

Зашто квантна теорија поља?

10. октобар 2023. године

Задужбина Илије Коларца, Београд



др Бојан Николић, Институт за физику, Београд

Циклус предавања у сарадњи са пројектом "Квантна гравитација из виших гејџ теорија" (QGHG-2021), број 7745968 програма ИДЕЈЕ Фонда за науку Републике Србије

План излагања

- Шта је уопште поље?
- Примери класичних теорија поља
- Развој физике у 20. веку
- Зашто нам треба формализам КТП?

Шта је поље?

- Правило по којем елементима једног скупа придружимо елементе другог скупа назива се **функција**.
- Нека је \vec{r} вектор положаја. Ако вектору положаја у датом тренутку t придружимо неки вектор, $\vec{A} = \vec{A}(\vec{r}, t)$, онда говоримо о **векторском пољу**. У случају да вектору положаја придружимо број (скалар), говоримо о **скаларном пољу**.
- **Класична теорија поља је физичка теорија** која описује интеракцију једног или више поља са материјом кроз **једначине поља**.

Примери класичних теорија поља 1

- **Динамика флуида** - вектор брзине делића флуида $\vec{v}(\vec{r}, t)$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \vec{g}.$$

- Максвелова електродинамика и теорија гравитације (Њутнова и Ајнштајнова)
- **Максвелове једначине** - $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \dots$
- **Ајнштајнова једначина**

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} G_{\mu\nu} R = 8\pi T_{\mu\nu}.$$

Примери класичних теорија поља 2

- Шредингерова једначина

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t} = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\vec{r}, t) \right) \Psi(\vec{r}, t)$$

- Клајн-Гордонова једначина за скаларно поље,
Диракова једначина за честицу спина 1/2.
- Таласна функција носи информацију о
расподели вероватноће налажења честице -
рођена је **квантна механика**.
- Важно - функције којима описујемо систем
задовољавају одређене једначине (on-shell).

Предности и мане квантне механике

- Квантна механика је била добра за опис нерелативистичких система са непроменљивим бројем честица, опис спектара атома и молекула. Увођење спина честице.
- Почев од 20-их година 20. века, започиње интензиван развој физике захваљујући формулацији теорије релативности и квантне механике.
- Показује се некозистентност специјалне теорије релативности и квантне механике једне честице. По ТР енергија и маса су еквивалентне, па самим тим ако честица има довољно велику енергију, долази до могућности **креације** нових честица.

Античестице - позитрон,...

- Античестице - теоријски предвидео Пол Дирак 1928. године (позитрон као антиелектрон). Експериментално откриће се приписује америчком физичару Карлу Дејвиду Андерсону 1932. године (анализа судара у космичком зрачењу).

MARCH 15, 1933 PHYSICAL REVIEW VOLUME 43

The Positive Electron

CARL D. ANDERSON, *California Institute of Technology, Pasadena, California*
(Received February 28, 1933)

Out of a group of 1300 photographs of cosmic-ray tracks in a vertical Wilson chamber 15 tracks were of positive particles which could not have a mass as great as that of the proton. From an examination of the energy-loss and ionization produced it is concluded that the charge is less than twice, and is probably exactly equal to, that of the proton. If these particles carry unit positive charge the

curvatures and ionizations produced require the mass to be less than twenty times the electron mass. These particles will be called positrons, because they occur in groups associated with other tracks it is concluded that they must be secondary particles ejected from atomic nuclei.

Editor

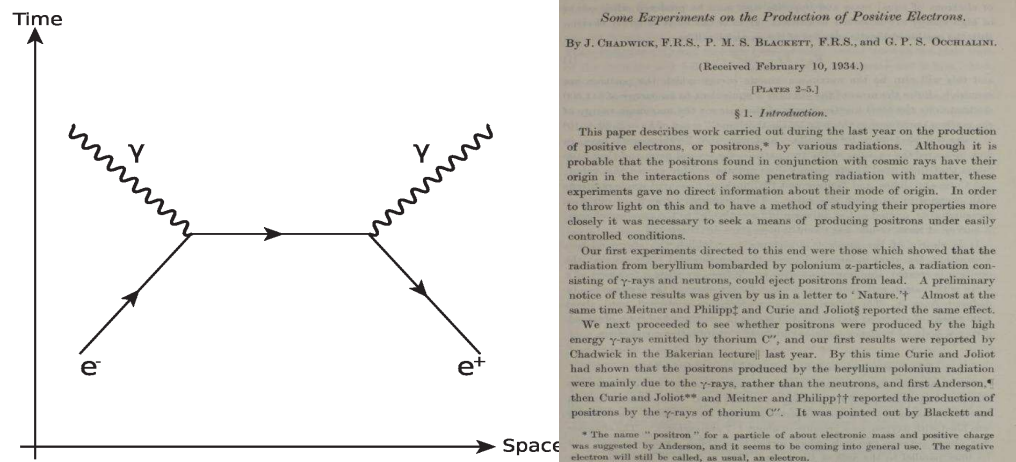
ON August 2, 1932, during the course of photographing cosmic-ray tracks produced in a vertical Wilson chamber (magnetic field of 15,000 gauss) designed in the summer of 1930 by Professor R. A. Millikan and the writer, the tracks shown in Fig. 1 were obtained, which seemed to be interpretable only on the basis of the existence in this case of a particle carrying a positive charge but having a mass of the same order of magnitude as that normally possessed by a free negative electron. Later study of the photograph by a whole group of men of the Norman Bridge Laboratory only tended to strengthen this view. The reason that this interpretation seemed so inevitable is that the track appearing on the upper half of the figure cannot possibly have a mass as large as that of a

electron happened to produce two tracks so placed as to give the impression of a single particle shooting through the lead plate. This assumption was dismissed on a probability basis, since a sharp track of this order of curvature under the experimental conditions prevailing occurred in the chamber only once in some 500 exposures, and since there was practically no chance at all that two such tracks should line up in this way. We also discarded as completely untenable the assumption of an electron of 20 million volts entering the lead on one side and coming out with an energy of 60 million volts on the other side. A fourth possibility is that a photon, entering the lead from above, knocked out of the nucleus of a lead atom two particles, one of which shot upward and the other down.

Слика 1: Почетак рада о открићу позитрона

Креационо-анихилациони процеси

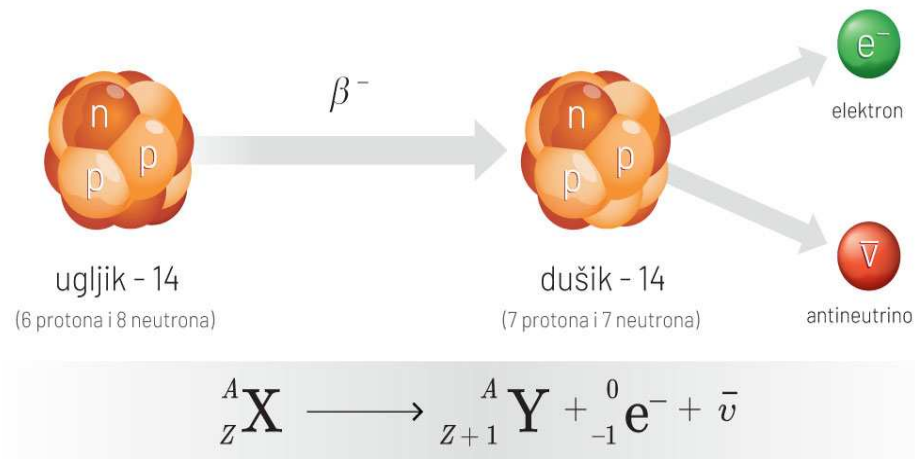
- У наредним деценијама откривено је мноштво честица и њихових античестица. Судар честице и античестице се назива **анихилациони** процес. Супротно од тога је процес **креације** (Blackett i Occhialini 1933.године).



Слика 2: Лево: Анихилација електрона и позитрона у два фотона; Десно: Рад о креацији електрона и позитрона

Слаба интеракција - бета распад

- β распад - трансмутација елемената, али суштински долази до трансмутације честица.
- При β^- распаду **неутрон прелази у протон** уз емисију антинеутрина и електрона, док код β^+ распада **протон прелази у неутрон** уз емисију позитрона и неутрина. **Откриће неутрина.**



Слика 3: β^- распад

Казимиров ефекат

- Холандски физичар **Хендрик Казимир** је предвидео овај ефекат 1948. године.
- Типична поставка - две ненаелектрисане проводне плоче у вакууму се **привлаче**. Објашњење ове појаве је могуће само преко **КВАНТНИХ ПОЉА**.

Mathematics. — *On the attraction between two perfectly conducting plates.* By H. B. G. CASIMIR.

(Communicated at the meeting of May 29, 1948.)

In a recent paper by POLDER and CASIMIR¹⁾ it is shown that the interaction between a perfectly conducting plate and an atom or molecule with a static polarizability α is in the limit of large distances R given by

$$\delta E = -\frac{3}{8\pi} \hbar c \frac{\alpha}{R^4}$$

and that the interaction between two particles with static polarizabilities α_1 and α_2 is given in that limit by

$$\delta E = -\frac{23}{4\pi} \hbar c \frac{\alpha_1 \alpha_2}{R^7}.$$

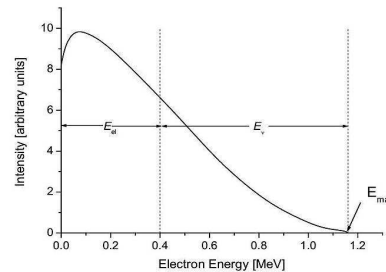
These formulae are obtained by taking the usual VAN DER WAALS-LONDON forces as a starting point and correcting for retardation effects.

In a communication to the "Colloque sur la théorie de la liaison chimique" (Paris, 12-17 April, 1948) the present author was able to show that these expressions may also be derived through studying by means of classical electrodynamics the change of electromagnetic zero point energy. In this note we shall apply the same method to the interaction between two perfectly conducting plates.

Слика 4: Исечак из рада Х. Казимира 1948. године

Неутрини

- Мистериозне честице у β распаду. Континуални спектар - да ли важи закон одржања енергије?



Слика 5: Спектар β -распада

- Три врсте неутрина - електрон увек иде са електронским неутрином, таон са таонским, мион са мионским. **Иду у дублетима!**
- Осцилације неутрина - неутрини имају масу (Суперкамиоканде).

Стандардни модел

- Уједињење интеракција!

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	±125 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
name →	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs-boson
Quarks	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	g gluon	
Leptons	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z weak force	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force	
					Bosons (Forces)

Слика 6: Градивни елементи

И коначно - зашто уводимо квантну теорију поља?

- Бројни експериментални резултати су показали да морамо имати нови формализам за опис природе.
- Недовољно је СТР укључити у квантну механику. Неке проблеме решавамо (креација/анихилација), али не све.
- Поља више нису ”обична”, већ операторска (квантна) која из вакуума креирају или анихилирају стање у датој тачки простор-времена.
- Сумирање по свим конфигурацијама поља!
- Вакуум (основно стање) - непрекидно ”мрешкање” бесконачног броја парова виртуелних честица и античестица.