

Curso: Evolução dos Conceitos da Física (1983)

Professor: Mario Schenberg

①

## Aula 1 (Primeira Parte)

### I - Introdução Geral

Parece-me que foi Empédocles, um filósofo grego extremamente interessante e importante, quem formulou certas ideias valiosíssimas. Estas ideias pareciam muitas vezes até ridículas. Por exemplo, Empédocles admitia a existência de quatro elementos (terra, água, ar e fogo). Entre esses elementos havia 2 formas de interação por ele denominadas amor e ódio. Foi meu amigo prof. Plínio Rocha, um físico e filósofo do Rio de Janeiro, quem me chamou a atenção ao fato de que a filosofia grega era muito diferente do que as pessoas pensavam. Na realidade, essa ideia da existência de interações de amor e ódio, foi de origem hermética egípcia. Tornou-se muito importante na história da ciência porque exerceu uma grande influência sobre Newton.

Newton, partindo desse modelo, interpretou o amor como força de atração e o ódio como força de repulsão. Evidentemente, hoje, nós não usávamos esses nomes de força de amor e de força de ódio, mas, realmente, não foi uma interpretação absurda, e teve uma importância enorme na obra de Newton. Uma coisa mesmo surpreendente é que Newton tenha se baseado

nessas idéias muito antigas, tomando conhecimento delas através da filosofia hermética. ②

Esta concepção do amor e do ódio levaram Newton a pensar em forças de atração e repulsão. A força de atração não seria necessariamente a gravitação; poderia haver outras forças atrativas. Interessante mesmo é notar que Newton percebeu que não se poderia fazer uma teoria dos gases admitindo somente forças de atração entre os átomos dos gases; deveria haver também forças de repulsão. Hoje em dia isto é uma coisa bem conhecida da teoria molecular. Existem forças de atração e forças de repulsão que são de natureza elétrica. As forças de repulsão correspondem a existência de um *hard-core* em que as partículas são repelidas.

Newton inspirou-se na *Tábua da Esmeralda*, um texto muito antigo da filosofia hermética, atribuído a uma figura legendária, Hermes Trimegista. Esta idéia de Newton só foi precisada no século XX com a teoria molecular como o potencial de Lennard-Jones.

Outra idéia que teve uma importância fundamental foi o modelo copernicano. Este modelo já havia sido exposto por Aristarco de Samos, um famoso filósofo grego, ligado à escola pitagórica. Os filósofos pitagóricos achavam que o Sol devia estar no centro, porque o Sol era o astro mais importante, devendo por isso estar no centro do mundo e não podendo estar numa posição periférica

quando em torno da Terra. A Terra e os <sup>(3)</sup> outros planetas, é que deveriam estar quando em torno do Sol. A idéia apresentada por Aristarco de Samos era conhecida por Copérnico. Assim, muitas das idéias que viriam depois ter uma importância muito grande para a ciência moderna já haviam sido formuladas em tempos antigos.

Quero referir-me especialmente a uma idéia de maior importância: a teoria atômica de Leucipo e Demócrito. Esta teoria teria depois uma importância fundamental para o desenvolvimento da física do século XVII.

No pensamento grego antigo não havia separação entre filosofia e ciência, ~~e encontramos~~ havendo apenas o conceito de filosofia e encontramos nela a origem de muitas idéias importantes.

A idéia de Demócrito sobre os átomos não foi em geral muito aceita entre os gregos. Os filósofos gregos, em geral, tinham muita repugnância à idéia do vazio (o modelo de Leucipo e Demócrito admitia átomos movendo-se no vazio). Para os gregos o vazio não existia, pois o vazio seria o nada, e como é que o nada podia influir sobre os processos físicos? Este nada teve um futuro muito brilhante

pois hoje em dia nós sabemos pela teoria quântica dos campos que exatamente o vazio é a coisa mais importante, o vazio é o estado fundamental do campo. (4)

De onde estes homens tiraram estas idéias? Nós não podemos saber ao certo. No caso do modelo de Leucipo e Demócrito foi uma idéia extremamente contrária ao sentimento grego que não era favorável ao vazio. Pode ser talvez uma idéia de origem indiana.

A idéia do vazio faz pensar mais na Índia do que Grécia. O vazio teve sempre um papel fundamental na Índia. Para o pensamento hindu o vazio correspondia a deus; deus é que era aquele vazio onde as coisas se moviam. E esta idéia teve também muita influência sobre o pensamento de Newton.

Newton era um homem que sabia aproveitar as idéias qual quer que fosse a sua origem.

Outra coisa estranha foi o conceito de astrologia. A idéia básica das concepções astrológicas era de que os astros tinham uma influência sobre tudo o que acontecia na Terra, através de uma emissão sui-generis. Estas idéias tiveram uma importância muito grande. As concepções de Kepler e de Newton eram de origem astrológica.

A idéia de emanações invisíveis

orundas do Sol foi um elemento básico na criação da teoria da gravitação. Foi talvez a primeira forma da idéia de um campo gravitacional ou eventualmente outros campos, mas pelo menos do campo gravitacional. Estas idéias, sem dúvida, influam sobre Newton também. Esta idéia da ação do Sol foi também apresentada por Kepler mas foi muito mal recebida por Galileo pois a considerava como relacionada com a Astrologia. ⑤

Assim, se formos procurar a origem de muitas idéias fundamentais da física, nós veremos que esta origem relaciona-se frequentemente com práticas que a ciência ocidental tende a considerar como supersticiosas; mas um fato curioso é que a gente não sabe exatamente de onde vem as idéias fundamentais, mesmo as que já estão parametradas na física. Popper acha que a própria teoria de Newton era de tendência astrológica, não que implicasse a previsão das vidas das pessoas, mas que havia algo que emanava do Sol que era justamente a força de gravitação.

Hoje em dia as idéias da gravitação, sobretudo após a relatividade geral, mudaram muito, de modo que talvez o papel mais importante do campo gravitacional seja exatamente os modelos cosmológicos. E estas idéias descobertas ao longo de séculos, inclusive em nosso século, tiveram origens em astrologias, cosmologias ou religiões.

O caso da Índia é mais notável pois eles tinham uma idéia de uma expansão e contração do universo. Segundo a cosmologia hindu havia o que eles chamavam o dia e a noite de Brahma. No dia de Brahma era criado o universo e depois, num determinado instante, o universo era destruído pelo deus Shiva e começava a noite de Brahma. O mais interessante é que eles deram uma cifra para a duração de cada universo e esta cifra seria de 4 bilhões de anos, o que não é muito diferente da cifra que se dava até uns 15 ou 20 anos atrás (dá ordem de 15 bilhões). Hoje se dá uma cifra maior que essa, mas da mesma ordem de grandeza. Interessante notar também que nas chamadas teorias do Big-bang haveria várias possibilidades: um universo em expansão contínua e um universo oscilante.

A origem das idéias científicas fundamentais é bastante misteriosa, nós não sabemos de onde elas vem; nós dizemos que os grandes gênios têm intuições. Aliás, a idéia do universo em expansão não foi uma intuição de Einstein, ela foi dada pela primeira vez por um físico russo, que era um meteorologista, Friedmann, que mostrou inclusive que houve um erro nos cálculos de Einstein, pelo qual Einstein perdeu

vários resultados; Einstein dividiu ambos os membros de uma equação por um fator, mas este fator não era sempre diferente de zero e com isto ele perdeu justamente estas soluções de expansão, contração. Friedman mostrou que podia existir tais soluções e propôs também o famoso modelo do Big-Bang.

A origem das grandes induções científicas continua tão misteriosa quanto foi no tempo dos gregos. Mas o que é estranho, que por volta dos anos 60 é que por ocasião de uma viagem que eu fiz a Moscou, na universidade, eu estive com o professor Ivanenko e ele me contou que estava de volta de um congresso em filosofia da ciência e que neste congresso, ele, e, simultaneamente, Heisenberg, chamaram atenção a certas coisas que se encontram no diálogo de Platão,

*Timeo*. Os mais conhecidos diálogos de Platão são os diálogos socráticos. Mas o *Timeo* pertence a uma outra série de diálogos que são relacionados com a filosofia de Pitágoras. Heisenberg ficou surpreso com 2 coisas: 1) este diálogo considera a possibilidade de transformação dos 4 elementos mencionados anteriormente. Platão admira que um elemento podia transformar-se em outro. Estes elementos foram ligados, não sei se por Platão ou pela escola pitagórica, aos poliedros regulares e convexos. A existência de 5 poliedros regulares e convexos foi descoberta por Theeteto, apesar de que alguns eram conhecidos antes, o tetraedro regular, o cubo; mas foi Theeteto que mostrou que havia 5 poliedros regulares. Um destes poliedros parecia estar assim numa posição especial ou singular, o dodecaedro. O do de caecho tem faces pentagonais, enquanto

os outros 3 tem faces triangulares e o cubo faces qua-  
dradas. Então Platão admitiu que um poliedro de faces 8  
triangulares podia ter estes triângulos separados e depois  
juntados novamente em outra forma diferente, dando então  
a transmutação dos elementos. Se um icosaedro fosse  
decomposto, poderia ~~se~~ formar um octaedro, havendo a  
possibilidade da transformação destes 4 elementos um  
num outro. Até aí a coisa não seria tão espantosa,  
mas Heisenberg e Franencko apontaram que havia  
já neste diálogo de Platão uma sugestão de um prin-  
cípio de incerteza. O interessante também é que  
os dois, Heisenberg e Franencko, fizeram,  
independentemente e simultaneamente, esta mesma  
observação. Agora, de onde surgiu esta ideia? Evi-  
dentemente não foi da mecânica dos quanta pois esta  
não era conhecida na aquele tempo. Foi alguma  
intuição que Platão teve de que deveria haver  
alguma limitação na possibilidade do conheci-  
mento simultâneo de alguns aspectos diferentes da reali-  
dade física. Novamente, temos um caso extremamente  
interessante que mostra que nós não sabemos de  
onde vem a ciência, digamos, a ciência fundamental.

A ideia da teoria cinética dos gases, e evidente-  
mente vem de Demócrito. Os átomos movendo-se no  
vácuo é exatamente o modelo do gas, de Maxwell e de  
Boltzman, a menos dos conceitos probabilísticos.

Vemos que na ciência se tem que distinguir  
2 coisas. Uma coisa é a origem de algumas ideias  
importantes que não se sabe ao certo de onde provêm.



Algunas idéias mais fundamentais tem origem desconhecida dos próprios autores; eles também não sabem de onde elas vêm. Um belo dia aparece na cabeça do autor aquela idéia, mas de onde ela vem ele não pode explicar. Outras tem a origem conhecida: elas provêm, obviamente, da experiência. No caso deste diálogo de Platão, parece que há muitas outras idéias interessantes. Uma delas é a introdução do conceito de Chora. Para Platão, Chora era o aspecto mensurável do universo, exatamente o campo de atividade da força. Mas ele achava que o universo tinha outros aspectos que não eram mensuráveis.

Também em relação a Platão, hoje em dia, muitos dizem que nem tudo que ele escreveu era idéia dele; ele teria sido uma espécie de compilador. Platão teria compilado também muitas idéias que já existiam na quella época, adicionando, naturalmente, muitas idéias dele. Em particular, parece que ele utilizou muitas idéias da escola pitagórica e essas idéias podem em verdade nem serem devidos ao próprio Pitágoras, pois Pitágoras foi um homem que saiu menino da Grécia e voltou já com aproximadamente 56 anos. Ele ficou 22 anos no Egito, 12 na Babilônia e algum tempo no Leão. Possivelmente, nestas viagens, além de conhecer as idéias dos egípcios, babilônios e de outros, ele deve ter conhecido algumas idéias da Índia que podem ter chegado por lá.

Vemos que é muito curioso como os gregos (10) tinham uma grande repugnância por este conceito do vácuo. A filosofia de Demócrito, sua teoria atômica, não foi adotada pelos maiores filósofos gregos. O vácuo não podia existir, pois era muito difícil para um grego aceitar a existência do vazio. Assim, os gregos nunca puderam criar o número zero, pois o zero é o nada. A álgebra moderna mostrou que o zero é uma ideia fundamental: o zero é o elemento unidade do grupo aditivo constituído pelos números inteiros, e, com mais generalidade, pelos números reais e complexos. Assim, estes números que nós usamos, os números arábicos, com o zero, não foram inventados pelos gregos. Os árabes trouxeram o conceito de zero da Índia e depois transmitiram para a Europa. Parece que os indianos tinham uma ideia do mundo muito diferente dos gregos.

A ideia indiana dos números era mais moderna. Eles consideravam os números como símbolos operacionais além de serem coisas. Em particular eles já reconheceram a importância deste número zero que é justamente a unidade do grupo aditivo dos inteiros. Além de sua característica algébrica, a ideia do vazio era um elemento fundamental no deus hindu, pois no fundo o vazio era identificado com a divindade.

Tudo isto é uma coisa muito importante que

que mostra que as idéias fundamentais da física e da matemática não são coisas puramente racionais; elas são coisas que muitas vezes tem origem misteriosa. A idéia do zero por exemplo era uma coisa absolutamente natural para os indianos, sobretudo para o budismo que achava que o vazio era a coisa mais importante. A idéia do Nirvana ~~era~~ era uma espécie de idéia de zero, do vazio. O vazio era a matriz de todas as coisas, tudo surgia deste vacuo. E essa idéia ficou muito bem ilustrada pela teoria dos campos na quântica aonde é exatamente o vazio que passou a aparecer como uma coisa extremamente complicada e fundamental. Esta importância moderna do vazio é uma coisa relativamente recente, surgida por volta de 1930 quando começou a construção da teoria quântica dos campos e descobriu-se então ~~que~~ a importância fundamental do vazio, aonde ~~seem~~ ocorria muitos fenômenos importantes. Assim, por exemplo, no vazio existe um campo eletromagnético, o que pode parecer contraditório, pois se existe um campo eletromagnético, como é que é vazio? No vácuo do campo eletromagnético não há fons reais mas existem campos flutuando caoticamente. Estas flutuações caóticas do campo no vácuo são muito importantes pois elas que determinam a emissão espontânea da luz, instabilizando os estados excitados. Um átomo pode estar num estado excitado e descer para o estado fundamental, emitindo um foton, porque ele interage com estas flutuações do vácuo. Foi depois da segunda guerra mundial que estas idéias ficaram mais claras apesar de já existirem certas idéias sobre isto antes. Foi daí também que surgiram também outras consequências muito importantes dessas flutuações como o famoso efeito lambda (  $\lambda$  ). Foi introduzida também uma pequena correção em relação ao momento magnético do electron por causa da interação do electron com as flutuações do campo no vácuo.

Repetimos que a origem das idéias mais importantes da física e da matemática é desconhecida. Certamente estas idéias surgiram de considerações não físicas. Elas devem ter vindo de considerações filosóficas, religiosas, talvez como o zero da India que era o Nirvana. O zero não podia ser de origem grega pois os gregos não aceitavam a idéia do vazio. Provavelmente foi da India, ou talvez de algum continente desaparecido, de onde veio tal ~~uma~~ idéia. É bastante certo que houve um outro continente ali grudado à Asia, se não grudado ao menos muito pertinho; este continente, posteriormente foi submerso. Sobraram certas partes deste continente; algumas ilhas do Pacífico são restos deste continente. Quando isto aconteceu não se sabe ao certo, mas os indianos dão certas datas. Na cidade famosa de Madurai na India, uma cidade que tem um grande templo, dizem

que seu povo tinha um reino, o reino dos Pandêas. Segundo documentos deste reino, seu povo já existia à 14.000 anos, mas não tinha sido fundado na Índia e sim no lugar que agora se encontra submerso. Seus habitantes se refugiaram na Índia, estabelecendo o reino dos Pandêas. É muito curioso tal exemplo, pois não temos exatamente nenhuma noção das origens de muitas idéias científicas, não sabendo sua proviniência. Assim, por exemplo, não sabemos muito bem de onde surgiram essas idéias novas de Gödel no campo da lógica, que são das idéias mais revolucionárias na ciência do século XX. Segundo Gödel em qualquer teoria matemática que inclua a aritmética não se pode provar que ela não tem contradição. Pode um belo dia aparecer uma contradição muito grande dentro da análise matemática, da álgebra ou qualquer setor afim, pois basta conterem a aritmética para que não se possa demonstrar sua consistência ou coerência lógica. E isto sucede não por razões históricas, como no caso de alguns teoremas famosos que não sabemos ainda demonstrar em sua generalidade, como o teorema de Fermat e outros; mas no caso de Gödel não se pode demonstrar e esse é um resultado fundamental. Em outras palavras, hoje nós sabemos que há coisas não demonstradas e coisas indemonstráveis. Em particular, o formalismo matemático da física também não se pode provar que não seja contraditório. Aliás, no caso da física já estamos acostumados a situações de coexistência de teorias contraditórias como aconteceu no começo da teoria quântica com a coexistência da eletrodinâmica de Maxwell e a existência de ftons. Mas estas indemonstrabilidades introduzidas pelo Teorema de Gödel são essenciais, contradições que não poderiam ser eliminadas, pois elas seriam de origem matemática e lógica, do próprio aparelho matemático usado.

Voltando à questão da origem das idéias, há certos psicólogos que seguem Jung e que dizem que essas idéias são criadas por um inconsciente coletivo. Essas idéias surgem na nossa consciência mas teriam raízes num inconsciente coletivo. Se um psicólogo apresenta uma teoria dessas, nós podemos aceitar ou não, conforme a nossa simpatia, mas se examinarmos a história da ciência nós daremos conta de que realmente não sabemos dizer ao certo como essas idéias surgiram na nossa consciência. Mesmo a origem de certos conceitos que parecem triviais, como no caso dos números inteiros, não são claras, sobretudo o conceito do número zero. Mesmo para conceitos de conteúdo bem claro e definido podem existir grandes incertezas quanto a sua origem histórica. Em certo momento histórico, certos conceitos aparecem na consciência e ficam permanentemente integrados no cor-

po dos conhecimentos científicos. Talvez a psicologia possa contribuir para esclarecer melhor o problema da origem desses conhecimentos. Mas que inconscientemente podemos criar certas coisas, muitas delas de aspecto geométrico ou matemático, disto não há dúvida nenhuma. Esta é uma experiência que pode ser feita com uma criança, pois realizaram-se observações com elas, tratando de coisas que pareciam muito misteriosas, muito difíceis, e as crianças sabiam delas. Os estudos de Piaget e outros psicólogos mostram que conceitos bastante abstratos já são utilizados pelas crianças, podendo talvez serem interpretados como elementos de um inconsciente coletivo. Conceitos como de inconsciente coletivo não fazem parte da física mas podem ser úteis ou inevitáveis na análise da história da física. Jung defende a tese de que a física e a psicologia são aspectos diferentes da mesma realidade vistos sob ângulos diferentes. Só há bem pouco tempo começou-se a pensar essas coisas porque não havia ainda muita consciência de este tipo de problema. De uns anos para cá é que se tem pensado nessas coisas e isto, sem dúvida, foi estimulado pelo surgimento da física quântica. A teoria quântica foi certamente uma das maiores revoluções no pensamento científico abrindo sobretudo em combinação com a teoria da relatividade, perspectivas profundamente novas; sem dúvida, o estudo da história da ciência pode ser altamente educativo não só para pessoas de especialização científica como também aquelas de interesse exclusivamente filosófico.