

3-mavzu: Fazoviy juftlikning saqlanish qonuni va uning buzilishi.

Kombinatsiyalangan juftlik. Neytral K-mezonlar xususiyatlari.

Tayanch iboralar: fazoviy juftlik, Vu tajribasi, simmetriya, juftlik, kombinatsiyalangan juftlik, neytral K-mezonlar.

Fazoviy juftlik - kvant soni bo'lib, u fazo o'qlarini qarama-qarshi tomon bilan almashtirish bilan bog'liq, uning saqlanishi fazoning ko'zgu simmetriyasi sabablidir. Boshqacha qilib aytganda, juftlikning saqlanishi jarayonlarning real dunyoda hamda ko'zgudagi aksdunyoda ham bir xilda sodir bo'lishini bildiradi, ya'ni $\Psi' = p\Psi$ bo'lganda p ermit operatorining xususiy qiymati $\eta = +1$ bo'ladi. Dastlab juftlik tushunchasi Yu. Vigner tomonidan 1927 yili fanga kiritildi va bu kvant soni barcha jarayonlarda qat'iy saqlanadi deb qaraldi. 1954—1956 yillari $\theta - \tau$ muammo yuzaga keldi. Ya'ni bitta g'alati zarracha ikki xil yo'l bilan parchalanadi.

$$\theta^+ = \pi^+ + \pi^0, \tau^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

Shu ikki xil yo'l bilan parchalanishni e'tiborga olmasa bu zarrachalar K^+ -mezonga mos keladi. $\eta_p(K) = -1$ bo'lgani uchunva tekshirishlar $\eta_p(\theta) = +1$, $\eta_p(\tau) = -1$ ekanligini tasdiqlagani uchun 1956 yili T. Li va Ch. Yang kuchsiz o'zaro ta'sirlarda juftlik saqlanmasligi to'g'risidagi gipotezani ilgari surishdi. Yuqoridagi misolda K^+ -mezon juftlik buzilishi sababli $\pi^+ + \pi^0$ ga, saqlanishi sababli esa $\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ ga parchalanishi sodir bo'ladi. Keyinchalik juftlik saqlanmasligi na faqat K^+ -mezonga, balkim barcha kuchsiz o'zaro ta'sirga xos xususiyat ekanligi ayon bo'ldi. Shu sababli, kuchsiz o'zaro ta'sir Lagranjiani kuchsiz toklarning ko'paytmasi ko'rinishida ifodalanib, kuchsiz toklarning o'zi esa vektor va aksial -vektor kattaliklarning ayirmasi ko'rinishida ifodalanadi

$$L_w = \frac{G_F}{\sqrt{2}} J_\mu J_\mu^+ = \frac{G_F}{\sqrt{2}} (V - A)_\mu (V - A)_\mu^+.$$

Ikkita V-A tokning ko'paytmasi esa skalyar va psevdoskalyarning yirindisini beradi. Skalyar qo'shiluvchi sababli K^+ -mezon juftlikni saqlagan holda 3 ta pionga, psevdoskalyar qo'shiluvchi hisobidan esa K^+ -mezon juftlikni saqlamagan holda 2 ta pionga parchalanadi. Kuchsiz o'zaro ta'sirda juftlik saqlanmasligi 1957 yili S. Vu tomonidan tajribada tasdiqlandi. Tajribada ^{60}Co yadrolarining β -parchalanishdagi elektronlar burchak taqsimoti o'rganildi. ^{60}Co yadrolari spini $I=5$ bo'lib tashqi magnit maydoni ta'sirida oson oriyentatsiyasini o'zgartirishi mumkin. Shu bilan birga yadrolar issiqlik harakati ta'sirini kamaytirish maqsadida namuna juda past temperaturalargacha sovitildi hamda tashqi magnit maydoniga joylashtirildi. Natijada namuna yadrolari ma'lum yo'nalishda orientatsiyalandi. P -juftlik buzilishi uchun elektronlar burchak taqsimotida assimetriya kuzatilishi kerak, ya'ni yadrolar spini yo'nalishida va uning qarama — qarshi yo'nalishda chiqqan elektronlar soni bir - biriga mos kelmasligi kerak. Yadro spini aksial-vektor kattalik bo'lgani uchun ko'zgudagi aksida uning yo'nalishi o'zgarmaydi, elektron impulsi vektor kattalik bo'lgani uchun esa aksida o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Tajriba elektronlarning burchak assimetriyasini tasdiqladi. Yadrolar spini

yo'nalishida chiqqan elektronlar soni unga qarama-qarshi yo'nalishdagidan 40 % ga ko'pligi aniqlandi. Vu tajribasi kuchsiz o'zaro ta'sirda juftlik saqlanmasligini isbotladi va 1957 yili T. Li va Ch. Yang Nobel mukofotiga sazovarbo'ldi.

Tabiatda ikki xil almashtirishlar mavjud: uzluksiz va diskret almashtirishlar va shu bilan birga ularga mos simmetriyalar ham. Uzluksiz almashtirishlarga fazo-vaqtdagi siljishlar va sanoq sistemasi burilishlari misol bo'ladi. Uzluksiz almashtirishlarga nisbatan simmetriyalar natijasida energiya, impuls va impuls momenti saqlanish qonunlari yuzaga keladi. Bu simmetriyalar fazo-vaqtning bir jinsligi va izotropligidan yuzaga keladi. Diskret almashtirishlar shunday almashtirishki, bunda agar almashtirish ketma -ket ikki marta bajarilsa, sistema oldingi xolatiga qaytadi. Diskret almashtirishlarga P -, C - va T - almashtirishlar kiradi. Oldingi paragrafda biz P - almashtirishni ko'rib o'tdik. Agar bu almashtirish operatorini bir marta ko'llasak, jarayonning ko'zgudagi aksini xosil qilamiz. Ikkinchi marta qo'llasak esa dastlabki jarayonga qaytib kelimiz. Demak, diskret almashtirish operatorlari uchun $\hat{P}^2 = \hat{C}^2 = \hat{T}^2 = 1$ deb yozishimiz mumkin. Shu xususiyati bilan diskret almashtirishlar uzluksiz almashtirishlardan farq qiladi. P - almashtirishga nisbatan invariantlik real jarayon va uning ko'zgudagi aksi bir xil extimollik bilan yuz berishini bildiradi. Shunga o'xshash T - invariantlik biror jarayon va unga teskari jarayon bir xil extimollik bilan, C -invariantlik esa biror jarayon va undagi zarralar antizarralarga almashtirilgandagi jarayon bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Endi oldingi paragrafdagi P -juftlikning buzilishini qarasak, bu hodisa fazoning xususiyati bo'lmasdan, balkim zarrachaning o'z ichki xususiyatidir. Chunki fazo bir jinsli va izotropdir. Bunga misol qilib neytrinoni qarashimiz mumkin. Ma'lumki, neytrino chap spirallik xususiyatiga ega. Ya'ni, spinning impuls yo'nalishiga proyeksiyasi doimo manfiydir. Shu sababli bu zarrachaning ko'zgudagi aksi (P -almashtirishdan keyin) o'ng spiral neytrinoga o'tadi. Lekin tabiatda bunday neytrino mavjud emas. Shu sababli C -almashtirishni qo'llasak neytrino antineytrinoga o'tadi va u o'ng spirallikka egadir. Va bunday zarracha bizning real dunyomizda mavjuddir. Shunday qilib, fazoning ko'zgu simmetriyasi tiklandi. Bu g'oya 1957 yili L. Landau, A. Salam, T. Li va Ch. Yang tomonidan ilgari surilgan kuchsiz, o'zaro ta'sirda kombinatsiyalangan, ya'ni CP -juftlikning saqlanish qonunini tashkil qiladi. Kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sir P - va C - almashtirishlarga, hamda CP - kombinatsiyalangan almashtirishlarga nisbatan invariantdir. Kuchsiz o'zaro ta'sir P -invariant emasligi uchun C - almashtirish bu simmetriyani tiklaydi deb qaraldi. Ya'ni, CP - juftlik kuchsiz o'zaro ta'sirda saqlanishi kerak. Kombinatsiyalangan juftlik kvant soni - $\eta_{PC} = \eta_P \eta_C$ kabi, ya'ni kvant sonlar ko'paytmasi bilan aniqlanadi. Masalan, $\eta_{PC}(\pi^0) = \eta_P(\pi^0) \eta_C(\pi^0) = (-1) \cdot (+1) = -1$.

Shu kabi elektr jihatdan neytral sistemalar uchun

$$\eta_{PC}(\pi\pi) = +1$$

$$\eta_{PC} = (\pi\pi\pi) = \begin{cases} -1 & l - \text{juft son} \\ +1 & l - \text{toq son} \end{cases}$$

Dastlab kuchsiz ta'sir CP - invariant deb qaraldi. Lekin 1964 yili uzoq yashovchi K -mezonning 2 ta pionga parchalanishi kuzatildi.

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

Chunki CP -toq holatdagi K_L^0 mezon asosan $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ga parchalanardi. $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ jarayonda esa $\pi^+ \pi^-$ holat CP -juft holatdir. Shunday qilib, kuchsiz ta'sirda CP -invariantlik ham buzilar ekan. K_L^0 - mezonning $\pi^0 \pi^0, e^\pm \nu \pi^\mp, \mu^\pm \nu \pi^\mp$ kanallarga parchalanishi ham CP - invariantlikning (shu bilan birga T -invariantlikning ham) buzilishini tasdiqladi. Lekin CP -invariantlikning buzilishi juda kichik bo'lib amplitudaning 10^{-3} qismini tashkil qiladi va faqat K_L^0 -mezon parchalanish kanallarida kuzatilmoqda. CP - invariantlik buzilishning tabiati haligacha noma'lum.

Endi neytral kaonlar xususiyatlariga to'xtalib o'tamiz. K^0 - va \bar{K}^0 - mezonlar mos holda $S = +1$ va $S = -1$ g'alatilik kvant soniga ega. Shu sababli neytral K -mezonlar haqiqiy neytral zarra emas va kombinatsiyalangan juftlik ularni bir - biriga aylantiradi.

$$\hat{P}\hat{C}K^0 = \bar{K}^0, \hat{P}\hat{C}\bar{K}^0 = K^0$$

Kuchli o'zaro ta'sirda S - kvant soni saqlanishi sababli K^0 va \bar{K}^0 o'zlarini alohida tutishadi. Masalan,

$$\pi^- + P \rightarrow \Lambda^0 + K^0 \quad \text{sodir bo'ladi,}$$

$$\pi^- + P \neq \Lambda^0 + \bar{K}^0 \quad \text{sodir bo'lmaydi.}$$

Kuchsiz o'zaro ta'sirni qarasak, K^0 va \bar{K}^0 orasida farq yo'qoladi. Masalan, $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (a) parchalanish sodir bo'ladi. Unga qo'shma jarayon $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (b) ham CP -invariantlik sababli, undan oldingi jarayon bilan bir xil ehtimollikda sodir bo'lishi kerak. Ya'ni K^0 va \bar{K}^0 orasidagi farq yo'qoladi. Oxirgi ikki jarayonning o'ng tomoni $\eta_{CP}(\pi\pi) = +1$ kombinatsiyalangan juftlikka ega, chap tomoni esa aniq η_{CP} juftlikka ega emas, chunki K^0 va \bar{K}^0 mezonlar haqiqiy neytral zarralar emas. Bu muammoni tushuntirish uchun quyidagi almashtirishlarni bajaramiz.

$$K^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{2} + \frac{K^0 - \bar{K}^0}{2}, \quad \bar{K}^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{2} - \frac{K^0 - \bar{K}^0}{2}.$$

Bu yerda $K_1^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$ va $K_2^0 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$ (c) deb belgilash kiritsak, yuqoridagi ifodalar $K^0 = \frac{K_1^0 + K_2^0}{\sqrt{2}}, \bar{K}^0 = \frac{K_1^0 - K_2^0}{\sqrt{2}}$ ko'rinishga keladi. Endi K_1^0 ba K_2^0 ra $\hat{P}\hat{C}$ -operatorini ta'sir ettirsak,

$$\hat{P}\hat{C}K_{1,2}^0 = \hat{P}\hat{C}\frac{K^0 \pm \bar{K}^0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}(\hat{P}\hat{C}K^0 \pm \hat{P}\hat{C}\bar{K}^0) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{K}^0 \pm K^0) = \pm K_{1,2}^0$$

bo'ladi, ya'ni $\eta_{CP}(K_1^0) = +1$ va $\eta_{CP}(K_2^0) = -1$. Demak, K^0 va \bar{K}^0 mezonlar aniq CP -juftlikka ega bo'lmasada, ularning superpozitsiyasi K_1^0 - va K_2^0 - aniq CP -juftlikka ega. Shu sababli, (a) va (b) jarayonlar realdir va bunda CP juft bo'lgan K_1^0 komponenta ishtirok etadi. (c) ifodani p va \bar{p} , n va \bar{n} zarralar uchun yozib bo'lmaydi chunki B -barion va q -elektr zaryadlari saqlanish qonunlari bu zarrachalar uchun aniq bajariladi. K^0 - va \bar{K}^0 - mezonlar faqat S -g'alatik kvant soni bilan farqlanadilar va o'zaro kuchsiz ta'sirda bu kvant soni saqlanmaydi. Shu ma'noda superpozitsiya D^0 - va \bar{D}^0 - mezonlar uchun ham o'rinli bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, agar lepton zaryadi saqlanmasa, $\nu_\alpha \leftrightarrow \bar{\nu}_\alpha$ ($\alpha = e, \mu, \tau$) va $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ neytrino ossilyatsiyalari ham sodir bo'lishi mumkin. Bu hodisaga alohida to'xtalib o'tamiz. Demak, kuchli o'zaro ta'sirda neytral kaonlar K^0 va \bar{K}^0 -ko'rinishida, kuchsiz o'zaro ta'sirda esa K_1^0 ba K_2^0 -holatlarda ishtirok etadi va bu ta'sirlarda kombinatsiyalangan jufttshk saqlanadi. $K_1^0 \rightarrow 2\pi(\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-, \pi^+\pi^-\pi^0)$, $K_2^0 \rightarrow 3\pi(\pi^0\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0)$ parchalanishlar sodir bo'ladi. Lekin $K_2^0 \rightarrow 2\pi$ parchalanish umuman sodir bo'lmaydi. Tajribadan 2π va 3π ga parchalanishlarda neytral K -mezonlarning yashash davri mos ravishda $\tau_{2\pi} \approx 0,9 \cdot 10^{-19} s$ va $\tau_{3\pi} \approx 5,2 \cdot 10^{-8} s$ ekanligi aniqlandi. Shu sababli K_1^0 va K_2^0 holatlar mos ravishda qisqa va uzoq yashovchi mezonlar deyiladi. $K_S^0 = K_1^0$, $K_L^0 = K_2^0$. K_1^0 va K_2^0 holatlar mavjudligi 1955 yili M.Gell -Mann va A. Pays tomonidan aytilgan, K_L^0 -holat 1957 yili L. Lederman gruppasi tomonidan topilgan. Demak, K_S^0 va K_L^0 holatlar nuqtai- nazaridan kombinatsiyalangan juftliksaqlanadi, ya'ni $K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, $K_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0, \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ va $K_L^0 \neq 2\pi$. Lekin 1964 yili $K_L^0 \rightarrow 2\pi$ jarayon J, Kronin, V. Fitch va boshqalar tomonidan tajribada kuzatildi. Bu $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ parchalanish kombinatsiyalangan juftlik saqlanish qonuniga ko'ra ta'qiqlangan edi. Keyinroq esa $K_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ parchalanish kuzatildi. Bu kanallar K_L^0 barcha parchalanishlarining mos ravishda 0,22% va 0,09 % tashkilqildi. Demak, $K_S^0 = K_1^0$ va $K_L^0 = K_2^0$ tengliklar o'rinli emas va

$$K_S^0 = \frac{K_1^0 + \varepsilon K_2^0}{\sqrt{1 + |\varepsilon|^2}}, \quad K_L^0 = \frac{K_2^0 + \varepsilon K_1^0}{\sqrt{1 + |\varepsilon|^2}}$$

superpozitsiya o'rinli. Tajribalar $|\varepsilon| \approx 2,3 \cdot 10^{-3}$ ekanliginiko'rsatdi. Shu sababli yuqoridagi superpozitsiyani $K_S^0 = K_1^0 + \varepsilon K_2^0$, $K_L^0 = K_2^0 + \varepsilon K_1^0$ deb yozish mumkin. CP -invarianlik buzilgan $K_L^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$, $K_L^0 \rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu$ parchalanishlar va ularga qo'shma $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$, $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ jarayonlar ham tajribada kuzatildi. Bunda yuqorigi (G_a) va pastki (G_b)parchalanishlar ehtimolliklari bir - biriga teng emasligi kuzatildi.

$$\frac{G_a - G_b}{G_a + G_b} = 3.30 \pm 0,12 \cdot 10^{-3}$$

, ya'ni asimetriya darajasi ε bilan bir xil darajada va juda kichik. Kombinatsiyalangan juftlik boshqa hodisalarda ham kuzatilishi mumkin. Faqat neytral K -mezonlarda bu hodisa yetarli darajada sezilarli.

Neytron dipol momenti ($-P_n = e\ell$, $\ell \leq 6,10^{-27}$ m agar mavjud bo'lsa), koinotdagi barion assimetriya (p -proton va n -neytronlarning \bar{p} -antiproton va \bar{n} -antineytronlarga qaraganda ko'p tarqalganligi)si ham CP -noinvariantlik bilan bog'lanilmoqda. CP -noinvariantlik mikrodunyoda vaqt o'qi mavjudligiga ham ishora qilmoqda. CP -invariantlikning buzilishini kvark modeli doirasida olingan Kabibbo-Kabayashi-Maskava aralashishi matritsasi bilan bog'lashmoqda va uning tabiati haligacha noma'lum.