

W największych akceleratorach cząstek, takich jak LHC w CERN i RHIC w Brookhaven, jądra atomowe zderzają się przy tak dużej energii, że zwykła struktura materii ulega załamaniu. Zamiast protonów i neutronów uwięzionych silną siłą jądrową (najsilniejszą znaną dotąd) w bardzo małej objętości jądra mamy nowy stan materii, zwany plazmą kwarkowo-gluonową (z ang. QGP). W tak ekstremalnych warunkach zwykła materia "topi się" w jej składowych blokach budulcowych, kwarkach i gluonach, częściowo ekranując silną siłę jądrową, tak jak to siły elektromagnetyczne są częściowo ekranowane w zwykłej plazmie. Nowo utworzony system następnie eksploduje z prędkością zbliżoną do prędkości światła, aż do momentu gdy gęstość unormuje się na odpowiednio niskim poziomie sprzyjającym regeneracji protonów i neutronów (oraz innych bardziej egzotycznych niestabilnych cząstek) tak aby mogły istnieć samodzielnie w ciągłym medium o dużej gęstości plazmy kwarkowo-gluonowej.

Plazma kwarkowo-gluonowa stanowi system o największej gęstości, jaką kiedykolwiek uzyskano w eksperymencie, kilka rzędów wielkości wyższej niż w centrum Słońca. W rzeczywistości jest to najbardziej zbliżona do pierwotnej materii na samym początku wszechświata rzecz, jaką mamy. Eksplodujący „fireball” uzyskany w akceleratorach cząstek został nazwany „małym wybuchem”; co oznacza miniaturową wersję rozszerzającej się materii w pierwszych stadiach Wielkiego Wybuchu. Relatywistyczne eksperymenty zderzeń ciężkich jonów zapewniają swego rodzaju unikalne okno na egzotyczny stan materii, nieosiągalny za pomocą bezpośrednich lub pośrednich pomiarów (takich jak obserwacje astrofizyczne). Opisywany stan materii ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia podstawowych sił natury, kosmologii i pierwszych kroków w ewolucji wszechświata.

Hydrodynamika relatywistyczna, jak sama nazwa wskazuje, jest poszerzeniem hydrodynamiki (badania płynów) o efekty relatywistyczne. Innymi słowy, aby wziąć pod uwagę teorię względności Einsteina, gdy prędkość płynu jest na tyle duża, że mechanika klasyczna nie jest już możliwa. Wiele systemów wykazuje płynne zachowanie w odpowiednich okolicznościach i wydaje się, że plazma kwarkowo-gluonowa nie jest wyjątkiem. Relatywistyczna hydrodynamika została z powodzeniem wykorzystana do opisu ewolucji plazmy kwarkowo-gluonowej, która jest nadal zbyt skomplikowana, aby obliczyć ją bezpośrednio ze standardowego modelu fizyki cząstek. Jednak relatywistyczna hydrodynamika powinna być nadal związana z fenomenologicznymi założeniami, które miały na celu wyprowadzenie jej z bardziej fundamentalnego mikroskopowego tła. Dokładniej, oczekuje się załamania hydrodynamiki, jeśli gradienty są duże (tj. bardzo burzliwa ekspansja), jeśli układ jest daleki od równowagi lokalnej (duże korekty ciśnienia w stosunku do przypadku idealnego), a zwłaszcza jedno i drugie. Tak właśnie dzieje się w eksperymentach z ciężkimi jonami. Wiele uwagi poświęca się nieoczekiwanej niezawodności ewolucji hydrodynamicznej.

Najlepszym opisem oddziaływań fundamentalnych, jaki posiadamy, jest kwantowa teoria pola (z ang. QFT), z niej można wyodrębnić hydrodynamikę drugiego rzędu zakładając, że tensor energii naprężenia może być rozszerzeniem drugiego rzędu w gradientach hydrodynamicznych stopni swobody: gęstości, ciśnienia i prędkość płynu. Korekty ciśnienia są (przynajmniej) w pierwszym rzędzie w gradientach, dlatego oczekuje się, że hydrodynamika będzie obowiązywać tylko dla małych gradientów i małych korekt ciśnienia. Te same równania można jednak otrzymać z relatywistycznego równania Boltzmann, wykorzystując metodę momentów. Małe gradienty i niewielkie odchylenia od równowagi lokalnej nie są obowiązkowymi wymaganiami w tym podejściu, jednak relatywistyczne równanie Boltzmann jest równaniem klasycznym, a rozmiar układu jest znacznie mniejszy niż tych, w których efekty kwantowe można łatwo zaobserwować w eksperymentach. Ponadto nie obejmuje skutków wirowania cząstek. Najnowsze wyniki pokazują, że zderzenia peryferyczne QGPin są najbardziej wirowym (a więc turbulentnym) systemem, jaki kiedykolwiek zaobserwowano, wywołuje to polaryzację na wirujących cząstkach, którą mierzy się i byłoby ważne, aby opisać sprzężenie polaryzacja-wirowość w sposób dynamiczny. Czy stopnie swobody polaryzacji termalizują się szybciej czy wolniej niż pęd? Czy zmieniają efektywną lepkość płynu?

Relatywistyczne równanie Boltzmann jest ograniczającym przypadkiem ewolucji rozkładu Wignera (kwantowego prekursora klasycznej funkcji dystrybucji), w szczególności uwzględnia tylko najniższe wyrazy w ekspansji stałej Plancka, czyli klasyczną granicę. W tym projekcie dążymy do uogólnienia metody momentów zastosowanych w przypadku klasycznym na bogatszą strukturę przypadku kwantowego, aby wyodrębnić hydrodynamikę bez wymagań przepływu laminarnego (małe gradienty, prawie lokalnie zrównoważone) i bez zaniedbania efektów kwantowych, takich jak polaryzacja cząstek mających spin.