

## Gleb Wataghin \*

R. A. SALMERON

É GRANDE honra e imenso prazer ter a oportunidade de falar a respeito de Gleb Wataghin, o homem que ensinou aos brasileiros os fundamentos da física moderna, como aprender esses fundamentos e como fazer pesquisa em física. A história de Gleb Wataghin no Brasil é uma história de grande beleza e fora do comum. Não há muitos exemplos semelhantes de cientistas que, por suas ações pessoais, tiveram influência tão grande sobre tantas pessoas de gerações diferentes num país, que nem era o seu próprio país. Os alunos de Gleb Wataghin e os alunos de seus alunos espalharam-se por diferentes lugares, contribuindo para fazer a física brasileira o que ela é hoje.

A descrição do trabalho de Gleb Wataghin no Brasil necessitaria muito mais do que uma simples palestra. Poderemos apresentar somente um curto resumo, no qual tentaremos pôr em evidência alguns aspectos da sua personalidade como homem, como físico e como mestre.

### A fundação da USP

Gleb Wataghin nasceu na Rússia, tornou-se italiano porque sua família emigrou para a Itália, onde estudou, e veio de Turim para São Paulo em 1934. Para compreender a influência que exerceu e poder avaliar a sua extensão, é necessário saber algo a respeito das escolas superiores do

\*Este artigo foi escrito pelo autor originalmente em inglês, como transcrição de uma conferência pronunciada na comemoração do centenário do nascimento de Gleb Wataghin, no congresso que foi ao mesmo tempo o *XI International Symposium on Very High Energy Cosmic Rays Interactions* – chamado Edição do Centenário de Gleb Wataghin na série do Simpósio - e *VI Gleb Wataghin School on High Energy Phenomenology*, realizado na Universidade Estadual de Campinas, Campinas, de 17 a 21 de julho de 2000. Não é tradução literal da versão em inglês; o artigo foi reescrito em português. Nota da redação: em virtude de falhas o artigo é publicado de novo em *Estudos Avançados*.

Brasil naquele período. Havia no Brasil uma só universidade, fundada em 1920 no Rio de Janeiro. Esta universidade era formada pelas escolas superiores que já existiam antes da sua fundação, as de Engenharia, Medicina, Direito e Odontologia, que foram colocadas sob uma administração comum, mas sem nenhuma conexão intelectual ou profissional entre elas. Havia em vários lugares no Brasil escolas superiores isoladas equivalentes a essas, que não estavam reunidas numa universidade, sem nenhuma ligação entre elas.

Não havia no país nenhuma escola especializada no estudo das ciências da natureza, ciências humanas ou literatura. As pessoas ficavam interessadas em matemática, física ou química em geral quando estudavam engenharia; os que se interessavam por biologia estudavam medicina; os especialistas em literatura vinham principalmente das escolas de direito, e assim por diante. Os cientistas de quase todos os campos da ciência, os filósofos e os escritores adquiriam a maior parte da sua educação profissional como auto-didatas. Pouquíssimos tinham a oportunidade de aprimorar a sua educação na Europa.

Essa era a situação no Brasil quando a Universidade de São Paulo foi fundada, em 1934. As escolas superiores existentes na cidade foram reunidas com administração comum, mas, mais importante do que a junção das escolas do ponto de vista administrativo foi a criação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, a primeira fundada no país. Esta Faculdade teve enorme impacto sobre o desenvolvimento das ciências em São Paulo, com subsequente influência sobre outras universidades que foram fundadas posteriormente. Devido a esta influência, a fundação da Universidade de São Paulo foi o acontecimento mais importante na história das universidades brasileiras.

Os fundadores da universidade decidiram que eminentes professores europeus

deveriam ser convidados para começarem o ensino e a pesquisa nas diferentes ciências. A organização dos convites foi confiada ao insigne matemático brasileiro Teodoro Ramos, que havia trabalhado durante vários anos em Paris, na Sorbonne, e tinha bom conhecimento da comunidade científica européia. Teodoro Ramos escreveu um dos primeiros livros sobre análise vetorial em língua francesa, quando trabalhava em Paris. A sua influência na organização da nova universidade foi enorme, porque ele convidou para iniciar ciências humanas, ciências da natureza e matemática pessoas do mais alto nível. Foi a Roma convidar Enrico Fermi para dirigir a física. Fermi estava naquela época ocupado com os famosos experimentos que se tornaram históricos, e não pôde aceitar o convite. Recomendou Gleb Wataghin, então trabalhando na Universidade de Turim, um dos físicos teóricos italianos em quem Fermi, segundo suas próprias palavras, tinha confiança. Wataghin aceitou o convite para vir ao Brasil.

#### **Wataghin o homem**

A decisão de Wataghin foi uma grande oportunidade para o Brasil. Olhando retrospectivamente para a história, vemos que dificilmente se poderia encontrar pessoa mais adequada para começar a física em São Paulo, não somente por causa da sua estatura científica, mas também por causa das suas qualidades humanas. Iniciando a pesquisa em física num país sem tradição, ele teve de enfrentar dificuldades de diferentes tipos: humanas, culturais, administrativas, financeiras. Resolveu-as com energia, sabedoria e tato.

Wataghin era homem jovial, sorridente, com amplo interesse pelas coisas da vida e em conversar com as pessoas, apaixonado pela ciência, gostava de ensinar, sempre disponível para longas palestras com os estudantes.

Muitas vezes, no meio de uma conversa a respeito da física, ele dissertava sobre a

contribuição para a ciência de « pessoas de pensamentos profundos », e exprimia sua admiração pessoal por muitos dos físicos seus contemporâneos. Essas conversas estimulavam nos jovens a curiosidade pela ciência e o respeito a grandes cientistas.

Uma das principais qualidades de Wataghin como mestre era a sua fé nos jovens. Sempre entusiasta sobre a evolução dos jovens cientistas, costumava dizer que no seu progresso contínuo, de repente eles desabrocham “como uma flor”.

Gleb Wataghin e os outros professores europeus que vieram para a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP introduziram o hábito de se mandar jovens para o exterior, para trabalharem com eminentes pesquisadores em grandes centros universitários.

O respeito que tinha pelos seus estudantes e o nível que desejava imprimir ao Departamento de Física da nova universidade podem ser apreciados quando se vê quem eram físicos que escolhia como orientadores de seus estudantes no exterior, depois de terem trabalhado com ele dois ou três anos. Ele enviou Marcello Damy de Souza Santos, físico experimental, trabalhar com William Bragg\* na Universidade de Cambridge; Souza Santos tornou-se um dos líderes da física brasileira, construiu um acelerador de elétrons do tipo betatron, iniciou a física com aceleradores e a física nuclear no Brasil, instalou e pôs em operação o primeiro reator nuclear no país e fundou o Instituto de Pesquisas em Energia Nuclear. Paulus Aulus Pompéia, físico experimental, foi trabalhar com Arthur Compton\* na Universidade de Chicago: Pompéia tornou-se outro líder, foi um dos principais organizadores do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, em São José dos Campos, uma das mais importantes escolas de engenharia do país. Mário Schenberg, físico teórico, foi trabalhar com o grupo de Enrico Fermi\* na Universida-

de de Roma. Sônia Ashauer, física teórica, foi trabalhar com Paul Dirac\* na Universidade de Cambridge ( infelizmente Ashauer faleceu jovem ). Walter Schutzler ( que também faleceu jovem ), trabalhou com Eugene Wigner\* na Universidade de Princeton. Jayme Tiomno trabalhou com John Wheeler e Eugene Wigner em Princeton. Paulo Leal Ferreira trabalhou com o grupo de Roma; com seu irmão Jorge fundou o Instituto de Física Teórica em São Paulo, um dos mais importantes do país. Schenberg, Tiomno e Leal Ferreira são entre os líderes mais importantes da física teórica no Brasil. Oscar Sala trabalhou com R. G. Herb, na Universidade de Wisconsin; um dos mais importantes líderes da física nuclear no país, ele fundou o Departamento de Física Nuclear da USP, com laboratório moderno bem equipado com aceleradores Van de Graaff. Outro estudante de Wataghin muito conhecido que se tornou um líder é Cesar Lattes, que trabalhou com Cecil Powell\* na Universidade de Bristol, principalmente devido a suas ligações com Giuseppe Occhialini; Lattes fundou no Rio de Janeiro o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e posteriormente iniciou as pesquisas em raios cósmicos na Unicamp.

### **Wataghin o físico**

Wataghin trabalhava em física teórica e em física experimental, qualidade excepcional, extremamente importante para o começo da física em São Paulo, que assim teve desde o início pessoas formadas nos dois campos, o teórico e o experimental. Pertenceu àquela última geração de poucos físicos que sabiam toda a física. Podia ministrar de improviso, sem preparação prévia, uma aula sobre praticamente qualquer ramo da física do seu tempo.

A sua vasta cultura era complementada por uma intuição fora do comum para fenômenos físicos, o que lhe permitia prever às vezes com grande antecedência o futuro de uma linha de pesquisa ou de um

experimento recém-começado. Gostaria de citar dois exemplos de conversas que tivemos. Uma delas foi no CERN, em Genebra, quando lhe mostrei pela primeira vez os preparativos de experimentos que íamos realizar sobre interações de neutrinos. Bastaram poucos minutos para que ele concluísse quais as variáveis importantes que deveríamos medir para fornecermos elementos à teoria, e que aqueles experimentos poderiam mudar alguns dos nossos conceitos em física. De fato, eles forneceram as primeiras evidências que nos levaram a pensar seriamente sobre a realidade de QCD. Outra conversa foi quando lhe informei que pares de muons tinham sido produzidos em colisões hadrônicas. Ele se concentrou por alguns minutos, dizendo em seguida que pares de muons podem provir de raios gama, como os pares de elétrons, e fez duas perguntas: de onde viriam os raios gama em colisões hadrônicas ? Não deveríamos investigar a produção de raios gama nessas colisões ? Ele tinha razão, sabemos que o mecanismo é a produção de um raio gama virtual pela aniquilação de um quark com um antiquark, com subsequente desintegração do raio gama em pares de muons, de modo semelhante à aniquilação elétron-positron em QED. Processo importante para nossa compreensão dos quarks.

### **Física teórica**

Gleb Wataghin trabalhou em diversos ramos de física teórica:

- teoria dos campos, com ênfase em teorias de campos não locais, assunto no qual produziu um artigo pioneiro em 1934, ao mesmo tempo que Yukawa; ele esteve sempre interessado na estrutura em espaço-tempo da teoria, e durante toda a sua vida esteve convencido que deveria existir um comprimento fundamental nas interações
- estatística de partículas a altas temperaturas
- astrofísica ( composição das estrelas )
- produção múltipla de mesons

- teoria não-local de quarks com componentes.

Modelo estatístico de produção de mesons

Descreveremos sumariamente, como um exemplo de seus trabalhos, o modelo estatístico de Wataghin de produção de mesons em colisões de altas energias, que ele desenvolveu em 1941-1942, antes da descoberta do pion. Tanto quanto sabemos, este foi o primeiro modelo estatístico de produção de partículas.

A percepção física e a intuição de Wataghin podem ser avaliadas pelas suas próprias palavras que empregou na descrição do modelo:

“a finalidade das observações que seguem é mostrar alguns aspectos muito simples das distribuições de energia e de quantidade de movimento num grupo de partículas criadas em colisões de altas energias ... Examinemos a colisão de alta energia de dois nucleons no sistema do centro de massa ...”

“Começando com a hipótese de que quase toda a perda de energia é radiada sob a forma de um campo mesônico e que o número correspondente de mesons é grande, podemos tentar aplicar considerações clássicas à colisão, lembrando que neste caso os operadores que representam o campo mesônico quase comutam. Podemos então dizer que durante o tempo de colisão  $Dt$ , que é obviamente da ordem de  $r_0/c$ , onde  $r_0$  é o alcance das forças nucleares, produz-se um pacote de onda que tem dimensão linear  $r_0$ . A análise de Fourier deste pacote contém termos que correspondem ao período  $Dt$ . Segue-se do princípio mencionado acima (1) que o comprimento de onda médio das ondas de mesons produzidas é também da ordem de  $r_0$  ... Nós encontramos que, na distribuição mais provável, os mesons criados têm, no sistema do centro de massa da colisão, energia  $\sqrt{3}mc^2$  (onde  $m$  é a massa em repouso do meson)... As conclusões gerais são: para altas energias ( $g \gg 1$ ) o número  $n$  de mesons e a energia

média total dos mesons são proporcionais à raiz quadrada da energia primária (no sistema do centro de massa) (2)”.

Resumindo, Wataghin chegou às duas conclusões:

1) A energia média dos mesons no sistema do centro de massa da colisão deve ser  $\langle E_{\text{meson cm}} \rangle \approx \sqrt{3}mc^2$ , onde  $m$  é a massa do meson. Sabemos hoje que isto é correto.

2) A multiplicidade média dos mesons produzidos deve variar com a energia segundo  $(E_{\text{cm}})^{1/2}$  onde  $E_{\text{cm}}$  é a energia da colisão no sistema do centro de massa.

Uma terceira conclusão, que Wataghin não mencionou explicitamente, é que a quantidade de movimento transversal do meson,  $P_T$ , deve ser limitada. Sabemos que isto é verdadeiro, o  $P_T$  de pions produzidos em colisões de altas energias é limitado a 350 - 400 MeV/c, que é aproximadamente 3 vezes a massa do pion.

Gostaríamos de realçar que Wataghin foi um dos primeiros físicos a compreender que as colisões devem ser analisadas no sistema do centro de massa.

Notemos que Wataghin chegou a essas conclusões há 60 anos, numa época em que o pion ainda não tinha sido descoberto e a física de altas energias, isto é, a física de partículas elementares, ainda não existia. Sabemos hoje que a multiplicidade varia segundo  $\log E_{\text{cm}}$ . Esta variação é muito próxima da predição de Wataghin. Para comparação, a tabela seguinte dá a razão entre a multiplicidade média  $\langle n \rangle$  para certo valor da quantidade de movimento da partícula incidente no laboratório,  $P_{\text{lab}}$ , e a multiplicidade média para quantidade de movimento incidente igual a 10 GeV/c, com as duas leis de variação:  $(E_{\text{cm}})^{1/2}$ , como predito por Wataghin, e  $\log E_{\text{cm}}$ , como conhecemos atualmente.

$\langle n \rangle / \langle n \rangle$ a 10 GeV/c			
$P_{\text{lab}}$ GeV/c	$(E_{\text{cm}})^{1/2}$	$\log E_{\text{cm}}$	
10	1	1	
200	2.1	2.0	
500	2.6	2.3	
1000	3.1	2.5	

Vemos que a predição de Wataghin é muito próxima dos valores conhecidos atualmente; até à altíssima energia de 1000 GeV a concordância é razoável.

#### Pesquisa em raios cósmicos

Wataghin teve perspicácia para compreender logo que o estudo de raios cósmicos era um campo de investigação importante que poderia ser feito em boas condições no Brasil, na época em que aqui chegou. Essa sua visão marcou o desenvolvimento de certos setores da física brasileira, em alguns casos até hoje. Apesar de ser físico teórico, não tendo recebido nenhuma formação especial em métodos experimentais, ele criou em São Paulo um grupo experimental em raios cósmicos, que em poucos anos se tornou conhecido internacionalmente. Como exemplos dos sucessos do grupo de São Paulo, veremos dois dos seus resultados: a descoberta dos chuveisos hadrônicos e a medida da seção de choque total de interação proton-proton a altas energias.

#### A descoberta dos chuveisos hadrônicos

Em 1940, Paulus A. Pompéia, M. Damy de Souza Santos e G. Wataghin fizeram em São Paulo um experimento que detectou eventos inesperados: chuveisos de partículas que podiam atravessar dezenas de centímetros de chumbo (3). Naquela época eram conhecidos os chuveisos eletromagnéticos, mas estes podem ser parados

em poucos centímetros de chumbo. Os chuveisos detectados, que atravessavam dezenas de centímetros, não podiam, portanto, ser eletromagnéticos. Eram de um novo tipo, que os autores chamaram “chuveisos penetrantes”. Eles são o que chamamos hoje de “chuveisos hadrônicos”, grupos de hadrons produzidos juntos em interações fortes. Os chuveisos hadrônicos são um dos elementos mais importantes em colisões de altas energias. Todos os grandes detectores de partículas utilizados em experimentos a altas energias precisam ter detectores de chuveisos hadrônicos.

Esta descoberta, além de ser importante em si, teve conseqüências importantes. Estas são descritas com ênfase, por exemplo, no livro de Heisenberg sobre Raios Cósmicos, que mostra uma conseqüência teórica e uma experimental.

A conseqüência teórica foram as tentativas para responder à pergunta: podem muitos mesons serem produzidos simultaneamente numa colisão, ou são eles produzidos individualmente, isto é, somente um meson por colisão em muitas colisões sucessivas? O primeiro mecanismo, muitos mesons produzidos juntos, é chamado “produção múltipla”, e os seus mais ilustres defensores foram Heisenberg e Wataghin. O segundo mecanismo, pelo qual um único meson seria produzido numa colisão e o chuveiro seria o resultado de muitas colisões sucessivas, foi chamado “produção plural”, e o seu mais proeminente defensor foi Heitler. Sabemos hoje que a hipótese de produção múltipla é a correta, mas tivemos de esperar quinze anos, depois que o experimento de São Paulo foi feito, para termos a prova experimental, obtida com a produção de mesons em interações proton-proton numa câmara de Wilson no acelerador de Brookhaven.

A conseqüência experimental que queremos abordar foi o estímulo para a realização de outro experimento importante.

Patrick Blackett\*, um dos mais eminentes físicos especialistas em raios cósmicos, diretor do Departamento de Física da Universidade de Manchester, na Inglaterra, influenciado pelo experimento de São Paulo, depois da Segunda Guerra Mundial sugeriu a G. Rochester e C. Butler que fizessem um experimento sobre chuviscos penetrantes, utilizando como detector uma câmara de Wilson imersa num campo magnético. O experimento foi feito, e descobriu um novo tipo de partículas, até então desconhecidas, que foram chamadas “partículas V”, porque elas se desintegram em duas outras partículas cujos traços formam um V na câmara de Wilson. Posteriormente o nome foi trocado para “partículas estranhas”. Como é bem conhecido, esta descoberta produziu uma revolução na física.

#### **Seção de choque total proton-proton a altas energias**

Em 1945, Oscar Sala e Gleb Wataghin fizeram um experimento para estudar interações de raios cósmicos em parafina, que é rica em hidrogênio. Eles concluíram que a seção de choque total de interação proton-proton a altas energias deve ser 40 milibarns (4). Este é um resultado extraordinariamente correto, obtido há 55 anos com um dispositivo experimental extremamente simples. Com resultados precisos de experimentos efetuados com aceleradores, sabemos que a altas energias esta seção de choque varia de somente cerca de 10% em torno de 40 milibarns.

Gleb Wataghin retornou à Itália depois de ter trabalhado em São Paulo durante 16 anos. Realizou novamente um belíssimo trabalho na Universidade de Turim, com jovens físicos teóricos e jovens experimentais, estes últimos tendo participado ativamente em muitos experimentos na « época de ouro » da física de partículas feita com raios cósmicos, e passaram a trabalhar posteriormente com aceleradores.

Este curto resumo de algumas das numerosas atividades de Gleb Wataghin e de alguns aspectos da sua personalidade é um tributo modesto a um grande homem que, partindo de nada num ambiente sem a mínima tradição em pesquisas físicas, teve forte influência sobre toda uma geração de cientistas e deu forma à física brasileira.

#### **Referências**

\* Recebeu o Prêmio Nobel de Física.

- 1 O princípio mencionado aqui tinha sido postulado por Wataghin, que sugeriu a invariança das leis da física em relação a uma transformação de “observáveis” e “representativos” de um estado na mecânica clássica e quântica. Cf. G. Wataghin, *Nature* 393 (142) 1938; *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences*, 358 (207) 1938 e 421 (207) 1938; *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, julho de 1942.
- 2 G. Wataghin, “On the production of groups of mesotrons by high energy collisions”, em *Symposium on Cosmic Rays*, Rio de Janeiro, 1941, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, p. 129, 1942.  
Outras referências sobre o modelo estatístico são: G. Wataghin, “Statistical mechanics of processes observed in cosmic ray phenomena”, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 355 (15) 1943; G. Wataghin, “Statistical mechanics at extremely high temperatures”, *Phys. Rev.* 149 (66) 1944; G. Wataghin, “On the multiple production of mesons”, *Phys. Rev.* 975 (74) 1948.
- 3 P. A. Pompéia, M. D. Souza Santos e G. Wataghin, *Phys. Rev.* 61 (57) 1940; *Phys. Rev.* 339 (57) 1940; *Phys. Rev.* 902 (59) 1941.
- 4 O. Sala e G. Wataghin, *Phys. Rev.* 5 (67) 1945.

*R. A. Salmeron* atua no Laboratoire de Physique Nucléaire des Hautes Energies, Ecole Polytechnique - 91128 Palaiseau Cedex - France.