



# Iluminar as interacções fortes

## O Programa Científico do JLab

ANTHONY W. THOMAS  
THOMAS JEFFERSON NATIONAL ACCELERATOR FACILITY,<sup>a</sup>  
E COLLEGE OF WILLIAM AND MARY<sup>b</sup>,  
AS ORIGENS E O FUTURO DO JLAB

A interacção electrofraca tem vantagens únicas para sondar a estrutura e a dinâmica da matéria que se forma por acção da força nuclear forte, a força entre os quarks que constituem os núcleos atómicos.

Historicamente, as experiências realizadas em ALS, HERA e SLAC tinham fornecido informação variada e rica sobre a estrutura do núcleo atómico, bem como dos seus constituintes, os nucleões. Com as suas características extraordinárias em termos de intensidade, polarização e rendimento do feixe, e os seus três grandes sectores<sup>1</sup> experimentais, capazes de operar a diferentes energias, até 6 GeV, o Jefferson Lab (ou JLab como é vulgarmente conhecido) foi o herdeiro natural dessas grandes instalações experimentais que o antecederam. Durante a última década, o JLab tem permitido realizar experiências importantes que



Vista aérea do JLab

awthomas@jlab.org

<sup>a</sup> Suite 1, 12000 Jefferson Ave., Newport News, VA 23606, EUA

<sup>b</sup> Williamsburg, VA 23187, EUA

<sup>1</sup> Áreas experimentais para onde o feixe é distribuído, e designadas por Experimental Halls, no original. Neste momento os Halls do Jlab são três: Halls A, B e C. Estes três sectores encontram-se por baixo das três manchas circulares de relva, visíveis na parte inferior da fotografia com a vista aérea das instalações do Jlab. (N.E.)

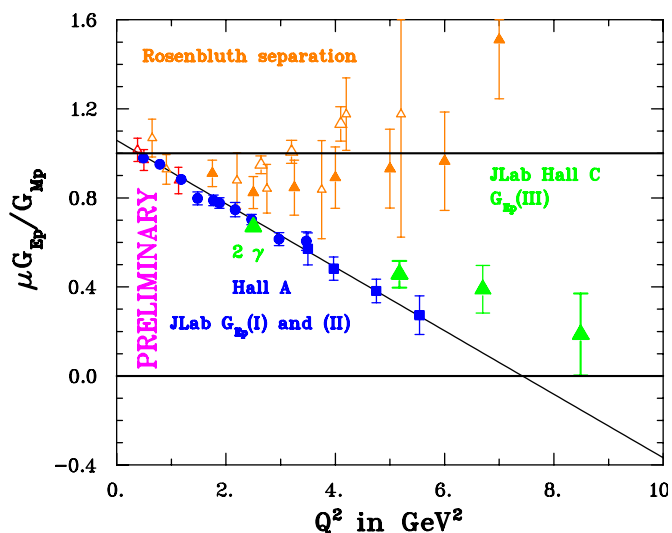


Figura 1 - Resultados recentes e preliminares do JLab (a verde) [2], em conjunto com outros resultados publicados antes [1] usando a técnica de recuo de polarização (a azul) e os resultados de SLAC que foram obtidos nos anos 80 através da separação dos factores de forma de Rosenbluth.

Os resultados preliminares apresentados surgiram mesmo durante a produção deste número, sendo assim, por especial cortesia do autor e da colaboração experimental, divulgados em primeira mão pela Gazeta de Física.

fizeram avançar significativamente a nossa compreensão da força nuclear forte. Muitas destas experiências exploraram a qualidade ímpar do feixe desenvolvido no JLab, e fizeram avançar consideravelmente a precisão com que testámos o modelo-padrão das interações electrofracas.

Nos próximos seis anos, o DOE nos Estados Unidos gastará mais de 300 milhões de dólares para duplicar a energia do acelerador do JLab, de 6 para 12 GeV, e acrescentar uma nova zona de utilização do feixe, através de um quarto sector experimental. Neste artigo descrevemos sucintamente os pontos mais relevantes do programa científico levado a cabo durante a última década no JLab. No final destacaremos por sua vez os aspectos principais do programa de liderança internacional que decorrerá do *upgrade* previsto e já aprovado para o acelerador do JLab.

### UM “BURACO” DE CARGA MESMO NO CENTRO DO PROTÃO

Os factores de forma eléctrico e magnético do nucleão são as funções que descrevem a distribuição da carga e da corrente eléctrica

desse sistema, produto directo da interacção forte. Como é natural, as distribuições da carga e do magnetismo dos nucleões medem-se obrigando os mesmos a interagir com campos electromagnéticos. No quadro da teoria de campo das interacções electromagnéticas, a medição de carga e magnetismo faz-se pois analisando o recuo dos nucleões (num alvo) devido à sua interacção com fótons emitidos por exemplo por electrões acelerados (num feixe).

Para o protão, os resultados iniciais do SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) sugeriram que as formas das distribuições da carga e do magnetismo eram aproximadamente iguais, numa grande região de energia e momento transferido no recuo dos nucleões. Contudo, a técnica experimental utilizada então para separar os dois factores de forma levanta, sabe-se agora, alguns problemas para momentos transferidos acima de 1 GeV<sup>2</sup>.

Em particular, os efeitos cinemáticos (grande momento transferido) na intensificação da contribuição magnética para a secção eficaz<sup>2</sup> implicam que, relativamente a essa contribuição, a do termo eléctrico é muito reduzida. Foi este efeito que induziu erros sistemáticos na determinação experimental realizada originalmente no SLAC nos anos oitenta, que na altura foram completamente ignorados.

Com as suas características notáveis, o feixe de electrões do JLab permitiu concretizar uma nova técnica de separação dos dois factores de forma, agora através não da secção eficaz total, mas da medição da razão entre as polarizações transversal e longitudinal do protão<sup>3</sup> emergentes da colisão deste com um feixe de electrões polarizado longitudinalmente [1], que, na prática, dá directamente a razão  $G_E/G_M$ . O resultado desta nova técnica está ilustrado na Fig. 1, onde se pode ver que o factor de forma  $G_E$  do protão é dramaticamente diferente do magnético  $G_M$ , decaindo rapidamente para zero, e mesmo muito provavelmente (dos dados experimentais preliminares). O impacto deste resultado extraordinário e nada esperado, é que a densidade de carga eléctrica no centro do protão é cerca de 30% mais pequena do que se pensava desde há 30 anos! A diferença relativamente ao antigo resultado do SLAC, sabe-se agora, reside no efeito de termos de troca de dois fótons, que afectam muito mais decisivamente as medições Rosenbluth originalmente efectuadas, do que as novas medições do JLab sobre o recuo dos protões com feixes polarizados [3].

### A “ESTRANHEZA” DO PROTÃO

Assim como nas reacções químicas usuais os átomos participam apenas através dos seus electrões de valência, externos, também no protão em muitas reacções nucleares apenas são actores os quarks u e d<sup>4</sup>, os mais leves da natureza e que dominam na matéria em condições normais. No entanto, no interior bem profundo do protão a teoria da relatividade permite a criação de pares virtuais de quarks s e  $\bar{s}$  barra (par partícula-anti-partícula) mais pesados, e com uma propriedade quântica especial, a que chamamos estranheza. Determinar as contribuições destes pares virtuais nas interacções dos protões com campos, e entender até que ponto as podemos compreender através da teoria fundamental das interacções fortes, a Cromodinâmica Quântica<sup>5</sup>, é um desafio, com uma importância

<sup>2</sup> Secção eficaz é um conceito que traduz quantitativamente a probabilidade de ocorrência de uma reacção. Experimentalmente, a secção eficaz é determinada pelo número de partículas emergentes de uma reacção, normalizado ao fluxo do feixe incidente, isto é, ou número de partículas incidentes por unidade de tempo e de área. (N. E.)

<sup>3</sup> As duas polarizações correspondem ao spin do protão estar perpendicular ou paralelo a uma dada direcção (N. E.).

<sup>4</sup> Quarks u e d correspondem a uma propriedade, que se chama sabor, diferente. Outros sabores correspondem aos quarks s, c, t, b. Há pois seis sabores, correspondente a seis famílias diferentes de quarks. (N. E.)

<sup>5</sup> QCD, *Quantum Chromodynamics, no original* (N. E.)

## NOVOS PIONEIROS

Foi em circunstâncias bem simbólicas do sonho americano que, no princípio da última década do século XX, o Thomas Jefferson Laboratory, mais conhecido por JLab, entrou em funcionamento. Apesar da proposta do MIT para construir o laboratório em Massachusetts, a comissão avaliadora do Departamento de Energia (DOE, Department of Energy) nos Estados Unidos tomou uma decisão inesperada: optou antes pela ousadia da proposta de um consórcio de universidades do sudeste do país, que pretendia romper com a tecnologia de aceleradores tradicional nos anos oitenta, e propunha tecnologia baseada em supercondutores. O laboratório acabou por nascer, não em Massachusetts, mas perto da região histórica do *James River*, na Virgínia – mesmo onde tinham desembarcado os primeiros colonos ingleses.

Coincidência ou não, a missão do JLab trazia o sonho, a oportunidade, a dificuldade e os riscos próprios do pioneirismo. Tratava-se de produzir um novo tipo de sonda electromagnética, para iluminar eficazmente o interior dos núcleos atómicos.

A missão era, de certa forma, viajar até ao mundo das interações fortes que dão forma ao núcleo atómico e perceber a intensidade da força gigantesca que liga os quarks. O protagonista central do JLab (e dos núcleos atómicos) seria o prótão. Sendo o núcleo do átomo de hidrogénio, é contudo cerca de cem mil vezes mais pequeno que esse átomo. O objectivo era observar o seu interior, sem a confusão de um *debris* imenso de outras partículas que seriam produzidas nesse processo.

O que tornou o JLab tão extraordinário é ter sido baseado num acelerador de electrões, conhecido por *Continuous Electron Beam Accelerator Facility* (CEBAF). Este acelerador resultou do desenvolvimento pioneiro de um laser de electrões livres, de comprimento de onda ajustável – através de cavidades electromagnéticas supercondutoras e ressonantes, que arrastam os electrões tal como uma onda de surf transporta um surfista. Só assim os feixes adquirem uma luminosidade suficientemente intensa para permitir estudar acontecimentos provocados pela interacção electrofraca, que por ser muito fraca produz reacções a taxas muito baixas.

No que diz respeito à física, as instalações do JLab são únicas no mundo para explorar as interacções electrofracas, e desvendar com grande precisão as propriedades da matéria à escala de energias de milhares de milhões de electrão-Volt (GeV). Na Europa teremos de esperar pela expansão do GSI, em Darmstad (Alemanha), planeada no projecto FAIR, para que se disponha de uma ferramenta complementar promissora como o CEBAF – mas desta vez à base de feixes de anti-prótões, e para analisar os gluões (a cola dos quarks) em muito detalhe.

Ao fim de uma década o JLab teve sucesso. Permitiu ver a estrutura do prótão, com detalhes bem surpreendentes, como o do vazio de carga eléctrica no seu centro (o que não era expectável), e mediu pela primeira vez correlações de alcance mais curto que o raio do prótão. As correlações de curto alcance dentro dos núcleos atómicos nunca tinham sido medidas antes, e foram publicadas na revista *Science* em 2008 [1]. O JLab, segundo o plano quinquenal ou *Long-Range Plan* de 2007 [2] tornou-se assim uma instituição-bandeira dos EU, preparando-se para o seu terceiro *upgrade* de energia, e o grande projecto Gluex (em português será o “Colax”, a grande cola subjacente à matéria).

## A FÍSICA E A ECONOMIA

O JLab distinguiu-se desde a primeira hora pelo carácter especial das suas instalações. Mas, como acontece tantas vezes quando se aglomeram cientistas em torno de um problema, as repercursões do JLab não se limitaram à física e ao conhecimento do núcleo atómico, o seu objectivo principal. As aplicações e *spin-offs* industriais



e militares multiplicaram-se, tendo-se gerado um centro tecnológico associado. Em uma década, o JLab revitalizou a economia de uma região adormecida à sombra do passado. Quando o laboratório foi criado, a zona reduzia-se ao museu-vivo propagandeado em guias turísticos, Williamsburg, onde aos domingos os locais atraíam os turistas vestindo-se como os primeiros *settlers*, e vendiam cidra em imitações pitorescas de mercados do século XVIII. Existia já com sólidas raízes um *college* histórico, bem cotado nos *rankings*, o *College of William and Mary*, com grande reputação nas artes dramáticas (onde ser formou Glenn Close por exemplo) e alguma na Ciência. Mas a multiplicação do emprego, estradas, centros urbanos e hotéis, livrarias e cinemas, a que assisti em cada visita ao JLab, de ano para ano, deu-se a uma aceleração espantosa. A presença de um laboratório de física transbordou na fluidez da riqueza e crescimento económico. Nunca tive prova mais vívida de que a ciência fundamental não é (nunca foi!) um clube marginal de iniciados. Nem um sorvedouro de dinheiros públicos a fundo perdido.

Neste artigo, o *Chief Scientist* e líder do grupo teórico do JLab responde ao convite da Gazeta de Física para relatar algumas das maiores descobertas realizadas neste laboratório durante apenas uma década. O artigo abre ainda uma perspectiva sobre as novas oportunidades oferecidas pelo *upgrade* do acelerador.

[1] R. Subedi et al., *Science* 320, 1476 (2008).

[2] “The Frontiers of Nuclear Science, A long range plan”, Nuclear Science Advisory Committee (NSAC), Department of Energy, December 2007. <http://www.sc.doe.gov/np/nsac/nsac.html>

Teresa Peña

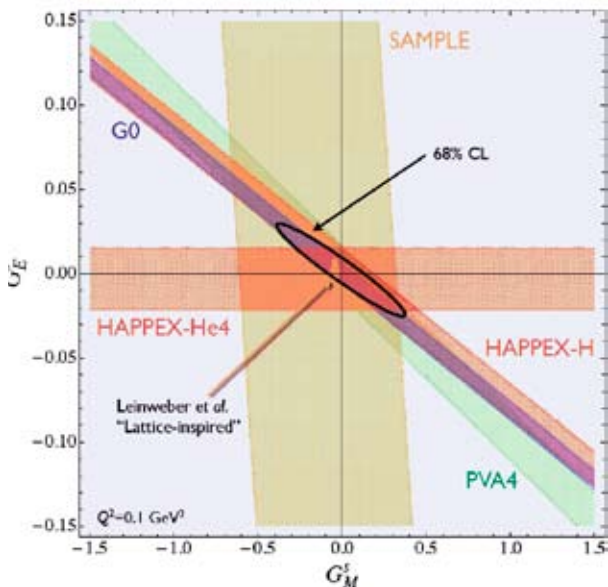


Figura 2 - Constangimento (68% CL) à contribuição do quark  $s$  para os factores de forma eléctrico e magnético do protão (a  $Q^2 = 0.1 \text{ GeV}^2$ ) obtida por análise global dos dados de PVES [5,6] e comparação com o estado-da-arte dos cálculos de QCD na rede (elipse) [7].

análoga ao efeito de desvio de Lamb do átomo de hidrogénio que deu o Prémio Nobel ao físico que o descobriu, e que corresponde ao efeito da produção de pares electrão-positrão no átomo de hidrogénio.

Experimentalmente, a determinação da contribuição dos quarks estranhos para os factores de forma eléctricos e magnéticos assenta na simetria de carga para relacionar os elementos de matriz do quark  $u$  ( $d$ ) no protão, sistema  $uud$ , com os elementos de matriz do quark  $d$  ( $u$ ) no neutrão, sistema  $ddu$ . A determinação experimental usa ainda um terceiro constangimento, medindo a violação de paridade na dispersão de electrões (PVES, do inglês *Parity Violation Electron Scattering*) que envolve uma combinação linear diferente das correntes ligadas aos quarks  $u$ ,  $d$  e  $s$ . Os dados experimentais sobre PVES disponíveis hoje são dominados pelos resultados das experiências G0 e Hapex do Jlab [4], com algumas contribuições importantes de MIT-Bates e Mainz.

A Fig. 2 mostra os resultados da análise completa de todos os dados experimentais existentes para as componentes da “estranheza” (dos pares  $s\bar{s}$ ) para os factores de forma eléctrico e magnético do protão para um momento transferido de  $Q^2 = 0.1 \text{ GeV}^2$  [5,6] (seguindo a convenção usual, a carga do quark  $s$  foi removida). Ao contrário de expectativas anteriores, a contribuição da estranheza é bastante pequena, gerando menos de 5% do momento magnético e do raio da carga eléctrica do protão. Este resultado experimental está em excelente acordo com as determinações mais recentes, obtidas a partir de simulações de QCD numa rede discreta do espaço-tempo [7], indicada pela elipse na Fig. 2. Esta determinação teórica é um exemplo único na física das interações fortes, pois é uma ordem de grandeza mais precisa que o estado-da-arte da medição correspondente, para o qual, de resto infelizmente, não existe no momento presente

um método alternativo capaz de conduzir a resultados mais precisos.

## O PAPEL DOS GLUÕES NO MISTÉRIO DO SPIN DO PROTÃO

Enquanto o grande foco da determinação do spin dos núcleos que é devido aos gluões dentro do protão,  $\Delta_G$ , tem sido sobre medições directas de hadrões com grande momento transversal  $p_T$  (experiências de Hermes e COM-PASS), e piões  $\pi^0$  ou produção de jactos produzidos em colisões  $p-p$ , entre dois protões polarizados (experiências levadas a cabo no RHIC) as experiências no JLab duplicaram os dados experimentais disponíveis sobre a função de estrutura de polarização do protão, designada na literatura por  $g_1^p$  [8]. Uma análise recente [9] destes dados conduziu a sérios constangimentos sobre  $\Delta_G$ , impondo, nomeadamente, que fosse menor que 0.3 a  $1 \text{ GeV}^2$ .

Estes resultados evidenciam que os gluões polarizados não são decisivos para resolver o famoso problema que é conhecido por “crise de spin”: o spin dos quarks não explica o spin total do protão. Parece hoje provável que, em vez de ter origem nos gluões, grande parte do spin do protão é devido ao momento angular orbital de pares quark-antiquark dentro do protão. Para devidamente se determinar o momento angular orbital correspondente aos quarks, as experiências mais adequadas são as de dispersão de Compton (choque elástico de nucleões com fotões) profundamente virtual, designada por DVCS, do inglês *Deeply Virtual Compton Scattering*. A exploração de DVCS para extrair informação quantitativa sobre o movimento orbital relativo dos quarks está ainda a dar os seus primeiros passos. É já no entanto encorajador que uma análise dos dados recentes de HERMES (para o protão) e do JLab (para o neutrão) concorde com a distribuição para o momento angular do sabor dos quarks determinada nas simulações recentes de QCD numa rede discreta de espaço-tempo, bem como o modelo de Myhrer e Thomas que explica a “crise de spin”.

## COMO SE EMPARELHAM NUCLEÕES VIZINHOS?

Durante mais de 30 anos os físicos nucleares enfrentaram o desafio de explicar os baixos factores espectroscópicos observados ao longo da tabela periódica. As causas potenciais apontadas usualmente incluíam os graus de liberdade da excitação do nucleão, que se designa por ressonância  $\Delta$ , o core da interacção nucleão-nucleão devido à troca de pares quark-antiquark e, por último a chamada força tensorial. Dados experimentais recentes [10] de reacções de dispersão de electrões em núcleos leves, como o  $^{12}\text{C}$ , acompanhadas da emissão de um par de nucleões com baixo momento relativo e assim significativamente correlacionados – reacções abreviadamente representadas por  $e(e', NN)$  – evidenciaram com clareza que com um momento linear relativo da ordem de  $500 \text{ MeV}/c$  o número de pares  $pn$  (protão+neutrão) emitidos é uma ordem de grandeza superior ao número de pares  $pp$  (dois protões). Como por exigência de simetria de troca entre os dois protões, isto é, do Princípio de Exclusão de Pauli, a força tensorial entre dois protões é nula<sup>6</sup>, os resultados experimentais evidenciaram fortemente que é a força tensorial que causa o efeito dominante, eliminando o peso das outras causas usualmente apontadas para as correlações de curto alcance.

<sup>6</sup> Em consequência do princípio de Pauli os dois protões estão obrigatoriamente no estado de spin total  $S=0$ , com spins antiparalelos, o que implica que a força tensorial se anule (NE).

## OS PROTÕES EMPARELHAM-SE MAIS COM OS NEUTRÕES QUE ENTRE SI

Há anos que as correlações entre nucleões a distâncias extremamente curtas, biliões de vezes mais pequenas que 1mm, têm vindo a ser imaginadas em modelos teóricos. Uns modelos explicam-nas pela troca de quarks entre nucleões diferentes, outros pelos estados excitados ou ressonâncias dos nucleões provocados pelas densidades inimaginavelmente grandes do interior dos núcleos atômicos --- da ordem de décimas do bilião de toneladas por  $\text{dm}^3$ . Foi em 2008 que no JLab, pela primeira vez, se observou e mediu a prevalência de pares próton-neutrão sobre pares

próton-próton (ou neutrão-neutrão) nos núcleos. Esta prevalência está na origem da organização da tabela periódica e tem implicações na compreensão de sistemas nucleares muito frios e densos, como as estrelas de neutrões. Os resultados obtidos excluíram cenários de explicações teóricas possíveis para as correlações entre nucleões quando estes se aproximam muito uns dos outros. O cenário tradicional da força de tipo tensorial, que faz intervir simultaneamente a posição da matéria no espaço e a sua propriedade quântica de spin, passou o teste experimental.

Teresa Peña

## MODIFICAÇÕES NO MEIO HADRÓNICO

Dado que a teoria fundamental das interações fortes é a QCD, e desse ponto de vista os núcleos atômicos são simplesmente funções próprias do Hamiltoniano de QCD com número bariónico diferente, torna-se essencial perguntar qual é o papel explícito dos graus de liberdade dos quarks e dos gluões, na determinação das propriedades dos núcleos. Que eles *desempenham* um papel fundamental ficou claro já há 20 anos, com a descoberta do efeito nuclear designado por EMC, que demonstrou uma diferença significativa entre a estrutura de quarks de valência de um nucleão livre e a de um nucleão ligado, preso num meio nuclear (núcleo finito ou matéria nuclear, esta infinita ou praticamente sem fronteiras).

A técnica de recuo de polarização descrita no início deste artigo na discussão sobre a determinação do quociente  $G_E/G_M$  para o próton livre foi explorada por Strauch et al., em sequência do trabalho pioneiro realizado em Mainz para determinar  $G_E/G_M$  para o próton ligado no núcleo de  $^4\text{He}$ . As modificações subtis que surgiram são consistentes com as modificações previstas no quadro do modelo de acoplamento entre quarks e mesões, no qual as modificações pelo meio na estrutura do nucleão também explicam o efeito EMC [11]. Os resultados finais do JLab, com erros sistemáticos e estatísticos muito mais pequenos serão publicados brevemente. Estes novos resultados também vão fornecer testes decisivos a propostas alternativas que expliquem os novos dados em termos de interações bastante fortes no estado final.

## PARA LÁ DO MODELO PADRÃO

Ao longo dos anos foi sendo reconhecido que medidas precisas dos parâmetros do Modelo Padrão a baixas energias podem ser usadas para testar nova física a energias muito mais altas, mesmo fora do alcance dos maiores aceleradores de partículas.

Enquanto a determinação das contribuições do quark s para os factores de forma eléctricos e magnéticos usou os valores do Modelo Padrão para os acoplamentos efetivos electrão-quark que violam a paridade,  $C_{1u}$  and  $C_{1d}$ , a qualidade dos dados experimentais é tal que pode ser usada [6], em combinação com as medidas extremamente precisas sobre a violação de paridade no Cs, para aumentar de um factor de 5 a precisão com que  $C_{1u}$  and  $C_{1d}$  são conhecidos (ver a Fig. 3). Por sua vez, este conhecimento aumenta o limite inferior da massa associada à possibilidade de nova física para além do Modelo Padrão, para 0.9 TeV (de 0.4 baseado nos dados experimentais de violação da paridade existentes). Nos próximos anos, antes do *shut-down* para implementação do *upgrade*, a colaboração  $Q_{\text{weak}}$

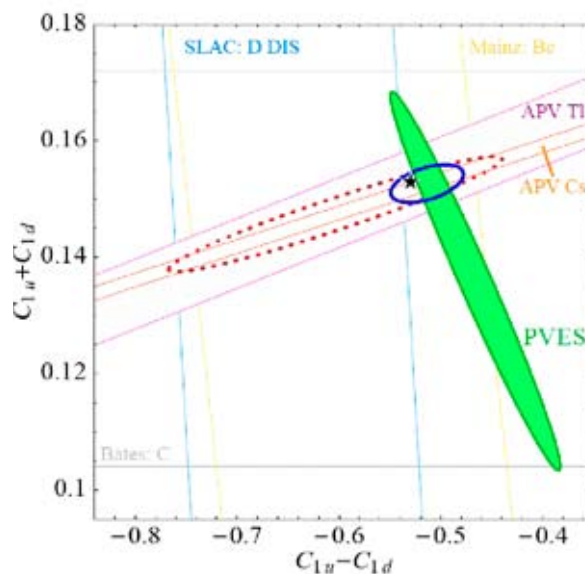


Figura 3 - Constrainimentos nos parâmetros do modelo padrão  $C_{1u}$  and  $C_{1d}$  extraídos da análise global dos resultados de PVES [6], dominados por Hapex and G0 no JLab, em conjunto com as medidas de violação da paridade no Cs. O factor de 5 de melhoria da precisão está indicado pela elipse azul comparada com a elipse obtida sem os dados de PVES.

tem como objectivo colectar dados que devem aumentar esta precisão de mais um factor de 5, conduzindo ao limite correspondente para o limite da massa para nova física para 2 TeV ou mais. Estes resultados constituem uma contribuição significativa para a procura a nível mundial do já muito antecipado novo paradigma da física, para lá do Modelo Padrão.

## O UPGRADE PARA 12 GEV E A MATÉRIA EXÓTICA

Em Maio de 2012 o presente programa experimental parará, para que se inicie o *upgrade* do actual acelerador para 12 GeV. Feixes independentes de 11 GeV serão levados aos três sectores experimentais A, B e C existentes, e um feixe de 12 GeV chegará ao novo sector D, onde terá lugar a experiência Gluex.

Este ultimo está especialmente planeado para permitir uma análise detalhada dos múltiplos estados mesónicos<sup>7</sup> e assim permitir mapear a existência das propriedades dos mesões de massa entre 1.5 e 2.6 GeV, usando fotoprodução. Em

<sup>7</sup> Enquanto o próton ( e todas as partículas da família designada por bariões, por serem mais pesados) têm números quânticos correspondentes aos da soma de três quarks, os mesões correspondem a um par quark-antiquark ( apresentando massas intermédias entre os leptões, como o electrão ou o muão, e os bariões) (N. E.)

particular, o nosso conhecimento actual de QCD sugere que se devem encontrar 3 multipletos de mesões “exóticos” nessa região de massa – isto é, mesões com números quânticos só possíveis se na sua estrutura existir explicitamente *glue*, a “cola” que corresponde nas interacções fortes aos fotões da interacção electromagnética<sup>8</sup>. A existência destes mesões promete olhar profundamente para a natureza do confinamento de quarks, um dos desafios mais fundamentais de QCD e de toda a física.

Para lá do estudo dos mesões exóticos, e da natureza do confinamento, o *upgrade* vai proporcionar uma capacidade notável para explorar a estrutura de valência dos nucleões e dos núcleos. Por exemplo, depois de mais de 30 anos de experiências sobre dispersão profundamente inelástica de electrões, ainda não conhecemos a distribuição de partões ( e do momento linear) dos quarks d na região de valência dos núcleos. A distribuição relativa de spin pelos quarks u e d é também desconhecida para lá do valor 0.4 da variável de Bjorken-x, que mede a fracção de momento transmitido pelo fotão ao quark, e vai ser medida com grande precisão depois do *upgrade*.

Tendo em vista a discussão anterior sobre o problema do spin do protão e a importância do momento angular dos quarks, o estudo de DVCS a 12 GeV abre quase toda a região de valência (até  $x \sim 0.7$ ). Nos primeiros 5 anos de operação a 12 GeV, esperamos desenvolver uma compreensão do processo de DVCS e fazer a sua interpretação. Vai ser possível usar esse processo e o correspondente em que mesões vectoriais são emitidos, como um instrumento para determinar o momento angular total transportado por cada quark individual. Este estudo oferece a possibilidade fascinante de extrair imagens tomográficas a 3 dimensões do nucleão, em que se vê a distribuição de momento longitudinal em função da posição transversal do quark

atingido pelo fotão.

Com as suas capacidades para explorar a região de valência, depois do *upgrade* para 12 GeV, o JLab será ideal para estudar o efeito chamado EMC: Há sugestões de que as modificações à estrutura do spin do protão no meio nuclear possam ser duplicadas relativamente às modificações do caso não-polarizado. Se se confirmar esta hipótese, haverá evidência directa de que a modificação da estrutura no nucleão num meio é realizada através de um campo médio escalar existente nos núcleos. Pode-se então explorar as componentes iso-vectoriais do efeito EMC, e talvez as mudanças associadas modelos em camada individuais. Num nível ainda mais ambicioso, estes estudos podem obter informação totalmente nova sobre o papel do quark e dos gluões na estrutura nuclear, que só agora começou a ser investigado experimentalmente.

Já mencionámos como estudos de PVES a 6 GeV levam a novos e importantes constrangimentos na física para lá do Modelo Padrão, o que estimulou pensarmos no *upgrade* para 12 GeV. Existe já a proposta para medir  $\sin^2\theta_W$  na dispersão de Moller a um nível de precisão que testa a evolução da massa do Z ao nível  $7\sigma$ . Outra proposta para estudar dispersão inelástica profunda irá melhorar dramaticamente o nosso conhecimento sobre  $C_{2u}$  and  $C_{2d}$ , fornecendo ainda outro importante e independente teste ao Modelo Padrão.

Descrevemos assim brevemente as grandes linhas do programa científico do JLab na última década e algumas das ideias-chave que motivam o seu *upgrade* para 16 GeV que se encontra já em plena preparação. Contudo, não temos dúvidas, porque em ciência o inesperado tem um valor incalculável, pode acontecer que nos próximos vinte anos do Jlab se gere física importante, mas que não é nada do que foi aqui descrito. Se assim acontecer, será um bom sinal para a física! O JLab lança aqui um convite sincero para participarem no projecto a todos os que tenham uma boa ideia a explorar.

<sup>8</sup> Assim como os fotões servem de intermediários na força entre cargas, os “gluões” servem de intermediários entre na força entre as cargas da interacção forte. (N. E.)

#### Referências

- |   |   |   |
|---|---|---|
| [1] V. Punjabi et al., Phys. Rev. C71, 055202 (2005).         | 032301 (2007); D. S. Armstrong et al., Phys. Rev. Lett. 95, 092001 (2005).                          | [8] V. Dharmawardane et al., Phys. Lett. B641, 11 (2006). |
| [2] C. Perdrisat, apresentação em PANIC 08 (para publicação). | [5] R. D. Young et al., Phys. Rev. Lett. 97, 102002 (2006)  | [9] E. Leader et al., Phys. Rev. D75, 074027 (2007).      |
| [3] P. G. Blunden et al., Phys. Rev. Lett. 91, 142304 (2003). | [6] R. D. Young et al., Phys. Rev. Lett. 99, 122003 (2007)  | [10] R. Subedi et al., Science 320, 1476 (2008).          |
| [4] A. Acha et al., Phys. Rev. Lett. 98,                      | [7] D. B. Leinweber et al., Phys. Rev. Lett. 97, 022001 (2006); Phys. Rev. Lett. 94, 212001 (2005). | [11] S. Malache et al., AIPCP 1056, 141 (2008).           |

**ANTHONY W. THOMAS** é actualmente *Chief Scientist e Associate Director* para Física Teórica e Computacional no Jefferson Laboratory. Doutorado em 1973 pela Universidade de Flinders, a sua carreira continuou na Universidade de British Columbia, e depois nas posições permanentes que obteve no TRIUMF e no CERN, antes de regressar à Austrália em 1984, onde na Universidade de Adelaide foi *Associate Dean* e eleito para o *University Council* de 1991 a 1997. Foi secretário da Comissão C12 (Física Nuclear) da IUPAP de 1996 a 2002. Desde 2005, preside ao IUPAP *Working Group on International Cooperation in Nuclear Physics*. De 2006 a 2008 serviu no grupo *OECD Global Science Working Group on Nuclear Physics*. É *Fellow* da Academia Australiana de Ciências desde 1990 e serviu como Presidente do Instituto Australiano de Física de 1991 a 1993. Foi eleito *Fellow* da Sociedade Americana de Física em 1987 e do Institute of Physics (IoP) no Reino Unido em 1996. Recebeu as medalhas Harrie Massey Medal (IoP) em 2000, Thomas Ranken Lyle Medal (AAS) em 1997, Walter Boas Medal (AIP) em 1987, e o prémio de investigação da Fundação Alexander von Humboldt em 1992.

