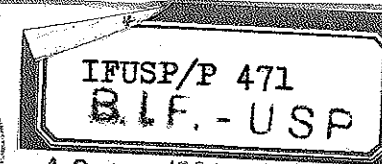


**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**INSTITUTO DE FÍSICA  
CAIXA POSTAL 20516  
01498 - SÃO PAULO - SP  
BRASIL**



# publicações

IFUSP/P-471

ATITUDE CRÍTICA (POSITIVISTA) E ATITUDE CONSTRUTIVA (REALISTA), OS EXEMPLOS DA RELATIVIDADE E DA MECÂNICA QUÂNTICA, SEGUNDO PAUL LANGEVIN

Amélia Império Hamburger

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Junho/1984

ATITUDE CRÍTICA (POSITIVISTA) E ATITUDE CONSTRUTIVA (REALISTA),  
OS EXEMPLOS DA RELATIVIDADE E DA MECÂNICA QUÂNTICA, SEGUNDO

PAUL LANGEVIN

AMÉLIA IMPÉRIO HAMBURGER

INTRODUÇÃO

Paul Langevin, físico francês, nasceu em 1872 e morreu em 1946. Professor na Escola Normal Superior e no Collège de France. Diretor da Escola de Física e Química de Paris. Sucedeu Lorenz na presidência dos Congressos Solvay (os primeiros congressos científicos internacionais) de 1928 a 1937. Seus trabalhos de pesquisa em física deram contribuições importantes em várias áreas, ionização dos gases e da atmosfera, teoria dos elétrons, teoria do magnetismo, físico-química e radiatividade, mecânica estatística, introduziu na França as novas teorias da Relatividade e da mecânica quântica. Foi um militante pacifista e anti fascista. Batalhador pela melhoria do sistema educativo, com uma visão de cultura muito ampla, não só como patrimônio a ser transmitido às futuras gerações, mas como um instrumento de adaptação do homem a seu meio ambiente. Defensor da introdução da história das

ciências no ensino de ciências com a finalidade de apresentar a ciência como pensamento vivo e não dogmático. Assim como os outros físicos que trabalham sobre os fundamentos da física, participa do debate filosófico. Esse debate tem sido particularmente interessante na França de René Descartes e de Augusto Comte, onde até hoje são aparentes os traços do racionalismo e do positivismo no pensamento francês, até no pensamento marxista. A escola de Viena nos apresenta uma nova visão do positivismo e entre seus membros Schlick escreve sobre o realismo.

Paul Langevin preparou e apresentou no Encontro Internacional sobre Filosofia da Ciência, em Varsóvia, 1938 um relato sobre "as correntes positivista e realista na Filosofia da Física", onde interpreta o que são os conceitos e as teorias da Física. Sua exposição atrai justamente por deixar transparecer a grande familiaridade com a Física fazendo com que o pensamento sobre a ciência não se separe da própria construção da ciência. O texto atrai também por sua clareza didática, enfatizando as questões sobre relatividade e teoria quântica.

Neste trabalho procuramos comentar as idéias fundamentais apresentando o texto particularmente para alunos e professores de física.\*

(\*) Outras leituras sobre P. Langevin : "La Recherche", abril e dezembro de 1982 e referências lá contidas.

Descartes e Augusto Comte, ler, por exemplo, "Os pensadores" Ed. Abril e também para Schlick "Positivismo e Realismo".

Ainda sobre o realismo, ler "Einstein's Theory of Knowledge" por V. Lenzen em "Albert Einstein philosopher-scientist" - vol. I pág. 355 e M. Paty "La matière derrobée" (Ed. Feltrinelli, 1984).

Considerando que as "crises sucessivas que a Física atravessa há quarenta anos", podem trazer ensinamentos importantes do ponto de vista da teoria do conhecimento, Langevin apresenta alguns pontos para serem pensados :

1 - a ligação teoria - fatos - linguagem - noções abstratas

Uma das idéias principais tratadas no artigo é a da ligação da Física com os fatos: a construção das teorias em termos de linguagem, de conceitos, de matemática, interpretando a natureza mesma do seu objeto inclusive sua existência concreta através dos experimentos. Dá uma visão rica do entrelaçamento entre teoria e experiência, do significado de haver uma postura filosófica no trabalho da construção da teoria.

"As mudanças profundas que acompanharam essas crises obrigaram os físicos a refletir de forma mais precisa sobre o modo como trabalham, e sobre a filosofia de sua ciência; a refletir de que maneira a estrutura das teorias em física evolui em contato com os fatos, de que maneira levam em conta as respostas dadas pela natureza às questões que nossas teorias lhe propõem.

Devem -se salientar dois aspectos que caracterizam as mudanças nesse período: 1ª - o enriquecimento das práticas experimentais através de técnicas precisas e poderosas que levou à exploração de domínios novos, tanto para o lado do infinitamente pequeno como do lado do infinitamente grande. A grande revelação dos últimos 30 anos foi a tomada de posse do domínio do átomo que nos conduz, agora, ao domínio do núcleo; 2ª - para traduzir esses enriquecimentos de fatos, foi preciso buscar paralelamente um enriquecimento de linguagem, a fim de permitir classifi-

car, representar e exprimir esses fatos novos no quadro de nossas teorias convenientemente transformadas e renovadas. As dificuldades que sentimos atualmente para constituir essa linguagem, nos obriga a examinar mais de perto a estrutura dessa linguagem e as regras às quais obedece. É necessário refazer mais de perto, essa gramática da ciência, a epistemologia, refletir, melhor do que já fazemos há algum tempo, sobre a maneira como nos expressamos".

As teorias são definidas como relações entre noções abstratas, estabelecidas como postulados, expressos matematicamente. O confronto com a experiência vai tornar necessárias modificações na teoria que assim se aperfeiçoa e se torna mais adequada "as nossas percepções ou se quisermos, à realidade do mundo exterior. Essas percepções nos revelam a realidade do mundo exterior por meio de uma confrontação incessante entre a teoria e os fatos, por uma reação dos resultados sobre a teoria, por meio de questões apresentadas à natureza pela teoria e de modificações da teoria que se tornam necessárias diante das respostas que a natureza dá a essas questões; esse é o modo pelo qual desenvolvemos e enriquecemos nosso conhecimento dos fatos e a linguagem de que nos servimos para exprimi-los".

2 - atividade crítica e atividade construtiva sobre as noções abstratas

Esse confronto constante entre teoria e experiência que "representa a ação e a reação incessantes da teoria sobre a experiência e da experiência sobre a teoria", obriga ao reexame constante dessas noções abstratas e das relações entre elas para que

sejam criadas novas noções. Do ponto de vista do trabalho teórico dos físicos, desenvolve-se uma dupla atividade : a atividade crítica e a atividade construtiva. A atividade crítica, é aquela na qual o físico se inteira exatamente do conteúdo das noções, ou das afirmações, ou das relações que estabelecemos entre essas noções e a realidade. A atividade construtiva consiste em modificar ou renovar o conjunto das noções, em construir uma teoria melhor. A primeira corresponderia à atitude positivista, segundo Langevin, uma atitude estática, e a segunda, à atitude realista, que daria condições à criação de noções novas.

### 3 - análise da atitude positivista : positivismo primitivo e o néo-positivismo

A concepção positivista exige um conteúdo "positivo" da ciência e da linguagem usada. Só reconhece como científicos os conhecimentos provindos de fatos verificados por experiências dos sentidos. Considera sem valor as idéias, as questões colocadas, as discussões, a não ser que sejam expressas em linguagem de experiências dos sentidos ou de observações que possam ser realizadas na prática. Então é necessário analisar duas coisas :

1 - análise das noções em sua correspondência com os fatos : o significado mesmo das noções envolvidas, sua correspondência entre a linguagem usada para descrevê-las e a experiência, ou a realidade;

2 - Análise da própria estrutura da linguagem, as condições nas quais as associações das palavras ou das noções não são contraditórias e não levam a contradições quando usadas para descrever a correspondência entre a experiência e as noções.

No positivismo primitivo se insistia principalmente sobre as relações entre as noções, a linguagem e os fatos. Procura-se eliminar da ciência as noções a priori que não tinham possibilidade de observação pelos sentidos. Por outro lado, os matemáticos (sobretudo os lógicos) eliminaram as contradições, desenvolvendo uma análise precisa das relações lógicas entre os termos de uma afirmação de uma questão. Assim, o verdadeira sentido de uma afirmação poderia ser expressa por uma espécie de cálculo lógico.

"Essa combinação da atitude positivista ligando as relações com os fatos e a atitude logística tratando da coerência interna da linguagem, representa a escola néo-positivista. Em Viena principalmente, temos representantes como: Carnap, Frank, Schillick e outros, que procuraram deixar tudo muito claro, pela análise da linguagem. Procuraram eliminar tudo que pudesse parecer metafísica ou desprovido de sentido do ponto de vista positivista".

Os néo-positivistas definiam as afirmações como :

1 - as que têm um conteúdo real das experiências vindas dos sentidos (positivas);

2 - as afirmações que, mesmo que não introduzam nada de novo em relação ao contato da realidade dos fatos, transformam, como a matemática, relações em outras relações - essas afirmações são chamadas de tautológicas (nas matemáticas segundo B. Russell "não se sabe se o que se diz é verdadeiro, nem quais são os obje-

tos dos quais se fala").

3 - as afirmações contraditórias, que não têm sentido do ponto de vista tautológico e também não são susceptíveis a serem expressas quando confrontadas com a experiência dos sentidos.

Então, vemos que a atitude crítica do positivismo, de A. Comte seu fundador, como dos neo-positivistas de Viena, prestou grandes serviços, denunciando pseudos-problemas e nos momentos de crise, em que havia contradições provindas de variadas concepções dos fatos, suas análises foram importantes na preparação das sínteses.

#### 4 - Einstein crítica a noção de tempo e a noção de lei

Como exemplos da importância dessa crítica, são dados: o caso de Einstein preparando a síntese da relatividade restrita pela crítica da noção do tempo e também a síntese da relatividade geral pela crítica da noção de lei física.

A crítica da noção do tempo, perguntando o que se quer dizer quando se fala da concordância do tempo, da simultaneidade do tempo em dois lugares diferentes, levou à exigência de um conteúdo real, a uma confrontação dessa noção com a realidade, à introdução da noção do tempo relativo com a destruição do ídolo do tempo absoluto.

Ainda seguindo a crítica da noção de tempo, como não se pode lhe atribuir um sentido absoluto, independente do sistema de referência empregado pelo observador, chegamos à idéia de que uma análise só tem sentido se for feita no espaço e no tempo. Assim, "Einstein observou que as leis físicas são constituídas de encadeamentos de coincidências absolutas e que então se a linguagem

habitual da causalidade pode exprimir esses encadeamentos (causais) eles têm, na realidade, um significado independente do sistema de referência (espaço-tempo). Deve então ser possível procurar enunciar as leis físicas de modo totalmente independente do sistema de referência". Que é o princípio da relatividade generalizada.

#### 5 - o fisicalismo

Esses sucessos levaram os filósofos e os teóricos do conhecimento, que preconizavam a atitude crítica, a dar muita relevância à Física, como se prestando particularmente bem ao desenvolvimento da estrutura lógica das afirmações e à expressão de sua correspondência com os fatos. Chegou até a ser desenvolvida uma doutrina, o fisicalismo, e a escola de Viena toma a Física como protótipo e exemplo de todas as ciências.

#### 6 - atitude crítica - estreita, ahistórica, estática

As afirmações do positivismo dos anos 40, categóricas com referência à verificação pela experiência imediata, limita ao presente dessa experiência, o que lhe confere um caráter estreito e ahistórico.

Ahistórico no sentido de que não vê a possibilidade de extrair a experiência de fatos do passado, quando define a experiência imediata do presente. De forma análoga, quando vai se referir ao futuro, é obrigado a dar papel especial à indução. Isto é, à generalização a partir de verificações particulares. (Esse aspecto conduz a dificuldades e é um dos aspectos melhorados por Popper).

Uma prova de que o positivismo, na sua forma mais precisa e mais estreita, se fecha ao futuro e é uma doutrina estática está na afirmação de seu fundador, Augusto Comte, que não hesitou em traçar limites às possibilidades experimentais e declarou que nunca poderíamos saber o que se passa nas estrelas. Logo depois entretanto, foi descoberta a espectroscopia e se falou na temperatura das estrelas, no estado de desgregação dos átomos e se fez química nuclear das estrelas.

#### 7 - contraposição ao realismo

"Atribuindo um papel essencial à tradução das afirmações das leis científicas pela linguagem das experiências, à linguagem das sensações, o positivismo toma atitude oposta ao realismo".

Agora entra-se numa parte difícil, que é discernir em que uma doutrina que dá tanta ênfase na experiência, nos sentidos, pode estar afastada da realidade. No que constitui uma atitude realista, no dizer de Langevin, construtiva.

Parece que ao aceitar somente as afirmações possíveis de verificação pelos sentidos, define-se uma realidade "objetiva" que de alguma forma tenta separar aquele que faz a teoria, do mundo sobre o qual está falando, e define a impossibilidade de que a própria ação sobre o mundo possa estar definindo uma realidade diferente do que sem essa ação. Assim há um desincentivo implícito à ação sobre o mundo? Em que sentido?

Como a atitude positivista e a não-positivista faz com que fiquemos pensando e sentindo de forma estática? Sem incentivo à ação porque não há realidade exterior sobre a qual agir?

O que seria então a experiência dos sentidos em relação

à realidade? Uma parte limitada? Contida nas noções ou nas relações que são elas também limitadas àquelas traduzíveis em linguagem tal que levem a experiências verificáveis, no presente?

Langevin diz :

"Essa atitude é essencialmente crítica, analítica e estática; ela é mais apropriada para fazer um balanço dos conhecimentos adquiridos, para formular claramente a estrutura e o conteúdo desses conhecimentos, do que para mostrar a caminho para os entender e renovar. É mais apropriada a apontar as dificuldades que resolvê-las. Essa atitude permite a eliminação de noções e teorias, a denúncia de problemas destituídos de sentido, mas não permite formular os roteiros para a construção de noções e teorias novas.

Essa atitude crítica é então preciosa para preparar o caminho à atitude construtiva, mas é insuficiente por si mesma".

Tanto físicos como matemáticos sentem que não é verdade que seu trabalho não passa de tautologia, de estabelecer e renovar relações entre noções. Por exemplo "a noção de número, passada pelos estádios do contínuo e do descontínuo, a teoria dos conjuntos, representa alguma coisa que comporta uma verdadeira construção, expressável em linguagem da lógica e da matemática, onde a contribuição do matemático parece desempenhar um papel considerável" (Ver N. da Costa). O positivista ou o lógico poderá dissecar bem o conteúdo de uma doutrina, mas não tem na sua concepção mesma das matemáticas, o meio de desenvolver, de construir, de fazer as sínteses verdadeiras".

"Tanto na matemática como na física, parece necessário então, ultrapassar essa atitude e passar para a atitude construti

va".

8 - exemplos recentes da física da atitude construtiva (realista)

Começando por uma noção fundamental que vai ser posta em cheque na mecânica quântica.

1 - a noção de objeto

"É evidente que a noção de objeto é algo muito complexo. Não nos damos conta de tudo que há por trás da idéia de objeto porque o uso tornou essa noção completamente concreta para nós. Passamos a usar a noção de forma subconsciente, mas na noção de um objeto se realizou uma síntese de todos os aspectos diferentes, síntese de sensações visuais de acordo com diferentes perspectivas que possamos ter do objeto, táteis e individuais para cada um de nós".

"É útil fazer voltar à tona o significado da noção, examinar-lhes o conteúdo que se apresenta agora para nós, e que chegou até nós por herança, como resultado de uma experiência secular". E nesse exame poder examinar o desenvolvimento da noção na sua história. As crianças não têm dificuldades de conhecer os objetos que lhe são apresentados pois desde muito cedo são preparadas a usar essas noções complexas".

2 - o espaço e o tempo : a relatividade restrita passou do espaço absoluto e tempo absoluto à construção do invariante espaço-tempo, alguma coisa independente do observador. A relatividade restrita apresenta um novo absoluto, uma síntese, na qual, entretanto, o espaço e o tempo apresentam perspectivas diferentes para cada observador. Outro fator que torna a síntese possível é o desenvolvimento da linguagem tensorial que permitiu obter repre-

sentações dessa lei (e de outras), de forma independente do sistema de referência.

3 - outras "invariantes" - a "dinâmica evolutiva" da Física, definindo a atitude realista do "abstrato" ao "concreto".

Langevin parece pensar que a constatação da existência de invariantes - a carga do elétron, a velocidade da luz, a constante de Planck, a entropia, "se libertam das dificuldades de adquirirem sentido e vão aí se incorporar de maneira muito clara a uma forma de exteriorização das noções", isto é, sugerindo a existência de uma realidade exterior, apesar de que cada observador considera suas próprias sensações do objeto.

"Cada um de nós pode considerar como subjetivas as sensações que o objeto nos dá; somente o observador exterioriza, e um conjunto de invariâncias desse gênero sugere necessariamente uma realidade exterior sobre a qual projetamos as invariantes que destacamos".

Há, no pensamento de Langevin uma ligação imediata com a descoberta, ou melhor, a sintetização das noções de invariantes e o processo que chama de "dinâmica evolutiva e viva da física". Langevin salienta a necessidade da compreensão dessa dinâmica - que passa das sínteses (invariantes) como noções abstratas ao concreto (do real) pelo uso - para a compreensão da "evolução" da mecânica quântica e explica esse pensamento dentro de uma visão realista. "De fato, começa-se pela abstração, e a noção, no início abstrata, passa do abstrato ao concreto, pelo uso. Por exemplo, no que diz respeito à noção de objeto, pela multiplicidade de sensações que essa noção encerra passou do abstrato ao concreto. Em linguagem realista, o objeto não é mais a abstração primi-

tiva, mas algo de concreto".

4 - do abstrato ao concreto, no caso do tempo. O tempo absoluto, definido por Newton, para Langevin, é uma noção que só adquire um sentido preciso nas equações da mecânica racional. Aí é que adquire o caráter de invariante, bem definido na Física e na Matemática.

Por outro lado, a noção de tempo relativo pode-se dizer e "diz-se mesmo, com frequência, já estava contida nas equações de Lorentz do eletromagnetismo, na forma mesmo do formalismo relativo, e o que se fez foi concretizá-lo". Ao compreender a invariância da velocidade da luz, ao analisar a noção do tempo é "precisamente o tempo do eletromagnetismo que é necessário introduzir". "É claro que o tempo da relatividade restrita é definido de forma abstrata. A noção se concretiza quando Einstein a introduz de forma um pouco diferente e quando os físicos no seu trabalho se habituam a manipular as fórmulas".

Assim, chegamos a ponto de não mais considerar abstratos e difíceis quase todos os invariantes citados.

5 - a entropia. A entropia, é também exemplo de noção que temos alguma dificuldade em assimilar. Ela se torna mais fácil à medida que a tornamos concreta, graças à teoria cinética. A facilidade com que falamos dela não existia no começo. Agora nos servimos da entropia à vontade: o engenheiro que faz a máquina a vapor usa a entropia; ela passou do abstrato ao concreto.

6 - potencial. Assim também a noção de potencial, que na juventude de Langevin (começo do século) se considerava como distante da realidade concreta. "Lembro-me que na minha juventude, meu professor Mascart foi o primeiro a introduzir essa noção no

seu curso no Collège de France e foi por isso considerado um visionário. Hoje todo o mundo sabe o que é, em Física, a noção de potencial, o que se pode produzir quando se estabelece entre dois pontos uma conexão qualquer. Também essa noção passou do abstrato ao concreto".

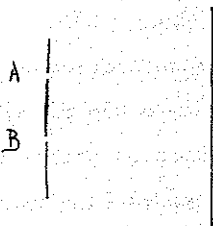
7 - o elétron e as partículas. Outro exemplo é o elétron de energia positiva, no formalismo de Dirac. A princípio desconcertados, os físicos começam a falar dele sem muitos escrúpulos. "Os formalismo de nossas teorias sabem mais da Física que nós" diz Langevin, "e podemos confiar neles". O elétron é para nós agora uma noção que passou do abstrato ao concreto. Assim também as partículas que tem cada uma delas uma definição abstrata, com o uso se tornarão familiares e concretas.

8 - a mecânica quântica - a relação de incerteza e a evolução da noção de determinismo - exemplo detalhado de um pensamento realista.

Primeiramente Langevin faz considerações sobre a mudança de relacionamento com o observador na noção de determinismo. "essa noção, tomada na sua forma clássica, a partir da Mecânica, se mostra absoluta e inacessível à experiência humana, pois requer informação tão generalizada que ultrapassa as possibilidades humanas. É então inhumana não somente porque fixa um ideal impossível de ser atingido, mas porque exclui o observador do sistema a ser observado, porque separa o espírito da matéria na qual procura penetrar. Essa atitude corresponde a uma posição contemplativa e fatalista do físico, tantas vezes lamentada, pois seguindo essa concepção somos postos para fora da natureza e para fora da vida".



"Ao contrário, a nova física nos traz de volta ao humano. A concepção quântica e estatística do determinismo persegue a realidade de mais perto, substituindo o ideal inacessível por uma verdade de bom senso. Na mecânica quântica, a função de onda é que descreve um sistema e que nos permite calcular a probabilidade que depende ao mesmo tempo do sistema e da nossa informação sobre ele; essa função faz intervir ao mesmo tempo o observador e o observado, o sujeito e o objeto, e a cada vez que se obtém uma informação nova, a função de onda aparece mudada. Há tantas funções de onda quantos observadores". Tomando o exemplo de Bohr que faz a luz passar pelas fendas A e B, dizemos que temos na tela imagens diferentes seja A, B ou ambas que deixam passar a luz. As funções de onda serão diferentes se a luz passar por A ou se passar por B e se os dois estiverem abertos teremos ainda uma outra função de onda, que corresponde às franjas de interferência.



Já nessa forma, em termos de função de onda, "a mecânica quântica uniu estreitamente o sujeito e o objeto, o observador e o observado, e para informações diferentes temos funções de onda diferentes". "Vemos bem que essa concepção de determinismo que faz com que as nossas previsões dependam de nossas informações não restringe as possibilidades da ciência e não lhe impõe outro limite a não ser o de se conformar à natureza das coisas, isto é, construir uma concepção mais adequada da realidade".

9 - tendo resposta ambígua é necessário criticar a pergunta.

"Mas, tendo em conta as respostas mais e mais precisas às questões que nós propomos e às quais a natureza deve poder responder, se essas respostas são ambíguas, não devemos necessariamente acusar a natureza de duplicidade ou de indeterminação.

Devemos antes de tudo considerar se as nossas questões são tão mal propostas, ou imprecisas, e considerar que é necessário modificá-las ou fazer novas perguntas".

Essa atitude expressa, segundo Langevin, uma doutrina de ação "que nos ensina que primeiro lugar devemos agir sobre nós mesmos e transformar nossa representação da natureza para poder agir sobre ela e transformar o mundo. Essa é então, uma atitude ativa e realista".

10 - ainda o princípio da incerteza e o significado da indeterminação.

Esta análise deixa claro um modo de pensar construtivo, criador :

"Penso que se não temos respostas, devemos concluir daí, não que haja dentro das leis da natureza algum princípio de incerteza, mas simplesmente, que não há nada no domínio do átomo, infinitamente pequeno que é, que corresponda à noção do objeto individualizável que a mecânica clássica introduziu. Se quisermos conceber o elétron dessa maneira, somos levados a contradições". (Entretanto pensamos o elétron em termos de partículas, com trajetória bem definida nas trajetórias dos aceleradores, por exemplo?).

"Não há saída senão dizer que a noção de corpúsculo não pode ser concebida com a mesma imagem do projétil, mas que ele de

ve ser construído por intermédio do formalismo de Dirac".

"Queria insistir sobre o ponto de que não estamos limitando o determinismo quando o fazemos mais explícito e mais adequado às condições em que os físicos trabalham, isto é, com a limitação de sua informação. Essa limitação não permite dizer que a conclusão é a incerteza".

Langevin considera a mecânica quântica, não como uma quebra do determinismo, mas como uma modificação na noção do determinismo que vem do mecanicismo, tornando-a "mais humana, mais concreta e mais precisa".

As noções da mecânica mudam de significância dentro da nova mecânica: "devemos renunciar à noção de força, ela não é utilizada senão verbalmente, é substituída pela noção de potencial e por outras noções semelhantes. Também a noção de massa se transformou e é identificada com a noção de energia. E enfim, quando se entra no domínio do átomo, do núcleo, o mecanicismo perde o que lhe restava, isto é, o ponto material, esperando que o façamos sofrer as modificações necessárias no espaço-tempo, na estrutura microscópica".

11 - o princípio da incerteza e o significado de  $h$ .

Langevin vê o princípio da incerteza como uma expressão preciosa e mesmo surpreendente, em que o conhecimento preciso de certas observáveis impede o conhecimento preciso de certas outras que não comutam entre si. Acha entretanto que parece superficial e impreciso tomar a forma de uma indeterminação para ser uma lei.

"É uma indeterminação que atinge casos muito variados e é medida pela constante  $h$  de Planck. Isso deixa supor que ain-

da não descobrimos o significado profundo da constante  $h$  na fórmula":

$$\sigma_{px} \cdot \sigma_x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Acontece ainda que essa constante  $h$  intervém nos mais variados domínios da física entre os quais estabelece uma ligação profunda. Aparece nas estatísticas, no caso da radiação do corpo negro, na difração dos elétrons, em suma, em todos os fenômenos de ordem microscópica e macroscópica. Há nesses fenômenos outras possibilidades de indeterminação do elemento  $h$  o que mostra a sua importância.

12 - analogia com o número de Avogadro.

Lembrando J. Perrin, Langevin faz uma analogia entre a constante de Planck e o número de Avogadro. "A constante  $N$  aparece em uma quantidade de fenômenos diferentes, fenômenos de flutuação, de concentração, etc. Se não tivéssemos desenvolvido a teoria atômica não teríamos podido constatar a presença do elemento comum, e que esse elemento intervinha em fenômenos ligados à existência do elemento atômico".

"A mesma coisa aconteceu com a constante de Planck. Podemos dizer que o átomo é uma realidade, dando assim um caráter concreto a ele, e deve acontecer com  $h$  algo semelhante que aconteceu com  $N$ , através de transformações do espaço e do tempo, da estrutura microscópica ou pela elucidação dessa noção misteriosa que é o tempo".

13 - a evolução da razão - ponto filosófico.

O final da apresentação de Langevin é uma explicação da sua atitude filosófica em geral: "assistimos a um momento particularmente importante do desenvolvimento dessa coisa viva que é

nossa razão : ela não é dada a priori, não tem molduras rígidas, como antigamente se acreditava poder lhe impor. Nascida de uma interação com o mundo, essa razão é algo que evolue, que se insinua mais e mais perto da realidade".

"Não temos que impor uma lógica à Mecânica Quântica, mas devemos procurar ver qual é essa lógica. Para uma evolução, uma lógica probabilística se imporá a nós através do nosso contato contínuo com a realidade".

"Essa é a lição que podemos tirar desse magnífico período da Física".

#### DEBATES

A seguir transcrevo duas intervenções de N. Bohr pelo interesse por serem sobre pontos fundamentais para o entendimento da mecânica quântica. Deixo de transcrever a longa intervenção do Presidente do Congresso, que explica o que é o positivismo.

Bohr : manifesta grande admiração pelo relato de Langevin e acrescenta : "Quero, para evitar todo mal entendido sobre o significado da palavra "indeterminismo", lembrar que nos efeitos quânticos, nós não tratamos com um comportamento independente dos objetos, mas que os fenômenos observáveis dependem essencialmente da interação desses objetos com os instrumentos de medida que fixam as condições da experiência. Por essa razão, nos encontramos atualmente numa situação completamente nova na física, na qual as concepções tradicionais de determinismo ou indeterminismo não são aplicáveis univocamente. É realmente maravilhoso que apesar dessa situação possamos, com auxílio de abstrações matemáticas, pôr tan-

ta ordem em um domínio tão vasto e tão rico de experiências, uma maneira inteiramente racional, excluindo todo misticismo".

- Langevin e a revisão das noções das estatísticas.

Langevin, depois de expressar sua satisfação pelo acordo manifestado por Bohr, ainda enfatiza a questão da necessidade de se modificar a linguagem à medida que as características das noções o exigem. Acredita que, por exemplo, no emprego da palavra "corpúsculo", carregada de velhas heranças, há uma fonte de confusão e de dificuldade. Interpreta o fato de que a noção de corpúsculo parece adquirir um caráter completamente abstrato com as equações do tipo de Dirac ou outras, porque não mais corresponde à essa noção a imagem do objeto individualizado extrapolado da mecânica clássica. A questão é que esses corpúsculos, (podendo ser inicialmente individualizados e em seguida terem suas funções de onda simetrizadas ou anti-simetrizadas) obedecem à estatísticas de Bose-Einstein ou a de Fermi-Dirac, que receberam a sanção da experiência e são ambas estatísticas sem a individualidade. "Se pudessemos traduzir melhor essas estatísticas em linguagem mais adequada, chegaríamos a alguma coisa mais clara no domínio atômico, menos sujeita a confusão".

- Bohr, a complementaridade, a matéria e a luz na física clássica e na quântica.

A intervenção curta feita a seguir por Bohr mostra a sua visão das noções de mecânica quântica em termos de complementaridade, da correspondência que as noções têm na mecânica clássica.

Bohr chama a atenção para o perigo que haveria em confundir o problema da individualidade do fóton que é puramente quântica, com as propriedades corpusculares do elétron que podem ser

postas em termos de uma descrição inteiramente clássica. Na mecânica quântica a dualidade entre as concepções ondulatória e corpuscular existe tanto para a matéria como para a luz. Entretanto isso não passa de mais um aspecto do formalismo simbólico uma vez que todas as propriedades específicas que são necessárias para definir o conteúdo e a interpretação desse formalismo devem estar contidas nas concepções clássicas". Declara que "a massa e a carga do elétron não podem ser definidas a não ser classicamente, e a descrição da radiação não pode passar da concepção eletromagnética. Os conceitos de fóton e de onda material são, ao contrário, meios puramente abstratos de se levar em conta o caráter geral de complementaridade existente, em virtude da individualidade do quantum de ação, entre a representação espaço temporal e o princípio de conservação do impulso e da energia. Desse ponto de vista pode-se de fato dizer que a diferença entre a matéria e a luz é tão fundamental na teoria quântica quanto na teoria clássica".