

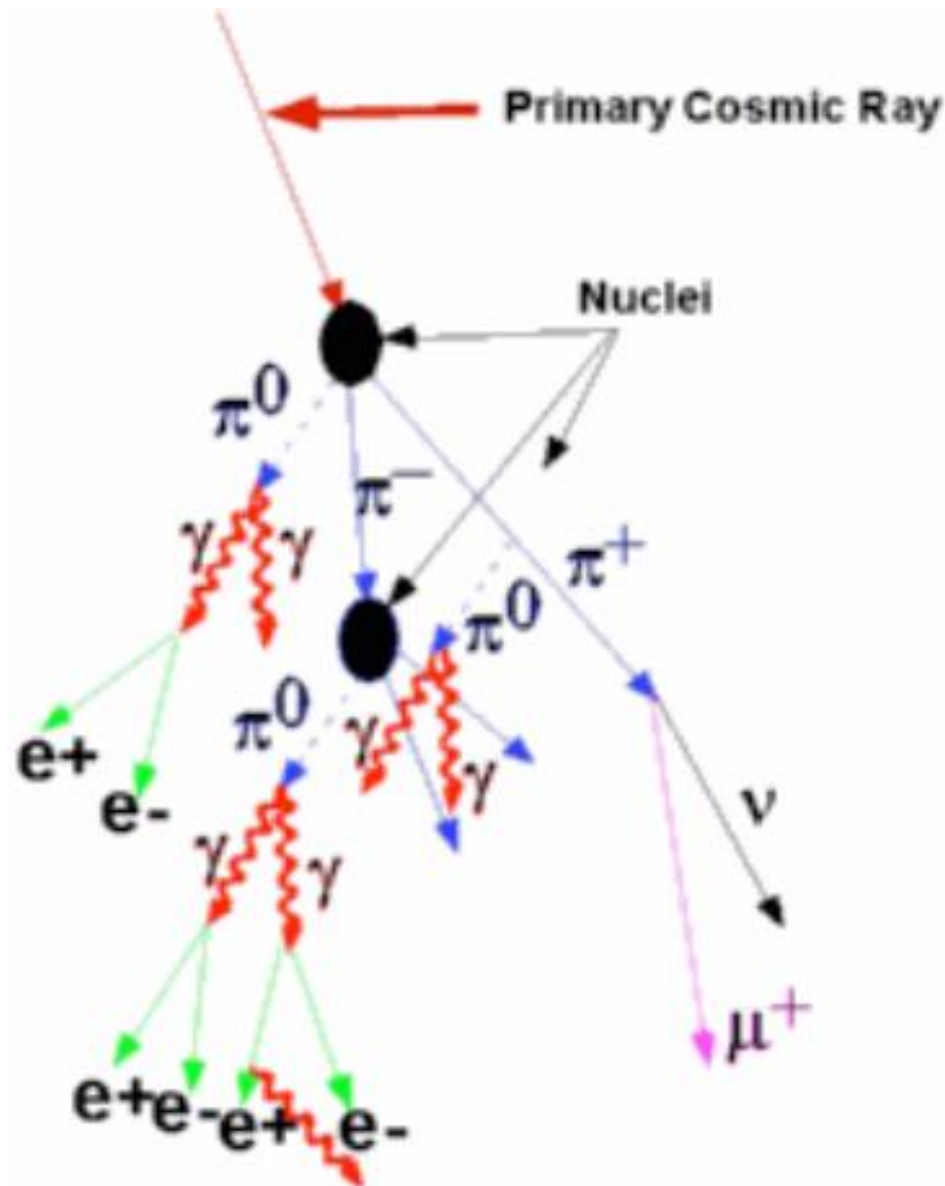
Koja je formula ispravna?

II. SIMETRIJE U KLASIČNOJ I KVANTNOJ FIZICI (FEČ, Pogl.2)

- DODATNO NAČELO uz QM
- STR - RAVNOPRAVNO POJAVLJIVANJE PROSTORA I VREMENA

POJAVNOST ČESTICA

- Identičnost/nerazlikovanje čestica
- Prilagodba sustava jedinica (“mislimo 4-dimenzionalno”)
- Bezdimezionalne jakosti interakcija
- Mase i vremena života



Dva bitna načela: kvantno i relativističko

QED involved principles

◇ QUANTUM MECHANICS

◇ RELATIVITY

recovered through dilemmas / new scales

particle or wave ?

Bohr radius
 $r_B \approx 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

particle or field ?

Compton w-length
 $r_C \approx 4 \cdot 10^{-13} \text{ m}$

- ◇ *dilema čestica - val*, na kojoj je izrasla kvantna fizika na skali “Bohrovog polumjera” (dimenzije vodikova atoma)

$$r_B = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m_e} (= \alpha^{-2} r_e) = 5.2917706(44) \cdot 10^{-11} \text{ m} . \quad (1.1)$$

- ◇ *dilema čestica - polje*, aktualizirana primjenom relativističke kvantne fizike na opis međudjelovanja elektrona i fotona. Tako ustanovljena teorija pod nazivom *kvantna elektrodinamika*, na skali komptonske valne duljine elektrona

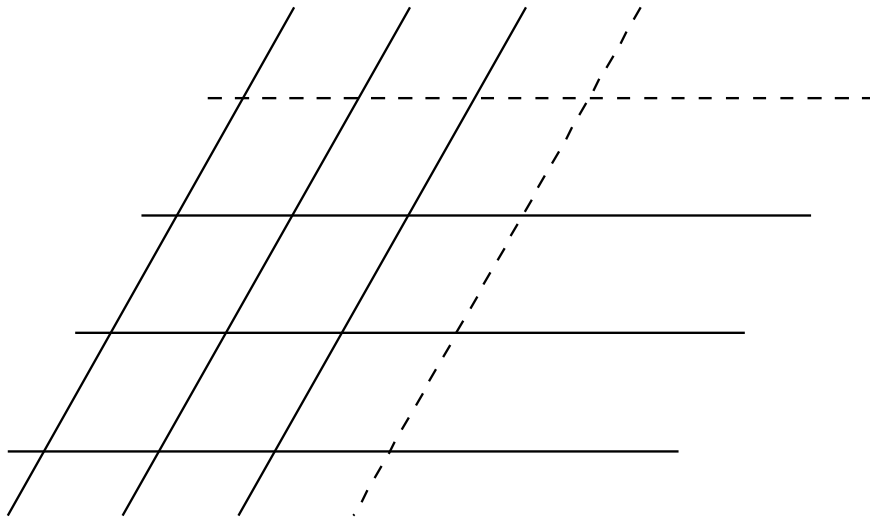
$$r_e^{kompt} = \frac{\hbar}{m_e c} (= \alpha^{-1} r_e) = 3.8615905(64) \cdot 10^{-13} \text{ m}, \quad (1.2)$$

postala je uzorom svih budućih kvantnih teorija polja. Pri tome središnje mjesto zauzima zamišljaj polja-prijenosnika sile.

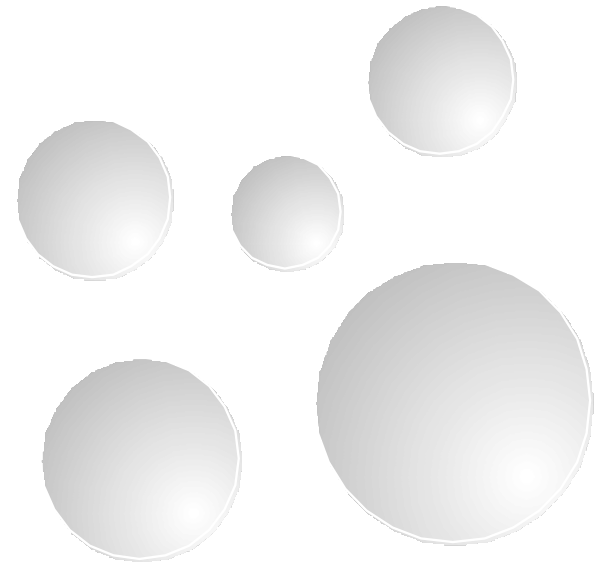
klasični polumjer elektrona (“nabojni polumjer”)

$$r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2} (= \frac{\alpha}{m_e}) = 2.8179380(70) \cdot 10^{-15} \text{ m} \quad (1.3)$$

Prilagodba sustava jedinica



(a)



(b)

Heaviside-Lorentzove jedinice

- **Electron charge** defined by Force equation: $F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

- In Heaviside-Lorentz units set $\epsilon_0 = 1$

and $F \rightarrow \frac{e^2}{4\pi r^2}$

NOTE: electric charge has dimensions

$$[EL]^{\frac{1}{2}} = [\hbar c]^{\frac{1}{2}}$$

- Since $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-\frac{1}{2}} = 1 \rightarrow \mu_0 = 1$

$$\hbar = c = \epsilon_0 = \mu_0 = 1$$

Jedinice,
koje po
Plancku,
vrijede
"za sve
civilizacije
i za sva
vremena"

Our experience of the
matter in space-time

reflected in basic UNITS

[M] [L] [T]



kg m s

everyday's (human choice)

w.r.t.



Nature's choice :

- $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ STR
- $\hbar = 1.055 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ QM

Prirodni sustav jedinica

- From Quantum Mechanics - the unit of action : \hbar
- From relativity - the speed of light: c
- From Particle Physics - unit of energy: **GeV** (1 GeV ~ proton rest mass energy)

Units become:

Energy	GeV	Time	$(\text{GeV}/\hbar)^{-1}$
Momentum	GeV/c	Length	$(\text{GeV}/\hbar c)^{-1}$
Mass	GeV/c^2	Area	$(\text{GeV}/\hbar c)^{-2}$

Simplify by choosing: $\hbar = c = 1$

- Now all quantities expressed in powers of **GeV**

Energy	GeV	Time	GeV^{-1}
Momentum	GeV	Length	GeV^{-1}
Mass	GeV	Area	GeV^{-2}

Vježbe 2.1:

Zadatak 1.5 *Vrijeme života parapozitronija (nestabilnog vezanog stanja elektrona i pozitrona) dano je u prirodnim jedinicama izrazom*

$$\tau = \frac{2}{m_e \alpha^5}. \quad (1.60)$$

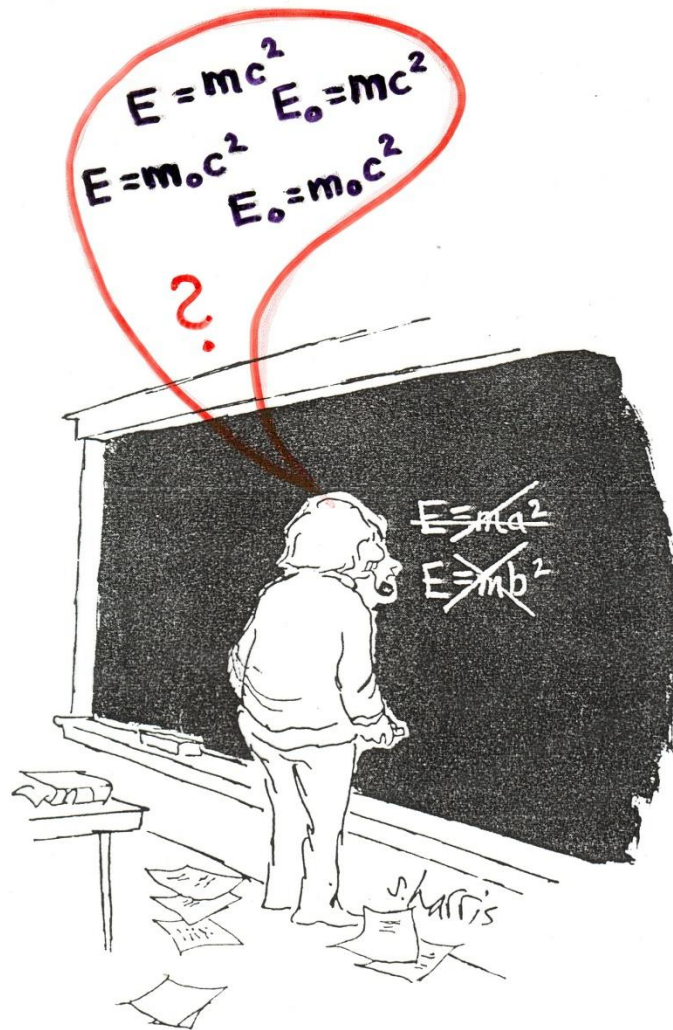
Obnoviti na temelju dimenzija faktore \hbar i c i izračunati τ u sekundama.

Rješenje : *Zahtjevom da*

$$\tau = \frac{2}{m_e \alpha^5} \hbar^a c^b \quad (1.61)$$

ima dimenziju vremena dobivamo $a = 1$ i $b = -2$, odnosno $\tau = 1.245 \cdot 10^{-10} \text{s}$.

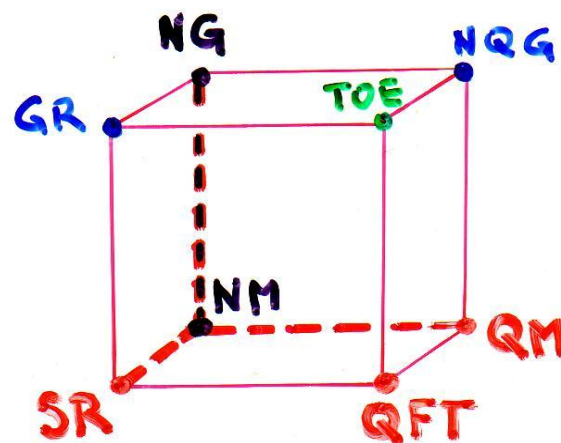
Koja je formula ispravna?



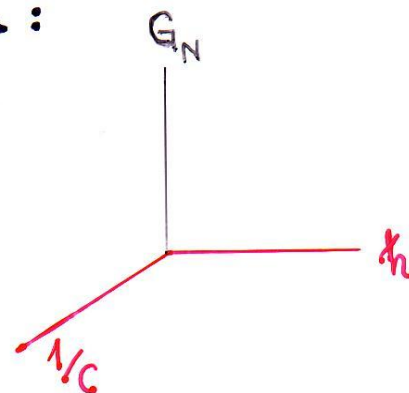
SIDNEY HARRIS

Zanemariva gravitacija u svijetu elementarnih čestica

Bronshtein - Želmanovljeva
KOCKA FIZIKALNIH TEORIJA



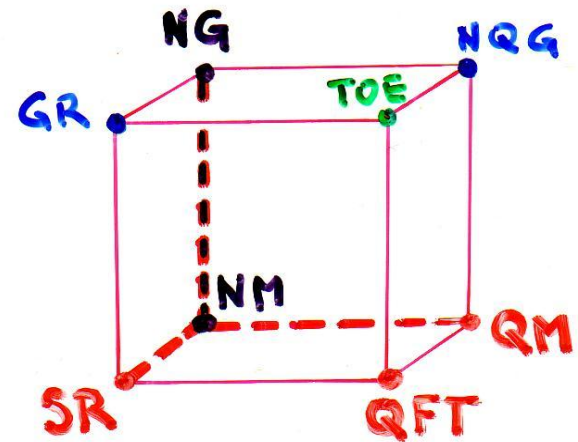
na
osima :



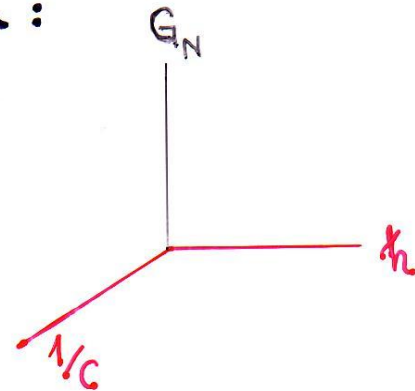
Vježbe 1.1:

Pomoću triju
fundamentalnih
konstanti (\hbar, c, G_N)
izvrijednite
Planckovu
duljinu, masu i
vrijeme (L_P, M_P, T_P)

Bronshtein - Želmanovljeva
KOCKA FIZIKALNIH TEORIJA

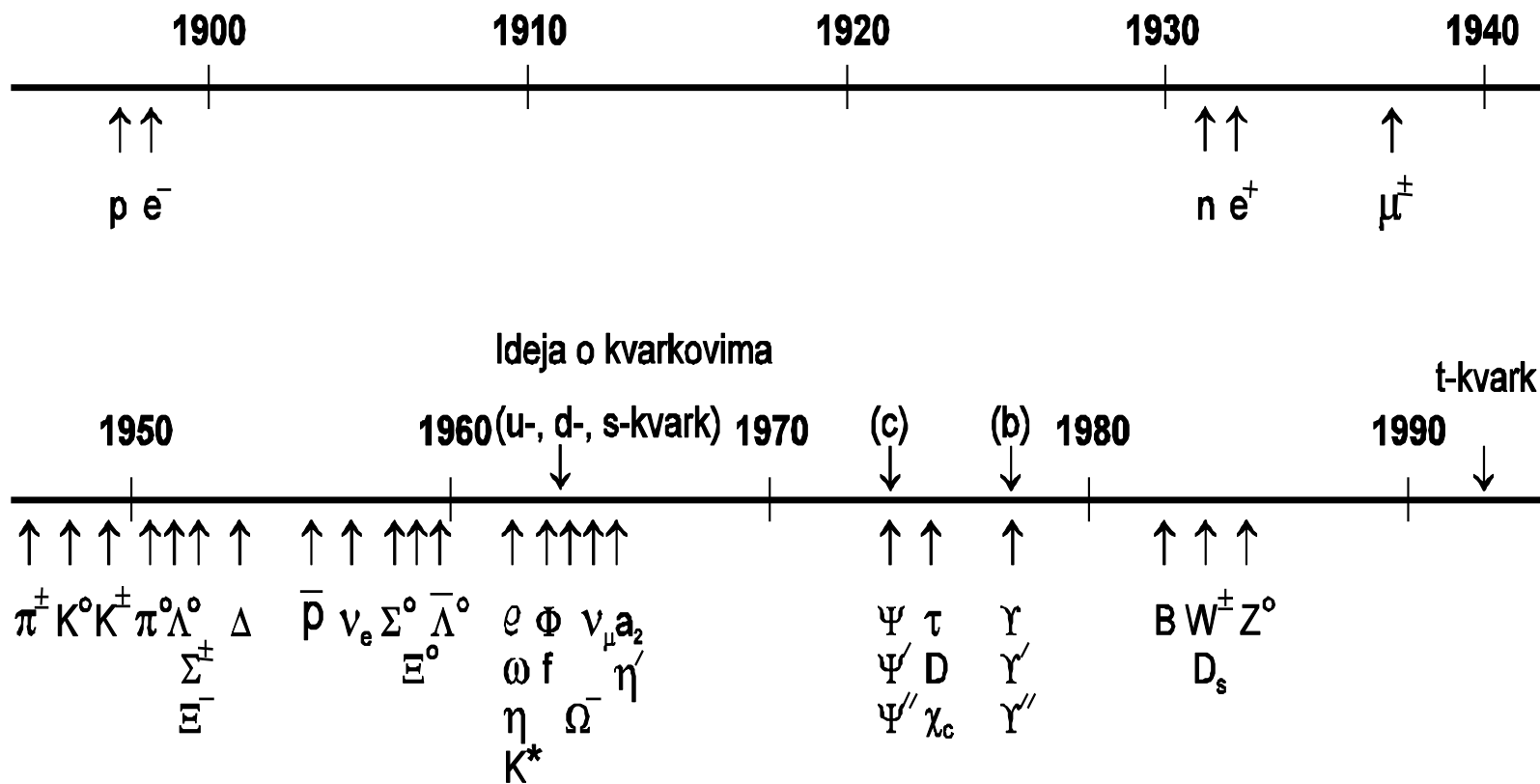


na
osima :



Eksplzija otkrića čestica po uvođenju akceleratora

KALENDAR OTKRIĆA ČESTICA



OČUVANE VELIČINE I KLASIFIKACIJA FERMIONA &

BARYONS (Spin $\frac{1}{2}$)

Baryon	Quark content	Charge	Mass	Lifetime	Principal decays
$N \begin{cases} p \\ n \end{cases}$	uud udd	+1 0	938.280 939.573	∞ 900	— $p\bar{e}\bar{\nu}_e$
Λ	uds	0	1115.6	2.63×10^{-10}	$p\pi^-, n\pi^0$
Σ^+	uus	+1	1189.4	0.80×10^{-10}	$p\pi^0, n\pi^+$
Σ^0	uds	0	1192.5	6×10^{-20}	$\Lambda\gamma$
Σ^-	dds	-1	1197.3	1.48×10^{-10}	$n\pi^-$
Ξ^0	uss	0	1314.9	2.90×10^{-10}	$\Lambda\pi^0$
Ξ^-	dss	-1	1321.3	1.64×10^{-10}	$\Lambda\pi^-$
Λ_c^+	udc	+1	2281	2×10^{-13}	not established

BARYONS (Spin $\frac{3}{2}$)

Baryon	Quark content	Charge	Mass	Lifetime	Principal decays
Δ	uuu, uud, udd, ddd	+2, +1, 0, -1	1232	0.6×10^{-23}	$N\pi$
Σ^*	uus, uds, dds	+1, 0, -1	1385	2×10^{-23}	$\Lambda\pi, \Sigma\pi$
Ξ^*	uss, dss	0, -1	1533	7×10^{-23}	$\Xi\pi$
Ω^-	sss	-1	1672	0.82×10^{-10}	$\Lambda K^-, \Xi^0\pi^-, \Xi^-\pi^0$

SIMETRIČNI ZAHVAT

- **KOJI NE MIJENJA FIZIKALNI SUSTAV**
(svi se procesi odvijaju na isti način)
- **POVIJEST NOVIJE FIZIKE** – izučavanje
simetrija i njihovih narušenja
- **VEZA SIMETRIJA** i očuvanih veličina,
kao prvi korak

Simetrije Newtonovog prostora i vremena:

KONTINUIRANE
TRANSFORMACIJE

NEOPSERVABLA

ZAKON
OČUVANJA

POMAK
U PROSTORU

apsolutni prostorni
položaj

IMPULS

POMAK
U VREMENU

apsolutno
vrijeme

ENERGIJA

ROTACIJE
U PROSTORU

apsolutni smjer
u prostoru

IMPULS
VRTNJE

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 $U \Psi$ zadovol. (*) \Rightarrow

$$[H, U] = 0$$

PITANJA:

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

ODGOVORI:

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

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

OČUVANI ADITIVNI KVANTNI BROJEVI

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

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

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

OČUVANI ADITIVNI NABOJI

neopažanje $e^- \rightarrow \nu \gamma$ $p \rightarrow e^+ \gamma$ $\mu \rightarrow e \gamma$

očuvani naboj Q B, L L_e, L_μ

simetrija ?

DA! Herman Weyl '50

GLOBALNE transformacije faze

QM valne funkcije, primjerice čestice naboja "q"

U(1)

$$\psi_q \rightarrow \psi_{q'} = e^{i\epsilon Q} \psi_q$$

ABELOVSKA