

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

A
DESCOBERTA DE PLANCK
E OS
PROBLEMAS FILOSÓFICOS
DA
FÍSICA ATÔMICA

Alberto Ricardo Präss

Porto Alegre, Dezembro de 2010

Resumo

O presente trabalho foi elaborado tomando-se como base o texto do debate entre Werner Heisenberg, Max Born, Erwin Schrödinger e Pierre Auger , em Genebra, 1958, na Conferência Mundial de Energia Atômica: 100 anos do nascimento de Max Planck e no livro Física e Filosofia de Heisenberg.

O texto é uma compilação, acrescida de inúmeras asserções e interpretações de diversos autores.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Heisenberg dois grupos de problemas foram novamente colocados em pauta pela descoberta de Planck (1900)

* essência da matéria ou, mais exatamente, à velha questão dos filósofos gregos de como é possível reduzir a princípios simples a variedade e a multiplicidade dos fenômenos que envolvem a matéria e assim torná-los inteligíveis.

* problema epistemológico que, desde Kant, em particular, foi suscitado repetidas vezes: até onde é possível objetivar as nossas observações da natureza — ou a nossa experiência sensorial em geral — ou seja, determinar, a partir dos fenômenos observados, um processo objetivo independente do observador. Kant falou da "coisa em si". Mais tarde foi muitas vezes acusado, mesmo do ponto de vista filosófico, de inconsistência neste conceito da "coisa em si" em sua filosofia. Na teoria quântica, o problema do fundo objetivo dos fenômenos surgiu numa forma nova e muito surpreendente. Tal questão pode, por conseguinte, ser também retomada a partir das ciências naturais modernas.

2. A FILOSOFIA PRÉ-QUÂNTICA

A física contemporânea deu lugar a uma revisão importante da concepção que o homem tem do universo e de seu relacionamento com ele. Já se disse que essa revisão atinge o que há de mais fundamental no destino e liberdade humanas, afetando mesmo a concepção que tem o homem acerca de sua capacidade de controlar seu próprio destino. Em ponto algum da física isso é tão flagrante quanto no princípio de indeterminação da mecânica quântica, formulado por Werner Heisenberg.

Heisenberg procura formular e sugerir respostas às três seguintes perguntas:

- (1) que afirmam as teorias, já verificadas experimentalmente, da física contemporânea?
- (2) quais suas implicações na maneira pela qual o homem pensa sobre si mesmo em relação ao seu universo?
- (3) de que maneira essa nova forma de pensar, criação do mundo ocidental moderno, irá afetar outras partes do mundo?

Há aqui lugar para umas perguntas. Não é a física de todo independente da filosofia? Não se tomou eficaz a física moderna tão somente após livrar-se da filosofia? Heisenberg responde ambas as perguntas na negativa.

Newton legou a impressão de que, em sua física, não tinham sido feitas suposições além daquelas exigidas pelos dados experimentais. Depreende-se isso da sugestão que fez que não lançara mão de hipóteses e que deduzira seus conceitos básicos e leis tão-somente dos fatos da experiência. Fosse correta essa sua concepção da relação existente entre resultados experimentais e teoria, jamais teria a física newtoniana exigido qualquer modificação, pois nunca teria levado a resultados em desacordo com a experiência. E sendo ela consequência dos fatos experimentais, estaria acima de qualquer dúvida e seria tão final como aqueles fatos.

Essa conclusão tornou-se irrecusável quando, cerca de dez anos mais tarde, as experiências sobre a radiação do corpo negro vieram exigir a adição de novos pontos de vista ao pensamento newtoniano sobre o assunto. Expresso de maneira afirmativa, isso significa que as teorias da física não são uma mera descrição de fatos experimentais e nem, tampouco, algo dedutível de uma tal descrição; ao invés disso, como enfatizou Einstein, o físico só chega à formulação de sua teoria por via especulativa. No método que o físico utiliza, as inferências que faz não caminham dos fatos à teoria, mas, sim, da teoria que assumiu aos fatos experimentais. Assim, portanto, as teorias são propostas especulativamente e delas são deduzidas diretamente as muitas consequências a que dão lugar, a fim de que essas possam, indiretamente, ser confrontadas com os fatos experimentais. Em resumo, qualquer teoria física faz mais suposições, físicas e filosóficas, do que os fatos experimentais, por si mesmos, fornecem ou implicam. Por esta razão, qualquer teoria está sujeita a ser modificada e reconstruída, quando do advento de novas evidências que sejam compatíveis com suas suposições básicas, conforme ocorreu com a mecânica newtoniana.

Essas suposições, além do mais, são de caráter filosófico. Elas podem ser ontológicas, isto é, referem-se ao objeto do conhecimento científico, o qual é independente do observador; ou, então, podem elas ser epistemológicas, quer dizer, referem-se à relação entre o cientista, como experimentador e conhecedor, e o objeto que conhece. As teorias da relatividade, restrita e geral, de Einstein, modificam a filosofia da física moderna no aspecto ontológico acima referido, alterando radicalmente a teoria filosófica de espaço e tempo, e a relação desses com a matéria. A mecânica quântica, principalmente o princípio de indeterminação de Heisenberg que encerra, notabilizou-se pela mudança que trouxe à epistemologia do físico, da relação entre o experimentador e o objeto de seu conhecimento científico. A tese mais nova e importante deste Livro talvez seja a afirmação feita pelo autor de que a mecânica quântica reviveu o conceito aristotélico de potencialidade na física moderna. Consequência disso é que a mecânica quântica é igualmente importante para a ontologia e a epistemologia.

Foi devido à introdução da potencialidade, no objeto que a física pesquisa, conceito que não pertencia às categorias epistemológicas dos físicos, que Einstein fez objeção à mecânica quântica. Sua objeção, ele a expressou dizendo que "Deus não joga dados". Com isso, queria ele dizer que o jogo de dados se baseia nas leis do acaso, por acreditar Einstein que o conceito de acaso encontra seu sentido na ciência, tão-somente pelas limitações epistemológicas que decorrem da finitude da mente humana, em sua relação com o objeto onicompleto do conhecimento científico, sendo portanto erroneamente aplicado quando ontologicamente diz respeito ao próprio objeto. Sendo o objeto, per se, todo completo e, nesse sentido, onisciente à maneira de Deus, o conceito de chance ou probabilidade não é adequado em qualquer descrição científica desse objeto.

Heisenberg responde à crítica feita à teoria quântica e, em particular, ao seu princípio de indeterminação por Einstein e outros. A fim de se entender essa resposta, deve-se ter em mente duas coisas:

- (1) A relação acima mencionada entre os dados experimentais da física e os conceitos de sua teoria;
- (2) A diferença entre o papel que o conceito de probabilidade desempenha em (a) mecânica newtoniana e relatividade einsteiniana, e em (b) mecânica quântica.

No que diz respeito ao item (1), Einstein e Heisenberg, e as mecânicas relativística e quântica, estão de acordo. Eles só diferem no item (2). Mesmo assim, a razão de Heisenberg e os físicos quânticos, em geral, diferirem de Einstein, no que diz respeito ao item (2), depende consideravelmente do item (1) que Einstein admite.

O item (1) afirma que os dados experimentais da física não implicam na sua conceituação teórica. Disso segue que o objeto do conhecimento científico jamais é conhecido diretamente da observação, isto é, da experimentação, mas sim pela construção teórica (ou postulação axiomática), especulativamente proposta, e testada indireta e experimentalmente via as conseqüências que são deduzidas daquela construção. Para se compreender o objeto do conhecimento científico, devemos, portanto, partir de suposições teóricas a seu respeito.

Mais concretamente, a diferença, que existe entre a mecânica quântica e as teorias físicas que a precederam, pode ser assim expressa: nas teorias de Newton e de Einstein, o estado de qualquer sistema físico isolado, em um dado instante de tempo, fica precisa e completamente especificado pelo conhecimento, empiricamente adquirido, dos valores que correspondem à posição e ao momento linear de cada uma das partes, desse sistema, naquele instante de tempo; valores probabilísticos nelas não têm lugar. Em mecânica quântica, a interpretação de uma observação experimental, de um sistema físico, é algo um tanto complicado.

Na mecânica de Newton ou na de Einstein também há lugar para o conceito de probabilidade. Todavia, nesses dois casos, esse conceito se restringe à teoria dos erros, por meio da qual a precisão do Sim e do Não, isto é, verificação ou não-confirmação da predição da teoria, é avaliada. Portanto, o conceito de probabilidade restringiu-se à relação epistemológica do cientista na verificação do que ele conhece, estando, todavia, ausente na formulação teórica desse conhecimento. Assim, o dizer de Einstein de que "Deus não joga dados" se cumpre em suas duas teorias da relatividade e na mecânica newtoniana.

Alguns cientistas e filósofos, que adotaram uma atitude diametralmente oposta, argumentam que só o fato de haver incerteza na predição de certos fenômenos não é bastante para se sustentar a tese de que esses fenômenos não sejam passíveis de uma determinação completa. Esse argumento combina o problema estático de definir o estado de um sistema mecânico, em dado instante de tempo, com o problema dinâmico, ou causal, de predizer mudanças no estado do sistema, no correr do tempo. Mas o conceito de probabilidade só comparece, em teoria quântica, no aspecto estático dessa teoria, isto é, em sua definição do estado do sistema. Será de bom alvitre para o leitor guardar a diferença entre esses dois aspectos, a saber, a definição teórica, estática, de estado, e o aspecto dinâmico, ou causal, da mudança do estado, no passar do tempo. No que diz respeito ao primeiro desses aspectos, os conceitos de probabilidade e de sua companheira, a incerteza, comparecem teoricamente e em princípio; eles não se referem meramente às incertezas e erros de natureza operacional e epistemológica, frutos da finitude e imprecisões do pensamento e conduta humanas, que pertencem a qualquer teoria física e a suas experimentações.

2.1 OS GREGOS

O conceito de átomo remonta a tempos muito mais antigos do que a aurora da ciência moderna no século XVII; ele teve sua origem na antiga filosofia grega e constituía, naquele período, o conceito central do materialismo propagado por Demócrito e Leucipo. Por outro lado, as interpretações modernas dos eventos atômicos têm muito pouco a ver com a genuína filosofia materialista; pode-se, de fato, dizer que a física atômica afastou a atividade científica da tendência materialista que a permeava durante o século XIX. É, pois, interessante comparar-se a evolução da filosofia grega, na direção do conceito de átomo, com o posicionamento atual sobre esse conceito em física moderna.

A idéia de que a matéria fosse constituída de partículas diminutas, básicas e indivisíveis, surgiu pela primeira vez no processo de elaboração dos conceitos de Matéria, Ser e Vir-a-Ser, que caracterizaram o primeiro período da filosofia grega. Esse período iniciou-se, no século VI a.C., com Tales, que trazia idéias do tipo:

- * causa material de todas as coisas
- * a exigência de que a pergunta seja respondida racionalmente, sem apelo a mitos e misticismos;
- * o postulado de que, no entendimento final das coisas, se possa reduzir tudo a um único princípio.

As idéias Tales foram pioneiras na sugestão de uma substância fundamental, da qual todas as outras coisas seriam formas transitórias. Nesse contexto, a palavra "substância" certamente não foi, naquele tempo, interpretada no sentido puramente material que, freqüentemente, a ela atribuímos em nossos tempos. A vida estaria ligada a essa substância ou a ela seria inerente.

Para Tales, todas as coisas estão cheias de deuses.

A idéia de substância fundamental foi, então, levada adiante por Anaximandro, discípulo de Tales e igualmente cidadão de Mileto. Anaximandro negava que a substância fundamental fosse água ou qualquer outra das substâncias conhecidas. Ensinava, o discípulo, ser a substância primeira infinita, eterna e indestrutível, e que envolvia o mundo. E ela tinha como se transformar nas várias substâncias com as quais estamos familiarizados.

Nessa filosofia, a antítese entre Ser e Vir-a-Ser tem o papel fundamental. A substância primeira, infinita e indestrutível, o Ser não diferenciado, degenera em várias outras formas ou coisas, o que entre elas dá lugar a conflitos sem fim. O Vir-a-Ser é visto como uma forma de degradação do Ser infinito – uma desintegração pelo conflito, por fim expiada por um retorno àquilo que não tem forma nem qualidades. O conflito, a que o discípulo de Tales se referia, é aquilo que ocorre entre formas opostas, sendo responsável pela criação do mundo.

Anaxímenes, um associado de Anaximandro, ensinava ser o ar a substância primeira, ao introduzir a idéia de que os processos de condensação e de rarefação fossem a causa da transformação da substância primeira nas demais substâncias.

Na filosofia de Heráclito, o conceito de Vir-a-Ser ocupa a posição de destaque. Heráclito tomou como matéria primeira aquela que anda: o fogo. A dificuldade – a de reconciliar a idéia de um único princípio fundamental com a variedade infinita dos fenômenos – é resolvida por ele pelo reconhecimento de que o conflito dos opostos é realmente um tipo de harmonia. Para Heráclito, o mundo é, ao mesmo tempo, Um e Muitos e é, justamente, "a tensão oposta" dos contrários que constitui a unidade do Um. Brota daí a convicção de que exista um princípio fundamental e, ao mesmo tempo, da dificuldade de dele se derivar a infinita variedade das coisas

A filosofia grega retomou, por algum tempo, ao conceito do Um, nos ensinamentos de Parmênides. Sua contribuição mais importante ao pensamento grego consistiu, talvez, em ter introduzido um argumento puramente

lógico em metafísica: Não se pode conhecer o que não é – isso é impossível – nem nome lhe dar; pois o que pode ser pensado e o que pode existir são uma mesma coisa. Portanto, somente o Um é e não existem nem Vir-a-Ser nem Deixar-de-Ser. Parmênides negava a existência de espaço vazio por razões lógicas. E, por ter assumido que toda mudança requer espaço vazio, rejeitou a idéia de mudança por considerá-la uma ilusão.

Empédocles foi o primeiro a passar do monismo a um certo tipo de pluralismo. A fim de evitar a dificuldade de que uma substância primeira não pode explicar a variedade das coisas e fenômenos, ele assumiu quatro elementos básicos, a saber, terra, água, ar e fogo. Esses elementos misturavam-se-iam uns aos outros e se separariam pela ação de Amor e Conflito. Portanto, esses dois últimos, que eram, de muitas maneiras, encarados como tão corpóreos quanto os quatro elementos básicos, foram vistos como responsáveis pela mudança imperecível. Empédocles descreve a formação do mundo da seguinte maneira: primeiro, há a Esfera Infinita do Um; mas, na substância primeira, todas as quatro "raízes aproximam-se e se misturam pela presença do Amor; então, quando o Amor está se afastando e o Conflito chegando, os elementos em parte se separam e parcialmente se combinam; depois disso, os elementos se separam, por completo, e o Amor afasta-se do mundo; finalmente, o Amor está de volta, os elementos tomam a se misturar e o Conflito está-se indo, o que dá lugar ao retorno à Esfera Original.

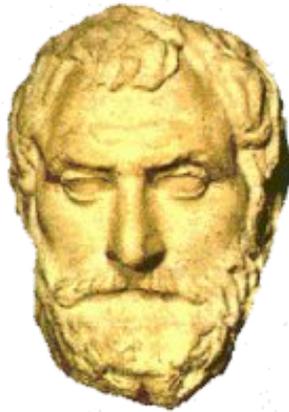
Essa doutrina de Empédocles representa uma mudança bem definida na direção de um ponto de vista mais materialista na filosofia grega. Os quatro elementos são bem menos um princípio fundamental do que substâncias materiais e reais. Aqui, pela primeira vez, expressa-se a idéia de que a mistura e separação de umas poucas substâncias, fundamentalmente diferentes, explicam a variedade infinita das coisas e fenômenos.



Empédocles - (495-435 AC)

O próximo passo, na direção do conceito do átomo, deve-se a Anaxágoras que foi contemporâneo de Empédocles. Viveu ele por cerca de trinta anos em Atenas, provavelmente na primeira metade do século V a.C. Anaxágoras realça a idéia da mistura de elementos, na hipótese de que toda mudança seja causada por mistura e separação. Admite uma variedade infinita de "sementes", infinitamente pequenas, das quais todas as coisas seriam compostas. As "sementes" não se identificam com os quatro elementos de Empédocles, delas existindo um número incontável de diferentes espécies. Elas se misturam umas às outras, depois novamente se separam e, dessa maneira, dão lugar a todas as mudanças. A doutrina de Anaxágoras permite, pela primeira vez, que se dê uma interpretação geométrica ao termo "mistura". Como admite o filósofo que exista um número incontável de diferentes "sementes", essa mistura pode ser descrita como composta de dois tipos de areia de coloração diversa. Ademais, "sementes" podem variar em número e posição relativa. Anaxágoras supõe que elas estejam presentes em todas as coisas, a diversidade entre coisas provindo das diferentes proporções com que as "sementinhas" delas participem. Diz ele: "Todas as coisas estão em tudo; nem é possível que se mantenham separadas, mas todas as coisas participam do todo". O Universo de Anaxágoras é posto em movimento não por Amor e Conflito, conforme pensara Empédocles

mas sim por Nous que podemos traduzir como "Mente".



Anaxágoras (500-428 AEC)

O último passo para se chegar ao conceito de átomo foi dado por Leucipo de Mileto e Demócrito de Abdera. O átomo é eterno e indestrutível mas tem um tamanho finito. Movimentos tomam-se possíveis através do espaço vazio entre os átomos. Assim, pela primeira vez na história, enuncia-se a idéia da existência de partículas extremamente diminutas e indivisíveis (nós as chama-ríamos de "partículas elementares") que seriam os "tijolos" da matéria.

De acordo com esse novo conceito de átomo, a matéria não consistiria somente do "Cheio" mas, também, do "Vazio", aquele espaço livre por onde os átomos se movem. O argumento lógico de Parmênides contra o "Vazio", que o Não-Ser não pode existir, foi simplesmente ignorado por não concordar com a experiência.

Os átomos, segundo Demócrito, eram todos formados da mesma substância que tinha a propriedade de Ser, embora ostentando tamanhos e formas diversas. Os átomos eram, portanto, imaginados como divisíveis do ponto de vista matemático mas não do ponto de vista físico. Eles podiam se mover e ocupar diferentes posições no espaço, mas não apresentavam outras propriedades físicas. Por exemplo, não tinham cor, odor, nem sabor. As propriedades da matéria, que percebemos por nossos sentidos, eram supostas provir das posições e movimentos dos átomos no espaço. Da mesma maneira que tanto tragédia como comédia podem ser escritas fazendo-se uso do mesmo alfabeto, a vasta variedade dos fenômenos no mundo pode ser realizada pelos mesmos átomos, considerando-se seus diferentes arranjos e movimentos.



Demócrito
(460-370 AEC) nasceu em Abdera (Trácia).

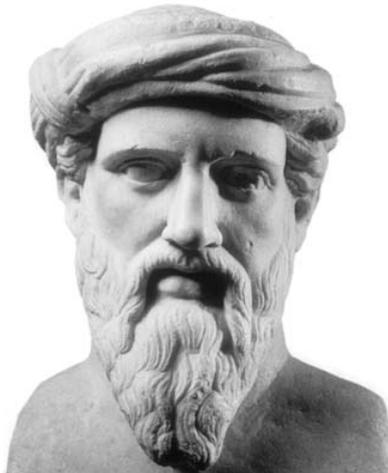


Leucipo de Mileto
480 ? AEC – 420? AEC

Os átomos, na filosofia de Leucipo, não se movem simplesmente ao acaso, existindo um determinismo completo, ao acreditar que "nada acontece sem razão; tudo tem uma justificação ou uma necessidade".

As idéias básicas da teoria atômica pré-socrática foram assumidas e modificadas, em parte, por filósofos gregos posteriores. É importante mencionar-se a explicação sobre a constituição da matéria apresentada por Platão, que não era um atomista; ao contrário, Diógenes Laércio relata que Platão desgostava de Demócrito, a tal ponto que gostaria de ver todos os seus livros queimados. Platão, todavia, combinou idéias próximas ao atomismo com as doutrinas da escola pitagórica e os ensinamentos de Empédocles.

A escola pitagórica fez uma combinação entre religião e matemática que, desde então, exerceu enorme influência sobre o pensamento humano. Os pitagóricos parecem ter sido os primeiros a compreender a força criadora inerente às formulações matemáticas. A descoberta por eles feita que duas cordas soam em harmonia se seus comprimentos têm uma razão simples demonstrava quão útil a matemática poderia ser para o entendimento dos fenômenos naturais. Para os pitagóricos, todavia, isso não era tanto um problema de entendimento. Para eles, a razão numérica simples, dos comprimentos de duas cordas vibrantes, criava, por si mesma, a harmonia sonora. Havia, também, uma boa parte de misticismo nas doutrinas da escola pitagórica.



Pitágoras de Samos
569 ? AEC – 475 ?

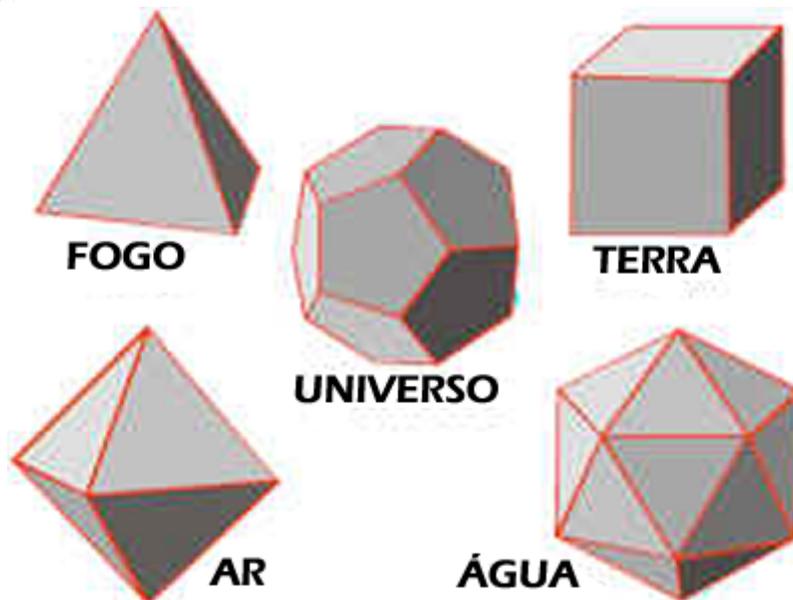
Platão sabia da descoberta dos sólidos regulares feita pelos pitagóricos e da possibilidade de combiná-los com os elementos de Empédocles. Associou ele as partes menores do elemento terra ao cubo, do ar ao octaedro, do

fogo ao tetraedro, e da água ao icosaedro. Não havia um elemento que correspondesse ao dodecaedro; a respeito, Platão diz somente que "havia ainda uma quinta combinação de que Deus fez uso ao delinear o Universo".



Platão
Atenas - (428-347 AEC)

Quanto à questão de se os sólidos regulares, que representam os quatro elementos, possam ser mesmo comparados com os átomos, Platão deixa bem claro que tais sólidos não são indivisíveis. Platão os constrói a partir de dois triângulos básicos, o equilátero e o isósceles, esses juntados uns aos outros para se obter a superfície desses sólidos. Portanto, os elementos podem (pelo menos parcialmente) ser transformados uns nos outros. Ademais, os sólidos regulares podem ser decompostos em uma coleção de triângulos básicos e, deles, novos sólidos poderão então ser construídos. Assim, por exemplo, um tetraedro e dois octaedros podem ser desfeitos de maneira a que fiquemos com vinte triângulos equiláteros, que poderão ser recombinados de forma a que tenhamos um icosaedro. Isso significa que um átomo de fogo e dois de ar podem ser combinados de maneira a dar um átomo de água. Por outro lado, os triângulos básicos não podem ser considerados como matéria, pois não têm extensão no espaço. É tão-somente quando esses triângulos são juntados uns aos outros, para formar um sólido regular, que uma unidade de matéria é criada. As menores porções de matéria não são as Entidades fundamentais, como era o caso na filosofia de Demócrito, mas sim formas matemáticas. Aqui, é bastante evidente que a forma é mais importante que a substância que a formou.



Sólidos de Platão

Demócrito estava bem ciente do fato de que se os átomos devessem explicar, por seus movimentos e arranjos, propriedades da matéria como cor, odor e gosto, eles mesmos não poderiam ostentar esses atributos. Ele, portanto, privou-os dessas qualidades e o seu átomo é, assim, uma entidade material um tanto abstrata. Demócrito,

todavia, dotou-os do atributo de "ser", de extensão espacial, forma e movimento. Teve ele que manter essas qualidades pois teria sido muito difícil, em ausência delas, utilizar o conceito de átomo. Por outro lado, isso implica que seu conceito de átomo não pode explicar sua geometria, extensão espacial e existência por não poder reduzi-las a algo mais fundamental. O ponto de vista moderno sobre as partículas elementares, no que diz respeito a esse ponto, parece ser mais consistente e radical.

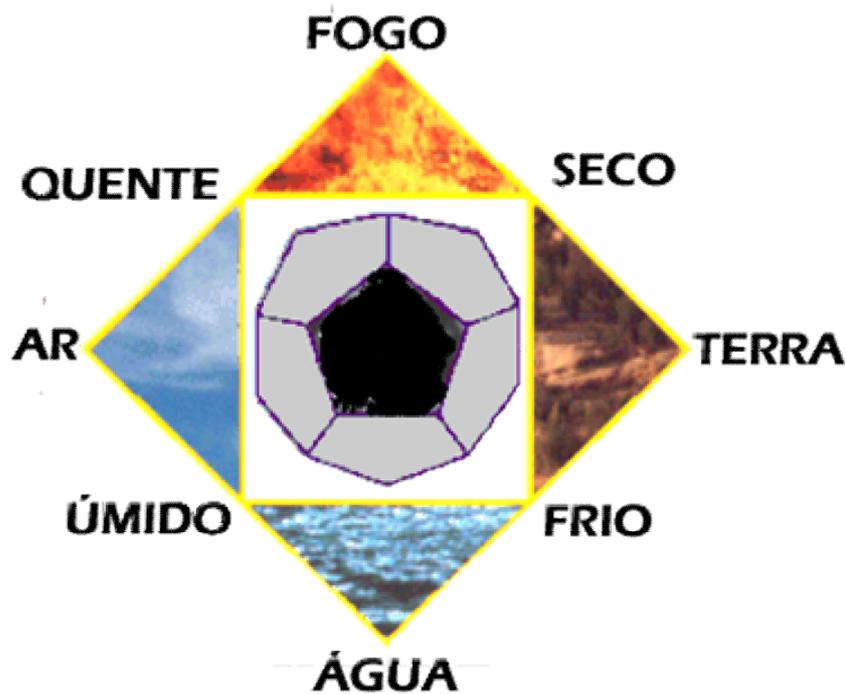
Na filosofia de Demócrito, os átomos são unidades eternas e indestrutíveis de matéria, e jamais podem se transformar uns nos outros. No que diz respeito a essa questão, a física moderna assume uma posição frontalmente contrária à de Demócrito, favorecendo Platão e os pitagóricos. Com efeito, as partículas elementares certamente não são unidades eternas e indestrutíveis de matéria, pois podem de fato se transformar em outras.

Quanto à semelhança entre os pontos de vista modernos e aqueles de Platão e dos pitagóricos, ela pode ser levada mais além. As "partículas elementares", no Timeu de Platão, não são, em última análise, substâncias mas, sim, formas matemáticas. E "todas as coisas são números" é uma sentença atribuída a Pitágoras. Mas as poucas formas matemáticas conhecidas naqueles tempos eram geométricas como os poliedros regulares ou os triângulos que compõem sua superfície. Na teoria quântica moderna, não pode haver dúvida de que as partículas elementares acabarão, também, por ser consideradas formas matemáticas, mas de natureza muito mais complexa. Os filósofos gregos pensaram em termos de formas estáticas e encontraram-nas nos sólidos regulares.

Aristoteles rejeitou o atomismo e retomou a idéia dos quatro elementos, acrescentando a eles mais um, chamado "éter", que tinha as características da eternidade, incorruptibilidade, imutabilidade e movimento circular. O universo físico era dividido em duas regiões: a sublunar, constituída pelos quatro elementos básicos e caracterizada por movimentos retilíneos e descontínuos e a supralunar, constituída pelo quinto elemento - o "éter" - , caracterizada pelos movimentos circulares e contínuos.



Aristóteles - Stagirus, Macedônia
384 AEC-322 AEC



Os 4 elementos de Aristóteles

Os corpos celestes, eram portanto, constituídos deste novo elemento. Toda a matéria é formada pelos quatro elementos básicos - terra, água, ar e fogo - e associada a ela, estão quatro qualidades primárias fundamentais, formando pares opostos: quente e frio, úmido e seco.

Estas qualidades combinadas dualmente, faziam parte da “natureza” dos quatro elementos, ou seja: a água é fria e úmida, o fogo é quente e seco, o ar é quente e seco e a terra é fria e úmida.

Contrariamente, a ciência moderna teve, como ponto de partida, desde seus começos nos séculos XVI e XVII, o problema dinâmico. O elemento básico, na física desde Newton, não é uma configuração ou uma forma geométrica, mas sim uma lei dinâmica. A equação de movimento que a expressa vale para todos os tempos e, nesse sentido, é eterna, o que não é o caso das formas geométricas, como, por exemplo, as órbitas, mutáveis por natureza. Semelhantemente, as formas matemáticas – que representarão as partículas elementares – serão soluções de alguma lei eterna de movimento para a matéria.

Talvez possa parecer que os filósofos gregos tenham chegado a conclusões idênticas, ou muito semelhantes àquelas que chegamos em tempos modernos, após muitos séculos de trabalho duro em experiências e no uso da matemática. Essa interpretação é um engano completo. Há uma enorme diferença entre a filosofia grega e a ciência moderna, que é justamente a atitude empírica desta última. Desde os tempos de Galileu e Newton, baseou-se a ciência moderna no estudo detalhado da Natureza e no postulado segundo o qual só poderão ser aceitas afirmações que foram verificadas ou que pelo menos o possam ser, em princípio, pela experimentação. A idéia de que, graças a uma experiência, se possa isolar certos fenômenos da Natureza, a fim de estudar seus detalhes e descobrir qual é a lei permanente da mudança contínua, não ocorreu aos filósofos gregos. Pode-se, pois, dizer que a ciência moderna, desde os seus primórdios, baseou-se em uma concepção bem mais modesta mas, ao mesmo tempo, muito mais firme do que aquela da filosofia grega. Eis por que as asserções da física moderna são expressas, em geral, de maneira mais responsável do que as asserções daquela filosofia. A possibilidade de verificar, experimentalmente, a correção de uma afirmação teórica, com grande precisão e nas muitas facetas do objeto experimental, dá um peso enorme àquela afirmação, o que não ocorria na aurora da filosofia grega.

Mesmo assim algumas asserções da antiga e respeitável filosofia grega estão, em certa medida, próximas daquelas da ciência moderna. Isso simplesmente mostra quão longe se pode chegar combinando-se a nossa vivência diária da Natureza (que temos sem necessidade de apelar a experimentações) com o esforço, sem esmorecimento, de encontrar alguma ordem lógica nessa experiência quotidiana, a fim de se poder entendê-la a partir de princípios gerais.

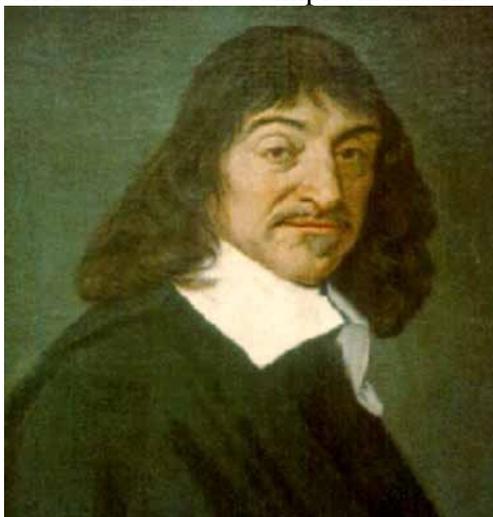
2.2 DESCARTES

Nos dois mil anos que se seguiram ao apogeu da ciência e cultura gregas, nos séculos V e IV a.C., o espírito humano esteve em grande medida ocupado com problemas de um tipo diferente daqueles outrora abordados na Grécia. Nos primeiros séculos da cultura grega, o impulso mais forte encontrara sua origem na realidade imediata do mundo em que vivemos, que percebemos por nossos sentidos. Nessa realidade, intensa e cheia de vida, não havia uma boa razão para se realçar a diferença entre matéria e mente, ou entre corpo e alma.

Nesse período, os olhos dos filósofos voltaram-se à alma humana e à relação desta com Deus, aos problemas da ética e à interpretação da Revelação, com exclusão do mundo exterior. Foi somente com a erupção da Renascença italiana que, novamente, uma mudança gradual teve lugar na mente humana, resultando no renascimento do interesse sobre a Natureza.

O grande progresso da ciência natural, nos séculos XVI e XVII, foi precedido e acompanhado por um correspondente desenvolvimento das idéias filosóficas, essas estando bem de perto ligadas aos conceitos fundamentais da ciência. Poderá, portanto, ser instrutivo tecer comentários acerca dessas idéias, do ponto de vista a que finalmente chegou a ciência moderna em nossos tempos.

O primeiro grande filósofo desse novo período da ciência foi René Descartes, que viveu na primeira metade do século XVII. As suas idéias, que mais de perto dizem respeito ao desenvolvimento do método científico, estão no seu Discurso sobre o método. Alicerçado na dúvida e no raciocínio lógico, ele tenta encontrar uma base completamente nova e, à sua maneira de ver, firme, para erigir um sistema filosófico. Descartes não admite a Revelação como uma tal base, nem uma aceitação não crítica do que é percebido pelos sentidos. Assim, ele começa com seu método da dúvida, levantando suspeitas sobre aquilo que nos contam os sentidos sobre os resultados de nosso raciocínio e chega, finalmente, à sua famosa sentença: cogito ergo sum, isto é, "penso, logo existo". Em outras palavras: não posso duvidar de minha existência pois ela decorre do fato de eu estar pensando. E, após estabelecer, dessa maneira, a existência do "Eu", ele passa a provar a existência de Deus, seguindo essencialmente as linhas da filosofia escolástica. Final-mente, a existência do mundo decorre do fato de que Deus nos deu uma forte predisposição a acreditar na existência do mundo e é simplesmente inconcebível que Ele nos tenha enganado.



1596 em La Haye (agora Descartes), França
1650 em Estocolmo, Suécia

René Descartes (1596 - 1650) nasceu em 31 de março, em La Haye, na França, filho de Joachin Descartes e Jeanne Brochard. Aos oito anos foi estudar no Colégio Real de La Fleche, em Anjou. Concluiu o curso de direito em 1616, na universidade de Poitiers, para atender aos desejos do pai, apesar de não ter seguido a carreira. Passou

vários anos de sua vida viajando pela Europa, usufruindo de heranças familiares. Nesse período entra em contato com a nova física copernicana, através do médico, físico e matemático holandês, Isaac Beeckman.

Descartes disse ter tido um sonho profético, que o indicava como a pessoa que iria sintetizar todo o conhecimento científico, numa ciência racional, universal, única. Seu raciocínio lógico-matemático já era conhecido e respeitado. Dedicou-se no princípio à pesquisa da óptica, das leis da refração, da natureza da luz, da natureza e estrutura dos corpos materiais.

Através da leitura da obra de Galileu (O Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo), Descartes reforçou mais ainda seu apoio ao sistema copernicano, transcendendo-o, ao propor que o universo era infinito e não finito, como Copérnico propunha.

Após a leitura do livro de Galileu, Descartes comentou:

“Galileu filosofa muito acerca do movimento, mas tudo aquilo que afirma da velocidade dos corpos que caem no vácuo é estabelecido sem fundamento, pois ele deveria determinar antes o que é gravidade; e se conhecesse a sua verdade saberia que é nula no vácuo”.

Publica em 1637 o “Discurso sobre o Método para Bem Conduzir a Razão a Buscar a Verdade Através da Ciência”, compondo-se de três partes: A Dióptrica, Os Meteoros e A Geometria.

Na dióptrica, ele trata a lei da refração; nos meteoros, explica os ventos, as nuvens e o arco-íris; e na geometria, desenvolve mais ainda a física matemática. Escreveu ele a um amigo:

“Pois se lhe apraz considerar o que escrevi do solo, da neve, do arco-íris etc... saberá efetivamente que toda a minha Física não é mais do que Geometria”.

Em 1644 publica “Os Princípios da Filosofia”, um livro em grande parte dedicado à física e principalmente às leis do movimento e à teoria dos vórtices, onde ele reforça a necessidade de se explicar todos os fenômenos físicos, em termos mecânicos e relacioná-los a idéias e equações geométricas; usando hipóteses para fazer generalizações.

Para Descartes, não era aceitável a idéia de forças atuarem à distância, como fora proposto para a interação entre os astros. As forças só atuavam quando havia uma interação (contato) entre os corpos. Por conseguinte, ele postulou que o espaço não era vazio, sendo pois preenchido por certo tipo de matéria, e que a razão dos astros permanecerem em suas respectivas órbitas, era a existência de um sistema de vórtices no espaço, originado pelo movimento da matéria espacial.

Para ele o Sol estava no centro de um enorme vórtice, no qual giram todos os planetas e astros do sistema solar. Cada planeta, estava por sua vez no centro de um vórtice secundário, dentro do vórtice do Sol. Os vórtices dos planetas, por causa de seus movimentos, produzem uma variação na densidade do meio material, provocando assim uma variação no vórtice solar, fazendo com que as órbitas dos planetas sejam elípticas e não circulares, como era o modelo copernicano.

O modelo de Descartes, era consistente e estava em acordo com o modelo de Kepler, pelo menos quanto à forma das órbitas; mas no modelo de Descartes o Sol ocupa o centro do vórtice central, em relação ao qual os planetas giram em órbitas elípticas, o que se contradiz com o modelo de Kepler, onde o Sol ocupa não o centro, mas um dos focos da elipse.

Isaac Newton, após ter formulado a lei da gravitação universal, usando as descobertas de Kepler e Galileu, verificou que o modelo de Descartes, não estava correto.

A base da filosofia cartesiana é radicalmente diferente daquela dos antigos filósofos gregos. Para Descartes, o ponto de partida não é um princípio fundamental ou substância primeira, mas sim a tentativa de se chegar a um

conhecimento fundamental. E ele compreende que aquilo que conhecemos sobre nossa mente é mais seguro do que o que sabemos sobre o mundo exterior. Todavia, o seu ponto de partida, com o "triângulo" Deus-Mundo-Eu, já simplifica de uma maneira perigosa a base de seus raciocínios ulteriores. A separação entre matéria e espírito, ou entre alma e corpo, que teve seu começo na filosofia de Platão, é agora total. Deus está separado tanto do "Eu" como também do mundo. Deus é alçado tão alto, acima do mundo e dos homens, que Ele finalmente aparece na filosofia de Descartes como um ponto de referência comum, a estabelecer a relação entre o "Eu" e o mundo.

A antiga filosofia grega tentara achar uma ordem, na infinita variedade de coisas e fenômenos, pela procura de algum princípio fundamental de unificação. Já Descartes procurou estabelecer a ordem por meio de uma divisão fundamental. As três partes que resultam dessa divisão perdem algo de sua natureza se cada qual for considerada separada-mente das demais. Se quisermos mesmo fazer uso dos conceitos fundamentais cartesianos é essencial que Deus se encontre no mundo e no "Eu", e é também essencial que o "Eu" não possa ser realmente separado do mundo. Descartes, certamente, sabia da inegável necessidade dessa ligação, mas a filosofia e ciência natural no período seguinte desenvolveram-se com base na polaridade entre res cogitans ("coisa pensante") e res extensa ("coisa extensa"), a ciência natural concentrando seu interesse na "coisa extensa". A influência da divisão cartesiana sobre o pensamento humano, nos séculos que se seguiram, dificilmente poderá ser exagerada, mas é justamente essa divisão que teremos que criticar, mais adiante, do atual ponto de vista da física.

Certamente, seria errado dizer-se que Descartes, através de seu novo método filosófico, tenha dado uma nova direção ao pensamento humano. O que ele realmente fez foi formular, pela primeira vez, uma tendência no pensamento humano cuja presença já pudera ser sentida na Renascença italiana e na Reforma. Temos, então, a revivescência do interesse pela matemática que expressa uma crescente influência de elementos platônicos em filosofia e a insistência na religião pessoal.

A posição, a que a partição cartesiana conduziu, no que diz respeito a "coisa extensa", foi o que se pode denominar de realismo metafísico. O mundo, isto é, as coisas com extensão, "existe". Isso é distinto do que se chama de realismo prático, e as diferentes formas de realismo podem ser descritas assim: nós "objetivaremos" uma afirmação se mantivermos que seu conteúdo independe das condições sob as quais ela possa ser verificada. O realismo prático assume que haja afirmações que possam ser objetivadas e que, de fato, a maior parte de nossas experiências, na vida quotidiana, consistam de tais asserções. O realismo dogmático mantém não haver assertiva que diga respeito ao mundo material que não possa ser objetivada. O realismo prático tem sido sempre e sempre será uma parte essencial da ciência natural. Por outro lado, o realismo dogmático, tal como o encaramos hoje em dia, não é uma condição necessária para o desenvolvimento da ciência natural. Ele, todavia, teve no passado um papel muito importante na evolução da ciência; de fato, a física clássica baseia-se no realismo dogmático. Foi somente com a teoria quântica que pudemos aprender que uma ciência exata é possível sem que se aceite o realismo dogmático.

O realismo metafísico vai um passo avante do realismo dogmático ao afirmar que "as coisas realmente existem". Isso é, de fato, o que Descartes tentou provar pelo argumento de que "Deus não nos pode ter enganado".

As dificuldades do realismo metafísico foram percebidas logo após Descartes e tornaram-se o ponto de partida para o empirismo filosófico, sensualismo e positivismo.

A crítica feita ao realismo metafísico pelo empirismo filosófico é certamente justificável na medida em que ela sirva de aviso contra o uso ingênuo da palavra "existência". Mas as afirmações confiantes desse empirismo podem ser analogamente criticadas. Afinal, nossas percepções não são basicamente feixes de cores ou gamas sonoras; aquilo que percebemos já é apreendido como alguma coisa, a ênfase aqui sendo na palavra "coisa" e é, portanto, duvidoso se iremos ganhar em entendimento ao considerarmos as percepções, ao invés das coisas, como os elementos básicos da realidade.

A dificuldade subjacente foi claramente reconhecida pelo positivismo moderno (ou positivismo lógico). Essa linha de pensamento expressa sua crítica, a respeito do uso ingênuo de certos termos como, por exemplo, "coisa", "percepção" e "existência", fazendo uso de um princípio geral pelo qual a questão de uma dada sentença ter, de fato, sentido só poderá ser respondida após um exame crítico e exaustivo. Esse princípio e a atitude em que se baseia derivam da lógica matemática. Assim, o procedimento da ciência natural é descrito como a atribuição de símbolos aos fenômenos. Os símbolos podem, como é o caso em matemática, ser combinados de acordo com certas regras e, dessa maneira, afirmações feitas sobre os fenômenos poderão ser representadas por combinações desses símbolos. Todavia, não se dirá, de uma combinação de símbolos que viole as regras, que ela seja falsa mas, simplesmente, que é desprovida de sentido.

A tese filosófica de que todo conhecimento é essencialmente baseado na experiência conduziu por fim a um postulado que diz respeito à elucidação lógica de qualquer enunciado sobre a Natureza. Tal postulado poderia ser justificado nos tempos da física clássica mas, desde o advento da teoria quântica, aprendemos que ele não pode ser satisfeito.

2.3 KANT

Kant nasceu, estudou, lecionou e morreu em Königsberg. Jamais deixou essa grande cidade da Prússia Oriental, cidade universitária e também centro comercial muito ativo para onde afluíam homens de nacionalidade diversa: poloneses, ingleses, holandeses. A vida de Kant foi austera (e regular como um relógio). Levantava-se às 5 horas da manhã, fosse inverno ou verão, deitava-se todas as noites às dez horas e seguia o mesmo itinerário para ir de sua casa à Universidade. Duas circunstâncias fizeram-no perder a hora: a publicação do Contrato Social de Rousseau, em 1762, e a notícia da vitória francesa em Valmy, em 1792. Segundo Fichte, Kant foi "a razão pura encarnada".



Immanuel Kant (1724-1804)
Königsberg , Prússia

O método de Kant é a "crítica", isto é, a análise reflexiva. Consiste em remontar do conhecimento às condições que o tornam eventualmente legítimo. Em nenhum momento Kant duvida da verdade da física de Newton, assim como do valor das regras morais que sua mãe e seus mestres lhe haviam ensinado. Não estão, todos os bons espíritos, de acordo quanto à verdade das leis de Newton? Do mesmo modo todos concordam que é preciso ser justo, que a coragem vale mais do que a covardia, que não se deve mentir, etc... As verdades da ciência newtoniana, assim como as verdades morais, são necessárias (não podem não ser) e universais (valem para todos os homens e em todos os tempos). Mas, sobre que se fundam tais verdades? Em que condições são elas racionalmente justificadas? Em compensação, as verdades da metafísica são objeto de incessantes discussões. Os maiores pensadores estão em desacordo quanto às proposições da metafísica. Por que esse fracasso?

De acordo com Kant, qual o critério para se saber se um certo conhecimento é a priori? Kant concorda que todo conhecimento parte da experiência, mas ele completa seu pensamento afirmando que nem todo conhecimento deriva da experiência. E bem verdade que a experiência nos ensina que uma certa coisa tem essa ou aquela propriedade, mas ela não nos ensina que essas propriedades não poderiam ser diferentes. Portanto, se uma certa proposição for considerada junta-mente com sua necessidade, ela terá que ser a priori. A experiência jamais propicia a seus julgamentos uma total generalidade. Assim, por exemplo, a sentença "O sol se levanta cada manhã" significa que não conhecemos, no passado, nenhuma exceção à regra e que esperamos que ela continue a vigorar no futuro. Podemos, todavia, imaginar exceções à regra. Mas se uma regra for enunciada em completa generalidade, e se for impossível imaginar-se qualquer exceção, ela tem que ser a priori. Um julgamento "analítico" é sempre a priori; mesmo que uma criança aprenda aritmética brincando com bolas de gude, ela não necessitará voltar à experiência com as bolinhas para saber que "dois mais dois são quatro". O conhecimento empírico, por outro lado, é sempre "sintético".

Entretanto, a razão não deixa de construir sistemas metafísicos porque sua vocação própria é buscar unificar incessantemente, mesmo além de toda experiência possível. Ela inventa o mito de uma "alma-substância" porque supõe realizada a unificação completa dos meus estados d'alma no tempo e o mito de um Deus criador porque busca um fundamento do mundo que seja a unificação total do que se passa neste mundo... Mas privada de qualquer ponto de apoio na experiência, a razão, como louca, perde-se nas antinomias, demonstrando, contrária e favoravelmente, tanto a tese quanto a antítese (por exemplo: o universo tem um começo? Sim pois o infinito para trás é impossível, daí a necessidade de um ponto de partida. Não, pois eu sempre posso me perguntar: que havia antes do começo do universo?). Enquanto o cientista faz um uso legítimo da causalidade, que ele emprega para unificar fenômenos dados na experiência (aquecimento e ebulição), o metafísico abusa da causalidade na medida em que se afasta deliberadamente da experiência concreta (quando imagino um Deus como causa do mundo, afasto-me da experiência, pois só o mundo é objeto de minha experiência). O princípio da causalidade, convite à descoberta, não deve servir de permissão para inventar.

3. O DESENVOLVIMENTO DA TERORIA QUÃNTICA

Na teoria da matéria de DALTON (1808), o átomo era considerado a menor parte da matéria, ou seja, uma partícula elementar. THOMPSON em 1897 descobre o elétron, em 1911 RUTHERFORD descobre o núcleo do átomo e formula o seu modelo atômico (modelo planetário). Pelas leis da física clássica, até então conhecidas (mecânica newtoniana e eletromagnetismo), não seria possível conceber a existência de tal átomo: cargas elétricas em órbitas circulares, tais como os elétrons, irradiariam energia continuamente e em movimento espiral colapsariam em direção ao núcleo em uma função de um segundo.

Mais tarde BOHR formulou a sua teoria sobre o átomo (1913), em 1932 é descoberto o nêutron por CHADWIK, tornou-se óbvio que os átomos e até mesmo os núcleos eram feitos de partículas menores. Durante um curto período, acreditou-se que existissem apenas quatro partículas elementares: o próton, o nêutron, o elétron e o fóton. Entretanto, no final de 1932, CARL DAVID ANDERSON descobriu o pósitron, ou o anti-elétron, e pouco depois o múon, o pión e muitas outras partículas foram previstas e descobertas. No período de 1915 – 1930, uma revolução ocorreu na física. A física clássica revela-se inadequada para a descrição de sistemas microscópicos tais como átomos. Surge uma nova teoria dinâmica para a microfísica: a mecânica quântica.

A partir da década de 1950, vários países vêm construindo aceleradores de partículas cada vez maiores e mais sofisticados, capazes de produzir colisões de alta energia, com o objetivo de observar as novas partículas previstas por várias teorias. Uma consideração importante nesses experimentos complexos, que envolvem centenas de cientistas de muitas nacionalidades, é a questão de como distinguir se uma partícula é realmente elementar ou se é composta de outras partículas. Assim, por exemplo, tanto o próton como o nêutron foram considerados durante algum tempo como partículas elementares; ao serem bombardeadas com elétrons de alta energia (e portanto pequeno comprimento de onda), verificou-se que, como os átomos e núcleos, apresentavam estados excitados. Quando foram usados elétrons com comprimento de onda suficientemente pequeno (com energias maiores do que 10 GeV), a estrutura interna dos prótons e nêutrons tornou-se evidente.

O modelo padrão é atualmente (desde 1978) a teoria oficial da física das partículas elementares. Trata-se na verdade de uma combinação de três teorias: a teoria dos quarks, que se propõe a explicar a estrutura das partículas, a teoria eletrofraca, que é a teoria unificada das interações eletromagnética e fraca, e a cromodinâmica, que é a teoria da interação forte. Embora deixe sem resposta algumas questões importantes, o modelo padrão é capaz de explicar muitas das propriedades das partículas fundamentais e de suas interações. Atualmente admite-se que a matéria seja constituída de seis quarks e seis léptons.

3.1 O ESTUDO DO CORPO NEGRO:

Em 1859 KIRCHHOFF mostrou que a energia emitida pelo corpo negro dependia somente de sua temperatura e do seu comprimento de onda emitida.

Em 1879 JOSEF STEFAN anunciou que a energia emitida por um corpo quente (qualquer corpo que tivesse temperatura acima do zero absoluto) era proporcional à quarta potência de sua temperatura. Cinco anos depois BOLTZMANN anunciou sua lei em considerações teóricas e por isso mesmo teve o cuidado de enfatizar que a lei só era válida para corpos negros (só para emissores perfeitos, e não qualquer emissor).

Como poderíamos fazer se quiséssemos saber quanta radiação amarela (um determinado comprimento de onda) estava sendo emitido?

WIEN em 1893 pretendia explicar a distribuição de radiação de um corpo negro pelos vários comprimentos de onda. As previsões de WIEN eram satisfatórias para os comprimentos de ondas pequenos, mas não para os grandes.

Um corpo negro é um objeto teórico que absorve todas as frequências da luz; por isso, quando aquecido, deveria irradiar todas as frequências da luz. Havia, contudo, um problema com a teoria do corpo negro. O número de diferentes frequências na faixa de alta frequência é maior que na baixa frequência. Se um corpo negro irradiasse igualmente todas as frequências de radiação eletromagnética, praticamente toda a energia seria irradiada na faixa de alta frequência. Essa situação teórica foi chamada de a catástrofe ultravioleta porque a mais alta frequência de irradiação no espectro da luz visível é violeta e por consequência, teoricamente, um corpo negro aquecido deveria irradiar unicamente ondas luminosas ultravioleta.

“A dissertação de Planck tem o título *Sobre o Segundo Princípio da Teoria Mecânica do Calor*. A teoria mecânica do calor da época corresponde à termodinâmica de hoje. Planck acreditava na veracidade absoluta do teorema do crescimento da entropia: ele era um ENTRÓPICO. Este fato faz dele desde cedo um anti-atomista. Na sua fala por ocasião da sua eleição como membro da Academia Prussiana: *Para finalizar gostaria de referir-me a um fato já conhecido de maneira explícita. O segundo princípio da teoria mecânica do calor, levado às últimas consequências, é incompatível com a suposição de que existem átomos finitos. É de se pressupor, por este motivo, que no desenvolvimento da teoria venha a se travar uma guerra entre essas duas hipóteses, que custe a vida a uma delas. Se o resultado dessa luta ainda não pode ser predito com segurança, diversos indícios parecem sugerir que, apesar dos sucessos da teoria atomística até o presente, teremos que optar pela hipótese de uma matéria contínua.*”

No entanto uma das grandes conquistas do início do século XIX foi a descoberta da descontinuidade da matéria. Esta mostrava-se composta de "unidades", os átomos (ou as moléculas), entre os quais havia o vácuo. Coube a Planck estender o conceito de descontinuidade também à energia. Planck postulou que as trocas de energia entre átomos, ou, mais geralmente, entre corpos, não eram quantidades quaisquer. Parecia existir, para a energia, uma estrutura granular, pois as trocas faziam-se envolvendo quantidades bem determinadas. Isso foi a descoberta do caminho para o interior do átomo, para o conhecimento de sua estrutura e para a elucidação de fenômenos até então inexplicados; implicava também a existência, nele, de propriedades ainda não percebidas. Contudo, a idéia de descontinuidade da energia mostrava-se inverossímil; parecia excessivamente transcendente, completamente desligada da intuição. O próprio criador da idéia mantinha-se céptico a respeito. Definiu-a à perfeição, dela extraíndo todas as consequências possíveis. Mas, apesar de constituir uma hipótese promissora, Planck sempre a considerou apenas como tal: uma simples hipótese, capaz de explicar parte da verdade, mas que posteriormente seria substituída por outra. Planck seguia fielmente o princípio de Leibniz, segundo o qual "*Natura non facit saltum*" - a natureza não dá salto. Na época da formulação da hipótese da descontinuidade da energia, o cientista

não sabia ainda ter penetrado em uma das mais importantes características do universo físico. Sua concepção seria mais tarde confirmada por estudos profundos sobre os átomos e seus núcleos.

Planck originalmente esperava explicar a irreversibilidade dos processos físicos pelo estudo da radiação eletromagnética. Mas finalmente reconheceu que isso não poderia ser feito sem a introdução de elementos estatísticos no raciocínio. Entre 1897 e 1900, em uma série de trabalhos, Planck utilizou a eletrodinâmica de Maxwell (teoria na qual a energia é uma função contínua dos campos e tem um número infinito de graus de liberdade) para desenvolver uma teoria da radiação térmica em interação com um ou mais osciladores harmônicos, carregados e idênticos, localizados no interior de uma cavidade. Só foi capaz de explicar a tendência irreversível da radiação para o equilíbrio térmico empregando métodos análogos aos que Ludwig Boltzmann havia usado na teoria cinética. Planck introduziu a noção de radiação “natural” (isto é, desordenada ao máximo, que ele definiu em analogia com a definição que Boltzmann dera para caos molecular. Usando a teoria de Maxwell, Planck deduziu uma relação entre a energia média E de um oscilador carregado de frequência ν , em equilíbrio com a radiação térmica, e a densidade de energia por unidade de intervalo de frequência $\rho\nu$ da radiação na mesma frequência:

$$E(\nu) = (c^3 / 8\pi\nu^3) \rho(\nu)$$

onde c é a velocidade da luz.

Planck calculou a energia média de um oscilador, tecendo hipóteses a respeito da entropia dos osciladores que lhe permitiram deduzir a lei de Wien (teoria que fornecia uma fórmula que descrevia com precisão a distribuição da radiação da energia na extremidade violeta do espectro, mas, muito estranhamente, não na extremidade vermelha) para a densidade de energia do espectro do corpo negro, que originalmente parecia estar bem apoiada pela evidência experimental. Mas, por volta da virada do século, novas observações mostraram desvios sistemáticos da lei de Wien para valores grandes de λT .

Planck apresentou uma fórmula para a distribuição de densidade de energia que estava em estreito acordo com as observações para todo o espectro:

$$\rho(\nu) = (8\pi h\nu^3)/(c^3 e^{h\nu/Kt} - 1) \text{ (A)}$$

Nesta expressão, conhecida agora como lei de Planck, ou fórmula de Planck, $\kappa = R/N$ é a constante de Boltzmann, R é a constante dos gases, N , o número de Avogadro (ou de Loschmidt), e h é uma nova constante (posteriormente chamada de constante de Planck). Para deduzir essa fórmula, Planck calculou a entropia dos osciladores, usando:

$$S = k \log W$$

onde S é a entropia de um estado macroscópico do sistema cuja probabilidade de ocorrência é W (que é proporcional ao número de complexos de um estado do sistema):

$$W = \{ (N+P-1)! \} / \{ (N-1)! P! \}$$

Seguindo Boltzmann, Planck considerou a probabilidade de um estado como proporcional ao número de “complexos”, ou micro-configurações possíveis do sistema que correspondem àquele estado. Ele calculou esse número dividindo a energia total em um número finito de elementos de igual magnitude e contando o número de maneiras possíveis de distribuir esses elementos de energia entre os osciladores individuais. Se a magnitude dos elementos de energia for tomada como igual a $h\nu$, onde ν é a frequência de um oscilador, isso resulta em uma expressão para a entropia de um oscilador que leva a equação (A).

As equações formuladas com base na teoria quântica de Planck explicaram precisamente a radiação de um corpo negro em ambos os extremos do espectro. O feito de Planck foi relacionar matematicamente o conteúdo de energia de um quantum à frequência da radiação. Se tanto a frequência quanto o conteúdo de energia do quantum fossem inversamente proporcionais ao comprimento de onda, os dois seriam diretamente proporcionais um ao outro. Planck expressou essa relação por meio de sua hoje famosa equação:

$$E=hf$$

Um corpo negro é um objeto teórico que absorve todas as frequências da luz; por isso, quando aquecido, deveria irradiar todas as frequências da luz. Havia, contudo, um problema com a teoria do corpo negro. O número de diferentes frequências na faixa de alta frequência é maior que na baixa frequência. Se um corpo negro irradiasse igualmente todas as frequências de radiação eletromagnética, praticamente toda a energia seria irradiada na faixa de alta frequência. Essa situação teórica foi chamada de a catástrofe ultravioleta porque a mais alta frequência de irradiação no espectro da luz visível é violeta e por consequência, teoricamente, um corpo negro aquecido deveria irradiar unicamente ondas luminosas ultravioleta.

A teoria quântica descoberta por Planck levantou uma série de questões muito gerais. Um deles se refere à essência da matéria ou, mais exatamente, à velha questão dos filósofos gregos de como é possível reduzir a princípios simples a variedade e a multiplicidade dos fenômenos que envolvem a matéria e assim torná-los inteligíveis. O outro diz respeito a um problema epistemológico que, desde Kant, em particular, foi suscitado repetidas vezes: até onde é possível objetivar as nossas observações da natureza – ou a nossa experiência sensorial em geral – ou seja, determinar, a partir dos fenômenos observados, um processo objetivo independente do observador. Kant falou da “coisa em si”. Mais tarde foi muitas vezes acusado, mesmo do ponto de vista filosófico, de inconsistência neste conceito da “coisa em si” em sua filosofia. Na teoria quântica, o problema do fundo objetivo dos fenômenos surgiu numa forma nova e muito surpreendente. Tal questão pode, por conseguinte, ser também retomada a partir das ciências naturais modernas.

A lei de radiação de Planck difere de modo bem característico das leis da natureza previamente formuladas. Embora as leis anteriores da natureza, por exemplo, a mecânica newtoniana, contivesse as chamadas constantes, essas constantes se referiam às propriedades dos objetos, por exemplo, à sua massa ou à intensidade da força que atua entre dois corpos ou algo semelhante. Por outro lado, o quantum de ação de Planck, que é a constante característica na sua lei de radiação, não representa propriedades de objetos, mas a propriedade da natureza. Estabelece uma escala na natureza e demonstra ao mesmo tempo que, sob condições onde os efeitos são muito grandes em comparação com o quantum de ação de Planck (como ocorre em todos os fenômenos da vida cotidiana), os fenômenos naturais tomam um caminho diferente em relação aos casos em que os efeitos são da ordem do tamanho atômico, ou seja do quantum de Planck. Enquanto as leis da física anterior, por exemplo, da mecânica newtoniana, seriam no fundamental igualmente válidas para todas as ordens de grandeza(o movimento da lua em torno da terra deve obedecer às mesmas leis que a queda de uma maçã da árvore ou o desvio de uma partícula alfa que rasa o núcleo de um átomo), a lei de radiação de Planck prova pela primeira vez que há escalas na natureza e que fenômenos em diferentes graus de grandeza não são necessariamente do mesmo tipo.

4. CONCLUSÕES

HEISENBERG afirma que a descoberta de PLANCK suscitou “uma série de questões muito gerais, concernentes não só a problemas estritamente físicos, como também relacionados ao método das ciências naturais exatas e à natureza da matéria”.

A descoberta de PLANCK estava em desacordo com aquilo que era afirmado como certo pela física clássica. Pensou-se em certo momento “que a descontinuidade, assim como a existência do átomo, poderiam ser manifestações conjuntas de uma lei fundamental da natureza, de uma estrutura matemática na natureza, e que a sua formulação poderia conduzir a uma compreensão unificada da estrutura da matéria, que os filósofos gregos haviam procurado”.

Mas a lei da radiação de PLANCK mostra que existem “escalas na natureza e que fenômenos em diferentes graus de grandeza não são necessariamente do mesmo tipo”. E é a constante de PLANCK que estabelece esta escala.

O quantum de ação de PLANCK era difícil de ser explicado e/ou compreendido. EINSTEIN em 1918 escreveu um artigo que levava a crer que as leis da teoria quântica estavam relacionadas a previsões estatísticas. Primeiramente foi dito que as leis da natureza determinam a ocorrência de um evento. O que não era de todo exata. Em seguida foi interpretado como “a probabilidade de um evento verificar-se, e que a probabilidade deve estar ligada a um campo de onda que obedeça a uma equação matematicamente formulável”. A questão estava em compatibilizar esta interpretação estatística com a física clássica. Pois esta se baseia na “relação inequívoca entre a observação e os fenômenos físicos”, sendo assim, ela “utiliza-se da determinação inequívoca dos eventos”. Surge assim uma contradição “à situação experimental no campo atômico e à teoria quântica”.

Esta contradição é eliminada “ao se estabelecer que a determinação dos fenômenos existe apenas na medida em que são descritos com os conceitos da física clássica”.

Mas a aplicação dos conceitos são limitados pelas relações de incerteza, “essas contêm dados quantitativos sobre os limites estabelecidos para a aplicação dos conceitos clássicos”. Sendo assim em física : “se conhece os casos em que pode considerar os eventos como determinados e aqueles em que não pode”. Sendo assim : “a aplicabilidade dos conceitos e leis da mencionada física, ... a representação da realidade que serviu de base às ciências naturais exatas até a época atual da física atômica”, fica perdida.

HEISENBERG coloca que “há fenômenos objetivos que ocorrem de maneira definida no espaço e no tempo, sejam ou não observados. Na física atômica, as observações não podem mais ser objetivadas de uma maneira tão simples; isto é, não é possível referi-las a algo que se verifica objetivamente ou de modo descritível no espaço e no tempo”. Ele compara as questões objetivas que são a “representação da realidade”, com as subjetivas que “se apresentam como abstrações derivadas da matéria real da observação no verdadeiro sentido”.

As partículas elementares não podem ser descritas como a realidade verdadeira. Estas “partículas não são mais reais no mesmo sentido que os objetos da vida quotidiana, árvores ou pedras, mas se apresentam como abstrações derivadas da matéria real da observação no verdadeiro sentido”.

Quando se fala em “uma coleção de elétrons, estamos na verdade designando “que o conjunto existe apenas em nossa imaginação”. Pois “na verdade, porém, lidamos, via de regra, com um único objeto”, o próprio elétron. Analisa também o que seria uma partícula elementar nos tempos atuais. Haja visto, que até 1900 o átomo era dito como algo indivisível. Posteriormente, através de previsões teóricas ou com o uso de aceleradores de partículas verificou-se que o átomo era divisível em outras partículas.

“As partículas elementares são, pois, as formas fundamentais que a substância energia deve assumir a fim de converter-se em matéria, e tais formas básicas precisam de algum modo ser determinadas por uma lei fundamental exprimível em termos matemáticos”.

Segundo ele “a equação fundamental da matéria deverá conter, juntamente com as duas constantes, a velocidade da luz e o quantum de ação de PLANCK, de que já falamos, pelo menos uma outra constante similar de medida, já que as massas das partículas elementares, por razões puramente dimensionais, só podem provir da equação fundamental....”.

“As observações efetuadas sobre núcleos atômicos e partículas elementares sugerem que essa terceira constante de medida deveria ser representada como um comprimento universal, cuja ordem de grandeza alcançaria aproximadamente 10^{-13} cm”.

“O valor numérico dessas três constantes de medida não mais contém qualquer expressão física. O núcleo conceitual efetivo da lei fundamental deve, entretanto, ser constituído pelas propriedades matemáticas da simetria que ela representa”.

Em sua análise final afirma : “é inegável que as partículas elementares da física de hoje se ligam mais intimamente aos corpos platônicos do que aos átomos de DEMÓCRITO”.

REFERÊNCIAS

Partículas elementares e interações fundamentais Fernanda Ostermann

sobre os ombros de gigantes alexandre cherman

Física moderna Tipler e Llewellyn

Ivan s. Oliveira : centro brasileiro de pesquisas físicas

O ano miraculoso de Einstein – John Stachel

Problemas da física moderna – editora perspectiva coleção debates

Gigantes da física uma história da física moderna – Richard Brennan

O credo de Planck - Henrique Fleming

Física e Filosofia – Werner Heisenberg