

Съобщение за широката общественост¹

Нобеловата награда по физика за 2008 година

Защо има нещо, когато би трябвало да няма нищо? Защо съществуват толкова много различни елементарни частици? Тазгодишните Нобелови лауреати по физика предложиха теоретични прозрения, които водят до по-дълбоко разбиране за това, какво се случва вътре в най-малките градивни частици на материята.

Разгадаване на скритите симетрии в природата

В същността на тази тема стоят природните закони за симетрия, или по-скоро – за нарушените симетрии, както за тези, които изглежда са съществували още от самото начало на нашата Вселена, така и за онези, които спонтанно са загубили някъде по пътя своята първоначална симетрия.

Фактически, всички ние сме деца на нарушената симетрия. Това би трябвало да се е случило непосредствено след Големия взрив, някъде преди 14 милиарда години, когато са се родили равни количества материя и антиматерия. Срещата между двете е фатална за всяка от тях – те анихилират и всичко, което остава след това е само лъчение. Очевидно обаче, материята побеждава антиматерията, в противен случай нямаше да бъдем тук. Ние обаче съществуваме и по всичко изглежда, че за това е било достатъчно само едно нищожно отклонение от идеалната симетрия – една частица материя на всеки 10 милиарда частици антиматерия е била достатъчна, за да оцелее нашият свят. Този нищожен излишък от материя е семката, от която се ражда цялата наша Вселена, изпълнена с галактики, звезди и планети, и, евентуално – с живот. Но какво лежи зад това нарушаване на симетрията в космоса представлява все още една голяма мистерия и едно поле за активни изследвания.

¹ Желаетелите да се запознаят по-подробно с приносите на новите лауреати на Нобелова награда могат да се отнесат към статията “Broken Symmetries”, намираща се на адрес http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/phyadv08.pdf . (Бел. прев.)



Една необяснена нарушена симетрия при раждането на Вселената. Ако при Големия взрив бе родена толкова материя, колкото и антиматерия, те биха анихилирали. Един незначителен излишък от само една частица материя на всеки 10 милиарда частици антиматерия обаче е бил достатъчен за победата на материята над антиматерията. Това наднормено наличие на материя днес изпълва космоса с галактики, звезди, планети и евентуално – с живот.

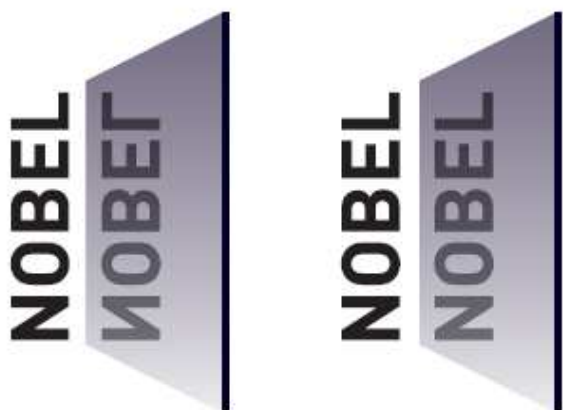
През огледалото

В течение на много години физиците се фокусираха върху откриването на природните закони, които са скрити в многобройните явления около нас. Природните закони би трябвало да са идеално симетрични и абсолютни; те би трябвало да са валидни във цялата Вселена. Такъв подход изглежда правилен за повечето ситуации, но не винаги. Ето защо нарушените симетрии станаха предмет на физичните изследвания толкова, колкото и самите симетрии – факт, който не изглежда толкова необикновен, ако вземем предвид нашия неуравновесен свят, където перфектната симетрия е по-скоро рядко срещан идеал.

Различни видове симетрии и нарушени симетрии са част от нашето всекидневие. Буквата А не се променя, когато я гледаме в огледало, но буквата Z нарушава тази симетрия. От друга страна обаче буквата Z изглежда непроменена, ако я завъртите на 180 градуса. Ако обаче направите същото с буквата А, симетрията се нарушава. Основната теория на елементарните частици описва три вида симетрии: огледална симетрия, зарядова симетрия и симетрия спрямо времето (на физичен език огледалната симетрия се нарича *P*, от “четност” (на английски “**p**arity” – бел. прев.), зарядовата

симетрия се отбелязва със C от “заряд” (на английски “charge” – бел. прев.), а симетрията спрямо времето – с T , от “време” (на английски “time“ – бел. прев.).

Според огледалната симетрия, протичането на всички явления би следвало да изглежда по един и същ начин, независимо от това дали ги наблюдаваме пряко, или в огледало. Не би трябвало да има никаква разлика между ляво и дясно и никой не би трябвало да е в състояние да заключи дали те протичат в собствения си свят, или в огледалния свят. Зарядовата симетрия изисква частиците да се държат по абсолютно същия начин както своето второ аз – античастиците, които имат същите свойства, но обратен по знак заряд. И накрая, според симетрията по време физичните явления на микроравнище би трябвало да не зависят от това, дали времето тече напред или назад.



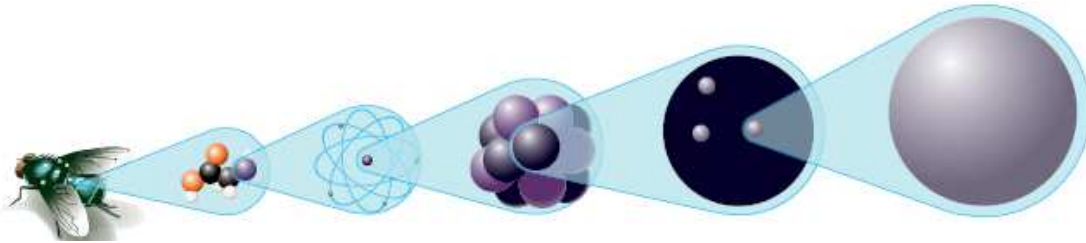
Огледална симетрия. Тя е нарушена в лявата картина и запазена в дясната картина, където е невъзможно да се каже дали сте във вашия реален свят, или в огледалния свят.

Значението на симетриите във физиката не е просто естетическо. В много случаи те опростяват трудни пресмятания и следователно играят решаваща роля за математическото описание на микросвета. Още по-важен факт е, че тези симетрии предполагат голям брой закони за запазване на равнището на елементарните частици. Например, съществува закон, че при ударите между елементарни частици не може да се загуби енергия, тя трябва да е една и съща преди и след удара, нещо, което е очевидно от симетрията в уравненията, които описват тези удари. Съществува също така закон за запазване на електричния заряд, който е свързан пък със симетрията на електромагнитната теория.

Схемата се очертава по-ясно

За пръв път нарушената симетрия се появи в изследванията на основните принципи на материята някъде около средата на 20. век. По онова време физиката бе изцяло погълната от стремежа към осъществяване на най-великата си мечта – да обедини всички най-малки градивни тухлички на материята и всички теории в една обединена теория. Но като начало физиката започна да става все по-сложна и по-сложна. Новите ускорители, построени след Втората световна война осигуриха постоянен приток от различни частици, които не бяха виждани никога преди това. Повечето от тях не се вместиха във физичните модели от онова време, според които веществото се състои от атоми с протони и неутрони в ядрото им, и електрони около него. По-подробните изследвания на най-дълбоките пластове на материята разкриха, че

самите протони и неутрони крият в себе си трио кварки. Бе показано също така, че новооткритите частици също съдържат кварки.



Молекула Атом Атомно ядро Протон/неутрон Кварк

Навътре във веществото. Електроните и кварките са най-малките градивни елементи на веществото.

Елементарни частици

	Първо семейство	Второ семейство	Трето семейство
Л е п т о н и	електронно неутрино	мюонно неутрино	тау неутрино
	електрон	мюон	тау
К в а р к и	горен	чаровен	върхов
	долен	странен	дънен

Хигс ?

Взаимодействие	Посредници
електромагнитно	фотон
слабо	W, Z
силно	глуони

Сега вече почти всички части на пъзела попаднаха на местата си; Стандартният модел за неделимите тухлички на материята включва три семейства частици (вж. диаграмата). Тези семейства си приличат едно на друго, но единствено частиците от първото и най-леко семейство са достатъчно стабилни, за да изградят Вселената. Частиците от двете по-тежки семейства живеят в много нестабилно състояние и се разпадат незабавно на частици от по-лек вид.

Всичко това се управлява от сили. Стандартният модел, поне за сега, обхваща три от четирите познати природни фундаментални сили, заедно с техните посредници, частиците, чрез които се осъществяват взаимодействията между елементарните частици (вж. диаграмата). Посредникът на електромагнитното взаимодействие е фотонът, чиято маса е нула, посредник на слабото взаимодействие, което е отговорно за радиоактивното разпадане и е причина Слънцето и звездите да светят, са тежките W и Z бозони, докато силното взаимодействие се осъществява посредством глуони, които удържат

частиците в атомното ядро заедно. Четвъртата фундаментална сила, гравитацията, благодарение на която стоим на краката си върху земната повърхност, все още не е включена в модела и днес представлява колосално предизвикателство пред физиците.

Огледалото е счупено

Стандартният модел представлява синтез на всички наши знания за най-малките градивни елементи на материята, получени през последното столетие. Той стои здраво върху една теоретична основа, която включва принципите на симетрията от квантовата физика и теорията на относителността, и е издържал безброй проверки. Преди обаче схемата да стане абсолютно ясна, се случиха известен брой кризи, заплашващи добре балансираната постройка. Тези кризи са свързани с факта, че физиците прилагали законите на симетрията към лилипутския свят на елементарните частици. Излезе обаче, че случаят не е точно такъв. Първата изненада дойде през 1956 година, когато двама американски теоретика от китайски произход – Ли Тсунг Дао и Янг Чен Нин (удостоени с Нобелова награда следващата 1957 г.) поставиха под съмнение спазването на огледалната симетрия (*P*-симетрията) при слабото взаимодействие. До тогава фактът, че подобно на другите принципи на симетрия природата съблюдава строго и огледалната симетрия, симетрията между ляво и дясно, се смяташе за твърдо установен.

Резултатите на Ли и Янг изискваха преоценка на старите принципи на квантовия свят, в който съществуват елементарните частици. Те предложиха серия от опити за проверка на огледалната симетрия. И само няколко месеца по-късно разпадът на атомното ядро на радиоактивния елемент кобалт-60 разкри, че този процес не се подчинява на принципите на огледалната симетрия. Симетрията се нарушаваше от това, че електроните, които напускат кобалтовото ядро, имат предпочитание към една определена посока измежду всички други. Това е все едно да стоите пред централната гара в Стокхолм и да установите, че повечето от излизащите от нея пътници завиват наляво.

Вродената асиметрия определя съдбата ни

Спокойно би могло да се окаже, че огледалната симетрия и зарядовата симетрия може да се нарушават поотделно, но двете заедно, т. нар. *CP*-симетрия, не може да бъдат нарушени едновременно. Физичната общност се консолидира върху идеята, че тази симетрия остава ненарушима. Физиците вярваха, че природните закони няма да се променят, ако вие прекрачите в света зад огледалото, и ако там цялата материя е заменена с антиматерия. Това означава също така, че ако вие срещнете едно извънземно същество, няма начин да разберете дали то идва от нашия свят или от антисвета. Едно ръкостискане за добре дошъл тогава би имало катастрофални последици и за двама ви. Още при първия контакт материята и антиматерията ще анихилират, оставяйки след себе си само взрив от енергия.

От тази гледна точка се оказа добре дошъл фактът, че през 1964 г. слабото взаимодействие отново излезе на сцената. При радиоактивния разпад на една от странните частици, наречена каон, се прояви едно ново нарушение на законите на симетрията (Нобелова награда, присъдена на Джеймс Кронин и Вал Фитч за 1980 г.). Една малка част от каоните не се подчиняват на огледалната и на зарядовата симетрия – те нарушават двойната *CP*-симетрия и с това изправят цялата структура на теорията пред голямо предизвикателство. Разсъждавайки относно срещата с извънземни, това откритие предлага спасение. Може би би било достатъчно преди първото ръкостискане да помолим извънземния да провери вкъщи дали е направен от същата материя като нас, или от антиматерия.



Ръкостискане? Изчакайте, докато първо изясним симетрията! Ако извънземното същество е изградено от антиматерия, в резултат от ръкостискането ще изчезнете и двамата, оставяйки след себе си взрив от енергия.

Първият човек, който обърна внимание на критичната важност на нарушената симетрия за произхода на Вселената, бе руският физик и лауреат на Нобелова награда за мир Андрей Сахаров. През 1967 г. той формулира три необходими условия за възникването на свят като нашия, в който няма антиматерия. Първо, че законите на физиката правят разлика между материя и антиматерия, което фактически бе открито с нарушението на CP -симетрията; второ, че Вселената е възникнала при огромната температура на Големия взрив; и трето, че протоните във всяко атомно ядро се разпадат. Последното условие би могло да доведе до край на света, защото то предполага, че цялото вещество евентуално би изчезнало. Сега за сега това не се е случило, а експериментите посочиха, че протоните остават стабилни за 10^{33} години – един период, 10 трилиона пъти по-дълъг от възрастта на Вселената, която пък от своя страна е малко повече от 10^{10} години. Ето защо все още никой не знае как се е осъществила веригата от събития в ранната Вселена, описана от Сахаров.

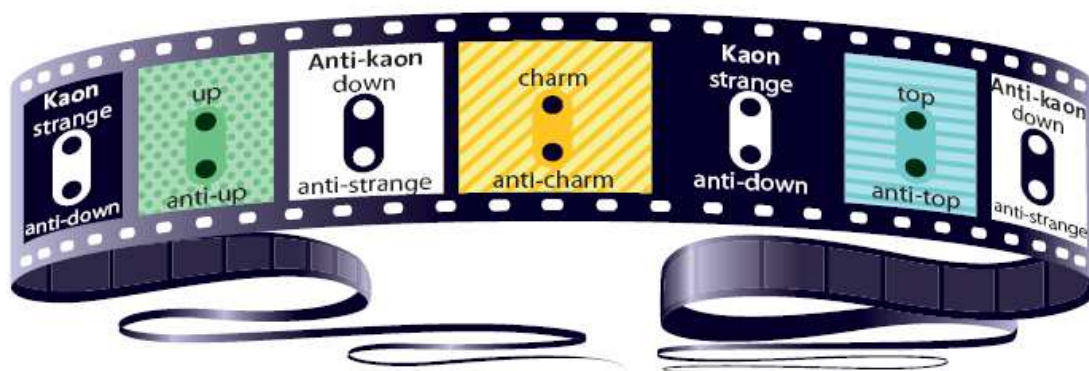
Разгадаване мистерията на нарушената симетрия

Би могло да се окаже, че условията на Сахаров евентуално се включват успешно в Стандартния модел на физиката. Тогава излишъкът на материя, създаден при раждането на Вселената, би бил обяснен. Това обаче изисква много по-голямо нарушаване на симетрията, отколкото двойно нарушената симетрия, която откриха Фитч и Кронин в своите експерименти.

Необходимо бе обаче да се обясни една друга нарушена симетрия, значително по-малка от онази, виновна за поведението на каоните – в противен случай би бил застрашен целият Стандартен модел. Въпросът защо се нарушават симетриите оставаше мистерия до 1972 г., когато двама млади изследователи от университета в Киото, **Макото Кобаяши** и **Тошихиде Маскава**, които бяха добре запознати с пресмятанията в квантовата физика, намериха решението в една 3×3 матрица.

Как всъщност става нарушаването на двойната симетрия? Всеки каон се състои от комбинация от един кварк и един антикварк. Слабото взаимодействие ги кара непрекъснато да сменят самоличността си: кваркът се преобразува в антикварк, а антикваркът – в кварк, като по такъв начин каонът се превръща в своя антикаон. По такъв начин каонът постоянно се преобръща между себе си и анти-себе си. Ако обаче се случат подходящите условия, симетрията между материя и антиматерия ще се

наруши. Пресметнатата от Кобаяши и Маскава матрица съдържа вероятностите, които описват как протичат превръщанията на кварките.



Зад това чудато превръщане стои квантовата физика. Каонът може да съществува като каон, но може да се превърне и в анти-каон, и после – отново в каон. Към този процес трябва да дават своя принос всички днес познати семейства от кварки, като в малък брой от случаите симетрията ще бъде нарушена. Тазгодишните носители на Нобелова награда по физика Кобаяши и Маскава обясниха как протича явлението.

Оказва се, че кварките и антикварките сменят помежду си своята самоличност в рамките на техните семейства. Ако тази размяна на самоличността с двойно нарушаване на симетрията трябваше да става между материя и антиматерия, би било необходимо съществуването на още едно семейство в добавка към другите две². Това бе дръзка представа и Стандартният модел възприе тези умозрителни нови кварки, които се появиха в по-късните експерименти точно както бяха предсказани. Чаровният кварк бе открит още през 1974 г., дънният кварк – през 1977 г., а последният, върховият кварк – едва през 1994 г.

Отговор осигуряват мезонните фабрики

Напълно е възможно обяснението на нарушаването на симетрията да осигурява и правото на съществуване на второто и третото семейства от частици. Те приличат по много аспекти на първото семейство, но са толкова кратко живущи, че не могат да образуват нищо трайно в нашия свят. Една възможност е тези своенравни частици да са изпълнили своята най-важна функция в началото на времето, когато тяхното присъствие гарантира нарушаването на симетрията и става причина за победата на материята над антиматерията. Както бе споменато по-горе, това, което ние още не знаем, са детайлите около решаването на този проблем. Нарушаването на симетрията трябва да се повтаря много, много пъти, за да се създаде цялата материя, която ни осигурява обсипаното със звезди небе.

Теорията на Кобаяши и Маскава също така предсказва, че би било възможно изучаването на голямо нарушаване на симетрията при частиците, наречени *B*-мезони, които са десет пъти по-тежки от техните братовчеди, каоните. Нарушаването на симетрията при *B*-мезоните обаче настъпва изключително рядко, така че е необходимо да се наблюдават огромни количества от тези частици, за да се открият само няколко,

² Да напомним, че по времето, за което става дума, са известни само две семейства кварки. (Бел. прев.)

които нарушават симетрията. Две гигантски конструкции, съдържащи детекторите на частици ВаВаг на ускорителя SLAC в Станфорд, Калифорния, и Belle на ускорителя КЕК в Тсукуба, Япония произвеждат повече от милион B -мезона на ден с цел да се проследят детайлите на техния разпад. И още през 2001 г. двата независими експеримента потвърдиха нарушаването на симетрията от B -мезоните, точно както предсказа преди почти 30 години моделът на Кобаяши и Маскава. Това означаваше завършеност на Стандартния модел, който работеше добре толкова много години.

Почти всички липсващи парчета от пъзела попаднаха на местата си в съответствие с най-дръзките предсказания. Въпреки това, физиците все още не са доволни.

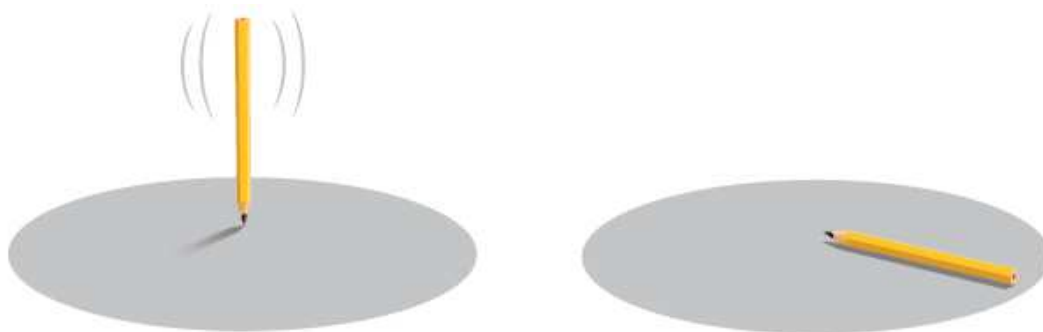
Симетрията лежи скрита зад спонтанните нарушения

Както вече обяснихме, Стандартният модел обхваща всички познати елементарни частици и три от четирите фундаментални взаимодействия. Защо обаче тези сили се различават толкова много? И защо масите на частиците са толкова различни? Най-тежката, върховият кварк, е повече от триста хиляди пъти по-тежка от електрона. Защо изобщо частиците имат някаква маса? В този смисъл слабото взаимодействие отново се отличава: неговите посредници, частиците W и Z са много по-тежки, докато техният съдружник, фотонът, който пренася електромагнитната сила, въобще няма маса.

Повечето физици вярват, че друга спонтанно нарушена симетрия, наречена механизъм на Хигс, нарушава изначалната симетрия между силите и е придала на частиците техните маси в най-ранните етапи на Вселената.

Пътят към това откритие бе трасиран от **Йончиро Намбу**, когато през 1960 г. той бе първият, който въведе във физиката на елементарните частици спонтанното нарушаване на симетрията. Тъкмо за това свое откритие днес му се присъжда Нобеловата награда по физика. По начало Намбу се занимава с теоретични пресмятания, отнасящи се до друго забележително физично явление, свръхпроводимостта, при което неочаквано ток тече без да среща съпротивление. Спонтанното нарушаване на симетрията, което описва свръхпроводимостта, по-късно бе пренесено от Намбу в света на елементарните частици и неговите математически средства сега пронизват всички теории, засягащи Стандартния модел.

Във всекидневието ние можем да наблюдаваме редица по-банални спонтанни нарушения на симетрията. Един молив, закрепен вертикално на върха си, води напълно симетрично съществуване, в което всички хоризонтални посоки са равностойно. Тази симетрия обаче се губи, когато той падне – сега от значение е само една посока. От друга страна, неговото състояние е станало по-стабилно, моливът не може да пада повече, той е достигнал най-ниското си енергетично състояние.



Спонтанно нарушена симетрия. Светът на този молив е абсолютно симетричен. Всички хоризонтални посоки са равноправни. Тази симетрия обаче се нарушава, когато моливът падне. Сега едно от направленията е привилегировано. Симетрията, която съществуваше преди, е скрита зад падналия молив.

Вакуумът притежава най-ниското възможно енергетично състояние в космоса. Действително, вакуумът във физиката е състояние с възможно най-ниската енергия. Това обаче не означава, че той е празен. От времето на установяване на квантовата физика вакуумът се определя като изпълнен с пенеща се супа от частици, които се появяват неочаквано, само за да изчезнат веднага в повсеместно присъстващите, но невидими квантови полета. Ние сме заобиколени от много и различни квантови полета; четирите фундаментални природни сили се описват също като полета. Едно от тях, гравитационното поле, е познато на всички ни. То е онова, което ни държи притиснати към земята и определя кое е горе и кое – долу.

На един ранен етап Намбу осъзна, че свойствата на вакуума представляват интерес за изследванията на спонтанно нарушената симетрия. Вакуумът, т.е. най-ниското енергетично ниво, не съответства на най-симетричното състояние. Както и при падналия молив, симетрията на квантовото поле е нарушена и е избрана само една от многото възможни посоки. През последните десетилетия методите на Намбу за третиране на спонтанното нарушение на симетрията в Стандартния модел бяха усъвършенствани. Днес те се използват често за пресмятане ефектите от силното взаимодействие.

Масата се осигурява от Хигс

Въпросът за масата на елементарните частици намери своя отговор в спонтанното нарушаване на симетрията на хипотетичното поле на Хигс. Смята се, че по времето на Големия взрив полето е било абсолютно симетрично и всички частици са имали нулева маса. Но полето на Хигс, подобно на стоящият на върха си молив, не е било стабилно, така че когато Вселената изстива, полето попада в своето най-ниско енергетично ниво, неговия собствен вакуум според квантовото определение. Неговата симетрия изчезнала и за елементарните частици полето на Хигс се превръща в нещо като сироп – те поглъщат различно количество от полето и придобиват различни маси. Някои, подобно на фотона, не са били привлечени и остават безмасови. Защо обаче електронът придобива маса е съвсем друг въпрос, на който до сега никой не е отговорил.

Подобно на другите квантови полета, полето на Хигс също има свой представител – частицата на Хигс. Физиците са нетърпеливи и очакват да открият тази частица скоро с помощта на най-мощния ускорител на частици, наскоро открития ускорител *LHC* в ЦЕРН, Женева. Възможно е да се открият както няколко различни Хигсови частици, така и въобще нито една. Физиците са готови, фаворит измежду възможните обобщения на Стандартния модел е така наречената суперсиметрична теория. Съществуват и други теории, едни по-екзотични, други – по-малко. Във всеки случай, възможно е те да бъдат симетрични, въпреки че в началото симетрията може да не е очевидна. Тя обаче е там, криейки се в привидно обърканата външност.

Оригинални научни публикации:
M. Kobayashi, T. Maskawa: "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction". *Progress of Theoretical Physics* 49 (1973) sid. 652-657.

Y. Nambu, G. Jona-Lasinio: "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity II", Physics Review 124 (1961) sid. 246.

Y. Nambu, G. Jona-Lasinio: "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity I", Physics Review 122 (1961) sid. 345.

Превод Хр. Попов