

Billard corpusculaire et super-microscope

Des particules choquées dévoilent leur intimité

Deux billes de billard se choquent et repartent. La vitesse et la direction finales de chaque bille dépendent de leur vitesse et de leur direction initiales, mais aussi de la façon dont on a joué : fin, pleine bille, ou entre les deux (paramètre d'impact). Le résultat dépend aussi de la matière des billes, ivoire, balles de tennis, boules de pétanque... En porcelaine, elles se cassent. En pierre, elles font des étincelles. Si les boules sont inhomogènes, le résultat dépend de l'emplacement du choc sur chaque bille.

Imaginons un carambolage reproduit à l'identique (mêmes positions et vitesses initiales des billes, même paramètre d'impact) un grand nombre de fois avec plusieurs sortes de billes. Si on ne change pas de billes, le résultat ne change pas. Si on en change, les angles et vitesses des billes après le choc changent. On peut alors dresser un catalogue des valeurs obtenues pour ces deux grandeurs en fonction des billes utilisées. Un observateur ne voyant que le résultat pourra deviner avec quelles billes on a joué.

Les physiciens font de même avec leurs particules. Cela s'appelle la **diffusion**. Deux particules s'approchent l'une de l'autre, interagissent et s'éloignent, ayant changé de direction et de vitesse quand elle ne disparaissent ni ne se cassent ; et parfois, de nouvelles particules se matérialisent. En mesurant le résultat de la diffusion, et en connaissant toutes les conditions initiales, on peut remonter aux caractéristiques des particules, forme, structure, répartition de leur électricité interne etc.

Comme au billard, la diffusion dépend de la nature des deux particules, des forces qui régissent leur interaction, de la vitesse relative des particules, du paramètre d'impact etc. Mais les particules ne sont pas des sphères dures. Ce sont aussi des ondes qui peuvent s'interpénétrer et révéler l'une à l'autre leur intimité. Les deux particules se sondent mutuellement au cours de la diffusion et l'état final dans lequel chacune se retrouve dépend des conditions du choc mais aussi de leur structure.

L'étude fine d'un processus de diffusion est un outil fondamental d'investigation des propriétés et de la structure interne des corpuscules.

Ce fut par diffusion de particules alpha (noyaux d'hélium-4) sur des atomes d'or que Rutherford découvrit en 1909 que plus de 99,9 % de la masse d'un atome était concentrée dans un minuscule corpuscule dix à cent mille fois plus petit que l'atome lui-même. Il découvrit ainsi le noyau atomique. Une cinquantaine d'années plus tard, ce

fut la découverte des quarks à l'intérieur des nucléons (protons et neutrons), par **diffusion inélastique**. Mais cette fois, la « sonde » était le faisceau d'un super microscope électronique de 3 km de long, le SLAC, à Stanford, en Californie, capable de distinguer des détails beaucoup plus petits qu'un nucléon. Plus l'énergie du faisceau-sonde est élevée, plus le « microscope » voit fin.

L'expérience HAPPEX à laquelle participe le DAPNIA (voir page 2 l'article de Christian Cavata), utilise à son tour les vertus de la diffusion pour sonder le proton sous un

angle précis : les quarks « ordinaires » (« up » et « down »)¹, que renferme le proton contribuent-ils seuls à la répartition de son « électricité » et de son aimantation, ou bien des troisièmes larçons, les quarks « étranges » mettent-ils leur grain de sel ? En faisant diffuser sur des protons le faisceau d'électrons de l'accélérateur CEBAF², l'équipe d'HAPPEX tente de répondre à cette question. La contribution des quarks étranges au spin du proton est aussi au cœur de l'analyse d'expériences de **diffusion profondément inélastique**. Or cette analyse dépend d'une inconnue : les gluons³ contribuent-ils ou non au spin du proton. Pour le savoir, le

DAPNIA s'investit dans un projet international : l'expérience COMPASS prévue pour 2001 au CERN et actuellement en phase de recherche et de développement.

Dans une expérience comme HAPPEX basée sur des mesures de l'asymétrie liée au spin des corpuscules protagonistes, on y voit beaucoup plus clair si l'on connaît bien le spin des particules sondeuses. Pour analyser proprement les propriétés d'une cible (ici, le proton) qui tourne sur elle-même comme une toupie, il vaut mieux être maître de l'orientation des toupies (les électrons) qu'on lui décoche. Les physiciens disent qu'il faut connaître à chaque instant la polarisation⁴ du faisceau incident. Page 4 de ce numéro, Nathalie Colombel (SGPI) nous dévoile les secrets d'un mesureur de polarisation conçu au DAPNIA et implanté au CEBAF : le Polarimètre Compton. Cette question de toupie est essentielle.

Toupie or not toupie...

Joël Martin (SPhN)



Le droit aux pauses à CEBAF pour l'équipe du Dapnia : de gauche à droite, Nicolas Falletto, Bruno Duboué, Alain Delbart, Nathalie Colombel, David Lhuillier devant Maud Baylac auxquels s'est joint Christophe Vuttier (LPC de Clermond)

1 — Voir ScintillationS n° 19

2 — Voir ScintillationS n° 20, 21 et 22

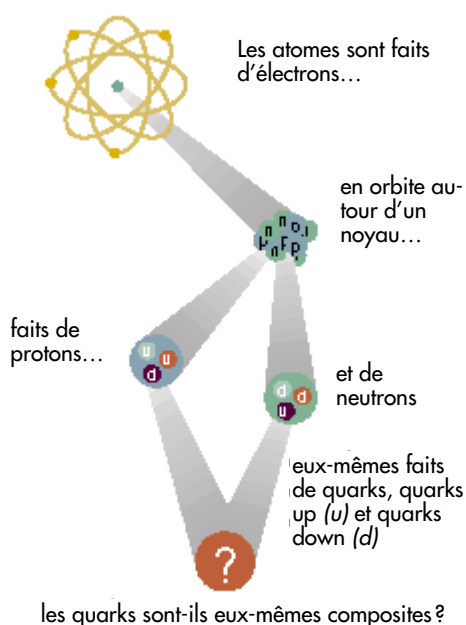
3 — voir ScintillationS n° 27 et 28 4

De l'étrangeté dans le proton ?

L'expérience HAPPEX au CEBAF

(Les mots en **rouge** sont évoqués dans l'édito et/ou expliqués dans le glossaire)

Une des questions majeures de la dernière décennie en **physique hadronique** est le rôle des **quarks étranges** (voir le **tableau des particules n° 19**) dans ce « légo » complexe qu'est le proton où les phénomènes s'enchevêtrent. On ne peut déterminer, par exemple, si les quarks étranges trempent dans le spin du proton, tant qu'on ignore si les gluons sont ou non de la partie. Or, les expériences de **diffusion profondément inélastique** (SMC, au CERN, E142, E143 au SLAC) (voir *Scintillation* n° 1 et 12) des dix dernières années n'ont pas permis de clarifier cette question des gluons. Peut-être la réponse à l'aube du troisième millénaire avec COMPASS... État des lieux actuel : dans l'hypothèse où les gluons ne seraient pour rien dans le spin du proton, la contribution des quarks étranges tournerait autour de 10 %...

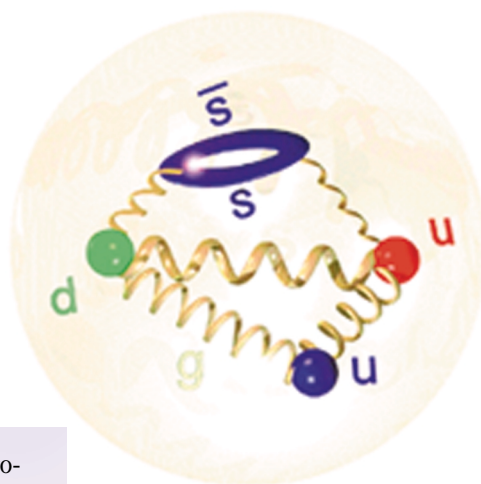


Dans ce contexte, la collaboration HAPPEX (Hall A Proton Parity Experiment) au laboratoire Jefferson (où est implanté l'accélérateur d'électrons de 4-6 GeV CEBAF) qui réunit les universités de Syracuse, Princeton, William & Mary et le DAPNIA, a choisi d'étudier l'éventuelle influence des quarks étranges sur deux gran-

... C'est surprenant car le proton n'a pas d'étrangeté intrinsèque. On le représente souvent comme formé de trois **quarks constituants** (deux de **saveur** *u* et un de saveur *d*, en abrégé : *uud*). Ce modèle « naïf » permet cependant de relier les propriétés des **hadrons** (masse, moment magnétique...). D'où l'idée d'aller voir de près d'autres propriétés du proton, pour y déceler une éventuelle intervention des quarks étranges.

Une image plus réaliste du proton, qui permettrait d'impliquer les quarks étranges, fait intervenir un ensemble de quarks en **interaction forte** par échange de gluons. Ces gluons fluctueraient en paires quark-antiquark, dont des étranges, apparaissant et disparaissant épisodiquement. L'étude théorique de ces éventuels phénomènes est en dehors des possibilités de calcul actuelles. Il faut donc pousser les expériences.

deurs que savent bien mesurer les spécialistes de la diffusion d'élec-



trons : les distributions de charge électrique et d'aimantation du proton.

Le proton n'est pas ponctuel ; sa charge et son aimantation se répartissent dans l'espace sur des distances de l'ordre du fermi (10^{-15} m). Pour déterminer si les quarks étranges influencent cette répartition spatiale, on utilise simultanément **l'interaction électromagnétique** et **l'interaction faible** pour sonder le proton. Pourquoi ?

Depuis les années soixante, les expériences de **diffusion élastique** électron-proton initiées par Hofstadter au SLAC, en Californie, et poursuivies jusqu'à nos jours à CEBAF ont permis d'étudier la **distribution de charge** (répartition de l'électricité) du proton. Elle résulte elle-même de la contribution des distributions de charge de trois sortes (*savours*) de quarks : *u* (up), *d* (down) et *s* (strange), dans des proportions directement liées à leurs charges électriques respectives : $2/3$, $-1/3$ et $-1/3$. (voir **tableau des particules**, n° 19).

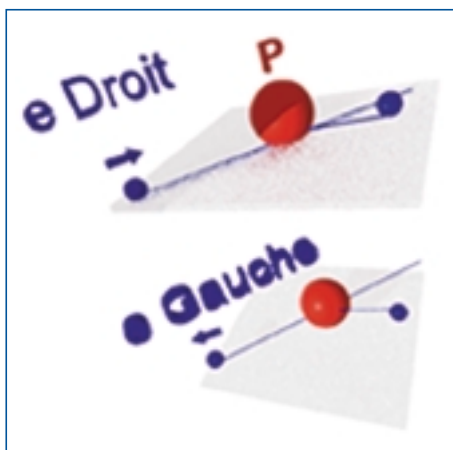
La seule mesure de la distribution de charge du proton ne permet pas de séparer les contributions des trois saveurs. Pour avoir un deuxième renseignement, on exploite la **symétrie d'isospin** : un neutron (*udd*) n'est ni plus ni moins qu'un proton (*dou*) dans lequel on a échangé les quarks *u* et *d* ; c'est une **particule globalement neutre**, mais au sein de laquelle existent des zones positives et des zones négatives qui se compensent. La mesure de la distribution de la charge électrique du neutron permet donc d'accéder à une autre combinaison des 3 quarks, *u*, *d* et *s*, dans les proportions $-1/3$, $2/3$, $-1/3$.

Pour connaître les contributions de chacun des trois quarks *u*, *d*, et *s*, et non plus seulement leur combinaison, il faut un troi-

sième renseignement. On l'obtient grâce à une autre grandeur que portent les électrons et les protons : leur *charge faible*, qui est à l'interaction faible ce que la charge électrique est à l'interaction électromagnétique. En vertu de l'unification de ces deux interactions en une seule interaction **électrofaible**, un électron et un proton interagissent à la fois *électromagnétiquement* (en échangeant un photon, c'est le processus largement dominant) et *faiblement* (par l'échange d'un Z^0). Tout comme pour la distribution de sa charge électrique, la distribution de la charge faible du proton est la somme de trois termes, un par « saveur » de quarks (u , d et s). Mais là, c'est un peu plus compliqué : chaque terme est égal à la distribution de charge électrique du quark multipliée par sa charge faible que l'on connaît par le Modèle Standard des physiciens des particules (voir n° 12 et 23).

La taille des détails observables est inversement proportionnelle à l'énergie du faisceau-sonde. Pour observer le proton sur tout son volume, la gamme d'énergie se situe vers quelques GeV. Or, à ces énergies, l'interaction faible est 10 000 fois moins intense que l'interaction électromagnétique. Il faut donc trouver une astuce pour la mesurer.

L'astuce consiste à utiliser le fait que contrairement à l'interaction électromagnétique, l'interaction faible viole la symétrie de parité (symétrie miroir). En réalisant deux expériences de diffusion élastique électron-proton « miroirs » l'une de l'autre et en mesurant leur différence, on isole la contribution *faible* de l'interaction : On compte le nombre de diffusions pour des électrons « droits » (dont le spin pointe dans le même sens que la direction du faisceau), et celui pour des électrons « gauches » (le spin pointe en sens opposé). On en déduit la différence de ces deux nombres que l'on divise par leur somme. Ce quotient, appelé *asymétrie*, reflète la violation de la parité. Elle mesure donc la contribution de l'interaction faible.



La première expérience de mesure de violation de parité en diffusion d'électrons fut réalisée en 1978 au SLAC par C. Prescott, C. Sinclair (qu'on retrouve 20 ans après à la tête du groupe injecteur du CEBAF) et leurs collaborateurs, par **diffusion inélastique**

données. La (fausse) asymétrie en intensité sur toute cette prise de données a été inférieure à 0,3 ppm!

En 1999, l'expérience HAPPEX disposera de 3 mois de faisceau. Cela permettra d'acquérir assez de données pour diminuer d'un facteur deux l'erreur statistique (dominante). Au DAPNIA, l'équipe projet « polarimètre Compton » met actuellement toute son énergie pour que la polarisation du faisceau d'électrons soit dès cette année mesurée par diffusion Compton (voir l'article de Nathalie Colombel, page 4).



Source d'électron polarisés de CEBAF

électron-deutérium. C'est ce groupe qui a mis en place la base de la méthode expérimentale utilisée pour mesurer des faibles asymétries : 100 parties par million (100 ppm = 10^{-4}) dans le cas du SLAC, 10 ppm (10^{-5}) dans le cas d'HAPPEX.

Au cœur de cette méthode se trouve la **source d'électrons polarisés** (photo). Basée sur le **pompage optique** d'un cristal d'arséniure de gallium (cristal très prometteur pour l'énergie solaire) par un laser, elle autorise 30 renversements de polarisation par seconde, ce qui minimise les asymétries factices dues aux dérives des conditions expérimentales.

Au cours du printemps 1998, HAPPEX a effectué ses premières mesures. La source a délivré un courant polarisé à 40 % de 100 micro-ampères (soit $6 \cdot 10^{14}$ électrons par seconde) pendant un mois de prise de

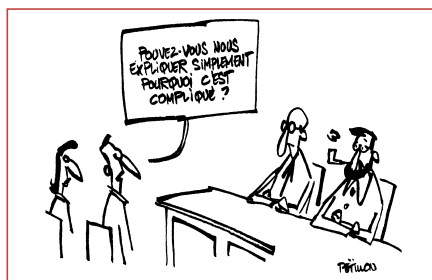
Résultat de cette première prise de données : une asymétrie par violation de parité d'un peu plus d'une dizaine de parties par million (ppm).

Notre mesure donne une contribution relative des quarks étranges de $1\% \pm 1,8\%$, c'est-à-dire une contribution faible voire nulle de ces quarks aux distributions de charge et d'aimantation du proton

On peut consulter sur le web :
Parité : <http://www-dapnia.cea.fr/Sphn/Parity/>
Polarimètre : <http://www-dapnia.cea.fr/compton/>

Christian Cavata (SPhN)
avec quelques grains de sel de Joël Martin et Thierry Pussieux (SPhN)

Un grand glossaire



Diffusion (voir aussi l'édito) : deux corpuscules se choquent, interagissent et s'éloignent l'un de l'autre.

Si chaque corpuscule garde son intégrité, la **diffusion** est **élastique**. On en use pour scruter les propriétés globales des corpuscules (forme, dimension, distribution d'électricité et de magnétisme etc.). C'est le cas de la diffusion électron-proton de l'expérience HAPPEX.

Si, en revanche, au moins l'un des

corpuscules change de structure ou perd des plumes, on parle de **diffusion inélastique**. Elle permet d'étudier les inhomogénéités des corpuscules. C'est par diffusion inélastique qu'ont été découverts les quarks. Lorsque le transfert d'énergie d'un corpuscule à l'autre est très élevé, la diffusion est **profondément inélastique**. Cette technique permet de voir de très fins détails de structure.

Interactions électromagnétique et faible : Ce sont, en intensité, les numéros 2 et 3 des quatre forces fondamentales de la nature. Le numéro 4, de très loin la lanterne rouge, est la *force de gravitation* (voir le *gluon d'honneur*).

L'interaction (ou force) électromagnétique s'exerce sur toutes les particules électrisées. Le rayon d'action (ou : *portée*) de cette force est infinie, mais son intensité est divisée par quatre chaque fois que la distance double. La force électromagnétique est responsable de l'attraction entre électrons et noyaux atomiques, et donc de la cohésion des atomes et des molécules. Elle domine toute la chimie et la biologie.

L'interaction faible ou *force nucléaire faible*, est environ 1000 fois moins intense que la force électromagnétique. Sa portée est infime, de l'ordre de 10^{-18} mètres. Elle est responsable de la radioactivité et de réactions impliquant des particules comme le neutrino. Elle ne conserve pas la *parité* (symétrie « miroir » droite-gauche). Weinberg, Salam et Glashow obtinrent le Prix Nobel 1979 pour avoir montré que forces faible et électromagnétique étaient deux volets d'une même force, la force **électrofaible**.

Interaction forte : ou *force nucléaire forte*. C'est la plus intense des quatre forces de la Nature. Elle est responsable de la cohésion du noyau atomique car

elle fait s'attirer protons et neutrons cent à mille fois plus fort que les protons ne se repoussent par interaction électromagnétique. Sa portée n'excède guère une dizaine de fois la taille d'un proton. L'interaction forte s'exerce sur les particules appelées *hadrons*, ensemble comprenant les *baryons* (d'après un mot grec qui signifie lourd), comme le proton ou le neutron, et les *mésons*, particules de masse « moyenne ». Les hadrons sont des particules composites : les baryons sont en gros composés de trois quarks et les mésons d'un quark et d'un antiquark (quark d'antimatière). La force forte est la manifestation « extérieure » d'une force plus profonde, la force de couleur (voir n° 27) qui s'exerce entre quarks par l'intermédiaire des gluons.

Physique hadronique : Apparue dans les années 70, la physique hadronique étudie la structure et les propriétés des hadrons. C'est une passerelle entre la physique nucléaire classique qui regarde le noyau dans sa globalité et la physique des particules qui traque les plus infimes bestioles du zoo corpusculaire. CEBAF est un des hauts lieux de cette discipline passerelle.

CEBAF, le pont...

Pompage optique : Grâce à ses photons très spéciaux, un laser peut servir d'aspirateur sélectif d'électrons atomiques puis de catapulte qui commu-

nique la même énergie à tous les électrons qu'il arrache. Si un photon émis par le laser pénètre dans un atome, il peut provoquer l'évasion d'un électron bien précis de cet atome en donnant au fugitif *une énergie et une direction bien précise ainsi qu'un mouvement de toupie bien précis*.

En effet, l'électron récupère toute l'énergie du photon. Il en dépense une partie, toujours la même, pour s'affranchir de l'attraction de son atome et emporte le reste comme énergie cinétique. Et comme chaque photon d'un laser a la même énergie (et la même direction), tous les électrons arrachés par un laser donné ont la même énergie (et la même direction) : ils forment un faisceau pratiquement parallèle et monoénergétique. Ce dispositif constitue la **source d'électrons polarisés**.

Polarisés, car le mouvement de toupie (*spin*) que prend chaque électron est directement lié à celui du photon qui l'a arraché. En d'autres termes, la polarisation du faisceau d'électrons est tributaire de celle du faisceau de photons, laquelle dépend des caractéristiques du laser. Ainsi, en imposant au laser une inversion de sa polarisation on obtient un faisceau d'électrons dont la polarisation s'inverse au même rythme. Pour HAPPEX, ce rythme est de 30 inversions par seconde : l'axe de chaque toupie bascule d'avant en arrière 30 fois par seconde.

Joël Martin (*ScintillationS*)

Compton, le nouveau polar du Daphnia

Les mots en **rouge** sont évoqués dans l'édito et expliqués dans le glossaire

Il est fortement conseillé de relire le « Comment ça marche » sur la polarisation, dans *ScintillationS* n° 30

Un nouveau polarimètre, pourquoi ?

Pour exploiter avec précision les données d'une expérience de physique auprès d'un accélérateur, il faut connaître en particulier et en permanence la *polarisation* du faisceau (voir *ScintillationS* n° 30) qu'on mesure avec des **polarimètres**. Plusieurs sont déjà implantés sur la ligne faisceau du CEBAF, alors pourquoi un polarimètre de plus ? Le **polarimètre Compton** basé sur un autre principe physique permet une mesure indépendante supplémentaire. Mais surtout, c'est le seul pola-

rimètre du CEBAF capable de fonctionner sans dégrader le faisceau. Les physiciens peuvent donc continuer à prendre des données pendant la mesure de la polarisation dont on peut suivre ainsi « en direct » les évolutions tout au long de l'expérience. L'incertitude sur la mesure de la polarisation est l'une des principales sources d'erreur systématique d'une expérience comme HAPPEX (voir l'article de Christian Cavata, page 2). En permettant des mesures rapides, fréquentes et précises pendant les prises de données, le polarimètre Compton sera un allié de choix dans la chasse aux erreurs systématiques.

Le principe physique, c'est quoi ?

C'est la **diffusion Compton**. Lorsqu'un faisceau d'électrons croise un faisceau de photons se déplaçant en sens inverse, quelques électrons percutent chacun un photon, diffusent, perdent un peu d'énergie et continuent dans leur direction initiale. Projetés « en arrière » lors du choc, les photons ainsi « rétro-diffusés » rebroussement chemin sur la même trajectoire que les électrons.

On mesure la polarisation du faisceau d'électrons grâce à une caractéristique de la diffusion Compton entre particules po-

larisées. La polarisation d'un faisceau peut être orientée dans un sens ou dans l'autre. Au CEBAF celle du faisceau d'électrons est renversée 30 fois par seconde. Si l'on compte tous les photons diffusés lorsqu'on envoie ce faisceau d'électrons sur un faisceau de photons polarisés, on constate que le résultat dépend du sens de polarisation des électrons ; il existe une petite différence, une asymétrie, de l'ordre du pour cent. La théorie donne la façon dont cette asymétrie dépend de la polarisation des photons. La connaissance de cette polarisation et la mesure de l'asymétrie permettent de calculer la polarisation du faisceau d'électrons.

Comment ça marche ?

Cet instrument de mesure est une expérience à lui tout seul ! Il comporte : un faisceau d'électrons à guider, une « cible », le faisceau de photons lui-même, produit par un laser, des détecteurs d'électrons et de photons, un système d'acquisition, et un système de contrôle à distance de l'ensemble.

Les électrons incidents et les photons rétro-diffusés suivent exactement le même chemin. L'aimant dipolaire D3 (Fig. 1) les sépare en courbant la trajectoire des seuls électrons : les photons, neutres continuent tout droit jusqu'à leur détecteur.

Le polarimètre est placé dans la dernière ligne droite juste avant la cible de l'expérience. Afin de ne pas modifier la trajectoire ni la polarisation du faisceau d'électrons, nous avons construit une chicane de 4 dipôles identiques (Fig. 1).

Fig. 1 – Schéma de la « chicane » qui conduit le faisceau d'électrons dans le polarimètre et le replace dans le prolongement de sa trajectoire initiale.

Sur son chemin, le faisceau percute des molécules de gaz qui subsistent dans le vide et émet des photons. Malheureusement, certains de ces photons s'échouent dans le détecteur de photons, créant du « bruit de fond » que nous réduisons grâce à un vide de quelques 10^{-9} millibars, 500 fois plus poussé que dans les lignes amont et aval.

Pour atteindre le plus vite possible une précision de mesure donnée, il faut maximiser le taux d'événements Compton. Les paramètres du faisceau d'électrons sont imposés par l'accélérateur et l'expérience qui l'utilise. Seul le faisceau de photons cible peut être optimisé ; il faut maximiser la « densité » de photons au point d'interaction et minimiser l'angle de croisement des deux faisceaux. Une cavité optique résonnante Fabry-Pérot (voir *Scintillation* n° 30) constituée de deux miroirs sphériques à très haut pouvoir réfléchissant (supérieur à 99,99 %) distants de 85 cm amplifie la puissance du faisceau laser d'un facteur 7000. Les miroirs, de très petite taille (1 cm de diamètre), sont placés à moins de 5 mm du trajet du faisceau d'électrons afin d'obtenir un angle de croisement minimal.

La forme et la direction du faisceau laser sont ajustées aux caractéristiques de la cavité au centre de laquelle on détermine avec précision la polarisation. Le tout est effectué par une batterie d'éléments d'optique installés autour de la cavité, tout près du trajet du faisceau d'électrons. Pour parer aux fluctuations qui font disparaître le mode résonant à l'intérieur de la cavité en quelques fractions de secondes, on adapte continuellement la fréquence du laser à la taille de la cavité grâce à une boucle d'asservissement électronique. On conserve ainsi la résonance plusieurs dizaines d'heures.

Pour réussir à faire se croiser ces faisceaux à peine plus gros qu'un cheveu, on déplace verticalement le faisceau d'électrons en modifiant pas à pas le champ commun aux quatre dipôles de la chicane.

Le taux d'événements Compton atteint un maximum lorsque les deux faisceaux se croisent parfaitement (Fig. 2). Comme les quatre dipôles sont identiques et possèdent une alimentation commune, la trajectoire du faisceau est symétrique. Quelle que soit sa position à l'intérieur de la chicane, le faisceau émerge dans l'alignement exact de sa trajectoire entrante, si bien que ce réglage n'a qu'une incidence infime sur le point d'impact des électrons sur la cible de physique.

Lorsque les deux faisceaux se croisent, les photons et les électrons diffusés vont vers deux détecteurs.

- Les photons sont collectés dans

un calorimètre utilisant une matrice de 25 cristaux scintillants de tungstate de plomb – matériau issu de la R & D de l'expérience CMS au LHC – couplés à des photomultiplicateurs. Chaque photon est enregistré et son énergie mesurée. - On détecte *simultanément* l'électron qui l'a diffusé dans un *spectromètre* : d'abord courbé dans le dipôle D3, l'électron pénètre dans un détecteur fait de quatre plans successifs constitués chacun de cinquante micropistes en silicium. La piste touchée détermine la courbure de la trajectoire de l'électron. Cette courbure est directement liée à son énergie résiduelle donc à l'énergie qu'il a cédée au photon. Électrons et photons sont ainsi recensés en fonction de leur énergie. Cette détection « en coïncidence » des électrons et des photons diffusés permet en outre d'étalonner le détecteur de photons.

Les détecteurs ne sont rien sans le système d'acquisition qui traite leurs signaux, au préalable « mis en forme » par une

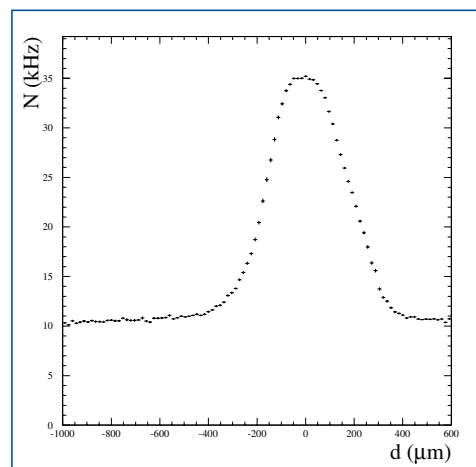


Fig. 2 : Le nombre d'« événements Compton » par millièmme de seconde, en fonction de la distance de croisement (en micromètres) du faisceau d'électrons et du faisceau laser. À la moitié de sa hauteur, la courbe « en cloche » est épaissie comme dix cheveux.

électronique rapide « sur mesure » capable de gérer des événements séparés de 100 nanosecondes (10^{-7} s). Trois systèmes d'acquisition cohabitent. Le premier gère les données relatives à l'asymétrie en regroupant tous les événements survenus (de l'ordre de 100 000 par seconde) entre chaque renversement du sens de polarisation (tous les trentièmes de seconde). Une deuxième acquisition échantillonnée stocke toutes les données de certains événements pris au hasard (600 fois

par seconde). Enfin, une acquisition des paramètres du faisceau traite des données provenant d'autres instruments du CE-BAF (toutes les secondes). Ces données « supplémentaires », indispensables à l'étude des erreurs systématiques assied la crédibilité de la mesure.

Les éléments du polarimètre sont installés dans le tunnel de l'accélérateur à une centaine de mètres de la salle de comptage. Nous avons mis au point un système de contrôle à distance de chacun des éléments qui nous permettrait presque de piloter le polarimètre depuis Saclay.

Tout cet appareillage sera dans un très proche avenir « transmis » au personnel du CEBAF qui va en assurer la maintenance et l'utilisation. Grâce à une concertation permanente depuis la conception, nous avons pu nous couler dans les habitudes locales de travail et construire un instrument qui « se fond dans le paysage ». Cet effort a été payé de retour par une aide active de nos collègues du CE-BAF durant les phases d'installation et de mise au point.

Ce projet résulte de la collaboration du

Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC) de Clermont-Ferrand qui s'est chargé de l'étude et de la fabrication mécanique des lignes faisceau et du détecteur



La cavité en salle blanche juste avant le montage des miroirs à chaque extrémité. Les « jours » ménagés dans les deux cônes extrêmes permettent le passage du faisceau d'électrons lors des phases du réglage.

d'électrons, et d'une équipe du DAPNIA issue des SEA, SED, SEI, SGPI, SIG et SPhN, qui a réalisé tous les autres éléments du polarimètre.

Les premiers résultats

Le polarimètre sans cavité optique amplificatrice ni détecteur d'électrons a été installé en 1998. Cette première année a permis de comprendre et de diminuer le bruit de fond vu par le détecteur de photons. Ce travail sur les paramètres du faisceau d'électrons s'est effectué en étroite collaboration avec le personnel local. Le polarimètre s'est alors avéré, de

façon inattendue, être l'un des outils les plus sensibles de diagnostic de la qualité du faisceau !

Après l'installation de la cavité, du détecteur d'électrons et la modification du système d'acquisition au début de 1999, nous avons observé les premiers événements Compton. Parvenu à sa destination première, la mesure de polarisation, le polarimètre engrange maintenant des données qui commencent à être exploitées.

Les 5 dernières minutes de votre lecture nous ont suffi pour mesurer une asymétrie expérimentale avec une erreur statistique de 4 %. Le faisceau d'électrons de 40 μA a croisé les 1300 watts du faisceau de photons dans la cavité. Quinze millions d'événements Compton ont été produits et traités par notre électronique.

L'estimation des erreurs systématiques est en cours. Les premières mesures de polarisation ne vont pas tarder. Nous arrivons dans les dernières lignes du polar. Le suspense ne devrait pas être trop long...

Nathalie Colombel (SGPI)

Parce que la technique sans les hommes n'est rien, j'ai envie de parler de la motivation de l'équipe dans toutes les phases de ce projet. Motivation exacerbée lors des phases d'installation avec leurs aléas techniques, leurs attentes interminables, leurs formalités douanières épiques, leurs nuits à tenter de rattraper le temps ainsi perdu. Motivation récompensée notamment lorsque nous avons enfin vu quelques petites taches sur une carte sensible nous indiquant que la cavité n'était pas loin de résonner : soulagement et joie simple partagés. Encore un gros effort, beaucoup de courage et nous toucherions au but !

Scintillations évoque rarement l'aventure humaine qui pourtant est partout dans le déroulement d'un projet : dans la découverte des autres, dans sa propre évolution, dans ses échecs, ses progrès, ses doutes ou ses succès. Un projet c'est un objectif technique et physique, mais c'est surtout une équipe qui se bat pour l'atteindre et qui se grandit en s'en approchant difficultés après difficultés. Nous sommes riches de notre projet, mais plus encore des souvenirs vécus ensemble pour le mener à bien.

N. C.

Un outil intelligent contrôle l'hélium liquide

Autonome et d'utilisation simple, le nouveau « tiroir » de mesure de niveau d'hélium liquide à microcontrôleur développé par le groupe électronique du SIG se démarque des précédentes versions

Pourquoi contrôler le niveau d'hélium ?

L'hélium liquide est une denrée dont ne peut se passer aucun laboratoire utilisant les basses températures. Le DAPNIA n'y échappe pas, qui développe entre autres des cavités accélératrices ou des aimants supraconducteurs ainsi que des « cibles » cryogéniques qui ne doivent en aucun cas tomber en panne sèche d'hélium liquide. Il est donc primordial de

connaître à tout moment son niveau partout où il baigne les appareillages. On a donc besoin d'instruments pour jauger le niveau et faire le plein quand nécessaire.

Le SIG a une grande expérience dans les mesures concernant l'hélium liquide et, à ce jour, plus d'une centaine de tiroirs de mesure de niveau d'hélium (toutes versions confondues) équipe des laboratoires tant français qu'étrangers.

Cette nouvelle version entre de plain-pied dans l'instrumentation dite « intelligente », car le cœur de cet appareil est un microcontrôleur.

Comment ça marche ?

Un microcontrôleur se compose : d'une unité centrale de traitement capable de décoder et d'exécuter une instruction ; d'une mémoire programme contenant le programme à exécuter, d'une mémoire de données qui stocke les valeurs des différents calculs lors du déroulement du programme. Viennent ensuite des « ports » d'entrées/sorties servant à transmettre ou à recevoir des données, et enfin un circuit d'horloge synchronisant l'ensemble. Tous ces éléments sont réunis dans un unique boîtier.

Une fois le microcontrôleur conçu et réalisé, reste à développer le programme qui va faire « vivre » l'application.

Compte tenu de l'interaction logiciel/matériel/environnement, il est nécessaire d'avoir des outils de développement (tests et simulations).

Outils de développement

Deux types d'outils sont utilisés au SIG pour tester à la fois le logiciel et le matériel :

- le simulateur de programme *dScope*® permet de suivre sur un écran l'évolution du programme, et de contrôler les opérations sur les données ;

- une « sonde d'émulation » remplace le microcontrôleur : elle permet d'exécuter le programme en mode pas à pas. On peut suivre ainsi l'évolution des données et leurs actions sur l'environnement matériel.

Fonctionnement du système

Le microcontrôleur « cerveau » du tiroir de mesure, associé à son électronique, gère à la fois un affichage à cristaux liquides et quatre sondes de mesure. Il calcule des moyennes sur les mesures en tenant compte des longueurs de câblage, détecte des défauts. Il comprend un étalonnage automatique des sondes par « menu déroulant », affiche les valeurs d'étalonnage et la mesure en % du niveau présent, transmet le cas échéant sur le réseau FIP¹ de transmission des données l'état et la valeur de la mesure de chaque sonde. En outre, on peut personnaliser les messages affichés à l'écran (*photo*) en plusieurs langues (anglais, allemand, etc.), ce qui améliore l'ergonomie de l'appareil.

L'ensemble de ces opérations est réalisé par un seul microcontrôleur.

Une électronique classique aurait difficilement abouti au même résultat.

Le tiroir de base se compose de quatre cartes montées en « plug and play », technique qui facilite le montage des cartes. On propose en option deux autres cartes qui réalisent les fonctions de détection de

seuils et de communication avec le réseau FIP.

Le prototype est en test et les premiers appareils seront disponibles fin 1999. Le transfert technologique vers une PME qui commercialisera l'appareil, est en cours.

Yannick le Noa (SIG)

¹ Voir *ScintillationS* n° 27



Caractéristiques techniques

- 4 voies de mesure indépendantes
- Mesure 4 fils
- Détection défaut sonde
- Sorties analogiques 4-20 mA et 0-10V
- Etendue de mesure 10 à 1500 cm (sonde de 750 W/m)
- Accès au réseau FIP (n° de station programmable, protocole intégré)
- Étalonnage automatique des sondes
- Détection automatique des sondes raccordées, etc.

BRÈVES... BRÈVES... BRÈVES... BRÈVES...

Un dixième service au Daphnia : le SDA

En ces temps de mutation profonde de nos disciplines, des accélérateurs meurent ici, d'autres naissent là. Il se trouve que « là », c'est plutôt ailleurs, « ici », c'est plutôt chez nous.

Comme il n'y a pas de cimetières pour les vieux accélérateurs, il faut bien les dépecer sur place, récupérer ce qui peut l'être, démanteler le reste et nettoyer les lieux. Bref, il faut des

équipes compétentes en accélérateurs, en radioprotection, en vide, en électricité etc.

Tâche délicate dont va s'acquitter le nouveau *Service de Déclassement des Accélérateurs* (SDA) dirigé par François Damoy (ex DAPNIA/DIR), assisté de Jean-Marc Joly (ex SEA). Ce service regroupe quelques spécialistes de feu Saturne, feu l'ALS, feu le etc., mais aussi, et entre autres, des spécialistes du pont roulant pour déplacer les grosses pièces. Ce matériel est resté sur place et reprend du service.

Les ponts ne méritent pas le déclassement...

Joël Martin (SPhN, ex utilisateur de l'ALS)

Un article de Jean-Marc Joly présentera plus à fond le SDA dans le n° 43 de *ScintillationS*

A lire

Les textes du 4ème colloque « *Physique & Interrogations Fondamentales* » (PIF), du 13 mai 1998, parus chez EDP-Sciences, sont en vente dans bien des bonnes librairies sous le titre :

Symétrie et brisure de symétrie

Un des auteurs : Marc Lachièze-Rey (SAP).

Éditeurs : Gilles Cohen-Tannoudji et Yves Sacquin, que l'on retrouve dans le comité d'organisation du 5ème colloque « Physique & Interrogations Fondamentales » de la Société Française de Physique (<http://sfp.in2p3.fr/SFP>) qui se déroulera mercredi 27 octobre 1999 au Collège de France, amphithéâtre Marguerite de Navarre. Thème : « L'élémentaire et le complexe ».

Regrets

Au mois de mai, François Florès que beaucoup connaissent est décédé. *Scintillations* s'associe à la peine de ses proches en insérant ces quelques lignes destinées à saluer un collègue et ami :

« Adieu François !

Nous ne pouvons nous empêcher de penser à l'homme au grand cœur que tu étais : toujours à l'écoute, toujours prêt à rendre service. Toujours prêt aussi à faire plaisir : nous sommes nombreux à nous souvenir du Père Noël que tu acceptais de devenir pour quelques heures ! Mais François, qui des enfants ou de Toi étaient les plus émus ? Par ton comportement, le mot solidarité prenait tout son sens.

Tu donnais avec une chaleur dont toi seul avais le secret.

Tu savais nous faire partager coup de cœur, coup de gueule et émotions.

Dasvidania Tovaritch !

Tes collègues du DAPNIA

Va et Vient

Janvier 1999 – Chantal Meuris (STCM) est détachée à l'Éducation Nationale. Bernard Daillant (SEA), Jeanne-Paule Laugier (SIG) et Pierre Letonturier (SEA) s'en vont jouir d'une retraite joyeuse. Qu'ils en profitent bien et longtemps. Frédéric Lejars (STCM) démissionne. Bonne chance dans ses nouvelles activités.

Une avalanche de mutations internes dont personne n'est sorti fêlé a suivi la fermeture de Saturne et la création du Service de Déclassement des Accélérateurs (SDA) (voir « Brèves ») que dirige François Damoy (ex DAPNIA/DIR) assisté de Jean-Marc Joly (ex SEA). Sont donc muté(e) s de feu Saturne au nouveau SDA : André Biagini, Rémi Burgei, Daniel Calet, Paul-André Chamouard, Pierre Chappuis, Roberte Colin, Éric Corbet, Gérard Coulaud, Marc Dorlot, Jean-Claude Guerry, Françoise Haroutel, Jean Pierre Jacob*, Guy Leblanc, Jacques Mougeot, Jacques Neel, Simone Peresse, Georges Plateau, Hubert Tirel. Également mutés au SDA : André Frelat (SIG), Jean-Claude Launay (SEA), Alain Marcel

(SEA), Serge Simon (SEA) et José Soarès-Piheiro (SIG). Autres mutations : Yann Bedfer (LNS vers SPHN), Armelle Dumaye (DAM vers DIR), Jean-Marc Gheller (du LNS au STCM), Bruno Duboué (SED vers SIG), Christian Herviou (LNS vers SAP), Jean-Paul Jacquemin (UEGD au SDA), René Jouannis (LNS vers SEI), Franck Quatrehomme (du SAP au DAPNIA/DIR ; pour notre plus grand bien, Franck reste membre du comité de *ScintillationS*) et Armand Sinanna (du LNS au SEA). Bienvenue à toutes et à tous.

Février 1999 – Deux retraités ce mois : Daniel Monjanel (SEI, montres et librairie du « souk », mais Daniel ne proposait pas de pouf dans son sac) et Jean-Pierre Soirat (SEI). On leur souhaite une retraite éprouvante.

Un recrutement : Sandrine Cazaux, au STCM. Bienvenue là où on crie au génie et où, avec des aimants spatiaux, les jobs sont pleins de zèle.

Mars 1999 – Teresa Bolognese (SPP), une diva du DAPNIA est mutée à l'IPSN (Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire). Cette cantatrice dont on apprécie la troupe nous épargnera les pièges sans sûreté. Bernard Gallet (STCM) et Pierre Chappuis (SDA) partent en retraite et Claude Maillat (SEI) est muté à la DAM. Tous nos vœux de bonne continuation. Côté mutations internes : Christian Chauvin et Jacques Martin passent du SEA au SGPI. Bonne chance. Thierry Schild vient de Cadarache au STCM. La plus cordiale bienvenue, ainsi qu'aux recruté(e) s du mois : Nathalie Eyrard (SIG), Doris Neumann (SAP) et Michaël Carty (SGPI).

Avril 1999 – Quatre départs en retraite : Odette Harlingue (DIR), Jacques Neel (SDA), Georges Plateau (SDA) et Gérard Thétu — NDLR, pas vrai, Gégé ? — (SGPI). On vous la souhaite bonne et heureuse.

*Jean Pierre Jacob rejoint le Comité éditorial de *ScintillationS*. Merci, et la plus cordiale bienvenue !

Le gluon d'honneur

Il est décerné aux auteurs du livre « *La Terre et la Lune* », Nathalie Cabrol et Edmond Grin, ou l'on lit page 35 : «... la force de gravité existe partout et tout aussi bien compense l'effet de l'expansion de l'univers et relie entre elles les particules élémentaires. C'est la même attraction qui maintient les planètes en orbite autour du Soleil [...] et les électrons autour des atomes. »

C'est un petit chef-d'œuvre d'ignorance

de la physique. Les électrons ne sont pas liés à l'atome, mais à son noyau : l'atome, c'est l'ensemble noyau + électrons. Ce n'est pas précisément la force de gravité mais la force électromagnétique, 10^{39} (1 suivi de 39 zéros, une paille) fois plus forte que sa collègue, qui lie les électrons au noyau par le biais de leurs charges électriques de signes opposés.

On jurerait que ce livre qui fourmille de perles du même tonneau est paru avant la découverte de l'électricité. Hélas non : on le trouve depuis 1998 aux Presses Universitaires de France, dans la prestigieuse collection *Que sais-je ?* au prix de 46 francs (7,01 euros).

Un peu cher pour caler sa table de nuit.

Roland Lehoucq (SAP)

Pan sur le Becquerel

Ébloui par la lumière de l'illustration page 1 du n° 41, le correcteur de service n'a pas vu que l'aluminium de la légende avait perdu 20 nucléons, ce qui est beaucoup, même dans une supernova. Il fallait donc lire *l'aluminium 26* et non 6. Quelle légèreté !

D'autre part, un bogue lors de l'impression du même numéro a fâcheusement écrasé une NDLR, page 7, colonne 3, juste au dessus des brèves : «... mais il est possible qu'en lisant cela, Michel et Jacques hurlent une fois fini de bosser ! »

Le Rapport d'Activités DAPNIA 97-98 est enfin paru et distribué. Il comporte encore des coquilles. Les victimes sont invitées à se faire connaître, *Scintillation* n° 43 corrigera. Un *Pan!* dès ce n° 42 : Corinne Évesque (SEA) et Pascal Gros (SDA) ont été victimes d'un scandaleux ostracisme en n'étant pas sur la liste des gens du DAPNIA en dernière page du Rapport. Voilà cette injustice réparée avec toutes les excuses de l'équipe. Après Maurice et Michel Gros, voici Pascal. Le DAPNIA a aussi ses Troisgros. Bon appétit ! Il paraît qu'on boit mieux à treize...

CEA — DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Joël FELTESSE

COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole),

Claire ANTOINE, Pierre BORGEAUD, François BUGEON, Rémi CHIPAUX, Nathalie COLOMBEL,

Thierry FOGLIZZO, Elizabeth LOCCI, Marc PEY-

ROT, Franck QUATREHOMME, Yves SACQUIN,

Angèle SÉNÉ, Thierry STOLARCZYK,

Christian VEYSSIÈRE

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION : Maryline BESSON

MAQUETTE et MISE EN PAGE : Christine MARTEAU

CONTACT : Joël MARTIN

Tél. 0 69 08 73 88 – Fax : 0 69 08 75 84

E. mail : jmartin@cea.fr

<http://www-dapnia.cea.fr/Com/ScintillationS/>

Dépôt légal juin 1999

18!