

## Os anos de formação de um físico teórico brasileiro: Jayme Tiomno entre 1942 e 1950

*The years of formation of a Brazilian theoretical physicist: Jayme Tiomno between 1942 and 1950*

Karin S.F. Fornazier

*Departamento de Astrofísica - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,  
INPE - Rua dos Astronautas,  
1758, Jd da Granja, São José dos Campos (SP)*

Antonio A.P. Videira\*

*Departamento de Filosofia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Rua São Francisco Xavier, n 524, sala 9027B, Maracanã,  
CEP 20550-103, Rio de Janeiro (RJ)  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP: 22290-180  
Submetido: 17/08/2017      Aceito: 09/01/2018*

### Resumo:

O objetivo deste artigo consiste em descrever resumidamente o conteúdo da tese de doutorado do físico teórico brasileiro Jayme Tiomno (1920-2011) que integrou o seu processo de formação. Em que pese a sua relevância científica e institucional, a sua formação como um cientista, ou seja, um pesquisador no âmbito da ciência natural, não pode ser resumida à tese ou afirmar que ela foi o seu ápice. Também é nosso objetivo mencionar alguns aspectos e características do ambiente científico daquela época, em particular o existente nas Universidades do Brasil e de São Paulo. São também comentados os primeiros resultados científicos obtidos por ele durante o seu período de doutoramento, em geral muito mais conhecidos do que aqueles que constituem a sua tese de doutorado.

**Palavras chave:** Física de Partículas Elementares, Universidade, Pós-Graduação, Triângulo Puppi-Tiomno-Wheeler.

### Abstract:

The main goal of this article is to briefly describe the content of the Brazilian theoretical physicist Jayme Tiomno's (1920-2011) PhD thesis. Although this kind of academic work is very important nowadays, it is not reasonable to attest that the PhD thesis represents the peak of a scientist's education. That point must be stressed in Jayme Tiomno's case if one wants to understand his scientific persona. We also intend to mention some features of the scientific milieu prevailing in Brazil in the 1940's. Finally, we comment his scientific results published at that time.

**Keywords:** Physics of Elementary Particles; University; Graduate Studies; Puppi-Tiomno-Wheeler Triangle.

## 1. INTRODUÇÃO

---

\*Electronic address: guto@cbpf.br

Jayme Tiomno (1920-2011) é um dos mais relevantes nomes na ciência brasileira; suas atitudes e idéias são comentadas ou discutidas em diversos artigos, palestras, livros e homenagens [1]. A comunidade de físicos no Brasil é

praticamente unânime em considerá-lo, ao lado de Cesar Lattes (1924-2005), José Leite Lopes (1918-2006) e Mario Schenberg (1916-1990), como um dos mais importantes físicos do país. É também reconhecida a sua contribuição à organização de um ambiente universitário moderno e mais propício à prática da física. Neste artigo, nós descrevemos eventos relativos à sua formação científica desde o seu ingresso na antiga Faculdade Nacional de Filosofia (FNFi), órgão da Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro, até o seu doutoramento, concluído oito anos depois, na Universidade de Princeton (Estados Unidos da América). A descrição da formação científica de Tiomno permite relembra um período da ciência brasileira anterior à implantação formal do sistema de pós-graduação, o que, esperamos nós, contribuirá para o melhor entendimento de como era a formação de um físico brasileiro antes do início da década de 1970, período a partir do qual foi construído o atual sistema de pós-graduação em nosso país.

## 2. O INÍCIO DA FORMAÇÃO UNIVERSITÁRIA

O ingresso de Tiomno na vida universitária ocorreu na Universidade do Distrito Federal, criada em 1935, pelo então prefeito, o médico Pedro Ernesto. Com o fechamento da UDF, todo o corpo discente, bem como parte do corpo docente, foi transferido para a Faculdade Nacional de Filosofia (FNFi) da Universidade do Brasil. Em 1938, Tiomno matriculou-se com o propósito de se tornar médico na Faculdade Nacional de Medicina. Sua permanência nessa escola durou três anos. Foi nas aulas de Carlos Chagas Filho (1910-2000), que ministrava a disciplina Física Biológica, que o então jovem Tiomno percebeu ser a física a ciência à qual queria se dedicar. Já nessa altura, ele tinha certeza de que preferiria abraçar a carreira de pesquisador. Tiomno chegou a ser assistente informal do fundador do Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Assim, decidiu cursar medicina e física ao mesmo tempo. Em 1941, contudo, ele optou definitivamente pela física. Durante o curso de física, Tiomno recebeu forte influência do Professor Luigi Sobrero, que o incentivou a prosseguir na sua decisão de se dedicar à pesquisa, especialmente a física teórica, área à qual se dedicou por toda a sua vida acadêmica. Sobrero era um professor italiano, escolhido pelo Ministério da Educação de Vargas, que havia pedido ao Ministério da Educação do governo fascista italiano que mandasse professores para o Brasil. Em São Paulo, Theodoro Ramos foi pessoalmente à Europa e escolheu matemáticos, físicos e químicos. No caso do Rio, o Ministério da Educação italiano afixou nas universidades a notícia de que havia vagas para a Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil; vieram candidatos de todos os tipos. Na opinião de Tiomno, Sobrero foi o melhor dentre os professores enviados ao Brasil. Em 1942, tornou-se bacharel em Física pela FNFi na mesma turma de José Leite Lopes e Elisa Frota-Pessoa (1921). No ano seguinte, licenciou-se nessa mesma ciência. A sua vida profissional começou também na FNFi como assistente da Cadeira de Física Geral e Experimental, regida pelo engenheiro e físico brasileiro Joaquim Costa Ribeiro (1906-1960). Tiomno foi convidado pelo próprio Costa Ribeiro para ocu-

par essa posição acadêmica. A sua decisão foi facilitada pelo fato de que não havia nenhum especialista em física teórica na FNFi, já que Sobrero tinha retornado à Itália devido à decisão brasileira de ingressar na Segunda Guerra Mundial contra as potências do Eixo.

## 3. ASSISTENTE DE COSTA RIBEIRO

Ainda em 1942, Tiomno foi convocado pelo Exército brasileiro, sendo liberado somente em 1945 após o final do conflito. Durante o período em que serviu às Forças Armadas, Tiomno teve permissão de seus superiores para sair da Vila Militar e dar aulas na faculdade. Foi nesses anos que publicou seus primeiros trabalhos científicos na Revista da FNFi; um deles foi redigido sob orientação de Sobrero, o outro sob orientação de Costa Ribeiro [2, 3]. O trabalho desenvolvido com o professor italiano era de natureza teórica, evidenciando assim a vocação de Tiomno para a física teórica. Já o artigo desenvolvido com Costa Ribeiro envolveu tanto a fenomenologia do efeito descoberto por este último, bem como a parte experimental. Cabe aqui a menção de que este artigo menciona o chamado efeito Costa Ribeiro, que foi o tema da tese de cátedra deste último.

É importante chamar a atenção para o ambiente acadêmico vivido por Jayme Tiomno àquela época, já que Costa Ribeiro era então uma das figuras mais importantes da física brasileira. Para isso, reproduzimos trecho de uma entrevista que Tiomno concedeu em 1977 ao CPDOC (Fundação Getúlio Vargas do Rio de Janeiro) e que é reveladora do tipo de orientação dada pelo catedrático de Física Geral e Experimental. Essa orientação deve ter contribuído para que Tiomno se tornasse avesso à postura do autodidata [4]:

“Eu testemunhei uma das fases mais características de Costa Ribeiro, contratado como assistente de física geral e experimental em 1942. Não recebi qualquer orientação dele para preparar-me para pesquisa. Só tive atribuições de dar aulas teóricas, montar e testar o equipamento experimental que fora encomendado ainda na UDF (Universidade do Distrito Federal), dar aulas experimentais e montar experiências demonstrativas das aulas dele.”

Ainda nesta entrevista, Tiomno menciona como era a sua relação com a docência sendo auxiliar de Costa Ribeiro para as disciplinas de Física Básica na Faculdade:

“Ele dizia (Costa Ribeiro): “[Para] essa turma eu quero que vocês dêem isso. (...) Depois nós concluímos que devíamos modificar o curso para um nível bem mais baixo do que ele dava e com muito mais exercícios, o que deu certo. Outra coisa que nós tivemos, desde o tempo do Largo do Machado, que o Sobrero começou a fazer e o Costa Ribeiro se associou a isso (aliás, eles tem um trabalho juntos, Sobrero e Costa Ribeiro), foram os seminários.(...) As revistas estavam começando a ser compradas e o bibliotecário não deixava que alunos tivessem acesso a livros ou revistas.”

Na passagem acima, percebemos a preocupação de Tiomno com o ensino [5], presente vários anos depois em muitos de seus trabalhos (inclusive os científicos), bem como no curso que ajuda a montar na Universidade de Brasília ou ainda na sua participação em favor da eliminação das cátedras, que deram lugar aos atuais departamentos. Tiomno não era um professor considerado claro ou com especiais dons didáticos. A sua falta de ‘didática’ não o impediu de reconhecer a necessidade de reformular a maneira como eram ensinados aos estudantes brasileiros os conceitos e teorias de física, sendo fundamental acostumá-los a resolver exercícios. Entre outros efeitos positivos, Tiomno acreditava que os estudantes ganhariam confiança e segurança em suas habilidades intelectuais. Na sua época de estudante e mesmo depois, os livros didáticos adotados não necessariamente apresentavam exercícios. Boa parte da literatura ainda consistia em textos descritivos e com conteúdos acima das capacidades de compreensão dos calouros, com poucos exemplos e ou exercícios de fixação. Outra característica negativa do ambiente acadêmico de então: os alunos não deveriam ter acesso aos periódicos ou livros importados.

Com as suas primeiras incursões na prática da pesquisa científica como assistente de Costa Ribeiro, Tiomno sentiu-se estimulado pelos trabalhos desenvolvidos e publicados, exibindo vontade em dar continuidade à sua formação em física, ou seja, freqüentar uma pós-graduação, de preferência, em física teórica. Até o final dos anos 1940, os físicos cariocas recém-formados, interessados em física teórica, tinham que se deslocar para a Universidade de São Paulo (USP) a fim de poder se familiarizar com os conteúdos e os problemas da física desenvolvida ao longo das quatro primeiras décadas do século passado. Não era possível na então Capital Federal obter uma especialização avançada em tópicos atuais de física teórica. Naquela universidade, na USP, havia dois físicos atuantes: Gleb Wataghin (1899-1986) e Mário Schenberg (1916-1990). Wataghin foi contratado pela USP em 1934 onde criou uma linha de pesquisa em física em uma universidade que ainda não tinha tradição nesta área. Dez anos após a sua chegada, o físico ítalo-ucraniano havia conseguido resultados dignos de registro por parte de seus pares em centros mais avançados e consolidados, sendo que o mais conhecido resultado obtido por Wataghin e colaboradores dizia respeito à descoberta dos chamados chuveiros penetrantes [6]. Interessado em inserir o Brasil no circuito da física internacional, Wataghin trouxe para o Brasil cientistas conhecidos como George Gamow (1904-1968) e Arthur H. Compton (1892-1962) para palestras e discussões científicas, além de ter tentado atrair Erwin Schrödinger (1887-1962). Com produção científica de qualidade e visita de pesquisadores importantes, Wataghin estimulou muitos jovens que vieram a contribuir de maneira bastante relevante para a física brasileira: Schenberg, Lattes, Walter Schützer (1920-1963), Oscar Sala (1922-2010), Sonja Ashauer (1923-1948), Marcelo Damy de Souza Santos (1914-2009), Paulus Aulus Pompéia (1911-1993), Abraão de Moraes (1917-1970), Yollande Monteux (1910-1990), George Schwachheim (1925-2012), e o seu filho mais velho Andrea (1926-1984), entre outros.

Wataghin e Schenberg possuíam experiência em física teórica, de forma que a dinâmica existente no Departamento

de Física da universidade paulista atraía os físicos que queriam continuar a estudar, especialmente nas áreas consideradas como fronteira para a época, a saber, física nuclear, física de raios cósmicos, teoria da relatividade geral e teoria quântica de campos.

Schenberg começou a publicar muito cedo, em parte devido à sua interação com Wataghin, e também por ser detentor de um conhecimento matemático sólido, forte intuição física e muita autoconfiança. Ele logo adquiriu independência acadêmica, permitindo, não apenas traçar seu próprio caminho na pesquisa, como ajudar (os jovens interessados) na discussão dos assuntos pertencentes à física de fronteira. É digno de nota ressaltar que nesta época não havia um sistema de pós-graduação como hoje em dia. Os seminários existentes em São Paulo ou as reuniões da Academia Brasileira de Ciências (ABC) eram os fóruns adequados para a apresentação e discussão de ideias científicas.

Aproveitando a oportunidade surgida com uma doação da Fundação Rockefeller, Wataghin começou a organizar, ainda durante a Segunda Guerra Mundial, o que viria a ser a base da física nuclear experimental no Estado de São Paulo. A construção dessa linha de pesquisa o levou, na companhia de Sala, a viajar aos EUA (no início do ano de 1945) a fim de decidir qual a melhor máquina e equipamento a ser adquirido para a Física da USP (o betatron) [7], o que deixou Schenberg com a responsabilidade de orientar os bacharéis interessados em física teórica. Foi este o ambiente que Jayme Tiomno encontrou em 1947 quando chegou a São Paulo para estudar na USP com uma bolsa de um ano da Fundação Zerenner. Com Schenberg, ele teve os primeiros contatos com os problemas científicos em física teórica a serem resolvidos não apenas por ele, mas também por Leite Lopes, Lattes e Schützer, seus colegas na época. Em geral, os problemas dados por Schenberg aos jovens físicos, poucos anos mais novos do que ele próprio, eram extraídos da sua agenda científica.

Naquela altura, o seu principal interesse estava localizado na tentativa de quantizar o campo eletromagnético de modo a evitar a presença de “infinitos”. Em outras palavras, Schenberg procurava formular uma teoria do elétron onde este seria puntiforme. Mas Schenberg também se dedicava à teoria da relatividade geral. Foi esta área que atraiu primeiramente o interesse de Tiomno, talvez devido a uma escolha do próprio Schenberg. Em 1947, ocorreu um eclipse solar total, visível no Brasil, o que atraiu para cá uma importante expedição científica norte-americana, que, entre outros objetivos, pretendia medir, uma vez mais, o valor da deflexão da luz próxima a campos gravitacionais intensos [8].

Entre as atividades que Jayme Tiomno realizou na USP, vale a mencionar a elaboração, juntamente com Mário Schenberg, de uma teoria da gravitação diferente da versão einsteiniana, uma vez que era construída no espaço de Minkowski. Não nos são conhecidas as razões que levaram Schenberg e Tiomno a construir uma tal teoria. As informações aqui relatadas encontram-se nas cartas que Guido Beck recebeu de ambos. Se nós mencionamos aqui esse esforço teórico dos dois jovens físicos é para assinalar que, no caso de Tiomno, ele, enquanto esteve no Brasil, antes de partir, um ano depois, para Princeton, trabalhou em vários problemas diferentes, os quais eram-lhe sugeridos pe-

los seus colegas um pouco mais velhos do que ele. Tiomno ainda não havia organizado a sua própria agenda de questões científicas. Que Tiomno ocupava, então, uma posição típica de um aprendiz fica evidente com o destino do trabalho realizado em colaboração com Schenberg. O artigo acabou por não ser publicado devido às atividades extra-científicas do cientista pernambucano radicado em São Paulo. Sem que conheçamos as suas reações diante dessa situação.

Como Tiomno relatou em carta a Guido Beck (1903-1988), Schenberg, em função de seus compromissos como deputados estadual pelo Partido Comunista Brasileiro, não teve condições de preparar uma versão final do trabalho, que tratava da deflexão da luz num campo gravitacional. O seu período na USP foi bastante produtivo, não apenas pelos seus estudos em Física Moderna e os artigos que publicou, mas também por sua nomeação como Primeiro Assistente de Física Superior de Mecânica Racional, na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (FFCL/USP), que era regida por Schenberg. Ainda nesta época, Tiomno colaborou com Schützer e, em 1947, os dois publicaram o trabalho intitulado *Sobre as derivadas do campo de radiação do elétron puntiforme com spin* [9].

Tiomno também interagiu com Leite Lopes numa **letter** para a *Physical Review* com o título *On the proton-proton scattering at 14.5 MeV* e com o matemático Leopoldo Nachbin (1922-1997), *Sobre o Teorema da Álgebra Hipercomplexa de Sobrero*, que, aparentemente, não chegou a ser publicado [10].

Os resultados das investigações dos primeiros físicos profissionais brasileiros, quando considerados interessantes o suficiente para serem divulgados, eram publicados nas páginas dos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Igualmente freqüente era o envio para a seção de ‘cartas’ (letters) da *Physical Review*. Ao que tudo indica, a passagem pela USP era uma etapa transitória para Tiomno, pois não há menção sua sobre obter um doutorado naquela universidade. Ele não parecia interessado em receber essa titulação, a menos que o título de doutor fosse outorgado como resultado de uma pesquisa científica bem elaborada, adequadamente conduzida e com resultados originais. Acreditamos que o seu objetivo era ganhar conhecimento, experiência e confiança suficientes para se transferir para centros fora do Brasil.

Tiomno considerou a possibilidade de dirigir-se para a Argentina a fim de trabalhar com Beck, que estava no Observatório de Córdoba e era um pólo de atração para os estudantes brasileiros, pois por lá estiveram estudando e trabalhando, Paulo Leal Ferreira (1925-2005) e Paulo Sérgio Magalhães de Macedo (1925-data ignorada). No entanto, no começo de 1948, Tiomno recebeu a oferta de uma bolsa de estudos para Princeton, onde poderia realizar o seu doutorado, sob a orientação de John Archibald Wheeler (1911-2008), em Relatividade Geral. Também na mesma faculdade e na mesma época, trabalhou Schützer, e, tal como Tiomno, sob a orientação de Eugene P. Wigner. Após chegar a Princeton, Tiomno seguiu ao menos dois cursos, um de física nuclear com Rudolf Ladenburg (1882-1952) e o outro com Wigner (1902-1995) sobre Mecânica Quântica, como relata em carta a Beck. Durante um breve período de tempo, mas extremamente produtivo, Wheeler e Tiomno

trabalharam bastante em física de mésons [11, 12]. Apesar do interesse pela Teoria da Relatividade Geral, Tiomno tinha alguma familiaridade com a física de mésons, pois, de forma independente, fez alguns cálculos em 1947 no Rio de Janeiro, talvez estimulado pelo seminário que Lattes deu na FNFi quando da sua passagem para Bristol, após ter exposto as chapas com emulsões nucleares em Chacaltaya.

O estudo do decaimento do méson secundário e da captura desse mesmo méson, levou Tiomno e Wheeler a proporem uma interação do tipo-Fermi para explicar tais fenômenos, o que significava atribuir spin  $\frac{1}{2}$  a esse méson. A proposta de Wheeler e Tiomno foi inicialmente apresentada no Centennial Meeting of the American Association for Advancement of Science, realizado em Washington, DC, no dia 15 de setembro de 1948, e desenvolvida nos artigos publicados na *Review of Modern Physics* no ano seguinte. Aliás, na sua autobiografia *Geons, Black Holes & Quantum Foam: A Life in Physics* [12], que Wheeler escreveu, com a colaboração do físico norte-americano Kenneth William Ford (1926), ele afirma que a tese fundamental do trabalho deles (supor spin  $1/2$  ao méson secundário), foi sugerida por Tiomno, sob a forma de um triângulo, cujos vértices eram constituídos dos núcleons [próton (p) e nêutron (n)], do elétron (e-) e de seu companheiro neutrino (hoje,  $\nu_e$ ), do múon ( $\mu$ ) e de seu provável companheiro, a partícula leve e neutra *mo* (hoje,  $\nu_\mu$ ). Foram precisamente os cálculos feitos no Rio de Janeiro que lhe permitiram começar a sua interação com Wheeler, cuja colaboração resultou no estudo das constantes de acoplamento existentes nas interações então conhecidas. Discussões em torno das constantes de acoplamento eram necessárias para verificar quais seriam as interações verdadeiramente universais. Esta colaboração com Wheeler foi bastante produtiva, não apenas no âmbito acadêmico, mas especialmente no campo profissional [13–17]. Wheeler reconheceu em Tiomno potencial científico digno de ser apoiado. Apesar de produtiva e relevante para a física de mésons, a colaboração entre os dois não continuou, pois o físico norte-americano se deslocou para a França a fim de trabalhar por um ano, deixando o físico brasileiro sem orientação. Impossibilitado de ser orientado por Wheeler, Tiomno se dirigiu a Wigner para que o supervisionasse em seu doutorado. Wigner o aceitou, após um breve “exame oral” [1, 4]:

“A propósito, gostaria de contar-lhes uma anedota que ouvi [A. Luciano L. Videira] em conversa recente [1980] com Tiomno, e que bem reflete alguns traços marcantes da figura wigneriana, para quem o conheça pessoalmente. Tendo-lhe ir pedir assunto de tese, Wigner pergunta-lhe:

“- Já viu este artigo? Aquele outro? Você conhece o trabalho de Majorana?”

E o nosso herói, com a segurança dos fortes, ou melhor, com a intrepidez daqueles que desconhecem a maneira de ser de Wigner, responde:

“-Eu já li todos os trabalhos do Majorana, publicados sobre o neutrino.”

“-Ah! Ótimo!” - responde Wigner- ” Porque você agora poderá explicar-me umas certas coisas que eu nunca entendi. Dado que na teoria de Majorana só existem dois neutrinos e, na teo-

ria de Dirac, existem quatro, o calor específico do vácuo de Dirac é maior do que o calor específico do vácuo do Majorana?”

E ainda uma outra pergunta que o jovem estudante não soube responder.

“-Ah, bom! Vejo que você **também** não compreendeu a teoria de Majorana e que esse estudo pode ser um bom começo de tese.”

Assim, a partir desse “exame”, Tiomno começou a trabalhar em seu tema de pesquisa, tema este em que se debruçou no último ano que passou em Princeton. A formação, que recebeu nessa universidade, foi rica, visto que com Wheeler, Tiomno aprofundou a importância que dava aos dados experimentais desde os tempos com Costa Ribeiro. Já com Wigner, Tiomno aperfeiçoou os seus conhecimentos matemáticos em Teoria Quântica de Campos. Ainda durante o seu doutoramento, o físico brasileiro interagiu com Arthur S. Whitman (1922-2013), mas a colaboração não teve continuidade. Tiomno, contudo, em sua tese de doutorado, agradece-o pelas discussões que tiveram. Se nos basearmos na sua trajetória científica posterior ao seu doutoramento, obtido em 1950, e realizada no Brasil, Tiomno voltou ‘pronto’ dos EUA, isto é, maduro o suficiente para escolher os seus próprios problemas científicos, bem como aqueles outros que dava aos seus jovens colaboradores. Ele não apenas se manteve produtivo, mas, em pouco tempo, começou a organizar uma equipe de jovens físicos, que gravitava à sua volta, composta por Adel da Silveira, Gabriel Fialho e Samuel Wallace MacDowell. Apesar de ser um expositor deficiente, Tiomno era muito dedicado aos estudantes, sempre disponível para discutir todo e qualquer tipo de problema científico. Tiomno sabia que não era suficiente ensinar física; era igualmente relevante transmitir que a pesquisa em física era muito exigente, consumindo tempo e energia daqueles que a ela quisessem se dedicar de forma produtiva e independente.

#### 4. UM BREVE RETROSPECTO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS NO IMEDIATO PÓS SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

A julgar pelos resultados obtidos [18], percebemos que sua ida aos EUA para seu doutoramento foi uma escolha acertada, visto que, àquela época, a então recente física de partículas encontrava-se em ebulição. Podemos situar a física que estimulou o trabalho de Tiomno, considerando, em passos largos, ao final da década de 1920. Com o desenvolvimento da Teoria Quântica de Campos (TQC), as equações resultantes da mecânica quântica (como campo) puderam ser aplicadas no tratamento de partículas, como é o caso da equação de Dirac. O físico e historiador Sam Schweber (1928-2017) enfatiza que a idéia e o procedimento da “segunda quantização” ocorreram primeiramente com Jordan, sendo que a expressão em si fora cunhada por Dirac [19]. As referências [19] e [20] apresentam esse retrospecto de forma mais completa e detalhada. Nessa época, permanciam problemas com as relações de comutação, com as estatísticas e com a invariância de Lorentz. Com o intuito

de resolver tais problemas em aberto, Fermi, Dirac, Fock e Podolski apresentaram diferentes formulações que tiveram um impacto duradouro nos anos seguintes. A elaboração da eletrodinâmica quântica (EDQ), de forma sucinta, encontra-se sustentada pelos seguintes pilares:

1. quantização do campo eletromagnético;
2. teoria relativística do elétron, com a equação de Dirac tendo papel de destaque;

A TQC começou com um cenário teórico formulado em analogia com a Mecânica Quântica. Os cálculos para a primeira ordem de aproximação foram recebidos com sucesso, mas, pouco tempo depois, enfrentaram resistências devido a problemas envolvendo os “infinitos”. Esses infinitos, de forma breve, podem ter seu aparecimento creditado às divergências encontradas nas equações, sendo que para contorná-los, foi necessário a aplicação de *cutoffs* nas integrais. Tais *cutoffs* não eram considerados satisfatórios. Outros pesquisadores tentaram lidar com os infinitos a partir de uma redefinição dos parâmetros da teoria ou usando um valor finito de medição (por exemplo, da carga do elétron) em vez do infinito propriamente dito (renormalização). Mas, estas divergências não deram motivos suficientes para o descarte total da TQC.

O período compreendido entre o começo dos anos 1930 até o início da 2ª Guerra Mundial foi caracterizado por uma variedade enorme de tentativas para resolver esses problemas, sendo que a maioria dos teóricos acreditava que a EDQ não seria válida a altas energias. Houve também um número considerável de propostas a favor de abordagens alternativas, como mudanças nos conceitos básicos (por exemplo, as probabilidades negativas), interações a distância em vez de uma abordagem de campo, e uma mudança metodológica no tratamento fenomenológico que trabalhava as relações entre quantidades de observáveis sem uma análise dos detalhes da interação (a chamada teoria da matriz S, onde os elementos básicos são amplitudes para os processos de espalhamento). Apesar da sensação de que a TQC era imperfeita e não rigorosa, seus métodos foram se ampliando e aplicados a novas áreas. Em 1933, Fermi elaborou sua teoria do decaimento e descreveu a emissão e absorção de fótons. Depois analisou a criação e aniquilação de elétrons e neutrinos (interação fraca) e, em 1934, um novo tipo de campo (campo escalar), descrito pela equação de Klein-Gordon, poderia ser quantizado (outro exemplo de “segunda quantização”). Essa nova teoria para campos conseguiu aplicação quase uma década mais tarde, quando da descoberta de novas partículas, os chamados píons. Após o fim da Segunda Guerra Mundial, métodos mais confiáveis e eficientes foram desenvolvidos para a eliminação dos infinitos, segundo um procedimento que torna possível a substituição das quantidades divergentes que aparecem em TQC. Um exemplo conhecido desse procedimento é o conjunto de regras do *cutoff* relativístico introduzido por Richard Feynman em 1948, capaz de tornar manipulações puramente formais em operações matemáticas aceitáveis, elevando o grau de consistência da teoria.

## 5. OS EXPERIMENTOS DO DUPLO DECAIMENTO $\beta$

Muitos pesquisadores atribuem ao experimento do duplo decaimento  $\beta$  a base para as idéias que resultaram na física de neutrinos [21]. Na década de 1920 ainda não havia a física nuclear; muito menos tinham sido criadas a física de partículas elementares (uma criação posterior à Segunda Guerra Mundial) e a física de neutrinos (visível como especialidade a partir de meados da década de 1980). Naquela época, procurava-se principalmente entender o comportamento do núcleo atômico. De forma simplista, podemos dizer que os neutrinos são partículas cuja massa é considerada igual a zero, não possuem carga elétrica e por isso acabam interagindo fracamente com a matéria. Eles foram, primeiramente, sugeridos de forma teórica por Wolfgang Pauli (1900-1958), em 1930, como uma resposta para explicar a variação da energia dos elétrons emitidos em decaimentos desse tipo, em que um nêutron se transforma espontaneamente em um próton, emitindo um elétron. Experimentalmente, os neutrinos foram detectados em 1956, por Frederick Reines e Clyde L. Cowan Jr, emitidos por um reator nuclear.

Retornando à época em que o neutrino foi mencionado pela primeira vez, temos que, em 1930, havia um consenso, sobre o fato de considerar-se contínuo o espectro do decaimento da partícula  $\beta$  ( $\beta$  electrons), mas não uma explicação para isso [22]. Retrospectivamente, os físicos já tinham realizado experiências nas quais os neutrinos se mostravam como que presentes. Um exemplo dessa situação é a experiência que Ernest Rutherford (1871-1937) fez e o levou à descoberta do  $\beta^-$ . Nesse experimento, um núcleo com carga elétrica  $Z$  decaía em outro com carga  $Z + 1$  e em um elétron, conforme a equação abaixo:

$$A(N, Z) \rightarrow A'(N - 1, Z + 1) + e^- \quad (1)$$

Esta equação (reação) foi considerada primeiramente como um decaimento duplo e o elétron emitido deveria ser monocromático. Em 1914, James Chadwick (1891-1974) descobriu que o espectro do elétron era contínuo e durante os anos compreendidos entre 1920 em 1927, Charles Drummond Ellis (1895-1980) e Chadwick estudaram o decaimento  $\beta^-$  demonstrando que este possuía um espectro contínuo de energia, contradizendo a conservação de energia. Em 1930, Pauli ousou formular a hipótese de que uma partícula neutra de spin  $1/2$  poderia ser emitida juntamente com o elétron, tentando assim esclarecer o porquê da contradição na conservação de energia. Essa idéia foi proposta em carta, enviada aos cientistas nucleares, que estavam em reunião na cidade de Tübingen. Pauli achou a idéia por demais estranha e não a publicou. Ainda assim, ele a chamou de neutron e estabeleceu que a massa desta não seria maior que 0.01 do próton. No entanto, James Chadwick descobriu em 1932 a partícula atualmente conhecida como nêutron, mas com massa de mesma ordem que o próton, deixando claro que não era esta a partícula prevista por Pauli. Foram dados experimentais que levaram Pauli a assumir a existência de uma nova partícula - contrariando a visão de mundo prevalecente à época-, a qual recebeu posteriormente o nome de neutrino. Essa hipótese ajudou Fermi a construir sua primeira teoria a respeito do decaimento  $\beta$ ,

que foi considerado por ele uma transição quântica de um nêutron para um próton com a criação de um par de elétron-antineutrino. Com a verificação experimental da existência do nêutron, a idéia de buscar a observação do neutrino tornou-se mais factível, sendo então proposta, primeiramente por Maria Goeppert-Mayer, o experimento do decaimento duplo do  $\beta$ . Essa proposta, de 1935, foi feita após discussão com Eugene Wigner [23]. Quase uma década depois, Wigner orientaria Tiomno em seu doutoramento sobre o decaimento duplo do  $\beta$ . Tal experimento partiu da previsão feita por Wigner de que a vida média do neutrino seria ao redor de  $10^{17}$  y para o decaimento com emissão de dois elétrons e dois anti-neutrinos. Assim haveria um novo tipo de interação - a interação fraca - para descrever o decaimento  $\beta$ :

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e^- + \bar{\nu} \quad (2)$$

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z - 1) + e^+ + \nu \quad (3)$$

ou

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 2) + 2e^- + 2\bar{\nu} \quad (4)$$

Em 1937, os neutrinos não haviam sido medidos e explicações para tal “ausência” continuavam a estimular tanto experimentais como teóricos. Um dos teóricos mais engajados nessas discussões, o italiano Ettore Majorana, formulou sua própria teoria de neutrinos. Para ele, não haveria distinção entre neutrinos e antineutrinos, sugerindo até um experimento para tal:

$$\bar{\nu}_e + Cl^{37} \rightarrow Ar^{37} + e^- \quad (5)$$

Ainda no mesmo ano, Giulio Racah (1909-1965) [24] propôs uma outra forma de identificar os neutrinos:

$$\nu + (A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e^- \quad (6)$$

De acordo com Bruno Pontecorvo, Racah não considerou o decaimento do duplo  $\beta$  sem o neutrino, mas sim analisou a possibilidade de tentar distinguir neutrinos de Dirac e neutrinos de Majorana. Em 1938, Wendell Furry (1907-1984) considerou impossível a realização do experimento do duplo  $\beta$  [25]. Um ano depois, ele acreditou que o experimento poderia ser feito, desde que se conseguisse medir em dois estágios. Desse modo, os primeiros experimentos feitos entre 1930 e 1940 tinham como objetivo determinar não apenas os neutrinos, mas também poder identificá-los como neutrinos de Majorana ou neutrinos de Dirac. O primeiro experimento realizado neste sentido foi o de Edward L. Fireman (1922-1990) em 1948 [26]. Os dados de seu experimento foram utilizados na tese de Tiomno.

## 6. O TRIÂNGULO DE PUPPI-TIOMNO-WHEELER

Durante o seu período como mestrando, Tiomno trabalhou com Wheeler, publicando três trabalhos sobre partículas elementares. Tiomno, que havia assistido no Rio de Janeiro

a uma palestra de Lattes antes de ir para os EUA, aceitou a proposta de Wheeler em estudar o comportamento dos  $\mu$ . Tiomno trabalhou exaustivamente junto com o Wheeler averiguando todas as possibilidades teóricas para este decaimento,  $\mu \rightarrow \mu_0 + e + \nu$ , assumindo que o mecanismo de desintegração seria análogo ao decaimento do  $\beta$ . Em seus cálculos, Tiomno e Wheeler obtiveram a energia de distribuição dos elétrons muito próxima do valor a ser medido experimentalmente e o resultado de seus cálculos não diferia muito daquele encontrado por Robert Marshak.

Wheeler e Tiomno publicaram seus artigos, obtendo grande repercussão, já que enfatizavam a conclusão de que havia uma evidência para a existência de uma constante. A constante, existente nas equações obtidas por Tiomno e Wheeler, sugeria que os seus cálculos eram coerentes, na medida em que havia concordância com o valor da constante de Fermi para o decaimento beta do muon. Leite Lopes em trabalho [29] em homenagem ao seu colega descreve a situação com as seguintes palavras:

The two papers published by Tiomno and Wheeler in the *Reviews of Modern Physics* made an extensive study of the muon capture, with several different types of possible Fermi couplings of the four spin 1/2 particles involved - spin 1/2 was just assigned to the muon by Bruno Pontecorvo and independently by them - and several possible masses for the neutral particle with we now call the muonic neutrino. These papers had a great repercussion as they emphasized the conclusion that there was evidence - as stated above in Tiomno's letter - for the approximate equality of the Fermi coupling constant for nuclear beta-decay and for mu-decay as well as for the mu-capture by nuclei. This was the basis for a principle of the universal fermi interaction, which they announced as a postulate: "There exists a universal four-fermion interaction between any pair of the three vertices (p, n), ( $\mu$ ,  $\nu$ ) and (e,  $\nu$ ) of a triangle, which became known as the Tiomno-Wheeler triangle."

Desenvolveram então um estudo a respeito do spin 1/2 do  $\mu$ . Tal estudo foi apresentado no *Centennial Meeting of Science* em setembro de 1948, ou seja, quase 9 meses após a chegada de Tiomno a Princeton. Posteriormente estas idéias foram desenvolvidas e aprimoradas sendo que os resultados foram publicados na *Reviews of Modern Physics* [13, 14]. Segundo Wheeler, o tópico da "tese" de mestrado foi sugerida por Tiomno sob a forma de um triângulo, cujos vértices eram constituídos por nucleons sendo que as interações entre esses nucleons seriam as laterais deste triângulo. Nas palavras de Leite Lopes[29]:

This was the basis for a principle of the Universal Fermi interaction which they announced as a postulate. There exists a universal four-fermion interaction between any pair of the three vertices of a triangle

Tiomno foi o primeiro e único a expressar a idéia dos pares de partículas e de suas interações na forma diagramática e

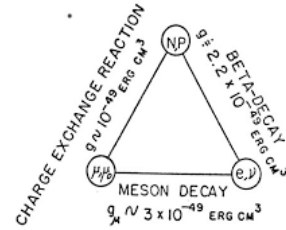


FIG. 1: Triângulo Pupi-Tiomno-Wheeler [16]

muito se comentou sobre o mérito de Tiomno sobre esta autenticidade e originalidade, como podemos encontrar em [1].

Ainda em seu mestrado, Tiomno trabalha com Yang na universalidade da interação fraca de Fermi, resultando em publicação [27]. Neste artigo, o termo interação universal de Fermi (UFI) se tornou conhecido. Assim vemos que seu período como aluno de mestrado foi extremamente produtivo, reforçando o alto nível de Tiomno como físico e, principalmente, a capacidade de trabalhar em assuntos de fronteira sem nenhum receio, reforçando a opinião de Wheeler que Tiomno, juntamente com Feynman e Marshak foram os alunos que mais trabalharam arduamente com ele. Tiomno obtém o diploma de Master of Arts em 1949, tendo concluído esse período com três artigos de impacto em um assunto de fronteira. Curioso observar que em todas as entrevistas, Tiomno não exalta nenhum de seus trabalhos e nem mesmo seus títulos. Reconhece o impacto, mas não interpreta esses resultados como o ápice de sua carreira. Para ele, seu período em Princeton foi um período de formação, uma etapa em sua vida e não o seu momento mais fulgurante.

## 7. A TESE DE DOUTORADO

Neste item, descrevemos sucintamente a estrutura e alguns dos resultados obtidos por Jayme Tiomno em sua tese de doutorado (ver <http://cbpfindex.cbpf.br/index.php?module=main&moduleFile=advSearch&searchStr=&tipo=25&ano=2018>). Com uma bolsa de estudos da Fundação Rockefeller, o físico brasileiro iniciou seu doutorado em 1949, concluindo-o no ano seguinte. Sua tese apresentou novas idéias envolvendo o operador de projeção  $\gamma_5$ . No entanto, entre as combinações envolvendo esse operador, não considerou a combinação  $\gamma_5$ , justamente por esta violar a paridade. É oportuno observar que foi justamente essa combinação que levou Lee e Yang, em 1956, a formular a violação da paridade nas interações fracas, o que lhes valeu o PNF de 1957 [27]. De acordo com A. Luciano L. Videira [1], houve um diálogo entre Yang

e Tiomno sobre não considerar tal combinação e Yang respondeu: "Então, eu tive a sorte de haver me formado com Fermi, pois este não acreditava na conservação da paridade como um dos princípios fundamentais da Natureza". Antes de prosseguir com a descrição sumária dos conteúdos das partes constituintes da tese, e com o objetivo de reforçar a ideia de que Tiomno, enquanto esteve em Princeton, se comportou mais como um pesquisador do que como um estu-

dante, vale a pena mencionar uma passagem do seu texto. Essa passagem talvez possa ser considerada como um ato falho. Mesmo assim, não deixa de ser curioso que Tiomno refere-se ao seu trabalho com as seguintes palavras: “The purpose of this paper is as follows...” (p. 8). A nomeação de artigo e não de tese sugere que aquilo que estava em jogo para ele era mais do que o título de doutor.

### 7.1. A introdução da tese

O título da tese de doutorado do então aluno Jayme Tiomno, *Theories of Neutrino and the double  $\beta$  decay*, sugere que o tema é ousado. Normalmente apenas alunos acima da média conseguem, em suas tese de doutorado, propor **novas teorias**, ou seja não apenas uma, não apenas nova, mas várias. Além disso, Tiomno propunha novas teorias em cima de um assunto considerado *hot topic* para época, que eram os neutrinos. Segundo Leite Lopes [11], antes da descoberta da estrutura V-A da interação fraca, Tiomno tentou determinar em sua tese a forma do *four-fermion coupling by the extension of the  $\gamma_5$  invariance to spinor fields other than massless neutrinos*.

O texto da tese é bastante claro e muito didático. Não há como saber se o próprio Wigner ajudou na elaboração do texto ou se essa forma clara em escrever era uma preocupação com a transmissão do conteúdo, ou seja, se ali, naquele momento da elaboração de sua tese, o então aluno de doutorado já não estava preocupado com a didática, com a clareza e a precisão de suas palavras. Essa preocupação com a didática pode ser observada na maneira com a qual a tese foi elaborada: uma introdução onde não apenas situa o leitor a respeito do problema que será abordado, mas principalmente, deixa o leitor a par do contexto histórico, dos caminhos percorridos por outros físicos; menciona experiências e resultados, construindo um cenário bastante acessível a qualquer aluno neófito no assunto. As referências citadas logo nesta introdução, com o passar dos anos, se consolidaram como *seminal papers* da área. Alguns já eram compreendidos como referências, como Fermi ou Dirac, mesmo porque ali estaria se referindo às teorias desenvolvidas por ambos no que tange aos neutrinos, mas especialmente casos como de Tomonaga, Schwinger, Feynman, Heisenberg, Dyson, Yukawa, Pais, Fireman (uma tese de cunho experimental a respeito do double- $\beta$  decay de 1948, ou seja, dados recentes para sua tese), Wigner, mas cujas publicações eram recentes (lembrando que por se tratar de neutrinos, uma artigo de 1937 - caso do clássico artigo de Majorana - era recente para a tese), ou seja, a tese de Jayme Tiomno realizava o que podemos chamar de estado da arte dos neutrinos. Esta parte introdutória menciona a existência do neutrino, postulada por Pauli - com o intuito de explicar a conservação de energia, momento e momento angular no processo de decaimento do  $\beta$ , cita a teoria de Majorana, onde o neutrino pode ser tratado como um campo neutro de bóson e que, no caso, dos campos de bósons, operadores não hermitianos são usados como campos neutros e, por consequência, há apenas um tipo de partícula neutra. A pergunta que Tiomno formula é com relação às duas teorias, tanto à teoria de Dirac quanto à teoria de Majorana, ou seja, o neutrino é uma partícula

que segue a teoria de Dirac ou é uma partícula bem descrita pela teoria de Majorana? Tal questionamento apenas reforça o grau de relevância e ousadia de sua pesquisa visando ao doutoramento. Ao final da introdução, Tiomno deixa bem claro quais são os objetivos de sua tese:

1. Tentar formular uma teoria que descreva o que Fireman [26] encontrou em seu trabalho, ou seja, se apenas neutrinos (e não anti-neutrinos) estariam envolvidos na interação.<sup>1</sup>
2. Formular possíveis teorias para os neutrinos, com atenção especial ao que há no decaimento  $\beta$ .
3. Calcular a probabilidade para o duplo decaimento  $\beta$  com a presença dos neutrinos em várias teorias e comparar com a análise experimental.

Retomando o comentário sobre a questão didática da apresentação da tese, vemos que Tiomno prossegue com a sequência de seu raciocínio, dividindo a tese em quatro partes: a primeira, onde apresenta uma revisão sobre a teoria quântica de campos, especialmente local e não localidade no que tange as projeções das teorias de Schrödinger; uma segunda parte, onde apresenta a invariância da teoria de campo sob as transformações de Lorentz; uma terceira parte apresentando o comportamento da mesma sob o espaço de Hilbert e a questão dos spinores; e uma quarta parte onde aborda diretamente a questão dos neutrinos e sua participação no duplo decaimento  $\beta$ ; a quinta parte onde compara os resultados experimentais com sua teoria e, finalmente a conclusão de sua tese.

#### 7.1.1. Parte I

Na primeira parte de sua tese, Tiomno faz uma revisão sobre a teoria quântica de campos, começando pela *second quantization*, passando pelas descrições dos cenários existentes em teorias locais de campo, como: o cenário de Heisenberg, o cenário de interação, o cenário de Schrödinger e, finalmente, a formulação da matriz de espalhamento S.

De sua tese, temos:

“The formulation of the quantum field theories, sometimes referred to as “second quantization”, has received recently significant contributions, specially from the works of Tomonaga and Schwinger, who introduced the “interaction representation”, and from those of Feynman and Stueckelberg, who succeeded in finding the S-matrix formulation of QED in configuration space in the lines suggested by Heisenberg. The equivalence of these formulations was shown by Dyson. These works lead not only to a better understanding of the field theories but,

<sup>1</sup> Mais à frente, na própria tese, Tiomno descartará esta teoria, provando que a mesma não é invariante relativisticamente.



at least in the case of QED to computational prescriptions leading to finite answers for problems whose solution in the earlier stages of the theory was impaired by the presence of infinite terms. All these treatments, as well as the earlier work, were in the frame of local field theories whose characteristics were made precise recently by Dirac. An attempt to consider non-localizable fields was made recently by Yukawa. Non-localized interactions have also been tried by several authors in order to eliminate divergences without subtraction procedures. We shall restrict ourselves to local field theories (a review of which will be made in section A), although an attempt will be made in section B, with negative result, to consider special type of non-local theory of neutrinos.”

A Parte I está dividida nas seções A e B.

- A- Local Field Theories
- 1. Interaction Representation
- 2. Heisenberg Representation
- 3. Schrödinger Representation
- 4. S Matrix Formalism
- B- Non-Local Schrödinger Projection theories

Ele termina esta primeira parte demonstrando que não é possível encontrar teorias não-locais para o caso do neutrino e utilizará apenas as teorias locais.

### 7.1.2. Parte II e Parte III

Já a segunda parte começa com o estudo das restrições, ou seja, para testar um teoria ela precisa, primeiramente, ser invariante e, neste caso, ser invariante de Lorentz. Ou seja, nesta parte, Tiomno apresenta seus cálculos, por assim dizer, estudando as restrições do decaimento  $\beta$  e as interações de meson sob a invariância de Lorentz. E esta parte II está subdividida em itens A, B, C e D, novamente demonstrando uma preocupação em delinear todo o raciocínio.

Na seção A, Tiomno se preocupa em apresentar características do grupo de Lorentz, com o intuito de formular o problema do tratamento das equações de onda sob essa invariância. Ainda há a inclusão de uma transformação (no caso para testar a unitariedade) de inversão temporal para esta análise.

Na seção B, encontramos a questão da invariância da EDQ sob a inversão temporal. É relevante lembrar que estávamos, então, em 1950 e a EDQ foi, por assim dizer, iniciada por Dirac no final da década de 1920. Até o ano de 1947, ou seja, três antes da defesa de Tiomno, problemas relevantes permaneciam em aberto. Foi também em 1947 que Hans A. Bethe (1906-2005) completou o cálculo não-relativístico para explicar o desvio das linhas do átomo de hidrogênio observadas por Lamb e Rutherford. Tiomno emprega o resultado da seção A para verificar essa invariância.

Já as seções C e D, bem como toda a Parte III são extremamente matemáticas. Nestas partes da tese, Tiomno, por

meio de suposições de hipóteses, procura demonstrar muitas afirmações e realiza cálculos como que abrindo as contas relativas, em termos genéricos, ao decaimento  $\beta$ . A parte III de sua tese de doutorado está muito vinculada ao estudo de spinores, exibindo a grande capacidade matemática do físico brasileiro.

### 7.1.3. Parte IV

A parte IV continua com deduções e contas, no entanto há uma parte extremamente detalhada e interessante, cujo título *Theories of the neutrino and  $\beta$ -decay* explica de maneira didática quais eram aí as teorias envolvidas. Obviamente se trata de um resumo, mas a capacidade que o Tiomno tem de condensar de maneira completa e clara é comprovada novamente nesta parte de sua tese. Aqui ele analisa as possíveis teorias para o neutrino, especialmente aquelas relacionadas a campo dos neutrinos e como se dá a interação e "aparição" do neutrino nestas interações.

Como visto na Parte I da tese, ele se utiliza apenas de teorias não locais e da representação no cenário de interação. Considera também, como visto nas partes II e III, o spin  $\frac{1}{2}$  e entende o neutrino como aquele descrito pelos campos de Dirac.

Tiomno classifica as teorias a serem estudadas conforme o comportamento do campo do neutrino, a saber:

1. *two neutrino theories*, se o neutrino é uma partícula do tipo Dirac e não há projeção do operador na hamiltoniana de interação.
2. *projection theories*, se o neutrino é uma partícula de Dirac, mas somente a projeção do operador de campo do neutrino aparece na interação.
3. *reduced or one-neutrino theories*, se o campo de neutrino é reduzido, ou se o neutrino é do tipo Majorana.

Finalmente ele considerou os seguintes processos e os denominou da seguinte forma:

**a** Interação do tipo :  $\bar{\Psi}_P \Psi_N \rightarrow \bar{\Psi}_e \Psi_\nu$

**b** Interação do tipo :  $\bar{\Psi}_P \Psi_N \bar{\Psi}_e^C \bar{\Psi}_\nu \rightarrow \bar{\Psi}_P \Psi_N \bar{\Psi}_e \Psi_\nu$

**c** Interação do tipo :  $\bar{\Psi}_P \Psi_N \bar{\Psi}_e \gamma_5 \bar{\Psi}_\nu \rightarrow \bar{\Psi}_P \Psi_N \bar{\Psi}_e \Psi_\nu$

**d** Interação do tipo :  $\bar{\Psi}_P \Psi_N \bar{\Psi}_e \gamma_5 \Psi_\nu \rightarrow -\bar{\Psi}_P \Psi_N \bar{\Psi}_e \Psi_\nu$

### 7.1.4. Parte V

Nesta última parte, antes da conclusão de seu trabalho, é apresentada o processo "double beta-decay", descrito como aquele em que um núcleo emite dois elétrons e nenhum neutrino, com a troca de 2 nêutrons em prótons. Esse processo, pode ocorrer via processos simples, seguindo a teoria de Majorana e os processos descritos nos itens (a) e (b) da Parte IV.

Para o caso de teorias em que há conservação do número de neutrinos e casos de teorias mistas (do tipo (a) e (c)) com

a interação simples implica em um processo  $\beta$  decay onde a presença de dois neutrinos é possível. Esse é o caso do Fireman [26].

Assim a parte V contém o detalhamento para verificar qual das duas teorias consegue explicar o comportamento observado experimentalmente.

#### 7.1.5. Conclusão da tese de doutorado

As conclusões da tese são apresentadas ao final da parte V. Tiomno defende que a teoria de Majorana é aquela que permite um melhor acordo com os resultados experimentais do double  $\beta$  decay, em contraste com a teoria de conservação de partículas. No entanto, ele afirma:

This does not necessarily mean that the neutrino is a Majorana particle (or, as have been sometimes improperly said, that the anti-neutrino is equal to neutrino), because a Dirac type of neutrino in a mixed theory of type (a,b) would lead to the same result.

Tiomno sugere ainda a necessidade de serem realizados um número maior de experimentos de forma a propor uma ordenação para os processos a fim de garantir a afirmação feita no parágrafo anterior. Ele enfatiza que a análise do espectro de energia deveria ser considerada quando possível, já que ela poderia trazer maiores informações sobre a natureza da interação. A análise forneceria informações que questionariam a teoria (comum à época) de que o espectro de energia é completamente diferente do que prediz a teoria de Majorana. Ao final, ele sugere um estudo aprofundado sobre as correlações angulares para verificar se é uma interação do tipo vetorial, tensorial ou pseudovetor. Em suma, a tese é ousada por tratar de um assunto novo, empregando e citando teorias e experimentos recentes, o que indica não apenas a capacidade científica do jovem físico brasileiro, mas, principalmente, sua vontade em aceitar desafios complexos e exigentes.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descrição, mesmo que resumida e incompleta, dos anos de formação de Jayme Tiomno nos permite perceber que, em que pese a inexistência de um ambiente de pesquisa consistente e robusto no Brasil, aquilo que então havia era já suficiente para fortalecer a decisão daqueles (poucos) jovens interessados em seguir uma carreira científica. Como é comum na ciência, a formação recebida por Tiomno no Rio de

Janeiro e em São Paulo deveria ser complementada em centros mais avançados. Seguindo os passos de Leite Lopes, Tiomno foi para a Universidade de Princeton e não para a Europa. Sua escolha pode ser explicada por, ao menos, duas razões. A primeira delas foi a bolsa de estudos oferecida pelos Estados Unidos e que fazia parte da diplomacia científico-cultural agressiva implementada pelo governo desse país. A segunda razão deve-se ao fato de que o centro da física já tinha se deslocado para os Estados Unidos. Os anos passados no Brasil foram relevantes para fortalecer a opção pela ciência e para incutir confiança em suas capacidades científica e de trabalho. Leite Lopes e Tiomno chegaram a Princeton maduros como pessoas, o que lhes permitiu alcançar êxito no curto espaço de tempo que lá estiveram. Os anos passados em Princeton foram úteis e instrutivos não apenas pela titulação obtida. Tão importante quanto o título de doutor foram outros aprendizados em setores como a escolha de material didático a ser usado, em particular pelos calouros em física, e postura de professores e alunos. Ambos conseguiram também constituir uma rede de relações com outros físicos e que acabaram por lhes ser muito importantes nos anos seguintes. Os nomes de John A. Wheeler, Richard Feynman (1918-1988), David Bohm (1917-1992) e Cecille DeWitt-Morette (1922-2017) são suficientes para evidenciar tal rede. Se tomarmos o discurso de formatura pronunciado por Leite Lopes [31], não constitui exagero afirmar que a formação que ele e os seus colegas de turma (entre os quais Tiomno e Elisa Frota-Pessoa) queriam receber não contemplava apenas a dimensão científica. Eles gostariam também de aprender como se constitui um ambiente científico produtivo, rigoroso e inspirador. Mas há ainda outro ponto que precisa ser mencionado. O título de doutor, ainda mais obtido numa universidade com prestígio, dava aos seus detentores alguma força para enfrentar os poderosos catedráticos, alguns deles unidos a tal condição sem o devido mérito científico-pedagógico. Nos casos desses jovens, a titulação ia de encontro ao desejo de autonomia, não apenas científica, mas também didática, epistemológica e política. A sua geração tinha, e não o escondia, um compromisso com o desenvolvimento do país e que seria alcançado com o concurso da ciência, a qual deveria seguir critérios de produção, disseminação e avaliação explícitos e consolidados.

## 9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os comentários e a leitura rigorosa e cuidadosa do árbitro. O autor (AAPV) agradece o financiamento concedido pelo CNPq através de uma bolsa de produtividade e à UERJ/FAPERJ pela bolsa Prociência.

[1] J. M. F. Bassalo e O. Freire Jr. Wheeler, Tiomno e a Física Brasileira, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, nº 4, 2003, p. 426.;  
J. M. F. Bassalo. Jayme Tiomno, os mésons e a física paraense

In **Perfis**, Francisco Caruso e Amós Troper (eds.). Rio de Janeiro: CBPF, 1997.

A. L. L. Videira. Da Relatividade às Partículas (IDA-EVOLTA): 40 anos de Física de Jayme Tiomno, CBPF-CS-

- 001/85.
- [2] De acordo com o curriculum vitae de J. Tiomno, de 1997, temos Sobre o Teorema da Unicidade na Distribuição de cargas em condutores, *Revista da F. N. Fi.*, vol. 1, p. 2 1942 e Sobre um problema da Teoria da Elasticidade. *Revista da F.N.Fi.*, vol. 3, 1942, p. 21.
- [3] Segundo Bassalo e Freire [1], temos Sobre um analisador harmônico mecânico, também apresentado como comunicação à Academia Brasileira de Ciências
- [4] J. Tiomno. Jayme Tiomno (depoimento, 1977), Rio de Janeiro: CPDOC/FGV/RJ, p. 69.
- [5] **Why Teach Physics? Based on Discussions at the International Conference on Physics in General Education**, Sanborn C. Brown, Norman Clarke and Jayme Tiomno (ed.s), Cambridge (Mass.): MIT Press, 1964.
- [6] G. Wataghin, On the production of groups of mesotrons by high energy Collisions In **Symposium on Cosmic Rays**. Rio de Janeiro: *Academia Brasileira de Ciências*, 1943, p. 129;  
G. Wataghin, "Statistical mechanics of processes observed in cosmic ray phenomena", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 15, p.355, 1943;  
G. Wataghin, "Statistical mechanics at extremely high temperatures", *Physical Review*, vol. 66, p.v149, 1944;  
G. Wataghin, "On the multiple production of mesons", *Physical Review*, vol. 74, p. 975, 1948.
- [7] J. L. Lopes, **Uma história da física no Brasil**, São Paulo: Ed Livraria da Física, 2004.
- [8] H. D. Tavares, Dissertação de mestrado "Conhecimento científico e interesse militar: a dinâmica das associações da National Geographic society para observações de eclipses do Sol nas décadas de 1930 e 1940", IFCS/UFRJ, 2012.
- [9] De acordo com o curriculum vitae de J. Tiomno, de 1997, temos Sobre as derivadas do campo de radiação do electron puntiforme com spin (with W. Schutzer), *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 19, p. 333, 1947.
- [10] De acordo com o curriculum vitae de J. Tiomno, de 1997, temos On the proton-proton scattering at 14.5 MeV, (with J. Leite Lopes), *Physical Review*, vol. 72, p. 1731, 1947.
- [11] **Frontier Physics - essays in Honour of Jayme Tiomno**, Editors S. MacDowell, H. M. Nussenzveig, R. A. Salmeron. Singapore: World Scientific, 1991.
- [12] Wheeler, John Archibald, **Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics**. New York: W.W. Norton and Co., 1998.
- [13] Energy spectrum from mu-meson decay, *Review of Modern Physics*, vol. 21, p. 144, 1949.
- [14] Charge exchange reaction of the mu-meson with nucleus, *Review of Modern Physics*, vol. 21, p. 153, 1949.
- [15] On the coupling mesons with nucleons, *Physical Review*, vol. 75, p. 1306, 1949.
- [16] On the spin of pi and mu-mesons, *Physical Review*, vol. 75, p. 1306, 1949.
- [17] On the spin of mu-mesons, *Physical Review*, vol. 76, p. 856, 1949.
- [18] D. Piza, O físico brasileiro que viu o Nobel passar, reportagem, **O Estado de São Paulo**, 20 de novembro de 2006; A. Marques, Obituário, *Norte Ciência*, vol. 2, n. 1, p. 108 (2011);  
N., Zagury, **Contribuições de J. Tiomno para o entendimento das interações fracas**, Palestra, Universidade de Brasília, I Simpósio Jayme Tiomno (2011);  
S. Jofilly, Homenagem aos 80 anos de Jayme Tiomno, CBPF-CS-016/03;  
E. Predazzi. In Memory of Jayme Tiomno, *Notas de Ciência*, vol. 2, n1, p. 104 (2011), disponível em [http://aparaciencias.org/vol-2.1/10\\_In\\_memory\\_of\\_Jayme\\_Tiomno.pdf](http://aparaciencias.org/vol-2.1/10_In_memory_of_Jayme_Tiomno.pdf) consultado em 29 de outubro de 2017.
- [19] S. S. Schweber, **QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga**, Princeton: Princeton University Press, 1994.
- [20] H. Kragh, **Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century**, Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [21] E. Amaldi, Beta decay opens the way to weak interactions, *Journal de Physique*, Colloque C8, supplément 12, Tome 43, decembre 1982.
- [22] S. M. Bilenky, Neutrino, History of a unique particle, *European Physical Journal H*, vol. 38, p. 345, 2013.
- [23] E. P. Wigner, Über die Operation der Zeitumkehr in der Quantenmechanik, *Göttinger Nachrichten*, vol. 31, p. 546, 1932.
- [24] G. Racah, On the symmetry of particle and antiparticle, *Nuovo Cim.* vol. 14, p. 322, 1937.
- [25] W. Furry, *Physical Review*, vol. 56, p. 1184, 1939.
- [26] E. L. Fireman, An experiment on double  $\beta$ -decay, tese de doutorado, Universidade de Princeton, 1948.
- [27] J. Tiomno and C. N. Yang, *Physical Review*, vol. 79, p. 495, 1959.

- [28] T. D. Lee and c. N. Yang, *Physical Review*. vol. 104, p. 254, 1956.
- [29] J. L. Lopes, The Principal of the Universal Fermi Interaction IN Ref. [11], p. 47.
- [30] J. Tiomno, Theories of neutrino and the double beta decay, tese de doutorado, Universidade de Princeton, 1950, p. 1.
- [31] J. L. Lopes, Discurso de Formatura dos Bacharéis da Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, CBPF-CS-007/12.