

# Parçacık Algıçlarının Gelişimi

*Prof. Dr. Veysi Erkan Özcan*

*Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü*

*Feza Gürsey Fizik ve Matematik Araştırma Merkezi*

*erkan.ozcan@boun.edu.tr*

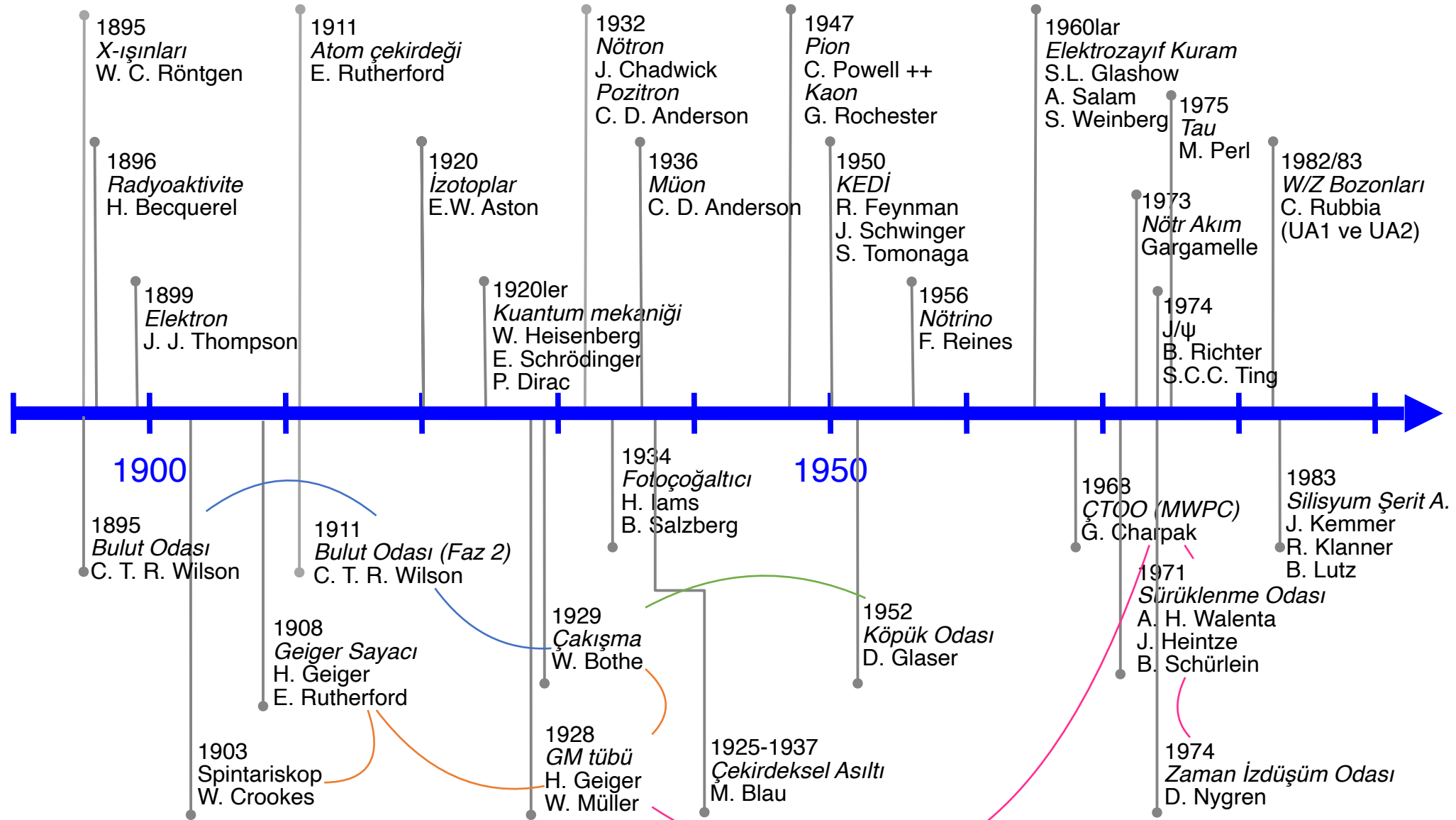
# Şekil ve Makaleler Hakkında

- Bu ders materyalindeki hemen her fotoğraf, şekil ve makale alıntısı ya açık kaynaklardan alınmış, ya da eğitim amaçlı kullanılmıştır.
  - Cavendish Laboratuvarı'nda çekilmiş fotoğraflar için Cambridge Dijital Kütüphanesi'nden kullanım başvurusunda bulunulmuş ancak yanıt alınamamıştır.
- Creative Commons CC-BY-SA lisanslı figürlerde kaynak sayfada yer kaplamaması açısından yazılı olarak sunulmamıştır.
- Ancak tüm malzemelerin kaynakları URL olarak malzeme ile ilintilendirilmiştir. Dosyanın pdf halinde şekillerin veya altı çizgili sözcüklerin üstüne tıklandığında bu kaynaklara ulaşılabilir.
- Hemen her durumda ilk kaynak kullanılmıştır. Örneğin bir derleme makalede bulunan bir şekil varsa, o haliyle değil, doğrudan şeklin ilk yayınlandığı yayın bulunup, kontrol edilip, o yayın kaynak kabul edilmiştir.
- Not: Bir kaç fotoğrafta sunumda daha net görülebilmesi açısından fotoğrafın dijital negatifini koymayı tercih ettim.
- Not: İlk yayınlara ulaşip onları okumak büyük resmi görmekte faydalı olabiliyor, ayrıca o keşfe ortak olma hazzını yaşatabiliyor.

# İçerik

- Bulut Odası
  - Bulut odasında parçacıklar, enstrümantasyon, mıknatıs, tetikleme
- Geiger Müller Tübü
- Çekirdeksele Asıltı (nuclear emulsion)
- Köpük Odası
- Bilgisayarlar ve Sayısal Analiz
- Gazlı ve Yarıiletken Algıçların Gelişimi
- Yarınların Algıçları Hakkında

## 15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLER / YAZ OKULU (UPHDYO-XV)



## 14. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLER / YAZ OKULU (UPHDYO-XIV)

# Bulut Odası

- Eylül 1894: Charles Thomson Reed Wilson Ben Nevis Dağındaki atmosferik gözlemede görevlendirilir.
- Şahit olduğu hale ve Brocken hortlağı olgularını laboratuvarda tekrarlamak için Cavendish Laboratuvarına döndüğünde bulut odasını geliştirir.



(5) *On the Formation of Cloud in the Absence of Dust.* By C. T. R. WILSON, B.A., Sidney Sussex College.

The cloud-formation is brought about as in the experiments of Aitken and others by the sudden expansion of saturated air. A form of apparatus is used in which a very sudden and perfectly definite increase in volume is produced, and in which all danger of the entrance of dust from the outside is avoided. If we start with ordinary air, after a small number of expansions to remove dust particles by causing condensation to take place upon them, it is found that the expansion has now to be pushed to a certain definite limit in order that condensation may take place. With expansion greater than this critical amount (working with a constant initial temperature) there is invariably a cloud produced, and none with less expansion.

Some preliminary experiments have given the following results.

$$\frac{v_2}{v_1} = 1.258, \text{ when initial temperature} = 16^\circ\text{C.}$$

Here  $\frac{v_2}{v_1}$  is the ratio of the final to the initial volume, when condensation just takes place.

This corresponds to a fall of temperature of about  $26^\circ\text{C.}$ , and to a vapour pressure about 4.5 times the saturation pressure.

In order that water drops should be in equilibrium with this degree of supersaturation their radii must be equal to about  $8.3 \times 10^{-8}$  cm., assuming the surface tension for such small drops to have its ordinary value.

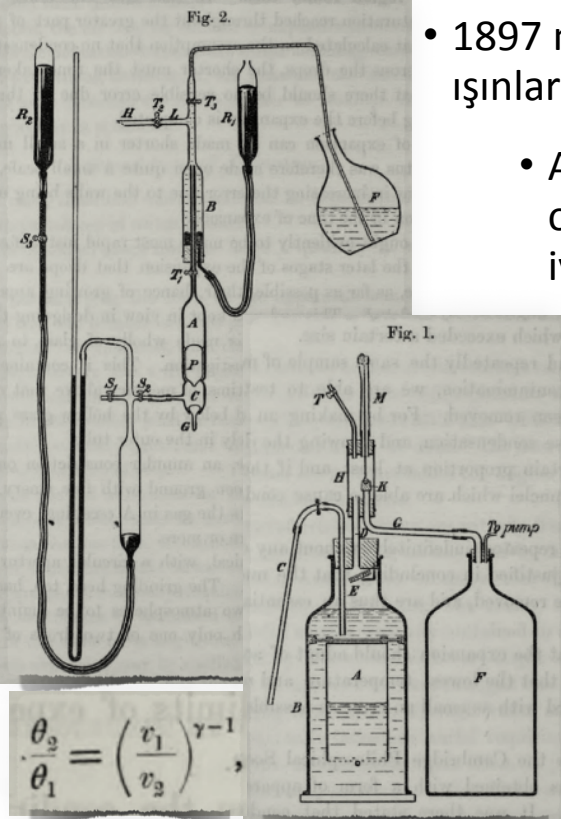
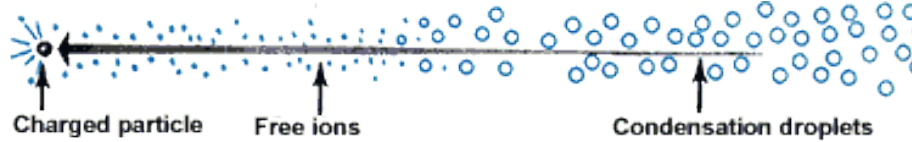
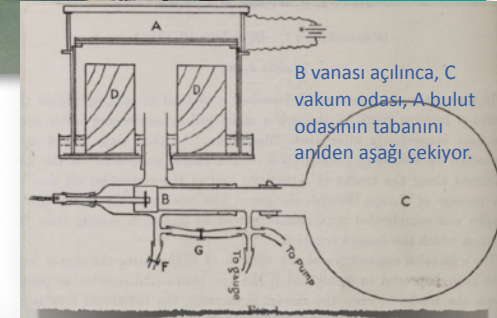
Su buharı + ani genişleme = süperdoymun + tozlu hava → oluşan damlacık sayısı toz miktarıyla orantılı = toz sayacı (koniskop)



When this was done I found that the steam on entering the receiver was perfectly invisible, and gave rise to no cloudy condensation, the air remaining supersaturated. The experiment was immediately afterwards repeated somewhat in the same way as was done by M. Coulier, the air being supersaturated by expanding it by means of an air-pump.

# Bulut Odasında Parçacıklar

- 1897 model bulut odası: Röntgen ışınları sis oluşmasını kolaylaştırıyor.
- Ani genişleme ile süperdoymun olan havadaki su damlacıklarına iyonlar çekirdek görevi görüyor.
- 1912 model bulut odası:  $\alpha$  parçacık izleri.



$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma-1}$$

$v_2/v_1$		Result.
1:308	No X-rays	No condensation
1:296	X-rays	Fog

Table 1. Chronology and Organization of Research Career of C. T. R. Wilson

Dates	Location	Activity <sup>a</sup>
1894	Ben Nevis	Glory, Thunderstorm (phase 1)
1898	London	Met. Council work
1895–1904	Cavendish Laboratory	Cloud chamber (phase 1)
1903–1910	Peebles, Scotland	Fair weather electricity (phase 2) Global circuit
1911–1914	Cavendish Laboratory	Cloud chamber (phase 2)
1914–1920	Solar Physics Observatory	Thunderstorms (phase 3)
1921–1925	Solar Physics Observatory	Cloud chamber (phase 3)
1926–1933	Cape Town, South Africa	Thunderstorms and electron runaway (phase 4)
1932–1941	Solar Physics Observatory Johannesburg, South Africa	Cloud chamber (phase 4) electron runaway
To 1956	At home in Carlops, Scotland	The thunderstorm (phase 5)

Wolfgang Engels  
tarafından yapılan Wilson  
bulut odasında  
Ra-226'dan yayılan  
parçacıkların izleri.

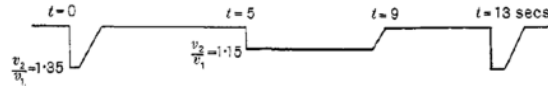


# Bulut Odası Enstrümantasyon

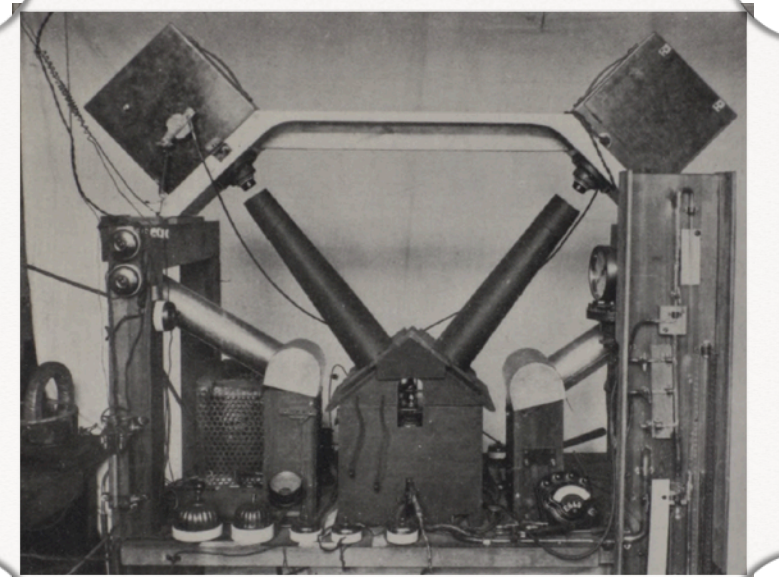


Altan gelen  $\alpha$  parçacıkları azot çekirdeği ile etkileşiyor. Çıkan proton ince düz bir iz, geride kalan çekirdek ( $^{17}\text{O}$ ) ise kırık kalın bir iz olarak görülüyor.  
[Blackett, 1925](#), Cavendish Lab  
23000 fotoğraf (415000  $\alpha$  izi) arasından sadece 8'i aranan özellikte.

- 1921: Takeo Shimizu odayı pistonla sürekli tekrarlayarak işletiyor.
- 1925: Piston tekrarı harmonik değil atlamalı, senkron işleyen stereoskopik fotoğraf makineleri.



- Azotun simyası.  
(Düşük tesir kesidi = çok iz arasından seçim gerekiyor.)



- 1948 Nobel Fizik Ödülü: Patrick Blackett





# Bulut Odası Miknatısı

- 1929: Klein–Nishina formülünü (foton-elektron etkileşmesi) denemek isterken, Skobeltsyn bulut odasına miknatısı (1500 Gauss) ekliyor.
  - Neredeyse hiç sapmayan  $\beta$  parçacıkları.
  - Kozmik ışınların çok yüksek enerjili parçacıklar oluşturabiliyor.
    - $\beta$  enerjisi  $> 15$  MeV
- Soru: Skobeltsyn  $\beta$  kaynağı olarak RaC kullanıyormuş.  $B = 1500$  G altında çıkan  $\beta$ ların tüm çemberini gözlemleyebilmesi için ne kadar genişlikte bir bulut odası gerekir?
  - $Pc(eV/z)=300$  H(Gauss)  $\rho(cm)$

Die Intensitätsverteilung in dem Spektrum der  $\gamma$ -Strahlen von RaC.

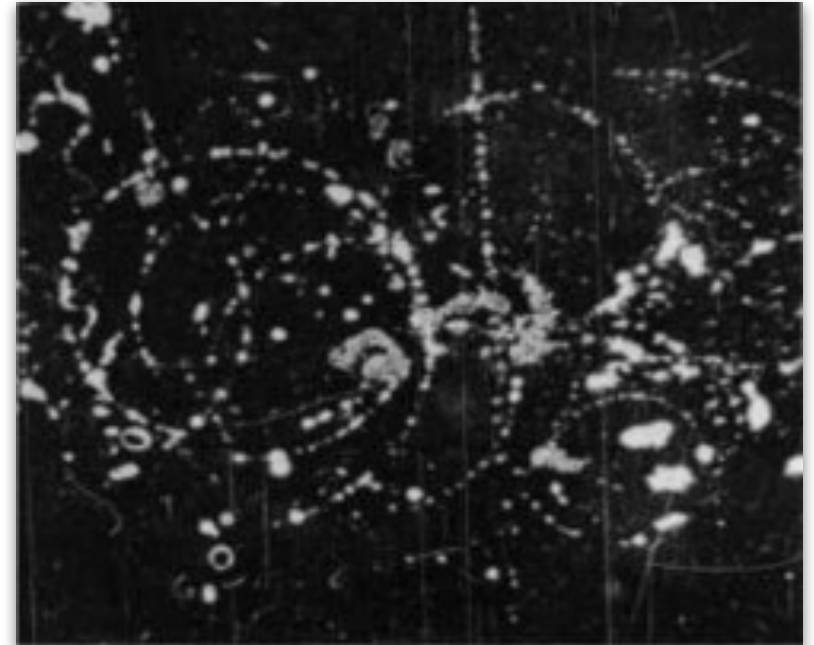
Von D. Skobelzyn in Leningrad.

Über eine neue Art sehr schneller  $\beta$ -Strahlen.

Von D. Skobelzyn in Leningrad.

Mit 9 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. (Eingegangen am 23. Februar 1929.)

Etwa 600 stereoskopische, unter der Wirkung eines gleichförmigen magnetischen Feldes gewonnene Wilsonaufnahmen haben 32 außerhalb der Wilsonkammer entstandene  $\beta$ -Strahlenbahnen zum Vorschein gebracht, welche von dem magnetischen Felde nicht merklich gekrümmt waren und welchen in der Mehrzahl der Fälle eine Energie größer als 15 000 kV zuzuschreiben ist. Der ungefähr berechnete Ionisationseffekt dieser Strahlen beträgt etwa 1 J; die Winkelverteilung zeigt, daß die



# Höhenstrahlung verursachten Koinzidenzen

- 1929: W. Bothe and W. Kolhörster, kozmik ışınların gözlemlenmesinde iki Geiger-Müller sayacıyla çakışma (coincidence) yöntemi.
  - Kozmik ışınlar 4cm kalınlıkta altın külçeyi geçebiliyor. ( $\beta$ ların altında menzili nedir?)
- 1929-1930: Bothe ve Rossi vakum tüpler kullanarak “ve” işlemini geliştiriyorlar. GM tüp sinyallerinde çakışma devre tarafından belirleniyor.
  - Rossi bazı kozmiklerin 1m kalınlıkta kurşunu aşabildiğini fark ediyor. (Bu parçacıklar ne ola ki?)

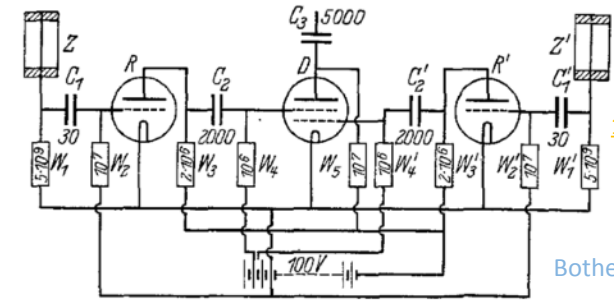
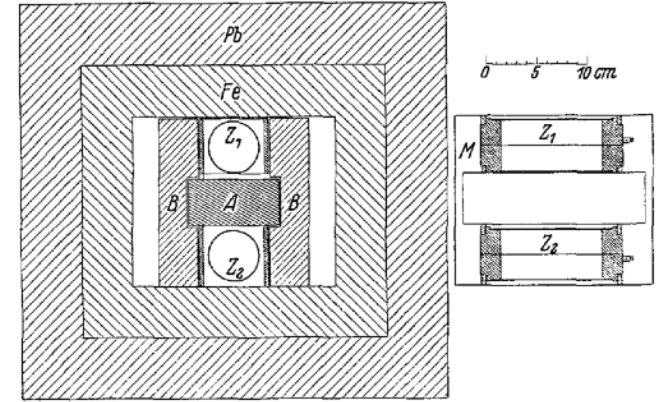


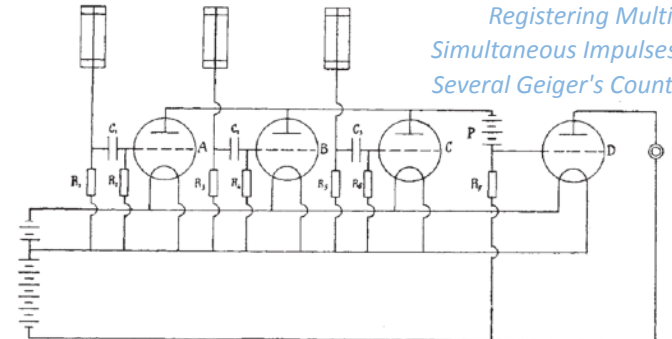
Fig. 2. Kapazitäten in Zentimetern, Widerstände in Ohm.

1954 Fizik



Bothe 1929

Rossi (1930) Method of  
Registering Multiple  
Simultaneous Impulses of  
Several Geiger's Counters

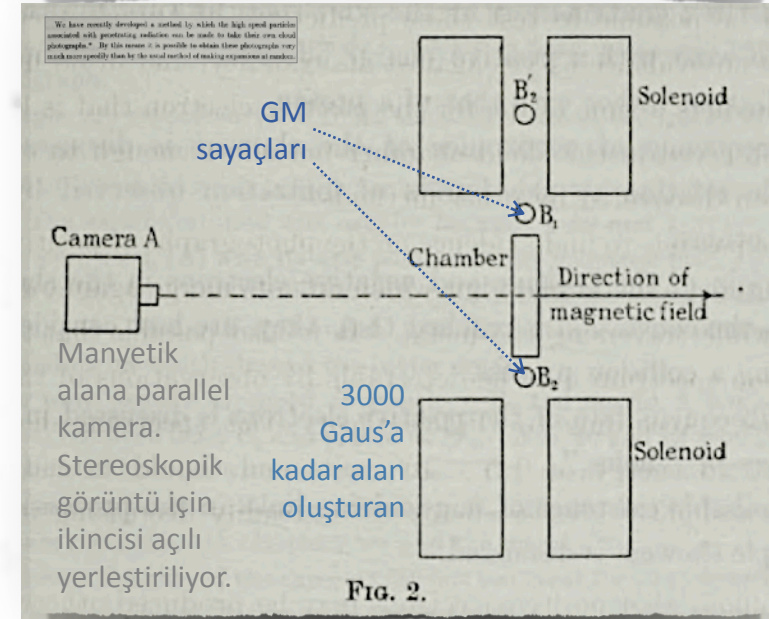


# Bulut Odası Tetikleyici

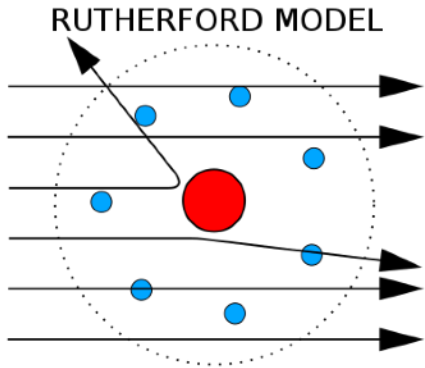
- Mott-Smith ve Locher; Johnson, Fleischer ve Street : Acaba GM ile bulut odasını beraber nasıl kullanabiliriz? Buldukları çözüm ne olabilir?
- Blackett ve Occhialini, 1932: Kozmik ışın [kendi fotoğrafını çekebilir mi](#)? Deklanşör?
  - 2 GM sayacından gelen sinyaller tiratron devresi ile çalıştırılıyor.
  - Tiratron bir elektromıknatısı kısa devre yapıyor. Mıknatısın bir yaya karşı tutmayı bıraktığı armatür fırlayıp bir piston altındaki vanayı açıyor ve bulut odası genişliyor. Geçen süre 0.01sn. 4kV trafo trafo ile yüksek akım beslenen cıvalı lamba devreye giriyor.
  - Bu düzeneği çalıştıran “fiziksel sır” ne?

## Photography of Penetrating Corpuscular Radiation

SINCE Skobelzyn<sup>1</sup> discovered the tracks of particles of high energy on photographs taken with a Wilson cloud chamber, this method has been used by him and others in a number of investigations<sup>2</sup> of the nature of penetrating radiation. Such work is laborious, since these tracks occur in only a small fraction of the total number of expansions made. We have found it possible to obtain good photographs of these high energy particles by arranging that the simultaneous discharge of two Geiger-Müller counters due to the passage of one of these particles shall operate the expansion itself. On more than 75 per cent of the photographs so obtained (the fraction depending on the ratio of the number of 'true' to 'accidental' coincidences) are found the tracks of particles of high energy.

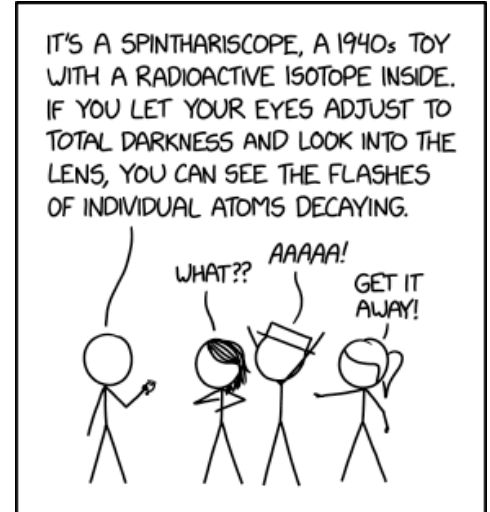
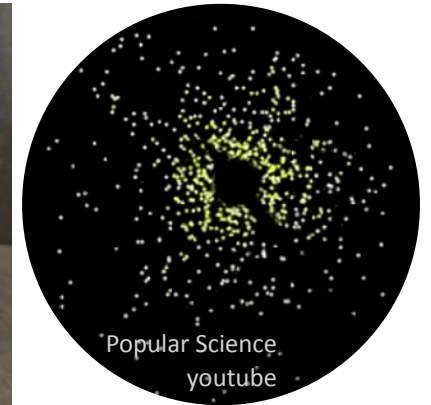
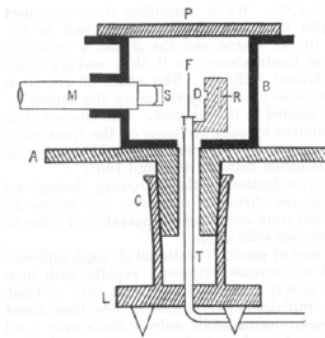
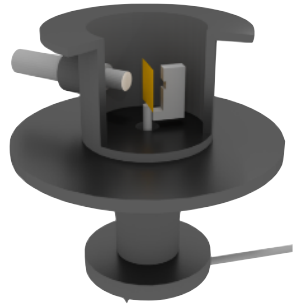
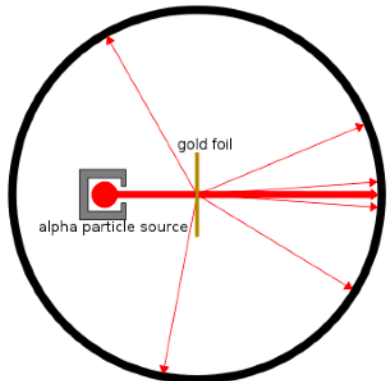


# Geiger Nasıl Devreye Girdi?



- 1903: ZnS ekran + mikroskop (+ radyoaktif madde) = Spintariskop [Crookes]

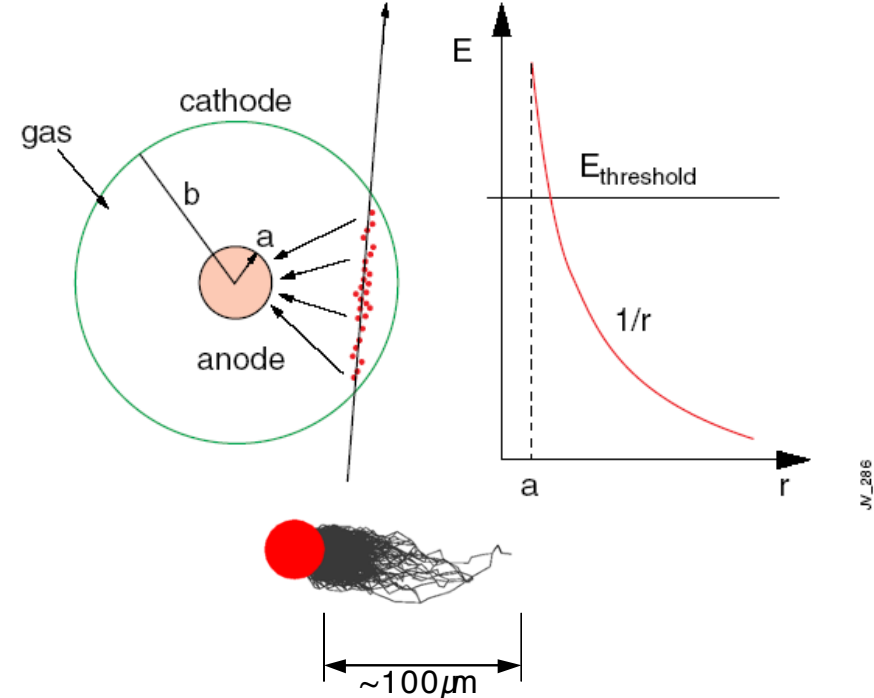
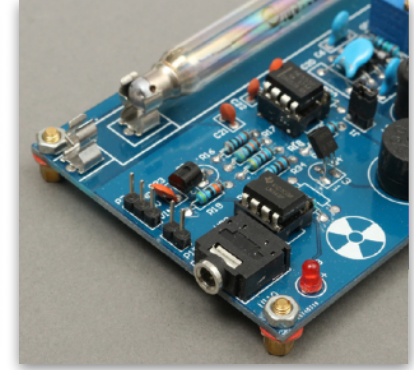
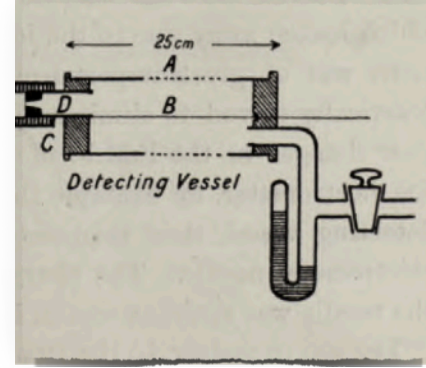
- 1908-1913: Geiger-Marsden deneyleri. Çekirdeğin keşfi.



FUN FACT: SPINTHARISCOPES HAVE THE HIGHEST RATIO OF "THAT CAN'T POSSIBLY BE SAFE AND LEGAL" TO ACTUAL SAFETY AND LEGALITY OF ANY KNOWN TOY.

# Geiger Müller Tübü

- 1908: Rutherford ve Geiger  $\alpha$  taneciklerini saymanın peşindeler. (Daha  $\alpha$ 'ların +2 yük olduğu net değil.)
- 1928: Geiger ve Müller tübü
  - İnce bir katot tel silindirik bir anot tübün ekseninde
  - Reaksiyona girmeyen bir gaz (He, Ne, Ar)
  - Birkaç yüz volt gerilim
  - Tele yaklaştıkça yükselen elektrik alan ve çığ etkisi -> ölçülebilir elektrik sinyal
  - Organik buhar eklenerek yük boşalması söndürülebilir (quenching)
- 2010lar: Kendi kurcalamak isteyenler için 50\$ civarında tüp ve devre kartı bulunabiliyor.



# Compton ve Møller Saçılması

"Thus this theory predicts recoil electrons with a velocity generally much smaller than that of the above-mentioned electrons which correspond to the photo-electric effect. It was a triumph for both parties when these recoil electrons were discovered by WILSON's experimental method both by WILSON himself and, independently, by another investigator. Hereby the second chief phenomenon of the Compton effect was experimentally verified, and all observations proved to agree with what had been predicted in COMPTON's theory.

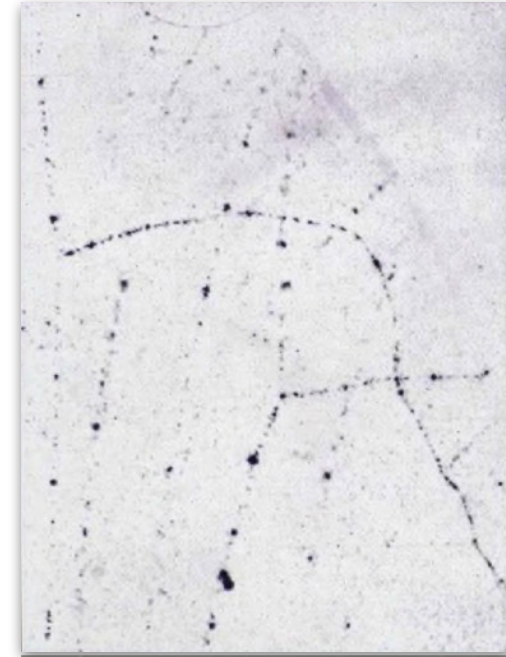
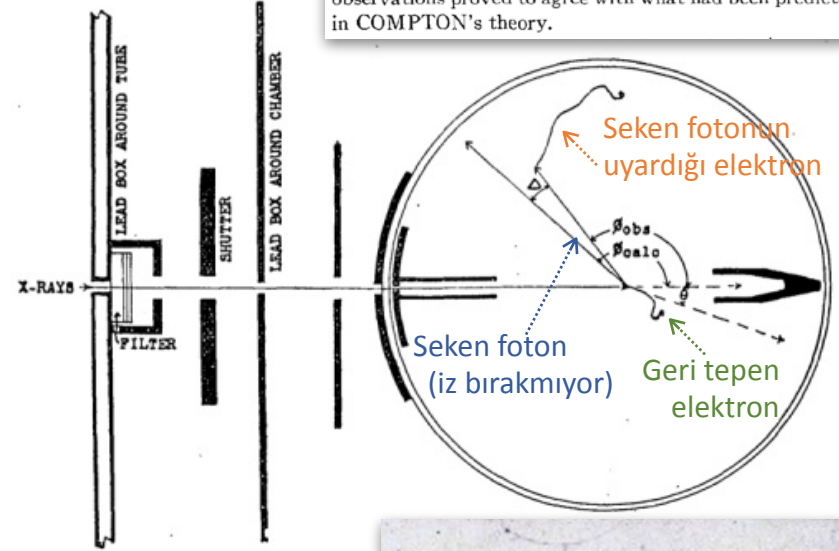
- 1927 Nobel Ödülü: Wilson ve Compton

- Compton saçılmasının ilk ölçümleri Bragg saçılması ve iyon odasıyla.

- Geri tepen elektronların görülmesi bulut odasıyla.

- 1930lar: Feynman diyagramları / renormalizasyon olmayan bir dönemde kuantum elektrodinamiği.

- 1932: Champion, Møller saçılma formülünün ilk denemelerini sunuyor.



### Summary.

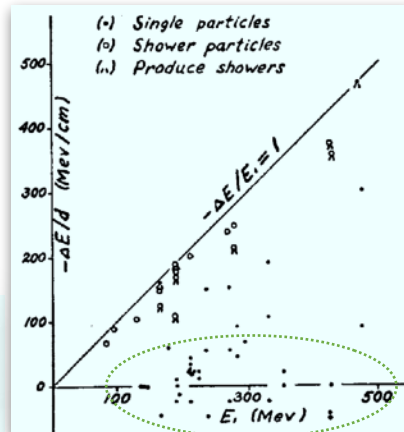
From the analysis of over half a kilometre of track of fast  $\beta$ -particles in nitrogen, photographed by the expansion method, 250 collisions with atomic electrons have been obtained in which the angle of scattering is greater than  $10^\circ$ . The velocities of the incident particles lay between 0.82 and 0.92 that of light.

The absolute numbers scattered and the distribution with angle were in good agreement with a formula of Möller, based on quantum mechanics.

# Pozitronun Keşfi, $dE/dx$ , PID

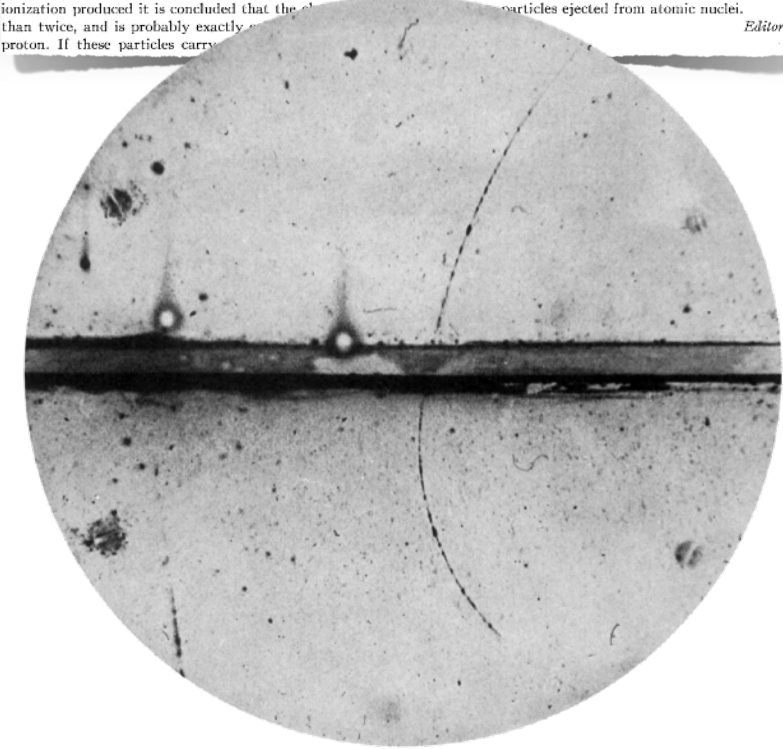
- 1932, Carl David Anderson: Dikey konuşlandırılmış bulut odası (Millikan ile)
- Yükü elektrona eşit pozitif parçacık: proton
  - Ama proton izleri kalın, elektron izleri ince. ( $dE/dx$  neden farklı?)
  - Proton izleri kısa, elektron izleri uzun.
- İzleri elektron gibi ama manyetik alanda terse bükülen parçacık.
  - İz ters ama nereden geldiğini nasıl anlayacağız?
  - 6mm kurşunda 63 MeV'lik bir elektron ne kadar enerji [kaybeder](#)?
  - cm başına 63 MeV çıkıyor, kurşun az daha kalın olsa geçemeyecek miydi?
- 1936'da müonun keşfi.
  - $dE/dx$ , asgari iyonizasyon.

If it is taken that the ionization density varies inversely as the velocity squared, the rest mass of the particle in question is found to be approximately 130 times the rest mass of the electron. Because of uncertainty in the ion



**The Positive Electron**  
CARL D. ANDERSON, *California Institute of Technology, Pasadena, California*  
(Received February 28, 1933)

Out of a group of 1300 photographs of cosmic-ray tracks in a vertical Wilson chamber 15 tracks were of positive particles which could not have a mass as great as that of the proton. From an examination of the energy-loss and ionization produced it is concluded that the particles are more than twice, and is probably exactly twice, the mass of the proton. If these particles carry the same charge as the proton, their curvatures and ionizations produced require the mass to be less than twenty times the electron mass. These particles will be called positrons. Because they occur in groups associated with other tracks it is concluded that they must be particles ejected from atomic nuclei.



A 63 million volt positron ( $H_p = 2.1 \times 10^5$  gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ( $H_p = 7.5 \times 10^4$  gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature. (Magnetic field 15,000 gauss.)

# Algıçlardan Beklenenler

- Tek bir atomaltı parçacığın ufaklık iyonizasyon enerjisini “makroskopik” seviyeye büyütecek hassas ortam
- Her keşif ile yeni keşfe götürebilecek sıradışı olaylar daha ender oluyor.
  - Çabuk tekrarlanabilirlik (düşük ölü zaman)
- Parçacık türü ayırt etme
- Manyetik alan altında çalışabilme
  - Momentum ölçebiliyoruz ama enerjiyi nasıl ölçeceğiz? Nötr parçacıkları nasıl gözlemleyeceğiz?
- Hızlı çakıştırma ve tetikleme (elektronik devreler)
- Veriyi kayıt altına alacak sistem (DAQ - data acquisition) ve saklama ortamı

But fantasies only define distant targets. As an immediate principle of particle detection, I assumed that we needed an energetically metastable system in which the tiny energy deposited by a minimum ionizing particle could trigger the growth of a recordable macroscopic effect. Geiger counters, proportional counters, nuclear emulsions in the presence of developer solutions, cloud chambers, and all other detectors share this property. I therefore made a list of possibly useful instabilities; soluble

- Foton nötr parçacık... Daha fazla ilerlemeden fotoğraf çekmek üzerinde durmalıyız.



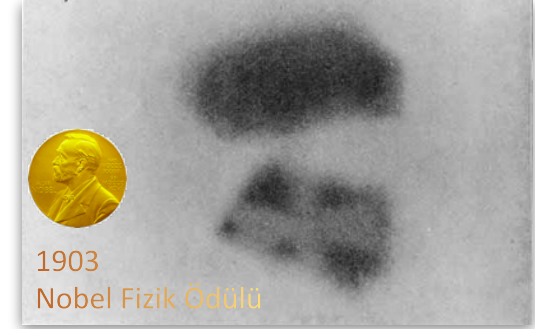
# Çekirdeksele Asıltı (Nuclear Emulsion)

- 1896: Henri Becquerel radyoaktiviteyi fotoğraf plakalarında tespit ediyor
- 1909: Kinoshita  $\alpha$  taneciklerinin fotoğrafik asıltıda sayılabilmesi

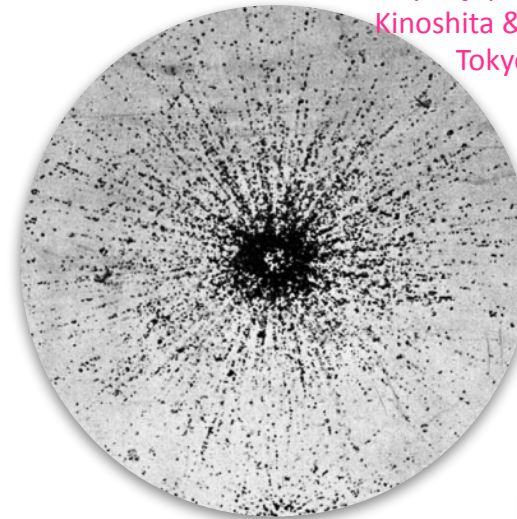
$\alpha$ -particles. It is therefore hoped, by preparing an emulsion film\* of very fine halide grains, and by using a microscope of high magnification, that the photographic method can be applied for counting  $\alpha$ -particles with considerable accuracy.

- 1910-15:  $\alpha$  mikrofotografları
- 1925: Marietta Blau (ve Hertha Wambacher) proton izlerini görebiliyor.

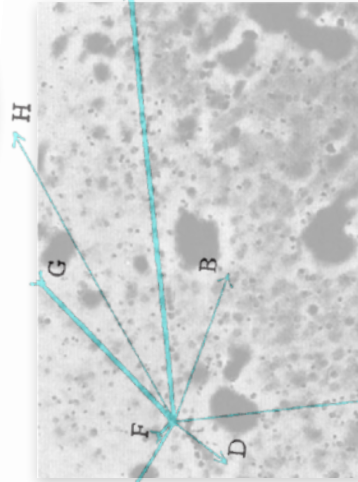
- 30lar: Nötrondan tepen protonlar ve kozmik "yıldız".



Halo yarıçapı: 54 $\mu$ m  
Kinoshita & Ikeuti  
Tokyo 1914



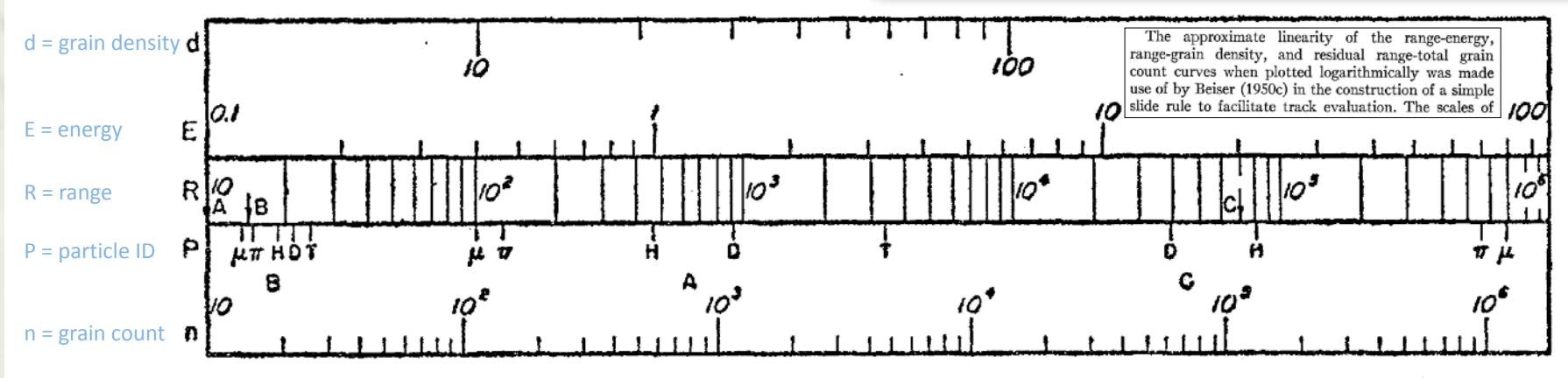
En uzun iz 30cm  
Viyana 1937



## Çekirdeksele Asıltı Fiziği/Kimyası

- Fotoğrafik asıltı : “Sığır derisi özüne (jelatin) yedirilmiş gümüş halojenürler”
- AgBr 2.6eV bant aralığına sahip yarıiletken kristaller. Elektron-delik çiftleri oluşuyor. Kristal örgüdeki kusurlarda takılan elektronlar Ag metal atomları serbest bırakıyor. “Film banyosuyla” ek elektronlar veriliyor ve bunlar  $\sim 0.5 \mu\text{m}$  siyah Ag-metal granüller oluşturuyor.

**A** PHOTOGRAPHIC emulsion is merely, as Yagoda has put it, “a cleverly contrived mixture of silver bromide dispersed in an extract of cowhide.” Nuclear emulsions are photographic emulsions of very high silver concentration that are thickly coated on glass backings. Ionizing particles which happen to pass through such emulsions leave behind a number of silver bromide crystals that have been so altered that, upon development, they appear as rows of black grains of colloidal silver and identify the trajectories of the particles. The more strongly ionizing the particles, the more numerous are these grains; and the greater their initial energies, the longer the resulting tracks. Relationships exist which connect these quantities very accurately, enabling the identification of the involved particle and its energy under favorable circumstances. More elaborate methods, for example, those

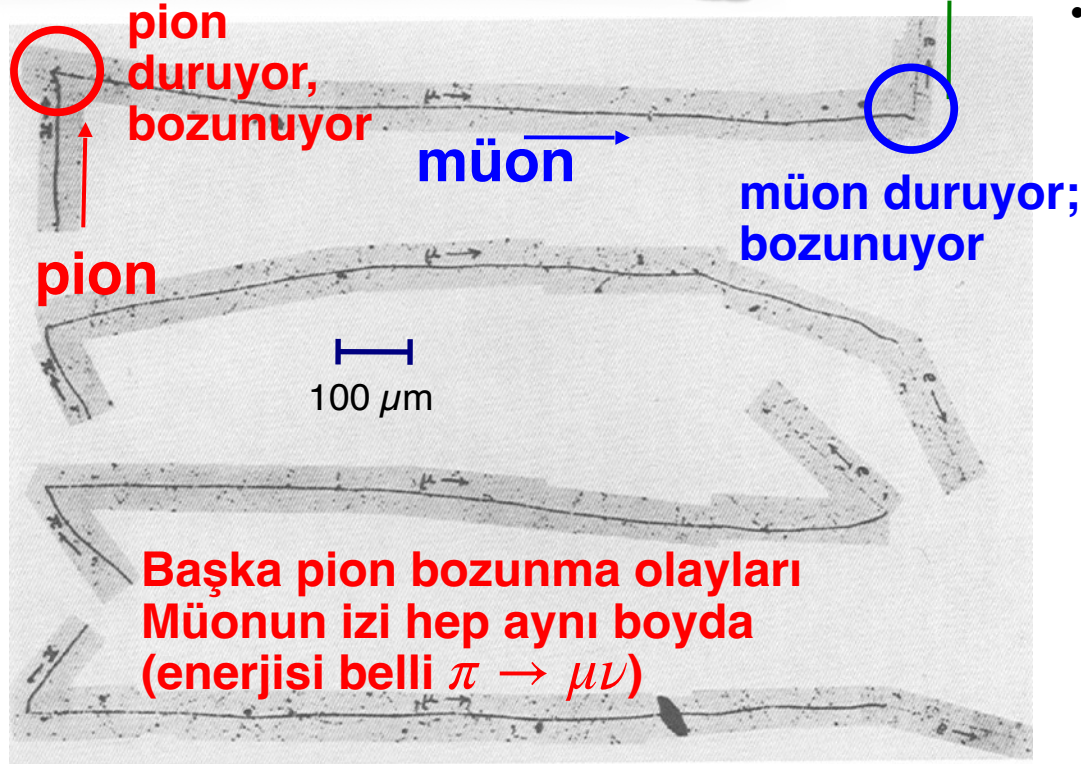


# “Yukawa'nın Altın Madeni”

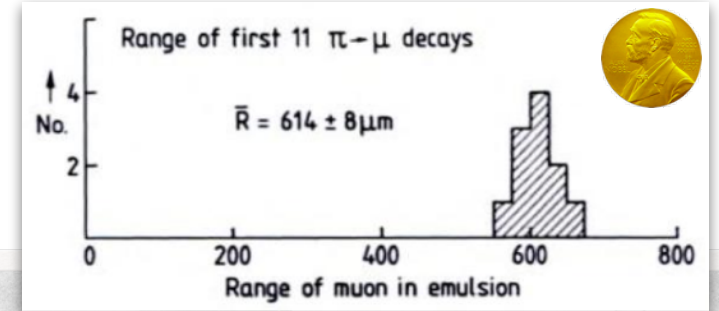
C.M.G. Lattes; H. Muirhead; G.P.S. Occhialini; C.F. Powell (1947)

of heavy particles. It is convenient to apply the term 'meson' to any particle with a mass intermediate between that of a proton and an electron. In continuing our experiments we have found evidence of mesons which, at the end of their range, produce secondary mesons. We have also observed transmutations in

elektron



- [Kıyasıya bir yarış](#), kuram ile başlıyor:
  - 1935: Yukawa mezotron hipotezi
  - 1946: Sakata-Inoue çift mezon hipotezi
- Nobel Fizik Ödülü: 1949 kuram, 1950 deney



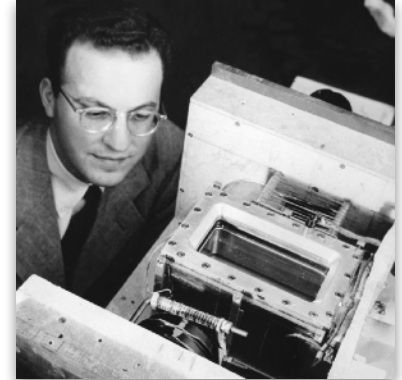
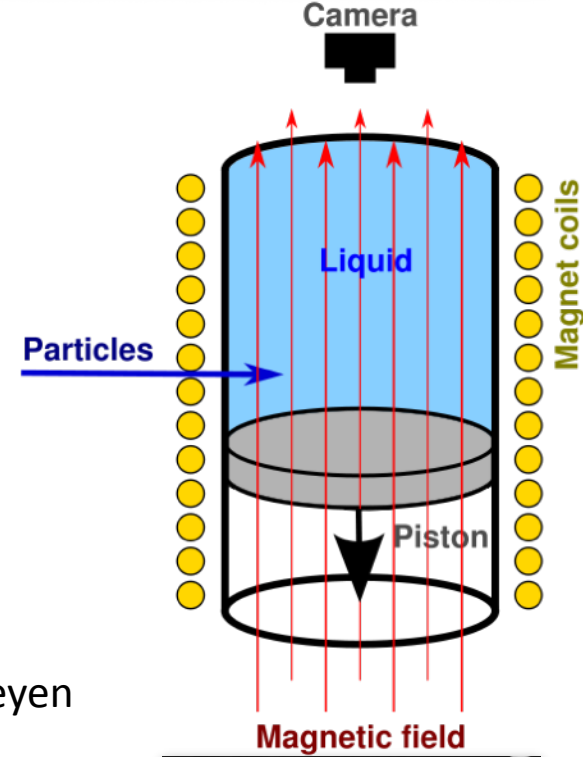
# Köpük Odası

An experimental test of the theory for radiation-induced ionization was made by maintaining diethyl ether in a thick-walled glass tube at a temperature near 130°C and under a pressure of about 20 atmospheres. In the presence of a 12.6-Mc Co<sup>60</sup> source, exposure to the source.

A "coincidence telescope" consisting of two parallel tubes was constructed and coincidences apparently resulting from vertical cosmic rays were observed with roughly the expected ratio of single to coincident eruptions. The coincident bubbles occurred



- 1952: Carl Anderson'ın doktora öğrencisi Donald Glaser da dağa çıkıp kozmiklerle çalışmak (ve kayak yapmak) istiyor.
  - Yeni fikir: süperısıtılmış eteri radyasyona maruz bırakmak
  - 1960 Nobel Fizik Ödülü.
- İçi sıvı dolu bir silindir veya küre.
  - Sıvı belli bir basınçtaki kaynama sıcaklığının hemen altında tutulur (örnek 27K, 5atm, sıvı H).
  - Parçacık demeti geldiğinde basınç aniden düşürülür (3atm) ve sıvı süperısıtılmış olur.
- Yüklü parçacıklar iyonizasyon ile kaybettiği enerji düşen basınçla genişleyen baloncuk çekirdekleri yaratır.
- 1-2 ms içerisinde fotoğraflar çekilir. Birden fazla kamera stereo çekim yapmayı sağlar. Konum çözünürlüğü ~10µm seviyesine indirilebilir.
- Sistemin ölü zamanı (deadtime) = onlarca (~50) ms
  - Azami olay frekansı =  $O(1/(\sim 50\text{ms})) = O(20\text{Hz})$



# Köpük Odası Dedikoduları

- Köpük odasını tasarlarken dağda kozmik ışın fiziği yapmayı hayal etmiş olsa da, bulut odasının aksine köpüklerin oluşması ve kaynama çok hızlı olduğu, demetin geldiği anı bilmek gerektiği için hızlandırıcılarla çalışmak zorunda kalıyor.
- Glaser'ın köpük odasını fikrini biradaki baloncuklardan aldığı rivayet edilir. Rivayet doğru olmamakla birlikte birayı süperısıtarak ne olacağına dair hipotezini laboratuvarında denemiş ve tüm bölüme yayılan kötü koku sebebiyle başı bölüm başkanı ile belaya girmiş.
- Glaser, köpük odasıyla ilgili Chicago'da bir seminere çağırılır. Fermi teorik olarak köpük odasının nasıl çalıştığı ile ilgili soru yağmuruna tutar. Daha sonraları Fermi'nin de köpük odası fikrini düşünmüş olduğunu ancak bir hesap hatası sebebiyle çalışmasının imkansız olacağına kanaat getirdiği için bu fikirden vazgeçtiğini öğrenir.
  - Fermi'nin derslerinden oluşan bir termodinamik kitabında bu hata mevcuttur, Glaser neyse ki o kitaptan haberdar değildir.
  - Süperdoygün havada su damlacıklarının oluşmasının matematiği, süperısıtılmış sıvıda gaz baloncuklarının oluşmasının matematiğinden farklı.



[www.youtube.com/watch?v=XsIXH2M7qLY](http://www.youtube.com/watch?v=XsIXH2M7qLY)

temperature. Before giving up in disgust, they demonstrated the "capriciousness" of the system by quoting a typical series of 30 consecutive "waiting times" before eruption. I made a histogram of these times and found a Poisson distribution corresponding to a random event occurring with a mean time interval of 60 seconds. From the

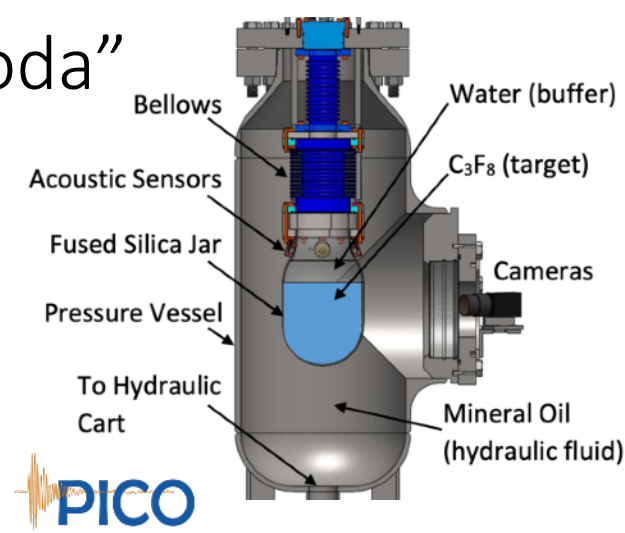
[D. Glaser, Nucl. Phys. B \(Proc. Suppl.\) 36 \(1994\)3-18](#)

## Köpük Odaları Hâlâ “Vintage Moda”



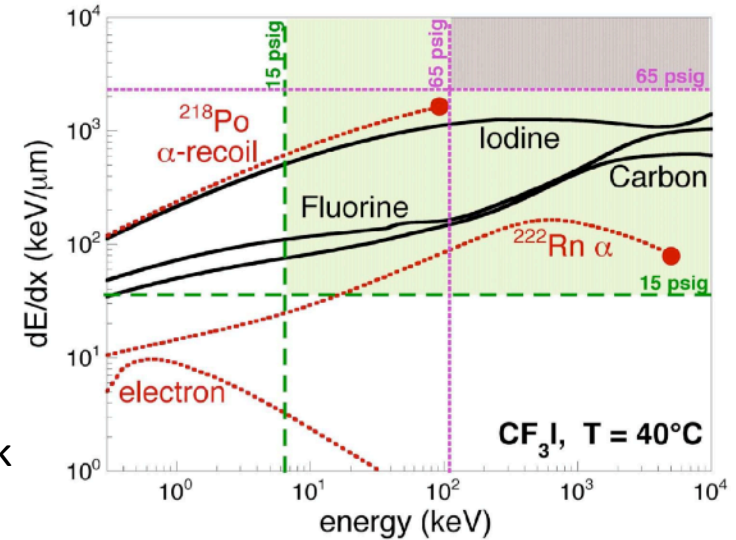
COUPP deneyi (FermiLab)

- COUPP (Chicagoland Observatory for Underground Particle Physics) ve devamı niteliğindeki PICO algıçları.



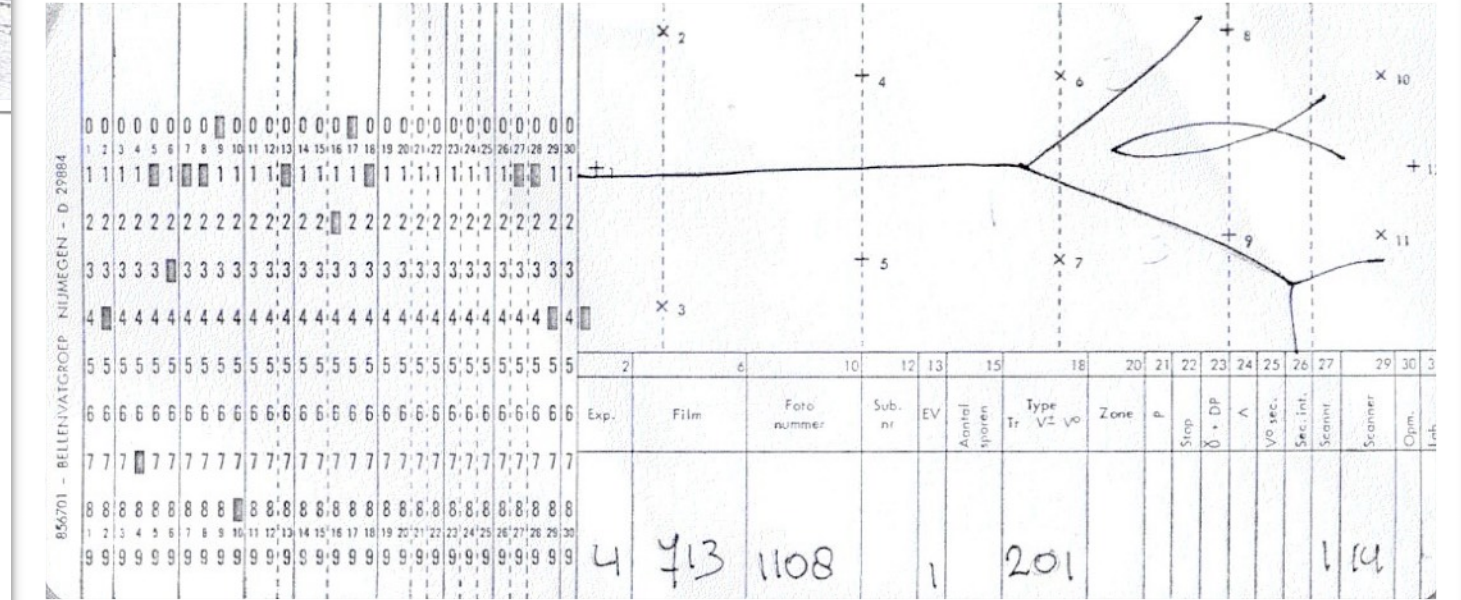
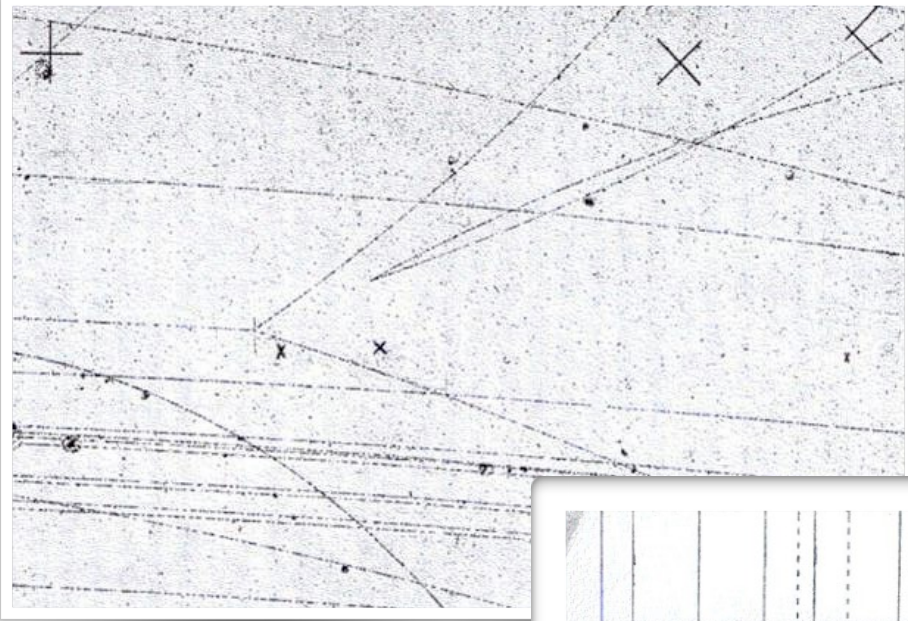
PICO-60 deneyi (SNOLab)

- $CF_3I$  veya  $C_3F_8$  içeren köpük odaları.
- WIMP / karanlık madde araştırmaları.
- Karanlık maddenin nükleer geritepmesinden gelecek enerji baloncuk oluşturulacak. Süperısınma seviyesi doğru ayarlanarak arkaplan oluşturacak [diğer tepkiler](#) bastırılabilir.



# Bilgisayarlar Geliyor

- İlk zamanlarda sayısallaştırma ham verileri elle ölçüp kartlara delmekle ve bu kartları bilgisayara okutmakla yapılıyor.
- Daha sonraları (yarı)otomatik makinalar (Franckenstein, MYLADY, vs.) kullanılmaya başlanacak.



# Olayın Ölçülmesi, İzlerin Sürülmesi

```

EVENT 4- 722-1759-1 BOX 401 (21/11/72 100331)(TAPE - 1) SERIAL 1 (TITLES 444/ 44) (VE
...
FIT NOPT 1 NOTR 3 TYPE 5101C HYP 2 TARG 0.0 ERRORS NONE NONE CHISQ 0.55
TRACK MASS CODE BUB P U DIP U PHI U DP U DDP U DPH U P F DIP F PHI F DP F DDP F
M0 0 1.1154 U U U F 1.7 1.354 -0.235 2.991 0.0 0.0 0.0 1.354 -0.236 2.992 0.017 0.003
M2 + 0.9383 W W W F 1.9 1.028 0.300 6.154 0.017 0.004 0.003 1.034 0.300 6.154 0.015 0.004
M3 - 0.1396 W W W F 1.2 0.333 0.031 6.071 0.005 0.007 0.005 0.330 0.033 6.072 0.003 0.007
FIT NOPT 1 NOTR 6 TYPE 2020 HYP 104 TARG 0.9383 ERRORS MI 3 NONE CHISQ -0.00

```

TRACK	NATURE	CODE	P	DIP	PHI	THETA	ERRORS	LENGTH	+-	SAGITTA	PCOSL	MAG.F	IONIZAT	ME		
											RESTDL	HIST	MEAS.	ION.		
1	A1	- B WWW	4224	8	3153	0	67 3 1	-27.57	0.05	1201	4224	-17.25	10	10	10	5
		0.4938	4225	8	3153		67 3 1				21.7	20				
2	A2	- WWW	274	-217	357	402	1 3 1	40.88	0.05	-38686	267	-17.31	13	43	99	9
3	A3	- WWW	901	447	290	529	5 1 0	77.36	0.05	-38928						
		0.1396	911	448	289		13 3 2									
		0.4938	912	448	289		15 3 2									
4	A4	+ WWW	313	8	71	62	2 2 1	37.30	0.05	28731						
		0.1396	319	9	72		6 6 4									
		0.4938	334	9	77		12 10 7									
5	A5	+ WWW	863	-423	93	423	6 2 1	41.91	0.05	12065						
		0.1396	868	-422	94		17 3 2									
		0.4938	869	-422	94		19 3 2									
		0.9383	875	-422	94		25 4 2									
6	M2	+ WWW	1013	301	6153	338	5 1 0	80.82	0.05	40094						
		0.1396	1017	300	6153		13 3 2									
		0.9383	1028	300	6154		17 4 3									
7	M3	- WWW	326	30	6074	223	2 2 0	42.62	0.05	-36199						
		0.1396	333	31	6071		5 7 5									

MEV/C                      MILLI-RAD                      CM                      MICRON

\*\*\* R6 CANDIDATE - ERR 100 ETC.A1  
\*\*\* R6 CANDIDATE - ERR 40 ETC.A2 A4 A5







# Olayın Ölçülmesi, İzlerin Sürülmesi

TRACK	NATURE	CODE	P	DIP	PHI	THETA	ERRORS	LENGTH	+-	SAGITTA	PCOSSL	MAG.F	IONIZAT ME							
1	A1	-	B	WWW	4224	8	3153	0	67	3	1	-27.57	0.05	1201	4224	-17.25	10	10	10	5

## Parçacık Cinsinin Belirlenmesi

- Ne kadar çok köpük oluştuğu, ilk iyonlaşmada ortama verilen enerjiyle (primary ionisation) doğru orantılıdır.
- $dE/dx$  parçacığın hızıyla alakalı olduğundan, hem momentumu, hem de birim mesafede kaybettiği enerji bilgisi elde edilen izlerin hangi parçacığa ait olduğu anlaşılabilir.
  - $\sim 0.9 \text{ GeV}/c$ 'ye kadar  $\pi$  ve  $K$ ,  $\sim 1.6 \text{ GeV}/c$ 'ye kadar  $\pi$  ve  $p$  ayrımı yapmak mümkündür.



P	F	DIP	F	PHI	F	DP	F	DDP	F
354	-0.236	2.992	0.017	0.003					
034	0.300	6.154	0.015	0.004					
330	0.033	6.072	0.003	0.007					

MT 3 NONE CHISQ -0.00

# Analiz Sayısallaşılıyor

- 1958: [CERN'de Ferranti Mercury](#) kuruluyor
- 1961: CERN IBM 709 (Fortran derleyicisi var)
- 1964 [CERN Courier](#): "Amongst the biggest users of computer time are the various devices dor converting the information on boggle-chamber and spark-chamber photographs..."


```

KO p1= TWEF RESONANTIES
BLOK 6 (29/09/65) IDEOGRAM 1  EFFEKTİVE MASSA KÖPİ
MASTER TESTS 1
XLOĞ 386
WLOĞ 0
TEST 0

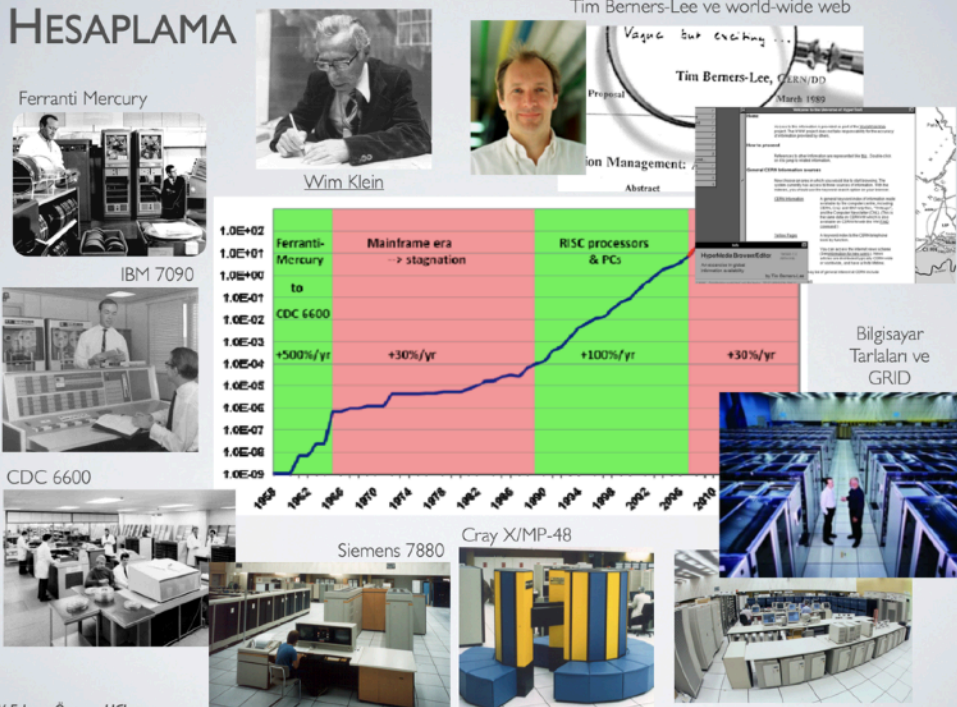
178      X
165      X2
102      XX
99       XX
96       XX
93       XX
90       XX
87       XX
84       XX
81       XX
78       XX
75       XX
72       XX
69       XX
66       XX
63       XX
60       XXX
57       XXX
54       XXX
51       XXXX
48       XXXX
45       XXXX
42       XXXX
39       XXXX
36       XXXX
33       XXXX
30       XXXX1
27       XXXXX
24       2XXXXX
21       XXXXXXX 1 1XX
18       XXXXXXX2  X  XXX2
15       XXXXXXX1 1  X2XXXXX
12       XXXXXXXX2X  2 21  1 2XXXXXXX  2  1 1  2  1
9        YXXXXXXXXXX2 2 1X XXX1 X XXXXXXXXXXXX1 X1 XX X2X  X X X
6        1 1 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX1XXXXX2X1XXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX2X22XX  X 2
3        1 XXXXXXXXXXXXXXXXXYYYYXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX2XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX2X2X2X

SIGMA
CON.
TANTS 1 434391318408731786067141097593419495775972178906089659551622025223
.0
0
CHAN.
NOS 12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789 1234567890

```



## HESAPLAMA



Tim Berners-Lee ve world-wide web

Ferranti Mercury

Wim Klein

IBM 7090

CDC 6600

Siemens 7880

Cray X/MP-48

Bilgisayar Tarlaları ve GRID

V. Erkan Özcan - UCL

Dikkat! Gazlı algıç değil,  
bunlar vakum tübü.

# Fotoçoğaltıcı Tüp

Proceedings of the Institute of Radio Engineers  
Volume 23, Number 1 January, 1935

## THE SECONDARY EMISSION PHOTOTUBE\*

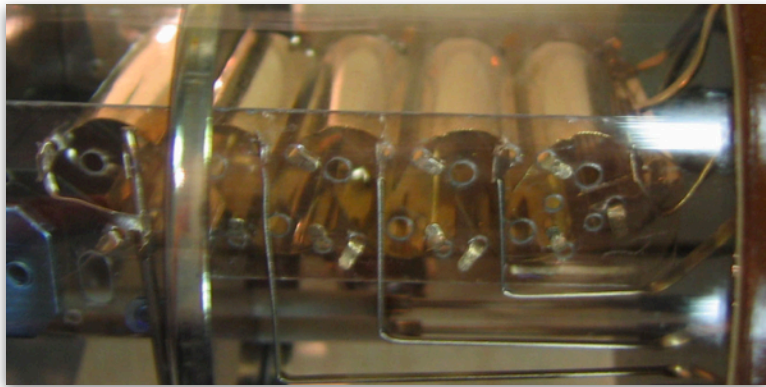
By

HARLEY IAMS AND BERNARD SALZBERG

(Research and Development Laboratory, R.C.A. Radiotron Company, Inc.,  
Harrison, New Jersey)

**Summary**—A type of phototube is described in which the secondary electron emission from an auxiliary cathode (bombarded by the photo-electrons) is utilized to obtain amplification of the primary photocurrent. Phenomena of secondary emission, particularly as applied to the vacuum phototube, are discussed. The operating performance of a typical experimental tube is presented and discussed.

The properties of the secondary emission phototube are such that it will probably find many commercial uses. The sensitivity may be six times that of a comparable vacuum phototube of conventional design, and at the higher audio frequencies is superior to a gas-filled phototube. While the interelectrode capacitance is somewhat higher in



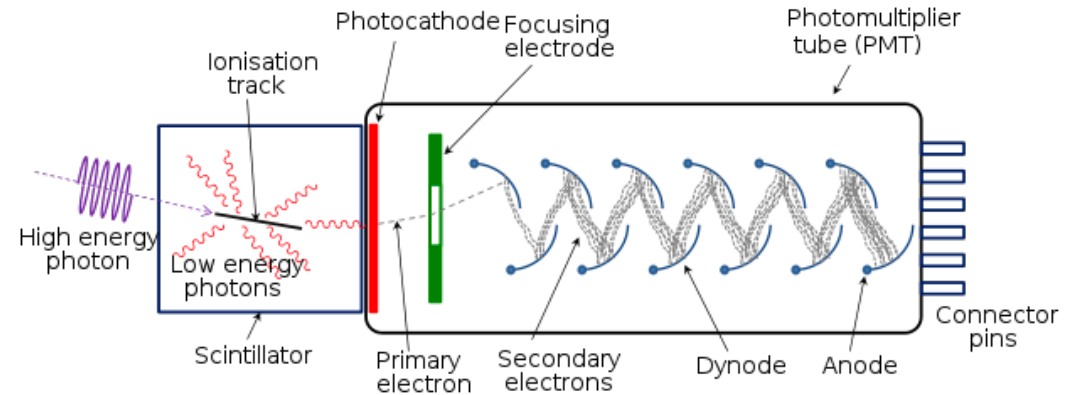
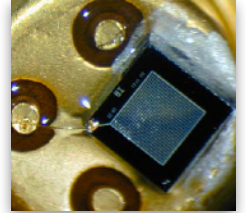
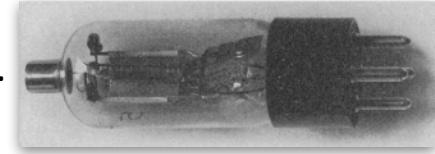
- 1934: Fotoelektrik etki ve ikincil salım (emisyon) süreçlerini bir araya getirmek.

- Hızlı çalışıyor > 10 kHz

- Tekrarlı yükseltmelerle  $10^8$  kata kadar elektrik sinyali güçlendirmek mümkün. (Bulut, köpük, AgBr vs. yok)

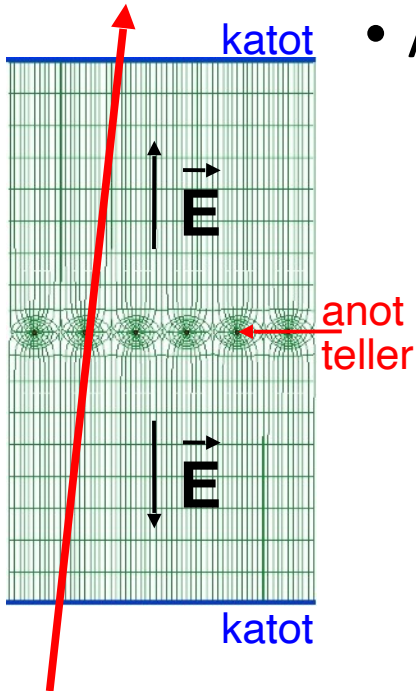
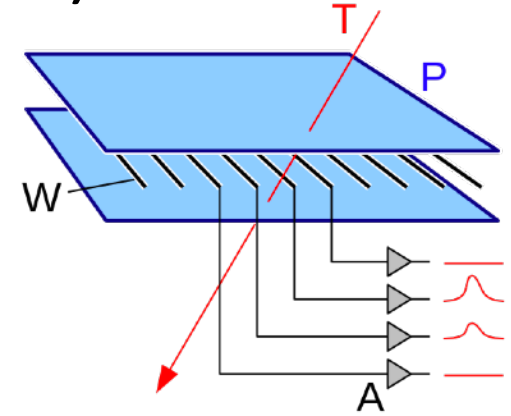
- Yakın zamanlarda: silisyum fotoçoğaltıcı (SiPM) gibi yarıiletken alternatifler piyasada.

- Ancak aynı sıcaklık şartların SiPM'lerin karanlık akımı genelde daha yüksek.

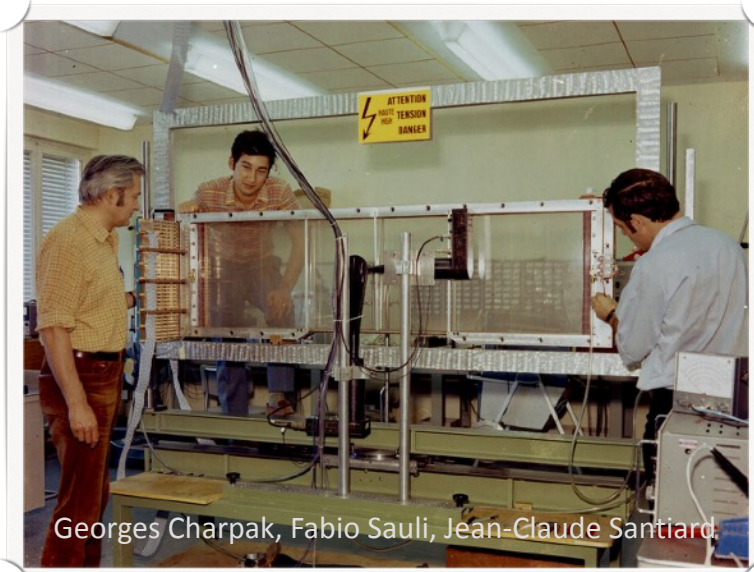


# Çok Telli Orantısal Oda (MWPC)

- 1968: Georges Charpak CERN'de telli oda.
- 1992 Nobel Fizik Ödülü



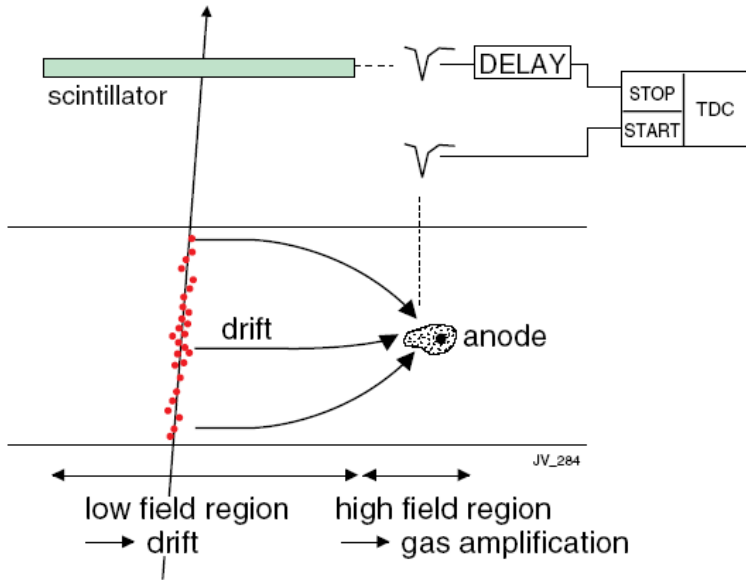
- Anot teller arası  $\sim 1\text{mm}$
- Çözünürlük:  $\sim 300\mu\text{m}$   
(nasıl hesaplanır?)
- Parçacık izleri için  
birden fazla ÇTOO.
- Tek boyutta ölçüm:  
ikinci koordinatı nasıl  
bulabiliriz?



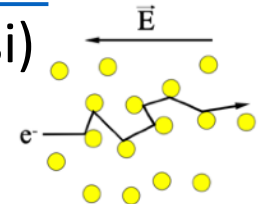
Georges Charpak, Fabio Sauli, Jean-Claude Santiard.

# Sürüklenme Odası

- Çok telli odanın çözünürlüğünü iyileştirmek için telleri birbirine yakınlaştırmak lazım.
  - Çok tel, çok maliyet. Yakın tel, yüksek elektrik kuvvetler.



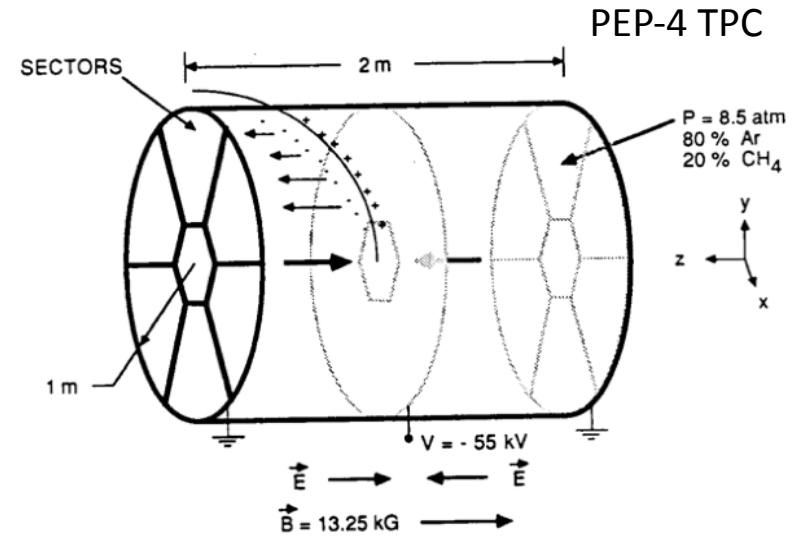
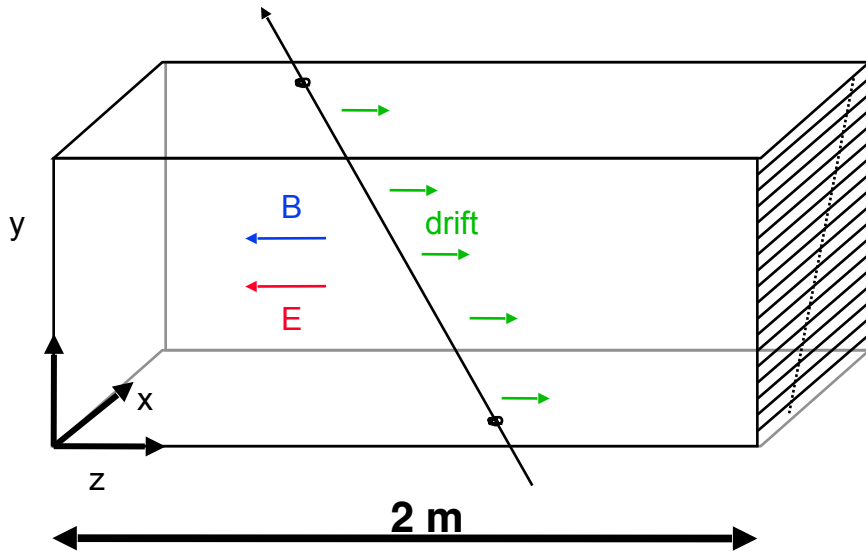
- 1970: Konum bilgisini elektronların sürüklenme süresini ölçerek çıkartsak?
  - Sürüklenme süresi: ilk iyonlaşma anından tele ulaşmaya (sinyal oluşması) kadar geçen zaman
  - İlk iyonlaşma anını nasıl bilebiliriz?
  - Elektronların sürüklenme hızını nasıl bilebiliriz? (5cm/ $\mu$ s mertebesi)



# Zaman İzdüşüm Odası

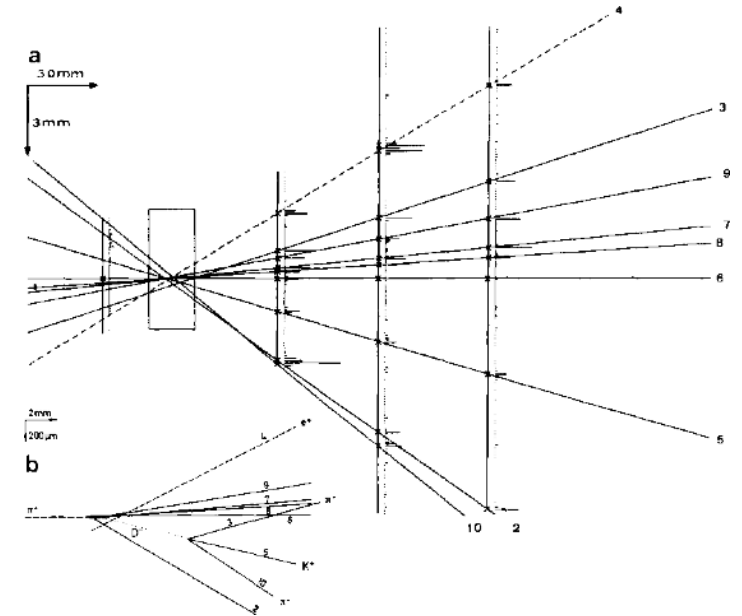
- 1974: David Nygren uzun sürüklenme sürelerinden yararlanarak 3 boyutlu ölçüm alan oda
  - Anot düzlemleri ÇTOO şeklinde. Homojen ve aynı yönde elektrik ve manyetik alanlar.

Gazlı algıçlar 80'lerden itibaren çok çeşitlendi. Tamamı tellerden oluşan sürüklenme odaları, geçiş ışması, dirençli plaka odası, mikroörüntü vs.



# Yarıiletken Algıçlar

- 1947: Shockley, Bardeen ve Brattain transistör (1956 Nobel)
  - Transistör ve diyotlar hızla yaygınlaşıyor
- Diyotlara ters gerilim uygulayıp, içinden geçen yüklü parçacığın oluşturduğu elektron-delik çiftleri ile akım oluşturmak.
- 1983: J. Kemmer, R. Klanner, G. Lutz ve arkadaşları (CERN NA11 deneyi): İlk kez fizik deneyinde kullanılan silisyum şerit algıç
  - NA11 kısa ömürlü parçacıkların araştırılması
  - $D_s$  mezonunun ilk gözlemi





# Yarıiletken Algıçlar

- Farklı uygulamalar için farklı yarıiletkenler ve geometriler.
  - Silisyum: Gazlı algıçların yerini alıyorlar
  - Elmas: Yüksek radyasyon dayanıklılığı
  - Kadmiyum tellürit ve kadmiyum çinko tellürit algıçlar
    - x-ışını ve gamma spektroskopisi
  - Germanyum: Spektroskopi. Genelde düşük sıcaklıklarda kullanılıyor.
    - Uzay çalışmaları
- Gelecek: Yarıiletken kalorimetreler



RHESSI uzay teleskobunda 75K ve 4kV altında kullanılan 9 hipersaf Ge dedektör (7.1cm çap x 8.5cm uzunluk).

# Karanlık Yıldırımlar

- Karasal gama parlamalarının sebebi ne olabilir?
  - Yıldırımlar ve fırtına bulutları ile beraber geliyorlar.
- Relativistik denetimsiz elektron çığı (relativistic runaway electron avalanche, RREA): 100keV'in üstünde enerjili elektronlar hızlandıkça daha kolay hızlanır oluyorlar.
  - Termal elektronlar 150eV'nin üstüne [taşınabilir mi](#)? Yıldırımlar elektronları oluşturabilir mi? [Kozmik ışınlar](#) çekirdek sağlayabilir?
- Böyle sıradışı olayların olabileceğini 60-70 yıl önceden öngören kim? **Wilson!**

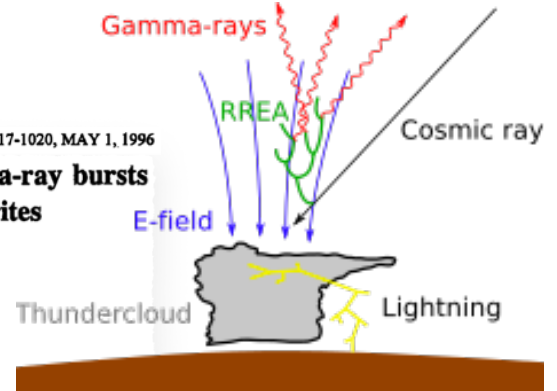
GEOFYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 23, NO. 9, PAGES 1017-1020, MAY 1, 1996

## On the association of terrestrial gamma-ray bursts with lightning and implications for sprites

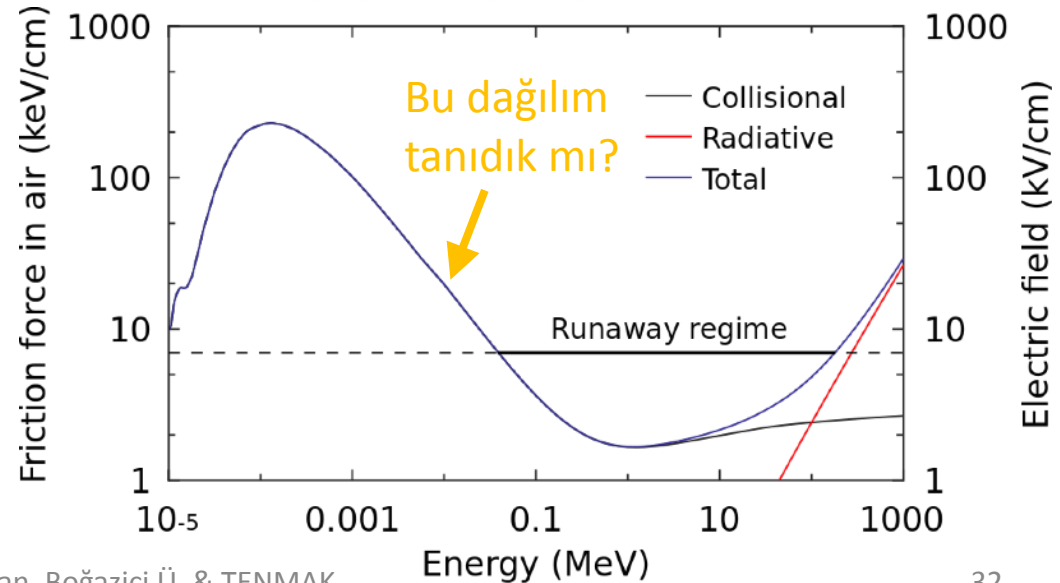
Umran S. Inan and Steven C. Reising  
STAR Laboratory, Stanford University, Stanford, California

Gerald J. Fishman and John M. Horack  
NASA Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama

**Abstract.** Measurements of ELF/VLF radio atmospherics (sferics) at Palmer Station, Antarctica, provide evidence of active thunderstorms near the inferred source regions of two different gamma-ray bursts of terrestrial origin [Fishman et al., 1994]. In one case, a relatively intense sferic oc-

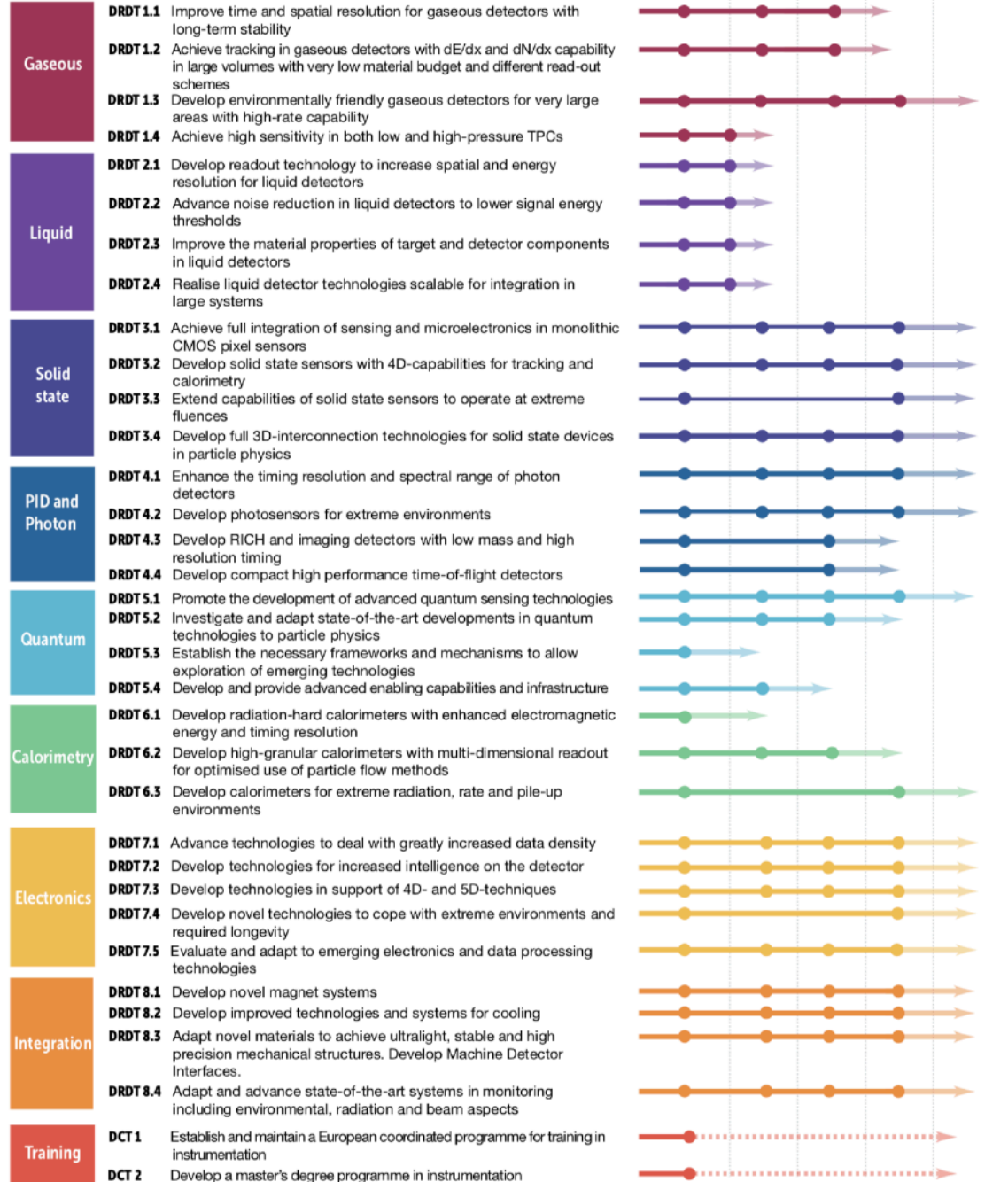


East-West (E/W arrival azimuth) using wideband sferics. Sferics are important for the earth-ionosphere



# Yarınlar

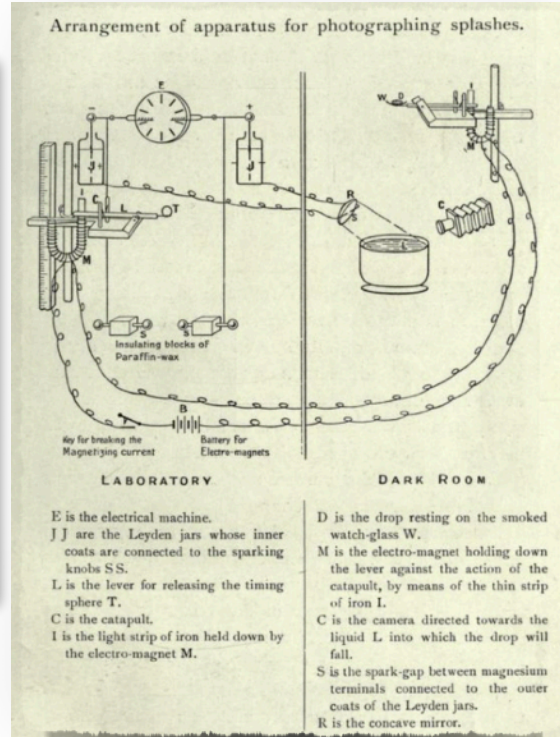
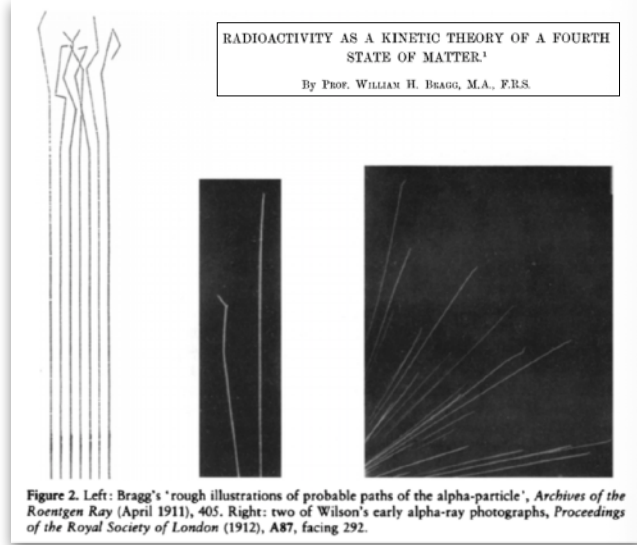
- Günümüz deneyleri birçok farklı teknoloji algıcın beraber kullanıldığı algıçlar
  - Keşifler her zamankinden de daha fazla işbirliği ile oluyor
- Parçacık algıçlarının tarihi yüz yılı aştı, 1,5 asıra ulaştıracak uluslararası stratejiler ile ilerleniyor. Siz de parçası olabilirsiniz!
  - ECFA algıç yol haritası: [cds.cern.ch/record/2784893/files/Synopsis%20of%20the%20ECFA%20Detector%20R&D%20Roadmap.pdf](https://cds.cern.ch/record/2784893/files/Synopsis%20of%20the%20ECFA%20Detector%20R&D%20Roadmap.pdf)



# Yedekler

# Görmek İkna Olmaktır

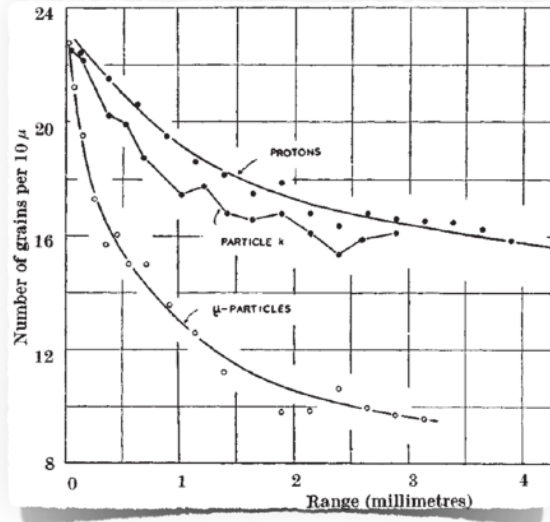
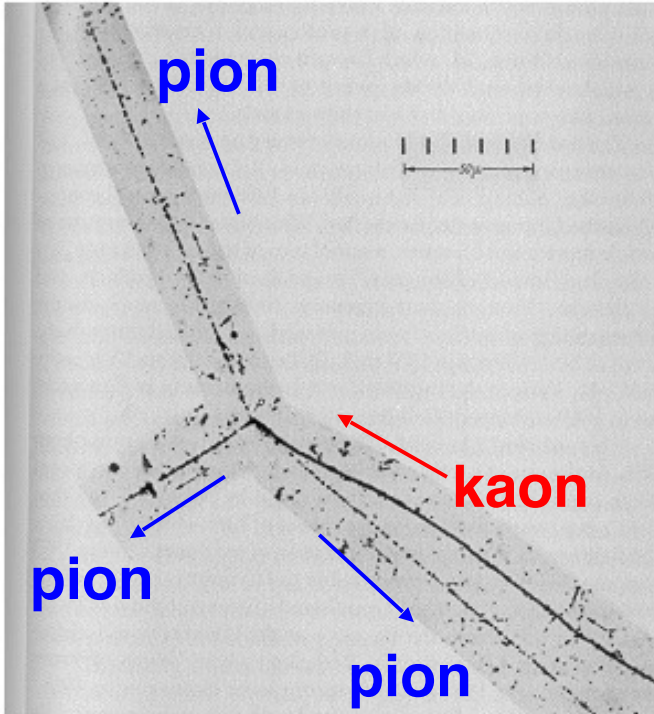
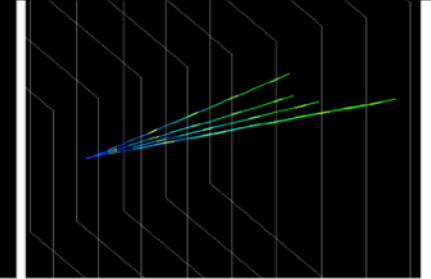
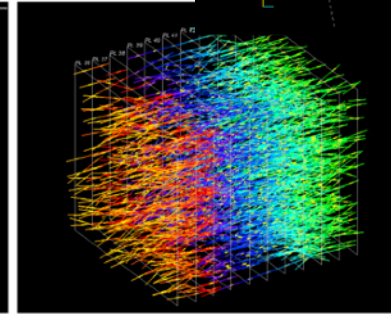
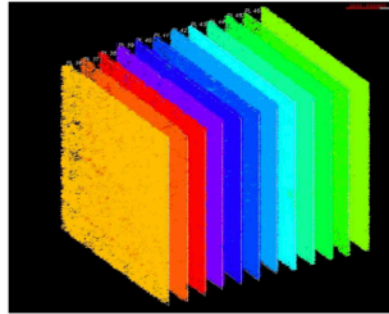
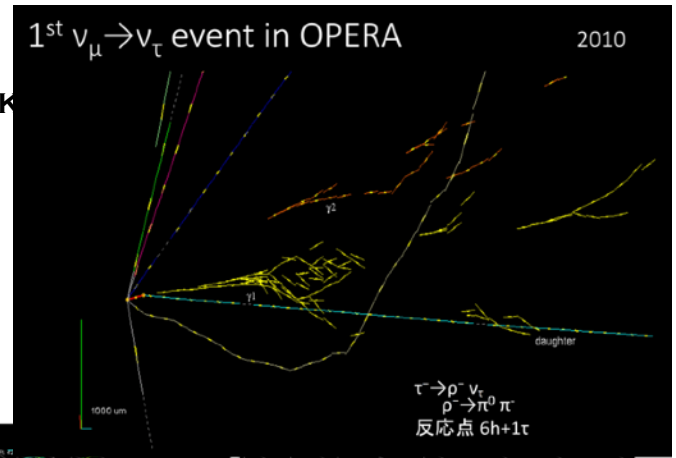
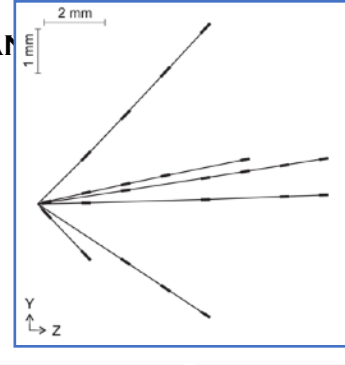
- Neden gözle görünce daha kolay ikna oluyoruz? Yüzyılın başında bulut odasının verdiği görüntülere nasıl güvendik?
- Çekirdekssel asıltı yöntemi neden başta aynı seviyede olmadı?



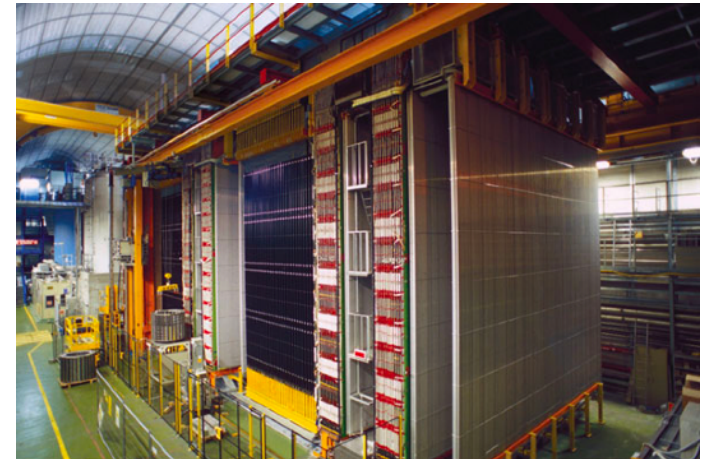
Bulut odasında x ışınları

# Çekirdeksel Asıltı Diğer Uygulamalar

- Kaonun keşfi (1947-49)
- OPERA  $\nu_\tau \rightarrow \nu_\mu$



OPERA Deneyi asıltı alanı 100 000 m<sup>2</sup>'den fazla

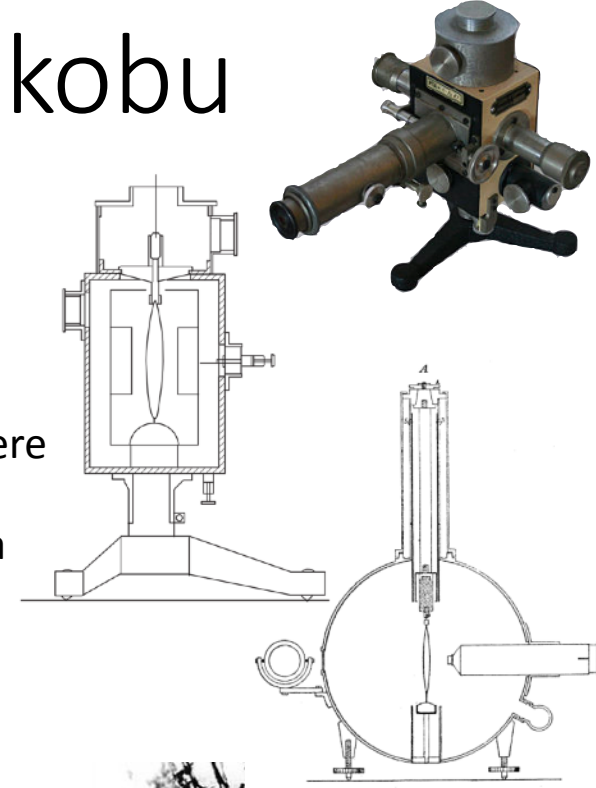
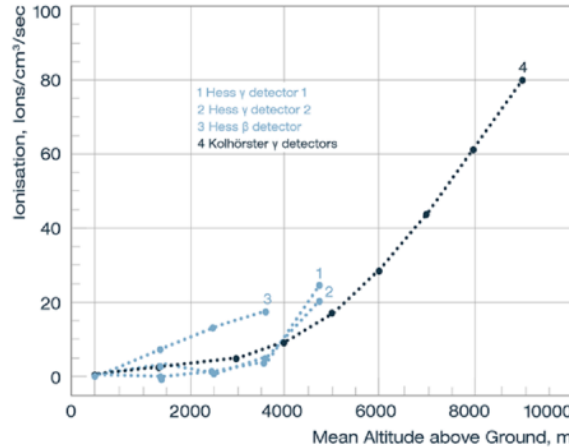


# Victor Hess ve Wulf Elektroskobu

- Elektrometre ile ölçüm:
  - Radyoaktivite havayı iyonize eder.
  - Yüklenmiş bir elektroskopta yük boşalması olur.
- Wulf elektroskobunda bir çift kuartz fiber alttan üçüncü bir kuartz fibere bağlı. Üçüncü fiber yay görevinde, yaydaki gerilimi ayarlayarak cihazın hassasiyeti ayarlanabiliyor. İki fiberin arasındaki mesafe cihazın yanına yerleştirilmiş ufak bir mikroskopa ölçülüyor.
  - Wulf Eiffel kulesinde ölçüm alıyor ve yüzeydeki radyasyona göre düşüş olmadığını fark ediyor.
- Victor Hess balonla yerden 5.3km'ye kadar yükseliyor. Radyasyon seviyesinin arttığını fark ediyor.

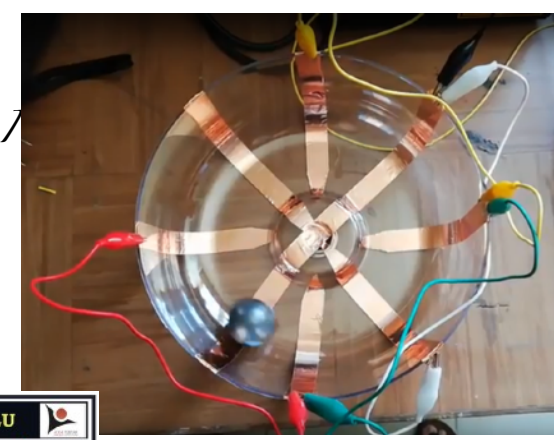


- Kozmik ışınların keşfi.
- 1936 Nobel Fizik Ödülü.



# LİDYEF

- Liseler için deneysel yüksek enerji fiziği yaz okulu. (Bu seviye için dünyada ilk.)
  - TÜBİTAK 4004 projesi.
  - Türkiye'den 30 seçilmiş öğrencinin ellerini sürerek öğrendikleri deneysel fizik okulu.
  - Bulut odası (gazlı dedektör), elektrostatik hızlandırıcı modeli, elektronik veri alımı, kozmik ışın gözlemi, ATLAS toroid mıknatıs modelinde manyetik alan ölçümleri
  - Yürütücü: S. Gürbüz (o sırada Boğaziçi doktora öğrencisi)



**LİSELER İÇİN DENEYSEL YÜKSEK ENERJİ FİZİĞİ YAZ OKULU**

Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü  
9-16 Eylül 2018

Ayrıntılı bilgi: [lidyef.com](http://lidyef.com)  
Başvuru Tarihleri: 4-22 Haziran 2018

\*Başvurular 11. ve 12. sınıf öğrencilerine açıktır.  
\*\*Yaz okulu konaklamalı olup, konaklama, yol ve işe masrafları karşılanacaktır.

Proje Ekibi:	Eğitmenler	Rehberler	İletişim:
Doç. Dr. Aytül Adıgüzel Salim Gürbüz, M.Sc. Prof. Dr. V. Erkan Özcan	Prof. Dr. Metin Arık Arif Bayraktar, M.Sc. Emre Çelebi, M.Sc. Prof. Dr. Serkan Çetin Ezgi Ergenlik Berare Göktürk	Aydın Özbey, M.Sc. Salim Oğur, M.Sc. Oğuz Koçer Ezgi Sunar Merve Şahinsoy, M.Sc. Hüseyin Yıldız, M.Sc. Alperen Yüncü, M.Sc.	Sema Bakioğlu Ali Osman Erol Salim Mert Kırpıncı Pınar Kütükçü İrem Nekay Ayşenur Özdemir Yeter Özmerinoğlu
			<a href="http://lidyef.com">lidyef.com</a> <a href="https://facebook.com/lidyef2018">facebook.com/lidyef2018</a> <a href="mailto:lidyef2018@gmail.com">lidyef2018@gmail.com</a> <a href="https://instagram.com/lidyef2018">instagram.com/lidyef2018</a> <a href="https://twitter.com/lidyef2018">twitter.com/lidyef2018</a>

Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü logosu ve diğer kurum logosu (CERN, Hızlandırıcı, Standart Model, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı, Ardılları, AMIC, Higgs, 3B Yazıcı) da görülmektedir.



Article

## Experimental high energy physics summer school for high schools

Authors: [S. Gürbüz](#), [A. Adıgüzel](#), [V.E. Özcan](#), [S.M. Kırpıncı](#), and [A. Yılmaz](#) | [AUTHORS INFO & AFFILIATIONS](#)

Publication: Canadian Journal of Physics • 10 October 2019 • <https://doi.org/10.1139/cjp-2018-0823>

