

Discover Cosmic Particles

INTERNATIONAL COSMIC DAY

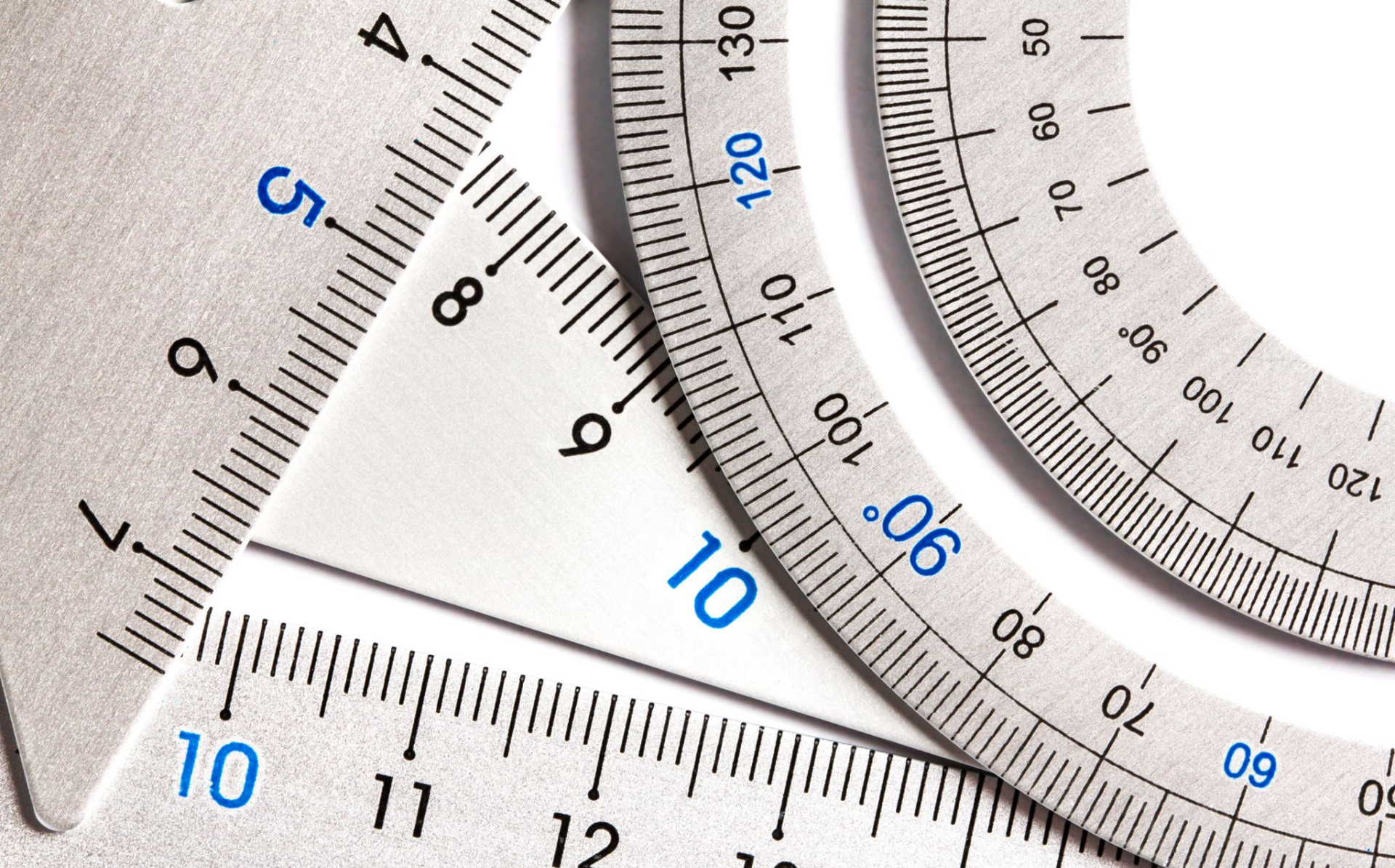


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

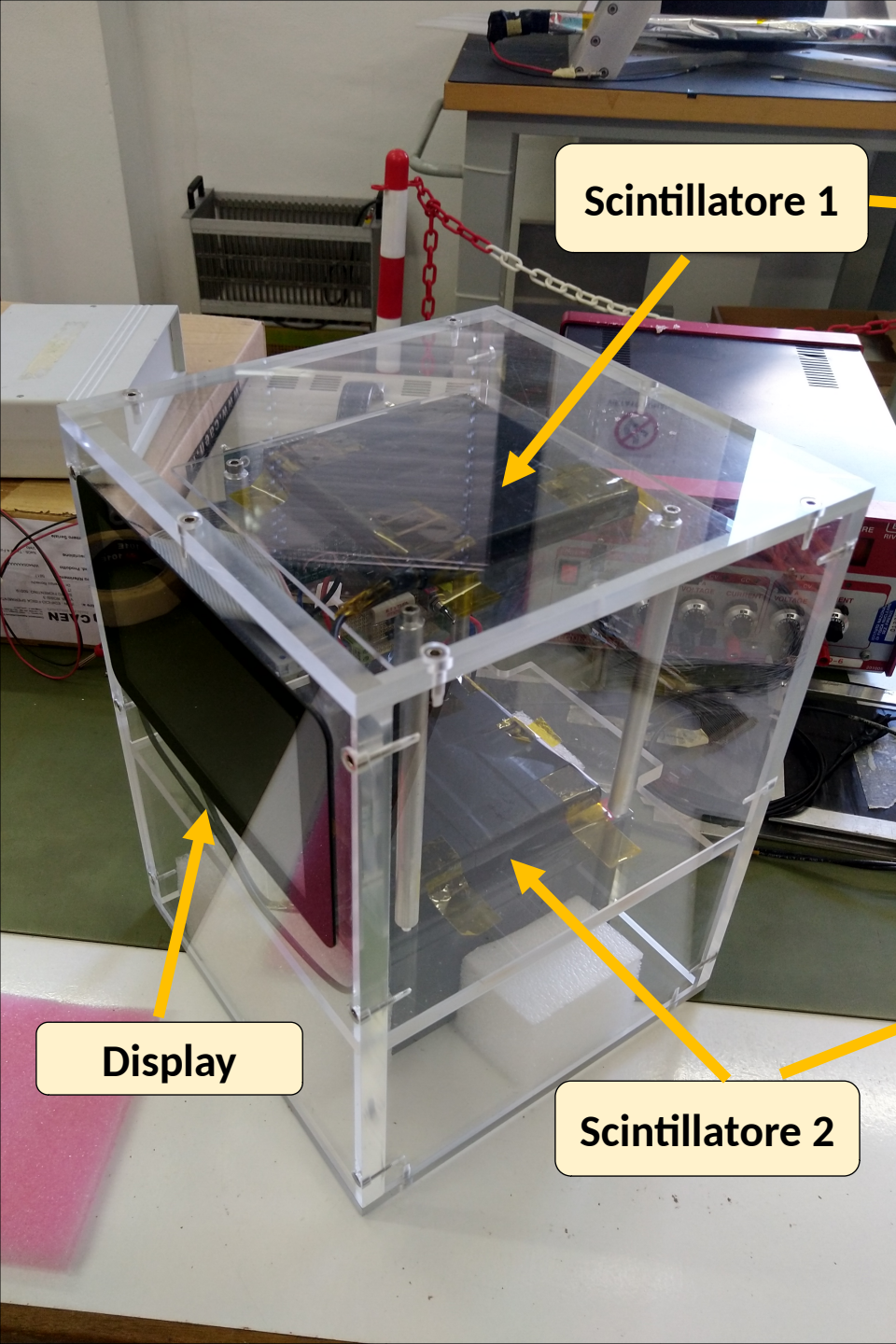


November 21 | 2023

Apparato sperimentale per la misura del tasso di incidenza di particelle cariche a terra



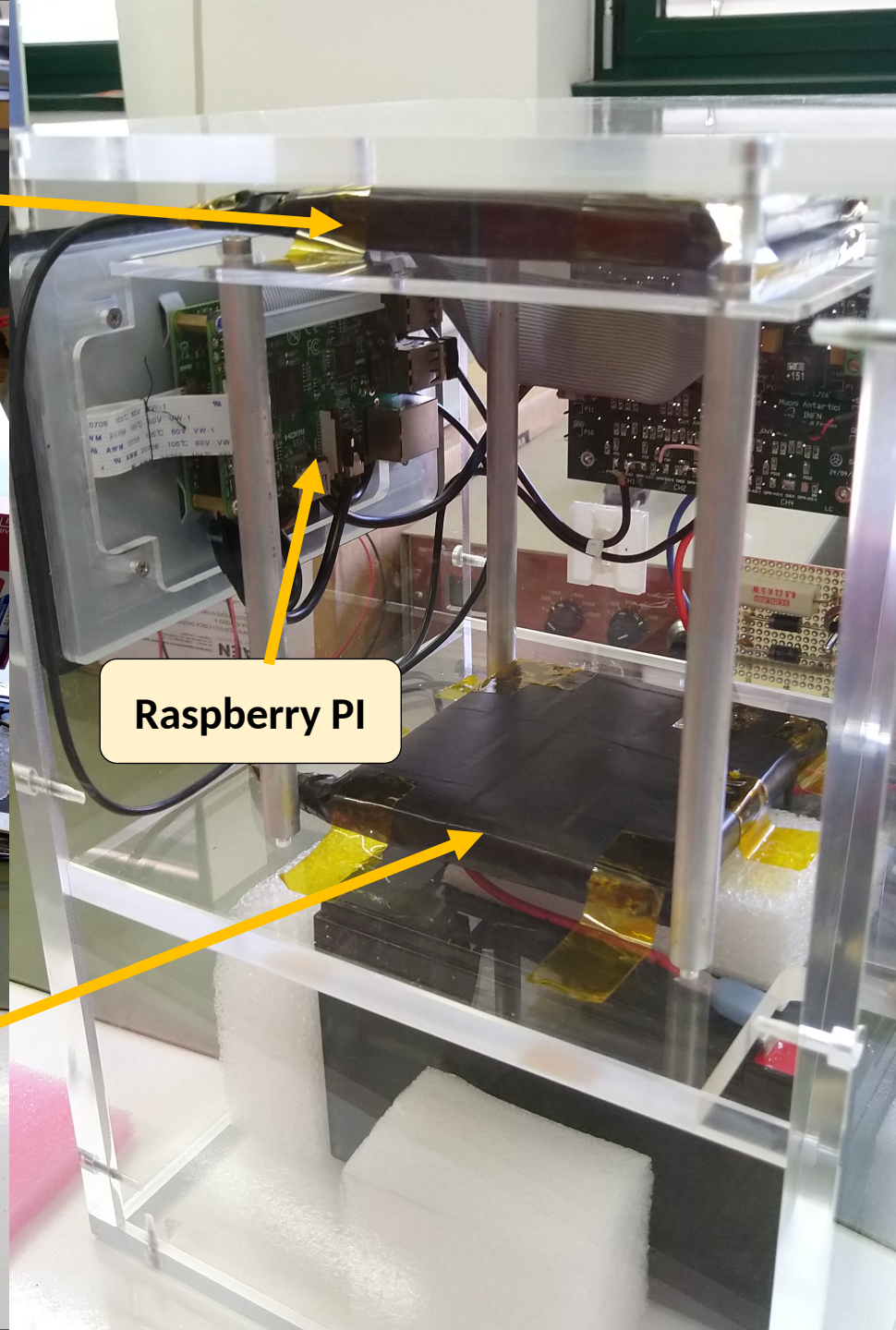
Lo strumento



Scintillatore 1

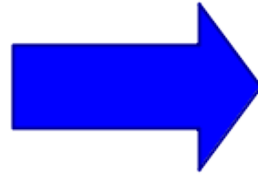
Display

Scintillatore 2



Raspberry Pi

Particelle non visibili
ad occhio nudo



Abbiamo bisogno di un
sistema che ci permetta di
rivelare il loro passaggio



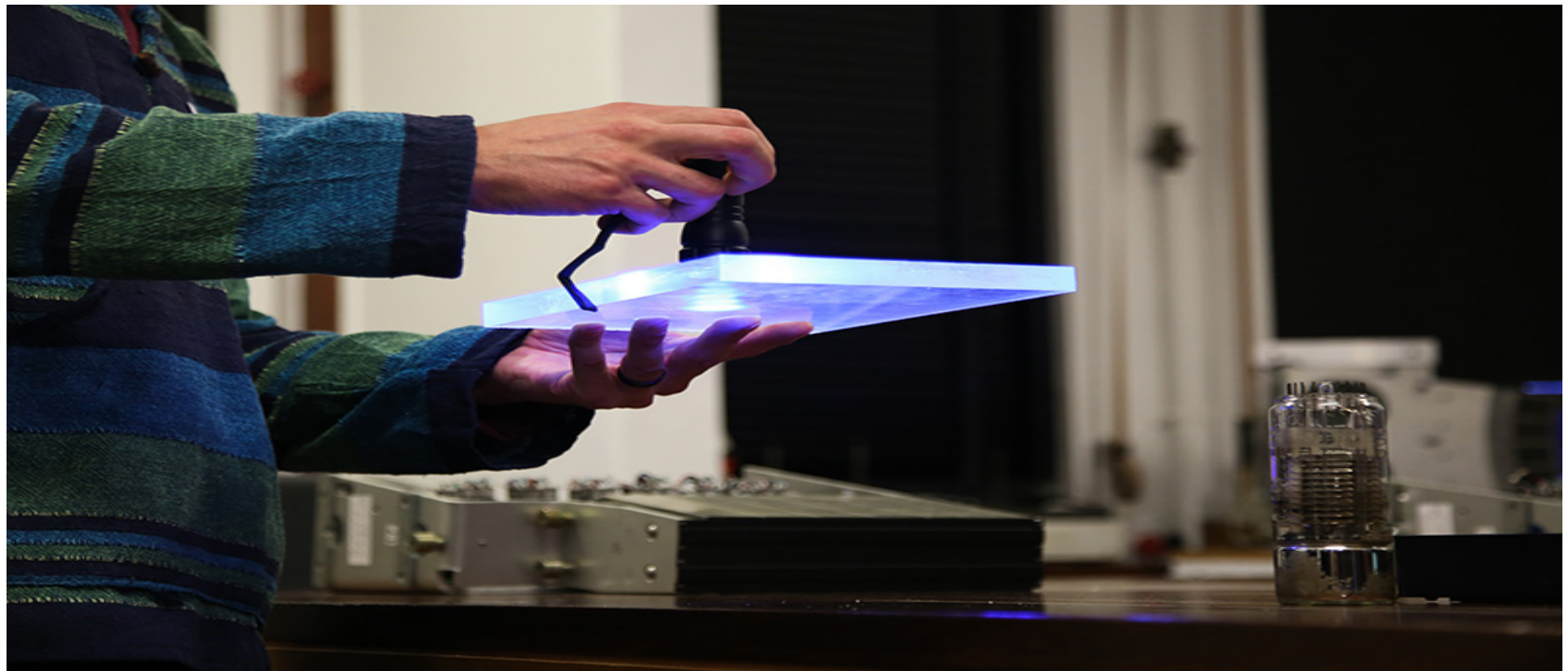
“Vedere” le particelle cariche

Generalmente si sfruttano proprietà di diversi materiali, ad esempio:

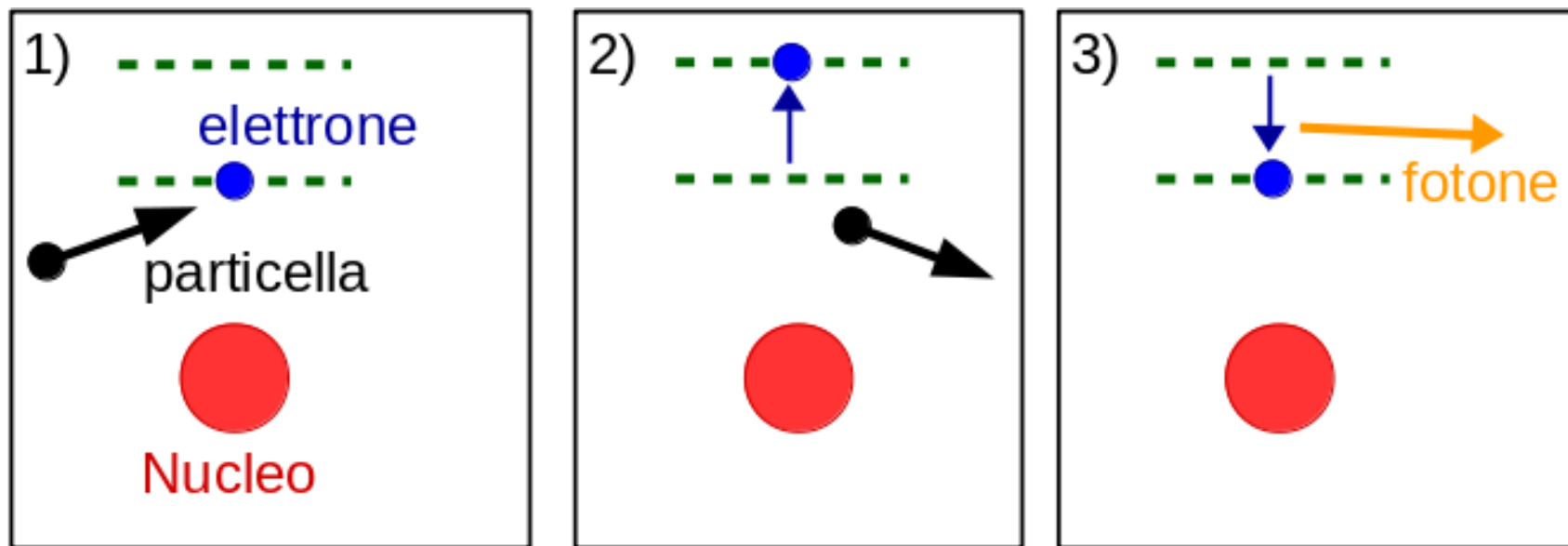
- Ionizzazione nei gas
- Ionizzazione nei semiconduttori
- Scintillazione

Come rivelatori nel nostro caso usiamo degli **scintillatori**

Gli scintillatori sono composti da un materiale che emette luce quando una particella carica perde energia al suo interno



La scintillazione

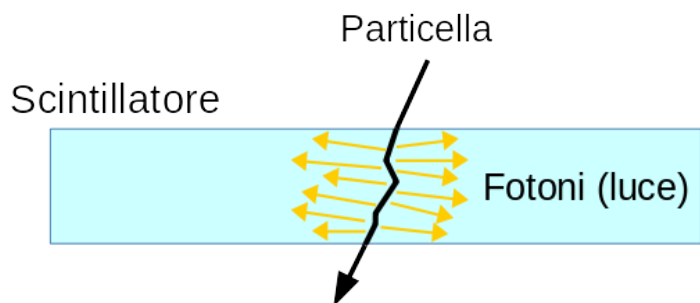
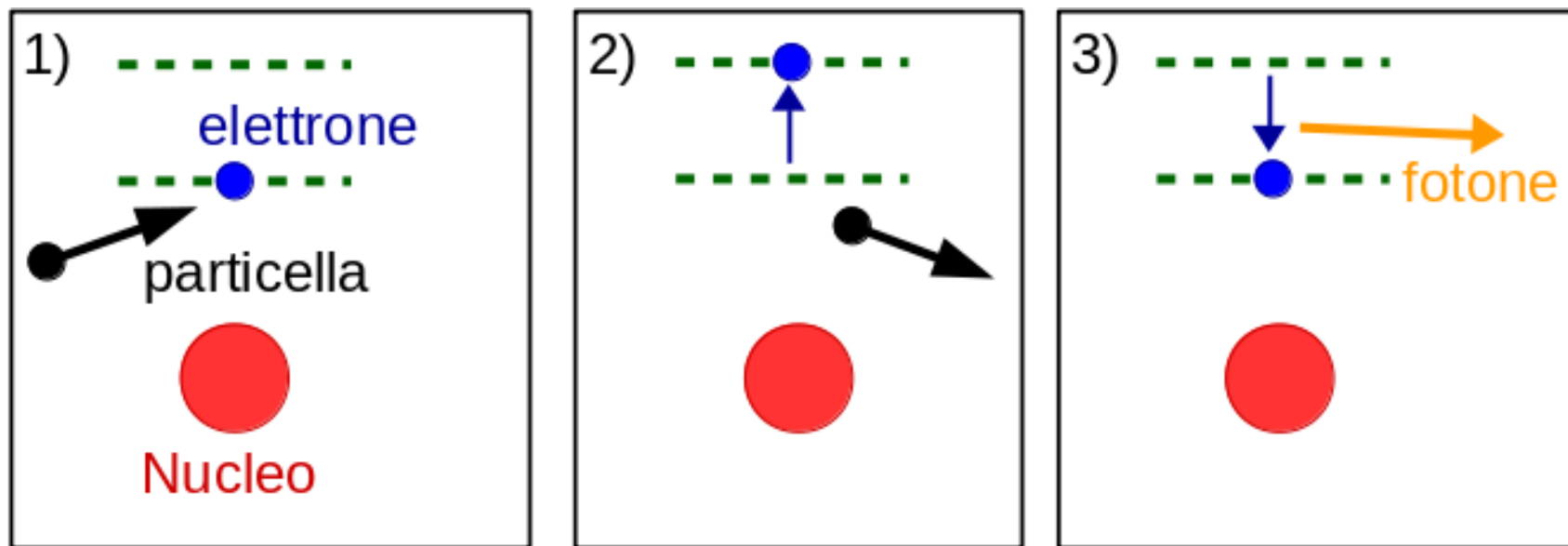


La particella carica interagisce con gli elettroni degli atomi del materiale



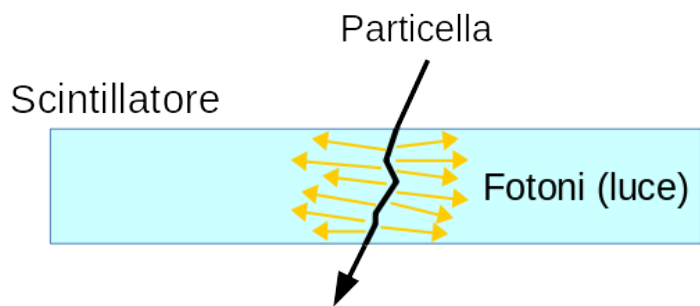
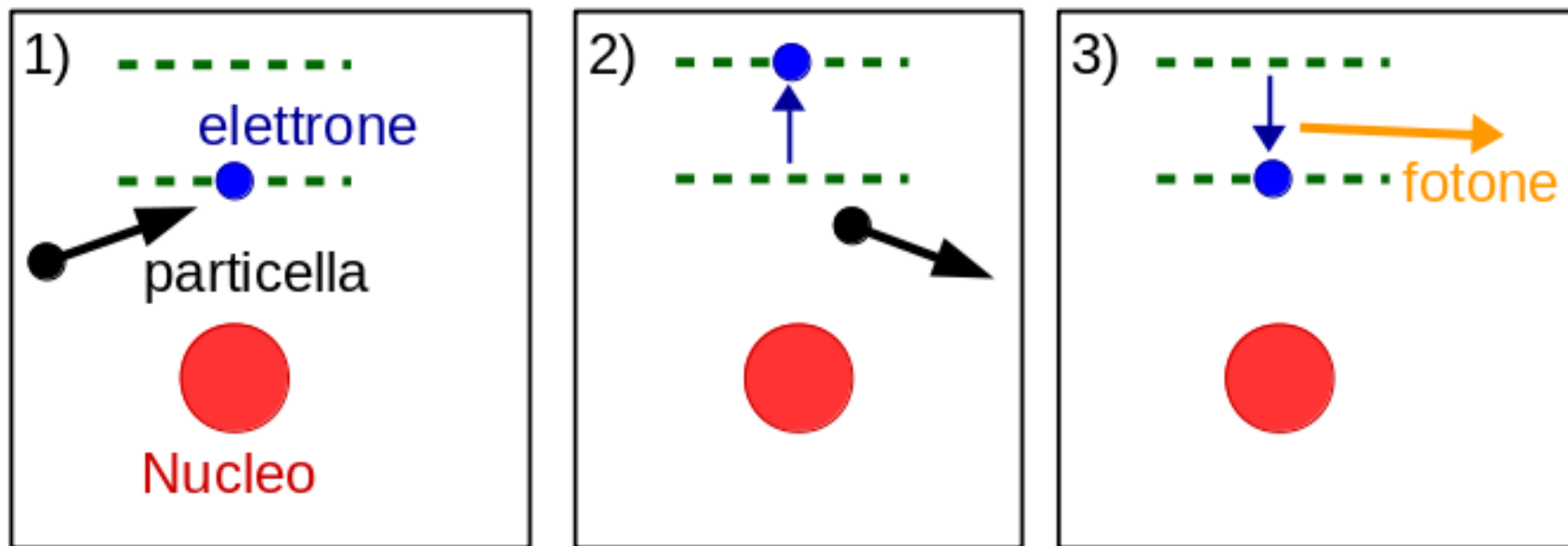
Gli elettroni "eccitati" si diseccitano emettendo fotoni ("luce di scintillazione")

La scintillazione



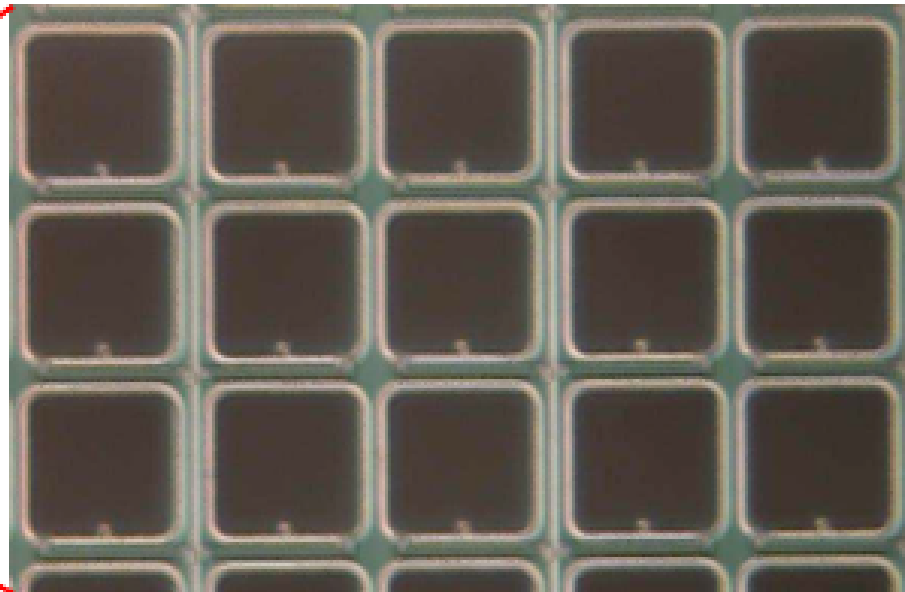
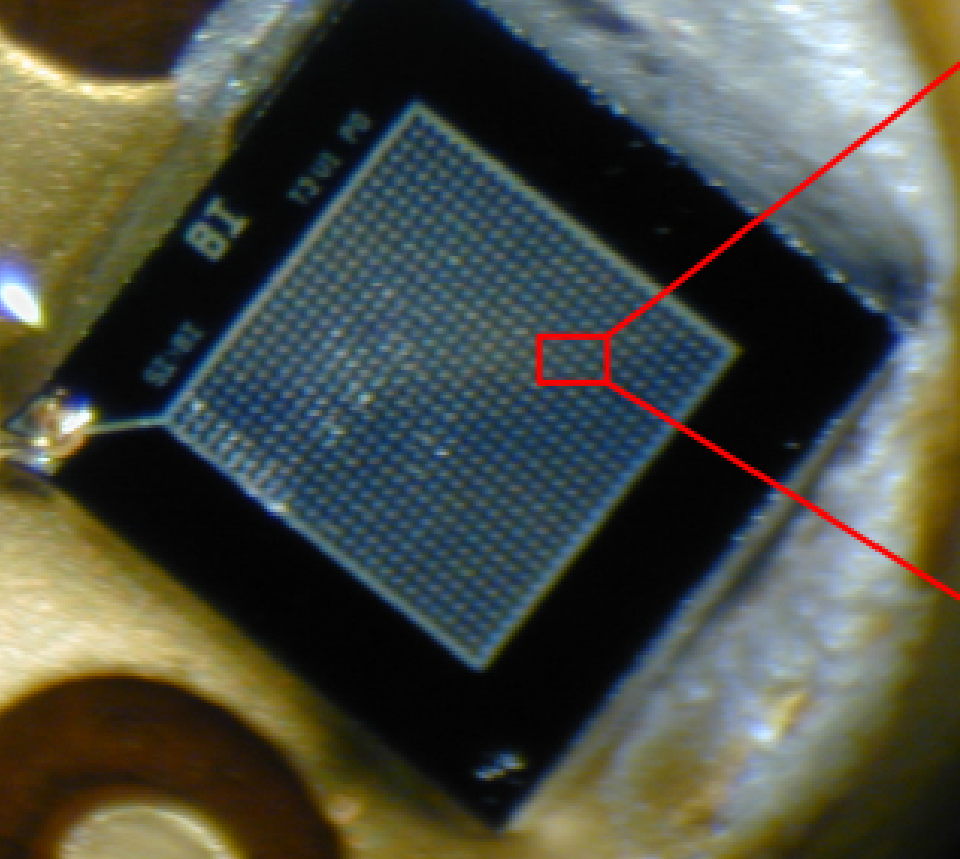
Gli elettroni "eccitati" si diseccitano emettendo fotoni ("luce di scintillazione")

La scintillazione



Serve un sistema per convertire la luce in un segnale elettrico

Gli elettroni "eccitati" si diseccitano emettendo fotoni ("luce di scintillazione")



↔
20-100 μm

Tra i rivelatori più usati ci sono:

1) Fotomoltiplicatori

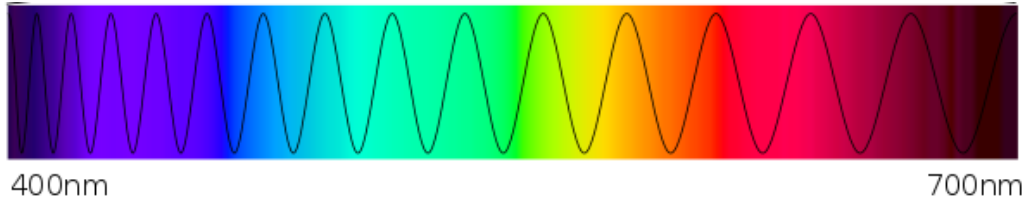
2) Fotodiodi

3) Fotomoltiplicatori al silicio ("SiPM")

- Sono composti da tante celle separate (dimensioni $\sim 20\text{-}100 \mu\text{m}$)
- Quando un fotone colpisce una cella, questa genera un segnale elettrico di ampiezza \sim fissa
- Si somma il segnale di tutte le celle \rightarrow il segnale totale è proporzionale al numero di fotoni che colpiscono il SiPM

Nel nostro caso usiamo degli scintillatori plastici e dei SiPM, ma non basta!

I SiPM hanno bassa efficienza alla lunghezza d'onda emessa dagli scintillatori (~blu), quindi vengono usati dei "wavelength-shifter" per convertire la luce blu in luce verde

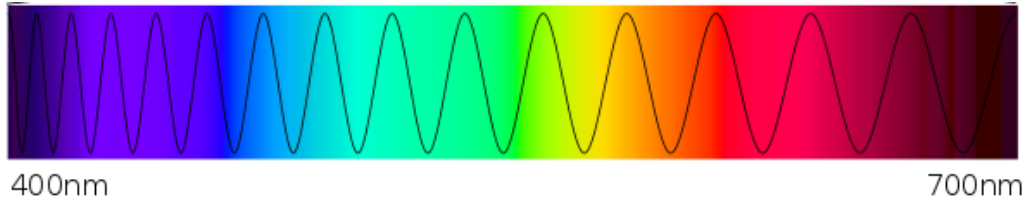


Wavelength-shifter

Materiale che assorbe fotoni di una lunghezza d'onda e li riemette ad una lunghezza d'onda superiore

Nel nostro caso usiamo degli scintillatori plastici e dei SiPM, ma non basta!

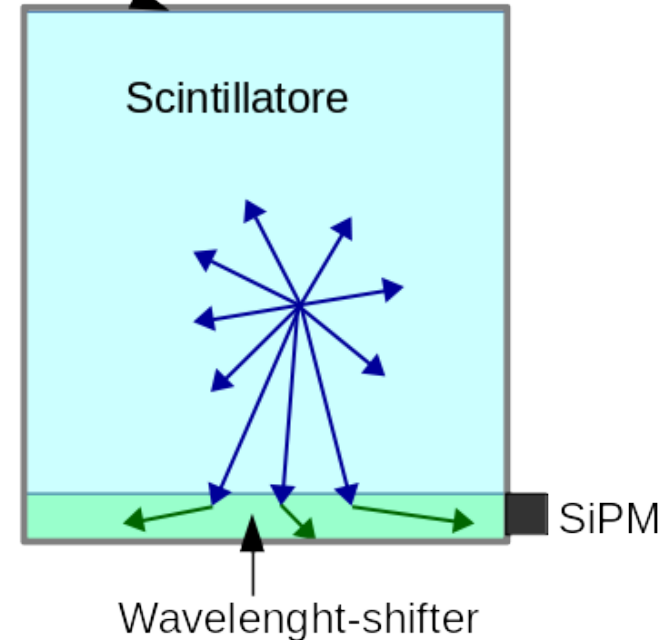
I SiPM hanno bassa efficienza alla lunghezza d'onda emessa dagli scintillatori (~blu), quindi vengono usati dei "wavelength-shifter" per convertire la luce blu in luce verde



Wavelength-shifter

Materiale che assorbe fotoni di una lunghezza d'onda e li riemette ad una lunghezza d'onda superiore

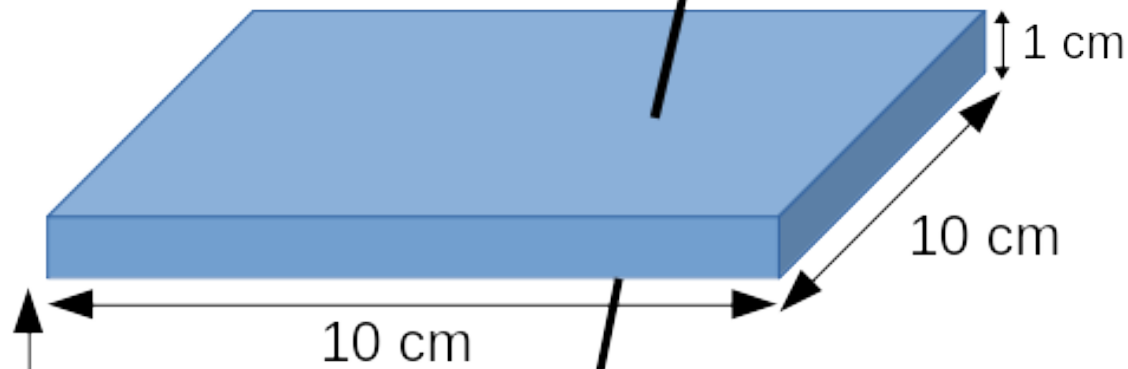
Rivestimento riflettente per contenere la luce all'interno e non farla entrare dall'esterno)



I fotoni emessi dal wavelength-shifter vengono poi rivelati dal SiPM

Setup sperimentale

Scintillatore 1



L'apparato che useremo è costituito da 2 sistemi

scintillatore +
wavelength-shifter +
SiPM

15 cm

Scintillatore 2



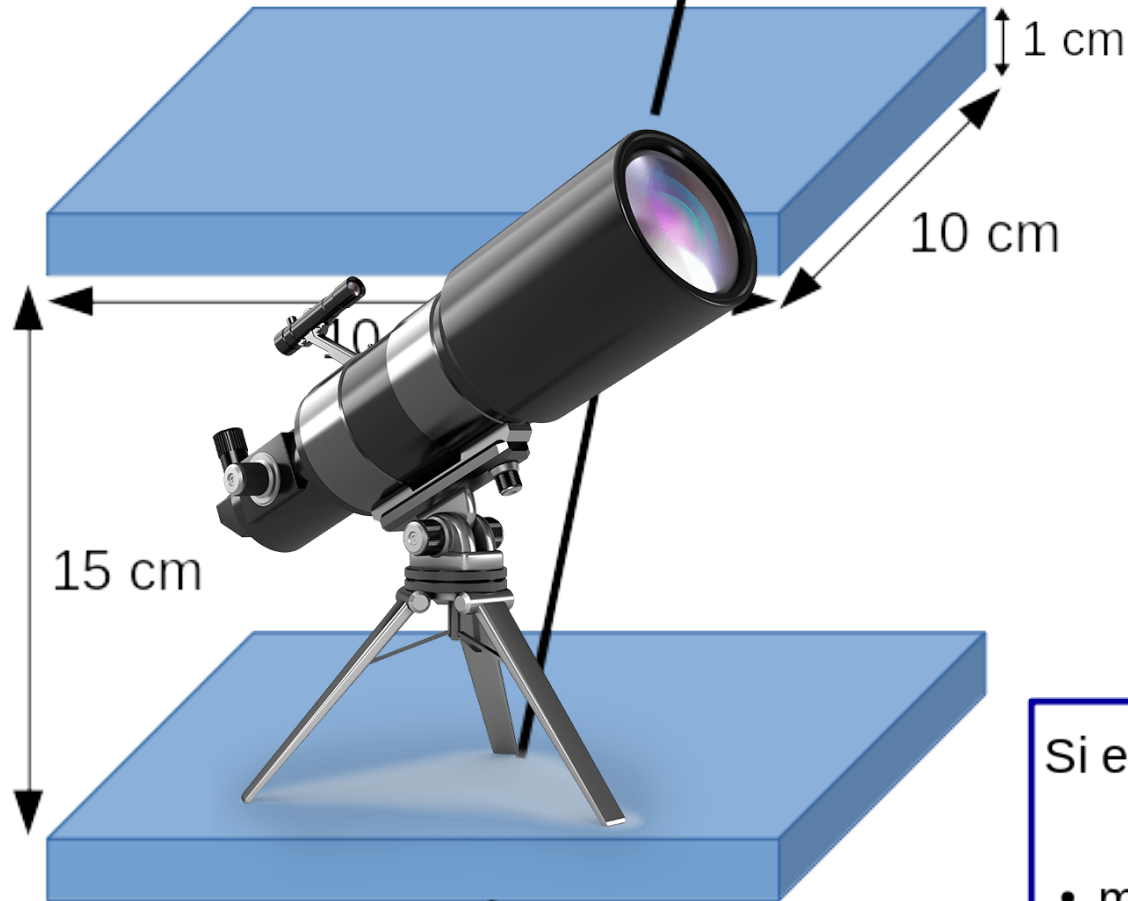
Particella

Si effettua la coincidenza dei due segnali, in modo da:

- misurare il flusso in funzione dell'angolo (**telescopio**)
- evitare di conteggiare il rumore

Setup sperimentale

Scintillatore 1



Scintillatore 2

Particella

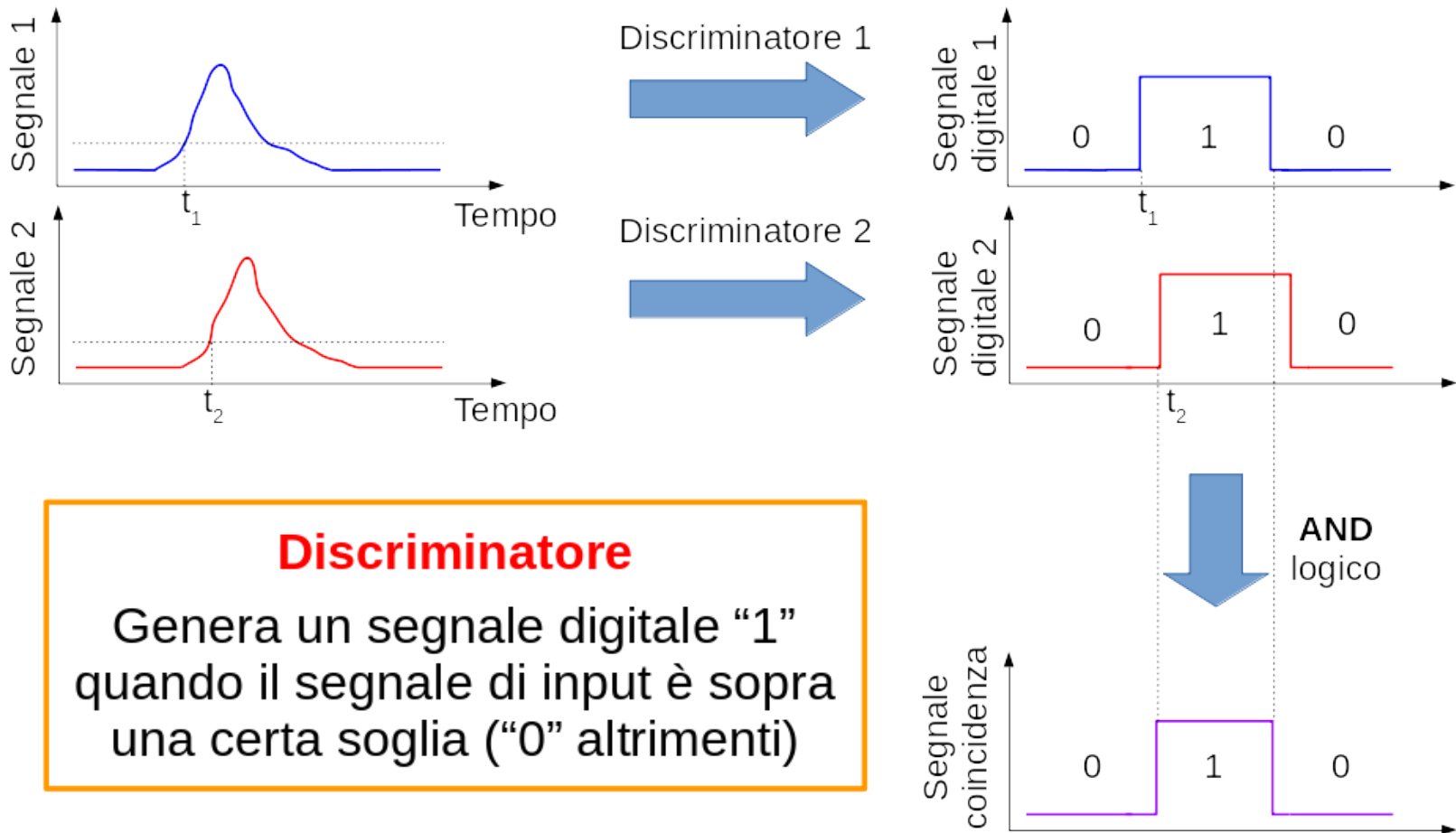
L'apparato che useremo è costituito da 2 sistemi

scintillatore +
wavelength-shifter +
SiPM

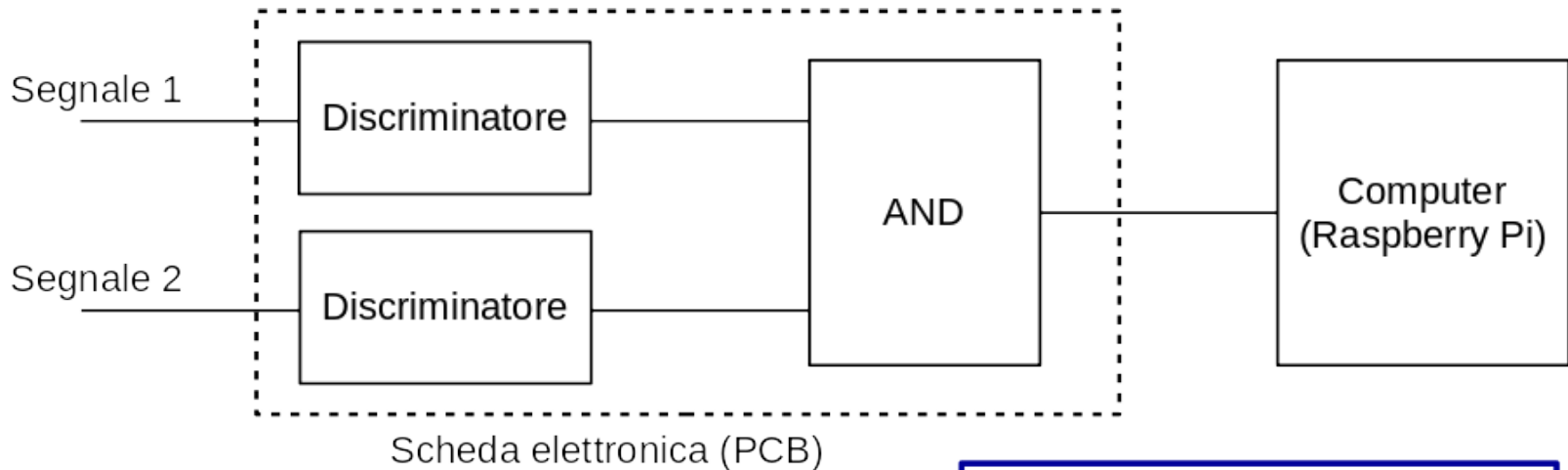
Si effettua la coincidenza dei due segnali, in modo da:

- misurare il flusso in funzione dell'angolo (**telescopio**)
- evitare di conteggiare il rumore

Coincidenza dei segnali



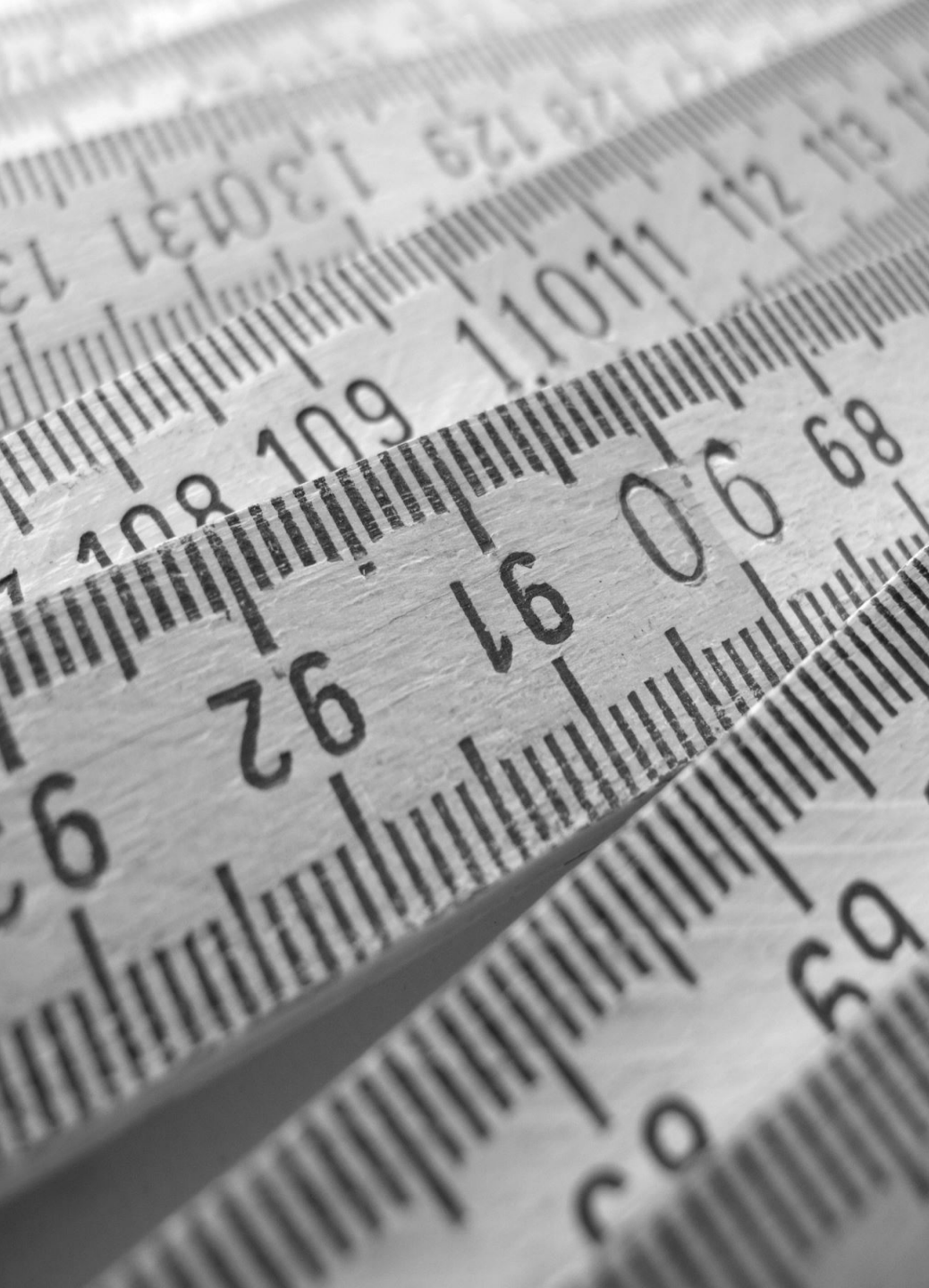
Coincidenza dei segnali



Il programma eseguito sul PC mostra il numero di coincidenze registrate ed il tempo trascorso

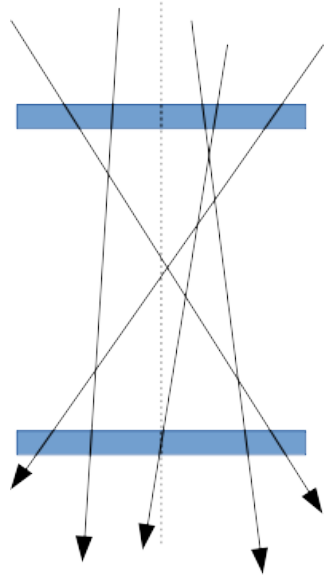


Si ricava il tasso di incidenza di particelle

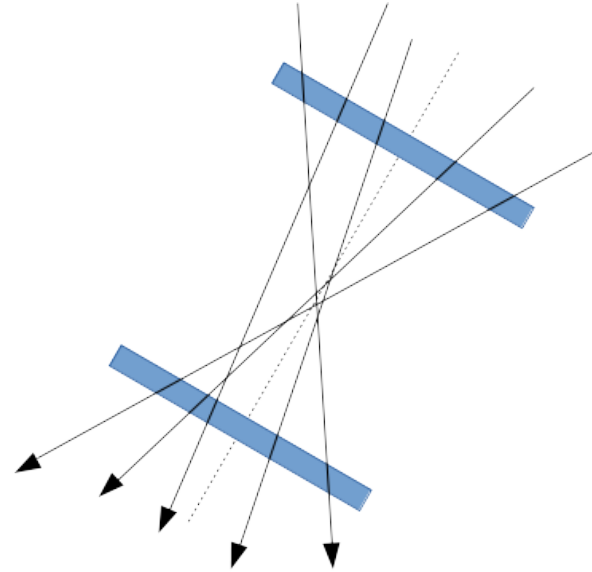


Misure in
funzione
dell'angolo

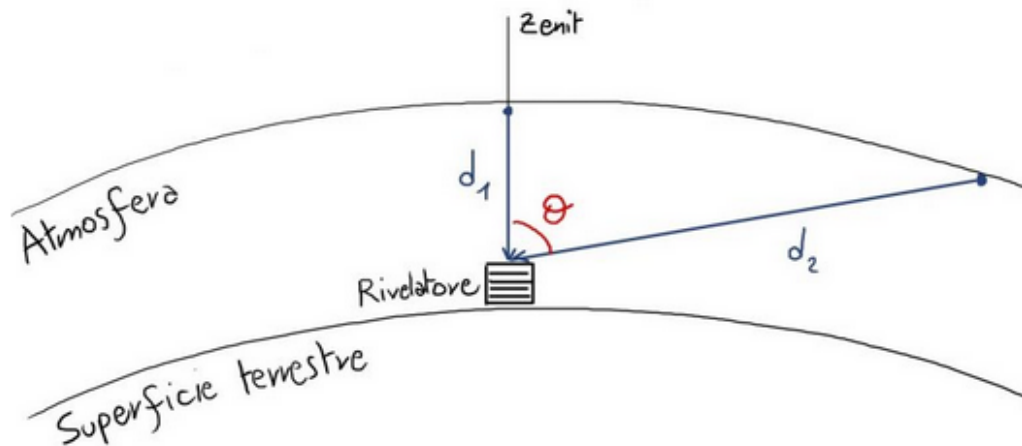
Variando l'inclinazione della coppia di scintillatori si può misurare il flusso di particelle al variare dell'angolo rispetto alla verticale ("angolo di zenit")



Angolo di zenit = 0°



Angolo di zenit = 30°





Stima del numero di conteggi attesi

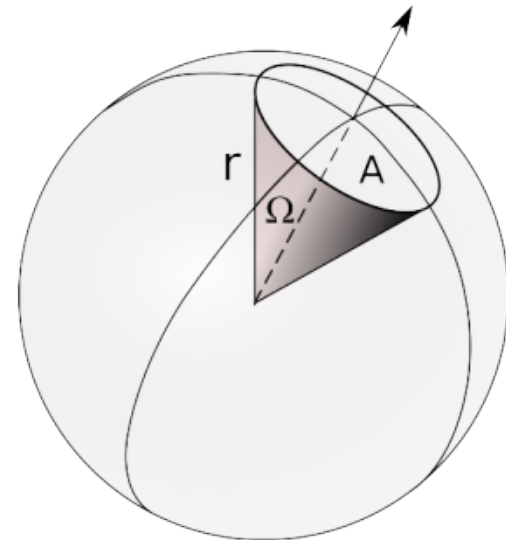
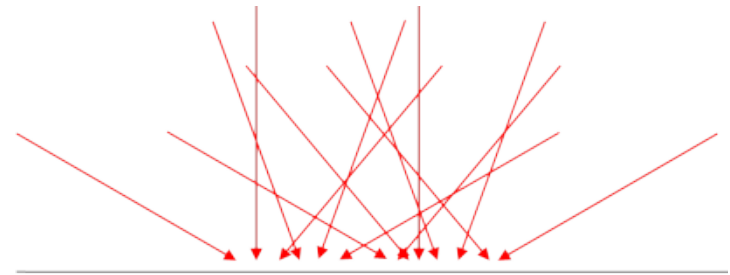
- Dato un flusso di particelle **isotropo**

$$\phi [m^{-2} s^{-1} sr^{-1}],$$

Il tasso di conteggi attesi nel rivelatore e`

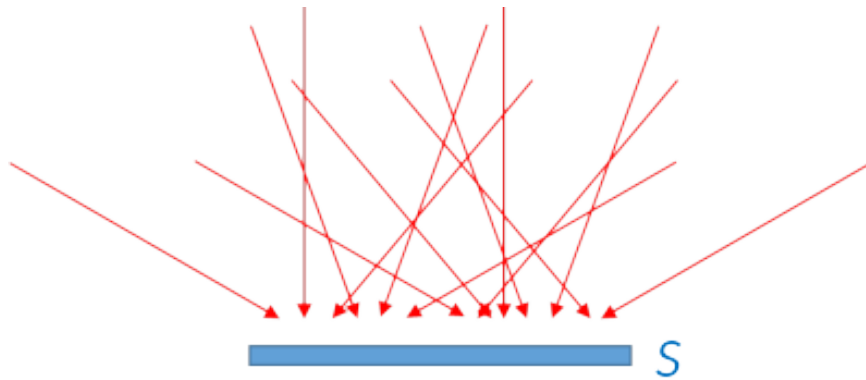
$$F[\text{Hz}] = \frac{\Delta N}{\Delta T[s]} \approx \phi \left[\frac{1}{m^2 s sr} \right] \cdot G[m^2 sr] \cdot \epsilon$$

- Il **fattore geometrico** G tiene conto della superficie di rivelazione e dell'apertura angolare dello strumento
- L'**efficienza** $\epsilon = 0 \div 1$ tiene conto della probabilita` finita di rivelare la particella



Angolo solido $\Omega = \frac{A}{r^2}$
Unita` di misura $[\Omega] = sr$

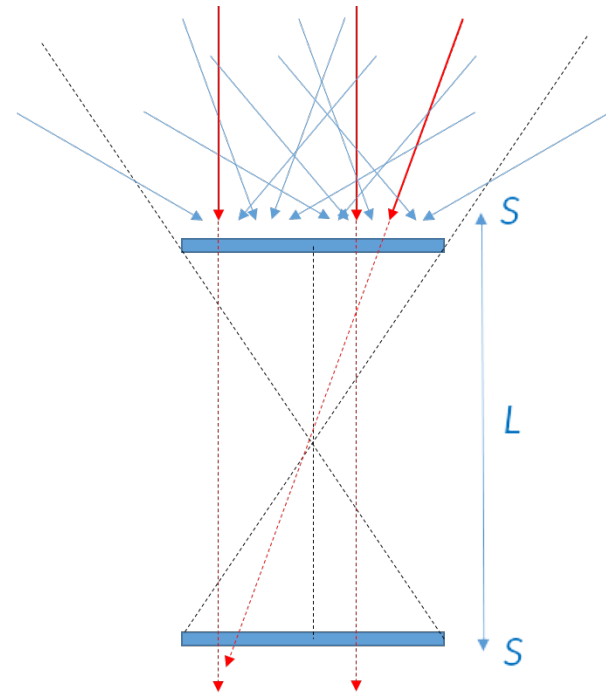
Fattore geometrico



Singolo elemento planare

$$G_0 = \pi S$$

l'accettanza geometrica di un rivelatore a singolo piano: non è l'area S ma πS perché "raccolge" particelle con direzioni di incidenza fra 0 e $\pi/2$



Telescopio

$$G \leq \frac{S^2}{L^2}$$

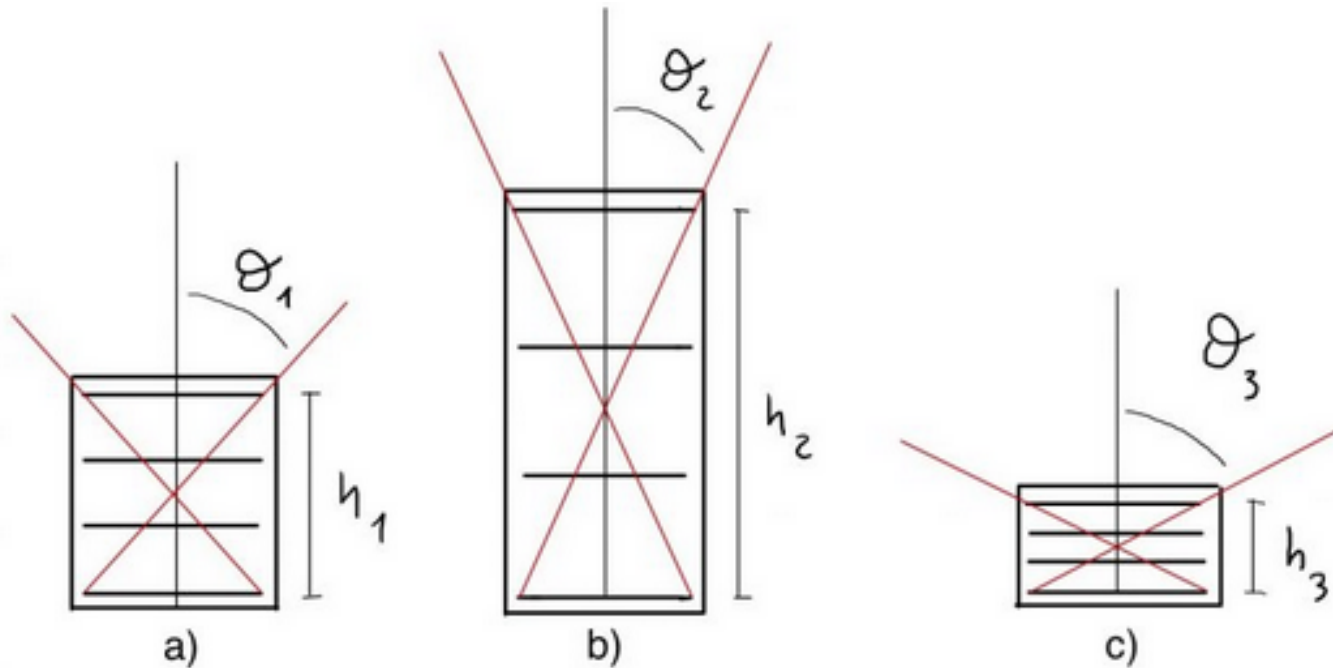
Fattore geometrico



come pensate possa variare il rate/intensità delle particelle osservate modificando la distanza tra i piani del rivelatore ?

Fattore geometrico

come pensate possa variare il rate/intensità delle particelle osservate modificando la distanza tra i piani del rivelatore dalla configurazione?



gli angoli theta corrispondenti alle varie “configurazioni di coincidenza” cambiano notevolmente !

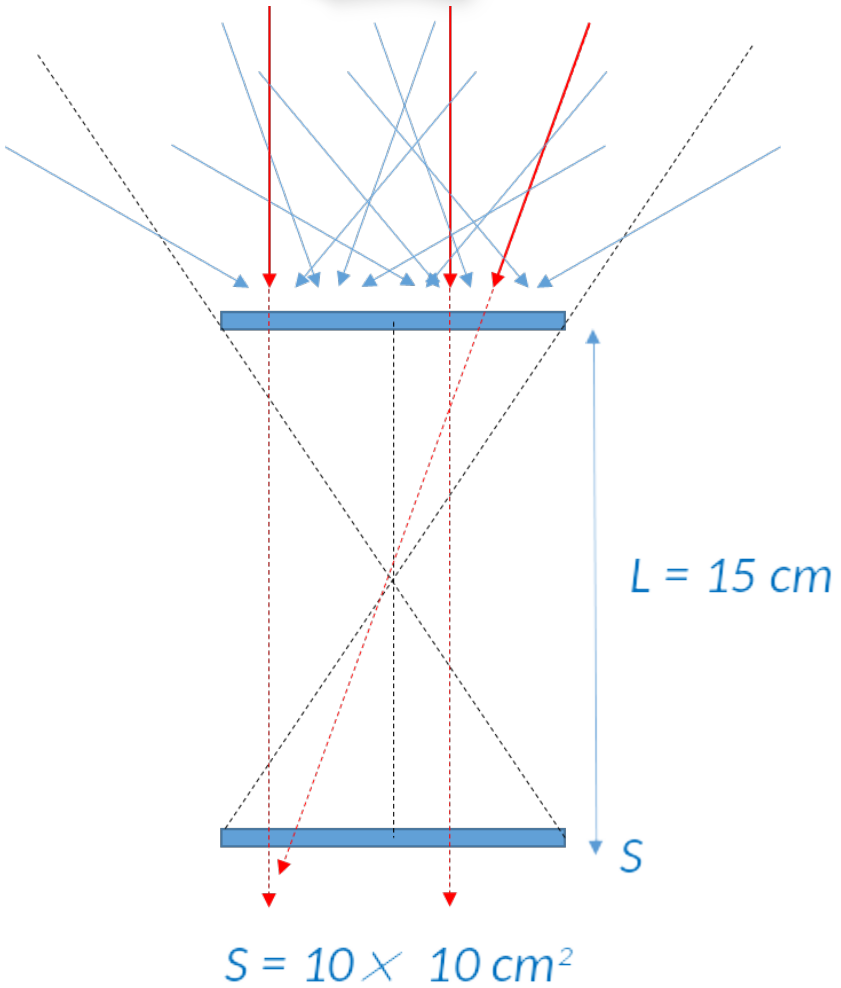


Il nostro telescopio



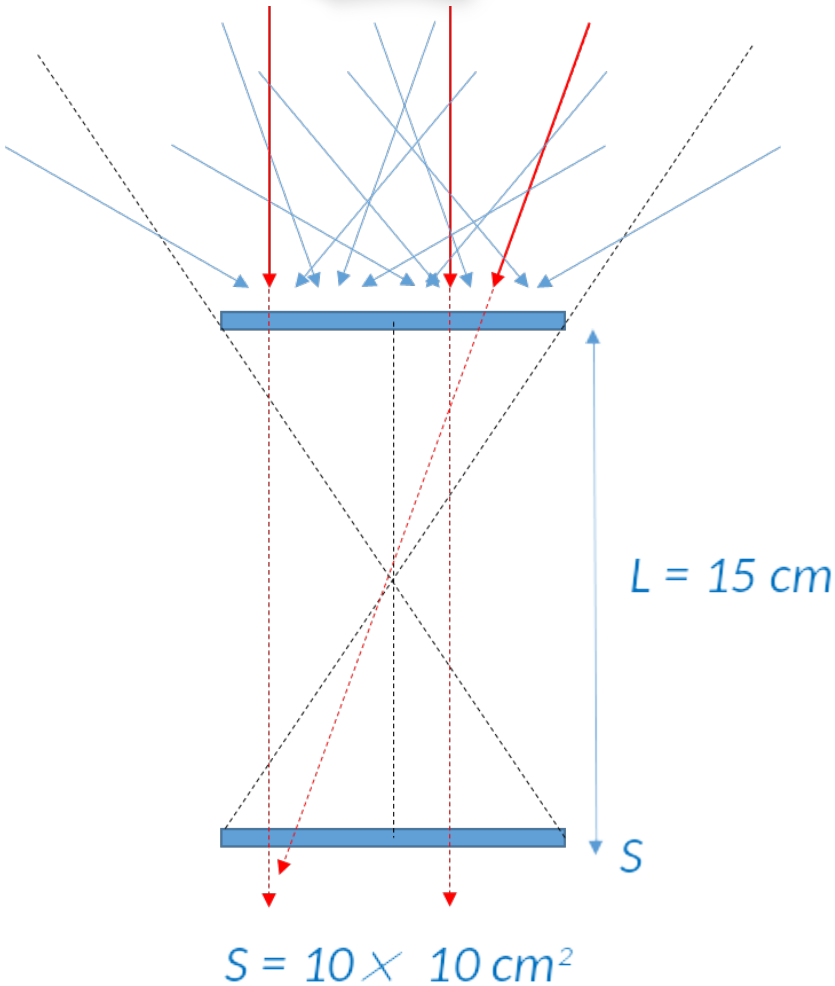


Il nostro telescopio





Il nostro telescopio



- *Flusso verticale di muoni al livello del mare*
 - $\phi \approx 70 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
(assumiamo sia isotropo)
- *Fattore geometrico*
 - *Singolo elemento*
 $G_0 = 0.0314 \text{ m}^2 \text{ sr}$
 - *Telescopio*
 $G \approx \mathbf{0.0037 \text{ m}^2 \text{ sr}} \leq 0.0044 \text{ m}^2 \text{ sr}$
(valore calcolato numericamente)
- *Efficienza*
 - $\epsilon \approx 1$
- *Tasso di conteggi atteso*
 - $F \approx 0.26 \text{ Hz}$
ovvero, $\Delta N \approx 15.5$ conteggi al minuto

