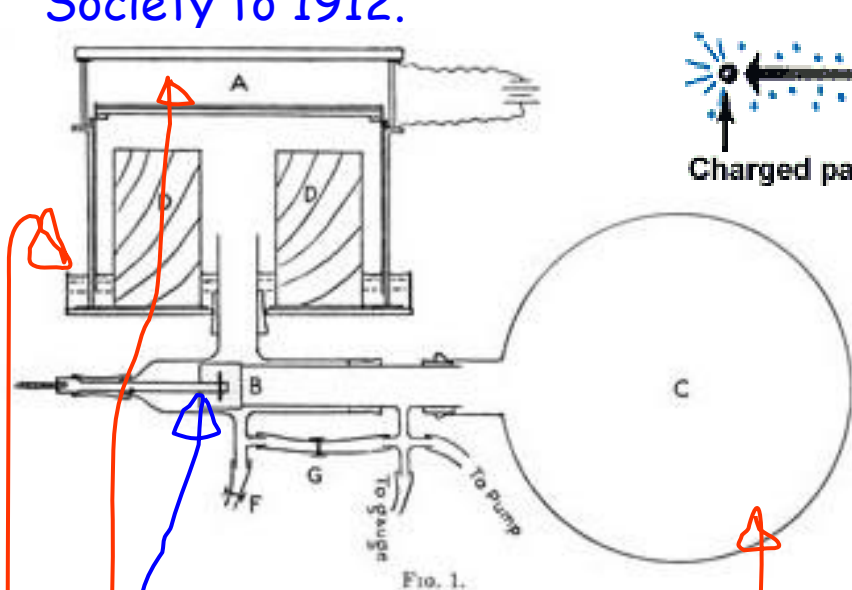


Θάλαμος Νεφών (Cloud Chamber)

- Ο C.T.R. Wilson περιέγραψε ένα καινούριο θάλαμο σε μια εργασία του στην Royal Society το 1912.



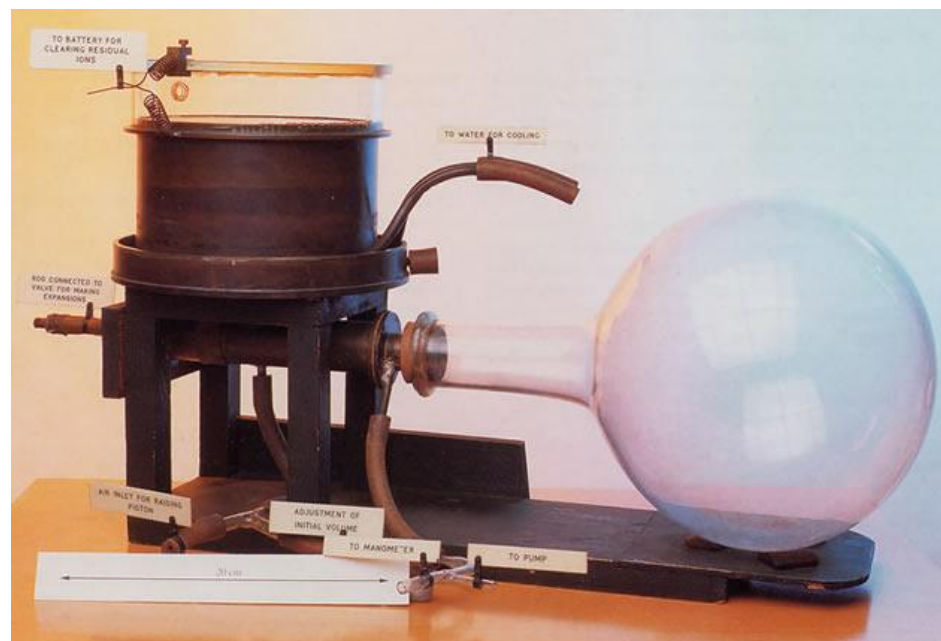
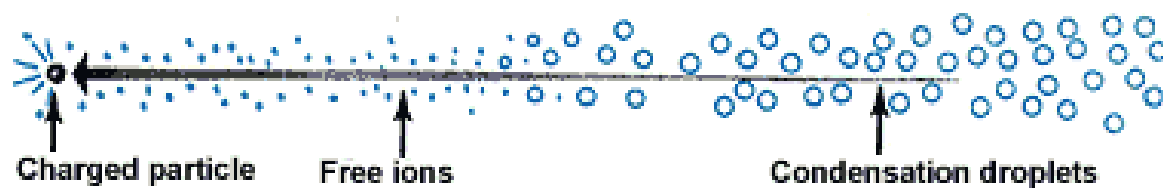
A diagram of Wilson's apparatus. The cylindrical cloud chamber ('A') is 16.5cm across by 3.4cm deep.

Το πάτωμα του θαλάμου είναι σταθερό στο πάνω μέρος ενός μπρούτζινου πιστονιού που μπορεί να κινηθεί ελεύθερα σ' ένα εξωτερικό κύλινδρο.

Ένα ρηχό “ταψάκι” με νερό κρατά τον αέρα κορεσμένο με μόρια νερού.

Θάλαμος κενού.

Μια βαλβίδα μπορεί να συνδέσει το θάλαμο κενού με αέρα κάτω από το πιστόνι.

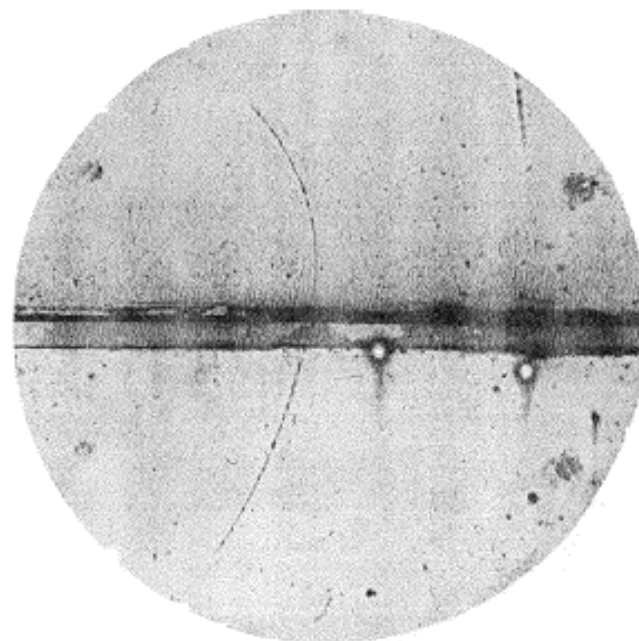
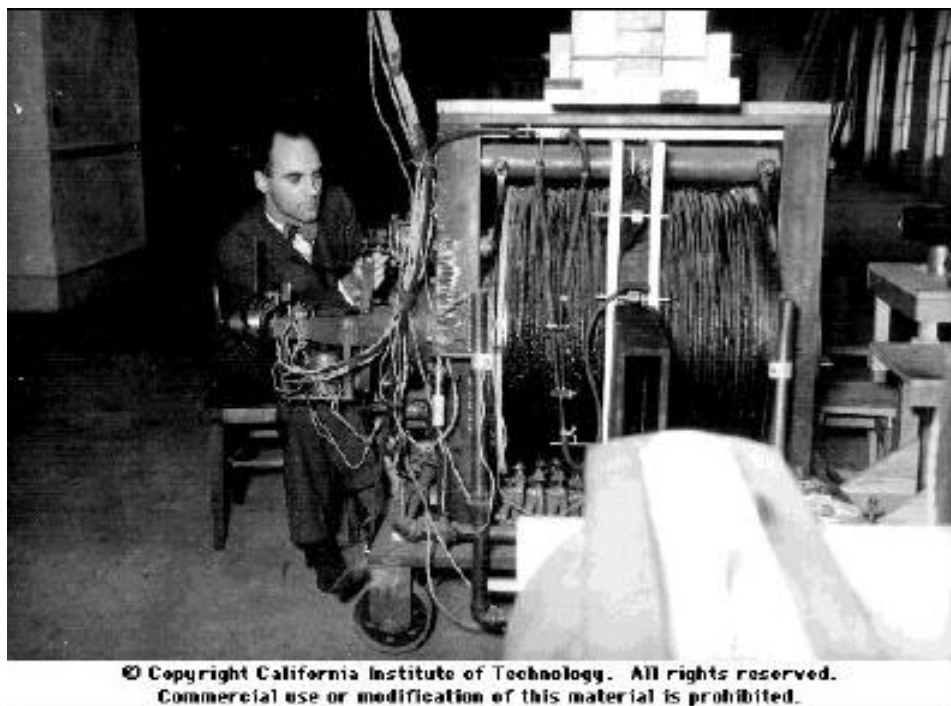
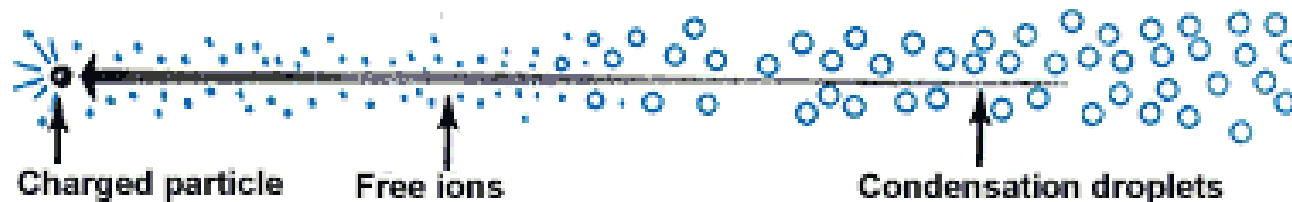


<http://www.phy.cam.ac.uk/camphy/index.htm>
and

<http://www.bizarrelabs.com/cloud2.htm>
Πως θα φτιάξετε ένα μόνοι σας

Θάλαμος Νεφών (Cloud Chamber)

- Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο διαπερνά αυτό το χώρο → έχουμε ιονισμό
- Τα ιόντα δημιουργούν μια κατάσταση που οδηγεί σε κορεσμό → κορεσμός δημιουργείται κατά μήκος της τροχιάς του σωματιδίου → η τροχιά του σωματιδίου αρχίζει να φαίνεται σαν μια αλυσίδα από σταγονίδια



Ανακάλυψη του e^+ από C. Anderson 1932

Φωτογραφικά Γαλακτώματα (Emulsion Chambers)

- Φορτισμένα σωματίδια όταν διαπερνούν φωτογραφικά γαλακτώματα αφήνουν ίχνη τα οποία φαίνονται όταν εμφανίζονται τα φωτογραφικά φιλμ.
- Ανακαλύφθηκε από C.F. Powell, 1939.

Discovery of $\pi \rightarrow \mu + \nu_{\mu}$ (C.F.Powell : 1947)

First observations of the decay of a π -meson



emulsion pellicle = bubble chamber like

no backing structure

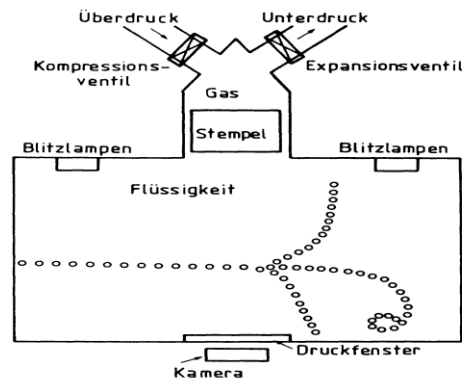
homogeneous active target



LAYTES, MUIRHEAD, OCCHIALINI
and POWELL: NATURE 159, 694 (1947).

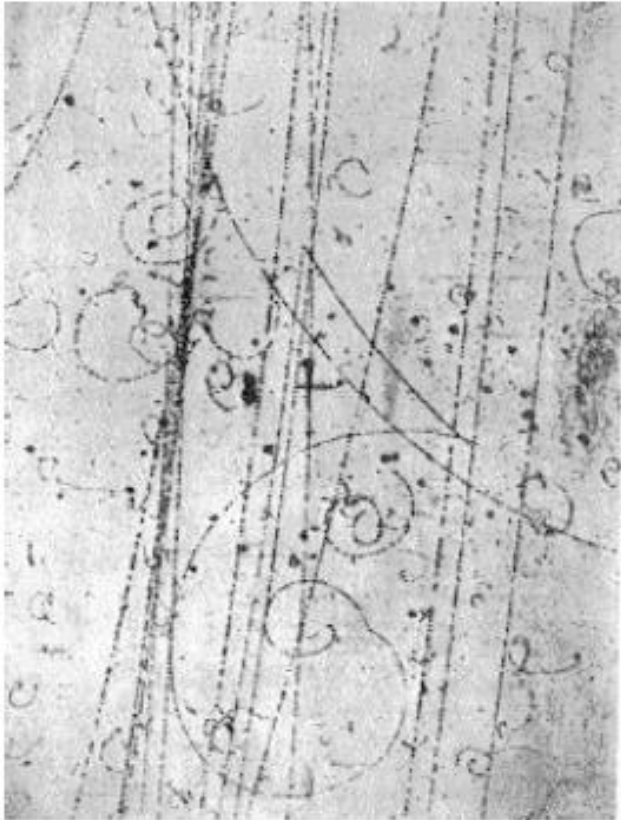
Bubble Chamber

- Ένας μεγάλος κύλινδρος γεμάτος με υγρό υδρογόνο σε θερμοκρασία πάνω από το κανονικό σημείο βρασμού βρίσκεται υπό πίεση περίπου 10 Atm με τη βοήθεια ένα μεγάλου πιστονιού.
- Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο περνάει μέσα από αυτό τον όγκο, το πιστόνι μετακινείται για να μειωθεί η πίεση, όποτε επιτρέπεται η δημιουργία φυσαλίδων κατά μήκος της τροχιάς του.
- Μετά από περίπου 3 ms αφού οι φυσαλίδες έχουν μεγαλώσει αρκετά, τότε φωτογραφίζεται το γεγονός με τη βοήθεια αυτόματης φωτογραφικής μηχανής με flash.
- Χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια φωτογραφικές μηχανές για μια απεικόνιση των τροχιών σε 3 διαστάσεις.
- Το πιστόνι επιστρέφει στην αρχική του θέση ώστε το υγρό υδρογόνο να τεθεί υπό πίεση και επομένως οι φυσαλίδες καταστρέφονται προτού δημιουργηθεί βρασμός.
- Ανακαλύφθηκε από τον *Glaser & Alvarez, 1952* όταν έπιναν μπύρα με τους φίλους τους.....

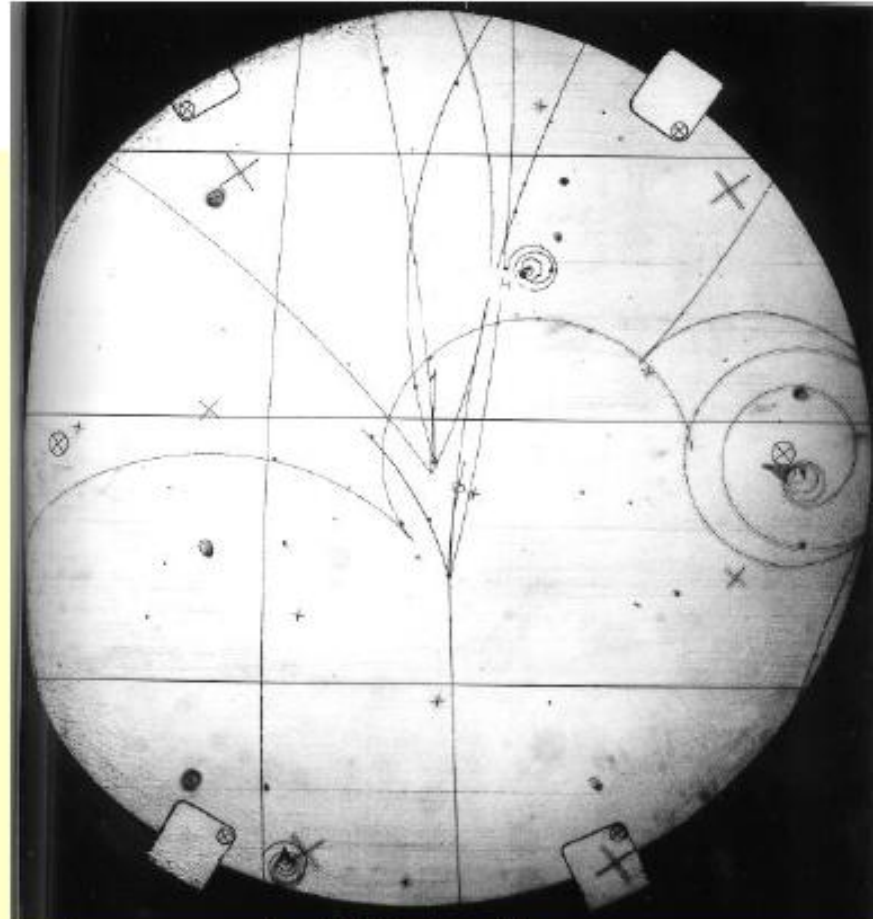
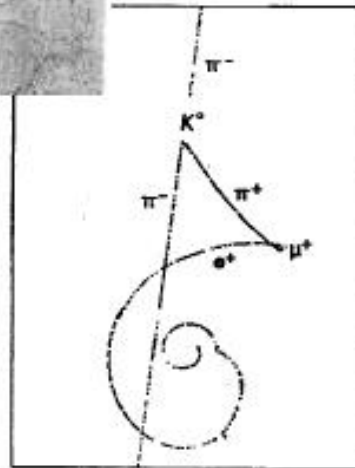


Bubble Chamber

- Kaon: discovered 1947; first called "V" particles



K^0 production and decay
in a bubble chamber



- $p\bar{p} \rightarrow p\bar{n} K^0 K^- \pi^+ \pi^- \pi^0$
- $n\bar{p} + p \rightarrow 3 \text{ pions}$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma, \gamma \rightarrow e^+ e^-$
- $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

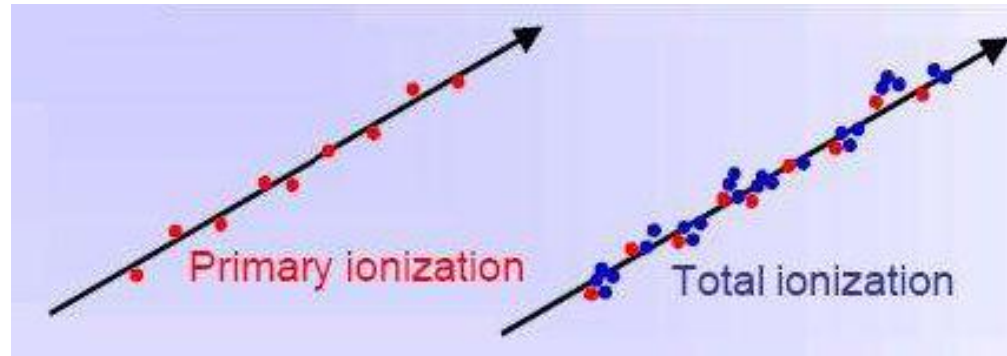
Ανιχνευτές Αερίου

- Φορτισμένα σωματίδια ιονίζουν τα άτομα του αερίου. Τα ηλεκτρόνια ιοντισμού ονομάζονται (αρχικά ηλεκτρόνια ιοντισμού-**primary ionization electrons**) δημιουργούν σμήνη και έχουν συνήθως αρκετή ενέργεια να προκαλέσουν περαιτέρω ιονισμό (total ionization)....
- Ο ολικός αριθμός των ιονισμένων ηλεκτρονίων περιγράφεται από τη σχέση:

$$n_{\text{total}} = \frac{\Delta E}{W} = \frac{\frac{dE}{dx} \Delta x}{W}$$

ολική απώλεια ενέργειας

μέση ενέργεια που απαιτείται να δημιουργηθεί ένα ζεύγος e-ion.



$w[\text{eV}]$ τιμές για τυπικά αέρια που χρησιμοποιούνται σε ανιχνευτές αερίου
Ar - 26, CO_2 - 33, CH_4 - 28 ...

Ανιχνευτές Αερίου

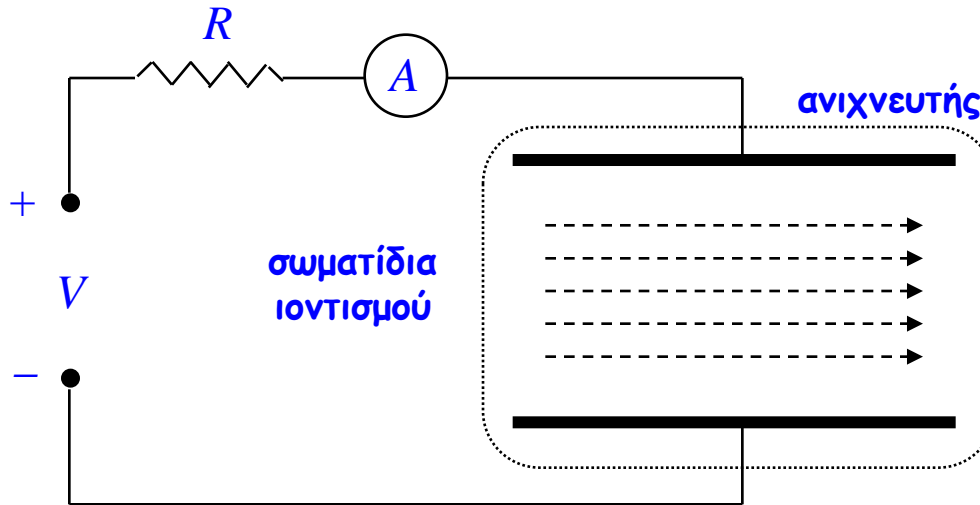
- **Primary electrons** → κατανομή Poisson. Αν n είναι ο μέσος αριθμός ηλεκτρονίων, τότε η πιθανότητα για να λάβουμε k -ηλεκτρόνια είναι:

$$P(k) = \frac{n^k}{k!} e^{-n}.$$

- **ανιχνευτική ικανότητα (detection efficiency)** → $\varepsilon = 1 - P(0) = 1 - e^{-n}$
- Πχ ένα MIP διατρέχει 1 mm υλικού αερίου Ar όπου το MIP εναποθέτει 2.44 keV/cm, για $n_p=3 \rightarrow \varepsilon = 1 - e^{-3} = 95\%$.
- Ο ολικός αριθμός των παραγόμενων ηλεκτρονίων n_{total} είναι $2440/26/10=9$ ηλεκτρόνια - αριθμός πολύ μικρός ακόμα και αν είχαμε πάχος υλικού 1 cm (~100 ηλεκτρόνια) → άρα χρειαζόμαστε **ενίσχυση** για να ανιχνευθεί το φορτισμένο σωματίδιο....

Ανιχνευτές Αερίου (γενικά χαρακτηριστικά)

Ανιχνευτής Ιοντισμού Παράλληλων-Οπλισμών
(Parallel-Plate Ionization Chamber)



Ρυθμός εναπόθεσης ενέργειας = dE/dt

Μέση ενέργεια ιοντισμού
ατόμου/μορίου αερίου $w \sim 30 \text{ eV}$

Μέτρηση του ιοντισμού όταν τα φορτισμένα σωματίδια ιονίζουν το αέριο του ανιχνευτή.

Ρεύμα = ρυθμός παραγόμενων ιόντων = $(dE/dt)/30 \text{ eV}$.

Πχ: $dE/dt = 1 \text{ GeV/s}$

Ρεύμα = $[10^9 (\text{eV s}^{-1}) \times 1.6 \times 10^{-19} (\text{C per ion})] / 30 (\text{eV per ion}) \approx 5 \times 10^{-12} \text{ A}$

⇒ μέτρηση επιτυγχάνεται με ένα ευαίσθητο ηλεκτρόμετρο.

Ανιχνευτές Αερίου (γενικά χαρακτηριστικά)

- Για ένα φορτισμένο σωματίδιο παραγόμενο φορτίο

$$Q = \# \text{ παραγόμενων ιόντων} \times \text{ηλεκτρονικό φορτίο}$$

$$\text{χωρητικότητα του ανιχνευτή} = C, \rightarrow \text{Επαγόμενη τάση } V = Q/C$$

- Πχ: 4.5 MeV α σωματίδια εναποθέτουν ενέργεια στον ανιχνευτή με χωρητικότητα $C=50$ pF και δημιουργείται σήμα μεγέθους:

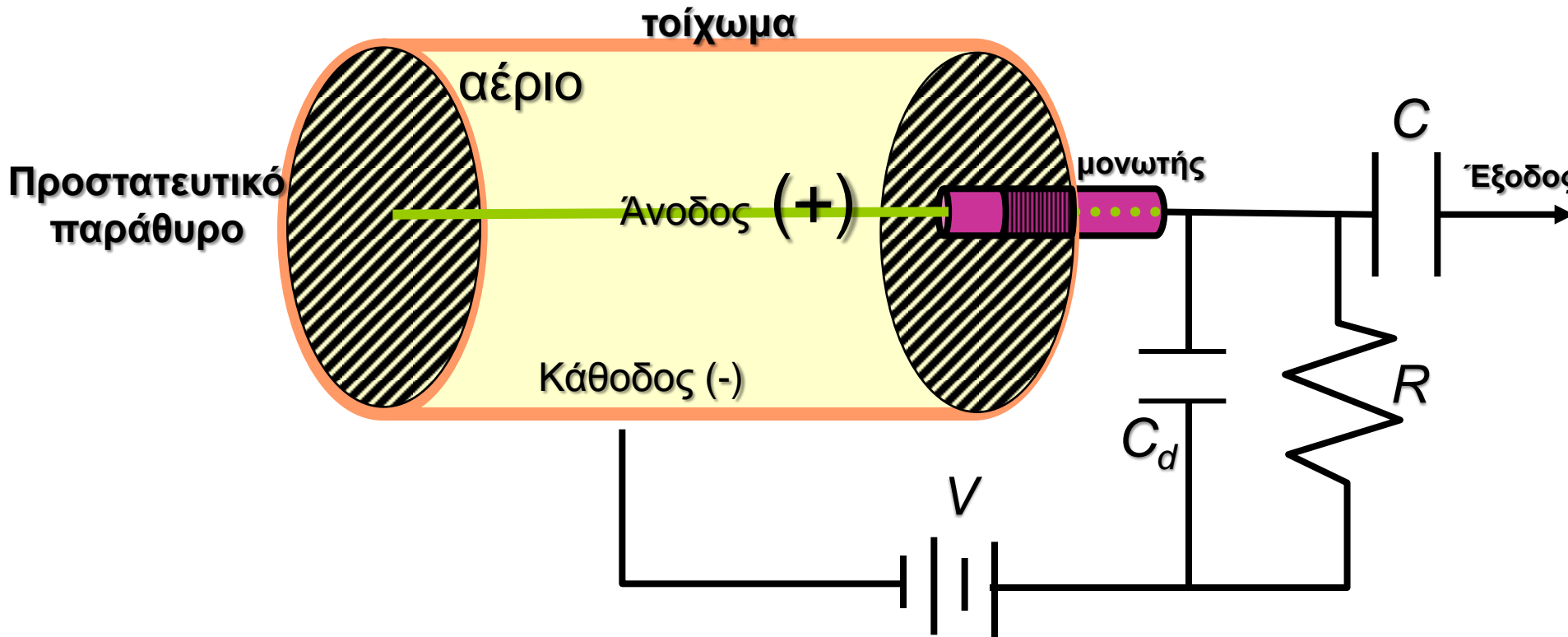
$$V = \frac{(4.5 \times 10^6 \text{ eV})}{30 \text{ eV}} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}{50 \times 10^{-12} \text{ F}} = 0.48 \text{ mV}$$

⇒ μικρή ποσότητα, αλλά μπορεί να ενισχυθεί με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού ενισχυτή.

III.1 Γενικά Χαρακτηριστικά (3)

Ένας ανιχνευτής αερίου αποτελείται:

- Δύο ηλεκτρόδια (Άνοδος & Κάθοδος).
- Αέριο χαμηλής πίεσης.
- Συνεχή τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων.
- Κύκλωμα εισόδου (αντίσταση φόρτου εισόδου R , πυκνωτής αποκοπής C).



Αν κάθοδος = κύλινδρος και άνοδος = αξονικό σύρμα, τότε θα έχουμε ένα αξονικό ηλεκτρικό πεδίο εντάσεως:

$$E(r) = \frac{V}{\ln r_2 / r_1} \frac{1}{r},$$

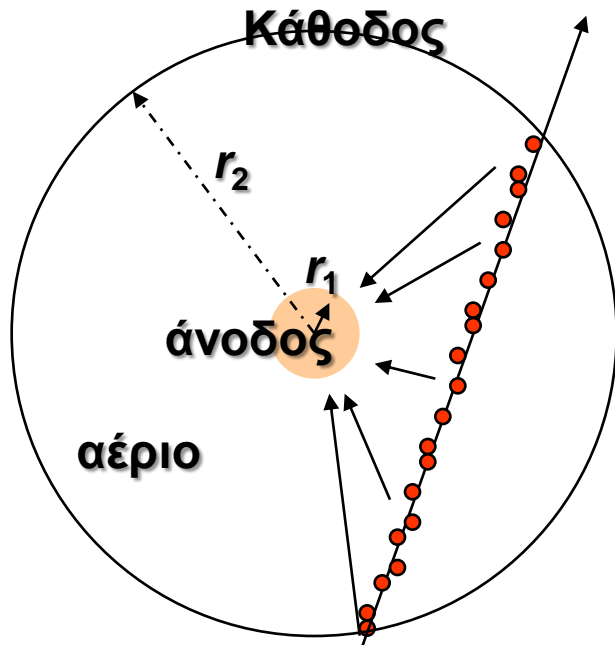
$$E(r) = V \frac{r_2 r_1}{r_2 - r_1} \frac{1}{r^2},$$

Για σφαιρικό ανιχνευτή

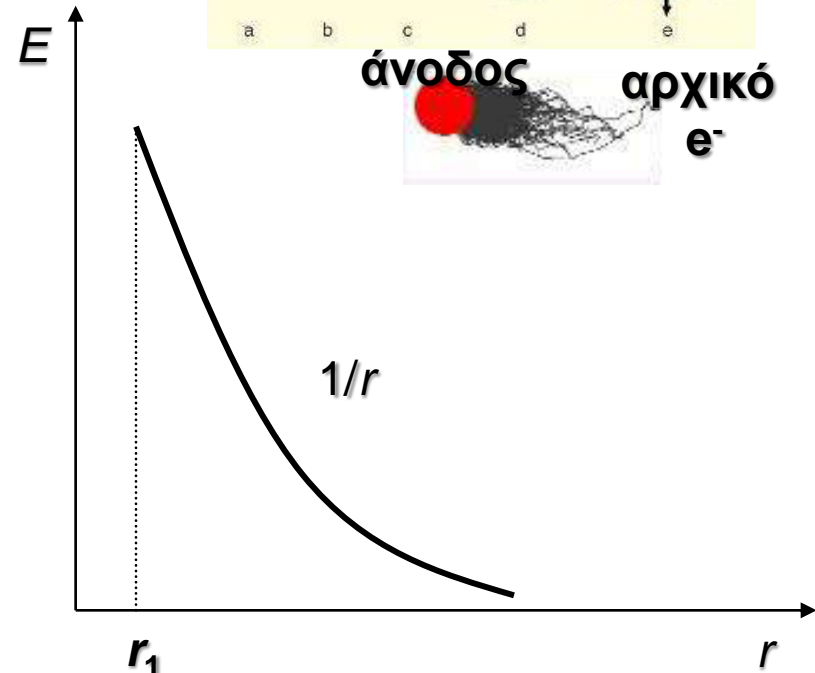
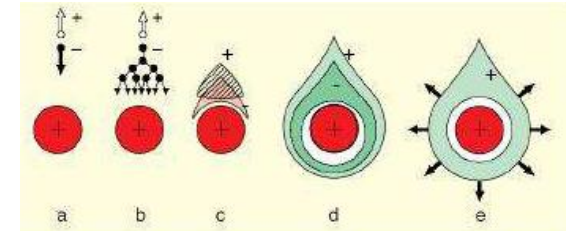
όπου V είναι η εφαρμοσμένη τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Έχουμε μεγάλες τιμές για μικρές τιμές του r !
 Το ύψος του παλμού εξόδου εξαρτάται:

- φύση της ακτινοβολίας (α,β,γ),
- μέγεθος διαφοράς δυναμικού ηλεκτροδίων.

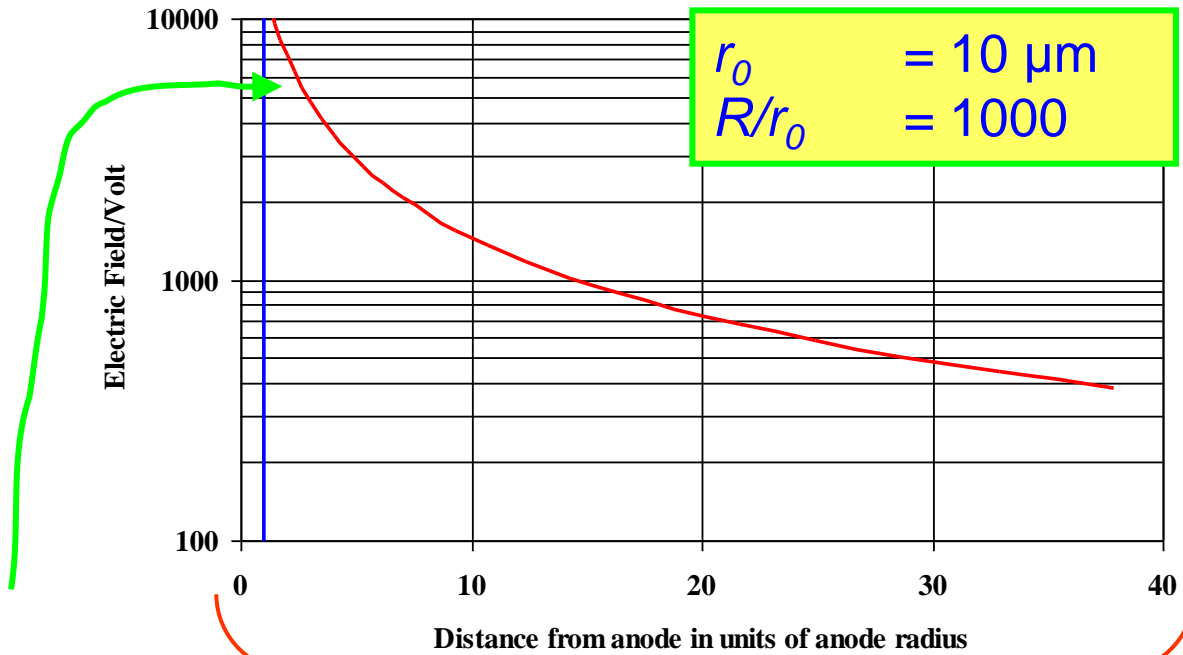
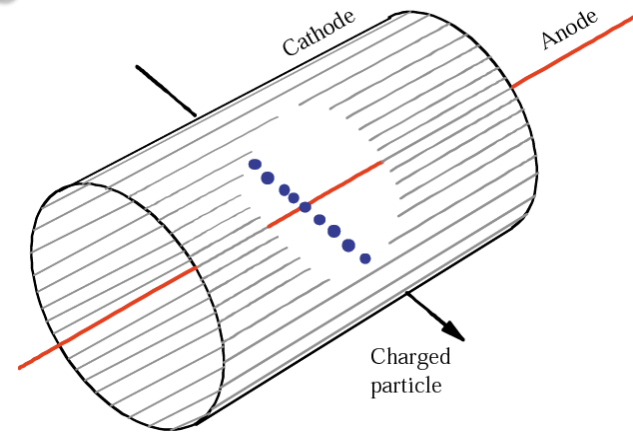


Φαινόμενο χιονοστιβάδας εμφανίζεται γύρω από το ηλεκτρόδιο



Ανιχνευτές Αερίου

- Κάθοδος: Μεταλλικός κύλινδρος ακτίνας R
- Άνοδος: σύρμα ακτίνας r_0



$$\frac{E}{V_0} = \frac{1}{r} \frac{1}{\ln\left(\frac{R}{r_0}\right)}$$

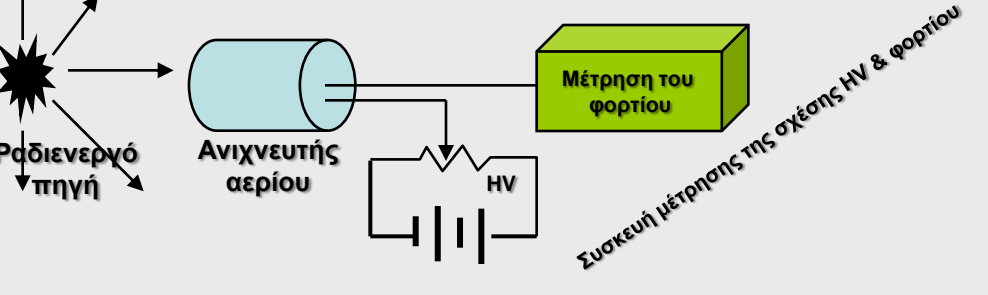
Τάση στα άκρα

Μεγάλες τιμές για μικρά r

$$\sigma(\text{ionization}) = f(E, \text{gas})$$

Gas amplification

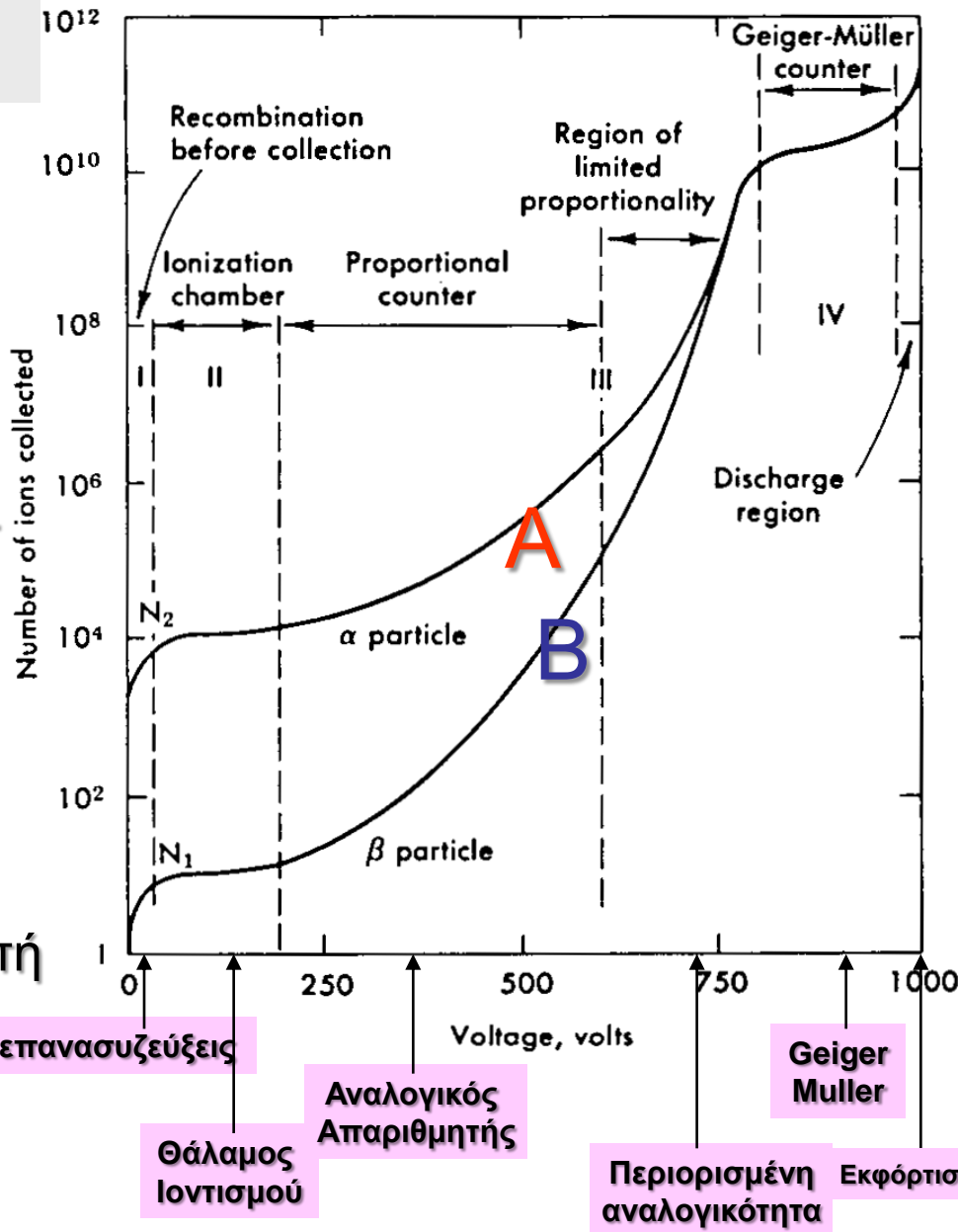
Σχέση Υψηλής Τάσης & Φορτίου Ανιχνευτών



• Οι συνθήκες λειτουργίας των ανιχνευτών αερίου μελετούνται με την εφαρμογή μεταβαλλόμενης τάσης V ανάμεσα στα δυο ηλεκτρόδια.

• Η διέλευση της ακτινοβολίας παράγει N αριθμό ιόντων στον ανιχνευτή αερίου. Ο αριθμός ηλεκτρονίων που φτάνουν τελικά στην άνοδο είναι συνάρτηση της τάσης. Π.χ. Διαγράμματα A & B για διαφορετικές ακτινοβολίες με διαφορετικό ιοντισμό ($N_A > N_B$).

• Ύψος παλμού στην έξοδο του ανιχνευτή ανάλογη της τάσης στα ηλεκτρόδια. Ο παλμός εξόδου οφείλεται στην φόρτιση του πυκνωτή C_d με τα φορτία που απελευθερώνονται στο θάλαμο.



Πεδίο → Ιονισμός

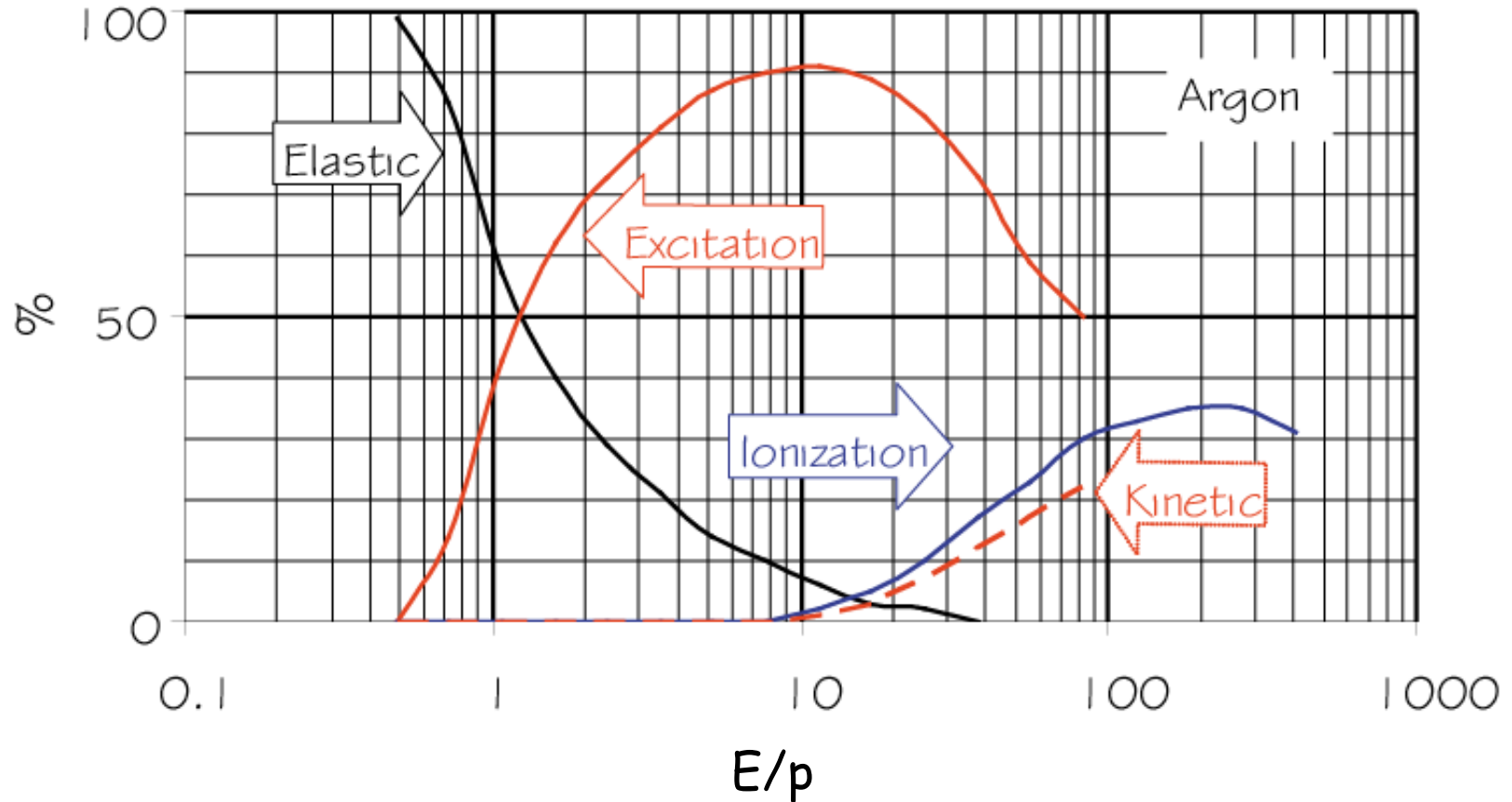
Οι καμπύλες δείχνουν το ποσοστό της ενέργειας των ηλεκτρονίων που μοιράζεται σε διάφορα φαινόμενα ως συνάρτηση E/p (V/cm/mmHg)

Elastic: ενέργεια χάνεται σε ελαστικές κρούσεις

Excitation: "excitation" ηλεκτρονίων → εκπομπή φωτός & μετασταθείς καταστάσεις.

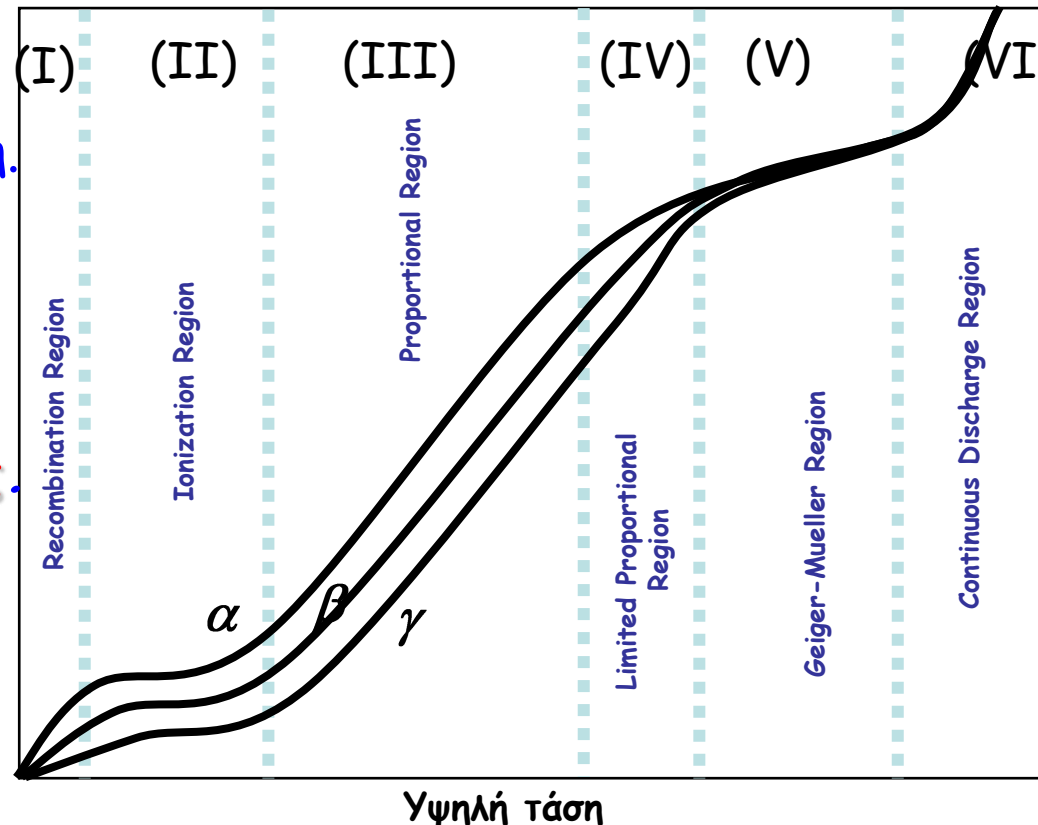
Ionization: ιονισμός από απευθείας κρούσεις (direct impact)

Kinetic: Μέση κινητική ενέργεια / Θερμοκρασία



Σχέση Υψηλής Τάσης & Φορτίου Ανιχνευτών

- Περιοχή I: Επανασυζεύξεις των ιόντων πριν τη συλλογή. **Ασθενές σήμα**
- Περιοχή II: Συλλογή όλων των αρχικών ιόντων (κόρος), το ύψος παλμού εξαρτάται από τη φύση και κινητική ενέργεια σωματιδίου. **Θαλάμος ιοντισμού.**
- Περιοχή III: Φαινόμενο του **πολλαπλού ιοντισμού** → δευτερογενή ιόντα δημιουργούνται από τα αρχικά ιόντα με συντελεστή πολλ/σμού που είναι ανάλογος της τάσης που εφαρμόζεται. **Αναλογικός ανιχνευτής.**
- Περιοχή IV: Ιδιαίτερα ισχυρός ο δευτερογενής ιοντισμός ώστε το ύψος του παλμού ανεξάρτητο του σωματιδίου, της κινητικής ενέργειας, κλπ. Το τελικό φορτίο αυξάνεται με την τάση. **Περιορισμένη αναλογικότητα.**
- Περιοχή V: Το τελικό φορτίο που συλλέγεται είναι ανεξάρτητο του αρχικού ιοντισμού και της τάσης. **Εμφάνιση φαινομένου χιονοστιβάδας. Geiger-Muller.**
- Περιοχή VI: **Συνεχής εκφόρτηση.**



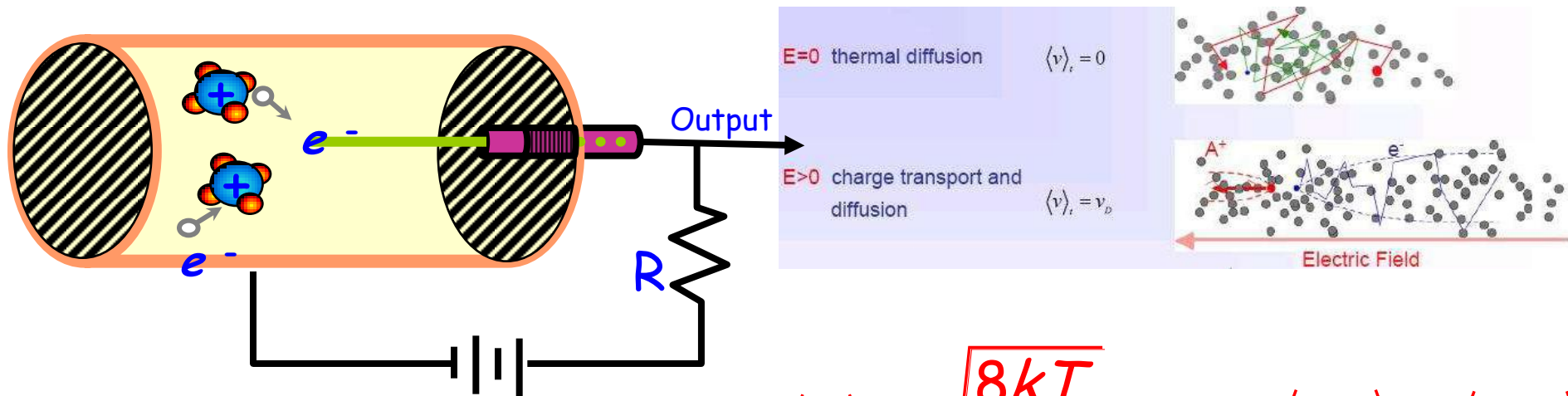
Διάχυση Ηλεκτρονίων (Diffusion)

- Χωρίς Ηλεκτρικό Πεδίο: Τα παραγόμενα ηλεκτρόνια και ιόντα διαχέονται ομογενώς και ακτινικά από το σημείο δημιουργίας τους.

Πολλαπλές σκεδάσεις με μόρια αερίου

Απώλεια Ενέργειας

Θερμική Ισορροπία - Επανάσυνδεση



Ταχύτητα ιόντων (κατανομή Maxwell)

$$\langle u \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \Rightarrow \langle u_{el} \rangle > \langle u_{ion} \rangle$$

$$T = 290^\circ \text{ K}: \langle u_{el} \rangle \sim 10^6 \text{ cm/s}, \langle u_{ion} \rangle \sim 10^4 \text{ cm/s}$$

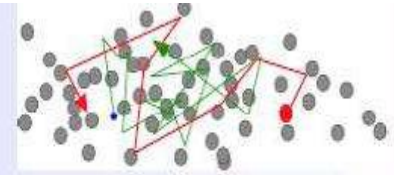
Διάχυση Ηλεκτρονίων (Diffusion)

Γραμμική κατανομή φορτίων μετά από διάχυση σε χρόνο t :

$$\frac{dN}{dx} = \frac{N_0}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-x^2/4Dt}$$

$E=0$ thermal diffusion

$$\langle v \rangle_t = 0$$



N_0 : ολικός αριθμός φορτίων, x : απόσταση από σημείο δημιουργίας φορτίου

D : συντελεστής ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Τυπική απόκλιση
της κατανομής:

$$\sigma(x) = \sqrt{2Dt}, \text{ ή } \sigma(r) = \sqrt{6Dt} \text{ σε 3-D}$$

$$\sigma(r) = 1 \text{ mm στον αέρα Υ.Κ.Σ.}$$

$$D = \frac{1}{3} v \lambda, \quad \lambda = \text{μέση ελεύθερη διάδρομη ηλεκτρονίου}$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{kT}{\sigma_0 P}, \quad P = \text{πίεση αερίου}, \quad T = \text{θερμοκρασία},$$

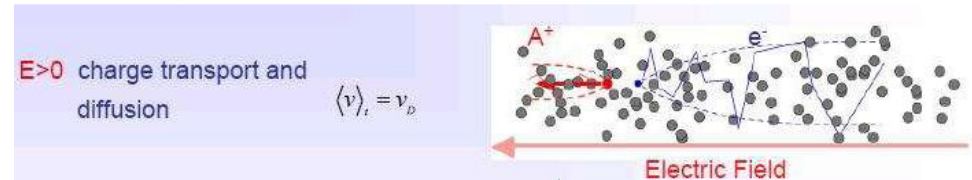
σ_0 = ολική ενεργός διατομή σύγκρουσης με ένα μόριο αερίου

Τελικά:

$$D = \frac{2}{3\sqrt{\pi}} \frac{1}{\rho \sigma_0} \sqrt{\frac{kT^3}{m}}$$

Διάχυση Ηλεκτρονίων (Diffusion)

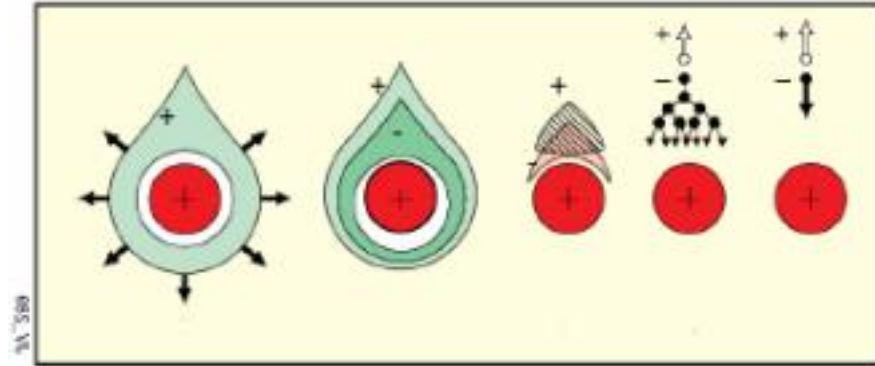
- Με Ηλεκτρικό Πεδίο: Τα παραγόμενα ηλεκτρόνια και ιόντα επιταχύνονται κατά μήκος των δυναμικών γραμμών προς άνοδο και κάθοδο.
- Συγκρούσεις φορτίων με μόρια αερίου καθορίζουν το όριο μέσης μέγιστης ταχύτητας φορτίων = ταχύτητα ολίσθησης.



- Από την κινητική θεωρία, η κινητικότητα ενός φορτίου είναι $\mu = u/E$, όπου u = ταχύτητα ολίσθησης, E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου.
- Για θετικά ιόντα $u \sim E/P$, P = πίεση αερίου.
- Για ιδανικά αέρια: $D/\mu = kT/e$ (σχέση Διάχυσης-κινητικότητας, σχέση Einstein)
- Ισχύει: $\mu_{el} \gg \mu_{ion}$

Φαινόμενο Χιονοστιβάδας

- Πρωτογενής ιοντισμός επιταχύνεται
- Ιοντίζει μόρια αερίου
- Δευτερογενής ιοντισμός επιταχύνεται
- Ιοντίζει μόρια αερίου, κ.ο.κ.
- Φαινόμενο χιονοστιβάδας



Σχηματισμός **υγής-σταγόνας** λόγω μεγαλύτερης κινητικότητας των ηλεκτρονίων.

Αν α = Μέση ελεύθερη διαδρομή ηλεκτρονίων για δευτερογενή κρούση ιοντισμού, $1/\alpha$ = πιθανότητα ενός ιοντισμού ανά μονάδα μήκους, 1^{ος} συντελεστής **Townsend**, τότε ο αριθμός των παραγόμενων ηλεκτρονίων dn σε μήκος dx

$$dn = n\alpha dx \Rightarrow n = n_0 e^{\alpha x} \Rightarrow M = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha x}$$

παράγοντας πολλαπλασιασμού - Ενίσχυση αερίου (Gas Gain)

Φαινόμενο Χιονοστιβάδας

- Σε μη ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, όπως σε κυλινδρικό ή σφαιρικό ανιχνευτή τότε ο 1ος συντελεστής Townsend $\alpha = \alpha(x)$ (είναι συνάρτηση του x) και θα ισχύει:

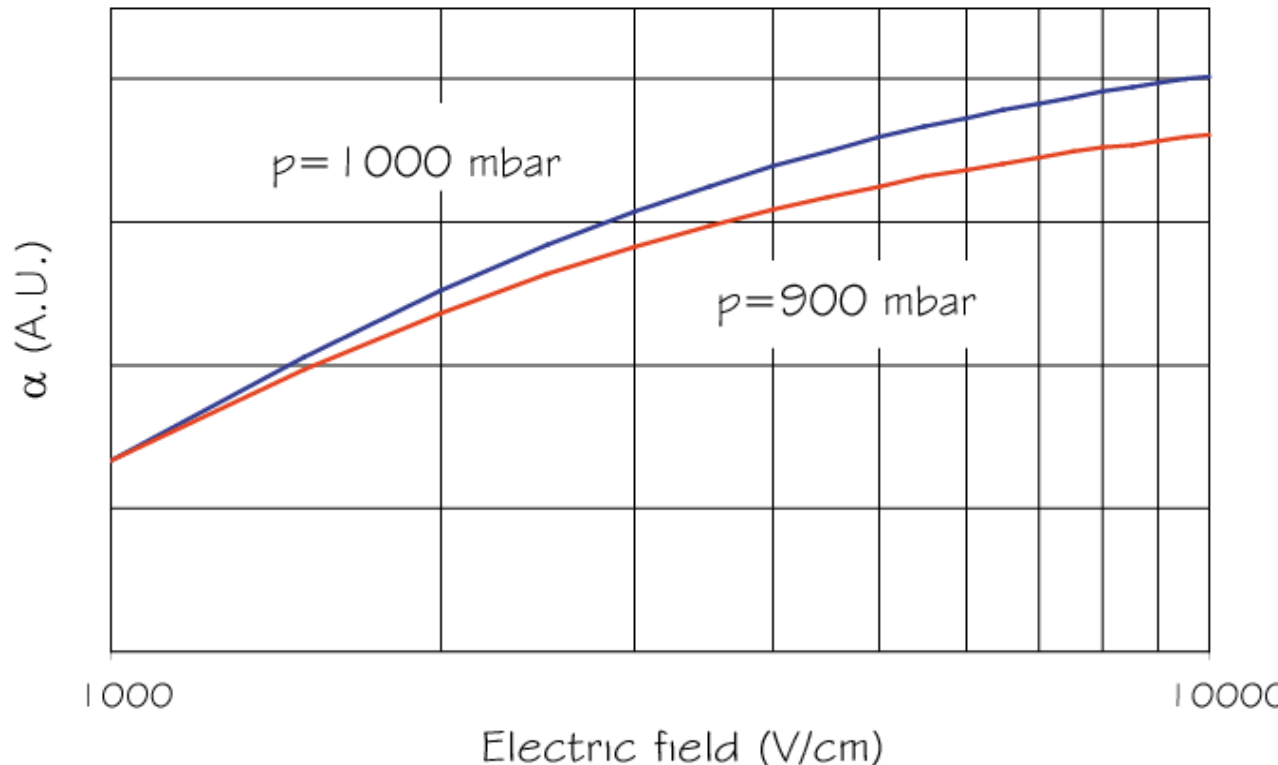
$$M = e^{\int_{r_1}^{r_2} \alpha(x) dx}$$

Ο M αυξάνει εκθετικά αλλά υπάρχει ένα φυσικό όριο $M < 10^6$ ή $\alpha x < 20$ πέραν των ορίων έχουμε εκκένωση - όριο Raether

Korff's approximation:

$$\alpha = p \times A e^{-\frac{Bp}{E}}$$

A & B σταθερές που εξαρτώνται από το αέριο & p η πίεση.



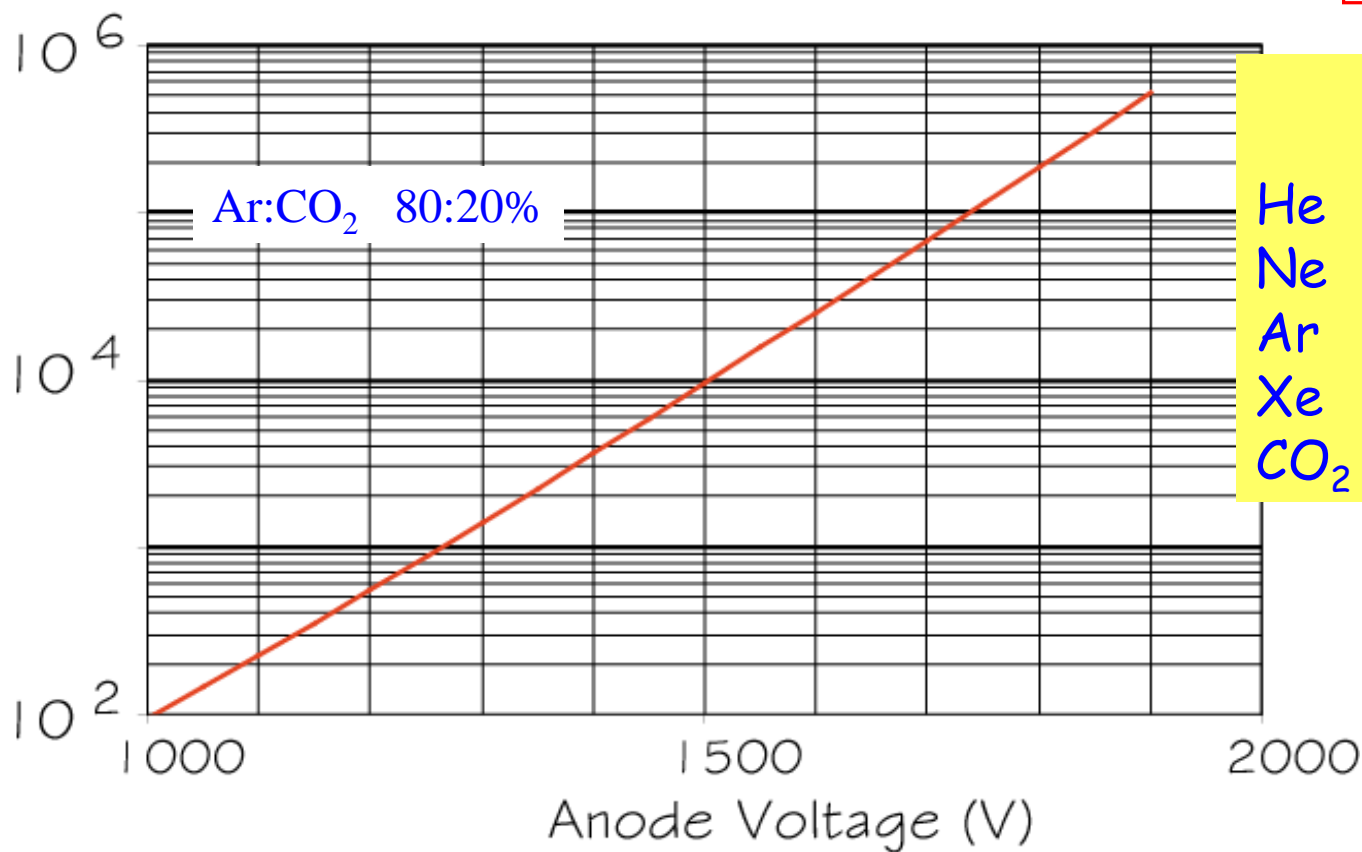
Ενίσχυση του αερίου

$$\frac{E}{V_0} = \frac{1}{r} \frac{1}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

$$M = e^{\int_{r_1}^{r_2} a(r) dr}$$

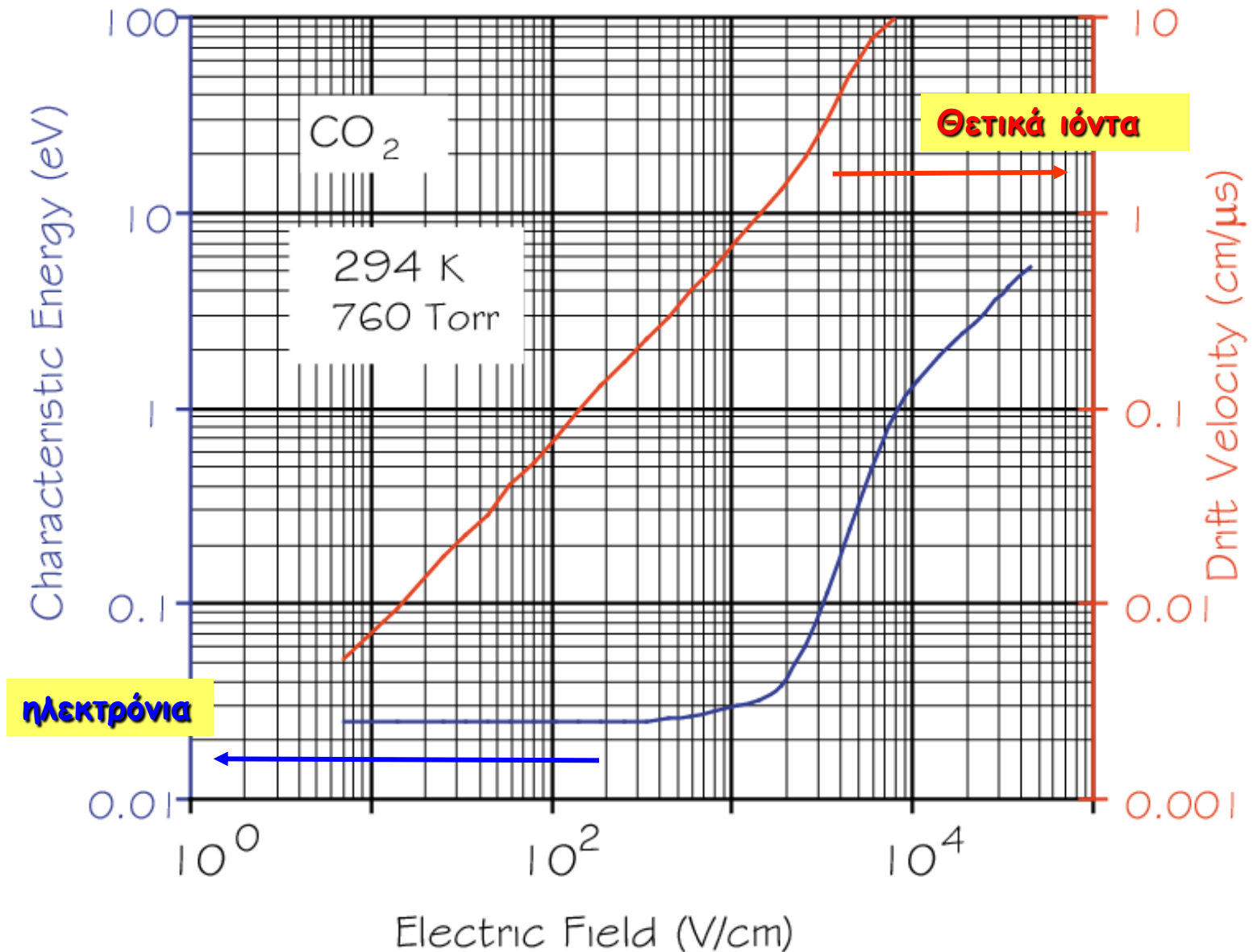
$$\Rightarrow M = \exp\left[\frac{A}{B} \frac{V_0}{\ln\frac{R}{r_0}} e^{-\frac{Bpr_0 \ln\frac{R}{r_0}}{V_0}}\right]$$

$$\left[\frac{A}{B} \frac{V_0}{\ln\frac{R}{r_0}} e^{-\frac{Bpr_0 \ln\frac{R}{r_0}}{V_0}} \right]$$



	<i>A</i> Torr/cm	<i>B</i> V/Torr/cm
He	3	34
Ne	4	100
Ar	14	180
Xe	26	350
CO ₂	20	466

Drift electrons



Θετικά Ιόντα

Η "drift velocity" των θετικών ιόντων υπό την επιρροή του ηλεκτρικού πεδίου είναι γραμμική μέχρι μεγάλες τιμές του πεδίου

$$v^{+ions} = \mu^{+ions} \times E \text{ όπου } \mu^+ \propto 1/p \text{ και diffusion } D^{+ions} \propto T \times \mu^{+ions}$$

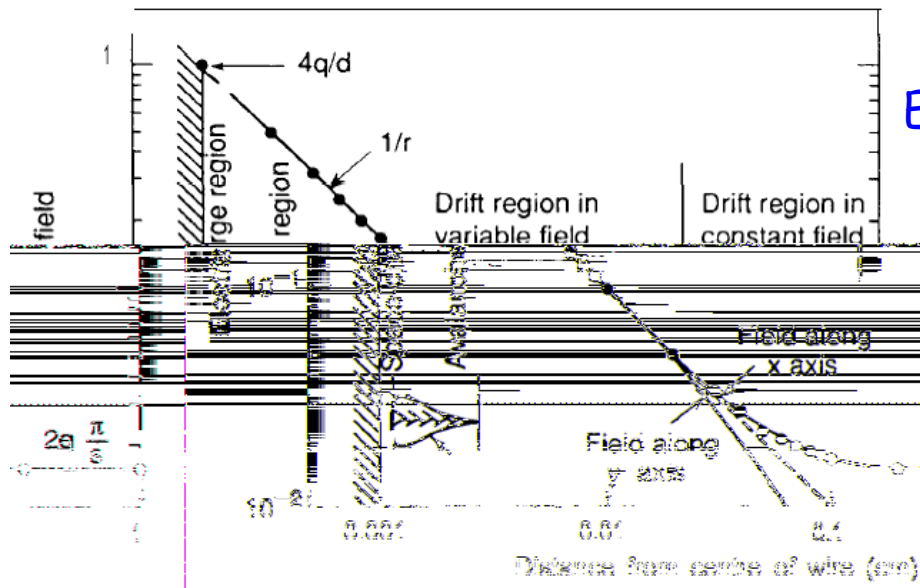
	Ions	Mobility cm ² /V/sec
Ar	iC ₄ H ₁₀ ⁺	1.56
Ar	CH ₄ ⁺	1.87
Ar	CO ₂ ⁺	1.72
iC ₄ H ₁₀	iC ₄ H ₁₀ ⁺	0.61
CH ₄	CH ₄ ⁺	2.26
CO ₂	CO ₂ ⁺	1.09

$$\frac{v_{electron}}{v_{ion}} \approx 10^3$$

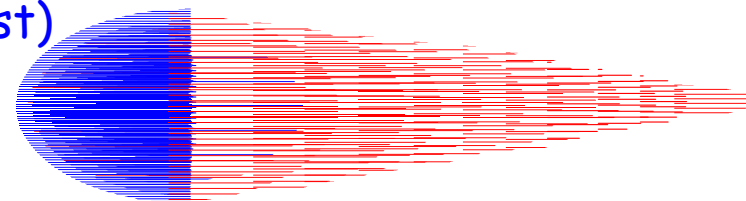
Σε CO₂ με E=10⁴ V/cm

Κίνηση Ιόντων

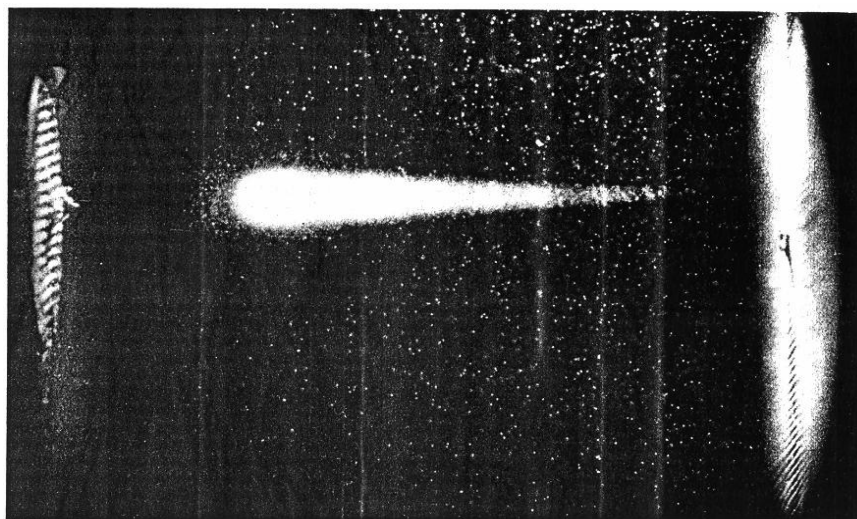
GEORGES CHARPAK, Nobel Lecture, December 8, 1992



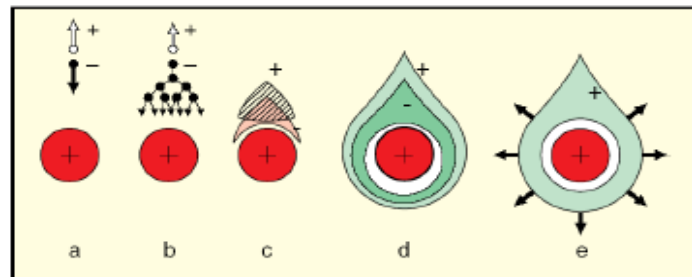
Electrons to anode
(fast)



Ions⁺ to cathode
(slow)



(photograph H. Reether)
CLOUD TRACK PICTURE OF A SINGLE ELECTRON AVALANCHE



Διαφορετικές φάσεις της
ενίσχυσης του αερίου γύρω από
το ανοδικό σύρμα

Cloud track picture of a single electron avalanche

Ανασύνθεση και Σύνδεση Ηλεκτρονίου

- Εκτός από τη δημιουργία ζευγών θετικών-αρνητικών ιόντων εξίσου σημαντικό είναι η διατήρηση των ζευγών ιόντων σε ελεύθερη κατάσταση προκειμένου να **συλληχθούν**.
- Δυο μηχανισμοί αντιτίθενται στη δημιουργία και διατήρηση των ζευγών ιόντων:
 - Επανασύνδεση (Recombination)
 - Σύνδεση Ηλεκτρονίου (Electron Attachment)
- (Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο), Επανασύνδεση (Δυνάμεις Coulomb).



- Ο ρυθμός επανασύνδεσης dn/dt είναι:

$$dn = bn^-n^+ dt, \quad \text{αν } n^- = n^+, \quad \text{τότε } n = \frac{n_0}{1 + bn_0 t}$$

n_0 = αρχική συγκέντρωση σε $t = 0$, b = σταθερά, n^+ , n^- συγκεντρώσεις θετικών και αρνητικών ιόντων.

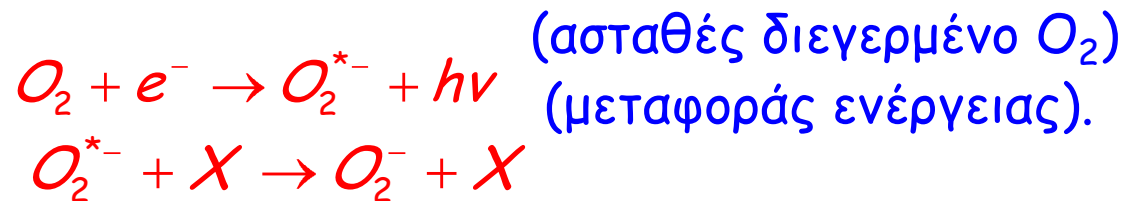
Ανασύνθεση και Σύνδεση Ηλεκτρονίου

- Σύνδεση ηλεκτρονίου από ηλεκτροαρνητικά άτομα προς δημιουργία αρνητικών ιόντων:



- **X**: συνήθως άτομα με (σχεδόν) πλήρη εξωτερική στιβάδα ηλεκτρονίων. Η σύνδεση ενός ηλεκτρονίου επιπλέον προκαλεί απελευθέρωση ενέργειας υπό μορφή φωτονίου. Η απελευθερωμένη ενέργεια καλείται **ηλεκτρονιο-φιλία (electron Affinity)**.
- Πχ: γνωστά ηλεκτροαρνητικά αέρια είναι O_2 , H_2O , CO_2 , CCl_2 , και SF_6 . Τα ιδανικά αέρια He, Ne, Ar έχουν αρνητική ηλεκτρονιο-φιλία.
- Ρυθμός σύνδεσης ηλεκτρονίου:
 $R = \nu\sigma N = kN$, ν = ταχύτητα ηλεκτρονίου, σ = ενεργός διατομή παραγωγής ιόντων, N = πυκνότητα μορίων που προκαλούν σύνδεση.
- Διαδικασία **Block-Bradbury**: απορρόφηση ηλεκτρονίων από μόρια οξυγόνου:

$$E < 1 \text{ eV}$$

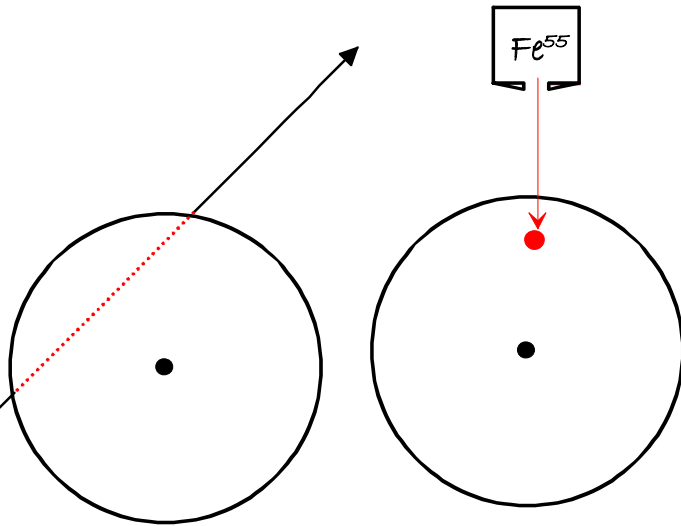


Επιπλέον Επιδράσεις

Επιπλέον επιδράσεις λόγω του τρόπου που συλλέγονται τα ηλεκτρόνια από την άνοδο. Το ηλεκτρικό πεδίο "σκιάζεται" από τα θετικά ιόντα.

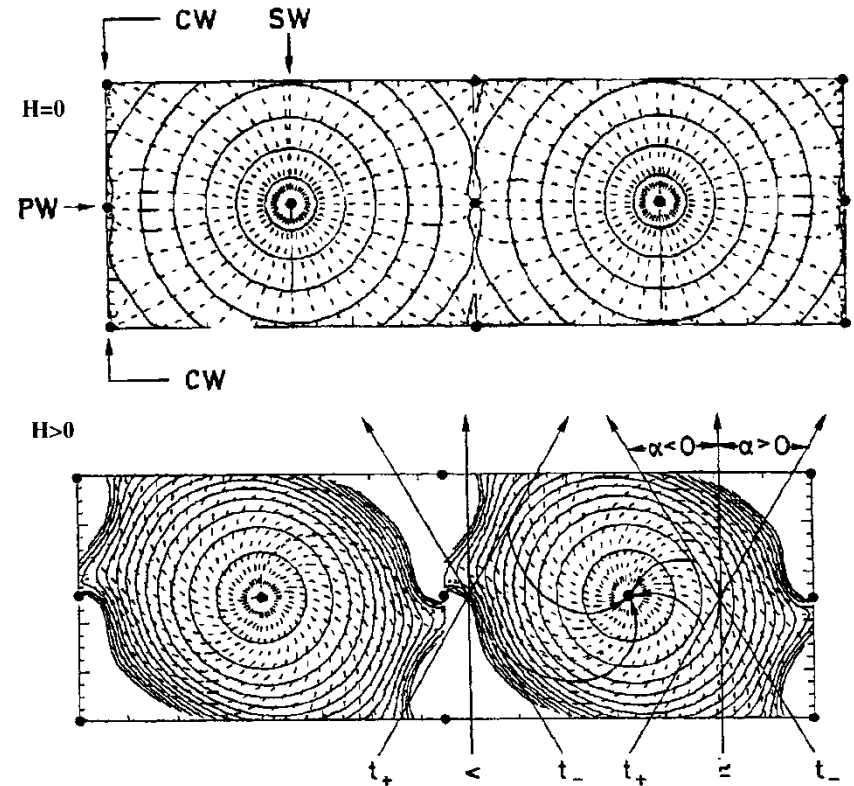
→ Η ενίσχυση του αερίου αλλάζει καθώς αλλάζει η γωνία μεταξύ του ηλεκτρικού πεδίου και του ιονίζοντος σωματιδίου.

CAUTION  RADIATION AREA

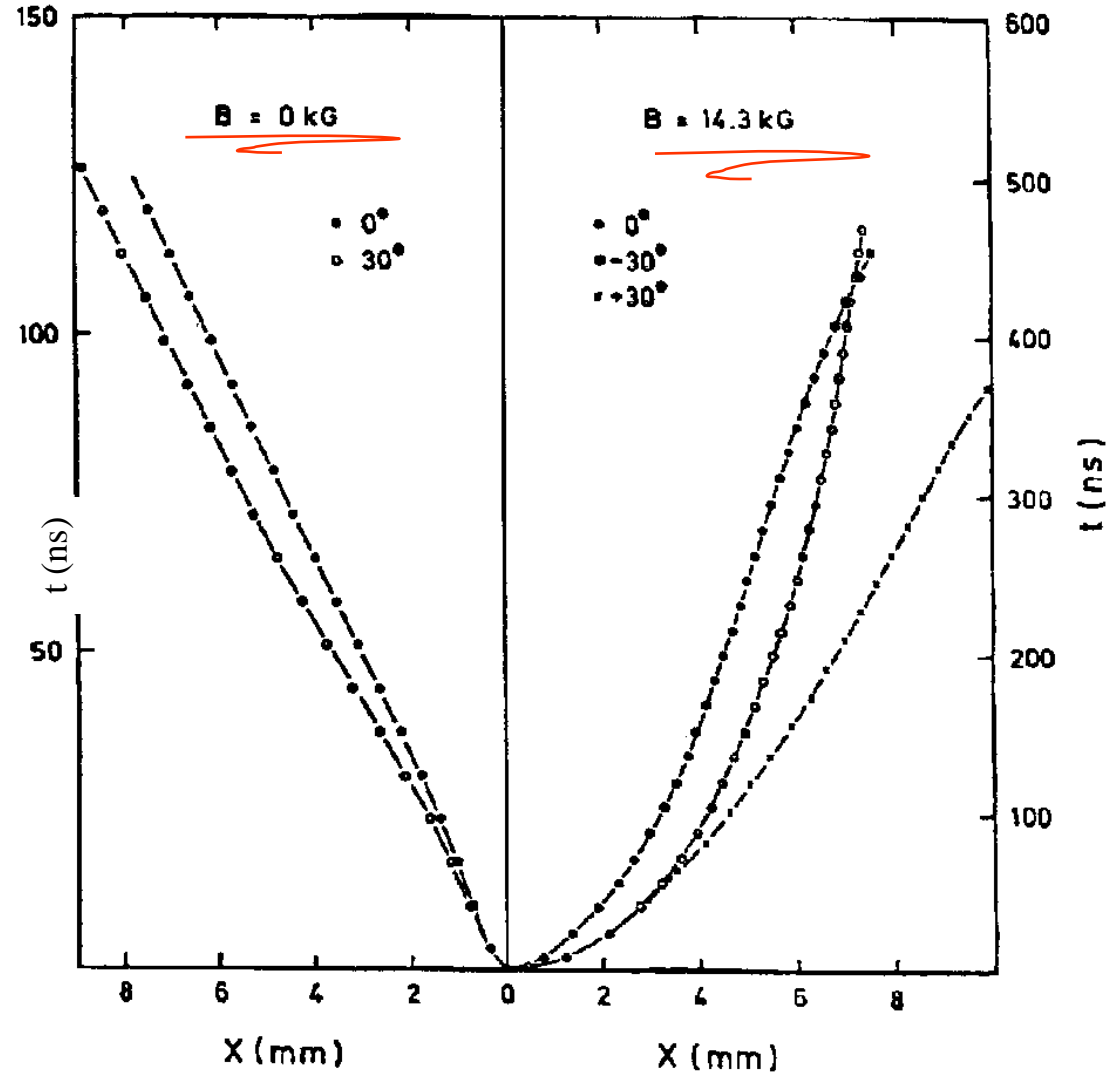
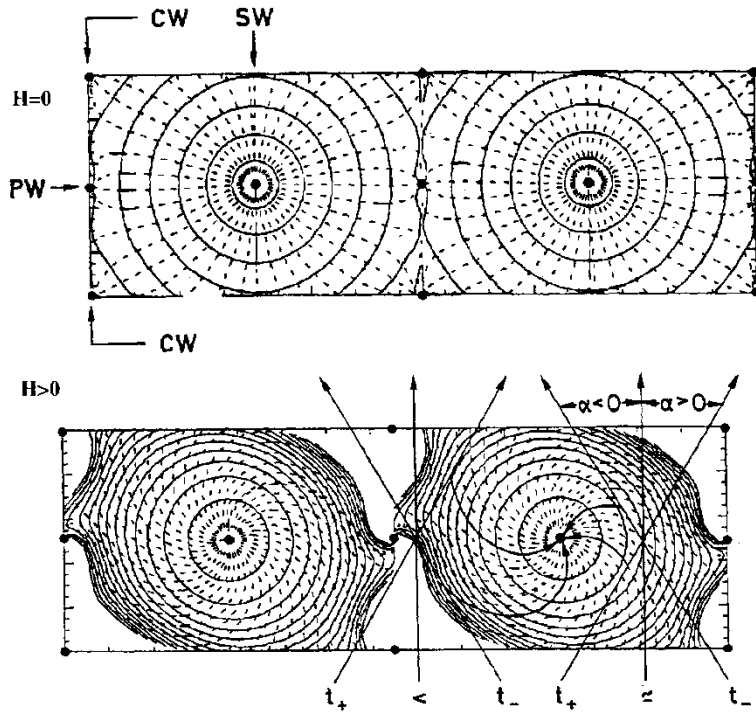


Επιπλέον επιδράσεις: Η "Drift velocity" και η διάχυση των ηλεκτρονίων αλλάζει με το μίγμα του αερίου.

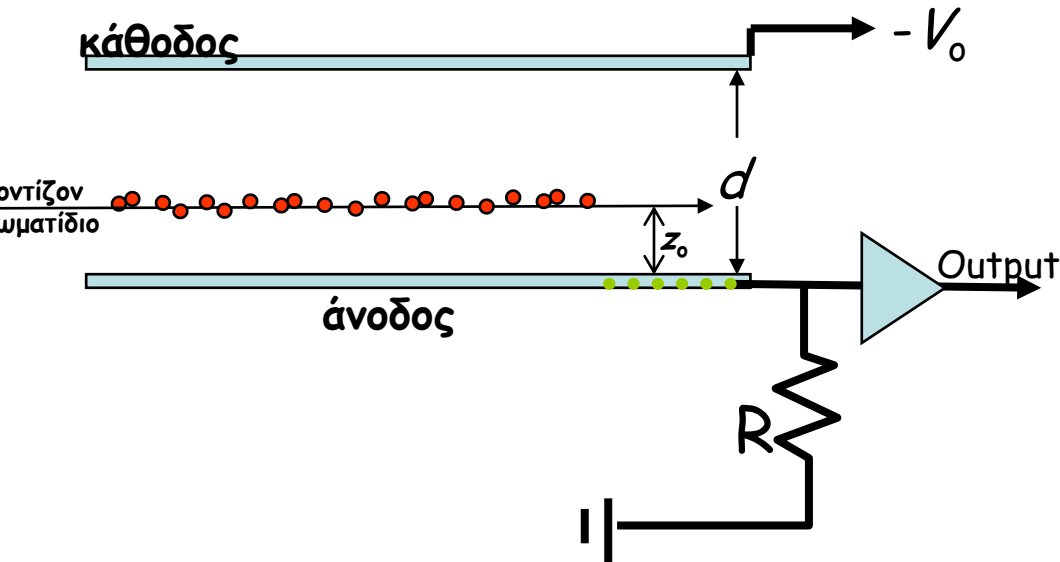
Το μαγνητικό πεδίο αλλάζει τον δρόμο που ακολουθούν τα ηλεκτρόνια καθώς και την διάχυση.



Επιρροή Μαγνητικού Πεδίου



Θάλαμοι Ιονισμού



Θάλαμος ιοντισμού με παράλληλες πλάκες που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού V_0 . Το αέριο του θαλάμου είναι:

- Ατμοσφαιρικός αέρας, ξηρός
- Freon (ακτινοβολία γ)
- Ar, H₂ (ακτινοβολία β)

Η διέλευση ιοντίζοντος σωματιδίου δημιουργεί N θετικά & N αρνητικά φορτία ανάμεσα στις πλάκες του θαλάμου με ηλεκτρικό πεδίο:

$$|\vec{E}| = E_z = \frac{V_0}{d}$$

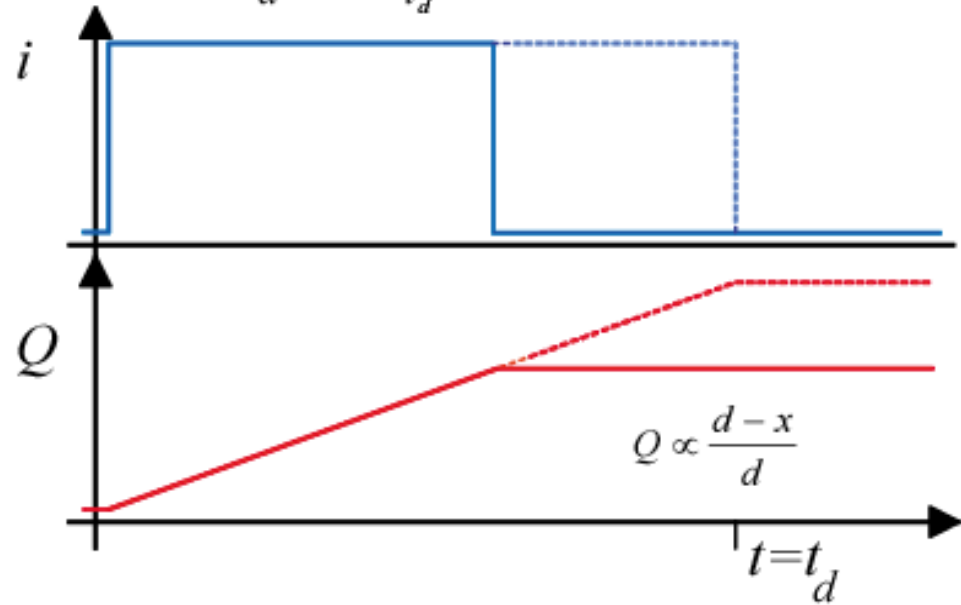
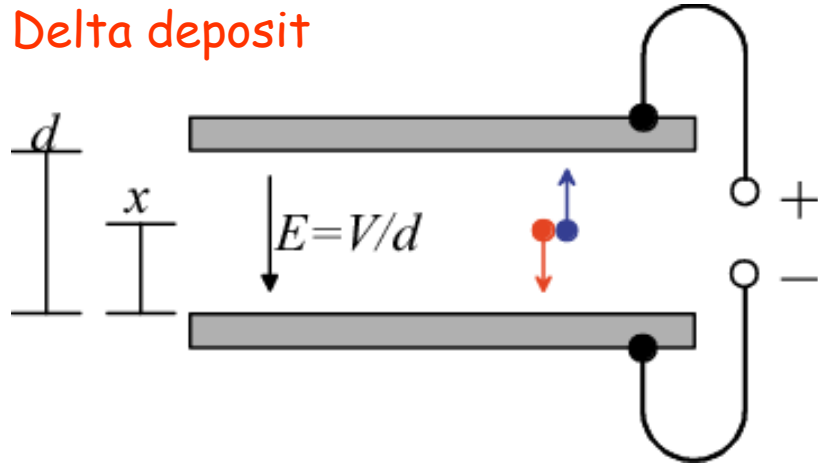
Το φορτίο που συσσωρεύεται στους οπλισμούς/πλάκες διέρχεται δια της R , στα άκρα της οποίας μετριέται ένας παλμός τάσης.

Παλμός τάσης δημιουργείται από τη μετακίνηση φορτίων από θέση $z_0 \rightarrow z$

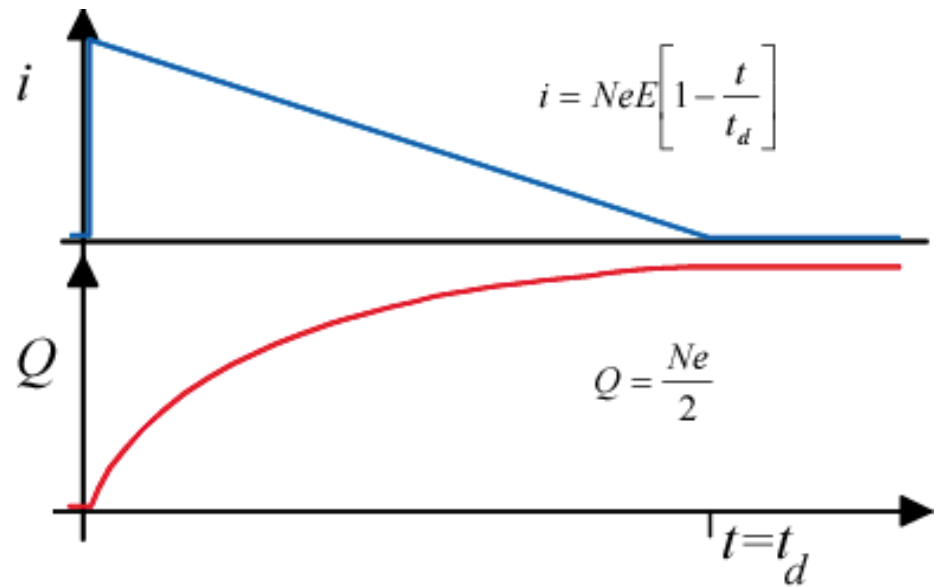
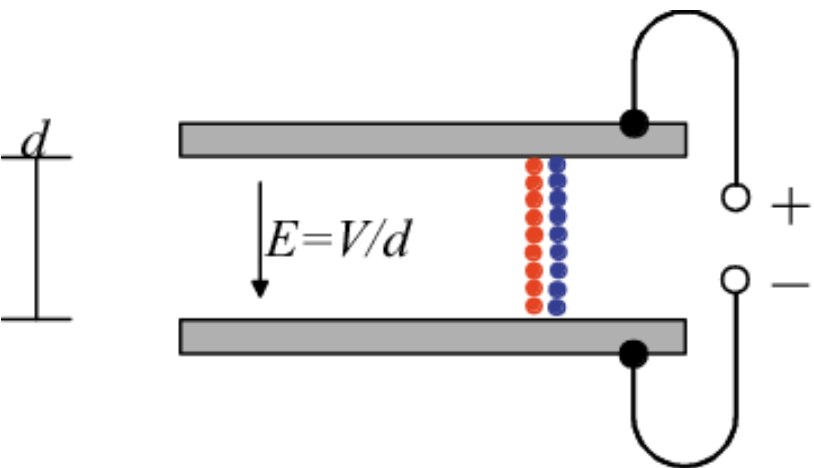
Δημιουργία ρεύματος

$$i \propto \frac{V}{d} = E \propto \frac{1}{t_d}$$

Delta deposit



Ionizing track

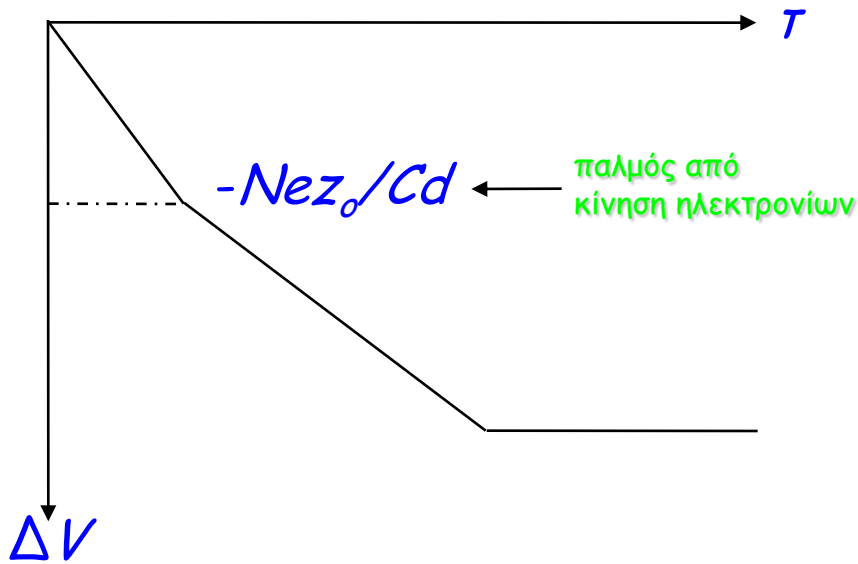


Θάλαμοι Ιονισμού

$$\frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} C V_0^2 - N \int_{z_0}^z q E_z dz \Rightarrow \frac{1}{2} C V^2 - V_0^2 = -\frac{N V_0 q}{d} \int_{z_0}^z dz$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} C V + V_0 V - V_0^2 = -\frac{N V_0 q}{d} z - z_0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} C 2 V_0 \Delta V = -\frac{N V_0 q}{d} z - z_0 \Rightarrow \Delta V = -\frac{N q}{C d} z - z_0$$



Αν u_D^+ = ταχύτητα θετικών ιόντων
 u_D^- = ταχύτητα αρνητικών ιόντων.

Ισχύει:

$$\Delta V^+ = -\frac{Ne}{Cd} u_D^+ \Delta t^+$$

$$\Delta V^- = -\frac{N(-e)}{Cd} (-u_D^-) \Delta t^-$$

Θάλαμοι Ιονισμού

Ο παλμός που μετριέται στα άκρα της αντίστασης:

$$\Delta V_{ολ} = \Delta V_{\max}^- + \Delta V_{\max}^+ = -\frac{Ne}{Cd} z_o + \frac{-Ne}{Cd} (d - z_o)$$

$$\Rightarrow \Delta V_{ολ} = -\frac{Ne}{c}$$

Ανεξάρτητος από τη θέση διέλευσης του σωματιδίου

Χρήσεις θαλάμου ιοντισμού:

• Μετρήσεις Μέσης τιμής: μετριοούνται πολύ μικρά ρεύματα θαλάμου, μέχρι 10^{-14} A με τη βοήθεια διάταξης με μεγάλη αντίσταση εισόδου ($\sim 10^{14} \Omega/1$ V).

• Μετρήσεις «Δόσης»: μετριέται η ποσότητα dE/dm δηλ. Η ενέργεια που απορροφάται ανά μονάδα μάζας.

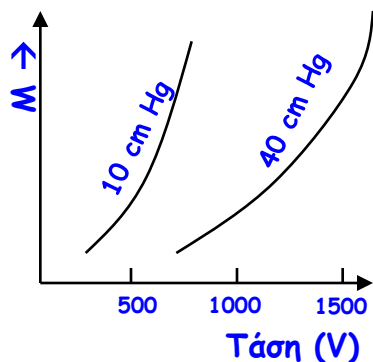
• Σύστημα «παλμικό»: παραγόμενος παλμός ανάλογος της ποσότητας ιοντισμού.

Αναλογικοί Απαριθμητές (Proportional Counters)

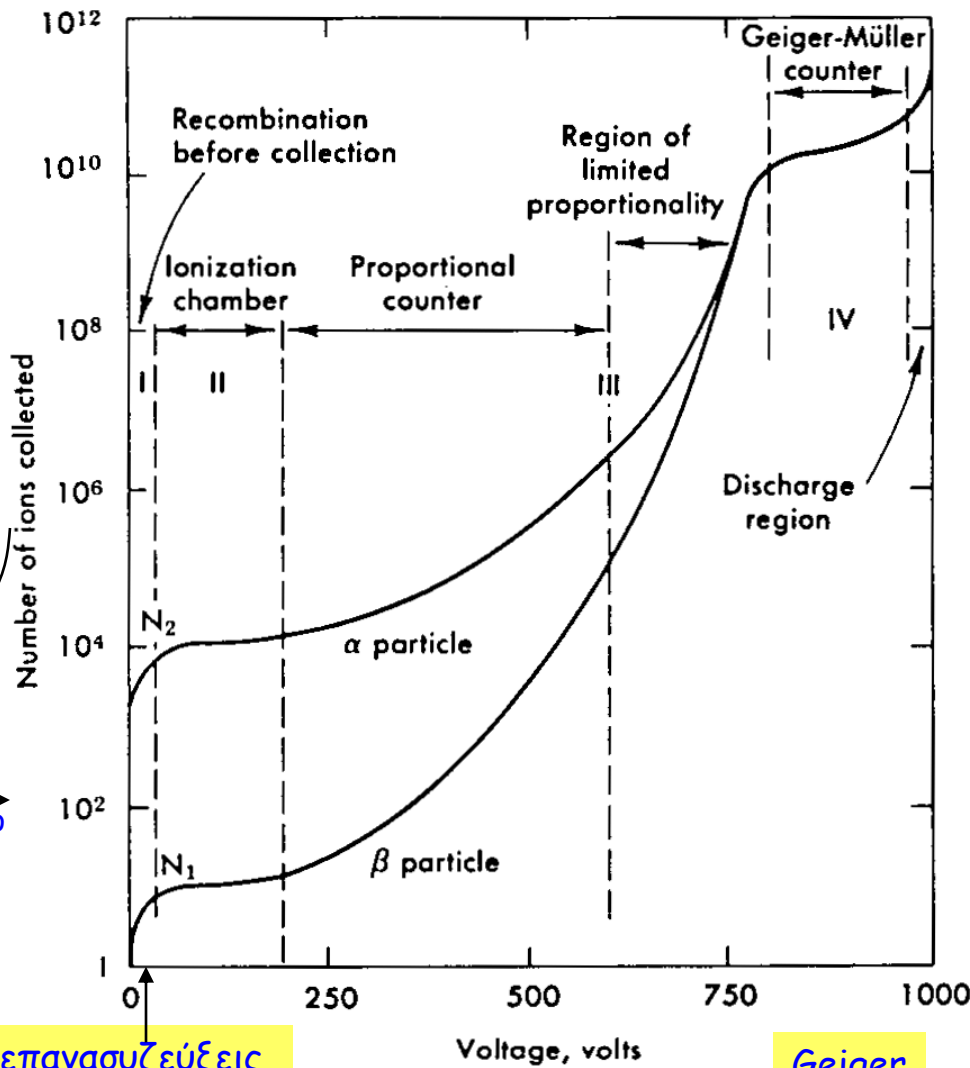
• Λειτουργία: πολλαπλασιάζουν τα αρχικά ιόντα ενώ παραμένουν αναλογικοί ως προς την ενέργεια του σωματιδίου.

• Αέριο: Μείγμα Ar (90%), CH₄ (10%), πίεση 0.1 - 1 Atm.

• Χαρακτηριστικά: Ταχύς, απαριθμεί 1 M κρούσεις/min, Plateau με κλίση 2% για περιοχή 100 V με $10^4 < M < 10^6$.



Το μεθάνιο ασκεί σταθεροποιητική δράση απορροφώντας τα φωτόνια και περιορίζοντας την φωτοεκπομπή.



επανασυζεύξεις

Αναλογικός
Απαριθμητής

Θάλαμος
Ιοντισμού

Geiger
Muller

Περιορισμένη Εκφόρτιση
αναλογικότητα

Αναλογικοί Απαριθμητές (Proportional Counters)

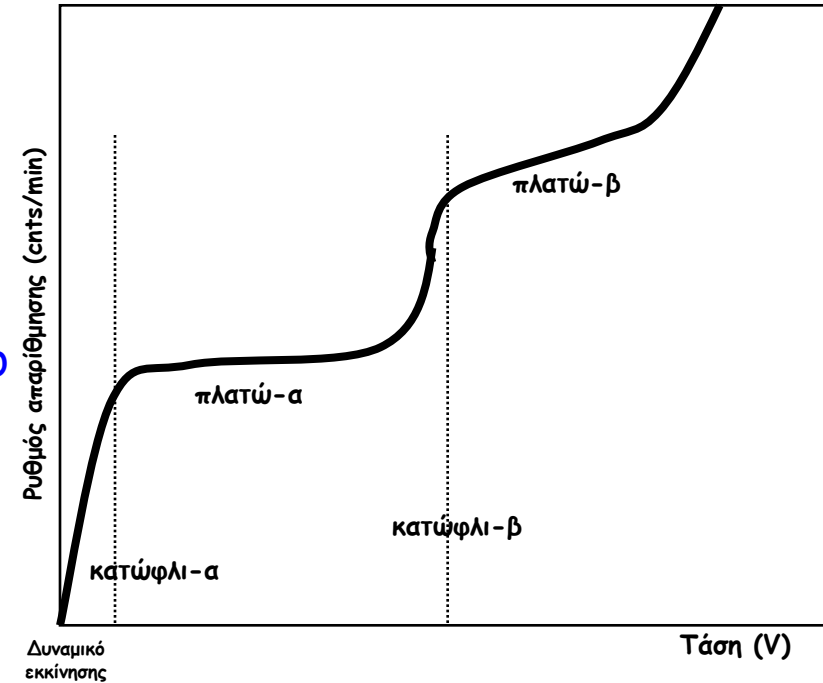
Κυρίως για μετρήσεις παλμικού χαρακτήρα.

- Ως αρχή λειτουργίας για πολυσύρματο ανιχνευτή (MWPC).
- Για ανίχνευση ακτινών-Χ χαμηλής ενέργειας ($\sim \text{KeV}$).
- Για ανίχνευση πολύ χαμηλής ενέργειας ηλεκτρονίων από πηγές.
- Για ανίχνευση θερμικών νετρονίων (BF_3 , He^3).

Αναλογικοί Απαριθμητές (Proportional Counters)

Χαρακτηριστική Λειτουργίας Αναλογικού Απαριθμητή (Ρυθμός Απαρίθμησης - Δυναμικό Θαλάμου)

- Τα διάφορα «πλατώ» παρατηρούνται σε θέσεις ανάλογα με τον αρχικό ιοντισμό.
- Η Χ.Λ. εξαρτάται κυρίως από τα ηλεκτρονικά που συνοδεύουν τον ανιχνευτή.
- Δυναμικό εκκίνησης: εκείνο για το οποίο τα πιο δραστικά σωματίδια-α χάνουν όλη την ενέργεια τους στον ανιχνευτή.



- Πλατώ-α: ο ρυθμός απαρίθμησης αυξάνει με την αύξηση δυναμικού. Απαριθμούνται όλα τα σωματίδια-α. Πλατώ-β: συνθήκη απαρίθμησης όλων των σωματιδίων-β. Το πλατώ-β παρουσιάζει μια κλίση επειδή τα σωματίδια-β έχουν πλατιά ενεργειακή κατανομή.

Gas chambers

Multi Wire Proportional Chambers MWPC
Time Projection Chambers
Time Expansion Chambers
Proportional Chambers
Thin Gap Chambers
Drift Chambers
Jet Chambers
Straw Tubs
Micro Well Chambers
Cathode Strip Chambers
Resistive Plate Chambers
Micro Strip Gas Chambers
GEM - Gas Electron Multiplier
Micromegas - Micromesh Gaseous Structure