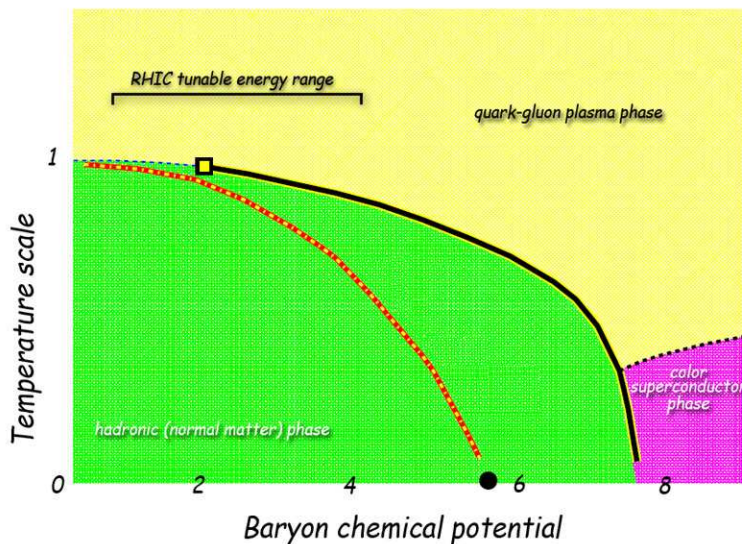


Кварките стават свободни при два трилиона градуса¹ Е. Картлидж



Последна версия на фазовата диаграма в квантовата хромодинамика. (За по-ясни надписи увеличи картината.) Границата между нормалната (адронна) нискотемпературна фаза и високотемпературната кварк–глуонна фаза е показана в черно. Квадратната кутийка върху плътната линия обозначава все още неоткритата точка, до която фазите могат да съществуват едновременно. Нейтроните и протоните, както и другите частици на обикновеното вещество (включително частиците на антивеществото) се регистрират, след като “замръзват” от фаерболите, получени при удари между тежки йони като тези на RHIC, отбелязани с пунктир. В дясно е възможната област на “цветна свръхпроводимост”.

Американски, индийски и китайски физици са пресметнали, че кварките и глюоните могат да се освободят от затвора във вътрешността на протоните и неутроните при температура от около два трилиона келвина – температурата, която е имала Вселената за части от секундата след Големия взрив. До това число изследователите достигат чрез комбиниране резултатите от пресмятания със суперкомпютър с резултатите от експериментите при удари на свръхтежки йони. Според тях това поставя нашите знания за кварковото вещество на твърда основа.

Според модела на Големия взрив, най-ранната Вселена е изпълнена с “кварк–глуонна плазма”, в която кварките и глюоните (носителите на силното ядрено взаимодействие) съществуват като отделни обекти. Силата на взаимодействие между кварките расте бързо с увеличаване на разстоянието, което означава, че кварките се нуждаят от голямо количество енергия, за да станат свободни, а оттук следва, че плазмата може да съществува само при изключително високи температури. Когато Вселената е била на възраст само от около една милионна от секундата, тя се охладила до точката, при която кварките и глюоните се комбинират, за да образуват такива съставни частици като протоните и неутроните. Каква обаче е тази температура, не беше лесно да се определи.

Квантовата хромодинамика (КХД) обяснява изключително добре взаимодействията между кварките и глюоните на много малки разстояния, които са характерни за ударите, наблюдавани в Големия адронен колайдер (LHC) в ЦЕРН. При по-големи разстояния обаче КХД се оказва безпомощна, защото става невъзможно да се отчитат всички съставни взаимодействия, които включват голям брой виртуални кварк–антикварк двойки. Ето защо физиците използват едно приближение на теорията, известно

¹ По публикацията от страницата на Physics World от 23.06.2011.

като решетъчна КХД, в което комплексът на кварк–глюонните взаимодействия се ограничава чрез разделяне на пространство-времето на подходящи парчета.

Фиксиране на решетката на КХД

Сега учени от Националната лаборатория Лауренс в Бъркли (Калифорния) фиксираха стойността на един от ключовите параметри на решетката на КХД. За целта те използват данни от детектора STAR в Брукхайвънския колайдер за релятивистични удари между тежки йони (Relativistic Heavy Ion Collider – RHIC). От данните за ударите между йони на златото при високи енергии те пресмятат температурата, при която кварк–глюонната плазма “кондензира” и образува отделни адрони. Познаването на тази температура дава възможност да се начертае фазовата диаграма на КХД. По тази диаграма може да се проследи прехода от нормално, адронно вещество, към кварково вещество (или възможно към друго екзотично състояние, познато като “цветна свръхпроводимост”) в зависимост от стойностите на две променливи. Едната променлива е температурата, другата – “барионният химичен потенциал”, като последният представлява енергията, необходима за откъсване или за прибавяне протон или неутрон към силно взаимодействащото вещество. Случаят е както при използване на термодинамиката за определяне как зависят от налягането температурите на преходите между различни фази на водата – намирането на абсолютните стойности на тези температури изисква измерване на поне една фиксирана точка от фазовата диаграма – например, точката на кипене при атмосферно налягане. По подобен начин, в КХД трябва да се намери температурата на фазовия преход при нулев химичен потенциал.

Пресмятане на възприемчивостите

Изследователите не измерват тази температура пряко, а я извеждат от теорията и експеримента. От теоретичната страна физици от Тата института в Индия пресмятат първата, втората, третата и четвъртата производна на барионния химичен потенциал по отношение на налягането, а след това извеждат как тези “възприемчивости” ще се променят с температурата. В същото време експерименталната половина на колаборацията броеше колко повече протони, отколкото антипротони, се получават в милионите удари на златни йони в RHIC и чертаеше промяната на това измерено количество. При температурата на прехода на кварк–глюонната плазма определени комбинации от теоретичните възприемчивости трябва числено да съвпадат с определени величини, свързани с формата на измерените разпределения. Така, чрез променяна на възприемчивостите с температурата докато станат равни на получените от експеримента величини, учените достигат до стойността на температурата на прехода.

Получената стойност от $2 \cdot 10^{12}$ К съвпада точно със стойността, предсказана от други, непреки методи на решетъчната КХД. Оказва се, че това е първият случай на пряко съвпадение между теорията на високотемпературната кваркова материя и експериментите при високи енергии.

Намиране на критичната точка

Следващата стъпка е да се измери една предсказана критична точка във фазовата диаграма на КХД. В такава точка границата между две фази изчезва и свойствата на фазите стават еднакви. Критична точка има например за течната вода и водната пара, и ядрените физици вярват, че подобна съществува и за нормалното и за кварковото вещество. Намирането на тази критична точка ще включва използване на удари между тежки йони в област на енергии, които са напълно достъпни за RHIC. От друга страна, детекторът ALICE на Големия адронен колайдер би трябвало да е в състояние да определи вискозитета на кварк–глюонната плазма, като предишните измервания подсказват,

че, тази плазма има вискозитет по-малък от вискозитета на всяка друга течност във Вселената.

Ръководителят на групата на ALICE вярва, че тези техники ще позволят на теоретиците да настроят и усъвършенстват решетъчната КХД чрез пряко сравнение с опита. Това би осигурило бъдещи по-добри пресмятания и предсказания.

Някои физици смятат, че изследването страда от “големи недостатъци”, и по-специално от липса на анализ на систематичните грешки. Например, не се отчита фактът, че детекторът брои само ограничена част от продуктите, получени при ударите. Има вероятност систематичната грешка да е много по-голяма от статистическата грешка. Някои физици, занимаващи се с решетъчна КХД вярват даже, че този анализ съдържа “грешки на всяка крачка”.

Изследването е публикувано в [*Science* 332 1525](#).