

**Elektron-Atom arpışma Deneylerinde**

**Sinyal İşleme Teknikleri**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nimet Okumuş**

**Danışman**

**Doç. Dr. Mevlüt DOĞAN**

**AFYONKARAHİSAR- 2009**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRON-ATOM ÇARPIŞMA DENEYLERİNDE SİNYAL  
İŞLEME TEKNİKLERİ**

**YÜKSEKLİSANS TEZİ**

**NİMET OKUMUŞ**

**Danışman**

**Doç. Dr. Mevlüt DOĞAN**

**AFYONKARAHİSAR  
2009**

## ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Mevlüt DOĞAN'ın danışmanlığında,  
Nimet OKUMUŞ tarafından hazırlanan  
***Elektron-Atom Çarpışma Deneylerinde Sinyal İşleme Teknikleri***  
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca  
01/07/2009  
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Fizik Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Prof. Dr. Hamdi Ş. Kılıç	
Üye	Doç. Dr. Mevlüt DOĞAN	
Üye	Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL	

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
.../.../..... tarih ve  
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.  
Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL  
Enstitü Müdür

## ÖZET

### ELEKTRON-ATOM ÇARPIŞMA DENEYLERİNDE SİNYAL İŞLEME TEKNİKLERİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Sinyal işleme aletleri, sayım işlemleri, zaman spektroskopisi, enerji spektroskopisi ve çakışma deneylerinin geniş aralığındaki uygulamalarda kullanmak için tasarlanmıştır. Bu yüzden, farklı deneysel çalışmaların sinyal işleme birimlerinin optimizasyonu çok önemlidir. Channeltron (Tek-kanallı elektron çoğaltıcı dedektör) ve mikro-kanal plakalar gibi elektron çoğaltıcı dedektörler genellikle atomik çarpışma deneylerinde kullanılmaktadır. Bu dedektörlerle düşük gürültü (noise) ve kararlılık (stability) parametrelerinde hassasiyet gereksinimi, yüksek hassasiyetli ön-yükselteç kullanılarak karşılanır. Yükselteç (amplifier), sayıcı (counter), zamanlayıcı (timer) ya da sinyal genlik (enerji) spektroskopisindeki uygulamalar için sinyal işleme sisteminde en önemli bileşenlerden biridir. Diğer yandan, sayım uygulamalarında ayırt edici (discriminator) eşik değerine ulaşan analog giriş sinyalleri zamanlayıcı ayırt edici (timer discriminator) çıkışında standart logic sinyallere dönüşmektedir. Bu lojik sinyaller sayıcı/zamanlayıcıda ya da çok kanallı ölçekte sayılabilir. Pikosaniye mertebesinde zamanlayıcı uygulaması gerektiğinde zaman-genlik dönüştürücü (Time-to-Amplitude Converter, TAC) başlıca aygıttır. Zaman-genlik dönüştürücü iki dedektör arasındaki çakışma olaylarını tanımlamak için kullanılabilir. Sonuç, birkaç mikrosaniye genişliğinde ve başlatıcı ve durdurucu sinyaller arasındaki zaman aralığı ile orantılı genliğe sahip dikdörtgen çıkış sinyali olmaktadır. Bu sinyal analogtan dijitale çeviriciyi (Analog-to-Digital Converter) ya da puls yükseklik ölçümü için çok kanallı analizörü (Multi-channel Analyser) beslemektedir. Tüm bu sinyal birimlerinin karakteristiği ve genel çalışma prensipleri bu tez içinde açıklanmaktadır.

**2009, 144 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Elektron Çoğaltıcı Dedektörler, Sinyal İşleme Aygıtları.

## **ABSTRACT**

### **SIGNAL PROCESSING TECHNIQUES IN ELECTRON-ATOM COLLISION STUDIES**

Afyon Kocatepe University,  
Institute for the Natural and Applied Sciences

The signal processing devices can be configured to serve a wide range of applications in counting, time spectroscopy, energy spectroscopy, and coincidence measurements. Therefore, the optimization of signal processing units for different experimental studies is very important. Electron multiplier detectors such as channeltron (channel electron multiplier) and micro-channel plates have commonly used in atomic collision experiments. The requirement for low noise and stable sensitivity with these detectors is met by using a charge-sensitive pre-amplifier. The amplifier is one of the most important components in a pulse processing system for applications in counting, timing, or pulse amplitude (energy) spectroscopy. On the other hand, in counting applications, the analog input pulses that cross the discriminator threshold are converted to standard logic pulses at the output of the timing discriminator. These logic pulses can be counted in a counter/timer or in a multichannel scaler. When a timing application demands picosecond precision, a time-to-amplitude converter is a prime device. Time-to-amplitude converter can be used to identify coincident events between two detectors. The result is a rectangular output pulse with a width of a few microseconds and an amplitude that is proportional to the time interval between the start and stop pulses. This pulse is fed to an analog-to-digital converter or a multichannel analyser for pulse-height measurement. The characteristics and general operating principles of all these signal units have been explained in this thesis.

**2009, 144 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Electron Multiplier Detectors, Signal Processing Devices

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yürütülmesine değerli katkıları olan danıőmanlarıım Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim dalında Doç. Dr. Mevlüt DOğAN'a ve Universit Paris Sud 11 Atom ve Molekül Fiziği Anabilim dalında Prof. Dr. Azzedine Bennani'ye, planlama aőamasında değerli görüőlerini aldığım Arő. Gör. Dr. Melike ULU ve Arő. Gör. Ömer ŐIŐE'ye ve araőtırmanın tüm aőamalarında destek veren annem Sultan OKUMUŞ'a ve yüksek lisans eğitimim boyunca 2210-Yurtiçi Yüksek Lisans bursu ile beni destekleyen TÜBİTAK kurumuna ve çalıőanlarına teşekkür ederim.

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü  
Yüksek Lisans ğrencisi  
Nimet Okumuş  
AFYONKARAHİSAR, Temmuz 2009

# İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2 ELEKTRON ÇOĞALTICI DETEKTÖRLER.....	3
<b>2.1 Tek Kanallı Elektron Çoğaltıcılar (CEM)</b> .....	3
2.1.1 Tek-Kanallı Elektron Çoğaltıcı (CEM) Kazancı .....	6
2.1.1.1 Space-charge etkisi .....	7
2.1.1.2 Alan bozunumu etkisi.....	9
2.1.1.3 Akım-yakalama etkisi.....	9
2.1.2 CEM Kazanç-Voltaj Karakteristiği .....	11
2.1.3 CEM Çalışma Voltaj Değeri (Operating Point).....	13
2.1.4 CEM’de Dedekte Etme Etkinliği (Detection Efficiency) .....	14
2.1.5 CEM İyonik Geri Besleme Problemleri .....	19
2.1.6 CEM’lerde Puls Yükseklik Dağılımı (PHD) .....	20
2.1.7 CEM Çalışma Voltaj Dinamik Aralığı (Dynamic Range).....	22
2.1.8 Tek Kanallı Elektron Çoğaltıcılarda Belirsizlik Gürültüsü (Dark Noise).....	24
2.1.9 CEM Uzun-Dönem Kararlılık (Stabilite) Karakteristiği .....	24
2.1.10 CEM Çalışma Teorisi.....	26
<b>2.2 Spiraltron Elektron Çoğaltıcılar</b> .....	29
<b>2.3 Mikro-Kanallı Dedektörler ( Microchannel Plate Detectors; MCP )</b> .....	30
2.3.1 Mikro-Kanallı Çoğaltıcı (MCP) Sistem Tanımı .....	36
2.3.2 Mikro-Kanallı Çoğaltıcılar İçin Kodlama Teknikleri.....	38
2.3.2.1 Resistive Anod Çalışma Koşulları.....	39
2.3.2.2 Delay-Line Readout Sistemleri.....	41
2.3.3 MCP Çalışma Prensipleri .....	43
2.3.4 Mikro-Kanallı Çoğaltıcılarda Kazanç .....	44
2.3.5 Mikro-Kanallı Çoğaltıcılarda İyonik Geribesleme .....	45
2.3.6 Mikro-Kanallı Çoğaltıcılarda Dedekte Etme Etkinliği .....	46
2.3.7 MCP Puls Yükseklik Dağılımı (PHD) Karakteristiği.....	46
2.3.8 Mikro-Kanallı Dedektörlerde Geçiş Zamanı (Transit Time).....	49
2.3.9 MCP Dizaynında Uzaysal Çözünürlük (Spatial Resolution).....	50
2.3.10 MCP’lerde Belirsiz Akım (Dark Current) ve Açık Alan Oranı (Open Area Ratio) .....	51
2.3.11 MCP Kanal Açısı .....	52
2.3.12 MCP Delik (Pore) Boyutu.....	55
2.3.13 Mikro-Kanallı Dedektörlerin Konuma Duyarlı Dedektör (PSD) Olarak Kullanılması .....	57
3 SİNYAL İŞLEYİCİLER.....	59
<b>3.1 Lineer ve Logic Sinyaller ve Bağlantıları</b> .....	59
3.1.1 Yavaş lineer sinyaller .....	59
3.1.2 Zamanlama İçin Hızlı Lineer Sinyaller .....	60
3.1.3 NIM-Standart Hızlı Negatif Logic Sinyaller .....	60
3.1.4 ECL Logic Sinyaller.....	61
3.1.5 TTL Logic Sinyaller.....	61
<b>3.2 Dedektör Öngerilim Voltaj Kabloları ve Bağlantıları</b> .....	62
<b>3.3 Ön-Yükseltici (Pre-Amplifier)</b> .....	64
3.3.1 Akım-Hassasiyetli Ön-Yükselticiler (Current Sensitive Preamplifier) .....	64
3.3.2 Parazitik Kapasitans Ön-Yükselticiler (Parasitic-Capacitance Preamplifiers) .....	66
3.3.3 Yük-Hassasiyetli Ön-Yükselticiler (Charge-Sensitive Preamplifiers) .....	67

<b>3.4</b>	<b>Yükselteç (Amplifier)</b> .....	68
3.4.1	Hızlı Zamanlayıcı Yükselteçler (Fast Timing Amplifier) .....	70
3.4.2	Puls Yükseklik (Enerji) Spektroskopisi için Lineer, Sinyal-Şekillendirici Yükselteçler.....	70
<b>3.5</b>	<b>Gürültü ve Zaman Ayırt Edici (Discriminator)</b> .....	74
3.6	Zaman-Genlik Dönüştürücü (Time-To-Amplitude Converter; TAC).....	80
3.7	Zamanlayıcı ve Sayıcı (Timer and Counter) .....	83
3.8	Çok-Kanallı Puls Yükseklik Analizörü (Multi-Channel Analyser; MCA) .....	87
3.9	Çok Kanallı Ölçek (Multi-Channel Scaler; MCS) .....	88
<b>3.10</b>	<b>Çakışma Elektronikleri</b> .....	89
3.11	Çakışma Deneylerinde Puls Yükseklik Spektrumu .....	92
3.12	Elektron Etkisiyle İyonlaşma Çalışmaları .....	94
3.13	(e,2e)-(e,3e) Spektrometre Tanımı .....	99
4.	BULGULAR.....	102
4.1	Elektron Çoğaltıcıda PHA (Puls Height Distribution) Testi .....	102
4.2	Elektron Çoğaltıcıdan Gelen Sinyalin Testi.....	103
4.3	Yükselteç (Amplifier) Testi .....	104
4.4	Gürültü ve Zaman Ayırt Edicilerin (Discriminator) Testi .....	108
4.5	İkili Çakışma Tekniği Kullanılarak Elde Edilen Üçlü Diferansiyel Tesir Kesiti Ölçümleri .....	113
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	116
	KAYNAKLAR .....	118
	ÖZGEÇMİŞ .....	xiv

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
<i>ADC</i>	Analog-to-Dijital Converter (Analogtan Dijitale Çevirici)
<i>CEM</i>	Channel Electron Multiplier (Tek-Kanallı Elektron Çoğaltıcı)
<i>CFD</i>	Constant Fraction Discriminator (Sabit Kesir Ayırt-Edici)
<i>FWHM</i>	Full-Width-Half-Maximum (Yarı Maksimum Genişliği)
<i>MCA</i>	Multi-Channel Analyser
<i>MCP</i>	Micro Channel Plate (Mikro-Kanallı Elektron Çoğaltıcı)
<i>PSD</i>	Position Sensitive Detector (Konuma Duyarlı Dedektör)
<i>TAC</i>	Time-to-Amplitude Converter (Zaman-Genlik Dönüştürücü)
<i>TOF</i>	Time of Flight (Uçuş zamanı)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1: Elektron çoğaltıcı (CEM) için şematik gösterim.....	5
Şekil 2. 2: CEM yüzey yapısının görünümü. ....	5
Şekil 2. 3: Tipik voltaj değerlerine karşılık tek elektron kazancının gösterimi (Philips-CEM). ....	7
Şekil 2. 4: Space-charge etkisi ile ikincil elektronların sapmasını gösteren kanal çoğaltıcının görünümü (Schmidt and Hendee, 1966).....	8
Şekil 2. 5: Çoğaltıcı kanaldaki potansiyel dağılımın gösterimi. Kesik çizgi ikincil elektron emisyonuna göre yüklenen kanal duvarını belirtmektedir (Shmidt and Hendee, 1966).....	9
Şekil 2. 6: Analog test konfigürasyonu. ....	11
Şekil 2. 7: Voltaja karşılık kazanç karakteristiğinin deneysel ve teoriksel olarak karşılaştırılması (Shagen, 1974). ....	12
Şekil 2. 8: BURLE model CEM karakteristik “clean up” fazının gösterimi (Channelbook-BURLE). ....	13
Şekil 2. 9: Voltaja karşılık sayım oranı (Channellbook-BURLE). ....	14
Şekil 2. 10: Gelen elektron ya da iyonların enerjilerinin bir fonksiyonu olarak elektron çoğaltıcının etkinliğinin değişimi.....	15
Şekil 2. 11: Elektron dedekte etme etkinliği (Channelbook-BURLE). ....	16
Şekil 2. 12: X-ışını için karakteristik dedekte etme etkinliği (Channelbook-BURLE). ....	17
Şekil 2. 13: İyon dedekte etme etkinliği (Channelbook-BURLE).....	17
Şekil 2. 14: İyonlar için m/z oranına karşılık CEM kazancı (Channelbook-BURLE). ....	18
Şekil 2. 15: Çoğaltıcı kanaldan iyonik geri-besleme pulsları (Adams and Manley, 1965). ....	19
Şekil 2. 16: Analog puls yükseklik dağılımı. ....	22
Şekil 2. 17: Sinyal sayımı modunda puls yükseklik dağılımı.....	22
Şekil 2. 18: BURLE 4700 serisi için tipik lineerlik (BURLE-Handbook). ....	23
Şekil 2. 19: Kanal sayısının kanal başına frekans değerlerine bağımlılığı. ....	25
Şekil 2. 20: Elektron demetini dedekte etmek için önerilim devresi. Düşük geçiş filtresi yüksek voltajdan kaynaklanan gürültüyü azaltır (Experimental Collision Physics Lecture Notes). ....	27
Şekil 2. 21: Doyum durumunda (a) 1 mm çaplı kanal için çıkış akım pulsu ( $l/d=100$ ) (b) 2 mm çaplı kanal için çıkış akım pulsu ( $l/d=82$ ) (Schmidt and Hendee, 1966).....	28
Şekil 2. 22: Spiraltron elektron çoğaltıcının görünümü (Sommer, 1969).....	29
Şekil 2. 23: $\lambda = 44A^0$ girişi ile deneysel spiraltron elektron çoğaltıcının çıkış görüntüsü (Sommer,1969).....	30
Şekil 2. 24 (a) MCP'nin şematik görünümü. (b) Tipiksel MCP kanal yapısının görünümü (Wiza, 1979). ....	33
Şekil 2. 25: Foto-katod kullanımı ile MCP dizaynının foton için kullanımının gösterilmesi (BURLE-Handbook). ....	34
Şekil 2. 26: Düz kanallı MCP ve Chevron için voltaja karşılık kazanç değerleri (Wiza, 1979).....	35
Şekil 2. 27: Chevron (İkili MCP) görünümü (Colson,1973). ....	35
Şekil 2. 28: MCP dedektöründe anodun yapısı (El-Mul Handbook).....	37
Şekil 2. 29: Multianod strip dedektör ve elektronik yapısı (Wijnaendts van Resandt and Los, 1980). ....	39
Şekil 2. 30: Konuma duyarlı dedektörlerde yük bölümü metodu prensibi (Chauvet et. al, 1987). .	40
Şekil 2. 31: Erteleme hatlarının ayrıntılı görüntüsü (Sobotka ve Williams, 1988).....	42
Şekil 2. 32: Dataları elde etmek için tasarlanan elektronik diyagram (Sobotka ve Williams, 1988). ....	43
Şekil 2. 33: Farklı gaz örnekleri için MCP kullanılarak elde edilen puls yükseklik dağılım ölçümleri (Furuya ve Hatano, 2002). ....	48
Şekil 2. 34: $V_{MCP}= 1,95$ kV ve $V_{in}=-2,05$ kV için MCP kullanılarak elde edilen puls yükseklik dağılım ölçümleri (Furuya ve Hatano, 2002). ....	49
Şekil 2. 35: Katod-MCP aralığına uygulanan voltaj ile transit time değişim grafiği. Grafikte farklı katod-MCP aralıkları için ( 6.1 mm, 0.86 mm, 4.4 mm, 0.25 mm) ölçümler alınmaktadır (Photonis, Handbook).....	50

Şekil 2. 36: Eğilmiş MCP görünümü. $\theta$ eğim açısı, $V_\alpha$ uygulanan voltaj ve L çoğaltıcı plakaların yüzeyleri arasındaki uzunluk D kanal çapıdır (Choi, 2000).	52
Şekil 2. 37: Eğilendirilmemiş MCP için elektron yörüngeleri. İlk elektronlar $z = -100\mu m$ de başlar ve $\kappa = 0, \pm 5, \dots, \pm 25^0$ geliş açılarıyla kanala girerler (Choi, 2000).	53
Şekil 2. 38: $\theta = 10^0$ eğilendirilmiş bir kanal için elektron yörüngeleri. İlk elektronlar $z = -100\mu m$ de başlar ve $\kappa = 0, \pm 5, \dots, \pm 25^0$ geliş açılarıyla ve $\Phi = 45^0$ ile kanala girerler. $\kappa$ z eksenine göre açıdır (Choi, 2000).	53
Şekil 2. 39: Eğim açılara karşın kazanç eğrileri. (a) Kanal $L = 500\mu m$ de sabitlendirilmiştir. (b) $V_\alpha = 1000V$ da sabitlendirilmiştir (Choi, 2000).	54
Şekil 2. 40: (a) 2.5 mikron ve (b) 2.3 mikron delik boyutuna sahip MCP'lerin sırasıyla karşılaştırılması (Laprade ve Starcher, 2001).	56
Şekil 3. 1: Farklı uygulamalar için farklı tipteki yükseltec uygulamaları.	68
Şekil 3. 2: Deneysel sistemde kullanılan ORTEC model yükseltici (amplifier) ön panelinin görünümü.	72
Şekil 3. 3: Deneysel sistemde kullanılan Philips model ön-yükseltici (pre-amplifier) ön panelinin görünümü.	73
Şekil 3. 4: Düzey ayırtedicilerde elde edilen pulsun görünümü.	74
Şekil 3. 5: Sabit kesir ayırt edicilerinde elde edilen pulsun görünümü (Andrew Murray Lecture Notes).	75
Şekil 3. 6: Leading-edge zamanlayıcı diskriminatör için jitter ve walk parametreleri.	77
Şekil 3. 7: Deneysel sistemde kullanılan Philips model diskriminatör (ayırt edici) ön kısmının görünümü.	79
Şekil 3. 8: TAC çalışma mekanizması. Zamana karşılık voltaj değerleri taranarak doğru çakışma olduğunda (200 ns) TAC durdurulur.	81
Şekil 3. 9: ORTEC zaman-genlik dönüştürücünün ön ve arka kısmının görünümü.	83
Şekil 3. 10: ORTEC model Dual Counter and Timer ön panel görünümü.	86
Şekil 3. 11: Altı bağımsız MCA kanalıyla CANBERRA marka MCA için (a) ön ve (b) arka panelinin görünümü.	88
Şekil 3. 12: Çakışma deneylerinde kullanılan TAC-MCA devresi.	91
Şekil 3. 13: Afyon Kocatepe Üniversitesi (e-2e) elektron spektrometresinde kullanılan sinyal işleme birimleri deneysel dizaynı.	92
Şekil 3. 14: Tipik puls yükseklik spektrumu.	93
Şekil 3. 15: Elektron etkisiyle ikili iyonlaşmanın şematik gösterimi.	96
Şekil 3. 16: Binary ve recoil lobe karakteristiği.	98
Şekil 3. 17: Orsay'da kullanılan ve üç toroidal analizörden oluşan deneysel dizayn.	100
Şekil 4. 1: Analizördeki elektron çoğaltıcı için $\theta = 30^0$ 'de CEM'e uygulanan 2 ve 2,2 kV'luk değerler için elde edilen puls yükseklik dağılım grafiği.	102
Şekil 4. 2: Direkt CEM bağlantısıyla elde edilen sinyal.	103
Şekil 4. 3: CEM-amplifier'dan elde edilen sinyal.	104
Şekil 4. 4: Amplifier offset seviyesi=-10 mV ayarlanarak elde edilen CEM sinyali.	105
Şekil 4. 5: Amplifier offset seviyesi=+10 mV ayarlanarak elde edilen CEM sinyali.	106
Şekil 4. 6: Amplifier offset seviyesi=0 mV ayarlanarak elde edilen CEM sinyali.	106
Şekil 4. 7: Kullanılan sisteminde, yükseltici offset düzeyinin (amplifier offset level) değişimine karşılık elde edilen sayım (count) değerleri.	107
Şekil 4. 8: Amplifier kazanç (gain) değişimi ile sayım değerlerinin gösterimi.	108
Şekil 4. 9: CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Discriminatör Width= 5 ns için ayarlanmıştır.	109
Şekil 4. 10: CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Discriminatör Width= 25 ns için ayarlanmıştır.	110
Şekil 4. 11: CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırtedici genişliği (Discriminatör Width)= 50 ns için ayarlanmıştır.	111

Şekil 4. 12: CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırteci (discriminatör) genişlik(width)= 25 ns için Discriminatör Threshold=-10 mV ayarlanmıştır. ....	112
Şekil 4. 13: CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırteci (discriminatör) genişlik(width)= 25 ns için discriminatör Threshold=-1 V ayarlanmıştır. ....	112
Şekil 4. 14: CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırteci (discriminatör) genişlik(width)= 25 ns için Discriminatör Threshold=0 mV ayarlanmıştır.....	113

## ÇİZELGELER DİZİNİ

sayfa

Çizelge 2.1	Çoğaltıcı kanalların dedekte etme etkinliği	18
Çizelge 3.1	ORTEC FTA 820 model Fast Timing Amplifier özellikleri.	70
Çizelge 3.2	Sistemde kullanılan Philips Scientific model diskriminatör özellikleri.	77
Çizelge 3.3	ORTEC model TAC için karakteristik özellikler.	81
Çizelge 3.4	ORTEC DUAL Counter-Timer model karakteristiği.	84
Çizelge 3.5	ORTEC model MCS-pci özellikleri.	88

## 1. GİRİŞ

Yüklü parçacıklar arasındaki Coulomb etkileşimleri gibi kuantum parçacıklar arasındaki temel etkileşimlerin deneysel olarak test edilmesi için çarpışma deneyleri yapılmaktadır. Bunun yanında bütün saçılma geometrileri için geniş bir enerji aralığında bu etkileşimlerin teoriksel olarak anlaşılması deney sonuçlarının analizinde önemlidir. Elektron saçılma deneyleri kompleks atomların veya iyonların yapısını açıklayabilmektedir. Lazerler, astrofizik, biyofizik, kimya, yüzey fiziği, füzyon teknolojileri, mühendislik gibi alanlarda gerçek durumlar için deneysel sonuçlar kullanılmaktadır. Bu tür çarpışma deneyleri ile temel düzeyde, çarpışma olayından sonra açığa çıkan parçacıkların kinematikleri incelenmektedir.

Çarpışma fiziği, bir hedef ile bir kuantum parçacığının her çarpışmasını içermektedir. Çarpışan parçacıklar; fotonlar, elektronlar, iyonlar, nötral parçacıklar ve pozitronlar olabilir. Hedefler ise atomlar, moleküller, genellikle ultra-soğuk hedef hazırlamada üretilen demetler, iyonlar, tuzaklanan atomlar ve tuzaklanan iyonlar olabilir. Bununla birlikte, hemen hemen her zaman hedefler gaz fazındadır.

Elektron-elektron çakışma deneylerinde çarpışmadan sonra çıkan iki elektron kuantum mekaniksel olarak ayırd edilemez; fakat daha hızlı elektron genellikle saçılan elektron olarak nitelendirilirken, daha yavaş elektron iyonlaşan elektron olarak nitelendirilmekte ve elektron-elektron çakışma tekniği iyonlaşma olayı sonucunda açığa çıkan elektron çiftlerini dedekte etmek için kullanılmaktadır. (e,2e) elektron-elektron çakışma spektrometrelerinde, elektron-atom etkileşme bölgesinden gelen elektronlar, elektron analizörleri yardımıyla elektron çoğaltıcı sistemlerine iletilmektedirler. Elektron çoğaltıcılar gelen elektronu ikincil emisyon işlemiyle çoğaltarak sinyale çevirmektedir. Dedektörden elde edilen sinyaller yükseltilmekte ve ayırt edilmektedir. Puls sayım sistemlerinde kullanılan elektron çoğaltıcılardan elde edilen sinyal yükselticiler yardımıyla yükseltilerek, ayırd ediciler yardımıyla beslenmektedir. Ayırt edici birimi, gürültü sinyallerini

gerçek sinyalden ayırd etmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, (e,2e) elektron-elektron çakışma spektrometrelerinde çarpışma sonrası açığa çıkan her iki elektronu dedekte etmek için iki analizör kullanılmaktadır.

Her iki pulsun zaman-genlik dönüştürücüye (Time to Amplitude Converter; TAC) ulaşması arasındaki zaman farkı ile orantılı genliğe sahip bir voltaj sinyaline dönüştürülmektedir. TAC çıkışına SCA (Single Channel Puls Height Analyzer) eklenerek TAC iki dedektör arasındaki çakışma olaylarını tanımlamak için kullanılabilir.

Dedekte edilen olayın ulaşma zamanının ya da genliğinin ölçme zorunluluğunun olup olmamasına bağlı olarak farklı sinyal işleme teknikleri uygulanmaktadır. Sinyal işlenirken gerçek sinyalin gürültü sinyalinden ayırt edilmesi ve sinyalin anlamlandırılması önemli olmaktadır. Bu çalışmada dedektörden zaman-genlik dönüştürücüye kadar olan sinyal işleme birimlerinin işleyişi ve elde edilen sinyallerin yorumu yapılmaktadır.

## 2 ELEKTRON ÇOĞALTICI DETEKTÖRLER

### 2.1 Tek Kanallı Elektron oğaltıcılar (CEM)

Tek-kanallı elektron oğaltıcılar (Channel Electron Multiplier; CEM) ok küçük hacimde çok yüksek elektron kazancı elde edebilen ve çok az g tüketimine sahip aygıtlardır. Eğri, içi boŐ, cam bir tüpten oluşur. Elektron çoğaltıcının uzunluğu çapına kıyasla daha büyüktür (Wiley and Hendee 1962, Adams and Manley 1965). Elektron oğaltma işlemi için uygun olan ikincil emisyon karakteristiğine sahip özel bir yarıiletken yüzey, tüpün iç yüzeyinin üzerini kaplamaktadır. Tek kanallı elektron çoğaltıcılar genellikle “Channeltron” olarak adlandırılır.

Bilimsel araŐtırmalar yanında sızıntı dedektörleri (Leak Detectors), portatif ktle spektrometreleri, sensörler, çevresel sensörler ve endüstriyel sensörlerde elektron çoğaltıcılar kullanılmaktadır. İlk başarılı oğaltıcılar Goodrich ve Wiley (1958) tarafından yapılmıştır. Daha sonra bu elektron çoğaltıcı sistemleri Mullard Research laboratuvarları ve Laboratoires d’Electronique et de Physique Appliquee (L.E.P.) laboratuvarlarında kullanılmıştır. İlk aygıtlar öncelikle uzay bilimi araştırmalarında sinyal sayımı modundaki işlemler için dizayn edilmiştir. Daha sonra, küçük boyutları ve düşük güç tüketimleri ile atmosferik araŐtırmalarda ideal dedektörler olarak kullanılmıştır.

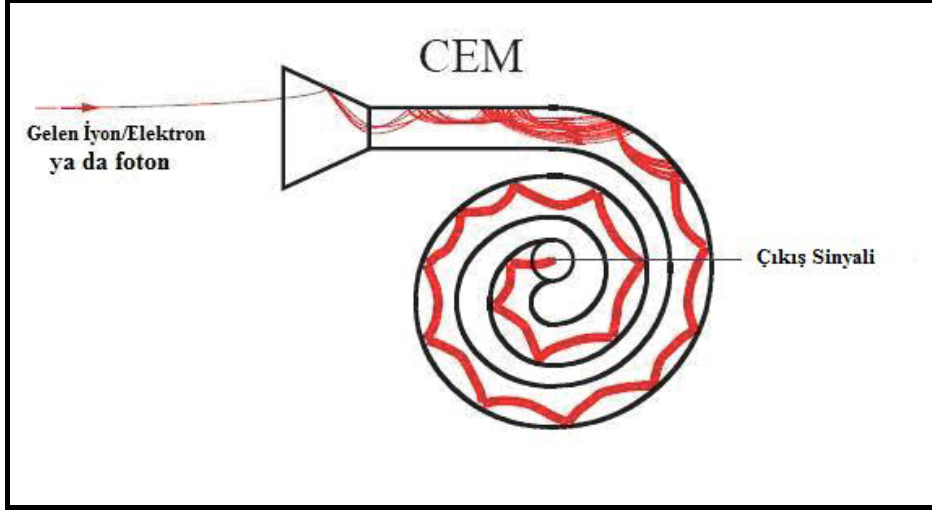
Elektronların kaynak konumunu belirlemek için 1967’de kullanılan elektron çoğaltıcılar birçok roket ve uydu temelli deneylerde dedektör olarak kullanılmaktadır. Elektron oğaltıcılar, taramalı elektron mikroskobunda geliŐtirilmiŐ bir dedektör olarak da kullanılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobunda birincil elektron demeti numune yüzeyini tarar ve yayımlanan ikincil elektronlar yüzeyin resmini oluşturmak için kullanılır.

1970'lerin ortalarında tek-kanallı elektron çoğaltıcılar laboratuvar temelli analitik aletlerde ve kütle spektrometrelerinde kullanılmıştır. Günümüzde 100'ün üzerinde çoğaltıcı modeli üretilmiştir. Tek-kanallı elektron çoğaltıcılar quadropole ve iyon tuzaklama kütle spektrometrelerinde daha çok kullanılmaktadır.

CEM teknolojisindeki gelişmeler, daha büyük kütleleri dedekte etmede ve bu dedektörlerin ömrünü arttırma yönünde olmaktadır.

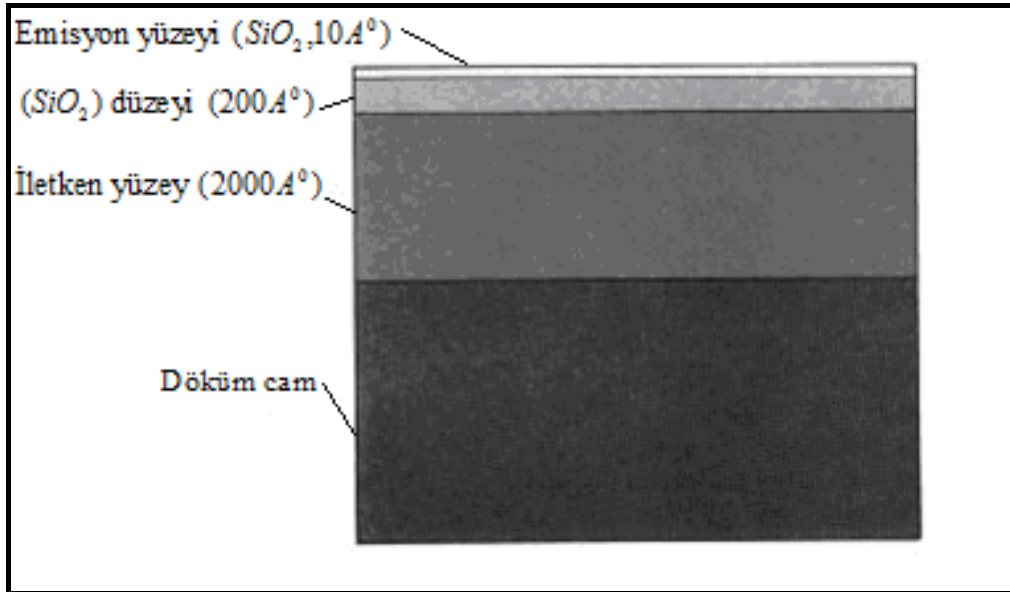
Bununla birlikte, foto çoğaltıcılar uzay araştırmalarında, boyut ve ağırlığın önemli olduğu diğer çalışmalarda kullanılmaktadır. Foto çoğaltıcıların da sadece yüzeyi iletkendir.

Elektron çoğaltıcılar vakum ortamında çalıştırılmaktadır. Çoğaltıcı kanalın baş kısmı topraklanırken, sonuna yüksek voltaj uygulandığında tüpün iç yüzeyi; hem ikincil emisyon kaynağı, hem de potansiyel bölücü olarak davranmaktadır. Ayrıca, elektron çoğaltıcının uzunluğu boyunca uygulanan potansiyel farktan ötürü elektrik alan oluşmaktadır. Bu elektrik alan sayesinde de kanaldan gelen her elektron (fotoelektrik yada ikincil emisyon kaynaklanan) tüpün sonuna doğru hızlanacaktır. Bu potansiyel farktan dolayı elektronlar tüpün iç yüzeyine çarparak ilerleyecektir. Bu sapma sonucunda serbest elektronlar yeterli enerjiye sahip olursa, birden fazla ikincil elektronlar üretilecektir. Bu işlem defalarca tekrarlanmakta ve işlem sonucunda çok sayıda elektron CEM çıkışında elde edilmektedir. Elektron çoğaltıcı yüzeyine ulaşan bir elektron, 10 nano saniye sonra yaklaşık  $10^8$  kat artmakta ve bir sinyal olarak gözlenmektedir (Şekil 2.1). Bu elektron çoğaltıcılar 0.012 nm ile 260 nm aralığındaki dalga boylarında (bu oran için dedekte etme etkinliği düşük olmasına rağmen) foton dedektörleri olarak da kullanılabilirlerdir.



Şekil 2. 1: Elektron çoğaltıcı (CEM) için şematik gösterim.

Tek-kanallı elektron çoğaltıcıların (Channel Elektron Multiplier; CEM) iç yüzeyinin madde özellikleri, ikincil elektron üretme işlemi için ve fiziksel geometrisinin yapısı elektron çoğaltıcı performansı için önemli bir role sahiptir. Şekil 2.2’de elektron çoğaltıcının aktif yüzey görünümü gösterilmektedir. İkincil emisyon yüzeyin ilk  $200 \text{ \AA}$  içinde yer almaktadır. Bu yüzey  $\text{SiO}_2$  ten yapılmaktadır. Altındaki bölge iletken yüzey birkaç yüzden, birkaç bin  $\text{Å}$  kalınlığa kadar olabilmektedir.



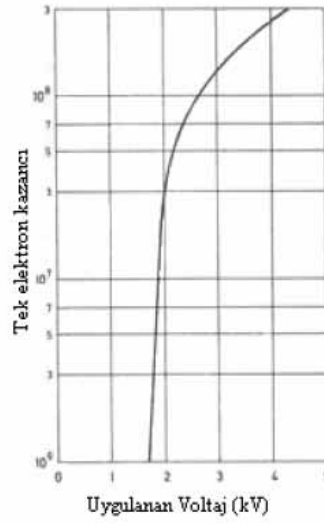
Şekil 2. 2: CEM yüzey yapısının görünümü.

Defalarca normal hava ortamında kalabilmeleri, küçük boyutlu olmaları ve elektron veya iyon dedekte etmek için yüksek etkinliğe sahip olmaları elektron çoğaltıcıların avantajlarından. Bunun yanı sıra, kırılganlıkları, pahalı olması, dezavantajlarından. Ayrıca yüksek voltaj uygulanırken ya da kapatılırken devrenin zarar görmemesi için dikkatli olunmalıdır.

### **2.1.1 Tek-Kanallı Elektron Çoğaltıcı (CEM) Kazancı**

Elektron çoğaltıcının kazancı (gain) çıkış akımının giriş akımına oranı olarak adlandırılır. Elektron çoğaltıcıda elde edilen kazanç; uygulanan voltaj, tüpün geometrisi ve direnci, sinyal tekrarlama oranı gibi birçok parametreye bağlıdır. Elektron çoğaltıcının direnci kullanılan cam ve aygıtın geometrisi ile belirlenmektedir. Bunun yanında sinyal tekrarlama oranı olarak adlandırılan etkiye göre; büyük bir elektron sinyali tek-kanallı elektron çoğaltıcı (CEM) çıkışına ulaştığında, elektron çoğaltıcının iç duvar potansiyel dağılımı aniden değişir. Bir diğer sinyal bu ilk sinyali yakından takip ederse, uygun olmayan potansiyel dağılımı ile karşılaşacaktır ve kazancı düşük olacaktır. Ayrıca, tek-kanallı elektron çoğaltıcının kazancı, uygulanan manyetik alanın artırılmasıyla düşecektir, ama düşüş oranı alan doğrultusuna bağlıdır. Bundan dolayı, elektron demetinin kararlı (stable) olabilmesi için, demette elektronlar üzerine etkiyen kuvvetler demet boyunca dengede olmak zorundadır.

Bir elektrona karşılık kazanç (gain), üstel olarak değişir ve  $10^7$  elektronun üstünde doyum etkisi gözlenmektedir. Şekil 2.3'te CEM için voltaja karşılık elektron kazanç değişimi gösterilmektedir. Şekilde  $10^7$  üzerindeki kazanç değerleri için doyum etkisi gözlenmektedir.



**Şekil 2. 3:** Tipik voltaj değerlerine karşılık tek elektron kazancının gösterimi (Philips-CEM).

1930'lardan beri farklı geometrilere elektron çoğaltıcının kullanımı büyük avantajlar sağlaması açısından yaygındır (Farnsworth 1930). Bu konuda ilgi noktası genellikle, dedekte etme etkinliği, sinyal gürültü oranı, yüksek kazanç, kararlılığı artırmak ve giriş ekranını artırmak olmuştur. Büyük bir giriş ekranı oluşturmak hariç diğer parametreler büyük ölçüde başarılıdır. Çoğaltıcının alanını artırmak konusunda iki teknik mevcuttur. Bunlardan birisi, matris tipi yapının içinde ayrı kanalların birleşimini içermektedir (Goodrich ve Love 1968, Somer ve Graves 1969, Burroughs 1969, Adams ve Manley 1967). Diğer teknik ise bir koni geometrisi içinde yarıiletken kanallar kullanılarak yapılmaktadır (Sharber et al. 1968, Lewis et al. 1968).

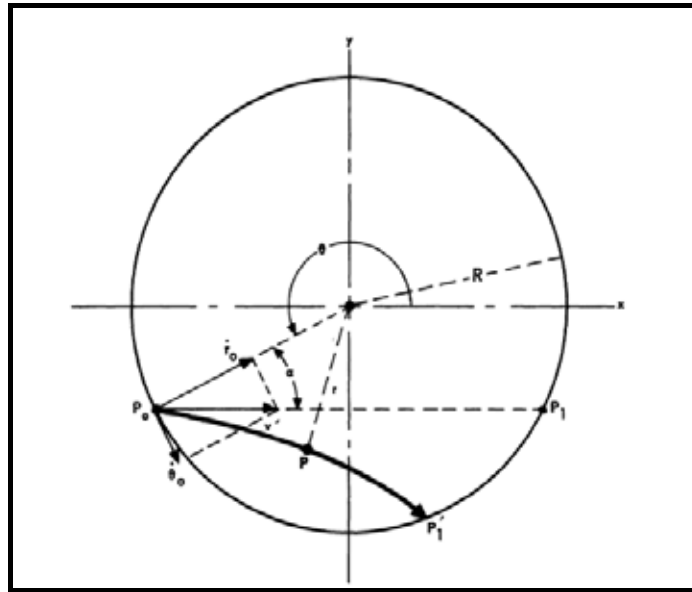
Dedektörlerde üç mümkün kazanç sınırlayıcı mekanizma söz konusudur.

#### 2.1.1.1 Space-charge etkisi

Space-charge etkisi yarı-niceliksel olarak (Bryant ve Johnstone 1965, Schmidt ve Hendee 1966) tartışılmaktadır. Bu gibi tartışmalar yayımlanan elektron bulutunun

kanal içerisinde radyal bir kuvvete neden olduğu temeline dayanmaktadır. Bu kuvvet, elektronların uçuş zamanını önemli bir şekilde kısaltmak için yeterli büyüklüktedir. Uçuş zamanı azalırken, ikincil elektron kazancı da azalacaktır. Son olarak, space-charge etkisi altındaki elektronların kinetik enerjileri de azalmaktadır.

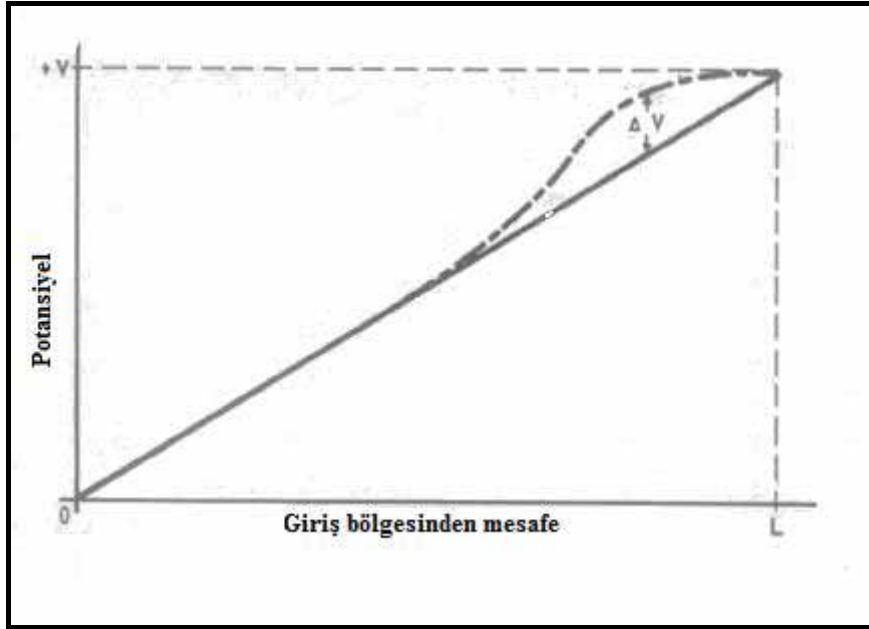
Space-charge etkisi ile ikincil elektronların kanaldan geçiş zamanındaki azalıştan dolayı çoğaltıcı kanal doyuma ulaşır. Bu nedenle space-charge etkisinin analizi için elektron geçiş zamanı ile space-charge şiddeti arasındaki ilişkiyi belirlemek önemlidir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi,  $P_0(R, \theta_0)$  noktasından kanal duvarından yayımlanan bir ikincil elektronun space-charge etkisine göre dik doğrultudan saptığını varsayarsak, ikincil elektron  $P_1'(R, \theta_1')$  noktasında kanal duvarıyla etkileşecektir. Elektron üzerine etki eden radyal kuvveti belirlemek için Poisson denklemini çözülmelidir.



**Şekil 2. 4:** Space-charge etkisi ile ikincil elektronların sapmasını gösteren kanal çoğaltıcının görünümü (Schmidt and Hendee, 1966).

### 2.1.1.2 Alan bozunumu etkisi

Diğer sınırlayıcı etken ise, alan bozunumu etkisidir. Alan bozunumu etkisi, yayımlanan ikincil elektron sonucunda elektron çoğaltıcının yüzeyi pozitif bir potansiyelle yüklenebilmesidir (Evans 1965). Bu durum için iyonik geribesleme alan bozunumunda etkindir. Bu durumda, potansiyel gradyenti elektron yoğunluğunun çok büyük olduğu kanalın çıkış ucunda azalma eğilimli olacaktır (Şekil 2.5).



**Şekil 2. 5:** Çoğaltıcı kanaldaki potansiyel dağılımının gösterimi. Kesik çizgi ikincil elektron emisyonuna göre yüklenen kanal duvarını belirtmektedir (Shmidt and Hende, 1966).

### 2.1.1.3 Akım-yakalama etkisi

CEM kazancı, genelde, camın ikincil emisyon katsayısının ( $\delta$ ), uygulanan voltajın ( $V_{CEM}$ ) ve tüpün uzunluğunun çapına oranının ( $l/d$ ) bir fonksiyonudur.

Bir diğere deyişle, kanaldan elde edilen kazanç, uygulanan voltaj, artık gaz bazıncı, tñpñn direnci ve geometrisinin bir fonksiyonudur. Akım-yakalama etkisi 10 keV altındaki enerjili elektronlar için ihmal edilebilir (Borries and Dosse 1938).

C kapasitans değeri (F); V kalibre edilmiş pulsun genlik voltajı; q elektron yñkñ olmak üzere; kalibre edilmiş pulstaki elektronların sayısı,

$$N = CV / q \quad (2.1)$$

olarak verilir.  $C_p$  kazanç pikinin oluştuğu yerdeki kanal sayısı,  $C_c$  kalibrasyon pulsunu içeren kanal sayısı, N kalibrasyon pulsundaki elektronların sayısı olmak üzere CEM kazancı;

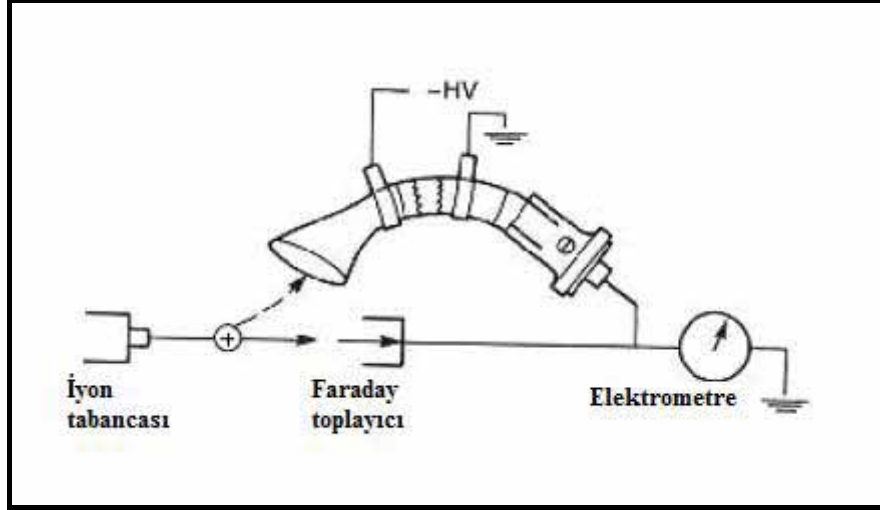
$$G = C_p / C_c \times N \quad (2.2)$$

olarak hesaplanır. Bu formñl sadece quasi-Gaussien puls yñkseklik dağılımı (Puls Height Distribution; PHD) oluştuğunda geğerlidir.

Giriş akımı ( $I_i$ ) standart Faraday elektron çoğaltıcıda ölçñlñr. Demet daha sonra CEM giriş aperture'ndan saptırılır ve çıkış akımı ( $I_o$ ) ölçñlñr (şekil 2.6). Bñylelikle kazanç,

$$G = I_o / I_i \quad (2.3)$$

formñlñ ile hesaplanabilir.



Şekil 2. 6: Analog test konfigürasyonu.

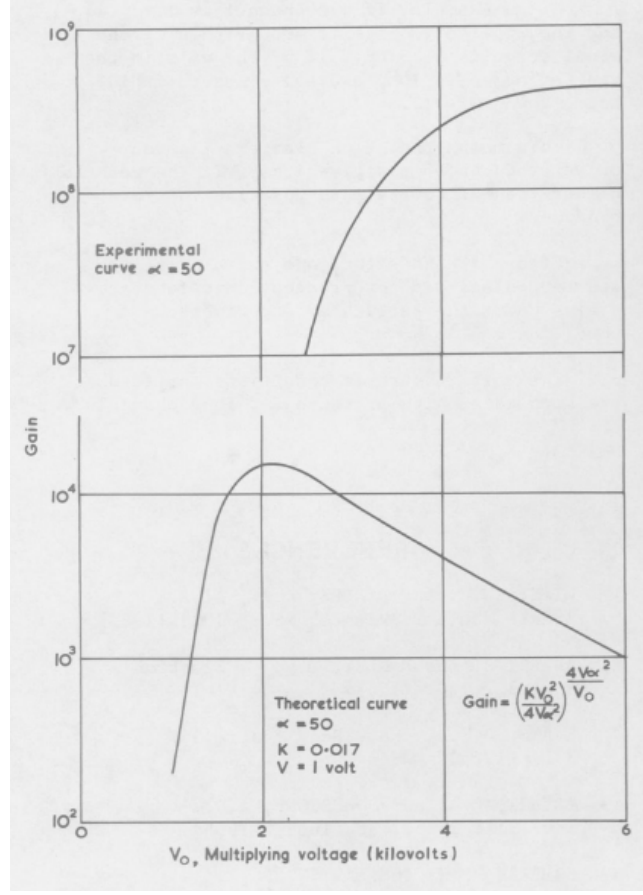
### 2.1.2 CEM Kazanç-Voltaj Karakteristiği

Kanal duvarıyla ikincil elektronların çarpışma enerjisi, uygulanan voltajla artacaktır ama aynı zamanda çarpışma sayısı azalacaktır. Bundan dolayı kazanç artacak fakat voltaj daha fazla artırılırsa azalacaktır.

G kazanç,  $V_0$  uygulanan voltaj,  $V$  ikincil elektronların ilk enerjisi,  $\alpha$  uzunluğun çapa oranı,  $\delta = KV_c$  ilişkisine göre K bir sabit,  $\delta$  ikincil emisyon katsayısı,  $V_c$  çarpışma enerjisi olmak üzere;

$$G = \left( \frac{KV_0^2}{4V\alpha^2} \right)^{\frac{4V\alpha^2}{V_0}} \quad (2.4)$$

ile hesaplanmaktadır (Shagen, 1974). Şekil 2.7'de voltaja karşılık kazanç karakteristiğinin deneysel ve teoriksel sonuçları görülmektedir.



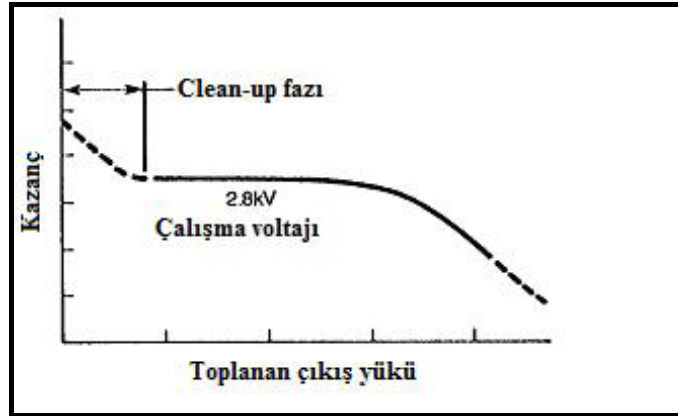
**Şekil 2. 7:** Voltaja karşılık kazanç karakteristiğinin deneysel ve teoriksel olarak karşılaştırılması (Shagen, 1974).

Elektron çoğaltıcıya uygulanan voltaj artırıldığında space-charge doyumunun olduğu bir noktaya ulaşılır. Bu kanalın çıkış ucunda kanal duvarının pozitif yüklenmesi (iyonik geribesleme etkisi) ile ikincil emisyon oluştuğunda meydana gelir. Bu noktada, voltaj değerlerine karşı kazanç karakteristiği lineer olmamaktadır. Eğri üzerinde istenilen çalışma noktası elektron çoğaltıcının analog ya da sinyal sayım modunda çalıştırılıp çalıştırılmadığına göre önceden belirlenir.

### 2.1.3 CEM Çalışma Voltaj Değeri (Operating Point)

Elektron çoğaltıcının ömrü ve performansı için gerekli olan minimum voltajda çalıştırılmalıdır. Bu noktanın ötesinde voltaj artırımını performansı önemli ölçüde değiştirmez ve sadece dedektörün kullanma ömrünü kısaltır. Bu voltaj değeri her bir elektron çoğaltıcı için aynı değildir. Kataloglarda çalışma voltaj aralıkları her biri için verilmektedir.

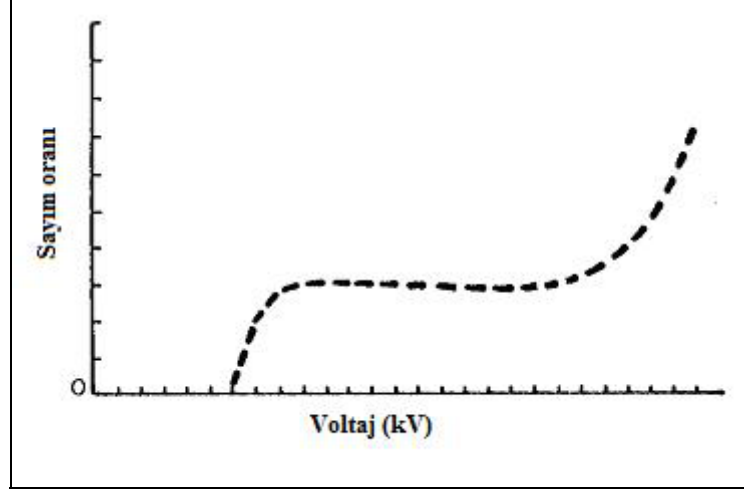
**Analog çalışma modu;** Bazen çok yüksek kazançlı elektron çoğaltıcıyı ayarlamak zordur, çünkü dedekte etme etkinliğini artırmak için belirli bir yüksek voltajda sinyal doyuma ulaşabilir. Bu elektron çoğaltıcının voltajının ayarlanması ile başarılabilir. Şekil 2.8’de, tek-kanallı elektron çoğaltıcının çoğaltma işlemi için “clean up” aralığı gösterilmektedir. 2.8 kV çalışma voltajında “clean up” fazından sonra kazancın hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. Belirli bir değerden sonra da kazanç düşmektedir.



**Şekil 2. 8:** BURLE model CEM karakteristik “clean up” fazının gösterimi (Channelbook-BURLE).

**Sinyal Sayım Çalışma Modu;** Sinyal sayım modunda elektron çoğaltıcı için çalışma noktası; voltaja karşılık sayım oranı karakteristiği tarafından düzlük (plateau) belirlenerek ayarlanmaktadır. Şekil 2.9’da bu durum için tipik grafik verilmiştir. Düzlük (plateau) bütün sinyal elektron çoğaltıcı girişinde

toplandığında oluşur. Voltajdaki artışlar kazançı artırır ama sayım oranı oldukça sabit kalır. Daha sonra çok yüksek kazançtan dolayı iyonik geribeslemenin önemli olduğu noktaya ulaşılır ve sayım oranı tekrar hızlıca artar. Bu istenmeyen bir durumdur, çünkü CEM içinde üretilen extra sayımlar gelen parçacıktan değildir.



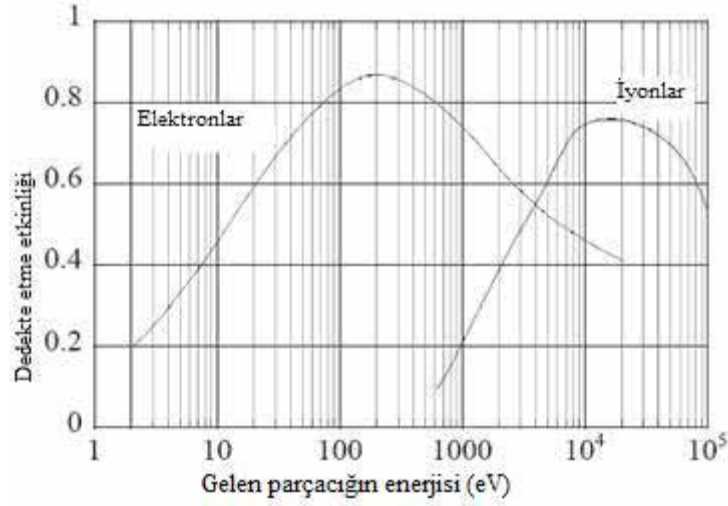
Şekil 2. 9: Voltaja karşılık sayım oranı (Channellbook-BURLE).

Bu modda optimum çalışma noktası yaklaşık 50-100 V'dur.

#### 2.1.4 CEM'de Dedekte Etme Etkinliği (Detection Efficiency)

Dedekte etme etkinliği (detection efficiency) elektron çoğaltıcılar için önemlidir ve gelen demetin enerjisi ve açısının bir fonksiyonu olarak incelenmektedir (Macau 1976, Galanti 1971, Gao 1984, Goruganthu and Wilson 1984). Dedekte etme etkinliği, çoğaltıcı tüpün çıkışında toplanan sinyal sayılarının çoğaltıcıya gelen foton ya da yüklü parçacıkların sayısına oranı olarak tanımlanabilir. Bunun yanında, tam dedekte etme etkinliğinin ölçülmesi oldukça zordur (Hashizume and Sakurai 1986). Elektron çoğaltıcının etkinliğinin artırılması için elektron çoğaltıcıya gelen parçacıkların enerjilerinin artırılması gerekmektedir. Şekil 2.10'da elektron çoğaltıcı için elektron ya da iyonların enerjilerine göre elektron

çoğaltıcının etkinliği görülmektedir. İyonların hızlandırılmasında elektronlardan daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.



**Şekil 2. 10:** Gelen elektron ya da iyonların enerjilerinin bir fonksiyonu olarak elektron çoğaltıcının etkinliğinin değişimi.

Bütün radyasyon tipleri için elektron çoğaltıcının dedekte etme etkinliği, gelen demetin çoğaltıcının yüzeyine çarptığı yerdeki açıya bağlıdır. Smith ve Pounds (1968) X ışınları kullanarak giriş açısı ile dedekte etme etkinliğindeki değişimi incelemiştir. Kanal eksenine  $2^0$  ile  $5^0$  arasında geliş açısında keskin bir şekilde pik yaptığı ve daha sonra açı arttıkça hızlı bir şekilde düştüğü gözlenmiştir. Eğri şekli X ışınları teorisi ile uyumludur:

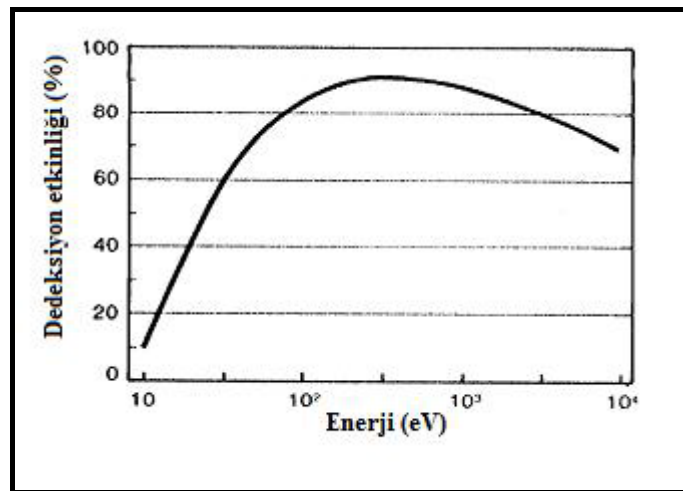
$$Y_{\alpha} = Y_{\pi/2} \frac{1}{\sin \alpha} \quad (2.5)$$

$Y_{\alpha}$ ;  $\alpha$  açısında ölçülen fotoelektrik kazanç ve  $Y_{\pi/2}$  dik gelişteki fotoelektrik kazançtır. Deneysel sonuçlar hem büyük, hem de küçük açılarla gelişteki teoriksel eğriden sapmaktadır. Fakat bu kısmen X-ışın demetinin farkından dolayı, kısmen küçük açılarda fotonların kanalın aşağısında daha uzaklarda absorbe edilmesinden

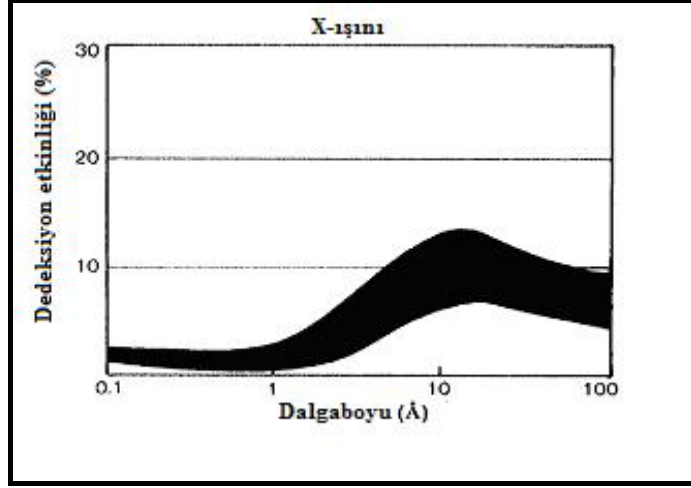
kaynaklanır. Böylece daha düşük kazanç elde edilecektir. Benzer bir durum elektronlar ve iyonlar için bulunur ve açının artmasıyla etkinlikteki bu azalış, iyon ve elektronların geliş açısıyla çoğaltıcı duvarının ikincil emisyon katsayısının değişimi ile ilişkilidir (Tatry 1969).

En yüksek dedekte edilen sayım oranı kanal direnci ve çoğaltıcının sinyal sayma sistemindeki gürültü seviyesi tarafından belirlenmektedir. Direncin seçimi ise uygun güç ve belirli gereksinimleri sağlamak için kanal malzemesinin gereklilikleri tarafından belirlenmektedir.

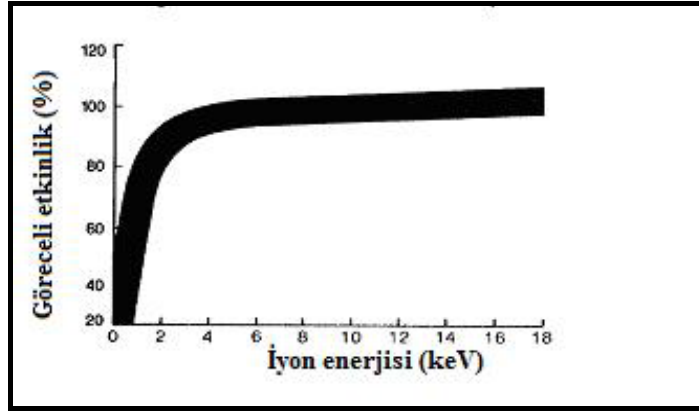
Dedekte etme etkinliği, elektron çoğaltıcı girişine gelen yüklü bir parçacığın bir çıkış pulsu üretme olasılığıdır. Bu parametre gelme açısı kadar gelen parçacığın enerjisi, kütlesi ve hızına bağlıdır. Şekil 2.11, 2.12 ve 2.13'te elektronlar, iyonlar ve fotonların enerjilerinin bir fonksiyonu olarak tipik dedekte etme etkinlikleri gösterilmektedir. İyonlar için dedekte etme etkinliği, hem iyonun enerjisine ya da ikincil emisyon yüzeyine çarptığı noktadaki hızına, hem de iyon kütlesinin yüküne oranına ( $m/z$ ) bağlıdır. Şekil 2.14'de  $m/z$  oranına karşı CEM kazancı iyonlar için görülmektedir.



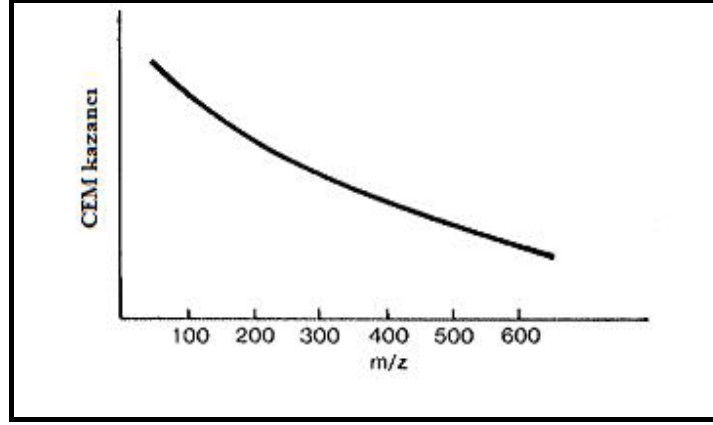
Şekil 2. 11: Elektron dedekte etme etkinliği (Channelbook-BURLE).



Şekil 2. 12: X-ışını için karakteristik dedekte etme etkinliği (Channelbook-BURLE).



Şekil 2. 13: İyon dedekte etme etkinliği (Channelbook-BURLE).



**Şekil 2. 14:** İyonlar için m/z oranına karşılık CEM kazancı (Channelbook-BURLE).

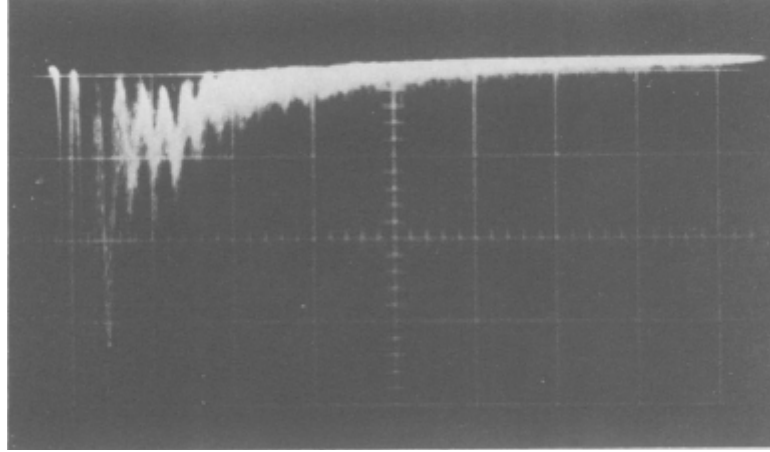
Galanti (1971) tarafından dedekte etme etkinliğinin 50 eV'ta %50'den 1 keV'ta %70'e arttığını gözlemlemişlerdir ve elektronun gelme açısı ile etkinliğin değişimini incelemişlerdir ve 1 keV gelen elektronlar için 20°'de maksimum gözlemlemişlerdir. Elektron yörüngeleri kanal eksenine hemen hemen paralel olursa, kanal yüzeyi ile ilk etkileşimden önce kanal içine nüfuz etme olasılığı yüksektir. Çizelge 2.1'de CEM ve MCP'ler için alınan dataları içeren farklı radyasyon çeşitleri için çoğaltıcı kanalların dedekte etme etkinliği özetlenmektedir.

**Çizelge 2.1:** Çoğaltıcı kanalların karakteristik dedekte etme etkinliği (Schagen, 1971).

Radyasyon Çeşidi	Enerji	Dedeksiyon etkinliği
Elektronlar	0,2-2 keV	50-85
	2-50 keV	10-60
Pozitif İyonlar ( $H^+$ , $He^+$ , $A^+$ )	0,5-2 keV	5-85
	2-50 keV	60-85
	50-200 keV	4-60
U. V. Radyasyon	300-1100 $A^0$	5-15
	1100-1500 $A^0$	1-5

### 2.1.5 CEM İyonik Geri Besleme Problemleri

Herhangi bir deneysel vakum sisteminde, her zaman bir miktar kalan gaz vardır. Duvarların yüzeyleri üzerinde absorbe edilen gazlar, iyonize olur. Bu iyonlar aygıtın girişine doğru geri hareket etmektedirler. Giriş yakınındaki duvarlara çarptığında onlar ikincil elektronlar üretirler ve sonuç olarak yükseltip çıkış ucunda bir gürültü pulsu olarak dedekte edilirler. Bu olayda dedekte edilen elektron çoğaltıcıya çoğaltılması istenen parçacık değil, elektron çoğaltıcının kendi içinde kalan taneciklerden üretilen ikincil elektronlardır. Bu fenomen “iyonik geribesleme” olarak bilinir. İyonik geribesleme kanalın kazancını istenmeyen şekilde, önemli miktarda artırır. Eğri kanallara sahip elektron çoğaltıcılar bu problemi etkin olarak minimize ederler. Şekil 2.15’de düz kanallı CEM kullanılarak elde edilen iyonik geri besleme pulsu görülmektedir. Bu pulsa göre, osiloskopta görülen çoklu pulslar iyonik geribesleme tarafından kaynaklanır (Adams and Manley, 1965).



**Şekil 2. 15:** Çoğaltıcı kanaldan iyonik geri-besleme pulsları (Adams and Manley, 1965).

Çoğaltıcı kanal içindeki kalan gaza bağlı olarak, iyonik geribesleme, kazancın (gain)  $10^5$ 'den fazla olması durumunda önemli olmaktadır. Girişe gelen tek elektron tarafından kanal çıkışındaki bir elektron sinyali, birkaç tane pozitif yüklü gaz iyonları üretebilir. Bunlar düşük voltajlı kanal sonuna doğru geri hızlandırılır. Eğri bir kanalda da iyonik geribesleme etkisi gözlenmektedir. Fakat, Evans (1965) elektron çoğaltıcının iç duvarları ile zamansız olarak iyonların çarpıştırılması ile iyonik geri beslemeyi azaltmak için minimum eğriyi hesaplamıştır.

Hem düz, hem de eğri kanallarda görülen doyum etkileri, çoğaltıcı kanalın basit teorisi ile belirlenemez. Eğri kanaldaki sinyal üretimi zaman olarak oldukça kısadır ve maksimum kazanç düz kanaldakinden daha azdır. Bu ise eğri kanallardan elde edilen pulsların düz kanallardaki gibi benzer bir mekanizmayla sınırlandırılmaz olduğunu göstermektedir.

Eğri tüp biçimindeki çoğaltıcı kanallar yüklü parçacık ve foton akımının ölçümleri için geniş bir alanda kullanılmaktadır. Düşük enerjili fotonlar ve yüklü parçacıkların dedekte edilmesiyle ilgili prensipler Somer ve Graves (1969) tarafından açıklanmıştır.

Keskin pik biçiminde puls yükseklik dağılımına sahip, düz çoğaltıcılar da yapmak mümkündür. Fakat düz bir kanala sahip çoğaltıcılar kazancın gaz basıncına bağlı olmasından dolayı dezavantajlıdır. Eğri tüplü çoğaltıcılar ise genelde daha geniş puls yükseklik dağılımına sahiptir.

#### **2.1.6 CEM'lerde Puls Yükseklik Dağılımı (PHD)**

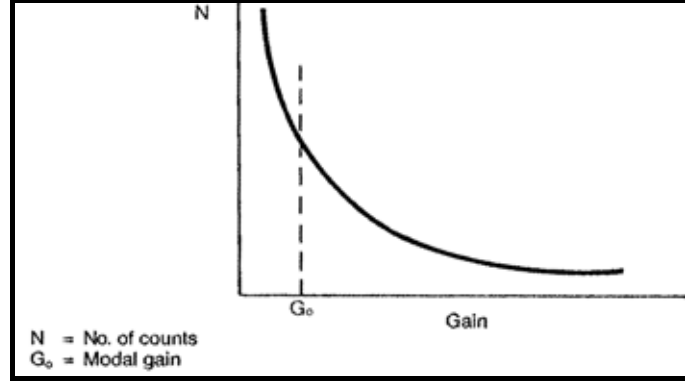
Eğer elektron çoğaltıcı mükemmel doyuma ulaşmışsa, elektron çoğaltıcının çıkış pulslarının ölçümünde dar bir puls-yükseklik dağılımı (pulse height distribution) elde edilir. Bu nedenle, tek parçacık sayımı çıkışa yakın kanalın doyuma ulaşmasını gerektirmektedir.

Puls yükseklik dağılımı CEM çıkış pulslarının genliğinin dağılımıdır. Tipik bir PHD, çok kanallı analizör (MCA) olarak isimlendirilen bir aygıt içinde CEM pulslarının beslenmesiyle elde edilmektedir. MCA onların genliğinin üzerine temel alınan her bir pulsa bir değer atar, bunları sayar ve her bir değerde kaydedilen puls sayılarını görüntüler.

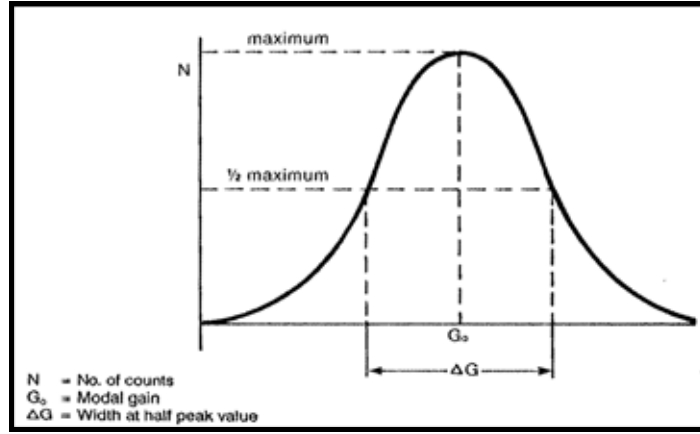
Analog çalışma için dizayn edilen elektron çoğaltıcılar bir negatif eksponansiyel puls yükseklik dağılımı (Puls Height Distribution; PHD) eğrisi üretirler (Şekil 2.16). CEM puls sayımı modunda bir quasi-gaussian puls yükseklik dağılımı (Puls Height Distribution; PHD) elde edilmektedir (Şekil 2.17). Çünkü space-charge doyumunda çıkış pulsları benzer genliktedir. CEM puls sayımının puls yükseklik dağılımı (PHD) için önemli parametrelerden birisi de yarı maksimum genişliği (Full-Width-at-Half-Maximum; FWHM) olmaktadır. Bu genellikle % olarak tanımlanır ve

$$FWHM = (G_0 / \Delta G) \times 100 \quad (2.6)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada  $G_0$  ; pik kazancı ve  $\Delta G$  ; pik yarısındaki değerde puls yükseklik dağılım eğrisinin genişliğidir. Daha dar puls yükseklik dağılımı (PHD), daha küçük yarı maksimum genişliği (FWHM) tanımlamaktadır. Genelde, aygıtın uzunluğunun çapına oranı ( $l/d$ ) daha büyük ise, daha dar puls yükseklik dağılımı (PHD) elde edilmektedir.



Şekil 2. 16: Analog puls yükseklik dağılımı.



Şekil 2. 17: Sinyal sayımı modunda puls yükseklik dağılımı.

Akım pulsunun alanı elektron kazancına eşit olduğundan dolayı, PHD eksponansiyel olduğunda kanal çıkış akımı pulsunun genliğinde değişmelerin olması beklenir (Şekil 2.16). Fakat kazancı doyuma ulaşmış CEM için PHD piki puls kazanç değişiminin minimum olmasını vurgular (Şekil 2.17).

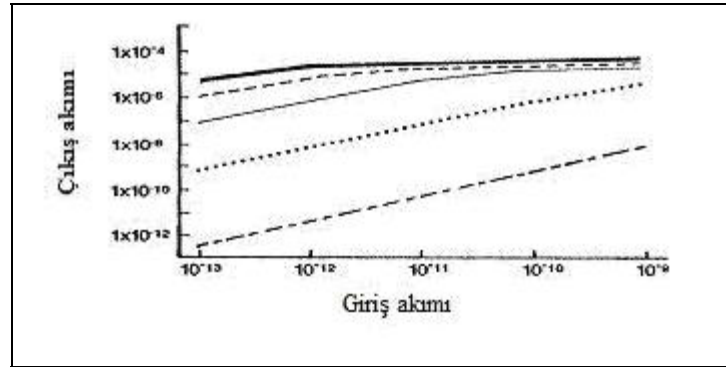
### 2.1.7 CEM Çalışma Voltaj Dinamik Aralığı (Dynamic Range)

Dinamik aralık (dynamic range) genellikle dedekte edilen sinyalin maksimum değerinin, minimumuna oranı olarak tanımlanır. CEM dizaynı için dinamik aralık, puls sayım modunda, maksimum sayım oranı kapasitesinin ölçümüdür. Analog

modda ise maksimum lineer çıkış akımının ölçümüdür. Her ikisi de CEM öngerilim akımına bağlıdır.

Analog tek kanallı elektron çoğaltıcılar (CEM) öngerilim akımının yaklaşık %10-20 sine eşit bir değerinde lineer çıkış elde etmektedirler. Öngerilim akımı ikincil emisyon işlemini sağlamak için elektronlara uygulanmasından dolayı bu sınırlıdır. Örneğin standart BURLE-4700 serisi CEM 30-40 mikroamper derecesinde öngerilim akımlarına (bias current) sahiptir. Maksimum lineer çıkış 5-10 mikroamper düzeyinde olabilmektedir. Şekil 2.18'de görüldüğü gibi, giriş akımına karşı standart 4700 Serisi BURLE CEM için tipik lineerliği göstermektedir.

CEM sinyal sayımının maksimum sayım oranı kapasitesi (capability); ne öngerilim akımına (bias-current), ne de kanal kapasitansına bağlıdır. Sayım oranı belirli bir noktanın ötesinde arttığında sinyal genlikleri azalmaya başlar ve ayırtedici (discriminator) eşik değerinin altındaki bir düzeye düşer. Sayım oranının en üst limiti çıkış pulsunun genişliği ile belirlenmektedir.



Şekil 2. 18: BURLE 4700 serisi için tipik lineerlik (BURLE-Handbook).

### **2.1.8 Tek Kanallı Elektron Çoğaltıcılarda Belirsizlik Gürültüsü (Dark Noise)**

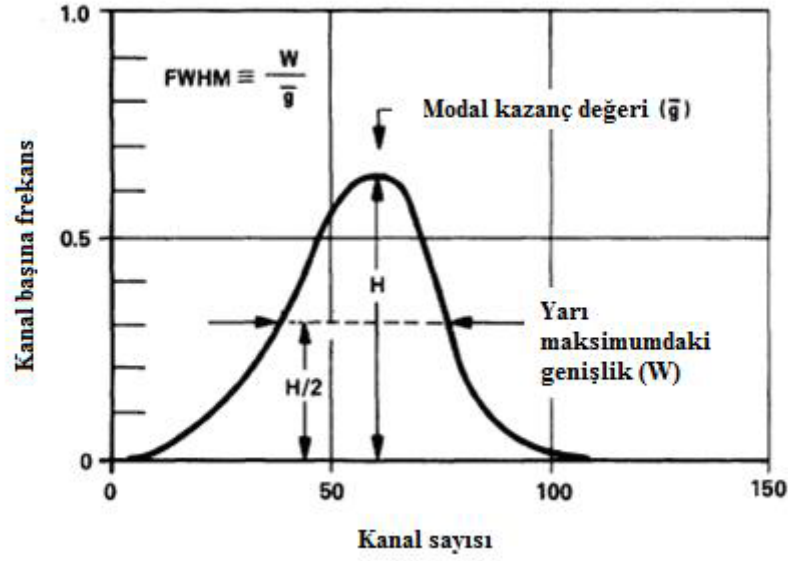
Dark noise, CEM giriş sinyali yokken CEM'den elde edilen çıkış akımı olarak tanımlanır. Bu parametre çok düşük sinyal düzeyleri vermektedir. Dark current ile dark count rate arasında bir ayırım yapılmak zorundadır. "Dark count rate" puls sayım parametresidir ve genellikle saniyede 0.05 sayım derecesinde ya da çoğu CEM'ler için daha az seviyededir. Diğer yandan, "dark current" CEM dışındaki durumlardan kaynaklanabilir.

CEM için düşük "dark noise" ye sahip olduğundan dolayı, düşük seviyedeki ölçümler için uygundur. Bendix model CEM 4010 için tipik "dark noise" sayım oranı yaklaşık 1 sayım/100 saniye olmaktadır.

### **2.1.9 CEM Uzun-Dönem Kararlılık (Stabilite) Karakteristiği**

Çoğu uzay araştırmalarında elektron çoğaltıcıların aylar hatta yıllar boyunca güvenli bir şekilde kullanılmaları gerekmektedir. Bu gereklilik sınırlı olabilir çünkü ortalama  $10^4$  sayım/saniye oranlı bir CEM bir yıllık kullanımda  $3 \times 10^{11}$  toplam sayım gerçekleştirecektir.

Doyum modunda çalışılan elektron çoğaltıcının kazancını sinyal başına çıkış elektronlarının sayısı olarak tanımlamak ve çıkış kazanç dağılımını yarı-maksimum genişliğinin model kazancına oranı ile karakterize etmek uygundur. Bu yarı maksimum genişliği (Full-Width at Half-Maximum; FWHM) parametresi olarak bilinmektedir (Şekil 2.19).



**Şekil 2. 19:** Kanal sayısının kanal başına frekans değerlerine bağımlılığı.

Elektron pulsları yaklaşık 2000 pF'lık kapasitör tarafından yüksek voltajdan ayrıştırılabilmektedir. Uygulanması gereken optimum voltaj değerleri 2700 ile 2900 V arasındadır. Uzun dönem kararlılığı etkileyen başlıca faktörler aşağıda verilmiştir:

**1. Kirlilik (Pollution):** Elektron çoğaltıcı kanalların iç yüzeyinde bulunacak farklı parçacıklar çoğaltma işlemine doğrudan katılacak ve çoğaltıcı kazancının kısa sürede doyuma ulaşmasını sağlayacaktır. Fakat bu sayımdan elde edilen sinyal gerçek bir sinyal değildir ve iyonik geri besleme pulsu olarak bilinen pulsları oluşturmaktadır. Kanalın kısa sürede doyuma ulaşmasından dolayı da çoğaltıcı kanalın kirliliği ile kanal ömrü kısalmaktadır.

**2. Kanal Modeli:** Çoğaltıcı kanalın düz ya da eğri biçimli olması da direkt olarak kazancı etkileyen faktörlerden olduğundan, kanal modeline göre kararlılık süresi belirlenmektedir.

**3. İç Yük-Yoğunluk Profili:** Verilen bir çoğaltıcı için yük-yoğunluk profili ilk önce uygulanan voltaj tarafından belirlenir, fakat bu profil önemli derecede kazanç düşüşüne sebep olacak sayım oranlarında çoğaltma işlemi ile belirlenir.

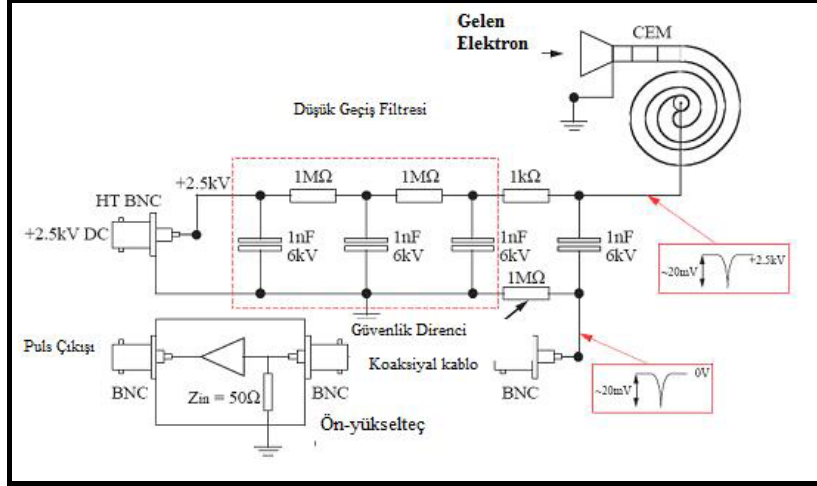
Uzun dönem kararlılık için voltaj değerlerini belirlemek ve yüksek sayım oranlarından kaçınılmak zorundadır.

**4. Diğer Parametreler:** İşlem boyunca basınç, sıcaklık gibi değerlerin de uzun dönem elektron çoğaltıcıların kararlılığını etkileyen önemli parametrelerdir. Bu nedenle çoğaltıcıların uzun dönem kararlılığı için basınç ve sıcaklık değerleri uygun değerde tutulmalıdır.

#### **2.1.10 CEM Çalışma Teorisi**

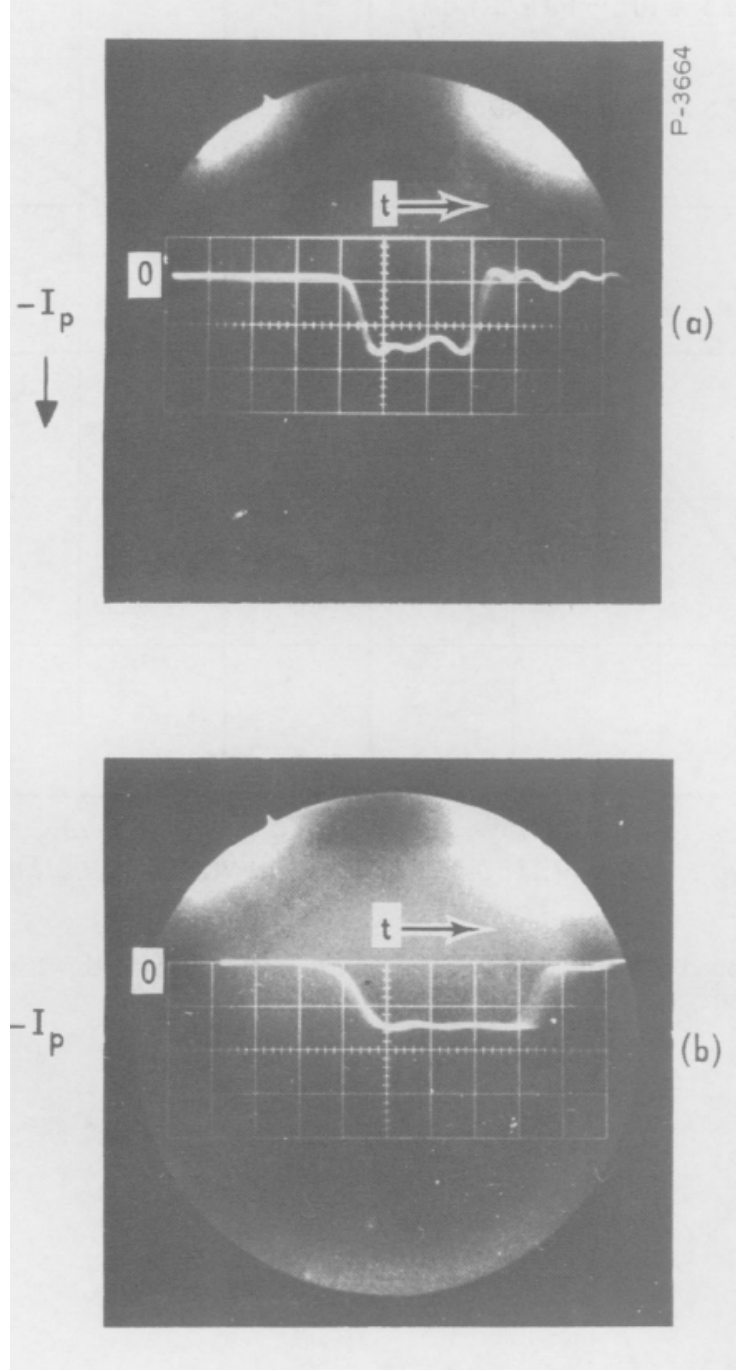
Pozitif iyonlar için, giriş genellikle 1200-3000 Voltluk negatif bir potansiyelde çıkış ise topraklanmış olarak tutulmaktadır. Negatif iyonlar için ise, giriş topraklanır yada pozitif potansiyelde tutulur ve çıkış yüksek pozitif voltajda tutulur. Sistemde kullanılan elektron çoğaltıcılar için kullanılması gerekli voltaj değerleri puls yükseklik dağılımı ölçülerek ayarlanmaktadır.

Çıkış sinyali 1nF 6 kV bir kapasitör kullanılarak ön-yükselteç için ayrıştırılır. Elektron çoğaltıcıyı korumak için kullanılan güvenlik direnci (safety resistor) her zaman topraklanmaktadır (Şekil 2.20).



**Şekil 2. 20:** Elektron demetini dedekte etmek için öngerilim devresi. Düşük geçiş filtresi yüksek voltajdan kaynaklanan gürültüyü azaltır (Experimental Collision Physics Lecture Notes).

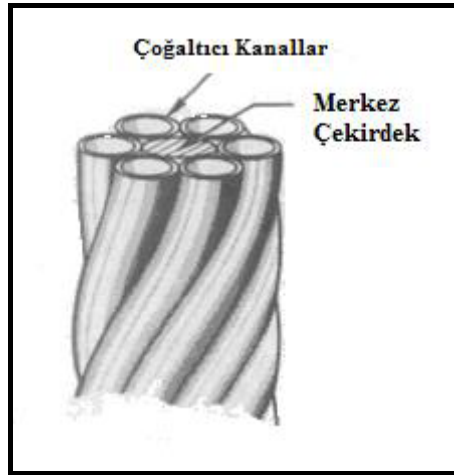
Kanal çoğaltıcı çıkış akım pulsları, bir anod üzerine toplanarak osiloskop yardımıyla gözlenir. Akım pulslarının genişliği, çoğaltıcı kanalların uzunluğu ile orantılıdır. Doyum durumunda puls genlikleri kanal çapından bağımsızdır (Şekil 2.21).



**Şekil 2. 21:** Doyum durumunda **(a)** 1 mm çaplı kanal için çıkış akım pulsu ( $l/d=100$ ) **(b)** 2 mm çaplı kanal için çıkış akım pulsu ( $l/d=82$ ) (Schmidt and Hende, 1966).

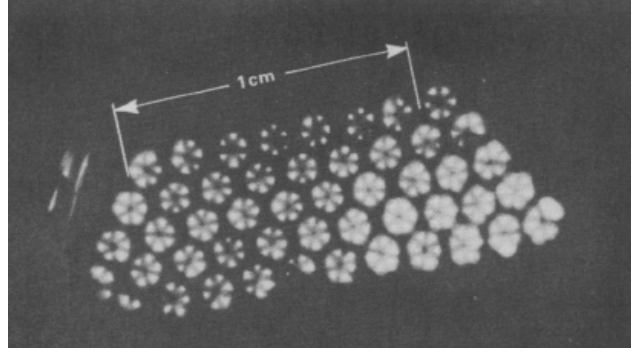
## 2.2 Spiraltron Elektron oğaltıcılar

Spiraltron elektron çoğaltıcılar elektriksel ve optiksel karakteristik bakımından CEM ile benzerdir. Tek elektron girişleri için iyi tanımlanan eşik değerine sahiptirler. İyonik geri-beslemeyi önlemek için eğri kanallı CEM gibi eğri kanalları yoktur. Spiraltronlar düz silindirik geometriye sahiptir. Bu aygıtlardaki iyonik geri-besleme merkez çekirdek etrafında spiral kanallar ile önlenir. Şekil 2.22'de spiraltron elektron çoğaltıcı gösterilmektedir. Spiraltron elektron çoğaltıcılar da CEM dizaynı gibi farklı boyutlarda ve farklı güç tüketimlerine sahip olarak yapılabilmektedir. Bu oğaltıcılar 4000 ayrı kanaldan oluşarak,  $l/d$  oranı yaklaşık 100'dür. 2400 V'da puls doyumu oluşmaktadır.



Şekil 2. 22: Spiraltron elektron oğaltıcısının görünümü (Somer, 1969).

Spiraltron elektron çoğaltıcılar için şekil 2.23'de fosfor ekran üzerindeki çıkışı göstermektedir. Parlaklıklardaki farklılıklar, kanallar arasında homojen olmayan kazancı belirtir.



**Şekil 2. 23:**  $\lambda = 44A^0$  giriş ile deneysel spiraltron elektron çoğaltıcının çıkış görüntüsü (Somer,1969).

Spiraltron elektron çoğaltıcılar için tipik toplam “dark noise” yaklaşık 5 sayım/saniye’dir. En düşük dedekte edilebilen fotoelektronlar sayım oranı, spiraltron elektron çoğaltıcılar için onların “dark noise” tarafından belirlenmektedir.

### 2.3 Mikro-Kanallı Dedektörler ( Microchannel Plate Detectors; MCP )

Kütle spektrometrelerinde, elektron spektrometrelerinde, astronomik çalışmalarda, parçacık fiziği deneylerinde, saçılma deneylerinde, astrofizik dedektörlerde mikro-kanallı elektron çoğaltıcılar kullanılmaktadır.

1960’lara kadar elektron çoğaltıcılar ayrı dinotlara sahipti ve dinotların büyük boyutları etkin kullanımı sınırlıyordu. Daha sonraki deneysel çalışmalarda ayrı olmayan dinotlarla elektron çoğaltıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmeler sayesinde ayrı olmayan dinotlar ile matris tipi yapının içinde kurulan MCP’ler üretilmiştir.

Son yıllarda, MCP kullanımı optiksel aletlerde, nükleer fizik araştırmalarında, astronomide ve tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır. MCP’ler ayrıca elektron-optiksel dönüştürücülerde, foto çoğaltıcılarda ve radyasyonun çeşitli biçimleri

(geniş bir enerji aralığındaki fotonlar, elektronlar, protonlar ve enerjileri 100 keV'tan yukarı olan ağır yüklü parçacıklar) için dedektör olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, MCP'ler konuma duyarlı dedektörler olarak ve nükleer reaksiyon ürünlerinde zamanlayıcı dedektörler olarak da kullanılmaktadır.

Mikro-kanallı dedektörlerin (Microchannel Plate Detectors; MCP) ön ve arka yüzü metal ile kaplı iken (giriş ve çıkış elektrodu) tüplerinin iç yüzeyi yarı-iletken madde ile kaplanmaktadır. MCP'ye uygulanan voltaj ile deliğe gelen her elektron yarı iletken yüzeyler sayesinde ikincil elektronlar üretmektedir. MCP'nin en önemli özelliği çıkışta küçük bir delik içine yük bulutunun lokalize olması ve geniş bir alanda birbirinden bağımsız çalışan çok sayıda deliğin bulunmasıdır. Gereki uzaysal çözünürlüğü sağlamak için CEM dedektörünün önüne genellikle bir aperture disk yerleştirildiği için tipik CEM çapı yaklaşık 0.2 cm olmaktadır. Bu yüzden çok sayıda CEM kullanılarak etkin bir konuma duyarlı dedektör uygulaması olmamaktadır. MCP'lerin üretilmesinde ise mikro-fabrikasyon teknikleri kullanılmaktadır. MCP'lerde dizideki bir kanal için tipik çap 12  $\mu m$ 'dir. Böylece konuma duyarlı dedektör olarak kullanılabilmeleri de mümkün olmaktadır.

Eğri kanallı tekli MCP için doyum durumunda kazanç yaklaşık  $10^6$ 'dır. İyonik geribesleme etkisi de MCP üretilmesinde teknolojik bir problem olmaktadır. Bu nedenle eğri kanallı MCP'ler üretilmiştir. İyonik geribesleme etkisinden kaçmak için alternatif bir öneri ise ikili MCP kullanmaktır. Bu ikili MCP sisteminde, iki plakanın eğimli kanallarının eksenleri arasında küçük bir açı ile monte edilmesiyle iyonik geribesleme etkisi azaltılmaya çalışılmaktadır. Açıda etkin bir değişim iki plaka arasındaki iyonik geri beslemeyi azaltacaktır.

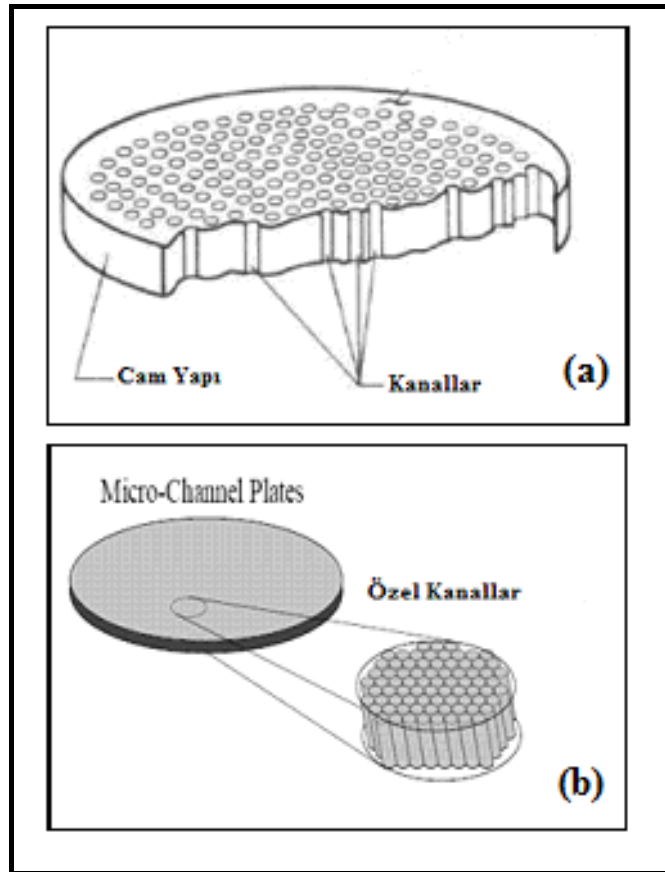
MCP X-ışınları, UV ışınlar ve yüklü parçacıkları dedekte etmek için kullanılan elektron çoğaltıcıdır. MCP'ler channeltron'lardan farklı bir şekilde birden çok bağımsız kanala sahiptir ve her bir kanal bağımsız elektron çoğaltıcı olarak görev yapmaktadır. MCP iki boyutlu çok küçük çaplı cam kanalların periyodik dizisinden oluşmaktadır. Tek gelen parçacık, kanala girer ve kanal duvarından bir

elektron iyonlaştırmaktadır. İkincil elektronlar MCP'nin her iki ucuna uygulanan potansiyel fark ile oluşan elektrik alan sayesinde hızlanmaktadır. Onlar kanal yüzeyine çarpına kadar parabolik yörüngeler izlemektedirler. Böylece daha fazla ikincil elektronlar üretebilmektedirler. İki ya da daha fazla MCP seriler halinde çalıştırılırsa tek bir giriş elektronuna karşılık çıkışta  $10^8$  ya da daha fazla elektrondan oluşan puls oluşmaktadır. Çıkış sinyalleri metal ya da multimetallik anotlar, tek yada iki boyutlu direnç gösteren anotlar, kama (wedge) ve şerit (strip) anotlar, erteleme-hattı okuma (delay-line readout) kullanılarak yada fiberoptik yada farklı bir madde üzerine birikmesi esasına dayanan fosfor bir ekran yardımıyla toplanmaktadır.

MCP'ler yüksek kazanç, yüksek uzaysal çözünürlük ve yüksek zaman çözünürlüğü gibi özelliklere sahiptir. Bu yüzden, görüntü alma spektroskopisinde, elektron spektroskopisi ve elektron mikroskopunda, kütle spektrometresinde, astronomi, atomik ve moleküler çarpışma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamaların çoğu yalnızca bir özellik gerektirmektedir. Örneğin uçuş zamanlı kütle spektrometrelerinde TOF (Time Of Flight) MCP'lerin yüksek zaman çözünürlüğü özelliği gerekmektedir. Diğer yandan, iyon mikroskopunda tekli atomların görüntülenmesi temelde uzaysal çözünürlüğü gerektirir. Parçacık analizörleri elektrostatik ya da magnetik dispersiyon sisteminin çıkışında bir MCP dedektör kullanılarak oluşturulabilmektedir. Çok hassas optiksel, UV ve X-ışını spektrometreleri uygun filtreleme ile üretilmektedir.

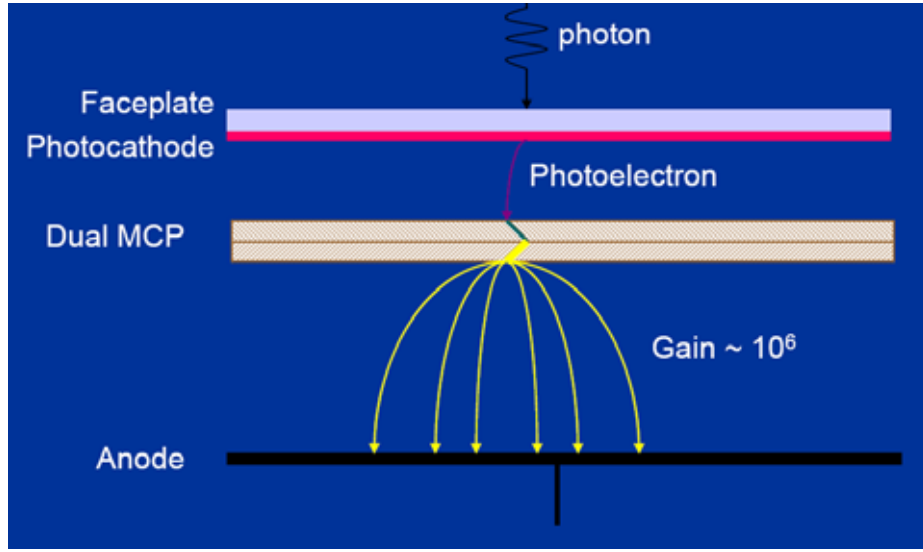
MCP temelli dedektörler dedekte edilen parçacığın tipine bağlı olarak farklı dizaynlara sahiptir. MCP'de her bir plaka ince bir disk ile küçük cam tüp dizisinden oluşmaktadır. Diskin her iki yüzü bütün kanallara elektriksel bağlantıları sağlamak için metalleştirilmiştir. Vakum ortamında, plakalara uygulanan potansiyel fark ile ( genellikle 800 ile 1200 V ) her bir kanal sürekli dinot elektron çoğaltıcı olmaktadır.

Bir MCP birbirine paralel 104-107 minyatür elektron çoğaltıcıdan oluşmaktadır. Tipik kanal çapı, 10-100 mikrometre ve l/d oranı 40-100 arasındadır. Şekil 2.24 (a)'da MCP'nin şematik görünümü ve şekil 2.24(b)'de MCP kanal yapısı gösterilmektedir. Çok kanallı elektron çoğaltıcılar konuma duyarlı dedektörler (Position Sensitive Detector) olarak kullanılmaktadır. Özellikle görüntü spektrometrelerinde gelen tek parçacığın konumu ve ulaşma zamanının çıkarılma zorluluğu konuma duyarlı dedektörler (PSD) sayesinde aşılmaktadır. MCP'ler geniş dedekte etme alanına sahip olmaları,  $10^6$ - $10^7$  aralığında yüksek kazanç elde edebilmeleri ve kısa geçiş zamanına (transit time) sahip olmaları nedeniyle deneysel sistemlerde kullanılmaktadır. Ayrıca, MCP'ler düşük gürültüye, düşük güç tüketimine, yüksek uzaysal çözünürlüğe sahiptirler.



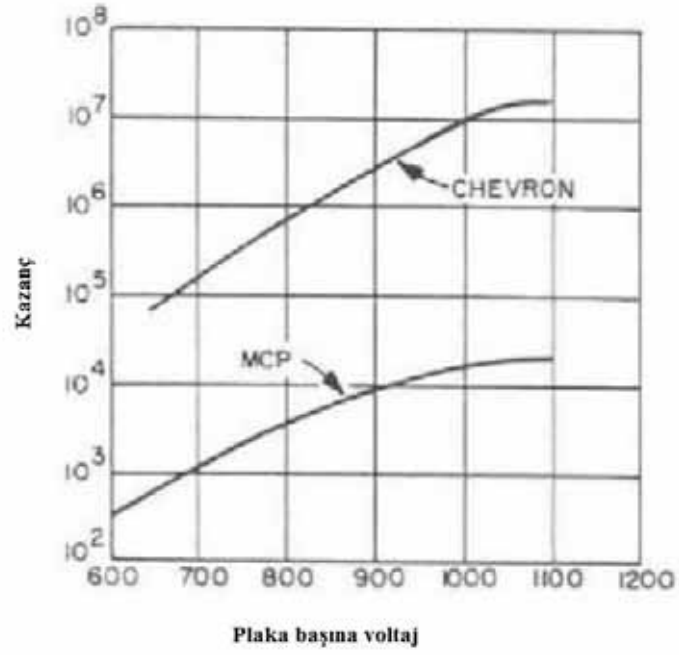
**Şekil 2. 24 (a) MCP'nin şematik görünümü. (b) Tipiksel MCP kanal yapısının görünümü (Wiza, 1979).**

Fotonları dedekte etmede MCP kullanımından önce fotokatodlar kullanılmaktadır. Fotokatodlar gelen fotonu fotoelektrona çevirerek MCP kanallarında çoğalmasını sağlamaktadır. MCP arkasındaki fosfor ekran ile çoğaltılan elektronlar tekrar fotona çevrilmektedir. Şekil 2.25'te foto-katod kullanımı ve fotonların çoğaltılma mekanizması gösterilmektedir.

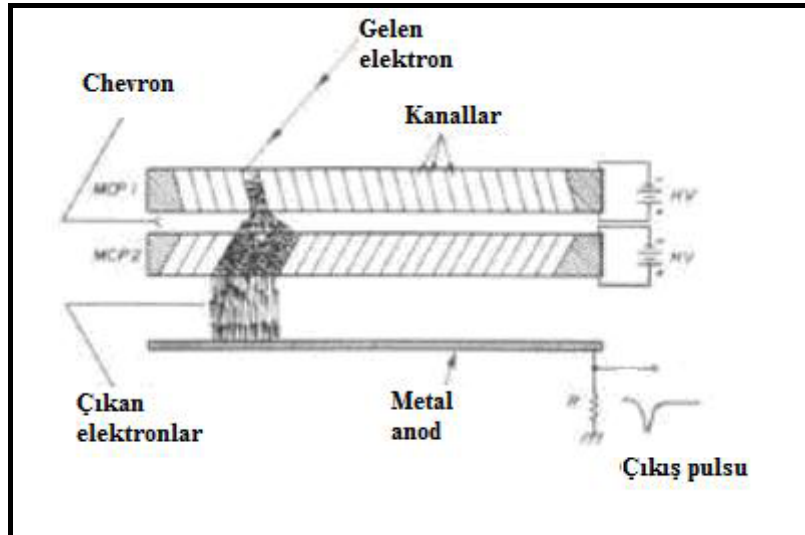


**Şekil 2. 25:** Foto-katod kullanımı ile MCP dizaynının foton için kullanımının gösterilmesi (BURLE-Handbook).

Düz kanallı MCP çoğaltıcılar genelde  $10^3$ - $10^5$  kazançta çalışılmaktadır. Şekil 2.26'da düz kanallı MCP ve düz kanallı ikili MCP dizaynı olan Chevron için karakteristik eğri gösterilmektedir. Şekil 2.27'de düz kanallı ikili MCP dizaynı gösterilmektedir.



Şekil 2. 26: Düz kanallı MCP ve Chevron için voltaja karşılık kazanç değerleri (Wiza, 1979).



Şekil 2. 27: Chevron (İkili MCP) görünümü (Colson,1973).

Eğri kanallara sahip ilk MCP'ler 1974'te Boutot tarafından tanımlandı ve Mullard tarafından elde edilen ilk sonuçlar 1974 ve 1977'de Timothy tarafından yayımlanmıştır.

### 2.3.1 Mikro-Kanallı oğaltıcı (MCP) Sistem Tanımı

Her bir dedektör sistemi, sensör ve konum sayıcı elektronik sayaç olmak üzere iki temel bileşenden oluşur. Sensör, iki ya da daha fazla MCP elektron çoğaltıcı, yüksek dirence sahip anot plaka ve yüksek vakumdan UHV (Ultra High Vacuum) oluşmaktadır. Konum sayıcı elektroniği ön-yükselteçler ve sayıcı devrelerden oluşur.

MCP dedektörler yuvarlak yada dikdörtgensel şekilli 0.4-3 mm kalınlıkta plakalar şeklindedir. Bal peteği yapısına sahiptirler ve 1 cm<sup>2</sup>'de, 5-15  $\mu$ m çaplı bir milyondan fazla ayrı kanal içermektedir.

Genelde, MCP'yi kullanan her bir dedektör üç kısımdan oluşmaktadır:

**1. Dönüştürücü (Converter):** Gelen elektron ya da fotonu fotoelektronlara dönüştürmek için MCP sisteminin ön kısmına konulan bir mekanizmadır. Bu bölüm, MCP ile gelen parçacıkları etkin olarak etkileştirmek için gelen elektronları fotoelektronlara dönüştüren bölümdür. Özel olarak uygulanan lüminesans ekranlar, nötronlar, ağır iyonlar ve yüksek enerjili parçacıklar için kullanılmaktadır.

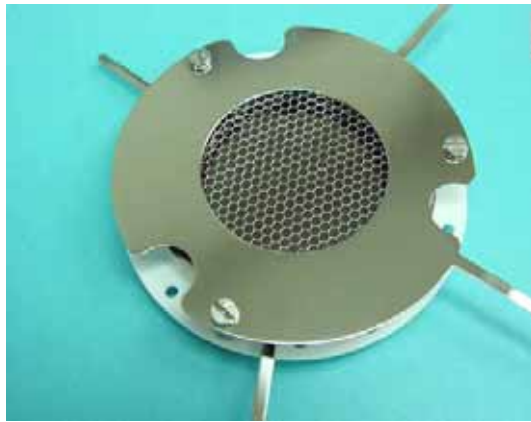
**2. MCP kanal bölümü:** Tek elektron ya da gelen foto-elektronu yükseltmek için kullanılan kanal mekanizma bölümüdür. Bu bölüm; tekli, ikili (Chevron olarak isimlendirilir) ya da üçlü birbirine bitişik MCP'lerden oluşabilir. MCP sayısı uygulamaya bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, düşük-düzey ışık için tipik görüntü yükseltici tekli MCP gerektirirken, tipik TOF-MS uçuş zamanlı

kütle spektrometrelerinde iyon dedektörü ikili MCP gerektirmektedir. Üçlü plaka MCP dedektörler tekli parçacıkları dedekte etmek ve görüntülemek için kullanılırlar.

**3. Okuma aygıtı:** Çıkan elektronları dedekte etmek için kullanılan mekanizmadır. Konum çözünürlüğünün gerekli olmadığı yerde parçacık sayımı ve dedekte edilmesi için tek metal anot okuma aygıtı olarak kullanılabilir. Metal anoda sahip MCP dedektörler kütle spektrometrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek zaman çözünürlüklü görüntü uygulamaları için, anot konfigürasyonları gelişmiştir. Bunlardan bazıları, direnç gösteren anotlar, Wedge ve Strip anotlar (yüksek çözünürlük ve düşük sayım oranlarında lineerlik için), erteleme hattı okuma (Delay-line Readout) (yüksek sayım oranları (10 MHz) için) 'lardır.

Kullanılan anodlar ya kesikli (discrete) ya da sürekli. Sürekli anot tipleri uzaysal çözünürlüğünün daha iyi olmasından dolayı gerekli olmaktadır.

Kullanılan metodlar da farklı olmaktadır. Yük bölümü metoduna göre dikdörtgenel anodun köşelerine ulaşan yüklerin toplam yüke oranı ile olayın konumu belirlenebilir. Şekil 2.28'de MCP dedektöründe anot yapısı gösterilmektedir.

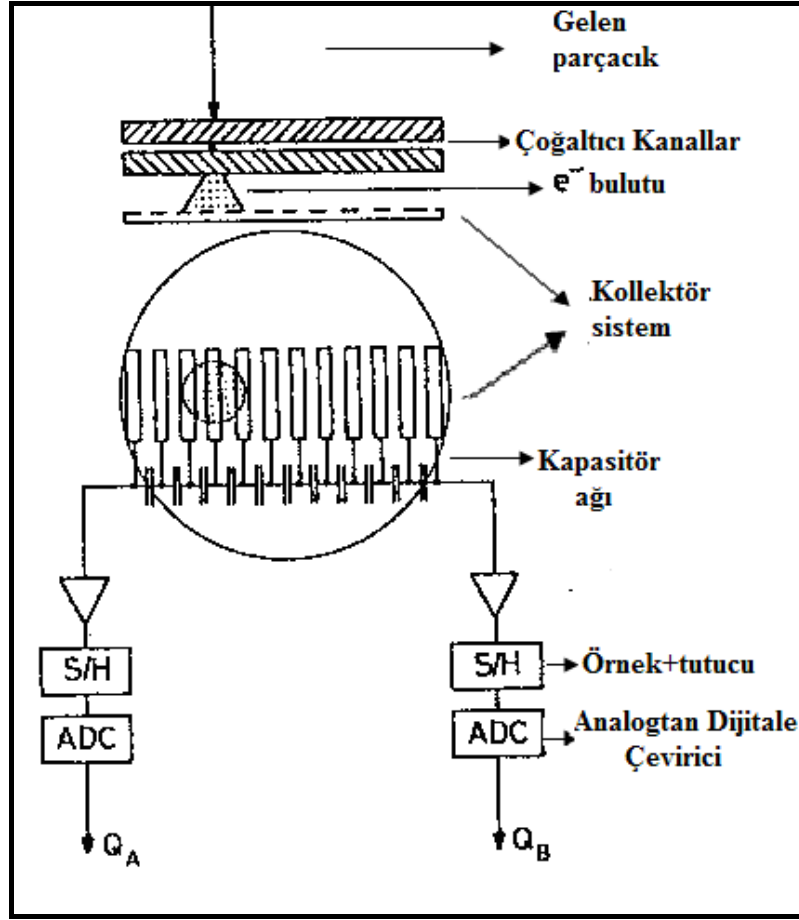


**Şekil 2. 28:** MCP dedektöründe anodun yapısı (El-Mul Handbook).

### 2.3.2 Mikro-Kanallı oğaltıcılar İçin Kodlama Teknikleri

Yük bulutunun çoğaltıcı kanal yardımıyla çoğaltılmasından sonra, konumu ile birlikte kaydedilmesi gerekmektedir. Yüğü toplayan basit bir anod sistemi konumsal bilgi vermeyecektir. Bu bilginin elde edilmesi için çok sayıda method mevcuttur. Literatürde bulunan son kodlama teknikleri yükün bölünmesi esasına dayanan teknik, erteleme hatları kullanarak gerçekleştirilebilen zaman kodlaması, kütle merkezi hesaplama (centroid calculation), CCD kameralı anotlar yada fosfor ekran kullanılması gibi tekniklerdir. Yüğü bölümü esasına dayanan teknikte daha büyük ölü zamandan (dead-time) dolayı dezavantajlıdır. Kütle merkezi kodlaması en iyi uzaysal çözünürlüğü vermektedir fakat çok miktarda ön-yükselteç kanallarına ihtiyaç duymaktadır. Kütle merkezi kodlama tekniğı uzun bir ölü zamandan dolayı sınırlandırılabilir. CCD kamera uygulamasında da benzer problemler oluşmaktadır. CCD kameralarda yaklaşık 1 ms aralığında uzun okuma (read-out) zamanı gerekmektedir. Bu fosfor ekran ve CCD kamera montajı kullanılırken zamansal bilgiyi elde etmek için bir boyutlu şerit eklenmesiyle başarılmaktadır (Deconihout et. al, 2002). Bu yöntemle zaman ve konum arasında ilişki kurulabilmekte fakat bir boyutlu uygulama momentum belirlemede sınırlandırmaktadır. Kısa ölü zaman (dead time) istenirse, multianode sistemleri avantajlı olmaktadır.

Multi-anode Strip Dedektörler, ayrı dinodlardan oluşan ve her bir dinotun birbirine kapasitör yardımıyla bağlandığı bir sistemdir. Şekil 2.29'da multianode strip dedektör ve elektronik yapısı gösterilmektedir. Kapasitans sistemlerinin temel avantajı; anod konfigürasyonunun uzaysal uygulamaların (segmentler, çizgiler gibi) yapılabiliyor olması ve yük bölümü tekniğinin uygulaması yaklaşık 10-100 ns kadar kısa zaman alıyor olmasıdır. Bunun anlamı ise dedektörün daha yüksek frekanslarda kullanılıyor olabilmesi demektir. Son kanalda yükün dağılımından dolayı da bir anoddan fazla toplayıcı uyarılabilir.



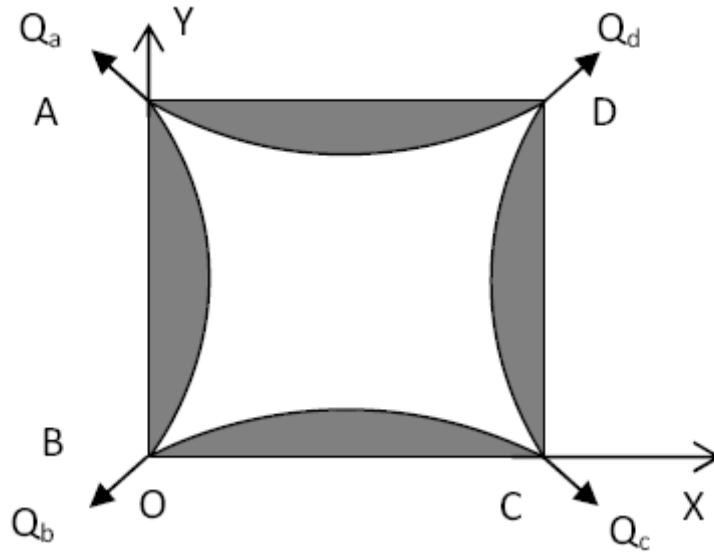
Şekil 2. 29: Multianod strip dedektör ve elektronik yapısı (Wijnaendts van Resandt and Los, 1980).

### 2.3.2.1 Resistive Anod Çalışma Koşulları

Resistive anod dedektörlerde, multianod sistemi kanallardan gelen yükleri toplamaktadır. Daha sonra her bir anod elemanı bir ön-yükselticiye bağlanmak zorundadır ve bir sayıcı tarafından takip edilmek zorundadır. Daha sonra bir bilgisayar yardımıyla sayıcı okunmalı ve konumsal dağılım belirlenmelidir. Bu tip dedektörlerde maksimum sayım oranı  $10 \text{ kHz/cm}^2$ 'dir. Bu nedenle bu tip dedektörlerde bir anoddan daha fazla anod aynı zamanda aktif olamayacağı öngörülmektedir.

Tek boyutlu okuma sisteminde, bu anod sistemi bir direnç şeridinden oluşmaktadır. Bu sistemlerde yüksek uzaysal çözünürlükler elde edilmektedir. Direnç metodunun dezavantajı ise pulslar zamanla geniş olabilmemesinden dolayı oldukça yüksek sayım oranlarında sistemin çok hassas olmasıdır.

Bu tip sistemlerde temel çalışma mekanizması şekil 2.30'da gösterilmiştir. Gelen parçacık MCP dizilerinden geçtikten sonra, elektron çoğaltma işleminden sonra Q yük pulsu oluşmaktadır ve Q yük pulsu MCP arka yüzeyinden çıktuktan sonra, resistive anod yüzeyine düşünce A, B, C ve D'ye ulaşarak  $Q_A$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$  ve  $Q_D$  olarak dört kısma ayrılmaktadır. Dört yük pulsu da  $Q_A$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$  ve  $Q_D$  sırasıyla  $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$  ve  $P_D$  ön-yükselteçlere ulaşırlar.



**Şekil 2. 30:** Konuma duyarlı dedektörlerde yük bölümü metodu prensibi.

MCP'ler tarafından üretilen yük bulutu bal peteği gibi elektrotlar tarafından dört kısımda ( $Q_A$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$  ve  $Q_D$ ) bölünmektedir. Bu çalışma mekanizmasına göre, tek yük pulsunun toplam yük bulutuna oranı merkezden x ( $x=x/L$  olarak

tanımlanmaktadır) konumuna bağlıdır.  $Q_A$  ve  $Q_B$  anotun her iki ucunda toplanan yük bulutunun iki kısmı olmak üzere Gausiyen şekilli yük bulutu için  $x$ ;

$$1 - x \approx \frac{Q_A}{Q_A + Q_B} \quad (2.7)$$

ve

$$x \approx \frac{Q_B}{Q_A + Q_B} \quad (2.8)$$

olarak hesaplanmaktadır (Martin, 1981).

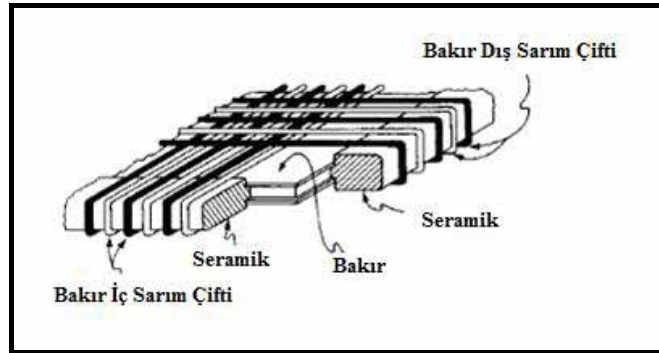
Yük niceliğine göre ayırım yaparak yükseltme işlemini gerçekleştirebilecek şekilde dizayn edilmiş yükselticiler (Charge-Sensitive Amplifier) yardımıyla anodun her ucundan toplanan yüklerin nicelikleri ölçülmektedir. Zamanlayıcı filtreli yükseltici (Timing Filter Amplifier) yardımıyla şekillenerek, her bir yük değerini “doğru dijital bilgiye” çevirebilmek için yeterli bir süre ‘peak hold’ tarafından tutulmaktadır. Bu işlemden sonra ADC kullanılarak gelen sinyal dijital bilgiye çevrilmektedir.

### 2.3.2.2 Delay-Line Readout Sistemleri

Diğer kodlama tekniklerinden olan delay line read-out sistemleri özellikle atomik çalışmalarda tercih edilmektedir. Delay-line read-out sistemleri geniş bir alanda yüksek konum çözünürlüğü vermeleri, hızlı okuma yeteneğine sahip olmaları ve uygun multi-hit yeteneğine sahip olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Özellikle multi-hit yeteneği atomik çarpışmalar için çok önemli bir parametredir.

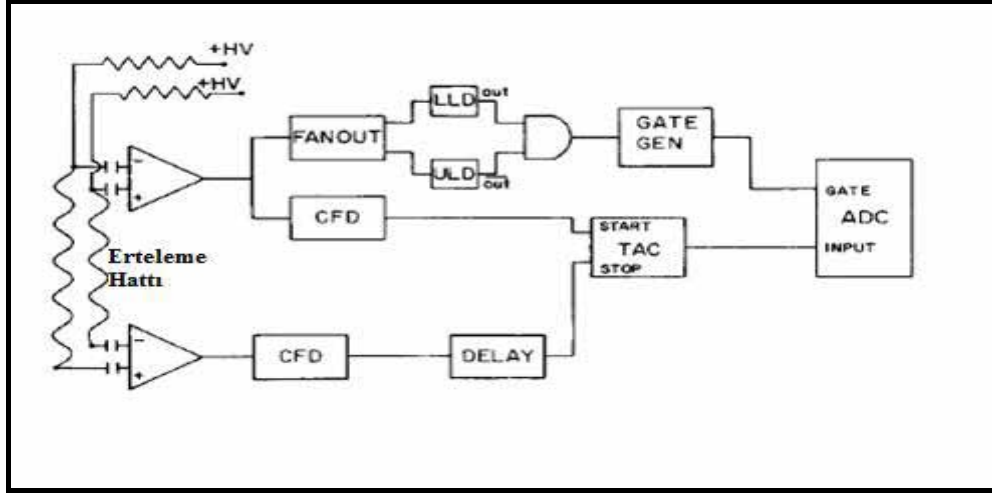
Geniş çaplı MCP'ler ile kullanılan delay-line readout sistemleri yüksek uzaysal çözünürlük ( $2 \times 10^7$  MCP kazancı için  $25 \mu m$  FWHM) ve konumun belirlenmesinde mükemmel lineerlik ve küçük dead-time sağlamaktadırlar. Bu gibi dedektörlerde çıkış sinyal düzeyi elektrod kapasitanslarına bağlı olmamaktadır. Bu dedektörlerle yüksek kalitede erteleme hatları kurmak ve yüksek sayım oranlarına göre dizayn etmek mümkündür.

Chevron tipi MCP'den çıkış pulsu için dizayn edilen ve iki tane birbirine dik yerleştirilen erteleme hatlarından oluşan okuma sistemi Sobotka ve Williams (1988) tarafından incelenmiştir. Bu sistem için erteleme hatlarını kurmak basittir ve her bir koordinat için sadece 4 tane ön-yükselteç gereklidir. Bu tip bir okuma sisteminin detayları şekil 2.31'de gösterilmektedir. Bakır plakalarla desteklenen yapının dört köşesinde seramik yalıtkanlar bulunmaktadır. Karşılıklı bir çift yalıtkan seramik yüzey diğer çifte göre daha kalındır.



**Şekil 2. 31:** Erteleme hatlarının ayrıntılı görüntüsü (Sobotka ve Williams, 1988).

Bu sistem için kullanılan elektronik dizaynı şekil 2.32'de gösterilmektedir. Diferansiyel yükseltici çıkışları her bir erteleme hattının iki ucundan pulslarının ulaşma zamanının farkını ölçmek için sabit kesir ayırt edicileri (Constant Fraction Discriminator; CFD) ile desteklenmektedir. Elektronik dizaynda zaman-genlik dönüştürücüler (Time to Amplitude Converter; TAC) analogtan dijitale çeviriciler (Analog to Dijital Converter; ADC) bulunmaktadır.



Şekil 2. 32: Dataları elde etmek için tasarlanan elektronik diyagram (Sobotka ve Williams, 1988).

### 2.3.3 MCP Çalışma Prensipleri

Dedektör çıkışında elektron demetinin çapı bu aralığa uygulanan voltaj kadar MCP'nin anoda uzaklığına bağlıdır. 9.5 mm bir aralıkla, 240 V ile Gaussiyen şekilli yük bulutunun tam genişliği yaklaşık 10.5 mm olarak tahmin edilmektedir. Normal çalışma için yaklaşık 1000 V öngerilim MCP kanallarına uygulanmaktadır.

Mikro kanallı dedektörlere (Micro-Channel Plate; MCP) voltaj uygulanırken, optimum orana ulaşılan kadar (en fazla 100 V'luk adımlarla arttırılarak), MCP'nin gerekli çalışma değerine getirilmektedir. Bu işlemlerde karanlık akımını da gözetmek gerekmektedir. Küçük boşalmalardan kaynaklanabilen karanlık akımda artış olursa, uygulanan voltaj hemen kesilmelidir. Duruma bağlı olarak biraz zaman geçtikten sonra, aynı şekilde MCP'ye tekrar voltaj uygulanmalıdır.

MCP girişi ile MCP ıkışı arasında uygulanacak voltaj gereksinim duyulan kazanca göre metal anodlu MCP için tipik MCP başına 700-1100 V'tur. MCP ıkışı ile tekli anod arasında ise normalde yaklaşık 100-200 V uygulanmaktadır. Açık MCP görüntü dedektörleri için MCP ıkışı ile ekran arasına 2.5-5 kV aralığında öngerilim uygulanmalıdır.

Yetersiz vakumda MCP çalıştırılırsa, kanallarda iyon üretilmesinden dolayı sadece gürültü artmayacak, aynı zamanda MCP mr de kısılacaktır. Bu nedenle MCP çalıştırılırken,  $6.5 \times 10^{-4}$  Pa basınçtan daha düşük basınç değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle yeni MCP kullanılacağı zaman voltaj uygulamasına geçmeden, 24 saatten daha fazla sistem  $6.5 \times 10^{-4}$  Pa ya da daha altındaki değerlerdeki basınçlarda tutulmalıdır.

#### 2.3.4 Mikro-Kanallı oğaltıcılarda Kazanç

MCP için uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak akım kazancının tipik eğrisine bakıldığında, CEM'ler için elde edilen tipik eğri ile benzer olduğu görülür. MCP kazancı, kanalın l/d oranı kullanılarak

$$G = e^{g \cdot (l/d)} \quad (2.9)$$

olarak hesaplanmaktadır. G kazanç, g kanalın ikincil emisyon karakteristiğidir. Kazanç faktörü (g) kanal duvarı maddesinin doğal karakteristiğidir ve kanal içindeki elektrik alan yoğunluğunun bir fonksiyonu ile gösterilir. Daha yüksek kazanç oranları istendiğinde, ikili ya da l MCP montajı ile bu durum sağlanmaktadır. Bu tip dedektörler  $10^8$ - $10^9$ 'dan daha yukarı kazanç oranları istendiğinde kullanılır. Bu tip ikili yada l MCP montajlı dedektörlerin kazançları her bir MCP kazancının basitçe çarpılmasıyla elde edilememektedir. Çünkü, space-charge etkisi ile kazanç doyumunu oluşabilmektedir.

Fraser et al. (1983) tarafından ikili MCP sistemleri için,  $G_c$  ikili MCP sisteminin kazancı,  $G_f$  MCP önündeki ikili MCP sisteminin kazancı ve  $G_r$  MCP arkasındaki ikili MCP sisteminin kazancı ve  $N_c^\alpha$  MCP önündeki bir delik tarafından MCP arkasındaki uyarılan kanal sayısı olmak üzere, kazanç

$$G_c = G_f^{1-\alpha} G_r N_c^\alpha \quad (2.10)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\alpha$  deneysel bir parametredir ve  $12.5 \mu m$  çaplı kanallar için 0.6'dır. MCP içindeki kanalların yakın bağlantısında,  $N_c$  değeri 3'tür. Plakalar arası öngerilim potansiyeli ile uyarılan kanal sayısı  $N_c$  ayarlanabilmektedir.

### 2.3.5 Mikro-Kanallı Çoğaltıcılarda İyonik Geribesleme

MCP ile elde edilen kazanç iyonik geribesleme dolayısıyla yaklaşık  $10^6$ 'da sınırlıdır. Plakanın çıkışına yakın artık gaz molekülleri iyonize olmaktadır. İyonlar kanaldan geriye doğru hızlanır ve girişe yakın kanal duvarına çarpmasıyla ek olarak geçişler oluşmaktadır. İyonik geribesleme oranı artık gaz basıncına ve elektron yoğunluğuna bağlıdır.

Chevron kurulumu dedektörlerin çıkış yüzeyinden giriş yüzeyine iyonik geribeslemeden dolayı puls oluşmasından kaçınmak için gerekli olmaktadır. MCP farklı kurulumlarından birisi de uzun eğri kanallara sahip MCP çeşitleri olmaktadır. Bu yapılarda Chevron yapılarında görülen ve iki plaka arasında yükün dağılmasından meydana gelen konumsal çözünürlükteki kayıp yoktur.

### 2.3.6 Mikro-Kanallı oğaltıcılarda Dedekte Etme Etkinliği

İyonların dedekte etme etkinliği özellikle her bir iyonun kütle, yük, enerji ve kimyasal yapı gibi özelliklerine bağlıdır. Bazı araştırmalarda deneysel olarak atomlar ve moleküller için iyonlaşma tesir kesitlerinin tam değerleri belirlenmek istendiğinde her bir iyonun dedeksiyon etkinliği belirlenmektedir. Fakat her bir iyonun dedeksiyon etkinliği her çalışma için gerekli olmamaktadır.

Farklı iyonlar için iyon dedektöründen çıkış sinyallerinin PHD parametresinin belirlenmesi, iyonların tam dedeksiyon etkinliği hakkında herhangi bir bilgi içermemektedir. Fakat PHD, her bir iyonun göreceli dedeksiyon etkinliği hakkında önemli bilgiler içermektedir. PHD ölçülmesi ile bir iyon sayım sisteminde dedektörden toplam çıkış sinyalleri için diskriminatör eşik değerinin aşağısına düşen çıkış sinyal oranını belirlemek kolaydır.

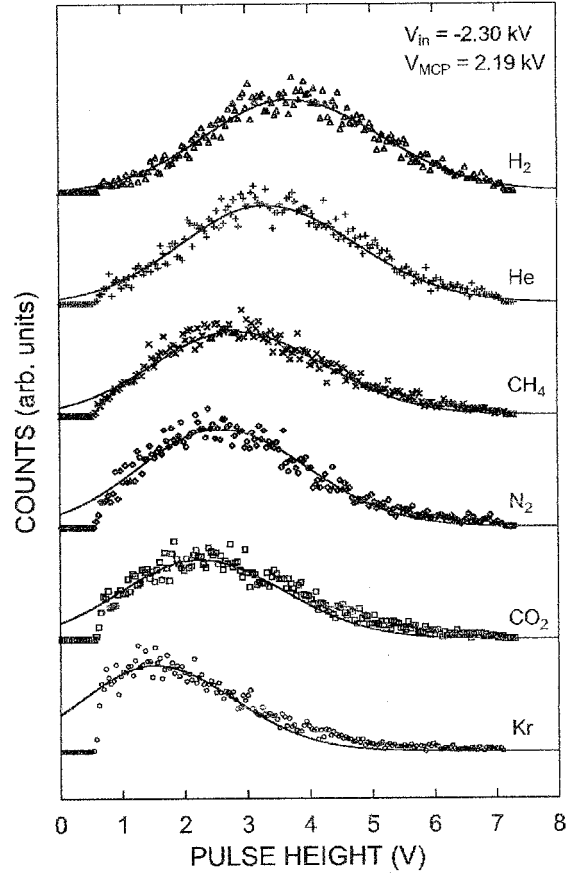
Dedektörün ön yüzeyi ile anod arasında uygulanan potansiyel fark, kanal yüzeyinden yayımlanan ikincil elektronların yörüngelerini etkileyecektir. Taylor et. al (1983) ve Panitz ve Foesch (1976) bu etkileri araştırmıştır. Buna göre dedektör yüzeyine uygulanan elektrik alanın doğrultusu değiştirildiğinde, dedektörün etkinliğinde önemli bir değişim oluşmaktadır.

### 2.3.7 MCP Puls Yükseklik Dağılımı (PHD) Karakteristiği

Gelen tek parçacık çıkışta puls oluşturduğunda, çıkış puls yükseklik dağılımı eksponansiyel fonksiyon dağılımı şeklinde olmaktadır. Fakat space-charge etkisinden dolayı kazancın doyuma ulaştığı bölgede puls yükseklik dağılımı pik vermektedir. Bu fenomen yüksek kazançta çalışılan MCP'ler için gözlenmektedir. Puls yükseklik dağılımı FWHM ile karakterize edilmektedir.

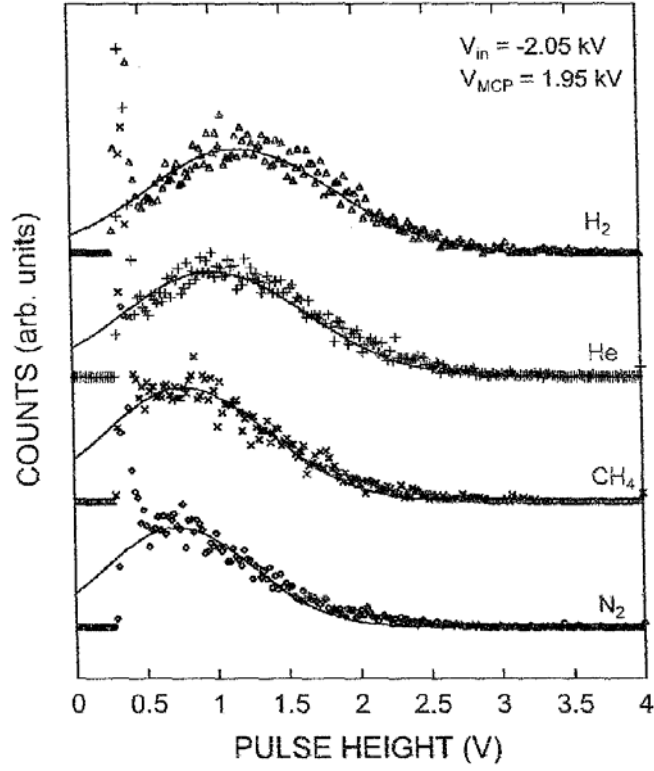
Resistive anod kullanılarak oluşturulan Chevron kullanılarak plakalar arası uygulanan voltaj ile normalize edilmiş % FWHM/kazanç piki değişimi Wiza (1977) tarafından incelenmiştir. Pozitif iyonlar kullanılarak elde edilen data'lara bakıldığında FWHM azalmaya devam ederken ilk düşüşten sonra kazanç pikinin sabit kaldığı gözlenmektedir.

Furuya ve Hatano (2002) tarafından yapılan araştırmada, Chevron tipi MCP kullanımında,  $V_{MCP}=2.19$  kV (MCP'nin ön ve arka plakaları arasına uygulanan potansiyel fark) ve  $V_{in}$  (-2.3 kV) olarak alınarak farklı gaz örneklerine elektron etkisi ile üretilen iyonlara göre MCP çıkışının PHD değerleri verilmektedir. Şekil 2.33'te ölçülen MCP çıkışının puls yükseklik dağılımı gösterilmektedir. Şekil 2.33'ten görüldüğü gibi, puls yükseklik dağılımı pik konumu, iyonların kütle sayısının artmasıyla azalmaktadır. Aynı zamanda, pikin yarı maksimumundaki genişliğin yarısı HWHM (Half Width at Half Maximum) hemen hemen iyon türünden bağımsızdır. Pikin HWHM bölgesi, MCP yüzeyi ile iyonların çarpışmasında üretilen ikincil elektronların yükseltilmesine göre ölçülmektedir.



**Şekil 2. 33:** Farklı gaz örnekleri için MCP kullanılarak elde edilen puls yükseklik dağılım ölçümleri (Furuya ve Hatano, 2002).

Yine aynı çalışmaya göre plakalar arasına uygulanan potansiyel fark azaldığında puls yüksekliği de azalmaktadır ve MCP gürültü pulsu 0,3 V–0,5 V bölgesinde açıkça görülmektedir. Şekil 2.34’de  $V_{MCP} = 1,95 \text{ kV}$  ve  $V_{in} = -2,05 \text{ kV}$  için dört farklı gaz örneği üzerine elektron etkisiyle üretilen iyonlara göre MCP çıkışının puls yükseklik dağılımını göstermektedir.

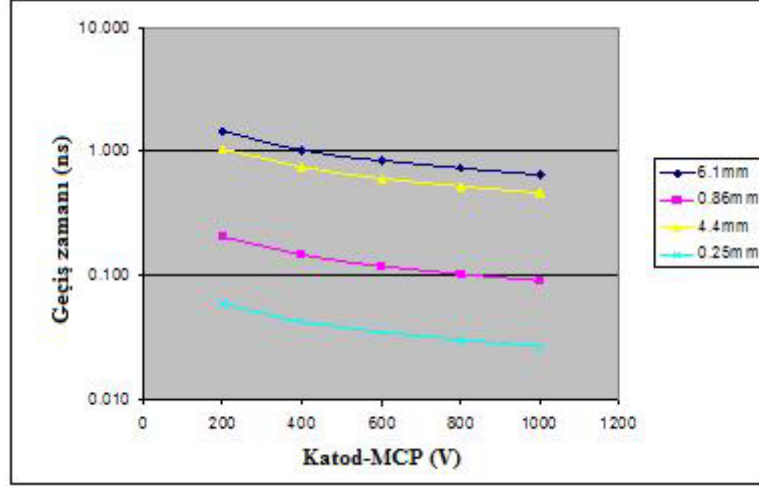


**Şekil 2. 34:**  $V_{MCP} = 1,95 \text{ kV}$  ve  $V_{in} = -2,05 \text{ kV}$  için MCP kullanılarak elde edilen puls yükseklik dağılım ölçümleri (Furuya ve Hatano, 2002).

### 2.3.8 Mikro-Kanallı Dedektörlerde Geçiş Zamanı (Transit Time)

Sadece konum bilgisinin değil ulaşma zamanının da gerekli olduğu deneysel uygulamalarda (iki yada daha fazla parçacığın çakışma deneyleri ile dedekte edilmesi vb.) geçiş zamanı önemli olmaktadır. MCP plakalarında elektron yörüngeleri daha kısa olduğundan MCP'lerde geçiş zamanı (transit time) önemli ölçüde gelişmiştir. Özellikle ikili yada üçlü MCP kurulumlarının geçiş zamanı (transit time) çok küçüktür. MCP kanallarının geçiş zamanı 100 ps aralığındadır. Son olarak zaman çözünürlüğü, 50  $\Omega$  konektör kablolarla eşleştirilen anot konfigürasyonu ile sağlanabilmektedir.

Şekil 2.35’de MCP (foton dedeksiyonu için) karakteristik ölçümler verilmektedir. Buna göre iki plaka arasındaki voltaj artırıldığında transit time azalmakta, iki plaka arası mesafe azaldığında transit time yine azalmaktadır.



Şekil 2. 35: Katod-MCP aralığına uygulanan voltaj ile transit time değişim grafiği. Grafikte farklı katod-MCP aralıkları için ( 6.1 mm, 0.86 mm, 4.4 mm, 0.25 mm) ölçümler alınmaktadır (Photonis, Handbook).

### 2.3.9 MCP Dizaynında Uzaysal Çözünürlük (Spatial Resolution)

MCP'nin her bir kanalı bağımsız elektron çoğaltıcı olarak görev yaptığından dolayı, kanal çapı ve merkezden merkeze (c-c) MCP çözünürlüğünü belirlemektedir.  $5 \mu m$ 'den  $15 \mu m$  aralığındaki kanal çapları standarttır. MCP'den çıkış fosfor ekranda gözlendiği zaman, uzaysal çözünürlük kanal içine nüfuz eden elektrot genişliğine, MCP ile fosfor ekran arasındaki uzaklığa ve uygulanan voltaja da bağlı olmaktadır. MCP'lerden konum bilgisi resistive anotlar yardımıyla ve zaman kodlama tekniğiyle elde edilebilmektedir.

Yüksek uzaysal çözünürlük, yüksek kazanç gerektirmekte ve iki MCP dizisinden oluşan Chevron konfigürasyonunu gerektirmektedir (Colson, 1973). İkili ya da

üçlü MCP kurulumu için uzaysal çözünürlük tekli MCP'nin sağladığı uzaysal çözünürlük değerinden daha kısıtlıdır. Çünkü kazanç artırılması ile beraber uzayda elektronlar arasındaki elektrostatik itme daha büyük hale gelmektedir. Plakalar arası mesafe küçültülerek yapılan dizaynlarda bu problem ortadan kalkmaktadır.

Quasi-Gausiyen şekilli PHD elde etmek için kanalın kazancının doyuma ulaşması gerekmektedir. Bu durum Chevron tipi MCP stack ile sağlanabilmektedir. Fakat bu tip MCP dizaynları için MCP1'in arka tarafı ile MCP2'nin ön tarafı arasındaki d aralığı ve bunların arasına uygulanan potansiyel fark önemli hale gelmektedir. Çünkü d aralığı arttıkça aktif olan kanal sayısı da artmaktadır. Doyuma ulaşmak için MCP'ler arasına uygulanan voltaj tarafından bu dağılım azaltılabilir. Bu yapılar d küçükse başarılıdır (Kellogg et. al., 1976; Wiza, 1979).

### **2.3.10 MCP'lerde Belirsiz Akım (Dark Current) ve Açık Alan Oranı (Open Area Ratio)**

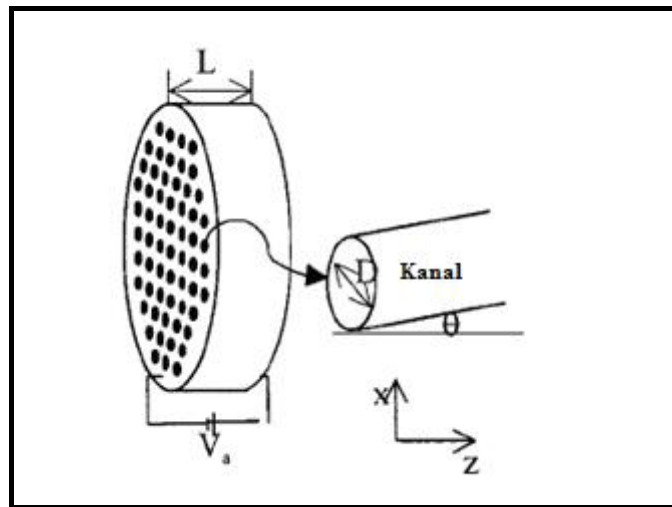
MCP dedektöründe bazı deneysel çalışmalarda kullanılan MCP dizaynının uygulanacak voltaja göre ne kadar belirsiz akım gösterdiği önemli olmaktadır. Bu yüzden bütün MCP'lerin farklı kurulumları için belirsiz akım değerleri tablolar halinde verilmektedir. MCP dedektörler genellikle 1 kV'luk uygulanan voltajda  $0.5 \text{ pA/cm}^2$ 'den daha az belirsiz akımı göstermektedirler. Bununla birlikte ikili, üçlü MCP kurulumlarında da düşük belirsiz akım gözlenmektedir. Bu sebeple düşük belirsiz akım sağlamaları ve yüksek elektron kazancı elde etmeleri nedeniyle MCP kurulumları deneysel çalışmalarda kullanılabilir.

MCP kurulumları için diğer önemli parametrelerden birisi de açık alan oranıdır. MCP kurulumları için açık alan oranı, açık alanın, toplam MCP etkin alanına oranıdır. Açık alan oranı, MCP'nin son dedeksiyon hassasiyetini sınırlamaktadır. Kanallar arasından MCP üzerine gelen parçacıklar dedekte edilemezler. Çoğu

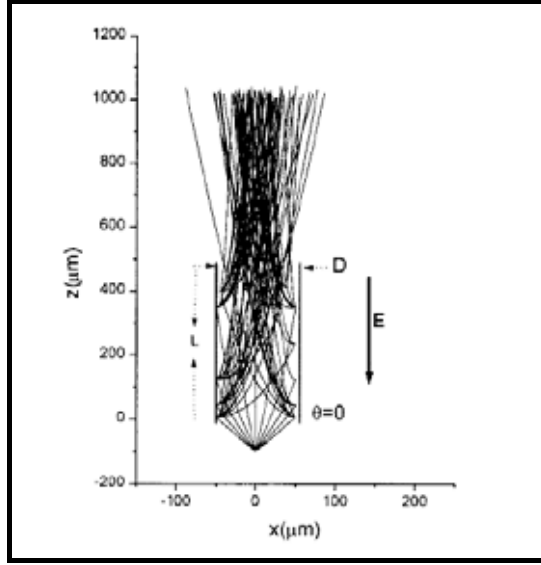
uygulamada daha etkin olarak ilk elektronların kanala girişini sağlamak için mümkün olduğunca açık alan oranının büyük olması istenmektedir.

### 2.3.11 MCP Kanal Açısı

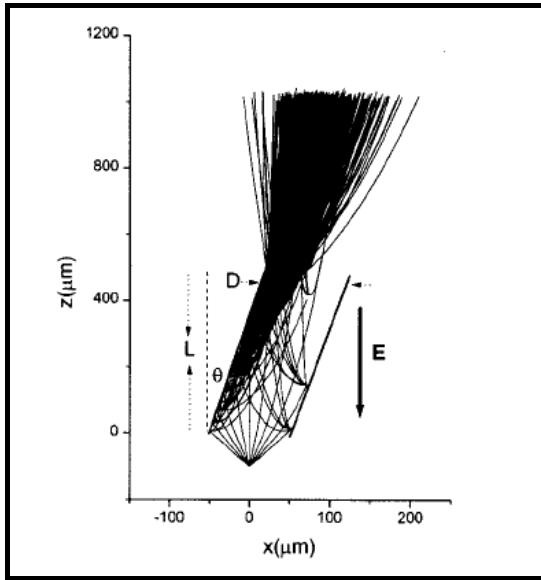
Özellikle MCP kurulumlarında kanal açısının kazanç değerlerinde önemli bir şekilde değişiklik yaptığı Choi (2000) tarafından belirtilmektedir. Şekil 2.36'da  $\theta$  eğim açısı,  $V_a$  uygulanan voltaj ve L çoğaltıcı plakaların yüzeyleri arasındaki uzunluk D kanal çapı olmak üzere eğimlendirilmiş MCP dizaynı gösterilmektedir. Şekil 2.37'de ise  $\theta = 0^\circ$  için gösterilen E elektrik alan doğrultusunda D kanal çapına sahip ve L kanal uzunluğundaki MCP kurulumunda elektron çoğaltma karakteristiği belirtilmektedir.  $z = -100\mu\text{m}$  elektronların ilk kanala giriş noktası olarak gösterilmektedir. Öte yandan karşılaştırma yapabilmek için  $\theta = 10^\circ$  eğimlendirilmiş MCP kanalında, aynı E alan doğrultusu boyunca kazanç şekil 2.38'de gösterilmektedir.  $z = -100\mu\text{m}$  elektronların ilk kanala giriş noktası olmak üzere, kıyaslama sonucunda  $\theta = 10^\circ$ 'de daha fazla kazanç olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 2. 36:** Eğilmiş MCP görünümü.  $\theta$  eğim açısı,  $V_a$  uygulanan voltaj ve L çoğaltıcı plakaların yüzeyleri arasındaki uzunluk D kanal çapıdır (Choi, 2000).

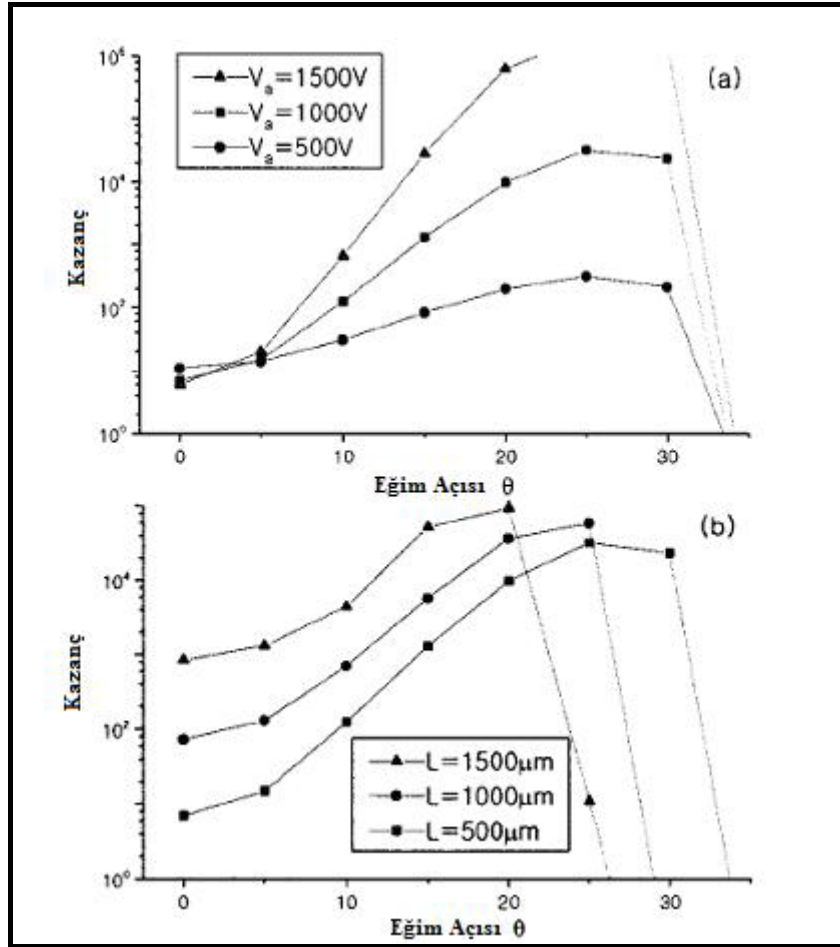


**Şekil 2. 37:** Eğilendirilmemiş MCP için elektron yörüngeleri. İlk elektronlar  $z = -100\mu m$  de başlar ve  $\kappa = 0, \pm 5, \dots, \pm 25^0$  geliş açılarıyla kanala girerler (Choi, 2000).



**Şekil 2. 38:**  $\theta = 10^0$  eğilendirilmiş bir kanal için elektron yörüngeleri. İlk elektronlar  $z = -100\mu m$  de başlar ve  $\kappa = 0, \pm 5, \dots, \pm 25^0$  geliş açılarıyla ve  $\Phi = 45^0$  ile kanala girerler.  $\kappa$  z eksenine göre açıdır (Choi, 2000).

Öte yandan, Choi ve ark. (2000) kazancın eğim açısı artarken arttığını göstermişlerdir, fakat bu artış karakteristik açıya kadar devam etmektedir. Kazanç  $\theta = 25^\circ$  de maksimumu göstermektedir. Burada verilen voltaj değerlerine ve kanal uzunluklarına dikkat edilmelidir (Şekil 2.39).



Şekil 2. 39: Eğim açılarına karşın kazanç eğrileri. (a) Kanal  $L = 500 \mu\text{m}$  de sabitlendirilmiştir. (b)  $V_a = 1000\text{V}$  da sabitlendirilmiştir (Choi, 2000).

MCP'ler birkaç milyon bağımsız kanaldan oluşmaktadır ve her bir kanal bağımsız elektron çoğaltıcı olarak çalışmaktadır. MCP iki-boyutlu periyodik çok küçük çaplı cam kanal dizilerinden oluşur. Gelen tek parçacık (iyon, elektron, foton, vb.) kanala girer ve kanal duvarından elektron yayımlamaktadır. İkincil elektronlar

MCP'nin her iki ucuna uygulanan potansiyel fark tarafından oluşturulan elektrik alan sayesinde hızlandırılmaktadır. Elektronlar kanal yüzeyine çarpma kadar parabolik yörüngeler boyunca hareket ederler ve daha fazla ikincil elektronlar üretirler. Bu işlem kanal boyunca tekrarlanmakta ve bu işlem sonucunda birkaç bin elektrondan oluşan bir elektron demeti oluşturulmaktadır.

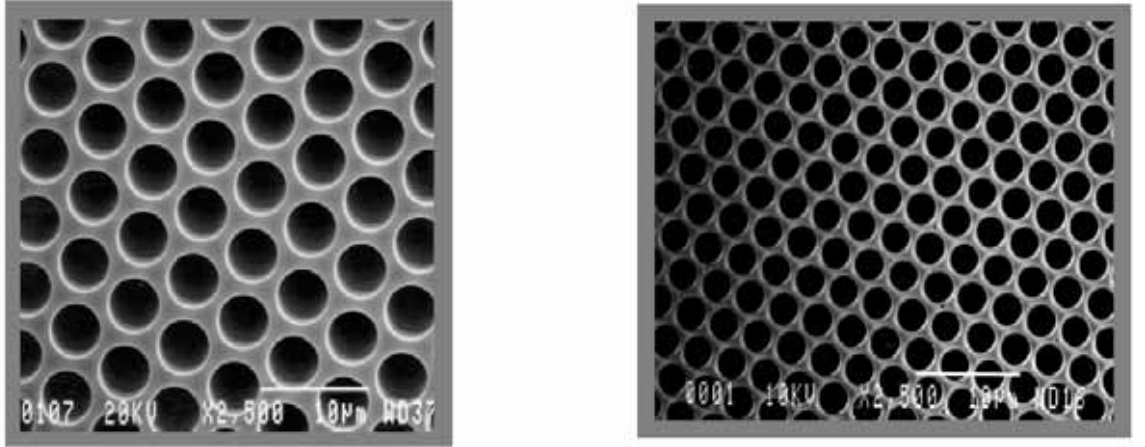
Çıkış sinyalleri; metal ya da multi-metal anot, tek ya da iki boyutlu direnç gösteren anot (resistive anode), wedge ve şerit anot (strip anode), geciktirme hattı okuma (delay-line readout) ya da bir fosfor ekran kullanılarak birkaç farklı yolla toplanabilmektedir.

### **2.3.12 MCP Delik (Pore) Boyutu**

MCP'lerde delik (pore) boyutu üç önemli performans karakteristiğini belirlemektedir. İlk olarak, aygıtın zamanlama fonksiyonu delik boyutu ile belirlenmektedir. Bu özellikle yüksek enerji fiziğinde ve (Time-of-Flight;TOF) spektrometrelerinde gereklidir. TOF spektrometrelerinin kullanım alanı yaygındır. Bu uygulamalarda, maddenin uçuş tüpünden geçerken kütlesi yardımıyla ayırd etme tekniği kullanılmaktadır. MCP aygıtı ise bu ayırd edilen küçük parçacıkları (tek iyon) dedekte etmek için kullanılmaktadır. Bundan dolayı, MCP'nin yüksek zaman çözünürlüğü dedekte etme doğruluğu açısından önemlidir. Bu nedenle, MCP delik boyutunu azaltmak dedektörün zaman çözünürlüğünü geliştirecektir. MCP tabanlı dedektörlerin hızının artırılması ya ulaşma zamanındaki küçük farklılıkları çözebilmek, ya da aynı çözünürlüğü elde ederken uçuş yol uzunluğunu azaltmak için gereklidir.

Delik boyutu tarafından etkilenen diğer önemli parametre, uzaysal çözünürlüktür. İki olayı birbirinden ayırd etme yeteneği görüntüleme ve konuma duyarlı uygulamalarda önemli bir faktördür. MCP'lerin delik boyutunu azaltmak uzaysal çözünürlüğü artırılmış aygıtlar yapmada gereklidir.

Delik boyutu ile etkilenen son performans parametresi, dinamik aralıktır. MCP'lerde tekli bir delik RC (direnç-kapasitör) bağlantısı olarak düşünülebilir. Meydana gelen bir olay özellikle kanal duvarından boşalan ikincil elektronların geçişini tetiklemektedir. Boşalma olduğunda, oluşan elektron demeti yeniden gelene dek kanal son olayı dedekte edemeyecektir. Kanalın ölü zamanı (dead time) kanalın direnci ve kapasitansına bağlıdır. Küçük kanallar büyük olanlara göre daha hızlı tekrar yüklenebilmektedirler. Bu nedenle ölü zaman küçük kanallar için azalmaktadır. Buna ilaveten, dinamik aralık delik boyutu azalırken kanal yoğunluğunun artması gerçeğine göre gelişmektedir. Şekil 2.40'da plaka geometrisinin elektron mikrografi gösterilmektedir. İlk plaka 2.5 mikronda üretilmiştir, ikinci plaka delik boyutu 2.3 mikrona düşürülmüştür.



**Şekil 2. 40:** (a) 2.5 mikron ve (b) 2.3 mikron delik boyutuna sahip MCP'lerin sırasıyla karşılaştırılması (Laprade ve Starcher, 2001).

Öte yandan, tekli MCP kazancı delik boyutu ile değişmemelidir. Verilen bir  $I/d$  oranında MCP kazancı, delik çapı ile etkilenmez, ama doyum kazancı azalabilir. Doyum kanalın son space-charge etkisi tarafından belirlenmektedir. Daha küçük delikler daha küçük space-charge etkisine sahip olacaktır.

### **2.3.13 Mikro-Kanallı Dedektörlerin Konuma Duyarlı Dedektör (PSD) Olarak Kullanılması**

Bazı MCP kurulumları, dizayna eklenen anod aygıtlar sayesinde konuma duyarlı dedektörler (Position Sensitive Detector; PSD) olarak kullanılmakta ve elde edilen bilgiler sayesinde deneyde alınan ölçümler daha hassas bir şekilde analiz edilmektedir. Çarpışma fiziğinde mikro-kanallı dedektörler PSD olarak kullanılabilmekte ve çıkan parçacığın açısı ve enerjisi ile birlikte dedektöre çarptığı konumu da dedekte edilebilmektedir. Örneğin elektron-atom çarpışma deneyleri için dar bir enerji aralığındaki elektron demeti, bir gaz demeti ile çarpıştırılır. Küçük bir açısal aralıkta saçılan elektronlar, yarıküresel deflektör analizörünün girişine odaklanır. Analizör saçılan elektronları enerjilerine göre ayıran bir aygıttır. Çıkışında elektron enerji-kaybı spektrumunu gösteren iyi kalitede lineer görüntü oluşturmaktadır. Bu analizörden enerjisine göre ayrılan elektronların elektron çoğaltıcı sistemle yükseltip, fosfor ekran üzerine hızlandırılarak yapılmaktadır. Fosfor ekran üzerindeki görüntü, “charge coupled device” üzerine odaklanmış elektron enerji kaybı spektrumunun optiksel görüntüsünü vermektedir. Bu aygıt içerisine giren fotonlar boşluk-elektron çiftlerini oluşturur ve elektronlar “photogate” olarak isimlendirilen bir elektrot altında toplanmaktadır. Bu 2 milisaniyelik integrasyon periyodunda elde edilmektedir. İntegrasyon periyodunun sonunda “photogate” altındaki yükler fosfor ekran üzerinde üretilen görüntüdeki ışık yoğunluğunun dağılımına uymaktadır. Buradan CCD drive yardımıyla, analog sinyaller dijitalle çevrilir ve data sisteminde kaydedilmektedir.

Dedektörün aktif alanı, analizörden geçen elektronların enerjilerinin yaklaşık % 12’si kadar bir enerji aralığındadır. Geniş bir enerji aralığını kapsayan bir spektrum, elektron analizör sisteminin ve hedef bölgesi arasındaki potansiyel farkın değiştirilmesiyle taranmaktadır.

(e,2e) deneyleri ve yüksek enerji çözünürlüğünün ve yüksek dedekte etme etkinliğinin gerekli olduğu diğer fizik alanları için konuma duyarlı dedektörler (Position Sensitive Detector; PSD) kullanılmaktadır (Wijaendts van Resant 1976; Hicks 1980; Reddish 1984). PSD dedekte edilen parçacığın konumu ile ilişkili bir parametrenin fonksiyonu olarak parçacıkların eş zamanlı dedekte edilmesinde yararlıdır. MCP-stack plakalarının çıkış ucundan gelen elektron çıkış pulsları, gelen parçacığın konumunu kodlayan bir anod üzerinde toplanmaktadır. Konuma duyarlı dedektörler atomlardan elektronların inelastik saçılmasının sonucu olarak elektron enerji kaybı spektrumunun ölçülmesinde kullanılmaktadır. PSD sayesinde enerji-kayıbı spektrumunun ölçümlerinde farklı saçılma kanallarının eşzamanlı gözlenmesi olanaklı hale gelmektedir. PSD sayesinde farklı saçılma kanallarının datalarının eşzamanlı kaydedilmesi, yeniden bir aparat düzenlenmesine gerek kalmadan aynı elektron enerjisi ve saçılma açılarında toplanması sağlanmaktadır.

MCP'lerin konuma duyarlı dedektörler olarak kullanılması yüksek enerjili parçacık fiziğinde, inelastik nötron saçılmasında, foton spektroskopilerinde (hem UV hem de x-ışını), kütle spektroskopilerinde, elektron spektroskopilerinde yaygındır. Elektron enerji-kayıbı spektroskopisi üzerine deneylerde, atomlardan ya da moleküllerden saçılan elektronların enerji spektrumu ölçülmektedir. Zaman çözünürlüklü enerji-kayıbı spektrometrelerinde zaman çözünürlüğünü geliştirmek için bir Chevron dedektör içinde ikili MCP kurulumu kullanılmaktadır (Richter, 1988).

## 3 SİNYAL İŞLEYİCİLER

### 3.1 Lineer ve Logic Sinyaller ve Bağlantıları

Deneysel aletlerin çoğunda hem lineer, hem de lojik sinyaller kullanıldığı için, donanım kurulduğunda lineer ve logic bağlantılar arasında ayırım yapılması önemli hale gelmektedir.

Lineer sinyal genliği, dedekte edilen olayda yük ve enerji hakkında bilgi içermektedir. Bir aygıttan lineer sinyal genliklerinin analizi dedekte edilen olayın puls yükseklik spektrumunu ortaya çıkarmaktadır. Diğer yandan, logic sinyaller sabit bir genlik ve şekle sahiptir. Logic sinyaller olayları saymak, zamanlama bilgisini elde etmek için kullanılmaktadır. Hem lineer hem de logic sinyal bağlantıları koaksiyal kablolar ve standart BNC, LEMO ve SMA konektörler tarafından yapılmaktadır.

#### 3.1.1 Yavaş lineer sinyaller

Çoğu aletler çok düşük kaynak empedansı ile ( $<1 \Omega$ ) yavaş lineer çıkış sinyalleri sağlamaktadır. RG-62A/U gibi  $93 \Omega$  koaksiyal kablolar modüller arasındaki yavaş lineer sinyal bağlantıları için kullanılmaktadır. Düşük empedans çıkışları kullanım için kolaydır, çünkü paralel çoklu yüklemelere izin vermektedir. Düşük empedans çıkışı ile ilgili potansiyel problem 1.5 metreden daha uzun kablolardan yansıma ile oluşan titreşimdir.

Enerji spektroskopisi için ORTEC ön-yükselticiler, ön-yükseltici ve yükseltici arasındaki uzun kablo kullanımını kolaylaştırmak için genellikle  $93 \Omega$  çıkış empedansı kullanılmaktadır.

### 3.1.2 Zamanlama İçin Hızlı Lineer Sinyaller

Zamanlama ölçümleri için hızlı lineer sinyaller  $1 \mu s$ 'den daha az sürede  $1 ns$ 'den daha az çıkış zamanına sahiptir. Bu sinyaller, bir fotoçoğaltıcı anodundan türetilir ve bu nedenle negatif kutuplanmış sinyal olarak adlandırılmaktadır. Bu sinyallerin genlik aralığı, sinyal üretici aygıtıya bağlı olarak  $0$  ile  $-1 V$ ,  $0$  ile  $-5 V$  ya da  $0$  ile  $-10 V$  olabilir. Hızlı çıkış zamanından dolayı, modüller arasındaki bağlantılar genellikle  $50 \Omega$  koaksiyal kablolarla yapılır. Bu sinyaller ile kullanım için geliştirilen modüller  $50 \Omega$  giriş empedansına sahiptir. Yüksek giriş empedanslı modüller için, T şeklinde boru veya  $50 \Omega$  sonlandırıcı (terminator) kabloyu uygun bir biçimde sonlandırmak için girişte eklenebilir. Bu tip lineer sinyalleri üreten aygıtlar ya çok yüksek çıkış empedansına ya da çok düşük çıkış empedansına ( $<1 \Omega$ ) sahip olabilir. Çok yüksek çıkış empedansına örnek olarak, fotoçoğaltıcı tüpün anod çıkışı verilebilir. Diğer yandan, bu sinyallerle kullanım için hızlı yükselticiler genellikle  $<1 \Omega$  çıkış empedansına sahiptir.  $1$  nanosaniyeden büyük çıkış zamanları gösteren sinyaller için BNC ya da LEMO konektörler ile bağlantıları yapılırken, nanosaniye altındaki çıkış zamanları gösteren sinyaller için SMA konektörlerle sonlandırılan RG-58A/U koaksiyal kablolar kullanılmalıdır. Kablo uzunlukları da sinyal çıkış zamanını düşürmeden kaçınmak için önemlidir.

### 3.1.3 NIM-Standart Hızlı Negatif Logic Sinyaller

NIM-Standart hızlı negatif logic sinyaller çıkış zamanı ya da tekrarlama oranı gibi gereklilikler pozitif logic sinyal standart kapasitesini aştığında kullanılmaktadır. Hızlı çıkış zamanından dolayı, hızlı negatif logic sinyal yansımaları önlemek için uygun sonlandırılan kablolarla kullanılmalıdır. Bu nedenle,  $50 \Omega$  kablolar  $50 \Omega$  değerinde sonlandırıcılarla kullanılmalıdır. UG-88/U (BNC konektör) ile RG-

58A/U kablolar ya da LEMO konektörler ile RG-174 kablolar kullanılmalıdır. NIM standart hızlı negatif logic sinyali kabul eden çoğu girişler 50  $\Omega$  giriş empedansına sahiptir. Yüksek giriş empedanslı girişler için uygun sonlandırma modül girişi üzerine T şeklinde bağlantı elemanı ya da 50  $\Omega$  empedans değerinde sonlandırıcı kullanılarak başarılabilmektedir.

NIM hızlı negatif logic ve ECL logic sinyallerinin birlikte kullanıldığı deneysel sistemlerde, NIM hızlı negatif logic bazen NIM çıkışı olarak adlandırılmaktadır.

### **3.1.4 ECL Logic Sinyaller**

Çok sayıda dedektörlerin kullanıldığı deneylerde her bir dedektör kanalında fonksiyonların artması aynı sinyal bağlantısında karışıklığa yol açmaktadır. Bu gibi uygulamalar için geliştirilen aygıtlar tek modülde aynı fonksiyon için 16 kanaldan fazla birleşimden oluşmaktadır. Modülden modüle bu kanalların bağlanmasındaki uygun bir metod 34 pin konektörden oluşur. Bu sistemle hızlı logic sinyaller için kullanılan standart ECL standardıdır. ECL çıkış sürücüleri tamamlayıcı çıkışlar elde etmektedir. ECL sinyaller 2 ns'den daha az çıkış zamanına sahiptir.

### **3.1.5 TTL Logic Sinyaller**

Aygıtların içerisindeki yavaş logic fonksiyonları genellikle TTL logic standardı uygulayan entegre devrelerle dizayn edilmektedir. TTL logic sinyaller modüller arasında özel veri hatları üzerine kurulan bağlantılarla kullanılmaktadır.

### 3.2 Dedektör Öngerilim Voltaj Kabloları ve Bağlantıları

Fotonlar, iyonlar ve diğer yüklü parçacıklar için kullanılan dedektörler, uygun olarak çalışması için öngerilim voltajına ihtiyaç duymaktadır. Dedektör öngerilim voltajları dedektör tipine bağlı olarak değişmektedir. Fotoçoğaltıcı tüpler için öngerilim voltajı fotoçoğaltıcı tüpün tabanında direnç ağı boyunca katod, dinot ve anoda uygulanmaktadır. Diğer dedektör çeşitlerinde önyükseltici kurulumunun içindeki filtreleme ağı boyunca öngerilim voltajı uygulanmaktadır. 5 kV DC üstündeki voltajlar için, öngerilim güç kaynağından önyükselticiye ya da fotoçoğaltıcı tabanına yapılacak bağlantıda RG-59A/U koaksiyal kablolar ve SHV konektörler kullanılmalıdır. 1000 V DC üstündeki voltajlar için, BNC konektörlerle RG-62A/U kablolar kullanılmalıdır.

Dedektör ile ön-yükseltici arasındaki bağlantıda kullanılan uzun kablolar çevresel gürültünün alınmasında daha hassas olunmasına neden olmakta ve giriş sığası eklemektedir. Her iki etki de genlik çözünürlüğü ve zamanlama performansında azalmaya neden olmaktadır. Bu nedenle dedektör-ön yükseltici arasındaki bağlantılar mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.

Diğer yandan, bir sayacın iletim (conducted), yayılım (radiated) elektromanyetik gürültüsünden ve ESD elektrostatik boşalmalardan zarar görmemesi veya büyük ölçüde etkilenmemesi gerekir. Bu gürültüler aşağıdaki gibidir;

- 1- Elektrostatik Discharge (Elektrostatik Boşalma)
- 2- Electromagnetic HF Fields (Elektromanyetik Yüksek Frekans Alanları)
- 3- Fast Transience Burst (Hızlı Geçici Rejim Patlaması)

Ferite bead, kapasitör hat filtresi, fiziksel boyutları büyük direnç kullanmak, topraklamalı PCB yerleşimi gibi tedbirler ve dizayn teknikleri, elektromanyetik gürültüye karşı hassas elektrik sayaçları için büyük ölçüde katkı sağlarlar. Ferite

Bead gibi bazı tedbirler RF ve Hızlı Geçici Rejim Patlamaları gibi gürültülere karşı en önemli tedbirdir.

Birçok hassas elektronik malzeme kendi içinde ESD korumasına sahiptir ve bazı boşalmalara karşı dayanıksızdır. Örneğin ESD sürekli oluşacak bir durumdur, birkaç kez oluşan ESD karşısında devre sağ kalsa da ileride meydana gelecek boşalmalar karşısında da sürekli sağlam kalacağı garanti edilemez. En iyi yaklaşım, ESD' yi, hassas elektronik devrelere ulaşmadan önce yok etmek veya azaltmaktır.

Dirençler direnç üzerindeki boşalmayı durduracak kadar büyük bir fiziksel boyuta sahip olmalıdır. Örneğin; anti alias filtrede 1/8 W 1206 SMD direnç kullanılabilir.

Entegre devrelerin RF duyarlılığı 20 MHz ile 200MHz bölgesinde anılır. Bu aralıktan yüksek olan frekanslar parazitik kapasitans etkisi yüzünden hassas cihazdan uzaklaştırılabilir. Genelde entegre devre seviyesinde 20 MHz 200 MHz bölgesinde RF etkisi doğal olarak geniş bantlıdır.

Bununla birlikte PCB üzerindeki rezonanslardan dolayı frekansta duyarlılık artar. Bu rezonans, gerçek frekansta araya girme kazancına sebep olur. Bu ise hassas devrede problemler meydana gelmesine sebep olabilmektedir. RF sinyal seviyeleri kablo vasıtasıyla sisteme ulaştığından dolayı bu birleşme noktalarında tedbir alınmalıdır. Sistem korumada devre band genişliğinin azaltılması (kablo giriş noktaları alçak geçiren filtrelere uygulanarak sisteme giren RF yayılım etkisi azaltılabilir) ve sistemin hassas parçalarının yalıtılması gibi bazı teknikler de alınmaktadır.

### 3.3 Ön-Yükseltici (Pre-Amplifier)

Ön-yükselticinin en önemli fonksiyonu dedektörden sinyali çıkarmaktır. Bu nedenle ön-yükselticiler mümkün olduğunca dedektöre yakın konulmalıdır ve ön-yükseltici giriş devreleri dedektör karakteristiği ile uyuşmalıdır. Dedekte edilen olayın ulaşma zamanının ya da genliğinin ölçme zorunluluğunun olup olmamasına bağlı olarak farklı sinyal işleme teknikleri uygulanmaktadır.

Farklı dedektörler çıkışta kısmen geniş sinyaller üretmektedirler. Fotoçoğaltıcı tüpler, mikrokanallı dedektörler, channeltronlar ve elektron çoğaltıcılar gibi dedektörler için düşük giriş empedanslı genişband yükseltici, dedektör çıkışında direkt olarak kullanılmalıdır. Daha iyi çözünürlüğe sahip dedektörler x ışınları, gama ışınları ve yüklü parçacıklarla çalışılan enerji spektroskopisi için kullanılmaktadır. Bu katogarideki dedektörler, Si (Li), germanyum, silikon yüklü parçacık dedektörleridir. Bu dedektörler çok küçük çıkış sinyalleri ürettiğinden dolayı, ön-yükseltici giriş bölümü çok düşük gürültü içermektedir. Bu dedektörlerle düşük gürültü ve stabilite hassaslığı için giriş bölümünde alan etkili transistör (FET; Field Effect Transistor) ve yük hassasiyetine sahip ön-yükseltici kullanılmalıdır.

Üç temel ön-yükseltici mevcuttur: akım-hassasiyetli ön-yükselticiler (current-sensitive pre-amplifiers), parazitik kapasitans ön yükselticiler (parasitic-capacitance pre-amplifier), yük hassasiyetli ön yükselticilerdir (charge-sensitive pre-amplifier).

#### 3.3.1 Akım-Hassasiyetli Ön-Yükselticiler (Current Sensitive Preamplifier)

Foto-çoğaltıcı tüpler ve mikro-kanallı çoğaltıcılar gibi dedektörler yüksek çıkış empedanslı geniş ve hızlı çıkış sinyali üretirler. Bu dedektörlerle zamanlama ve

sayım için sinyal işleme oldukça kolaydır. Uygun bir şekilde sonlandırılan 50  $\Omega$  koaksiyal kablolar dedektör çıkışına yerleştirilmelidir. 50  $\Omega$  giriş empedanslı akım hassasiyetli ön-yükseltici 50  $\Omega$  koaksiyal kablo için uygun bir sonlandırmayı elde etmektedir ve dedektörden akım sinyalini voltaj sinyaline çevirmektedir.

Ön-yükselticinin çıkış zamanı dedektör çıkış zamanı ile kıyaslandığında ihmal edilirse, ön-yükselticinin çıkışında voltaj sinyalinin genliği A ve dedektörden akım sinyalinin genliği ( $I_{dedektör}$ ) olmak üzere ön-yükselticinin voltaj kazancı,

$$V_{cikis} = 50I_{dedektör}A \quad (3.1)$$

dır. Bu tip sinyalin sayımı için hızlı bir diskriminatör için beslenerek, çıkış sayıcı/zamanlayıcı (counter/timer) tarafından kaydedilmektedir.

Zamanlama uygulamaları için, foto-çoğaltıcı tüplerle ve mikro-kanallı çoğaltıcılar ile zaman çözünürlüğünde sınırlayıcı etmen, dedektörden geçen elektronların geçiş zamanlarındaki dalgalanmadır. Bu dedektör çıkışında sinyalin ulaşma zamanında bir kararsızlığa (jitter) yol açmaktadır. Dedektör sinyalleri akım hassasiyetli ön-yükseltici için yeteri kadar küçük ise, zaman çözünürlüğü üzerine ön-yükseltici giriş gürültüsünün etkisi incelenilmek zorundadır.

Ön-yükseltici tarafından sinyale eklenen gürültü zamanlayıcı diskriminatörün eşik değerini geçen sinyal zamanında bir belirsizliğe yol açmaktadır. Sonuç olarak zaman çözünürlüğünde düşüş olmaktadır. Bu nedenle, akım-hassasiyetli ön-yükselticinin çıkış zamanı dedektör çıkışındaki sinyalin çıkış zamanı ile benzer olmasına dikkat edilmelidir. Dedektörün çıkış zamanından daha hızlı bir çıkış zamanı değerindeki akım-hassasiyetli ön-yükseltici sinyal çıkış zamanını artırmaz fakat gerekli olmayan geniş band genişliği nedeniyle ekstra gürültü içermektedir. Dedektör çıkış zamanından daha yavaş çıkış zamanlı bir ön-yükseltici seçmek ön-yükseltici gürültü ilavesini artırmaktadır. Sonuç olarak, zamanlayıcıda kararsızlık daha kötü olmaktadır.

Optimum seçim ön-yükselticinin giriş karakteristiği kadar dedektör sinyalinin genliğine ve çıkış zamanına bağlı olmasına rağmen, dedektör çıkış zamanının 2 faktör içerisinde (daha hızlı ya da daha yavaş) ön-yükseltici seçmek uygundur.

### **3.3.2 Parasitik Kapasitans Ön-Yükselticiler (Parasitic-Capacitance Preamplifiers)**

Fotoçoğaltıcı tüpler, elektron çoğaltıcılar, mikro-kanallı çoğaltıcılar çok hızlı çıkış zamanlı, kısmen geniş çıkış sinyalleri üretmektedirler. Bu yüzden, bu dedektörlerle sinyal genlik ölçümleri ya da enerji spektroskopisi için en etkin ön-yükseltici, parasitik-kapasitans ön-yükselticidir.

Parasitik kapasitans ön-yükselticiler yüksek giriş empedansına sahiptir. Dedektör tarafından üretilen akım sinyali, dedektör çıkışında ve ön-yükseltici girişinde bulunan parasitik kapasitans üzerine birleştirilmiştir. Çıkış sinyali, dedektör akım sinyalinin süresine eşit çıkış zamanı ve toplam yük ile orantılı bir genliğe sahip voltaj sinyalidir.

Parasitik kapasitans ön-yükselticiler yarı-iletken dedektörlerle kullanılmaz. Çünkü bu tip ön-yükseltici kazancı parasitik kapasitanstaki küçük değişmelere karşı hassastır. Ayrıca bağlantı kablolarındaki küçük hareketler de etkili olmaktadır.

Bu etkilerden dolayı kazanç değişimleri, %1'den daha iyi enerji çözünürlüğüne sahip yarıiletken dedektörler için oldukça önemlidir.

### 3.3.3 Yük-Hassasiyetli Ön-Yükselticiler (Charge-Sensitive Preamplifiers)

Yük hassasiyetli ön-yükselticiler birçok enerji spektroskopisi uygulamalarında tercih edilir. Ön yükselticiden alınan çıkış voltajı  $V_0$  genliğine,  $\tau_f$  erteleme zamanı sabiti,  $Q_D$  dedektörden yayımlanan yük,  $C_f$  geribesleme kapasitörü,  $R_f$  geribesleme direncine sahiptir. Bu parametreler

$$V_0 = \frac{Q_D}{C_f} \quad (3.2)$$

$$\tau_f = R_f C_f \quad (3.3)$$

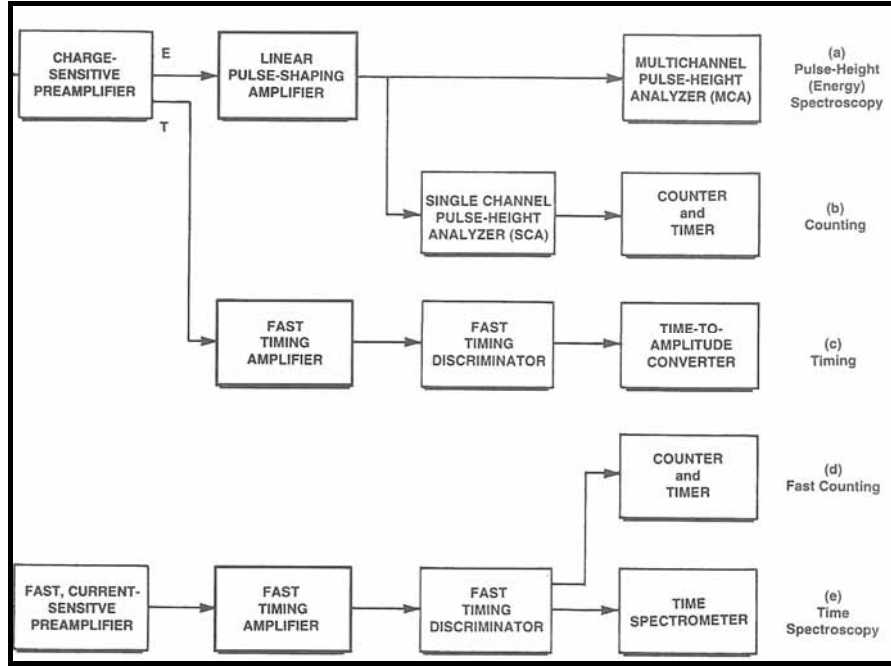
şeklinde verilmektedir.

Yük hassasiyetli ön-yükselticilerde ön-yükseltici kutusu oldukça küçük tutulmalıdır.

Yük-hassasiyetli ön-yükselticilerde gürültü genellikle dört bileşenle kontrol edilmektedir. Giriş alan etkili transistör (FET), girişteki toplam kapasitans ( $C_f$ , dedektör kapasitansı gibi), girişte bulunan direnç, dedektörden ve alan etkili transistörden giren kaçak akımlarından kontrol edilmektedir. FET düşük gürültü performansı için seçilmektedir ve bazı uygulamalarda performansını artırmak için sıvı nitrojen sıcaklığına yakın bir sıcaklığa soğutulmaktadır. Soğutulmuş FET uygulamalarında dedektör ve ön-yükseltici genellikle bütün bir kurulum olarak dizayn edilir. Oda sıcaklığındaki ön-yükselticilerle olan çoğu uygulamada giriş kapasitansının temel kaynaklarını kullanıcı kontrol etmektedir. Çünkü çoğu uygulamalarda ön-yükseltici minimum iç devre kapasitansı ile dizayn edilir. Bu kaynaklar bir deney için seçilen dedektörden ve ön yükseltici ve dedektör arasındaki kablolardan kaynaklanmaktadır.

### 3.4 Yükselteç (Amplifier)

Yükselteç sayıcı ve zamanlayıcıdaki uygulamalar için sinyal işleme sisteminde en önemli bileşenlerden biridir. Yükselteçler, elektron çoğaltıcıdan gelen sinyallerin şiddetini yükseltmek için dizayn edilen aygıtlardır. Yükselteçler sinyal şeklinin değişmemesini sağlamak için çok yüksek hıza sahip olmak zorundadırlar. Tipik band aralığı 2-5 GHz olmaktadır. Şekil 3.1 farklı sinyal işleme kategorilerinde yükselteç kullanımını göstermektedir.



Şekil 3. 1: Farklı uygulamalar için farklı tipteki yükselteç uygulamaları.

Enerji ve puls yükseklik spektrumunda en iyi çözünürlük gerektiğinde, lineer sinyal şekillendirici yükselteç (linear puls-shaping amplifier) en iyi çözümdür (Şekil 3.1a). Bu gibi sistemler sayesinde çözünürlükte kayıp olmaksızın 7.000 sayım/saniye değerinin üzerinde data oranlarında spektra elde edilmektedir. Lineer sinyal şekillendirici yükselteç ((linear puls-shaping amplifier) basit sinyal sayımı uygulamalarında da kullanılabilir (Şekil 3.1b). Fotoçoğaltıcı tüpler

gibi bazı dedektörler ise daha yüksek oranda sayım için kullanılan geniş çıkış sinyali üretmektedirler (Şekil 3.1d). Diğer yandan hızlı zamanlayıcı yükselticinin (fast-timing amplifier) çıkışındaki sinyal genellikle 20 ns'den daha az genişliğe sahiptir.

Nanosaniye ve nanosaniye altındaki zaman çözünürlüğünü elde etmek için üretilen sinyaller için iki genel şema şekil 3.1(c) ve (e)'de vurgulanmaktadır. Her iki uygulama da hızlı zamanlayıcı yükselteçten (fast timing amplifier) yararlanmaktadır. Şekil 3.1(e) tekli foton ya da tekli iyon dedeksiyonu veya fotoçoğaltıcı tüpler, elektron çoğaltıcılar, mikro-kanallı dedektörler ve channeltronlarla zamanlayıcı işlemi için çözümü göstermektedir. Şekil 3.1(c)'de gösterilen şema aynı tip dedektörlerle kullanılabilmesine rağmen, genellikle yüksek çözünürlüklü yarıiletken dedektörlerle uygulanmaktadır. Çünkü bu gibi dedektörler düşük gürültü ve yük hassasiyetli ön-yükselteç gerektirmektedir.

Yükselteçler ve ön-yükselteçlerde giriş-çıkış empedans değerinin uyumlu olması gerekmektedir. Yükselteç ve diğer sinyal işleme birimlerinde de empedans değeri koaksiyal kabloların empedans değeri ile uyum sağlamak zorundadır. Genellikle deneysel çalışmalarda giriş-çıkış empedansı 50 ohm olarak alınmakta ve bütün yükselteçlerde dedektör ile uyumlu olması için 50 ohm değerinde koaksiyal kablolar kullanılmaktadır. Empedansın uyumluluğu, yükselteçten sonra gözlenen sinyal şekli tarafından denetim edilebilmektedir. Çoklu sinyaller görünüyorsa, hat yükselteçle uyumlu değildir, ya da devrede bir yanlışlık vardır. Kayıpları minimize etmek için ön-yükselteçten önce kısa kablolar kullanılmalıdır. Çünkü dedektör çıkış empedansı oldukça yüksektir.

Tipik olarak ön-yükselteç, 1.8 GHz band aralığı, x100 kazanç sağlamaktadır. Bununla birlikte, tipik olarak yükselteç için, yaklaşık 2 GHz band aralığı, değişken kazanç söz konusudur.

### 3.4.1 Hızlı Zamanlayıcı Yükselteçler (Fast Timing Amplifier)

Ön-yükselteçten ya da foto çoğaltıcıdan gelen dedektör sinyali yeterli genlikte olduğunda, zamanlayıcı diskriminatör çıkışına direkt bağlantı ile en uygun çıkış zamanı elde edilmektedir ve zaman çözünürlüğü üzerine gürültünün etkilerini minimize etmektedir.

Zamanlayıcı yükselteçler nanosaniye ya da nanosaniye altındaki değer aralığında çıkış zamanlarına sahip olmak için dizayn edilmektedir. Çıkış sinyal polaritesi normalde negatiftir. Hızlı yükselteçlerin iki çeşidi vardır. Bunlar genişband yükselteçler (wideband amplifiers) ve zamanlayıcı filtreleme yükselteçleridir (timing filter amplifier). Genellikle fotoçoğaltıcı tüplerle kullanılmaktadır. Zamanlayıcı filtreleme yükselteçleri germanyum dedektörlerle ya da sinyal şekillendirme ayarının gerektiği diğer uygulamalar için kullanılmaktadır.

### 3.4.2 Puls Yükseklik (Enerji) Spektroskopisi için Lineer, Sinyal-Şekillendirici Yükselteçler

Puls yükseklik ya da enerji spektroskopisi için lineer sinyal şekillendirici yükselteçler farklı fonksiyonlar uygularlar. Bu tip yükselteçlerde en temel amaç ön yükselteç çıkış sinyalinin genliğini mili-volt aralığından 0.1-10 V aralığına büyütmektir. Bu ADC ve tekli PHA ile doğru sinyal genliği ölçümlerini kolaylaştırmaktadır. Diğer amaç ise yükseltecin enerji çözünürlüğünü optimize etmek ve başarılı sinyaller arasındaki üst üste gelme riskini minimize etmek için sinyalleri şekillendirmektedir.

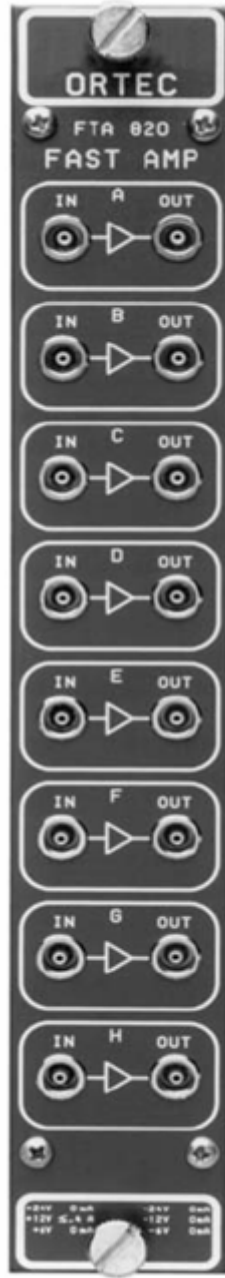
Optimum enerji çözünürlüğü için yüksek sayım oranlarını elde etmek gerekli olmaktadır. Çoğu dedektör-ön-yükselteç kombinasyonlarında optimum enerji çözünürlüğünü başarmak uzun sinyal genişlikleri gerektirmektedir. Diğer yandan, kısa sinyal genişlikleri yüksek sayım oranları için gereklidir. Bu gibi durumlarda

ölçüm boyunca toplanan bilgi kalitesini optimize eden uygun sinyal genişliği seçilmek zorundadır.

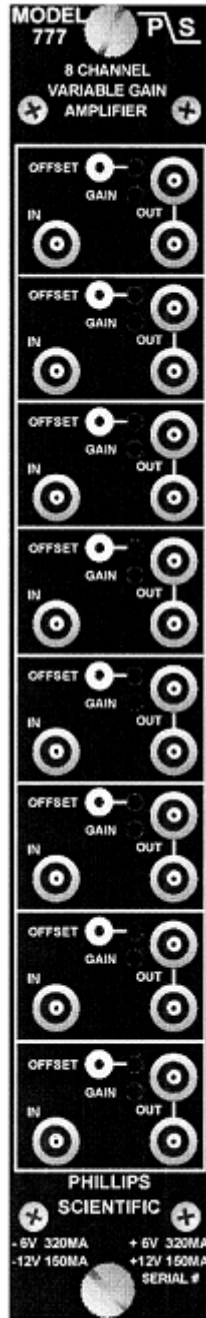
Elektron spektrometresinde kullanılan örnek bir yükseltecin (amplifier) ön paneli şekil 3.2’de gösterilmektedir. ORTEC model Fast Timing Amplifier özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu tip yükselteçler için giriş empedansı  $50 \Omega$  değerinde LEMO konektörler kullanılmalıdır. Kullanılan yükselteç için x200 sabit kazanç söz konusudur. Yükselteç dizaynlarında önemli parametrelerden birisi de band genişliği (band width) olmaktadır. Band genişliği, bir band içindeki frekans aralığı olarak tanımlanmaktadır ve kullanılan yükselteç dizaynı için 10-350 MHz aralığındadır. Elektron spektrometresinde kullanılan ön-yükselteç (pre-amplifier) ön paneli şekil 3.3’de gösterilmektedir. Panelde bulunan bağlantılar ile kazanç (gain) ve çıkış DC-offset kontrolü yapılabilmektedir. Kullanılan sistemdeki ön-yükselteç (pre-amplifier) için kazanç 2-50 aralığında ve çıkış DC-offset kontrolü  $\pm 10mV$  aralığında değişmektedir.

**Çizelge 3.1:** ORTEC FTA 820 model Fast Timing Amplifier özellikleri

Bandwidth (Bir band içindeki frekans aralığı)	10-350 MHz
Kazanç	(%10 kazanç toleransı ile) x200
Propagation Delay	Kanallar arasında $\leq 30 ps$ değişme
Çıkış Aralığı (Output Range)	$50 \Omega$ yüklemeye 0 ile -5 aralığında



**Şekil 3. 2:** Deneysel sistemde kullanılan ORTEC model yükseltici (amplifier) ön panelinin görünümü.



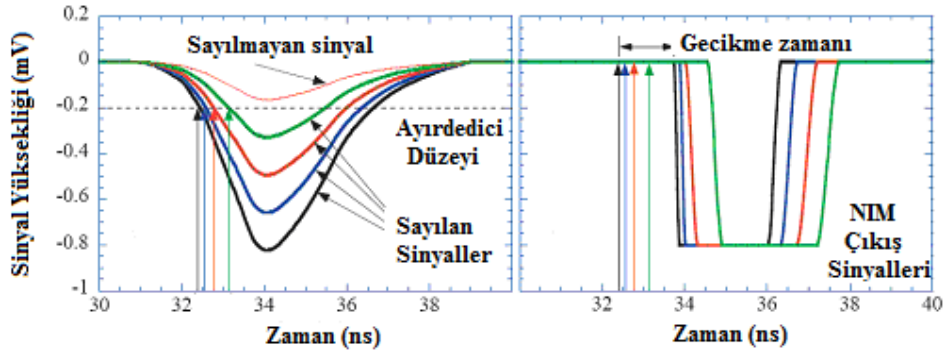
**Şekil 3. 3:** Deneysel sistemde kullanılan Philips model ön-yükseltici (pre-amplifier) ön panelinin görünümü.

### 3.5 Gürültü ve Zaman Ayırt Edici (Discriminator)

Yükseltici band aralığı çok büyük olmasına rağmen, bütün sinyal bölümleri gibi gürültü de bu arada yükseltilecektir. Bu nedenle ölçüm alabilmek için gürültünün gerçek sinyalden ayırt edilmesi zorunludur. Bunun için kullanılan iki temel diskriminatör şunlardır:

1. Düzey diskriminatörleri (Level Discriminator)
2. Sabit kesir diskriminatörleri (Constant Fraction Discriminator)

Düzey diskriminatörleri için ayırt etme düzeyi, dış taraftan eşik değeri (threshold control) ayar vidası yardımıyla ayarlanarak, bu düzeyden daha küçük olan bütün sinyaller ve gürültü de çıkışa iletilmez. Şekil 3.4'te düzey discriminatorları aracılığıyla elde edilen sinyal gösterilmektedir. Diskriminatör seviyesinin üstünde kalan sinyaller gürültü olarak algılanmakta, dolayısıyla da sinyal olarak sayılmamaktadır.

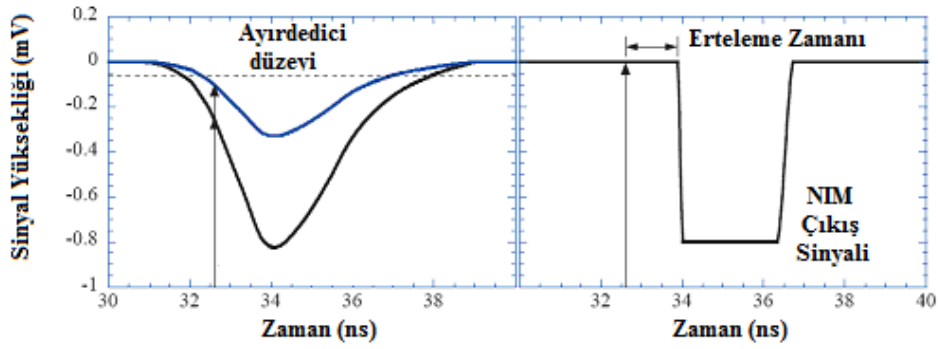


Şekil 3. 4: Düzey ayırtedicilerde elde edilen pulsun görünümü.

Düzey diskriminatörleri, yüksek hızda olduklarından ve kontrolü kolay olduklarından dolayı birçok deneysel çalışmada tercih edilmektedirler. Bu tip diskriminatörlerde zamanlama tetikleyici noktası sadece sinyalin geçiş düzeyi ile

ayarlanır. Bu nedenle farklı şekillerde, ya da farklı boyutlardaki sinyaller için tetikleyici zaman, sinyal karakteristiği ile belirlenir. Çok yüksek hızdaki zamanlama olayları için, düzey diskriminatörleri düşük bir zaman çözünürlüğüne sahip olduğundan tercih edilmemektedir.

Deneysel sistemlerde kullanılan bir diğer diskriminatör çeşidi sabit kesir diskriminatörleridir. Sabit kesir diskriminatörleri, sinyalin pik yüksekliğinin belirli bir kesrinde ayırt edici tetikleme noktası ayarlanması esasına dayanmaktadır. Sabit kesir diskriminatörlerinde bu düzeyi geçen sinyaller dedekte edilebilmektedir (Şekil 3.5).



**Şekil 3. 5:** Sabit kesir ayırt edicilerinde elde edilen pulsun görünümü (Andrew Murray Lecture Notes).

Diskriminatörlerden zamanlama çıkışı ya hızlı NIM ya da ECL çıkış sinyalleri ile olmaktadır. Diskriminatörden alınan NIM ya da ECL çıkış sinyallerinde, çıkış sinyal yüksekliği, dedektör giriş sinyal yüksekliğinden bağımsız olmaktadır. Bu nedenle daha sonra çıkış sinyali yüksek hızda zamanlama ölçümleri için kullanılabilir. Çoğu diskriminatörler sayımı takip edebilmek için yavaş bir sinyal de üretebilmektedir.

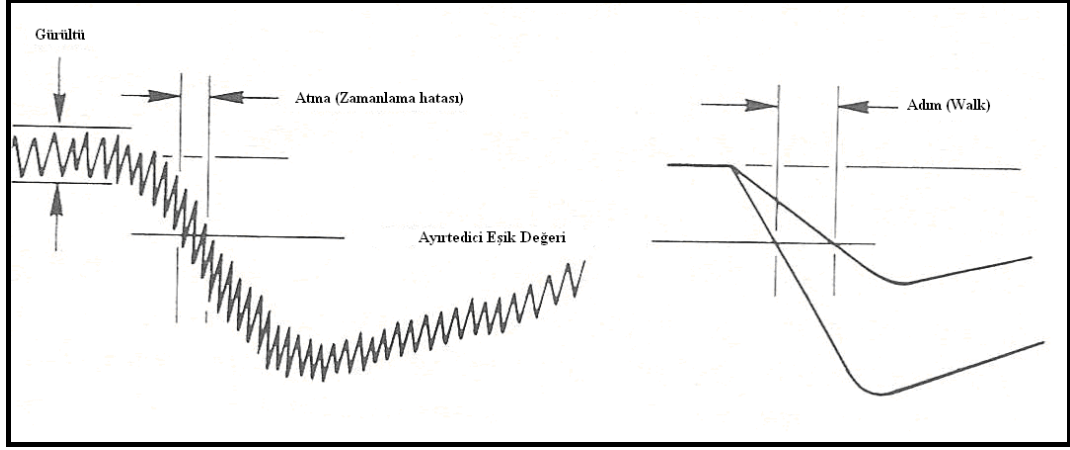
Hızlı zamanlayıcı diskriminatör (Fast Timing Diskriminator) iki farklı uygulamada kullanışlı olmaktadır. Çok yüksek sayım oranlarında, dar olan sinyallerin sayımında ve benzer sinyallerin ulaşma zamanının hassas bir şekilde belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu tip diskriminatörler en iyi zaman çözünürlüğünü ve en yüksek sayım oranlarını elde etmek için dizayn edilmiştir.

Sayım uygulamalarında, diskriminatör eşik değerinden geçen analog çıkış sinyalleri zamanlayıcı diskriminatör çıkışında standart logic sinyaline dönüştürülmektedir. Bu logic sinyaller MCS ya da bir sayıcı yardımıyla ölçülebilmektedir. Gürültüden meydana gelen sinyal üzerindeki sinyallerin sayılması için, diskriminatör eşik değeri genellikle gürültü seviyesinin hemen üzerinde ayarlanmaktadır.

Sayım ve zamanlayıcı ölçümleri için hızlı zamanlayıcı diskriminatörler kullanıldığında kayba neden olan ölü zaman (dead time), sayım oranlarıyla kontrol edilmektedir.

Dedekte edilen olayların ulaşma zamanını belirlemek zamanlayıcı diskriminatörler için önemlidir. Ulaşma zamanı belirlenirken optimum zaman çözünürlüğü çoğu deneysel çalışmada elde edilmek zorundadır. Optimum zaman çözünürlüğü dedektör tipine bağlı olmaktadır. Bu nedenle kullanılan dedektör karakteristiğine göre uygun zamanlayıcı diskriminatör seçilmelidir.

Kararsızlık (Jitter), mesafe (walk) ve sürüklenme (drift) zaman çözünürlüğünü sınırlayan üç temel faktördür. Şekil 3.6'da leading-edge zamanlayıcı diskriminatör için bu karakteristikler gösterilmektedir. Bu tip diskriminatörlerde analog sinyalin ucu eşik seviyesine ulaştığında komparatör logic sinyal üretmektedir. Daha sonra analog sinyalin takip eden ucu karşı doğrultuda eşik seviyesine ulaştığında logic sinyal sonlanmaktadır. Logic sinyalin bu ilk geçişi, analog sinyalin ulaşma zamanını belirlemek için kullanılmaktadır.



**Şekil 3. 6:** Leading-edge zamanlayıcı diskriminatör için jitter ve walk parametreleri.

Şekil 3.6’da tamamen benzer şekle sahip, fakat birinin genliği diğerine göre iki katı olan iki sinyal gösterilmektedir. Daha yüksek genlikli sinyal daha küçük genliğe sahip sinyalden daha erken diskriminatör eşik değerine çarpmaktadır. Walk parametresinin etkisi bu durumda ortaya çıkmaktadır. Sinyal genliğinin geniş bir aralığında çalışılması gereken deneylerde ‘walk’ parametresi zaman çözünürlüğünü ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bu nedenle sabit kesir diskriminatörleri, ARC zamanlayıcı gibi aygıtlar ‘walk’ parametresini elimine etmek ya da minimize etmek için kullanılmaktadır. Drift parametresi ise diskriminatör devrelerinde sıcaklık değişimlerinden oluşan etkidir. Sıcaklık değişimleri uzun ölçüm periyotları boyunca fark edilir derecede olduğu zaman drift parametresi zamanlamada büyük hatalara yol açmaktadır.

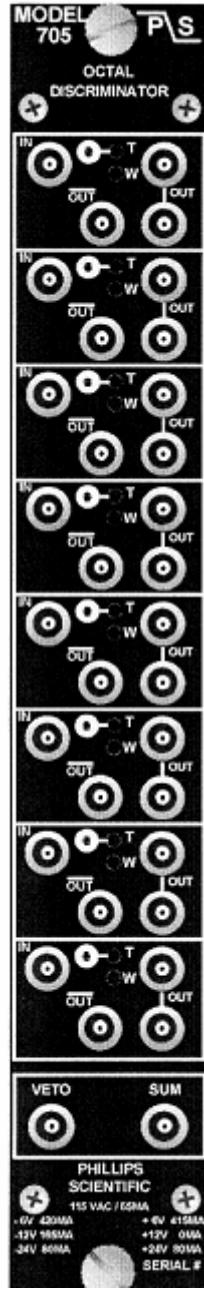
Gürültü ve genlik değişimlerinin olmadığı ölçümlerde leading-edge diskriminatörler her bir analog sinyalin ulaşma zamanını belirleyebilmektedir. Fakat çoğu sistemler ihmal edilemeyecek düzeyde elektronik gürültü içermektedirler. Bu gürültü belirsizliğe ya da analog sinyalin diskriminatör eşik düzeyine geldiğinde zamanda kararsızlığa (jitter) yol açmaktadır. Gürültü azaltılamaz ise minimum zamanlayıcı kararsızlığı analog sinyalin maksimum eğim noktasında diskriminatör eşik değerinin ayarlanması ile elde edilmektedir.

Elektron spektrometresinde kullanılan sabit kesir diskriminatör ön paneli şekil 3.7’de gösterilmektedir. Kullanılan diskriminatör özellikleri ise çizelge 3.2’de verilmiştir. Sabit kesir diskriminatörlerinde optimum tetikleyici kesri bulunmakta ve bu tetikleyici kesir tayini ile herhangi bir sinyalin optimum sinyal yüksekliği ayarlanmaktadır. Sabit kesir diskriminatörlerinin diğer bir yararı uygun çıkış zamanlarına sahip sinyaller için ‘walk’ etkisini azaltmaktadır. Böylece geniş aralıkta genlik değerlerine sahip sinyaller için optimum zaman çözünürlüğü elde edilmektedir.

Diskriminatör ön paneli yardımıyla eşik değeri (threshold) ve çıkış sinyal genişliği (output width) kontrolü yapılabilmektedir. Kullanılan deneysel dizayn için eşik değeri ayarlaması -10 mV ile -1 V aralığında yapılabilirken, çıkış sinyal genişliği 6 ns ile 150 ns aralığında yapılabilmektedir.

**Çizelge 3.2:** Sistemde kullanılan Philips Scientific model diskriminatör özellikleri.

Eşik değeri değişimi	-10mV’tan +1V aralığında değişmeli
Çıkış sinyal genişliği değişimi	6ns’dan 150 ns aralığında değişmeli
Continuous Repetition Rate	Çıkış genişliğinin minimumda set edilmesi ile 75 MHz’dan daha büyük
Sinyal Çifti Çözünürlüğü (Pulse Pair Resolution)	Çıkış genişliğinin minimumda set edilmesiyle 12 ns’dan daha iyi
Çalışma Sıcaklığı	0 °C – 70°C



Şekil 3. 7: Deneysel sistemde kullanılan Philips model diskriminatör (ayırt edici) ön kısmının görünümü.

### 3.6 Zaman-Genlik Dönüştürücü (Time-To-Amplitude Converter; TAC)

Zaman-genlik dönüştürücü (Time-To-Amplitude Converter: TAC), başlatıcı ve durdurucu sinyaller arasındaki zaman aralığını ölçen ve ölçülen zaman ile analog sinyal üreten aygıttır. TAC ile picosaniye mertebesinde çözünürlük elde etmek mümkündür. Fakat çoğu zaman çözünürlüğünün gerekli olduğu uygulamalarda nanosaniye seviyesi yeterli olmaktadır. Discriminatörden hızlı NIM sinyalleri TAC'ın 'başla' ve 'bitir' girişlerini beslemektedir. TAC, iki giriş arasındaki zaman farkı ile orantılı genlik ile tek bir çıkış sinyali üretmektedir. Bu sinyal puls yükseklik ölçümleri için ADC ya da MCA birimlerini beslemektedir. Sonuç olarak MCA hafızasında zaman spektrumu elde edilmektedir. Spektrum şekli başlatıcı ve durdurucu sinyaller arasındaki zaman korelasyonlarına bağlı olmaktadır. Çok güçlü korelasyon sağlanan e-e çakışma deneylerinde genellikle Gausiyen şeklinde iyi tanımlanan bir pik elde edilmektedir. Toplam korelasyonsuz ölçümlerde spektrum şekli rastgele ulaşan sinyaller arasındaki zaman aralık uzunluğunun olasılığı olarak tanımlanan 'aralık dağılımı' tarafından belirlenmektedir.

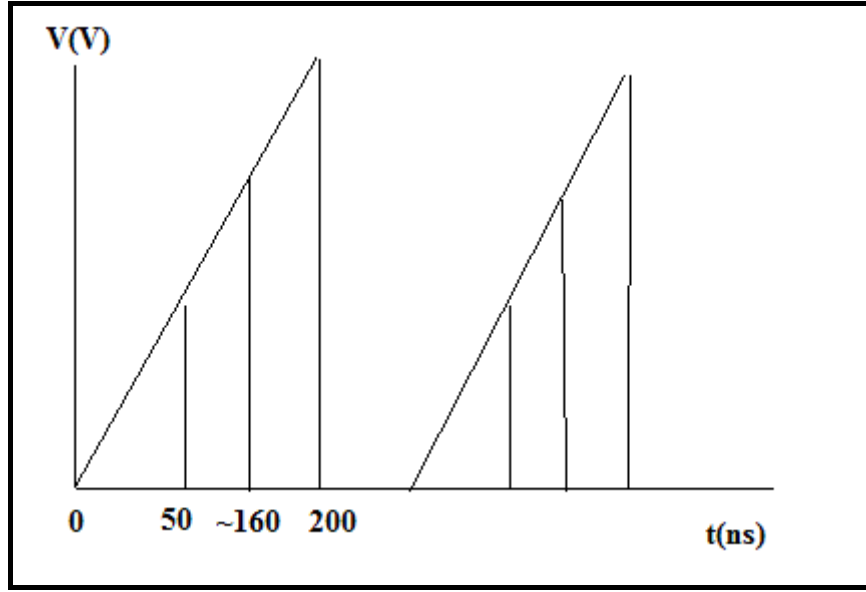
10 ns'den küçük zaman aralıklarını iyi bir lineerlikle ölçmek zordur. Fakat çoğu ölçümler  $\pm 10ns$  içinde ulaşan başlatıcı ve durdurucu sinyaller içermektedir. Bu durum için çözüm, durdurucu sinyali yolunda uygun erteleme eklemektir. Zaman spektrumunun lineer bölgesine elde edilecek piki hareket ettirmek için 10-30 ns aralığında erteleme yapmak yararlı olmaktadır.

(e,2e) deney sistemlerinde saçılan elektron 'start' ve iyonlaşan elektron 'stop' girişlerine bağlanarak, TAC aleti çalıştırılmaktadır. Bu çalışmada zamana karşı voltaj grafiği şekil 3.8'de gösterilmektedir. TAC aygıtı doğru sinyal ulaştığında durdurulur. Burada doğru sinyal istenilen enerji değerlerindeki sinyallerdir. Böylece TAC saniye başına  $f_{saçılan}$  kez başlatılır ve her bir başlangıç saniyede  $f_{iyonlaşan}$  kez durdurulur.

Toplam gürültü ve çakışmayan sinyal frekansı;

$$f_{accidental} = f_a f_b \times 200 \quad (3.4)$$

ile hesaplanır ve deneysel değerlerle karşılaştırılır.



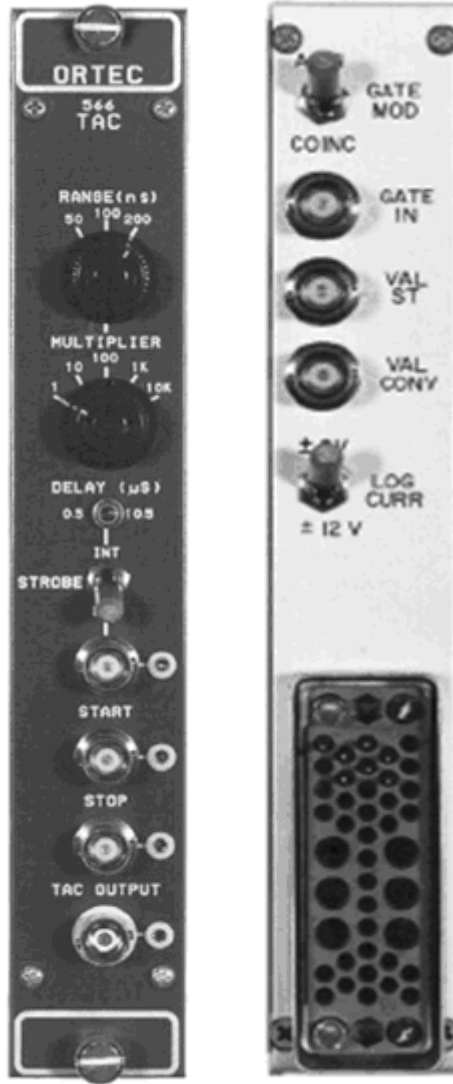
**Şekil 3. 8:** TAC çalışma mekanizması. Zamana karşılık voltaj değerleri taranarak doğru çakışma olduğunda (200 ns) TAC durdurulur.

(e,2e) deney sisteminde kullanılan zaman-genlik dönüştürücünün ön ve arka panelinin görüntüsü şekil 3.9’da verilmiştir. Ayrıca ORTEC model TAC aygıtının temel özellikleri çizelge 3.3’te verilmiştir. Deneysel sistemde kullanılan zaman-genlik dönüştürücü 10 ns’den 2 ms’ye kadar ki zaman aralığındaki deneyler için uygundur. Özellikle de elektron-elektron çakışma deneyleri için uygun bir zaman aralığına sahiptir. Kullanılan (e,2e) elektron-elektron çakışma spektrometresindeki TAC aygıtı için zaman çözünürlüğü, pikosaniye mertebesinde olduğundan, çakışma deneylerinde idealdir. Deneysel sistemde kullanılan TAC 30 MHz’den daha yüksek giriş sayım oranına sahiptir. TAC ön paneli yardımıyla kabul edilen ‘başlat’ ve ‘bitir’ giriş sinyalleri arasındaki zaman aralığı 50, 100 ya da 200 ns

olarak ayarlanabilmektedir. TAC çıkış ertelemesi ise  $0,5\mu s$  ile  $10,5\mu s$  aralığında değiştirilebilmektedir. Kullanılan TAC aygıtında ‘başlat’ ve ‘bitir’ giriş devreleri pozitif yada negatif NIM standart sinyalleri algılanmaktadır. Negatif sinyaller için  $50\ \Omega$  giriş empedansı ve pozitif sinyaller için  $1\ k\Omega$  değerinden küçük giriş empedansları gereklidir.

**Çizelge 3.3:** ORTEC model TAC için karakteristik özellikler.

Zaman çözünürlüğü (Time Resolution)	Bütün aralıklar için $5\ ps$ nin $\% \leq 0.01$ FWHM
Başlatıcı ve durdurucu sinyal arasındaki zaman (START-to-STOP Conversion Time)	Minimum $\leq 5\ ns$ .
Giriş Sayım Oranı	$>30\ MHz$
Temperature Instability	$0 - 50^{\circ}C \rightarrow 10\ ps/^{\circ}C$
Reset Cycle	x1 ve x10 çoğaltıcılar için $1\ \mu s$ x100 çoğaltıcı için $5\ \mu s$ x1k ve x10k çoğaltıcılar için $50\ \mu s$



Şekil 3. 9: ORTEC zaman-genlik dönüştürücünün ön ve arka kısmının görünümü.

### 3.7 Zamanlayıcı ve Sayıcı (Timer and Counter)

Deneysel çalışmalarda parçacık sayımı ya da zamanlama işlemleri için zamanlayıcı ve sayıcı aygıtı da kullanılmaktadır. Bu aygıt sayesinde farklı uygulamalar için sürekli zaman ölçümü ya da sürekli olarak parçacık sayımı yapılabilmektedir.

Sistemimizde kullanılan ORTEC Dual Counter-timer iki 8-ondalıklı sayıcıdan ve önceden ayarlanan zaman ölçerden oluşur. Farklı uygulamalar için fonksiyonel esneklik sağlamak için aletin içyapısı dizayn edilmiştir. Sürekli zaman okunması gerekli olduğunda B sayıcısı harici olayları kaydederken A sayıcısı zamanı saymak için yönlendirilmektedir. Dedektörün ölü zamanının doğruluğunun önemli olduğu ölçümlerde A girişi 100 ns zaman çözünürlük ile anahtarlanabilmektedir. Ayarlanan değerin set edilmesinde  $MN \times 10^P$  kullanılır. M ve N değerleri iki bölüm hassaslıkla çalışmaktadır. P ise onluk sistemi tanımlamaktadır. Ayarlamalar 0.01 ile 990,000 saniye aralığında ya da 0.01 ile 990,000 dakika aralığında ya da 1 ile 99,000,000 sayım aralığında değişebilmektedir.

A ve B sayıcı girişleri ya pozitif ya da negatif olarak seçilebilirler. Negatif seçilirse, standart NIM olarak kabul edilir. Bu 250 mV ayarlanan eşik değeri ve 50 ohm luk giriş empedansı ile dizayn edilir. Diğer pozitif giriş modu, 25 MHz yukarısında oranları saymayı kabul edebilir ve 1000 ohm luk giriş empedansına sahip olmalıdır. Diskriminatör eşik değerleri, ön paneller yardımıyla 100 mV ile 9.5 V aralığında değişebilir.

Genellikle kullanılan fonksiyonların tümü, ön panellerde ayarlanır. Sayım, stop ve resetin elle kontrolü, üç butona basılarak yapılır. 0.01 saniye, 0.01 dakika ve harici bir zamanın seçimi 'TIME BASE' butonu ile yapılır. Harici moda ayarlanan zamanlayıcı A sayıcı girişindeki olayları sayar. 'Display' butonu A sayıcısının ya da ayarlanan stop değerini ya da B sayıcısının içeriğini göstermek için görüntüyü anahtarlar. Ayarlanan değeri değiştirmek için, ayarlanan mod, 'display' butonu ile ilk önce seçilmek zorundadır. Son olarak, 'PRESET SELECT' butonu ayar için M,N ya da P yi seçmek için kullanılır. 'PRESET ADVANCE' butonu ile bu ayarlanabilmektedir.

Tam modülün sayma fonksiyonu harici sinyal kaynağı kullanılarak 1.5 V'un altında 'ENABLE' girişini tutarak etkisizleştirilebilir.

Her bir sayıcı aşırı akım sinyalini belirtmek için bir arka panele sahiptir. Sistemde kullanılan Ortec Dual Counter-Timer ön panel görünümü şekil 3.10'da gösterilmektedir. Karakteristik özellikleri ise çizelge 3.4'de verilmektedir.

**Çizelge 3.4:** ORTEC DUAL Counter-Timer model karakteristiği.

<b>Sayım Kapasitesi</b>	0 dan 99.999.999 a kadar sayım
<b>Maximum Counting Rate</b>	Negatif giriş için 100 MHz, pozitif giriş için 25 MHz
<b>Time Base</b>	10 MHz minimum ayarlamayla ya da 0.01 saniye veya 0.01 dakika aralığındaki gösterim Senkronize olma hatası yaklaşık 100ns
<b>Time Base Accuracy</b>	0-50 °C çalışılan sıcaklık aralığında ≤ % ± 0.0025
<b>Pozitif Giriş Diskriminatörü</b>	25 çevirme ile +100 mV'tan +9.5 V'a değişen eşik değeri
<b>Sinyal Çifti Çözünürlüğü (Pulse Pair Resolution)</b>	Negatif giriş için <10 ns Pozitif giriş için <40 ns

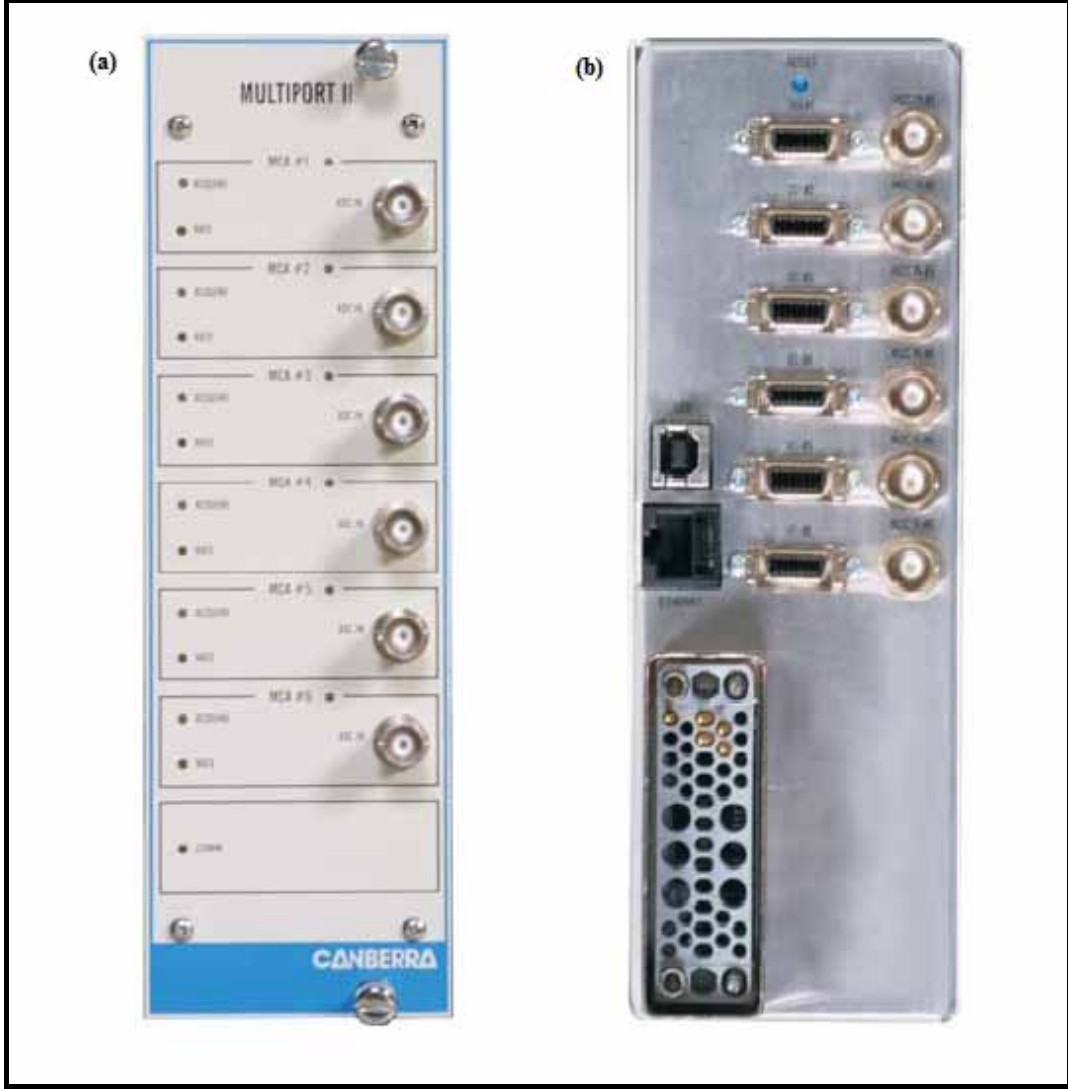


Şekil 3. 10: ORTEC model Dual Counter and Timer ön panel görünümü.

### **3.8 Çok-Kanallı Puls Yükseklik Analizörü (Multi-Channel Analyser; MCA)**

Çok kanallı puls yükseklik analizörü (Multi-Channel Analyser; MCA) çakışma deney sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MCA, bir analogtan dijitale çevirici (ADC), bir hafıza histogram ve bir de hafızada kaydedilen histogramın görünmesini sağlayan ekrandan oluşur. Burada ADC zaman-genlik dönüştürücünün çıkış puls genliğini ölçer ve onu dijital bir sayıya çevirir. Histogram ise, giriş puls yüksekliğinin spektrumunu gösterir ve böylece TAC tarafından zaman spektrumu ölçülmektedir. Çoğu MCA lar bilgisayar tabanlıdır. Çakışma olayından elde edilen verilerin elde edilmesi, depolanması, görüntülenmesi ve analizi için MCA, USB konektörler yardımıyla bilgisayara bağlanır.

(e,2e) elektron-elektron spektrometresinde kullanılan MCA, PHA ve MCS modlarında çalışabilmektedir. Şekil 3.11’de MCA ön ve arka panel görünümü verilmektedir. Kullanılan MCA radyasyon dedektörlerinin çoğunda kullanıma uygun olarak hazırlanmıştır. Uygun bir ön-yükseltici, yükseltici ve yüksek voltaj güç ünitesi kullanılarak, farklı dedektörler için uygun hale getirilebilmektedir.



Şekil 3. 11: Altı bağımsız MCA kanalıyla CANBERRA marka MCA için (a) ön ve (b) arka panelinin görünümü.

### 3.9 Çok Kanallı Ölçek (Multi-Channel Scaler; MCS)

MCS (Multi-Channel Scaler) çok kanallı ölçekler zamanın bir fonksiyonu olarak olayların sayım oranını kaydeden aletlerdir. Tarama başlatıldığında, MCS dijital hafızasındaki ilk kanala giren olayların sayımına başlamaktadır. Önceden seçilen bir süpürme zamanı (dwell time) sonunda MCS olayları saymak için hafızasındaki diğer kanala ilerlemektedir. Bu tarama işlemi MCS hafızasındaki bütün kanallar taranana dek devam etmektedir. Tarama sona erdiğinde, MCS ekranında, zamana

karşın giriş olaylarının sayım oranı gösterilmektedir. MCS çalışma mekanizmasında, ardı ardına alınan ölçümlerde, taramanın başlatılmasıyla olayların başlaması senkronize olmalıdır.

MCS zamanın fonksiyonu olarak  $t$  ile  $t + \Delta t$  zaman aralığı boyunca oluşan olayların sayısını saymaktadır.  $\Delta t$  zaman aralığı süpürme zamanı (dwell time) olarak isimlendirilir.  $i$  bin sayısı olmak üzere  $t = i\Delta t$  bağıntısına göre  $t$  zamanı kanallar içinde bölümlendirilir. Süpürme zamanı nanosaniye mertebesinden saat mertebesine dek değiştirilebilir ve binlerin de toplam sayısı 4 ile 65,536 aralığındadır.

MCS kartları için süpürme zamanı (dwell time) aralığı, hafızasındaki kanal sayısı, birim saniyede kabul edilen giriş sayım oranları, olayları kaydederken ölü zaman (dead time) aralığı sinyal hassasiyeti açısından önemli olmaktadır. Kullanılan elektron spektrometresinde bulunan MCS için özellikler çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5:** ORTEC model MCS-pci özellikleri.

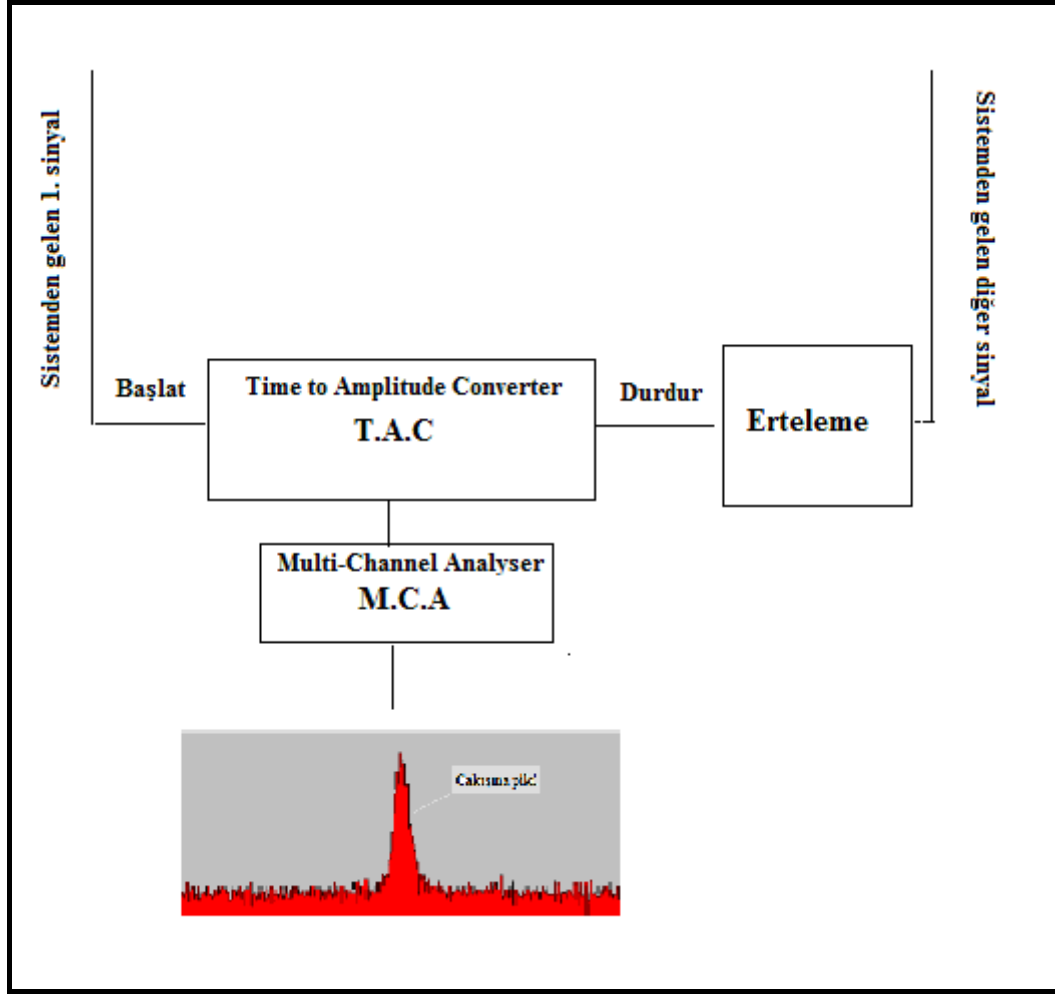
Kanal başına tarama sayısı	100 ns–1300 s
Taratılan kanal sayısı	4–65536
Hızlı analog giriş için sayım oranı	>150 MHz
Kanallar arasındaki ölü zaman	0

### 3.10 Çakışma Elektronığı

Saçılan ve atomdan iyonlaşan elektronlar farklı çarpışmalara neden olan birçok olayı oluşturur. Bu olaylar sonunda, analizörler hedef gazın uyarılması ve iyonlaşması gibi işlemlerden çıkan elektronları dedekte etmektedirler. Dedeksiyon işlemi sonucunda korelasyonlu saçılma olaylarının sayısı, background saçılması yada korelasyona sahip olmayan olayların sayısı ile kıyaslandığında küçüktür. Bu nedenle, elektron-elektron çakışma tekniği, iyonlaşma olayından sonra çıkan

elektron çiftlerini dedekte etmek için kullanılmaktadır. Çakışma tekniği, korelasyonlu ve korelasyonlu olmayan olayları ayırd etmekte kullanılmaktadır.

Saçılan elektronlar elektron çoğaltıcı kullanılarak dedekte edildikten sonra elektron çoğaltıcıdan elde edilen negatif sinyal pick-off devresinden (CEM yüksek voltaj hattından sinyali ayırt etmekte kullanılır) geçirilir ve daha sonra ön yükseltici ile yükseltilmektedir. Diğer yandan ikinci olarak atomdan iyonlaşan elektron ikinci bir analizör yardımıyla başka bir elektron çoğaltıcı yardımıyla dedekte edilmektedir ve ikinci bir ön-yükselteç yardımıyla da negatif sinyal yükseltilmektedir. Daha sonra her bir sinyal diskriminatör yardımıyla beslenmektedir. Her bir diskriminatör ön yükselticiden negatif giriş sinyalini kabul eder ve üç eş zamanlı NIM standart sinyalini üretir. Diskriminatörden, saçılma olayından gelen bir sinyal başlangıç sinyali olarak zaman-genlik dönüştürücüyü (Time-to-Amplitude Converter; TAC) beslemektedir. Diğer iyonlaşan elektronları dedekte etmek için kullanılan elektron çoğaltıcıdan gelen ikinci sinyal ertelemeyen geçirilerek durdurucu puls olarak TAC'ı beslemektedir. TAC; saçılan elektronları dedekte eden elektron çoğaltıcı ile üretilen başlangıç sinyali ve iyonlaşan elektronları dedekte eden çoğaltıcı ile üretilen durdurucu sinyal arasındaki zaman aralığını ölçmek için kullanılmaktadır. Başlangıç ve durdurucu sinyal TAC'a ulaştığında TAC ölçülen zaman farkıyla orantılı olarak analog çıkış sinyali üretmektedir ve bu MCA'ya (Multi Channel Analyser) iletilmektedir. Bu bilgi MCA içerisindeki analogtan dijitale çevirici (ADC) sayesinde dijital bilgiye dönüştürülmektedir ve MCA puls yükseklik spektrumunu oluşturmaktadır. Şekil 3.12'de çakışma olaylarının dedeksiyonu için TAC-MCA devresi gösterilmektedir. TAC çıkışları PHA'yı (Puls Height Analyser) besler ve her bir sayım başlatıcı ve durdurucu sinyallerin arasındaki zaman farkına bağlı olarak PHA içindeki kanalların birinde depolanmaktadır. Dedekte edilen elektronlar aynı iyonlaşma olayından kaynaklanıyorsa, iki elektronun varış süresi korelasyonludur ve dar bir pik (coincidence peak) gözükmektedir.



**Şekil 3. 12:** Çakışma deneylerinde kullanılan TAC-MCA devresi.

Şekil 3.13’de kullanılan (e,2e) deneysel sistemi için sinyal işleme birimleri (güç kaynakları (power supply); ön-yükseltici (pre-amplifier), yükseltici (amplifier); ayırteci (discriminator); sayıcı (Counter); zaman-genlik dönüştürücü (Time-to-Amplitude Converter; TAC), Nanosaniye erteleme (Nsec Delay), MCA (Multi-Channel Analyser) gösterilmektedir.



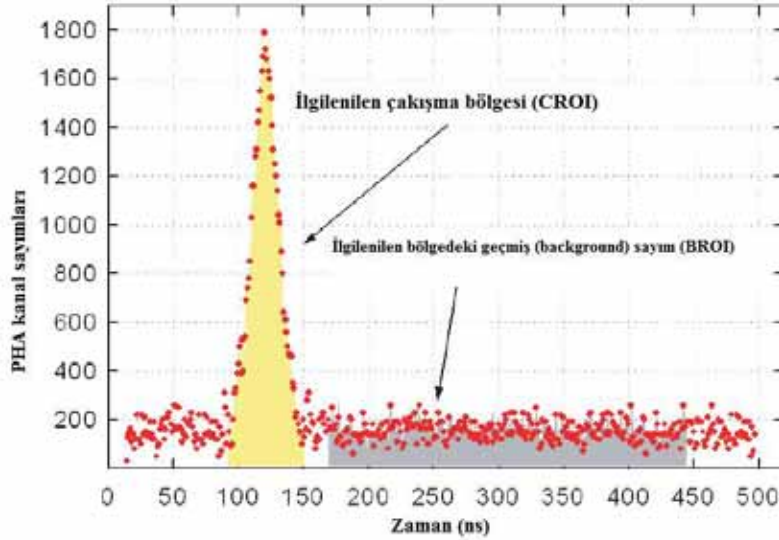
**Şekil 3. 13:** Afyon Kocatepe Üniversitesi (e-2e) elektron spektrometresinde kullanılan sinyal işleme birimleri deneysel dizaynı.

### 3.11 Çakışma Deneylerinde Puls Yükseklik Spektrumu

İdeal olarak çakışma piki bir delta fonksiyonu şeklinde olmalıdır. Fakat pikin genişliğinde üç temel faktör rol oynar (Dogan, 1996). Bunlardan en önemlisi, analizör yarıkürelerinden elektronların geçiş süresi olmaktadır. Elektronlar analizörün yarıküresinden geçerken aynı yörüngeyi takip etmediklerinden dolayı geçiş süresi değişecektir. Diğer faktör ise diskriminatörde daha büyük genlikli sinyalin diskriminatör eşik değerine daha küçük genlikli sinyale nazaran daha erken varmasından dolayı aralarında bir zaman aralığı olacaktır. Böylece farklı genlikteki sinyaller farklı zamanlarda tetiklenecektir. Diğer faktör ise, etkileşme bölgesinin farklı bölgelerinden analizöre ulaşan elektronların farklı zamanlarda ulaşmasından dolayı oluşacak zaman aralığıdır.

Çakışma deneylerinde en çok kullanılan metodlardan zaman korelasyon metodunda saçılan elektron ve foton yada iyonlaşan elektronun dedekte edimesi arasındaki zaman farkı aynı yolla uyarılan ya da iyonlaşan atomların tümü için aynı olması ilkesine dayanmaktadır.

Zaman korelasyon metodu ile elde edilen spektrumlarda background sayımları genellikle rastgele çakışma sinyali olarak adlandırılır ve zaman ilişkisiz olaylardan meydana gelmektedir. Örneğin bir çarpışma olayından gelen elektron ile başka bir çarpışma olayından çıkan foton TAC'a bu zaman içerisinde ulaştığında, background sinyalleri oluşmaktadır. Genellikle bu background sinyalleri, her bir dedektörde dedekte etmek için koşullar sağlandığında olayların ilişkisiz olduğu yerdeki herhangi bir işlem için oluşabilmektedir. Aynı çarpışmadaki parçacıkların oluşturduğu dar bir pik, doğru sinyaldir. Bu pikin konumu, TAC'tan önce aktif ya da pasif gecikme ile hareket edebilir.



**Şekil 3. 14:** Tipik puls yükseklik spektrumu.

Puls yükseklik analizöründen (PHA) doğru çakışma sinyali gözlenebilmektedir. Doğru çakışma sayısını belirlemek için, spektrumun farklı bölgelerinde iki zaman penceresi açılmalıdır. Bu zaman pencerelerinde  $\Delta t$  genişlikte olan doğru ve rastgele çakışma sinyallerinin toplamını verirken,  $\Delta t'$  genişliğindeki zaman spektrum penceresi rastgele çakışma sinyali  $N_c$ ; doğru sinyaller ile rastgele sinyallerin toplam sayısı,  $N_b$ ; rastgele sinyallerin sayısı,  $\Delta t$ ; doğru sinyallerin

zaman aralığı,  $\Delta t'$  ise rastgele sinyallerin zaman aralığı olmak üzere  $N_t$ ; doğru çakışmaların sayısı,

$$N_t = N_c - N_b (\Delta t / \Delta t') \quad (3.5)$$

ile verilmektedir. Bununla birlikte  $N_t$  sayısındaki istatistiksel belirsizlik;

$$\Delta N_t = \{N_c + N_b (\Delta t / \Delta t') [1 + (\Delta t / \Delta t')]\}^2 \quad (3.6)$$

olarak verilmektedir. Burada,  $\Delta t$  zaman aralığını mümkün olduğunca küçük ve  $\Delta t'$  zaman aralığını ise büyük tutmak önemlidir (Dogan, 1999).

### 3.12 Elektron Etkisiyle İyonlaşma Çalışmaları

Elektron etkisiyle iyonlaşma olayında çarpışmadan sonra birbirleriyle uzun menzilli Coulomb etkileşmesi içinde olan en az üç parçacık bulunmaktadır. Bu nedenle, iyonlaşma mekanizmasının tanımlanması, çok parçacık probleminin çözülmesini gerektirmektedir. Parçacıkların hepsinin enerji ve momentumlarının belirlenmesi iyonlaşma olayının tam olarak tanımlanmasını sağlar.

Elektron etkisiyle iyonlaşma olayı, elektronun enerjisine bağlı olarak direkt iyonlaşma, kendiliğinden iyonlaşma (Autoionization), iç ya da orta enerji seviyelerinden iyonlaşma (Auger) olaylarını içine almaktadır.

Gelen elektronun enerjisi hedef atomun bir elektronunu atomdan koparacak enerjide ise atomun bir elektronu iyonlaşır. Atomun iyonlaşması ile ortamda iyon, saçılan elektron ve koparılan elektron olmak üzere üç parçacık bulunmaktadır. Saçılan ve koparılan elektronlar son durumda ayırt edilemezler. Geleneksel olarak

hızlı ve küçük açılı olan saçılan, yavaş ve daha büyük açılı olan iyonlaşan elektron olarak kabul edilir. Bununla birlikte, hedef atomun ve çarpışmadan sonra geriye kalan iyonun taban durumda olduğu kabul edilir. Bu durumda enerji ve momentum korunmaktadır ve elektronun kütesinin iyonun kütesine oranının çok küçük olmasından dolayı iyonun geri tepme enerjisi ihmal edilir.  $T^+$  tekli iyonlaşma ile kalan iyonları göstermek üzere elektron etkisiyle bir T hedefinin tekli iyonlaşması;

$$e_0 + T \rightarrow e_a + e_b + T^+$$

Enerji korunumundan,

$$E_0 = E_a + E_b + E_{SI}$$

$q^+$  iyonun geri tepme momentumu olmak üzere, momentum korunumundan,

$$k_0 = k_a + k_b + q^+$$

$T^{2+}$  ikili iyonlaşma ile kalan iyonları göstermek üzere elektron etkisiyle bir T hedefinin direkt ikili iyonlaşması;

$$e_0 + T \rightarrow e_a + e_b + e_c + T^{2+}$$

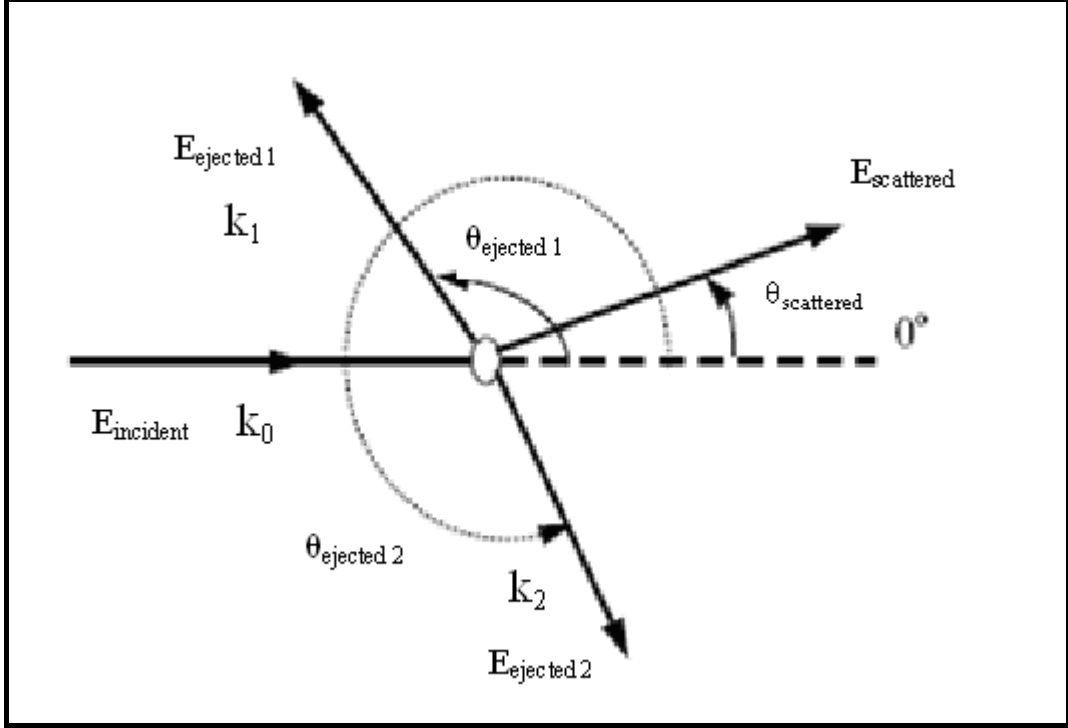
Enerji korunumundan,

$$E_0 = E_a + E_b + E_c + E_{DI}$$

$q^{2+}$  iyonun geri tepme momentumu olmak üzere, momentum korunumundan,

$$k_0 = k_a + k_b + k_c + q^{2+}$$

$e_0$  gelen elektronu ve a indisli elektronlar saçılan, b ve c indisli elektronlar ise iyonlaşan elektronları göstermektedir. Şekil 3.15'te elektron etkisiyle direkt ikili iyonlaşmanın şematik çizimi verilmektedir.



Şekil 3. 15: Elektron etkisiyle ikili iyonlaşmanın şematik gösterimi.

Bu deneylerde en önemli parametrelerden birisi momentum aktarımı parametresidir. Hedef momentum aktarımı,

$$K = k_0 - k_a$$

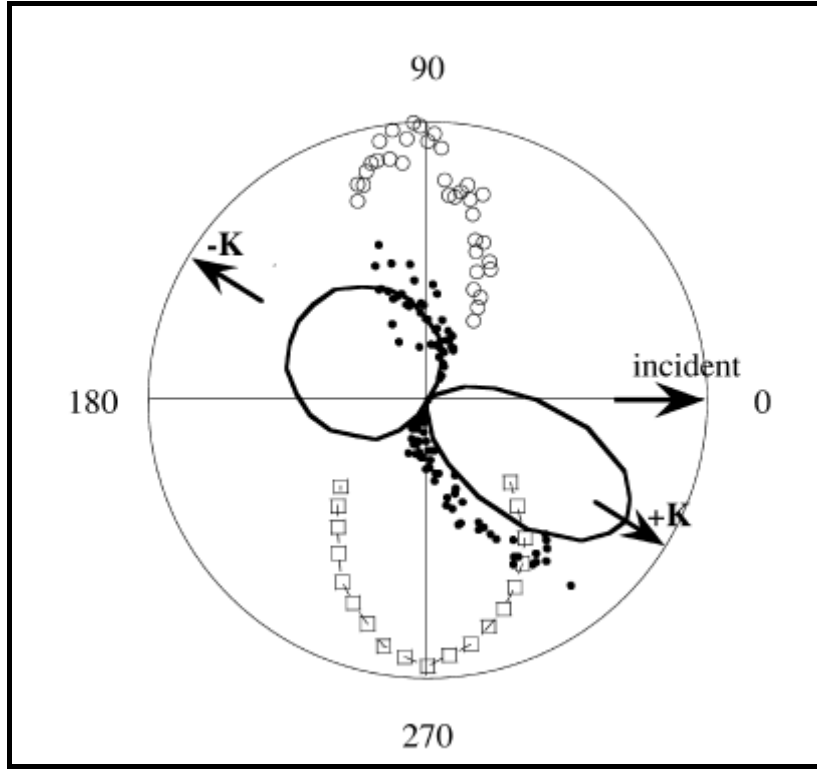
Çarpışma düzlemi  $k_0$  ve  $k_a$  tarafından tanımlanmaktadır. Orsay'da kullanılan spektrometre dizaynında  $k_0$  gelme doğrultusuna göre  $\theta_a$ ,  $\theta_b$  ve  $\theta_c$  açıları ile eşdüzlemsel saçılma düzleminde gözlenen son durum elektronlarının olduğu yerde eş düzlemsel geometridir.

Verilen bir enerjide, iki çıkan elektron eşzamanlı olarak momentum içinde seçilmekte, enerji analizi yapılmakta, ikili çakışma (ya da üçlü çakışma) ile dedekte edilmektedir.

(e,2e) ölçümleri için;

$$TDCS = \frac{d^3\sigma}{dE_a d\Omega_a d\Omega_b}$$

Elektron etkisi ile iyonlaşma olayında birbiriyle zaman-ilişkili iki elektron açığa çıkar. Bu elektronların her ikisi de ikili çakışma tekniği yardımıyla dedekte edilmektedir. Bu ikili çakışma tekniği sayesinde, hedefin yapısı ve çarpışma dinamikleri hakkında detaylı bilgiler, üçlü diferansiyel tesir kesitinden (TDCS) elde edilmektedir. TDCS, saçılan ve koparılan elektronların açıları ve elektronlardan birinin enerjisine göre dağılımın bir ölçüsüdür. Nükleer çalışmalar gibi farklı alanlarda parçacıkların çakışık olarak dedekte edilmesi tekniğinin elektron-atom çarpışmalarına uygulanmasıyla üçlü diferansiyel tesir kesitleri ölçülmeye başlanmıştır. Polar diyagramda şekil 3.16'da TDCS ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Binary ve recoil lob karakteristiği şekil 3.16'da açıkça görülmektedir. Binary lob, sadece gelen elektron ile hedef elektronunun etkileşmesini içerirken, recoil lobe çekirdek ile etkileşmeleri içermektedir ve hedef elektron çekirdekten elastik geri saçılmaya maruz kalmakta ve elektronlar -K doğrultusunda görülmektedir.



**Şekil 3. 16:** Full çizgi ve full eğriler 114 eV gelen elektron enerjisiyle He dan 15 eV iyonlaşan elektronları göstermek üzere sırasıyla deneysel ve First Born teoriksel hesaplama sonuçlarını göstermektedir (Ehrhardt et al, 1969). Açık kareler 100 eV elektronlardan iyonlaşmayı takip eden  $Ar^+$  iyonlarını göstermektedir. Açık daireler elektron recoil datalarına uyan üçlü diferansiyeli göstermektedir (McConkey et al., 1972).

İkili iyonlaşma ile (e,3e) ölçümleri için;

$$5DCS = \frac{d^5\sigma}{dE_a dE_b d\Omega_a d\Omega_b d\Omega_c}$$

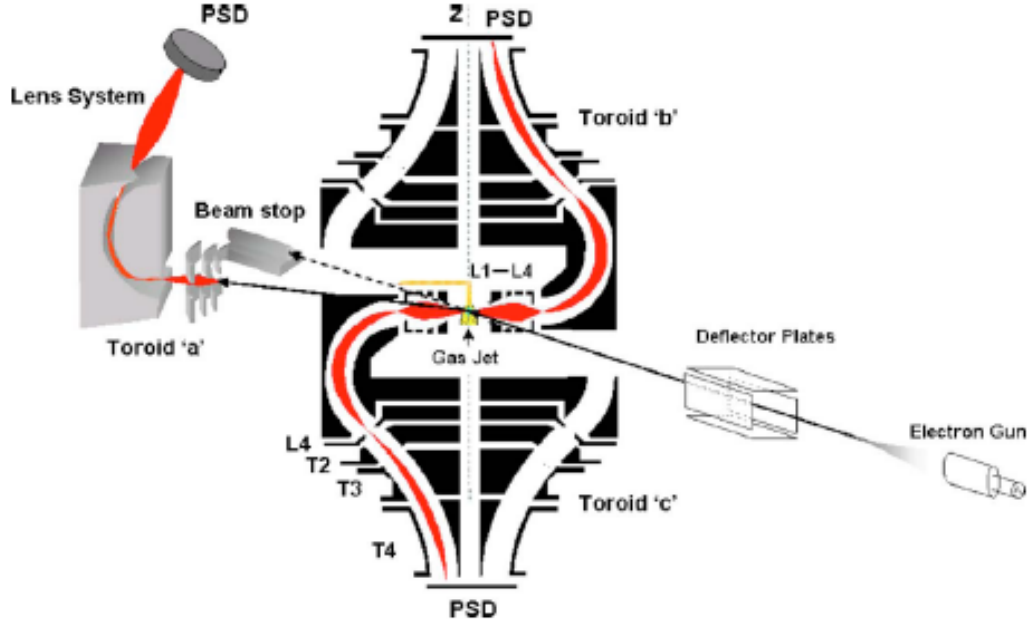
hesaplanmaktadır. Bunun haricinde ikili iyonlaşma çalışmalarında son durumda saçılan ve iyonlaşan elektronlardan birisi dedekte edilerek 4DCS ölçümleri alınmaktadır. Bu deneyler (e,3-1e) çalışmaları olarak adlandırılır ve (e,3-1e) ölçümleri için;

$$4DCS = \frac{d^4\sigma}{dE_a dE_b d\Omega_a d\Omega_b}$$

hesaplanmaktadır. (e,3e) iyonlaşma işleminde temelde ilgilenilen problemlerden biri iyonlaşma işleminden sorumlu olan temel mekanizmanın ne olduğunu bulmaktır. Üç mekanizma vardır: shake-off (SO), two-step 1 (TS1) ve two-step 2 (TS2) mekanizmaları. Shake-off mekanizması gelen elektron ile hedef atomun elektronlarından birisi arasındaki tekli etkileşmeyi içermektedir. Gelen elektron hedef atomun bir elektronunu iyonlaştırır ve ikinci hedef elektronu ani potansiyel değişiminden dolayı iyonlaşır. TS1 mekanizması SO mekanizmasında olduğu gibi gelen elektron ile hedef elektronun tekli etkileşmesini içermektedir. TS1 Mekanizmasında gelen elektron hedef atomun bir elektronunu iyonlandırdıktan sonra, ilk iyonlaşan elektron diğer bir hedef elektronunu etkiler ve onu iyonlaştırır. TS2 mekanizmasında ise gelen elektron hedef elektronun birisine çarpar ve onu iyonlaştırır ve giderken diğer elektrona çarpar ve onu da iyonlaştırır. Momentum transfer yakınında merkezlenen pikin kayması TS2 mekanizmasının önemli bir ölçümünü içermektedir.

### **3.13 (e,2e)-(e,3e) Spektrometre Tanımı**

İkili iyonizasyon (e,3e) deneyleri multidiferansiyel karakterlerinden dolayı çok zaman alan ve üçlü çakışma tekniği kullanıldığından dolayı zor olan işlemlerdir. Bu zorluk hedefin iç kabuklarından ikili iyonlaşma işlemi ele alındığında daha da önemlidir. Çünkü iç kabuk iyonlaşmalarından elde edilen tesir kesitleri dış kabuk iyonlaşmalarına kıyasla daha küçüktür. Bu tip deneylerin yapılabildiği bir sistem Orsay'da bulunmaktadır. Şekil 3.17'de bu sistem gösterilmektedir.



**Şekil 3. 17:** Orsay’da kullanılan ve üç toroidal analizörden oluşan deneysel dizayn.

0.2 mm iç çapına sahip küçük bir tüpten çıkan gaz jeti elektron demeti ile doğru açılarda çakışmaktadır. Böylece etkileşme hacmi tanımlanır. Elektron demeti 4 elemanlı elektrostatik elektron tabancasından üretilmektedir. Kullanılan tabanca daha önceki kullanılan tabancalardan daha kompakt olması ve çalışılan tekli iyonlaşma ve ikili iyonlaşma için (100 eV-2 keV) enerji aralığında uygun bir şekilde optimize edilmesi açısından uygundur. Hedef gaz ile çarpıştıktan sonra saçılan elektron demeti Faraday toplayıcıda ya da BS (beam stop-pinhole) ile toplanmaktadır. BS elemanı yeni eklenen toroidal analizör için gerekli uzaysal ve fiziksel gereksinimler dolayısıyla yeniden dizayn edilmiştir. BS elemanı iki toroidal analizör çıkışında konumlandırılmaktadır ve  $\approx 130$  mm hedef bölgesinden uzaktadır. BS birbirinden elektriksel olarak izole edilen iki koaksiyal tüpten meydana gelmiştir. Tüplerden içteki +20 V kadar öngerilimlendirilirken dıştaki tüp topraklanmaktadır. Bu uygulanan pozitif voltajın amacı BS iç duvarlarına gelen demetin etkisiyle üretilen düşük enerjili ikincil elektronları önlemektir. Gelen elektronun karşılıklı kenarlarında ve sırasıyla çarpışma düzleminin aşağısında ve yukarısında konumlanan iki toroidal analizör tüm açılarda elektron

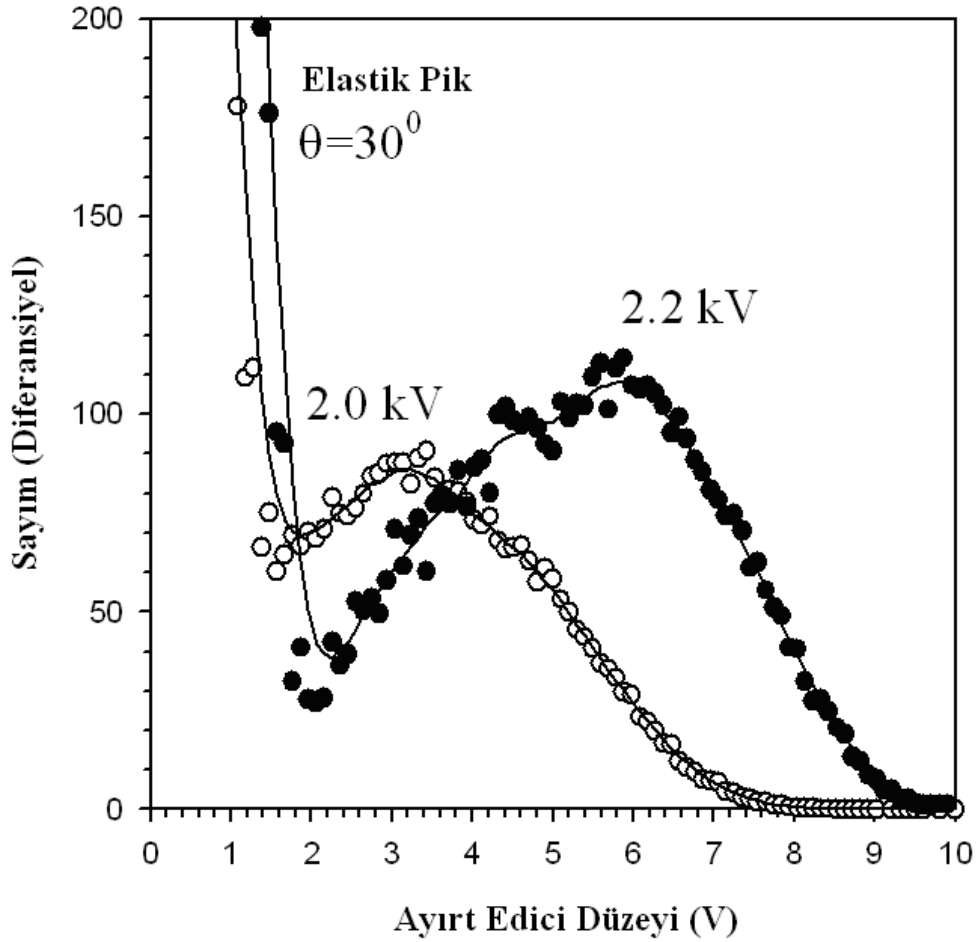
demetini toplamaktadır. Her bir toroid  $140^0$ 'den daha büyük açısal aralıkta çıkan elektronların toplanmasını sağlamaktadır. Her bir toroid resistive anodlu MCP Z stack ile dedeksiyon sistemine sahiptir. Dedekte edilen elektronların enerjisi, emisyon açısı ve dedektöre ulaşma konumlarından yapılandırılmaktadır.

Saçılan a elektronu enerji analizi için sisteme eklenen a toroidal analizör PSD ile kullanılmaktadır. Böylece bütün elektron açıları gelen demet doğrultusundan başlayarak pozitif saat yönünde sayılmaktadır. İyonlaşan elektronlar için sırasıyla b ve c elektron açıları  $0^0$ 'den  $360^0$ 'ye taranmaktadır, a elektron açısı ise  $-10^0$ 'den  $+10^0$ 'ye taranmaktadır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Elektron Çoğaltıcıda PHA (Puls Height Distribution) Testi

180°yarı-küresel elektron analizöründe tek-kanallı elektron çoğaltıcılar (CEM) yerleştirilmiştir. Şekil 4.1’de elde edilen puls yükseklik dağılım eğrisi (Puls Height Distribution; PHD) ayırtedici düzeyinin (discriminator level) sayım değerlerinin diferansiyeline karşılık değişim grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4. 1: Analizördeki elektron çoğaltıcı için  $\theta = 30^\circ$  ‘de CEM’ e uygulanan 2 ve 2,2 kV’ luk değerler için elde edilen puls yükseklik dağılım grafiği.

Şekil 4.1'e göre analizörün çıkışına yerleştirilen elektron çoğaltıcı için 2,2 kV'luk potansiyel fark uygulamak uygundur. Çünkü CEM'e 2,2 kV'luk potansiyel uygulandığında daha dar ve daha yüksek pik görüntüsü elde edilmektedir. Ayırt edici (discriminator) düzeyi gürültü sinyalinden ayırt edilmesi amacıyla 2 değerinden daha büyük değerde tutulmak zorundadır. Fakat 2.2 kV'tan daha yüksek çalışma voltajları, kullanılan elektron çoğaltıcının ömrünü kısaltmasından dolayı tercih edilmemelidir.

#### 4.2 Elektron Çoğaltıcıdan Gelen Sinyalin Testi

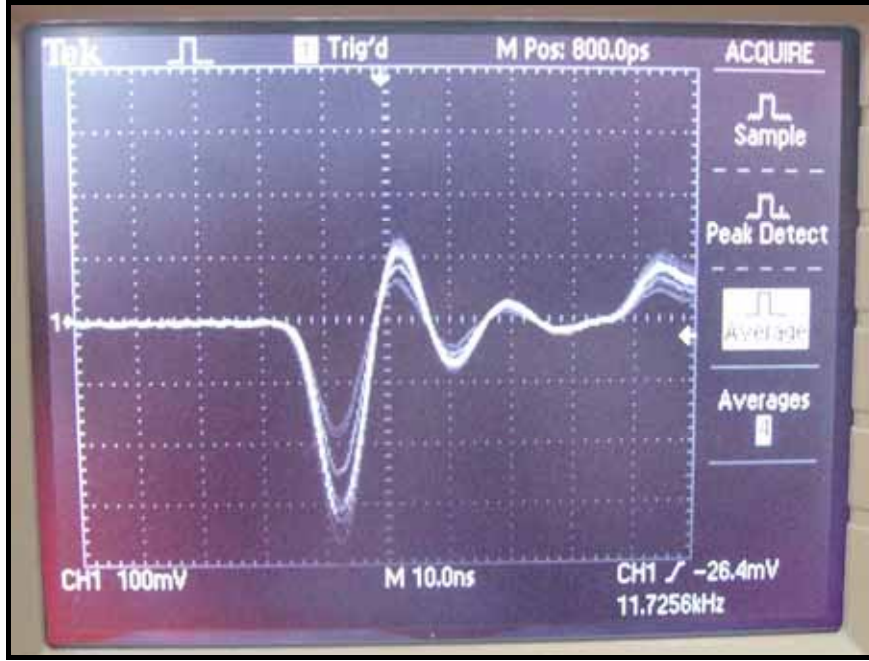
Afyon Kocatepe Üniversitesi (e,2e) elektron spektrometresinde kullanılan tekkanallı elektron çoğaltıcılar (CEM) için osiloskop çıkış sinyali şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 2: Direkt CEM bağlantısıyla elde edilen sinyal.

### 4.3 Yükselteç (Amplifier) Testi

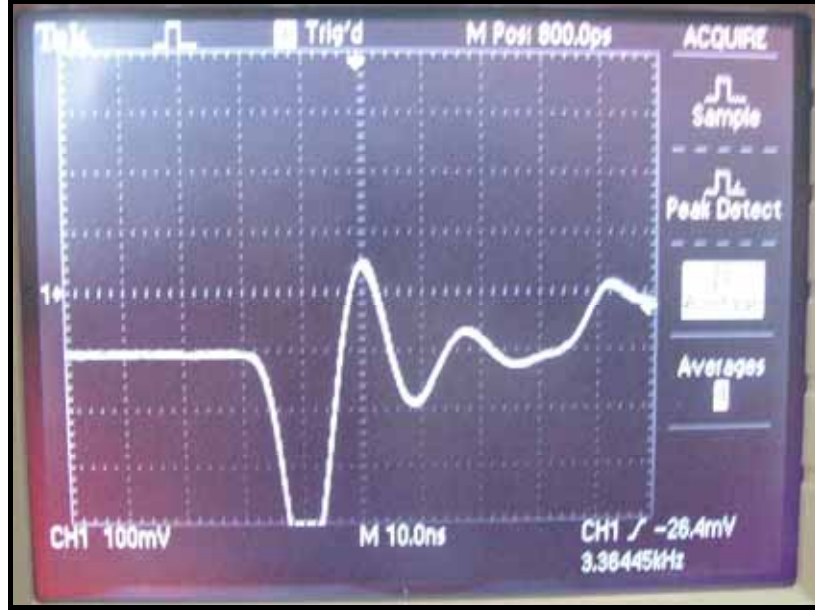
CEM'den alınan sinyaller beklenen genel şekle sahiptir. Şekil 4.3'te ise aynı sinyal için amplifier bağlantısı yapılarak elde edilen ossiloskop çıkış sinyali gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, amplifier çıkışından alınan ossiloskop çıkış sinyalinde, sinyal yükseltilmekte ve ekranda çoklu pulslar da gözlenmektedir. Bu çoklu puls gözlenmesi, amplifier yardımıyla gürültü sinyallerinin de yükseltilmiş olduğundan dolayıdır. Bu nedenle discriminatör kullanılarak gürültü sinyallerinin dedekte edilmesinden kaçınılmalıdır.



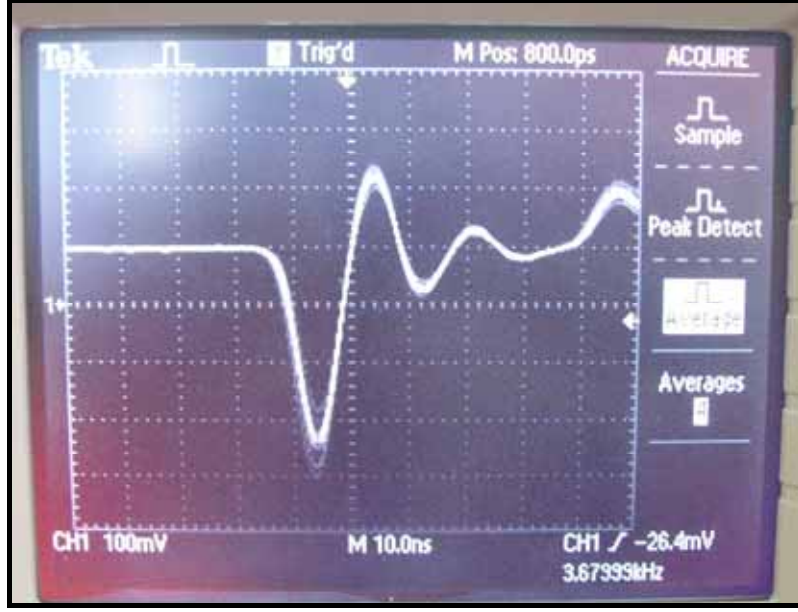
Şekil 4. 3: CEM-amplifier'dan elde edilen sinyal.

Diğer yandan, amplifier offset seviyesi ayarlanarak, sinyalin seviyesi sıfırlanmaktadır. Kullanılan sistemde, amplifier offset seviyesi -10 mV ile +10 mV arasında ayarlanabilmektedir. Şekil 4.4'de amplifier offset seviyesi, -10 mV ayarlanarak elde edilen osiloskop çıkış sinyali gösterilmiştir. Şekil 4.5'de ise amplifier offset seviyesinin +10 mV seviyesindeki görüntüsü verilmektedir. Fakat

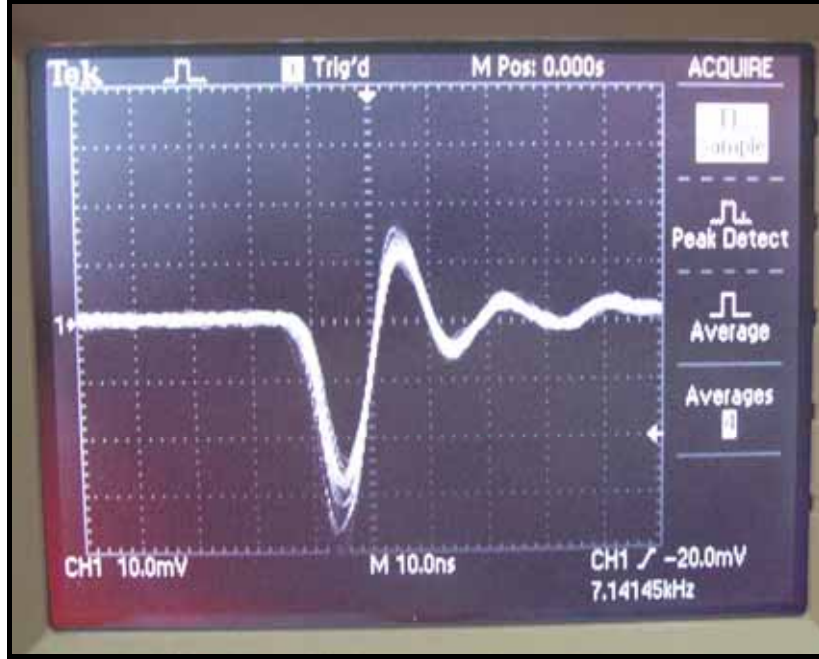
elde edilen sinyalin amplifier offset seviyesi 0 olmak zorundadır. Böylece sinyal kalibre edilmiş olacaktır. Şekil 4.5'da amplifier offset düzeyi 0 değerine getirilmiştir ve böylece sinyalin dedekte edilmesi için gerekli ayarlamalar yapılmıştır.



**Şekil 4. 4:** Amplifier offset seviyesi=-10 mV ayarlanarak elde edilen CEM sinyali.



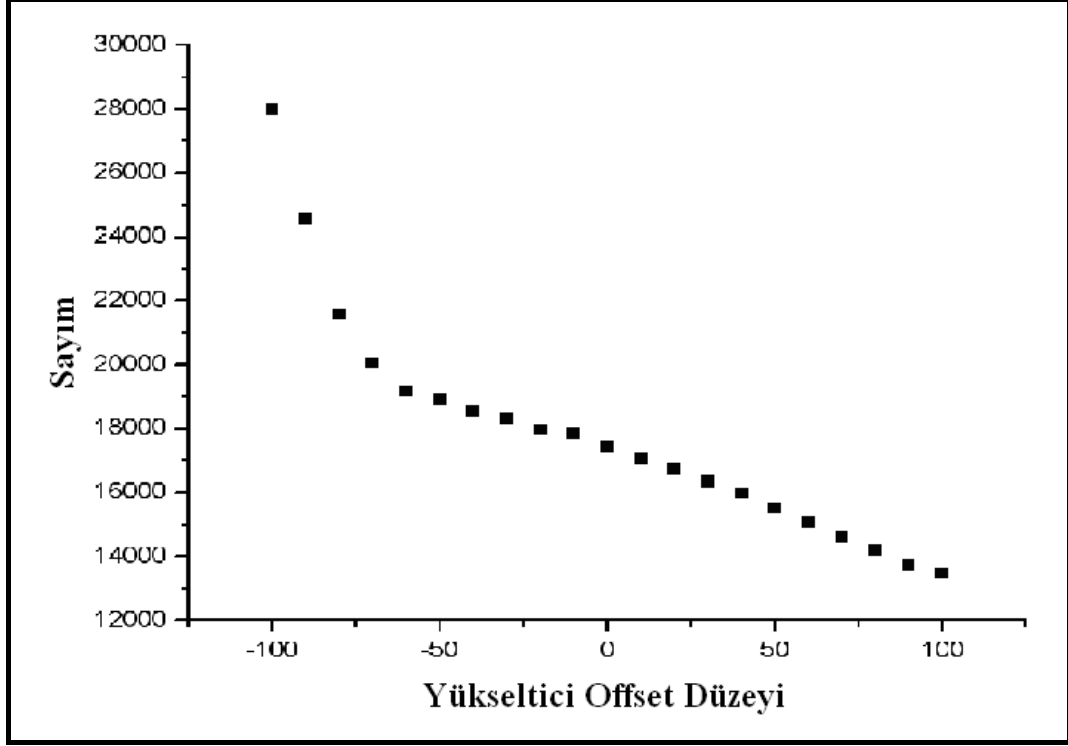
Şekil 4. 5: Amplifier offset seviyesi=+10 mV ayarlanarak elde edilen CEM sinyali.



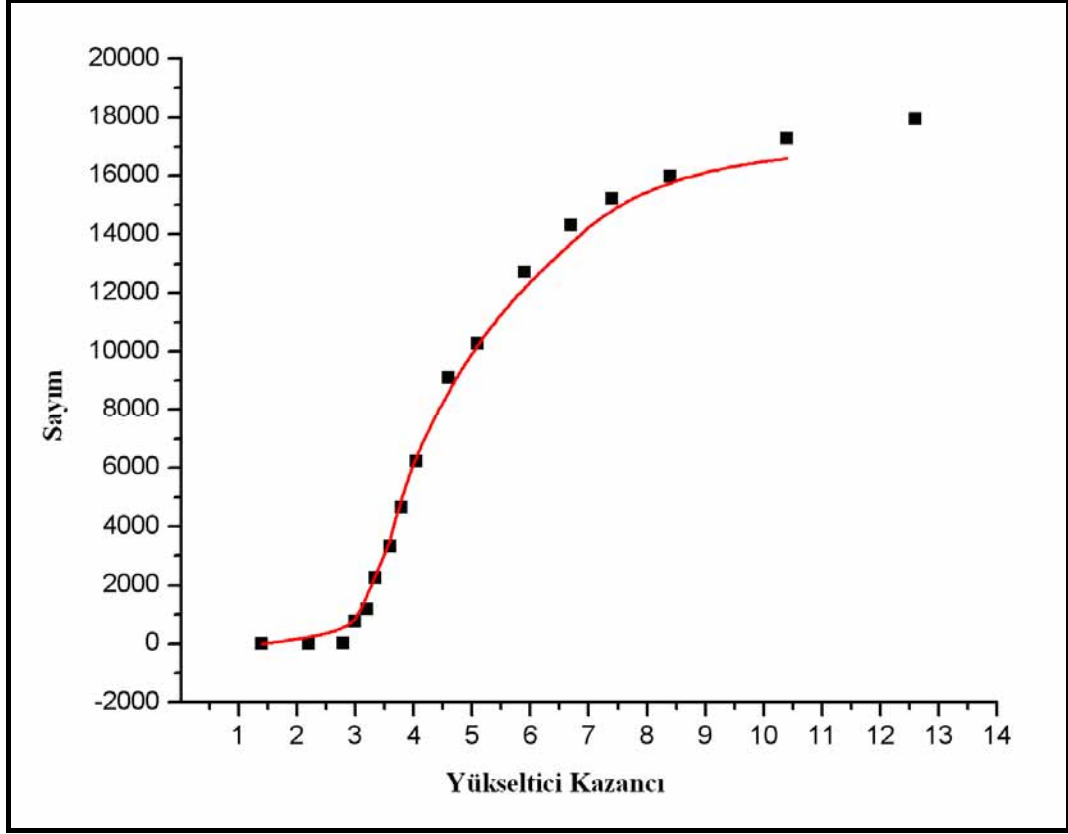
Şekil 4. 6: Amplifier offset seviyesi=0 mV ayarlanarak elde edilen CEM sinyali.

Yükseltici offset düzeyinin (amplifier offset level) -100 mV ile +100 mV aralığında değiştirilmesi ile sayım (count) değerleri şekil 4.7’de gösterilmektedir.

Grafikte -100 mV değerinde sayımın yükseldiği görölmektedir. Şekil 4.8’de ise amplifier kazanç (gain) değişimi ile sayım (count) değerlerinin değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 4. 7:** Kullanılan sistemde, yükseltici offset düzeyinin (amplifier offset level) değişimine karşılık elde edilen sayım (count) değerleri.



**Şekil 4. 8:** Amplifier kazanç (gain) değişimi ile sayım değerlerinin gösterimi.

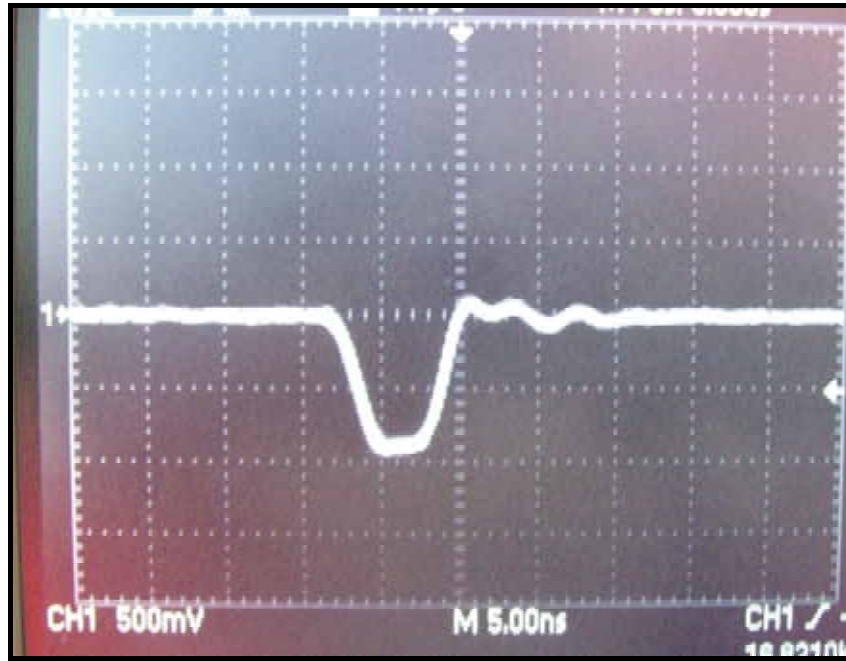
#### 4.4 Gürültü ve Zaman Ayırt Edicilerin (Discriminator) Testi

Genel olarak, diskriminatör çalışma esasına göre; diskriminatöre ‘başla’ sinyali ulaştığında, elektronik ‘başla’ anahtarı açılır ve dönüştürücü kapasitör sabit bir akım kaynağı tarafından bir aralıkta yüklenmeye başlar. Daha sonra, ikinci diskriminatörden ‘durdur’ sinyalinin ulaşmasıyla ‘durdur’ anahtarı açılır ve kapasitörün yüklenmesi sağlanır. Burada  $t$ ; başla ve bitir pulsları arasındaki zaman aralığı ve  $c$  ise dönüştürücü kapasitörün kapasitansı olmak üzere, kapasitör üzerindeki voltaj;

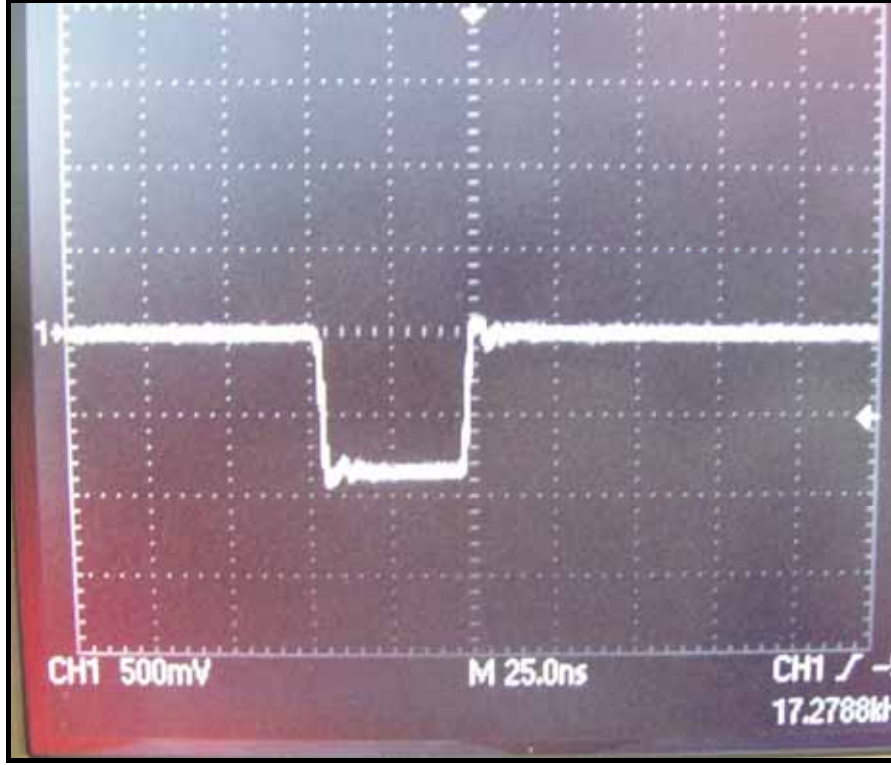
$$V = It / c \quad (4.1)$$

ile verilmektedir. Diskriminatörden elde edilen sinyal yüksekliği, başla ve bitir sinyalleri arasındaki zaman farkı ile orantılıdır. Son olarak elde edilen sinyal lineer geçit için arabellek yükselticiden geçirilmektedir ve daha sonra bütün anahtarlar kapanmakta ve kapasitörün yükü boşalmaktadır. Elde edilen çıkış sinyalleri, dikdörtgensel ve 0-10 Volt yükseklikte ve birkaç  $\mu s$  genişliğinde olmaktadır.

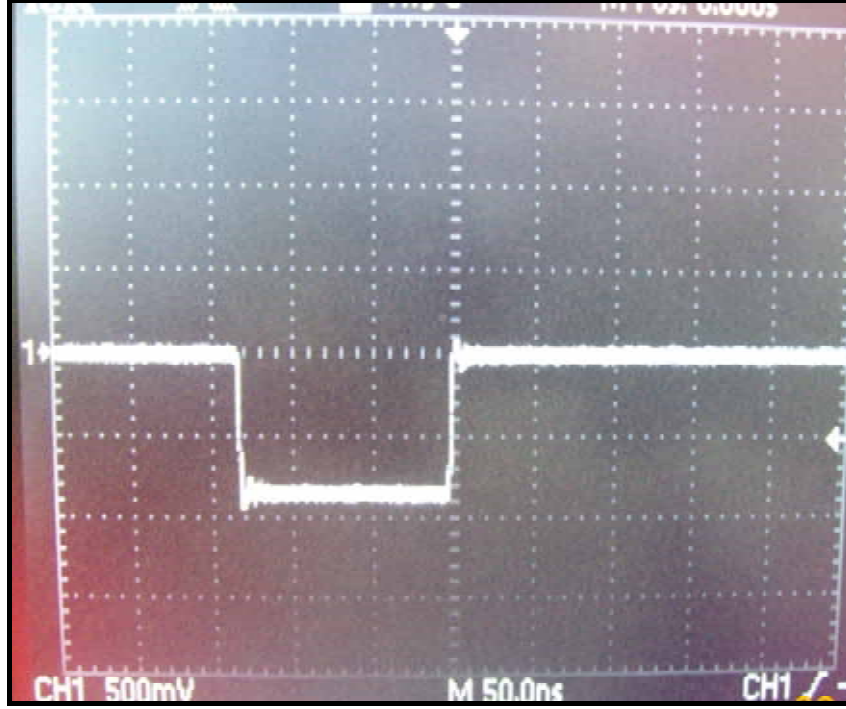
Kullanılan elektron spektrometresinde ayırteçiden (discriminatör) alınan osiloskop çıkış sinyali genişliği discriminatör yardımıyla değiştirilebilmektedir. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de discriminatör yardımıyla sinyal genişliği (width) değiştirilerek elde edilen osiloskop çıkış sinyalleri gösterilmektedir. Sinyal genişlikleri sırasıyla 5, 25 ve 50 ns değerlerine ayarlanmıştır.



**Şekil 4. 9:** CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Discriminatör Width= 5 ns için ayarlanmıştır.

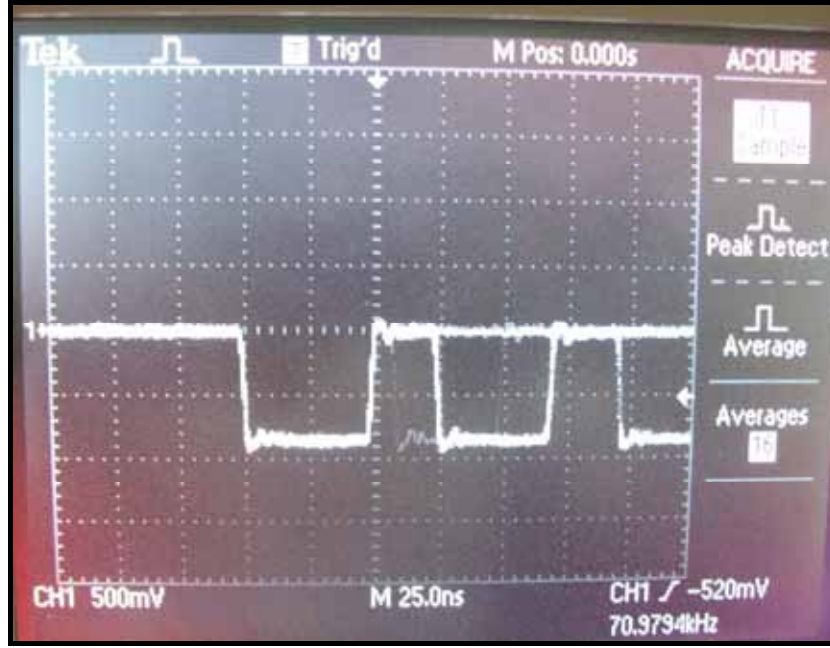


**Şekil 4. 10:** CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali.  
Discriminatör Width= 25 ns için ayarlanmıştır.

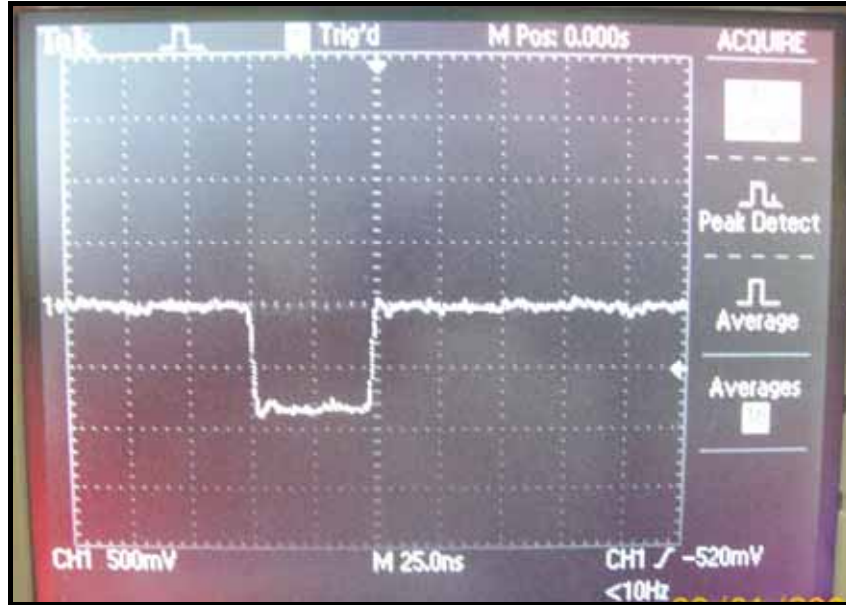


**Şekil 4. 11:** CEM-amplifier-discriminator bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırtedici genişliği (Discriminator Width)= 50 ns için ayarlanmıştır.

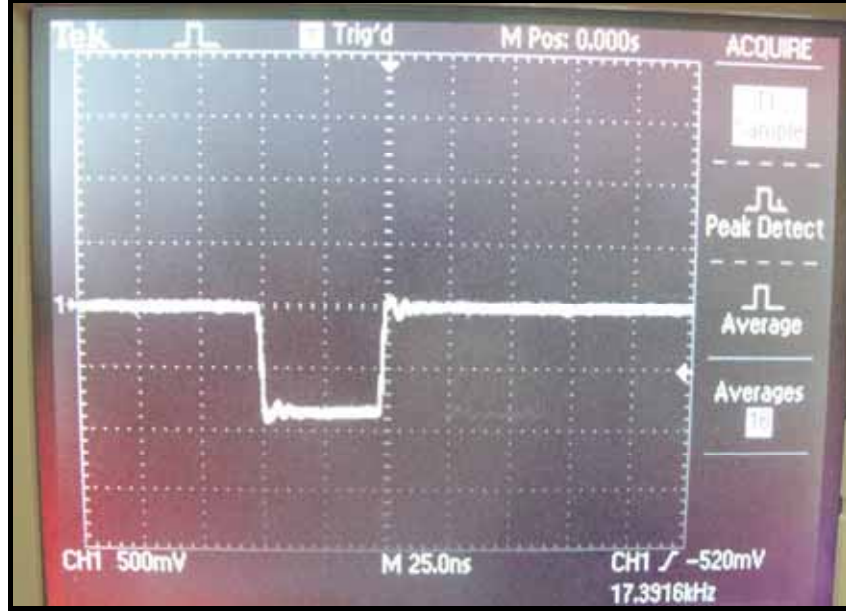
Ayrıca discriminator yardımıyla sinyal eşik değeri (threshold) değiştirilebilmektedir. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14 farklı eşik değerlerinde (threshold) sinyal görüntüsünü vermektedir. Şekil 4.12’de diskriminatör eşik değeri -10 mV olarak en düşük derecedeki değerinde ayarlanmasından dolayı, bu seviyede -10 mV eşik değeri (threshold) üzerindeki her sinyal osiloskopta gözlenmektedir. Şekil 4.13’de ise ayırt edici (diskriminatör) eşik değeri (threshold) -1 V olarak yüksek değerlerinde olduğundan dolayı, osiloskop çıkış sinyalinin oldukça zayıf olduğu gözlenmektedir. Çünkü osiloskopta gözlenen sinyal, sadece -1 V eşik değerini (threshold) aşan sinyaller olmaktadır. Ayırt edici (diskriminatör) eşik değeri şekil 4.14’te 0 V değerine getirilmiştir. Bu durumda ise ekranda 0 V eşik değeri (threshold) üzerindeki eşik değerlerine sahip sinyaller gözlenmektedir.



**Şekil 4. 12:** CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırteci (discriminatör) genişlik(width)= 25 ns için Discriminatör Threshold=-10 mV ayarlanmıştır.



**Şekil 4. 13:** CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırteci (discriminatör) genişlik(width)= 25 ns için discriminatör Threshold=-1 V ayarlanmıştır.

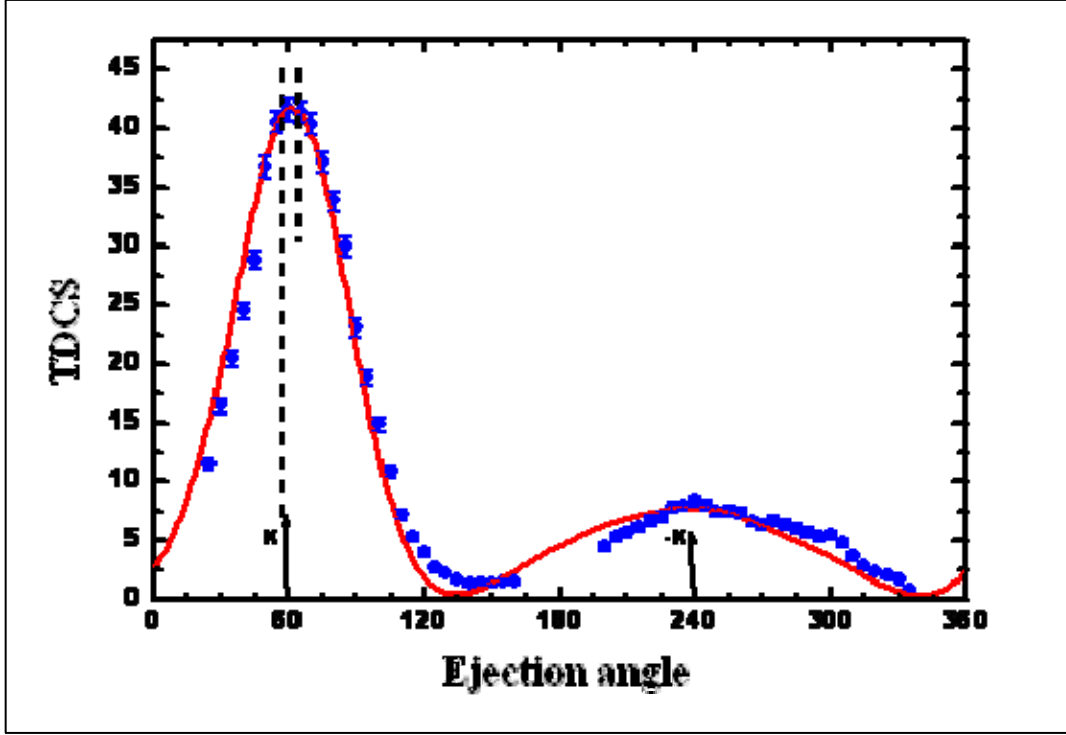


**Şekil 4. 14:** CEM-amplifier-discriminatör bağlanarak elde edilen CEM sinyali. Ayırtedici (discriminatör) genişlik(width)= 25 ns için Discriminatör Threshold=0 mV ayarlanmıştır.

#### 4.5 İkili Çakışma Tekniği Kullanılarak Elde Edilen Üçlü Diferansiyel Tesir Kesiti Ölçümleri

Atom ve moleküllerin elektron etkisiyle iyonlaşma işlemi son yirmi yıl boyunca teoriksel çalışmalar kadar deneysel çalışmaların da konusu olmaktadır. Bunun sebebi astrofizik, plazma fiziği, füzyon ve yüzey bilimi çalışmalarının temel uygulamalarında fiziğin temel işlemlerinden biri olmasıdır. İkili ve çoklu iyonlaşma bu işlemlerde elektron korelasyonu tarafından temel rol oynadığından dolayı özel bir öneme sahiptir. Ayrıca çoklu iyonlaşma diğer bilimlerde de önemli rol oynar. Deneysel yönden, daha detaylı bilgi almak için çok gelişmiş spektrometre dizaynı ve gelişimi gerekmektedir. Deneysel sistemlerdeki farklılıklara rağmen genel bir amacı paylaşırlar. İyonlaşma işleminden açığa çıkan farklı yüklü parçacıkların (elektronlar ya da iyonlar) mümkün olan en geniş açı ve enerji aralığında eş zamanlı olarak toplamak istenmektedir. Bu parçacıklar arasındaki açı ve enerji korelasyonları zaman çakışmalı dedeksiyon teknikleri

tarafından belirlenmektedir. Bu konuda son başarı çoklu diferansiyel tesir kesitlerini elde eden tüm son durum parçacıklarının tüm kinematiksel parametrelerinin belirlendiği ‘tam’ deneyler olarak isimlendirilen çalışmalardır. Bu gibi deneylere örnek olarak elektron etkisiyle tekli iyonlaşma ( $e,2e$ ) ve ikili iyonlaşma ( $e,3e$ ) deneyleridir. Bu işlemler sırasıyla üçlü diferansiyel tesir kesiti ölçümü (TDCS) ve fivefold diferansiyel tesir kesiti ölçümleri (5DCS) tarafından karakterize edilmektedir. Şekil 4.15’te Orsay’da bulunan deneysel dizayn kullanılarak alınan TDCS ölçüm sonuçları verilmektedir. Deneyde elektron etkisiyle helyum atomunun direkt iyonlaşma dinamiği incelenmektedir. İkili çakışma tekniği ile saçılan ve iyonlaşan elektronlar aynı anda dedekte edilmekte ve iyonlaşma olayı sonucu çıkan elektronlar dedekte edilmektedir. Böylece şekil 4.15’te verilen binary ve recoil lobları helyum atomunun iyonlaşma dinamiği hakkında bilgiler içermektedir. Alınan datalar literatürde bulunan ve helyum için en iyi tanımlamayı veren Convergent Close Coupling teoriksel hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda binary lobta iyonlaşan elektronlar +K doğrultusunda yayımlanırken, recoil lobunda elektronların Coulomb etkisiyle çekirdekten geri saçılmaya maruz kaldığından -K doğrultusunda yayımlandığı görülmektedir.



Şekil 4. 15: Elektron-Helyum çarpışması sonucu  $6^\circ$  saçılma açısıyla 500 eV enerjili saçılan elektron ve 37 eV iyonlaşan elektronun ikili çakışma tekniği kullanılarak dedekte edilmesiyle alınan TDCS ölçüm sonuçları (mavi nokta). Kırmızı çizgi CCC hesaplama sonuçlarını göstermektedir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Atomik parçacık dedeksiyonu genellikle elektron çoğaltıcılar, fotoçoğaltıcılar gibi ikincil elektron emisyonunu temel alan dedektörler kullanılarak yapılmaktadır. Fotonlar, iyonlar ve diğer yüklü parçacıklar için kullanılan bu tip dedektörlerin uygun olarak çalışması için öngerilim voltajına ihtiyaç duyulmaktadır. Voltaj uygulanmasında ise gürültüye karşı kısa kablolar kullanılmalı ve uygun bağlantı konnektörleri seçilmelidir. Diğer yandan dedektörden sinyali çıkarmakta kullanılan ön-yükseltici aygıtlarında, deneyde kullanılan dedektör yapısına uygun ön-yükselteçler tercih edilmek zorundadır. Elektron çoğaltıcı dedektörden gelen sinyali desteklemek için kullanılan yükselteçlerde de deneyin amacına uygun yükselteçler tercih edilmelidir. Gürültü sinyalinin gerçek sinyalden ayırt edilmesinde kullanılacak en önemli aygıt diskriminatörler olmaktadır. Kullanılacak diskriminatörler ise dedektöre uygun karakteristikte olmalıdır ve gürültüden meydana gelen sinyal sayımı olmaksızın gerçek olayların tümünün sayılması için diskriminatör eşik değeri gürültü seviyesinin hemen üzerinde ayarlanmalıdır. Farklı deneysel çalışmalarda sürekli zamanın okunması ya da dedektöre ulaşan parçacık sayısının belirlenmesi gerekli olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmalarda zamanlayıcı ve sayıcı aygıtı kullanılmalıdır. Parçacık dedeksiyonunda kullanılan diğer önemli aygıt zaman-genlik dönüştürücü (TAC) olmaktadır. TAC kullanımı ile çakışma deneyleri yapılabilmektedir. Öte yandan TAC'tan elde edilen çıkış sinyali MCA kullanılarak zaman spektrumuna dönüştürülebilmektedir.

Çakışma deneylerinde zaman bilgisi, genellikle enerji-kayı deneylerine göre daha önemli hale gelmektedir. Atom, molekül ve ince filmlerin yapısının ve etkileşmelerinin incelendiği deneylerde foton, elektron, pozitron ve diğer temel parçacıklar kullanılmaktadır. Bu gibi parçacıkların saçılması ile elde edilen bilgi parçacık tipine, kinematiklerine, elektrik ve manyetik kuvvet gibi iç ve dış kuvvetlere, moleküler bağlanma kuvvetlerine bağlı olmaktadır. Saçılma işlemi

gelen parçacığın uygun bir dedektörle parçacığın konumu, parçacıkların sayısı, ulaşma zamanı gibi parametrelerin ölçülerek parçacığın belirlenen açısal ve enerji dağılımı tarafından karakterize edilmektedir. Bu nedenle bu tip deneylerde parçacığın enerjisi ya da açısına göre konumunu belirleyen konuma duyarlı dedektörler (PSD) gerekli olmaktadır. Bu tip çalışmalarda  $10^{-8}$  Torr basınç MCP için özellikle gerekli hale gelmektedir.

Bu deneylerde lineer ya da logic sinyaller dedekte edilen parçacığın enerjisi ve ulaşma ya da çarpışma zamanı hakkında bilgiler içermektedirler. Lineer sinyal genliği, dedekte edilen olayda yük ve enerji hakkında bilgi içermekte iken, logic sinyaller olayları saymak, zamanlama bilgisini elde etmek için kullanılmaktadır.

Gürültü sinyalinin gerçek sinyalden ayırt edilmesi gerekli olan deneylerde devre kurulurken bir dizi önlemler alınmalıdır. Ferite bead, kapasitör hat filtresi, fiziksel boyutları büyük direnç kullanmak, topraklamalı PCB yerleşimi gibi tedbirler ve dizayn teknikleri, elektromanyetik gürültüye karşı hassas elektrik sayaçları için büyük ölçüde katkı sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Adams J. ve Manley B. W., 1965, "Channel electron multiplier operation nothing advantages of spiral geometry", *Electronic Engineering*, 37, 180-181.
- Adams J. ve Manley B. W., 1967, "Channel Electron Multiplier, A New Radiation Detector", *Philips Tech. Rev.*, 28, 156-161.
- Adams J. ve Millar I. C. P., 1971, "Detection Efficiency Of Channel Plates To X-Rays", *Acta Electronica*, 14, 237-244.
- Adams J., 1966, "X-Ray Detection By Channel Electron Multipliers", *Adv. Elect. Electron Phys.*, 22A, 139-153.
- Adams, J. ve Manley, B.W., 1965, "The Channel Electron Multiplier", *Nucl. Sci. Electron. Eng.*, Vol. 37, pp. 180.
- Adams, J. ve Manley, B.W., 1966, "Mechanism Of Channel Electron Multiplication", *IEEE Trans. on Nuclear Science*, Vol. NS-13, pp. 88-99.
- Alexander R., Bernstein W., Sanders N. And Wax R., 1968, "An Instrument For The Measurement Of Charged Particles In The Aurora", *IEEE Transactions On Nuclear Science*, NS-15, 258-263.
- Bordoni F., Martinelle M., Fioratti M. G. ve Piemattei S. R., 1974, "Absolute Efficiency Of Channeltron Multipliers For 10-100 keV X-Rays.", *Nucl. Instr. Meth.*, Vol. 116, pp. 193-194.

Boutot J. P., Eschard G., Polaert R. ve Duchenois R., 1974, "Microchannel Plate With Curved Channels: An Improvements in Gains, Relative Variance ve Ion Noise for Channel Tubes", Sixth Symposium on Photoelectronic Image Devices, London.

Bryant D. A. ve Johnstone A. D., 1965, "Gain Of A Channel Multiplier", Rev. Sci. Instrum., Vol. 36, pp. 1662–1673.

Burroughs E. G., 1969, "Collection Efficiency of Continuous Dynode Electron Multiple Arrays", Rev. Sci. Instrum., Vol. 40, pp. 35.

Burrous, C.N., Lieber, A.J., Zaviantseff V. T., 1967, "Detection Efficiency of A Continuous Channel Electron Multiplier For Positive Ions", Rev. Sci. Instrum., Vol. 38, No. 10, pp. 1477–1481.

Ceolin D., Chaplier G., ve Lemonnier M., Garcia G. A., Miron C., ve Nahon L., Simon M., Leclercq N., ve Morin P., 2005, "High Spatial Resolution Two-Dimensional Position Sensitive Detector For He Performance Of Coincidence Experiments", Rev. Sci. Instrum., Vol. 76, pp. 1–7.

Chalmeton V., Chevalier P., 1971, "Pulse Height Distribution For Single Electron Input", Acta Electronica, Vol. 14, pp. 99–106.

Channel Electron Multipliers Series, KBL SJUTS kullanma kılavuzu.

Channelbook-BURLE, Kullanma Kılavuzu, 2001.

Chauvet G., ve Brenac A., Baptist R., 1987, "Simple Electronic Device For Position-Sensitive Detectors In VUV Spectrometry", Rev. Sci. Instrum., Vol. 58, pp. 197–201.

- Choi Y. S. Ve Kim J. M., 2000, “Monte Carlo Simulations For Tilted-Channel Electron Multipliers”, IEEE Transactions On Electron Devices, Vol. 47, pp. 1293–1296.
- Colson W. B., McPherson J. ve King F. T., 1973, “High Gain Imaging Electron Multiplier”, Rev. Sci. Instr., Vol. 44, pp. 1694.
- Dahl, D.A. ve Delmore, J.E., Idaho National Engineering Lab., EG&G Idaho, Inc., P.O. Box 1625, Idaho Falls, ID 83415.
- De Bruijn D., Denen P. Van, Dijkkamp D., Holsboer H., ve Oven C. Van, Technische Informatie Post, Microchannel Plate Report, Chapter 1.
- Dietz, L.A. ve Hanrahan, L.R., 1978, “Electron Multiplier–Scintillator Detector For Pulse Counting Positive Or Negative Ions”, Rev. Sci. Instrum., No. 9, Vol. 49, pp. 1250.
- Dietz, L.A. ve Sheffield, J.C., 1975, “Secondary Electron Emission Induced By 5–30-Kev Monatomic Ions Striking Thin Oxide Films”, Journal of Appl. Physics, Vol. 46, No. 10, pp. 4361.
- Dogan M., Sise O. Ve Ulu M., 2007, “Design Of Electron Energy Analyzers For Electron Impact Studies”, Radiation Physics ve Chemistry, Vol. 76, pp. 445–449.
- Dogan M., Ulu M., Sise O, 2007, “Design, Simulation And Construction Of An Electron–Electron Coincidence Spectrometer”, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Vol. 161, pp. 58–62.
- Dogan, M., 1999, “Correlation Studies of Simultaneous Excitation-Ionization in Helium”, PhD Thesis, Newcastle University.

- Duckett S. W., 1970, "Miniature Photomultiplier For Scintillation and Space Use", Vol. 3, pp. 71–73.
- Ehrhardt H., M. Schulz, T. Tekaas, K. Willmann, 1969, "Ionization of Helium. Angular Correlation of the Scattered and Ejected Electrons", Phys. Rev. Lett., Vol. 22, pp. 89-92.
- Eschard G., Manley B. W., 1971, "Principle And Characteristics Of Channel Electron Multipliers", Acta Electronica, Vol. 14, pp. 19–39.
- Evans D. S., 1965, "Low Energy Charged-Particle Detection Using The Continuous-Channel Electron Multiplier", The Review Of Scientific Instruments, Vol. 36, pp. 375–382.
- Farnsworth H. E., 1930, "Certain Effects Accompanying Electron Diffraction", Phys. Rev., Vol. 35, pp. 1131–1133.
- Fraser G. W., Pearson J. F., Smith G. C., Lewis M., ve Barstow M. A., 1983, "The Gain Characteristics Of Microchannel Plates For X-Ray Photon Counting", IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS–30, pp. 455.
- Furuya Kenji, Hatano Yoshihiko, 2002, "Pulse-Height Distribution Of Output signals In Positive Ion Detection By A Microchannel Plate", Int. Journal Of Mass Spectrometry, Vol. 218, pp. 237–243.
- Galanti M. Gott R. ve Renaud J. F., 1971, "A High Resolution, High Sensitivity Channel Plate Image Intensifier For Use In Particle Spectrographs", Rev. Sci. Inst., Vol. 42, pp. 1818–1822.
- Galileo Electro-Optics Corp. Handbook, "Continuous Dynode Electron Multipliers And Microchannel Plates".

- Gao R. S., Gibner P. S., Newman J. H., Smith K. A. ve Stebbings R. F., 1984, "Absolute and Angular Efficiencies Of A Microchannel-Plate Position-Sensitive Detector", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 55, pp. 1756–1767.
- Gibson D. K. Ve Reid I. D., 1984, "Rejuvenation of Channel Electron Multipliers", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol. 17, pp. 443–444.
- Goodrich G. W. ve Love J. L., 1968, "A 10,000 g Photomultiplier", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-15, Vol. 3, pp. 190–194.
- Goodrich G. W., Wiley W. C., 1962, "Continuous Channel Electron Multiplier", Vol. 33, pp. 761–762.
- Goruganthu R. R. ve Wilson W. G., 1984, "Relative Electron Detection Efficiency Of Microchannel Plates From 0–3 Kev", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 55, pp. 2030–2035.
- Guest A. J., 1971, "A Computer Model Of Channel Multiplier Plate Performance", *Acta Electronica*, Vol. 14, pp. 79–97.
- Hashizume T. Ve Sakurai T., 1986, "The absolute Detection Efficiency of A channelplate Electron Multiplier", *Journal De Physique*, Vol. 47, pp. 425–430.
- Hicks P. J., Daviel S., Wallbank B., ve Comer J., 1980, "An Electron Spectrometer Using A New Multidetector System Based on A Charge-Coupled Imaging Device", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol. 13, pp. 713–715.
- Hillenkamp, F. & Karas, M., 1989, *Proceedings of the 37th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics*, 1168.

- J. G. Timothy ve R. L. Bybee, 1977, "Multi-anode microchannel arrays", Proc. SPIE Int. Techn. Symp., San Diego, California, Vol. 23, pp. 465-468.
- J. G. Timothy, Labson L. B., 1974, "Use of channel electron multipliers as secondary standard detectors at EUV wavelengths", Rev. Sci. Instr., Vol. 13, pp. 1417.
- J. W. McConkey, A. Crowe, M. A. Hender, 1972, "Differential Cross Sections in the Electron Impact Ionization of Atoms and Molecules", Phys. Rev. Lett., Vol. 29, pp. 1-4.
- Jenkins Ron, Gould R. W., Gedcke Dale, 1981, "Quantitative X-Ray Spectrometry", Marcel Dekker, New York, , First Eddition, Chapter 4.
- Johnson M. C., 1969, "A secondary Standard Vacuum Ultraviolet Detector", The Review Of Scientific Instruments, Vol. 40, pp. 311-315.
- Kellogg E., Henry P., Murray S., Speybroeck L. Van ve Bjorkholm P., 1976, "High Resolution Imaging X-Ray Detector", Rev. Sci. Instrum., Vol. 47, pp. 282-285.
- Klettke B. D., Krym N. D. ve Wolber W. G., "Long-Term Stability Characteristics Of Commonly Used Channel Electron Multipliers", Vol. 17, pp. 72-80.
- Kristo, Michael.J. ve Enke, Christie G., 1988, "System For Simultaneous Count/Current Measurement With a Dual-Mode Photon/Particle Detector", Rev. Sci. Instrum., Vol. 59, No. 3, pp. 438.
- Lahmam-Bennani A., Wellenstein H. F., Duguet A. ve Lecas M., 1984, "High-Energy Electron Impact Spectrometer for Absolute Triple Differential Cross Sections", Rev. Sci. Instrum., Vol. 56, pp. 43-51.

Laprade Bruce ve Starcher Ron, 2001, “The 2 Micron Pore Microchannel Plate”, BURLE Electro-Optics, Inc.

Lewis R. N., Van Loon L. S., Mayer T. A. ve Berkowitz J., 1968, “Transformer Coupling for the Continuous Channel Electron Multiplier”, Rev. Sci. Instrum., Vol. 39, pp. 1386.

Loty C., 1971, “Saturation Effects In Channel Electron Multipliers”, Acta Electronica, Vol. 14, pp. 107–119.

M. Galanti, R. Gott ve J. F. Renaud, 1971, “A High Resolution, High Sensitivity Channel Plate Image Intensifier for Use in Particle Spectrographs”, Rev. Sci. Instr. Vol. 42, pp. 1818.

Macau J. P., Jamar J. ve Gardier S., 1976, “Review of The Influence Of Radiations on Channeltrons and Channel Plates”, IEEE Transactions On Nuclear Science, Vol. NS–23, pp. 2049–2055.

Millar I. C. P., 1971, “Detection Efficiency Of Channel Electron Multipliers To Electromagnetic Radiation and Positive Ions”, Acta Electronica, Vol. 14, pp. 145–150.

Mullard Technical Information Handbook, Single-Channel Electron Multipliers.

ORTEC Modular Pulse-Processing Electronics Catalog, 2001.

P. Schagen, 1974, “Advances In Image Pick-Up And Display”, Academic Press, New York, Vol. 1, pp. 1.

- Panitz J. A. ve Foesch J. A., 1976, "Areal detection Efficiency of Channel Electron Multiplier Arrays", Rev. Sci. Instrum. Vol. 47, pp. 44.
- Petley C. W., Pook R., 1971, "Some Applications Of Single Channel Multipliers", Acta Electronica, Vol. 14, pp. 151–157.
- Philips Photonics Kullanma Kılavuzu, 2001.
- Popov V., Majewski S., Wojtsekhowski B. ve Guerin D., 2002, "A Simple Method to Increase Effective PMT Gain by Amplifier Circuit Powered from Voltage Divider", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 2, 634–637.
- Ray J. A. ve Barnett C. F., 1970, "Characteristics Of A Funnel Type Electron Channel Multiplier With A Grid Entrance Window", Vol. 3, pp. 44–48.
- Reagan, N.R., Frees, L.C. ve Gray, J.W., 1987, "Mass-dependent effects of channel electron multipliers in residual gas analyzers", J. Vac. Sci. Tech. A., Vol. 5, pp. 2389.
- Reddish T., Wallbank B., ve Comer J., 1984, "A Position-Sensitive Detector Used To Measure Simultaneously Excitation Functions For Several Vibrational Levels in N<sub>2</sub>", J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 17, pp. 100–102.
- Sakurai T. ve Hashizume T., 1986, "Determination Of The Detection Efficiency Of A Channelplate Electron Multiplier", Rev. Sci. Instrum., Vol. 57, pp. 236–238.
- Schmidt K. C. ve Hendee C. F., 1966, "Continuous Channel Electron Multiplier Operated in Pulse Saturated Mode, Noting Space Charge Limiting As Major Cause Of Gain Saturation", IEEE Transactions On Nuclear Science, Vol. NS–13, pp. 100–111.

- Shagen P. Ve Pietri G., 1971, "Channel Electron Multipliers", *Acta Electronica*, 14, 13-18.
- Sharber J. R., Winningham J. D., Sheldon W. R., 1968, "A Directional, Low Energy Electron Detector Employing Channel Electron Multipliers", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-15, Vol. 3, pp. 536–540.
- Sise O., 2005, *Silindirik Elektrostatik Lens Sistemlerinin Teorik Modellenmesi Ve Elektron Tabancasındaki Uygulamaları Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Sise, O., Ulu M. ve Dogan M., 2006, "Optimizing The Performance Of An Electron Gun Design Followed By Lenses And Apertures", *Rad. Phys. Chem.*, Vol. 76, pp. 636–641.
- Sise, O., Ulu M., Dogan M., 2007, "Aberration Coefficients of Multi-Element Cylindrical Lens Systems For Charged Particle Beam Applications" *Nucl. Inst. Meth. in Physics Research A*, Vol. 573, pp. 329–339.
- Sise, O., Ulu, M., Dogan, M., 2005, "Multi-Element Electrostatic Lens Systems for Focusing And Controlling Charged Particles", *Nucl. Inst. Meth. A*, Vol. 554, pp. 114–131.
- Sise, O., Ulu, M., Dogan, M., 2007, "Characterization and Modelling of Multi-Element Electrostatic Lens Systems", *Rad. Phys. Chem.* Vol. 76, pp. 593-598.
- Smith D. G. ve Pounds K. A., 1968, "Soft X-Ray Photon Detection and Image Dissection Using Channel Multipliers", *IEEE, Trans. Nucl. Sci.*, Vol. NS-15, No: 3, pp. 541–550.

- Sobottka Stanley E. Ve Williams Mark B., 1988, "Delay Line Readout Of Microchannel Plates", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 35, pp. 348–351.
- Sokol, R.H. ve Gray, J.W., 1988, "Characterization of Single Channel Electron Multipliers", The Mass Spec Source, Vol. 11, No. 2, pp. 2.
- Somer T. A. ve Graves P. W., 1969, "Spialtron Matrices As Windowless Photon Detectors For Soft X-Ray And Extreme UV", Vol. 16, pp. 376–380.
- Spengler, B., Kirsh, D., Kaufmann, R., Karas, M., Hillenkamp, F. ve Giessmann, U., 1990, "The Detection of Large Molecules in Matrix-assisted UV-Laser Desorption", Rapid Communications in Mass Spectrometry, Vol. 4, pp. 301.
- Stafford, G.C., 1983, "Apparatus for Detecting Negative Ions", U.S. Patent No. 4,423,324.
- Tatry B., Bosqued J. M. ve Reme H., 1969, "Characteristic Of Electron Multipliers Used As Dedectors For Low Energy Protons", Nucl. Instrum. Methods, Vol. 69, pp. 254–260.
- Taylor R. C., Hettrick M. C. ve Malina R. F., 1983, "Maximizing The Quantum Efficiency of Microchannel Plate Detectors: The Collection of Photoelectrons From The Interchannel Web Using an Electric Field", Rev. Sci. Instrum., Vol. 54, pp. 171.
- Timothy J. G. ve Bybee R. L., 1977, "Preliminary Results with Microchannel Array Plates Employing Curved Microchannels to Inhibit Ion Feedback", Rev. Sci. Instrum, Vol. 48, pp. 292.

- Timothy J. G. ve Lapson L. B., 1974, "Use of Channel Electron Multipliers as Secondary Standard Detectors at EUV Wavelengths", *Applied Optics*, Vol. 13, pp. 1417–1430.
- Ulu M., 2007, "Elektron - Elektron Çakışma Deney Düzeneginin Kurulması ve Düzenegin Simülasyonu", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- W. B. Colson, J. McPherson ve F. T. King, 1973, "High-Gain Imaging Electron Multiplier", *Rev. Sci. Instr.*, Vol. 44, pp. 1694.
- Westmacott G., Frank M., Labov S. E. Ve Benner W. H., 2000, "Using A Superconducting Tunnel Junction Detector To Measure The Secondary Electron Emission Efficiency For A Microchannel Plate Detector Bombarded By Large Molecular Ions", *Rapid Communications In Mass Spectrometry*, Vol. 14, pp. 1854–1861.
- Wijnaendts van Resandt R. W., den Harink H. C., ve Los J., 1976, "A Position Dependent Particle Counter Using Microchannel Plates", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol. 9, pp. 503–509.
- Wiley W. C. ve Hendee C. F., 1962, "Elektron Multipliers Utilizing Continuous Strip Surfaces", *IRE Trans. on Nuclear Sci.*, Vol. 3, pp. 103–106.
- Wiza J. L., 1979, "Microchannel Plate Detectors", *Nucl. Inst. And Meth.*, Vol. 162, pp. 587–601.
- Wiza J. L., Henkel P. R., ve Roy R. L., 1977, "Improved Microchannel Plate Performance with A Resistive Anode Encoder", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 48, pp. 1217–1218.
- Wolber, W.G., Klettke, B.D. ve Graves, P.W., 1970, "The Pre-amplified Spiraltron Electron Multiplier", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 41, pp. 724.

Wolcke A., Hoelscher C., Weigold E., ve Hane G. F., 1986, “A Position Sensitive Detector For The Simultaneous Measurement Of The Spin Asymmetry Of Different Electron Impact Excitation Channels”, Vol. 20, pp. 299–304.

**İnternet Kaynakları**

**Erişim Tarihi**

<http://www.atom.uni-frankfurt.de/web/research/>

09/02/2009

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgi:

Doğum Yeri: Merkez/ AFYON

Doğum Tarihi: 09.10.1983

Medeni Hali: Bekar

Yabancı dil: İngilizce

### Eğitim Derecesi

- Lise : (1997–2000) Kız Meslek Lisesi Merkez / AFYON
- Ön-Lisans : (2000–2002) Afyon Kocatepe Üniversitesi İşletmecilik Bölümü AFYON
- Lisans : (2003–2007) Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümü AFYON

### Yayınlar

#### *Uluslararası Bilimsel Dergilerde Basılan Makaleler*

*N Okumus, O Sise, M Ulu ve M Dogan, 2009, “Multi-element cylindrical electrostatic lens systems for focusing and controlling charged particles: II. Aperture lenses”, Nuclear Instrumental Methods in Physics Research A.*

*A Lahmam-Bennani, A Naja, E M Staicu Casagrande, N Okumus, C Dal Cappello, I Charpentier ve S Houamer, 2009, “Dynamics of electron impact ionisation of the outer and inner valence ( $1t_2$  and  $2a_1$ ) molecular orbitals of  $CH_4$  at intermediate and large ion recoil momentum”, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics.*

## *Uluslararası Konferanslarda Sunulan Bildiriler*

*O Sise, T J M Zouros, M Ulu, N Okumus, M Cinar, M Karabacak, M Dogan,*  
“Novel and traditional fringing field correction schemes for the hemispherical analyzer”, XXVth International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions (ICPEAC), July 25–31, 2007 Freiburg, Germany

*N Okumus, O Sise, M Dogan,* “Electrostatic Acceleration/Deceleration Aperture Lenses With The Advantage Of Reduced Chromatic And Geometric Aberrations”, 24. International Physics Congress, 28–31 August 2007, Malatya, Turkey (**En iyi Genç Araştırmacı Ödülü**)

*N Okumus, O Sise, M Dogan,* “Calculation of the optical parameters of electrostatic lens systems by the use of computer algebra programs”, 24. International Physics Congress, 28–31 August 2007, Malatya, Turkey

*N Okumus, O Sise, T J M Zouros, M Ulu, M Dogan,* “An Improved Electron Spectrometer for High-Resolution Gas Phase Electron Spectroscopy”, 25. International Physics Congress, 25-29 August 2008, Bodrum, Turkey

*N Okumus, O Sise, M Dogan,* “Multi-Element Electrostatic Aperture And Cylinder Lens Systems For Focusing And Controlling Charged Particles”, 25. International Physics Congress, 25-29 August 2008, Bodrum, Turkey

*N Okumus, O Sise, T J M Zouros, G Martinez, M Dogan,* “Motion Of Electrons In Ideal And Fringing Field Hemispherical Deflector Analyzers”, 25. International Physics Congress, 25-29 August 2008, Bodrum, Turkey

*M Dogan, M Ulu, O Sise, N Okumus*, “Development Of Coincidence Spectrometer For Electron Impact Studies in Turkey”, The 8th Asian International Seminar On Atomic And Molecular Physics, 24–28 November 2008, Perth, Australia.

*N Okumus, O Sise, M Ulu and M Dogan*, “An Electron Spectrometer for High-Resolution Electron Spectroscopy”, The 8th Asian International Seminar On Atomic And Molecular Physics, 24–28 November 2008, Perth, Australia.