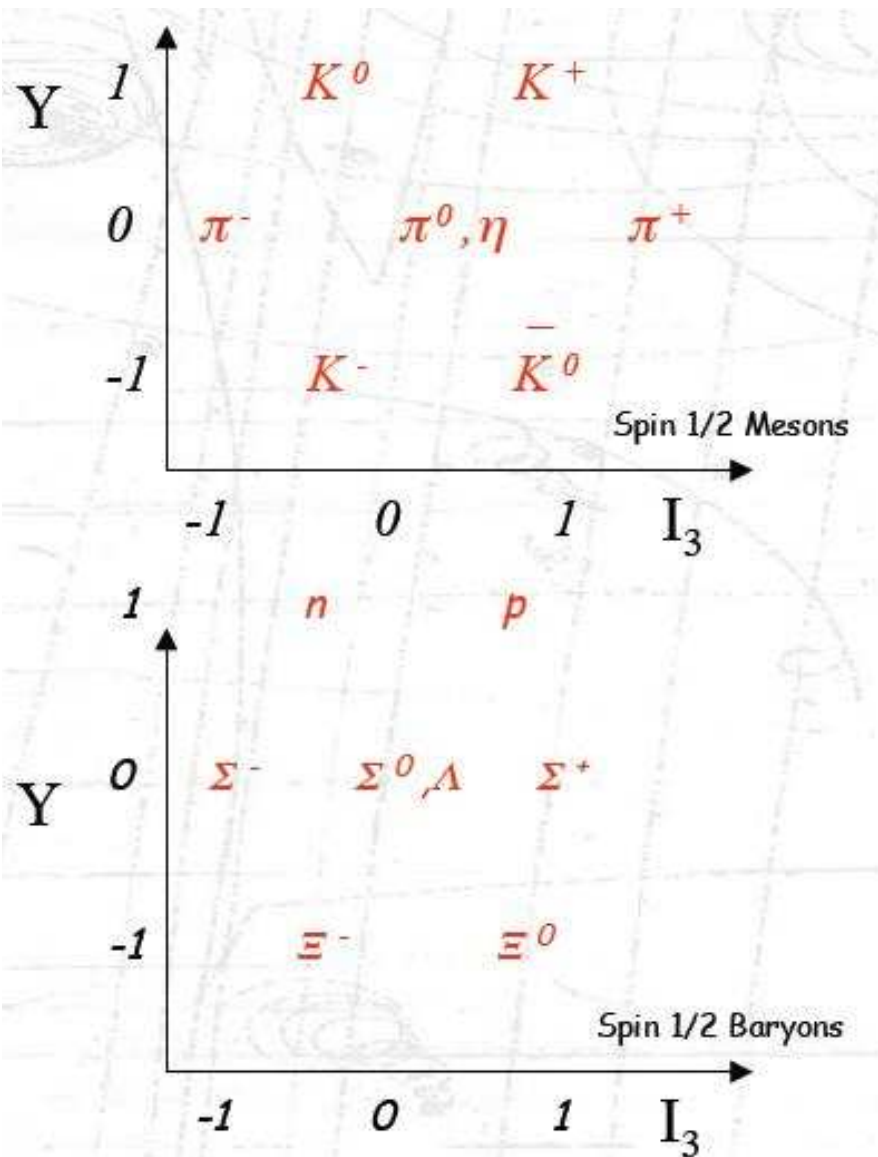


# III. NAČELO SIMETRIJE U KVANTNOJ FIZICI (FEČ § 2.1, str. 38)



LAGRANGEOVA  
FORMULACIJA;  
PRIMJERI  
SIMETRIJA U  
FIZICI ČESTICA

# PRINCIP SIMETRIJE U KVANTNOJ MEHANICI

Vremenska evolucija sistema diktira istaknuta opservabla, Hamiltonian

- Schrödingerova j.  $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H \Psi$  (\*)

- transf. simetrije, npr.

$$\vec{r} \rightarrow \vec{r}' = S\vec{r} \Rightarrow \Psi(\vec{r}) \rightarrow \Psi'(\vec{r}') = U \Psi(\vec{r})$$

$$\Psi'(\vec{r}') \equiv \Psi(\vec{r}) \Rightarrow U \Psi(\vec{r}) = \Psi[S^{-1}\vec{r}']$$

$U$  je operator simetrije kada  $U\Psi$  zadovolj. (\*)  $\Rightarrow$

$$[H, U] = 0$$

# PITANJA:

- Kada je neka fizikalna veličina  $F$  očuvana?
- Kada je operator transformacije  $U$  operator simetrije?

# ODGOVORI:

$$\diamond \quad \frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar} [F, H] = 0$$

$$\diamond \quad [H, U] = 0$$

# OČUVANI ADITIVNI NABOJI

neopažanje  $e^- \rightarrow \nu \gamma$      $p \rightarrow e^+ \gamma$      $\mu \rightarrow e \gamma$   
↑  
očuvani naboj     $Q$      $B, L$      $L_e, L_\mu$

↓  
simetrija ?

**DA!** Herman Weyl '50

GLOBALNE transformacije faze

QM valne funkcije, primjerice čestice naboja "q"

$$U(1) \quad \psi_q \rightarrow \psi_{q'} = e^{i\epsilon Q} \psi_q$$

ABELOVSKA

# OČUVANI ADITIVNI KVANTNI BROJEVI

- E, p, L – kontinuiranih prost-vrem. sim.
- Q, B, L – simetrije na globalne transf. faze

$$\Psi_q \rightarrow \Psi'_q = e^{i\varepsilon Q} \Psi_q$$

$$\frac{d\langle Q \rangle}{dt} = 0 \quad \text{uz} \quad [Q, H] = 0$$

# DISKRETNE SIMETRIJE I MULTIPLIKATIVNI ZAKONI OČUVANJA

## DISKRETNE TRANSFORMACIJE

$$P: \vec{r} \rightarrow -\vec{r}$$

$$T: t \rightarrow -t$$

$$C: e \rightarrow -e$$

apsolutno  
lijevo / desno

smjer vremena

predznak naboja

PROSTORNI  
PARITET

VREMENSKI  
OBRAT

NABOJNA  
KONJUGACIJA

# PROSTORNI PARITET

$$P\psi(\vec{r}) = \begin{cases} \psi(-\vec{r}) \\ \eta_P\psi(\vec{r}) \end{cases} \quad \begin{aligned} P\mathbf{r}_{op}P^{-1} &= -\mathbf{r}_{op} \\ P\mathbf{p}_{op}P^{-1} &= -\mathbf{p}_{op} \\ P\mathbf{L}P^{-1} &= \mathbf{L} \end{aligned}$$

$$PY_l^m(\theta, \varphi) = Y_l^m(\pi - \theta, \varphi + \pi) = (-)^l Y_l^m$$

$$[H_{hadr} + H_{em}, P] = 0$$

$$a + b \rightarrow c + d \quad \Pi_i = \Pi_a \Pi_b (-)^l, \quad \Pi_f = \Pi_c \Pi_d (-)^{l'}$$

**Paritet piona iz:**

(a)

$$d \pi^- \rightarrow n n$$

(b)

$$d \pi^- \rightarrow n n \pi^0$$

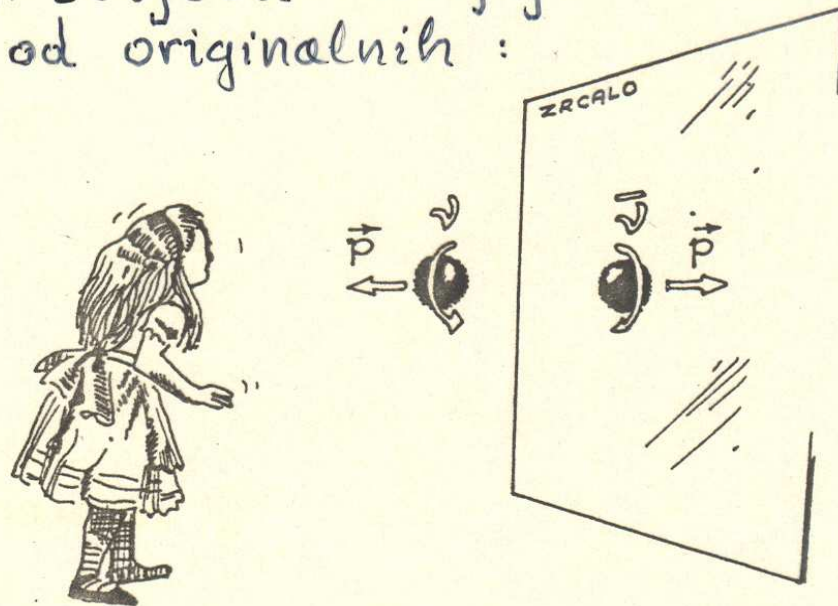
# "PUKOTINE U SIMETRIJAMA"

## - najprije prostorni paritet

### NARUŠENE DISKRETNE SIMETRIJE

KLJUČ OPAŽANJA  
"SLABIJEG KROZ JAČE"

~~P~~ 1957. g-ta Wu ustanovila da se  $\beta$ -raspadi u zrcaljenom svijetu odvijaju različito od originalnih :





# VREMENSKI OBRAT

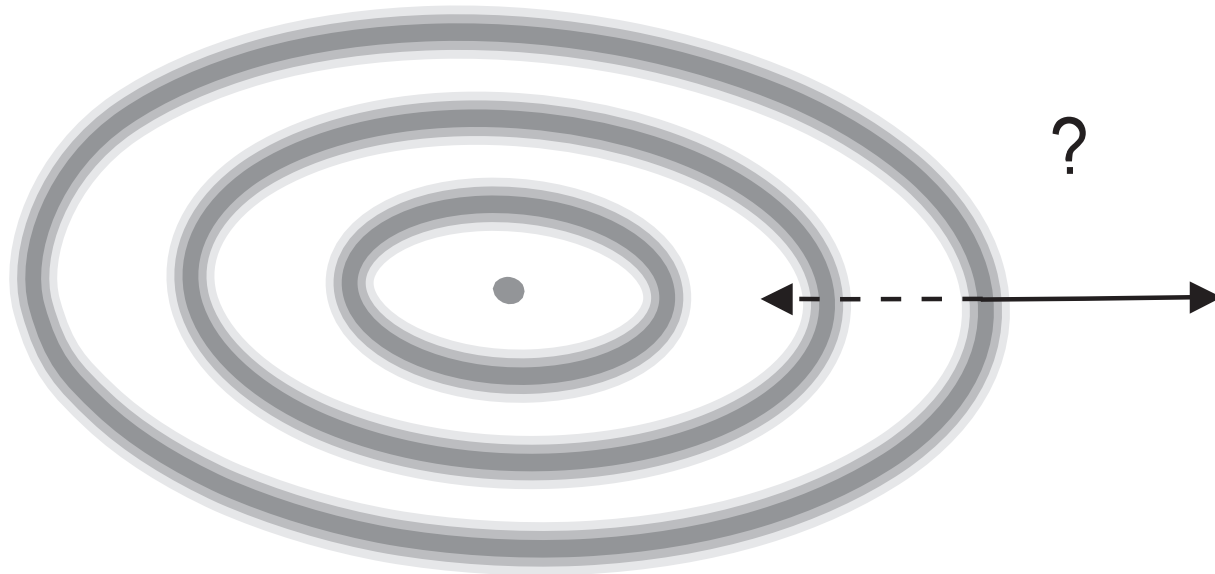
$$T : t \rightarrow -t,$$
$$\psi(\vec{x}, t) \rightarrow T\psi(\vec{x}, t) \quad T\psi(\vec{x}, t) = \psi^*(\vec{x}, -t)$$

**ODGOVARA OBRATU GIBANJA:**  $|\vec{p}\rangle \rightarrow |-\vec{p}\rangle$

$$\psi = e^{i(\vec{p}\cdot\vec{x}-Et)} \rightarrow \psi^*(\vec{x}, -t) = e^{i(-\vec{p}\cdot\vec{x}-Et)}$$



# VREMENSKI OBRAT?



# NABOJNA KONJUGACIJA

$$C|B(L), Y, q; \vec{p}, s\rangle = \eta_c | -B(-L), -Y, -q; \vec{p}, s\rangle$$

$$Q \text{ i } C \text{ (gdje } Q|q\rangle = q|q\rangle \text{ i } C|q\rangle = | -q\rangle)$$

$$\{C, Q\} = 0 ,$$

$$[C, Q] = 2CQ \neq 0 .$$

## C-paritet fotona i neutralnog piona

- **VREMENSKA MIKRO-OBRATIVOST**  
kombinirani **CP** paritet

# Narušenje CP pariteta, VREMENSKE MIKROOBRAATIVOSTI

- ~~CP~~ 1964. Cronin & Fitch  
na raspadima dugoživućih neutralnih kaona
- $K_L \rightarrow 2\pi$  ako je CP očuvano  
u pokusu se pojavljuje s granarjem  $2 \cdot 10^{-3}$
  - $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$  češći od CP-konjugiranoj  $K_L \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e$   
omogućuje apsolutnu definiciju pozitivnog naboja  
- razlikovanje materije i antimaterije!

CPT = I teorem potvrđen na točnost

$$\frac{m_{\bar{K}^0} - m_{K^0}}{m_{K^0}} < 3.5 \cdot 10^{-18}$$
$$m_{K^0} < 9 \cdot 10^{-19}$$