

# Uma História Cultural da Teoria da Matriz-S: Geoffrey Chew e a Filosofia de Bootstrap<sup>1</sup>

## *A Cultural History of the S-Matrix Theory: Geoffrey Chew and the Bootstrap Philosophy*

GUSTAVO RODRIGUES ROCHA

Universidade Estadual de Feira de Santana | UEFS

**RESUMO** Este artigo investiga um estudo de caso de interação entre *milieu* cultural e seleção teórica na história da física do século XX. Geoffrey Chew, físico na Universidade da Califórnia, Berkeley, trabalhando no Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley, e imerso no *Zeitgeist* das décadas de 1960-70, liderou o chamado Programa da Matriz-S, teoria que, conforme se acreditava, substituiria a teoria quântica de campos.

**Palavras-chave** história da física no século XX – seleção teórica – controvérsias científicas.

**ABSTRACT** *This paper investigates a case study of the interplay between cultural milieu and theory selection in the history of physics in the 20<sup>th</sup> century. Geoffrey Chew, a physicist based at UC Berkeley, working at the Lawrence Berkeley National Laboratory, and embedded in the Zeitgeist of the 1960s-70s, led the so-called S-Matrix Program, a theory which was believed would replace quantum field theory.*

**Keywords** *history of physics in the 20th century – theory selection – scientific controversies.*

49

## Introdução

O presente artigo pretende ilustrar a interação entre Ciência e Cultura através de um estudo de caso, a saber, a ascensão e o declínio, ao redor das décadas de 1960-70, da teoria da Matriz-S. A Ciência e a Cultura são popularmente vistas como fundamentalmente independentes, ou seja, os resultados da produção cultural seriam históricos e contingentes enquanto os resultados da produção científica seriam a-históricos e necessários. A distinção estaria em seus domínios descritivos. O domínio descritivo da Ciência seria a Natureza (onde o objeto descrito é independente do sujeito que descreve). O domínio descritivo da Cultura seria a Sociedade (onde o objeto descrito é dependente do sujeito que descreve).

Os filósofos da ciência entenderam como a linguagem ordinária enseja estas confusões conceituais expressas pela dicotomia entre Natureza e Sociedade. O realismo científico e o racionalismo epistemológico expressariam filosoficamente essas confusões. Todavia, a cognição humana compreende a sua experiência como uma totalidade. A concepção fenomenológica de linguagem (que abarca a totalidade da experiência humana em suas interações históricas através da ciência e da técnica com o mundo social e natural) nos permite apreciar o complexo tecido linguístico a partir do qual as teorias científicas são construídas, costuradas e constituídas. O estudo da controvérsia científica entre teoria da Matriz-S e teoria quântica de campos entre as décadas de 1960-70 ilustra essa complexidade.

## A Interação entre a Tradição Experimental e a Tradição Teórica da Física das Partículas Elementares

Os argumentos desta análise serão construídos sob a perspectiva metodológica pautada por duas teses da sociologia do conhecimento científico e da filosofia da ciência aplicadas ao nosso estudo de caso, respectivamente, (i) a tese do sociólogo britânico Harry Collins conhecida como “regressão do experimentador”<sup>2</sup> e (ii) a tese da filosofia da ciência conhecida como “subdeterminação das teorias pelos dados”. A primeira tese é especialmente propícia quando aplicada à tradição experimental e a segunda tese é especialmente propícia quando aplicada à tradição teórica da física de partículas elementares.

A “regressão do experimentador” é a tese de Harry Collins a respeito da prática experimental. Collins afirma que os “fatos” somente podem ser gerados por meio de uma “prática experimental adequada”, contudo, uma “prática experimental adequada” é assim considerada somente se gerar “fatos”. Deste modo, a fim de se julgar se uma evidência é equivocada, o pesquisador só pode se basear numa expectativa teórica, contudo, a fim de se decidir entre duas ou mais teorias, o pesquisador só pode se basear em evidências. A consequência desta circularidade, para Collins, é que não há nenhum critério formal que possa ser aplicado a fim de se decidir se um determinado resultado experimental deve ou não contar como evidência de uma determinada teoria. O realismo científico tem o seu sentido esvaziado.

A segunda tese, a respeito da relação entre as evidências e as conclusões, afirma que sempre pode haver mais de uma teoria que explique um mesmo conjunto de dados. A teoria A1, por exemplo, é chamada de subdeterminada caso haja uma teoria rival A2 que, embora igualmente consistente com as evidências, seja inconsistente com a teoria A1. Ambas as teses, muito utilizadas em estudos de controvérsias científicas, resultam do problema da indução, o qual, para os sociólogos da escola de Collins, não pode ser solucionado nem pelo método hipotético dedutivo dos positivistas lógicos, nem pelo falsificacionismo de Karl Popper. A conclusão, portanto, é que não há nenhum ponto arquimediano, capaz de guiar o cientista na escolha de teorias científicas, que transcenda o aspecto social da construção do conhecimento científico. O racionalismo epistemológico tem o seu sentido esvaziado.

50

Esta perspectiva metodológica, pautada por estas duas teses, abriu a possibilidade de uma análise sociológica para a História da Ciência (análise não apenas da comunidade científica, mas do próprio conteúdo das teorias científicas). O historiador da física Andrew Pickering, por exemplo, ao escrever a sua história da física de partículas, no livro *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*, explorou esta possibilidade historiográfica. Andrew Pickering chamou o seu modelo historiográfico a respeito da simbiose entre as tradições experimentais e teóricas da física de partículas elementares de “oportunismo em contexto”.

Por “oportunismo”, Pickering entende as “oportunidades” encontradas, individualmente e coletivamente, pelos cientistas em diferentes “contextos”. O físico encontra, em cada uma das tradições, um número limitado de “oportunidades” (as quais serão aqui resumidas a recursos teóricos e experimentais e financiamento). No contexto da tradição experimental, os recursos são os laboratórios de pesquisa. No contexto da tradição teórica, os recursos são as técnicas e métodos; as analogias e modelos. Em ambas as tradições, tanto indivíduos quanto grupos precisam, além destes recursos, de financiamento (pagos nas formas de bolsas e salários).

Por “contexto”, Pickering entende a condição material das pesquisas, a qual fornece um solo comum entre as diferentes pesquisas (o que acaba de certo modo balizando as controvérsias científicas). Diferentes grupos de pesquisa, sejam de experimentais, sejam de teóricos, influenciam-se mutuamente, unidos por esta argamassa invisível. A fim de levantarem “oportunidades”, todos precisam apresentar “resultados” (no sentido experimental, por exemplo, isto poderia significar gerar “fatos”; no sentido teórico, por exemplo, isto poderia significar gerar “previsões”). A necessidade de se produzir “resultados”, comum a todos estes grupos, limita a capacidade de se desafiarem mutuamente.

A teses da “regressão do experimentador” e da “subdeterminação das teorias pelos dados” são especialmente interessantes em estudos de controvérsias científicas. Essa História Cultural da Teoria da Matriz-S é uma investigação da controvérsia entre teoria quântica de campos e teoria da Matriz-S. O físico teórico Steven Weinberg, que desempe-

nhou um papel fundamental para o sucesso da teoria quântica de campos, assim resumiu a resolução da controvérsia: “A teoria da Matriz-S finalmente morreu, não no sentido de que se provou que a teoria estava errada, mas no sentido de que os físicos desistiram de produzir qualquer progresso a partir dela”<sup>3</sup>.

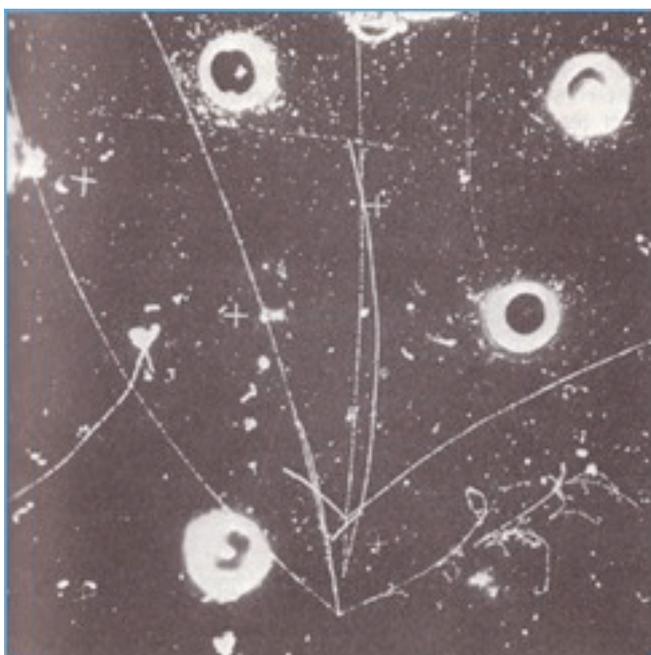
Destaca-se dois pontos da reflexão de Weinberg. A teoria da Matriz-S, em primeiro lugar, não foi falsificada (permanecendo uma teoria subdeterminada pelos dados). O próprio Weinberg pareceu sugerir – em um sentido popperiano – que a teoria não foi falsificada. Em segundo lugar, pergunta-se o seguinte: O que significou, neste caso, o “progresso” (que segundo Weinberg faltou aos teóricos da Matriz-S)? O modelo de Pickering ajuda a responder à essa pergunta.

Há um limite material para se prosseguir com a “regressão do experimentador”. Há um limite material para se continuar a trabalhar em “teorias subdeterminadas pelos dados”. Em todos os casos, há custos envolvidos. E como se exige “resultados” de toda pesquisa, mina-se materialmente a controvérsia (sendo subsumida em um “novo contexto”; em benefício de toda a comunidade). Há uma necessidade material de se definir o que é frutífero em uma área de pesquisa a fim de não se perder “oportunidades”.

## A Tradição Experimental da Física das Partículas Elementares.

A tradição experimental da física das partículas elementares é a tradição da física de altas energias (em inglês, *high energy physics*, doravante *HEP*). Delineia-se, a seguir, certas notas preliminares a respeito da comunidade de *HEP*; a começar por dois fatores externos importantes que moldaram aspectos institucionais relevantes de sua história. Em primeiro lugar, *HEP* sempre foi *Big Science*. Os custos da pesquisa são enormes e os principais laboratórios de pesquisa em *HEP* foram estabelecidos nos países desenvolvidos. Em segundo lugar, *HEP* é uma ciência pura (sem nenhuma aplicação imediata). Por conseguinte, estes caros laboratórios são, em sua maioria, empreendimentos de âmbito nacional (como o *Lawrence Berkeley National Laboratory*) ou de colaboração internacional (como o *CERN*).

Portanto, a história da física de altas energias, predominantemente, desenvolveu-se dos dois lados do eixo atlântico-norte (Europa e EUA) (uma comunidade, majoritariamente, masculina e branca, fomentada pelos recursos de estados nacionais, trabalhando em universidades e laboratórios). Depois da Segunda Guerra Mundial, com a Europa devastada, os EUA tomaram a liderança. Estima-se, por exemplo, que havia 685 físicos de partículas na Europa para 850 nos EUA em 1962<sup>4</sup>. A comunidade de físicos de partículas continuou a crescer nos EUA até o início da década de 1970.

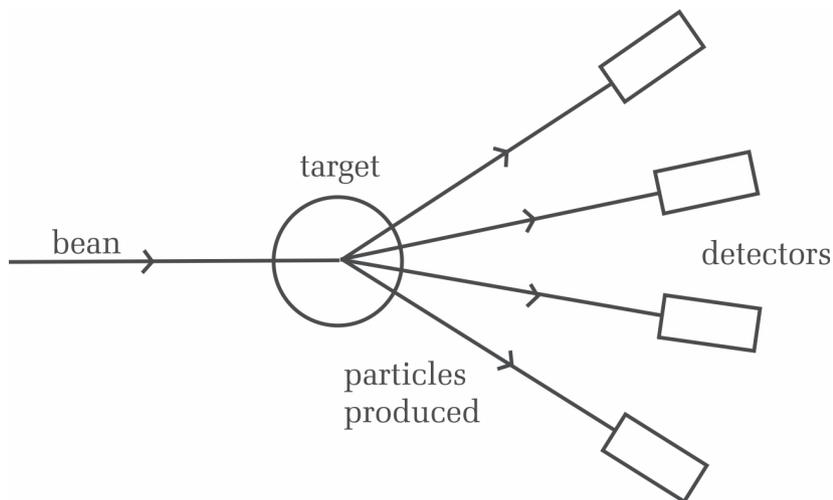


Os experimentos em *HEP*, embora sofisticados, são de simples entendimento. Os seus três principais componentes são (i) o feixe de partículas (*beam*), (ii) o alvo (*target*), e (iii) os detectores (*detectors*) (como ilustrado pelas Figuras 1 e 2). Os detectores são, historicamente, de duas classes: os visuais e os eletrônicos<sup>5</sup>. O exemplo mais conhecido de detector visual é a “câmara detetora” (como a “câmara de nuvens”, a “câmara de fálscas” e a “câmara de bolhas”). Neste caso, a “câmara detetora” é tanto o alvo, quanto o detector. A Figura 1 ilustra um destes experimentos.

**Figura 1.** Fotografia de uma câmara de bolhas.

Fonte: PICKERING, Andrew. *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1984, p. 25.

O “acelerador de partículas” (como o “cíclotron” e o “síncrotron”) é o exemplo mais conhecido de detector eletrônico. Neste caso, o feixe de partículas é acelerado a fim de colidir contra o alvo. As seções de espalhamentos e as partículas resultantes desta colisão são medidas pelos detectores. A fonte aceleradora destes feixes de partículas e a precisão destes detectores têm sido, historicamente, os principais focos do contínuo esforço de aprimoramento destes experimentos. A notação mais simples para representar este processo seria  $A + X \rightarrow B + C + X$ , onde A e X são as partículas, respectivamente, do feixe (*beam*) e do alvo (*target*), e B e C são as partículas resultantes desta colisão (*particles produced*) (sendo a partícula composta pelas partículas elementares B e C). O primeiro cíclotron foi construído, em 1931, pela equipe do físico americano Ernst Lawrence, em Berkeley (sendo por isto galardoado com o prêmio Nobel de Física de 1939)<sup>6</sup>. A Figura 2 ilustra, esquematicamente, um destes experimentos.



**Figura 2.** Esquema de experimento em HEP.

Fonte: PICKERING, Andrew. *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1984, p. 23.

Portanto, os dados observáveis a partir destas experiências são: das partículas resultantes; (i) as suas “seções de espalhamentos” e (ii) os seus “tempos de vida médios”; e, tanto do feixe, como do alvo, (iii) as suas “energias de ligação”. Finalmente, a fim de se entender a relação simbiótica entre a tradição experimental e a tradição teórica da física das partículas elementares serão destacados três fatores delimitadores, de fundamental importância, para os resultados destes experimentos.

Em primeiro lugar, as energias dos feixes de partículas (as quais são determinadas pela tecnologia dos aceleradores). O campo de pesquisa da física de altas energias envolve, historicamente, escalas de energia cada vez maiores, correspondendo a escalas de distância cada vez menores, a fim de se investigar as partículas elementares (correspondendo, por conseguinte, a aceleradores cada vez maiores). Portanto, em cada circunstância histórica de seu desenvolvimento, a física das partículas elementares é delimitada, em termos de energia máxima alcançada, pela tecnologia, disponível no dado momento, dos aceleradores.

As energias dos feixes de partículas são medidas em elétron-volt ( $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ). O primeiro cíclotron de Lawrence atingia uma energia de 80 KeV. Após a Segunda Guerra Mundial, todavia, a área foi dominada pelo síncrotron. O primeiro síncrotron foi construído em *Long Island*, nos EUA, pronto em 1952, no *Brookhaven National Laboratory*, atingindo a energia de 3 GeV. O segundo síncrotron foi construído em Berkeley, no Laboratório de Lawrence, pronto em 1954, atingindo a energia de 6,2 GeV. A Figura 3 ilustra o aumento progressivo da energia dos feixes de partículas dos aceleradores desde o início da década de 1950 até o final da década de 1980 (em ordem cronológica de construção).

Accelerator	Date of first operation	Particules accelerated	Beam energy (GeV)	CM energy (GeV)
Cosmotro, Brookhaven	1952	Protons	3	2.8
Bevatron, Berkeley	1954	Protons	6.2	3.5
Dubna	1957	Protons	10	4.5
CERN PS	1959	Protons	28	7.0
AGS, Brookhaven	1961	Protons	33	8.0
CEA, Cambridge, MA	1962	Electrons	6	3.5
ZGS Argonne	1963	Protons	13	5.0
NIMROD, Rutherford Lab.	1963	Protons	7	3.7
DESY, Hamburg	1964	Electrons	7	3.8
NEMA, Daresbury	1966	Electrons	5	3.2
SLAC, Stanford	1966	Electrons	22	7.0
Yerevan, USSR	1967	Electrons	6	3.5
Cornell	1967	Electrons	12	5.0
Serpukhov	1967	Protons	76	12.0
Fermilab, Chicago	1972	Protons	500	32.0
CERN SPS	1976	Protons	450	30.0
KEK, Tsukuba, Japan	1977	Protons	12	5.0
Tevatron, Fermilab	1985	Protons	1000	43.0
UNK, Serpukhov	Late 1980s	Protons	3000	76.0

**Figura 3.** Aceleradores de partículas em ordem cronológica (a partir do ano de sua primeira operação). CM significa *centre-of-mass energy*.

Fonte: PICKERING, Andrew. *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1984, p. 32.

Em segundo lugar, as seções de espalhamentos das partículas (as quais são determinadas pela disposição espacial dos detectores). A pesquisa em *HEP* é muito sistemática. O físico experimental em *HEP* não arranja os detectores, como se poderia supor, de modo a cobrir todas as seções de espalhamentos possíveis. Pelo contrário, o pesquisador é levado a fazer escolhas, arranjando os detectores de modo específico. O experimentador procura, ao arrancar o seu experimento, por resultados frutíferos (como, por exemplo, a descoberta de novas partículas). Por isto, ele mede as seções de espalhamentos, através da disposição dos detectores, guiado pela expectativa de gerar “fatos”. A sua expectativa, em certa medida, é dirigida pela teoria, que gera “previsões” (o que leva à “regressão do experimentador”, já que esta teoria, por sua vez, é guiada pelos “fatos”).

53

As seções de espalhamentos são medidas em barn ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ). Descobriu-se que o número de partículas detectadas crescia, exponencialmente, com o aumento das seções de espalhamentos. Portanto, a pesquisa em *HEP*, no período do Pós-Guerra, de 1945 a 1965, concentrou-se em grandes seções de espalhamentos (pois assim pôde-se gerar “fatos”). As grandes seções de espalhamentos refletem as grandes “massas de repouso” das partículas envolvidas (do feixe e do alvo) – o que corresponde a colisões, por conseguinte, entre partículas nucleares (como a colisão próton-próton). Pode-se notar pela lista da Figura 3, com efeito, que as experiências em *HEP* foram, até meados da década de 1960, dominadas por colisões entre prótons.

Em terceiro lugar, por conseguinte, a escolha das partículas utilizadas (tanto dos feixes, como dos alvos). No período entre 1945 e 1965, de modo a gerar “fatos”, as partículas hádrons, como são chamadas, dominaram a pesquisa em *HEP* (envolvendo grandes seções de espalhamentos, dadas suas grandes “massas de repouso”). E, conforme a expectativa, “fatos” foram gerados. A partir da década de 1950, descobriram-se várias partículas. Esta explosão de partículas, em sua maioria hádrons, mudou o cenário da *HEP*. Com efeito, a lista de léptons (a saber,  $e$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ ), desde 1952, quando se descobriu o  $\mu$ , permaneceu estática por anos. A lista de hádrons, por outro lado, continuou a crescer.

Estes três fatores ilustram o que se entende pelo que se chamou acima de “limite material para se prosseguir com a regressão do experimentador” (o que delimitou, do lado da tradição experimental, de modo tácito, as “oportunidades”). Portanto, destes três fatores delimitadores, decorre o seguinte. A força responsável pela coesão dos prótons e nêutrons dentro do núcleo é a “força nuclear forte”. Estas experiências estimularam (ou tornaram “oportunas”) teorias para a

“força forte” (que acomodassem, de forma adequada, os dados experimentais). E a partir deste “contexto”, dentro do período do Pós-Guerra, teóricos encontraram “oportunidades”.

A fim de se entender a relação simbiótica entre as tradições da física teórica e experimental; salienta-se duas destas características da HEP no período do Pós-Guerra: (i) a explosão de partículas “elementares” (o que estimulou uma reflexão sobre o que significava “elementar”) e (ii) o interesse pela “força nuclear forte” (devido à predominância de colisões entre hádrons).

A partir desta perspectiva histórica, dentro do período do Pós-Guerra, a teoria da Matriz-S parecia formidável. Neste ínterim, ao redor da década de 1960, tornou-se uma teoria promissora. Em primeiro lugar, não precisava assumir a existência de partículas elementares (como, de fato, não assumia). Em segundo lugar, explicava a “força forte” (a Figura 3 ilustra como o período era dominado por colisões entre hádrons). A teoria da Matriz-S oferecia “oportunidades” para os físicos teóricos de partículas. A teoria quântica de campos, por sua vez, malograva em fazer o mesmo. Delineia-se a seguir, portanto, certas notas preliminares a respeito da formação destes dois “programas de pesquisa” da tradição teórica.

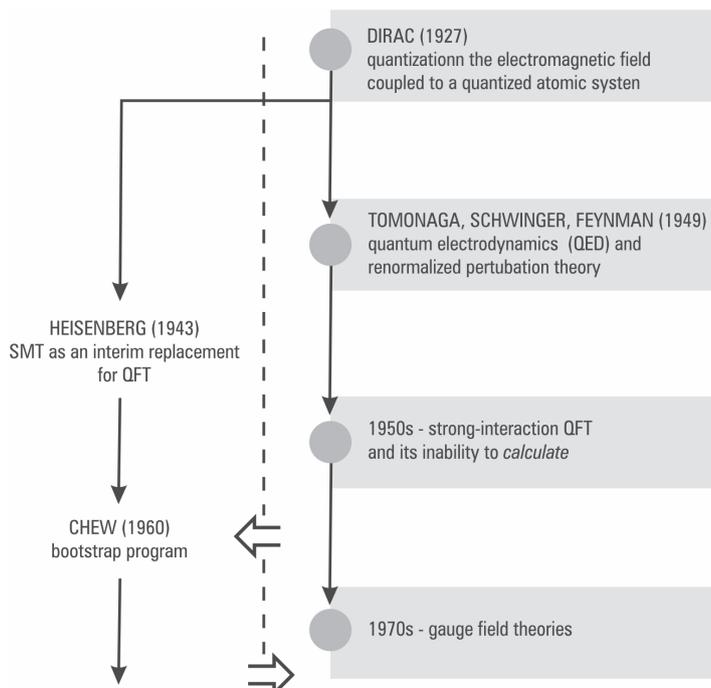
## A Tradição Teórica da Física das Partículas Elementares.

A tradição teórica da física das partículas elementares do pós-guerra oscilava entre a teoria quântica de campos e a teoria da Matriz-S. O físico teórico Steven Weinberg, em seu artigo “Particle Physics: Past and Future”, avaliou deste modo, em 1986, a história de sua área:

*Ao que me parece, em grande medida, a história da física de partículas nos últimos trinta anos ou mais tem sido a história da oscilação entre duas amplas linhas de abordagens às posições subjacentes, duas abordagens que poderiam ser chamadas, brevemente, de teoria quântica de campos e teoria da Matriz-S<sup>7</sup>.*

O historiador da física James Cushing, por volta da mesma época, em seu artigo “Models and Methodologies in Current Theoretical High-Energy Physics”, esboçou graficamente esta história. A Figura 4 é retirada de seu trabalho.

54



**Figura 4.** Os dois “programas de pesquisa” (termo utilizado por Cushing, emprestado de Lakatos) concorrentes na história da física teórica de partículas. A seta dupla  $\rightleftarrows$  indica a mudança, em termos de progresso e de opinião dos cientistas, de um “programa de pesquisa” para o outro. Fonte: CUSHING, James. Models and Methodologies in Current Theoretical High-Energy Physics. *Synthese*, v. 50, 1982, p. 7.

Os físicos Max Born, Heisenberg e Paul Jordan, em um artigo publicado em 1926, aplicaram a mecânica quântica à radiação. A sua primeira utilização prática, no entanto, inspirada pelo artigo de Born, Heisenberg e Jordan, apareceu pelas mãos do físico britânico Paul Dirac. O trabalho de Dirac sobre emissão espontânea, de 1927, marca o início da teoria quântica de campos. Dirac cunhou o termo “eletrodinâmica quântica” (*QED* no acrônimo em inglês). O físico britânico derivaria a sua famosa equação em trabalho publicado em 1928. A equação de Dirac é análoga à equação de Schrödinger, no entanto é consistente com a relatividade restrita. Wolfgang Pauli e Werner Heisenberg desenvolveram, em 1929, uma teoria quântica de campos (incluindo prótons, elétrons e fótons).

A recém-criada teoria quântica de campos, no entanto, logo encontrou uma série de dificuldades. Entre estas dificuldades, aponta-se quatro relevantes. Em primeiro lugar, a teoria quântica de campos, na década de 1930, não explicava os raios cósmicos (embora fosse uma aproximação razoável para baixas energias, a teoria quântica de campos falhava para energias muito altas). Em segundo lugar, ao final da década de 1940, surgiu o “problema dos infinitos” (ou as “dificuldades das divergências”). Posteriormente, os fundadores da moderna *QED*, Tomonaga, Schwinger, Feynman e Dyson, resolveram as “dificuldades das divergências” (o sucesso sendo atribuído ao chamado Programa da Renormalização). Em quarto lugar, a teoria quântica de campos se apoiava na premissa de “partículas elementares”.

A teoria da Matriz-S se desenvolveu, entretanto, com Werner Heisenberg, inicialmente, na década de 1940, e com Geoffrey Chew, posteriormente, nas décadas de 1960 e 1970 (através do chamado Programa de Bootstrap). O trabalho do historiador da física James Cushing, *Theory Construction and Selection in Modern Physics: The S-Matrix*, é a principal referência sobre o tema encontrada na historiografia. A Figura 4 ilustra esta história até o retorno do “pêndulo” para a teoria quântica de campos em meados da década de 1970.

As motivações de Heisenberg, ao desenvolver a teoria da Matriz-S, foram de duas naturezas. De natureza experimental, conforme já mencionado, haviam os raios cósmicos. De natureza teórica, além do problema dos infinitos, duas idiosincrasias de Heisenberg foram relevantes: (i) a sua convicção na existência de uma constante universal da dimensão de um comprimento (o chamado comprimento fundamental), e (ii) a sua esperança de, ao considerar apenas quantidades observáveis, repetir o sucesso de 1925, quando Heisenberg criou a mecânica matricial.

55

O físico John Wheeler introduziu, em um artigo de 1937, no contexto da física nuclear, o conceito de “matriz de espalhamento” (depois conhecida, a partir do artigo de Heisenberg, como Matriz-S). O S origina-se da palavra *Streunung*, que em alemão significa “espalhamento”, ou da palavra *scattering*, que significa “espalhamento” em inglês (a coincidência das iniciais levou a se encontrar na literatura as duas versões para o acrônimo). Heisenberg desenvolveu o conceito em uma série de trabalhos publicados entre 1943 e 1946.

Em seu artigo pioneiro de 1943, Heisenberg somente se utilizou, como já havia feito em 1925, daquelas quantidades observáveis (como aquelas obtidas a partir de colisões entre partículas; ou como aquelas obtidas em experimentos com radioatividade), medidas em um estado inicial  $\Psi$  e em um estado final  $\Phi$  (sem alusão ao que ocorre durante a interação). As quantidades observáveis – como as “seções de espalhamentos”, os “tempos de vida médios” e as “energias de ligação” – podem ser derivadas a partir da Matriz-S, apresentada em sua forma  $\Phi = S\Psi$ .

A Matriz-S é capaz de prever, portanto, a partir de quantidades observáveis do estado inicial  $\Psi$ , as quantidades observáveis do estado final  $\Phi$ . Ao se basear apenas em quantidades observáveis (medidas antes e depois de uma interação, independente do que nela ocorra) não há necessidade de se postular objetos inobserváveis (como a existência de partículas elementares). A Matriz-S, enquanto modelo teórico, parte desta metodologia, ou pressuposto epistemológico, que dispensa de se assumir em sua descrição a existência de partículas elementares (característica que será importante em Geoffrey Chew para a sua Filosofia de Bootstrap).

Depois de publicar artigos sobre a Matriz-S, Heisenberg abandonou a sua teoria original. Em uma das conferências de Solvay, Heisenberg justificou o abandono: “No tempo em que eu trabalhava com a teoria da Matriz-S entre os anos de 1943 e 1948, eu terminei por abandonar a tentativa de construir uma teoria da Matriz-S pura pela seguinte razão: Eu achei muito difícil construir Matrizes-S analíticas”<sup>8</sup>. O problema de sua complexidade assaltaria a teoria da

Matriz-S novamente nas décadas de 1960 e 1970. Entrementes, o Programa da Renormalização resolveu, o que havia motivado Heisenberg, as “dificuldades das divergências”. Ademais, a postulação de um comprimento fundamental era vista com suspeita pela comunidade científica. Em carta a Heisenberg em 1947, Pauli escreveu que esta sua ideia era “nada mais do que uma invenção da imaginação”<sup>9</sup>. A atenção de Heisenberg então se voltou à teoria da turbulência e à teoria de campos não linear.

Porém, as “dificuldades das divergências”, resolvido com sucesso para a *QED*, através do Programa da Renormalização, não pôde ser replicado, nem para a “força fraca” (cuja melhor aposta era a teoria de Fermi), nem para a “força forte”. Por conseguinte, o movimento do pêndulo, como ilustrado pelas setas duplas da Figura 4, voltaria a favorecer a teoria da Matriz-S, por volta da década de 1960, em detrimento da teoria quântica de campos.

O trabalho historiográfico de maior fôlego a respeito do Programa da Renormalização é a obra de Silvan Schweber, *QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*, onde o autor mostra como o fracasso do Programa da Renormalização aplicado à “força forte” “pavimentou o caminho para a popularidade da abordagem das relações de dispersão e para a adoção da abordagem de Chew à teoria da Matriz-S, o que levou um considerável número de físicos teóricos a rejeitar a totalidade do arcabouço conceitual da teoria quântica de campos”<sup>10</sup>.

É neste contexto do período do Pós-Guerra, de 1945 a 1965, que surge a preeminência do físico Geoffrey Chew.

## Geoffrey Chew e Fritjof Capra: A Teoria da Matriz-S e a Filosofia de Bootstrap

### Geoffrey Chew – Os Anos de 1945 a 1965

56

O físico Geoffrey Chew nasceu em 1924, tendo sido criado em Washington D.C., onde o seu pai trabalhava para o governo. Depois de concluído o ensino médio aos 16 anos de idade, Chew graduou-se em 1944 pela *George Washington University* (onde consta que obteve nota máxima em todas as disciplinas). Durante a sua graduação, trabalhou em um projeto secreto com o físico húngaro John von Neumann<sup>11</sup>, enquanto o físico russo George Gamow, que havia imigrado para os EUA, em 1934, tornou-se o seu orientador. Enquanto professor na *George Washington University*, Gamow convidou o físico húngaro Edward Teller, em 1942, para trabalhar no que se tornaria o Projeto Manhattan. Gamow enviou Chew a Teller em Los Alamos. Chew trabalhou com Teller nas ideias precursoras da bomba de hidrogênio. Em 1946, sob a orientação de Enrico Fermi, na Universidade de Chicago, Chew concluiu o seu doutorado (em menos de dois anos e meio). Como Chew lembraria muitos anos depois, Gamow, Teller e Fermi foram as suas principais influências<sup>12</sup>.

Depois de concluído o seu doutorado, Chew conseguiu um pós-doc em Berkeley (no *Lawrence Berkeley National Laboratory*). Na medida em que a sua reputação se espalhava, o jovem físico chamava a atenção do Departamento de Física. Em 1949, com apenas 25 anos de idade, Chew foi contratado como professor. Ao longo das décadas de 1950 e 60, Geoffrey Chew se engajou politicamente. Depois da Segunda Guerra Mundial, e com o início da Guerra Fria, uma onda anticomunista varreu os EUA. O chamado Macarthismo atingiu a Universidade da Califórnia em Berkeley justamente neste período em que Chew transitava do pós-doc para o corpo docente da universidade.

Neste ínterim, Chew sofreu muito, como seus colegas, com o anticomunismo. Durante a Segunda Guerra, no *Berkeley National Laboratory*, sob a direção de Lawrence, Chew havia trabalhado na separação de isótopos do urânio. O trabalho atraiu a atenção do governo, cujo comitê passou a investigar o laboratório. O chamado *HUAC* (*House Un-American Activities Committee*, em português: “Comitê de Atividades Antiamericanas”) acusou cinco funcionários (que depois de condenados pelo congresso foram demitidos).

A contratação de físicos estrangeiros se tornou proibitiva. Os físicos do departamento passaram a encontrar problemas em participar de conferências no exterior. Em ambos os casos, os vistos não eram emitidos, e os passaportes

apreendidos (o que se tornou conhecido como o “problema dos passaportes”). Neste contexto de paranoia, surgiu o “juramento de lealdade” (“*loyalty oath*”, em inglês) (o qual consistia em um termo que deveria ser assinado). De alunos de pós-graduação, ao corpo docente e ao quadro de funcionários, todos deveriam jurar lealdade ao governo (o que significava não participar de nenhuma atividade comunista).

Depois de dois anos no corpo docente, Chew se recusou a assinar o juramento e, em protesto, pediu demissão da Universidade da Califórnia. Em seu artigo “*Academic Freedom on Trial at the University of California*”, de 1950, Chew apontou quatro razões para não assinar o juramento. Chew considerava que o juramento ameaçava “o direito à privacidade de convicções políticas”<sup>13</sup>. Ao promover que mais e mais professores seguissem o seu exemplo de não assinar o juramento, Chew chamou aqueles que se omitiam a protestar contra a política anticomunista da universidade de “fundamentalistas”<sup>14</sup>. Ao mudar-se e empregar-se na Universidade de Illinois, em 1951, tornou-se também presidente do FAS (*Federation of American Scientists Passport Committee*). Em seu artigo “*Passaport Problems*”, de 1956, Chew relatou sete casos, com destaque para o caso de Linus Pauling, de problemas com passaportes entre cientistas. Ao concluir seu artigo, Chew enfatizou que “o passaporte deveria ser considerado como um direito do cidadão americano, e não meramente como um privilégio”<sup>15</sup>.

Em 1955, Geoffrey Chew foi promovido, aos 31 anos de idade, a “*full professor*” na Universidade de Illinois. Todavia, ao diminuir a paranoia contra a “ameaça vermelha”, o Departamento de Física de Berkeley procurou Chew. Depois de certa negociação, conseguiram enfim recontratá-lo. De 1957 até a sua aposentadoria, Chew trabalhou na UC Berkeley (no Departamento de Física e no *Lawrence Berkeley Laboratory*). A luta pela liberdade acadêmica, iniciada pela reação ao “juramento de lealdade”, lançou a semente para o “*Free Speech Movement*”, que tomaria conta do campus em 1964. O movimento pelos direitos civis e os protestos contra a Guerra do Vietnã se somariam ao “*Free Speech Movement*” resultando na rebelião estudantil que explodiu em 1968. O reflexo deste *Zeitgeist* – para o qual Chew era tão sensível – é patente em seu trabalho.

Ao ser recontratado em Berkeley, Chew começou a orientar alunos (chegando a trabalhar com dez ou mais estudantes por vez, além de pesquisadores visitantes e associados). O prêmio Nobel de Física de 2004, David Gross; e o pioneiro da Teoria de Cordas, John Schwartz; estão entre os seus ex-orientandos. A cada ano a partir de 1959, cerca de 4 a 5 estudantes, sob a orientação de Chew, concluíam as suas teses de doutorado. A sua prática pedagógica e o seu estilo de trabalho espelhavam o seu ativismo político e o seu espírito democrático. O seu ex-aluno David Gross assim recordou: “ele nos tratava a todos como colaboradores iguais em um esforço comum”<sup>16</sup>.

Diferente da estrutura hierárquica tradicional, entre orientadores e orientandos, corpo docente e corpo discente, Chew estabeleceu o que chamou de “Seminário Secreto”. A fim de deixar os seus estudantes à vontade, Chew reunia todo o seu grupo de pesquisa, uma vez por semana, na ausência do resto do corpo docente (muitas vezes em sua própria casa). Ao organizar uma conferência em 1960 em Berkeley, como mostra uma minuta da época, Chew escreveu que a pesquisa dos doutorandos “deveria ser fortemente representada”<sup>17</sup>. A organização da conferência teve o objetivo claro de romper com a tradição comum na década de 1960 de preencher as apresentações com pesquisadores convidados. O evento, que atraiu cerca de 300 físicos, nas palavras do próprio Chew, deveria ser “aberto” e “não-excludente”<sup>18</sup>.

Este grupo de pesquisa de Chew, nas décadas de 1960 e 1970, se tornaria o epicentro do Programa de Bootstrap (como seria chamada a sua versão da teoria da Matriz-S). Estas características do grupo de Chew se tornariam célebres (como o seu espírito democrático). O físico David Gross, por exemplo, ao tornar-se um preeminente teórico de campos, relatou haver escutado de um colega físico, ao saber que havia se formado no grupo de Chew: “Estranho – você não me parece Chewish”<sup>19</sup>.

Dada a explosão de partículas “elementares” descobertas na década de 1950, e a incapacidade da teoria quântica de campos de lidar com a força nuclear forte, duas linhas de pesquisa surgiram e se desenvolveram independentemente (com suas próprias técnicas e métodos; analogias e modelos), correspondendo aos dois lados do movimento do pêndulo ilustrado pela Figura 4.

Primeiro, as chamadas “teorias de dispersão” (a partir das chamadas “relações de dispersão”, “*dispersion relations*”) que se tornaram promissoras na década de 1960<sup>20</sup>. Segundo, as chamadas “teorias de campos de calibre” (“*gauge field theories*”) (a partir dos chamados “grupos de simetria”, “*simetry groups*”). A primeira linha resultaria na teoria da Matriz-S analítica e no Programa de Bootstrap. A segunda linha resultaria no modelo padrão das partículas elementares (o modelo dos quarks). Richard Feynman resumiu a situação nesta época em um comentário jocoso: “Há dois tipos de teóricos de partículas: aqueles que formam grupos e aqueles que se dispersam”.<sup>21</sup> A teoria da dispersão é um retorno ao programa da Matriz-S de Heisenberg.

Os principais físicos responsáveis pelo desenvolvimento inicial das teorias de dispersão foram Murray Gell-Mann, Marvin Goldberger, Francis Low e Geoffrey Chew. O programa visava desenvolver um esquema dinâmico, ausente no trabalho de Heisenberg, capaz de calcular os elementos da Matriz-S (a chamada Matriz-S analítica). Marvin Goldberger estudou sob a orientação de Fermi na Universidade de Chicago na mesma época que Geoffrey Chew. Portanto, desde a época do doutorado, Chew e Goldberger trabalhavam juntos. Gell-Mann doutorou-se pelo MIT sob a orientação de Victor Weisskopf. Posteriormente, desiludido com a teoria quântica de campos para explicar os fenômenos da física de alta energia, esboçou um programa alternativo baseado em princípios análogos à teoria da Matriz-S. Chew aprenderia sobre “*crossing*” (“cruzamento”) e “*anality*” (“analicidade”), duas características importantes da Matriz-S, com os colegas Goldberg e Gell-Mann. Chew trabalhou com o físico Francis Low (trabalho que teve como fruto o modelo Chew-Low) na Universidade de Illinois. Todavia, na segunda metade da década de 1950, os teóricos da “teoria da dispersão” se dispersaram. Gell-Mann estava no Caltech. Goldberger estava em Princeton. Chew estava em Berkeley. Low estava no MIT.

As teorias de dispersão não haviam até este ponto se tornado um Programa. Dois recursos técnicos transformariam as teorias de dispersão em “oportunidades” no contexto da tradição teórica da física de partículas. Em primeiro lugar, o trabalho pioneiro do físico Stanley Mandelstam, conhecido como “*double dispersion relation*” (“dupla relação de dispersão”), que estendeu as relações de dispersão para ambas as variáveis cinemáticas (geralmente energia e momento, variáveis independentes, relativisticamente invariáveis). Em segundo lugar, o trabalho do físico italiano Tullio Regge, capaz de lidar com a fenomenologia das interações fortes, apropriado pelos físicos Steven Frautsch e Geoffrey Chew (de modo a tornar viável o mecanismo de Bootstrap para as interações fortes através dos chamados “pólos de Regge”).

Estes foram os ingredientes principais para a teoria da Matriz-S analítica (do tipo que Heisenberg tentava formular na década de 1940). O Programa de Bootstrap já estava pronto em 1961. Dois acontecimentos marcam esta data. Primeiro, a publicação do livro-texto de Geoffrey Chew, *S-Matrix Theory of Strong Interactions*<sup>22</sup>. Segundo, a sua participação na Conferência de La Jolla (dedicada às interações forte e fraca). Nas palavras do próprio Chew:

*Na época em que eu preparei o livro e a comunicação para a Conferência de La Jolla eu disse a mim mesmo: Depois de todos estes anos fingindo que o que eu estou fazendo é teoria quântica de campos, eu quero finalmente ser honesto comigo mesmo e dizer claramente que eu não acredito nela.*<sup>23</sup>

Chew surpreendeu a todos os presentes na Conferência de La Jolla. O físico de Berkeley afirmou que a teoria de campos não servia para nada e deveria ser abandonada. Deste modo, a partir deste ponto, a fim de se compreender como a teoria da Matriz-S transformou-se, através da Filosofia de Bootstrap, em uma “visão de mundo”, separa-se esta história em três fases específicas e sucessivas: (i) a formação do Programa da Matriz-S autônoma, (ii) a distinção entre Bootstrap Parcial e Bootstrap Completa, e (iii) a formação da Filosofia de Bootstrap, uma verdadeira “filosofia da natureza”, em oposição ao establishment científico.

Em primeiro lugar, portanto, explica-se a constituição da teoria da Matriz-S autônoma e o modelo de Bootstrap. O programa das relações de dispersão e os “pólos de Regge” tornaram possível a construção de uma Matriz-S analítica conforme Heisenberg buscava em meados da década de 1940. Todavia, na prática dos físicos teóricos, tanto a teoria da Matriz-S, quanto a teoria de campos, de forma heurística, eram tomadas como frutíferas. Os físicos teóricos encontraram “oportunidades” a partir destas técnicas e modelos, sendo as duas ferramentas exploradas conforme a necessidade. Na Conferência de La Jolla, todavia, Chew marcou uma ruptura (válida principalmente para o seu grupo

em Berkeley). Neste preciso momento, nasce a teoria da Matriz-S autônoma (onde a teoria de campos é rejeitada e considerada infrutífera para as interações forte e fraca). Chew afirmou em La Jolla que a teoria de campos era “estéril com relação às interações fortes, e que estava destinada, como um velho soldado, não a morrer, mas somente a desvanecer-se”<sup>24</sup>. A sua previsão parecia razoável para muitos de seus colegas. Este é o relato de Weinberg sobre a sua visita a Berkeley no início da década de 1960:

*Uma arrojada teoria da Matriz-S dinâmica começava a se desenvolver, particularmente em Berkeley, e particularmente pelo grupo de Chew, incluindo Mandelstam, Stapp e outros. Eu me lembro que quando estive em Berkeley durante este período, a teoria da Matriz-S parecia a melhor esperança de progresso na Física*<sup>25</sup>.

A “melhor esperança de progresso na Física”, como colocou Weinberg, era que o sucesso da teoria da Matriz-S autônoma, levada a cabo pelo colega em Berkeley, pudesse ser estendida para as interações fraca e eletromagnética<sup>26</sup>. A teoria da Matriz-S autônoma, sob a liderança de Geoffrey Chew, redefiniu as “oportunidades” na área (principalmente em Berkeley e no Caltech). A tradição de pesquisa em *HEP*, por sua vez, voltada às partículas hádrons, promoveu o contexto empírico. Os resultados empíricos favoráveis às previsões de teóricos como Chew e seus colaboradores começaram a surgir pouco depois da Conferência de La Jolla<sup>27</sup>.

Depois de explicados os princípios da Matriz-S autônoma, se entenderá porque o modelo foi chamado de Bootstrap. Os quatro princípios ou propriedades da teoria da Matriz-S são (i) a invariância de Poincaré (“*Poincaré invariance*”), (ii) a unitariedade (“*unitarity*”), (iii) a analicidade (“*analyticity*”) e (iv) o cruzamento (“*crossing*”). Os três primeiros princípios oferecem todas as condições (necessárias e suficientes) para se determinar de maneira unívoca todas as propriedades dos hádrons (portanto sem a necessidade de se introduzir parâmetros empíricos arbitrários). Chew chamou esta característica de auto-consistência (“*self-consistency*”), ou autossuficiência, e a comparou ao princípio filosófico de “razão suficiente”.

Chew chamou de Bootstrap, pela primeira vez em 1961, esta característica de auto-consistência. A palavra *bootstrap*, em inglês, significa, literalmente, a tira (“*strap*”) saliente na traseira do cano da bota (“*boot*”) que facilita o processo de calçá-la. Portanto, *bootstrap*, pode-se traduzir, é a tira (aba, laço ou alça) da bota. O sentido figurado, contudo, origina-se da expressão “*pull oneself up by one’s bootstrap*”, equivalente à estória alemã do barão de Münchhausen, que conseguiu salvar-se de afundar no pântano puxando os seus próprios cabelos. Neste sentido, um mecanismo é chamado de *bootstrap* se é autossustentável, se a sua subsistência não depende de um fundamento externo. Neste sentido, portanto, que, pode-se afirmar, o mecanismo de Bootstrap segue o princípio de “razão suficiente”. Nas palavras do próprio Chew, ao explicar o mecanismo de Bootstrap: “a Natureza é como é devido à razão de ser esta a única Natureza possível consistente consigo mesma”<sup>28</sup>.

Em segundo lugar, Chew realizou uma distinção entre (i) a teoria de Bootstrap Parcial, ou “*hadron bootstrap*” (Bootstrap de Hádron), e (ii) a teoria de Bootstrap Completa, cujo programa Chew esperava realizar em um futuro próximo. A primeira é aquela que já havia logrado sucesso (previa os resultados experimentais das interações fortes). A segunda é aquela em progresso, capaz de unificar todas as interações, na qual Chew depositava muitas expectativas:

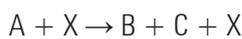
*Este próximo passo seria imensamente mais profundo do que qualquer coisa abrangendo a Bootstrap de Hádron, pois seríamos obrigados a nos confrontar com o conceito um tanto elusivo de observação e, possivelmente, até mesmo com o conceito de consciência. Assim, talvez, o nosso trabalho atual com a Bootstrap de Hádron seja somente uma amostra de uma forma completamente nova de realização intelectual humana, a qual não apenas se colocará fora da Física, como não será nem sequer descrita como ‘científica’.*

Finalmente, delineia-se, a partir de uma Bootstrap Completa, uma verdadeira filosofia da natureza. A concepção de que a existência de um sistema hadrônico é dada pela sua auto-consistência leva a uma visão holística da natureza. Nas palavras do próprio Chew: “A hipótese da auto-consistência nos conduz a conceber que, para que um único hádron

sequer possa existir, a família inteira de hádrons deve existir em uma estrutura de suporte mútuo”<sup>29</sup>. Fritjof Capra – autor best-seller, discípulo e membro do grupo de pesquisa de Chew na década de 1970 – não foi nem o primeiro e nem o último a notar que o modelo de Bootstrap levava a uma “visão de mundo”. Devido ao *Zeitgeist* em que estava imerso, Capra o associou a filosofias orientais. O modelo de Bootstrap foi associado, no entanto, a diversas filosofias da natureza, a depender do especialista que refletiu sobre o modelo de Bootstrap.

O físico Henry Stapp o associou à filosofia da natureza do filósofo Whitehead<sup>30</sup>. O filósofo da física George Gale o associou à monadologia do filósofo alemão Leibniz<sup>31</sup>. O mesmo sugeriu em um de seus trabalhos James Cushing<sup>32</sup>. O filósofo da física Michael Redhead o associou à filosofia da natureza do filósofo grego Anaxágoras e dedicou uma série de trabalhos ao estudo de sua estrutura teórica<sup>33</sup>. O historiador da física Helge Kragh o associou ao atomismo do século XVIII de Boscovich e ao princípio cosmológico do século XIX de Ernst Mach<sup>34</sup>. O historiador e filósofo da física Yehudah Freundlich explorou as implicações epistemológicas do modelo de Bootstrap e a sua consequente filosofia do espaço-tempo<sup>35</sup>.

Deve-se acrescentar que o modelo de Bootstrap leva a uma representação aparentemente paradoxal da Natureza. Ao não supor nem parâmetros empíricos arbitrários, nem entidades ou propriedades físicas não observáveis, o modelo não assume a existência de partículas elementares. No modelo de Bootstrap, ainda se fala em partículas, mas não mais as diferencia, entre compostas e elementares. Este resultado é paradoxal. Porém, no contexto da época, parecia muito razoável. A explosão de partículas descobertas, na década de 1960, levou a se questionar o significado de “partícula elementar”; como ilustrado acima pelas citações de Geoffrey Chew, Murray Gell-Mann e Arthur Rosenfeld (1964) e, retrospectivamente, de Steven Weinberg (1986). Portanto, dentro deste contexto da década de 1960, este resultado pareceu conveniente. Para ilustrar esta diferença, retoma-se a explicação da Figura 2, desta vez em dois processos. O primeiro processo está representado abaixo. A partícula A colide com a partícula X resultando em duas novas partículas B e C:



O segundo processo está representado a seguir. Colide-se a partícula B com a partícula X, obtendo-se o seguinte paradoxal processo:



O entendimento tradicional é que, no primeiro processo, A é uma partícula composta que, ao colidir com a partícula X, resulta nas partículas B e C. Porém, se B é um constituinte de A, A não pode ser um constituinte de B, tornando o segundo processo impossível. No entanto, segundo o modelo de Bootstrap, não há inconsistência entre os dois processos. Portanto, B pode ser constituinte de A e A ser constituinte de B. Há uma coincidência entre a “parte” e o “todo”. Não apenas o “todo” contém a “parte”, mas a “parte” também contém o “todo”. Há uma coincidência dos opostos. Ademais, no modelo de Bootstrap, nenhuma partícula é mais fundamental, ou elementar, do que as demais partículas, o que Chew chamou de “democracia nuclear” (enquanto chamava de “fundamentalistas” os defensores da teoria quântica de campos).

Portanto, a filosofia da natureza resultante, que emergiria de uma teoria de Bootstrap Completa, capaz de abranger todas as partículas e suas interações, assemelha-se a um universo holográfico. Sabe-se que o holograma possui uma característica única, a saber, cada uma de suas partes contém a informação do todo. Esta *Naturphilosophie* holográfica seria explorada e apropriada pela ciência “New Age” a partir da década de 1980 (o chamado “paradigma holográfico”)<sup>36</sup>. Neste sentido, a Filosofia de Bootstrap, nascida na década de 1960, seria considerada pioneira do “paradigma holográfico”.

O trabalho de David Bohm de 1952 se tornou o segundo exemplo nas ciências físicas de “paradigma holográfico” explorado pela ciência “New Age” (através de sua interpretação determinista da mecânica quântica de 1952 e a de sua teoria do holomovimento apresentada em seu livro “A Totalidade e a Ordem Implícada” de 1980). Bohm reformulou uma interpretação determinista da mecânica quântica em 1952 muito próxima daquela formulada pelo físico francês Louis de Broglie em 1927.

Portanto, a auto-consistência e o “paradigma holográfico” em uma possível Bootstrap Completa transformaram a teoria da Matriz-S em uma “visão de mundo”. O papel de Chew para divulgar a Filosofia de Bootstrap foi fundamental. A sua áurea magnética é amplamente documentada. O papel que desempenhou como guru carismático fica claro pelos relatos da época. O físico inglês John Polkinghorne – participante do Programa de Bootstrap – relatou que “Chew era um grande vendedor de ideias que defendia a sua causa com o fervor de um evangelista apaixonado”<sup>37</sup>. John Polkinghorne lembrou que Chew era chamado pelos colegas do “homem mais charmoso da física de altas energias” e que as suas palestras eram “sempre ansiosamente aguardadas” devido “ao tom inspirador e encorajador” de suas apresentações<sup>38</sup>.

O físico Stephen Adler, ao recordar de uma palestra de Chew, na Universidade de Princeton, onde então se formara, relatou a sua impressão: “ele me pareceu muito messiânico”<sup>39</sup>. O físico Marvin Goldberger, que também estudou com Fermi, na Universidade de Chicago, escreveu a Murray Gell-Mann, em 1962, afirmando que Chew havia se tornado “o Billy Graham da Física”, uma referência ao famoso pregador evangélico norte-americano, e acrescentou: “Depois da comunicação de Chew, eu quase me entreguei para Cristo. Uma vez que eu já tinha me convertido de judeu (no original: *Jewish*) para reggeu (no original: *Regge-ish*)” (uma referência aos “pólos de Regge”, elemento importante da Matriz-S analítica)<sup>40</sup>.

A impressão de que haveria uma revolução científica iminente no Programa de Bootstrap, assim como o papel de Chew em despertar esta esperança revolucionária, é recorrente nos relatos da época, nas décadas de 1960 e 70, entre os seus doutorandos e colaboradores. Louis Balázs, por exemplo, que concluiu o seu doutorado sob a orientação de Chew, em meados da década de 1960, assim relatou a sua experiência: “A experiência de ser um dos doutorandos do Chew na Universidade de Berkeley no início da década de 1960 era estimulante. Novas ideias estavam sendo discutidas e desenvolvidas continuamente e energeticamente, em particular pelos pesquisadores de pós-doutorado. A nossa impressão era que estávamos na fronteira de uma revolução científica na Física”<sup>41</sup>.

A impressão de uma revolução científica iminente (personificada no “paradigma holográfico”) e o espírito político revolucionário do período (simbolizado na “democracia nuclear”) estavam igualmente intimamente relacionados na teoria da Matriz-S. A notável recepção, por exemplo, da teoria da Matriz-S na física russa, em meio à Guerra Fria, levou à seguinte observação jocosa do físico teórico Peter Woit: “a predominância da teoria da Matriz-S era internacional, talvez ainda mais forte na União Soviética do que na República Popular de Berkeley”<sup>42</sup>. Finalmente, Fritjof Capra, famoso escritor discípulo de Geoffrey Chew, descreveu assim os efeitos desses sentimentos vanguardistas do Programa de Bootstrap em Berkeley:

*Na física propriamente dita, minhas principais fontes de inspiração foram dois homens notáveis: Werner Heisenberg e Geoffrey Chew.*

*Se Einstein revolucionou o pensamento científico com sua teoria da relatividade, e se Bohr e Heisenberg, com suas interpretações da mecânica quântica, efetuaram mudanças tão radicais que até o próprio Einstein se recusou a aceitá-las, Chew deu o terceiro passo revolucionário na física do século XX.*<sup>43</sup>

O período de 1965 a 1985 marcou a ascensão e o declínio do Programa de Bootstrap. Os mecanismos desenvolvidos pela teoria da Matriz-S, de certo modo, sobreviveram nas chamadas teorias de cordas. Todavia, em meados da década de 1980, o Programa de Bootstrap, abandonado pela teoria de campos, já havia perdido o seu fascínio. Chew vive até hoje em Berkeley e completará 95 anos em 2017. O físico estadunidense ganhou o Prêmio Majorana em 2008 pelas suas contribuições à física teórica. No entanto, seria o seu estudante, Fritjof Capra, quem levaria a mensagem de Chew, através da divulgação científica, para além dos muros acadêmicos. Entre 1972 e 1975, Capra escreveu “O Tao da Física”. Entrementes, conheceu o modelo de Bootstrap e estabeleceu uma relação científica com Geoffrey Chew.

## Fritjof Capra – Os Anos de 1965 a 1985

Fritjof Capra nasceu em Viena, Áustria, em 1 de fevereiro de 1939. O físico austríaco nasceu entre duas gerações, a saber, a geração que cresceu entre a Grande Depressão e a Segunda Guerra Mundial (como Chew); e a geração, também conhecida como geração *baby-boomer*, nascida após a Segunda Guerra Mundial.

Entre 1943 e 1951, dos 4 aos 12 anos, Capra viveu na casa de sua avó, numa estrutura matriarcal, administrada por três mulheres (sua avó, sua mãe e sua tia). A casa ficava em uma fazenda localizada no sul da Áustria. A sua estrutura era autossuficiente. A família mudou-se para a fazenda a fim de escapar das devastações da Segunda Guerra Mundial. A avó de Fritjof Capra, muito católica, era a matriarca da família. Esta experiência de infância (uma fazenda autossustentável administrada por mulheres), como admitiria anos depois, o ajudaria a abraçar, na década de 1970, o feminismo, e, poucos anos depois, o ambientalismo. A partir deste cenário, também se compreende como Capra naturalizou, de forma quase sub-reptícia, a amálgama entre feminismo e ambientalismo. O ecofeminismo é uma expressão desta síntese surgida em meados da década de 1970.

No início da década de 1950, Capra mudou-se, com os pais, para Innsbruck onde estudou o ensino médio. Ao final da década de 1950, Capra mudou-se para Viena, a fim de estudar física, doutorando-se em 1966, pela Universidade de Viena. O seu trabalho de doutorado versava sobre o colapso gravitacional de estrelas de nêutron. Concomitantemente, enquanto estudava física em Viena, tomou contato com religiões orientais. O seu irmão mais novo, Bernt Capra, que estudava arquitetura, também morava em Viena. Entre 1965 e 1966, Bernt apresentou a Fritjof o budismo americano, através das obras dos *beatniks*, Gary Snyder, Jack Kerouac e Allen Ginsberg, e do budista inglês, Alan Watts, e também de D. T. Suzuki.

Durante os primeiros anos de sua graduação, Capra leu o recém-lançado “Física e Filosofia” (1959), de Heisenberg, livro que teria um efeito duradouro sobre Fritjof Capra. Depois de concluído o seu doutorado, Capra mudou-se em 1967 para Paris, onde conseguiu uma *postdoctoral fellowship*, com dois anos de duração, na Universidade de Paris. Durante este período de pós-doutorado, Capra manteve os seus novos interesses. Estudava filosofias orientais, adotou uma rotina de meditação, e praticava *Tai Chi Chuan*, sempre em seu tempo livre. Também esteve em Londres no *Swinging London*, época de efervescência cultural na Inglaterra. Estava em Paris no Maio de 68 (época em que aumentou, segundo as suas palavras, a sua consciência política)<sup>44</sup>.

Entre 1967 e 1968, período em que esteve em Paris, Capra publicou, no periódico *Il Nuovo Cimento A*, três artigos em física teórica de altas energias<sup>45</sup>. O periódico *Il Nuovo Cimento A*, então recém-criado, era dedicado à física de partículas, tendo sido assimilado, em 1999, pelo *European Physical Journal*. Estes três artigos foram frutos da colaboração entre físicos teóricos e experimentais em física de altas energias da Faculdade de Ciências da Universidade de Paris, onde Capra trabalhava, e do Laboratório de Física Teórica e Altas Energias de Orsay.

Fritjof Capra buscava durante este período se estabelecer como físico. As suas leituras paralelas, o seu engajamento político, e as suas novas práticas – de meditação e *Tai Chi Chuan* –, como declarou em entrevista, eram apenas passatempos<sup>46</sup>. Entretanto, gradativamente, houve uma inversão; os seus interesses paralelos tomaram proeminência. O momento divisor de águas, desta inversão de prioridades, ocorreu em solo americano. Enquanto estava em Paris, próximo de concluir o seu pós-doutorado, Capra recebeu um novo convite de uma *postdoctoral fellowship* com dois anos de duração em Santa Cruz, Califórnia.

O convite para o pós-doutorado em Santa Cruz chegou através de Michael Nauenberg, que em 1968 estava na Universidade de Paris para um ano sabático. Nauenberg doutorou-se em física pela Universidade de Cornell, em 1960, orientado pelo prêmio Nobel de Física Hans Bethe. Depois de seu pós-doutorado na Universidade de Princeton, e após lecionar nas universidades de Columbia e de Stanford, Nauenberg aceitou uma posição no recém-criado Departamento de Física, em Santa Cruz, na Universidade da Califórnia (UCSC).

Nauenberg assumiu a responsabilidade de recrutar novos professores e pesquisadores para o Departamento recém-criado. O então jovem professor tinha à sua disposição as bolsas da *National Science Foundation*. A explosão

do fomento à pesquisa, iniciada pela “crise do Sputnik”, estava então em seu pináculo. Assim, na Universidade de Paris, durante o seu ano sabático, Nauenberg aproximou-se de Capra, o que resultou no convite de pós-doutorado.<sup>47</sup>

Portanto, ao final de 1968, Fritjof Capra se mudou para os EUA. Entre 1969 e 1970, período em que esteve em Santa Cruz, Capra mergulhou na contracultura. Frequentava os eventos dos Panteras Negras (uma organização política revolucionária que lutava contra a discriminação dos afrodescendentes estadunidenses), participou de protestos contra a Guerra do Vietnã, e envolveu-se no movimento *Black Power* (um movimento negro nos EUA que lutava contra o racismo). Esta inversão de prioridades, ou mudança de interesses, transformou, em definitivo, a trajetória de Capra; como Nauenberg deixou claro em entrevista: “ele foi logo atraído pelo feitiço da contracultura de Santa Cruz dos anos 1960 e, finalmente, abandonou a sua pesquisa em física”<sup>48</sup>.

Capra assistiu a uma palestra do budista Alan Watts na UCSC em 1969. Depois de sua palestra, houve um jantar de recepção. Capra começou assim o seu diálogo com Watts que continuou no dia seguinte no bar *Catalyst*. Capra manteve-se, desde então, em contato com Watts. A sua influência sobre Capra, como havia sido para toda uma geração de beatniks e hippies, é evidente em “O Tao da Física”.

Em “O Tao da Física”, Watts é bastante citado. D. T. Suzuki, como Watts, influenciou não apenas Capra, mas duas gerações, dos anos 1950 e 1960, de beatniks e hippies. Capra se encontrou também, na UCSC, com o guru indiano Krishnamurti. No mesmo bar *Catalyst*, Capra conheceu, posteriormente, Carlos Castañeda. A influência do antropólogo estadunidense, formado pela UCLA, mundialmente famoso pelos seus livros, também aparece em “O Tao da Física”. A obra de Castañeda é uma coleção de relatos, supostamente autobiográficos, de seus encontros com o xamã mexicano Don Juan, da tribo Yaquis, localizada no deserto de Sonora na fronteira entre os EUA e o México. Os livros valorizam de modo bastante positivo a experiência enteógena (assim como a cultura indígena americana, historicamente discriminada nos EUA).

O próprio Fritjof Capra, em “O Tao da Física”, enfatiza a importância de uma destas experiências enteógenas, na praia de Santa Cruz no verão de 1969, para a formação de sua “visão de mundo”. O termo “transpessoal” foi cunhado pelo psiquiatra Stan Grof para descrever essas experiências. No contexto da cultura popular, o tema da consciência aparece nestas duas direções. A primeira direção se desenvolve sob o ponto de vista espiritual (de abertura da consciência para o domínio transpessoal). A segunda direção se desenvolve sob o ponto de vista do despertar da consciência política. As duas direções se misturavam na contracultura.

Ao final de seu *postdoctoral fellowship*, com dois anos de duração, o físico austríaco deixou Santa Cruz. Capra descreveu essa época como uma “vida esquizofrênica como hippie e físico”. Entre 1970 e 1974, Capra viveu em Londres como pesquisador visitante no *Imperial College*. A crise de Capra iniciada em Santa Cruz, aprofundou-se depois que deixou os EUA. Capra manteve-se em contato, nesta época, com o budista Alan Watts, que viria a falecer em 1973. É neste período que Capra começa a esboçar os paralelos entre os seus dois interesses, física de partículas e religiões orientais.

Em 1972, Capra publica o primeiro resultado deste esboço, o artigo “*The Dance of Shiva: The Hindu View of Matter in the Light of Modern Physics*”, no periódico *Main Currents in Modern Thought*, editado por Henry Margenau e Emily B. Sellon. O físico austríaco tomou contato com o modelo de Bootstrap por volta desta mesma época e publicou um segundo artigo, em janeiro de 1973, no *American Journal of Physics*, intitulado “*Bootstrap and Buddhism*”. Neste segundo artigo, Capra funde os dois discursos, o seu próprio e o de Chew. Capra descreveu assim o seu primeiro contato com o modelo de Bootstrap:

*Quando travei conhecimento com a concepção de Chew – segundo a qual a natureza é entendida não como uma montagem de entidades básicas com certas propriedades fundamentais, mas sim como uma rede dinâmica de eventos inter-relacionados, em que nenhuma parte é mais fundamental que qualquer outra – senti-me atraído por ela de imediato. Nessa época, estava em meio ao meu estudo das filosofias orientais, e percebi logo de início que os princípios básicos da filosofia científica de Chew contrastavam radicalmente com a tradição científica ocidental, mas concordavam por completo com o pensamento oriental, em particular com o budismo.<sup>49</sup>*

Por volta do ano de 1972, Capra já esboçava o seu livro, em meio a uma crise financeira, como relatou em entrevista em 2013: “enquanto escrevia ‘O Tao da Física’, eu acabei por abandonar a pesquisa em Física, o que foi muito difícil, pois eu não tinha uma fonte de renda”<sup>50</sup>.

Capra enviou o seu artigo “*The Dance of Shiva*” para vários físicos seniores, como Sir Bernard Lovell, John Wheeler e Werner Heisenberg. A resposta receptiva do físico alemão encorajou o físico austríaco a visitá-lo. Ao viajar de Londres para visitar os seus pais em Innsbruck, Capra sentiu que seria a oportunidade de visitar Heisenberg (de Munique a Innsbruck, em viagem de carro, gasta-se cerca de 1 hora). Heisenberg recebeu Capra em seu gabinete no Instituto Max Planck em Munique no dia 11 de abril de 1972.

Capra continuou a escrever o seu livro depois de seu retorno a Londres. Neste ínterim, Capra voltou à Califórnia. Os doutorandos Elizabeth Rauscher e George Weissmannde de UC Berkeley haviam se entusiasmado com um ensaio que Capra enviou a Chew sobre os paralelos entre filosofia oriental e o modelo de Bootstrap. A convite de Chew, e insistência de Rauscher e Weissmann, Capra visitou o *Lawrence Berkeley Laboratory* em 1973. Depois de seu retorno à Europa, Fritjof Capra viajou a Innsbruck, para a casa dos seus pais, a fim de concluir o seu livro.

Depois do manuscrito haver sido rejeitado por várias editoras, Capra conseguiu dois contratos dos dois lados do Atlântico. Na Inglaterra, a Editora Batam. Nos Estados Unidos, a Editora Shambala. A primeira edição da Shambala, de 20 mil cópias, esgotou-se em menos de 1 ano. Em 1977, a Batam imprimiu 150 mil cópias. Em 1979, já havia sido vendido 100 mil cópias de “O Tao da Física”<sup>51</sup>. Desde então até hoje, traduzida para 23 línguas, a obra alcançou 43 edições. De todas as obras do gênero, permanece a mais vendida.

O seu retorno definitivo para os EUA em 1975, a fim de participar do grupo de Chew em Berkeley, marcou a sua transição definitiva do isolamento para a fama mundial. Desde do ano de 1975 até hoje, Capra tem morado na Califórnia. Em 1977, publicou o seu segundo livro, “O Ponto de Mutação” (tendo hoje já publicado mais de 10 obras de grande sucesso). O escritor austríaco se considera hoje um teórico de sistemas, ativista, educador, palestrante e escritor de divulgação científica.

64

## A Interação entre Ciência e Cultura Revisitada: A Teoria da Matriz-S e a Filosofia de Bootstrap na Encruzilhada da Contracultura

O mundo vivenciado (da experiência) ou representado (da linguagem) é o mesmo mundo. O filósofo Wittgenstein colocou assim a questão: “Os limites de minha linguagem significam os limites do meu mundo. A lógica preenche o mundo; os limites do mundo são também seus limites. Na lógica, portanto, não podemos dizer: há no mundo isso e isso, aquilo não. O mundo e a vida são um só”<sup>52</sup>. A Ciência e a Cultura pertencem ao mesmo domínio descritivo.

A linguagem é uma expressão das vicissitudes da existência do indivíduo (em sua totalidade psicobiográfica). O campo semântico em que Geoffrey Chew e Fritjof Capra estavam imbuídos é o *Zeitgeist* da contracultura das décadas de 1950 a 70 na Europa e nos EUA. A cognição humana é sempre corporizada (incluindo as circunstâncias de sua sociabilidade e historicidade). Portanto, a fim de compreender o seu processo de significação, é necessário conhecer o entorno de sua acomodação.

A Conferência de La Jolla em 1961 foi o início do Programa da Matriz-S autônoma, ou seja, o momento em que Chew anunciou a sua completa rejeição da teoria quântica de campos (em uma época em que os físicos teóricos se serviam de modo heurístico de ambas as teorias – de campos e da Matriz-S). O físico Gell-Mann que estava presente na Conferência de La Jolla expressou em retrospectiva a sua surpresa pelo posicionamento de Geoffrey Chew em sua apresentação: “Eu nunca consegui entender aquele ponto de vista do Chew”<sup>53</sup>.

A linguagem é um “modo de vida”. O que a reflexão de Gell-Mann não consegue capturar é que as escolhas teóricas de Chew estavam imbuídas de sua “visão de mundo”. O período entre 1965 a 1985 de ascensão e declínio

da teoria da Matriz-S é o período da Guerra Fria e da contracultura. O campo semântico de Chew mesclava os dois contextos da Ciência e da Cultura. Os mesmos termos utilizados em seus artigos a respeito do “problema dos passaportes” e do “juramento de lealdade” são igualmente encontrados em sua disseminação da teoria da Matriz-S e do modelo de Bootstrap.

Se por um lado, devido à não discriminação, no modelo de Bootstrap, entre partículas “compostas” e partículas “elementares”, Chew chamou o seu Programa de “democracia nuclear”. Por outro lado, por assumirem a existência de partículas “fundamentais” (ou “elementares”), Chew chamou os defensores da teoria quântica de campos de “fundamentalistas”. Chew havia igualmente rotulado de “fundamentalistas” aqueles que não se insurgiram contra a política anticomunista da universidade. Chew enfatizava o contraste entre “a estrutura aristocrática da física atômica governada pela eletrodinâmica quântica e o caráter revolucionário da democracia nuclear”<sup>54</sup>.

Portanto, perpassavam nas escolhas teóricas de Chew, significados que Gell-Mann não poderia suspeitar. Estes pares de opostos atravessam a obra de Chew. Os “conservadores” defensores da teoria quântica de campos versus os “revolucionários” defensores da democracia nuclear. Chew também se utilizava das expressões “bootstrappers” versus “fundamentalistas” ou “modelo aristocrático” versus “modelo democrático”. No contexto da Guerra Fria, a dicotomia despertou a atenção.

O período entre os anos de 1945 a 1965 é o período de descolonização da África (e ampliação e formação do sistema liberal de Estados democráticos de direito). Chew viveu durante o período da luta pelos direitos civis nos EUA, seguido pelo macarthismo (contra o qual Chew se rebelou), do “*Free Speech Movement*” e da revolução estudantil em Berkeley. O caráter revolucionário do período – como a Revolução Chinesa (1949) e a Revolução Cubana (1959) – se misturava com o “caráter revolucionário da democracia nuclear”<sup>55</sup>. Chew mostrou-se muito sensível a todas estas questões, durante o período mais produtivo de sua carreira, e os adjetivos “democrático” e “revolucionário” se incorporaram ao seu trabalho.

Neste sentido que o modelo do “oportunismo em contexto” de Pickering poderia se ampliar para a totalidade da Cultura. O carisma de Chew e a sua capacidade de se cercar de estudantes talentosos e colaboradores entusiasmados poderia se explicar pela sua habilidade em despertar o *Zeitgeist* (ou espírito de sua época) entre os seus interlocutores. Deste modo, também no âmbito da Cultura, Chew se beneficiou de um “contexto”. Ao incorporar o *Zeitgeist* da contracultura e da Guerra Fria, Chew encontrou “oportunidades” para o seu programa de pesquisa. Chew transformou estas “oportunidades” em “capital científico” (capital baseado no prestígio e validação do cientista entre os seus pares, termo cunhado pelo filósofo e sociólogo francês Pierre Bourdieu).

A “concepção holográfica” se colocava (em muitas diferentes camadas de significado) em oposição à “concepção atomística”. As diferenças de “oportunidades” no contexto da tradição teórica – a saber, de técnicas e métodos (grupos de simetria, para os “fundamentalistas”; e relações de dispersão, para os “bootstrappers”); assim como de analogias e modelos (a metáfora atomista, para os “fundamentalistas”; e a metáfora holográfica, para os “bootstrappers”) – também se mesclavam às diferenças de “oportunidades” no contexto da Cultura (entre revolucionários e conservadores; entre o espírito democrático e o espírito aristocrático). A afronta ao establishment científico era também uma afronta ao establishment sociocultural. Os “bootstrappers” se colocavam, a partir deste ponto de vista, dentro de uma missão histórica.

O campo semântico da “concepção atomística” se associava ao Ocidente beligerante da Era Atômica (colonizador, imperialista, eurocêntrico) (como seria expresso pelo trabalho de Capra). Portanto, a “democracia nuclear” se entrelaçou e se beneficiou igualmente dos “contextos” da Ciência e da Cultura no período de 1965 a 1985. Durante este período, a simbiose entre as comunidades de HEP e dos físicos teóricos (as duas tradições da física das partículas elementares) beneficiou o Programa de Bootstrap. Primeiro, devido à ênfase sobre colisões entre hádrons – grandes massas de repouso e grandes seções de espalhamento –, que favorecia a pesquisa teórica das interações nucleares fortes. Segundo, devido à explosão de descobertas de novas partículas, o que levava a questionar o significado de partícula elementar, impugnando o cerne da “concepção atomística” (o que se amarrava ao contexto da Cultura; através do “paradigma holográfico” e da “democracia nuclear”).

O período entre os anos de 1965 a 1985 é o período mais intenso da atividade científica do Fritjof Capra e de suas experiências de vida mais significativas. A década de 1970 – período de consolidação e assimilação de suas experiências na contracultura<sup>56</sup> – é justamente a década da redação do “Tao da Física”, de sua associação ao Programa de Bootstrap, e de sua mudança para Berkeley. Neste período de transição, Capra alcança a resolução do conflito em que estava envolto, em sua “vida esquizofrênica como hippie e físico”. A Filosofia de Bootstrap – diferente do establishment científico – não estava em oposição com os seus valores (a dicotomia dissociativa hippie e físico se dissolvia).

Em primeiro lugar, produzia uma síntese entre a produção científica (associada ao Ocidente) e a sabedoria (associada ao Oriente). A figura de Chew sintetizava os dois arquétipos, do cientista-filósofo e do sábio-guru. Os encontros com os sábios-gurus, como Krishnamurti, Carlos Castañeda e Alan Watts, foram referências tão importantes para Capra como os encontros com os cientistas-filósofos (como Heisenberg e Chew).

Em segundo lugar, a comunidade da física de altas energias estava claramente em oposição à comunidade dos hippies ativistas (os físicos, muito convencionais; os ativistas, muito revolucionários). O Programa de Bootstrap, sendo um programa de pesquisa revolucionário, dissolvia esta dicotomia. Capra já havia assimilado o vocabulário de Chew, ausente em seu primeiro ensaio de 1972, ao seu próprio vocabulário em seu artigo de 1974:

*Segundo Chew, atualmente, existem duas escolas de pensamento na física de altas energias com pontos de vistas fortemente opostos com relação à constituição da matéria. A maioria dos físicos são “fundamentalistas”, aqueles que tentam reduzir a natureza a fundamentos, e procuram pelos “blocos básicos de construção” da matéria. Em oposição aos “fundamentalistas”, estão os “bootstrappers”, que procuram entender a natureza através da auto-consistência, e acreditam que toda a Física segue-se unicamente (ou seja, sem conter qualquer parâmetro arbitrário) da necessidade de que os seus componentes sejam consistentes uns com os outros e com eles próprios.<sup>57</sup>*

*Em terceiro lugar, a convivência de Capra com comunidade de HEP, majoritariamente masculina e eurocêntrica (em contraste com as questões de raça, classe e gênero levantadas pela geração baby-boomer), fomentada pelos recursos do grupo de estados nacionais do eixo atlântico-norte (Europa e EUA) (que havia produzido duas Guerras Mundiais, e agora se envolvia com a Guerra do Vietnã), estava em direta oposição com o seu pacifismo, o seu ambientalismo e o seu feminismo, assim como a sua luta ao lado dos “Panteras Negras” (a sua convivência com o movimento Black Power), e a sua admiração pelas filosofias orientais e pelas tradições indígenas e xamânicas de todo o Mundo.*

A Filosofia de Bootstrap, por sua vez, se harmonizava com os princípios ecológicos, se insurgia contra o atomismo-mecanicista das ciências ocidentais, se rebelava contra o establishment científico, e espelhava a mensagem das filosofias orientais; como refletiria Capra depois sobre o seu ensaio de 1974: “Nesse ensaio, argumento que o contraste entre os ‘fundamentalistas’ e os ‘bootstrappers’ na física das partículas reflete o contraste entre duas correntes prevaletentes no pensamento do Ocidente e do Oriente”<sup>58</sup>.

Em quarto lugar, a experiência psicodélica, cuja “revolução da consciência” estava associada aos dois pontos de vistas revolucionários (espiritual e político), também recebia uma síntese no “paradigma holográfico” e na filosofia de Bootstrap. O psiquiatra tcheco, radicado nos EUA, Stan Grof, é uma referência no assunto. O seu trabalho com LSD nas décadas de 1950 e 1960 permanece como um dos mais abrangentes. Capra e Stan Grof se conheceram no início de suas carreiras. O diálogo entre os dois cientistas transformou em moeda corrente a associação ente filosofia de Bootstrap e psicologia transpessoal. Stan Grof relatou em entrevista em 2014 como o seu trabalho e o trabalho de Capra se influenciaram mutuamente<sup>59</sup>.

As descrições muito conhecidas sobre as características da experiência psicodélica (ou experiência transpessoal) são abundantes em analogias e metáforas que se identificam com o modelo de Bootstrap. Menciona-se duas destas características: (i) a chamada experiência de consciência “oceânica” ou “cósmica”, onde o indivíduo se sente parte de um todo maior que o seu próprio “eu”; e (ii) a qualidade paradoxal da experiência, o que Nicolau de Cusa chamou de *coincidentia oppositorum* (como se a experiência desafiasse o princípio de identidade e o sentido da lógica ordinária).

Naturalmente, a coincidência entre a “parte” e o “todo”, presente na filosofia de Bootstrap, se apresentou como a metáfora perfeita para descrever a experiência transpessoal.

Portanto, sugere-se que a escolha teórica de Capra, a sua predileção científica, entre as teorias de campo ou da Matriz-S, é o resultado de uma síntese de suas experiências (onde Ciência e Cultura são indissociáveis). O físico teórico e o hippie ativista se tornaram uma só pessoa, justamente no período em que o Programa de Bootstrap se desmantelava. A teoria quântica de campos voltou a derrotar a teoria da Matriz-S. O chamado programa topológico da Matriz-S esteve entre as últimas tentativas de sobrevivência do modelo de Bootstrap. Fritjof Capra ainda contribuiu com dois artigos, na *Physics Letter* e no *American Journal of Physics*, para o programa topológico da Matriz-S<sup>60</sup>. A colaboração de Capra no *Lawrence Berkeley Laboratory* terminou em 1988.

## Conclusão

No início da década de 1970, Geoffrey Chew havia escrito: “Eu consideraria uma decepção devastadora se, digamos, em 1980, toda a física de hádrons pudesse ser explicada em termos de algumas poucas entidades arbitrárias”<sup>61</sup>. A profecia distópica de Chew tornou-se realidade. O pêndulo da Figura 4 retornou para a teoria quântica de campos. O sucesso das teorias de campos de calibre e do modelo padrão das partículas elementares colocou a teoria da Matriz-S na lixeira da história. As tendências dos laboratórios de física de altas energias mudaram (léptons ao invés de hádrons, pequenas seções de espalhamento, ao invés de grandes seções de espalhamento).

A força nuclear forte foi teoricamente absorvida pela cromodinâmica quântica, e o modelo dos quarks e léptons (o chamado modelo padrão das partículas elementares), o que um “bootstrapper” chamaria de “modelo aristocrático”, acabou vencendo a “democracia nuclear”. A tradição experimental deixou de produzir “fatos” para os teóricos de Bootstrap; os quais deixaram de produzir “previsões” para a tradição experimental. O Programa de Bootstrap deixou de pautar o contexto das oportunidades na física das partículas elementares. Coincidentemente, também no campo político, a onda conservadora da década de 1980 varreria os ânimos revolucionários das décadas de 1960 e 1970.

67

## Notas e referências bibliográficas

Gustavo Rodrigues Rocha é Professor Adjunto do Departamento de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana. E-mail: grrocha@uefs.br.

- 1 A elaboração desta investigação não teria sido possível sem o suporte da bolsa de pós-doc do projeto “Ciência, Filosofia e Teologia na América Latina”, do Centro Ian Ramsey da Universidade de Oxford, fomentado pela Fundação Templeton, e da bolsa de doutorado sanduíche CAPES/ Fulbright, possibilitando, respectivamente, estágios de pesquisa no *Center for Science, Technology, Medicine & Society* da Universidade da Califórnia em Berkeley (*UC Berkeley*) e no *Program in Science, Technology, and Society* do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*MIT*), além do subsídio do *Center for History of Physics* do Instituto Americano de Física (*AIP*) que patrocinou a entrevista de Geoffrey Chew conduzida pelo autor em Berkeley em setembro de 2016.
- 2 O sociólogo britânico apresenta o conceito de “regressão do experimentador” de maneira bastante pormenorizada em COLLINS, Harry, *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Chicago: The University of Chicago Press, 1985.
- 3 WEINBERG, Steven. Particle Physics: Past and Future. *International Journal of Modern Physics A*, v. 1, n. 1, p. 135-145, 1986, p. 138.
- 4 PICKERING, Andrew. *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1984, p. 21.
- 5 A obra do historiador americano GALISON, Peter. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1997, explora essa interação entre as duas subculturas históricas da física de partículas (de detectores visuais e eletrônicos) em sua complexa simbiose entre físicos teóricos e experimentais, engenheiros, técnicos, matemáticos e programadores de computadores.
- 6 O ciclotron construído pela equipe de Lawrence, em 1931, foi o início do *Radiation Laboratory of the University of California*. Lawrence faleceu em 1958, quando o laboratório foi rebatizado, em sua homenagem, de *Lawrence Radiation Laboratory* (e a sua base em Berkeley, desde 1971, de *Lawrence Berkeley Laboratory*).
- 7 WEINBERG, op. cit., 1986, p. 135.
- 8 CUSHING, James T. *Theory Construction and Selection in Modern Physics: The S-Matrix*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, p. 41.

- 9 KRAGH, Helge. Werner Heisenberg, and the Search for a Smallest Length. *Revue d'Histoire des Sciences*, v. 48, n. 4, 1995, p. 4129.
- 10 SCHWEBER, Silvan S. *QED and the Men Who Made it: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*. New Jersey: Princeton University Press, 1994, p. 599.
- 11 CHEW, Geoffrey. 28 e 29 de setembro de 2016. Entrevista ao autor. Berkeley, CA, EUA.
- 12 CHEW, Geoffrey; CAPRA, Fritjof. Bootstrap Physics: A Conversation with Geoffrey Chew. In: DETAR, C.; FINKELSTEIN, J.; TAN, C. (eds.). *A Passion for Physics: Essay in Honor of Geoffrey Chew*. Singapore: World Scientific, 1985, p. 267-68.
- 13 KAISER, David. *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*. Chicago: The University of Chicago Press, 2005, p. 329.
- 14 CHEW, Geoffrey. Academic Freedom on Trial at the University of California. *BAS*, 6, november 1950, p. 334.
- 15 CHEW, Geoffrey. Passport Problems. *BAS* 12, January 1956, p. 28.
- 16 KAISER, 2005, op. cit., p. 334.
- 17 Idem, p. 335.
- 18 Idem, p. 336.
- 19 No original: "Funny – you don't look Chewish". O trocadilho sugestivo entre "Chewish" e "jewish" (adjetivo para judeu) insinua que o grupo de Berkeley se assemelhava a uma seita religiosa em torno da personalidade carismática de Geoffrey Chew. Ver KAISER, 2005, op. cit., p. 341.
- 20 A relação de dispersão ("dispersion relation") é a relação entre as partes real e imaginária da função analítica de uma variável complexa. A teoria da dispersão ("dispersion theory") é o programa que emprega estas relações de dispersão para correlacionar quantidades experimentalmente mensuráveis.
- 2 No original: "There are two types of particle theorists: those who form groups and those who disperse". A provocação de Feynman sugeria que o trabalho daqueles que "formam grupos" (uma referência aos físicos teóricos que se ocupavam de trabalhar com os "grupos de simetria") seria frutífero, enquanto o trabalho daqueles que "se dispersam" (uma referência aos físicos teóricos que se ocupavam de trabalhar com as "relações de dispersão") seria infrutífero. Os últimos estariam "se dispersando", ou seja, perdendo o tempo de trabalho. Ver BROWN, Laurie M.; DRESDEN, Max; HODDESON, Lillian. *Pions to Quark: Particle Physics in the 1950s*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989, p. 580.
- 22 CHEW, Geoffrey. *S-Matrix Theory of Strong Interactions: A Lecture Note and Reprint Volume*. New York: W. A. Benjamin, 1961.
- 23 CHEW, Geoffrey; CAPRA, Fritjof, 1985, op. cit., p. 260.
- 24 CUSHING, James T., 1990, op. cit., p. 141.
- 25 WEINBERG, op. cit., 1986, p. 137
- 2 CHEW, Geoffrey. Bootstrapping the Photon. *Foundations of Physics*, Vol. 13, No 2, 1983a; e CHEW, Geoffrey. Eletroweak Bootstrap. *Physical Review D*, Vol. 27, No 4, p. 976-979, 1983b.
- 27 CUSHING, James T., 1990, op. cit., p. 145-51; e KRAGH, Helge. The Rise and Fall of the Bootstrap Programme. In: *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*. New York: Oxford University Press, 2011, p. 152.
- 28 CHEW, Geoffrey. 'Bootstrap': A Scientific Idea? *Science*, v. 161, n. 3843, August 1968, p. 762.
- 29 GALE, George. Chew's Monadology. *Journal of the History of Ideas*, v. 35, n. 2, 1974, p. 346.
- 30 STAPP, Henry P. S-Matrix Interpretation of Quantum Theory. *Physical Review D*, v. 3, n. 6, Mar 1971.
- 31 GALE, George, 1974, op. cit.
- 32 CUSHING, James T. Is There Just One Possible World?: Contingency vs the Bootstrap. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 16, n. 1, p. 31-48, 1985.
- 33 REDHEAD, Michael. Some Philosophical Aspects of Particle Physics. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 11, n. 4, p. 279-304, 1980; e REDHEAD, Michael. Broken Bootstrap: The Rise and Fall of a Research Programme. *Foundations of Physics*, v. 35, n. 4, April 2004.
- 34 KRAGH, op. cit., 2011,
- 35 FREUNDLICH, Yehudah. Theory Evaluation and the Bootstrap Hypothesis. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 11, n. 4, p. 267-277, 1980.
- 36 BOHM, David. *Wholeness and the Implicate Order*. New York: Routledge, 1980; WILBER, Ken. (org.). *O Paradigma Holográfico e Outros Paradoxos: Uma Investigação nas Fronteiras da Ciência*. São Paulo: Editora Cultrix, São Paulo, 1982; TALBOT, Michael. *The Holographic Universe: The Revolutionary Theory of Reality*. New York: Harper Collins Publishers, 1991; GROF, Stanislav; BENNETT, Hal Zina. *A Mente Holotrópica: Novos Conhecimentos Sobre Psicologia e Pesquisa da Consciência*. Rio de Janeiro: Editora Rocco, 1992.
- 37 KRAGH, op. cit., 2011.
- 38 KAISER, David. Nuclear Democracy. In: KOHLSTEDT, Sally G.; KAISER, David (eds.). *Science and the American Century: Reading from ISIS*. Chicago: University of Chicago Press, 2013, p. 195.
- 39 KAISER, op. cit., 2005, p. 350.
- 40 Idem, p. 350.
- 41 Idem, p. 338.
- 42 WOIT, Peter. *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law*. New York: Basic Books, 2006, p. 143.
- 43 CAPRA, Fritjof. *Uncommon Wisdom: Conversations with Remarkable People*. New York: Simon and Schuster, 1988, p. 50-51.
- 44 CAPRA, 1988, op. cit., p. 24.
- 45 CAPRA, Fritjof. Current-Divergence Commutator. *Il Nuovo Cimento*, v. L(A), n. 4, 1967; CAPRA, Fritjof. Spectral-Function Sum Rules and Massless Mesons. *Il Nuovo Cimento*, v. LIII(A), n. 4, 1968a; e CAPRA, Fritjof. Current Algebra and  $K^+ - K^0$  Mass Difference. *Il Nuovo Cimento*, v. LIV(A), n. 2, 1968b.
- 46 CAPRA, Fritjof. 10 de julho de 2013. Entrevista ao autor. Berkeley, CA, EUA.
- 47 NAUENBERG, Michael. 12 de julho de 1994. Entrevista a Randall Jarrell. Santa Cruz, CA, EUA.

- 48 Idem.
- 49 CAPRA, 1988, op. cit., p. 52.
- 50 CAPRA, Fritjof. 10 de julho de 2013. Entrevista ao autor. Berkeley, CA, EUA.
- 51 WOODWARD, Kenneth L.; LUBENOW, Gerald C. Physics and Mysticism. *Newsweek*, July, 23, 1979, p. 85.
- 52 WITTGENSTEIN, Ludwig. *Tractatus Logico-Philosophicus*. São Paulo: EDUSP, 1921, p. 245.
- 53 CUSHING, James T., 1990, op. cit., p. 143.
- 54 KAISER, 2005, op. cit., p. 320.
- 55 Idem.
- 56 CAPRA, 1988, op. cit., p. 11-15.
- 57 CAPRA, Fritjof. Bootstrap and Buddhism. *American Journal of Physics*, v. 42, 1974, p. 15.
- 58 CAPRA, 1988, op. cit., p. 42.
- 59 GROF, Stanislav. 13 e 14 de dezembro de 2014. Entrevista ao autor. Otocec, Eslovênia.
- 60 CAPRA, Fritjof. Incorporation of Baryons into the Topological Expansion. *Physics Letters*, Vol. 68B, No 1, 1977; e CAPRA, Fritjof. Quark Physics without Quarks: A Review of Recent Development in S-Matrix Theory. *American Journal of Physics*, v. 47, p 11-23, 1979.
- 61 CHEW, Geoffrey. Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration? *Physics Today*, v. 23, n. 10, 1970, p. 25.

[Artigo recebido em Abril de 2017. Aceito para publicação em Junho de 2017.]