

Echos de la physique

Un mini bang?

De nos jours les grandes conférences de physique n'apportent que rarement quelque chose de nouveau et d'inattendu, une percée potentielle. Pour un grand nombre des participants, la conférence sur la matière quarkonique de 1996 qui s'est tenue à Heidelberg du 20 au 23 mai est apparue comme l'une de ces occasions excitantes, offrant ce qui pourrait s'avérer être le premier aperçu de l'objectif ultime de leur recherche: un petit bang de laboratoire produisant le plasma de quarks et de gluons longtemps attendu, cette expression désigne un état de la matière qui a existé brièvement juste après l'instant initial du big-bang, avant que la matière ne "coagule" en noyaux.

La réunion était la douzième d'une série de conférences internationales sur les collisions noyau-noyau ultrarelativistes; elle était organisée par H.J. Specht et elle a rassemblé à Heidelberg un nombre record de 550 physiciens. Au fil de plus de cinquante présentations, ils ont pu entendre le premier exposé complet des résultats de collisions d'ions réellement lourds, réalisées à l'aide du faisceau de plomb de 160 GeV/nucléon du SPS du CERN et des noyaux d'or de 12 GeV/nucléon du synchrotron à gradients alternés (AGS) de Brookhaven.

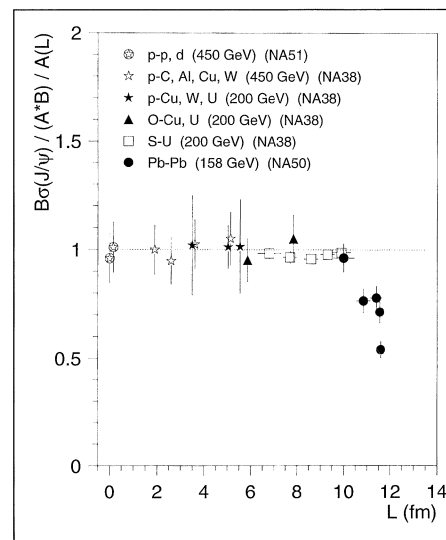
Les études précédentes à l'aide de projectiles plus légers frappant des cibles denses avaient mis en évidence un certain nombre d'effets suggérant des phénomènes collectifs, mais les collisions de deux noyaux volumineux et lourds offrent la meilleure possibilité de produire en laboratoire un milieu matériel où règne l'interaction forte. Les nouvelles données confirment-elles la production de ce type de matière? La manière la plus simple de répondre à cette question est de considérer le système émergent comme un mini-univers et de vérifier si à la fin de sa période d'interaction forte, lorsqu'il se fragmente en hadrons

n'interagissant plus, les abondances relatives des différents noyaux sont déterminées par la température et la densité baryonique, et semblables aux abondances des éléments légers dans notre Univers.

J. Stachel a brièvement fait le point sur l'hadrosynthèse. Au cours des douze derniers mois, les études détaillées des données silicium-or des expériences E866 et E877 à Brookhaven ont montré que les types de particules les plus abondants sont effectivement ceux dont on peut prévoir l'émission à partir d'un tel milieu à l'équilibre. Une première évaluation des données des collisions or-or à Brookhaven semble mener aux mêmes conclusions, bien que dans ce cas, comme dans celui des données homologues plomb-plomb de plus haute énergie au CERN, des résultats complémentaires soient nécessaires avant que l'on puisse pleinement établir la production d'un état de la matière à l'équilibre au moment de la "coagulation".

Si les collisions d'ions lourds à haute énergie produisent des systèmes qui sont en fin de compte de la matière hadronique à l'équilibre, il devient possible de commencer l'exploration des étapes antérieures inconnues de températures et de densités plus

Premier coup d'oeil sur la formation du plasma quark-gluon? Production de J/ψ dans diverses collisions, normalisée à l'absorption pré-résonante $A(L)$ dans la matière nucléaire normale, d'après les résultats présentés à la conférence sur la matière quarkonique de 1996 qui s'est tenue à Heidelberg du 20 au 23 mai; on voit la forte réduction de la production des J/ψ dans les collisions plomb-plomb observée par la collaboration NA50 au CERN. Le parcours libre moyen L dans cette matière constitue également une mesure de la densité d'énergie moyenne atteinte dans la collision.



élevées, avec l'objectif ultime d'atteindre le plasma de quarks et de gluons déconfinés prédit par la chromodynamique quantique — la théorie des champs de quarks et de gluons.

Au-delà de la frontière critique séparant les états confinés et déconfinés de la matière, dans un milieu hadronique dense, les propriétés des hadrons pourraient être modifiées et l'observation de ces changements apporterait des preuves importantes de l'existence d'états antérieurs de densité plus élevée, comme l'a souligné W. Weise dans son tour d'horizon du sujet. La transition de déconfinement devrait être associée à une réduction de la masse effective du quark depuis sa valeur pour le quark constitutif jusqu'à celle presque nulle que l'on observe, et cela pourrait bien entraîner des variations de masse pour les hadrons.

Des expériences, aussi bien HELIOS 3 maintenant terminée que CERES, avaient permis à leurs auteurs d'annoncer un excès de production de dileptons en dessous du pic du rho, excès observé dans les collisions soufre-or. Toutes les tentatives pour expliquer ce renforcement des dileptons de faible masse sur la base des interactions des hadrons possédant les nombres quantiques habituels du vide ont jusqu'à présent échoué; seule l'hypothèse d'une variation dans le milieu de la masse du méson rho permet de reproduire l'effet observé,



Johanna Stachel - hadrosynthesis

Axel Drees - paires de leptons de faible masse.



comme l'avaient remarqué C.M. Ko et B. Friman lors de Quark Matter 95.

Les premières données sur le plomb, encore préliminaires, obtenues dans CERES et présentées par T. Ullrich, étaient donc attendues avec impatience. Elles présentent, une fois de plus, un renforcement prononcé des dileptons de faible masse; une analyse supplémentaire et de meilleures statistiques sont nécessaires pour en établir l'intensité et la variation avec le paramètre d'impact, comme l'a souligné A. Drees dans son résumé.

Le résultat frappant présenté à la réunion a été la réduction marquée de la production de J/ψ dans les collisions plomb-plomb observée par la collaboration NA50 au CERN et présenté à Heidelberg par M. Gonin.

Il y a dix ans de cela il avait été prédit qu'une chute de la production des J/ψ dans les collisions nucléaires consti-

tuerait un signe de déconfinement. Peu après on observait l'effondrement de la production des J/ψ dans les collisions oxygène-uranium et soufre-uranium, mais une réduction similaire se produit également dans les interactions proton-noyau, ce qui suggère une origine banale dans la matière confinée normale.

Aujourd'hui on peut en fait interpréter toutes les suppressions de J/ψ dans différentes interactions proton-noyau, et y compris jusque dans les collisions les plus centrales soufre-uranium, comme provenant de l'absorption de charmonium pré-résonant dans la matière nucléaire normale, ainsi que l'a montré C. Lourenço dans le cadre d'une étude systématique des données de NA38/NA51 du CERN et de E772 du laboratoire Fermi. Cette idée d'un charmonium pré-résonant s'accorde bien avec la théorie de la production de quarkoniums dans des collisions hadroniques présentée brièvement par E. Braaten.

On s'attendait donc à une réduction analogue dans les collisions plomb-plomb. Cependant les productions observées l'an dernier par la collaboration NA50 montrent que la réduction est deux fois plus importante, et cette suppression anormale des J/ψ apparaît en outre brutalement juste au-dessus des collisions centrales soufre-uranium

ou des collisions plomb-plomb les plus périphériques (voir figure).

D. Kharzeev a présenté les calculs de CDQ qui montrent que la dissociation des J/ψ par collision avec des hadrons est pratiquement exclue aux impulsions actuellement utilisées. Si on la rapproche de l'apparition soudaine d'une suppression anormale, cette observation suggère donc que se manifeste une certaine sorte de déconfinement au moins local. Dans une courte contribution, J.-P. Blaizot a remarqué que la suppression anormale peut être comprise si tous les J/ψ produits dans la partie centrale chaude lors des interactions plomb-plomb simplement se dissocient. Sa question "s'agit-il du premier aperçu de la formation du plasma de quarks et de gluons?" a donc résumé les interrogations de la plupart des participants.

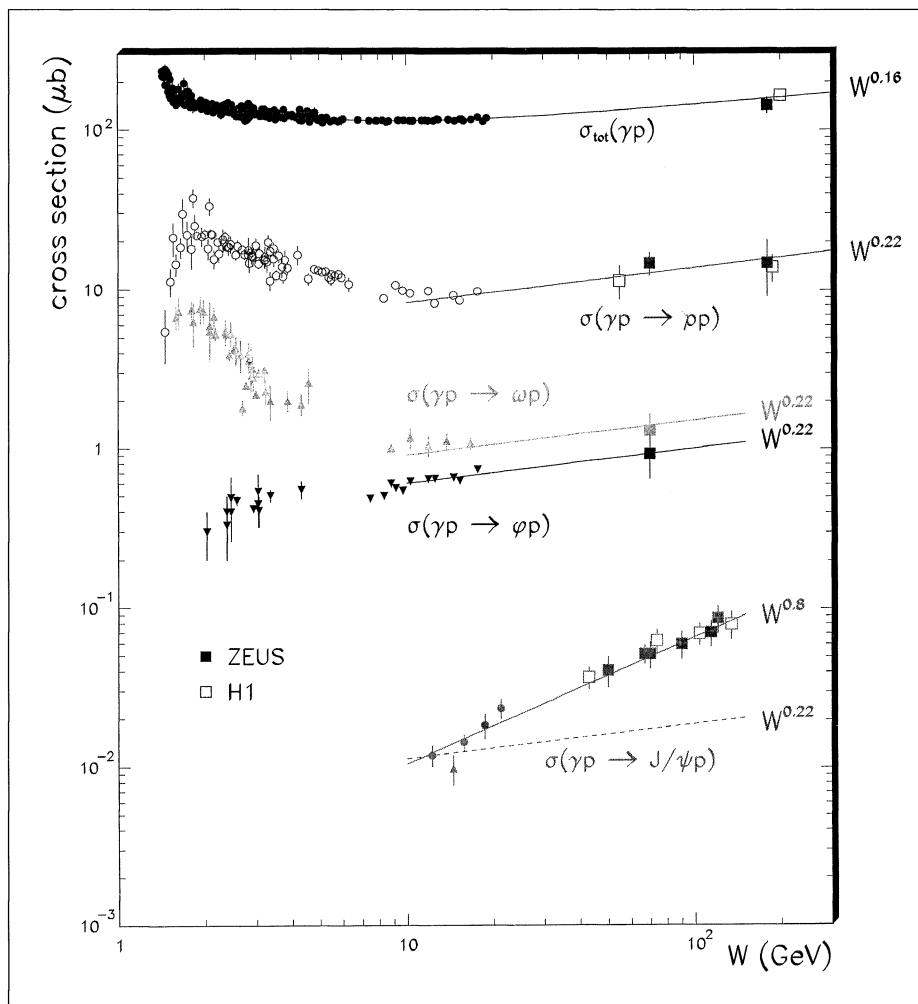
Comme l'ont remarqué Kharzeev et Lourenço, il est réconfortant de constater que les deux points cruciaux pour parvenir à une conclusion claire, l'apparition brutale de la suppression et la transparence de la matière confinée vis-à-vis des J/ψ , peuvent toutes deux être soumises à des vérifications expérimentales: le premier par des études de précision des collisions plomb-plomb plus périphériques, le second par une expérience de "cinématique inverse" à l'aide d'un

Helmut Satz de Bielefeld (à droite) est impatient de voir les nouveaux résultats du porte-parole de l'expérience NA50, Louis Kluberg, sur la suppression des J/ψ dans les collisions plomb-plomb avant la récente réunion d'Heidelberg sur la matière quarkonique. Un symposium à Bielefeld juste avant la conférence avait commémoré le 60^e anniversaire de Satz. Bielefeld avait été en 1982 le théâtre d'une réunion décisive qui allait mener vers les collisions d'ions lourds au SPS.



Sections efficaces de photoproduction observées sur une vaste gamme d'énergies au collisionneur électron-proton HERA à DESY, Hambourg. On voit la variation de la photoproduction totale avec l'énergie de production (W) ainsi que les sections efficaces de production diffractive de mésons vecteurs. Dans le cas des mésons vecteurs légers, la variation avec l'énergie suit la croissance modérée attendue pour un processus d'échange d'un poméron mou, tandis que pour le J/ψ plus lourd, on observe une transition vers un processus dur et une croissance bien plus marquée avec l'énergie.

faisceau de plomb incident sur une cible en hydrogène ou en deutérium. Les étapes suivantes de la recherche du plasma de quarks et de gluons semblent donc bien définies. Les productions des différents types de hadrons et les études correspondantes sur leurs corrélations apporteront les données nécessaires sur les propriétés collectives du milieu à l'instant de sa coagulation. D'autres études du renforcement de la production des dileptons de faible masse détermineront dans quelles mesures les propriétés des hadrons sont modifiées à l'intérieur d'un milieu dense soumis à l'interaction forte. En outre, les mesures de précision de la suppression du quarkonium constitueront l'outil nécessaire pour sonder le déconfinement de la couleur. Selon les réponses à ces questions, on se souviendra ou non de Heidelberg 96 comme ayant offert le premier coup d'oeil sur le mini bang.



Par Helmut Satz

HERA: Diffusion diffractive dure

La conférence sur les "processus diffractifs durs" qui s'est tenue à Eilat, Israël, du 18 au 23 février a mis en lumière les recherches uniques en leur genre menées au collisionneur électron-proton HERA du laboratoire DESY, Hambourg. C'était la seconde fois qu'une conférence de ce type, sur la physique de HERA, se tenait en Israël, la réunion précédente en février 1994 avait été consacrée à "la diffusion profondément inélastique et sujets voisins". Parmi les 81 physiciens de 13 pays, la délégation allemande

comptant 17 participants était la plus nombreuse.

L'observation inattendue de "cuvettes de rapidité" dans les interactions électron-proton très inélastiques effectuée par la collaboration ZEUS en 1993 (septembre 1993, page 6), et correspondant à des événements dans lesquels le proton émerge pratiquement indemne tandis que les produits secondaires de la réaction s'accumulent du côté de l'électron plutôt que de celui du proton, a réveillé avec de bonnes raisons l'intérêt pour le sujet longtemps négligé de la diffusion diffractive.

La chromodynamique quantique (CDQ) est depuis longtemps acceptée comme la théorie des champs de quarks et de gluons et fait partie du "modèle standard" au même titre que la théorie unifiée des interactions électrofaibles.

La symétrie sous-jacente de la CDQ est celle de la "couleur", qui joue un rôle équivalent à celui de la charge électrique dans les interactions électrofaibles. Les constituants de la matière hadronique sont les quarks dotés de couleur, tandis que les porteurs de l'interaction forte sont les gluons. Ce qui différencie la CDQ de l'électromagnétisme est que les gluons

également possèdent une couleur. Une conséquence directe en est la "liberté asymptotique" — les interactions entre deux objets dotés de couleur diminuent avec la distance qui les sépare, tandis qu'elles se renforcent lorsqu'ils s'éloignent. C'est pourquoi il est difficile de prédire les propriétés des interactions fortes dans le régime perturbatif de la CDQ.

La structure des hadrons trouve une explication naturelle en CDQ qui permet de les décrire en termes de quarks et de gluons ponctuels et de "fonctions de structure" représentant les distributions de densité des quarks à l'intérieur du hadron. A l'autre extrémité de l'échelle, le confinement de la couleur est, pense-t-on, à l'origine du fait que les seules particules à interaction forte observables soient "incolors". De nombreuses mesures ont établi la validité de la CDQ perturbative, et permis de déterminer la constante de couplage forte.

Cependant, le régime de la CDQ où la constante de couplage quark-gluon devient grande est mal connu et aucun des modèles phénoménologiques satisfaisants des interactions fortes ne peut encore être déduit des principes fondamentaux de la CDQ.

La théorie de Regge fait partie de ces