

KTÜ Fen Fakültesi Fizik Bölümü

Nükleer Fizik Laboratuvarı Deney Föyü

Hazırlayanlar

Prof. Dr. Tuncay BAYRAM, Arş. Gör. Taylan BAŞKAN, Arş. Gör. Selin SOYSAL DURAK, Anes HAYDER

Deney 4

SIMP Karakterizasyonu

Amaç

-Hızlı atma üretici LED kullanarak bir SiPM (silikon foton çoğaltıcı) detektörün karakterizasyonu yapmak.

-Sabit öngerilim voltajında dedektörün temel özelliklerinin tahmini yapmak.

FİZİK ANEKTODLARI

Foton, elektromanyetik radyasyonun en küçük ayırık miktarı veya kuantumudur. Einstein'ın ışık kuantum teorisine göre, fotonların enerjisi, salınım frekanslarının Planck sabiti ile çarpımına eşittir. Einstein, ışığın bir foton akışı olduğunu, bu fotonların enerjisinin salınım frekanslarının yüksekliği olduğunu ve ışığın yoğunluğunun fotonların sayısına karşılık geldiğini kanıtladı. Bu kanıtla, bir foton akışının hem dalga hem de parçacık olarak nasıl hareket edebileceğini açıklamış oldu.

Leptonlar: Zayıf ve elektromanyetik olarak etkileşen fermiyonlardır. e^- , μ^- , τ^- , ν_e , ν_μ , ν_τ ve bunların karşıt parçacıkları ile beraber, leptonlardır.

Kuarklar: Hadronları oluşturmak için güçlü bir şekilde etkileşime giren fermiyonlardır. Bunlar, yukarı [up] (u), aşağı [down] (d), acaip [strange] (s), tılsım [charm] (c), alt [bottom] (b), üst [top] (t), ve bunlarla ilişkili karşıt kuarklardır.

Alan kuantası: Temel kuvvetlerden sorumlu bozonlardır. Foton (γ) elektromanyetik alanda, gluon güçlü alanda ve kütleli W^\pm ve Z bozonları zayıf alanda rol oynar.

Higgs bozonu, Higgs alanıyla ilişkili temel, büyük ve skaler bir bozondur. Temel parçacıklara

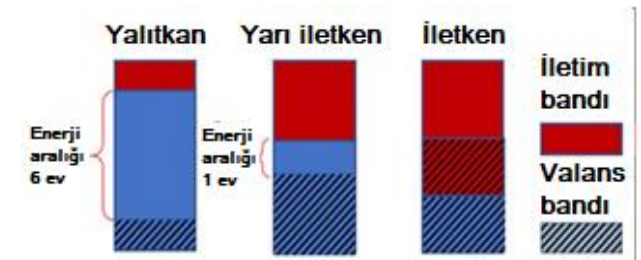
kütle vererek Standart Modelde temel bir rol oynar.

Belirsizlik Prensibi

Dalga-parçacık ikililiği ve belirsizlik, 1900'lerin başından beri kuantum fiziğinde temel kavramlar olmuştur. W. Heisenberg tarafından geliştirilen belirsizlik ilkesi, kuantum mekaniğinde anahtar bir ilkedir. Bu ilke, bir kuantum parçacığı hakkında belirli gözlenebilir bir çift niceliğin aynı anda tam olarak belirleniminin imkânsız olduğunu belirtir. Örneğin, bir parçacığın bulunduğu konum küçük bir belirsizlikle belirlenmiş ise, parçacığın momentumu hakkında belirsizlik büyüktür. Belirsizlik ilkesi, enerji-zaman gibi diğer çift nicelikler için de mevcuttur. Belirsizlik ilkesi, dalga-parçacık ikililiğinin atom altı nesnelere özellikleri üzerindeki etkilerinin bir ifadesidir.

Yarı iletken

Yarı iletken, iletken ve bir yalıtkan bölge arasında iletkenlik özelliklerine sahiptir. Enerji seviyeleri karmaşık bir şekilde karışmış olup sürekli bant olarak kabul edilmeye çok yakındır.



Yarı iletkenler genellikle 'katkılıdır', yani elektron ve deşik (hole) sayısı safsızlık ilavesinden dolayı farklıdır: elektron donörleri (n-katkılı) ve elektron alıcıları (p-katkılı). Yarı iletken

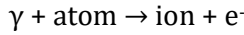
detektörler, mükemmel uzaysal çözünürlüğe ve yüksek içsel enerji çözünürlüğüne sahiptir.

Yarı iletken diyot

Bir yarı iletken diyot, iki elektrik terminaline bağlı bir p-n bağlantısı olan kristal bir yarı iletken malzeme parçasıdır. Silikon p-n bağlantısı 1940 yılında Russel Ohl tarafından bir silikon çubuk üzerinde ışığın fotovoltaj etkisini gözlemlediğinde keşfedildi. Bu bağlantı bir radyasyon detektörü olarak çalışabilir.

Fotoelektrik etki

Fotonlar, madde ile üç farklı süreç aracılığıyla etkileşime girebilir: Fotoelektrik etki, Compton etkisi ve elektron-pozitron çiftlerinin (e^+ e^-) oluşturulması. Fotoelektrik etkileşimde, tüm foton enerjisini bağlı atomik elektrona aktarır. Bu 100 keV altındaki enerjilerde baskındır.



İyonlaştırma süreci

Yüklü bir parçacık maddesel bir ortamdan geçerse, birkaç olay meydana gelebilir. Biri, saptanabilir serbest yüklerin üretilmesi yoluyla gözlemlenebilen iyonlaşma sürecidir. Bu olay, enerjinin artmasıyla artar.

Elektrik alanının yüksek yoğunluğu, iyonizasyona bağlı birincil çığ (çağlayan) ile birlikte, molekülleri iyonize edebilen çoklu çığlar ve fotonlar üretir. Çığ yayılarak tamamen boşalmaya neden olur. Toplanan yük birincil iyonizasyondan bağımsızdır, bu nedenle algılama (deteksiyon) radyasyon enerjisiyle orantılı değildir.

KURAMSAL BİLGİ

Silikon Fotoçoğaltıcılar (SiPM), bir silikon (Si) tabaka (altlık) üzerinde paralel olarak bağlanmış yüksek yoğunluklu ($\sim 10^4$ mm²'ye kadar) diyotlardan oluşur. Her diyot $\sim 10^6$ seviyesinde kazanç elde etmek için sınırlı bir Geiger-Müller bölgesi aralığında çalışan birbirine söndürme direnci ile seri olarak bağlı Çağlayan (Avalanche) Foto Diyotudur (APD). Sonuç olarak, bu detektörler oda sıcaklığında bile tek fotonlara karşı oldukça duyarlıdır (100 foton/parlama üzerinde). Ayrıca bu detektörler %50'ye kadar yüksek bir foton algılama verimliliğine (PDE)

sahiptir. SiPM, ışık yoğunluğunu yalnızca ışık düşen (etkileşen) hücre sayısı ile ölçer. Ancak bu bilgi aşağıda sıralanan nedenlerden dolayı etkilenebilir ve yanıltıcı olabilir. Bunlar Sensörün karakteristiğinden kaynaklı stokastik etkiler olabildiği gibi zaman aralığı içinde meydana gelen şu olaylardan da ileri gelebilir:

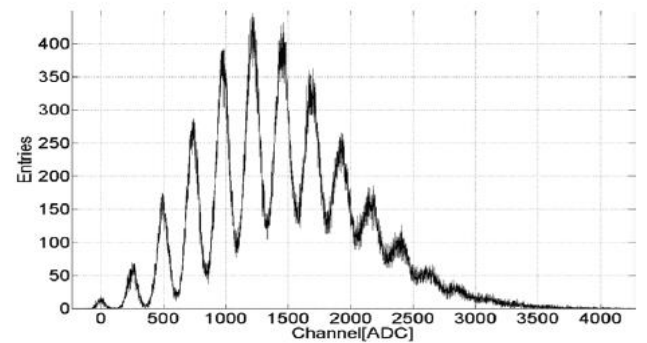
-Termal olarak üretilen taşıyıcılar nedeniyle oluşan sahte çağlayanlar (Dark Counts).

-Kararlı durumda tuzaklanmış taşıyıcıların serbest kalması ile ilişkili olarak oluşan (afterpulses) ve birincil çağlayanda (avalanche) açığa çıkan fotonların detektörle etkileşmesi ile oluşan gecikmeli çağlayanlar.

-Fotonların silikonda ilerleyerek komşu hücreleri (diyot) tetiklemesi (Optik Çapraz Konuşma (karışma) - Optical Cross Talk).

Bir ışık darbesi (pulsu) için tipik SiPM tepkisi her biri farklı sayıda fotonla etkileşmiş hücre sayısı ile ilişkili çoklu izler ile karakterize edilir ve çarpan foton sayısı ile orantılıdır. Gürültü seviyesine kıyasla yüksek kazanç nedeniyle, izler iyi bir şekilde ayrılır ve ışık alanının foton sayısı ile çözümlenmiş bir algılama sağlanır.

SiPM'nin kazancı, sensörün çıkış yükünden değerlendirilir. Aşağıda verilen şekilde görüldüğü gibi bir spektrum elde edilmesi beklenir.



Yukarıda verilen spektrumda yatay eksen ADC (analog-dijital dönüştürücü) kanalları olup ADC kanal dönüşüm faktörünün (ADC_{cr}) ve iki bitişik pik (tepe) arasındaki mesafe ($\Delta PP(ADC_{ch})$) belirlendikten sonra aşağıda verilen formül ile SiMP kazancı hesaplanabilir.

$$Kazanç = \frac{\Delta PP(ADC_{ch}) * ADC_{cr}}{e} \quad (1)$$

Sistemin çözünürlük gücü, her bir tepe noktasının σ 'sı ile tepe noktası sayısı karşılaştırılarak değerlendirilebilir.

Işık yokluğunda 0,5 p.e. eşliğindeki sayım frekansı $DCR_{0.5}$ 'yi (Dark Count Rate) temsil eder. 1.5 p.e. eşliğindeki karanlık sayım frekansı ($DCR_{1.5}$) ile 0.5 p.e. eşliğindeki sayım frekansı ($DCR_{0.5}$) oranı detektörün çapraz konuşma (karışma - cross talk) tahmininde kullanılır.

DENEY İÇİN GEREKLİ MODÜLLER VE EKİPMANLAR

- Güç kaynağı ve Yükselteç Birimi [SP5600].



- Sayısallaştırıcı (dijitizer) [DT5720A]



- LED sürücü (driver)



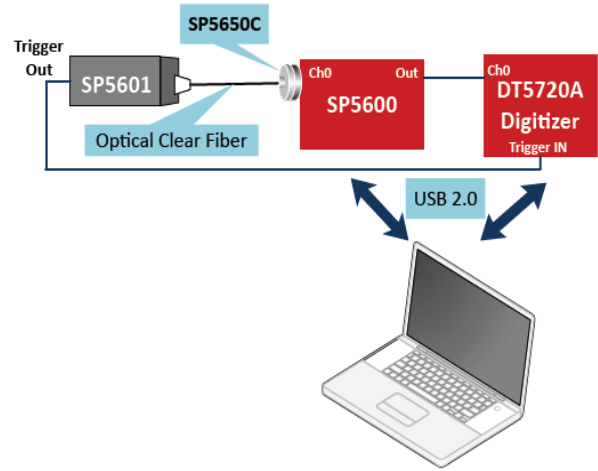
- Sensör tutucu [SP5650C]



- Fiberoptik kablo (**Bükmeyiniz, germeyiniz**).
- MCX, LEMO ve güç kabloları ve bilgisayar.

DÜZENEĞİN KURULMASI

SP5601 ultra hızlı LED sürücüsünden gelen ışık darbesi (pulsu), fiber optik kablo ile test edilen sensörün bulunduğu SP5650C SiPM tutucuya iletilir (Ch0) ve SP5600'e bağlanır. SP5600'den alınan çıkış sinyali (Out), DT5720A masaüstü sayısallaştırıcının giriş kanalına (Ch0) bağlanır. SP5600 ve DT5720A, PC'ye USB üzerinden bağlanır. Bağlantı şeklinin aşağıda verilen deney diyagramında gösterildiği gibi olduğu kontrol edilmelidir.



Deney Diyagramı

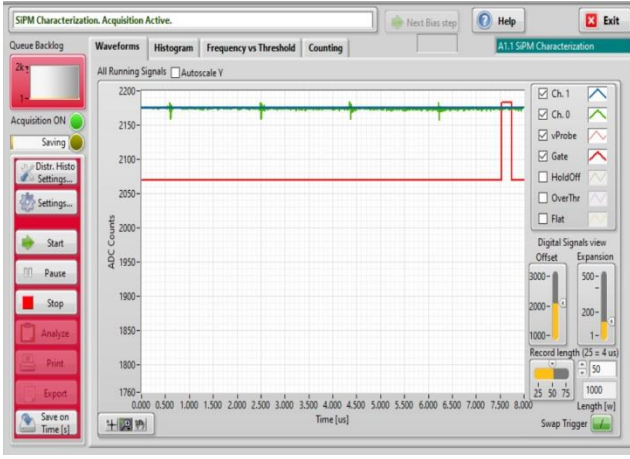
!!!ÖNEMLİ NOT!!!: Fiber kablo SP5600'a takılı değilken veya sensör tutucu (SP5650C) ağzı siyah tıpa ile takılı değilken güç kaynağı (SP5600) asla çalıştırılmamalıdır. Güç kaynağı çalıştırılmadan mutlaka görevli öğretim elemanlarına diyagramınızı kontrol yaptırınız. Aksi takdirde telafisi olmayan zararlar söz konusu olabilir!

DENEYİN YAPILIŞI

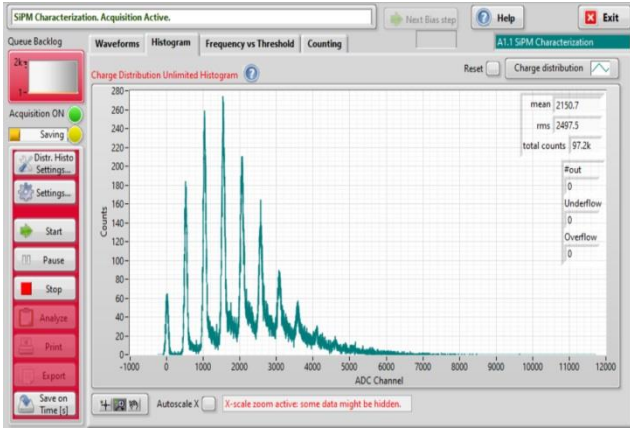
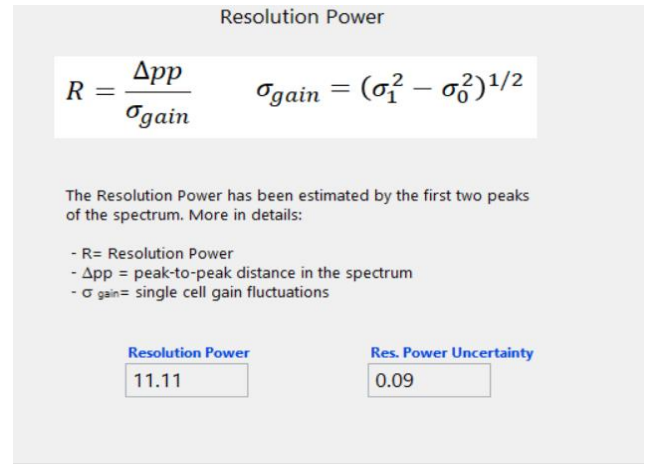
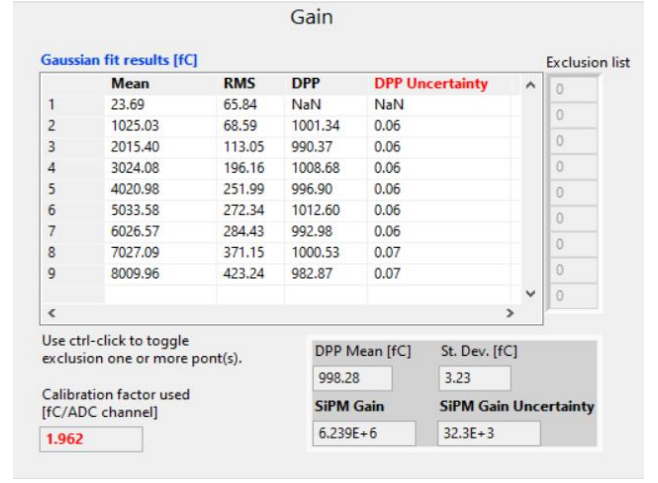
1. Aşama

Bağlantılarımızın doğruluğunu kontrol ettirdikten sonra güç kaynağını çalıştırınız.

-LED sürücü ön panelindeki düğme dönüşünü 4'e (fotonların şiddetini) ayarlayarak LED sürücünün gücünü açınız. "Waveform" sekmesinde "Start" butonuna basıldığında aşağıda verilen şekildeki gibi atımlar görünmelidir.



-Histogram sekmesine geliniz ve “Start” butonuna bastığınızda aşağıda verilen şekildeki gibi pikleri görüp göremediğinizi kontrol ediniz. Histogram ekranında yer alan “Save on Time” butonuna tıklayarak 100 saniyelik sayım yapınız. Sayımın tamamlanmasını bekleyiniz. Sayım tamamlandıktan sonra dosyaya isim vermeniz istenecektir “masa-2” gibi bir isim verdikten sonra histogramı kaydediniz. Histogram sekmesinde iken verileri “Export” butonu ile “Excel” formatında masaüstüne kaydederek analiz için kullanmak üzere flash belleğinize atınız.



-Bu deneyin amaçlarından iki tanesi SIMP için kazanç ve ayırma gücünün belirlenmesidir. Bu nedenle kaydettiğiniz histogram verilerini sistemden analiz ederek ekran görüntüsü alınız. Aldığınız bu görüntüdeki sonuçları daha sonra manuel olarak yapacağınız analiz sonuçları ile karşılaştırma amaçlı kullanabilirsiniz. Aşağıda örnek bir analiz sonuç ekranı görülmektedir.

2. Aşama

-GUI ekranında “SIMP characterization” kısmından “Frequency and Threshold” sekmesini açın. Burada “Start” butonuna basınca açılan pencerede “Threshold Range” aralığını 0 ile -400 mV olarak ve Threshold adımlarını 2 mV olarak belirleyin. LED sürücünün kapalı olduğundan emin olduktan sonra bu penceredeki “Start” butonuna basın ve sayımın bitmesini bekleyin. Ekranda elde ettiğiniz frekans değerleri karanlık sayıma ($DCR_{0.5}$) karşılık gelmektedir. Sonra aynı işlemi LED sürücü açık iken (4 şiddetinde) tekrarlayın. Buradan elde edilen frekans değerleri ($DCR_{1.5}$) e karşılık gelmektedir. Bu işlemin sonunda aşağıdaki gibi bir grafik ortaya çıkacaktır. Bu grafikten belirlediğiniz eşik gerilim değerlerini (LED sürücü açık değilken 0.5 ve açık iken 1.5) “Threshold Settings” bölümlerine giriniz.

Tartışma Soruları

1. Detektör ayırma gücünün spektrumda görülen piklere göre değişimi nasıldır?
2. Detektör sisteminin foton ayırma gücünün elde ettiğiniz spektrumda görülen piklerin şekli ile bir ilişkisi olabilir mi?
3. Eşik voltajı ile çapraz konuşma-karışma (Cross Talk) arasında nasıl bir ilişki var?
4. LED sürücünden çıkan foton sayısı arttırılırsa yapmış olduğunuz deney sonuçlarında bir değişme olur mu?
