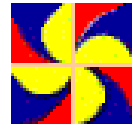




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



A Estatística na Física Revisitada [Massa dos Núcleons (Prótons e Nêutrons)]: Parte 2.

Dando continuidade ao verbete anterior, vejamos qual a estatística envolvendo a $m_{p/n}$. Ora, como o **próton** (p) é formado por dois **quarks** (u) e um (d), considerando-se as massas desses **quarks**, teremos que: $m_p = 2 m_u + m_d = 2 \times 5 \text{ MeV} + 10 \text{ MeV} = 20 \text{ MeV}$. Contudo, vimos acima que: $m_p \approx 938 \text{ MeV}$ (então: $20/938 \approx 0,0213$). Por sua vez, para o **nêutron** (udd), resulta: $m_n = m_u + 2 m_d = 5 \text{ MeV} + 2 \times 10 \text{ MeV} = 25 \text{ MeV}$. Porém, sabemos que: $m_n \approx 939 \text{ MeV}$ (então: $20/938 \approx 0,0266$). Desse modo, os **quarks** só colaboram com aproximadamente 2% da $m_{p/n}$. Surge então a pergunta: e os $\approx 98\%$ de onde saem? A resposta seria então que ela decorre da massa dos **glúons** (m_g) que ligam esses **quarks**. Mas, como $m_g = 0$, então, como sair desse impasse?. Os físicos, então, usaram o mesmo artifício empregado para explicar alguns fatos físicos “estranhos”: “*Vestiram-no*”, assumindo **massa efetiva para ele!** Vejamos quais foram esses fatos. [José Tito Mendonça, **Uma Biografia da Luz** (Livraria da Física, 2015); Rolf Ent, Thomas Ullrich e Raju Venugopalan, **A Cola Que Nos Une** (*Scientific American Brasil* **157**, p. 48, julho de 2015)].

Em 1929, os norte-americanos, o físico e químico Irving Langmuir (1881-1957; PNQ, 1932) e o físico Lewi Tonks (1879-1941) introduziram o conceito de **plasma** para representar um gás altamente ionizado, ou seja, um gás formado por íons (átomos que perdem ou recebem elétrons) e, sendo móvel, pelo menos um dos tipos de íons. Todavia, para ionizar os átomos é necessário usar alta energia, geralmente com **fótons** bastantes “quentes”. Com o desenvolvimento da Astrofísica (a partir da TBB), observou-se que as estrelas [não-girantes e girantes (*pulsares*)] são formadas de um **plasma quente**, decorrente de uma **fusão termonuclear** (descontrolada) de **prótons** (o famoso **ciclo próton-próton**),

segundo foi proposto, em 1938, pelos físicos norte-americanos Hans Albrecht Bethe (1906-2005; PNF, 1967) (de origem alemã) e Charles Louis Critchfield (1910-1994). Em 1950, os físicos russos Andrey Dmitriyevich Sakharov (1921-1989; PNPaz, 1975) e Igor Yevgenyevich Tamm (1895-1971; PNF, 1958), apresentaram a ideia da construção de um reator de **fusão termonuclear** (controlada), inicialmente conhecido como **Tokomag**, uma combinação das palavras russas: **toko**, que significa corrente elétrica, e de **mag** (de **magnit**: campo magnético). Essa ideia foi desenvolvida por vários físicos russos, em experiências iniciadas no final de 1957, cujos resultados foram apresentados na *Segunda Conferência de Átomos para a Paz*, ocorrida em Genebra, em outubro de 1958, com o título de **Estabilidade e Esquentamento de Plasmas em Câmaras Toroidais**. Tais experiências foram realizadas com a máquina denominada de **Tokamak** (T-1) [*Toroidal'naya Kamera s Magnitnaymikatushkami* (“Câmara Toroidal e Bobina Magnética”)]. Nesse equipamento, o **plasma** [circulando em um anel de raio (R) e secção reta (a)] é confinado por um campo magnético (de intensidade H) produzido por uma bobina toroidal e mantido sob a pressão de algumas atmosferas. Por fim, a invenção do **laser** (*light amplification by stimulated emission radiation*), em 1960, pelo físico norte-americano Theodore Harold Maiman (1927-2007), também foi possível produzir **plasma** em laboratórios.

A existência do **plasma** (celeste e terrestre) permitiu estudar a passagem de **fótons** [partículas decorrentes da vibração de uma onda eletromagnética, composta de um campo elétrico (E) e de um campo magnético (H), que vibram em planos perpendiculares] por aquele meio. Contudo, no vácuo ou em meios constituídos de átomos neutros (ar, vidro, água etc.), o **fóton** (γ) se apresenta “nu” (“massa” e “carga” nulas) e com $spin = 1$ (por isso ele é um **bóson**), devido ao fenômeno da **polarização** (orientação das vibrações transversais de E e H), segundo a *Eletrodinâmica Quântica* (“Quantum Electrodynamics” – QED, desenvolvida a partir de 1927, pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933).

Para o caso de um **plasma** constituído de um gás de partículas carregadas (íons e elétrons livres), a oscilação dos elétrons livres relativamente aos íons fixos, define uma **frequência de plasma** (v_p) que é função do número (n) desses elétrons, sendo estes caracterizados pela massa (m_e) e a carga (e) [Charles Kittel, **Introduction to Solid State Physics** (John Wiley and Sons, Incorporation, 1971)]. Quando um **fóton** de uma determinada frequência (v_f) incide em um **plasma**, ele pode ser refletido (se $v_f < v_p$) ou refratado (se $v_f > v_p$). Todavia, quando ele refrata, ou seja, penetra no **plasma**, o campo elétrico (E_f) do **fóton** faz oscilar os elétrons livres do **plasma** e, portanto, esses elétrons radiam “ondas secundárias” [devido à *radiação de Larmor*, proposta pelo físico inglês, Sir Joseph J. Larmor (1857-1942), em 1897] e que se sobrepõem à onda inicial, constituindo uma “onda de densidade de carga”, cuja quantização recebeu o nome de **plasmon** [cunhado, inicialmente, pelos físicos norte-americanos David Pines (n.1924) e David Joseph Bohm (1917-1992), em 1952]. Os “fótons” **plasmons**, contudo, são longitudinais e tem spin = 0 (ainda **bóson**) e, para explicar sua passagem no **plasma** foi-lhe atribuída uma **massa efetiva** [conceito este proposto pelo físico norte-americano Philip Warren Anderson (n.1923; PNF, 1977), em 1962, em seu estudo sobre a Matéria Condensada], pois sendo sua velocidade um pouco menor do que c , ele precisa dessa “massa” para se movimentar, funcionando como uma “vestimenta” para esse tipo de “fóton” (**plasmon**), chamado então de “fóton vestido”. É interessante destacar que o **plasmon** existe também em materiais condutores e em semicondutores, que são considerados gases de “elétrons livres” (naturais e decorrentes de “dopagem”), respectivamente (ver verbete nesta série; Mendonça, op. cit.).

Para concluir este verbete, tentemos uma explicação para os 92% restantes da $m_{p/n}$. Segundo Ent, Ulrich e Venugopalan (op. cit.), quando **núcleons** (p e n) se chocam em velocidades extremas, seus **glúons** (g) se dividem em pares de novos g , cada um com energia ligeiramente menor do que a de seus antecessores e, assim, sucessivamente. Porém, segundo os físicos acreditam, essa formação não é “*ad aeternum*”, e ela estaciona (por algum aviso da Natureza?!) em um “estado saturado de glúons”. Além do mais, várias formas de matéria também podem ser

produzidas devido a colisões entre íons ultra-pesados em velocidades ultra-relativísticas. Dentre elas, temos: **quark-gluon plasma** (QGP) (“plasma de quark-glúon”); **color glass condensate** (“condensado de vidro de cor”), **glasma**; e **quarkyonic matter** (“matéria quarkiônica”) [ver Biografia do físico norte-americano Larry Dean McLerran (n.1949), na Wikipédia], estados esses que, basicamente, são constituídos por **quarks** e **anti-quarks** imersos em uma nuvem de **glúons** com velocidades ultra-relativísticas.

Desse modo, para completar a $m_{p/n}$, esses **glúons** devem ser “vestidos” [e muito bem “vestidos”, à maneira das “excitações elementares” usadas na Física (p.e.: **plasmon**)] com uma “**massa efetiva gluônica** – $m_{g/p}$ ” para juntarem dois **quarks** u e um **quark** d para formar o **próton**, e outra “**massa efetiva gluônica** – $m_{g/n}$ ” (ligeiramente maior do que a $m_{g/p}$) para unirem dois **quarks** d e um **quark** u e resultar no **nêutron**, justificando assim a diferença de massa (≈ 1 MeV) [que será decorrente de um **quark** (p) ser carregado e o outro (n) não?] entre esses dois **núcleons**. É interessante observar que Ent, Ulrich e Venugopalan (op. cit.), sugerem que um mapeamento completo da posição, velocidade e spin de **glúons** e **quarks** (realizado por um futuro “**femtoscópio**” – uma espécie de microscópio para observar **femtômetros**: $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$) possam ajudar a entender a $m_{p/n}$.

Para finalizar, cremos ser interessante conjecturar que não será preciso “medir” essas “massas efetivas”, pois as massas das próprias partículas materiais (**hádrons** e **léptons**) que compõem o nosso Universo são dadas em termos da **massa do elétron** (m_e), que nunca foi efetivamente medida, uma vez que seu valor foi inferido de duas experiências realizadas por: 1) Thomson (1897), ao medir a relação m_e/e ; e 2) Millikan (1909), que mediu a carga do elétron (e).



ANTERIOR

SEGUINTE