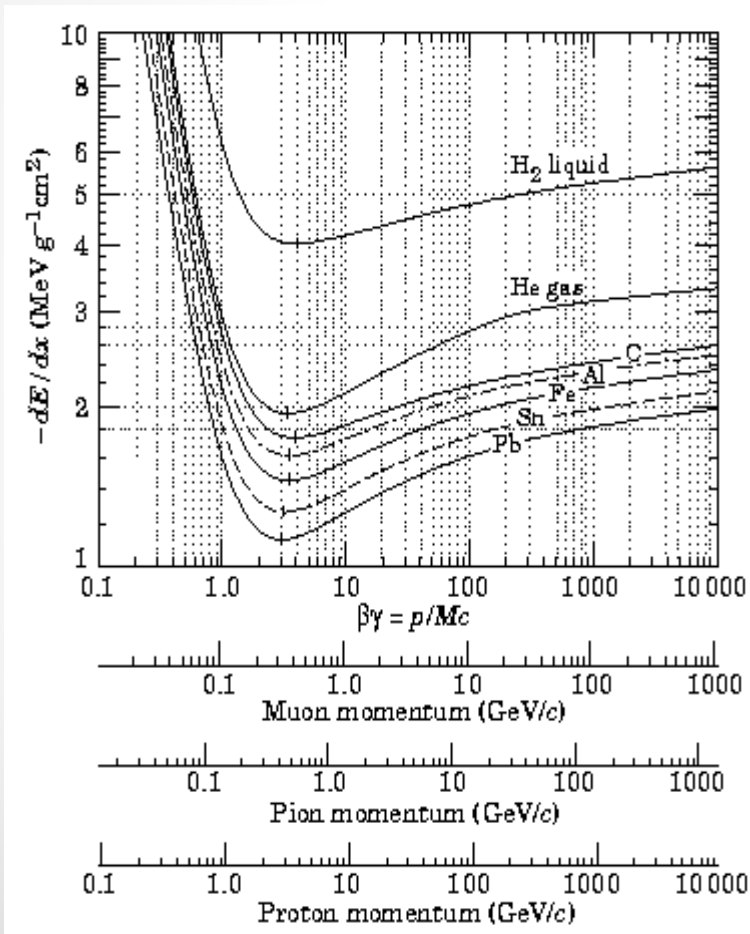


RPCs e Contatori Cherenkov

Resistive Plate Chamber (RPC)

Passaggio di radiazione nella materia

Particelle cariche attraverso la materia \longrightarrow Processo dominante = eccitazione o ionizzazione degli atomi del mezzo



Formula di Bethe-Block

$$-\frac{dE}{dx} = 4\pi N_e r_e^2 m_e c^2 \frac{z^2}{\beta^2} \left(\ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} - \beta^2 - \frac{\delta(\gamma)}{2} \right)$$

$$x = \rho l \rightarrow -\frac{dE}{dx} \cong \frac{2 \text{Mev}}{\text{gcm}^2} \forall \text{mezzo}$$

Nei processi più energetici gli elettroni si allontanano ionizzando altri atomi

$$e_{\text{primari}} + e_{\text{secondari}} = n_{\text{coppie}} = \Delta E / E_i$$

Ionizzazione in un campo elettrico

$E = 0$ Elettroni e ioni termalizzano

- Cattura
- Scambio carica
- Cattura

$E \neq 0$ Si sovrappone un moto di drift

$$v_{drift} \propto \frac{E}{p} \sim 5 \text{ cm}/\mu\text{s} \quad v_{term} \sim 12 \text{ cm}/\mu\text{s}$$

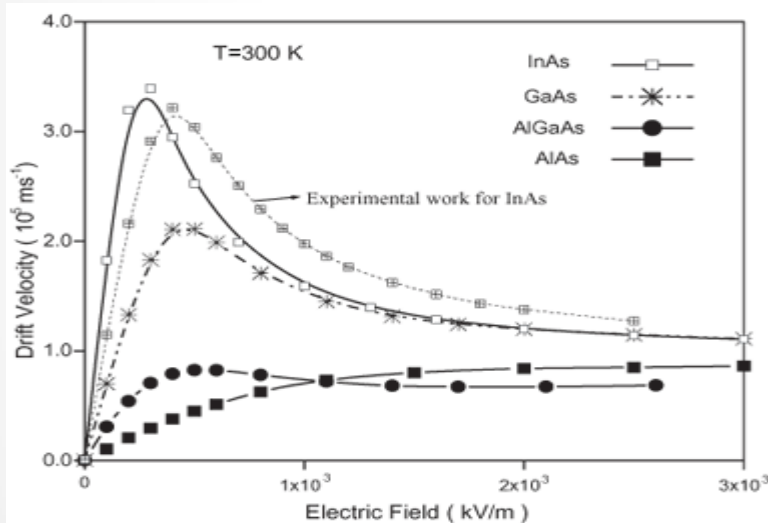
Distribuzione gaussiana $\propto E_{termica}$

Scelta del gas:

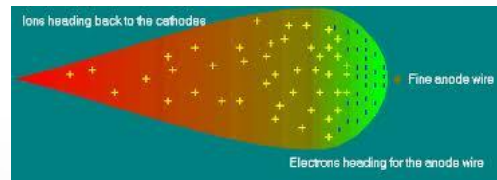
- Denso
- Freddo
- Non elettronegativo (cattura)

$$E \geq \frac{KV}{cm} \rightarrow E_e \geq 100 \text{ eV} \rightarrow \text{urti anelastici}$$

(ionizzazione)



Se ogni elettrone ionizza a sua volta (gas nobili) ho una moltiplicazione a valanga

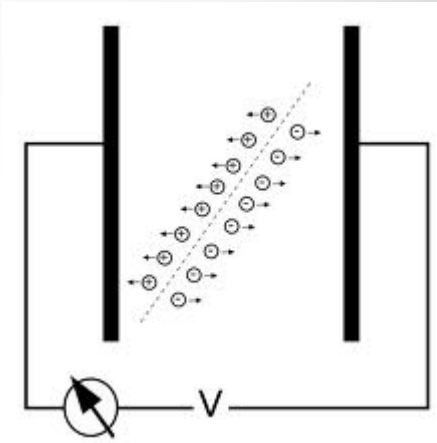


Regime proporzionale

$$M \sim 10^{6-8}$$

Contatori a gas

Se una particella che passa attraverso un gas ha un'energia sufficiente per ionizzarlo produce delle coppie elettrone-ione lungo la sua traccia. Queste coppie possono essere raccolte usando un campo elettrico, che fa migrare gli elettroni verso l'anodo positivo, e gli ioni verso il catodo negativo. La carica misurata in alcuni casi è proporzionale all'energia della particella.



Rivelatori a campo elettrico radiale:

- Camere a ionizzazione (regime di ionizzazione, misuro direttamente la carica ionizzata)
- Contatori proporzionali (regime di moltiplicazione proporzionale, la carica raccolta è proporzionale all'energia iniziale)
- Contatori Geiger-Muller (regime di scarica)

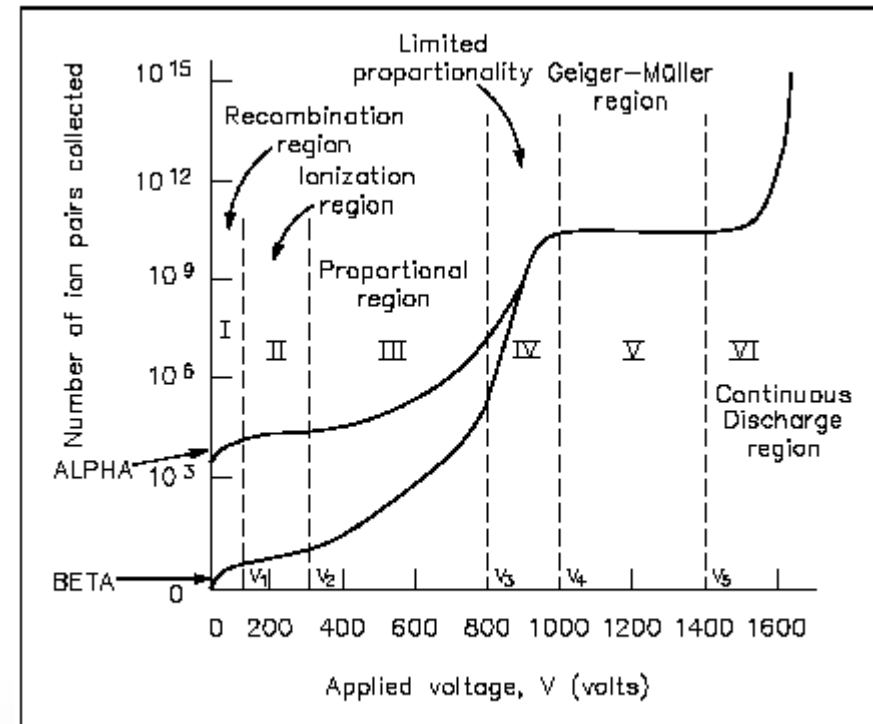
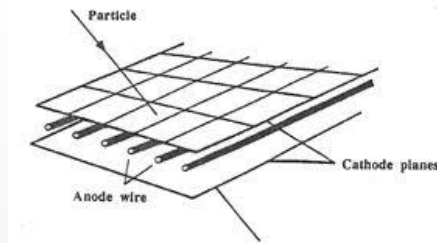
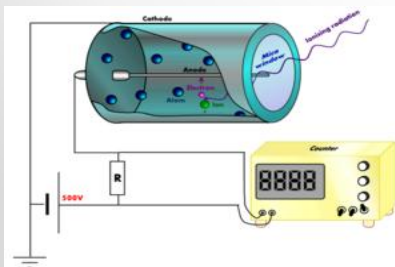
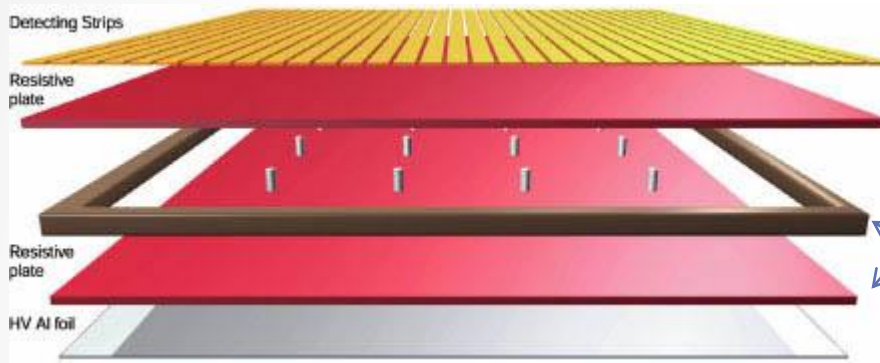


Figure 6 Ion Pairs Collected -vs- Applied Voltage

RPCs

Rivelatori a campo elettrico uniforme: RPCs



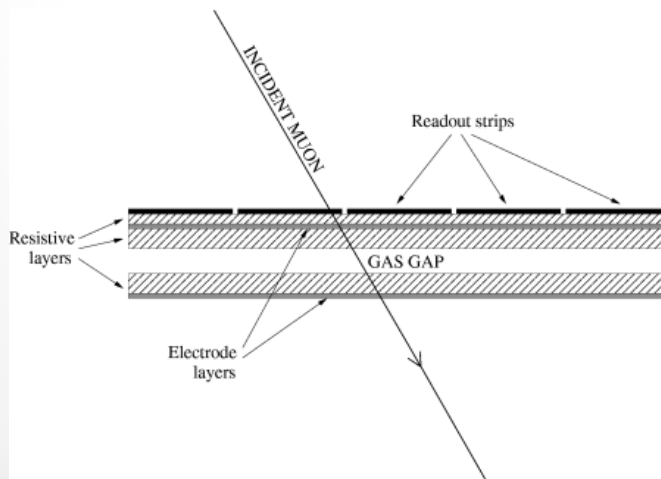
Strips di lettura elettronica

2 mm Bachelite $\rho \sim 10^{12} \Omega/cm^2$

2 mm gas ionizzante
(Ar Butano Freon)

L'elevata resistività permette di considerare un sistema di condensatori indipendenti

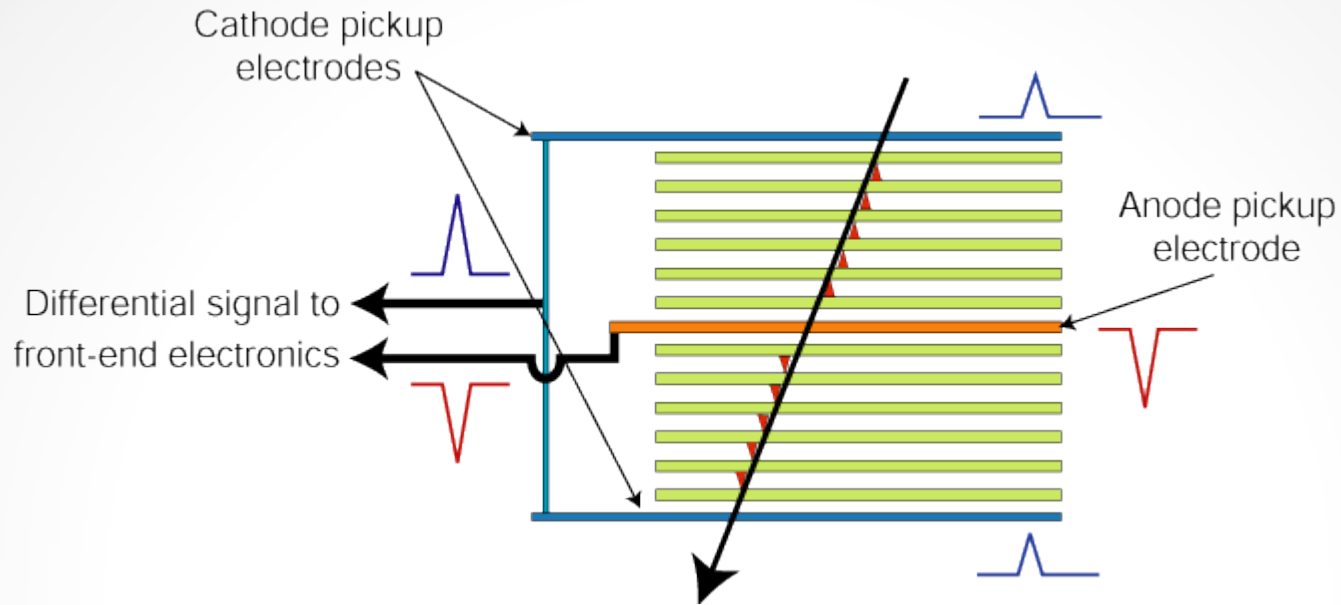
Tempo morto = tempo di ricarica del condensatorino $\epsilon \cdot Q \approx 10 \text{ ms}$



Flusso max di segnale

100Hz/(cm²) (Ar, Butano, Freon)

5KHz/(cm²) (Solo Freon)



Sono letti i segnali indotti sulle strip (200-300mV su 50 ohm)

Trigger: L'or di 8 strip (pad) rappresenta l'unità logica più piccola

Per ogni evento vengono acquisiti:

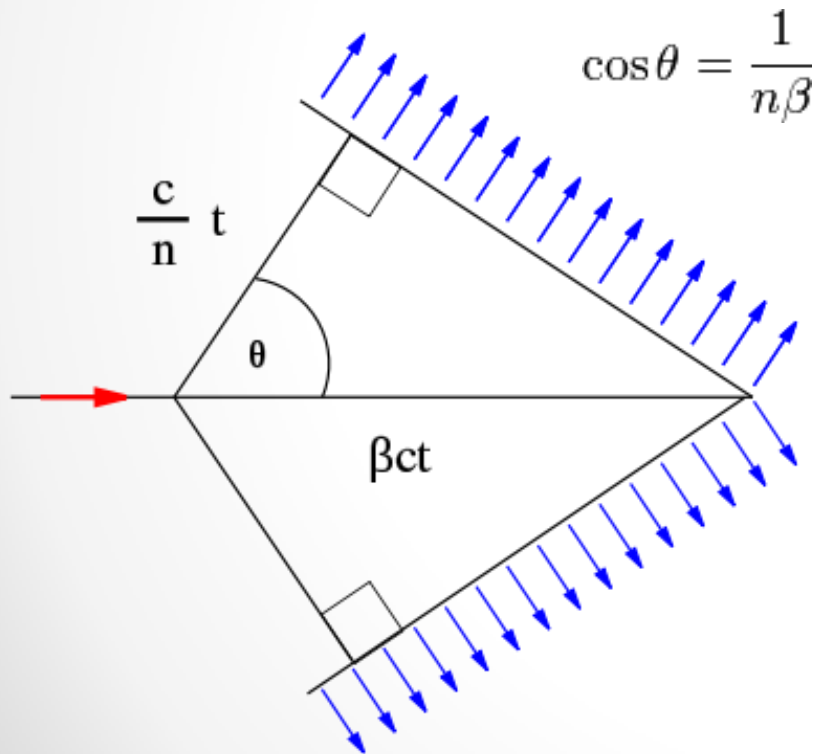
- Il numero di strip che si sono accese
- La posizione della pad colpita
- Il tempo corrispondente al primo segnale di strip che accende la pad



Contatori cherenkov

L'effetto Cherenkov

Prende il nome dal fisico russo
Alekseyevich Cherenkov (np 1958)



È dovuto all'interferenza costruttiva dei fotoni emessi da molecole di un mezzo polarizzate dal passaggio di una particella carica di velocità maggiore della velocità del suono nel mezzo stesso $v > c/n$

L'energia persa (irradiata) per cammino unitario è data dalla formula di Frank-Tamm

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi\alpha h}{c} \int_{\beta n > 1} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2}\right) v dv$$

Il numero di fotoni emessi con $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$

$$N_{pe} = 2\pi\alpha L \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \sin^2(\vartheta) \frac{d\lambda}{\lambda^2}$$

$$\lambda_1 = 400nm$$

$$\lambda_2 = 700nm$$

$$N = 490 \sin^2(\vartheta)^2 L$$

Uso dell'effetto cherenkov

La perdita di energia per radiazione Čerenkov è piccola rispetto a quella dovuta all'ionizzazione (Bethe-Block) (~1%) → Il numero di fotoni emessi è piccolo

Con l'effetto cherenkov si costruiscono contatori che segnalano il passaggio di particelle cariche, possono essere:

- A soglia (richiedono un minimo di fotoelettroni, non misurano θ)
- Differenziali (selezionano un piccolo range di angolo cherenkov)

I contatori cherenkov si usano in:

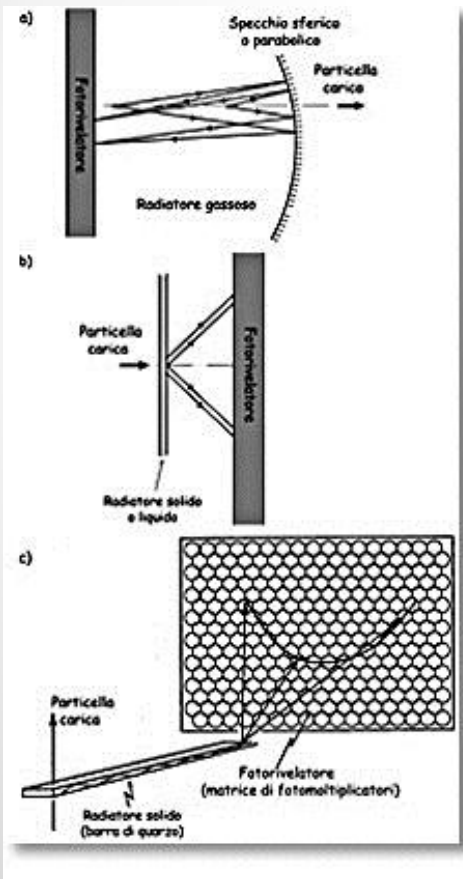
- Esperimenti sui raggi cosmici (la radiazione cherenkov delle coppie elettrone positrone prodotte dall'interazione di raggi gamma o raggi cosmici ultraenergetici con l'atmosfera permette di determinarne l'energia)
- Esperimenti di fisica delle alte energie (identificazione delle particelle prodotte da un'interazione grazie alla soglia di produzione di radiazione cherenkov)

Contatori a soglia

Si possono costruire rivelatori che discriminino β

$$\beta > \beta_s = \frac{1}{n}$$

- Scegliendo un materiale opportuno
- Variando n con la pressione di un gas



Materiale	$n - 1$
Scintillatore	0.55
Vetro	0.46 - 0.75
Acqua (20°)	0.33
Elio	3.3×10^{-5}

Legge di Lorentz-Loren (Clausius-Mossotti)

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{P_m}{\rho} = R_{LL}$$

$$n \cong 1 \rightarrow n - 1 = \frac{3 R_{LL} P}{2 RT}$$

Combinazioni di contatori con soglie diverse separano particelle diverse

$$\beta_i = \frac{1}{n_i} \rightarrow n_i = \sqrt{\frac{\gamma_i^2}{\gamma_i^2 - 1}}$$

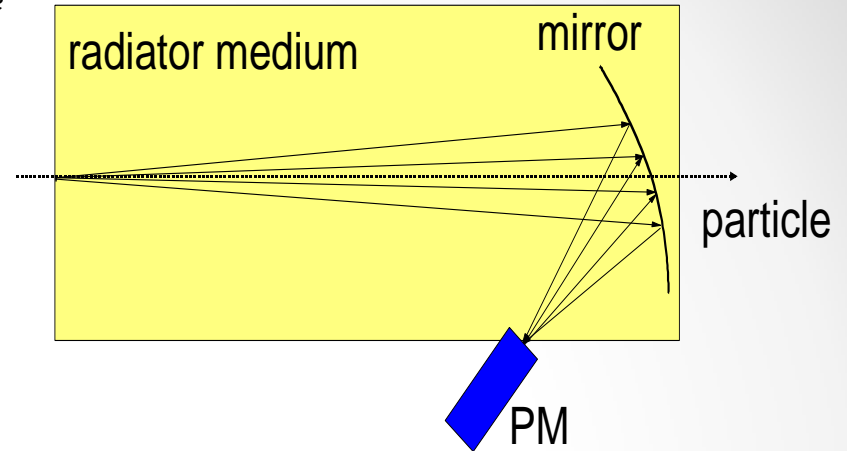
Ad es particelle ultrarelativistiche di massa diversa

$$\sin^2 \theta_c \cong \frac{1}{\gamma_2^2} - \frac{1}{\gamma_1^2} = \frac{m_2^2 c^4}{p^2 c^2} - \frac{m_1^2 c^4}{p^2 c^2}$$

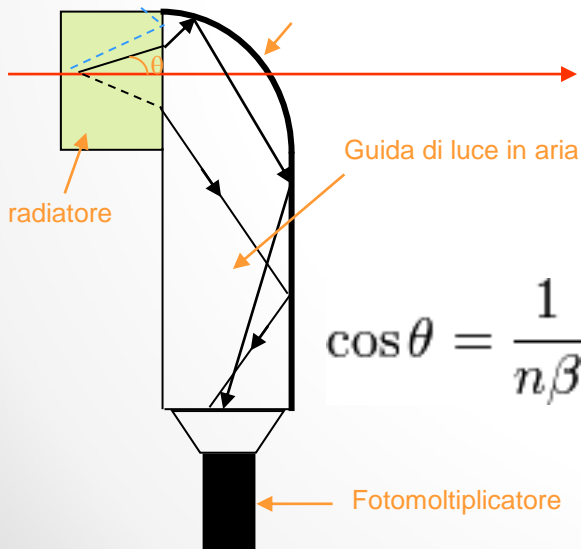
Efficienza del contatore $\epsilon_{count} = 1 - e^{-N_{pe}}$

Se è necessario avere un numero N di fotoelettroni la lunghezza deve essere

$$L = \frac{N p^2}{370c^2(m_2^2 - m_1^2) \cdot QE} [cm]$$



Contatori differenziali (DISC)



$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta}$$

Misurano particelle che emettono luce cherenkov in un certo angolo, discriminando β

L'efficienza è data da

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \tan \vartheta \Delta\vartheta \longrightarrow \frac{\Delta\beta}{\beta} \sim 10^{-7}$$

Funzionano solo per particelle perpendicolari all'asse ottico

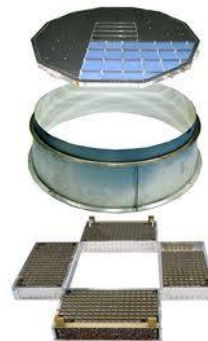
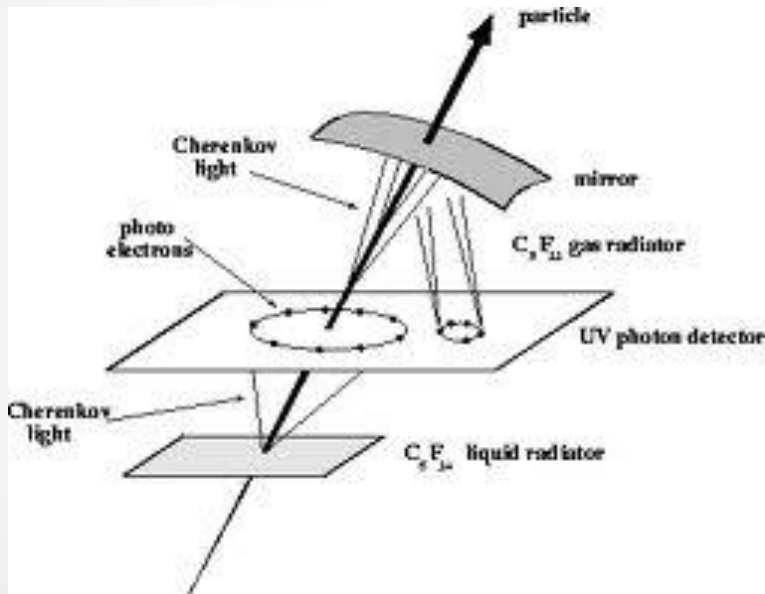
Ring Imaging Cherenkov (RICH)

RICH di DELPHI

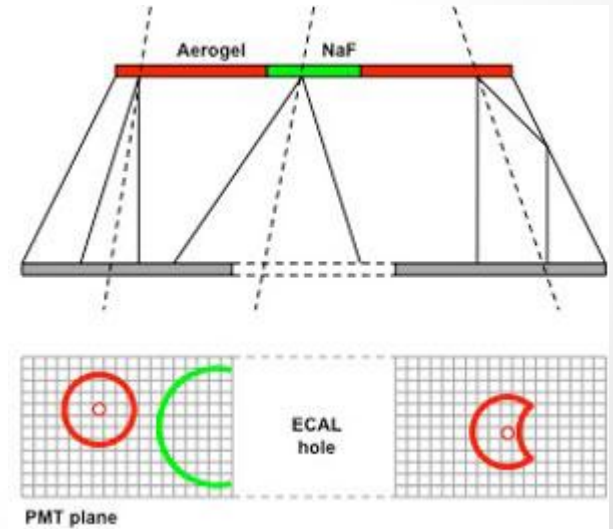
Misura la velocità delle particelle tramite l'angolo cherenkov

$$\cos\theta_c = \frac{c}{nv}$$

Proposto da T. Ypsilantis e J. Séguinot, prima applicazione su larga scala in DELPHI (LEP)



RICH di AMS-2



Uno specchio sferico di lunghezza focale f , proietta i fotoni su una circonferenza di raggio $r = f\theta_c$ indipendente dalla posizione