

KVANT MAYDONLAR NAZARIYASIDA FEYNMAN DIAGRAMMALARINI HISOBLASH

**Abduraimov Doston¹, Ibragimov Alimuxammad¹,
Nishonov Isomiddin², Rahmatov Bekzod²**

1. Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti magistranti
2. Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti doktoranti

ANNOTATSIYA

Feynman diagrammalarini hisoblash kvant maydonlar nazariyasining asosiy, shu bilan birgalikda qiziqarli masalasidir. Ushbu uslub sochilish amplitudalarini vizualizatsiya qilish, hisoblash va zarrachalarning mumkin bo'lgan o'zaro ta'sirlari ehtimolini aniqlash imkonini beradi. Feynman diagrammalaridan foydalanish ko'plab yangi zarrachalarning kashf etilishiga olib keldi. Ularning ahamiyatiga qaramay, Feynman diagrammalarini talqin qilish va hisoblash murakkab va qiyin vazifa bo'lib qolmoqda, bu kvant maydonlar nazariyasini chuqur tushunishni talab qiladi. Biz ushbu maqolamizda Feynman diagrammalarini hisoblashni ko'rib chiqamiz.

***Kalit so'zlar:** Kvant maydonlar nazariyasi, kvant elektrodinamikasi, sochilish, differensial kesim, Feynman diagrammalari.*

CALCULATION OF FEYNMAN DIAGRAMS IN QUANTUM FIELD THEORY

***Abstract.** The calculation of Feynman diagrams is a fundamental yet interesting problem in quantum field theory. This technique allows visualization, calculation of scattering amplitudes and determination of the probability of possible particle interactions. The use of Feynman diagrams led to the discovery of many new*

particles. Despite their importance, the interpretation and calculation of Feynman diagrams remains a complex and difficult task, which requires a deep understanding of quantum field theory. We consider the calculation of Feynman diagrams in this article.

Key words: Quantum field theory, quantum electrodynamics, scattering, differential section, Feynman diagrams.

I. Kirish

Zarralar fizikasining ajralmas atributi - bu ularning o'zaro ta'siri va o'zaro bir-biriga aylanishlaridir. Bu jarayonlar S - sochilish matritsa orqali tushuntiriladi. Agar zarralar boshlang'ich va oxirgi holatlarda erkin bo'lsa, ularning holatlarini mos ravishda $\Phi(-\infty)$ va $\Phi(\infty)$ ya'ni cheksiz o'tmishda $(-\infty)$ va cheksiz kelajakda (∞) deb faraz qilishimiz mumkin. U holda bu ikki holatni S - matritsa orqali quyidagicha bog'laymiz $\Phi(\infty) = S \Phi(-\infty)$. Endi shunday bo'lishi mumkinki, o'zaro ta'sirdan keyin boshqa zarralar hosil bo'lmasdan (elastik jarayon) yoki boshqa zarralar hosil bo'lishlari (noelastik jarayonlar) mumkin. Shu sababli S - matritsa $S = I + T$ ko'rinishida ifodalanishi ham mumkin. Bu yerda I -birlik matritsa elastik sochilishga mos keladi. T - matritsa esa noelastik va o'ta noelastik jarayonlarni ifodalaydi. S - matritsa kvadrati o'tish ehtimolliklarini, sochilish jarayonlari effektiv kesimini va zarralarning bir - biriga o'zaro aylanishlarini aniqlaydi.

II. Kvant maydonlar nazariyasida sochilish matritsasi va differensial kesim

Biror jarayon ehtimolligi, masalan, bitta zarraning bir necha (n) zarraga parchalanish ehtimolligi

$$d\Gamma = \frac{(2\pi)^4}{2M} |T|^2 d\Phi_n(p; p_1, \dots, p_n) \quad (1)$$

kabi aniqlanadi. Bu yerda M - parchalanuvchi zarra massasi, va p - parchalanuvchi zarra 4-o'lchamli impulsi, $d\Phi_n$ - fazo hajmi: deb ataladi va

$$d\Phi_n(p; p_1, \dots, p_n) = \delta^4 \left(p - \sum_{i=1}^n p_i \right) \prod_{i=1}^n \frac{d^3 p_i}{(2\pi)^3 2E_i}$$

kabi aniqlanadi. Bunda δ^4 - 4-o'lchamli impuls saqlanish qonunini ifodalovchi 4-o'lchamli delta funksiya, p_i - pachalangandan so'ngi zarralar 4-o'lchamli impulslari va E_i - energiyalari. Odatda T matritsa o'rniga M - matritsa elementi tushunchasi ham qo'llaniladi.

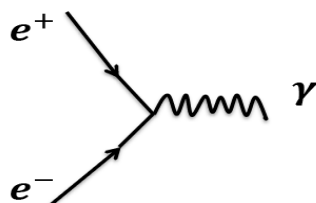
Agarda, boshlang'ich holatda to'qnashishdan oldin i ta zarralar bo'lib, to'qnashishdan so'ngra f ta zarralar hosil bo'lsa bu jarayoning ehtimoliyati quyidagicha topiladi:

$$W_{i \rightarrow f} = (2\pi)^4 |M_{i \rightarrow f}|^2 \delta^4 \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{f=1}^k p_f \right),$$

bunda $M_{i \rightarrow f}$ -jarayonning sochilish amplitudasi, yoki matritsa elementi ham deyiladi. Ko'pincha, i holatdagi 2 ta zarra uchun $i \rightarrow f$ sochilish jarayonida differensial effektiv kesim topiladi:

$$d\sigma = (2\pi)^4 |M_{i \rightarrow f}|^2 \delta^4 \left(p_1 + p_2 - \sum_{f=1}^k p_f \right) \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\sqrt{(p_1 p_2)^2 - m_1^2 m_2^2}} \prod \frac{d^3 p_f}{(2\pi)^3} \quad (2)$$

Bu kesimdagi $\prod \frac{d^3 p_f}{(2\pi)^3}$ - jarayondan so'ngi zarralar 3-o'lchamli impuls fazolari ko'paytmasi. Kvant elektrodinamikasida ushbu kesimlar Feynman diagrammalari va qoidalari asosida hisoblanishi va tajriba natijalari bilan solishtirilishi mumkin. Kvant elektrodinamikaga asosan e^- - elektron va e^+ - pozitron zarralari, hamda γ - foton bilan o'zaro ta'sirlashish elektromagnit «cho'qqi» grafigi 1-rasmda keltirilgan.

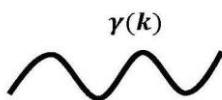


1-rasm. Kvant elektrodinamikaga asosan e^- - elektron va e^+ - pozitron zarralari, hamda γ - foton bilan o'zaro ta'sirlashish «cho'qqi» grafigi.

III. Kvant maydonlar nazariyasida Feynman diagrammalarini tuzish va hisoblash.

Kvant elektrodinamikasining asosiy mohiyati shundaki, zaryadlangan zarralar (elektronlar) o'zaro ta'sirlashib, fotonlarni yutadi yoki aksincha, chiqaradi. Fotonlar esa, o'z navbatida elektromagnit kuchlarni o'zi bilan tashib yuradi. Shunisi qiziqki, garchi mazkur fotonlar o'zaro ta'sir kuchlarini ta'minlab beruvchi vazifasini bajarsa hamki, haqiqatda esa «ko'rib» bo'lmaydi, chunki ular ushbu jarayonlarda «virtual» zarralardir. Tasavvur qilish uchun murakkab bo'lgan bunday o'zaro ta'sirlarni Richard Feynman ishlab chiqqan to'liqni «*Feynman diagrammalari*» vositasida oson tushunish va grafik ko'rinishda ifodalash mumkin. Ushbu diagrammalardan foydalanib nazariyachi fiziklar muayyan jarayonlar uchun o'zaro ta'sirlashuvlar ehtimollik ko'rsatkichlarini hisoblab chiqish imkoniyatiga ega bo'lishdi. Bunda, yadroviy jarayonlar ehtimoliyatlarini topish uchun Feynmanning quyidagi qoidalaridan foydalaniladi:

a). Foton to'liqsimon chiziq orqali ifodalanadi:



b). Elektron va pozitron uzluksiz chiziq orqali ifodalanadi:

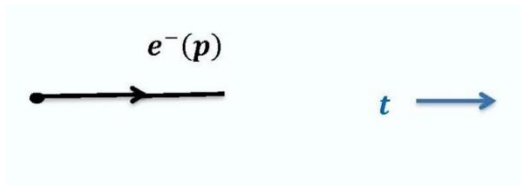


v). Cho'qqiga kiruvchi $e^-(p, s)$ - elektronga $u(\vec{p}, s)$ - to'liqin funksiya mos keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:

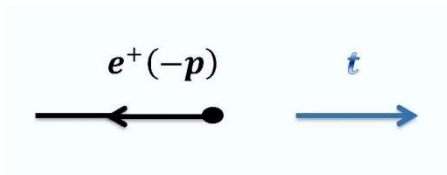


bunda p – elektronning 4-o'lchamli impulsi, t – esa vaqt yo'nalishi.

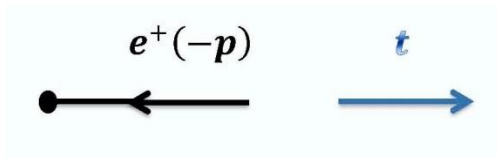
g). Cho'qqidan chiquvchi $e^-(p, s)$ - elektronga $\bar{u}(\vec{p}, s)$ - to'liqin funksiya mos keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:



d). Cho‘qqiga kiruvchi $e^+(p, s)$ - pozitronga $\bar{v}(\vec{p}, s)$ - to‘lqin funksiya mos keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:

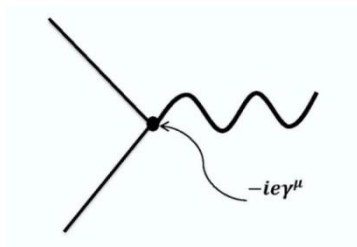


e). Cho‘qqidan chiquvchi $e^+(p, s)$ - pozitronga $v(\vec{p}, s)$ - to‘lqin funksiya mos keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:



j). Matritsa elementlarini yozganda uzluksiz chiziq bo‘ylab, strelkalarga qarama-qarshi yo‘nalish bo‘yicha bajariladi.

z). Har bir $e\bar{e}\gamma$ -cho‘qqiga $-ie\gamma^\mu$ - had to‘g‘ri keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:

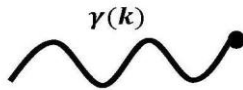


i). Har bir cho‘qqida quyidagi 4-impuls saqlanadi:

$$(2\pi)^4 \delta^4 \left(\sum p^{in} - \sum p^{out} \right)$$

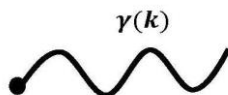
k). Kvant elektrodinamikasida $e\bar{e}\gamma$ -cho‘qqidan boshqa murakkab cho‘qqilar yo‘q. Lekin, boshqa nazariyalarda mavjud. Misol tariqasida, elektrokuchsiz nazariyada $WW\gamma\gamma$ ko‘rinishdagi cho‘qqilar mavjud.

l). Cho‘qqiga kiruvchi $\gamma(\vec{k}, \lambda)$ - fotonga $e^\mu(\vec{k}, \lambda)$ - had to‘g‘ri keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:



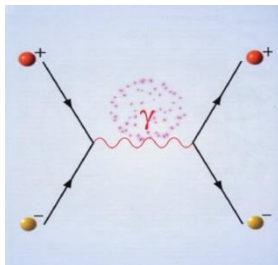
bunda \mathbf{k} – fotonning 4-o'lchamli impulsi.

Cho'qqidan chiqquvchi $\gamma(\vec{k}, \lambda)$ - fotonga $e^{*\mu}(\vec{k}, \lambda)$ - had to'g'ri keladi va quyidagi chiziq bilan ifodalanadi:



bunda \mathbf{k} – fotonning 4-o'lchamli impulsi, λ - fotonning spiralligi.

2-rasmda kvant elektrodinamikaga asoslanib e^- - elektron zarrasini e^+ - pozitron zarasida sohilish $e^- + e^+ \rightarrow e^{-'} + e^{+'}$ reaksiyasi uchun Feynman diagrammasi keltirilgan. γ - virtual zarra foton.



2-rasm. Kvant elektrodinamikaga asosan elektron e^- zarrasini pozitron e^+ zarasida sohilish

$e^- + e^+ \rightarrow e^{-'} + e^{+'}$ reaksiyasi uchun Feynman diagrammasi.

Elektron va e^+ - pozitron zarralari to'qnashganda, γ – foton hosil bo'ladi. O'z navbatida bu foton ya'na boshqa zarralarni tashkil etishi mumkin. Ushbu jarayonda endi foton virtual zarra bo'ladi

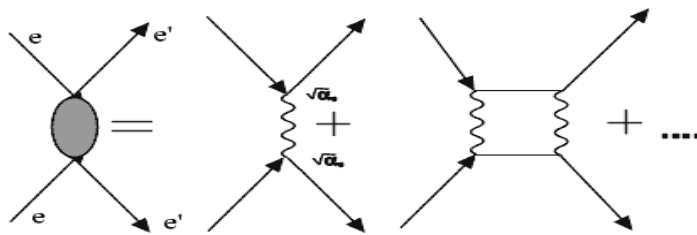
$$e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$$

$$e^{-} + e^{+} \rightarrow \pi^{-} + \pi^{+} + \dots$$

shularga o'xshash yadro reaksiyalarining ehtimoliyatlarini hisoblashda 12 ta, yoki 14 ta, yoki 16 ta 4x4 Dirak gamma matritsalar ko'paytmalari shpurlari (izlari)ni hisoblash lozim bo'lardi.

$$d\sigma \sim Sp(\gamma_{\mu}\gamma_{\nu}\gamma_{\epsilon}\gamma_{\rho}\gamma_{\tau}\gamma_{\sigma}\gamma_{\theta}\gamma_{\epsilon}\gamma_{\alpha}\gamma_{\beta}\gamma_{\varphi}\gamma_{\omega}\gamma_{\pi}\gamma_{\delta}\gamma_{g})$$

Hozirgi zamonda, bunday murakkab hisoblashlar kompyuterlarda "Reduce" va "Mathematica" dasturlarida bajariladi. Kvant elektrodinamikasiga ko'ra, elektronlar qanchalik ko'p sondagi virtual fotonlar bilan almashinsa, ya'ni, o'zaro ta'sir qanchalik darajada murakkab bo'lsa, bunday fizik jarayonning yuz berishi ehtimolligi shunchalik past bo'ladi.



3-rasm. Kvant elektrodinamikaga asosan elektron e^{-} zarrasini pozitron e^{+} zarrasida sochilish $e^{-} + e^{+} \rightarrow e^{-'} + e^{+'}$ sochilish uchun Feynman diagrammasida ko'p sondagi virtual fotonlar bilan almashinishi.

Xulosa. Kvant elektrodinamikasiga asosan beriladigan ilmiy bashoratlarning aniqlik darajasi hayratlanarlidir. Kvant elektrodinamikasi shuningdek fizikada yana yangi nazariyalarning paydo bo'lishiga hamda, boshqa ko'plab g'oyalarning yanada rivojlanishiga omil bo'ldi.

Feynman diagrammalaridan foydalanish kvant maydoni nazariyasida inqilobiy rivojlanish bo'ldi, chunki u fiziklarga zarrachalarning o'zaro ta'siri haqida misli ko'rilmagan aniqlik bilan bashorat qilish imkonini berdi. Diagrammalarda zarrachalarning o'zaro ta'sir qilishlari mumkin bo'lgan yo'llari tasvirlangan va ular bilan bog'liq amplitudalarni hisoblash murakkab matematik hisob-kitoblardan

foydalanishni o‘z ichiga oladi. Feynman diagrammalaridan foydalanish ko‘plab yangi zarrachalarning kashf etilishiga va subatomik dunyoning aniqroq modellarini ishlab chiqishga olib keldi. Ularning ahamiyatiga qaramay, Feynman diagrammalarini talqin qilish va hisoblash murakkab va qiyin vazifa bo‘lib qolmoqda, bu matematik usullarda bilim va kvant maydonlar nazariyasini chuqur tushunishni talab qiladi. Shunga qaramay, Feynman diagrammalari nazariy fizika uchun qimmatli vosita bo‘lib, subatomik dunyoning sirlarini ochishga yordam beradi hamda tibbiyot, muhandislik va boshqa sohalarda keng qamrovli yangi texnologiyalarni ishlab chiqishga hissa qo‘shadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] Donkov A.D., Ibadov R.m., Kadyshevsky V.g., mateev m.D., Chizhov m.V. (Dubna,INR). *Quantum Field Theory And A New Universal High-energy Scale: Dirac fields*. Apr 1984. 30pp. Published in *Nuovo Cim.* A87 (1985) 373, JINRP2-84-265, DOI: 10.1007/Bf02902360.

[2] Ibadov R.m., Kadyshevsky V.G. “New formulation of QFT with Fundamental mass”, 5th Intern.Sympos.on Select.Topics in Statistical mechan., 1989, Dubna, world Scientific Singapore, New Jarsey, London, Hong Kong, p.131-156.

[3] Ibadov R.M., Kadyshevsky V.G “About transformations of supersymmetry in Theories of a Field with Fundamental Mass”, Preprint JINR. 2-86-835 Dubna (1986).

[4] N.J. evans, “An Introduction to QeD & QCD” Lectures presented at the School for High energy Physicists, September 2008.

[5] Ibadov R.M., murodov S.M. *The fundam. equation of the field theory in de Sitter pulse space//Phy. Sciences and Tech.* vol. 6 (No. 1), 2019: 33-39 p.

[6] Murodov S.N., Nishonov I.E. “Kvant el.da sochilish differensial kesimini hisoblash va Feynman diag.”/ *O‘zbekiston olimlari va yoshlarining innovatsion va ilmiy-amaliy tadqiqotlari konferensiyasi.* 31-yan. 2021. Toshkent.