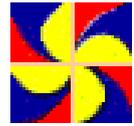




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



A Segunda Guerra Mundial, a Guerra Fria, o Controle da Fusão Nuclear (Tokamaks) e Kapitza.

A *Segunda Guerra Mundial* (SGM) iniciou-se, em 01 de setembro de 1939, quando a Alemanha Nazista comandada pelo político alemão Adolf Hitler (1889-1945) invadiu a Polônia. Esse conflito mundial aconteceu entre os aliados europeus, inicialmente sob a liderança da Inglaterra e da França. Contudo, como em 07 de dezembro de 1941, o Japão atacou a base naval norte-americana de Pearl Harbor, localizada na ilha Oáhu, no Havaí, os americanos entraram então na SGM e, em vista disso, o Presidente norte-americano Franklin Delano Roosevelt (1882-1945), no dia 17 de junho de 1942, criou o *Projeto Atômico Americano* (PAA), que culminou com a explosão de duas bombas atômicas (BA) no Japão: a primeira delas, de urânio-235 (U-235), cognominada de “Little Boy”, lançada no dia 06 de agosto de 1945 sobre a cidade de Hiroshima; a segunda, de plutônio-238 (Pu-238), denominada de “Fat Man”, foi detonada no dia 09 de agosto de 1945 sobre a cidade japonesa de Nagasaki. Para maiores detalhes sobre esse conflito atômico, ver os textos: Abraham Pais e Robert P. Crease, **J. Robert Oppenheimer: A Life** (Oxford University Press, 2006); e Alfredo Marques, **Energia Nuclear e Adyacências** (EdUERJ, 2009). É interessante ressaltar que neste livro do físico brasileiro Alfredo Marques (n.1930), há destaques da participação de físicos alemães na construção da BA americana de Pu-238.

Paralelamente ao PAA, a então *União das Repúblicas Socialistas Soviéticas* (URSS) começou também seu *Projeto Atômico Soviético* (PAS), em 1943, sob a direção do político russo Lavrenty Pavlovich Beria (1899-1953), que dirigia o *Narodniy Komissariat Vnutrennikh Diet* (NKVD) [“Comissariado do Povo para Assuntos Internos”, antecessora do *Komitet Gosudarstvennoi Bezopasnosti* (KGB) (“Comissão de Segurança do Estado”), fundado em 13 de março de 1954]. Para isso, o político soviético

Joseph Stalin (1879-1953), *Secretário-Geral do Partido Comunista Soviético*, escolheu o físico russo Igor Vasilievich Kurchatov (1903-1960) para dirigir aquele projeto. Logo em 1944, este físico fez funcionar o primeiro **ciclotron soviético** e, com ele, construiu o reator nuclear F-1 e, em 25 de dezembro de 1946, realizou a primeira **reação nuclear soviética**. Depois desse grande feito, Kurchatov e seus colaboradores, os físicos russos Yuli Borisovich Khariton (1904-1996) e Yakov Borisovich Zel'dovich (1914-1987), e a química russa Liya Sokhina, passaram a trabalhar no projeto *Arzamas-16*, na cidade de Sarov (Cazaquistão) (famosa pelo *Monastério Ortodoxo*), no Gorki Oblast (província) (hoje Nizhny Novgorod Oblast), que havia sido criado no dia 03 de março de 1949, “cidade científica” essa que ficou secreta por 40 anos. Note-se que esse Projeto culminou com a explosão da *Bomba Atômica Soviética* (BAS), a “RDS-1” (apelidada pelos americanos de “Joe-1”, relacionando-a com Joseph Stalin), em 29 de agosto de 1949, e muito parecida com a “Fat Man”. Vale ressaltar que esse dia marca o início da *Guerra Fria* (GF) entre os Estados Unidos e a então URSS, agora envolvendo a construção da Bomba de Hidrogênio (BH), baseada na **Reação Termonuclear Controlada** (FuN), segundo veremos mais adiante.

Vejamos, a seguir, a participação de Kapitza no controle da FuN. Antes, no entanto, precisamos conhecer alguns antecedentes relacionados com a construção das BH [americana (BHA) e soviética (BHS)]. A BHA teve a participação [além dos físicos, o ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) e o húngaro-norte-americano Edward Teller (1908-2002)], de vários outros cientistas, dentre os quais destacamos os matemáticos norte-americanos Frederic de Hoffmann (1924-1989) (de origem austríaca), Cornelius Joseph Everett (1914-1988), Jordan Carson Mark (1913-1997) (de origem canadense), Nicholas Constantine Metropolis (1915-1999), Stanislaw Marcin Ulam (1909-1986) (de origem polonesa) e John von Neumann (1903-1957) (de origem húngara), pela sua participação na construção dos computadores eletrônicos ENIAC (“Electronic Numerical Integrator and Computer”) e MANIAC (“Mathematical Analyzer, Numerical Integrator and Computer”), computadores esses que foram importantes nos cálculos das reações termonucleares que ocorrem em uma BH. Além desses matemáticos,

trabalharam também na BHA os físicos norte-americanos John Archibald Wheeler (1911-2008), Norris Edwin Bradbury (1909-1997), Kenneth William Ford (n.1926), Burton Freeman, Conrad Lee Longmire (1921-2010), John William Mauchly (1907-1980), Theodore Taylor (n.1921) e John Sampson Toll (1923-2011).

Em consequência do trabalho desses cientistas, os Estados Unidos da América fabricaram algumas BH, sendo as três primeiras dessas bombas, as seguintes: “Mike”, com a capacidade de 10,4 megatons de TNT (1 megaton = 10^6 ton), tendo como combustível termonuclear a mistura (*plasma*) de deutério e tritério ($D^2 + T^3$), testada em 01 de novembro de 1952, no atol de Elugelab, pertencente às ilhas Marshall, que se localizam na parte ocidental do Oceano Pacífico; “Bravo”, com a capacidade de 15 megatons, explodida no atol de Bikini, ainda nas ilhas Marshall, no dia 01 de março de 1954; e “Cherokee”, testada no dia 20 de maio de 1956, no atol de Namu, na extremidade noroeste de Bikini. Registre-se que essas bombas usaram o conhecido **Processo de Ulam-Teller** (PU-T), sendo que somente as duas últimas usaram como combustível termonuclear o deuterídeo de lítio (Li^6D^2). Destaque-se que a primeira ideia do PU-T foi apresentada por Ulam, em janeiro de 1951, quando desenvolveu um tipo de artefato termonuclear, que ele chamou de “bomba de dois estágios”. Assim, segundo ele, um feixe de nêutrons gerado na explosão de uma BA primária comprimiria, por meio de ondas de choque focadas por lentes hidrodinâmicas especiais, um caroço secundário de combustível termonuclear. Desse modo, esse combustível, ao ser comprimido, induziria uma ignição termonuclear e detonaria. Inicialmente, Mark não gostou dessa ideia. Contudo, devido à persistência de Ulam, os dois foram conversar com Teller, entre final de janeiro e começo de fevereiro de 1951. Teller hesitou em princípio, depois resolveu ver a proposta de Ulam. Depois de examiná-la, apresentou a ideia de que, em vez do feixe de nêutrons, seria melhor considerar a radiação emitida pela explosão da BA primária como geradora da onda de choque que comprimiria o combustível termonuclear secundário provocando a sua ignição e posterior detonação. Assim, em março de 1951, surgiu o PU-T.

É oportuno salientar que, muito antes de construir a sua BA, que aconteceu em 29 de agosto de 1949, conforme registramos anteriormente, os físicos da URSS começaram a discutir o problema da BH, a conhecida “Superbomba”, em setembro de 1945, logo depois do término da SGM. Essa “Superbomba” foi construída (na cidade de Sarov) a partir do trabalho pioneiro realizado, em 20 de janeiro de 1949, pelo físico russo Andrey Dmitriyevich Sakharov (1921-1989; PNPaz, 1975) ao desenvolver um processo semelhante ao PU-T, denominado por ele de *Sloyka* (em russo: “Camada de Bolo”). Em 1950, ele e o físico soviético 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). Basicamente, tratava-se de controlar a trajetória de uma partícula carregada por intermédio de um campo magnético produzido por uma bobina toroidal. É interessante registrar que Sakharov havia revisado o trabalho secreto (enviado ao *Departamento de Equipamento Pesado de Engenharia do Comitê Central da URSS*) realizado, em julho de 1950, pelo físico soviético Oleg Alexandrovich Lavrentiev (1926-2011). Nesse trabalho há duas proposições: a construção da “Superbomba” (baseada no Li^6D^2) e a obtenção de eletricidade por intermédio de uma reação termonuclear. Observe-se que essa segunda proposta foi apresentada na *Segunda Conferência de Átomos para a Paz*, ocorrida em Genebra, em outubro de 1958. Ela foi um dentre os 2.100 artigos lá discutidos e que chamou a atenção do mundo científico-político, pois tinha o título de **Estabilidade e Esquentamento de Plasmas em Câmaras Toroidais** e escrito por cientistas soviéticos e, no qual, descrevia as experiências que eles realizaram sobre o controle da FuN, iniciadas no final de 1957 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 (H) produzido por uma bobina toroidal e mantido sob a pressão de algumas atmosferas. Além disso, o **plasma** é envolvido em uma câmara de vácuo para sustentar temperaturas extremamente altas o que permite que reações termonucleares [**fusão nuclear** dos tipos:

deutério-deutério (D-D, sendo $D \equiv {}_1\text{H}^2$) e **deutério-trítio** (D-T, sendo $T \equiv {}_1\text{H}^3$) sejam realizadas. Como esse confinamento é limitado no tempo, por causa da baixa capacidade térmica do **plasma**, a energia necessária para começar a esquentá-lo, mesmo que ele se forme em alguns segundos, ela é extremamente pequena comparada com a energia produzida na **fusão nuclear**. Desse modo, um **reator nuclear** desse tipo efetivamente trabalha em modo de pulso. [Kapitza, op. cit; E. A. Azizov, **Tokamaks: from A D Sakharov to the present (the 60-year History of Tokamaks)**, *Soviet Physics, Uspekhi*. **55**, p. 190 (2012)].

Vale ressaltar que para a construção da “Superbomba” soviética (baseada na ideia de Sakharov-Tamm), além dos físicos que construíram a BAS, também trabalharam nela, os autores da ideia e os seguintes físicos russos: Semyon Zakharovich Belen’kii, S. P. D’yakov, David Albertovich Frank-Kamenetskii (1910-1970), Ginzburg, Aleksandr Solomovich Kompaneyets (1914-1974), Isaak Yakovlevich Pomeranchuk (1913-1966), Yuri A. Romanov, Yakov Petrovich Terletskii (1912-1993) e Sergey Ivanovich Vavilov (1891-1951). Além desses físicos, também participou o general russo Boris L’vovich Vannikov (1897-1962). Portanto, a primeira BHS, de codinome “RDS-6s” (s de *Sloyka*) e com a capacidade em torno de 0,30 megatons, foi explodida em 12 de agosto de 1953, na Ilha de Wrangel, no Oceano Ártico, e usando como combustível termonuclear, o lítio-6 (Li^6) e uma mistura de deutério e trítio ($\text{D}^2 + \text{T}^3$). Registre-se que a União Soviética explodiu mais duas outras BH: a “RDS-27”, em 05 de novembro de 1955, uma bomba de um-estágio, tendo o Li^6 também como combustível termonuclear e que diferia da “RDS-6s”, por não usar o T^3 ; e a “RDS-37”, em 22 de novembro de 1955, análoga ao projétil “RDS-27”, porém com dois-estágios. Os principais cientistas responsáveis pelo “RDS-37” foram os cientistas soviéticos German Arsen’evich Goncharov, Valentin Nikolaevich Klimov e Yuri Alexeyevich Trutnev (n.1927). É oportuno observar que a “RDS-6s” usou a mistura ($\text{D}^2 + \text{T}^3$), junto com o Li^6 , conforme registramos acima, enquanto a “Mike” (norte-americana) só usou aquela mistura, sem o Li^6 . Além do mais, enquanto a “RDS-6s” podia ser conduzida em um avião, a “Mike” era uma usina nuclear de 65 toneladas e que foi transportada, peça por peça, para o atol onde foi

explodida. É por essa razão que a União Soviética é considerada a precursora das BH, e o ano de 1953, tomado como o ponto crítico da GF.

Passemos a descrever os trabalhos de Kapitza para controlar a FuN. De posse do domínio soviético dos **tokamaks**, a partir de 1969, ele começou a desenvolver a teoria da **Fusão Nuclear Controlada** (FNC) [aliás, tema de sua *Nobel Lecture*, apresentada em 08 de dezembro de 1978, com o nome de: **Plasma and the Controlled Termonuclear Reaction** e publicada em 1979 (*Review of Modern Physics* **51**, p. 417; *Science* **205**, p. 959)] com um artigo intitulado **Filamento de Plasma Livre em um Campo de Alta Frequência e com Alta Pressão** [*Zhurnal Eksperimental'noi i Theoretiskoi Fiziki* **57**, p. 1801; *Soviet Physics – JEPT* **30**, p. 973 (1970)]. Esse mesmo tema voltou a ser tratado por Kapitza, em dois artigos: o primeiro, em 1970 (*Zhurnal Eksperimental'noi i Theoretiskoi Fiziki* **58**, p. 377; *Soviet Physics – JEPT* **31**, p. 199), com o título de: **Um Reator Nuclear com um Filamento de Plasma Flutuando em um Campo de Alta Frequência**; e o segundo, em 1971 [*Zhurnal Eksperimental'noi i Theoretiskoi Fiziki* **61**, p. 1016; *Soviet Physics – JEPT* **34**, p. 542 (1972)], com a colaboração de Filimonov: **Aparelho para a Produção de um Filamento de Plasma Livre. Determinação da Corrente e da Resistência desse Filamento**. [Note-se que, em 1971 (*Nuclear Fusion* **11**, p. 605), os físicos russos Vladimir S. Mukhovatov e V. D. Shefranov desenvolveram novas versões do **tokamak**]. Em 1974 [*Zhurnal Eksperimental'noi i Theoretiskoi Fiziki* **67**, p. 1411; *Soviet Physics – JEPT* **40**, p. 701 (1975)], agora com a participação do físico russo Lev Petrovich Pitaevskii (n.1933), Kapitza investigou **O Aquecimento de um Plasma por Oscilações Magnetostáticas**.

A fabricação dos **tokamaks** soviéticos despertou a atenção dos cientistas mundiais no sentido de construir dispositivos de controle do **plasma** como, por exemplo, a proposta apresentada em 01 de janeiro de 1975 (*Review of Modern Physics* **47**, p. 7), pelo físico norte-americano Fred L. Ribe. Apesar desse interesse mundial, Kapitza continuou a aperfeiçoar seu projeto da FNA, como se pode ver em seu artigo de 1975 (*Pisma v Zhurnal Eksperimental'noi i Theoretiskoi Fiziki* **22**, p. 20; *JEPT Letters* **22**, p. 9), no qual ele mostrou que havia controlado o **plasma** por ¼ de hora.



ANTERIOR

SEGUINTE