

Química: Uma História Volátil
A ordem dos elementos (Episódio 2)

(00:00) Em 1869, um químico russo, de cabelo desgrenhado, teve uma visão extraordinária. Ele lutava com um mistério que aturdiu os cientistas há gerações. E, pela primeira vez, ele vislumbrou os elementos estruturais da natureza, os elementos, dispostos em sua ordem natural. Seu nome era **Dimitri Mendeleev**, e ele estava prestes a decifrar o código secreto do cosmos, o que se tornaria uma das mais belas criações do homem, a tabela periódica dos elementos.

Essa é a história desses elementos, os elementos estruturais que compõem o Universo. A história notável de sua descoberta e como eles se encaixam revela como o mundo moderno foi feito. Meu nome é **Jim Al-Khalili**, e desde que comecei a estudar os mistérios da matéria sou fascinado pela explosiva história da Química. Descobri alguns elementos empolgantes e vi como a Química foi forjada nas fornalhas dos alquimistas. Agora, continuarei minha jornada. Seguirei a busca dos pioneiros da Química enquanto lutavam para compreender o caos dos elementos e conquistar o nosso medo fundamental da desordem.

Haveria um grande plano oculto nos elementos? Participarei de algumas experiências voláteis, testemunharei algumas reações ardentes e descobrirei como a ordem oculta da natureza foi revelada em toda sua glória. A ordem dos elementos.

(02:35) Como físico nuclear, passei a vida estudando o mundo subatômico, os elementos estruturais básicos da matéria. Mas, para isso, preciso compreender os ingredientes do nosso mundo. Os elementos. Nosso planeta foi criado a partir de 92 elementos. A terra sobre a qual andamos, o ar que respiramos, as estrelas que observamos, até mesmo nós. Nosso corpo é inteiramente feito de elementos.

Agora sabemos o nome e número de todos os elementos que existem na natureza. Mas, há 200 anos atrás, esses elementos apenas começavam a revelar seus segredos.

(03:30) No início do **século XIX**, apenas **55 elementos** tinham sido descobertos, do mercúrio líquido, ao opaco magnésio e ao volátil iodo. Os cientistas não sabiam quantos mais poderiam achar ou se haveria um número infinito. Mas a

grande questão era como eles se encaixavam. Seriam eles astros aleatórios ou o mundo dos elementos nasceu da ordem e da lógica?

(04:14) Resolver o enigma seria um desafio assustador. E os primeiros lampejos de uma resposta vieram de uma fonte improvável. **John Dalton** era um homem inteligente e humilde e tinha uma paixão tipicamente britânica: o clima.

Ele nasceu aqui, em Lake District, em 1766. Ele era tão inteligente que, com apenas 12 anos, já ensinava outras crianças numa escola que ele criou. Ao voltar para casa, ele adorava observar os sistemas climáticos assolando as colinas. Ele era tão obcecado que manteve um diário meteorológico durante 57 anos. E, todo dia, fizesse chuva ou sol, ele registrava observações precisas: 200 mil delas.

(05:20) Dalton era um homem calmo, aposentado e de hábitos simples. Ele nunca casou, com pouca vida social. Sua única diversão era jogar bocha uma vez por semana, toda quinta-feira à tarde. Ele certamente era alguém dado aos hábitos, parecendo um pouco maçante. Mas, na verdade, Dalton era um ávido leitor e um profundo pensador. Por baixo do seu exterior pacato, sua cabeça estava repleta de ideias radicais.

(06:16) Os cientistas tinham recém descoberto algo importante sobre como os elementos se combinavam para formar compostos. Quando assim o fazem, sempre se combinam na mesma proporção. Então, Dalton sabia que o **sal de cozinha**, o **cloreto de sódio**, é sempre composto por uma parte de sódio e uma de cloro. Não importa que o sal venha de Salt Lake City ou da Sibéria. Tem sempre a mesma proporção, em massa, todas as vezes. Dalton concluiu que para isso ocorrer, cada elemento tinha de ser composto por seus próprios e exclusivos elementos estruturais, que ele chamou de "**partículas elementares**". Átomos.

(07:00) Foi uma ideia ofuscante, destoante da realidade de então. Tudo, afirmava ele, o Universo inteiro, era composto de **partículas infinitamente pequenas**. Os **gregos** haviam esbarrado na ideia de átomo 2 mil anos antes, mas a abandonaram. Agora, Dalton assumia a ideia com sua própria teoria da matéria. O que Dalton descrevia era revolucionário. Ele tinha descoberto a base da teoria atômica, renunciando pesquisa que só seria provada um século depois. Ele propôs que existiam tantos tipos de átomos quanto havia elementos. E assim como cada

elemento era diferente, o átomo de todo elemento tinha uma massa diferente. Uma **massa atômica específica**.

(08:00) Todo elemento tem sua própria massa atômica, seja ele sólido, líquido ou gasoso. Esses três balões (apresentados no vídeo) contêm gases distintos. Eles têm o mesmo tamanho, assim cada um deles deve conter o mesmo número de átomos. Dalton concluiu que **átomos distintos tinham massas atômicas diferentes**. Assim, cada um destes 3 balões deve apresentar massas distintas.

Esse balão vermelho contém **hélio**. Se eu soltá-lo, ele sobe. O hélio é muito leve. Este segundo balão contém **argônio**. Se eu soltá-lo, ele cai lentamente. O argônio é mais pesado que o hélio. Este terceiro balão contém **criptônio**. Se eu soltá-lo, ele cai como uma pedra. Então Dalton estava no caminho certo. Átomos diferentes, de elementos diferentes, têm massas diferentes.

(09:10) Baseado nesta teoria e trabalhando completamente sozinho, Dalton fez uma das **primeiras tentativas de impor ordem ao mundo desordenado dos elementos**. Este conjunto de símbolos místicos (apresentados no vídeo) é a sequência de Dalton para os elementos, ordenados pela massa.

Há alguns elementos aqui que não reconheço, mas ele começou com o **hidrogênio**, com 1. Então descemos até o **oxigênio**, com 7; e continuamos até o **mercúrio**, com 167.

(09:50) Como se sabe, **Dalton não acertou todas as massas**. Mas ele fez um grande avanço teórico trabalhando apenas com sua imaginação. Há 200 anos, John Dalton usava sua imaginação como um microscópio. Mas hoje, temos **tecnologia para ver os contornos dos átomos individuais com este microscópio de tunelamento**. Não é como um microscópio normal, pois não usa luz. Átomos têm menos de um milionésimo de um milímetro de diâmetro, menor que o comprimento de onda da luz visível. Este microscópio usa **elétrons** para analisar a **superfície** dos materiais, selecionando **átomos individuais**.

(10:36) As imagens que ele produz são impressionantes. Estes são átomos de **silício**. Estes são átomos de **carbono**. Estes são átomos de **ouro**. Estes são átomos de **cobre**.

(11:00) O **cobre** é um metal brilhante, essencial à vida. Ele fomentou a passagem da Idade da Pedra para a do Bronze. Pepitas de cobre podem ser achadas na superfície da Terra, mas ele geralmente precisa ser extraído de minérios. E compostos de cobre correm na veia de alguns animais. O sangue do polvo é azul, juntamente como o dos caracóis e aranhas.

(11:40) A ideia de John Dalton, no **início do século XIX**, de que elementos tinham massas diferentes foi rejeitada por muitos cientistas. Mas um homem acreditou nele, o químico sueco **Jons Jakob Berzelius**. Berzelius era obcecado em impor alguma ordem aos elementos. Ele estava convencido que descobrir mais sobre a massa de cada elemento era, de alguma forma, importante. E quando ele soube da teoria de Dalton, ele teve um plano ambicioso. Era uma tarefa gigantesca. Parecia quase loucura. Esse solitário químico sueco começou a **medir com precisão a massa atômica de cada elemento** e isso **sem prova de que os átomos sequer existissem**.

(12:33) Mas antes de Berzelius começar, ele teria que **purificar, diluir e filtrar** cada elemento com extrema precisão. E isso estava longe de ser simples. À época, muito **pouco da aparelhagem química** necessária a um trabalho com essa precisão tinha sido inventada. Mas isso não iria deter um homem como Berzelius. Ele estava numa missão.

(12:58) Assim, Berzelius começou a fabricar seu equipamento laboratorial. **Liam Reeves**, soprador de vidro profissional do Colégio Real de Arte irá mostrar como Berzelius fez isso. Soprar vidro exige muito fisicamente e impõe trabalho em altas temperaturas. Berzelius deve ter sido muito dedicado. (Trabalhando com o vidro em vídeo) Agora vou tirar o vidro, que está a cerca de 1000°C. Estou usando um bloco de madeira para esfriar e moldar o vidro. Estou fazendo um balão de fundo redondo. É parte de um equipamento básico de Química que Berzelius teria usado.

Agora, vou inserir um pouco de ar que introduzirei no tudo e o calor o fará expandir. Quão difícil teria sido para Berzelius aprender isso? São necessários 12 anos para se dominar o vidro. Ele era um hábil soprador de vidro pelo que vi do trabalho dele. Ele estava fazendo uma **aparelhagem de alta precisão**. Então teria sido bem mais difícil do que fazer um vaso ou um copo. Pelas fotos do

equipamento dele, não sei como conseguiu. (Mostrando o balão pronto) Este é um balão parecido com o que Berzelius fabricou.

(15:00) Soprar vidro não é algo que um físico teórico como eu normalmente faz. Mas quero descobrir por mim mesmo o quão difícil é dominar esta nova habilidade. (Vidro quebra dentro do forno) Isso mostra o quanto isto é difícil, por isso são necessários 12 anos. Lá está meu frasco morrendo lentamente, derretendo. Isso prova o quão talentoso era Berzelius, ele não fabricava algo como isso, fabricava materiais complicados. E, embora tivesse pesquisando a ordem dos elementos, houve um bônus. O importante sobre Berzelius foi que as **habilidades aprendidas como soprador de vidro** levaram-no a uma descoberta incrível: em **1824** ele descobriu um novo elemento. Descobriu que um dos componentes do vidro era o **silício**.

(16:20) O **silício** é um elemento semi-metálico, achado no interior de alguns meteoritos. Bem perto de nós, sob os nossos pés. A crosta terrestre é composta principalmente de silicatos. O silício é o segundo elemento mais abundante, após o oxigênio. É principalmente achado na natureza sob a forma de areia ou quartzo. Seus compostos artificiais podem ser resistentes ao calor, resistentes à água e não aderentes. Mas o grande feito do silício é o chip de silício, encolhendo os computadores do tamanho da sala ao da palma da mão.

(17:13) O **silício** foi o último dos quatro elementos que Berzelius isolou, juntamente com o **tório**, o **cério** e o **selênio**. Ele passou a década seguinte da sua vida medindo uma massa atômica atrás da outra, numa busca obsessiva de lógica diante do caos **aparentemente** aleatório da natureza.

(17:35) Berzelius estudou laboriosamente mais de **2000 compostos químicos** com dedicação impressionante. Ele pesou, mediu e agonizou sobre os mais ínfimos detalhes até que ele descobriu as **massas** relativas de **45 elementos diferentes**. Alguns dos seus resultados foram extremamente precisos. Sua massa para o cloro, um gás, ficou dentro de 1/5 de 1% do que conhecemos hoje. Mas, à época que Berzelius produziu seus resultados, outros cientistas começavam a medir as massas atômicas e chegavam a respostas completamente diversas. Agora, eles competiam uns contra os outros, talvez fomentados pelo desejo inato de descobrir o sentido na desordem.

(18:33) A busca de Berzelius atrás de ordem era contagiante. Os cientistas procuravam por padrões em toda parte. Um deles foi o químico alemão **Johann Wolfgang Dobereiner**. Ele acreditava que a resposta **não estava na massa atômica**, mas nas **propriedades e reações químicas dos elementos**.

(19:00) **Dr. Andrea Sella** estudou o trabalho de Dobereiner sobre grupos químicos. Dobereiner observou que se considerássemos todos os elementos conhecidos até então poderíamos selecionar três, "**tríades**", como ele os chamava, que tinham **propriedades químicas bem próximas**. Como, por exemplo, temos aqui os metais alcalinos. Pegarei o primeiro e o mais leve deles, o **lítio**. Temos de armazená-lo sob óleo pois tendem a **reagir com ar e umidade**. Aqui vai o lítio. Nós o colocamos. Veja, está efervescendo. A efervescência é **hidrogênio**, gás inflamável, sendo liberado. Ao mesmo tempo, deixando um rastro rosa. Pusemos um pouco de indicador ali dentro que nos diz que o que está sendo deixado é cáustico. Está produzindo uma solução alcalina. Temos um pouco de vapor sendo liberado e a reação é muito **exotérmica**. Ou seja, a temperatura sobe muito e o metal derrete.

(20:09) O segundo metal, nesta tríade, é o **sódio**. E quando introduzimos ele, veja só: lampejos de luz! Faíscas alaranjadas. E essas faíscas têm a mesma cor das luzes dos postes. As luzes dos postes contêm sódio. O terceiro nesta série é o **potássio**. O potássio é o mais instável. Talvez precisemos nos afastar. Veja estes clarões. Podemos ver uma chama lilás. Alguém poderia ver tendências nessas tríades, fazem a mesma coisa. A efervescência revela que o **hidrogênio** foi liberado. A solução alcalina está sendo formada. O lítio foi relativamente calmo, o sódio foi mais reagente, o potássio mais assustador.

(21:02) Dobereiner percebeu que esses elementos deveriam pertencer a uma família, pois eles **reagiam de forma similar**. Aí estava um **indício de um padrão**. Mas isso só funcionava com alguns dos elementos. Não levou os cientistas além daquilo que a massa atômica havia feito. O panorama geral, a ordem de todos os elementos, ainda era difícil de se ver. E isso não mudaria até uma descoberta feita por uma das maiores mentes da ciência do século XIX.

(21:37) Em 1848, no extremo oeste da Sibéria, um grande incêndio destruiu uma fábrica. A gerente da fábrica enfrentou a miséria. Ela era uma viúva, **Maria**

Mendeleeva e ela fez um sacrifício notável por seu filho de inteligência precoce, **Dimitri Mendeleev** de 14 anos. Maria conhecia bem a inteligência do filho e com uma determinação de aço ela buscou educação para ele. Assim, junto com Dimitri, ela partiu numa viagem de 2000 km da Sibéria a São Petersburgo e, inacreditavelmente, eles andaram por boa parte desse percurso.

(22:30) Seguirei seus passos a São Petersburgo, a capital do Império Russo à época. Após a árdua viagem pelas estepes russas, mãe e filho finalmente chegaram a São Petersburgo. Maria Mendeleeva conseguiu o que desejava, mas o esforço a destruiu. Ela morreu 10 semanas após. Segundo a história, suas últimas palavras ao filho foram: "**Abstenha-se das ilusões e procure as verdades divina e científica**". E o jovem Mendeleev prometeu obedecer. Ele estudou noite e dia para realizar o sonho de sua mãe e se tornou o mais brilhante estudante de Química de sua geração.

(23:29) A Química tinha evoluído muito desde a **ideia grega dos 4 elementos**: terra, água, fogo e ar. Mas ainda não havia ordem para os **63 elementos** descobertos até então. Agora, a busca por um padrão assolava algumas das melhores mentes da ciência, mas nenhuma concordava em como achá-lo.

(23:53) Mendeleev ainda era um estudante quando compareceu à primeira **Conferência Internacional de Química**. Os químicos mundiais se reuniam para resolver a disputa que impedia o avanço de sua ciência, a confusão sobre as massas atômicas. Mendeleev viu quando o químico siciliano **Stanislao Cannizzaro** roubou o show. Cannizzaro ainda estava convencido que a massa atômica guardava o segredo dos elementos e ele propunha uma inovação maravilhosa, uma nova forma confiável de calculá-la. Ele sabia que **volumes idênticos de gases continham mesmo número de moléculas**. Assim, ao invés de trabalhar com líquidos e sólidos, sua descoberta usava a **densidade de gases e vapores para medir a massa atômica de átomos individuais**.

(24:47) Cannizzaro deu uma palestra na qual apresentou nova evidência que conquistou os químicos presentes. Enquanto o trabalho de **Berzelius havia fracassado** em convencer a todos, o novo método de Cannizzaro estabelecia o consenso. Finalmente, os químicos tinham um meio de **medir as massas atômicas com precisão**. Era o momento pelo qual todos esperavam.

Certamente, com massas atômicas precisas, agora eles seriam capazes de relevar o mistério dos elementos. Um químico escreveu "**Foi como se meus olhos descansassem e a dúvida fosse substituída por uma clareza serena**". Havia um agito no ar. Finalmente, parecia que a ordem dos elementos estava dentro do alcance da ciência. Mendeleev ficou empolgado.

(25:44) Mas os químicos logo descobriram que **mesmos dispostos por ordem de massa atômica, os elementos pareciam assistemáticos**. Ainda lhes faltava algo vital. Então, em **1863**, um solitário químico inglês chamado **John Newlands** fez uma descoberta incomum. Newlands percebeu que, quando os elementos eram dispostos pela massa atômica algo muito estranho ocorria. Imagine que cada elemento é como a tecla de um piano, disposto por sua massa atômica. Então esta (tocando o piano) seria o carbono, seguida por nitrogênio, oxigênio, flúor, sódio, magnésio, alumínio e finalmente silício.

Ao pensar os elementos como uma escala musical, Newlands concluiu que cada oitava, **a cada oito notas, certas propriedades pareciam se repetir**, harmonizar. Ela batizou de "**lei das oitavas**". Foi a primeira tentativa real de descobrir uma lei da natureza que englobasse todos os elementos químicos conhecidos.

(27:00) Newlands orgulhosamente apresentou sua ideia para os melhores da Sociedade Química, em **1866**. Era seu grande momento. Mas sua analogia musical não produziu impacto. Eles não conseguiram entender sua teoria. Os químicos presentes **disseram que a ideia de Newlands era ridícula**, que ele podia muito bem ter disposto os elementos alfabeticamente pelo que sua teoria propunha. Talvez até mesmo sugeriram, com um certo sarcasmo, que Newlands poderia extrair música de seus elementos. Deve ter sido um golpe devastador para Newlands.

(27:44) Mas será que John Newlands estava no caminho certo com sua curiosa lei das oitavas? É um conceito tão estranho que cada elemento da oitava irá agir de forma similar. Não surpreende que tenham achado louca a ideia de Newlands. Aqui estão oito elementos, por ordem de sua massa atômica, e **irei explorar suas propriedades, cheirando-as**.

(28:19) O primeiro elemento é o **cloro**. É um gás amarelo-esverdeado altamente tóxico. Se eu der uma cheirada... Odor característico de alvejante. O segundo é o **potássio**. Não apresenta nenhum odor. E sigo cheirando os próximos cinco elementos, **cálcio, gálio, germânio, arsênio** - não são tóxicos para inalar na sua forma pura - e **selênio**, não tem odor. Finalmente, o oitavo, o **bromo**. É um gás parecido com o cloro, avermelhado e altamente tóxico. Serei cauteloso, pois não recomendo que tentem isso em casa. (Cheirando) Cheira como o cloro, só que pior, bem mais forte.

(29:10) A lei das oitavas de Newlands funcionou aqui, pois o oitavo elemento, o bromo, tem propriedades similares ao primeiro, o cloro. **Hoje, conhecemos a lei das oitavas de Newlands como a lei da periodicidade**. Mas, à época, o **meio científico zombou**. E Newlands nunca superou o golpe. O caminho estava livre para Dimitri Mendeleev, que pensava no mesmo sentido.

(29:45) Estou a caminho da Universidade de São Petersburgo para encontrar o homem que irá me mostrar onde Mendeleev trabalhou. (Indo ao museu com um professor especialista) O professor **Eugene Babaev** é especialista em Mendeleev, tendo estudado sua obra durante vários anos. Ele irá me levar ao apartamento de Mendeleev, preservado como era durante os últimos anos de sua vida. Esta é uma grande honra, normalmente não permitem que entrem no escritório de Mendeleev.

(30:40) Mendeleev se trancava nessa sala para pensar sobre os elementos. Este se tornaria o berço de uma das maiores conquistas da ciência: a tabela periódica. Adoro esta foto dele, de 1869. Era assim que ele estava quando surgiu com a tabela periódica. E estes são os livros dele, são os livros escritos por ele. Se olhar a biblioteca dele, ficará surpreso, pois cerca de **10% dos livros** são dedicados à **Química e à Física**, mas o restante é **Economia, Tecnologia, Geografia** e outras áreas. Ele era um estudioso. Sua segunda esposa era pintora, e este quadro aqui, dele, é obra dela.

(31:46) Mendeleev tinha tamanha **curiosidade** intelectual que ficou conhecido como o Leonardo da Vinci russo. Estes relógios pararam no instante de sua morte, em **1907**. Parece que o tempo parou nesta sala por mais de um século. Agora que vi o local de estudo onde Mendeleev analisava os elementos, quero saber exatamente como ele criou sua obra-prima, a tabela periódica.

(32:30) Em **1869**, Mendeleev já tentava achar um padrão para os elementos há **uma década**. Qualquer ordem que ele e os químicos mundiais tentavam impor, ainda havia elementos que não se encaixavam. Uma teoria universal parecia impossível. Mas agora Mendeleev esbarrava numa nova ideia. Ele criou um **baralho de cartas e anotou o elemento e a sua massa atômica** em cada uma delas. Por mais estranho que pareça, assim começou o **jogo de cartas** mais memorável da história da ciência. Ele o batizou de "**paciência química**" e começou pondo as cartas para ver onde havia um padrão, se tudo se encaixava.

Anteriormente, os químicos agrupavam os elementos em uma das duas formas: ou pelas suas **propriedades** (como aqueles que reagem fortemente com a água) ou agrupando-os pela sua **massa atômica** (que foi o que Berzelius e Cannizzaro fizeram). O grande gênio de **Mendeleev iria combinar esses dois métodos**.

(33:50) As chances estavam contra ele. Pouco mais da metade dos elementos que hoje conhecemos tinha sido descoberta, então ele **jogava com um baralho incompleto**. Ele ficou sem dormir durante 3 dias e 3 noites, apenas analisando o problema. Então, no dia 17 de fevereiro, com uma nevasca assolando lá fora, ele decidiu ficar em casa. Ele estava exausto e finalmente cochilou. Conta a história que ele teve um **sonho** extraordinário, ele viu quase todos os **63 elementos** conhecidos dispostos numa grande tabela que os relacionava. Foi uma descoberta incrível. Imagino Mendeleev se sentindo como tantos outros pioneiros da ciência. Sua determinação, até mesmo desespero, para solucionar um enigma e depois o momento da revelação.

(35:00) Mendeleev revelou uma verdade profunda da natureza do nosso mundo, que há um padrão numérico oculto na estrutura da matéria. Esta é a tabela periódica como a conhecemos hoje. Ela se baseia na descoberta de Mendeleev e decodifica e explica os elementos estruturais do mundo. Embora ela nos seja familiar e esteja na parede de todo laboratório de Química de todas as escolas do mundo, se olharmos para ela, ela inspira admiração.

(35:40) O que é tão admirável é que ela revela as **relações entre cada e todos os elementos na ordem**. Mendeleev combinou brilhantemente as massas atômicas e as propriedades dos elementos numa compreensão universal de todos os elementos. Lendo-a horizontalmente, a massa atômica aumenta gradualmente a

cada elemento. Mas, ao lê-la verticalmente, os elementos estão agrupados em famílias de **propriedades similares**. Deste lado estão os metais alcalinos, do lítio ao céσιο. Na outra extremidade, estão os halogênios, como os tóxicos cloro, bromo e iodo: todos altamente reativos. Ao lado deles, em cima, estão os elementos importantes para a vida: carbono, nitrogênio e oxigênio: todos não-metais. Mas, no centro, em uma vasta faixa, estão todos os metais e há quatro vezes mais metais do que não-metais. Tudo está ordenado. É uma paisagem química. Um mapa perfeito da geografia dos elementos.

(36:52) Curiosamente, **a tabela periódica nem sempre foi assim**. O professor Babaev está disposto a me mostrar a cópia do primeiro manuscrito de Mendeleev. Este é o primeiro esboço da tabela periódica de Mendeleev. Dá pra ver a data, 17 de fevereiro de 1869. É a letra dele, dá pra ver os rabiscos, sentir seu processo de pensamento. Há alguns elementos conhecidos aqui: vejo hidrogênio, o elemento mais leve; até o chumbo. Podemos ver alguns grupos conhecidos, como os metais alcalinos, os halogênios. Tem lítio, sódio, potássio. Não se parece com a tabela periódica que eu conheço, é **completamente diferente**. Mendeleev levou 2 anos para apresentá-la na forma moderna. Mas é impressionante que esta seja **a base da tabela periódica moderna**. Ela começou aqui.

(37:50) O primeiro esboço de Mendeleev não era perfeito. Para fazer com que sua tabela funcionasse, ele tinha de fazer algo impressionante. Ele tinha de **deixar espaços para os elementos ainda desconhecidos**. Esta é uma cópia do primeiro esboço publicado da tabela periódica e estas interrogações são onde Mendeleev deixou os espaços. Ele estava tão confiante em seu modelo que **não forjou os resultados**. Assim, onde o modelo não funcionava, ele deixou espaços para os elementos que ainda seriam descobertos. Por exemplo, esta interrogação aqui, ele previu que era um metal um pouco mais pesado que o seu vizinho cálcio. E aqui mais dois metais. Um, ele previu que teria cor cinza escuro e o outro teria ponto de fusão baixo. Mendeleev teve a audácia de acreditar que, com o tempo, provariam que ele estava certo.

(38:50) É como se Mendeleev fosse um profeta químico, prevendo o futuro numa interpretação visionária das leis da matéria. Mas antes que ele pudesse reivindicar a glória, suas lacunas precisavam ser explicadas e uma nova forma de detectar

elementos foi criada em 1859, graças a **Gustav Kirchhoff** e seu colega, o homem que criou o bico de Bunsen.

(39:30) **Robert Bunsen** foi um intrépido experimentador. Vejam sua dedicação. Ele perdeu o olho direito numa explosão no laboratório. Ele sabia que quando elementos distintos queimavam do seu bico de Bunsen, cores maravilhosas eram produzidas. Esta aqui é a do cobre (verde). Esta contém estrôncio (avermelhada) e está, potássio (azulada).

(40:05) Bunsen questionava se cada elemento teria uma cor exclusiva e assim ele e Kirchhoff começaram a trabalhar. Kirchhoff sabia que quando uma **luz branca atravessa um prisma**, ela é dividida em todas as cores do espectro... todas as cores do arco-íris: do vermelho ao amarelo, azul e violeta. E ele criou isto: é chamado **espectroscópio**. Contém um prisma no centro com dois telescópios de cada lado. Bunsen e Kirchhoff trabalharam juntos para **analisar materiais diferentes** usando o seu novo aparelho. Eles pegaram um composto contendo **sódio**. Se eu o aquecer no bico de Bunsen, a luz do sódio atravessa o primeiro telescópio e é dividida pelo prisma em suas **linhas espectrais**. Elas então atravessam o segundo telescópio e se eu olhar... isso, posso ver as **duas linhas alaranjadas** que são o espectro exclusivo do sódio. **Nenhum outro elemento produz esse padrão**. Usando esta técnica, eles descobriram dois novos elementos: o *ouro prateado* do **césio** e o **rubídio**, assim batizado devido ao vermelho-rubi do seu espectro.

(41:35) Essa mesma técnica foi usada para **testar se as lacunas previstas por Mendeleev estavam corretas**. Ele descreveu em detalhes um elemento desconhecido que se seguia ao alumínio na tabela periódica. Ele previu que seria um metal prateado com massa atômica 68. Então, em 1875, um químico francês usou um **espectroscópio** para identificar tal elemento, o **gálio**.

(42:10) O **gálio** é um belo metal branco prateado, relativamente macio. Embora Mendeleev tenha previsto sua existência, ele foi descoberto pelo químico parisiense **Paul Emile Lecoq de Boisbaudran**. O gálio tem um ponto de fusão muito baixo e um ponto de ebulição de 2204°C, sendo líquido sob uma ampla gama de temperaturas que qualquer outra substância conhecida. O gálio é usado para fabricar semicondutores. É encontrado em diodos emissores de luz, LEDs. Um dos

compostos do gálio mostrou ser eficaz em combater variantes da malária resistentes à drogas.

(43:08) Mas embora Mendeleev tivesse deixado espaços para outros elementos, sua **tabela não estava completa**. Houve um grupo que enganou completamente toda uma nova família de elementos. A história de sua descoberta começou com uma pesquisa por outro mundo, por um elemento extraterrestre. Em agosto de 1868, um eclipse total do Sol, na Índia, foi o momento pelo qual esperava o astrônomo francês **Pierre Janssen**. Ele sabia que era possível usar um **espectroscópio** para identificar alguns elementos na **luz solar**. Mas a intensidade da luz solar significava que muitos elementos estavam escondidos. Janssen esperava poder ver mais durante um eclipse total, quando o Sol era menos ofuscante. Quando Janssen estudava o eclipse, ele descobriu uma cor nunca vista. Ele estava diante de um elemento desconhecido. A mesma linha espectral foi confirmada por outro astrônomo, **Norman Lockyer**. Ele batizou de hélio, o deus grego do Sol, pois pensou que ele só existia no Sol.

(44:45) Surge o químico escocês, **William Ramsay**, que vinculou o hélio extraterrestre à Terra. Ramsay fazia experiências com uma **rocha radioativa** chamada cleiveita. Ao **dissolver** a rocha em ácido, ele obteve um gás com massa atômica 4 e o mesmo traço espectral visto por Lockyer, o hélio.

(45:10) O **hélio** é o segundo elemento mais abundante no Universo, após o hidrogênio. Foi um dos elementos produzidos após o "Big Bang". Hélio líquido é usado para resfriar magnetos supercondutores para os aparelhos de ressonância magnética. Os mergulhadores de águas profundas dependem do hélio para combater os efeitos entorpecentes no cérebro do aumento da absorção do nitrogênio. E foi ingrediente vital na corrida espacial, usado para esfriar hidrogênio e oxigênio para motores de foguetes.

(45:50) Antes de descobrir hélio na Terra, William Ramsay já havia isolado um novo gás do ar, o **argônio**, com massa atômica 40. Agora, Ramsay enfrentava um enigma. Ele notou que os **novos elementos não se encaixavam na tabela periódica** e sugeriu que **havia um grupo faltando**. Assim, começou sua pesquisa; descobriu mais 3 gases, que batizou de **neônio** ("novo", em grego), **criptônio** (significando "oculto") e **xenônio** ("estranho"). O grupo ficou

conhecido como **gases nobres**, pois eram pouco reativos e pareciam incomparáveis. Esta família de gases completava as linhas da tabela periódica.

(46:46) Mendeleev podia não conhecer esses elementos elusivos, mas ele estabeleceu a ideia das relações elementares e assim ele se certificou que houvesse um lugar em sua tabela para cada novo elemento - não importava quando fosse descoberto. **A tabela periódica é um exemplo clássico do método científico em ação.** A partir de um conjunto de informações, Mendeleev descobriu um padrão. Isso o levou a fazer previsões que poderiam ser testadas por experiências futuras, mostrando o caminho para os cientistas do século XX provarem que ele e sua teoria estavam certos.

(47:36) À época de sua morte, aos 72 anos, ele era um herói na Rússia e um super-herói no mundo da ciência. Sua tabela periódica foi imortalizada em pedra no centro de São Petersburgo e acabou tendo um elemento batizado com seu nome, o mendelévio. Assim como uma cratera, a Cratera Mendeleev, no lado escuro da Lua, prestando tributo ao homem que veio da desolada Sibéria para se tornar o cartógrafo definitivo dos elementos.

(48:26) A tabela periódica finalmente criou ordem no caos. Mas **ela não nos diz nada sobre o porquê do nosso mundo ser assim**, por que alguns elementos são ativos, outros são lentos, alguns inertes, outros voláteis. Seriam **necessários outros 40 anos** para que uma área completamente diferente da ciência surgisse com uma resposta.

(48:53) Em 1909, **Enerst Rutherford** observou dentro do átomo pela primeira vez. Rutherford **propôs** que a estrutura do átomo era uma **miniatura do sistema solar**, um espaço vazio com alguns poucos **elétrons orbitando aleatoriamente ao redor de um núcleo** denso, carregado positivamente.

(49:18) Mas foi apenas com **Niels Bohr**, outrora goleiro da equipe dinamarquesa e futuro ganhador do Nobel de Física, que as coisas avançaram. Ele sugeriu que **elétrons orbitavam** ao redor do núcleo em **camadas fixas**. E foi a ideia dele que levou à descoberta que essas camadas só podiam acomodar determinado número de elétrons.

(49:45) Imaginem que este **campo de futebol seja um átomo**, o único átomo de um elemento. Este é o núcleo (bola de futebol). Se este núcleo estivesse na escala, meus elétrons mais próximos estariam além das arquibancadas, por isso a reduzi.

Aqui, na camada mais próxima ao núcleo, só poderia haver 2 elétrons, então ela se preenche. Aqui, na segunda camada, pode haver 8 elétrons, então ela também fica preenchida. A terceira camada se contenta com 18 elétrons, e por aí vai. As camadas mais externas podem acomodar um crescente número de elétrons. Os elétrons se localizam em camadas discretas, nunca no meio delas.

(50:38) **A teoria de Bohr explicaria por que os elementos agem como o fazem.** Tudo tinha a ver com o número de elétrons na camada mais externa. Por exemplo, o modelo de Bohr mostrava o sódio com 11 elétrons: 2 aqui, 8 aqui e apenas 1 na camada mais externa.

O flúor tem 9: 2 aqui e 7 na sua camada mais externa. **Para serem completamente estáveis, os átomos têm que ter a camada mais cheia de elétrons.** Assim, um átomo de sódio teria que perder um elétron para ter a camada mais externa totalmente preenchida, enquanto o átomo de flúor tem déficit na camada mais externa. Assim, ganhando um elétron poderia completá-la. Dessa forma, um átomo de sódio e um átomo de flúor podiam se juntar trocando um elétron, formando fluoreto de sódio.

(51:32) O trabalho de **Bohr e de muitos outros cientistas** no começo do **século XX** levaram à explicação de todos os elementos e compostos, **por que alguns elementos reagem para formar compostos, e por que outros não, por que os elementos tinham certas propriedades** e, em decorrência, explicava **por que a tabela periódica tinha essa forma.**

(51:55) Mendeleev conseguiu revelar um padrão universal, sem entender por que ele deveria ser assim. Para achar a resposta, os físicos tiveram de mergulhar no mundo subatômico que Mendeleev desconhecia. Esse trabalho foi nada menos que um triunfo. Até Albert Einstein ficou impressionado. Ele escreveu: "**É a mais alta forma de musicalidade na esfera do pensamento**".

(52:25) Mas ainda havia uma questão fundamental a ser respondida: **quantos elementos existem?** Haveria um **número infinito** entre o hidrogênio, com a menor massa atômica, e o urânio, o elemento mais pesado conhecido? No início do século XX, um jovem e brilhante físico inglês, **Henry Moseley**, estava determinado a descobrir. Ele especulava que o **segredo estava dentro do núcleo**, no centro de cada átomo. Moseley desenvolveu um **jeito único de estudar os átomos**. Hoje, os cientistas ainda usam uma técnica similar, embora este **espectrômetro de raio-X** seja um pouco diferente daquele que Moseley usou. Um dos elementos que ele estudou foi o cobre e há um pequeno pedaço de cobre aqui dentro (mostrando folha de cobre e apontando pro aparelho).

(53:19) Atrás dele, está uma fonte radioativa que dispara alta energia radioativa nos átomos de cobre. Moseley sabia que o **núcleo do átomo continha partículas** carregadas positivamente, que chamamos de **prótons**. Ele também sabia que ao redor do núcleo haviam **elétrons**, carregados negativamente. A **radiação disparada no cobre** atingia alguns dos **elétrons dos átomos** e isso tinha o efeito de fazer os átomos liberarem uma explosão de energia. Um raio-X. E Moseley descobriu um jeito de medi-la. Ele fez uma descoberta surpreendente. Ele descobriu que os átomos de cobre **sempre liberavam a mesma quantidade de energia**.

(54:00) Neste gráfico, ela é mostrada nestes picos. E não importa quantas vezes eu repita este experimento, **sempre obterei os picos na mesma posição**. É único do cobre. Moseley também fez experimentos com outros elementos e dentro desta amostra há vários outros. Se eu mover ao próximo, que é o rubídio, e executar de novo, obtenho um outro pico numa posição diferente. Se mover ao próximo elemento, o molibdênio, um terceiro pico numa nova posição. **Cada elemento tem sua própria assinatura de energia**.

(54:39) Mas seu brilhantismo foi perceber que isso está **relacionado ao número de prótons**. Moseley foi a **primeira pessoa a medir o número de prótons no núcleo de um elemento**. O **número atômico**.

(54:54) Números atômicos são **números inteiros**. Assim, diferente da massa atômica, não pode haver qualquer fracionamento. Por exemplo, o cloro tem massa atômica que tem fracionamento inconveniente 35,5 mas número atômico 17. Então

Moseley percebeu que é o número atômico, não sua massa atômica, que determina o número e a ordem dos elementos. E é aí que as coisas ficam interessantes. Como o número atômico aumenta em números inteiros, **não pode haver elementos extras entre elemento número 1, o hidrogênio, e o 92, o urânio.** 92 elementos são tudo o que há. Não há mais espaço.

(55:38) Assim, Henry Moseley construiu a base que nos permite dizer, com certeza absoluta, que há 92 elementos, do hidrogênio até o urânio. Moseley tinha apenas 26 anos quando concluiu sua pesquisa, mas seu gênio foi perdido praticamente cedo. Com a eclosão da **1ª Guerra Mundial**, ele se ofereceu para lutar. Apesar de que, como cientista, ele poderia ter evitado o alistamento. Ele **morreu em combate**, aos 27 anos, **baleado na cabeça por um atirador.**

Um colega escreveu "**Tendo em vista o que ele ainda poderia ter feito, sua morte foi a perda individual mais cara da guerra para a humanidade**".

(56:40) A **tabela periódica** é uma **fusão maravilhosa de Química e Física**. Mendeleev e os **químicos** trabalharam a partir do exterior, com as **propriedades químicas** de cada elemento e os **físicos** trabalharam a partir do **interior com o mundo invisível do átomo**. Mas todos chegaram ao mesmo ponto. A concepção ordenada da natureza finalmente tinha sido explicada num padrão de pura beleza intelectual. Assim, uma era que tinha começado com cientistas tateando rumo à compreensão dos elementos estruturais básicos do nosso mundo terminava com esse mundo completamente classificado e claro para que todos pudessem ver. E nós nunca mais olhamos para trás.

(57:46) No próximo episódio, seguirei os passos dos químicos que trabalharam para controlar os elementos e **combiná-los em bilhões de compostos** que constituem o mundo moderno. Descobrirei como os alquimistas modernos tentam **forçar os limites da tabela periódica para criar novos elementos**. E descobrirei como o poder dos elementos foi utilizado para **liberar forças quase inimagináveis**.

Me conta se esse material foi útil pra você? ☺

www.QuimicaemPratica.com