

# ÇÜ YEF LABORATUVARIMIZDA YAPTIĞIMIZ ÇALIŞMALAR VE DENEYİMLERİMİZ

Dr.İsa Dumanođlu  
ÇÜ YEF GRUBU ADINA

Fizik Profesörü  
Çukurova Üniversitesi  
Fen-Edebiyat Fakültesi  
Fizik Böl. Öğretim Üyesi

# FOTO ÇOĞALTICI TÜPLER

- Foto-algılayıcılar foto-elektrik olay ile ışığı elektrik sinyaline çevirirler.
- Foto Çoğaltıcı Tüpler(FÇT) bu foto-algılayıcılardan birisidir.
- Aslında ışığı değil, biraz sonra göreceğimiz üzere, elektronları çoğaltırlar. Bu nedenle adını hep garipsemişimdir.
- Bundan sonra onlardan bahsederken FÇT kısaltmasını kullanacağım.

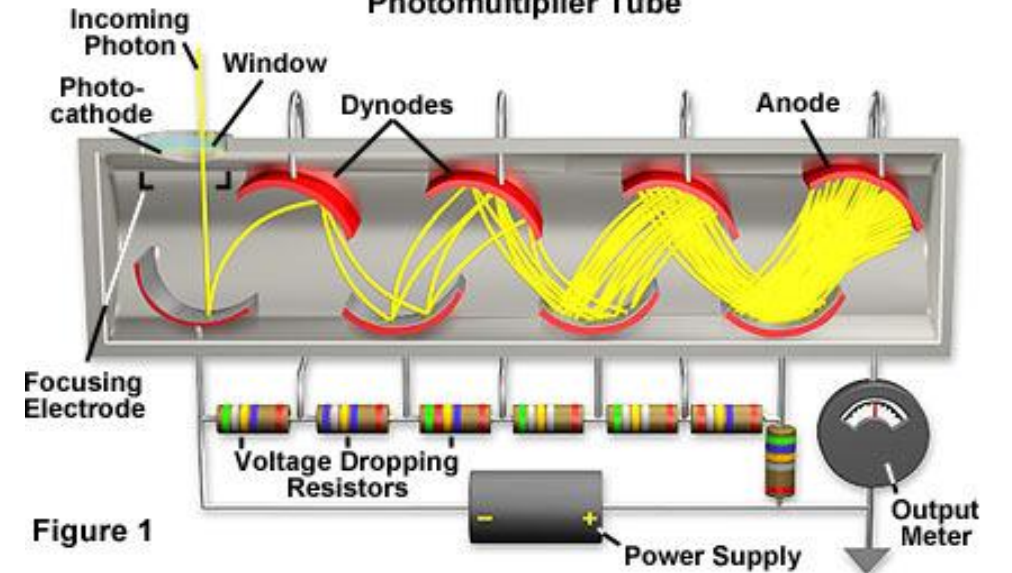
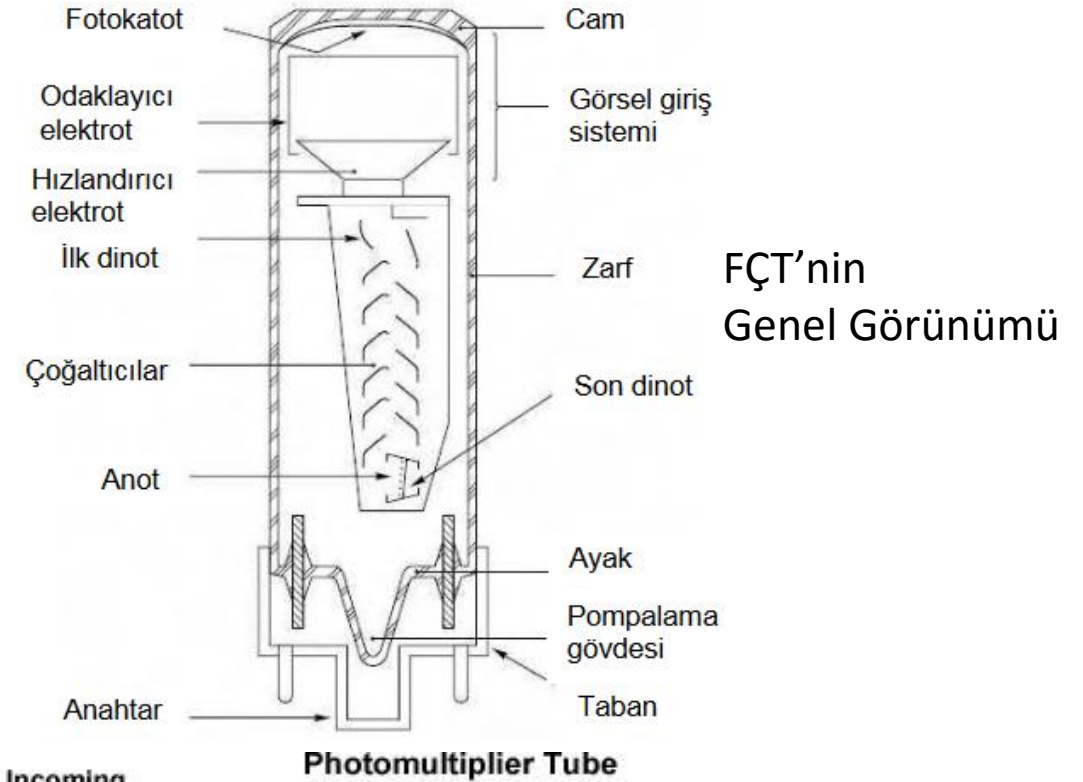
- FÇT'lerin çok değişik kullanım alanları vardır.
- İleride Yüksek Enerji Fiziği'ndeki kullanımlarından kısaca bahsedeceğim.



# FÇT'LERİN İÇ YAPISI

- FÇT temel olarak havası boşaltılmış bir muhafaza içerisine yerleştirilmiş **Fotokatot-Elektron Çoğaltıcı ve Anot** bölümlerinden oluşur.
- Bu bölümler kullanım amaçlarına göre farklı materyal ve geometrilerde yapılır.
- En önemli iki parametre algılanan ışığın dalga boyu ve FÇT sinyalinin zaman tepkisidir.

## ÇEŞİTLİ TİP VE BOYUTTAKİ FÇT'LER



# FÇT'LERDE KULLANILAN BAZI FARKLI ELEKTRON ÇOĞALTICI KONFIGÜRASYONLARI

## Dairesel-Kafes

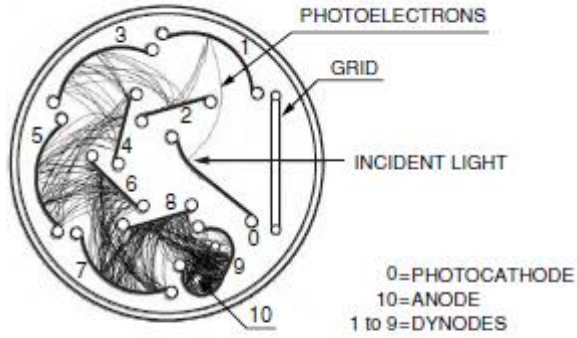


Figure 2-3: Circular-cage type

## Kutu ve Izgara

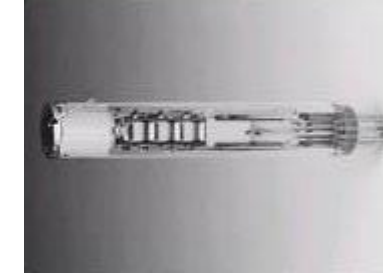
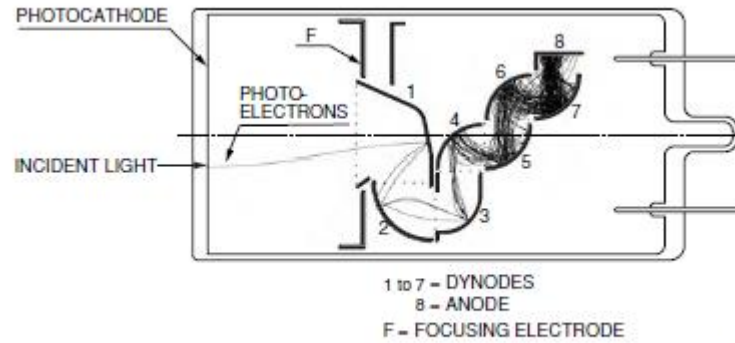


Figure 2-4: Box-and-grid type

## Doğrusal Odaklamalı

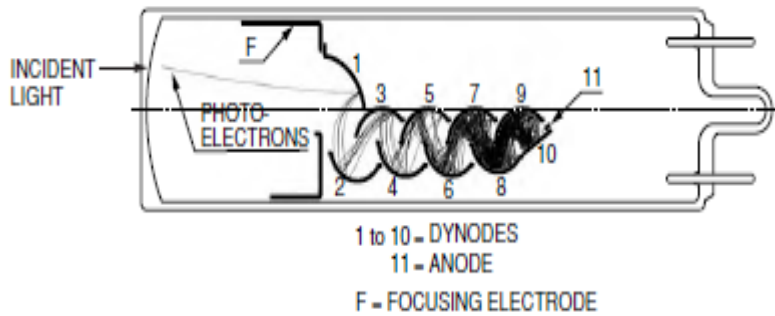


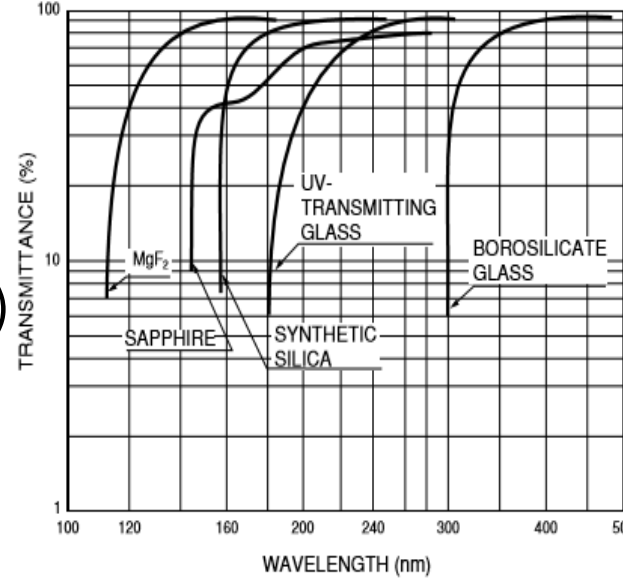
Figure 2-5: Linear-focused type

- Dairesel kafes tipi tıknaz (compact) bir yapıya ve hızlı zaman tepkisine sahiptir.
- Kutu ve ızgara tipliler süper elektron toplama verimliliğine sahiptir. Bu da yüksek algılama verimliliği ve iyi tekdüzelik (uniformity) sağlar.
- Doğrusal odaklamalı tipler hızlı zaman tepkisine, iyi zaman çözünürlüğüne ve mükemmel atım(pulse) doğrusallığına sahiptir.(Ekte karşılaştırma tablosu var)
- Bunların dışında da elektron çoğaltıcı konfigürasyonları vardır.

# PENCERE VE FOTOKATOT MALZEMELER

## Sıklıkla Kullanılan Pencere Malzemeleri

- **MgF<sub>2</sub> kristal** (UV 115nm'ye kadar geçirgen)
- **Safir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** (150nm'ye kadar geçirgen)
- **Sentetik Silika** (160nm'ye kadar UV geçirgen)
- **UV Cam** (185nm'ye kadar UV geçirgen)
- **BoroSilikat Cam** (En sık kullanılan, 300nm daha küçük dalga boylarını geçirmez.)
- **Pencere malzemeleri temel olarak optik geçirgenliklerine göre seçilir.**



## Sıklıkla Kullanılan Foto-katot Malzemeleri

- **CS-I (UV)**
- **Cs-Te (UV)**
- **Sb-Cs (UV+görünür)**
- **Bialkali(Sb-Rb-Cs, Sb-K-Cs) (UV+görünür, daha yüksek KV, düşük KA)**
- **Çoklu-alkali(Na-K-Sb-Cs) (S20) (UV+görünür+IR (850nm))**
- **Ag-O-Cs (S1) (400-1200nm fakat görünürde daha düşük KV)**
- **GaAsP(Cs) (UV-900nm arası düzgün tepki)**
- vs.
- **Fotokatotlar da duyarlı oldukları dalga boyuna göre seçilir.**

# FÇT'LERİN TEMEL PARAMETRELERİ

- Kuantum Verimlilik
- Kazanç
- Karanlık Akım
- Zaman Parametreleri
  - Sinyalin
    - Yükselme Süresi
    - Genişliği
    - Direk(Transit) Geçiş Süresi

# KUANTUM VERİMLİLİK(KV), $\eta(\lambda)$

- Foto-elektron, fotoelektrik etki ile kopar. Foto-elektronun kinetik enerjisi:

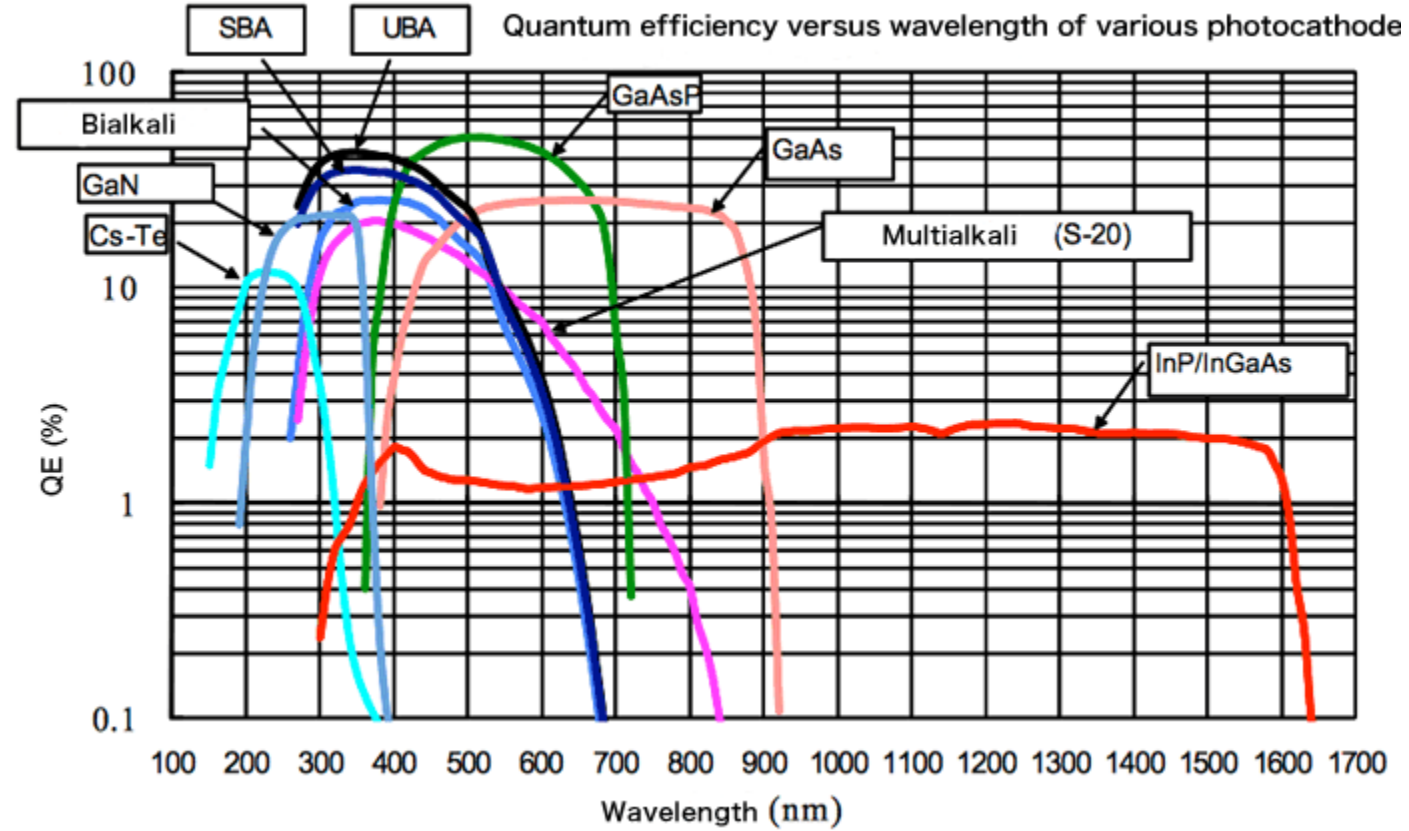
$$E = h\nu - \phi$$

ile verilir.

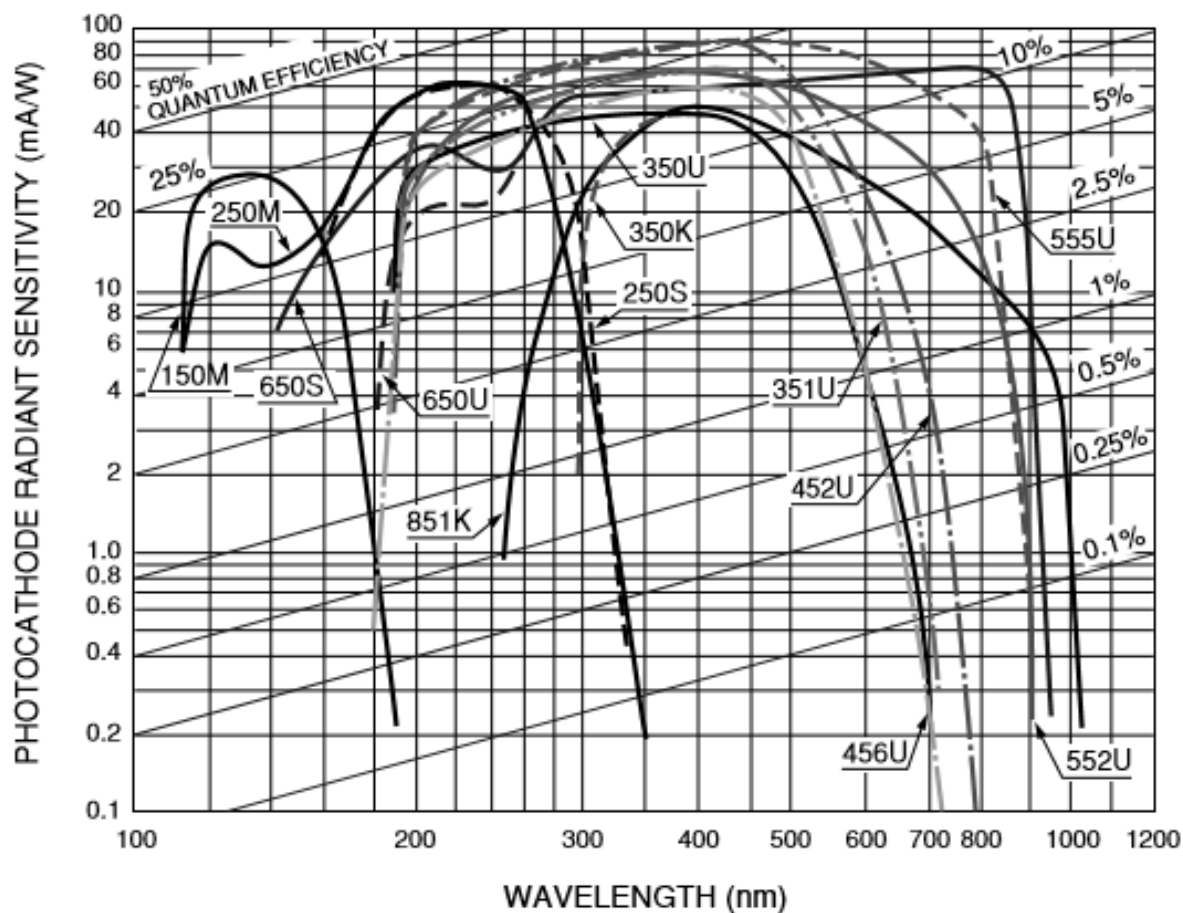
- Kuantum Verimlilik (KV),

$$\eta(\lambda) = \frac{\text{Yayınlanan fotoelektron sayısı}}{\text{fotokatoda düşen foton sayısı}(\lambda)}$$

ile verilir.



# SPEKTRAL TERAPI



Curve Code (S number)	Photocathode Material	Window Material	Luminous Sensitivity (Typ.) ( $\mu\text{A/lm}$ )	Spectral Response				
				Spectral Range (nm)	Peak Wavelength			
					Radiant Sensitivity (mA/W)	(nm)	Quantum Efficiency (%)	(nm)
150M	Cs-I	MgF <sub>2</sub>	—	115 to 200	25.5	135	26	125
250S	Cs-Te	Quartz	—	160 to 320	62	240	37	210
250M	Cs-Te	MgF <sub>2</sub>	—	115 to 320	63	220	35	220
350K (S-4)	Sb-Cs	Borosilicate	40	300 to 650	48	400	15	350
350U (S-5)	Sb-Cs	UV	40	185 to 650	48	340	20	280
351U (Extd S-5)	Sb-Cs	UV	70	185 to 750	70	410	25	280
452U	Bialkali	UV	120	185 to 750	90	420	30	260
456U	Low dark bialkali	UV	60	185 to 680	60	400	19	300
552U	Multialkali	UV	200	185 to 900	68	400	26	260
555U	Multialkali	UV	525	185 to 900	90	450	30	260
650U	GaAs(Cs)	UV	550	185 to 930	62	300 to 800	23	300
650S	GaAs(Cs)	Quartz	550	160 to 930	62	300 to 800	23	300
851K	InGaAs(Cs)	Borosilicate	150	300 to 1040	50	400	16	370
—	InP/InGaAsP(Cs)	Borosilicate	—	300 to 1400	10	1250	1.0	1000 to 1200
—	InP/InGaAs(Cs)	Borosilicate	—	300 to 1700	10	1550	1.0	1000 to 1200



# FÇT'NİN KAZANCI

- FÇT'nin kazancı Anot akımının Katot akımına oranıdır.
- Kazanç genellikle dinotların sayına ve karakteristiklerine ve FÇT'ye uygulanan besleme gerilimine bağlıdır.

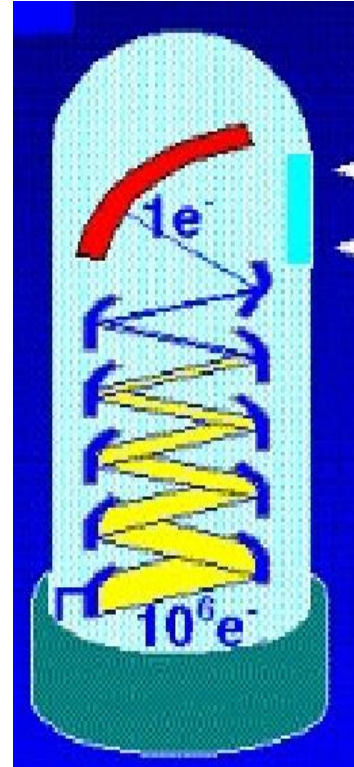
$$G = \frac{I_a}{I_c}$$

$$Kazanç = (\delta)^n = KV^n$$

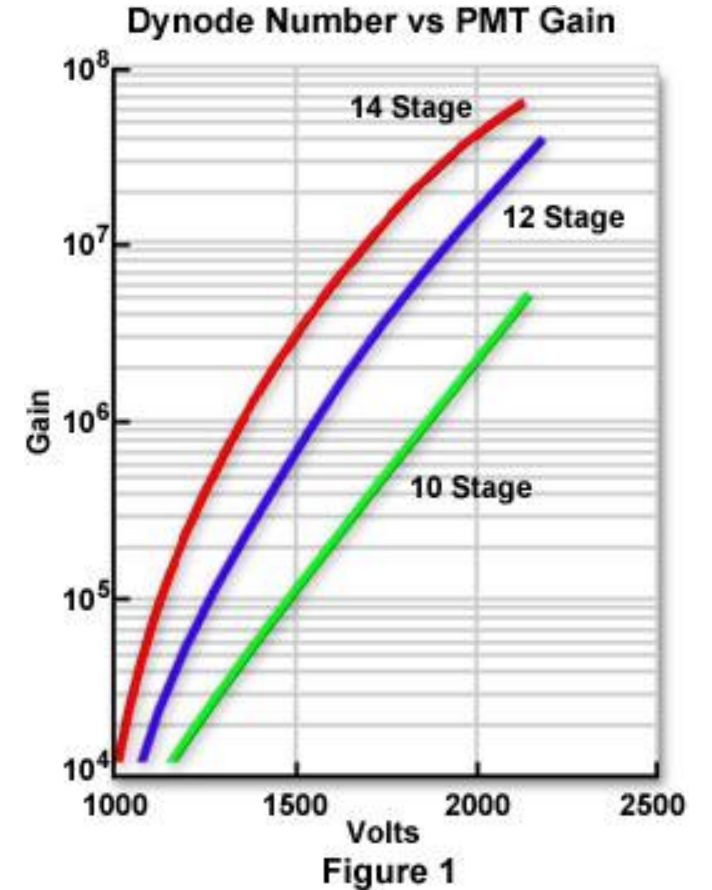
$\delta$  -> İkincil yayınlama faktörü

$n$  -> Dinot Sayısı

$V$  -> Dinotlar arası uygulanan voltaj



**G=10<sup>6</sup>**

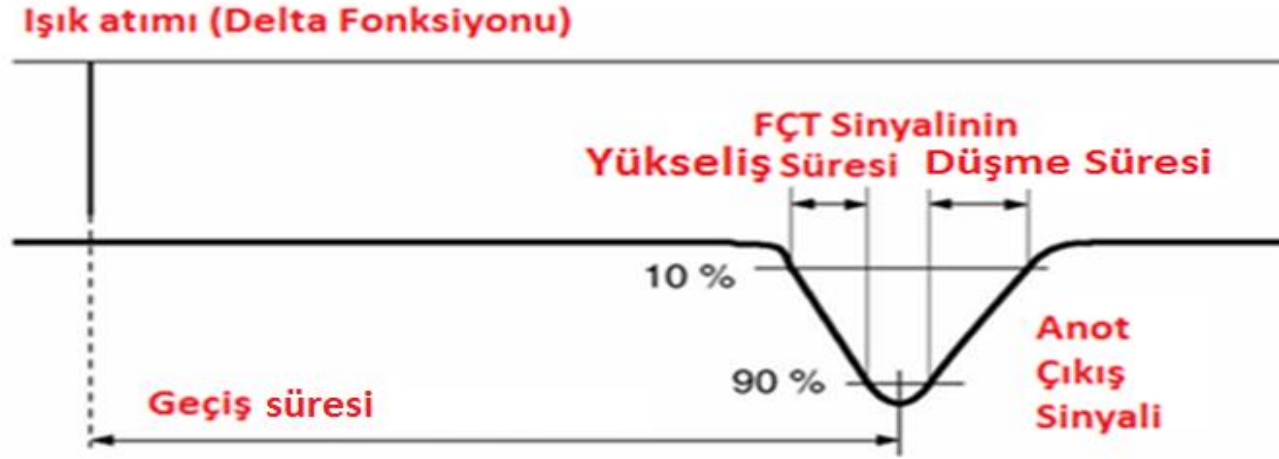


# KARANLIK AKIM

- Bir FÇT ışığa maruz kalmasa da içerisinde oldukça küçük bir akım akar.
- Bu akım karanlık akım olarak (dark current) adlandırılır.
- Bu akımın bir çok kaynağı vardır. Bunlardan bazıları :
  - Foto katottan ve diotlardan termoiyonik yayılım,
  - Sızıntı akımları,
  - Alan yayınlamalı akım (Field emission current) (Yüksek Elektrik alandan kaynaklı)
  - Kozmik ışın veya FÇT'de kullanılan malzemelerde bulunan radyoizotoplardan kaynaklan akım.
  - vs.

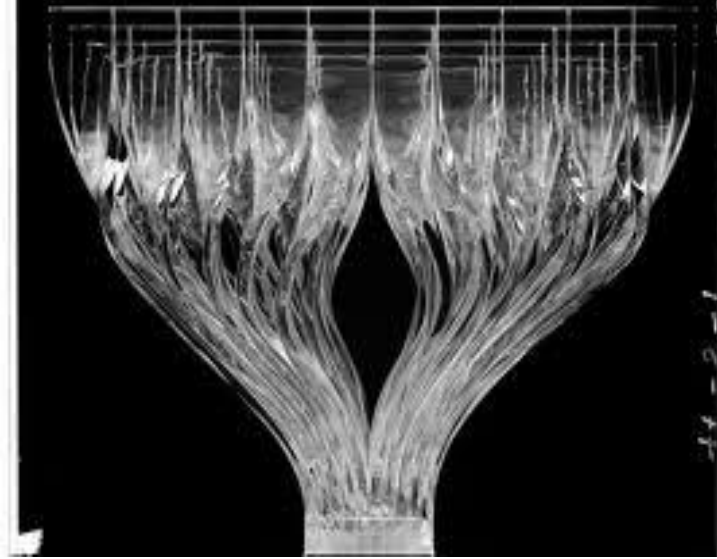
Genellikle bir çok FÇT karanlık akımı en-az olacak şekilde dizayn edilir.

# ZAMAN KARAKTERİSTİKLERİ

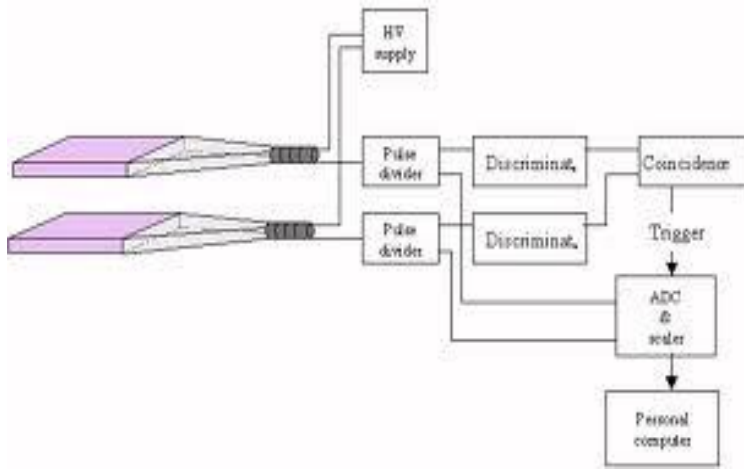


- **Geçiş Süresi (Transit Time)** : Foto-katottan yayınlanan foto-elektronun dinotlar üzerinden anota ulaşması için geçen süre.
- **Yükseliş Süresi ( Rise Time)** : Sinyalin maksimum genliğinin %10'undan %90'nına kadar yükselmesi için geçen süre. Yükseliş süresi sinyalin hızlılığının göstergesidir ve zamanlama uygulamaları için oldukça önemlidir.
- **Düşme Süresi ( Falling Time)** : Sinyalin maksimum genliğinin %90'undan %10'nına kadar düşmesi için geçen süre.
- **Sinyal Geniliği ( Pulse Width )** : Yarı maksimumdaki sinyal genişliğidir.
- Algılama süreçleri için toplam süre = Geçiş Süresi + Sinyal Geniliğidir.

# IŞIK KLAVUZU

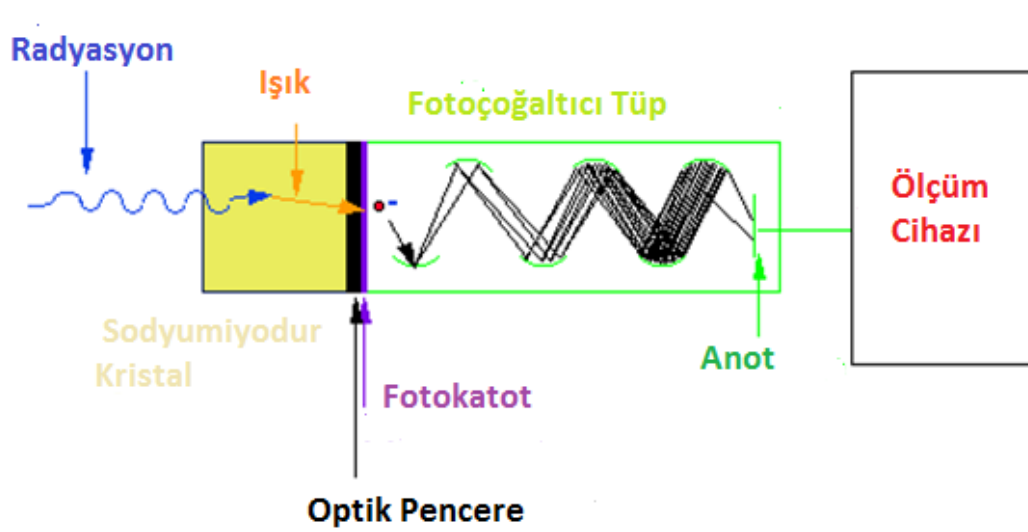


Işık kılavuzları ışığın yönlendirilerek bir yere toplanmasını sağlar.  
Bu yer genellikle ışığın elektriğe çevrileceği foto-algılayıcıdır (FÇT gibi).



Sintilatörlerin deneysel bir uygulaması.  
İki sintilatörden aynı anda bir sinyal algılamak yüklü bir parçacığın geçişini gösterir.

# FÇT'LERİN YEF'TE KULLANIM ALANLARI



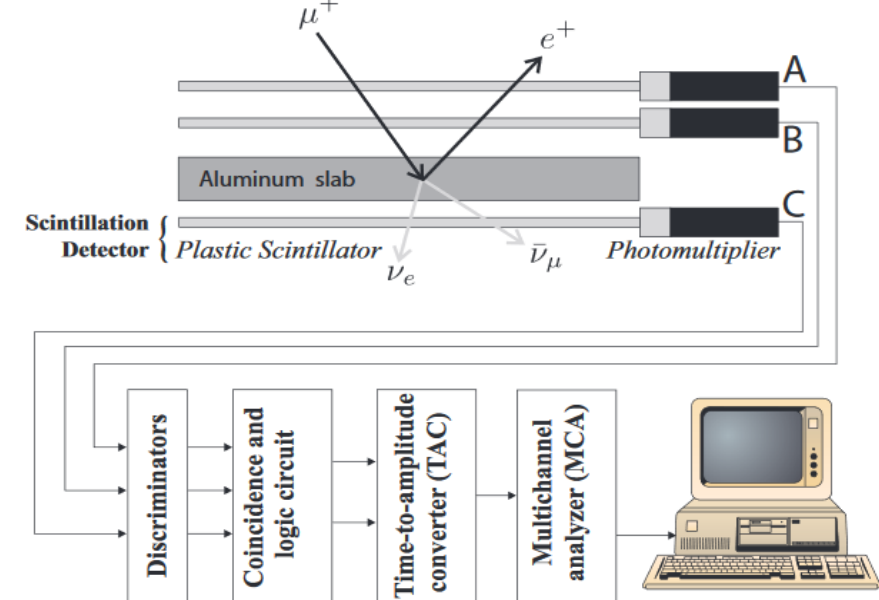
- En tipik uygulaması FÇT'nin bir sintilatöre eşleştirilmiş radyasyon algılayıcısıdır.
- Biraz daha karmaşık uygulama muon sayaçları ve muonların yaşam sürelerinin ölçülmesidir.



## MÜONUN YAŞAM SÜRESİNİN ÖLÇÜMÜ



Bizim Lab.'tan Bir Görüntü.

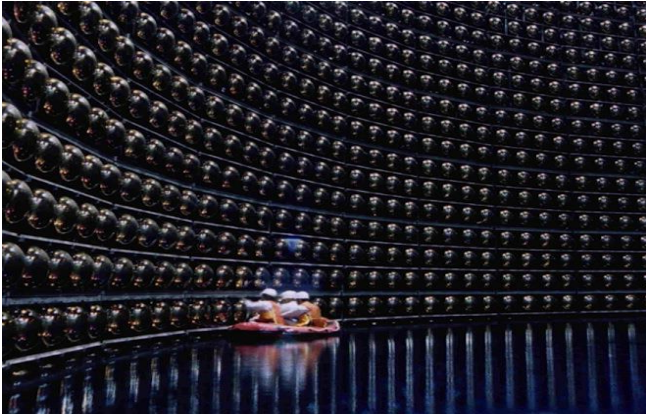


# FÇT'LERİN YEF'TE KULLANIM ALANLARI

## SÜPER KAMİOKANDE

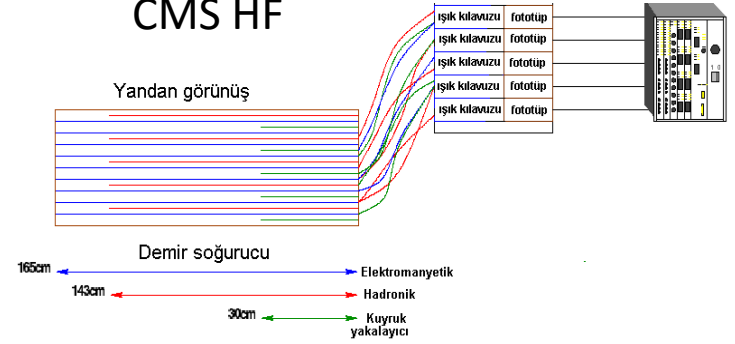


## SÜPER KAMİOKANDE'DE KULLANILAN FÇT'LER



Tavanda 302 ,  
Tabanda 308,  
Yan Duvarlarda  
1275

## CMS HF



R7525



Figure 2. Hamamatsu R7525 – The original HF PMT

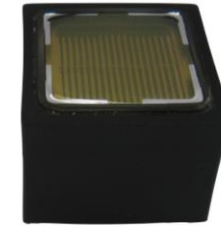


Figure 3. Hamamatsu R7600U-200-M4 – The 4-anode HF PMT replacement.

R7600U-200-M4

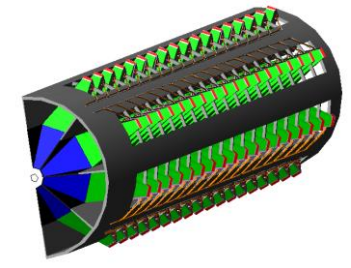
1800 FÇT

# CASTOR

- CASTOR(Centauro And STRange Object Research), CMS'in bir diğerk alt kalorimetresidir.
- Bir örnekleme kalorimetresidir. Tungsten ve kuvarzt plakaların sandaviçlenmesiyle yapılmıştır.
- centauros & stranglets olarak adlandırılan anormal olayları incelemek için CMS'e eklenmiştir.
- CASTOR'da sinyal, kuvars plakalarda üretilen Çerenkov ışımalarının fotonlarından oluşur.
- Bu nedenle CASTOR FÇT'lerinin Kuantum Verimliliklerinin Çerenkov pikinde en fazla olması istenir.

$$\sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV (Pb+Pb)}$$

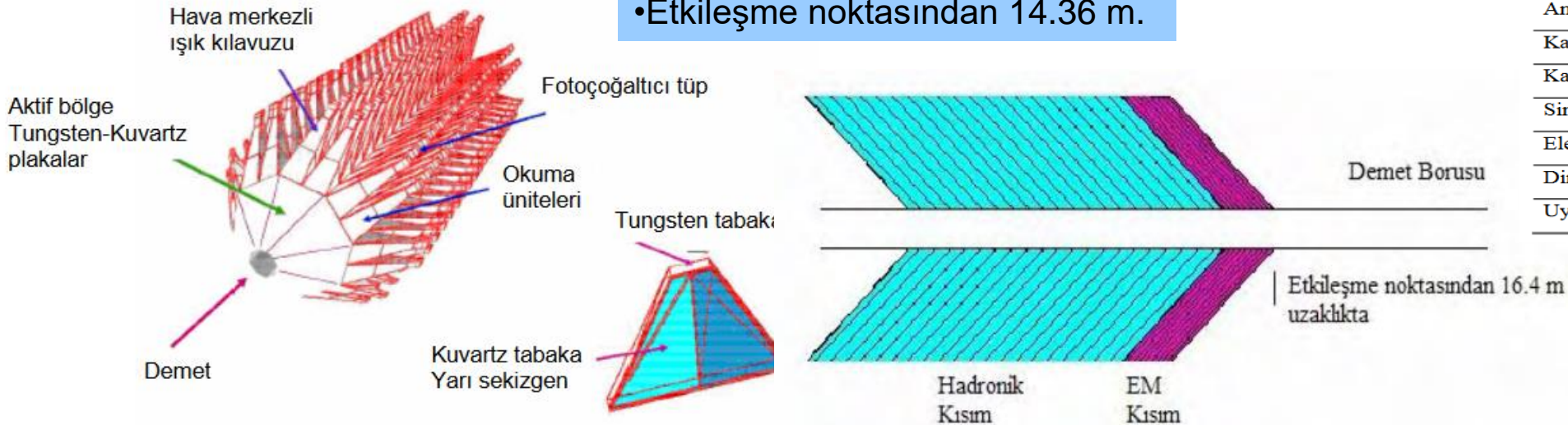
$$5.46 \leq \eta \leq 7.14$$



## CASTOR FÇT'lerinin Özellikleri R5380 Hamamatsu

Üretim Numarası	R5380
Biçimi	Lineer Odaklayıcı
Genişlik	25 mm
Aktif Bölge	22 mm
$\lambda$ (En küçük)	300 nm
$\lambda$ (En büyük)	650 nm
Pik Duyarlılığı ( $\lambda$ )	420 nm
Katot Işınım Duyarlılığı	85 mA/W
Cam Yapısı	Borosilikat
Katot Yapısı	Bialkali
Katot Parlaklık Duyarlılığı	125 $\mu$ A/lm
Anot Parlaklık Duyarlılığı	0,75 A/lm
Kazanç	6000
Karanlık Akım	1 nA
Sinyalin Yükseliş Süresi	1,6 ns
Elektron Geçiş Süresi	12 ns
Dinot Sayısı	6
Uygulanan Voltaj	1000 V

- Azimutal 16 bölüm( $20^\circ$ )
- Boyuna 18 bölüm.
- Etkileşme noktasından 14.36 m.



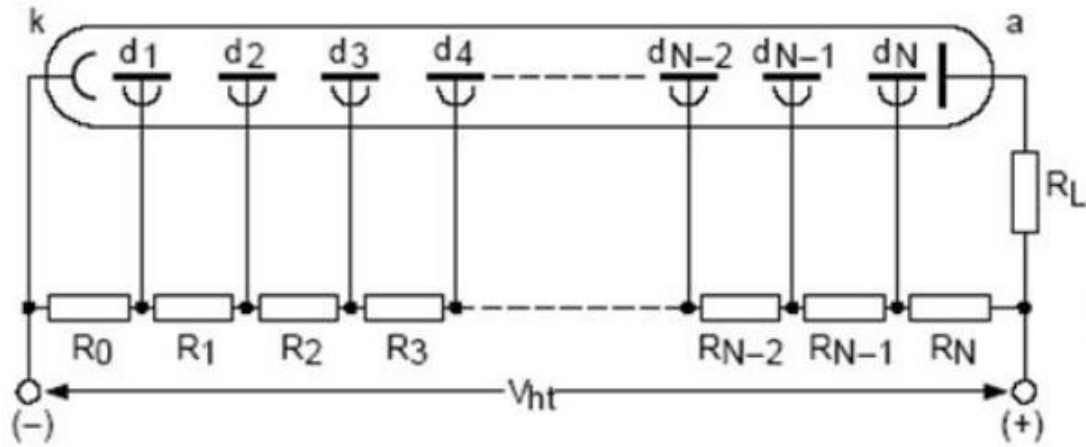
# CASTOR'UN FÇT'LERİNİN TESTLERİ

- Laboratuvarımızda CASTOR'un FÇT'lerinin testleri yapıldı.
- Ayrı zamanlarda 2 farklı modelin testleri yapıldı.
- 1.grupta 34 adet R5380 2.grupta 124 adet ise R7378A modeli test edildi. CASTOR'da şu an R7378A modeli kullanılıyor.
- Her iki model de Hamamatsu'ya ait.

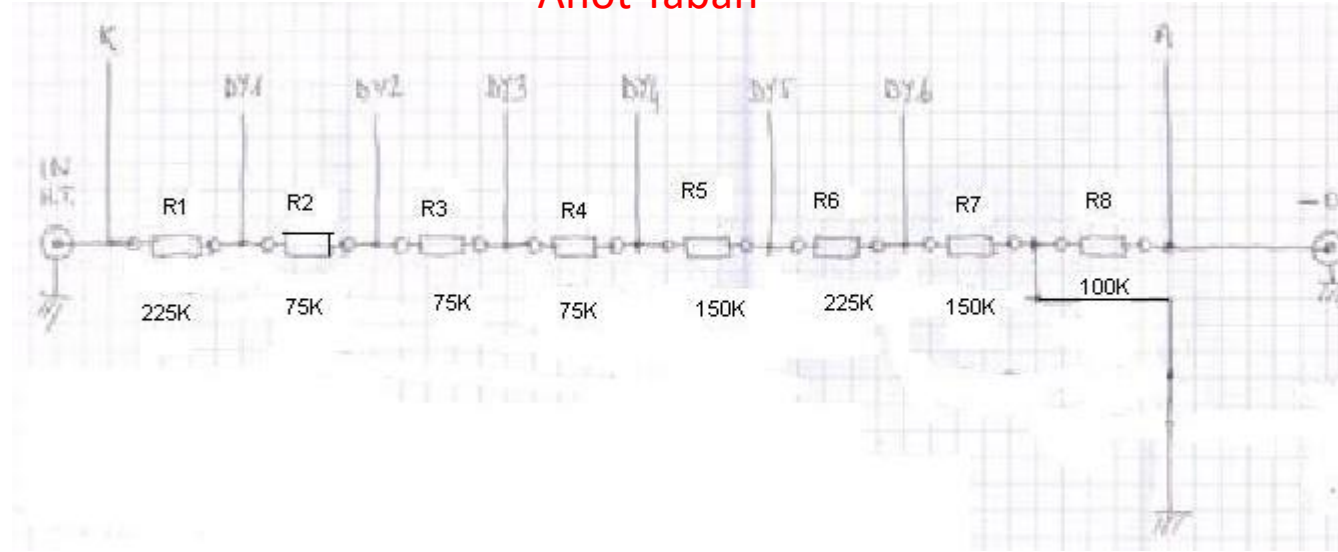




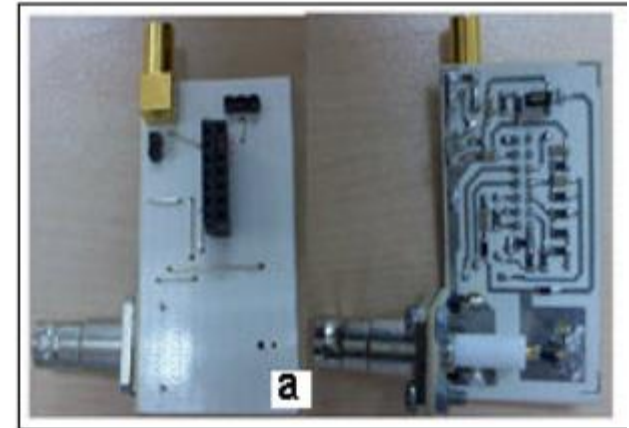
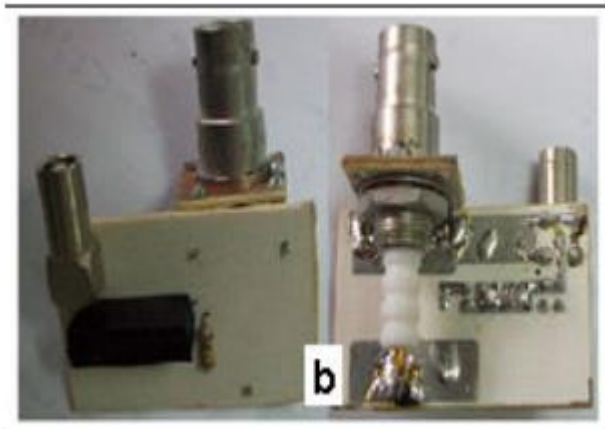
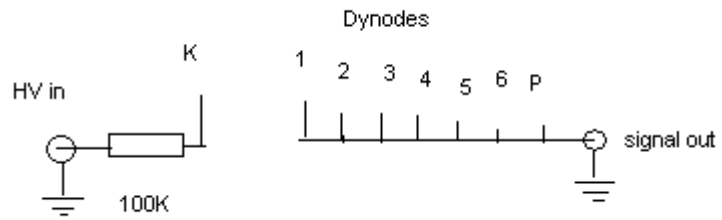
## Genel bir Taban(Base)



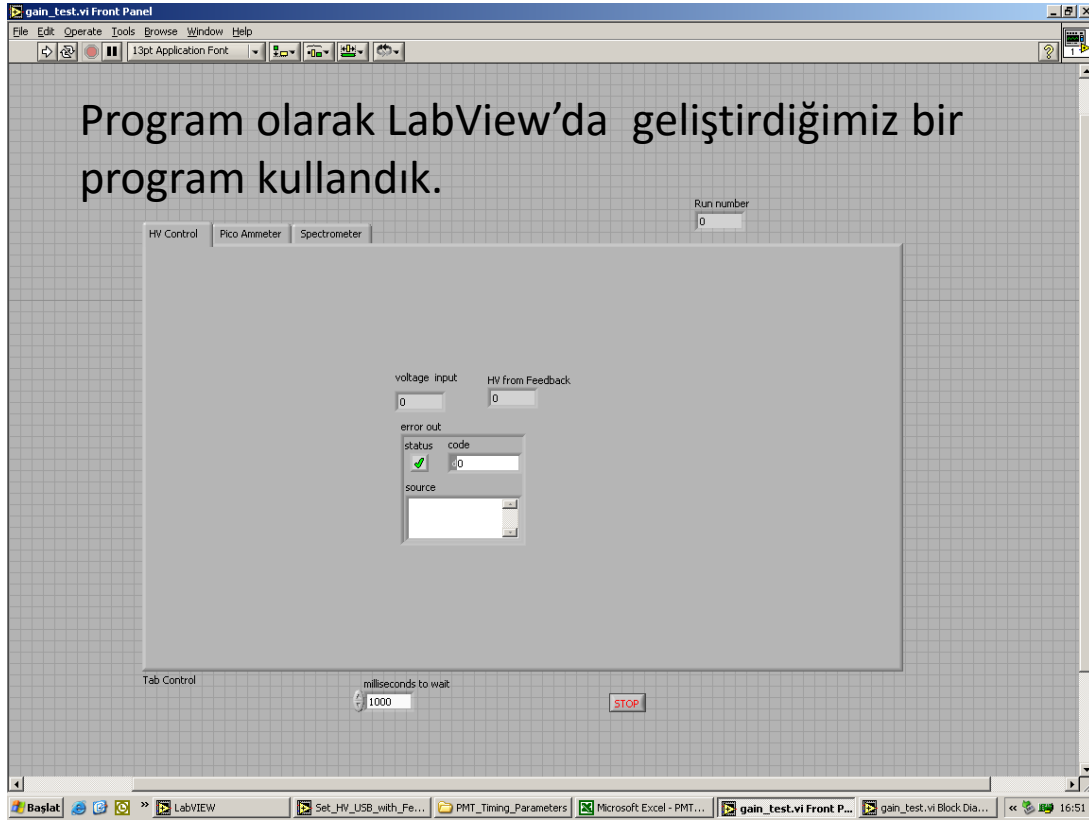
## Anot Taban



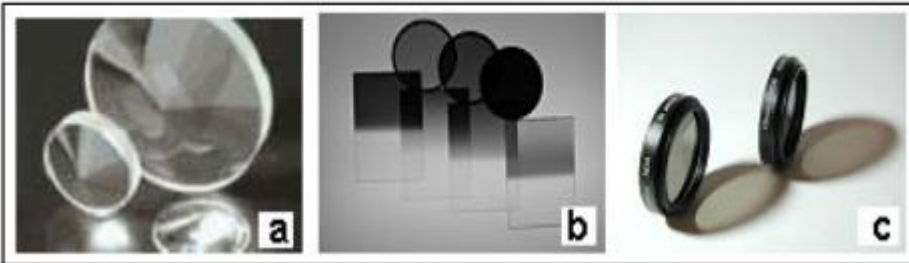
## Katot Taban



# PROGRAM ÖNYÜZÜ VE KULLANILAN CİHAZLAR



## Nötral Yoğunluklu Filtreler



!! Resimler Gerçek Boyutları

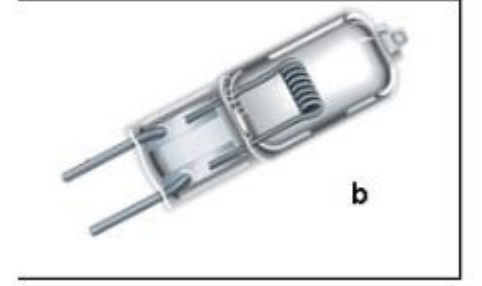
Lazer(337nm)

yansıtılmamaktadır.

Tungsten Lamba



NI'nın DIO&ADC



Pico Ampermetre



Düşük Voltaj Güç Kaynağı



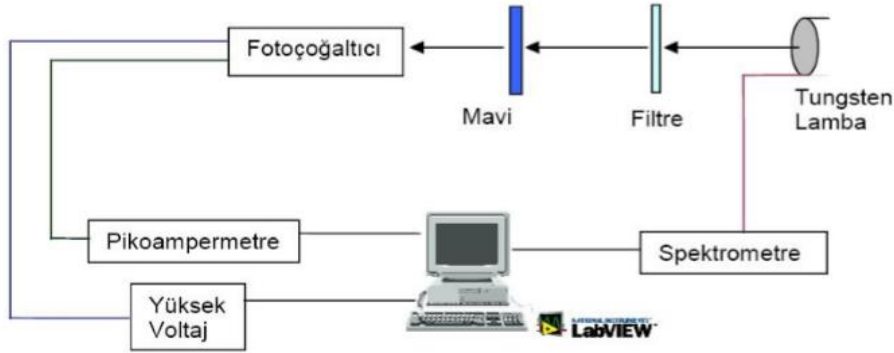
Yüksek Voltaj Güç Kaynağı



# KAZANÇ VE KARANLIK AKIMIN ÖLÇÜLMESİ

## • Üç değişik akım ölçüldü:

- Karanlık Akım
- Katod Akımı
- Anot Akımı



## ANOT AKIMI ÖLÇÜMÜ

- Halojen lamba yakılır.
- Nötral yoğunluklu filtre(NYF) ile akım FÇT'ye zarar vermeyecek düzeye ayarlanır.
- FTÇ'ye uygulanan besleme gerilimi artırılarak PAM ile akım gerilimin fonksiyonu olarak ölçülür.

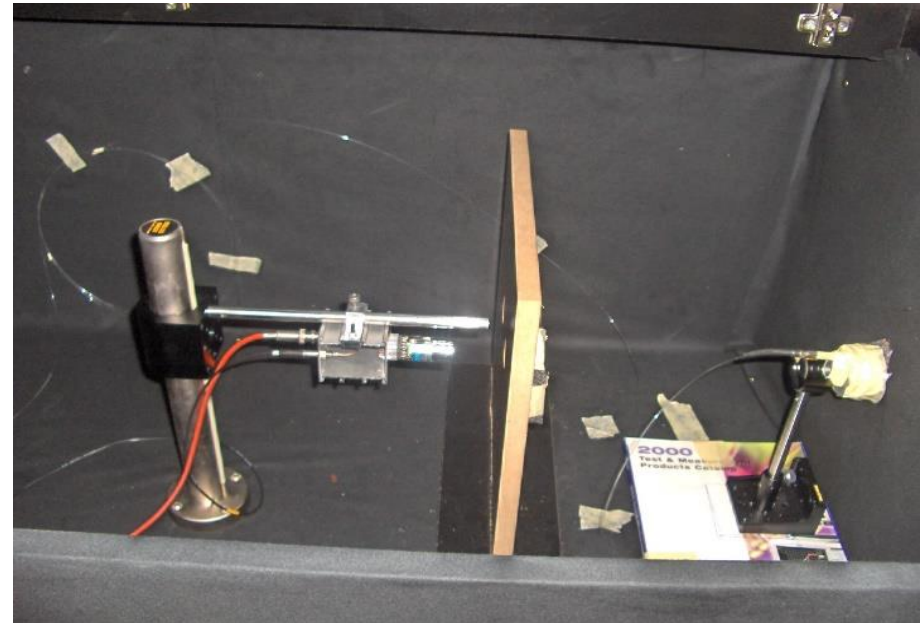
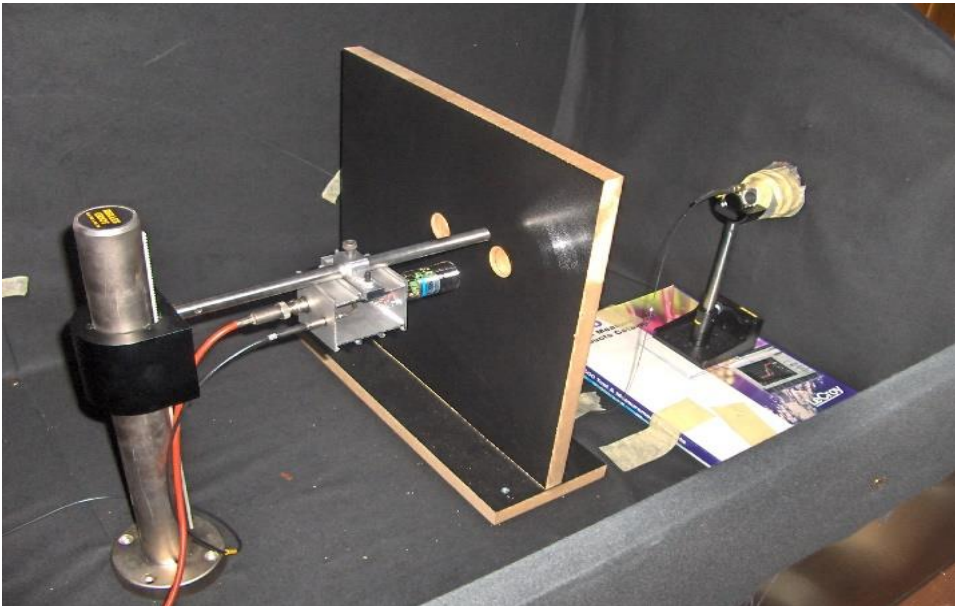
## KARANLIK AKIMIN ÖLÇÜMÜ

- Karanlık akım ölçülürken halojen lamba söndürülür.
- FÇT'ye besleme gerilimi uygulanır.
- Bir pikoampermetre(PAM) ile FÇT'den geçen akım ölçülür.
- FTÇ'ye uygulanan besleme gerilimi artırılarak akım gerilimin fonksiyonu olarak ölçülür.
- Katot karanlık akımı oldukça düşük olduğu için sadece anot karanlık akımı ölçüldü.

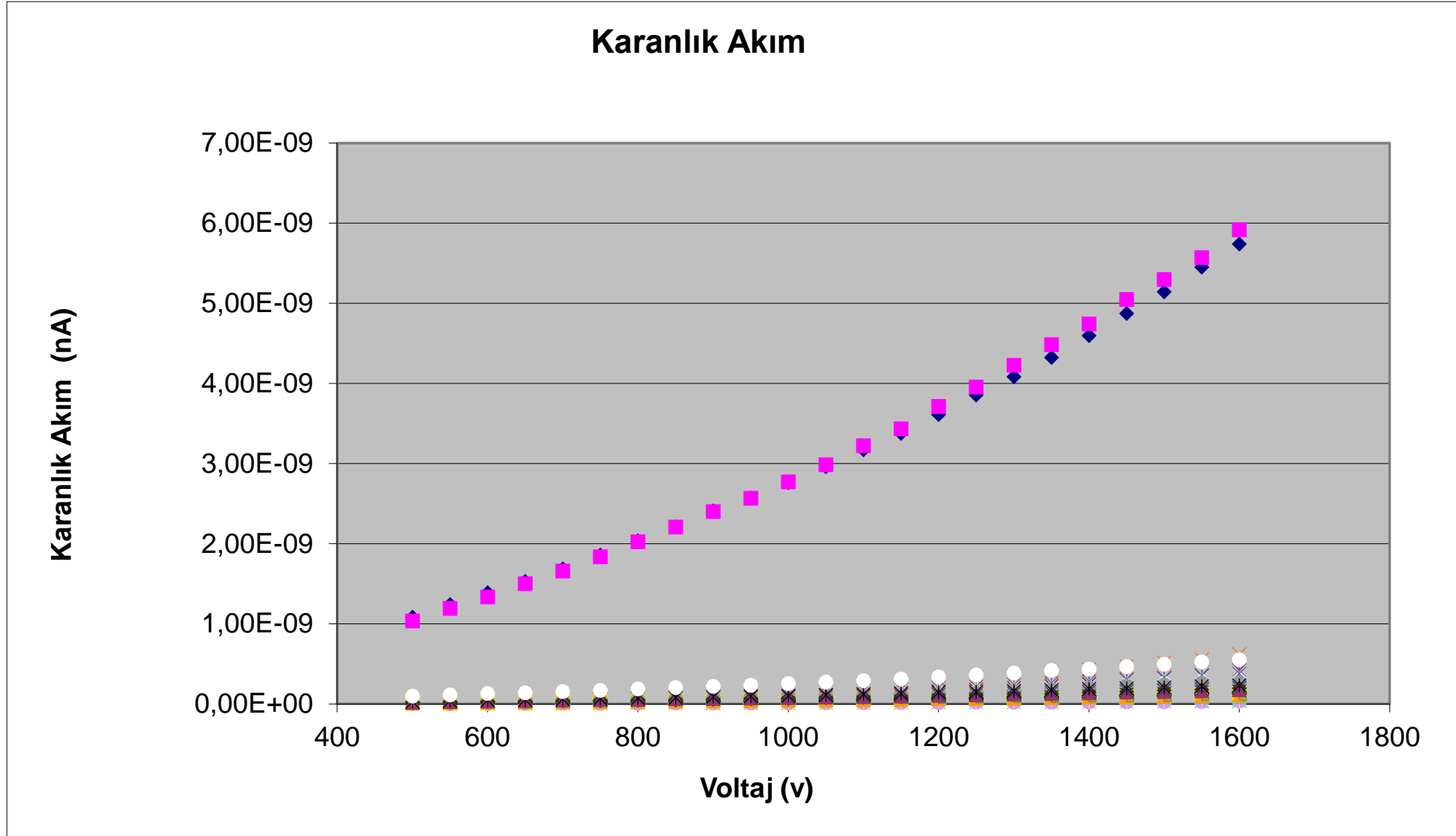
## KATOT AKIMI ÖLÇÜMÜ

- Halojen lamba yakılır.
- Katot akımı oldukça düşük olduğu için NYF çıkarılır.
- FTÇ'ye uygulanan besleme gerilimi artırılarak PAM ile akım-gerilimin fonksiyonu olarak ölçülür. Katoda uygulanan gerilim anota uygulananından farklıdır.
- Anot ve Katot akımı ölçülürken farklı tabanlar (base) kullanılır.

# AKIM VE KAZANÇ ÖLÇÜM DÜZENLEĞİ

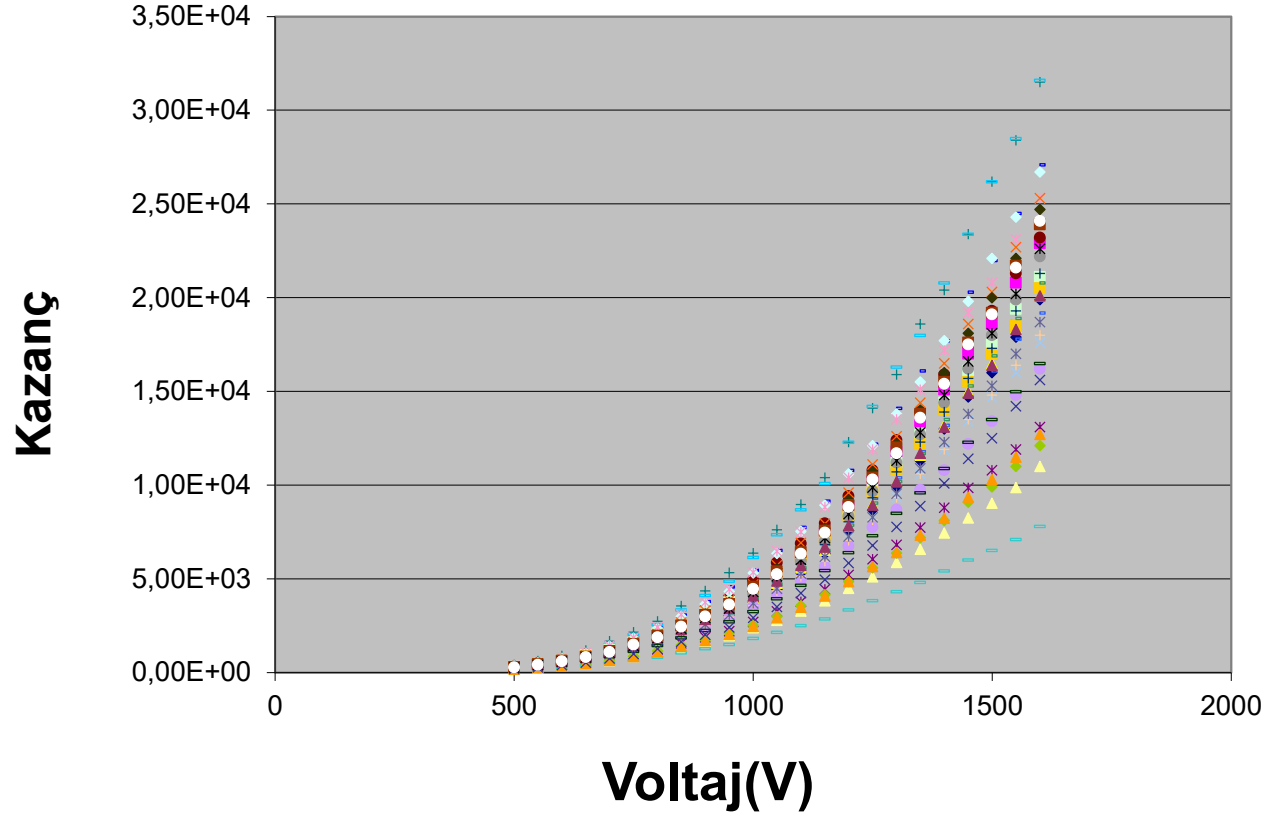


# ANOT'UN KARANLIK AKIMI



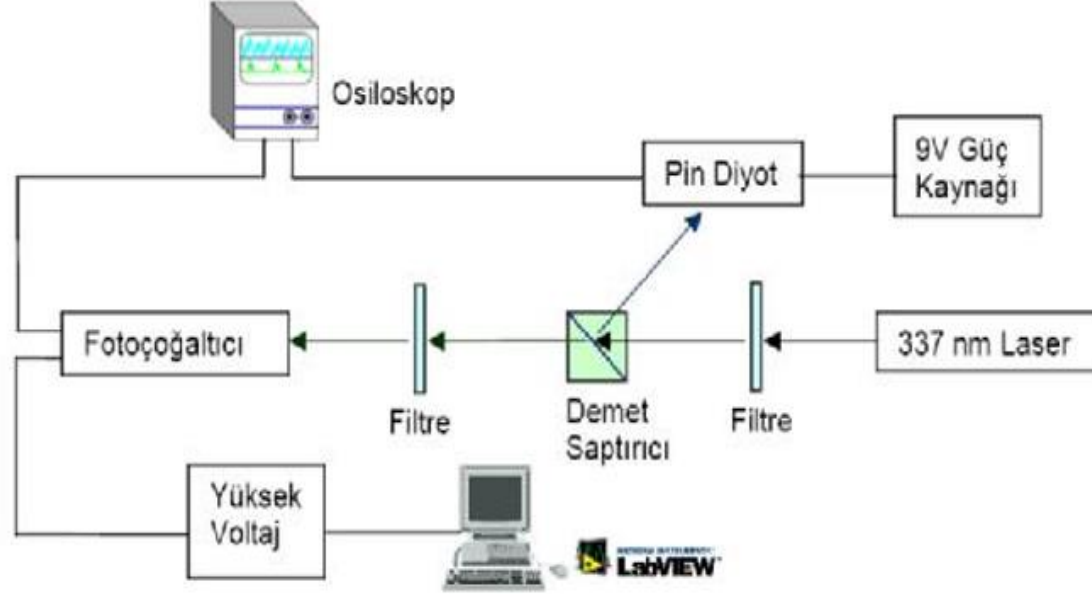
# KAZANÇ

## FÇT\_Kazanç



- $Kazanç = F_d * I_A / I_K$
- Burada  $F_d$  filtre düzeltmesidir.
- Katot akımı filtre ile ölçüldüğünden ölçülmesi gerekenden büyük olarak ölçülür.
- Dolayısıyla filtre düzeltmesi yapmak gerekir.

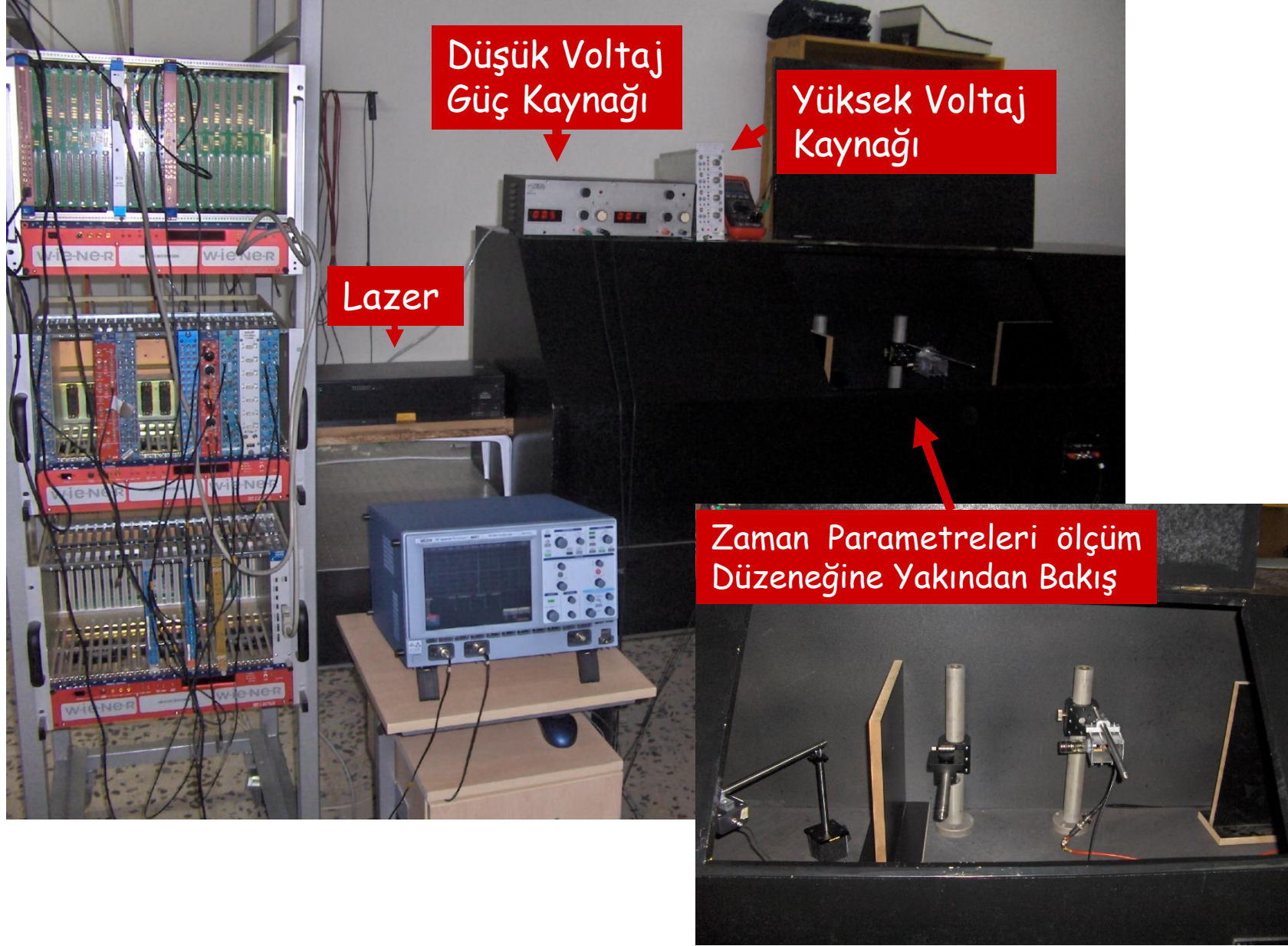
# ZAMAN PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜLMESİ



- Zaman parametreleri diğer bir karanlık kutu kullanılarak ölçüldü.
- Işık kaynağı olarak 337nm'lik birkaç ns'lik yükselme zamanına sahip atım üreten Lazer kullanıldı.
- Ölçümler 500 Mhz Dijital Osilaskop(OSK) kullanılarak yapıldı.

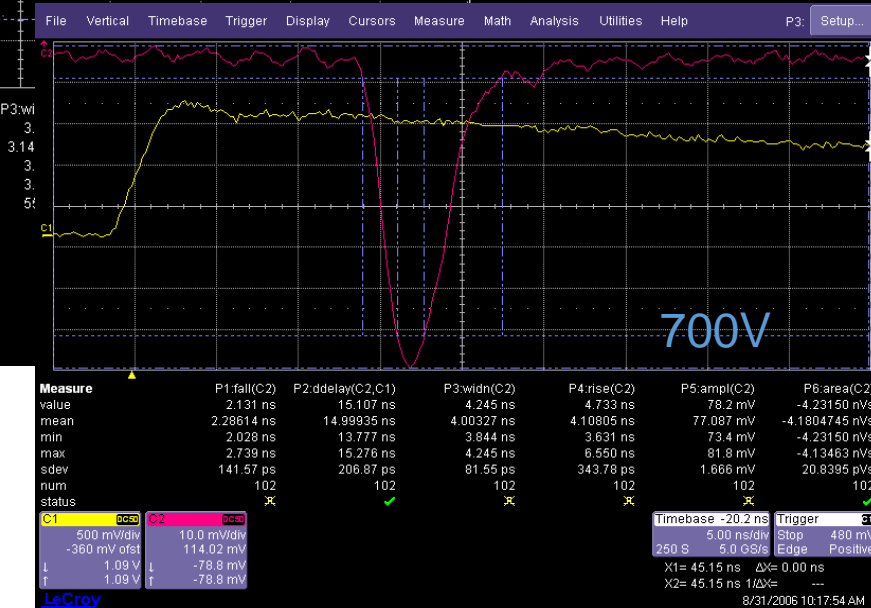
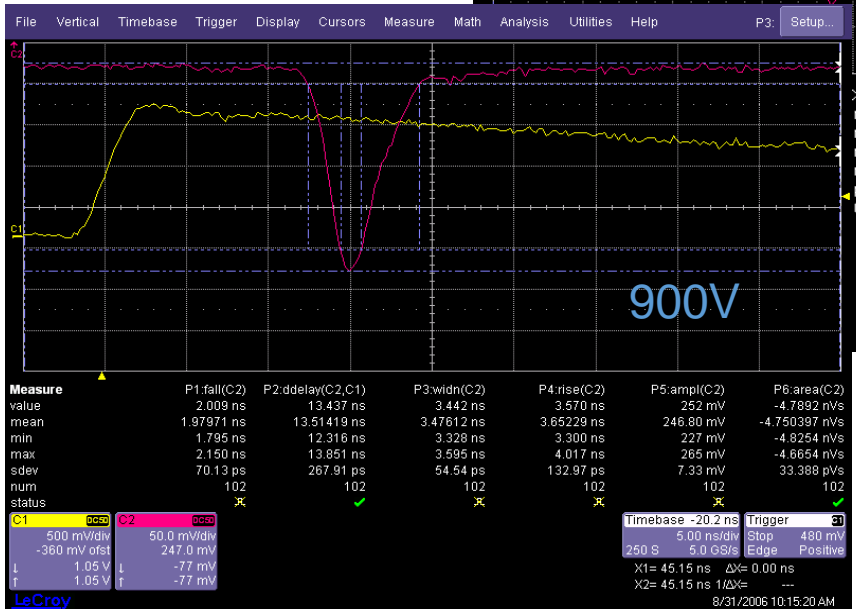
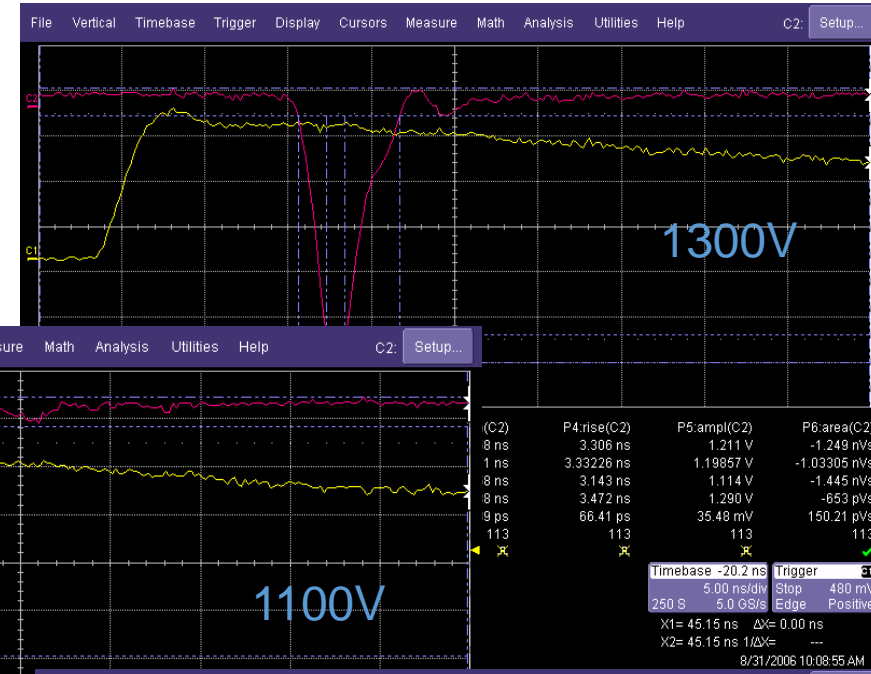
- Lazer atımı ışığı iki kola ayıran demet ayırıcıya gönderilir.
- Işıklardan biri FÇT'ye diğeri ise referans olarak kullanılan bir PIN diyota gider.
- PMT sinyalinin zaman parametreleri 100 ölçümün ortalaması alınarak OSK'ya kaydedilir.
- Bu işlem gerilimin istenilen aralıkta(700-1600V) basmak olarak arttırılmasıyla(100V) devam ettirilir.

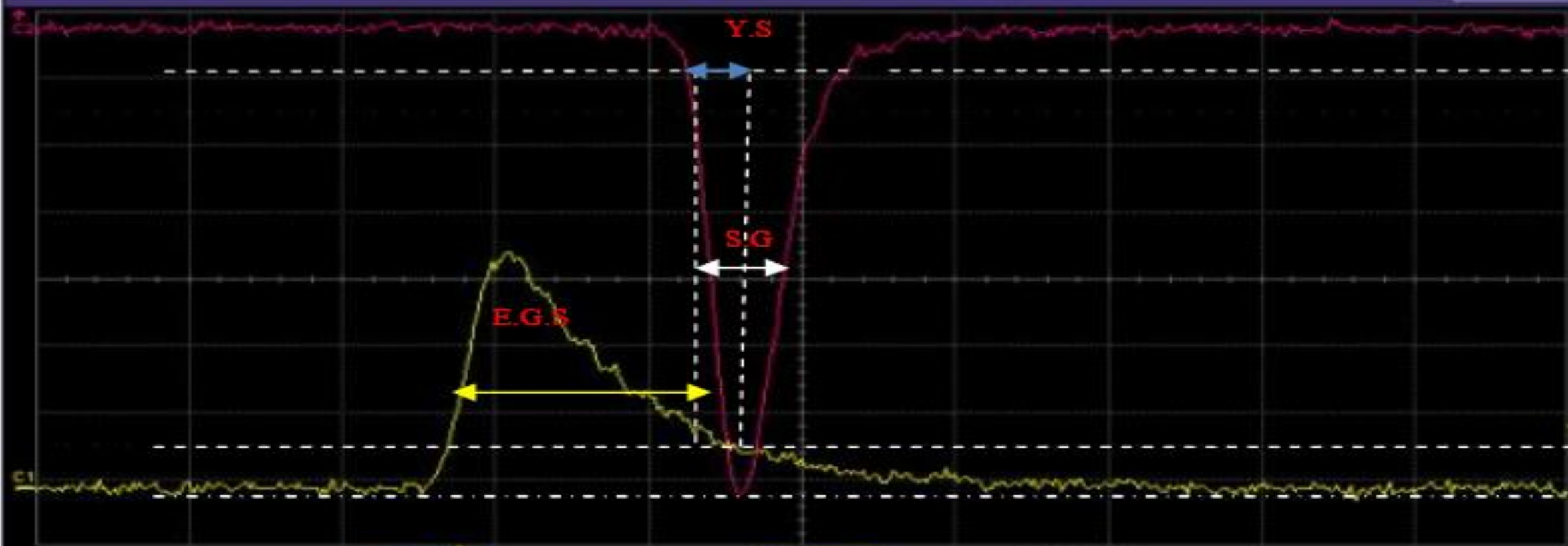
# ZAMAN PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜLMESİ





# SİNYAL ŞEKİLLERİ



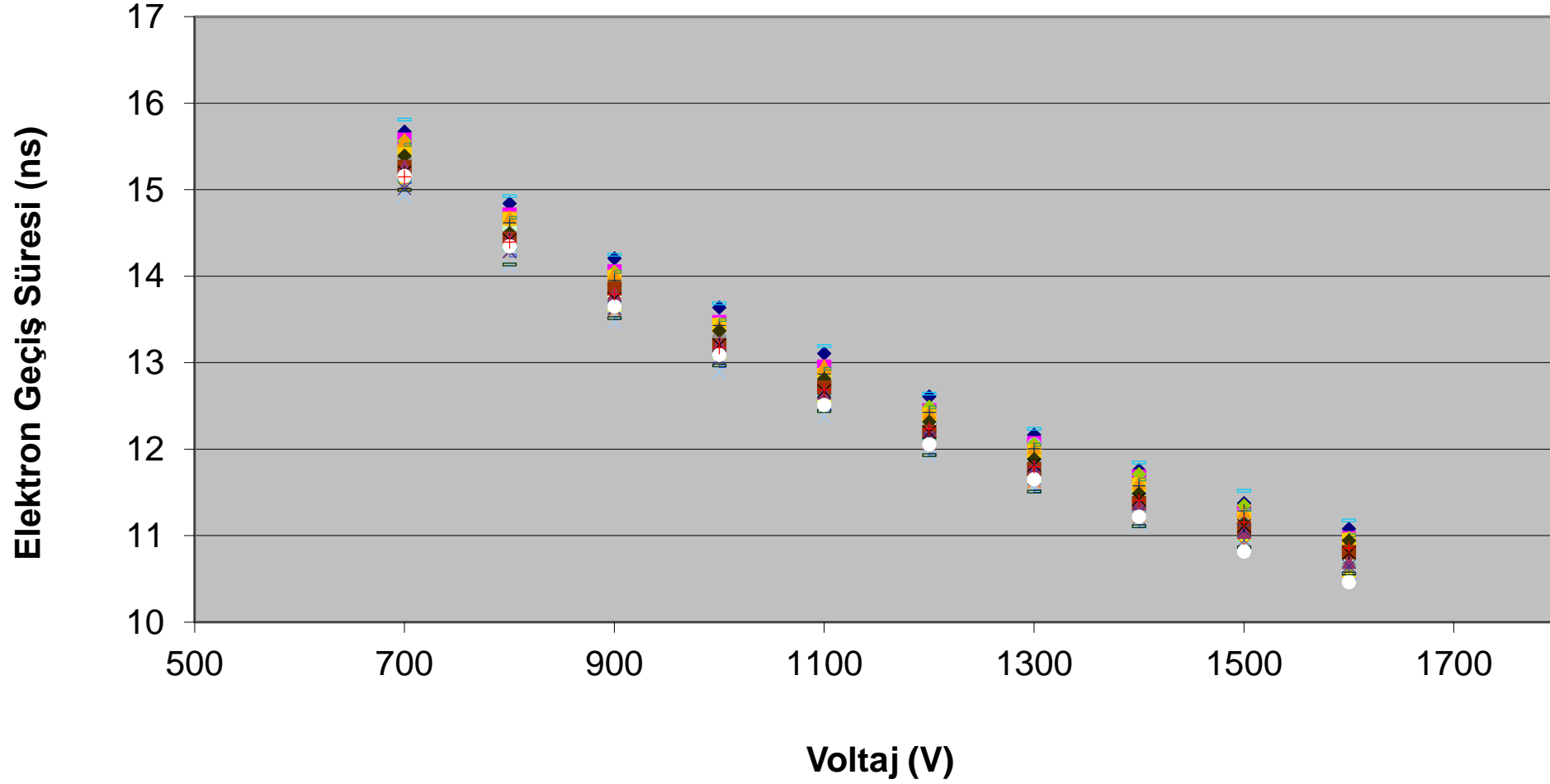


Measure	P1:fall(C2)	P2:rise(C2)	P3:ddelay(C2,C1)	P4:widn(C2)	P5:ampl(C2)	P6:area(C2)
value	2.527 ns	5.704 ns	15.891 ns	5.201 ns	133.02 mV	-3.8752 nVs
mean	2.74642 ns	6.05553 ns	15.86588 ns	5.16802 ns	149.394 mV	-3.917199 nVs
min	2.527 ns	5.306 ns	15.659 ns	4.899 ns	118.4 mV	-4.0686 nVs
max	2.997 ns	6.513 ns	16.114 ns	5.425 ns	175.0 mV	-3.7180 nVs
sdev	102.30 ps	243.16 ps	90.97 ps	108.82 ps	10.828 mV	65.245 pVs
num	100	100	100	100	100	100
status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

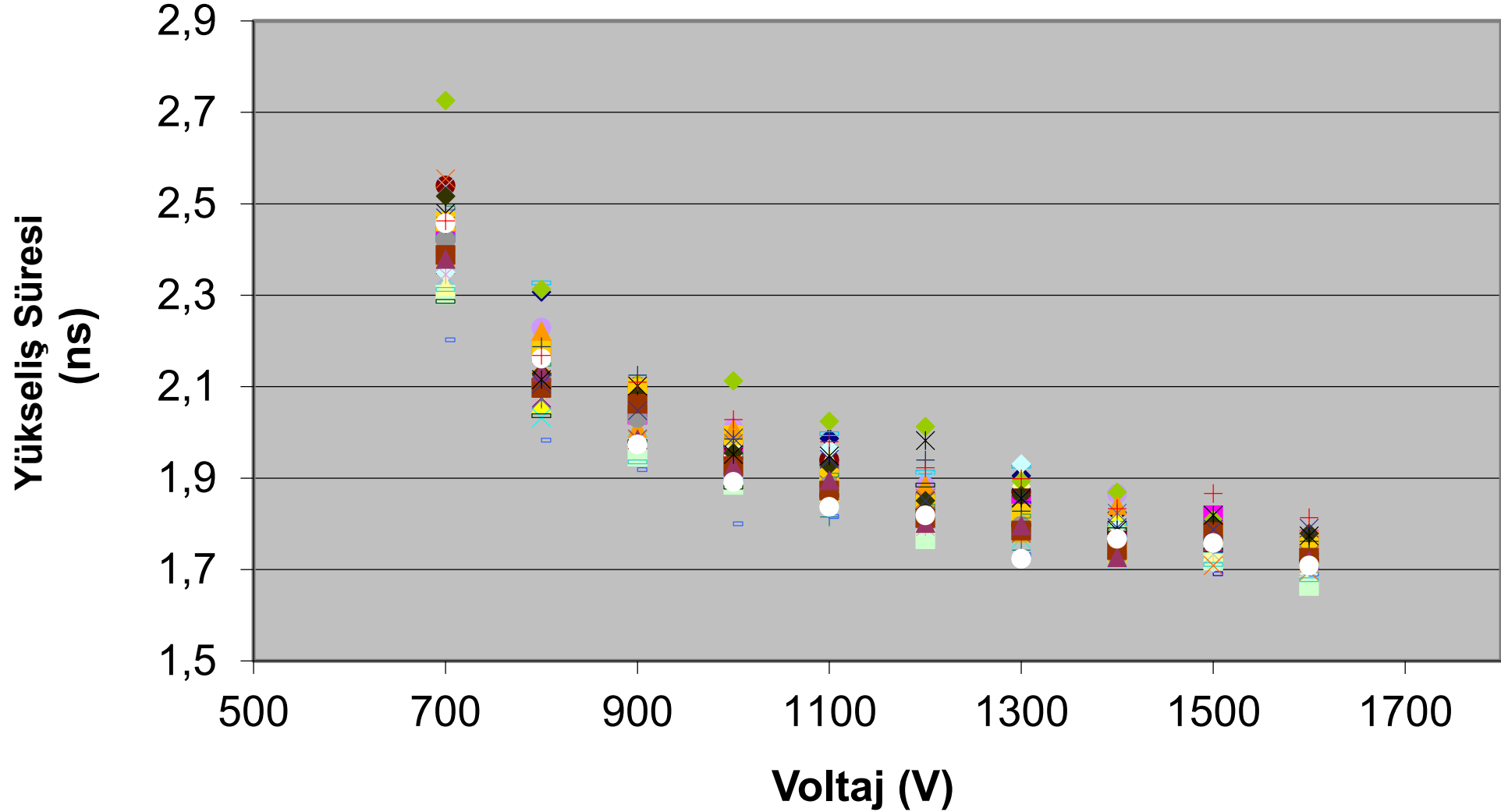
**C1** DC50 100 mV/div -313.8 mV  
**C2** DC50 20.0 mV/div 105.98 mV

Timebase -22.4 ns 10.0 ns/div 500 S 5.0 GS/s  
 Trigger Stop 92 mV Edge Positive

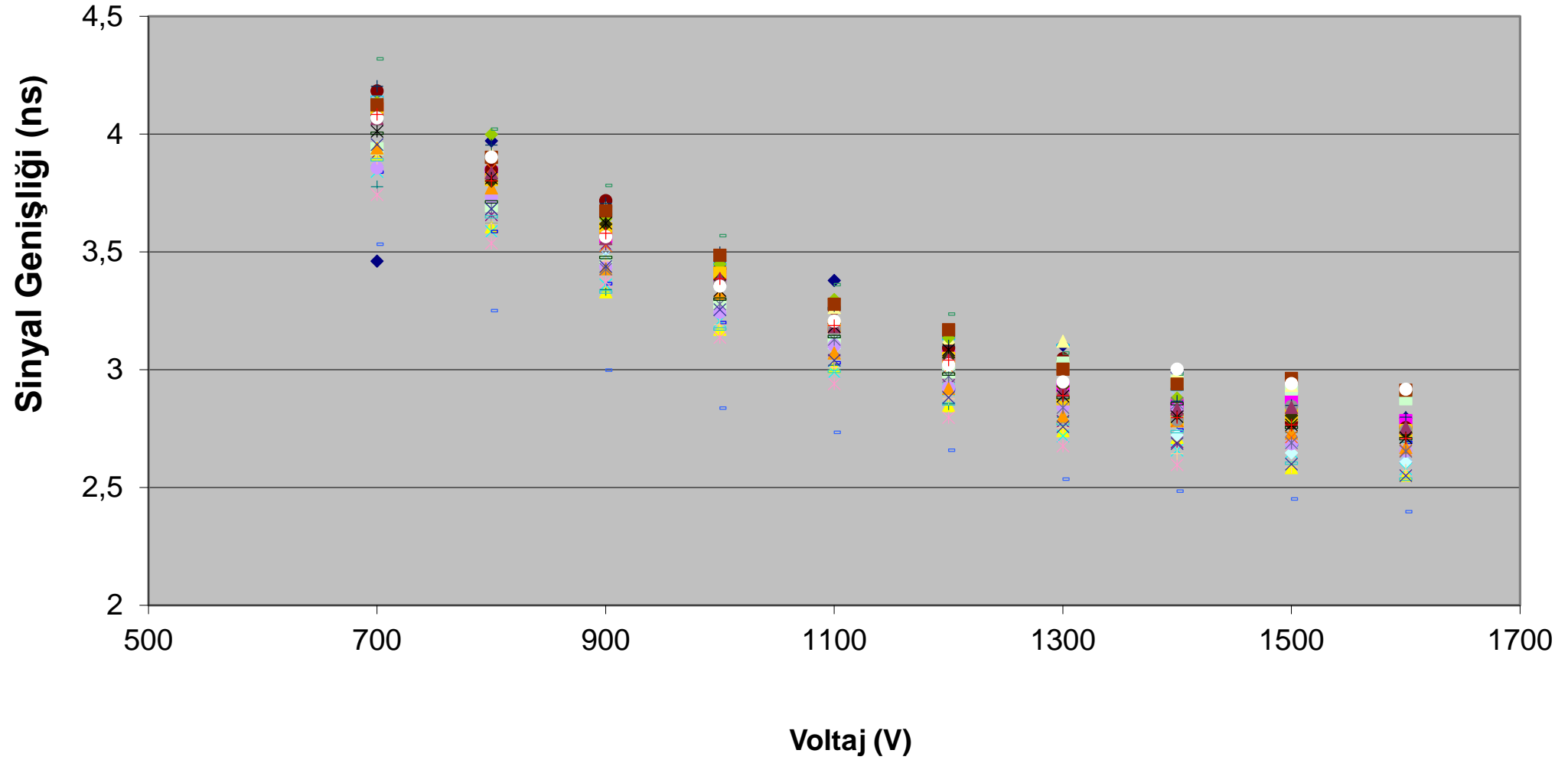
# Elektron Geçiş Süresi



# Sinyalin Yükseliş Süresi



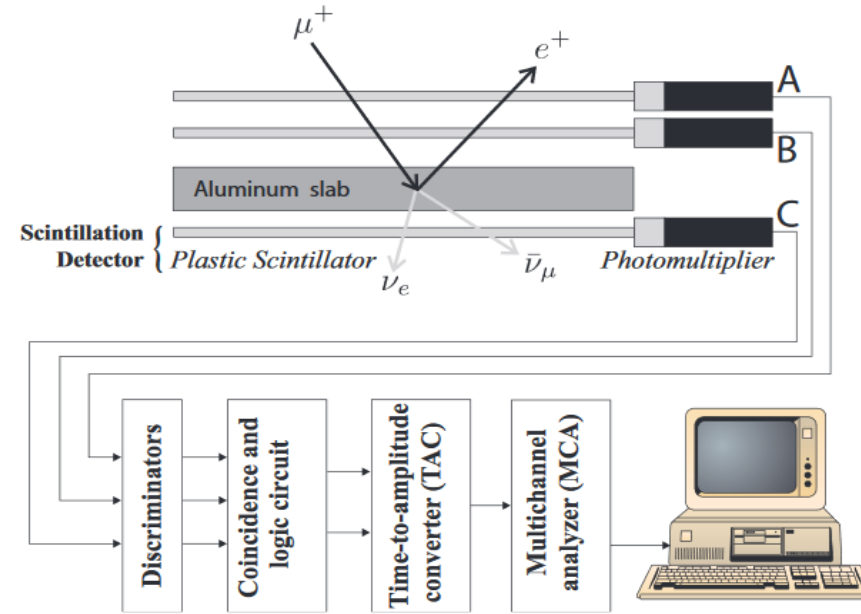
# Sinyal Genişliği



# TEŞEKKÜR

- Burada bu ölçümleri yapabilmek için deneyimlerinden epeyce yararlandığımız ve desteklerini esirgemeyen Iowa grubuna ve özellikle de Prof.Dr. Yaşar Önel çok teşekkür ederiz.

# MUON TELESKOPUMUZ



# MUON TELESKOPUMUZ

- Laboratuvarımızda bir de muon ölçüm düzeneğimiz var.
- CERN'den getirdiğimiz eski kullanılmayan sintilatörlerden (Chorus'tan sökülen) ve yine eski deneylerden bulduğumuz FÇT'lerden yaptık.
- Üç tane muon sayacından oluşuyor.
- Araştırma amaçlı olmasa da eğitim amaçlı kullanmaya çalıştığımız bir sistem.



# KISACA DİĞER DENEYİMLERİMİZ

## ALGILAYICI

- HF Kalorimetresinin Liflerinin (fiber) Radyasyon Dayanıklılığı Testleri.
- HF'in çevrimiçi (Online) radyasyon hasarı tespit sisteminin geliştirilmesi, kurulması, veri analizi.
- HF ve CASTOR'un yapım aşamalarının tümüne katkı.
- HF ve CASTOR'un demet test ve analizlerine katkı.
- HF'de FÇT'lere çarpıp anormal vuruş(hit) oluşturan muonların belirlenmesi.
- Çevrimdışı (Offline) Veri Kalite İzleme (DQM offline) ve Derhal Geri Bildirim (Prompt Feedback) analizleri.
- HCAL sisteminin LED ve Fizik Verileriyle kalibrasyonu.
- HCAL sisteminin sinyal kaidesinin (pedestal) izlenmesi.
- HF'in Elektronik Kartlarının Testi.

# KISACA DİĞER DENEYİMLERİMİZ

## FİZİK

- Monojet Olaylarında Karanlık Madde Araştırılması.
- İki Jet Rezonansında Yeni Parçacık Araştırmaları.
- B-Fiziği.
- Jet Şekillerinin İncelenmesi.
- İleri bölge fiziği (Low x physics)

# NELERİMİZ VAR

## LABORATUVARIMIZDAKİ ELEKTRONİK EKİPMANLAR

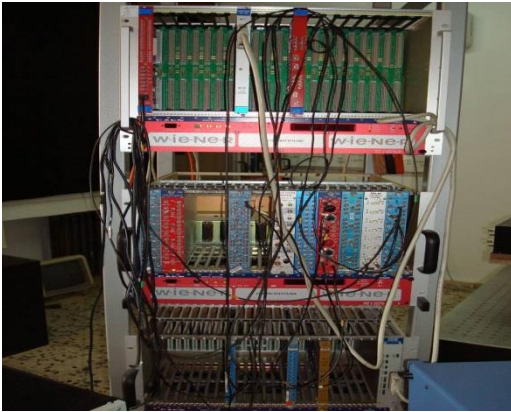


GENEL GÖRÜNÜM

- VME, NIM ve CAMAC CRATE
- CAMAC ADÇ
- ÇAKIŞMA ÖLÇÜCÜLER (COINCIDENCE UNİTS)
- SİNYAL ÇOKLAYICILAR (FAN-IN-OUT)
- SAYAÇLAR (SCALER)
- DÜZEY AYARLAYICILAR (LEVEL ADAPTOR)
- SİNYAL KIRPICILAR(DISCRIMINATOR)
- YÜKSEK VE DÜŞÜK VOLTAJ KAYNAKLARI
- İKİLİ ZAMANLAYICI (DUAL TİMER)



GENEL GÖRÜNÜM



ELEKTRONİK EKİPMANLARDAN  
GENEL BİR GÖRÜNTÜ



Spectra Physics  
Nitrojen laser (337nm)



500 Mhz LeCroy  
Osilaskop



SİNTİLATÖRLER



Keithley Picoampermetre  
Model 6485

# SORUNLAR VE GÜÇLÜKLER

## BİZE ÖZEL

- Laboratuvar çalışmaları için yeterli maddi destek bulamamak. Bu nedenle sistemi tam otomatik yapamadık.
- Deneyimli eleman bulma veya istihdam etme ve deneyim kazananları grupta tutma sıkıntısı.
- Teknik personel yetersizliği. Dolayısıyla her şeyden anlamak zorunda kalmak.
- CASTOR FÇT'lerinin CERN'den buraya, buradan tekrar CERN'e gönderilmesinde yaşanan *Gümrük Formalitelerinin* zorluğu.
- TAEK projelerinde yukarıdaki problemleri çözecek tarz kalemlerin desteklenmemesi ve TÜBİTAK'ın desteklerinin (panel sisteminin) de bu işlere çok uygun olmaması.
- Doğrudan alım yapamadığımız için aracı firmalarla çalışmanın maliyeti arttırması.
- Diğer gruplarla yeterli iletişim içinde olamamak.

## GENEL

- Ülkemizde bu tür çalışmaların henüz emekleme aşamasında olması.
- YEF için algılayıcı geliştirilecekse demet testleri için ülkemizde yüksek enerjili hızlandırıcıların yokluğu.
- Radyoaktif kaynaklar, kozmik ışınlarla, terapi amaçlı kullanılan lineer elektron hızlandırıcılarıyla, TAEK'teki proton hızlandırıcısıyla ve araştırma amaçlı reaktörlerle belki küçük ölçekli testler halledilebilir!?
- Ülke dışındaki hızlandırıcılardan demet testleri için zaman alınması, algılayıcıların nakli, maliyet ve zaman açısından pratik olur mu!?
- vs.

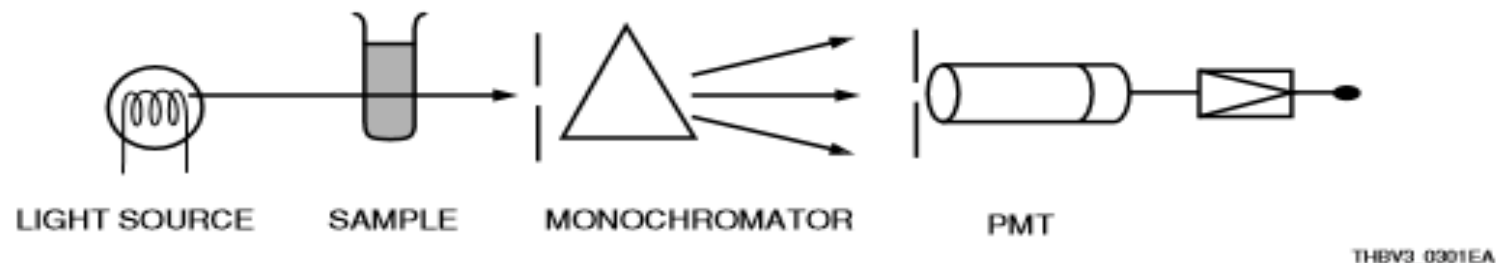
# KAYNAKLAR

- <http://library.cu.edu.tr/tezler/7525.pdf>
- <http://library.cu.edu.tr/tezler/7814.pdf>
- <http://library.cu.edu.tr/tezler/6427.pdf>
- <http://library.cu.edu.tr/tezler/6878.pdf>
- <http://hamamatsu.magnet.fsu.edu/articles/photomultipliers.html>
- <http://ir.uiowa.edu/etd/122/>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Photocathode>
- **Leo, William R., Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, A How-to Approach, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994.**

# Anot&Dinot

- Bir foto-çoğaltıcı tüpün elektrot yapısı ve potansiyel dağılımı optimum performansı sağlayacak şekilde üretilir. Dinotlar için ikincil yayınım materyalleri olarak Antimon, berilyum oksit (Be-O), magnezyum-oksit(Mg-O), galyum-fosfat (Ga-P), galyum-arsenik fosfat kullanılır. Bu materyaller bakır, berilyum ya da paslanmaz  elik, nikel'den yapılan bir alt katmanın üstünü kaplamak için kullanılır.
- Anot ya da toplayıcı, son dinota çok yakın olarak ızgara şeklinde yerleştirilir. Böylece son dinota yakın olan dinotlardan yayınlanan elektronlar anotun içerisinden geçip giderler ve sadece son dinottan yayınlanan ikincil elektronlar toplanır. Bu düzenleme son dinot ve anot arasında yüksek bir elektrik alan oluşmasına olanak sağlar ve boşluk yüklerinin etkisini azaltılır. Ayrıca son dinot, toplayıcı çevresinde kısmen bir elektrostatik ekran formundadır.

### 3.1.1 How to make the proper selection



**Figure 3-1: Atomic absorption application**

Figure 3-1 shows an application example in which a photomultiplier tube is used in absorption spectroscopy. The following parameters should be taken into account when making a selection.

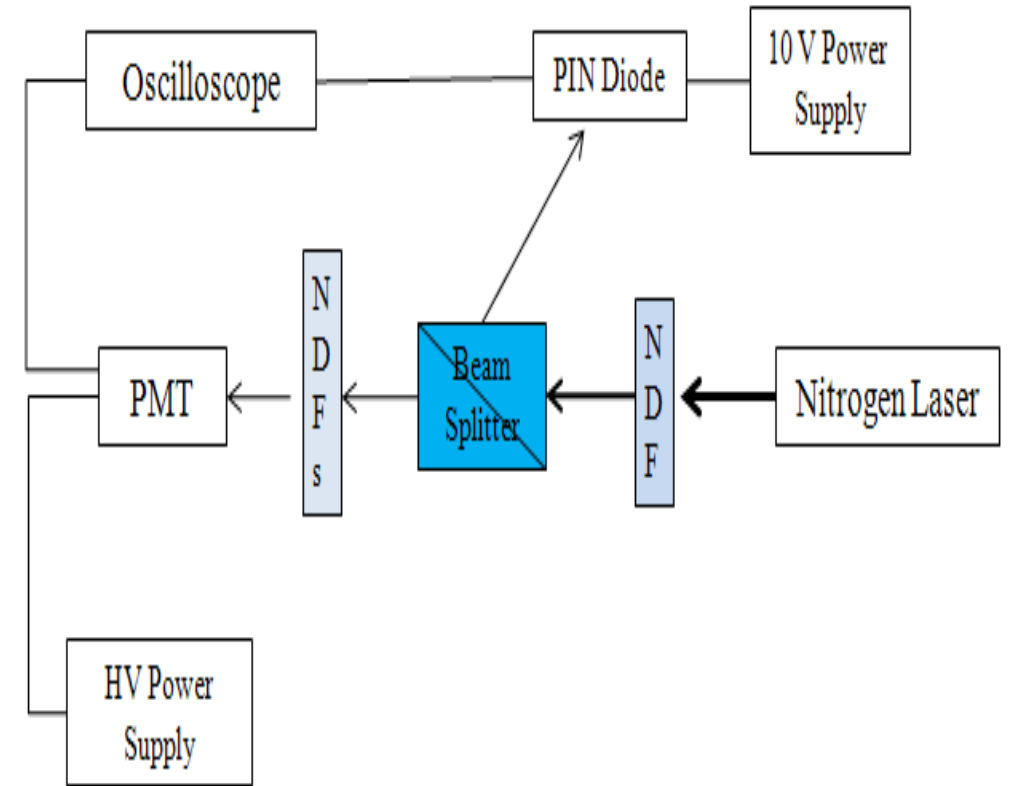
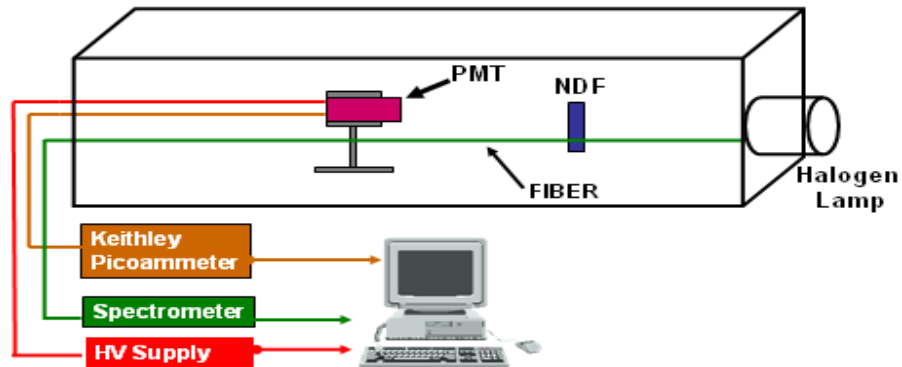
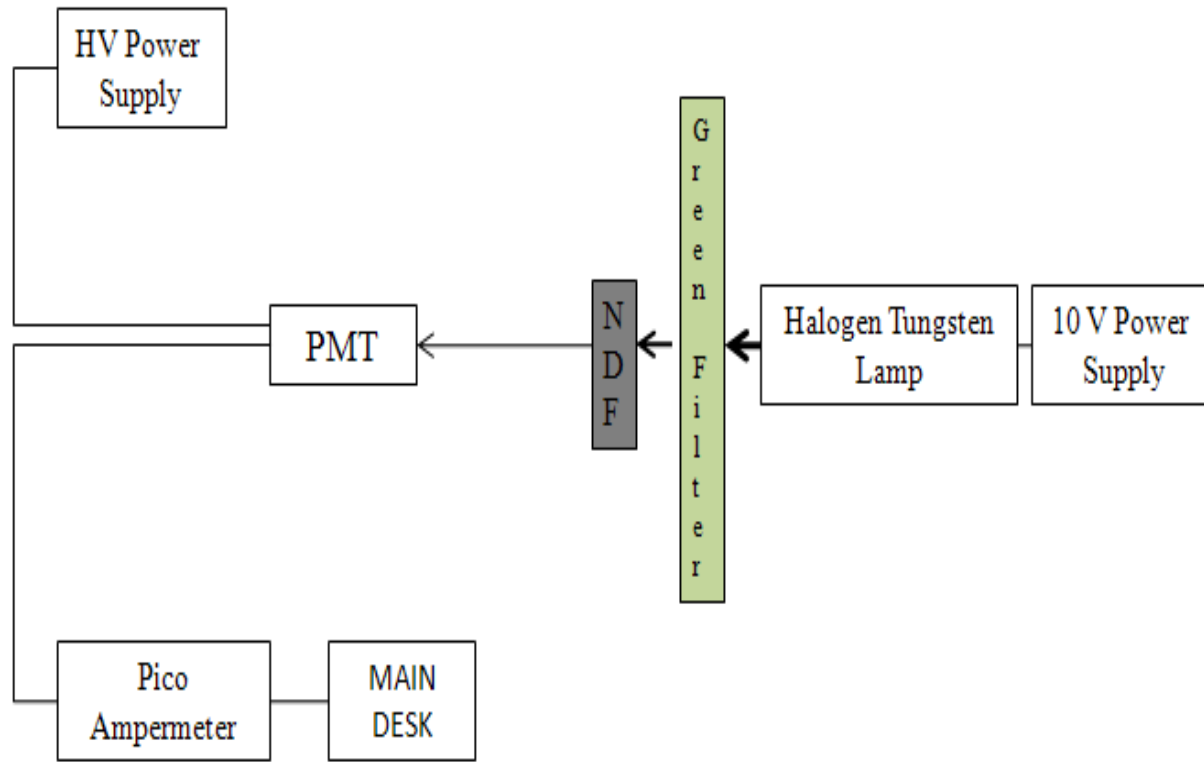
Incident light conditions	Selection reference	
	<Photomultiplier tubes>	<Circuit Conditions>
Light wavelength	Window material Photocathode spectral response	
Light intensity	Number of dynodes Dynode type Voltage applied to dynodes	Signal processing method (analog or digital method)
Light beam size	Effective diameter (size) Viewing configuration (side-on or head-on)	
Speed of optical phenomenon	Time response	Bandwidth of associated circuit

- Ag-O-Cs, S-1 olarak da adlandırılır. 1929'da geliştirilen ilk foto-katod bileşimidir. 300 nm'den 1200 nm'ye kadar duyarlıdır. Since Modern materyallere göre Ag-O-Cs daha yüksek karanlık akıma sahip olduğu için bu günlerde bu foto-katodu kullanan FÇT'ler soğutularak sadece kızıl ötesi (infrared) bölgede kullanılmaktadır.
- Sb-Cs (antimon-sezyum), [UV](#)'den –görünür bölgeye kadar temel olarak yansıtmalı modlu foto-katotlarda kullanılır.
- Bialkali (antimon-[rubidyum-sezyum](#) Sb-Rb-Cs, antimon-potasyum -sezyum Sb-K-Cs). Spektral tepki aralığı Sb-Cs'a benzerdir, fakat ondan daha yüksek duyarlılığa ve daha düşük karanlık akıma sahiptir. Duyarlılıkları en yaygın kullanılan sintilatör materyalleriyle iyi eşleşir. Bu nedenle sıklıkla sintilatör sayaçlarıyla iyonize radyasyon ölçümünde kullanılırlar.
- Yüksek sıcaklık bialkali veya düşük gürültü bialkali ([sodyum-potasyum](#)-antimon, Na-K-Sb). Bu materyal sıklıkla 175 °C'ye kadar dayanabildikleri için petrol kuyularının incelenmesinde kullanılır. Oda sıcaklığında bu foto-katotlar çok düşük karanlık akımda çalıştıklarından foton-sayımı uygulamalarında kullanılmaları oldukça idealdir.
- Çoklu-alkali ([sodyum-potasyum](#)-antimon-[sezyum](#), Na-K-Sb-Cs), S-20 olarak da adlandırılırlar. The çoklu-alkali foto-katotlar UV'den yakın kızılötesine kadar oldukça geniş spektral tepkiye sahiptirler. Geniş bant foto-spektrometre ve foton sayıcı uygulamalarında geniş kullanım alanları vardır. Özel aktivasyon süreçleriyle uzun dalga boyu tepkileri 930 nm kadar genişletilebilir.
- GaAs (galyum(II) arsenid). Bu foto-katot materyali UV'den 930nm'ye kadar çoklu-alkaliden daha geniş bir spektral tepki aralığını kapsar.
- InGaAs (indium galyum arsenid).GaAs ile kıyaslandığında çoklu-alkali kızıl ötesi skalasında duyarlılığı daha büyük dalga boyuna genişletirler. Dahası, 900 nm-1000 nm aralığında, InGaAs Ag-O-Cs'den daha iyi sinyal gürültü oranına sahiptir. Özel imalat teknikleri kullanılarak bu foto-katodun çalışma bölgesi 1700nm'ye kadar genişletilebilir.
- Cs-Te, Cs-I ([cezyum](#)-telürür, sezyum-iyodür). Bu materyaller vakum UV ve UV ışınlarına duyarlıdır. Fakat görünür bölgeye duyarlı değildir ve bu nedenle solar kör olarak da anılırlar. Cs-Te 320nm'den daha uzun ve Cs-I ise 200nm'den daha uzun dalga boylarına duyarsızdır.





# EKLER



# R5380 Hamamatsu

## CASTOR FÇT'LERİNİN ÖZELLİKLERİ

# R7378A Hamamatsu

### GENERAL

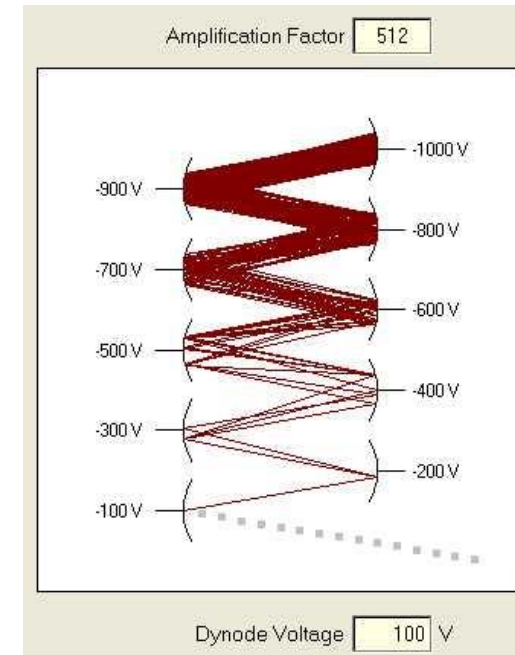
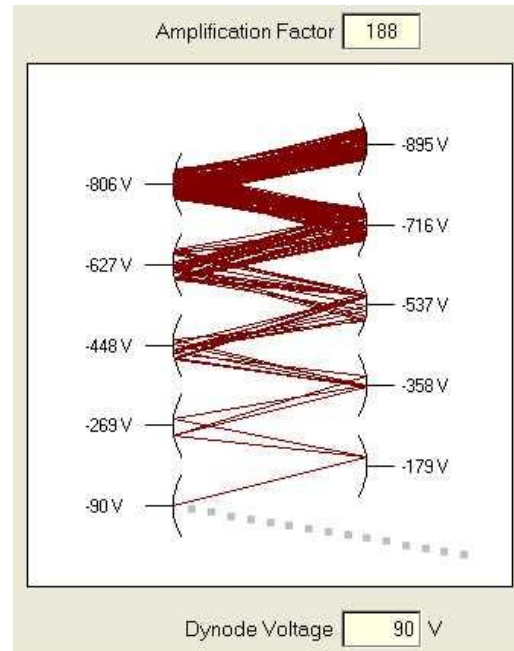
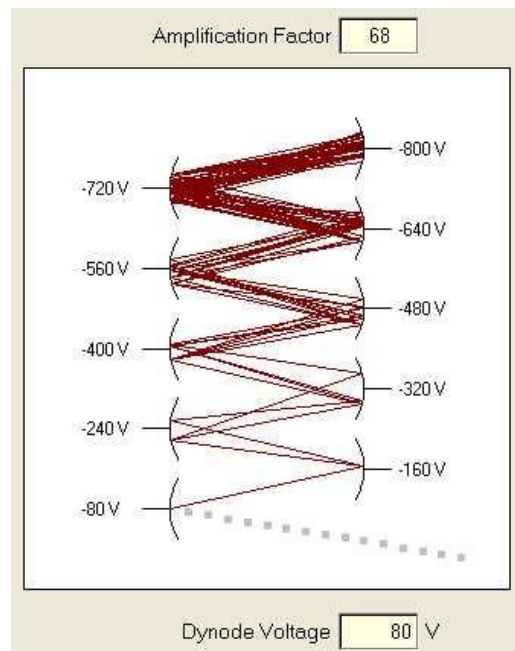
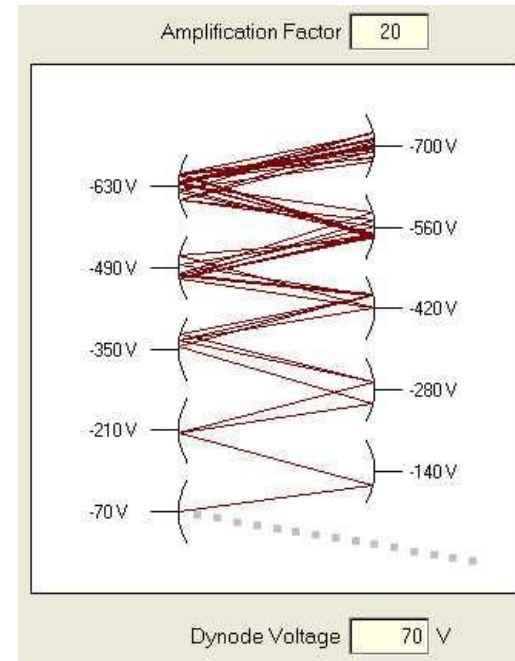
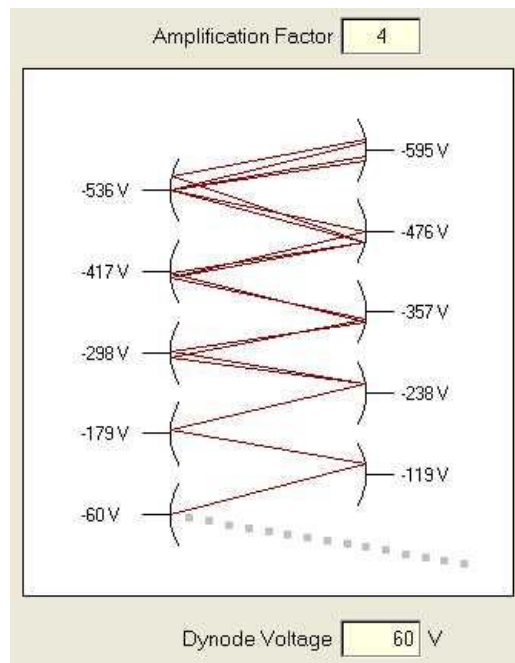
Parameter	Description	unit
Spectral Response	300 to 650	nm
Wavelength of Maximum Response	420	nm
Photocathode	Material	Bialkali
	Minimum Effective Area	20 mm dia.
Window	Material	Borosilicate glass
	Shape	Plano-plano
Dynode	Structure	Linear focused
	Number of stages	6
Base	14 pin glass base	-
Suitable Socket	E678-14C	-
Ambient Temperature	Storage (W/O Socket)	-80 to +50 °C
	Operation	-30 to +50 °C

Üretim Numarası	R5380
Biçimi	Lineer Odaklayıcı
Genişlik	25 mm
Aktif Bölge	22 mm
$\lambda$ (En küçük)	300 nm
$\lambda$ (En büyük)	650 nm
Pik Duyarlılığı ( $\lambda$ )	420 nm
Katot Işınım Duyarlılığı	85 mA/W
Cam Yapısı	Borosilikat
Katot Yapısı	Bialkali
Katot Parlaklık Duyarlılığı	125 $\mu$ A/lm
Anot Parlaklık Duyarlılığı	0,75 A/lm
Kazanç	6000
Karanlık Akım	1 nA
Sinyalin Yükseliş Süresi	1,6 ns
Elektron Geçiş Süresi	12 ns
Dinot Sayısı	6
Uygulanan Voltaj	1000 V

### GENERAL

Parameter	Description	Unit
Spectral Response	160 to 650	nm
Peak Wavelength	420	nm
Photocathode	Material	Bialkali
	Minimum Effective Area	$\phi$ 22 mm
Window Material	Synthetic silica	—
Dynode	Structure	Linear focused
	Number of Stages	10
Base	14 pin glass base	—
Suitable Socket	E678-14C (supplied)	—
Operating Ambient Temperature	-30 to +50	°C
Storage Temperature	-80 to +50	°C

Üretim Numarası	7378A
Cam Yapısı	Sentetik Silika
Genişlik	25.4 $\pm$ 05 mm
Aktif Bölge	22 mm
Fotokatot Materyal	Bialkali
Fotokatot verimli bölge	22 mm
Dinot Yapısı	Doğrusal-Odaklayıcı
Dinot Sayısı	10
Spektral Cevap	160-650 nm
Pik duyarlılığı	420 nm
Uygulana Voltaj	1250 V
Elektron Geçiş Süresi	17 ns
Katot Parlaklık Duyarlılığı	90 $\mu$ A/lm
Anot Parlaklık Duyarlılığı	180 A/lm
Kazanç	2.0x10 <sup>6</sup>



# HF FÇT'LERİNİN ÖZELLİKLERİ

# HAMAMATSU

## PHOTOMULTIPLIER TUBE R7525

## R7600U-200-M4 SPECIFICATIONS

**Fast Time Response,  
For High Energy Physics and Scintillation Counting**

### GENERAL

Parameter	Description/Value	Unit
Spectral Response	300 to 650	nm
Wavelength of Maximum Response	420	nm
Photocathode	Material	Bialkali
	Minimum Effective Area	25 mm dia.
Window Material	Borosilicate glass	--
Dynode	Structure	Linear focused
	Number of Stages	8
Base	14-pin glass base	--
Suitable Socket	E678-14C (supplied)	--

### MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Values)

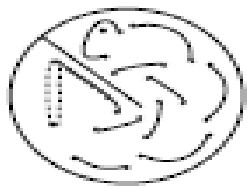
Parameter	Value	Unit
Supply Voltage	Between Anode and Cathode	1750 Vdc
	Between Anode and Last Dynode	300 Vdc
Average Anode Current	0.2	mA
Ambient Temperature	-80 to +50	°C

### CHARACTERISTICS (at 25 °C)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Cathode Sensitivity	Luminous (2856K)	60	95	--	μA/lm
	Radiant at 420nm	--	88	--	mA/W
	Blue (CS-5-58 filter)	--	11.0	--	μA/lm-b
Anode Sensitivity	Luminous (2856K)	--	45	--	A/lm
	Radiant at 420nm	--	4.4 × 10 <sup>-4</sup>	--	A/W
Gain	--	5 × 10 <sup>5</sup>	--	--	
Anode Dark Current (after 30 min. storage in darkness)	--	5	100	nA	
Time Response	Anode Pulse Rise Time	--	1.3	--	ns
	Electron Transit Time	--	14	--	ns
	Transit Time Spread (FWHM)	--	--	--	ps
Pulse Linearity (at 2% deviation)	--	10 (100)	--	mA	

NOTE: Anode characteristics are measured with the voltage distribution ratio A shown below.

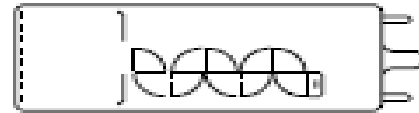
Type	High Q.E. type
Tube Size	30 × 30 mm
Photocathode Area Shape	Multianode
Photocathode Area Size	18 × 18 (M4 ch) mm
Wavelength (Short)	300 nm
Wavelength (Long)	650 nm
Wavelength (Peak)	350 nm
Spectral Response Curve Code	441K
Photocathode Material	Ultra bialkali (UBA)
Window Material	Borosilicate glass
Dynode Structure	Metal channel
Dynode Stages	10
[Max. Rating] Anode to Cathode Voltage	900 V
[Max. Rating] Average Anode Current	0.1 mA
Anode to Cathode Supply Voltage	800 V
[Cathode] Luminous Sensitivity Min.	110 μA/lm
[Cathode] Luminous Sensitivity Typ.	135 μA/lm
[Cathode] Blue Sensitivity Index (CS 5-58) Typ.	15.5
[Cathode] Radiant Sensitivity Typ.	130 mA/W
[Anode] Luminous Sensitivity Min.	25 A/lm
[Anode] Luminous Sensitivity Typ.	175 A/lm
[Anode] Radiant Sensitivity Typ.	1.7 × 10 <sup>5</sup> A/W
[Anode] Gain Typ.	1.3 × 10 <sup>6</sup>
[Anode] Dark Current (after 30min.) Typ.	0.5 /ch nA
[Anode] Dark Current (after 30min.) Max.	5 /ch nA
[Time Response] Rise Time Typ.	1.2 ns
[Time Response] Transit Time Typ.	9.5 ns



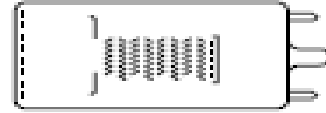
(1) Circular-cage Type



(2) Box-and-grid Type



(3) Linear-focused Type



(4) Venetian Blind Type

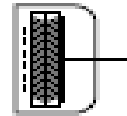


Coarse mesh

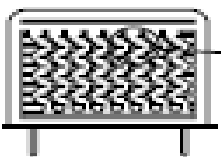


Fine mesh

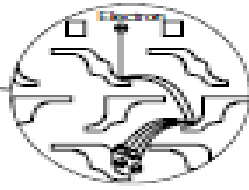
(5) Mesh Type



(6) Microchannel Plate Type



(7) Metal Channel Dynode Type



(8) Electron Bombardment Type

Dynode Type	Rise Time (ns)	Pulse Linearity at 2% (mA)	Magnetic Immunity (mT)	Uniformity	Collection Efficiency	Features
Circular-cage	0.9 to 3.0	1 to 10	0.1	Poor	Good	Compact, high speed
Box-and-grid	6 to 20			Good	Very good	High collection efficiency
Linear-focused	0.7 to 3	10 to 250		Poor	Good	High speed, high linearity
Venetian blind	6 to 18	10 to 40		Good	Poor	Suited for large diameter
Fine mesh	1.5 to 5.5	300 to 1000	500 to 1500*	Good	Poor	High magnetic immunity, high linearity
MCP	0.1 to 0.3	700	1500*	Good	Poor	high speed
Metal channel	0.65 to 1.5	30	5**	Good	Good	Compact, high speed
Electron bombardment type	Depends on internal semiconductor		—	Very good	Very good	High electron resolution

\* In magnetic field parallel to tube axis

\*\* Metal package PMT

Table 4-2: Typical characteristics for dynode types

Figure 4-11: Types of electron multipliers