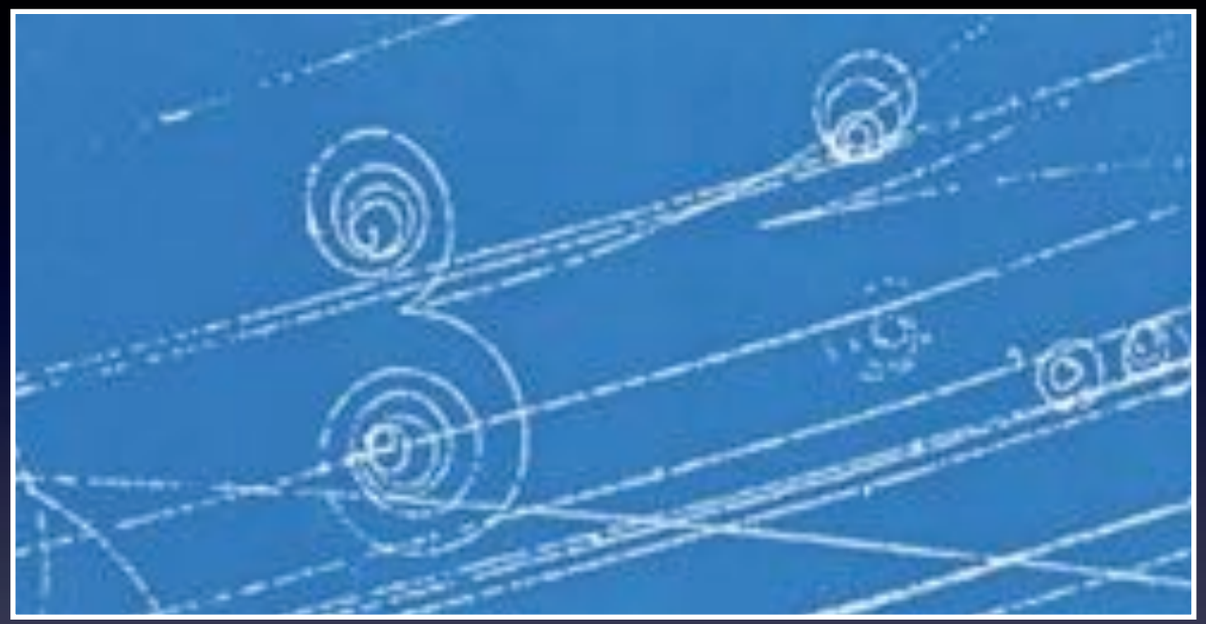
noi e...



l'antimateria

Livio Lanceri - UniTS, Dipartimento di Fisica
Prolusione all'Anno Accademico 2014-2015

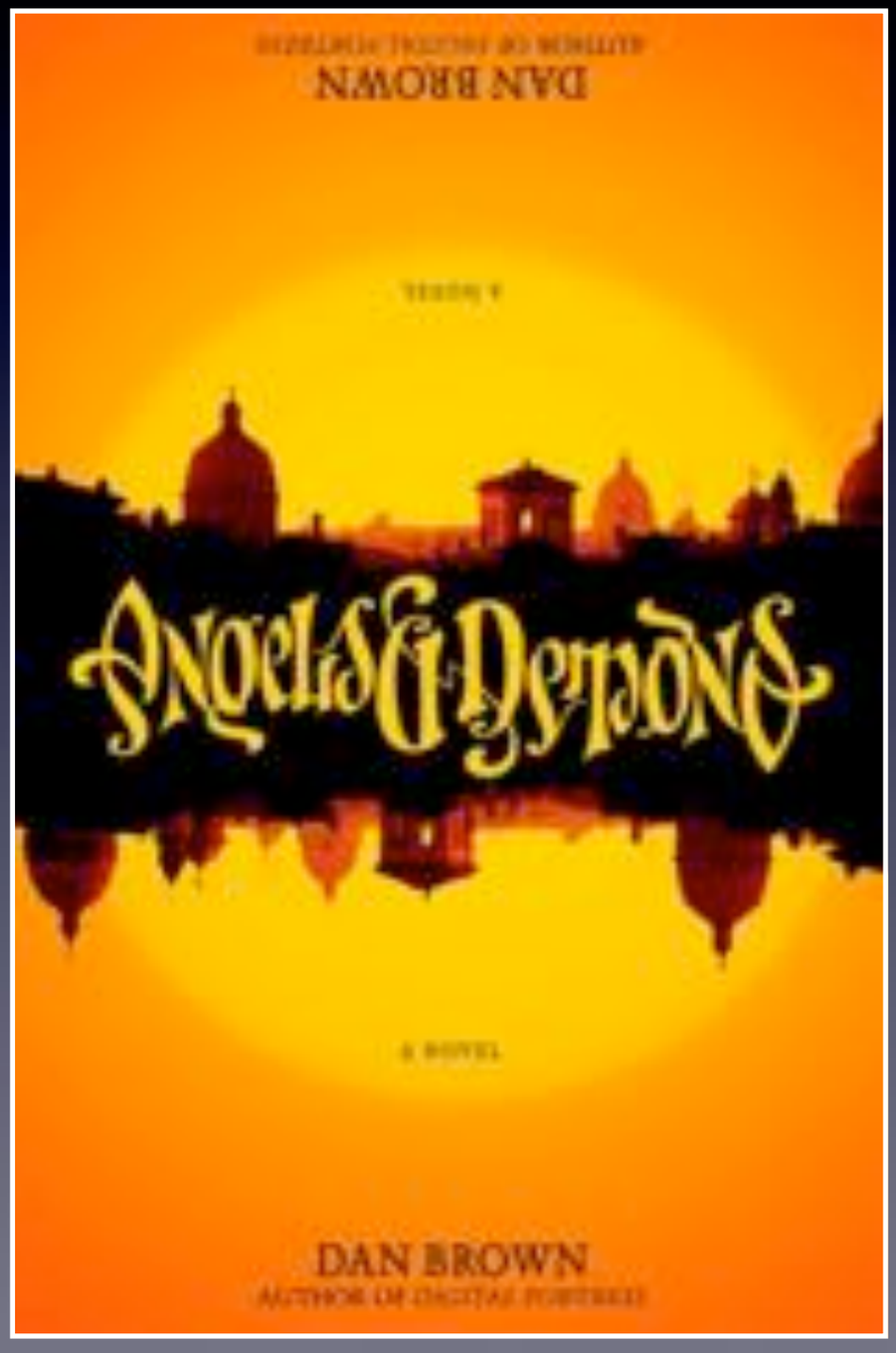
l’antimateria nella stampa quotidiana

- nel 1996, pochi mesi dopo la fabbricazione dei primi atomi di anti-idrogeno ai laboratori CERN di Ginevra

- “Liberation” (6 gennaio 1996): copertina e lungo articolo

- “Primi passi nell’*antimondo*”

l'antimateria in un bestseller, "Angels and Demons"



Nel momento stesso in cui materia e antimateria vengono in contatto, tutta la loro massa si trasforma in energia: questo significa che è possibile liberare una quantità enorme di energia senza produrre inquinanti chimici o radioattivi. Basterebbero quantità minime di antimateria per rifornire di energia una città come New York.

Dal contatto fra un grammo di antimateria e un grammo di materia si sprigiona la stessa quantità di energia di una bomba atomica da 20 chiloton, come quella sganciata su Hiroshima.

Impossibile fare a meno di chiedersi se questa sostanza altamente volatile salverà il mondo o verrà usata per creare l'arma più letale che sia mai esistita.

un bestseller, “Angels and Demons”

Nel momento stesso in cui materia e antimateria vengono in contatto, tutta la loro massa si trasforma in energia: questo significa che è possibile liberare una quantità enorme di energia senza produrre inquinanti chimici o radioattivi. Basterebbero quantità minime di antimateria per rifornire di energia una città come New York.

Dal contatto fra un grammo di antimateria e un grammo di materia si sprigiona la stessa quantità di energia di una bomba atomica da 20 chiloton, come quella sganciata su Hiroshima.

Impossibile fare a meno di chiedersi se questa sostanza altamente volatile salverà il mondo o verrà usata per creare l’arma più letale che sia mai esistita.

un bestseller, “Angels and Demons”

Nel momento stesso in cui materia e antimateria vengono in contatto, tutta la loro massa si trasforma in energia: questo significa che è possibile liberare una quantità enorme di energia senza produrre inquinanti chimici o radioattivi. Basterebbero quantità minime di antimateria per rifornire di energia una città come New York.

Dal contatto fra un grammo di antimateria e un grammo di materia si sprigiona la stessa quantità di energia di una bomba atomica da 20 chiloton, come quella sganciata su Hiroshima.

Impossibile fare a meno di chiede[illegible]se questa sostanza altamente volatile salverà il mondo[illegible]verrà usata per creare l’arma più letale che sia mai esistita.

?

noi e l'anti-materia

- la scoperta (1927-1932)
- ma: serve a qualcosa? (sì !)
- ricerca: le frontiere attuali

meccanica quantistica ...

Energia classica

$$E = \frac{p^2}{2m} + V$$

Equazione di Schrodinger

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi$$

Erwin Schrodinger

meccanica quantistica ...

Energia classica

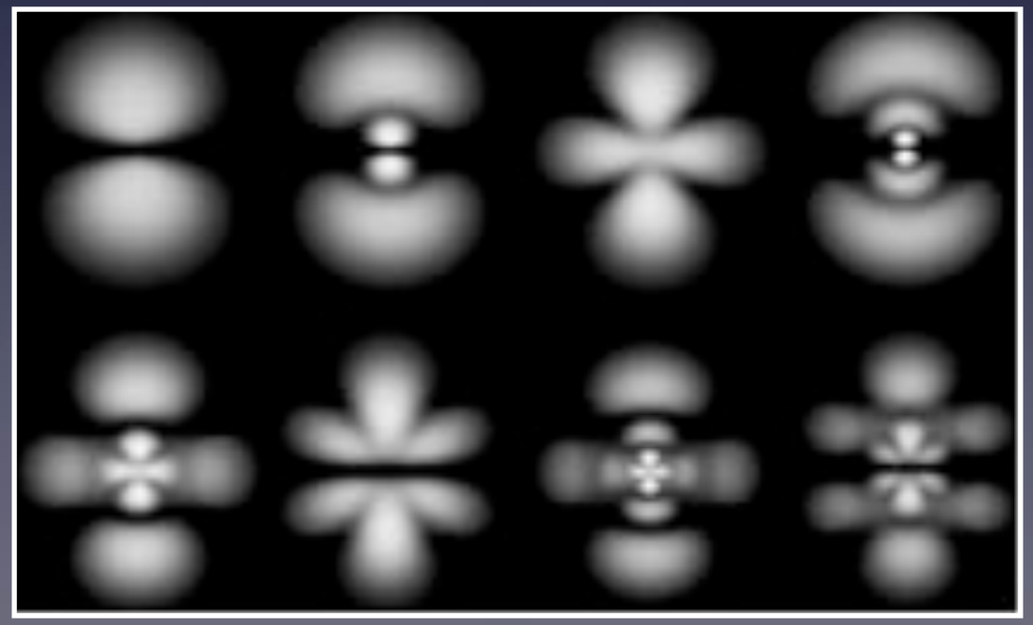
$$E = \frac{p^2}{2m} + V$$

→

Equazione di Schrodinger

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi$$

Erwin Schrodinger



elettroni negli atomi

funzione d'onda Ψ

meccanica quantistica ...

Energia classica

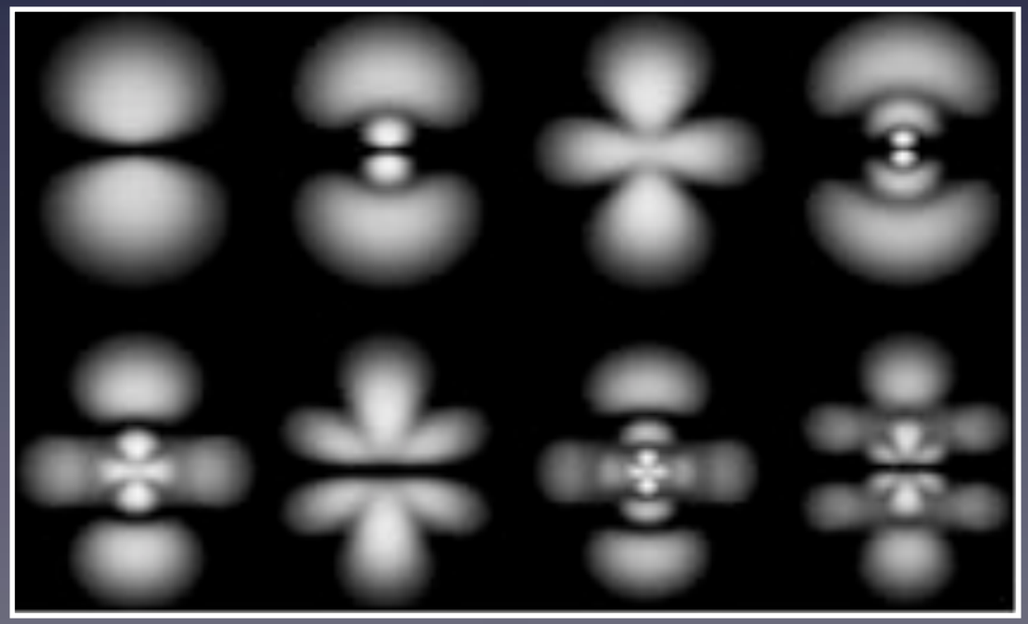
$$E = \frac{p^2}{2m} + V$$

→

Equazione di Schrodinger

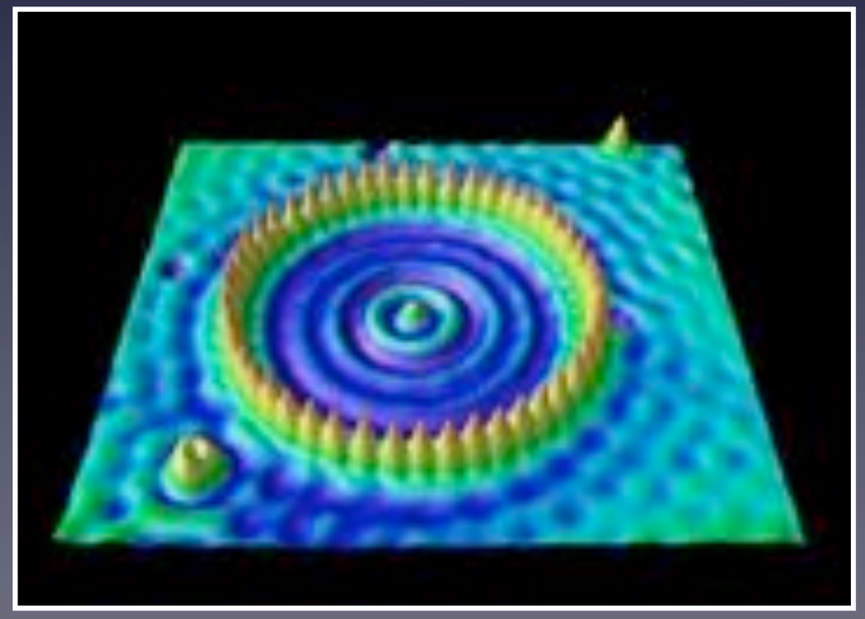
$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi$$

Erwin Schrodinger



elettroni negli atomi

funzione d'onda Ψ

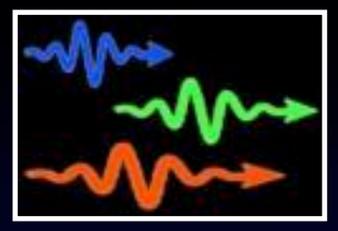


legami chimici,
struttura dei materiali, ...

… e relatività ?

… e relatività ?

luce:
fotoni



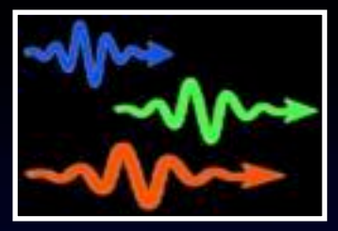
$m = 0$

$\longrightarrow \quad v = c$

$= 300.000 \text{ km/s}$

… e relatività ?

luce: fotoni



$m = 0$

$\mathrm{v} = c$

$= 300.000 \text{ km/s}$

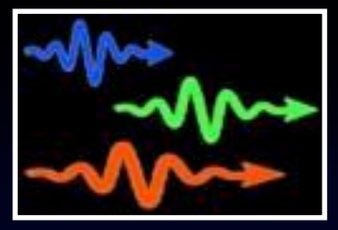
elettroni

m

$\mathrm{v} < c$

… e relatività ?

luce: fotoni



$m = 0$

$\mathrm{v} = c$

$= 300.000 \text{ km/s}$

elettroni

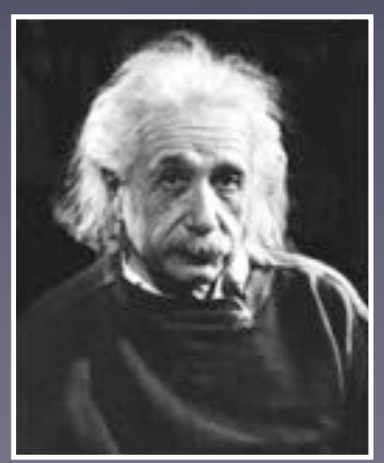
m

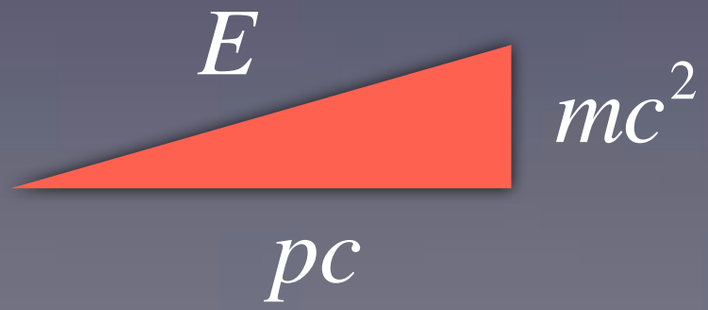
$\mathrm{v} < c$

Energia relativistica

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \rightarrow$$

?





equazione d'onda
per particelle relativistiche,
con velocità vicina a ***c*** ?

l'equazione di Dirac

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = c\vec{\alpha}\bullet\left(-i\hbar\vec{\nabla}\right)\Psi + \beta mc^2\Psi$$

α e β : matrici 4x4,
Ψ funzione d'onda a 4 componenti

l'equazione di Dirac

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = c\vec{\alpha}\bullet\left(-i\hbar\vec{\nabla}\right)\Psi + \beta mc^2\Psi$$

α e β : matrici 4x4,
Ψ funzione d'onda a 4 componenti

descrive elettroni relativistici,
ma anche qualcosa in più,
inaspettato

elettroni e positroni

funzioni d'onda a 4 componenti: OK (spin !), ma: $E < 0$?

$$\begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \\ \Psi_4 \end{pmatrix}$$

elettroni e positroni

funzioni d'onda a 4 componenti: OK (spin !), ma: $E < 0$?

spin ↑ Ψ_1

spin ↓ Ψ_2

spin ↑ Ψ_3

spin ↓ Ψ_4

elettroni e positroni

funzioni d'onda a 4 componenti: OK (spin !), ma: $E<0$?

spin ↑ Ψ_1

spin ↓ Ψ_2

$E>0$ OK

spin ↑ Ψ_3

spin ↓ Ψ_4

elettroni e positroni

funzioni d'onda a 4 componenti: OK (spin !), ma: $E<0$?

spin ↑ ↓ $\begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \end{pmatrix}$ $E>0$ OK

spin ↑ ↓ $\begin{pmatrix} \Psi_3 \\ \Psi_4 \end{pmatrix}$ $E<0$??

elettroni e positroni

funzioni d'onda a 4 componenti: OK (spin !), ma: $E<0$?

spin $\uparrow$ $\downarrow$ $\begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \end{pmatrix}$ $E>0$ OK

spin $\uparrow$ $\downarrow$ $\begin{pmatrix} \Psi_3 \\ \Psi_4 \end{pmatrix}$ $E<0$??

Dirac (1927): idea brillante, ma difficile da accettare:

vuoto = mare di elettroni con $E<0$
assenza di un elettrone ($q<0$, $E<0$) del mare =
= presenza di particella (antielettrone) con $q>0$, $E>0$

elettroni e positroni

funzioni d'onda a 4 componenti: OK (spin !), ma: $E<0$?

spin $\uparrow$ Ψ_1

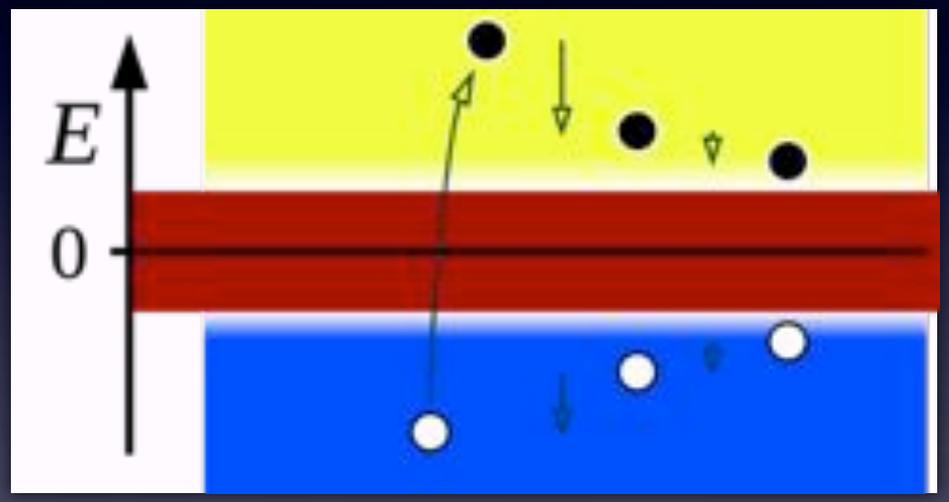
spin $\downarrow$ Ψ_2

$E>0$ OK

spin $\uparrow$ Ψ_3

spin $\downarrow$ Ψ_4

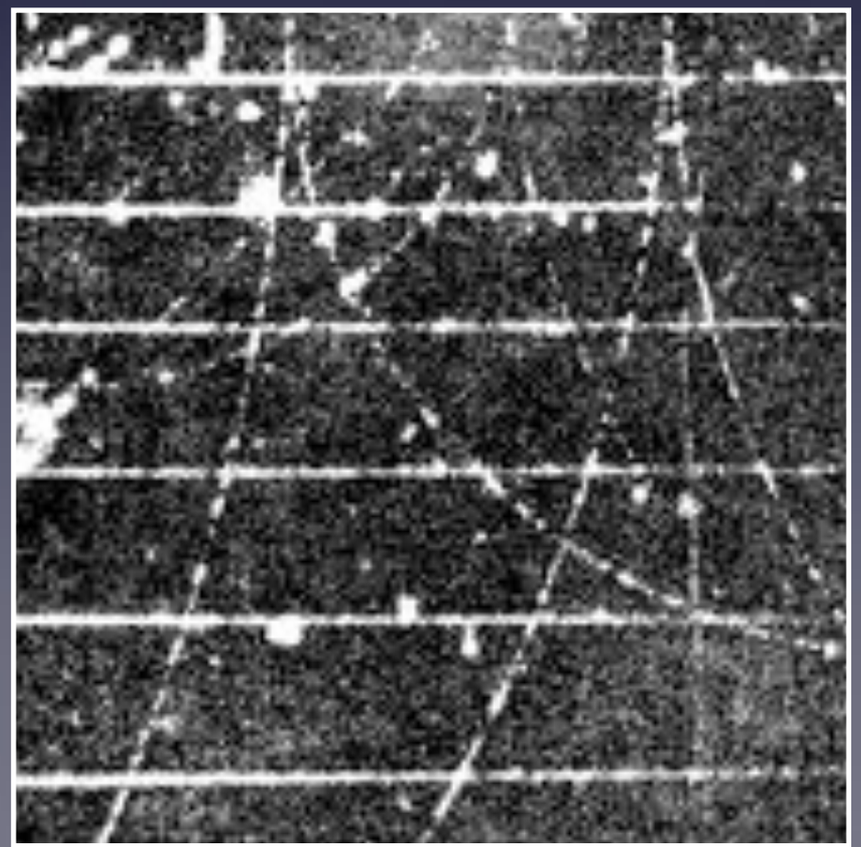
$E<0$??



Dirac (1927): idea brillante, ma difficile da accettare:

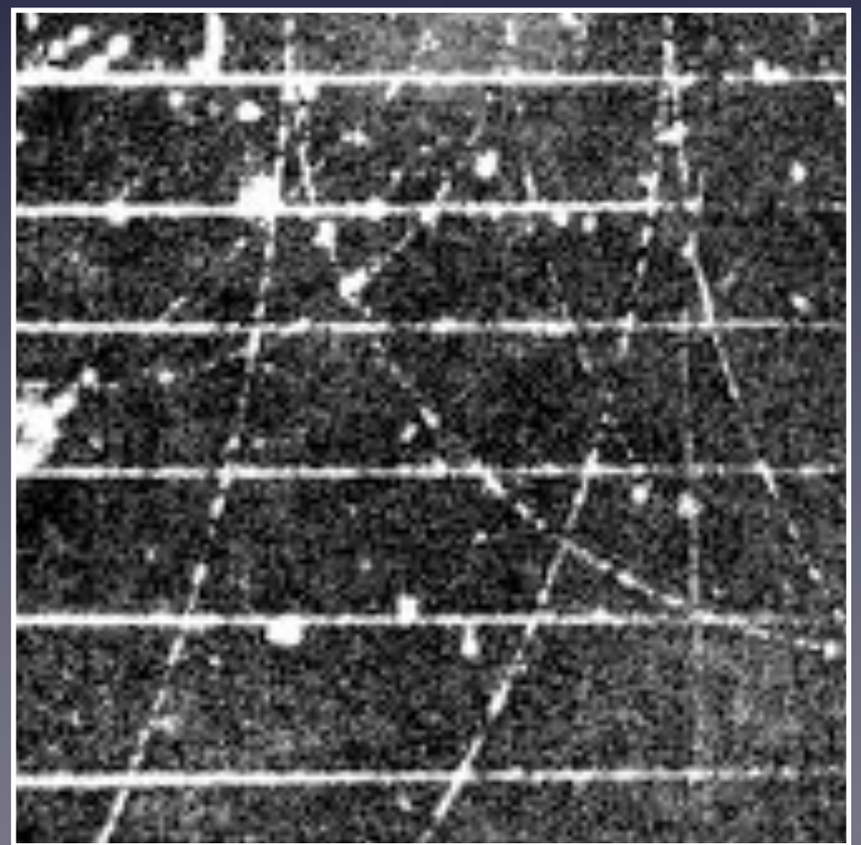
vuoto = mare di elettroni con $E<0$
assenza di un elettrone ($q<0$, $E<0$) del mare =
= presenza di particella (antielettrone) con $q>0$, $E>0$

Scoperta del positrone (1932)



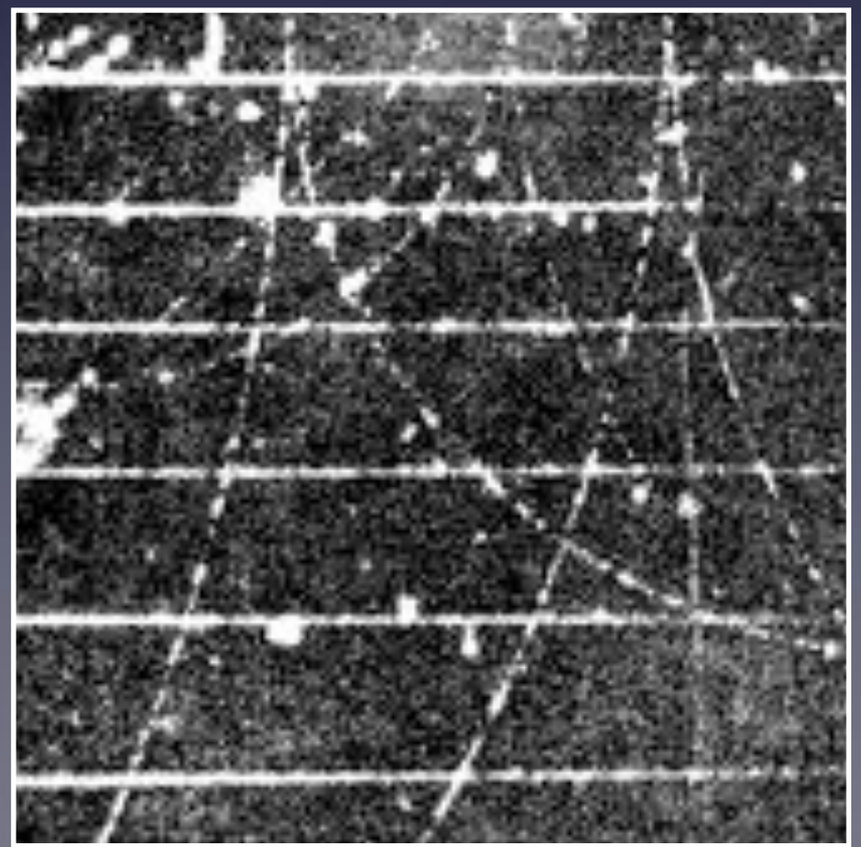
Scoperta del positrone (1932)

- Millikan (Nobel 1924) assegna al suo studente Carl Anderson (n. 1905) la costruzione di un elettromagnete più potente



Scoperta del positrone (1932)

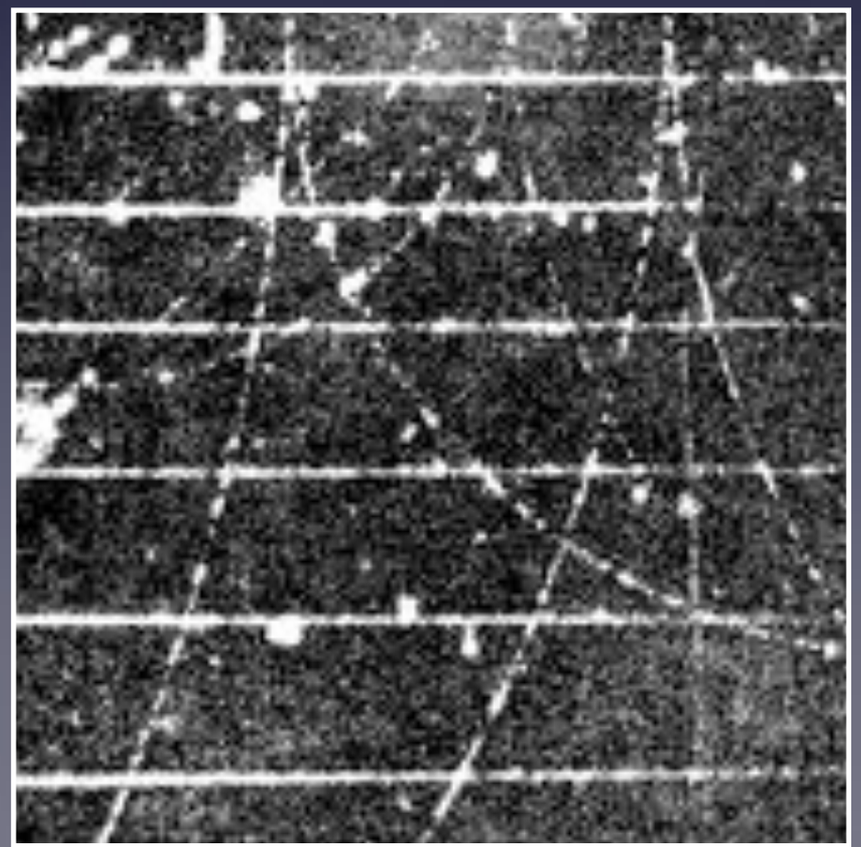
- Millikan (Nobel 1924) assegna al suo studente Carl Anderson (n. 1905) la costruzione di un elettromagnete più potente
- scopo: analizzare raggi cosmici, in camere a nebbia



Scoperta del positrone (1932)

- Millikan (Nobel 1924) assegna al suo studente Carl Anderson (n. 1905) la costruzione di un elettromagnete più potente
- scopo: analizzare raggi cosmici, in camere a nebbia

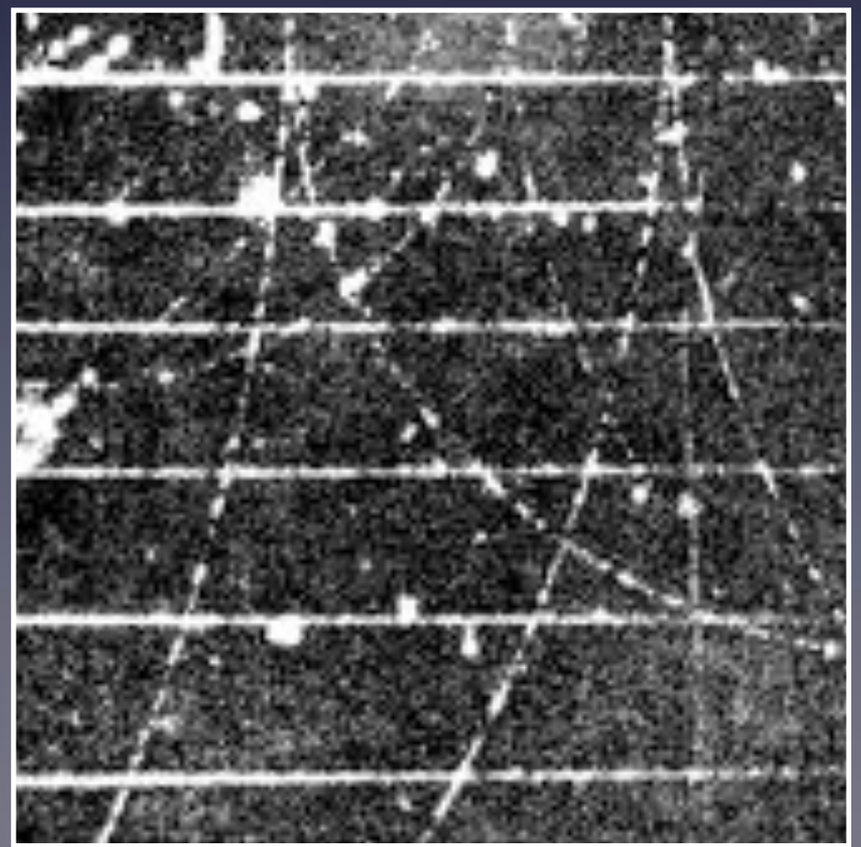
- le particelle, invisibili, lasciano traccia di goccioline nel vapore sopra-saturo



Scoperta del positrone (1932)

- Millikan (Nobel 1924) assegna al suo studente Carl Anderson (n. 1905) la costruzione di un elettromagnete più potente
- scopo: analizzare raggi cosmici, in camere a nebbia

- le particelle, invisibili, lasciano traccia di goccioline nel vapore sopra-saturo
- densità delle gocce ⇒ massa

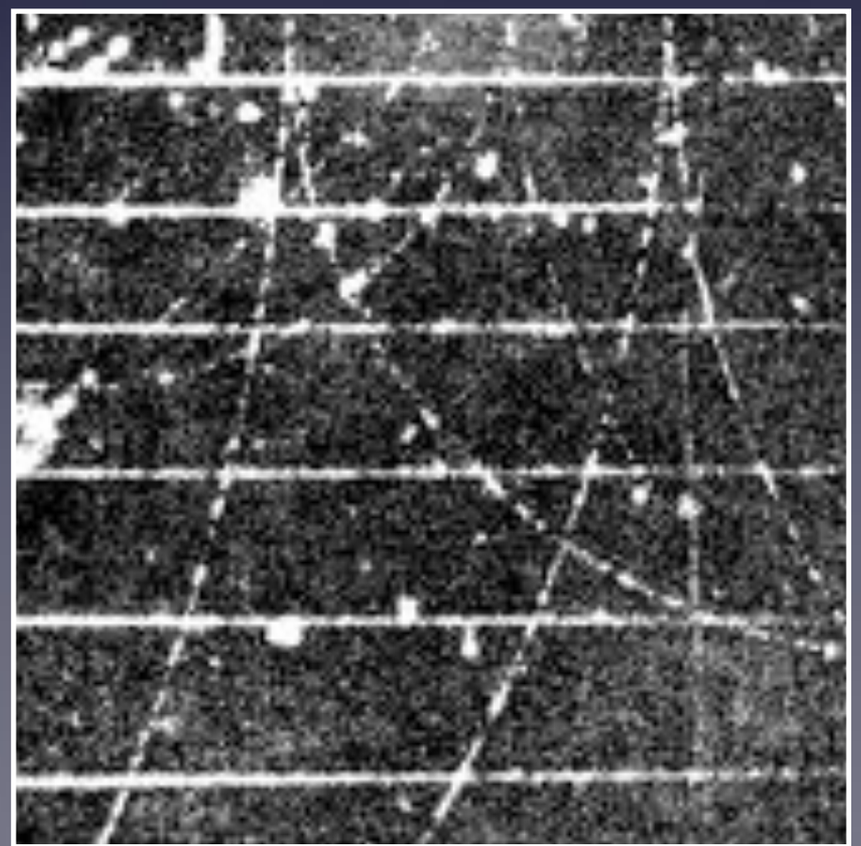


Scoperta del positrone (1932)

- Millikan (Nobel 1924) assegna al suo studente Carl Anderson (n. 1905) la costruzione di un elettromagnete più potente
- scopo: analizzare raggi cosmici, in camere a nebbia

- le particelle, invisibili, lasciano traccia di goccioline nel vapore sopra-saturo
- densità delle gocce ⇒ massa
- dalla curvatura in campo magnetico⇒ carica elettrica

  (positiva o negativa)

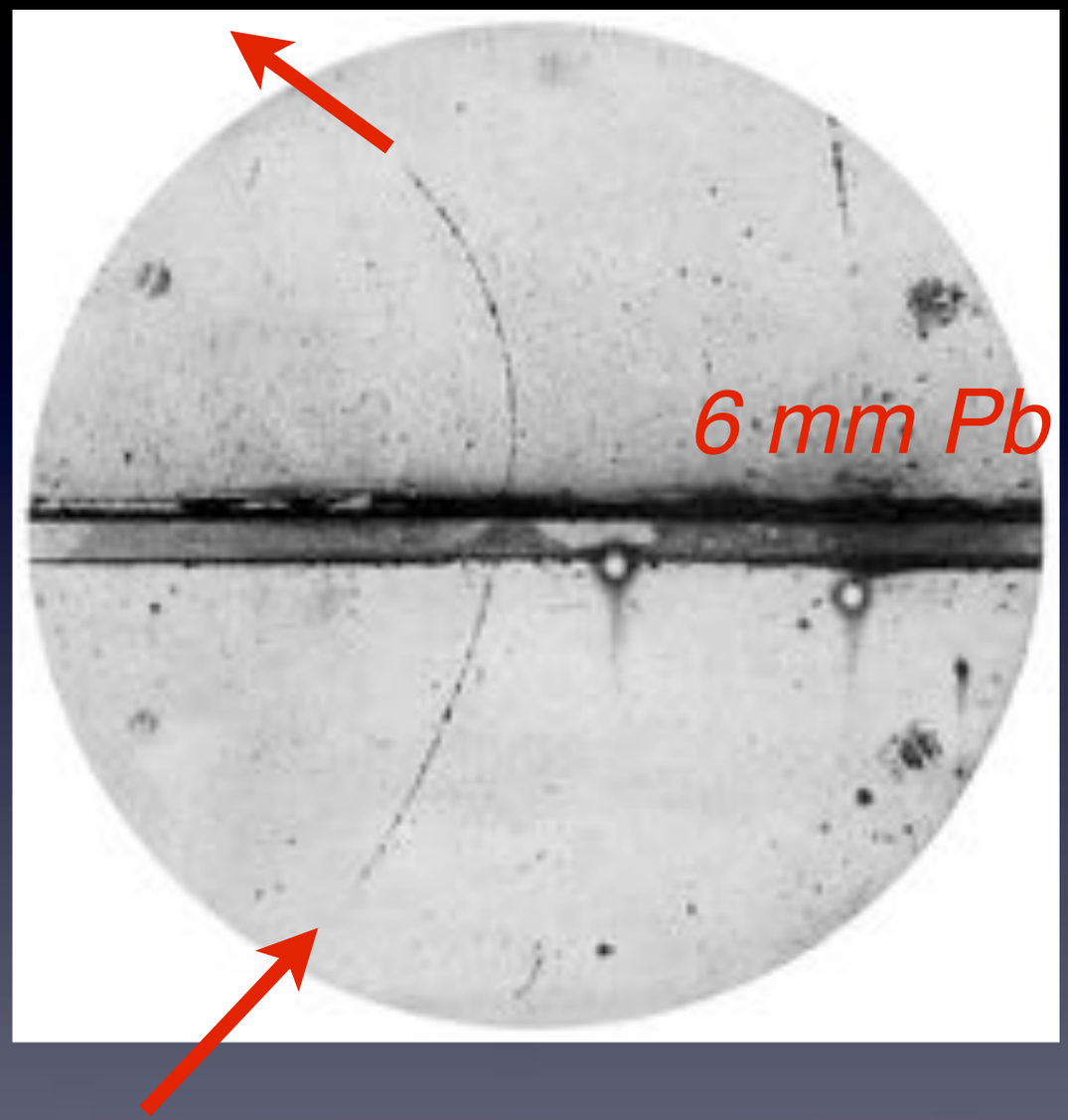


Scoperta del positrone (1932)

- Carl Anderson scopre tracce misteriose...
- curvatura: particelle con carica positiva (protoni?)
- ma: densità di traccia non compatibile con il protone!

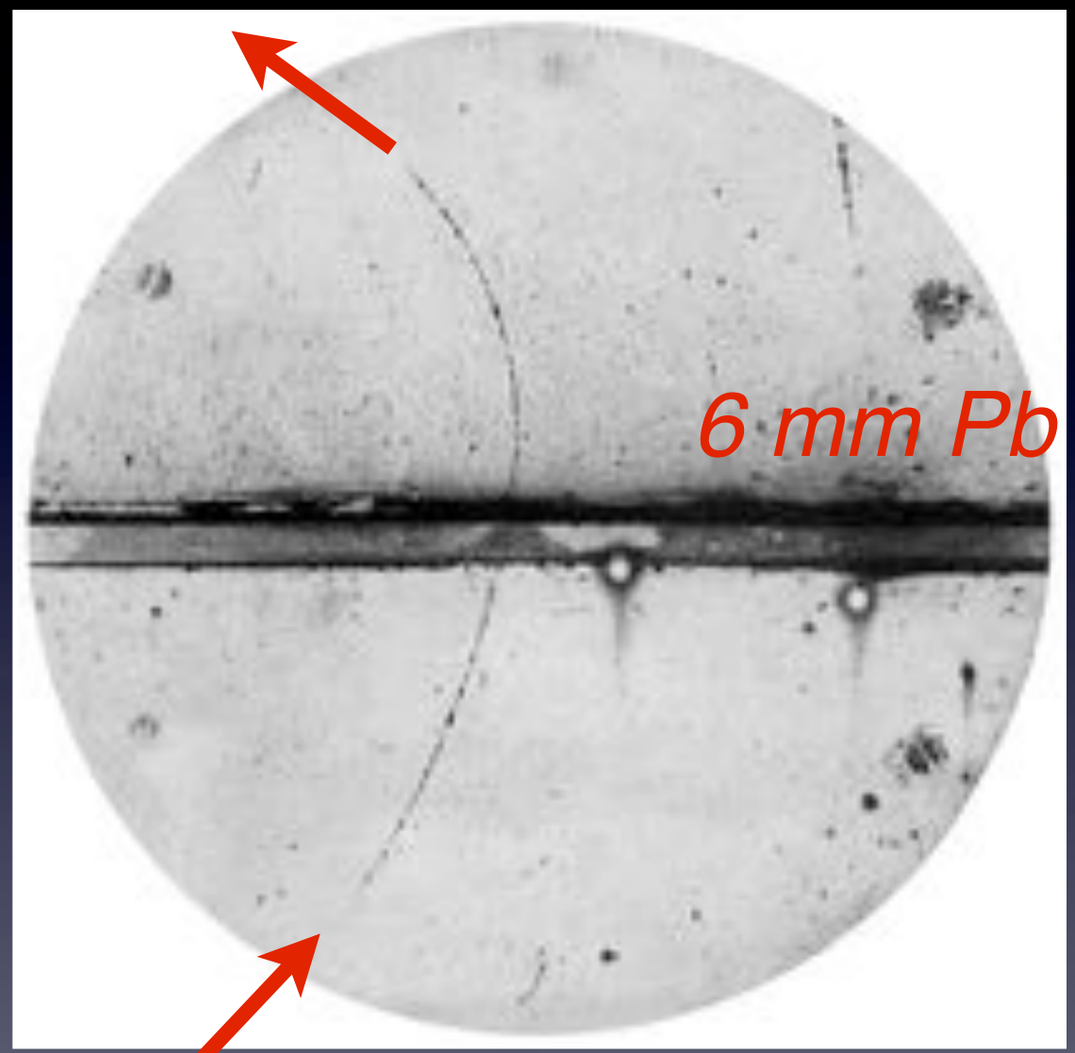
Scoperta del positrone (1932)

- Carl Anderson scopre tracce misteriose...
- curvatura: particelle con carica positiva (protoni?)
- ma: densità di traccia non compatibile con il protone!



Scoperta del positrone (1932)

- Carl Anderson scopre tracce misteriose...
- curvatura: particelle con carica positiva (protoni?)
- ma: densità di traccia non compatibile con il protone!

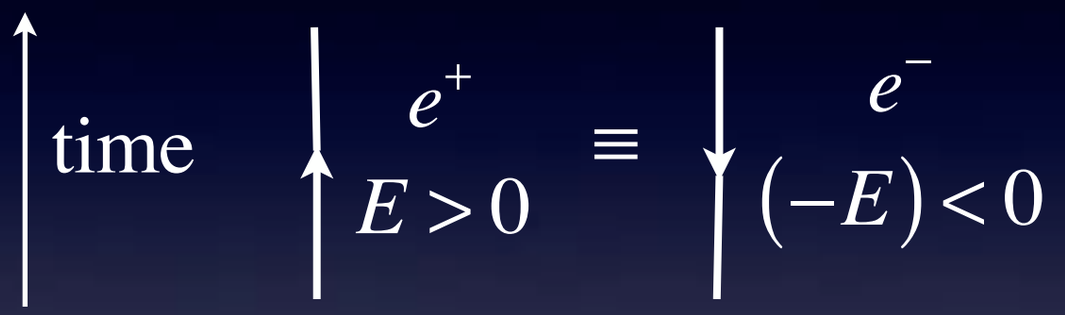


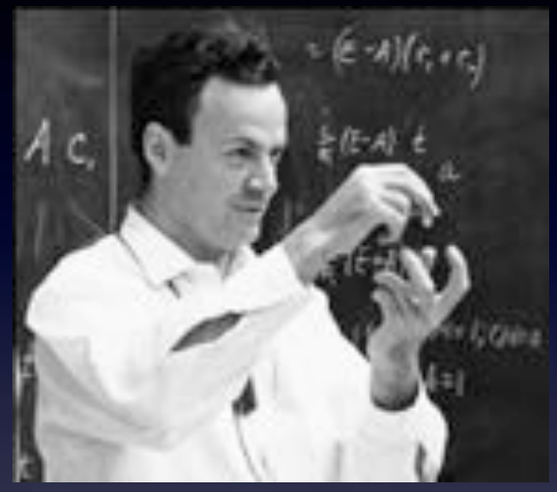
è un positrone !

ElettroDinamica Quantistica (QED)

ElettroDinamica Quantistica (QED)

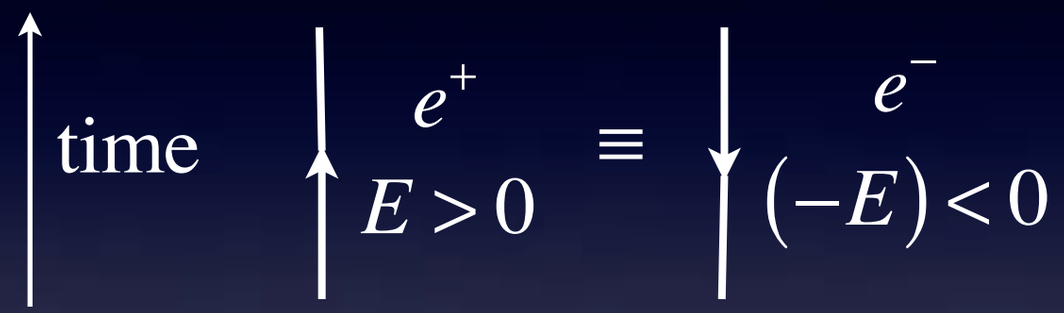
1941-1948: interpretazione alternativa di E<0 (Stueckelberg e Feynman)

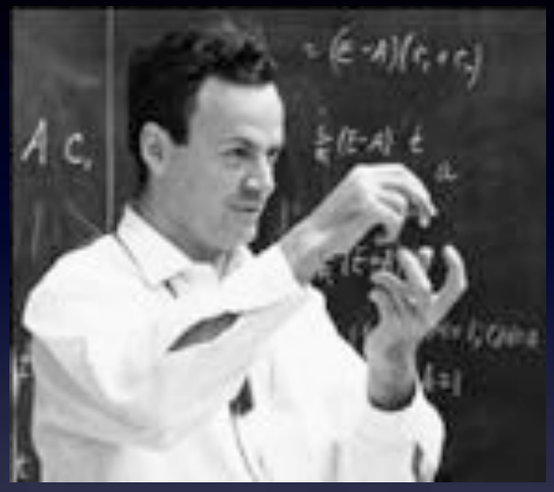


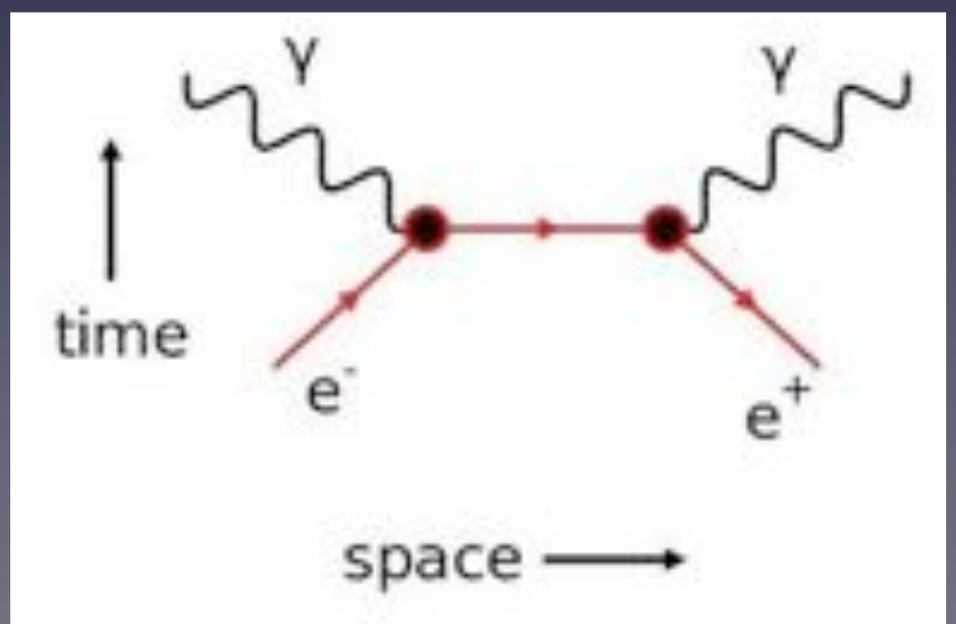


ElettroDinamica Quantistica (QED)

1941-1948: interpretazione alternativa di E<0 (Stueckelberg e Feynman)



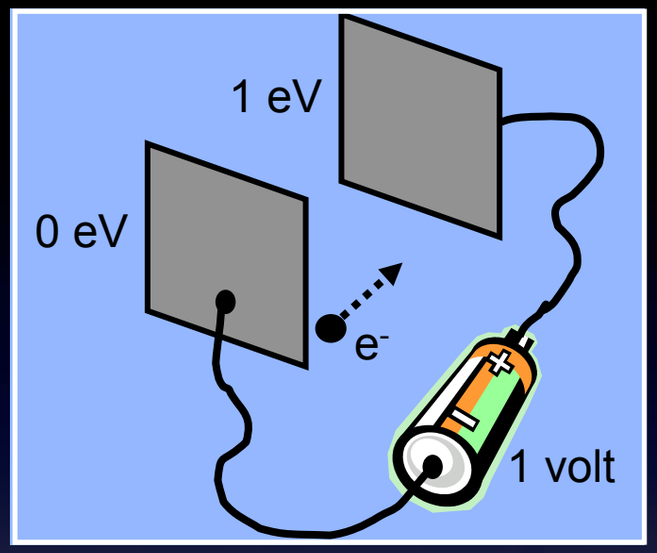




Teoria relativistica dei campi quantizzati:
creazione e distruzione
di particelle e antiparticelle

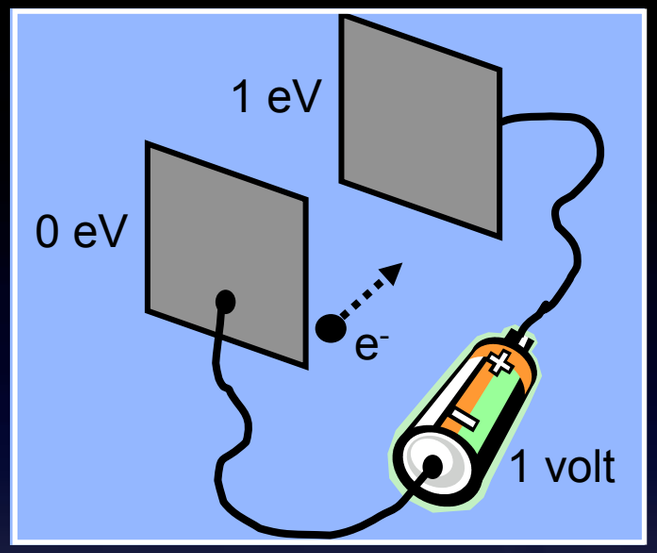
QED: Feynman, Schwinger, Tomonaga
Nobel 1965

dopo il 1950: acceleratori



E = 1 eV

dopo il 1950: acceleratori

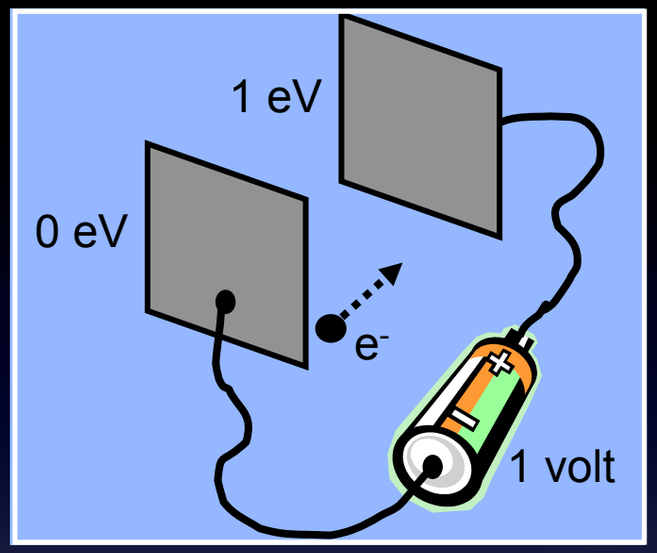


E = 1 eV

aumentare l'energia:

perchè ?

dopo il 1950: acceleratori

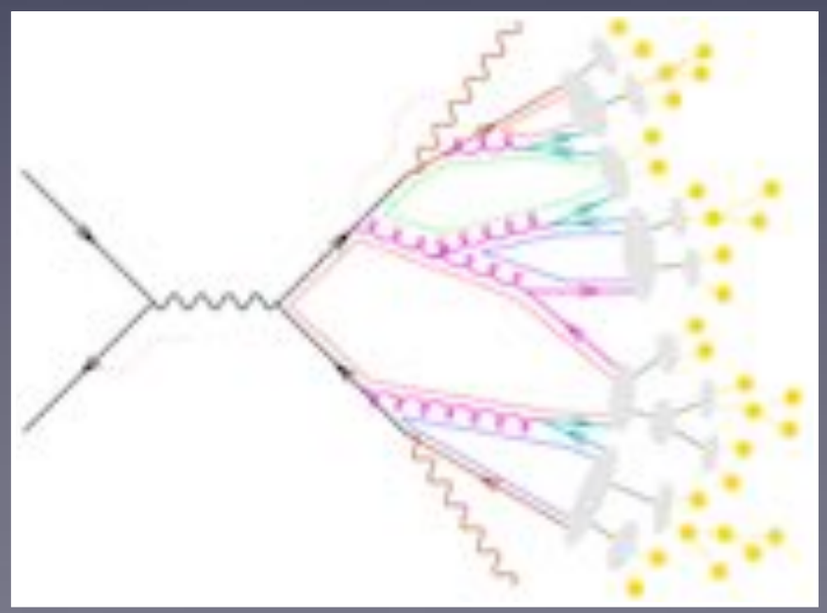


E = 1 eV

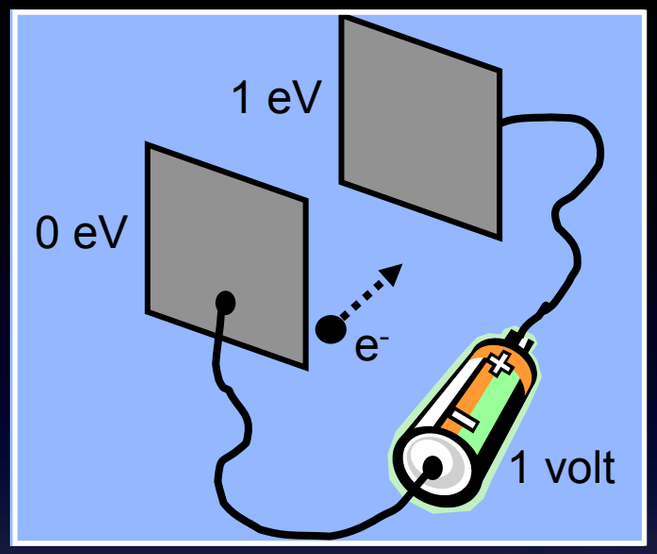
aumentare l'energia:

perchè ?

Einstein: $E = mc^2$



dopo il 1950: acceleratori

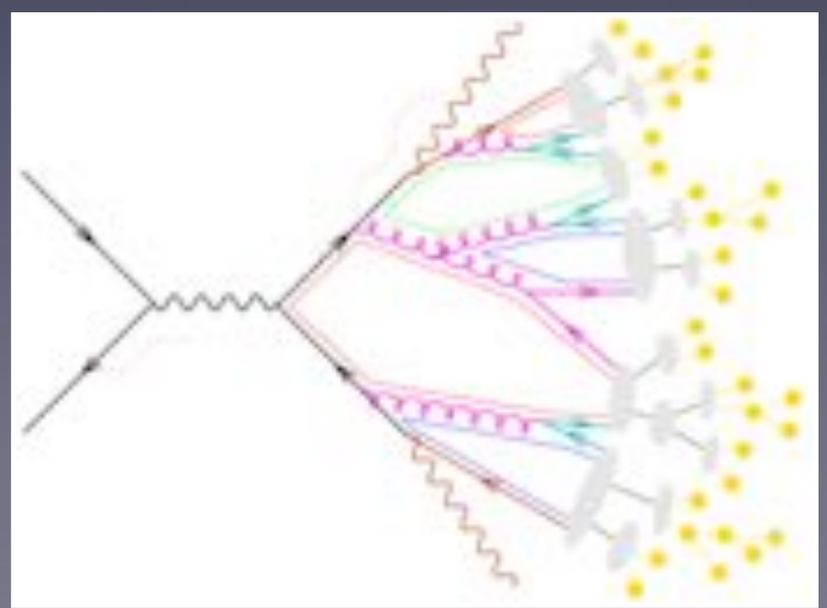


E = 1 eV

ciclotrone
1-10 MeV
1 MeV =
= 1.000.000 eV

aumentare l'energia:
perchè ?

Einstein: $E = mc^2$



sincrotrone
GeV - TeV
1 GeV = 1000 MeV
1 TeV = 1000 GeV

collider
urti "frontali"
esempio: LHC
7 + 7 TeV

Anti-protoni ?

troppo difficile trovarli nei raggi cosmici!

1955: produzione “artificiale” con acceleratore (Bevatron di Berkeley)

protoni (E > 6.3 GeV) contro bersaglio

$$p + p \rightarrow p + p + (p + \bar{p})$$

Nobel 1959: Segrè, Chamberlain

Anti-protoni ?

troppo difficile trovarli nei raggi cosmici!

1955: produzione “artificiale” con acceleratore (Bevatron di Berkeley)

protoni (E > 6.3 GeV) contro bersaglio

$$p + p \rightarrow p + p + \left(p + \bar{p}\right)$$

Nobel 1959: Segrè, Chamberlain

Anti-protoni ?

troppo difficile trovarli nei raggi cosmici!

1955: produzione “artificiale” con acceleratore (Bevatron di Berkeley)

protoni (E > 6.3 GeV) contro bersaglio

$$p + p \rightarrow p + p + \left(p + \bar{p}\right)$$

anti-protoni: identificati nell’annichilazione su idrogeno in camera a bolle:

$$\bar{p} + p \rightarrow 4\pi^- + 4\pi^+$$

Nobel 1959: Segrè, Chamberlain

Anti-protoni ?

troppo difficile trovarli nei raggi cosmici!

1955: produzione “artificiale” con acceleratore (Bevatron di Berkeley)

protoni (E > 6.3 GeV) contro bersaglio

$$p + p \rightarrow p + p + \left(p + \bar{p}\right)$$

anti-protoni: identificati nell’annichilazione su idrogeno in camera a bolle:

$$\bar{p} + p \rightarrow 4\pi^- + 4\pi^+$$

Nobel 1959: Segrè, Chamberlain

Anti-protoni ?

troppo difficile trovarli nei raggi cosmici!

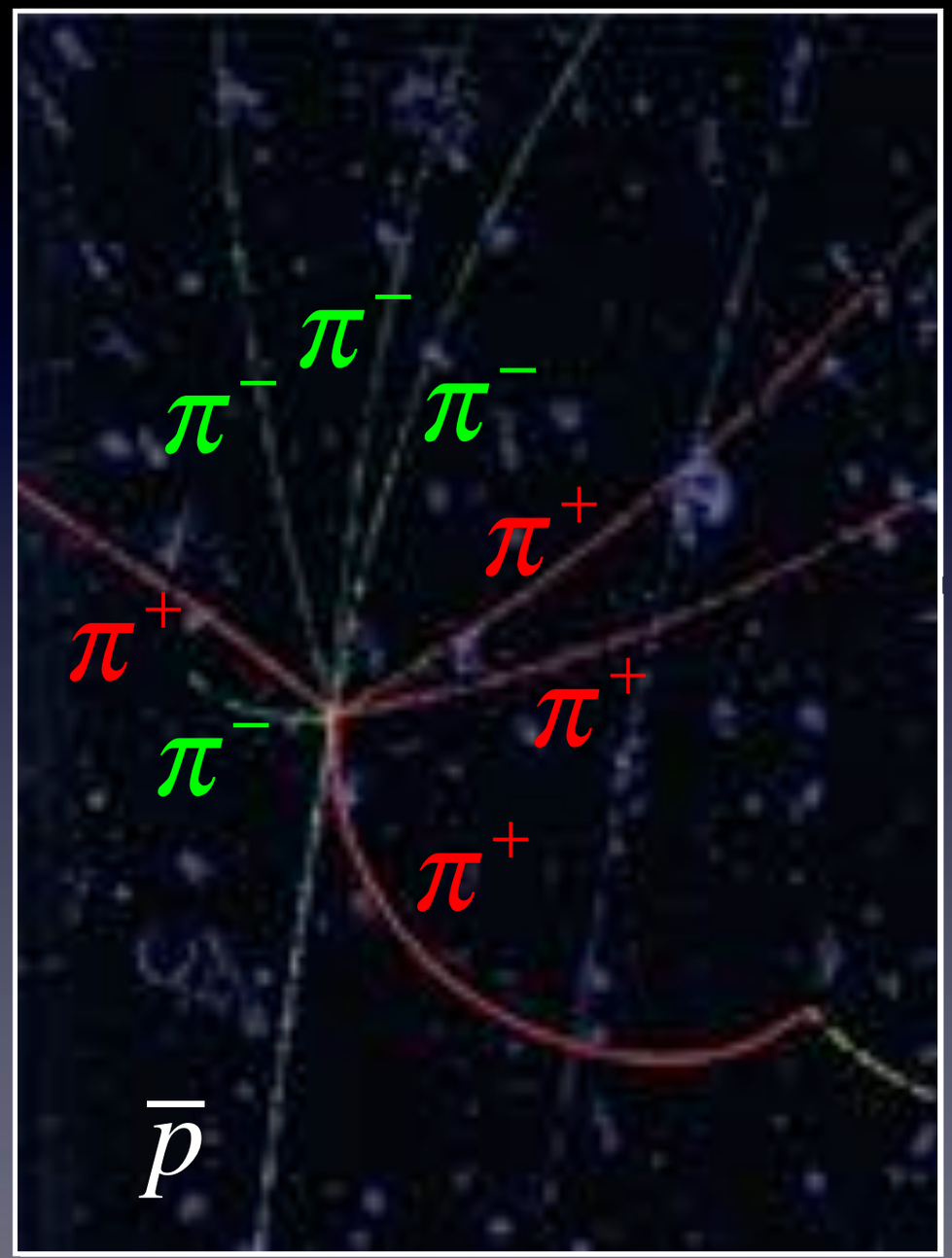
1955: produzione “artificiale” con acceleratore (Bevatron di Berkeley)

protoni (E > 6.3 GeV) contro bersaglio

$$p + p \rightarrow p + p + (p + \bar{p})$$

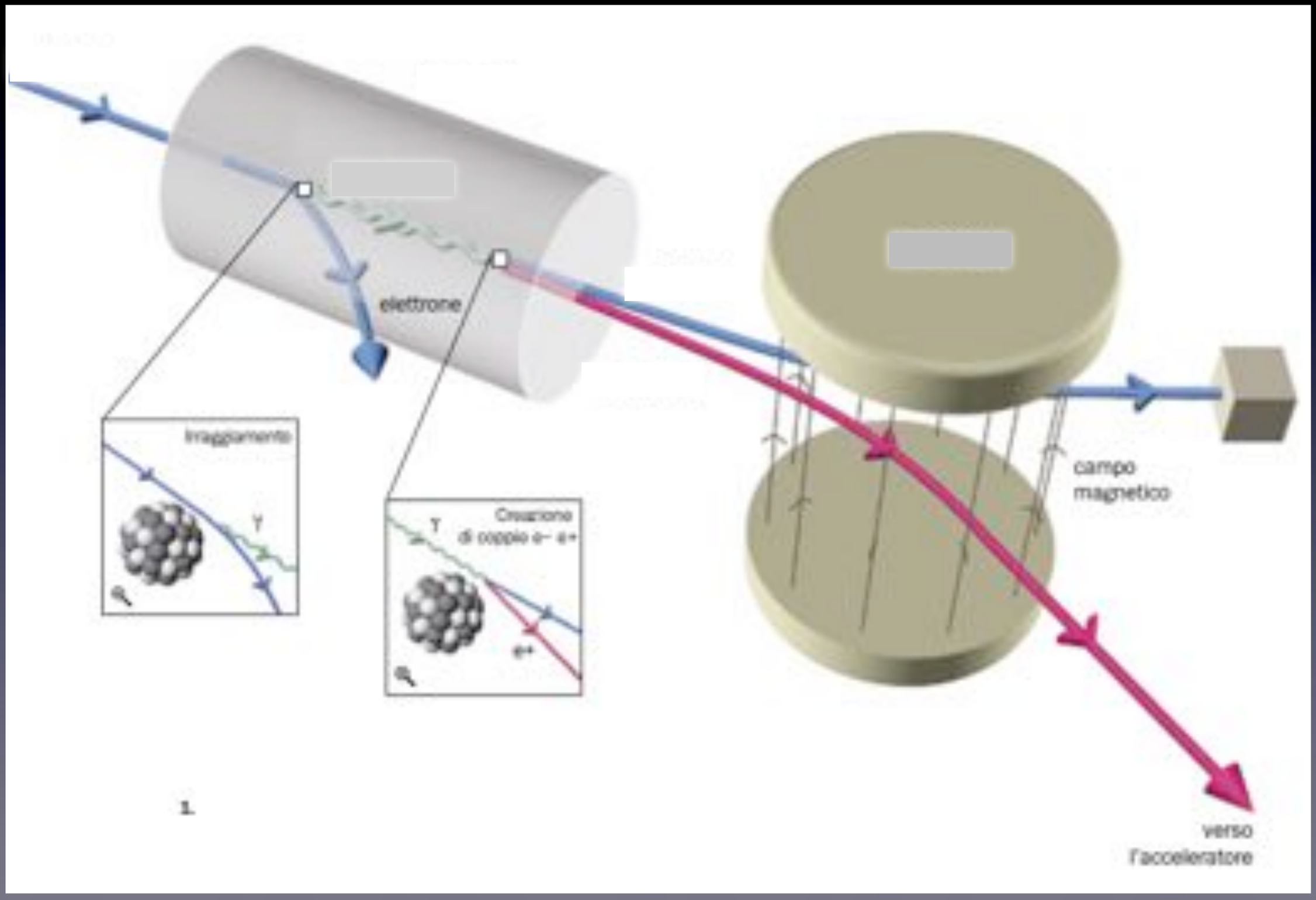
anti-protoni: identificati nell’annichilazione su idrogeno in camera a bolle:

$$\bar{p} + p \rightarrow 4\pi^- + 4\pi^+$$

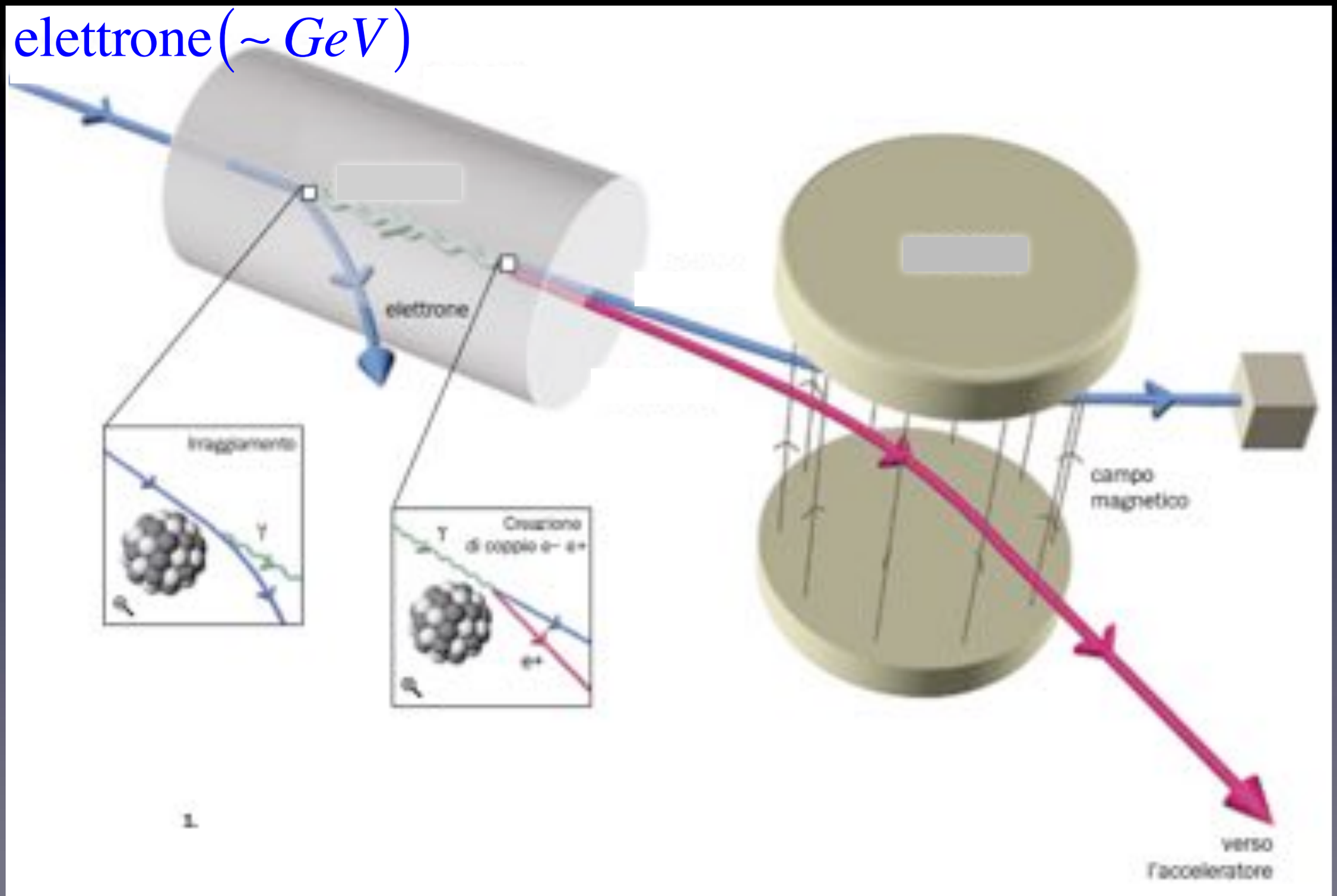


Nobel 1959: Segrè, Chamberlain

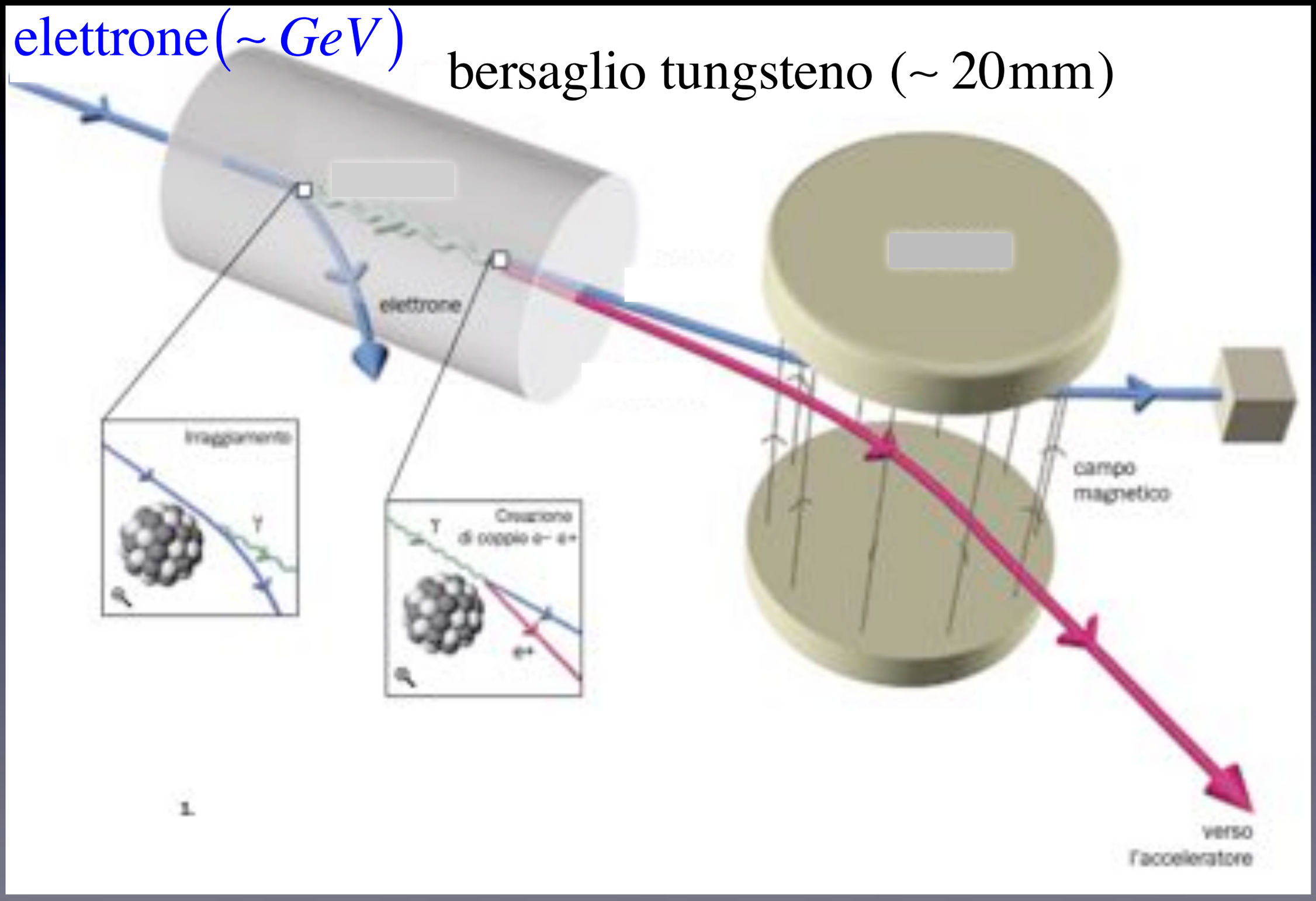
produzione di positroni



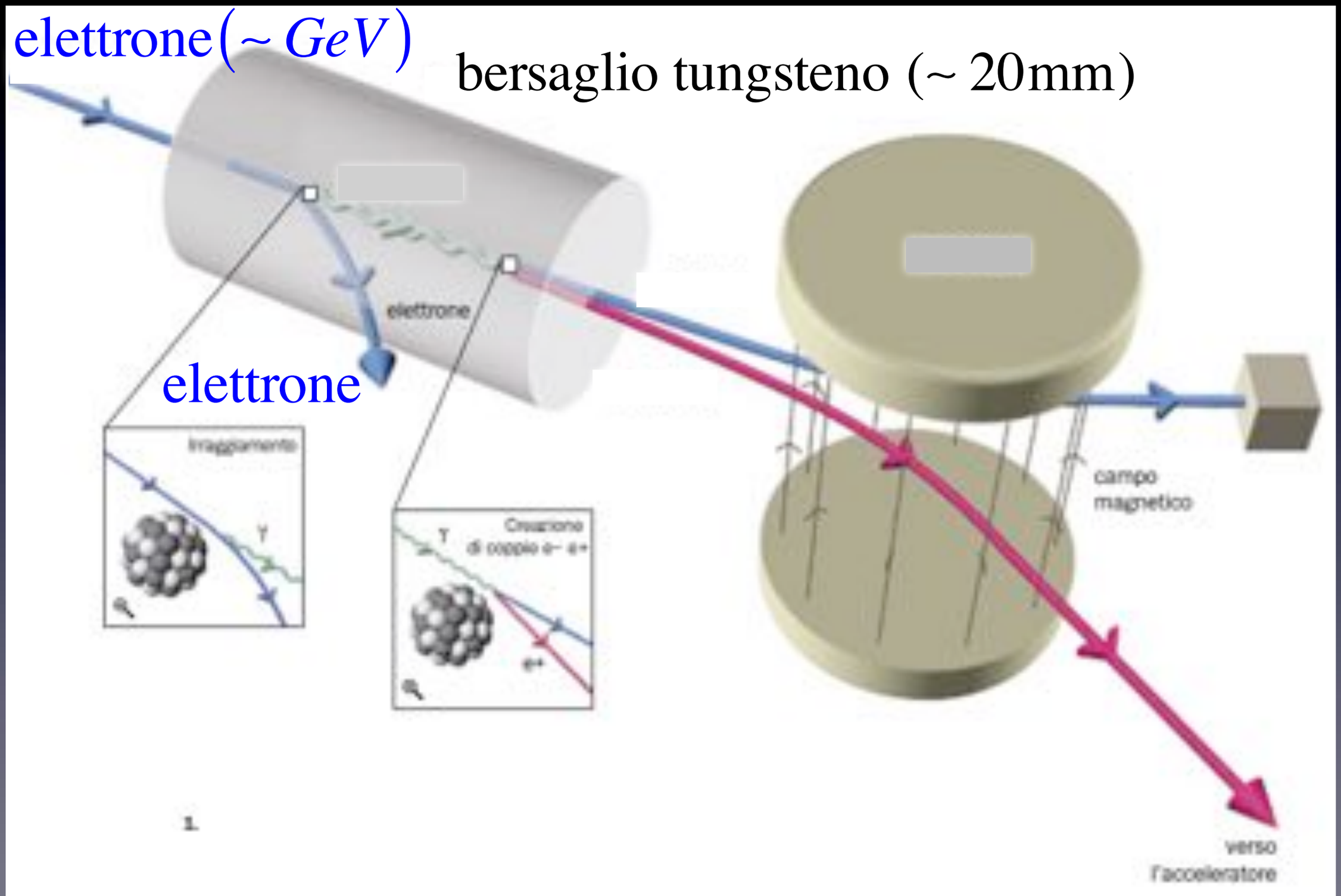
produzione di positroni



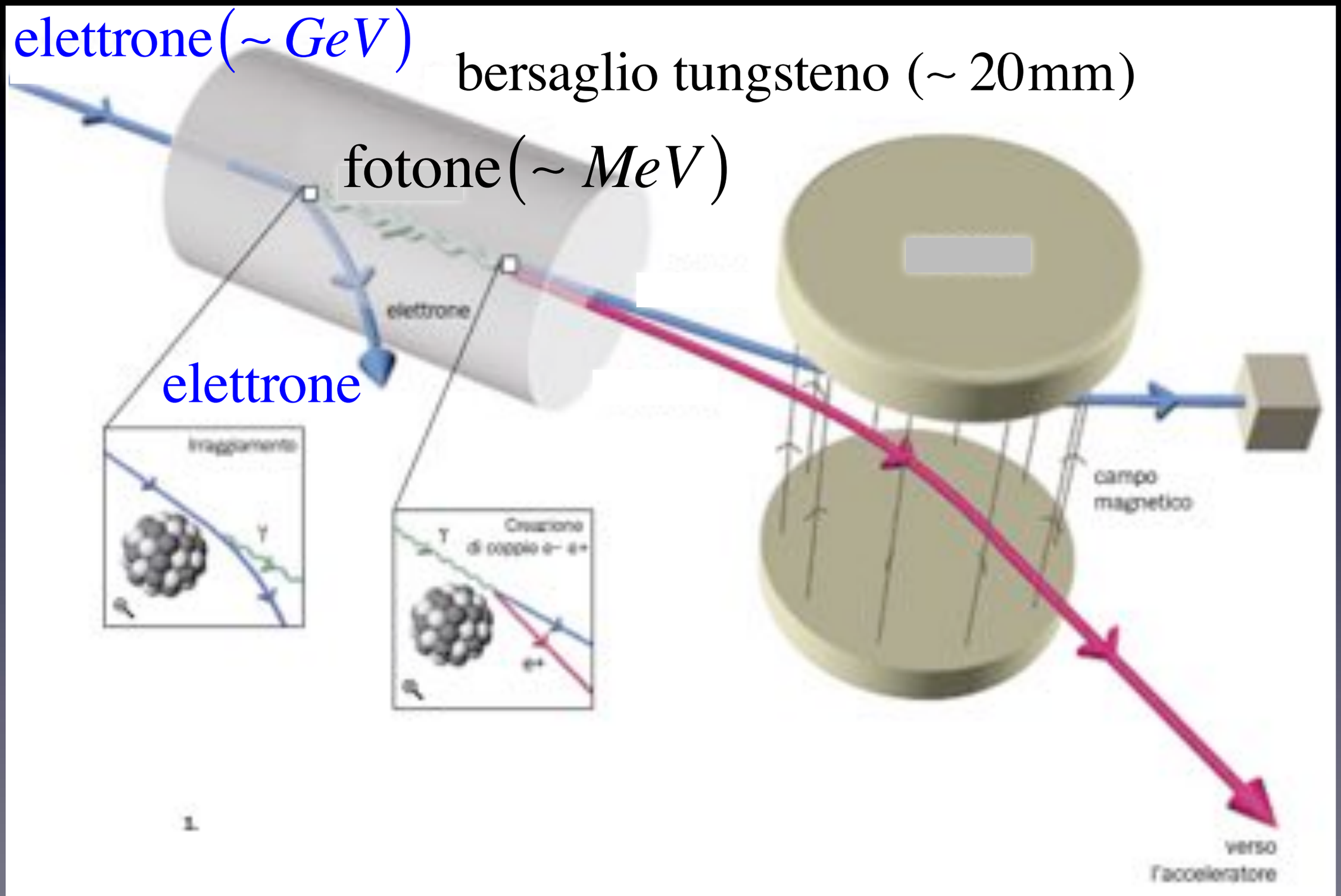
produzione di positroni



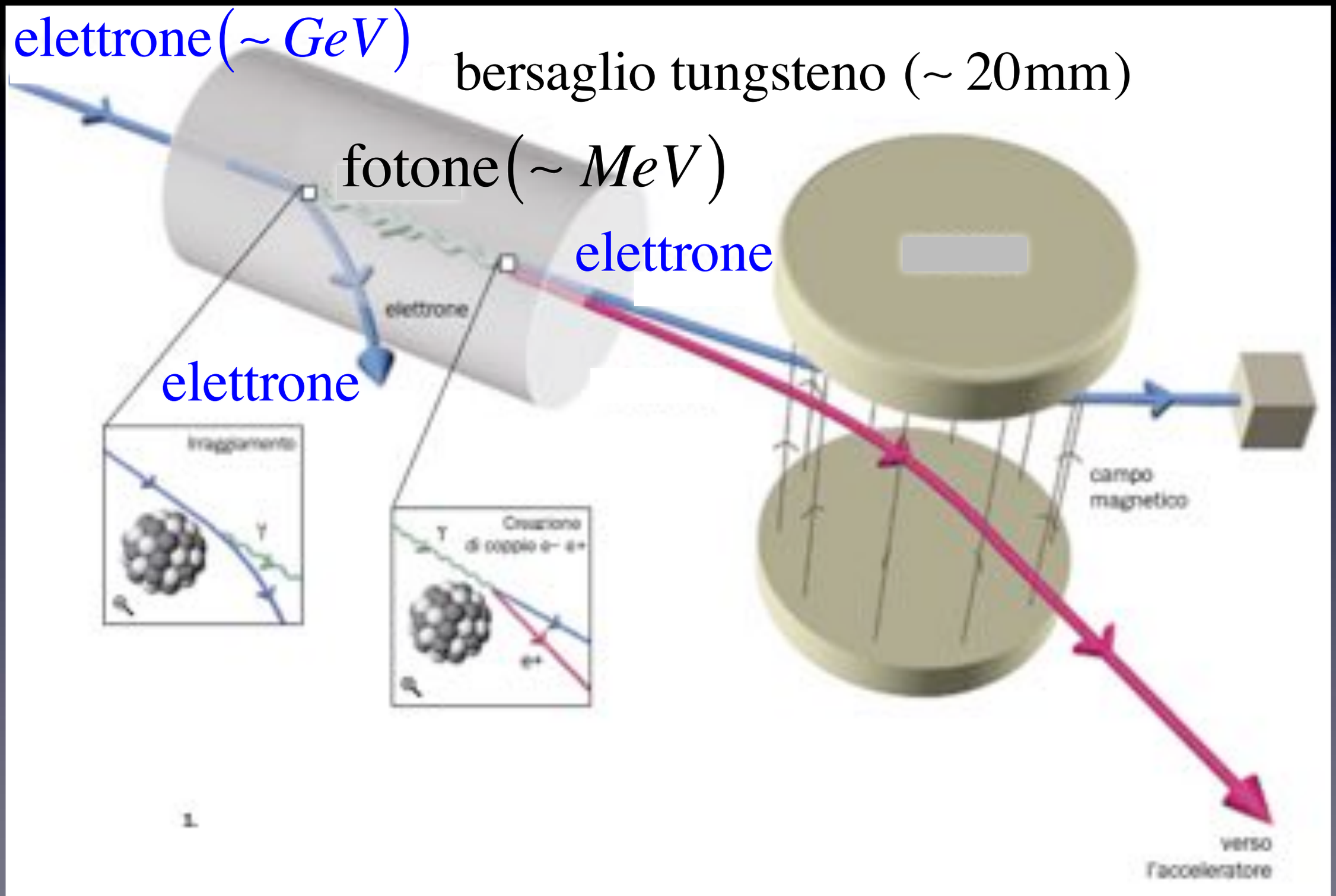
produzione di positroni



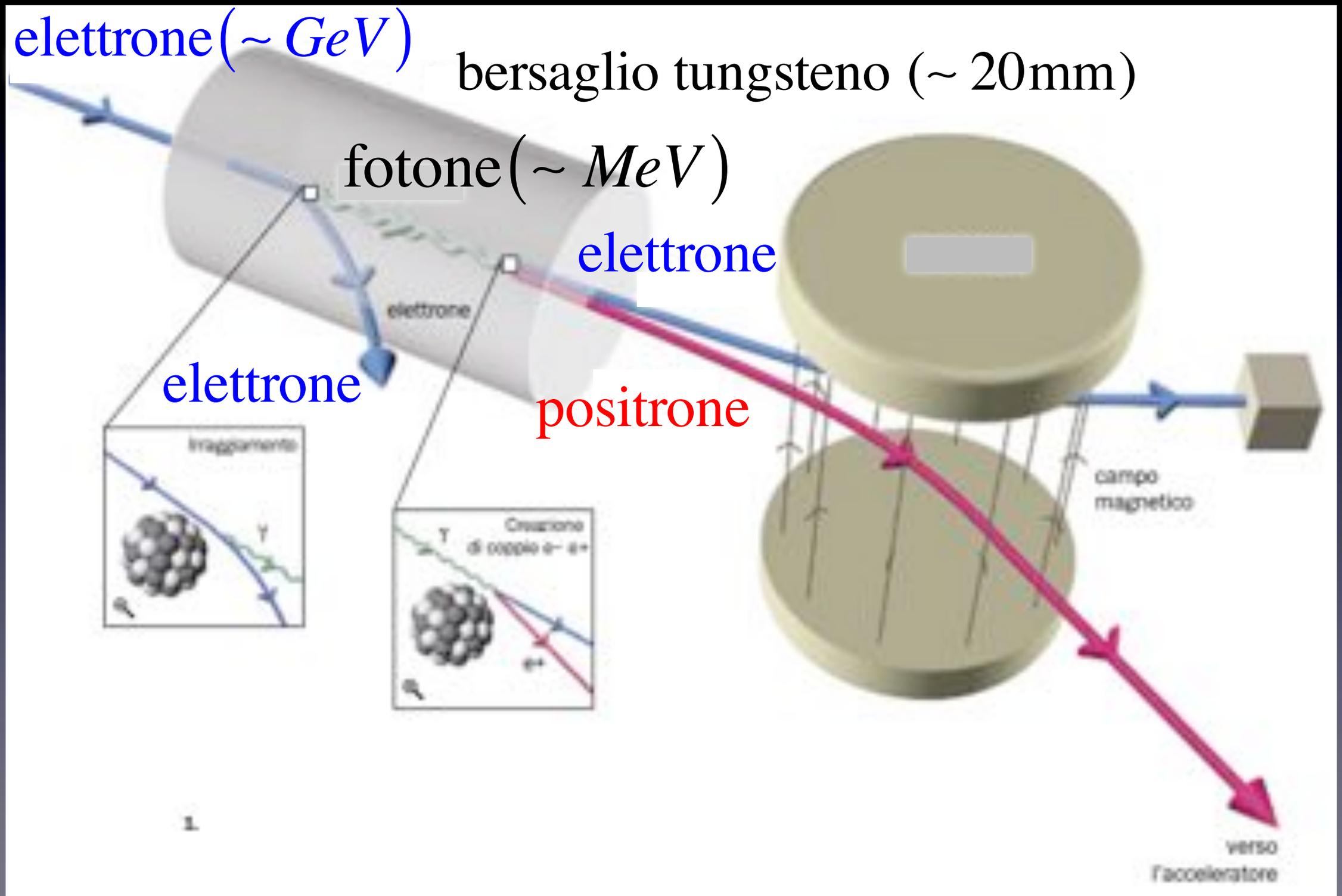
produzione di positroni



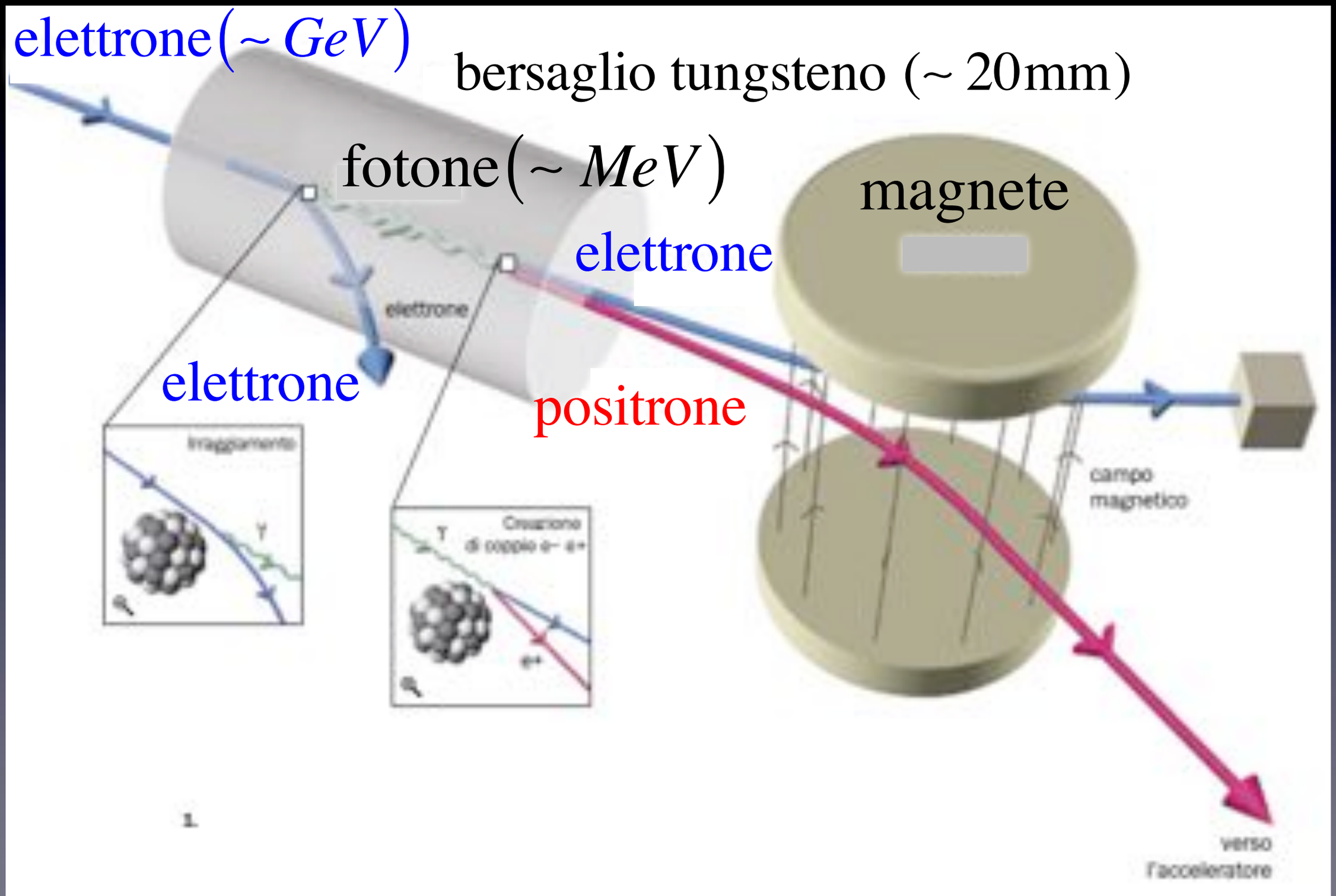
produzione di positroni



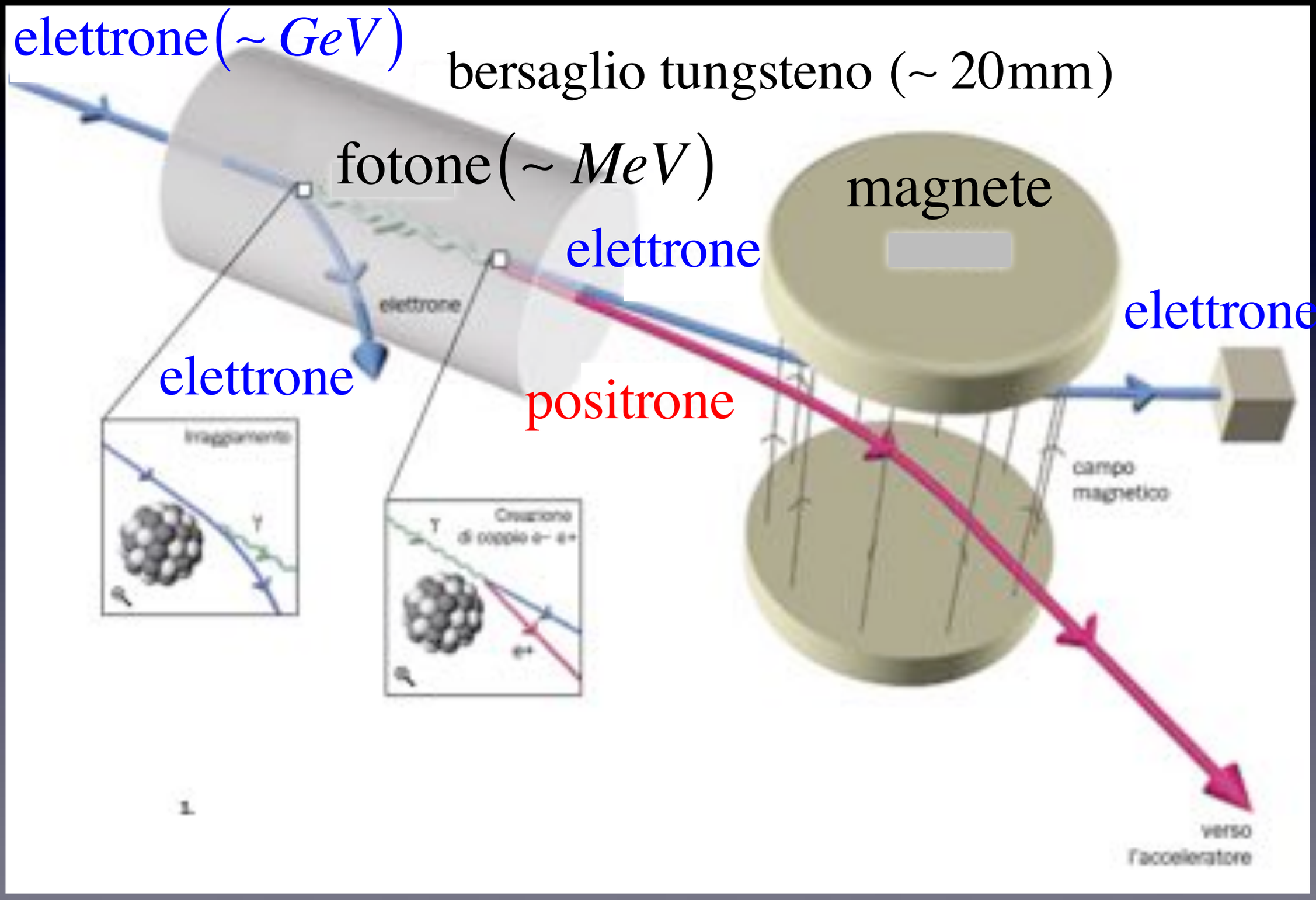
produzione di positroni



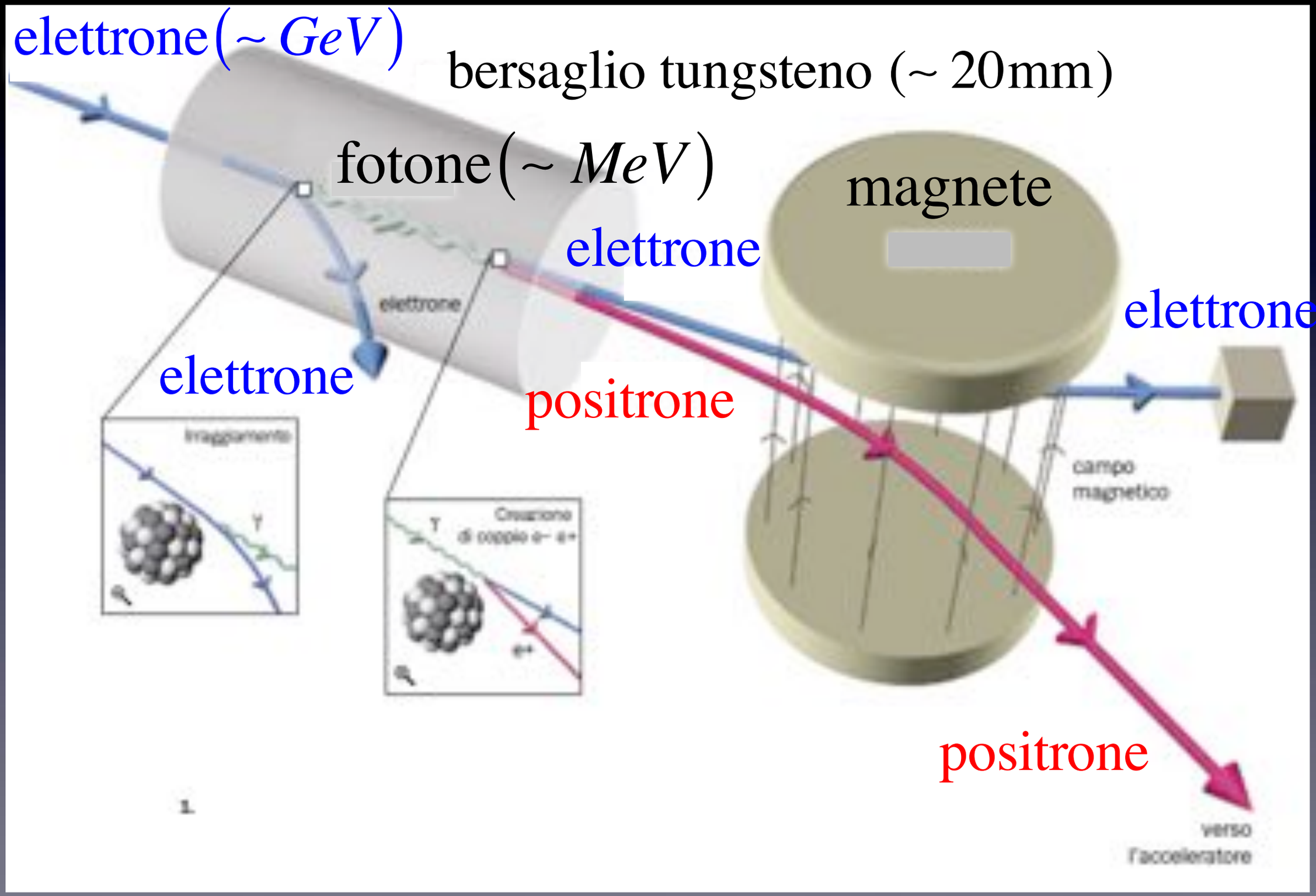
produzione di positroni



produzione di positroni

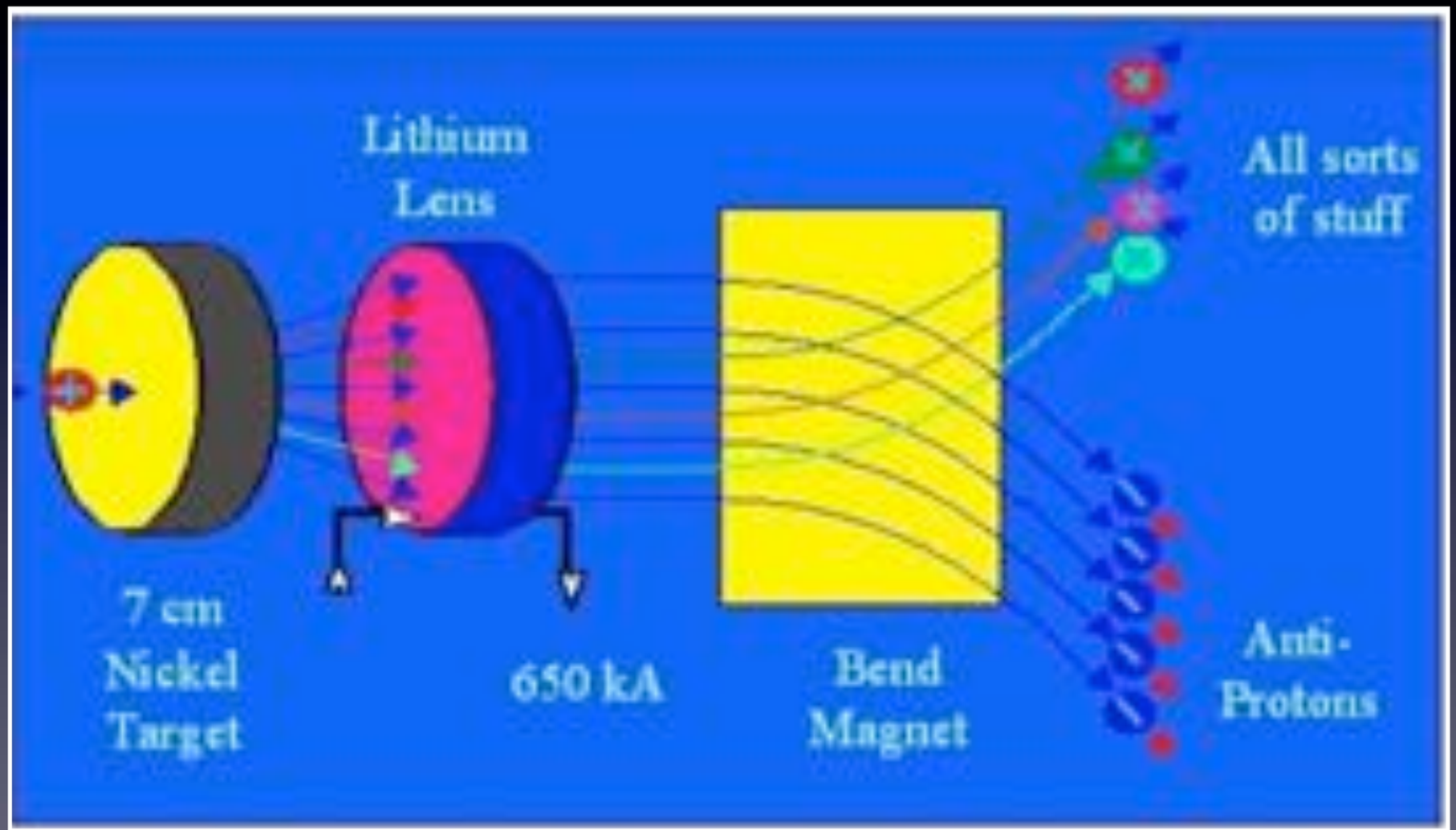


produzione di positroni



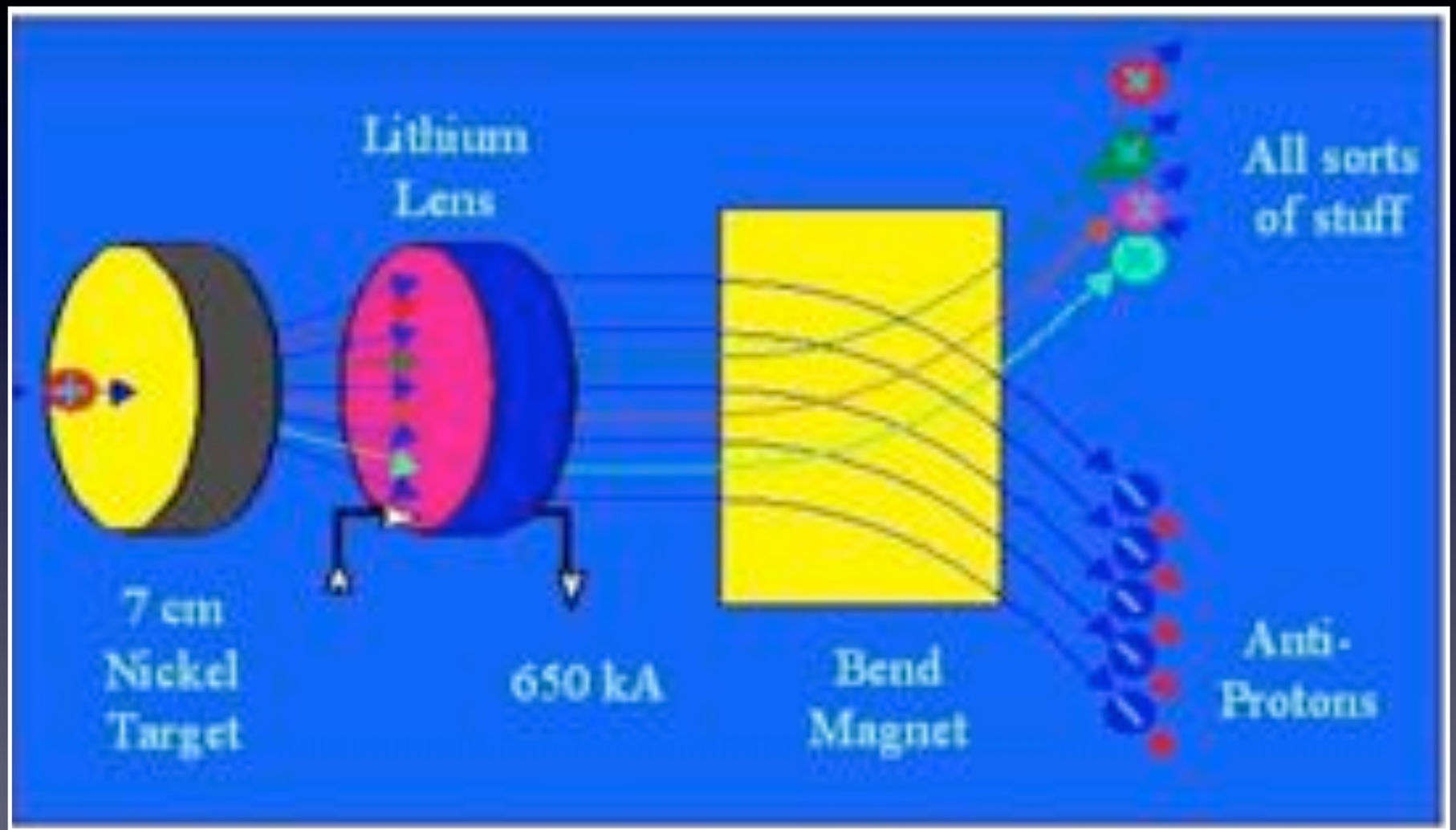
produzione di anti-protoni

record: 30 miliardi di antiprotoni all'ora, a FermiLab



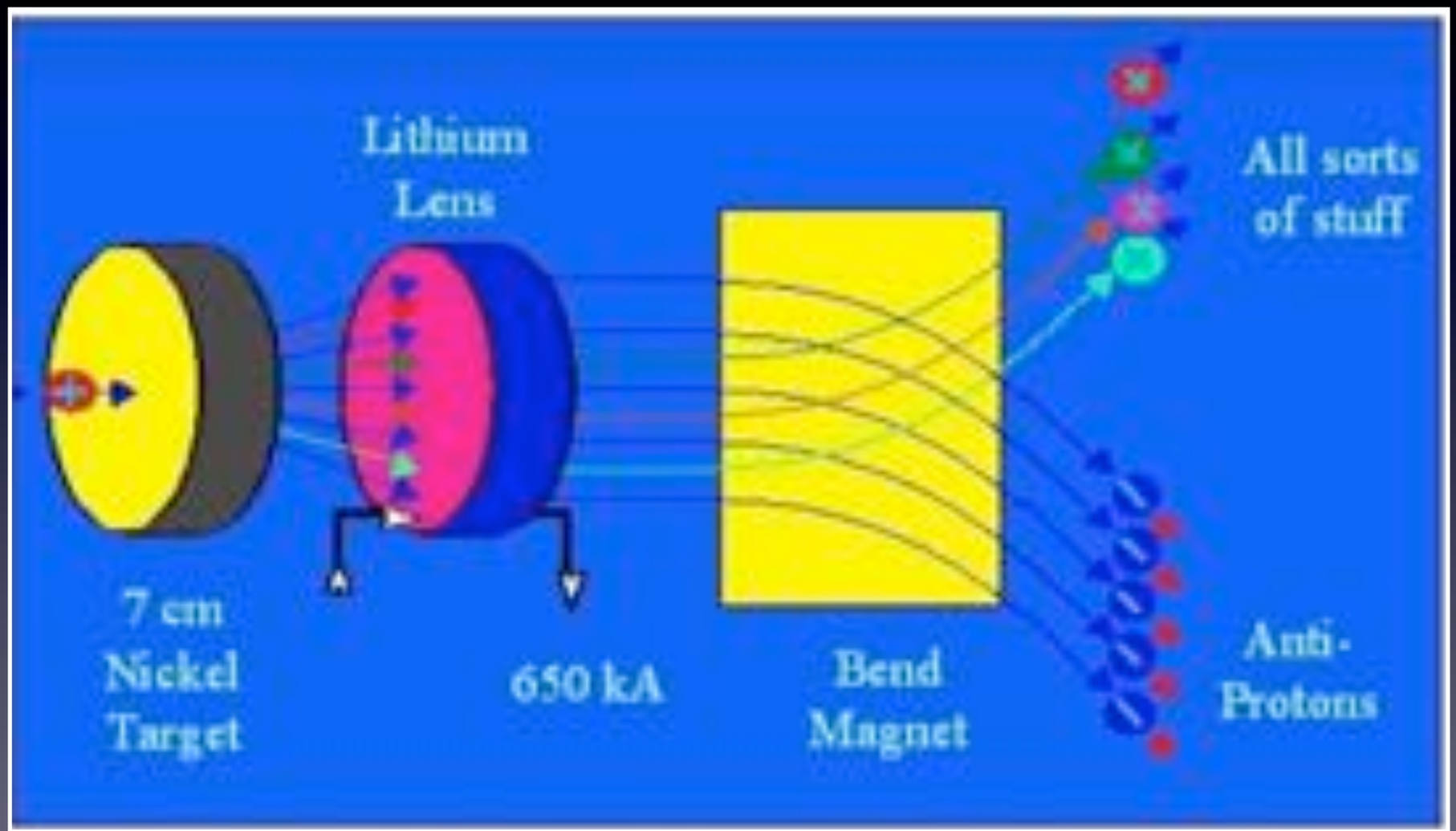
produzione di anti-protoni

record: 30 miliardi di antiprotoni all'ora, a FermiLab



produzione di anti-protoni

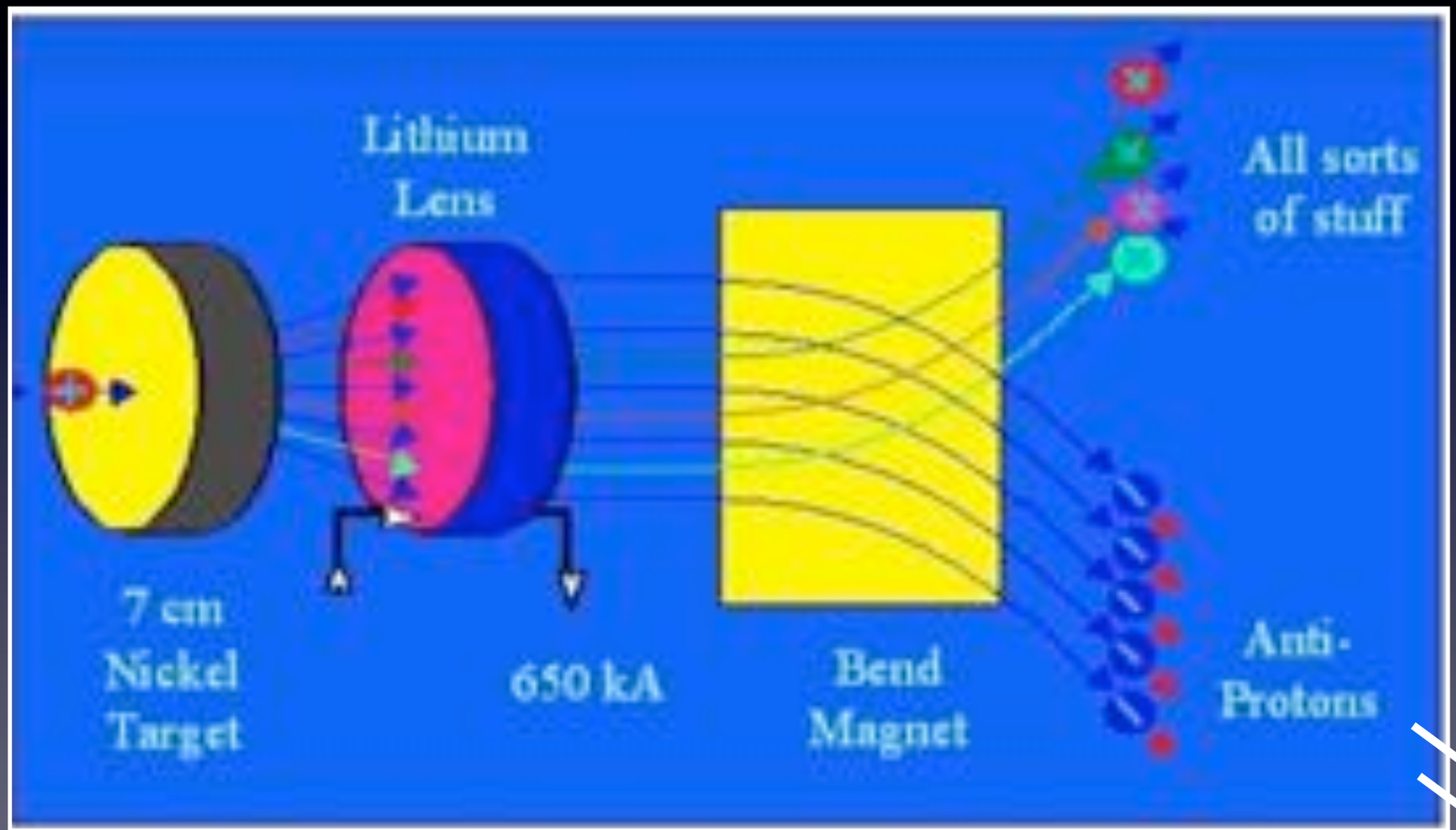
record: 30 miliardi di antiprotoni all'ora, a FermiLab



per ogni 1,000,000
protoni (120 GeV)
sul bersaglio

produzione di anti-protoni

record: 30 miliardi di antiprotoni all'ora, a FermiLab



per ogni 1,000,000 protoni (120 GeV) sul bersaglio

raccolti circa 20 antiprotoni (8 GeV)