

## **History of the Atom II: Thompson to Rutherford**

MARCELO GLEISER: The atom remained a very compelling idea, but not necessarily a real one, until close to the end of the 19th century, when many strange effects were discovered-- different types of radiation emanating out of matter, including x-rays and other kinds of radioactivity, and also the remarkable discovery that atoms are actually not invisible but made of smaller particles.

In 1897, the physicist JJ Thomson was working at his laboratory in Cambridge, England, with something that looked very much like this. You have a glass cylinder, you have a metal plate in there, and it can pass an electric current.

And what Thomson saw was this beautiful beam of light going through, so he started to study it to see what kind of properties this beam of light had. For example, he changed the electric field inside, and he realized that as he did that, the beam moved, which tells you that whatever made up the beam of light had electric charge. Then, he also used magnets to see if the beam was sensitive to magnetic fields, and clearly, as you can see, it is incredibly sensitive to magnetic fields.

He then performed other experiments that led him to discover what we call the first elementary particle, the electron, a very small negatively charged particle that belongs to all the atoms in nature. And that's what marked the beginning of what we call the modern days of elementary particle physics, the search for the fundamental blocks of matter.

Suddenly, the idea that different kinds of particles with electric charges make up atoms and that these atoms combine by electric attractions to make up molecules became much more viable. The question was then "how could atoms be electrically neutral, that is, with equal amounts of positive and negative electric charge?" Since the electrons were negative, where was all this positive charge?

Thomson himself came up with the plum pudding model of the atom-- a very British idea-- where the electrons are like plums spread around this jelly of positively charged material. In Japan, on the other hand, Nagaoka suggested, instead, that atoms are like Saturn. That is, they have a big positively charged nucleus, surrounded by a ring of negatively charged electrons.

Meanwhile, in France, Pierre and Marie Curie were investigating the kinds of radiation that emanated from different chemicals and realized that there were three different kinds of radiation, which were then called alpha, beta, and gamma particles. Together, with the x-rays, they made for a very bizarre quartet of stuff coming out of matter.

During the first decades of the 20th century, all of this changed, and the confusion was clarified. It was realized that x-rays and gamma rays are just very energetic kinds of electromagnetic radiation-- that is, light of very short wavelength and high frequencies, invisible to the naked eye.

Later on, people understood that alpha particles are made of two protons and two neutrons stuck together and that beta particles are just the electrons that Thomson had discovered. Still, the

structure of the atom remained a mystery until 1911, when Ernest Rutherford started his experiments to try to answer this question.

To study the structure of the atom, Rutherford set up a brilliant experiment. He hung a paper-thin leaf of gold to be hit by a flow of alpha particles that acted like tiny little bullets. He wanted to see if the alpha particles would fly through or recoil from the collision. So he surrounded the gold foil with detectors that could see where the alpha particles had gone.

To his amazement, he found that most of the alpha particles went right through the gold foil, but some would actually recoil almost in the same direction that they hit, as if somehow they hit something incredibly hard and heavy right at the gold leaf.

Rutherford concluded that atoms are basically mostly empty space, which explains why the alpha particles would fly through but that, at the very core, they have a very massive positively charged nucleus. Rutherford called the positive electric particle at the center "protons."

This is when the simple solar system model of the atom was born, where an atom is made of a hard small positive nucleus, surrounded by little electrons that look like planets orbiting the sun. Of course, this is a very simplistic model of the atom. Still, scientists had figured out that atoms are breakable and made of tiny electrically charged particles. But they had only begun to scratch the surface.

## **História do átomo Parte II: Thompson a Rutherford**

MARCELO GLEISER: O átomo continuava uma ideia atraente, mas não necessariamente uma ideia real, até perto do fim do século XIX, quando vários efeitos estranhos foram descobertos-- diferentes tipos de radiação emanando da matéria, incluindo raios X e outros tipos de radiatividade, e também a marcante descoberta de que átomos não eram de fato invisíveis, mas feitos de partículas menores.

Em 1897, o físico JJ Thomson estava trabalhando em seu laboratório em Cambridge, Inglaterra, com algo que parecia muito com isso. Aqui tem um cilindro de vidro e dentro tem uma placa de metal que passa uma corrente elétrica.

E o que Thomson viu foi esse lindo raio de luz atravessando, então ele começou a estudar para ver que propriedades esse raio de luz tinha. Por exemplo, ele mudou o campo elétrico dentro e percebeu que, quando ele fazia isso, o raio se movia, o que mostra que o que quer que criava o raio de luz tinha uma carga elétrica. Então, ele também usou ímãs e, como você pode ver, ele viu que os raios eram incrivelmente sensíveis a campos magnéticos.

Ele então realizou outros experimentos que o levaram a descobrir o que nós chamamos de primeira partícula elementar, o elétron, uma partícula negativamente carregada muito pequena que pertence a todos os átomos da natureza. E isso iniciou o que nós chamamos "A modernidade da física de partículas elementares, a busca pelos blocos fundamentais da matéria"

Subitamente, a ideia de que diferentes tipos de partículas com cargas elétricas formavam átomos e que esses átomos combinados com atrações elétricas para criar moléculas se tornaram muito mais viáveis. A pergunta então era "como os átomos poderiam ser eletricamente neutros, isto é, com iguais quantidades de carga elétrica positiva e negativa?" Como os elétrons eram negativos, onde estava toda a carga positiva?

O próprio Thomson surgiu com o modelo do pudim de ameixa do átomo-- uma ideia muito Britânica-- onde os elétrons são como ameixas espalhas ao redor dessa geleia de material positivamente carregada. No Japão, por outro lado, Nagaoka sugeria, ao invés disso, que os átomos são como Saturno. Isto é, eles tem núcleos grandes positivamente carregados, cercados por um anel de elétrons negativamente carregados.

Enquanto isso, na França, Pierre e Marie Curie estavam investigando os tipos de radiação que emanavam de diferentes químicos e perceberam que havia três tipos diferentes de radiação, os quais foram então chamados de partículas alfa, beta e gama. Juntos, com os raios X, eles formavam um quarteto muito bizarro de coisas que saíam da matéria.

Durante as primeiras décadas do século XX, tudo isso mudou e a confusão foi clarificada. Percebeu-se que os raios X e raios gama são apenas tipos muito energéticos de radiação eletromagnética-- isto é, luz de comprimento de onda muito curto e altas frequências, invisíveis a olho nu.

Mais tarde, as pessoas entenderam que partículas alfa são feitas de dois prótons e dois nêutrons presos juntos e que partículas betas são apenas os elétrons que Thomson descobrira. Ainda assim, a estrutura do átomo permaneceu um mistério até 1911, quando Ernest Rutherford começou seus experimentos para tentar responder a essa pergunta.

Para estudar a estrutura do átomo, Rutherford organizou um brilhante experimento. Ele pendurou uma folha de ouro, fina como papel, para ser atingida por um fluxo de partículas alfa que agiam como minúsculas balas. Ele queria ver se as partículas alfa atravessariam ou ricocheteariam pela colisão. Então ele cercou a folha de ouro com detectores que poderiam ver onde as partículas alfa haviam ido.

Para sua surpresa, ele descobriu que a maioria das partículas alfa atravessavam a folha diretamente, mas algumas de fato ricocheteavam quase na mesma direção em que batiam, como se de alguma forma elas batessem em algo incrivelmente duro e pesado bem na folha de ouro.

Rutherford concluiu que os átomos são principalmente espaços vazios, o que explica o porquê das partículas alfa atravessarem mas, bem no centro, eles terem um núcleo grande e positivamente carregado. Rutherford chamou as partículas elétricas positivas no centro de "prótons".

Foi quando o modelo de sistema solar simples do átomo nasceu, no qual um átomo é feito de um núcleo positivo pequeno e duro, cercado por pequenos elétrons que parecem com planetas orbitando o sol. Claro, isso é um modelo muito simplista do átomo. Ainda assim, os cientistas haviam descoberto que os átomos são quebráveis e feitos de minúsculas partículas eletricamente carregadas. Mas eles apenas haviam começado a arranhar a superfície.