Urýchľovačová fyzika

(letný semester 2014)

vyučujúci: ***M.Gintner, I.Melo***
prednáška: *2 hod/týždeň*
cvičenie: *2 hod/týždeň*

odporúčaná literatúra:

M. Bombara, ***M. Gintner, I. Melo:***

Invitation to Elementary Particles

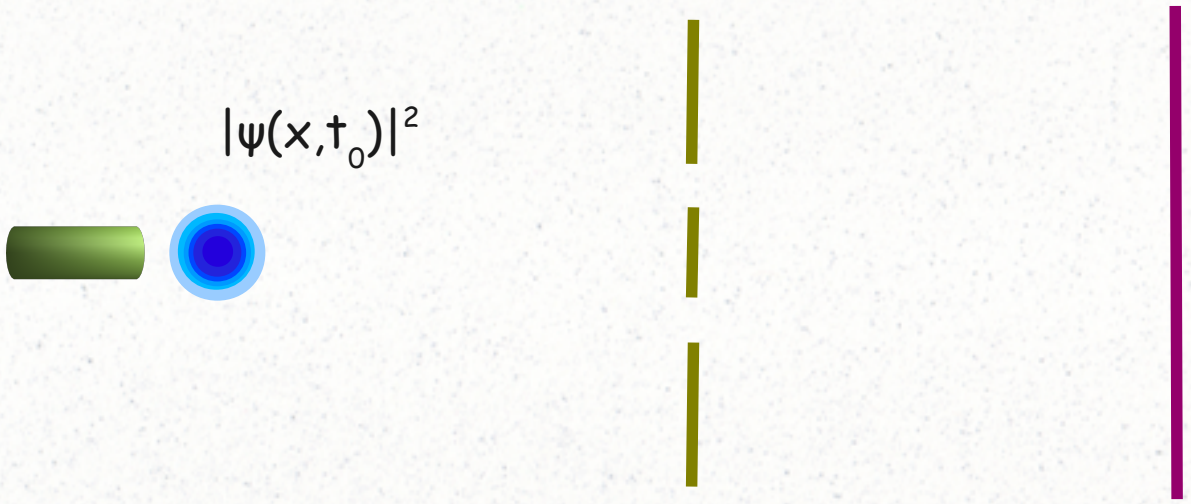
ISBN 978-80-554-0620-6, January 2013, EDIS Zilina

Kvantový systém

opis, vývoj a meranie

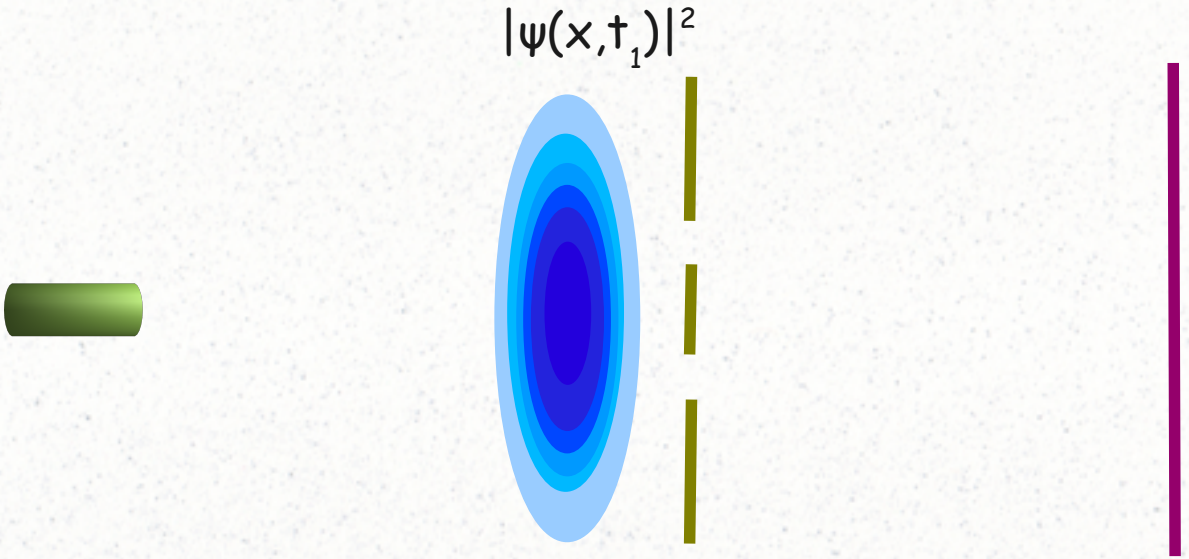
stav:	*- vlnová funkcia* *(amplitúda pravdepodobnosti)*
pohybová rovnica:	*- Schrödingerova r.*
predpoveď stavu:	*- jednoznačná*
predpoveď výsledku merania:	*- pravdepodobnosť* *- súčet nerozlíšiteľných amplitúd*
výsledok merania:	*- jedna z možných hodnôt* *- zmena meraného stavu*

ilustrácia: elektrón na dvojštrbine



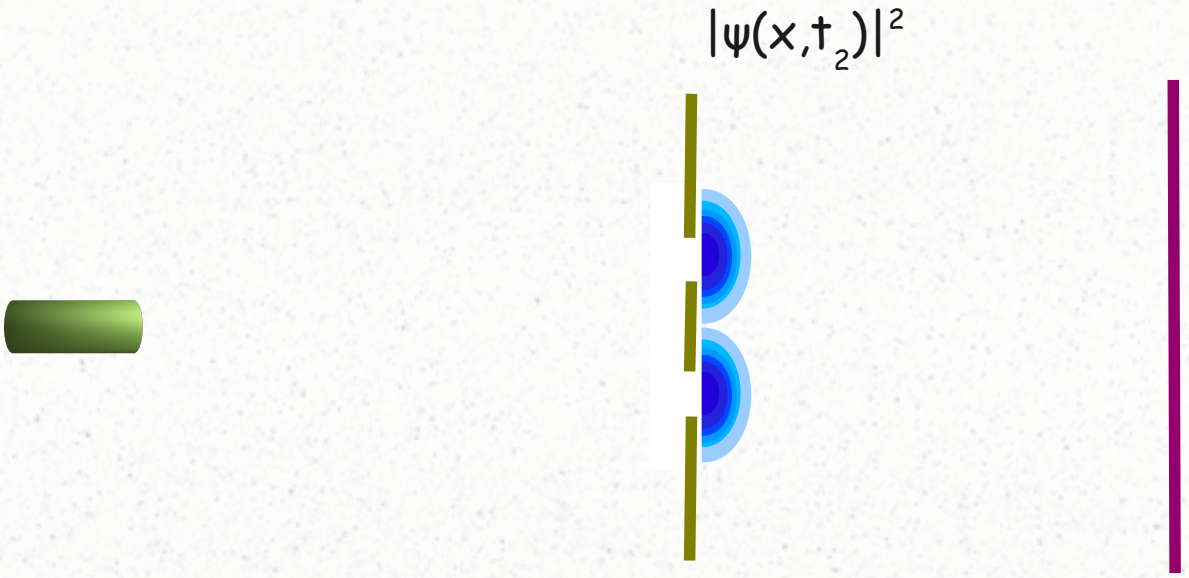
$$i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(x,t)$$

ilustrácia: elektrón na dvojštrbine



$$i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(x,t)$$

ilustrácia: elektrón na dvojštrbine

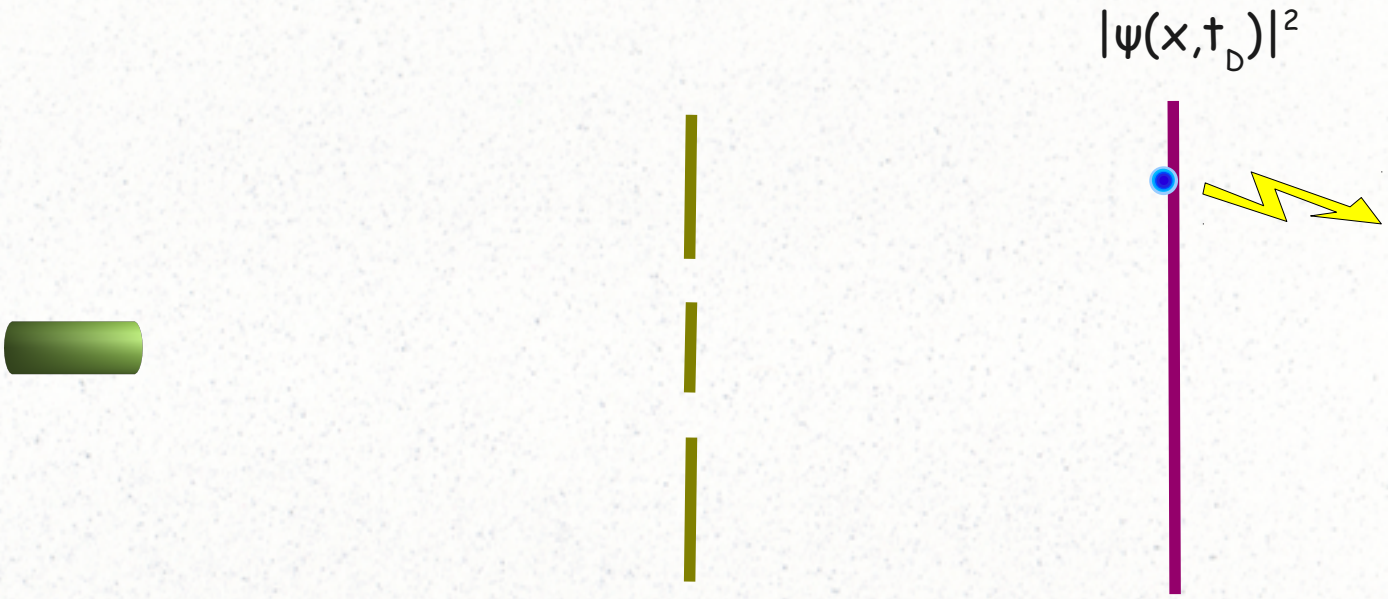


$$i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(x,t)$$

ilustrácia: elektrón na dvojštrbine

$$i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(x,t)$$

ilustrácia: elektrón na dvojštrbine



DETEKCIA !

pohybové rovnice

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(x,t)$$

$$\hat{H}\psi(x,t) = \psi'(x,t)$$

interakcie $\longrightarrow$ $\hat{H}$

- Schrödingerova rovnica je nerelativistická
- relativistické pohybové rovnice:
  Klein-Gordon, Dirac, ...

voľný elektrón

elektrónové pole v základnom stave, elektrónové vákuum:

elektrón = "rozvlnenie" elektrónového poľa:

- elektrón s hybnosťou p:

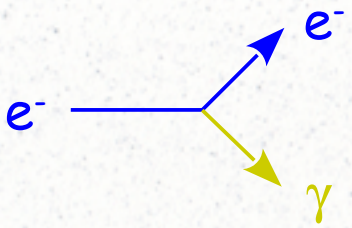
- elektrón s polohou x:

$$p = (E, \vec{p}) \quad \Rightarrow \quad p^2 = E^2 - \vec{p}^{\,2} = m_e^2$$

Interakcia elektrónu s fotónom

fotónové pole v základnom stave, fotónové vákuum:

interakcia: *elektrón excituje fotónové pole* → **fotón**



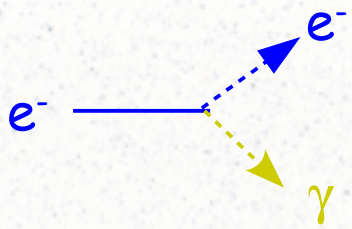
← ZZ4H zakazuje !!!

- neplatí ZZ4H
- po vyžiarení $p^2 \neq m^2$

Interakcia elektrónu s fotónom

fotónové pole v základnom stave, fotónové vákuum:

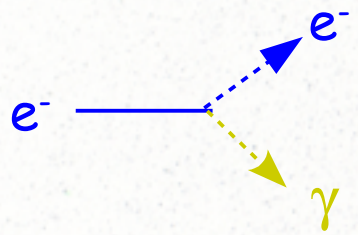
interakcia: *elektrón excituje fotónové pole* → **fotón**

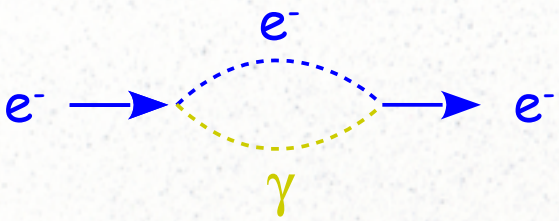


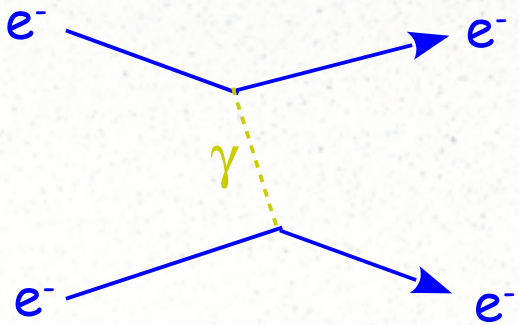
po vyžiarení
$p^2 \neq m^2$

→ poliami sa "šíria" excitácie, ktoré majú 4-hybnosť, ale "nevyzerajú" ako častice:
virtuálne častice

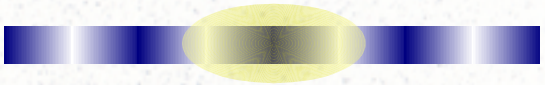
Interakcia elektrónu s fotónom







virtuálne častice môžu interagovať s inými virtuálnymi a reálnymi časticami



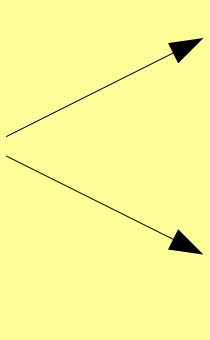
Feynmanove diagramy

FD = grafická reprezentácia:

- ako interagujú kvantové polia
- výpočet pravdepodobnosti namerania daného koncového stavu pri zrážkach častíc

konkrétna teória:

- súbor základných "kociek"

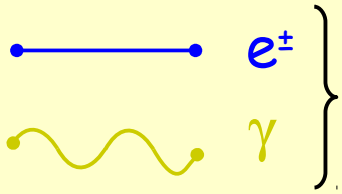


možné procesy

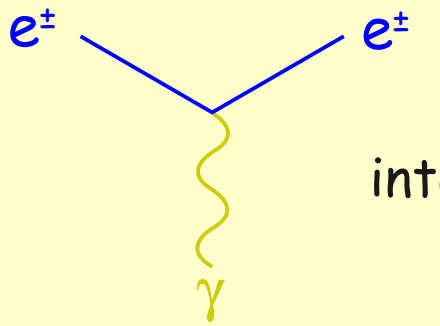
výpočet pravdepodobností

teória elektrónov a fotónov

základné kocky pre FD:

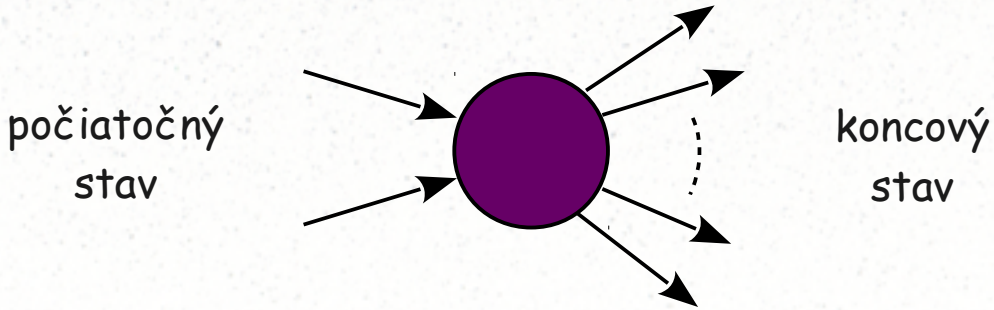


propagátory

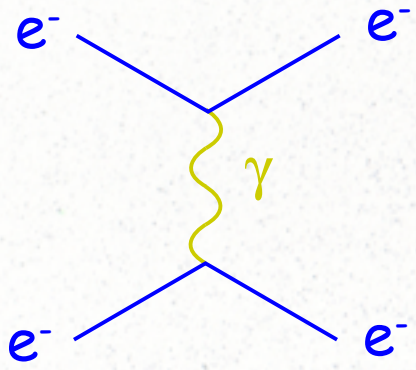


interakčný vrchol
(vertex)
~ α

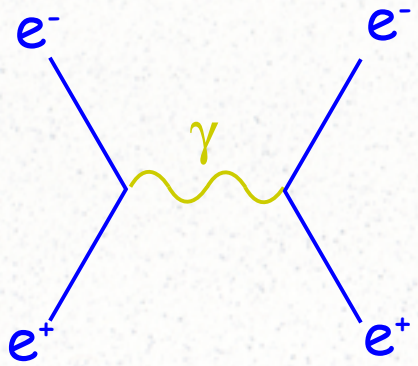
- "kocky" možno rotovať
- pri prechode medzi počiatočným a koncovým stavom sa mení znamienko elektrického náboja



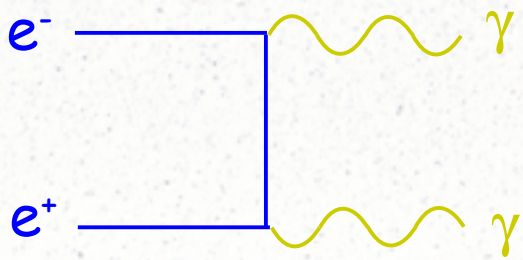
príklady procesov



$e^- e^- \rightarrow e^- e^-$



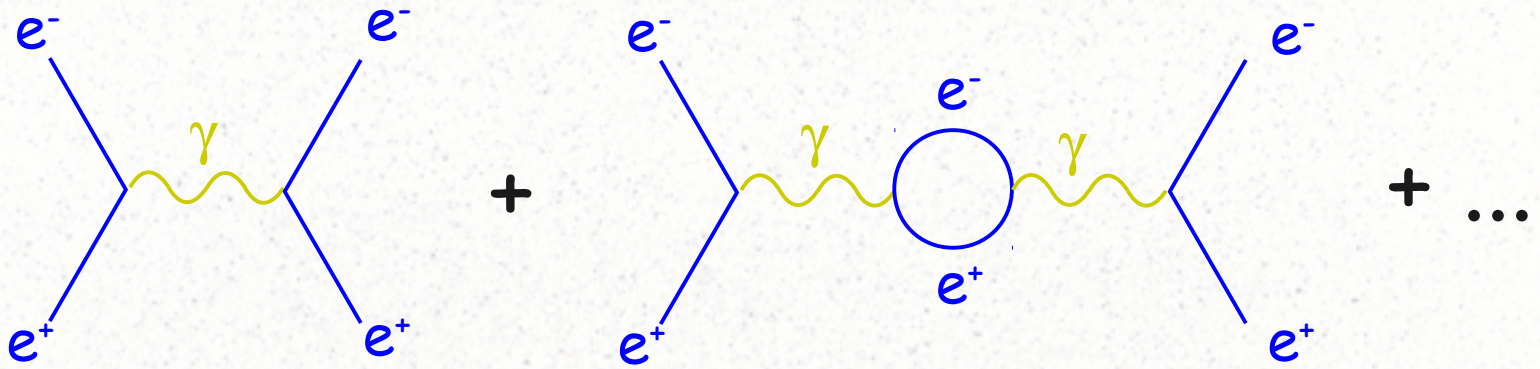
$e^- e^+ \rightarrow e^- e^+$



$e^- e^+ \rightarrow \gamma\gamma$

korekcie vyšších rádov

$e^- e^+ \rightarrow e^- e^+$



$A = A_1(\alpha^2) + A_2(\alpha^4) + \ldots$

ak $\alpha < 1$ potom $A_1(\alpha^2) > A_2(\alpha^4) > \ldots$

v prípade elektrónov a fotónov: $\alpha = 1/137$

hmotnostné píky

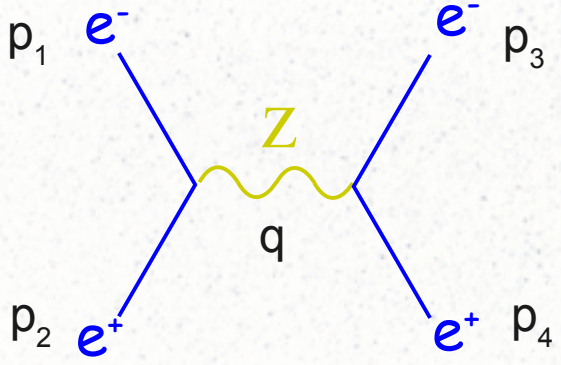
propagátor častice A:

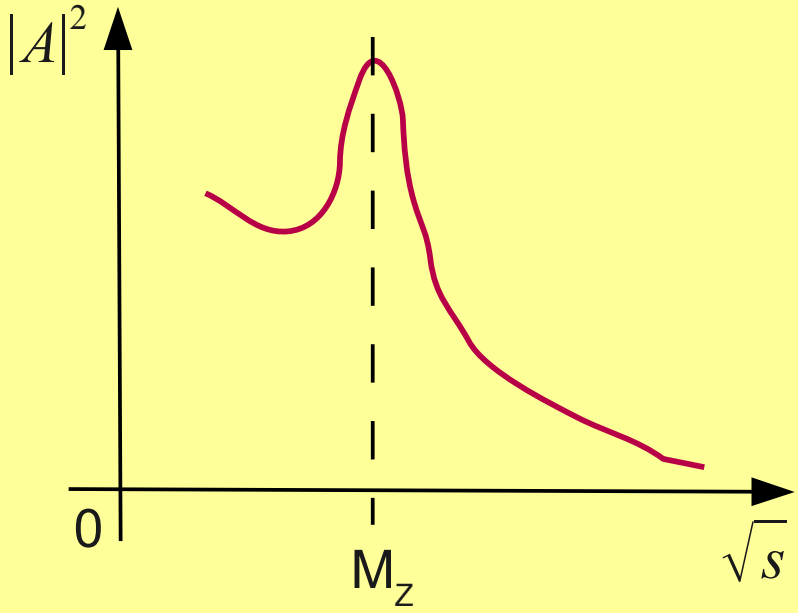
q = (E,$\vec{q}$) … prenášaná 4-hybnosť

príspevok do amplitúdy FD:

$$|A|^2 \propto \frac{1}{(q^2 - m_A^{\,2})^2 + \Gamma^2 m_A^{\,2}}$$

napr.:



$$q = p_1 + p_2 = p_3 + p_4$$

$$s \equiv (p_1 + p_2)^2 = q^2$$