

DIVULGAÇÃO

A VISÃO OPERACIONAL DOS CONCEITOS E MEDIDAS FÍSICAS

ROBERTO DE A. MARTINS*

*Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência - UNICAMP
Departamento de Genética - Universidade Federal do Paraná
Caixa Postal 2228 - 80000 Curitiba - PR*

I. INTRODUÇÃO

A física, sendo uma ciência quantitativa, depende essencialmente de processos de medição em sua parte experimental. Apesar disso, esses processos costumam ser pouco estudados pelos físicos. Talvez isso ocorra porque quase sempre são físicos teóricos os que se preocupam com a metodologia científica. A estatística é o único instrumento analítico importante conhecido pelos físicos experimentais. Existe no entanto toda uma gama de teorias epistemológicas a respeito de grandezas físicas e sua medição. O conhecimento dessas teorias permite uma visão mais crítica e aprofundada do significado dos conceitos e grandezas físicas, e de toda a base empírica da ciência.

A única teoria da medição cujo nome é familiar aos físicos é o operacionalismo. Mas mesmo esta teoria é mais citada do que conhecida realmente. O objetivo deste artigo, é o de proporcionar ao professor, ao pesquisador e ao estudante de física um conhecimento básico das teorias de medição. Aqui, será fornecida uma descrição bem documentada do operacionalismo.

II. OPERACIONALISMO E EMPIRICISMO

O operacionalismo propriamente dito, ou "ponto de vista operacional", ou "análise operacional", é atribuído ao físico P.W. Bridgman, muito conhecido por seus trabalhos experimentais com altas pressões. Da década de 1920 até a década de '50, a visão operacional foi desenvolvida por Bridgman e por outro físico, H. Dingle, em uma série de livros e artigos.⁽¹⁾ No en-

* Pesquisador subvencionado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

tanto, o surgimento do operacionalismo como doutrina sistemática e explícita foi precedido por idéias semelhantes defendidas por muitos outros autores.

O operacionalismo faz parte da grande corrente do empiricismo moderno, que também inclui o pragmatismo e o positivismo lógico. Dentro desse grande movimento, Morris⁽²⁾ distingue três direções principais. A primeira, representada por Comte e pela maior parte dos pragmáticos americanos, investiga principalmente as funções psicológicas, biológicas e sociais do processo simbólico. A segunda tendência se interessa pelas ciências formais da lógica e da matemática, e conta entre seus expoentes os nomes de Russell, Hilbert, Lukasiewicz, Tarski, etc. A terceira direção se interessa por "desenvolver a tese segundo a qual o significado de qualquer conceito que possa alegar importância existencial pode ser reduzida a, ou pelo menos ser considerada uma predição de, experiências elementares diretas. Aqui devem ser mencionados os escritos de Peirce e James, assim como os escritos de Mach, grande parte do trabalho de Schlick, a teoria operacional do significado, de Bridgman, os escritos epistemológicos de Carnap, e os estudos físicos de Reichenbach e Lenzen."⁽³⁾

Não é fácil distinguir quais as teses originais do operacionalismo, e quais as influências recebidas de outras abordagens epistemológicas, já que ele se situa nessa corrente mais ampla. Um histórico completo teria que incluir toda a história do empiricismo, pelo menos, para tornar clara a gênese das idéias utilizadas por Bridgman. Vamos nos contentar, entretanto, com uma visão superficial e esquemática dessa evolução.

Pode-se considerar o empiricismo como uma tendência a eliminar da ciência tudo aquilo que não pode ser associado diretamente a coisas observáveis.⁽⁴⁾ Entre os precursores do empiricismo são comumente citados cientistas e filósofos que se dedicaram ao esclarecimento lógico, empírico ou psico-social do significado de conceitos, proposições e questões, tentando tornar claros e rejeitar do campo científico as pseudo-noções e pseudo-problemas, procurando assim trazer todo conhecimento "de volta à terra". Entre os filósofos que contribuíram para isso pode-se incluir os antigos sofistas, céticos e estoicos, assim como Roger Bacon, William de Ockham, Locke, Hume, Mill, Comte. Na ciência, cita-se os trabalhos de Copérnico, Kepler, Galileo e Newton, e seus seguidores.

De fato, o surgimento da ciência clássica está estreitamente ligado ao desenvolvimento de uma mentalidade empiricista. A ciência se distinguiu da filosofia clássica, da qual se originou, porque a primeira recorre constantemente a experiências e dados das observações, enquanto que a segunda possui métodos principalmente racionais. A cisão e progressiva separação dos dois campos deu-se pelo nascimento e crescimento do empiricismo entre os cientistas.

À medida que a ciência clássica evoluiu, e se tornava mais e mais fundamentada em observações e experiências, os cientistas foram abandonando o estudo de muitas questões que não podiam ser estudadas empiricamente. Todos os problemas semelhantes às discussões sobre o sexo dos anjos foram sendo gradualmente excluídos da "filosofia natural", embora ainda permanecessem em voga entre os estudiosos da metafísica.

A radicalização do empiricismo na física deu-se na segunda metade do século XIX. Naquela época, a física estava repleta de modelos de vários tipos: modelos do éter, da luz, da gravitação, da eletricidade, dos gases, etc. Alguns desses modelos, tais como a teoria cinética dos gases, tinham alcançado um grande sucesso, pois haviam levado a previsões confirmadas mais tarde (como a de que a condução térmica de um gás não depende de sua pressão). Outros modelos permaneciam em um estágio primitivo e controvertido. Baseando-se em uma interpretação errônea do 'hypotheses non fingo' de Newton,⁽⁵⁾ vários cientistas iniciaram um combate contra o uso de hipóteses e modelos na ciência, argumentando que tais idéias não podiam ser testadas diretamente pela experiência, e que a ciência deveria se limitar a leis empíricas não controvertidas e às suas generalizações naturais, sem tentar ir além dos fenômenos. O estudo de modelos passou a ser considerado por esses críticos como algo da mesma natureza que a antiga metafísica.

III. O EMPIRISMO DE MACH E DE POINCARÉ

Entre os físicos, possivelmente o empiricista mais influente da época foi Ernst Mach.⁽⁶⁾ Conforme ele próprio descreve, suas idéias epistemológicas foram guiadas por considerações biológicas e econômicas,⁽⁷⁾ mas não nos ocuparemos desses aspectos. Em sua "Mecânica", Mach enfatiza que a ciência deve se limitar àquilo que é testável:

"Toda ciência tem, em nossa opinião, a missão de substituir a experiência. Ela deve, conseqüentemente, para atingir esse objetivo, por um lado permanecer sempre no domínio da experiência, e por outro lado deixá-la, sempre esperando dela uma confirmação ou refutação. A ciência nada tem a fazer lá onde seja impossível confirmar ou refutar."⁽⁸⁾

Dentre as colocações empiricistas mais radicais de Mach, pode-se citar sua recusa em aceitar o atomismo⁽⁹⁾ e sua negação de um modelo ondulatório da luz,⁽¹⁰⁾ numa época em que ambos os modelos eram amplamente aceitos.

Embora inicialmente Mach tenha encontrado mais adversários do que adeptos, a partir de 1880 outros cientistas se uniram a seu programa de crítica empiricista da ciência, e o trabalho de Mach tornou-se cada vez mais influente. Pode-se observar com clareza a atitude de Mach em sua crítica aos conceitos newtonianos de espaço e tempo absolutos. De acordo com Newton,

"O tempo matemático, absoluto e verdadeiro, flui uniformemente por si mesmo e de sua própria natureza, sem relação a coisa alguma externa, e é também chamado de duração. O tempo comum, relativo e aparente, é uma medida sensível e externa da duração por meio do movimento (seja essa medida acurada ou desigual), tal como uma hora, um dia, um mês, um ano, e é usado no lugar do tempo verdadeiro."⁽¹¹⁾

Em sua "Mecânica", Mach recusa essa conceituação:

"Lendo estas observações, parece que Newton ainda está sob a influência da filosofia medieval, e que ele não é fiel a seu objetivo de estudar apenas aos fatos... Estamos absolutamente impossibilitados de medir pelo tempo as mudanças das coisas. O tempo é apenas uma abstração a que chegamos por causa dessas mesmas mudanças, e não somos forçados a qualquer medida determinada dele, já que todas (as mudanças) são mutuamente dependentes. Chamamos de movimento uniforme aquele em que mudanças iguais de posição correspondem a mudanças iguais em um movimento de referência que é o da Terra. Um movimento pode ser uniforme em relação a outro, mas perguntar se um movimento é uniforme em si mesmo não tem significado. Falar de um 'tempo absoluto' independente de qualquer mudança é também sem significado. Este tempo absoluto não pode ser medido por

movimento algum: ele não tem valor, nem prático, nem científico. Ninguém pode dizer que sabe alguma coisa sobre este tempo absoluto: ele é um ente 'metafísico' inútil."⁽¹²⁾

Mach também examina e critica as idéias de espaço absoluto e movimento absoluto, rejeitando-as. Ele conclui:

"Não devemos confundir a capacidade de imaginar o movimento absoluto com a possibilidade de reconhecê-lo. Apenas a segunda importa... O pesquisador natural somente se preocupa com a identificação. O que ele não pode reconhecer, o que não tem marca sensível, não tem significado na ciência. Excluir o movimento absoluto é eliminar aquilo que não tem significado físico."⁽¹³⁾

As idéias de Henri Poincaré⁽¹⁴⁾ possuem alguns pontos de semelhança com as de Mach. Como Mach, Poincaré admite que existem problemas que não podem ser decididos com o auxílio da experiência. Entre estes, ele coloca a questão do movimento absoluto da Terra. Qualquer experiência ou observação pode ser explicada tanto por uma teoria que aceite que a Terra gira, quanto por outra que negue esse movimento. Para Poincaré, questões que não podem ser decididas empiricamente, e proposições tais como "a Terra gira" não possuem significado; o espaço absoluto não tem existência objetiva. Se não se pode imaginar um tipo de experiência que possa decidir uma questão, ela não tem significado.⁽¹⁵⁾

Ao contrário de Mach, Poincaré admite o uso de hipóteses desse tipo na ciência, desde que o cientista não confunda esses artifícios com a realidade: "Não nos importamos se o éter realmente existe: esta é a ocupação dos metafísicos. O importante para nós é que tudo ocorre como se ele realmente existisse, e que esta hipótese é adequada à explicação dos fenômenos."⁽¹⁶⁾ Apesar de se distanciar em muitos pontos da posição radical de Mach, em outros lugares Poincaré exprime admiravelmente a filosofia empiricista. Um exemplo, que nos interessa particularmente, é sua discussão sobre o conceito de força, em um artigo publicado por Poincaré a respeito da "Mecânica" de Hertz:

"Quando alguém diz que a força é a causa do movimento, ele está fazendo Metafísica, e esta definição, se tivéssemos que nos limitar a ela, seria completamente estéril. Para que uma definição seja de alguma utilidade, é necessário que ela nos ensine como medir força; por outro lado, isto é suficiente. Não é necessário

de modo algum que ela nos diga o que é a força em si mesma, ou se ela é a causa ou o efeito do movimento."⁽¹⁷⁾

Esta visão empiricista das definições das grandezas é a própria essência do operacionalismo.

IV. OPERACIONALISMO NA RELATIVIDADE E NA MECÂNICA QUÂNTICA

Esse tipo de abordagem empiricista teve um papel marcante no desenvolvimento da teoria da relatividade restrita de Einstein.⁽¹⁸⁾ Ao recusar-se a aceitar o conceito de éter, como inútil e não associado a qualquer fenômeno,⁽¹⁹⁾ Einstein adota uma posição claramente empiricista, e que não pode ser justificada de outra maneira que não seja essa visão epistemológica. Da mesma forma, seu tratamento de tempo e espaço é de tipo operacional, reduzindo os conceitos aos processos de medição. Em seu trabalho fundamental sobre relatividade restrita, Einstein afirma:

"Devemos manter em mente que uma descrição matemática... não tem significado físico a menos que saibamos claramente o que compreendemos por 'tempo'... Parece possível superar todas as dificuldades relacionadas à definição de tempo, substituindo 'tempo' por 'a posição do ponteiro pequeno de meu relógio'."⁽²⁰⁾

Em várias de suas obras, Einstein enfatiza o significado epistemológico de seu método de trabalho:

"Conceitos têm significado apenas se podemos indicar os objetos a que eles se referem e as regras pelas quais eles são associados a esses objetos."⁽²¹⁾

"Conceitos e distinções são admissíveis apenas na medida em que se possa assinalar a eles fatos observáveis sem ambiguidade (especificação de que conceitos e distinções devem ter um significado). Este postulado, que pertence à epistemologia, mostra ser de importância fundamental."⁽²²⁾

"O conceito não existe para o físico até que ele tenha a possibilidade de descobrir se ele se aplica em um caso real. Assim, exigimos uma definição de simultaneidade tal que esta definição nos proporcione um meio pelo qual, no caso apresentado, seja possível decidir experimentalmente se ambos os raios ocorrem simulta-

neamente. Enquanto essa exigência não é satisfeita, eu estou me enganando como um físico (e é claro que o mesmo se aplica se eu não sou um físico) quando imagino que sou capaz de atribuir um significado à afirmação de simultaneidade." (23)

Foi sob a influência empiricista de Einstein que Heisenberg formulou seu princípio de indeterminação. O princípio de Heisenberg determina um limite para a precisão de medidas simultâneas de posição e momento (ou energia e tempo). É claro que, em um enfoque epistemológico não-empiricista, pode-se dizer que, embora não se possa medir essas grandezas simultaneamente com grande precisão, essas grandezas possuem um valor definido. Mas a interpretação usual do princípio é a de que a posição e o momento correspondente de uma entidade quântica não possuem valores definidos em cada instante, ou que se o momento de uma entidade quântica é medido, sua posição associada (não mensurável) não tem realidade física. (24) Pode-se ver a origem empiricista dessa interpretação nas próprias palavras de Heisenberg:

"Esta relação de incerteza especifica os limites dentro dos quais pode ser aplicada a imagem de partícula. Qualquer uso das palavras "posição" e "velocidade" com uma precisão que exceda a dada pela equação acima é tão sem significado quanto o uso de palavras sem significado definido. Em relação a este ponto deve-se lembrar que a linguagem humana permite a construção de sentenças que não possuem qualquer consequência, e que portanto não possuem conteúdo algum - embora essas sentenças possam produzir algum tipo de imagem em nossa mente. Por exemplo: a afirmação de que além de nosso mundo existe um outro mundo, com o qual é impossível em princípio qualquer conexão, não leva a qualquer consequência experimental, mas produz um tipo de imagem na mente. Obviamente tal tipo de afirmação não pode nem ser provada nem refutada." (25)

Já se discutiu muito sobre a relação entre o operacionalismo e a teoria da relatividade, e entre Mach e Einstein. (26) Embora muitos autores neguem uma conexão lógica entre o operacionalismo e a relatividade, (27) a maior parte dos autores admite a existência dessa ligação. (28) Não queremos abordar aqui novamente este assunto. O que importa, para nós, é simplesmente que, na obra de Einstein, pode-se encontrar afirmações empiricistas claras, e usos incontrovertidos de uma epistemologia

empíricista. Foi através de Einstein que Bridgman e Dingle tomaram conhecimento dessa filosofia da ciência, que permitiu a elaboração do operacionalismo. Há vários testemunhos de Bridgman e outros autores que mostram isso. (29)

Após essa visão rápida dos precursores, examinemos o operacionalismo propriamente dito, conforme exposto por seus defensores.

V. DEFINIÇÕES OPERACIONAIS E SIGNIFICADO DE CONCEITOS

Não é muito fácil descrever o operacionalismo de um modo coerente. Por um lado, seus dois principais defensores, Bridgman e Dingle, nem sempre concordam entre si; por outro lado, a própria posição de Bridgman variou sensivelmente com o passar do tempo. No entanto, tentaremos expor os principais pontos do operacionalismo, indicando, em algumas questões, as diferenças e variações de opinião desses autores. Vamos nos limitar aos aspectos do operacionalismo diretamente relevantes à análise de grandezas e processos de medição.

Conforme Bridgman descreve, (30) sua atenção se voltou para o ponto de vista operacional em 1914, ao se dedicar ao estudo da análise dimensional (31) e da teoria da relatividade. No entanto, ele apenas começou a utilizar os termos "operação" e "análise operacional" em uma conferência, em 1923, (32) e expôs claramente suas idéias em 1927, em um livro clássico: "The Logic of Modern Physics". (33)

Bridgman principia seu livro descrevendo, de um modo amplo, a revolução relativística. Ele enfatiza que a relatividade mostrou a inadequação de conceitos tais como os de movimento absoluto, simultaneidade, etc. A descoberta da inadequação de conceitos antigos, e sua substituição por novos, não precisaria, segundo Bridgman, ter esperado tanto tempo. Um método lógico científica adequada teria preparado os cientistas para essas e outras mudanças futuras.

Segundo Bridgman, sempre que se penetra em novos domínios de experiência, surgem fenômenos novos. Quando se atinge valores extremos de tamanho (domínio microscópico ou astronômico), de temperatura, de pressão e de outras variáveis, surgem fenômenos que obrigam a revisão de leis previamente estabelecidas e de concepções teóricas antigas. (34)

Embora nosso conhecimento do mundo físico tenda a aumentar e a se transformar constantemente, Bridgman considera desejável que a ciência seja edificada com o uso de conceitos que, por um lado, sejam fixos, e que, por outro lado, não atrapalhem o desenvolvimento da pesquisa. É com este objetivo em mente que ele propõe a operacionalização dos conceitos.

Classicamente, os conceitos eram definidos por suas propriedades teóricas. Newton, como vimos, definia a "tempo absoluto" como algo que flui uniformemente por sua própria natureza e sem relação com algo externo. Mas existirá algo real que corresponda a tal conceito? As entidades definidas dessa maneira podem sofrer de graves defeitos, como: 1) não corresponder a coisa alguma na natureza; 2) corresponder apenas aproximadamente a algo existente na natureza, criando assim uma distância entre o que pensamos e o que experimentamos. No primeiro caso, o conceito é inútil; no segundo, podem ser necessárias sucessivas revisões do conceito para adequá-lo à experiência, ou seja, o conceito não é estável.

Por isso, Bridgman sugere que os conceitos sejam definidos empiricamente, esclarecendo sua posição por meio de um exemplo clássico:

"A nova atitude em relação aos conceitos é completamente diferente. Podemos ilustrá-la considerando o conceito de comprimento. O que queremos dizer por comprimento de um objeto? Nós evidentemente sabemos o que queremos dizer por comprimento se podemos dizer qual é o comprimento de cada um e de todos os objetos, e para o físico nada mais é exigido.

Para encontrar o comprimento de um objeto, temos que realizar certas operações físicas. O conceito de comprimento é portanto fixado quando fixamos as operações pelas quais o comprimento é medido. Ou seja, o conceito de comprimento inclui tanto quanto e nada mais do que o conjunto de operações pelo qual se determina o comprimento. Em geral, por um conceito significamos nada mais do que um conjunto de operações; o conceito é sinônimo com o conjunto de operações correspondentes."⁽³⁵⁾

Segundo Bridgman, o significado de um termo não está contido em uma concepção teórica, mas no tipo de ação associada ao termo:

"É claro que o verdadeiro significado de um termo deve ser

encontrado observando o que um homem faz com ele, e não pelo que ele diz sobre ele." (36)

Compare-se esta frase com um famoso pronunciamento de Einstein, (37) em 1933 (portanto, 6 anos após a publicação do livro de Bridgman):

"Se você quer aprender de um físico teórico algo a respeito dos métodos que ele utiliza, eu lhe darei o seguinte conselho: não ouça suas palavras, examine suas realizações. Pois para um pesquisador nesse campo, as construções de sua imaginação parecem tão necessárias e naturais que ele é capaz de tratá-las não como criações de seus pensamentos, mas como realidades dadas."

Essa idéia básica é repetida muitas vezes nos escritos de Bridgman:

"A idéia fundamental por trás de uma análise operacional é bastante simples: a saber, que não sabemos o significado de um conceito a menos que especifiquemos as operações que foram utilizadas por nós ou nossos vizinhos ao aplicar o conceito em alguma situação concreta." (38)

"Para conhecer o significado de um termo utilizado por mim é evidente, penso, que devo conhecer as condições sob as quais eu utilizaria o termo, ou, inversamente, para saber o significado de um termo que meu companheiro utiliza, eu devo ser capaz de reconstruir as condições que o compeliram ao uso do termo. A análise das condições que acompanham o uso de um termo é uma análise de atividade de um tipo ou de outro, ou, em outras palavras, uma análise de operações. Deste ponto de vista, significados são operacionais." (39)

Em alguns de seus escritos, Bridgman admite que, além do significado operacional, podem existir outros tipos de significado; assim, o conhecimento da parte operacional de um conceito seria apenas uma condição necessária para se conhecer o conceito. Em outros escritos, ele afirma que, para os físicos, o conhecimento da definição operacional é o único importante, ou seja, que ele é suficiente. (40) Em um artigo publicado em 1954, a posição de Bridgman é muito menos radical: ele afirma apenas que uma análise operacional dos conceitos é sempre possível e útil, mas que jamais é necessária. Nessa posição final, enfra-

quecida, Bridgman afirma explicitamente que nada existe de normativo no ponto de vista operacional geral, ⁽⁴¹⁾ ou seja, que o operacionalismo não impõe coisa alguma. Isso, evidentemente, não corresponde à posição inicial e mais representativa do operacionalismo.

Mas retornemos às idéias primitivas do operacionalismo. Assim como um conceito só possui significado se conhecemos como ele é utilizado empiricamente, da mesma forma existem questões que não possuem significado, pois não sabemos submetê-las à investigação empírica:

"Constitui um grande avanço em nossa atitude crítica em relação à natureza, notar que muitas das questões que formulamos a-criticamente são desprovidas de significado. Se uma questão específica tem significado, deve ser possível encontrar operações pelas quais pode-se dar-lhe uma resposta. Descobrir-se-á em muitos casos que as operações não podem existir, e que portanto a questão não tem significado."⁽⁴²⁾

Como exemplos, Bridgman cita: ⁽⁴³⁾

Estarão todas as dimensões do universo variando numa mesma proporção?

Houve um tempo em que a matéria não existia?

Pode o tempo ter um princípio ou um fim?

Existem partes da natureza para sempre inatingíveis?

e muitas outras questões, usualmente consideradas "profundas" e "filosóficas", mas que são, segundo o operacionalismo, totalmente vazias.

VI. DINGLE E OS INOBSERVÁVEIS

Herbert Dingle é bem conhecido por ter sido associado durante algumas décadas ao "paradoxo dos gêmeos" da relatividade. ⁽⁴⁴⁾ Como defensor do operacionalismo, ele é mais radical, mais claro e mais profundo do que Bridgman, apesar de ser menos citado do que este.

A base da visão operacional é, para Dingle, a rejeição dos inobserváveis. Através de um exemplo curioso, Dingle tenta primeiramente enfatizar que deve existir algum tipo de regra que proíba a invenção de certos tipos de conceitos:

"Suponha, por exemplo, que eu afirmo que existe um binkum assentado na escrivaninha à minha frente, e que este fato tremendo, corretamente compreendido, é a solução final e completamente satisfatória do problema do mal. Se você rejeitar o princípio em questão (o de que apenas o que é observável é significativo), você não terá uma base para rejeitar a afirmação. Você pode dizer que não consegue detetar meu binkum, mas eu responderei que é claro que você não pode, pois ele é inobservável. Se você quiser saber como sua existência resolve o problema do mal, eu direi que é a sua natureza fazê-lo... Se você perguntar: "afinal, o que é um binkum eu responderei que isso é imediatamente evidente; eu não posso colocá-lo em palavras, pois todos sabem o que é um binkum. Se você responder que não sabe, eu encolherei meus ombros e direi que você deve estar falando como um físico."⁽⁴⁵⁾

Nesta sátira aos defensores da metafísica, Dingle deixa bem claro que é preciso limitar nossa capacidade de invenção. Para distinguir claramente entre o que deve e o que não deve ser admitido na ciência, Dingle distingue quatro tipos de inobserváveis:

(1) aquilo que é praticamente inobservável: ou seja, o que não pode ser observado por causa de dificuldades práticas de observação (tal como, na época de Dingle, a face oculta da Lua). Tudo o que seria observável pelos meios conhecidos se fossemos onipotentes, mas que atualmente é inobservável porque não podemos fazer uso total de nossos meios de observação, é praticamente inobservável.

(2) aquilo que é humanamente inobservável: ou seja, o que não pode ser observado por qualquer das faculdades humanas. Pode-se dar exemplos apenas por meio de analogias: se não dispuséssemos de visão, as cores dos objetos seriam humanamente inobserváveis.

(3) aquilo que é fisicamente inobservável: ou seja, aquilo que, por nossas faculdades, poderíamos observar, mas que a natureza do fenômeno nos impede de observar. Um exemplo atualizado: a região interna ao raio de Schwarzschild em torno de uma massa colapsada (buraco negro).

(4) aquilo que é logicamente inobservável: ou seja, aquilo que não pode ser descrito sem violar as regras lógicas. Por exemplo: um objeto que seja mais comprido e mais curto do que um outro, ao mesmo tempo.⁽⁴⁶⁾

De acordo com Dingle, a ciência exclui de seu estudo todos os tipos de inobserváveis, exceto o primeiro tipo - aquilo que é inobservável na prática, mas não em princípio. De acordo com Dingle, o modo mais adequado para se compreender esse princípio é enfocá-lo segundo uma filosofia idealista. A filosofia idealista, ao contrário da materialista ou realista, considera como reais e como elementos básicos do mundo nossas sensações e idéias, e não os "objetos materiais".

"Suponha que adotamos um ponto de vista idealista, considerando nossa experiência, nossas observações, como os dados primários, e o universo como uma construção mental formada para dar coerência racional a essas observações... A afirmação de que nada que seja logicamente ou fisicamente (e humanamente) inobservável é significativo, é simplesmente uma afirmação de nosso objetivo como cientistas ou filósofos: significa que nós nos limitamos a nosso propósito de deduzir um universo de nossas observações, e não permitimos a intervenção de nossas fantasias."⁽⁴⁷⁾

De um modo geral, este critério coincide com o critério de Bridgman, segundo o qual só é significativo aquilo que poderia ser determinado por um conjunto de operações realizáveis em princípio. No entanto, quando se estuda os detalhes de suas concepções, observa-se que Dingle só considera válida a operacionalização dos conceitos quantitativos (grandezas). Bridgman amplia a operacionalização aos conceitos que são utilizados apenas de modo "imaginativo" (tais como elétron, éter, fóton, onda eletromagnética, etc).⁽⁴⁸⁾ Aqui, no entanto, vamos nos restringir ao estudo de grandezas.

Em seu artigo fundamental sobre teoria das medidas, Dingle começa retornando ao contraste entre a posição operacionalista (de base idealista) e a visão antiga e ingênua (realista) do cientista:

"Agora geralmente se concorda que a teoria da relatividade tornou necessária uma nova concepção da natureza da ciência física. A mudança pode ser expressa brevemente da forma seguinte. Anteriormente a ciência era considerada como o estudo de um mundo externo, independente do observador cujos experimentos e observações eram simples meios de descobrir como o mundo era construído e quais as leis que governavam o seu comportamento. A ênfase deslocou-se agora da natureza do mundo para as operações de experimentação e ob-

servação. Estas não são mais consideradas como meios mais ou menos arbitrários de descobrir a ordem pré-estabelecida da natureza, mas como proporcionando dados primários para o estudo racional; e qualquer mundo que possamos contemplar não é mais uma existência independente cuja natureza as exige ou determina (ã experiência e à observação), mas sim uma construção lógica, formada, moldada e modificada de modo a exibir uma imagem verdadeira das relações exibidas pelas observações." (49)

Como essa posição se reflete na teoria das grandezas? Na visão antiga, realista, cada objeto possui uma série de grandezas, que lhe pertencem, independentemente de podermos ou sabermos medí-las. O processo de medição procura descobrir o valor dessas grandezas. Dingle critica essa opinião por meio de um exemplo relativístico. Já que, de acordo com a teoria da relatividade, a massa de um corpo depende do referencial em relação ao qual é medida, o valor da massa de um corpo é indeterminado, e só se torna definido se fixarmos as operações de medida. A massa do objeto não é portanto uma propriedade do objeto a ser descoberta pela medição, mas o resultado mais ou menos arbitrário de uma série de operações que podem ser escolhidas com ampla liberdade.

VII. UNIVOCIDADE DAS OPERAÇÕES

Voltemos a Bridgman. Além de reduzir os conceitos e conjuntos de operações, Bridgman exige que a especificação operacional de cada grandeza seja unívoca: "Devemos exigir que o conjunto de operações equivalente a um conceito seja um conjunto único, pois de outra forma há possibilidade de ambiguidade nas aplicações práticas, e estas são inadmissíveis." (50)

Consideremos o exemplo clássico da medida de comprimento e distâncias. O procedimento de medida por meio de uma régua ou trena utiliza uma série bem conhecida de operações: colocar uma extremidade da régua (ou trena) em coincidência com uma das extremidades do objeto, marcar o ponto do objeto que coincide com a outra extremidade da régua, deslocar a régua paralelamente, até que sua primeira extremidade coincida com este ponto, etc. Esse conjunto de operações é diferente do procedimento de medidas por meio de um teodolito. Serão esses dois processos de medida equivalentes? Não. Pode ocorrer que os dois procedimentos dêem re-

sultados diferentes, já que seus princípios são diferentes. E, de fato, essa diferença deve existir, de acordo com a relatividade geral, embora no caso de medições terrestres de pequenas distâncias a diferença não seja detectável com a precisão atual das medidas. Sempre que há dois procedimentos diferentes de medida, podem surgir diferenças entre eles, e portanto não é seguro supor que ambos os procedimentos medem a mesma grandeza.

"Em princípio, as operações pelas quais o comprimento é medido deveriam ser univocamente especificadas. Se temos mais do que um conjunto de operações, temos mais do que um conceito, e estritamente deveria haver um nome separado correspondente a cada conjunto diferente de operações."⁽⁵¹⁾

"Falando estritamente, o comprimento quando medido desta maneira, por feixes luminosos, deveria ser chamado por outro nome, já que as operações são diferentes. A justificativa prática para reter o mesmo nome é que dentro de nossos limites experimentais presentes não foi detectada uma diferença numérica entre os resultados dos dois tipos de operações."⁽⁵²⁾

Mas, embora justificada por razões práticas, a atribuição de um mesmo nome àquilo que é medido por procedimentos distintos acarreta problemas. Pois as pessoas se acostumam a pensar que estão medindo a mesma coisa, e isso impede que se preparem para futura descoberta de uma diferença entre os dois processos. Quando medimos o comprimento próprio de um objeto, por meio de réguas, estamos utilizando um processo. Quando, de um referencial arbitrário S, observamos um objeto em movimento, e marcamos as posições de suas extremidades em um dado instante, para determinar seu comprimento, estamos utilizando outro processo distinto. Em condições normais, esses procedimentos dão o mesmo resultado. Mas foi preciso que Einstein mostrasse que, na verdade, seus resultados são diferentes, e que a diferença se torna significativa a grandes velocidades. Neste sentido, portanto, o operacionalismo pode preparar os cientistas para toda possível revisão de conceitos quantitativos. E é por esse motivo que se torna tão importante uma descrição unívoca dos conceitos: "Em outras palavras, definição ou estabelecimento de significado em termos de operações únicas é o único procedimento seguro em situações físicas."⁽⁵³⁾

A especificação de um conjunto único de operações restringe o campo de aplicação do conceito. Chamemos de "comprimen

to I" aquilo que é medido por trenas ou réguas, pelo processo usual; de "comprimento II" aquilo que é medido por triangulação óptica (teodolitos, paralaxe); e de "comprimento III" aquilo que é medido por um processo de radar. Podemos medir o comprimento I de uma mesa, mas não podemos medir o comprimento I de uma distância astronômica; podemos medir o comprimento II da distância entre o sistema solar e as estrelas mais próximas, mas não a distância entre os íons de um cristal; podemos medir o comprimento III da distância entre a Terra e a Lua, mas não podemos aplicar o mesmo método para medir a espessura de um fio de cabelo. Em certos casos, o conceito não pode ser aplicado, e por isso ele só tem significado em um certo domínio de aplicações. Não seria válido falar sobre o comprimento I da distância entre a Terra e a Lua, pois esta jamais poderá ser medida.

"Além disso, se lembrarmos que as operações que são equivalentes a um conceito físico são operações físicas reais, os conceitos só podem ser definidos no domínio da experiência realizável, e são não definidos e sem significado em regiões ainda não atingidas pela experiência."(54)

VIII. A MULTIPLICIDADE DAS GRANDEZAS

Vejamos como Dingle encara esse aspecto do operacionalismo. Para ele, a atribuição de processos diferentes de medida a uma mesma grandeza faz parte da visão realista - e falsa - do mundo. Segundo a concepção realista, existe em cada objeto uma propriedade inerente, cuja grandeza se quer determinar, e que pode em princípio ser medida por um grande número de métodos independentes, sempre levando à medida da mesma grandeza, e devendo dar o mesmo resultado:

"Assim, encontramos em nossos manuais de laboratório nove ou dez meios diferentes de medir a tensão superficial da mesma superfície de separação entre duas substâncias, e se eles não dão todos o mesmo resultado, mesmo após a consideração de inevitáveis "erros de medida", devemos ter cometido algum engano ao realizar a medida. Acima e além dos métodos, existe um tipo de tensão superficial platônica ideal que tentamos descobrir com nossos vários dispositivos."(55)

Dingle considera absurdo este ponto de vista, e, como Bridgman, propõe que se deve tomar como base e ponto de partida a operação de medida, definindo a propriedade a partir dessa operação, e atribuindo um nome diferente a cada processo de medida. Assim, os dez métodos diferentes medem diferentes grandezas, e não a mesma grandeza (tensão superficial). Se as operações diferentes dão aproximadamente o mesmo resultado, então foi realizada a descoberta empírica de que as quantidades representadas pelos diferentes nomes são aproximadamente iguais. Pode então ser dado um nome comum a essas quantidades, mas lembrando sempre que isso é uma decisão fundamentada empiricamente, e que pode ser modificada pela experiência futura. Trata-se portanto de uma identificação provisória, como a que utilizamos ao dar o nome de "massa" tanto à massa inercial quanto aos dois tipos de massa gravitacional.

Note-se que, se utilizamos o mesmo nome para medidas obtidas por processos diferentes, nem mesmo podemos expressar que essas medidas são iguais ou diferentes. Se representamos tanto a massa inercial de um corpo A quanto sua massa gravitacional pelo mesmo nome (por exemplo: m_A), então a relação $m_A = m_A$ é uma verdade lógica, e não empírica, e a relação $m_A \neq m_A$ é absurda. Somente se dispusermos de nomes diferentes poderemos expressar a igualdade dos resultados de dois processos independentes de medida, ou sua diferença.

Como o ponto de partida é sempre o processo de medida, Dingle coerentemente afirma que: "Medição é qualquer operação precisamente especificada que gera um número." (56) É claro que se pode inventar uma variedade ilimitada de processos que geram números, e no entanto existem poucos processos de medição utilizados na prática científica. Por que são escolhidos estes e apenas estes processos de medida? Poderíamos, por exemplo, tomar uma esfera padronizada de cobre, deixá-la cair de uma altura padronizada sobre vários corpos, e medir a frequência mais baixa do som emitido no impacto. Isso poderia ser chamado de "sonoridade" do corpo. Esse processo não é realizado, na prática, enquanto outros processos são. Por que?

Segundo Dingle, o objetivo último da ciência é encontrar relações entre os elementos de nossa experiência. A fim de encontrar relações mais facilmente, estabelecemos condições artificiais, que levam a relações simples. O físico seleciona livremente, de todo o campo possível de experiências, os casos

particulares que podem ser mais facilmente associados entre si com o auxílio da matemática. Não foram descobertos muitos processos de medição que proporcionem essas relações simples, e por isso há apenas um pequeno número de operações de medida utilizadas na física.

Enquanto muitos autores afirmam que "a natureza é simples", e que por isso as leis físicas são expressas por equações simples, Dingle afirma que as leis físicas são simples porque procuramos estabelecer relações simples, e inventamos para isso processos de medida especiais, que produzem exatamente aquilo que desejávamos produzir.

Em muitos casos, à medida que a precisão das observações aumenta, descobre-se que as leis obtidas não são tão simples quanto se pensava. Isto ocorreu, por exemplo, na termometria. Os termômetros líquidos foram substituídos pelos termômetros de gás, porque as relações se tornavam mais simples. Na interpretação realista, diríamos que os termômetros de gás proporcionam uma medida "mais próxima do valor real da temperatura"; na verdade, há vários tipos de grandezas que confundimos entre si, dando a todas o nome de "temperatura"; a temperatura I, por exemplo, seria aquela medida pelo termômetro de mercúrio, utilizando-se as especificações e procedimentos comuns. Esta temperatura deixou de ser utilizada, pois não gerava relações simples, e a atenção passou à temperatura II, medida por termômetro de gás, e que na verdade é outra grandeza diferente.

IX. OPERAÇÕES FÍSICAS E MENTAIS

Quais os tipos de operações admissíveis em uma definição operacional? Uma frequente falha de interpretação do operacionalismo afirma que apenas manipulações físicas podem fazer parte da estipulação de uma grandeza. Esse mal-entendido é o resultado de uma afirmação do próprio Bridgman:

"Se o conceito é físico, como o comprimento, as operações são físicas, a saber, aquelas pelas quais o comprimento é medido. Se o conceito é mental, como o de continuidade matemática, as operações são mentais, a saber, aquelas pelas quais determinamos se um dado agregado de grandezas é contínuo. Não quero aqui implicar que há uma divisão rígida e dura entre conceitos físicos

e mentais, ou que um tipo de conceito jamais contém um elemento do outro; esta classificação de conceitos não é importante para nossas considerações futuras."⁽⁵⁷⁾

Fora do contexto, a afirmação de Bridgman de que, "se o conceito é físico... as operações são físicas..." pode ser interpretada erroneamente. Lindsay, por exemplo, critica a posição de Bridgman, e a expõe da seguinte forma: "O significado essencial do operacionalismo é que os conceitos físicos devem ser definidos em termos de operações físicas reais. Nessa visão, um conceito não tem significado a menos que ele represente uma operação a ser realizada em um laboratório."⁽⁵⁸⁾

Em sua resposta a Lindsay, Bridgman esclarece melhor sua posição, e a altera um pouco.⁽⁵⁹⁾ Bridgman indica que em praticamente todo procedimento físico existem operações mentais. Assim, para se medir o comprimento de um objeto com uma régua, é preciso contar o número de vezes que a régua é aplicada e deslocada sobre o objeto, e realizar multiplicações e adições. Essas são operações mentais. A maior parte das operações não-físicas da física são operações matemáticas, e Bridgman lhes dá o nome de "operações com caneta-e-papel."

Bridgman admite nesse artigo que a ciência utiliza conceitos teóricos, como a função de onda da Mecânica Quântica, que não possuem definição operacional. Esses conceitos podem ser úteis, e o operacionalismo não os proíbe:

"É claro que, quando o objetivo último de uma teoria é a descrição de uma situação física concreta, devemos exigir que o resultado final da teoria possa ser expresso em termos de operações aplicáveis em situações físicas concretas, mas eu não vejo razão pela qual não se possa permitir toda variação nas construções intermediárias."⁽⁶⁰⁾

"Vê-se que uma grande latitude de variação é permitida às operações verbais e de caneta-e-papel. Penso, no entanto, que os físicos concordam em impor uma restrição na liberdade de tais operações, a saber, que tais operações devem ser capazes eventualmente, embora talvez indiretamente, de fazer conexão com operações instrumentais."⁽⁶¹⁾

Isso é um evidente enfraquecimento do operacionalismo. Qual era a crítica básica do operacionalismo inicial aos conceitos teóricos, e de que modo tentava superar esses problemas?

A operacionalização dos conceitos permitiria uma certeza de sua realidade e de sua estabilidade:

"É evidente que, se adotamos este ponto de vista em relação aos conceitos, ou seja, que a definição própria de um conceito não é dada em termos de suas propriedades mas em termos de operações reais, não precisamos correr o perigo de ter que rever nossa atitude em relação à natureza. Pois se a experiência for sempre descrita em termos da experiência, deve sempre existir uma correspondência entre a experiência e nossa descrição dela, e nunca precisaremos ficar embaraçados, como quando tentamos encontrar na natureza o protótipo do tempo absoluto de Newton."(62)

A estabilidade de um conceito operacionalizado pode ser contrastada com a instabilidade dos conceitos teóricos e das leis físicas. Durante séculos acreditou-se que as medidas físicas espaciais correspondiam à conceituação da geometria euclidiana, mas tal identificação foi alterada em nosso século; durante séculos acreditou-se igualmente que o comprimento de um objeto não dependia de seu estado de movimento em relação a um referencial arbitrário, e também essa lei foi alterada. Mas o processo operacional de medição do comprimento (próprio) de um objeto por meio de uma régua não sofreu alterações, e não será jamais ser alterado.

"Quando damos preferência à abordagem operacional estamos com efeito dizendo que o que fazemos ao encontrar novas situações físicas tem uma estabilidade maior do que as próprias situações, e que podemos ir mais longe sem rever nossas operações do que podemos sem rever nossa figuração das propriedades dos objetos."(63)

A princípio, Bridgman exigia que todos os conceitos fossem operacionalizados, pelos motivos acima; depois, ele passou a defender que a operacionalização era desejável, embora não exigida. Essa mudança de um imperativo para um "desideratum" enfraqueceu o operacionalismo, mas tornou-o mais aceitável."(64)

X. DETALHAMENTO DA DESCRIÇÃO OPERACIONAL

Ao discutir até que ponto se deve detalhar a especificação operacional de um conceito, Bridgman adota uma posição ex

tremista. Segundo Bridgman, a análise operacional "é realizada com o propósito geral de obter melhor compreensão, e isto em troca exige a conscientização máxima de todas as coisas concebíveis que poderiam ser encontradas na situação. Ao analisar, deve-se procurar trazer à consciência todos os detalhes das manipulações físicas ou outros acontecimentos, e também os detalhes de seu próprio pensamento sobre esses acontecimentos, tentando reduzi-los a algo compreensível." (65)

Em outros trechos, Bridgman esclarece seu ponto de vista:

"Como a experiência não segue um padrão prescrito, uma parte indispensável da tarefa de reduzir a experiência a algo compreensível é descobrir como descrever ou reproduzir a experiência tão acuradamente quanto possível. Nenhum detalhe deve ser negligenciado como trivial até se obter provas de que ele é trivial, e a única prova aceitável de trivialidade é um apelo à experiência." (66)

Para ilustrar seu ponto de vista, Bridgman dá o exemplo da medida de comprimentos por meio de uma régua. Normalmente, quando medimos um objeto mais comprido do que a régua, e precisamos deslocá-la de um ponto para outro, a fim de realizar a medida, esse deslocamento é realizado mantendo-se a régua sempre na mesma direção. Mas suponhamos que se escolha girar a régua de 180° , cada vez que ela é deslocada. Agora, o procedimento de medida é outro, e portanto esse novo processo mede uma nova grandeza, que pode ser igual ou diferente do comprimento medido sem girar a régua. A atitude correta, segundo Bridgman, é a de que não é seguro assumir que os resultados dos dois procedimentos são iguais, até que a experiência prove que são iguais. (67)

Bridgman admite que, na verdade, nenhuma operação pode ser especificada em todos seus detalhes, se não por outra razão, simplesmente pelo mero cansaço. Mas que, em princípio, a especificação detalhada é importante, pois detalhes que parecem não ser relevantes tornam-se significativos quando certos domínios de estudo são ultrapassados ou quando a precisão das medidas é aumentada. A análise operacional sempre chega a um nível e para, estipulando apenas o que parece significativo, mas sempre pode ocorrer que, no futuro, seja preciso rever essa análise e acrescentar outros fatores.

Dingle afirma claramente que a especificação não pode indicar todos os fatores envolvidos, pois eles são infinitos. Se a regra de Bridgman for seguida, seria preciso especificar a cor dos sapatos do experimentador e o nome do Primeiro Ministro da Inglaterra, e assim por diante, até se comprovar que esses fatores não influem.

Por um lado, Dingle concorda com Bridgman, dizendo que os fatores que parecem não influir no resultado são ignorados; mas acrescenta que nem todos os fatores que influem no resultado da medição são estipulados. O peso de um objeto depende do local onde a medida é feita, e no entanto a estipulação da operação de medida de peso não especifica que o peso só pode ser medido em um ponto da Terra. Por quê? Porque, embora o peso varie com a posição, há uma relação simples entre o peso e a aceleração da gravidade no local (que pode ser medida independentemente). A especificação operacional de uma grandeza permite a variação de condições que levam a relações simples, e apenas especifica as condições que precisam permanecer constantes a fim de se obter essas relações simples. Também o instante em que as operações devem ser realizadas não faz parte da especificação operacional, embora certamente influa no resultado.

Além disso, o processo de medição não especifica o objeto ou ente a ser medido. A sequência de operações deve ser aplicável a um conjunto de corpos, e não apenas a um objeto. Isto não significa que cada operação possa ser aplicada a todo tipo de objeto. Para se constatar isto, basta imaginar a definição operacional de comprimento aplicável a objetos de tamanho humano, e depois tentar aplicar este procedimento para medir o diâmetro de um núcleo atômico. É perfeitamente compreensível que cada processo só se aplica em certo domínio. Na linguagem operacional, diz-se que os átomos não possuem o mesmo tipo de grandeza que medimos ao determinar a altura de uma pessoa. Não há nada de misterioso nisto, e, segundo Dingle, essa atitude esclarece as dificuldades conceituais da mecânica quântica. A impossibilidade de se determinar certas grandezas para certos entes é um fenômeno encontrado em todos os domínios, e não só no domínio quântico. (68)

Também Bridgman (69) considera perfeitamente natural e compreensível que, à medida que se investigam novos domínios, o número de operações possíveis diminui, e o número de grandezas mensuráveis independentemente também diminui. Isto ocorre

tanto no mundo microscópico quanto no mundo astronômico. Para se estudar o movimento dos planetas não é possível (nem necessário) medir-se as forças que atuam sobre eles e as suas massas. Bridgman acredita que, sempre que os conceitos são aplicados em domínios muito diferentes de sua origem, acabam por perder a sua individualidade e fundir-se com outros, de modo que mesmo as grandezas mais básicas, como o espaço e o tempo, perdem seu significado ao se estudar certos domínios de experiência.

Por fim, é preciso indicar o significado que o operacionalismo atribui à repetição de medidas. Na concepção realista da medição, cada grandeza possui um e só um valor, em cada instante, em cada objeto; mas as medidas são afetadas por erros incontroláveis, e deve-se repetir a medida várias vezes para se obter uma aproximação do valor "real". Na concepção operacionalista, porém, esse tipo de descrição não tem sentido. As medidas devem ser repetidas porque a experiência mostrou que, sem isso, não se pode obter relações simples entre as grandezas, e isto é tudo o que se pode dizer. O número de repetições a serem realizadas dependerá do caso, e será determinado apenas por essa conveniência prática. Dingle aprofunda e esclarece melhor este ponto de vista,⁽⁷⁰⁾ mas vamos nos limitar aqui a essa curta indicação.

XI. CONCLUSÃO

Aqui terminamos esta exposição da teoria operacionalista de conceitos e medidas. Apesar de toda dificuldade, tentamos apresentar uma visão mais ou menos coerente da teoria, sob o enfoque de seus principais defensores. O ponto de vista operacional concorda, em muitos aspectos, com a atitude ordinária dos físicos, e em outros pontos adota uma concepção bem mais radical e menos ingênua do que a do cientista médio. A fim de não alongar exageradamente este artigo, não foi apresentada uma crítica, nem foram citadas teorias alternativas ao operacionalismo. Essa complementação será realizada em artigos subsequentes.

NOTAS E REFERÊNCIAS

- 1) A obra de Bridgman é muito vasta. Abaixo são indicados seus livros e principais artigos de caráter epistemológico. As obras relevantes de Dingle são citadas em outro local.
P.W.Bridgman - "The Logic of Modern Physics", Macmillan, New York, 1927.
P.W.Bridgman - "The Nature of Physical Theory", Princeton University Press, Princeton, 1936.
P.W.Bridgman - "The Nature of Some of Our Physical Concepts", Philosophical Library, New York, 1952.
P.W.Bridgman - "Reflections of a Physicist", Philosophical Library, New York, 1950.
P.W.Bridgman - "A physicist's second reaction to Mengetlehre", Scripta Math. 2, 101, 224 (1934).
F.W.Bridgman - "Operational analysis", Phil.Sci. 5, 114 (1938).
P.W.Bridgman - "Some general principles of operational analysis", Psych. Rev. 52, 246 (1945).
P.W.Bridgman - "Some implications of recent points of view in physics", Rev. Int. Phil. 3, 484 (1949).
P.W.Bridgman - "Einstein's theories and the operational point of view", in P.A. Schilpp (Ed.) - "Albert Einstein: Philosopher-Scientist", Library of Living Philosophers, vol. VII, Evanston, Ill, 1949, pp. 335-354.
P.W.Bridgman - "The nature of some of our physical concepts", Brit. J. Phil. Sci. 1, 258 (1951).
P.W.Bridgman - "The operational aspect of meaning", Synthèse 8, 255 (1950/51).
P.W.Bridgman - "Remarks on the present state of operationalism", Scient. Monthly 79, 224 (1954).
- 2) C.W.Morris - "Logical Positivism, Pragmatism, and Scientific Empiricism", Hermann, Paris, 1937, p.62.
- 3) Morris, op. cit., p. 64.
- 4) Para uma descrição histórica do empiricismo, ver, por exemplo:
P. Frank - "Théorie de la Connaissance et Physique Moderne", Hermann, Paris, 1934; O. Neurath - "Le Développement du Cercle de Vienne et l'Avenir de l'Empirisme Logique", Hermann, Paris, 1935.
- 5) Em relação a este ponto, ver: A.E.Bell, "Hypotheses non fin go", Nature 149, 238 (1942).

- 6) Sobre Mach, pode-se encontrar um enorme número de artigos e livros. Há duas boas bibliografias mais ou menos recentes: J.Thiele, "Ernst Mach: Bibliographie", Centaurus, 8, 189 (1963); A.D'Elia, "Recente Bibliografia Machiana", Riv. Crit. St. Fil. 3, 189 (1975).
- 7) E. Mach, "Les Idées directrices de ma théorie de la connaissance..." Scientia 7, 125 (1910).
- 8) E.Mach - "La Mécanique - Exposé Historique et Critique de son Développement", Gauthier-Villars, Paris, 1904, p. 457.
- 9) A respeito da posição de Mach frente ao atomismo, ver: S. Brush, "Mach and atomism", Synthèse 18, 192 (1968); F.Searman, "Mach's rejection of atomism", J. Hist. Ideas 29, 381 (1968).
- 10) E.Mach - "The Principles of Physical Optics", Dover, New York, 1953.
- 11) I.Newton - "Mathematical Principles of Natural Philosophy", Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1971, p. 8.
- 12) Mach, "La Mécanique", op. cit., p. 217-8.
- 13) Mach, "La Mécanique", op. cit., p. 487, 491.
- 14) Os principais escritos epistemológicos de Poincaré acham-se reunidos em uma série de livros:
H. Poincaré - "La Science et l'Hypothèse", Flammarion, Paris, 1906.
H. Poincaré - "Science et Méthode", Flammarion, Paris, 1908.
H. Poincaré - "La Valeur de la Science", Flammarion, Paris, 1913.
H. Poincaré - "Dernières Pensées", Flammarion, Paris, 1913.
- 15) Poincaré, "La Science et l'Hypothèse", op. cit., p. 113.
- 16) Poincaré, "La Science et l'Hypothèse", op. cit., p.190, ver também p. 143, 152, 199, 200.
- 17) H. Poincaré, "Les idées de Hertz sur la Mécanique", Rev.Gén. Sci. 8, 734 (1897); reproduzido em: H.Poincaré - "Oeuvres de Henri Poincaré", Gauthier-Villars, Paris, Tome IX, 1954, p.231.
- 18) Ver, por exemplo: G. Holton, "Influences on Einstein's early work in relativity theory", Am. Scholar 37, 59 (1967/8).
- 19) A.Einstein, "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", Ann. der Phys. 17, 891 (1905), traduzido em: A.Einstein, H.A.Lorentz, H. Minkowski, H. Weyl - "The Principle of Relativity", Dover, New York, 1952, p.37, com o título: "On the electrodynamics of moving bodies".

- 20) Einstein, op. cit.
- 21) A. Einstein, "Ernst Mach", Phys. Zeit. 17, 101 (1916).
- 22) A. Einstein, "Fundamental ideas and problems of the theory of relativity", in "Nobel Lectures - Physics - 1901-1921", North Holland, Amsterdam, 1967, p.482.
- 23) A. Einstein - Relativity, the Special and the General Theory: a Popular Exposition". Macmillan, New York, 1921, p.26.
- 24) P.S. Epstein, "The reality problem in quantum mechanics", Am. J. Phys. 13, 127 (1945).
- 25) W. Heisenberg - "The Physical Principles of the Quantum Theory", Dover, New York, 1930, p.15.
- 26) A respeito da relação entre o operacionalismo e a relatividade, ver: R. de A. Martins, "Use and violation of operationalism in relativity", Manuscrito 5 (1982), e referência citadas nesse artigo.
- 27) O principal defensor da independência lógica entre operacionalismo e relatividade é Grünbaum. Ver: A. Grünbaum, "Operationalism and relativity", Sci. Monthly 79, 228 (1954).
- 28) Para citar apenas alguns exemplos: H. Arzeliès - "La Cinématique Relativiste", Gauthier-Villars, Paris, 1955, p.96; G. Gutting, "Einstein's discovery of special relativity", Phil. Sci. 39, 51 (1972); A.I. Miller, "The physics of Einstein's relativity paper of 1905 and the electromagnetic world picture of 1905", Am. J. Phys. 45, 1040 (1977); P.S. Epstein, "The time concept in restricted relativity", Am. J. Phys. 10, 1 (1942); G. Bergmann, "Sense and nonsenses in operationalism", Sc. Monthly 79, 210 (1954).
- 29) P.W. Bridgman, em: "The Logic of Modern Physics" (op. cit.), p.1-9; "The Nature of Physical Theory" (op.cit.) p. 8 - 10 ; "Einstein's theories and the operational point of view" (op. cit.); "Remarks on the present state of operationalism" (op. cit.).
- 30) P.W. Bridgman, "Operational analysis" (op. cit.).
- 31) Bridgman é autor de uma obra fundamental sobre análise dimensional: P.W. Bridgman - "Dimensional Analysis", Yale University Press, New Haven, 1922.
- 32) P.W. Bridgman, "Remarks on the present state of operationalism" (op. cit.). Este artigo será referido como RPS0.
- 33) Obra citada na Nota 1. Este livro será referido como LMP.
- 34) LMP, p.2.
- 35) LMP, p.5.

- 36) LMP, p.7.
- 37) A.Einstein, "On the method of theoretical physics", Phi. Sci. 1, 163 (1934).
- 38) P.W. Bridgman, "The nature of some of our physical concepts", Brit. J. Phil. Sci. 1, 257 (1951). Este artigo será referido como NSPC.
- 39) P.W.Bridgman, "Operational analysis" (op. cit.), p. 116. Este artigo será referido como OA.
- 40) Ver NSPC e OA.
- 41) RPSO, p.224-5.
- 42) LMP, p.28.
- 43) LMP, p.28-31.
- 44) M.Sachs, "On Dingle's controversy about the clock paradox and the evolution of ideas in science", Int. J. Theor. Phys. 10, 321 (1974).
- 45) H.Dingle, "Science and the unobservable", Nature 141, 21 (1938).
- 46) Em outro ponto do mesmo artigo, Dingle reúne em uma só a 2a. e a 3a. categorias de inobserváveis.
- 47) H.Dingle, "Science and the unobservable" (op.cit.), p.28.
- 48) G.J.Whitrow, "Operational analysis and the nature of some physical concepts", Nature 166, 91 (1950).
- 49) H.Dingle, "Theory of measurement", Brit. J. Phil. Sci. 1, 5 (1950). Este artigo será referido como TM.
- 50) LMP, p.6.
- 51) LMP. p.10.
- 52) LMP, p.16.
- 53) P.W.Bridgman, "The operational aspect of meaning (op. cit.), p. 253. Este artigo será referido como OAM.
- 54) LMP, p.7.
- 55) TM, p.7.
- 56) TM, p.11.
- 57) LMP, p.5-6.
- 58) R.B.Lindsay, "A critique of operationalism in physics", Phil. Sci. 4, 456 (1937).
- 59) Ver OA.
- 60) OA, p.124.
- 61) NSPC, p.260.
- 62) LMP, p.6-7.
- 63) OAM, p.257.
- 64) RPSO. A respeito do papel dos "desiderata" na ciência, ver:

R. de A. Martins, "Abordagem axiológica da epistemologia científica", Textos. SEAF nº 2, 38 (1980).

65) OA, p.115; ver também p.130.

66) OA, p.118.

67) OA, p.120.

68) TM.

69) LMP, p.16-24.

70) Ver TM.

COLABORAÇÕES:

Insistimos para que os colegas nos enviem artigos, notícias, resenhas de livros ou de teses ligadas ao ensino de Física, ou ainda outra forma de material que julguem útil para divulgação por esta Revista.

Sõ assim conseguiremos mantê-la viva!