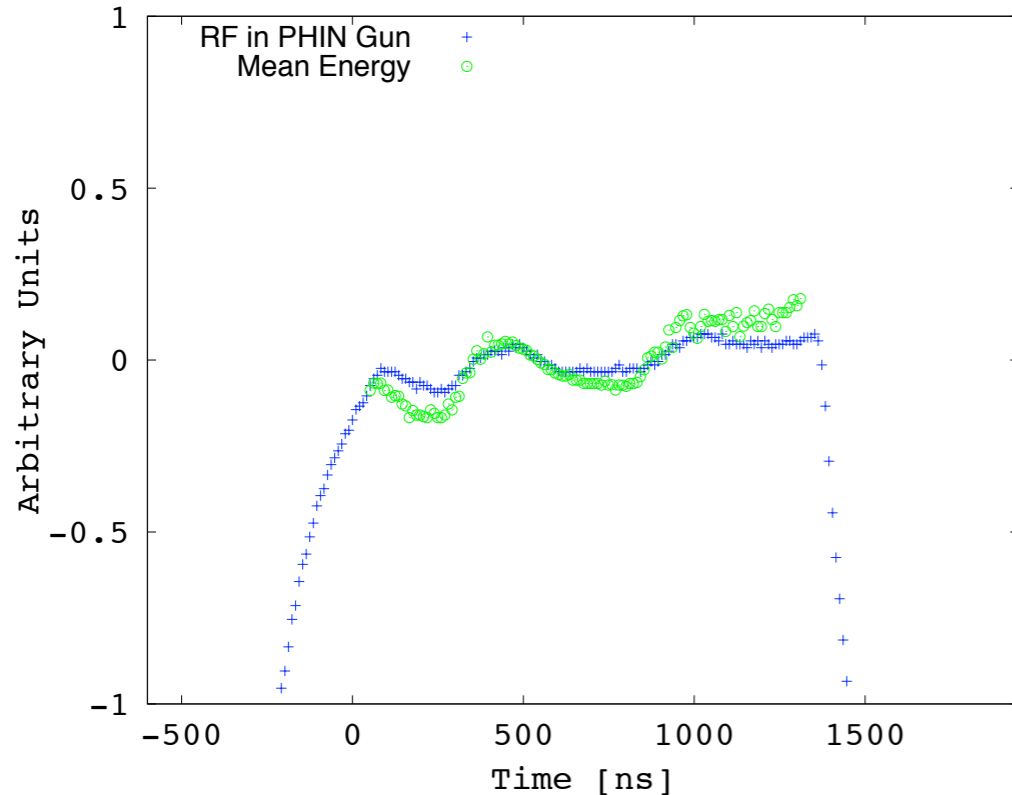
## OTR Görüntüleme



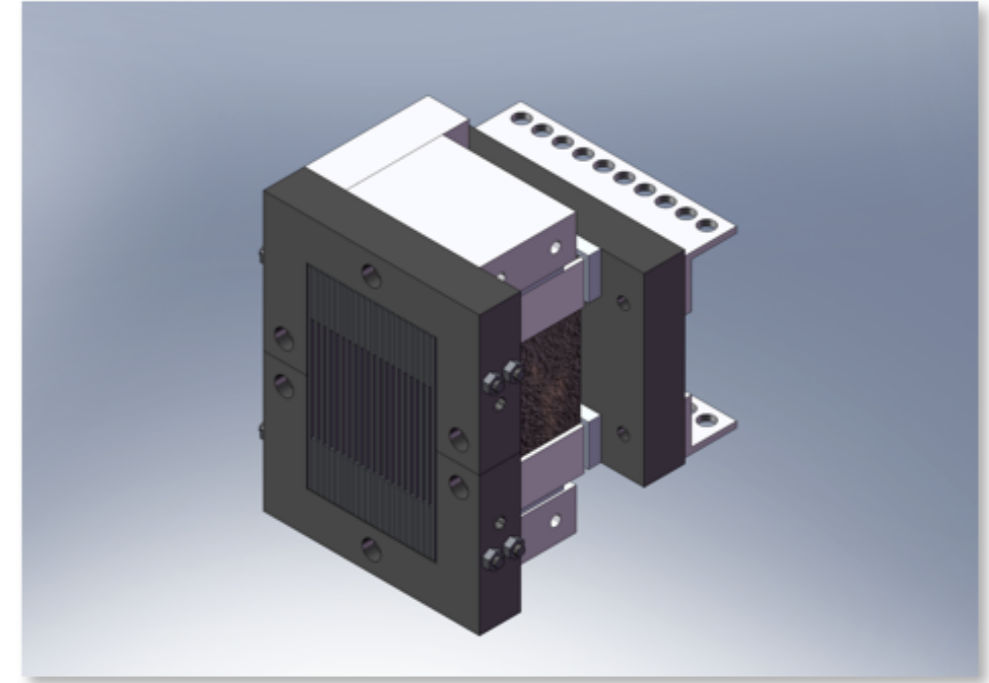
## Magnetik Spektrometre ile Enerji Ölçümü



RF seen by the beam and mean energy



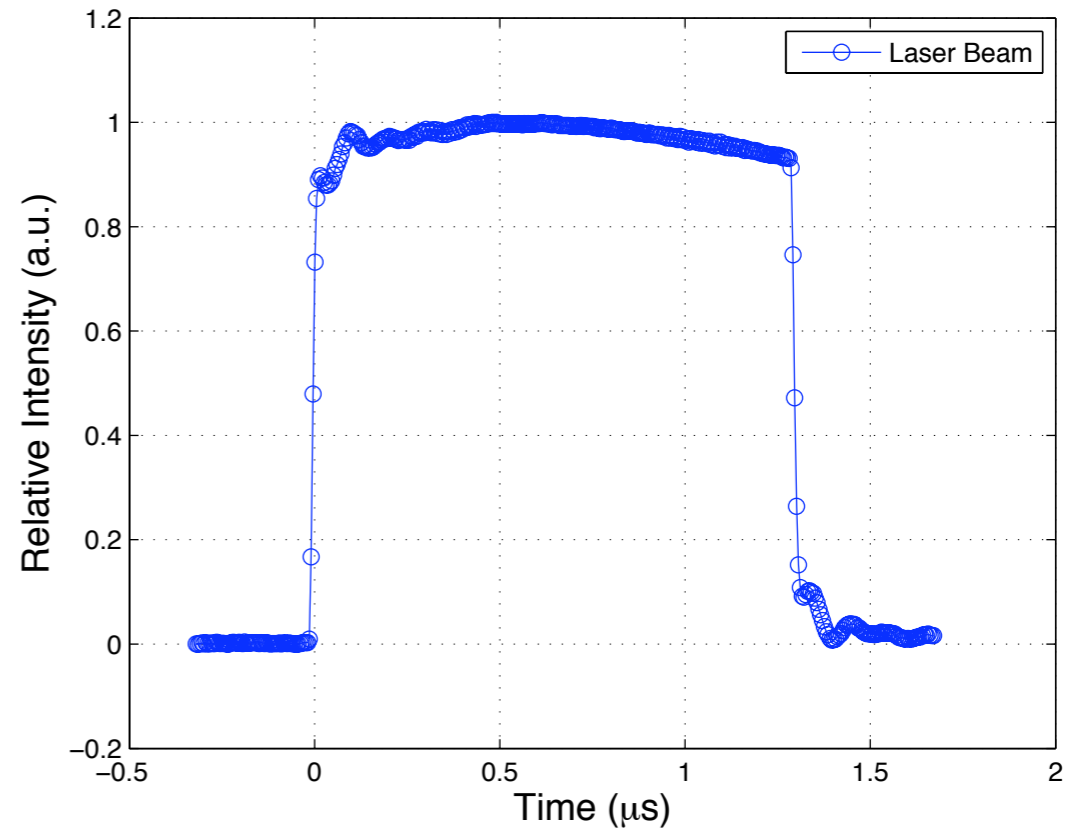
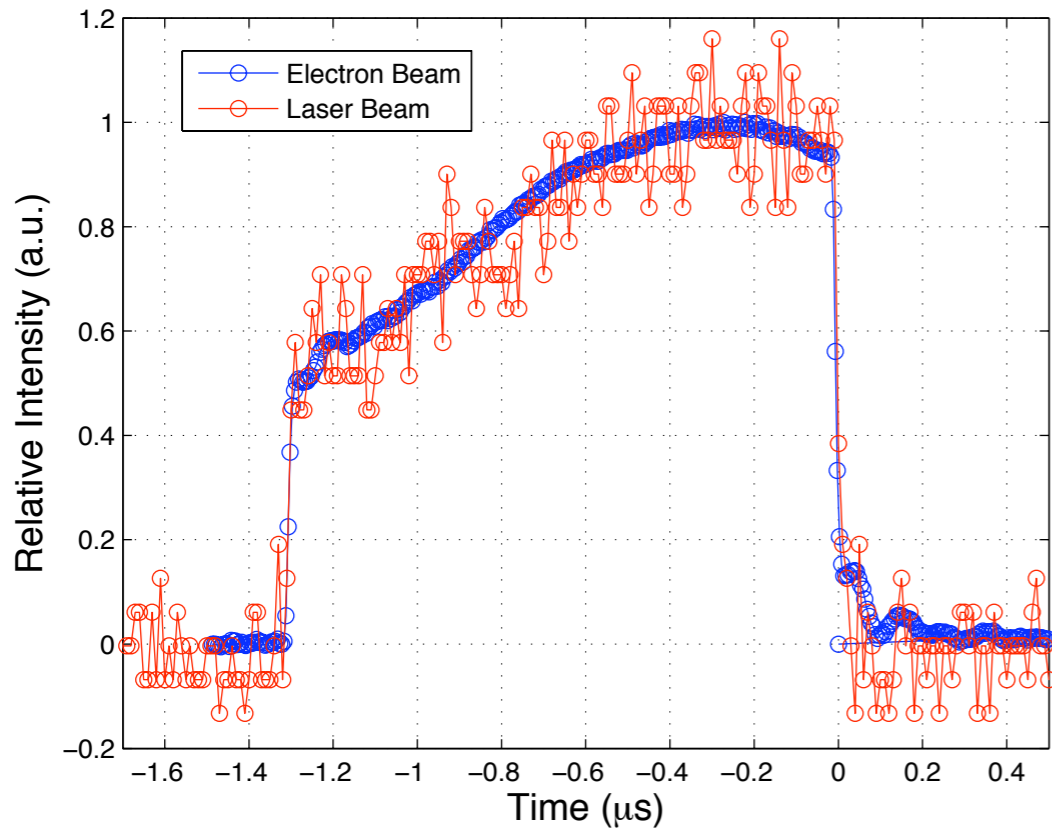
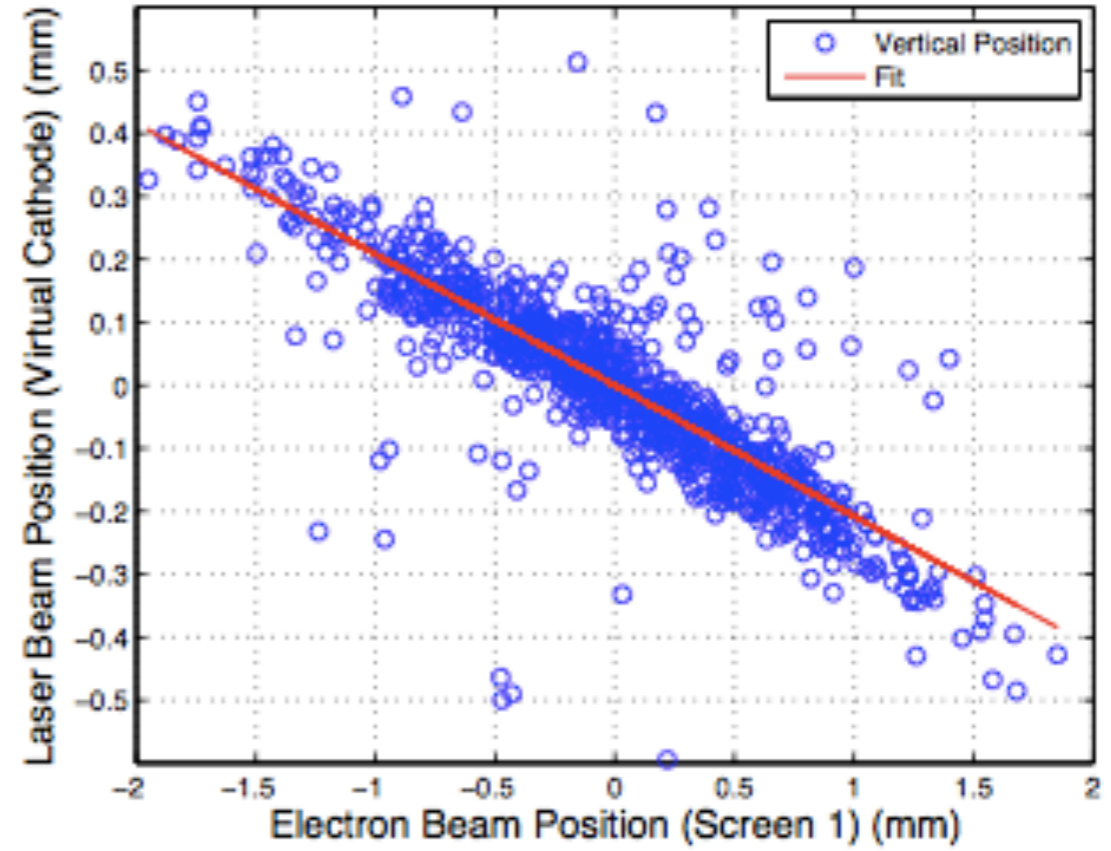
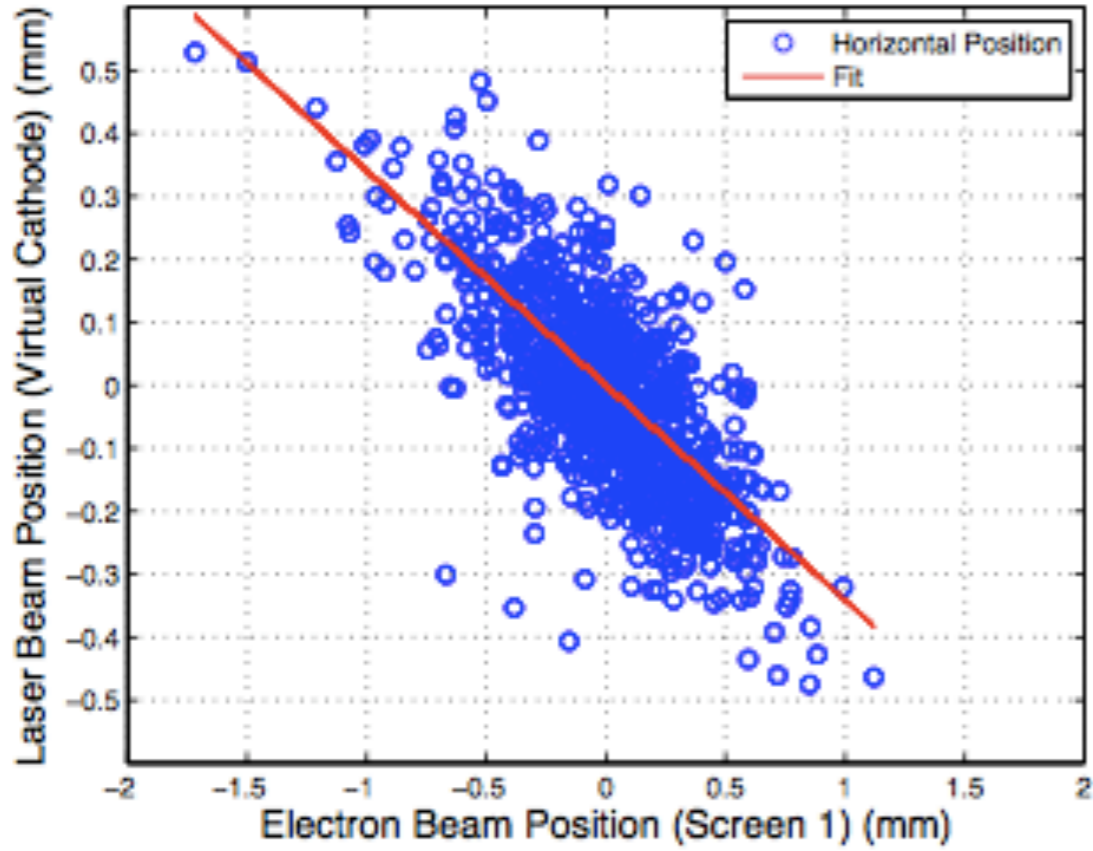
## Bölmeli Demet Durdurucu



- Bölmeli demet durdurucu ölçümleri de demet enerjisi ve RF atma şekli arasında, zaman çözünürlüklü demet yayını ve yarıçapı ölçümlerine benzer bir ilişki gösterdi.
- Tren boyunca ortalama enerji yayılımı **%0.7 (0.022)** olarak ölçüldü\*.
- Bu değer ise PHIN tasarım değerini sağlamaktadır.

\*Ölçüm Daniel Egger (CERN-EPFL) tarafından yapıldı.





Parameter	Specification	Achieved
<b>RF</b>		
RF Gradient (MV/m)	85	85
RF Frequency (GHz)	2.99855	2.99855
<b>Electron Beam</b>		
Charge per Bunch (nC)	2.33	4.4
Charge per Train (nC)	4446	5800
Train Length (ns)	1273	1300
Number of Bunches/Train	1908	1950
Current (A)	3.5	6.6
Normalized Emittance (mm mrad)	<25	14
Energy (MeV)	5.5	5.5
Energy Spread (%)	≤1	0.7
<b>Laser and Cathode</b>		
Charge Stability (%)	<0.25	0.8-2.4
Cathode	Cs <sub>2</sub> Te	Cs <sub>2</sub> Te
Quantum Efficiency (%)	3	18 (peak)
UV Laser Energy / Pulse (nJ)	370	400
Micropulse Repetition Rate (GHz)	1.5	1.5
Macropulse Repetition Rate (Hz)	1-5	1-5

- ▶ İşleme alma çalışmaları kapsamında yapılan deneylerde PHIN kaynağı için belirlenen tasarım değerleri **başarılmıştır** (yük kararlılığı dışında).
- ▶ Yük kararlılığını iyileştirmek için lazere bir **geribeslemeli kararlılaştırma sisteminin** eklenmesi planlanmaktadır.
- ▶ Elektron demeti ile lazer ve RF atma şekli arasındaki **bağlılık** zaman çözünürlüklü ölçümler sayesinde anlaşılmıştır.
- ▶ Tüm ölçümler **tekli-bohça kabullenmesi altında, benzetim sonuçlarınca doğrulanmıştır.**