FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ENIGMA DA FÍSICA - UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA ATRAVÉS DE ATIVIDADES MNEMÔNICAS

Danielle de Matos Vitor

Fevereiro de 2019
Porto Velho/RO

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ENIGMA DA FÍSICA - UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA ATRAVÉS DE ATIVIDADES MNEMÔNICAS

Danielle de Matos Vitor

Dissertação apresentada ao curso mestrado nacional em ensino de física do Departamento de Física da Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.
Orientador: *Prof. Dr. Ariel Adorno de Sousa*

Fevereiro de 2019
Porto Velho/RO

Para todos os professores que lutam por uma educação de qualidade, aqueles que vão além de ensinar e inspiram seus alunos no caminho pelo conhecimento.

"Você não pode esperar construir um mundo melhor sem melhorar os indivíduos. Para esse fim, cada um de nós deve trabalhar por seu próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, compartilhar uma responsabilidade geral por toda a humanidade, sendo nosso dever específico ajudar aqueles a quem achamos que podemos ser mais úteis."

Marie Curie (1867-1934)

Agradecimentos

- Agradeço à Deus pela vida e a esperança;
- Aos meus pais José Edvaldo Vitor e Maria Neusa M. Vitor, e ao meu irmão Diego de Matos Vitor, pela dedicação e amor que tiveram por mim e pelo incentivo aos estudos e o apoio em cada escolha que fiz no decorrer da minha vida; ao meu amado esposo Leandro Carlos P. Barreira, pela paciência, o companherismo e o incentivo a ser melhor a cada dia;
- Ao meu Orientador Professor Drª Ariel Adorno de Sousa, pela dedicação do seu tempo, pela paciência, o incentivo e positivismo demonstrado, pois esse apoio foi fundamental para o êxito deste trabalho;
- À todos meus companheiros de curso, que sem dúvida me ensinaram muito e dividimos momentos de angústia e descontração e principalmente ao Décio Gomes e sua esposa, que me acolheram em todo o decorrer do curso com muito amor e carinho;
- Às minhas amigas Geiliani Gasparrini e Suelem Lenz, que me acompanham desde a graduação nessa corrida pelo conhecimento, agradeço a elas pelo apoio nos momentos difíceis e pelas risadas nos momentos de descontração, que tornaram desse estudo uma lembrança inesquessível e a jornada menos árdua;
- À todos os profissionais da escola estadual Ricardo Cantanhede, que abraçaram meu projeto e abriram as portas as minhas ideias, por todo apoio que me proporcionaram e a todos os alunos que participaram da pesquisa e deram o melhor durante as aulas, sem eles este trabalho não seria possível.
- À psicóloga Carina Bruch pela atenção destinada ao produto educacional, pelo apoio e o incentivo durante a produção deste trabalho;
- Ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF, pela oportunidade do curso; à Universidade Federal de Rondônia - UNIR e todos os professores que participaram da minha formação de maneira direta e indiretamente; à Sociedade Brasileira de Física - SBF, que busca melhorar o ensino de física no Brasil e a CAPES, pelo apoio financeiro.

Sumário

Agradecimentos v

Lista de Figuras ix

Resumo x

Abstract xi

1 Introdução 10

1.1 O Ensino de Física no Brasil . . . 11

1.2 A Educação Brasileira no Ranking Mundial . . . 14

2 Aprendizagem e Jogos Didáticos 17

2.1 O Que São Jogos Didáticos . . . 17

2.2 O Ensino de Física e os Jogos . . . 18

2.3 Os Jogos como Estratégia de Ensino e Aprendizagem da Física Para o Ensino Médio . . . 19

2.4 O Ensino de Física e as Perspectivas . . . 20

2.5 Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Ativa . . . 23

2.6 Aprendizagem Significativa e Jogos Didáticos . . . 25

2.7 Aprendizagem Ativa e Jogos Didáticos . . . 26

2.8 Tópicos de FMC no Ensino . . . 27

3 Conceitos de Física Moderna e Contemporânea 29

3.1 Joseph John Thomson . . . 29

3.1.1 Vida . . . 29

3.1.2 Obra . . . 29

3.2 Ernest Rutherford . . . 30

3.2.1 Vida . . . 31

3.2.2 Obra . . . 31
3.3 Max Planck . . . 34
3.3.1 Vida . . . 34
3.3.2 Obra . . . 35
3.4 Niels Bohr . . . 36
3.4.1 Vida . . . 36
3.4.2 Obra . . . 37
3.5 Albert Einstein . . . 40
3.5.1 Vida . . . 40
3.5.2 Obra . . . 41
3.6 Artur Holly Compton . . . 52
3.6.1 Vida . . . 52
3.6.2 Obra . . . 53
3.7 Louis de Broglie . . . 54
3.7.1 Vida . . . 54
3.7.2 Obra . . . 54
3.7.3 Dualidade Onda-Partícula . . . 55
3.8 Erwin Schroedinger . . . 56
3.8.1 Vida . . . 57
3.8.2 Obra . . . 58
3.9 Robert Oppenheimer . . . 61
3.9.1 Vida . . . 61
3.9.2 Obra . . . 62
3.10 Wolfgang Pauli . . . 71
3.10.1 Vida . . . 72
3.10.2 Obra . . . 73
3.11 Paul Adrien Maurice Dirac . . . 74
3.11.1 Vida . . . 74
3.11.2 Obra . . . 75
3.12 Prêmio Nobel . . . 78

4 Resultados e Discussões **88**
4.1 Formas de Aplicação Geral e Métodos de Aplicação . . . 88
4.2 Métodos de Aplicação Por Turma . . . 89
4.3 Resultados Por Turma . . . 90
4.4 Comparando os Resultados . . . 98
4.5 Os Professores . . . 101
4.6 Além da Escola . . . 102

5 Conclusão e Perspectivas Futuras **104**

Referências Bibliográficas **106**

Apêndice A - Produto Educacional **116**

5.1 Apresentação 119
5.2 Objetivos 121
5.3 Sugestão Para Aplicação do Projeto 122
5.4 Característica do Jogo 123
5.5 Regras do Jogo 124
5.6 Tipos de Jogos 125
5.7 Tópicos Desenvolvidos no Jogo 126
5.8 Avaliação do Jogo 126

Anexo 1 - Questionários e Cartas Utilizadas Para Aplicação do Produto Educacional na Escola Ricardo Cantanhede **127**

Anexo 2 - Fotos da Aplicação do Produto Educacional e Entrega Dos Jogos **157**

Lista de Figuras

1.1 Matrículas no Ensino Médio- 2016 12
1.2 Quantitativo de números de matrículas no ensino básico entre 2008-2016 . 12
1.3 Porcentagem de professores com formação adequada por disciplina 13

3.1 Modelo Atômico de J. J. Thomson 30
3.2 Modelo Atômico de Rutherford 32
3.3 Modelo Atômico de Bohr 39
3.4 Interferômetro de Michelson-Morley 44
3.5 Bomba de Urânio 69
3.6 Bomba de Plutônio 70

4.1 Dificuldade por carta. 91
4.2 Comparação dos resultados - Dificuldade por carta. 98
4.3 Comparação dos resultados - Questionário dos pesquisadores. 99
4.4 Notas das avaliações. 99
4.5 Resultado por tópicos abrangidos - Questionário de Savi et all. 100
4.6 Resultado dos professores 101
4.7 Resultado dos professores 102

5.1 Caixa de armazenamento das peças e do tabuleiro do Jogo Enigma da Física 119
5.2 Tabuleiro do Jogo Enigma da Física 120
5.3 Base de um jogo de bingo para auxílio da contagem dos pontos de cada jogador. 121
5.4 Aplicação dos jogos. 157
5.5 Aplicação e entrega do jogo à escola. 158
5.6 Entrega do jogo ao consultório de psicologia. 159

Resumo

Um dos principais focos dos professores e educadores é melhorar a qualidade do ensino em todas as áreas do conhecimento. Não muito obstante disso, professores da área de exatas vem ao longo dos anos criando métodos e usando técnicas cognitivas desde Burrhus Fredric Skinner do início do século passado a tratamentos mais humanísticos como os de David Ausubel até chegar na metodologia de Paulo Freire. No Brasil, temos como referência no ensino de Física o Professor Marco Antônio Moreira, com uma proposta muito humanista, mas ao mesmo tempo sem perder a enfoque no conteudista. Estatísticas e censos vem mostrando a degradação na qualidade do ensino por falta de investimento de políticas públicas em uma área tão sensível e tão afetada por um cuidado mais acentuado, seja ela pela desvalorização salarial à problemas estruturais físicos em sala de aula. Este trabalho vem com uma proposta de colocar o aluno como centro do sistema educacional, onde ele é o principal vetor de propagação do conhecimento, usando subsunções previamente adquiridas, aplicamos o que chamamos de produto educacional, que nada mais é do que uma proposta de um jogo didático voltado para o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), área extremamente deficitária no ensino médio da atualidade. Nesse jogo didático o nomeamos de Enigma da Física, é um jogo de tabuleiro, onde o mediador do jogo pode ser um professor ou um aluno. Com a aplicação em quatro diferentes turmas, utilizando diferentes abordagem em sua aplicação, os resultados obtidos mostram que sim, é possível chamar a atenção de alunos mesmo nas turmas consideradas indisciplinadas, basta mudar o foco da abordagem, fazendo uma adequação a realidade dos alunos, nossos principais clientes.

Palavras chaves: Jogos didáticos, Ensino de Física, Aprendizagem significativa, Enigma da Física.

Abstract

The main focus of teachers and educators is to improve the quality of teaching in all areas of knowledge. Nevertheless, the teachers of the area of exact have been doing over the years and to use cognitive techniques like Burrhus Fredric Skinner in the beginning of the century ago untill more humanistic like those of David Ausubel till arriving at the methodology of Paulo Freire. In Brazil, we have as reference in the teaching of Physics the Professor Marco Antônio Moreira with a very humanistic proposal, but at the same time without losing the focus on the content. Statistics and Census has shown a deterioration in the quality of education for lack of public investment policy in an area as sensitive and as affected by a stronger care, either by wage devaluation to physical structural problems in the classroom. This work comes with a proposal to place the student as the center of the educational system, where it is the main vector of propagation of knowledge, using previously acquired subsumption, we apply what we call an educational product, which is nothing more than a proposal of a a didactic game focused on the teaching of Modern and Contemporary Physics (MCP), an extremely deficient area in today's high school. In this didactic game we named it Enigma of Physics, it is a board game, where the mediator of the game can be a teacher or a student. With the application in four different classes, using different approach in their application, the obtained results show that yes, it is possible to draw the attention of students even in the classes considered undisciplined, it is enough to change the focus of the approach, adapting the reality of the students, our main customers.

Key Words: Educational games, Physical Education, Meaningful learning, Puzzle Physics

1 Introdução

A educação está passando por uma lenta mudança em seu percurso, o novo ensino médio a muito falado ainda se encontra longe de ser implementado em sua totalidade, e o estudo da física que pode ser destacado, desafia os professores diariamente, devido à cada dia eles se tornarem mais distantes do cotidiano do aluno. Com um ensino muitas vezes longe de ser integrador e abranger as habilidades propostas pelos documentos oficiais, o currículo de física desatualizado associado às práticas pedagógicas tradicionais, baseados apenas em equações matemáticas sem sentido, tem tornado esse ensino monótono e desinteressante. [1, 2, 3, 4, 5, 6]

A aprendizagem requer inovação, para chamar a atenção, dinamizar a aula e gerar um interesse no educando de aprender conceitos, aprender a aprender e despertar a curiosidade. Essa inovação depende em sua maior parcela dos professores, pois são eles que levam o conhecimento para sala de aula, sendo as peças principais na mudança das práticas pedagógicas e do currículo escolar.[2, 7, 8, 9]

O ensino médio é caracterizado também pelo alto índice de reprovação e evasão escolar e até em nível superior esses índices, na área científica, são surpreendentes, o que chama atenção é o fato de física ser pouco procurada nos vestibulares, tendo em vista á defasagem científica brasileira. [1, 10, 11, 12]

Nesse novo tempo em que as tecnologias da informação têm permitido aos estudantes um acesso amplo a mídias, é fundamental desenvolver estratégias de ensino que se adaptem ao novo momento. Os conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), que são fundamentais ao desenvolvimento tecnológicos muitas vezes nem são inseridos nos currículos. Se faz necessário que os professores ganhem autonomia para introduzir tópicos de FMC no ensino médio de maneira diferente dos métodos tecnicista. [3, 5, 13, 14]

Dessa forma é necessário que haja uma mudança no cenário da aula, os professores devem se posicionar criticamente em relação a forma de transferências de informação, utilizando metodologias e métodos que realmente chamem a atenção do aluno para o conteúdo que está sendo ministrado, ou serão tidos como insuficientes e suas disciplinas de desnecessárias a formação na visão que quem aprende.[2, 3, 4, 6, 8, 15]

O objetivo deste trabalho é propor a produção e utilização como Objeto de Aprendi-

zagem (OA) o jogo didático "Enigma da Física" que abrange os tópicos de FMC, como um material de apoio, que contemple a Aprendizagem Significativa e a Aprendizagem Ativa, propostas por D. Ausubel, C. Bonwel e J.Einson [16, 17].

O Objeto de Aprendizagem pode ser tratado nas aulas com o intuito de aprimorar o ensino de física aproximando as propostas metodológicas ao ambiente escolar. Outro fator relevante é a possibilidade de inserir de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio de maneira dinâmica, pois esses conteúdos são de grande relevância ao desenvolvimento do educando e geralmente são pouco abordados. [18, 19]

Entretanto, é necessário que o currículo de física seja repensado e que os professores remodelem as aulas para atrair a atenção dos alunos e gerar uma aprendizagem não apenas preparatória para o nível superior, outro sim, para a vida, o cotidiano. [4, 20]

Diante disso, esperamos atingir os objetivos pedagógicos, reduzindo o índice de reprovação e evasão escolar proveniente de dificuldades de aprendizagem, valorizando o aluno como um ser pensante e redirecionando a figura central da aprendizagem do professor para o aluno. [2, 21]

1.1 O Ensino de Física no Brasil

Segundo o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) em 2016 nosso país contou com 186,1 mil escolas de educação básica, o que correspondeu a 78,5% de toda a educação no Brasil, sendo que os 21,5% registrados, são instituições privadas. O ensino médio é oferecido em 28,3 mil escolas no Brasil deste número 68,1% das escolas de ensino médio são estaduais e 29,2% privadas. A União e os municípios participam com 1,8% e 0,9%, respectivamente. [10]

Em 2016 foram 8,1 milhões de matrículas no ensino médio, um crescimento de 0,7% com relação à 2015. O objetivo é que esse número aumente, pois a quantidade de alunos que terminam o ensino fundamental não acompanha as matrículas do ensino médio, o que evidencia uma quebra no ensino, uma parcela dos jovens evadem e não completam o ensino básico. [10]

As figuras 1.1 e 1.2 mostram as matriculas no ensino médio em 2016.Foram 2,2 milhões de docentes atuando na educação básica brasileira, mas o que chama a atenção é que apenas 77,5% tem nível superior completo, o restante são 6,5% está com o curso superior em andamento e 11,1% tem magistério completo, 4,6% o ensino médio completo, 0,2% tem o ensino fundamental completo e 0,1% o fundamental incompleto. [10, 22]

Outro fator desanimador é a falta de professores formados nas áreas tanto no ensino público como no privado, pouco mais da metade dos professores lecionam em suas áreas de formação. Esses dados se tornam mais chocantes quando avaliamos os professores que tem lecionado Sociologia, Artes e Física conforme mostra a figura 1.3. [10, 22]

Esses dados demonstram que a maior parte dos professores que atuam lecionando física nas escolas do nosso país não tem formação adequada, frequentemente se depara

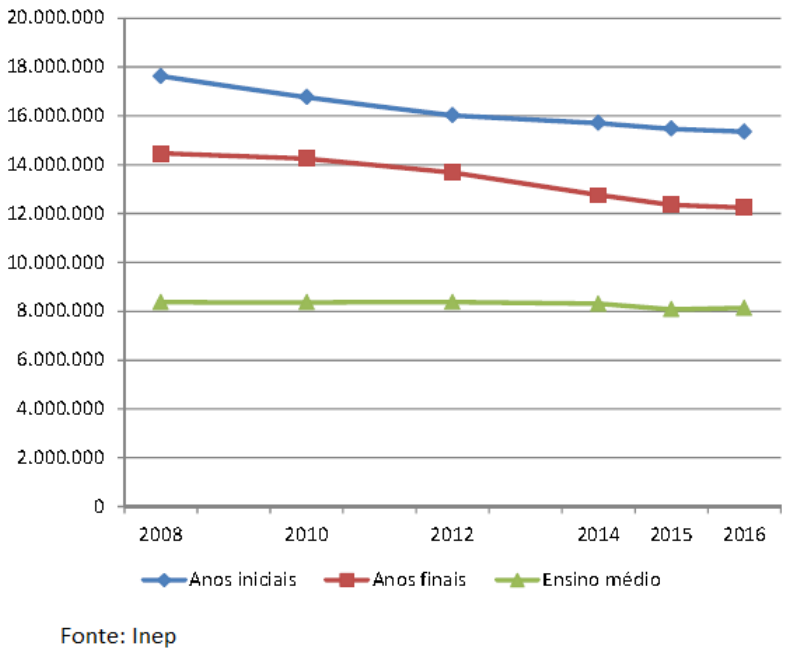
Matrícula no ensino médio - Brasil 2016

Unidade de agregação	Matrícula							
	Total	Série					Alunos incluídos[1]	Em tempo integral[2]
		1ª	2ª	3ª	4ª	Não seriada		
Total	8.131.988	3.175.848	2.572.609	2.270.875	72.126	40.530	74.007	518.661
Urbana	7.775.050	3.032.893	2.462.635	2.175.518	69.668	34.336	71.142	471.212
Rural	356.938	142.955	109.974	95.357	2.458	6.194	2.865	47.449
Diurno	6.309.556	2.625.984	1.994.821	1.630.093	32.495	26.163	62.389	
Noturno	1.822.432	549.864	577.788	640.782	39.631	14.367	11.618	
Pública	7.117.841	2.825.636	2.235.101	1.951.367	70.004	35.733	68.892	480.052
Federal	171.447	66.914	44.776	34.995	11.524	13.238	1.299	66.730
Estadual	6.896.722	2.740.379	2.174.983	1.902.260	57.344	21.756	67.022	411.394
Municipal	49.672	18.343	15.342	14.112	1.136	739	571	1.928
Privada	1.014.147	350.212	337.508	319.508	2.122	4.797	5.115	38.609

Fonte: MEC/Inep

Nota: 1) Alunos com deficiência, transtorno global do desenvolvimento ou altas habilidades matriculados em classes comuns do ensino médio regular; 2) Tempo de permanência na escola igual ou superior a 7 (sete) horas diárias (calculado somando-se a duração da escolarização com a duração da atividade complementar).

Figura 1.1: Matrículas no Ensino Médio- 2016



Fonte: Inep

Figura 1.2: Quantitativo de números de matrículas no ensino básico entre 2008-2016

com agrônomos, biólogos, matemáticos e até mesmo pessoas sem formação em nenhuma área ministrando essas aulas. O que afasta ainda mais os alunos do contexto científico que a disciplina deve abranger. [10]

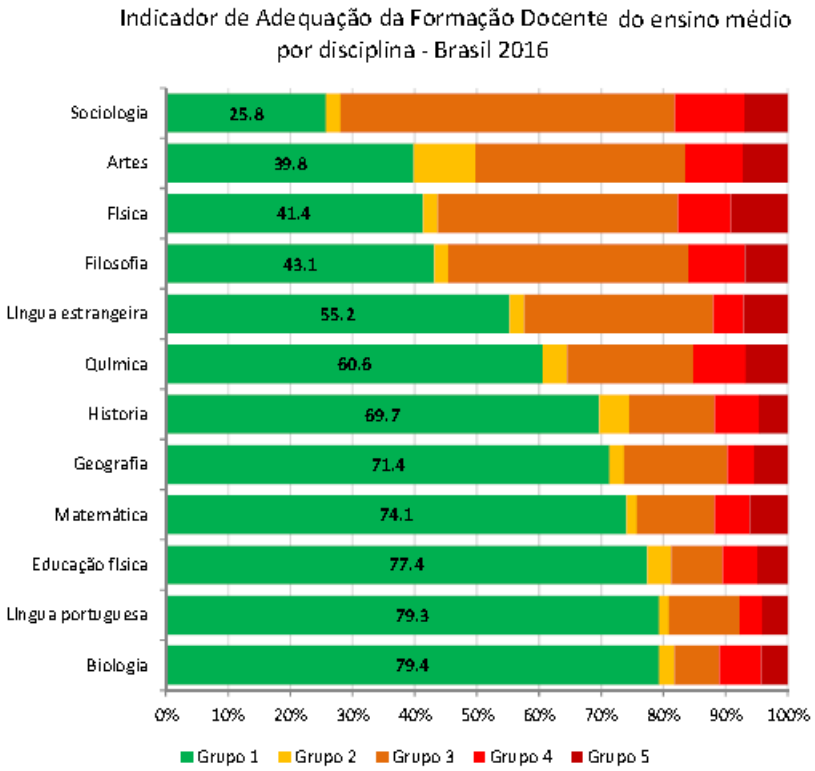


Figura 1.3: Porcentagem de professores com formação adequada por disciplina

Conforme a necessidade de adequação nas politicas educacionais desde 1998 foi determinada a criação do novo ensino médio pela LDBEN, que até hoje não conseguiu ser implementada em sua totalidade. Os PCN's defendem essa implementação de que o ensino médio deve deixar de ser estritamente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, e sim assumir a responsabilidade de preparar o aluno para a vida com um aprendizado permanente. [20]

Na sociedade em que vivemos, onde somos bombardeados por informações diariamente, a escola não é mais a primeira fonte de informação e muitas vezes não é nem a principal. Pois a disseminação da internet e das novas tecnologias deixa perceptível que precisamos de uma reformulação na educação. O objetivo deve ser preparar o aluno para essa quantidade de informação que ele é exposto, de forma que ele possa analisar, interpretar e discutir as informações que tem acesso. [12, 15]

Um problema que vem sendo discutido a tempos, mas que ainda marca a educação é a evasão escolar, são desenvolvidos políticas educacionais para minimizar tais dados, como o bolsa família vinculado a frequência escolar, progressões em séries, verbas escolares vinculadas aos índices de aprovação, e mesmo assim é desanimador o número de reprovados e evadidos nas instituições públicas. O baixo rendimento escolar, que leva a evasão é maior em escolas que atendem a população de baixa renda, o histórico familiar também influência no desenvolvimento e permanência do educando na escola, a falta de incentivo,

despreparo da família e a formação dos pais também influenciam na vida escolar. [1, 12]

Para oferecer um ensino de qualidade é importante a implementação de práticas educativas que desenvolvam competências investigativas e a utilização dos recursos tecnológicos, mas acima de tudo é preciso que os professores saibam incorporar em seu trabalho os avanços nas pesquisas e valorizem as dinâmicas sociais e suas implicações no ambiente escolar.[19]

Com toda a dificuldade que o ensino de física está atravessando, os temas de FMC não encontram lugar no currículo atual e entram como último tópico, do último ano de ensino, que geralmente não é abordado devido ao curto tempo do ano letivo, a pouca valorização nas provas de vestibulares e exames nacionais, e a baixa qualificação do profissional que leciona a disciplina. [8, 19]

É consensual a necessidade de adequação dos conteúdos de FMC no ensino médio, vários trabalhos sobre o tema foram desenvolvidos, os PCN's defendem a sua implementação e chega a tratar o assunto como indispensável, porém as práticas escolares ainda estão longe de serem inseridas no contexto.[20]

Baseado nos dados que mostram o fracasso do ensino de física no Brasil, é evidente a necessidade de metodologias que envolvam o aluno e facilitem a aprendizagem e promova uma melhora no desempenho dos estudantes. Muitos métodos podem ser utilizados para alcançar o objetivo, e usamos como referência a utilização de jogos didáticos no ensino de física.

1.2 A Educação Brasileira no Ranking Mundial

O PISA, programa para Avaliação Internacional de Estudantes, produzido pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), foi tido como o primeiro critério do mundo para avaliar a qualidade, equidade e eficiência dos sistemas escolares. Em 2015 foi dado ênfase no ensino de ciências que segundo o documento:[23]

> Mais importante, a ciência não é apenas o domínio dos cientistas. No contexto de fluxos maciços de informação e mudanças rápidas, todos agora precisam ser capazes de "pensar como um cientista": poder avaliar evidências e obter uma conclusão; para entender que a "verdade"científica pode mudar ao longo do tempo, as novas descobertas são feitas, e os humanos desenvolvem uma maior compreensão das forças naturais e das capacidades e limitações da tecnologia. [23]

A OECD critica o ensino de ciências ensinados no mundo afirmando que ela é ensinada baseada em princípios, leis e teorias básicas em vez de conceitos mais amplos de investigação científica e na natureza evolutiva da ciências. Eles afirmam que o ensino científico se dedica apenas a preparar uma pequena parcela de alunos que baseados nos

Tabela 1.1: Tabela de posição países na América do Sul na avaliação do PISA em 2015

1	Argentina	38
2	Chile	44
3	Uruguai	47
4	Colombia	57
5	**Brasil**	**63**
6	Peru	64

ideais dos professores determinam os alunos que devem continuar a estudar após a escolaridade obrigatória e defende que a ciência deve ser ensinada de maneira ampla a todos os alunos de forma que eles se familiarizem com a ciência. [23]

Esse documento analisa alunos de vários países na faixa etária de 15 anos com o objetivo de verificar os conhecimentos que o aluno tem e como ele utiliza esses conhecimentos em contextos diversificados, pois acreditam que não é preciso apenas saber, e sim o que fazer com o que se sabe. [23]

A posição de primeiro lugar em ciências foi ocupada por Cingapura, na sequencia temos Japão, Estônia, Finlândia e Canadá, com desempenho científico significativo, são os quatro maiores países que atuam na OECD.[23]

Já o Brasil ocupa o 63º lugar dos 67 países avaliados, e a 5ª posição dos 6 países participantes da América do Sul, ficando a frente apenas do Peru, conforme apresentado na tabela 1.1, o que é vergonhoso e reforça a ideia de que estamos longe dos objetivos internacionais de educação, todo o ensino deve ser repensando.[23]

Verificar que o ensino brasileiro está classificado em níveis tão baixos reforçam a ideia de que a aprendizagem está distante das práticas previstas, com um ensino viciante em um círculo de más formações. Segundo a pesquisa de Bruns e Luque, o professor é o maior fator da crise educacional da América Latina e do Caribe, a falta de uma politica de valorização dos professores é a chave do problema, a má formação, a falta de capacitação, baixos salários e pouco prestígio social, acarreta em uma baixa procura pela profissão por jovens com altas habilidades. No Brasil eles evidenciaram que os jovens que procuraram a graduação em licenciatura são os que tem notas baixas comparadas a outras profissões, como engenheiros, advogados e médicos.[12, 19]

Outro fator elucidado por Bruns e Luque, para justificar o baixo rendimento dos estudantes foi a pobreza e subnutrição dos alunos, pois os déficits de aprendizagem podem surgir pelo mal desenvolvimento uterino e pelas condições de vida até os 5 anos de idade, principalmente a alimentação é responsável por boa parte do desenvolvimento cognitivo do educando. O que reforça o mau desempenho escolar de alunos de baixa renda e situação de pobreza.[12]

Para melhorar o sistema de ensino é necessário que a função de professor atraia profissionais de alto desempenho, e que ocorra uma valorização pessoal e social do profissional,

que eliminem os de baixo desempenho de forma sistemática e contínua e estimule o professor a dar o seu melhor na carreira. Nos países com alto rendimento educacional, a carreira de professor é uma das mais almejadas, pois proporcionam bons salários, reconhecimento e prestígio aos professores excelentes. [12]

Cingapura ocupa o primeiro lugar nas três áreas avaliadas e sua primeira mudança para melhorar a educação no país foi fazer da carreira de professor uma das mais procuradas no país. Existem incentivo aos melhores professores, tanto financeiro como social e punições para os com baixo desempenho. O ensino é tratado como uma ciência, existem pesquisas sobre a aprendizagem, os professores se reúnem em fóruns para discutir as metodologias que melhoraram o processo de aprendizagem. [12]

Enquanto no Brasil a ciência é tratada de maneira obscura, Chiquetto destaca que os alunos do ensino médio hoje veem a física como um grande conjunto de equações que é utilizado apenas pra resolver problemas em provas aplicadas a eles mesmos pelo docente, eles não conseguem ver como uma descrição do mundo e nem sabem como tirar proveito deste componente curricular, esses próprios alunos a maior parte deles não conseguem ao menos manipular essas equações se sentindo assim incompetentes. [24]

Segundo uma pesquisa do Data folha de São Paulo, a maioria dos pais e estudantes acreditam que o a educação brasileira é boa, tanto na rede pública como privada. Os alunos avaliaram que os conteúdos aprendidos na escola tem importância para a vida e nas escolas públicas o que teve uma pontuação menor por parte dos alunos foi a preparação do professor para a aula, que mesmo assim tem um resultado positivo. Já os pais avaliaram como bom toda a aprendizagem e acreditam que os professores são preparados para ministrarem as aulas. [25]

Essa avaliação positiva dos “clientes” da educação não está em consonância com as avaliações nacionais e principalmente internacionais sobre a aprendizagem, o que dificulta ainda mais as mudanças necessárias ao setor. Se a sociedade está satisfeita com a educação que lhe é ofertada, eles não vão reivindicar melhorias, o que supervaloriza o sistema fraco e ineficiente da educação brasileira.[23, 25]

2 Aprendizagem e Jogos Didáticos

2.1 O Que São Jogos Didáticos

A palavra jogo tem muitos significados, mas muitas vezes é atribuída a atividades físicas e mentais relacionadas ao lazer ou ao raciocínio lógico, como exemplo jogo de bola, de xadrez, computacional e cruzadinhas. [26]

Segundo o dicionário Aurélio online de língua portuguesa para a palavra jogo apareceram 28 significados, porém a que se encaixa no explicitado são: "Divertimento, exercício" e "competição mais importante em determinada área". Podemos utilizar desse divertimento com um cunho educacional? Sim e é dessa ideia que temos os jogos didáticos.[27]

Os jogos didáticos são ferramentas importantes no processo de aquisição de conhecimento, por ser uma alternativa facilitadora. Devem ser pensados no sentido de melhorar a aprendizagem, dinamizar e enriquecer o processo, saindo da monotonia de aulas expositivas. [28, 29, 30, 31]

Segundo Rossetti Junior, Oliveira e Schimiguel jogo didático é definido como recurso pedagógico que tem como objetivo a aprendizagem de determinado assunto associada a ludicidade, ou seja um jogo só deverá ser considerado didático quando abrange as funções de ludicidade e aprendizagem simultaneamente. Cunha também defende que um jogo é considerado educativo quando equilibra as funções de aprendizagem e ludicidade, e, tenha uma função relacionada à aprendizagem de conceitos, sendo direcionada pelo professor, e não uma atividade descomprometida e descontrolada. [32, 33]

A atividade lúdica é, essencialmente, uma forma de aprendizagem mnemônica, onde podem ocorrer experiências inteligentes e reflexivas que possibilitam tornar concretos os conhecimentos adquiridos. Nesse contexto, pode ser entendido como um dispositivo facilitador para os estudantes perceberem os conteúdos. Com a sua utilização o aluno pode melhorar a cognição, afeição, socialização, motivação e principalmente a criatividade. Além de tornar as aulas mais divertidas, é uma importante ferramenta para auxiliar na fixação dos conteúdos de forma prazerosa que leva o aluno a aprender brincando.[34, 35, 36, 37, 38]

Os jogos foram desenvolvidos ao longo da história da humanidade e tem por objetivo enriquecer o ser humano com experiências agradáveis, até os adultos gostam de brincar,

mas chamam de hobby ou de passatempo e seus brinquedos apenas mudam de função. [30, 39, 40]

2.2 O Ensino de Física e os Jogos

Aprendizagem e o ensino de física vem sofrendo mudanças nas últimas décadas devido a necessidade de adaptação a nova era em que se encontramos. Nesse momento, em que as tecnologias da informação permitem aos estudantes um acesso amplo a mídias cada vez mais interativas, é fundamental que as estratégias de ensino se adaptem ao novo momento. Dinamizando o processo de ensino, tornando o mais interessante para os alunos, que cada dia buscam mais dinâmicas e métodos inovadores, que os motivem a estudar, tornando importante discutir as possibilidades de alcançar abordagens mais eficazes e interativas. [12, 29, 37, 41, 42]

A aprendizagem requer inovação, para chamar a atenção, dinamizar a aula e gerar um interesse no educando de aprender conceitos, aprender a aprender e despertar a curiosidade. Além que, o ensino de física deve ajudar o aluno a se posicionar criticamente em relação às tecnologias, para que aprenda a responder a questões novas, buscando conhecer as dificuldades do conhecimento coletivo e individual. [5, 15, 20, 42]

A implementação de ferramentas para a aprendizagem se tornam importantes para melhorar o quadro de defasagem instrucional que vivemos. Como exemplo a construção de jogos, pois são estratégias que auxiliam e potencializam a aprendizagem e há poucos materiais relacionados a jogos para o ensino de física no nível médio. [28, 43]

Tanto os professores aprovam, como os PCN's defendem a importância da ludicidade como instrumentos facilitadores de aprendizagem de conceitos. Os jogos sempre fizeram parte da vida das pessoas desde pequenos, seja como entretenimento, como disputas ou como método de aprendizagem, porém apenas no final do século XVIII que surgem jogos destinados a ensinar ciências. O filósofo Aristóteles já sugeria a utilização de jogos na educação infantil que simulassem as atividades dos adultos.[20, 30, 33, 43]

A utilização dos jogos vem apresentando bons resultados na aprendizagem, especialmente em ciências e tem ganhado espaço como alternativa de ensino, alguns profissionais da educação têm adotado esse método para dinamizar suas aulas tornando-as mais motivadoras e levando o aluno a gostar de estudar. [29, 31, 36]

Mas devemos ter em mente que a atividade lúdica deve ter uma seriedade e significado pedagógico, assim deve-se ter regras adequadas que deem sentido e legitimidade a atividade proposta, regras de fácil compreensão e bem definidas para que se consiga chegar ao fim de cada etapa. Não que elas devam ser seguidas fielmente, pois deve existir a participação dos alunos na construção e alteração das regras. Faz necessário também que ocorra uma avaliação no decorrer da atividade para que o jogador conheça o seu progresso no sentido de terminar o jogo. [31, 39]

Um jogo precisa ser suficientemente desafiador, estar adequado ao nível de

> habilidade do jogador, apresentar variações no nível de dificuldade, e manter um ritmo adequado. O ritmo é um componente importante de desafio, pois a velocidade em que novos detalhes ou desafios são revelados ao jogador pode ser programada para manter um nível apropriado de tensão e desafio ao longo do jogo. Novos obstáculos, situações e variações de atividades devem ser planejadas ao longo do jogo para minimizar a fadiga do jogador e oferecer uma experiência que mantenha sua vontade de continuar jogando. [44]

Observa-se que a utilização de jogos proporciona a obtenção de conhecimentos de diversas perspectivas, fazendo com que os participantes possam compreender e modificar suas experiências cotidianas.[29, 30]

2.3 Os Jogos como Estratégia de Ensino e Aprendizagem da Física Para o Ensino Médio

De acordo com os PCN's, a física deve ser ensinada com um conjunto de competências específicas, que ajude o aluno a entender e aplicar o conhecimento não apenas no seu cotidiano, mas que o ajude a compreender o universo como um todo, a partir das leis e princípios ensinados por ela. Eles destacam a importância do ensino de física preparar o aluno para a cidadania, para o dia a dia e capacita-lo para um aprendizado permanente. O ensino deve deixar de ser estritamente profissionalizante e preparatório para o ensino superior. Também defendem que o conhecimento científico e tecnológico deve ser entendido como uma evolução humana, valorizando os contextos históricos e sociais. Enfatizando a utilização de várias estratégias de ensino, para que se consiga alcançar os alunos que aprendem de maneiras diferentes. [20, 43, 45, 46]

Para romper com as barreiras do ensino tradicional podemos utilizar os jogos como estratégia, pois ocorre uma contextualização dos conteúdos com o cotidiano dos alunos, a mediação no processo do jogo, o envolvimento, as trocas de informações entre outras habilidades podem ser desenvolvidas nessas atividades. Destaca-se que são necessários investimentos em pesquisas, formações e produções de materiais nessa área. [28, 31]

A utilização de jogos no ensino médio é valorizada, pois os materiais lúdicos aprimoram conhecimentos adquiridos, geram novas competências e habilidades, aprofundam questões importantes e desenvolvem o raciocínio lógico. O uso do lúdico contribui para o desenvolvimento social do indivíduo, melhorando sua autonomia de atos, além de ser prazeroso gera um equilíbrio emocional. [29, 30, 31]

Além de serem tidos pelos PCN como elementos valiosos no processo de obtenção do conhecimento. Eles permitem o desenvolvimento de competências no âmbito da comunicação, das relações interpessoais, da liderança e do trabalho em equipe, utilizando a relação entre cooperação e competição em um contexto formativo. O uso do lúdico oferece o estímulo e ambiente propícios que favorecem o desenvolvimento espontâneo e criativo dos

alunos, permitindo também ao professor ampliar seu conhecimento de técnicas ativas de ensino, desenvolver capacidades pessoais e profissionais para estimular nos alunos a capacidade de comunicação e expressão, mostrando-lhes uma nova maneira lúdica, prazerosa e participativa, de relacionar-se com o conteúdo escolar, levando a uma maior apropriação dos conhecimentos envolvidos. [20, 37]

Na literatura encontramos alguns pesquisadores que evidenciam o jogo como ferramenta para o ensino. Rosseti Junior elucida como fator importante a participação dos alunos e o interesse pelo jogo, pois até alunos que outrora em aulas tradicionais não participavam ou se interessavam pelos conteúdos tiveram participação ativa, o que nos leva a avaliar que jogos podem diminuir o índice de reprovação e evasão resgatando alunos do desinteresse. [31, 32]

Braga e Matos observaram em sua pesquisa em biologia uma ótima participação e aceitação do jogo de tabuleiro Kronus pelos alunos e reforçam a importância da atividade no aprendizado do educando. Segundo suas pesquisas com questionários aplicados aos estudantes concluíram que o jogo foi excelente e cumpriu o papel didático, sendo estimulante, alcançando a participação ativa e prazerosa dos participantes. [29]

Na pesquisa de Santana etal., com 21 grupos que participaram do jogo a pergunta sobre qual a frequência que os professores utilizam jogos na aprendizagem deu como resultado 0% com frequência; 5% uma vez; 40% raramente e 55% nunca. Na visão do alunos 71% avaliou que a utilização de jogos facilita a aprendizagem, enquanto 9% disseram que fomenta a leitura e a pesquisa e 15% avaliaram que ocorre uma aprendizagem com diversão e interatividade. [47]

O que reforça a produção e utilização de jogos didáticos no ensino de física no nível médio, tendo como objetivo melhorar o aprendizado, chamar a atenção do aluno despertando o interesse por conteúdos tidos como difíceis e chatos, desenvolvendo no aluno não só o conhecimento específico, e sim, as habilidades e competências, como a interação social, cumprimento de regras, cognição, raciocínio, entre outras habilidades que o jogo possa abranger. [29, 32]

2.4 O Ensino de Física e as Perspectivas

A escola tem por função ensinar, transmitir conhecimento e cultura. A cultura nesse contexto é o conteúdo do processo educativo e a sua fonte. E o currículo é a forma de como esse conhecimento será transmitido e como reelaborar a cultura da sociedade. A estruturação de um currículo é um desafio, pois depende de qual conhecimento se considera mais relevante para transmitir aquela sociedade. [19]

Para a formulação de um currículo deve se levar em conta de que não será possível ensinar tudo, será necessário fazer escolhas baseadas nas condições de recursos disponíveis, contextos sociais, demanda dos alunos, tradições culturais e pedagógicas. Cabe aos profissionais analisar cada situação regional e individual para a estruturação que atenda

as necessidades do público alvo. O professor tem um grande destaque nesse processo de produção de currículos, devido a sua bagagem cultural relacionada os contextos de aprendizagem, e deve avaliar o que é regional com base no universal definindo a melhor maneira de se organizar as aulas. Assim, lhe cabe definir e escolher quais temas são mais relevantes para abrangência em sala de aula, considerando o pouco tempo disponível, pois é ele o contato direto entre as práticas e os alunos. [19, 48, 49]

Os PCN's enfatizam a necessidade de adequação do currículo escolar a nova realidade dos alunos, para que promova uma participação social e política, formando bons cidadãos. Afirmam que apenas um quarto dos alunos está de passagem para o ensino superior e os demais procuram no ensino uma qualificação mais ampla para a vida e para o trabalho. [20]

Sendo assim, deve se levar em conta ao desenvolver os tópicos que muitos dos alunos ali presentes não terão mais contato com essa disciplina após o fim do ensino médio, o que configura um primeiro e último encontro formal com temas científicos durante os três anos de estudo. Surge a necessidade de valorizar os temas e desenvolver no aluno as competências necessárias para a formação da cidadania e a visão de ciência que ele vai gerar nesse contexto. [8, 19]

É necessário também despertar no aluno a curiosidade, demostrando a física como um desenvolvimento humano, sendo assim, próxima a eles. Além disso, o exercício da cidadania depende de uma boa formação científica. [2, 5, 50]

Os profissionais da educação devem se esforçar para cumprir as metas dos PCN's, buscando caminhos e metodologias que abranjam os objetivos e desenvolvam habilidades designadas. As aulas de física devem valorizar o conhecimento como um processo histórico e evolutivo, fazendo com que ocorra a participação ativa dos alunos no processo, de forma construtivista, respeitando as dúvidas e as incertezas, construindo o saber na busca dos significados e redefinindo os conceitos, e não de forma repetitiva e decorativa de conhecimentos prontos. Os conceitos devem ser contextualizados, o educando tem que perceber e aprender as teias de informações que se interligam na construção do conceito. Deve se ensinar de forma a compreender o cotidiano, onde os problemas reais são da própria natureza. [15, 40]

A realidade escolar do ensino de física difere do que é proposto pelas legislações vigentes. Pois se encontra com um ensino muitas vezes desvinculado não apenas de outras disciplinas, mas de contextos que lhe deem significado, apresentado de maneira distante do mundo em que estudantes estão inseridos. Esse embate entre o proposto e o realizado mostra um ensino que não alcança uma aprendizagem na qual o aluno consiga aplicar no seu cotidiano os conhecimentos que obteve na escola. Fortalece o que os professores vêm vivenciando a cada dia e o que as pesquisas afirmam: os alunos não estão aprendendo o conhecimento que lhes é ensinado. [6, 15, 43, 46, 51]

Muitos motivos são encontrados para explicar essa assertiva: aversão dos alunos ao conteúdo, profissionais desatualizados, desmotivação do educador e educando, principal-

mente a falta de materiais didáticos disponíveis: livros pouco atrativos, que ganham ênfase, com exercícios repetitivos, falta de materiais de apoio como laboratórios, mídias, data show, entre outros, que nada acrescentam no raciocínio lógico do educando. A cada dia que passa o aprendizado se torna mais distante da vivência do aluno. As aulas não tem ligação com os conhecimentos que tramitam nas mídias, o que gera esse desinteresse e aversão aos conceitos discutidos na aula. [3, 8, 19, 43]

Isso é gerado entre outros fatores pelo currículo de física desatualizado e ultrapassado seguido nas escolas. Que representa um problema tanto para os professores como para os alunos, eles não valorizam os temas atuais e as descobertas tecnológicas, o que faz com que os alunos não compreendam a necessidade de estudar física. Além de tornar as práticas pedagógicas tradicionais, muitas vezes baseadas em equações matemáticas, monótona e desinteressante. A transmissão do conhecimento exclui o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no mundo em que vivem. [3, 4, 8, 52]

É necessário que repensem em um currículo que abranja temas atuais de maneiras descontraídas e eficazes, para que além de desenvolver o interesse dos alunos para o tema proposto possa desenvolver conhecimentos sólidos na mente do aluno, não basta chamar a atenção e ser divertido se não alcançar os objetivos pedagógicos. [3, 4, 5, 20, 43]

Nas últimas décadas os assuntos científicos tem gerado a curiosidade nos alunos, as mídias têm anunciado e comentado as descobertas científicas do Brasil e do mundo e os jovens tem se interessado por alguns temas discutidos nas mídias. E trazem esses temas para a sala de aula, com o interesse de aprender os conceitos relacionados ao fenômeno em questão. Mas muitas vezes ao questionar em sala sobre o tema, ele é desestimulado, pois o professor não se interessa em entrar na discussão, alguns por não ter conhecimento do tema e outros por medo de fugir do currículo exigido pela escola.[8, 30]

As aulas não tem ligação com os conhecimentos que tramitam nas mídias, o que gera um desinteresse e uma aversão aos conceitos discutidos na aula. O que prova que cada dia que passa esse ensino se torna mais distante da vivência do aluno. [8, 30]

Atualmente, as informações estão na palma da mão do aluno e muitas vezes eles não sabem como manipular, como diferenciar as informações verídicas das falsas e cabe ao professor o papel de ensinar o educando a filtrar as informações, a ter uma posição crítica, pesquisando e analisando os fatos. Nesse contexto, a aprendizagem relacionada com a prática e o cotidiano do educando desafia cada dia mais o professor. [7]

Outra dificuldade encontrada no ensino da física é a falta de conhecimento prévio dos alunos, eles adentram as séries e não tem competências mínimas necessárias. Alguns professores perdem tempo, que já é escasso, ensinando bases e fazendo nivelamento da turma para poder adentrar no conteúdo em si. Outra é a aversão dos alunos à disciplina, a exploração matemática que ela retrata, assusta o educando, cria uma resistência a aprendizagem, denominam a matéria de chata, difícil e até impossível de se aprender. Isso decorre da metodologia utilizada pelo professor em sala de aula. O ensino de física não pode ser reduzido a memorização de equações e conceitos, nem ser totalmente matemático.

[5, 19, 41]

A educação deve capacitar para uma atuação social e histórico-crítica, para que ocorra uma mudança não apenas interna, mas que se externalize ao meio ambiente. O ensino de física deve desenvolver cidadãos conscientes e críticos em relação aos conhecimentos e reflexivo sobre o mundo que o cerca, reconhecendo que a ciência não é apenas fruto do racionalismo científico. Levando a um saber provisório, uma vez que ele sempre está em mutação [14, 19, 30, 42, 52]

2.5 Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Ativa

Segundo Piaget, a aprendizagem é definida como a aquisição de um conhecimento específico. Ela constitui um dos aspectos do desenvolvimento intelectual, e da estrutura da própria inteligência, e se caracteriza pela modificação (equilibrada) do comportamento, em correspondência com as aquisições advindas da experiência. Ocorre por meio de perturbações na mente da criança, gerando transformações na sua estrutura cognitiva, onde a criança interpreta os novos conhecimentos e interliga-os aos conhecimentos aprendidos anteriormente. [53, 54, 55, 56, 57]

Já Ausubel, que é um representante do cognitivo, define a aprendizagem como o armazenamento e organização do conhecimento na estrutura cognitiva. Defende que a cognição é o processo pelo qual os significados tem origem na mente, conforme o ser humano se situa no mundo ele incorpora significados do que o cerca em sua mente. Esses significados não são estáveis, eles são âncoras para os próximos significados que surgem no decorrer do saber, formando a estrutura cognitiva. [16, 52, 58, 59, 60, 62, 63, 64]

Para que a aprendizagem seja prazerosa, não é preciso apenas proporcionar ao aprendiz uma atividade prazerosa. Para descobrir o prazer de aprender o aluno deve construir e desconstruir o conhecimento, ser autor ou co-autor da aprendizagem, relacionar os conhecimentos com a vida, buscar o saber a partir do não saber, compartilhar suas descobertas e conhecer a história criando possibilidades. [16, 17, 53, 58, 64, 65]

A aprendizagem requer tempo e, principalmente paciência para despertar no aluno o desejo de aprender, e, além disso, o de compreender conceitos, que exijam mais observação e interpretação dos fatos. Isso faz com que o aluno interatue não apenas com o professor, mas também com o tema em estudo, os colegas de classe, o cotidiano. [48, 53, 57, 63]

Existem diversas teorias de aprendizagem que tentam explicar, com a visão dos autores, como ocorre a aquisição de informações e armazenamento, descrevendo o caminho que ela percorre. Essas teorias podem ser norteadoras dos professores, veremos duas questões que podem se entrelaçar para uma aprendizagem eficaz: A teoria da Aprendizagem Significativa proposta por D. Ausubel e a técnica da Aprendizagem Ativa que se popularizou na década de 90 por C. Bonwell e J. Eison. [16, 17, 41, 57, 58, 62]

Antes de falar sobre a aprendizagem significativa precisamos conhecer a aprendizagem mecânica, que é definida como sendo a aquisição de novas informações com pouca ou ne-

nhuma relação a conceitos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Nesse caso, o novo conhecimento é armazenado de maneira arbitrária: não há interação entre a nova informação e aquela armazenada na estrutura cognitiva, dificultando, assim, a retenção do conhecimento. De modo geral podemos dizer que, na aprendizagem mecânica, o novo conhecimento é armazenado de maneira absoluta e literal na mente do indivíduo e não traz, ou traz pouco, desenvolvimento cognitivo ao mesmo. Este tipo de aprendizagem ocorre muito no sistema de ensino conhecido como tradicional, onde o professor já passa o conhecimento pronto, não permitindo a abertura para questionamentos ou algum pensamento crítico por parte do aluno, habituando-o apenas a gravar, ou decorar, o conteúdo repassado. [9, 16, 34, 48, 58]

Por outro lado, a aprendizagem significativa ocorre quando os novos conhecimentos (conceitos, ideias, proposições, modelos, equações etc) passam a significar algo para o aprendiz, de tal maneira que ele seja capaz de explicar situações, resolver novos problemas, analisar e interpretar novas situações, etc. Tal aprendizagem ocorre quando os significados resultam da interação dos novos conhecimentos com outros, especificamente relevantes, já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, os quais, por sua vez, também ficam mais ricos, mais elaborados e mais estáveis.[16, 34, 58, 62]

Segundo Ausubel, o fator isolado mais importante que influencia na aprendizagem significativa é aquilo que o aprendiz já sabe, aquele conhecimento que ele traz de casa, das outras aulas, do convívio social. Esses conhecimentos prévios são denominados conhecimentos subsunçores, ou apenas subsunçor. O subsunçor serve de âncora para os novos conceitos, ideias e conhecimentos, portanto, quando a aprendizagem é significativa, o novo conhecimento se atrela ao subsunçor. Sendo assim, há também uma mudança na estrutura do subsunçor, o qual se aperfeiçoa. [16, 59, 61, 63, 64]

A aprendizagem significativa depende também de outros dois fatores: que os novos conhecimentos - apresentados pelos materiais instrucionais - sejam significativos; e que o aluno tenha uma predisposição à aprender. Sendo assim, deve-se pensar nos materiais instrucionais utilizados no processo, e é necessário que o professor adote materiais que chamem a atenção do aluno. Pela a aprendizagem significativa cumpre-se o papel fundamental da escola, que é desenvolver um ensino que o aluno é estimulado a refletir e pensar sobre questões do mundo, formulando assim sua opinião sobre o assunto. [16, 58, 59, 60]

Temos também aprendizagem ativa, que não é considerada uma metodologia, nem mesmo uma teoria de aprendizagem, e sim um conjunto de técnicas que visam reconhecer no aluno um potencial e autonomia para a aprendizagem. Com o objetivo segundo seus idealizadores de tornar os alunos mais autônomos e comprometidos com a educação própria. Essas técnicas são aquelas baseadas no aluno, ele é a parte central da interação do novo conhecimento e responsável pela aprendizagem. Deve-se valorizar a participação do aluno, planejando atividades que o enalteça como pensante, crítico, valorizando o fazer, manipular, pesquisar, seus pontos fortes, necessidades e interesses. A ênfase são as atitudes dos alunos mediante o contexto da aprendizagem. [7, 41, 66]

Uma definição mais abrangente para a aprendizagem ativa pode ser definida como uma ação na qual os estudantes são engajados no conhecimento que será estudado, tendo como fundamentos a leitura, a escrita, a fala, a audição e a reflexão. [21]

O objetivo da aprendizagem ativa é levar o indivíduo a entender o conceito por ele mesmo, através da pesquisa, observação, discussão, troca de ideias, ou seja, levando a participação ativa no processo e o professor é apenas o facilitador desse processo, aquele que norteia os passos dos alunos para alcançar os objetivos propostos. Nesse processo de aprendizagem o professor perde o papel de transmissor do conhecimento e o aluno perde a função de acumulador. O professor deve cumprir um papel de mediador no processo de aprendizagem, direcionando, complementando e facilitando a educação. [7, 41, 66]

Bonwel e Eison defendem o uso de técnicas de aprendizagem ativa em sala de aula, justificando que gera um poderoso impacto na aprendizagem dos alunos. Eles afirmam que várias metodologias de aprendizagem ativas tem surgido que influenciam positivamente as atitudes e participação de estudantes. Segundo eles o aprendizado ativo é definido como qualquer coisa que: " envolve os alunos a fazer coisas e pensar sobre as coisas que eles estão fazendo."[17]

E afirmam que para que os alunos aprendam eles precisam muito mais do que só ouvir, precisam ler, escrever, resolver e refletir, devem ser participativos e atentos as questões. [17]

Mesmo que a atividade da aprendizagem ativa não seja completamente compreensível para o aluno naquele momento, ela pode estar preparando ele para um nova aula, a aprendizagem de um conceito subsequente ou até mesmo para a próxima atividade. Isso significa que essa atividade estará gerando um subsunçor para que ocorra a aprendizagem significativa dos conceitos citada anteriormente.[16, 67]

Deve-se lembrar que não existe um método de ensino que seja perfeito, ou um único método eficaz, ficando a cargo do professor decidir junto a turma qual metodologia é mais apropriada para ensino de tais conceitos físicos. Assim é necessário que cada profissional adapte e determine metodologias ao ensino de suas disciplinas. [15]

2.6 Aprendizagem Significativa e Jogos Didáticos

É factível que o modelo tradicional de ensino encontra-se defasado, onde o único detentor do conhecimento é o professor e ele tem o papel de transmitir todo esse conhecimento para o aluno que deve se esforçar para assimilar a maior parte possível dessa transmissão para reproduzir nas avaliações. Sendo que aprender não é fazer fotocópias mentais do mundo, como ensinar não é mandar um fax para a mente do aluno, esperando que nas avaliações ele possa reproduzir uma xerox do conhecimento fornecido. [15, 48]

É necessário desenvolver estratégias de ensino que faça o aluno pensar, questionar e criar suas próprias ideias sobre a importância dos fenômenos físicos cotidianos. A aprendizagem só é significativa quando o aluno consegue relacionar os conceitos aprendidos

com o seu dia a dia. Na literatura encontramos dados positivos da implantação dos jogos em sala de aula, muitas pesquisas demonstram que os jogos são um excelente objetos de aprendizagem para se alcançar uma aprendizagem significativa. [18, 19, 26, 41, 63]

A maneira de como utilizar as atividades lúdicas é bem diversificada, elas auxiliam o professor na abrangência de recursos didáticos, tendo em vista as diversas possibilidades de utilização, desde que sejam elaboradas e adequadas a cada área de ensino. O que mostra que eles auxiliam no contexto da aprendizagem significativa, pois, facilitam a interação com outras ideias que compõem as representações mentais do aprendiz. O efeito dessa metodologia proporciona uma aprendizagem mais significativa, permitindo que o próprio aluno seja protagonista do seu aprendizado, expandindo seu conhecimento e assimilando os conceitos e teorias, isso quebra os tabus de que matérias como biologia, física e química são difíceis. [31, 36, 37, 68, 69]

Para que se alcance a aprendizagem significativa os jogos didáticos devem reforçar o que os alunos já sabem, incorporar novos conhecimentos e ter sempre em vista projetos que enalteçam o processo como um todo. [32]

2.7 Aprendizagem Ativa e Jogos Didáticos

O uso de jogos para explanação de conteúdos específicos tem um diferencial por gerar um ambiente descontraído, diminuindo a tensão das aulas ou até mesmo de avaliações, onde o aluno terá seu foco nas atividades, fazendo com que o aprendiz tenha menor pressão e mais estímulos à participação ativa, gerando um aprendizado pelo aluno, pelo seu esforço, pela sua cooperação na equipe. [29, 32, 47]

Parisoto defende a necessidade de desenvolver atividades centradas no aluno e cita a utilização de jogos como estratégia de ensino. O que reforça a aprendizagem ativa centrada nos alunos. Essa utilização em sala de aula também facilita a apropriação do conteúdo, aumenta o interesse, a participação e chama a atenção do aluno, além de melhorar a relação social do educando, por meio da comunicação e expressão, também melhora as relações pessoais, incentiva o respeito mútuo, o cumprimento das regras, estimula a responsabilidade e o senso de justiça. [17, 43]

O ato de estar se envolvendo com outras pessoas é uma das características da diversão e envolve o aluno em um ambiente de descontração onde ele tem um papel ativo no processo. Os jogos didáticos devem criar oportunidade de os alunos competirem, debaterem e cooperarem, só assim se alcança uma interação social. As pessoas gostam de se comunicarem de estar com os amigos, de interagirem e de se divertirem. O aluno deve querer jogar outras vezes e recomendar aos seus amigos, significando a aprovação do seu uso. Eles gostam de jogar, de conversar sobre o jogo, de ver os colegas jogando, de ganhar do amigo, de comemorar e ver a reação dos participantes. [31, 39]

Devemos lembrar que os jogos são apenas instrumentos para aprimorar o ensino, e não o fator mais importante da aprendizagem, sendo indispensável o acompanhamento

e a intervenção do professor para analisar o jogo e os jogadores com um olhar crítico e factível. Sua função na aplicação do jogo será de guiar o processo para evitar que os educandos utilize apenas a função lúdica se desviando do objetivo educacional proposto. Deve estar atento também a oportunidade de competição que os jogos podem trazer a sala de aula, e resgatar o objetivo didático, demonstrar aos alunos que importante é aprender. [31, 47]

A intervenção do professor no jogo é crucial no cumprimento da função didática do jogo, pois não pode ser uma atividade livre e descomprometida, mas sim intencional e orientada, ele deve ser claro nas etapas que antecedem, durante a atividade e pós jogo. [31, 33]

Os jogos tem um papel significante não apenas ao educando, mas ao educador também. Pois além de levar o aluno a construir novas formas de pensamento e enriquecer sua personalidade, ele também leva o professor a condição de mediador, estimulador e avaliador da aprendizagem. Eles são uma maneira de ampliar os conhecimentos dos professores sobre técnicas ativas para o ensino e desenvolver capacidades profissionais e pessoais. [20, 33]

O que mostra que o jogo alcança o objetivo da aprendizagem ativa, de colocar o aluno como centro do processo de aprendizagem e deixa-lo desenvolver as habilidades e competências para a formulação dos conhecimentos com a mediação do professor. [19, 41, 66]

2.8 Tópicos de FMC no Ensino

A física é dividida em três partes: Física Clássica, Física Moderna e Física Contemporânea. A Clássica constitui toda a descoberta até o final do século XIX; a Moderna é as descobertas de 1900 até 1940; Já a Contemporânea é as evoluções a partir da década de 40 até os dias atuais. [19]

O que chama atenção é que a FMC não está inserida nos currículos de física, ou seja, mais de um século de descobertas são negligenciadas. Há inúmeras justificativas para sua exclusão e uma imensa necessidade de abranger esses conteúdos, muitas pesquisas foram desenvolvidas com técnicas, materiais e estudos sobre a importância dos mesmos para a formação do educando. A necessidade de atualização nos aponta para uma ênfase à FMC ao longo do curso, como uma complementação de outros conhecimentos e não como um tópico no fim do último ano. [5, 14, 19, 30]

Os documentos oficiais defendem e incentivam a disseminação de FMC no ensino médio, pois compreendem a necessidade de atualização do currículo escolar com conhecimentos do cotidiano e informações dos desenvolvimentos tecnológicos mundiais que nos encontramos. Os PCN's chegam a dizer que alguns tópicos de física moderna são cruciais para que o aluno entenda suas aplicações nas tecnologias e compreenda os conceitos chaves do desenvolvimento tecnológico. Ainda explicitam que esse ensino propicia um novo olhar aos impactos da tecnologia na sociedade e traz novas discussões sobre ética e

ciência. [5, 14, 19, 20]

Outro incentivo a disseminação dos tópicos de FMC é a sociedade contemporânea, que integra o saber de física em várias áreas e defende que ciência, tecnologia e sociedade (CTS) são indissociáveis, pois abordam o saber formal com um contexto social de forma a dar relevância aos conhecimentos desenvolvidos. Evidenciando que o domínio das tecnologias desenvolve a sonhada inserção social. Várias pesquisas foram desenvolvidas para ressaltar a importância de contextualizar socialmente o conhecimento científico. [30, 70]

O estudo da FMC desperta a curiosidade e o interesse dos alunos além de chamar atenção por mostrar uma visão completa do mundo que os cercam. Infelizmente esses conteúdos raramente são abordados no ensino médio, e quando são, estão como último tópico do último ano de ensino, além de não estarem vinculados a aplicações, as tecnologias ou ao dia a dia do educando, sendo apenas comentários e lições sem referências plausíveis, que não valorizam o educando como um todo. Os livros didáticos vigentes enfatizam a física clássica, colocando em segundo plano a FMC, como apêndices ou como último capítulo do último volume da coleção. [5, 14, 19, 71, 72]

As pesquisas de Oliveira; Vianna; Gerbassi (2007) e Jesus (2014) desenvolvidas com professores da rede pública e privada do Rio de Janeiro e Rondônia e as referências de D'Agostin (2008) demonstraram que a maioria dos professores não lecionam tópicos de FMC. A maior parte dos professores se mostrou favorável à disseminação desses tópicos, porém, alguns justificaram os exames vestibulares, pequena carga horária, falta materiais instrucionais e falta de capacitação dos próprios professores como fatores que dificultam essa implementação.[8, 19, 71, 72]

Em meio a tantas problemáticas estão surgindo profissionais com o desejo de mudar a história do ensino de física, se adaptando as propostas e modificando o papel da escola na vida do indivíduo. Trabalhos sobre propostas de ensino testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem indicam que os conteúdos de FMC podem ser interpretados pelos alunos no ensino médio, desde que, privilegie seus aspectos conceituais, históricos e contextuais. [5, 19, 43, 71]

3 Conceitos de Física Moderna e Contemporânea

3.1 Joseph John Thomson

A comunidade científica conhecia a menor partícula constituinte da matéria, o átomo, como indivisíveis, maciços, e em variados tipos que se combinavam e formavam o nosso universo, essa teoria foi proposta por Dalton. Mas surge J. J. Thomson um físico experimental brilhante que modifica essa ideia descobrindo uma partícula muitas vezes menor do que o menor átomo conhecido.

3.1.1 Vida

J. J. Thomson foi um físico experimental renomado, predecessor de Dalton nas teorias atômicas. Ele se propôs a estudar o átomo fazendo experiências com raios-X e gases, nessas experiências descobre o elétron. Por essa descoberta ele é agraciado com o prêmio Nobel em 1906. Baseado em seus estudos propõe um novo modelo atômico conhecido como pudim de passas, onde a massa do pudim é a carga positiva e as passas os elétrons incrustados. [73]

Liderou o laboratório de Cambridge por vários anos e nesse período teve como auxiliares alguns cientistas que se tornaram importantes no estudo do átomo: Rutherford, que se tornou um amigo e colaborador de longa data e Bohr, que não conseguiu trazer boas impressões inicialmente. [73]

Em 1919 J. J. Thomson é promovido a reitor do *Trinity College* e seu laboratório passa a ser dirigido por Ernest Rutherford. [74]

3.1.2 Obra

Um dos desafios científicos da época era descobrir mais sobre o átomo e J. J. Thomson inicia seu estudo fazendo experiências para descobrir os efeitos de raios-X atravessando um gás, auxiliado por Ernest Rutherford, descobre que existia uma partícula muitas vezes menor do que o átomo e o denominou de elétron. Baseado em sua descoberta e no estudo

sistemático do átomo, determinou que o átomo é eletricamente neutro e tem dimensões de um angstrom.[73, 74]

Imaginava que o átomo seria um sistema simples com várias formas geométricas, porém J. J. Thomson mostra que pelo contrário, eles são sistemas complexos com várias partes em movimento. Seu modelo pode ser observado na figura 3.1: [75]

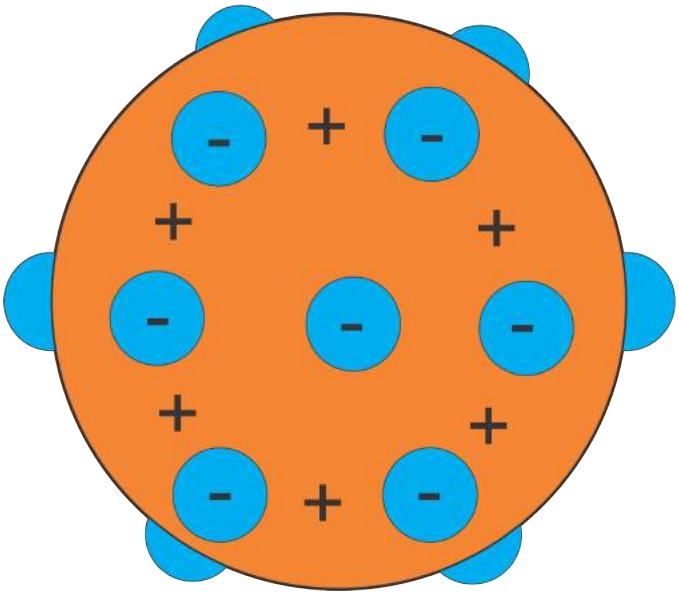


Figura 3.1: Modelo Atômico de J. J. Thomson

Ele propôs que a carga positiva estaria distribuída uniformemente dentro da esfera com as dimensões do átomo, e sobre essa esfera como uma nuvem estaria os elétrons. Devido à repulsão de cargas iguais, J.J. Thomson propôs que em seu estado de menor energia os elétrons estariam fixos num estado de equilíbrio, caso o átomo estivesse excitado os elétrons vibrariam em torno da posição de equilíbrio com uma oscilação radial. Na teoria do eletromagnetismo uma carga elétrica acelerada emite radiação. Era possível entender a emissão de radiação por átomos excitados no modelo atômico de J. J. Thomson, mas esse modelo não estava compatível com o resultado experimental do espectro do átomo de hidrogênio. [74, 75]

3.2 Ernest Rutherford

Ernest Rutherford foi um físico brilhante, contemporâneo de J.J. Thomson, Marie Curie, Niels Bohr entre outros. Ele desenvolveu vários estudos sobre radioatividade, modelos atômicos e ondas eletromagnéticas, mas, é considerado o pai da física nuclear, pois foi onde desenvolveu suas maiores contribuições.

3.2.1 Vida

Natural de Nova Zelândia Rutherford ganhou muitas bolsas durante os anos de estudo, entre elas conseguiu ser assistente de laboratório de J. J. Thomson em Cavendish na universidade de Cambridge. Sob tutela de J. J. Thomson, um perito nos estudos de ondas eletromagnéticas, trabalhou na experiência que descobriu o elétron. Com a promoção de J. J. Thomson a reitor, Rutherford foi convidado a liderar seu laboratório em Cambridge.[73, 74]

É no laboratório de Cambridge que Rutherford inicia seus trabalhos sobre radiação, como não conseguiu um emprego, ele ganha uma carta de recomendação de J. J. Thomson e consegue um vaga no laboratório da universidade de McGill, no Canadá onde continua seus estudos sobre a radioatividade estudando os elementos químicos: rádio, tório e actínio. [73]

Por ser um dos maiores experimentalistas e por sua persistência em encontrar respostas para seus resultados ele é comparado com Michael Faraday, que não aceitava um conceito até que fosse possível o demonstrar experimentalmente. [73]

Em 1908 o premio Nobel de química agracia Rutherford pelos seus trabalhos sobre a radioatividade. O que o intriga um pouco devido suas implicâncias com a química, pois se considerava um físico. Na época qualquer estudo sobre os elementos era considerado química. Porém o premio lhe trouxe prestígio, fama e dinheiro o que o situou entre os cientistas mais famosos da época. O que chama atenção é que ele desenvolveu seus trabalhos mais importantes depois da premiação. [73, 75]

Em 1937 Ernest Rutherford morreu subitamente, aos 66 anos de idade, de uma hérnia estrangulada não detectada, ele ainda era um homem vigoroso. [73]

3.2.2 Obra

Como a teoria atômica de J. J. Thomson apresentava algumas falhas e precisava ser explorada com maior presteza. Em seu laboratório Rutherford desenvolveu uma experiência que bombardeava uma fina folha de ouro com partículas alfa, para medir os ângulos de deflexão que as partículas sofriam ao atravessar a lâmina, em volta a experiência era cercado de todos os lados de telas de zinco, e quando a radiação colidia na tela aparecia um lampejo de luz. [74]

Já se conhecia que a massa das partículas α eram 8000 vezes maior que a massa do elétron, no modelo de J.J. Thomson a carga positiva era distribuída uniformemente no átomo, então não seria possível desvios significativos nas trajetórias das partículas α quando houvesse uma colisão na experiência. [74]

Um dos cientistas que trabalhavam no laboratório de Rutherford era Hans Geiger, ele lhe contou que um estudante chamado Ernest Marsden procurava um tema para sua tese. Então Rutherford sugeriu que Geiger e Marsden realizassem a experiência e verificasse os ângulos de deflexão das partículas alfa. Ambos aceitaram e começaram as observações e

anotações, porém esse era um trabalho que exigia que eles ficassem horas no quarto escuro para que seus olhos se adaptassem a ausência de luz para verificar os lampejos e anotar para encontrar os ângulos de deflexão. Nessas inúmeras experiências Rutherford, as vezes os visitavam e dava sugestões e ideias para a realização, e em uma dessas visitas ele sugeriu que eles procurassem por partículas defletidas com um ângulo reto, ou seja, partículas que se chocassem com o alvo e fossem rebatidas. Rutherford esperava que nenhuma partícula fosse encontrada, e é possível que os dois estudantes também relutassem em realizar a experiência, devido a improvável ideia das partículas rebatessem na lâmina. Porém, eles obedeceram e realizaram a experiência e para surpresa de todos foram encontradas partículas. [74]

Quando Geiger e Marsden anunciaram a Rutherford o resultado da experiência, ele ficou surpreso e dizendo que foi como se uma cápsula de uma bala tivesse ressaltado de um lenço de papel. Como uma partícula tão pesada poderia rebater na chapa de ouro? [74]

Esse resultado em 1909 estava em contradição com o modelo atômico de J. J. Thomson. Apenas em 1911 que Rutherford produz um modelo compatível com a experiência. Ele deduziu que para que ocorresse a colisão e as partículas alfas retornassem, só seria possível se toda a massa do átomo estivesse em um único ponto, que ele chamou de núcleo. Rutherford estimou a distância do núcleo, onde estaria à carga positiva e encontrou um valor aproximadamente 104 vezes menor que o átomo, o que resulta em uma ideia de um átomo com a maior parte de espaço vazio. [74]

Ele publica artigo que anuncia o átomo com um núcleo ao centro e os elétrons em movimento ao redor. O passo seguinte foi a publicação de que o núcleo era composto por partículas de carga positiva que Rutherford nomeou como próton (derivada do grego, significa primeiras coisas). O modelo proposto por Rutherford dá início à era da física nuclear. Seu modelo pode ser observado na figura 3.2:[74]

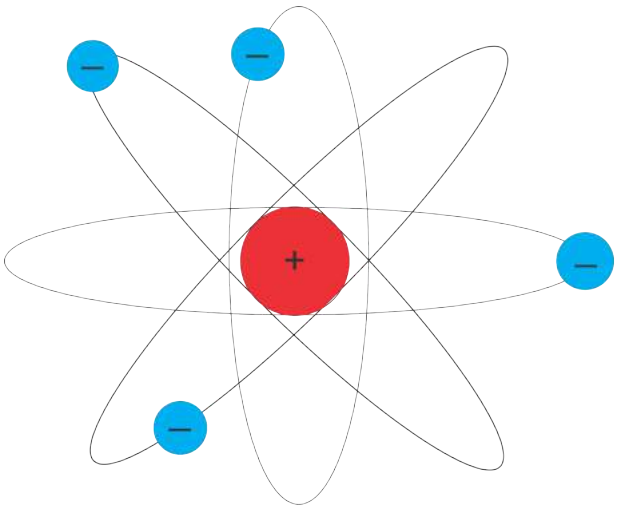


Figura 3.2: Modelo Atômico de Rutherford

Em 1919 ele prova a existências dessas partículas arrancando as dos núcleos de nitro-

gênio. Adiante percebeu que deveria existir mais alguma partícula no núcleo atômico, pois alguns elementos químicos mais pesados, tinham até o dobro da massa prevista pela soma dos elétrons e prótons, e além do mais, deveria existir uma força de ligação que mantinha os prótons unidos em um único ponto. Assim Rutherford sugere a existência de partículas neutras de carga elétrica no núcleo e as denomina de nêutrons. Essas partículas foram descobertas em 1932 por James Chadwick. Assim Rutherford propõe seu modelo atômico, que possuía muitas incógnitas a serem descobertas e explicadas.[73]

Na área da física nuclear logo no começo de suas pesquisas imaginou uma experiência que pudesse diferenciar os tipos de radiação. Ele observou que uma parte da radiação era barrada por uma fina folha de alumínio 1/500 cm de espessura, porém existia uma radiação que necessitava de uma espessura muito maior para que fosse detida. A primeira radiação que era positivamente carregada ele denominou alfa. Já a segunda que era mais enérgica e carregada negativamente ele a denominou beta. A radiação mais ionizante foi descoberta em 1900 por Paul Urich Villard e denominada gama, ela tinha uma frequência extremamente alta e comprimento de onda curto, por isso era a mais penetrante. [73]

Rutherford e seus colegas descobriram que a radiação consiste na desintegração de núcleos e que o elemento urânio ao decair se transformava em outro elemento químico, o hélio, então após a emissão de radiação o átomo se torna mais leve e já não é mais o elemento químico inicial do processo. Outras pesquisas descobriram que existiam outras séries de transmutação. Esse estudo conduziu a conclusão que o elemento rádio, era apenas um elemento da série radioativa.[73]

Estudando esses elementos descobriu que o tório se desintegrava em um gás e depois se desintegrava em um depósito que era radioativo também. Concluiu assim, que a radioatividade era a desintegração espontânea de átomos em outros tipos de elementos que continuavam radioativos. Isso ia contra a ideia de indestrutibilidade da matéria, o que levou a uma crítica severa da comunidade científica, que comentavam que essa explicação se assemelhava as ideias da alquimia medieval. Porém não demorou muito para que se comprovassem com louvor que os estudos de Rutherford eram valiosos e verídicos. Essa explicação revolucionou a química por mostrar que todo o elemento radioativo apresenta uma instabilidade e se transforma entre outros elementos até se tornar um elemento estável na natureza. [73]

Prosseguindo com as experiências Rutherford observou que o decaimento tinha relação com o tempo, e tentou encontrar uma equação que mostrasse esse valor. Ele desenvolveu uma equação exponencial, o que significa que o decaimento ocorre exponencialmente, exemplo em um tempo x temos 1 partícula, passado x tempo teremos $\frac{1}{2}$, passado mais x tempo teremos $\frac{1}{4}$ depois de mais x tempo $\frac{1}{8}$ e assim sucessivamente. Ele denominou esse processo de Meia-vida, pois a cada x tempo metade do elemento decai. [73]

Com essa explicação pôde se encontrar a meia vida de certos materiais, por exemplo o rádio 226 possui um tempo de meia vida de 1 620 anos, enquanto o urânio 238 é de 4,1 bilhões de anos, já a meia-vida do carbono 14 é de 5 570 anos, e depois metade decai para

o nitrogênio 14. [73]

Em 1905 Rutherford ajudou a desenvolver o processo de datação de materiais pela datação do carbono 14, pois sabemos que todo o ser vivo contém carbono 14 em sua composição, assim poderia datar muitas coisas encontradas da antiguidade. Essa descoberta revolucionou a geologia, paleontologia, entre outras, toda a ciência relacionada a datação de materiais históricos e até da própria terra.[73]

O cientista muito famoso na época, Lorde Kelvin, tinha estimado a idade da terra em 500 milhões de anos, Kelvin se baseou na emissão de calor do sol. Outro cientista que se aventurou a encontrar a idade da terra foi Darwin com sua tese da evolução das espécies atribuiu a terra bilhões de anos, pois se assim não fosse, não teria tempo suficiente para a evolução de todas as espécies existentes. Com a descoberta da radioatividade e da meia-vida Rutherford propõe utilizar esse método para datar a terra e encontra um valor compatível com a teoria de Darwin.[73]

3.3 Max Planck

No início de 1900 acreditava-se que a física estava completa, não haveria nada mais a ser descoberto, e sim, que as medições e fenômenos seriam apenas aperfeiçoados. Um grande engano, pois é aqui que nasce uma nova física e abre portas inimagináveis para o desenvolvimento humano e tecnológico e o primeiro passo para essa nova era é dado por Max Planck.

3.3.1 Vida

Max Planck nasceu em 1858 em Kiel, Alemanha, sua família era de classe média alta e lhe proporcionou cultura, bons estudos e valores familiares. Seu interesse pela ciência surgiu no estudo do secundário em Maximilian Gymnasium, em Munique. Planck cita que seu professor de matemática com uma didática que demonstrava exemplos práticos das equações das leis da física o chamou atenção e a partir dali ele se interessou pela área. [73]

Se graduou na universidade de Munique em Física e matemática, teve o prazer de receber instruções de dois grandes cientista Herman von Helmholtz e Gustav Kirchhoff, que despertaram o interesse por termodinâmica e admiração por serem renomados e respeitados pela comunidade científica. Escolheu a segunda lei da termodinâmica como tema para sua tese de doutorado, em que Helmholtz e Kirchhoff foram orientadores, apesar da falta de interesse de ambos na sua tese.[73]

Em 1880 ingressou como professor na universidade de Munique, e anos mais tarde com o falecimento de Kirchhoff e o reconhecimento dos seus trabalhos por Helmholtz ele assume a cátedra de Kirchhoff. Nesse tempo conhece também Wilhelm Wien de quem se torna amigo e colaborador por mais de 40 anos. Planck trabalhou na universidade de

Munique até se aposentar em 1926, já desfrutando da sua fama mundial.[73]

Foi no dia 14/12/1900 que Planck apresenta seu maior trabalho para a física, a quantização da energia, em uma reunião da Sociedade Alemã de física. Ele aplica um valor que julga um truque matemático para que os resultados estejam de acordo com o dados experimentais, Planck esperava que com o tempo esse truque matemático desaparecesse e desse espaço a uma realidade explicada pela física clássica, ele mesmo estudou por anos, maneiras de explicar o fenômeno utilizando a física clássica. Porém no fim, a contra gosto teve que aceitar que seus estudos eram válidos e que nascia uma nova era na física. [73, 74]

Um derrame em 04 de outubro de 1947 tira a vida de Planck, ele tinha 90 anos mas seu nome ficou eternizado na história da ciência. [73]

3.3.2 Obra

Quando professor em Munique Planck se voltou ao estudo da radiação térmica, radiação emitida por um corpo exclusivamente pela sua temperatura, em especialmente no caso do corpo negro, que vinha perturbando cientistas há algum tempo. [73]

O conceito de corpo negro foi proposto por Gustav Kichhoff, é uma superfície teórica que quando em equilíbrio térmico, absorve toda a frequência de radiação eletromagnética incidente e não reflete nenhuma, por isso são negros a temperatura baixa, mas quando aquecido deveria irradiar todas as frequências de luz. Mas na prática isso não acontece. [73, 75]

As previsões teóricas da física clássica levavam à famosa afirmação "catástrofe do ultravioleta". Essa "catástrofe" surge da formulação dos cientistas Rayleigh e Jeans para explicar a radiação do corpo negro: [75]

$$p_t(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}d\nu \tag{3.1}$$

Para baixas frequências essa equação satisfazia os resultados experimentais, porém para altas frequências ela aponta para um aumento da radiação de forma infinita, daí o nome catástrofe do ultravioleta, porém os dados experimentais mostravam que a irradiação tendia a zero para altas frequências. [75]

Foi Wien quem desenvolveu uma teoria que condizia para os dados experimentais para altas frequências, mas essa teoria não era aplicável a baixas frequências, o problema era uma região do espectro eletromagnético que não havia teorias que explicasse. [75]

Em dezembro de 1900 Planck apresenta a contra gosto uma ideia revolucionária para a comunidade científica, essa data futuramente é considerada o nascimento da física quântica. Sua teoria apresenta uma constante que ele mesmo julga uma manobra matemática para que os resultados experimentais da radiação emitida por um corpo negro fosse explicada. Porém sua constante traz uma nova explicação para energia: a energia é quantizada em pacotes, ou seja, só pode ser absorvida e emitida em múltiplos inteiros de um "quantum de energia", que se comportavam como pequenos osciladores harmônicos clássicos e

sua variação na origem:

$$\mathcal{E} = h\nu \tag{3.2}$$

Onde $\mathcal{E}$ é a energia.

h é a constante de proporcionalidade conhecida como constante de Planck h=$6,63.10^{-34}$ J.s

ν = frequência da radiação.

A expressão final da radiação do corpo negro proposta por Planck é dada por:

$$p_t(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}\frac{h\nu}{e^{h\nu kt}-1}d\nu \tag{3.3}$$

Max Planck procurou encontrar uma solução para a radiação do corpo negro que não precisasse da utilização da sua constante por vários anos, porém, sua constante ia sendo utilizada por outros cientistas e outros problemas iam sendo solucionados com a quantização da energia. E em 1918 Planck foi laureado com o prêmio Nobel de física por sua descoberta. [73]

No fim esses acontecimentos o fizeram aceitar que a sua constante não estava apenas correta, como abriu uma nova etapa para o desenvolvimento da física.

3.4 Niels Bohr

Surge em meio a uma mudança de paradigma da física Niels Bohr, um físico carismático e dedicado que traz não apenas uma salvação ao modelo atômico de Rutherford, como também uma nova visão para a recém descoberta da física quântica.

3.4.1 Vida

Nascido em Copenhague em 7 de outubro de 1885 filho de uma família culta e com boas condições financeiras, teve uma boa educação e uma infância feliz. Sendo o filho do meio entre Jenny e Harald, com quem sempre teve uma boa convivência. [73, 76]

Se matriculou na universidade de Copenhague e cursou física, se destacou nos estudos ganhando uma medalha de ouro da Real Academia Sueca de Ciências e Letras por análises teóricas e experimentos ligados à determinação da tensão de superfície da água. Se doutorou em física, em 1911, com um trabalho sobre a teoria eletrônica dos metais. [73, 76]

Em 1913 Bohr passa a trabalhar no laboratório de Rutherford, e começa a pesquisar o modelo atômico recém proposto, ele observa que a física clássica não era possível explicar tais condições propostas pelo modelo atômico de Rutherford e baseado nas ideias de Max Planck sobre a quantização da energia, produz postulados e um novo modelo atômico tido como primeiro modelo quântico para o átomo. Esse novo modelo atômico o leva a receber o prêmio Nobel em 1922. [73, 76]

Produziu uma trilogia de artigos em 1913 que continha dois de seus postulados. Bohr tinha resolvido estudar o átomo de hidrogênio devido a sua simplicidade, um elétron orbitando um próton. Ele defendeu que as radiações produzidas seriam devido a troca de órbitas dos elétrons dentro do átomo e fez os cálculos cuidadosamente e encontrou os comprimentos de onda correspondentes aos níveis de energia. Quando comparou as previsões teóricas com o espectro de emissão do hidrogênio, eles foram compatíveis. Essa explicação de Bohr foi a primeira bem-sucedida em explicar o fenômeno da espectrometria a partir da estrutura interna do átomo. [73, 76]

Em 1920 Bohr conhece Albert Einstein, ambos eram bem-conceituados e firmaram uma amizade que perdurou a vida inteira. Eles tiveram muitos debates principalmente sobre a natureza da mecânica quântica, pois tinham ideias diferentes sobre vários assuntos. Enquanto Einstein acreditava em mundo físico determinístico, Bohr defendia a natureza probabilística da ciência, esse embate científico durou a vida inteira, entre correspondências e encontros casuais que ambos gostavam de participar. [73, 76]

Um discipulo e protegido de Bohr foi Werner Heisenberg, ambos tiveram várias discussões acaloradas sobre a teoria quântica. Heisenberg propôs o principio da indeterminação como interpretação da física quântica e Niels Bohr defendia a complementaridade, no fim ambos se convenceram que as duas explicações estavam corretas e a junção das duas teorias resultou na Interpretação de Copenhague. [73, 76]

Em 1940 a Alemanha ocupa a Dinamarca, mesmo com inúmeras oportunidades de sair Bohr resolve permanecer na Universidade por ter um cargo de chefia e acreditar poder defender seus colegas. Após dois anos de tranquilidade a Alemanha declara lei marcial na Dinamarca e ordena captura e exportação de todos os Judeus para um campo de concentração. Bohr e sua família se veem obrigados a fugir as pressas para salvar suas vidas. A família de Bohr vai para Suécia e ele e seu filho vão para Inglaterra para auxiliar no projeto da bomba atômica, por um convite do governo Inglês. Mas antes de deixar a Dinamarca Bohr ajuda o rei junto com alguns governantes a salvar a vida de mais de 7000 judeus que viviam na Dinamarca, e no fim dos 8000 judeus que a Alemanha esperava capturar conseguiu pouco mais de 450 pessoas. [73, 76]

Depois Bohr foi para os Estado Unidos trabalhar no projeto Manhattan, onde exerceu sua contribuição sob supervisão de Oppenheimer. Os últimos dias de sua vida trabalhou mais como supervisor do que desenvolvendo algum projeto. Morreu em 1962 ao 77 anos em Copenhague. Sua morte foi pranteada por toda a comunidade científica. [73, 76]

3.4.2 Obra

Analisando o cuidadosamente o modelo atômico de Rutherford, Bohr observou o que a comunidade científica chamava de anomalia, o grande problema não explicado: Como os elétrons se mantinham em suas órbitas ao redor do núcleo, pois já era conhecida a atração coulombiana e era fisicamente aceitável que o pequenino e energético elétron fosse atraído para o núcleo e irradiasse energia no deslocamento, e isso não acontecia. Como

resolver esse problema teoricamente? [76]

Para explicar isso Bohr sugere que existam estados estacionários para o elétron, locais onde o elétron não perde nem ganha energia para percorrer, estados permitidos. Além disso, ele propõe que quando um elétron recebe energia ele passa para um estado excitado e se afasta do núcleo, porém ele não pode permanecer nesse estado, assim ele emite radiação perdendo a mesma quantidade energia (luz) e se aproxima do núcleo do átomo. Bohr relaciona as camadas em volta do núcleo com a luz produzida no retorno ao estado permitido e associa isso ao efeito fotoelétrico proposto por Einstein: [74, 76]

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{q^2}{2hc}\left(\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i}\right) \tag{3.4}$$

Sendo:

$$q^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \tag{3.5}$$

e é a carga elementar
R_n é o raio da orbita, i inicial e f final
h é a constante de Planck
c é a velocidade da luz no vácuo e
ε_0 é a permissividade elétrica do vácuo.

Os raios das órbitas são dados por: [74]

$$R_n = n^2 a_0 \quad (n = 1, 2, 3...) \tag{3.6}$$

O a_0 é o raio de Bohr:

$$a_0 = \frac{q^2}{2hcR_h} \tag{3.7}$$

Bohr propõe seus postulados, em primeiro lugar temos os estados estacionários. São estados que correspondem as órbitas eletrônicas em torno do núcleo, que Bohr calculou usando as leis da mecânica newtoniana e considerando apenas órbitas coulombianas circulares. [74]

A segunda parte é quantização de Bohr, os estados estacionários devem obedecer a quantização do momento angular: [74, 76]

$$L_n = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3...) \tag{3.8}$$

Em terceiro lugar temos a condição de frequência de Bohr, quando um elétron troca de estado de energia E_n para E_m, essa diferença nessa energia é igual a um fóton de frequência: [74]

$$\nu_{m\to n} = \frac{(E_n - E_m)}{h} \tag{3.9}$$

Se o elétron se distanciar do núcleo ele absorve esse fóton e se ele se aproximar ele emite um fóton na mesma frequência do absorvido. [74, 76]

Uma justificativa para essa teoria é a espectrometria, área de estudo dos espectros luminosos produzidos por elementos químicos diferentes. Todo o objeto a temperatura

superior ao zero absoluto emite radiação. Essa radiação é inerente de cada elemento químico, sendo assim considerada a impressão digital daquele elemento. As impressões se diferem em picos e vales em posições que são características das substâncias químicas que emitem a radiação. Sendo Bohr um percussor nesse estudo. [74, 76]

Desse estudo Borh sugere um novo modelo para o átomo de Rutherford, ele pode ser observado na figura 3.3.

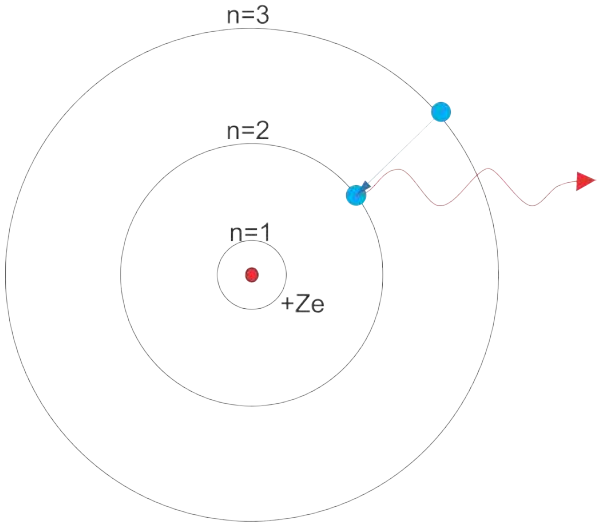


Figura 3.3: Modelo Atômico de Bohr

Niels Bohr também produziu uma interpretação para mecânica quântica que ficou conhecido como "O princípio da complementaridade de Bohr", esse principio consiste em duas explicações diferentes e inicialmente incompatíveis para um mesmo fenômeno físico, porém necessárias para a representação completa do sistema. Esse princípio foi proposto por Niels Bohr como explicação por exemplo da dualidade onda-partícula. Na física clássica do mundo macroscópico partícula e onda são características diferentes e exclusivas, porém no mundo atômico essas propriedades são ambas verdadeiras para o mesmo sistema. Niels Bohr defendia que a natureza da experimentação definiria a propriedade a ser observada e que ambas estariam corretas de forma que uma complementasse a outra. [73, 76]

A junção da complementaridade de Bohr e o princípio da incerteza de Heisenberg gerou uma interpretação, conhecida como Interpretação de Copenhague, para a física quântica que é muito aceita em meio a comunidade científica. Ela explica que é impossível utilizando o mesmo aparato detectar as propriedades simultâneas de onda e partícula, além disso outra impossibilidade é definir o momento e a posição simultânea de uma partícula atômica. A interpretação divide o sistema em dois o observado (átomo, molécula, partícula), que é regido pela física quântica, e, o observador (aparelho ou pessoa que analise o observado), regido pela leis da física clássica. Por serem regidos por leis diferentes é impossível prever resultados na experimentação. O que pode ser definido são probabilidades do fenômeno ocorrer. [73, 76]

Essa ideia de probabilidade física não foi aceita por Albert Einstein que junto com Podolsky e Rosen desenvolveram uma experiência mental que encontrava a posição e o momento da partícula no mesmo instante, porém essa gedaken se mostrou inválido. [73, 76]

A teoria quântica tem como traço fundamental da matéria atômica a probabilidade, desde sua existência até sua evolução no tempo. A matemática válida nesse ponto se torna estatística. [73, 76]

Estudou junto com John Wheeler o processo de desintegração de núcleos de Urânio por nêutrons, em 1939, publicaram uma explicação do porquê apenas uma parcela de urânio se dividiu nas experiências realizadas por Otto Hahn e Lise Meitner, a resposta era que o urânio era estável 238, porém existia um isótopo desse urânio que era instável, o U-235, o artigo também explicava quais os motivos levavam esse U-235 raro ser instável.[73, 76]

O artigo também trouxe uma explicação sobre fusão nuclear, quando dois núcleos leves se fundem e se forma outro átomo e no potencial liberação de energia que ocorre. Sendo importante para a compreensão do núcleo atômico e da utilização da energia nuclear, tanto lenta e controlada (usinas nucleares), como rápida e incontrolada (bomba atômica). [73]

3.5 Albert Einstein

Em 1900 tínhamos uma física bem estruturada em dois pilares: a mecânica newtoniana e a eletrodinâmica clássica de Maxwell. Surge um cientista sem reconhecimento algum, trazendo em seus trabalhos várias dúvidas sobre a física clássica e grandes descobertas que foram bases para a física moderna: Albert Einstein um dos mais famosos de todos os tempos. [77]

3.5.1 Vida

Albert Einstein nasceu na Alemanha em 1879, em uma família judia com condições medianas, porém de uma cultura e incentivo á leitura e a música. Demorou para aprender a falar e escrever e sempre teve um gosto por matemática e latim, o que o ajudou nas escolhas posteriores. [77]

Ao ingressar na escola politécnica na Suíça, para um estudo de quatro anos para se tornar professor de física abriu mão de sua cidadania Alemã e se naturalizou suiço. Nesse período se dedicou aos estudos independentes de obras como Kirchoff, Hertz, Maxwell, Mach e Lorentz, porém quem mais o influenciou foi Michael Faraday, que ele cita inúmeras vezes. Em uma conferência em Londres em 1921 ele enaltece Maxwell, Faraday e Lorentz dizendo que a relatividade era a culminância dos trabalhos deles. [73]

Depois de formado não conseguiu um emprego almejado como professor na universidade, porém, foi admitido como perito técnico de terceira classe num departamento de

patentes na Suíça. E trabalhando ali, Einstein tinha tempo livre para estudar e pensar sobre física, nesse ambiente tranquilo em 1905 ele produz cinco artigos que continham os seus maiores trabalhos, sendo considerado o ano milagroso de Einstein. [73, 77]

Durante sua vida conheceu e conviveu com muitos cientistas de renome, porém, seu embate com Niels Bohr sobre a física quântica probabilística chama atenção e produz uma de suas frases bem conhecidas: “Deus não joga dados com o universo”. Einstein nunca aceitou a ideia da física ser probabilística, já Niels Bohr defendia um universo probabilístico, onde a forma de como se faz uma experiência determinar seu resultado. Esse embate entre os físicos durou décadas. [77]

Durante a segunda guerra mundial se muda para os Estados Unidos, onde escreve uma carta ao presidente americano Franklin Roosevelt falando sobre o perigo da produção da bomba atômica pelos alemães, mal sabia que o projeto Manhattan já estava em andamento. Einstein foi um pacifista e teve muito desgosto em saber que suas ideias foram fundamentais para a produção da bomba atômica, lutou contra o uso de armas nucleares, e morreu aos 76 anos de um aneurisma aórtico. [73, 78]

3.5.2 Obra

O efeito fotoelétrico

A teoria da luz sofreu drásticas mudanças no decorrer da história da ciência. O astrônomo e matemático Alhazen, desenvolveu alguns estudos sobre luz com o objetivo de entender a visão. Ele foi pioneiro em explicar o movimento retilíneo da luz, e em seus estudos descobriu que os olhos eram lentes que permitiam a passagem da luz, mas não foi capaz de explicar como vemos, ou a natureza da luz. [79]

Uma teoria ondulatória para a luz é proposta por Christian Huygens em 1690, em seu artigo ”Tratado sobre a luz”. Além de Huygens, também defendiam a luz como ondas René Descartes e Robert Hooke.[73, 74]

Isaac Newton estudou a decomposição da luz e atribuiu a ela também uma característica corpuscular em 1790. Newton defendia um modelo corpuscular que explicava as leis básicas da ótica geométrica. [74]

Em 1801 Thomas Young produz a experiência de dupla fenda com a luz e acaba com as discussões comprovando a natureza ondulatória da radiação pela produção de interferência, que ocorre quando duas ondas se superpõem. Outros estudos descobriram que cada espectro luminoso produzido tinha um comprimento de onda diferente, descobrindo-se que cada cor tem uma frequência diferente. [74, 80]

Em sua experiência Thomas Young usou uma fonte puntiforme de luz para iluminar um anteparo opaco onde havia dois buraquinhos de alfinete muito próximos entre si, e observou o resultado sobre outro anteparo e o resultado eram franjas brilhantes e escuras, encerrando o assunto sobre a natureza da luz. Assim é desenvolvida a óptica geométrica, que explica perfeitamente todas as características necessárias para a luz visível,

com comprimento de onda variante entre 4×10^{14} Hz até 8×10^{14} Hz (400 nm-700nm).[74]

Em 1861 Maxwell com seus estudos sobre campo eletromagnético prevê campos com a velocidade da luz e infere que a luz é também uma onda eletromagnética. Em 1886 e 1887 que Henrich Hertz fazendo experiências comprova as previsões de Maxwell, produzindo ondas eletromagnéticas. [73, 74]

Em uma de suas experiências Hertz notou que a incidência de luz violeta em eletrodos gerava descargas elétricas. A incidência de luz sobre uma superfície que produz emissão de elétrons é conhecida como "efeito fotoelétrico". Posteriormente é P. Lenard que refaz experiências para estudar o efeito fotoelétrico e procurar explicações para os resultados que contradizem as interpretações clássicas. P. Lenard observou que para se ter bons resultados os eletrodos deveriam estar dentro de uma ampola evacuada e transparente a radiação ultravioleta. Todos os elétrons são coletados pelo anodo quando a diferença de potencial(ddp) V é positiva correspondendo a uma corrente I constante. Se invertermos a polaridade os elétrons são freados e conforme ddp aumenta a corrente I diminui até um ponto que se anula. Se aumentar a intensidade da radiação a corrente aumenta na mesma dimensão, ou seja, com maior intensidade de radiação temos mais fotoelétrons sendo ejetados. [74, 75, 81]

Esse efeito foi muito bem explicado por Albert Einstein em um artigo publicado em 1905, intitulado "um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz", onde ele utiliza a ideia do quanta de Max Planck e extravasa sua aplicação, relacionado a frequência da luz com a energia de forma quantizada, ou seja, cada frequência da luz leva consigo uma quantidade determinada de energia em forma de partícula, sendo assim retornando a ideia de partícula para luz, antes descartada. [80, 81, 77]

$$\mathcal{E} = h\nu$$
$$\frac{1m_e}{2}V_m^2 = eV_f = h\sigma - W \tag{3.10}$$

Onde $\mathcal{E}$ é a energia, h é a constante de Planck, σ é a frequência, W é a energia de corte, uma propriedade do material, V é a diferença de potencial, e é a carga do elétron, m é a carga do elétron. [74, 75, 81]

Essa ideia de uma luz constituída de partícula não agradou muitos cientista entre eles o físico americano Robert Andrew Millikan. Millikan se dedica em trabalhos experimentais para derrubar a teoria de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico, porém, em 1915 ele é obrigado a confirmar a predição de Einstein e reforçar que a explicação estava incoerente com a física clássica vigente no contexto. [74, 77, 81]

As várias características do efeito fotoelétrico inexplicáveis pela física clássica foi explicada facilmente com a teoria de Einstein. E essa teoria lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. [77]

Não podemos deixar de ressaltar a descoberta de um novo tipo de fonte de luz, o laser. As aplicações da luz de laser são inúmeras na ciência e na tecnologia, como nas comunicações óticas e computação.[73, 75]

Louis de Broglie também tem uma contribuição no desenvolvimento do laser. Ele introduziu a ideia de que uma partícula pode produzir interferências que é equivalente ao conceito moderno de emissão estimulada de radiação. Pois se um quanta de luz é produzido em um átomo ao passar próximo a outro ele desencadeará a produção de um quanta cuja a vibração estará em fase com a primeira.[76]

A diferencia de uma luz térmica (solar, lâmpada) e uma luz de laser é a coerência elevada da luz do laser. Interferências com luz são muito mais fáceis de ser verificadas utilizando o laser. [82]

Imagine dois feixes de luz originados em uma mesma fonte interagindo gerando uma interferência, para que esse fenômeno seja verificado é necessário que a diferença de caminhos entre eles não exceda o comprimento de coerência da luz. [74]

Chama-se comprimento de coerência de um sinal luminoso a distância percorrida pela luz durante um tempo de coerência, para propagação no vácuo temos:

$$\Delta l = c\Delta\tau \sim \frac{c}{\Delta V} \tag{3.11}$$

Para uma luz branca temos um comprimento de coerência de 1 1μ m, para uma luz monocromática de fonte térmica, passada por filtros conseguimos 102 cm, e para a luz de laser temos 10^8 cm, o que explica a facilidade de observar interferências. [74]

A relatividade restrita

No fim do século XIX existiam três bases para a física: As equações de Maxwell, a mecânica newtoniana e as transformações de Galileu. Toda a física era fundamentada nelas e nessa base estava aceito a ideia de um meio para a propagação das ondas eletromagnéticas (a luz), esse meio denominado éter luminífero era defendido por muitos cientistas, porém não havia sido detectado ainda. E dentro dessa ideia surge dois professores que procuram encontrar uma comprovação do éter: Michelson e Morley. [75]

Então para comprovar a existência de um referencial privilegiado entre 1881 e 1887 os professores Albert Michelson (física) e Edward Morley (química) se juntaram para construir uma experiência com objetivo de detectar o e medir com precisão a força do vento de éter luminífero. Pois na época a sociedade científica defendia a existência de um meio de propagação para as ondas eletromagnéticas (a luz). [73]

Eles já tinham conhecimento que um referencial onde o sol estaria estático é com boa aproximação um referencial inercial. A velocidade da terra em relação a esse referencial é de 30 km/s, e tem sentidos opostos em intervalos de meio ano o que remete a uma diferença de 60 km/s. [73]

E um ambiente na terra como um laboratório por mais que em algum momento tenha uma velocidade nula em relação ao referencial em algum outro momento terá uma variação em sua velocidade. Durante um intervalo de tempo a terra tem uma velocidade de 30km/s de qualquer referencial inercial fixo. E pela lei das composições das velocidades teríamos uma diferença de 10-4 na velocidade de propagação da luz. Entre 1881

e 1887 Michelson junto com Morley fizeram experiências utilizando o interferômetro de Michelson que demonstrasse essa pequena diferença [74, 75]

O interferômetro consiste em separa um feixe de luz em feixes perpendiculares entre si. Ao fim do trajeto existe um espelho que reflete os feixes de luz em um mesmo ponto que é recombinado e posto em foco em uma ocular. Deduz que um dos feixes fará o trajeto em paralelamente ao éter enquanto o outro o atravessará perpendicularmente, o que resultaria em uma franja de interferência.Conforme a figura 3.4 [73]

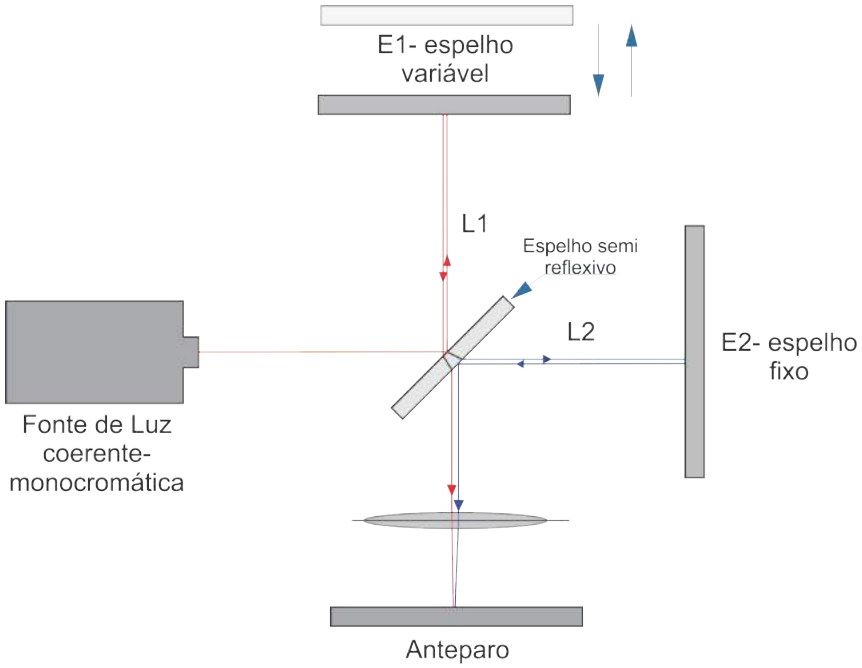


Figura 3.4: Interferômetro de Michelson-Morley

A experiência foi repetida inúmeras vezes, em posições diferentes e em vários períodos distintos do ano, considerando que terra tem posições diferentes em cada estação do ano. Esperava encontrar uma franja de interferência devido a velocidade da terra em relação ao éter. [74]

Porém o resultado foi negativo, nenhuma franja detectada, o que leva a ideia de que o éter estacionário não existe. Foi uma surpresa aos experimentadores que o tempo de percurso da luz para os diferentes percursos eram sempre os mesmos. O que levantou várias hipóteses sobre o fenômeno. Um deles era a não existência do éter o que seria preciso rever a mecânica newtoniana, o que era quase inaceitável. [73]

A divulgação do resultado da experiência para a comunidade científica resultou em uma frase de Isaac Asimov: ‘’o mais importante experimento que não deu certo de toda a história da ciência.” [73]

Com o desenvolvimento das leis de Maxwell e a experiência de Michelson e Morley, ainda tínhamos um problema a ser resolvido sobre a constância da velocidade das recém descobertas ondas eletromagnéticas (a luz). A solução vem em um trabalho publicado em

1905 por Albert Einstein intitulado “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”. [73, 77]

Ao que tudo indica Einstein não tinha conhecimento das experiências de Michelson e Morley e em nenhum momento as citou em seu artigo. Mas ele postulou que a velocidade da luz é sempre constante independente do referencial, ou da fonte emissora, o que estava em pleno acordo com a experiência. [73, 74]

Considere dois referenciais inerciais diferentes S e S’ (S’ se desloca com relação a S com movimento retilíneo uniforme). Temos as origens O e O’ de forma que coincidam no tempo inicial que chamaremos t e t’.[74]

Suponhamos que num dado instante comum uma fonte puntiforme localizada em O= O’ produza um pulso de luz. Decorre então se a velocidade da luz é a mesma independente do referencial, que a luz se propaga em todas as direções com velocidade c em ambos referenciais. Em S temos uma esfera no centro O e em S’ no centro O’. Considerando duas esferas distintas.[74]

Analisando as frentes de onda, que são pontos geométricos onde a luz se encontra simultaneamente em um referencial, observamos que o que ocorre simultâneo em S não ocorre simultâneo em S’.[74]

Ampliando a noção de simultaneidade, procuramos determinar eventos simultâneos em referenciais diferentes, porém todas as formas de definir uma marcação para definir simultaneidade nos leva a um impasse sobre a certeza dos eventos num mesmo instante. Einstein conclui que, ao contrário da simultaneidade que ocorre no mesmo ponto, simultaneidade em pontos distantes não tem nenhum significado a priori. [74]

A definição de Einstein para simultaneidade é proposta imaginando um evento que ocorre em um ponto P_1 em um instante t_1, sendo marcado por um sinal luminoso que parte de P_1, nesse instante, o mesmo vale para P_2 em t_2 (segundo evento). Dizemos que esses dois eventos são simultâneos (t_1=t_2) quando o ponto de encontro desses dois sinais é ponto médio do segmentoP_1 P_2. [74]

Essa definição deixa claro que um evento simultâneo em um referencial S não será simultâneo em um referencial inercial S’, que se move com velocidade retilínea uniforme com relação a S. [74]

Um exemplo muito comum é uma experiência com um trem que se move com velocidade uniforme sobre os trilhos, em um instante t’ o trem recebe dois raios em suas extremidades, considerando a velocidade invariante da luz o ponto médio do trem os raios vão se encontrar, para um observador parado com relação ao trem, já para o observador dentro do trem o encontro não ocorrerá no ponto médio, pelo fato de o trem estar se movendo o evento da ponta no sentido do movimento do trem chegará primeiro. [74]

Mesmo na mecânica newtoniana simultaneidade já era tida como relativa, eventos que acontecem na mesma posição em instantes diferentes no trem, não o faram no referencia S dos trilhos. Exemplo uma pessoa que levanta do assento e vai até o outro lado do trem, quando retorna ao seu assento no referencial S’ do trem estará na mesma posição, porém

no referencial S nos trilhos não o fará. [74]

Entretanto, o tempo de ocorrência era considerado como tendo caráter absoluto, o que se aplicaria a simultaneidade de eventos distantes, o tempo segundo Newton era absoluto, matemático e verdadeiro, pela sua própria natureza, sem relação a nada externo, que permanece sempre semelhante e imutável. [74]

Lembrando que para o cotidiano esse tempo é bem aproximado do esperado, ele só perde seu valor com velocidade altas próximas a velocidade da luz. Para encontrar as transformações que substituíram as de Galileu devemos ter uma imagem bem concreta de um referencial onde se emprega a ideia de simultaneidade de Einstein. [74]

Para definir o tempo temos o relógio atômico que é um sistema físico bem definido, ele se baseia no período de oscilação de uma dada linha espectral emitida por um átomo, em repouso no referencial adotado. Como c é uma constante universal o comprimento é definido em função de t, o comprimento é encontrado baseado no tempo em que a luz demorar para percorrer esse espaço.[74]

Existia uma necessidade de encontrar as transformações que pudessem substituir as equações de Galileu, que abrangesse as explicações de Einstein. Na verdade essas transformadas foram desenvolvidas pelo físico-matemático holandês Hendrik Lorentz para explicar a experiência de Michelson e Morley, porém não tinham explicações físicas, as quais foram desenvolvidas por Einstein. [74, 77]

Lorentz também foi agraciado com o prêmio Nobel, em 1902 junto com seu aluno Pieter Zeeman por explicar o efeito Zeeman, elucidando algumas propriedades da partícula que emite luz (mais tarde conhecida como elétron). [75, 76]

A transformação$(x, y, z, t) \rightarrow (x', y', z', t')$

Para satisfazer a equação devemos considerar que:

um movimento retilíneo e uniforme em relação a S' também o é em S. Se V=0, a transformação deve se reduzir a identidade, porque consideramos os centros coincidentes. $O = O'$ em $t = t' = 0$. [74, 75]

Se um sinal luminoso é enviado em $O = O'$ em $t = t' = 0$, a sua frente de onda deve-se propagar com velocidade c em ambos referenciais, de modo que:[74, 75]

$$x^2 + y^2 + z^{2\smile} c^2 t^2 = 0$$

$$X'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0$$

Para comprimentos transversais, considerando $O = O'$ em $t = t'$ teremos:[74, 75] $y = y', z = z'$

pois se assim não fosse violaria o principio da relatividade, pois consideramos apenas o movimento no eixo x, o que resulta em que comprimentos longitudinais, pois segmentos que são simultâneos em S' não são para S. Com a origem $O'(x' = 0)$ de S', em S terá coordenada $x = V.t$ [74]

As transformadas especiais de Lorentz que substituíram as transformadas de Galileu: [74]

$$
\begin{aligned}
x^{'} &= \gamma\,(x - Vt) \\
t^{'} &= \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \\
y^{'} &= y \\
z^{'} &= z
\end{aligned}
\tag{3.12}
$$

onde

$$\beta = \frac{V}{c}\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \tag{3.13}$$

Para que γ seja real $\beta < 1$ o que implica que c não é apenas a velocidade da luz, mas é também uma velocidade limite, pois não podemos ter V > c. [74]

Caso$\beta << 1$, usando uma expansão por série de Taylor teremos

$$\gamma = (1-\beta^2)^{\frac{-1}{2}}$$

$$\gamma = 1 + \frac{1}{2}\beta^2 \tag{3.14}$$

E para $x << ct$ as transformações de Lorentz se reduzem às transformações de Galileu, a menos dos termos de 2ª ordem em $\beta = V/c$ [74]

Outra situação que as transformações de Lorentz se reduzem as de Galileu é para $c \longrightarrow \infty$ pois se existissem sinais instantâneos, de velocidade infinita, a simultaneidade de eventos distantes teria caráter absoluto. [74]

Para obter as transformações gerais de Lorentz, em que S' tem uma velocidade em relação a S em um sentido arbitrário, é preciso decompor o vetor posição em um ponto P, que se transforma como x na transformação especial, e uma ortogonal que transforma (y e z) em coordenadas idênticas a transformação especial de Lorentz. Essas transformações propostas por Lorentz traz efeitos cinemáticos que são: a contração espacial, dilatação temporal e aumento de inercia. [74]

Chama-se valor próprio de uma grandeza física o valor dessa grandeza medido em um referencial onde o objeto o qual está analisando encontra-se em repouso.[75]

Sabendo que o L no referencial S é dependente da velocidade e tempo do referencial em movimento chegamos a: [74]

$$l = \sqrt{1-\beta^2}\;\; l(\leq l_0) \tag{3.15}$$

O que resulta que o comprimento é menor que seu comprimento próprio. Esses efeito foi demonstrado por Lorentz e FitzGerald antes da Relatividade de Einstein, porém sem explicação física, apenas com o intuito de justificar o resultado das experiências de Michelson e Morley. [74]

A contração é um evento recíproco: Uma barra em repouso em S também aparenta contraída medida de S'. Como tem de ser pelo princípio da relatividade.[74]

A dilatação do tempo também deve ser analisada. Consideremos um relógio em repouso em S', na origem das coordenadas, o tempo t marcado por esse relógio será nosso tempo próprio por isso iremos representa-lo por τ. [74]

A coordenada tempo t em S pode ser obtida pela transformação de Lorentz inversa , fazendo $x' = 0$. [74]

$$t = \gamma.t' = \gamma.\tau \tag{3.16}$$

Dessa forma temos uma relação de intervalo de tempo próprio $\delta\tau$ em S' e o intervalo de tempo correspondente em S, onde o relógio está em movimento é: [74]

$$t = \gamma\Delta\tau = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{1-\beta^2}}(\Delta\tau \leq) \tag{3.17}$$

Observa-se a dilatação do tempo. O efeito também é recíproco, ou seja, um relógio em repouso em S marca tempos maiores que S'. [74]

Uma confirmação desse efeito é percebida no decaimento de múons dos raios cósmicos, partículas carregadas como os elétrons, mas, com massa 200x maiores.[74]

Observando a desintegração de múons em repouso em laboratório pode se medir sua vida média $\tau \approx 2,2.10^{-6}$ s. Se sabe que os múons são produzidos quando raios cósmicos colidem com núcleos ao penetrar na atmosfera da terra, e uma fração apreciável chega até a superfície da terra. Mesmo que os múons viajassem a velocidade da luz, com esse tempo de vida média eles não conseguiram andar mais que 1000 m e chegam a ser detectados até em 10 km.[73, 74]

Para explicar esse fenômeno recorremos a dilatação temporal, lembrando que o tempo próprio é o tempo medido pelo múon, que ele tem $0,995C$, e nos dá como fator dilatação $\gamma = 10$, então é o que faz o múon penetrar as distâncias observadas.[74]

Além da alteração nas transformadas de Galileu, outra mudança foi necessária: a dinâmica newtoniana, lembrando que a mecânica de Newton é de boa aproximação para qualquer velocidade $v << c$. [74]

Para chegar às leis da dinâmica relativística utilizaremos as forças de contato, respeitando a validade da lei de conservação, de forma heurística. O princípio básico que utilizaremos é da conservação do momento em uma colisão elástica entre duas partículas idênticas, esse exemplo se deve a G. N. Lewis e R. C. Tolman. [74]

Utilizaremos a formulação newtoniana de momento, com uma discrepância na dependência da massa da velocidade com que se move e não invariante: [74]

$$p = m(\nu)V \tag{3.18}$$

Analisando o choque de duas partículas A e B, com mesma massa inercial, em dois referenciais distintos S e S', observamos que é impossível que a massa seja invariante, pois

se não fosse invariante violaria o principio da conservação da energia, a partícula com maior velocidade teria uma maior energia na colisão, o que resulta em:[74]

$$m(\nu) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{3.19}$$

Onde m_0 é a massa própria do objeto, obtida no referencial que ela se encontra em repouso, sendo m0 a massa de repouso do objeto, assim a expressão de momento relativístico fica:[74, 83]

$$p = m(\nu)V = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{3.20}$$

Se o momento da partícula tem uma alteração é de se esperar que a energia relativística também tenha uma nova definição. [83]

$$\mathcal{E}\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 c^2}} = m_0 c^2 \tag{3.21}$$

Podemos observar por essas duas equações que se $m_0 > 0$ tanto momento quanto a energia crescem indefinidamente quando a velocidade tende a c. Então uma partícula que tem massa de repouso > 0 nunca poderá atingir a velocidade da luz.[74]

Na relatividade restrita um dos resultados mais importantes é a interpretação que toda a energia possui inercia, e a massa inercial relacionada a energia é encontrada pela equação mais conhecida de Albert Eintein: [73, 77, 83]

$$\mathcal{E} = mc^2 \tag{3.22}$$

Einstein sugere que a prova dessa equação poderia ser obtida por meio de processos radioativos, onde a liberação da energia teria um valor mensurável. Essa definição foi fundamental para o desenvolvimento da física nuclear, e na década 1930 foi comprovada com grande precisão. [73, 83]

Relatividade Geral

O próximo problema a ser solucionado por Einstein era a gravitação. Como reformular a gravitação newtoniana de forma a ser compatível com a relatividade restrita? [73, 74]

Uma coisa que chamou a atenção e não tinha uma explicação era o fato na massa inercial ser igual a massa gravitacional, até Newton se surpreendeu com essa descoberta. Daí nasce a ideia da relatividade geral: Será a força gravitacional uma força inercial? [73, 74]

Einstein faz uma experiência de pensamento utilizando um elevador, imagine um elevador que se encontra em um ambiente sujeito a força gravitacional g, o elevador sobe com um movimento retilíneo e uniforme, quando de repente o cabo do elevador se solta e

ele entra em queda livre. Nesse momento tem a sensação de estar em uma região inercial livre de campos gravitacionais. Sendo assim, Einstein provou que as leis da mecânica em um referencial em queda livre num campo gravitacional uniforme são as mesmas que num referencial inercial sem a presença de um campo gravitacional. [73, 74]

Isso fica generalizado com o principio da equivalência proposto por Einstein: O efeito de um campo gravitacional é equivalente ao de uma aceleração local. O que reflete que a gravidade é uma força de inércia. [73]

Outro exemplo que ilustra essa situação é descrito por Einstein: Uma pessoa caindo em queda livre com um elevador, é acessa uma lanterna em uma das extremidades da parede que projeta a luz horizontalmente, para a pessoa dentro do elevador a luz faz um percurso reto e atinge a outra lateral, porém para uma pessoa que observa a mesma situação parado do lado de fora do elevador, onde os efeitos do campo gravitacional são sentidos, verá a luz descrever uma parábola. Logo a gravidade gera uma deflexão dos raios luminosos. [73]

Na terra onde o campo gravitacional é pequeno os efeitos são imperceptíveis, mas em um campo gravitacional como o do sol, essa suposição poderá ser detectada durante um eclipse solar total, pois a luz das estrelas sofreram desvios ao passarem próximas ao sol o que resultará em um desvio aparente em relação as outras estrelas no céu.[73]

Em 29 de maio de 1919 duas expedições feitas por Eddington (a que teve êxito foi na cidade de Sobral, no Ceará, Brasil) detectou uma variação de $1,75°$ em uma estrela, o que estava em concordância com a previsão de Einstein, assim sua teoria da relatividade geral é comprovada. [73]

Mas os efeitos da força gravitacional vão além, se imaginarmos o mesmo exemplo do elevador mas agora com uma lanterna ligada do teto ao piso, poderemos observar que para o referencial inercial que está fora do elevador, dependo do movimento deste (subindo ou descendo) a cor da luz sofrerá um desvio para o vermelho ou azul. O que pela relatividade restrita nos leva a observar que o tempo passa mais lentamente para objetos que estejam sob o efeito gravitacional. Ocorre também uma deformação espacial no objeto em relação ao referencial inercial.[73]

Um campo gravitacional deforma o espaço-tempo, alterando tanto o tempo como a geometria espacial do que esta sob ação de sua força. Imagine uma superfície plana e deformável, como uma rede de pula-pula, se colocar uma bola de aço no centro resultará em uma deformação ao redor da bola, essa deformação é causada pela gravidade da bola, se por outra bola com massa menor ela começara a cair sobre a primeira devido a deformação gerada pela de maior massa. [74]

A gravidade afeta o tempo, ele passa mais lentamente para o referencial sujeito a campos gravitacionais, por esse motivo a luz de uma lanterna se apresenta avermelhada para referenciais inerciais. [73, 74]

Para exemplificar o retardo do tempo daremos um exemplo conhecido como “paradoxo dos gêmeos”: Dois gêmeos se encontram aqui na terra, um deles o A fica aqui na terra e o

outro o B é enviado a um planeta que se encontra a 15 anos-luz de distância, considerando que sua velocidade seja $\frac{V}{c} = \beta = \frac{3}{5}$, obtemos o fator de dilatação temporal $\gamma = \frac{5}{4}$. Considerando que B chegue ao planeta e retorne com a mesma velocidade. [74]

Para A, passou 50 anos para que B retornasse, ao passo que para B a viagem durou apenas 40 anos. Se analisarmos por outro lado para B é o gêmeo A quem se deslocou com velocidade V, então na intuição de B temos que a viagem durou 40 anos e aplicando o fator de dilatação temporal γ temos que para A passou 32 anos. [73, 74]

Quem dos gêmeos tem razão? Quem estará mais velho A ou B? e 10 ou 8 anos?

Se admitirmos o referencial da terra como inercial (gêmeo A), é ele quem tem razão de estar 10 anos mais velho. O foguete não é inercial pois estará sujeito a aceleração para alcançar a velocidade máxima e depois no retorno , como B estará em um referencial acelerado do foguete é equivalente a estar em um campo gravitacional, o tempo passa mais devagar. [74]

Uma comprovação desse efeito de dilatação temporal foi obtido em 1971 em uma experiência utilizando aviões a jato comerciais. Sincronizaram relógios atômicos e viajaram nos aviões tanto a leste como a oeste, em cada avião tinha um relógio que seria comparado após a volta com um relógio que ficou no Observatório Naval em Washington, a diferença dos percursos leste e oeste se dá pela rotação da terra, que introduz outras forças inerciais (centrifuga, corriolis). No retorno é observada uma diferença em nano segundos, o que estava em acordo com a previsão teórica.[74]

O primeiro espaço cosmológico dependente do tempo foi proposto por Alexander Friedmann em 1922, e foi consistente com a expansão espacial verificada posteriormente por Hubble. [73]

Quando se compara um espectro de luz emitido por uma galáxia distante é observado um desvio de cor para o vermelho. Em 1929 P. Hubble, astrônomo americano, supôs que esse desvio de cor era produzido devido ao efeito Doppler na luz e que as galáxias estavam se afastando de nós.[73]

O efeito Doppler na luz também pode ser explicado relativisticamente e é dado pela equação: [74]

$$v' = \gamma v(1 - \beta \cos\theta) \tag{3.23}$$

Esse efeito depende apenas da velocidade v do observador com relação à fonte, para $\theta = 0$

$$v' = \gamma v(1 - \beta \cos\theta) = v\frac{(1-\beta)}{(\sqrt{1-\beta^2})} = v\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \tag{3.24}$$

O resultado de Hubble foi a primeira comprovação de que o universo não era estático e que ele se encontra em expansão, o que reforçou a ideia da teoria do big bang, se o universo está se expandindo significa que ele já foi bem menor do que ele é, e o que resultou nessa expansão? Assim, a teoria do big bang tem uma prova a seu favor. [74]

Outro reforço para a teoria da explosão primordial foi a descoberta, por A. Penzias e R. Wilson da radiação de fundo primordial em 1965, em 1978 eles ganharam o prêmio Nobel pela descoberta. Trata-se de uma radiação térmica de aproximadamente 2.7 K remanescente do big bang e esfriada devido a expansão, hoje ela é conhecida como micro-ondas. [73]

Além disso, a relatividade geral resolveu o impasse da precessão dos planetas, pois explicam as órbitas como geodésicas, que a gravitação de Newton não podia explicar. [73]

Condensado de Bose-Einstein

Foi em 1924 que Einstein junto com o físico Indiano Satyendra Nath Bose desenvolve uma equação que descreve a distribuição estatística de certos tipos (os chamados bósons atuais) de partículas idênticas em um gás ideal. [77]

3.6 Artur Holly Compton

Enquanto o mundo científico ainda debatia as ideias de Einstein sobre a quantização da energia, combatendo-a friamente, surge Artur H. Compton com uma experiência que consolida essa dualidade da radiação. [77]

3.6.1 Vida

Artur Holly Compton foi um físico americano nascido em 1892, filho de um ministro presbiteriano e professor de filosofia, seu pai o aconselhou a seguir a carreira científica assim como seu irmão mais velho Karl, um físico notável também. Compton estudou na universidade de Princeton, onde se doutorou em 1916, em sua tese estudou a distribuição angular de raios-X refletidos a partir de cristais. Foi Karl que o apresentou ao estudo dos raios-X , e tornou sua principal linha de pesquisa por vários anos. [84, 85]

Entre seus trabalhos como professor e pesquisador passou um ano trabalhando no laboratório dirigido por Ernest Rutherford em Cambridge. [84]

Nos seus estudos sobre os raios-X, produziu uma experiência que incidia raios-X em grafite e analisava detalhadamente os desvios produzidos. Compton interpretou os resultados postulando que os raios-X eram feixes de partículas (fótons), como a energia proposta por Einstein no efeito fotoelétrico, e que os fótons colidiam com os elétrons livres presentes na grafita obedecendo as leis da colisão de duas bolas de bilhar. Porém observamos que diferente do que acontecia no efeito fotoelétrico o fóton é espalhado e não absorvido, Compton explicou que o fóton é muito energético e transferia parte de sua energia ao elétron, modificando sua velocidade e alterando o comprimento de onda. [75]

Esse estudo rendeu a Compton um Nobel em 1927 por demonstrar experimentalmente e explicar teoricamente o efeito que tem seu nome, comprovando a natureza corpuscular da radiação. [77]

3.6.2 Obra

Entre 1919 e 1923 Compton realizava experiências em seu laboratório, analisava o espalhamento de raios-x monocromático por um alvo de grafite. O comprimento de onda utilizado foi da ordem de 0,7 angstrom, a radiação era espalhada em todas as direções pelo alvo. Foi utilizado um espectrômetro de Bragg para análise dos raios-X espalhados em diversos ângulos. O resultado mostrou componentes com o mesmo comprimento de onda incidente e com comprimentos maiores, onde o valor do comprimento espalhado dependia do ângulo de espalhamento.[74, 75]

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \tag{3.25}$$

Para que essa experiência fosse explicada Compton levou em consideração a teoria do quanta da radiação de Einstein e considerou os raios-x como fótons. O momento do fóton dos raios-x incidentes é dado por: [74, 75]

$$|P_{\lambda 0}| = \frac{h\nu_0}{c} = \frac{h}{\nu_0} = \frac{\hbar}{k_0} \tag{3.26}$$

A grafita é uma forma de carbono e a energia de um fóton de raios-x é muito maior do que a energia de ligação dos elétrons ao átomo de carbono. Compton sugeriu que a radiação era espalhada pelos elétrons dos átomos, e neste caso a energia de ligação seria livre, ou seja, os elétrons se comportariam com se estivessem livres. [74]

Então Compton tratou da colisão de uma partícula de energia com momento e um elétron livre inicialmente em repouso como uma colisão mecânica. Devido ao recuo do elétron o fóton perde energia, o que é refletido no aumento do seu comprimento de onda. [74]

Para encontrar de que forma λ depende do ângulo de espalhamento θ dos raios-x, ele aplicou as leis da conservação da energia e do momento de forma relativística, pois os fótons são relativísticos. Fazendo uma manipulação matemática chega-se em:[74]

$$\Delta\lambda = \left(\frac{h}{m_0 c}\right)(1 - cos\Theta) \tag{3.27}$$

Esse é o deslocamento de Compton.

Que dá exatamente a variação do comprimento de onda em função do ângulo de espalhamento. Essa experiência foi repetida inúmeras vezes e encontrou experimentalmente a dependência do ângulo do espalhamento com o comprimento de onda, o que reforçou sua teoria. Em 1950 G. N. Cross e N. F. Ramsey fizeram experiências que concordaram com as previsões teóricas, o que comprovou que existe uma colisão entre um fóton e um elétron. Essa experiência de Compton junto com o efeito fotoelétrico traz à tona a natureza corpuscular da luz a algum tempo inutilizada.[74]

3.7 Louis de Broglie

Os cientistas mal aceitaram a ideia da qual a luz tinha uma natureza dual de onda e partícula e aparece Louis de Broglie, formado em história, fazendo um doutorado em física com uma audaciosa ideia de que a matéria também teria uma natureza dual, e poderíamos verificar os efeitos de onda apenas em partículas minúsculas. Uma ideia nova e revolucionária que se mostrou verdadeira no passar do tempo.

3.7.1 Vida

Nascido em agosto de 1892, Louis de Broglie foi um príncipe francês cujo o tetravô fora guilhotinado durante a revolução francesa. Descendente de uma família nobre, graduou-se em história, porém, durante a primeira guerra mundial quando servia o exército despertou um interesse pela ciência. [73, 76]

Em seu estudo de pós-graduação se envolveu com a luz. Nessa época a ideia da luz como onda já tinha sido questionada por Albert Einstein e Artur Compton. Eles demonstraram que a luz era entendida como um fluxo de partículas individuais, chamadas fótons. A luz era ensinada como onda e como partícula. Numa ideia original de Broglie propôs que a matéria também deveria exibir as propriedades ondulatórias, e juntou a teoria de Planck, que relacionava energia e frequência com Einstein, que relacionava massa e energia, para desenvolver a teoria da dualidade da matéria. [75, 76, 80]

Sua obra inicialmente trouxe certo ceticismo a comunidade científica, até os avaliadores da sua tese tiveram dificuldade de entender se sua ideia tinha significado físico ou não, então enviaram uma cópia para que Einstein comentasse. Einstein achou brilhante a ideia original de de Broglie, o que ajudou a ganhar o título de doutor. Em 1929 de Broglie é agraciado com o prêmio Nobel em física, pelo seu trabalho, que fortaleceu as bases da dualidade onda-partícula. [73, 76]

Louis de Broglie foi um pesquisador ativo durante quase toda a vida, mas não houve mais contribuições importantes depois de sua tese de doutorado. [76]

Se aposentou como professor aos 70 anos e morreu em 1987, não deixou filhos e o título de príncipe passou a um primo distante. [76]

3.7.2 Obra

Em 1923, quando de Broglie estava fundamentando sua tese de doutorado baseado nos resultados das experiências de Albert Einstein, Compton e Bohr. [73, 76]

Observando a quantização do momento angular do elétron de Broglie começa a analisar que as ondas tem características de números inteiros, e sugere que os elétrons tenham uma característica ondulatória. De Broglie analisou os estudos sobre a dualidade das ondas e sugeriu que o comprimento de onda relacionado a partículas não relativísticas de momento $p = mv$ era dado por: [74, 75]

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \tag{3.28}$$

Que é conhecido como comprimetno de onda de de Broglie.

E o comprimento de onda para elétrons não-relativísticos em níveis de energia diferentes é dado por: [74]

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\mathcal{E}}} \tag{3.29}$$

Os pequenos valores encontrados para as partículas de escala atômica explicavam porque as propriedades ondulatórias passavam desapercebidas nas experiências. [74]

De Broglie em sua defesa de doutorado foi interrogado na possibilidade de sua tese ser comprovada experimentalmente ele propôs que poderia ser detectado as propriedades ondulatórias do elétron por experiências com difrações em cristais. [76]

Seu trabalho não chamou a atenção até a sua confirmação pelas experiências posteriores de G. P. Thomson e C. H. Davisson, mas Einstein reconheceu sua importância desde que leu pela primeira vez.[76]

Com essa comprovação as ideias de um elétron reconhecido como partícula, demonstrar efeitos de difração e interferência características inteiramente ondulatórias, só comprova a dualidade da matéria. [74]

E como adaptar conceitos tão diferentes em apenas uma teoria? [74]

3.7.3 Dualidade Onda-Partícula

A dualidade onda-partícula teve sua primeira aplicação para a luz, com a experiência do efeito fotoelétrico. Tal efeito não tinha uma explicação teórica que condizia com os resultados experimentais, foi impossível ser explicado com a natureza ondulatória da luz, Albert Einstein desenvolveu a teoria utilizando as ideias de Max Planck para a quantização da energia em pacotes que foram denominados fótons de luz, assim a luz tem agora uma característica de partículas sem deixar de lado a teoria ondulatória que explicava a experiência da dupla fenda e a difração dos raios luminosos. [74, 77]

Pouco tempo após essa publicação, outro cientista tinha problemas em explicar teoricamente os resultados experimentais de suas experiências: Arthur Compton observou que a incidência de raios-x no grafite gerava uma perda de energia não esperada, esse efeito foi denominado de efeito Compton e explicado utilizando a ideia da dualidade nas ondas eletromagnéticas. Assim os fótons foram mais uma vez utilizados para explicar um fenômeno em radiações mais energéticas, mas diferente do efeito fotoelétrico que a radiação era absorvida e gerava a ejeção de elétrons, no efeito Compton a radiação e o elétron sofrem um choque elástico, parte da energia da radiação é transferida para o elétron que adquire uma aceleração e a radiação perde parte da energia aumentando seu comprimento de onda.[75, 76]

Essas duas experiências comprovam perfeitamente a dualidade para as radiações, explicadas pela física clássica apenas nos modelos ondulatórios. Nesse momento surge uma ideia estranhamente aceitável: se as ondas podem ser partículas, então as partículas devem possuir características ondulatórias. Essa teoria é proposta no doutorado do príncipe francês Louis de Broglie. De Broglie utiliza as ideias de Planck e Einstein e prevê matematicamente os comprimentos de ondas das partículas, demonstrando que são muito pequenos e por isso passam despercebidos no cotidiano, mas se analisassem elétrons poderia encontrar experimentalmente efeitos ondulatórios como a difração. [75, 76, 77]

Logo alguns cientistas se dedicaram a procurar esses efeitos para comprovação ou não da dualidade das partículas. Davisson e Germer produzem uma experiência que demonstra difração dos elétrons em estruturas cristalinas, independentemente G. P. Thomson também produz uma experiência que comprova a teoria de de Broglie, demonstrando as características ondulatórias do elétron, anos antes o pai J. J. Thomson durante uma experiência descobre a partícula elétron, ambos ganharam o prêmio Nobel pelos estudos e descobertas do elétron, o pai pela partícula elétron e o filho pela onda de elétron. E assim as partículas também perdem sua identidade, passando a ter duas propriedades totalmente distintas. [75]

O elétron se tornou o principal estudo para validar essa teoria, Heisenberg se dedicou a encontrar as órbitas eletrônicas e descobriu o principio da indeterminação, que explica ser impossível verificar essa órbita, pois momento e posição nunca serão detectados no mesmo instante, ele também desenvolve uma matemática matricial para explicar o deslocamento dos elétrons nos átomos. [73, 76]

Outro estudo sobre os elétrons e sua propagação foi feita por Schroedinger e Born que produziram uma função de onda para o elétron, e explicaram o movimento dos elétrons por meio de probabilidades, o que está de acordo com as experiências e a matemática de Heisenberg. [73, 76]

O princípio da complementariedade proposto por Niels Bohr descreve perfeitamente a dualidade. Um sistema físico pode ser caracterizado por comprimentos de ondas, difrações e interferências, como também poderá ter características corpusculares da matéria como momento e choques mecânicos. [73, 76]

Porém essas duas características são excludentes, não podemos ter características de onda e partícula no mesmo instante. O que vai determinar a natureza será a experiência e a forma de medir os resultados. O que significa que ambas podem ser utilizadas para explicar o fenômeno, porém em experiências distintas. [73]

3.8 Erwin Schroedinger

Com a audaciosa proposta da dualidade da matéria de de Broglie era preciso desenvolver uma mecânica nova para o elétron. Peter Debye escolhe o físico matemático Erwin Schroedinger para este trabalho, quando Schroedinger tem acesso ao trabalho de

de Broglie percebe que é necessário desenvolver um novo modelo atômico que abranja o movimento ondulatório do elétron. E poucos meses depois temos uma mecânica ondulatória para descrever o elétron.

3.8.1 Vida

Erwin Schroedinger foi um físico austríaco, nascido em 1887. Sua teoria da mecânica quântica tem relação com a energia cinética da mecânica clássica proposta por Isaac Newton, sua formulação é utilizada para descrever o movimento das partículas microscópicas como as leis de Newton são utilizadas para descrever o movimento macroscópico. Na verdade a teoria de Schroedinger é uma generalização que inclui a teoria de Newton como um caso especial utilizado no macroscópico. [75, 76]

Peter Debye e Erwin Schroedinger conversavam sobre a teoria de De Broglie em Zürich, discutindo sobre as implicações da mesma e as dificuldades em sua interpretação. Debye pediu a Schroedinger que fizesse um seminário sobre a teoria e poucos meses depois Schroedinger traz uma mecânica ondulatória para o elétron, publicando seu trabalho em 1926 intitulado "Uma teoria ondulatória da mecânica dos átomos e moléculas", sua versão da mecânica quântica. [75, 76, 86]

A teoria de Schroedinger é uma extensão do postulado de de Broglie. Ela é utilizada para tratar o comportamento de partículas microscópicas de forma geral, demonstrando quais leis físicas do movimento ondulatório que as partículas de qualquer sistema físico obedecem. Cada sistema tem especificada a função que governa seu movimento. [75, 80, 86]

Schroedinger percebeu que era necessário adequar o modelo atômico de Bohr as características ondulatórias recém-descobertas do elétron. Com base nos comprimentos de onda previstos na teoria de de Broglie o elétron se encaixa perfeitamente nas órbitas de Bohr, e qualquer órbita entre as órbitas permissíveis requeria um número fracionário de comprimento de onda, por isso não era possível encontrar elétrons ali. A teoria de Schroedinger explica o que Bohr impôs apenas como regra sem justificativa. Além de levar de forma natural à quantização da energia. [75, 86]

Schroedinger trabalhou com P.A.M Dirac e Max Born, desenvolveram a mecânica quântica ondulatória numa base matemática sólida. Heisenberg e Bohr criticaram o trabalho de Schroedinger, porém ficou demonstrado que ambas as teorias da mecânica quântica (ondulatória e matricial) expressavam o mesmo resultado. Mas por ter uma explicação com uma linguagem matemática mais fácil a teoria ondulatória ganhou mais adeptos que a matricial. [73, 76]

Apesar de a teoria quântica ser aceita por muitos cientistas da época, existiam algumas questões que deixavam muitos físicos desconfortáveis, entre elas a incerteza na trajetória desenvolvida por um elétron. A teoria quântica defende que se um elétron parte do ponto A e é detectado em um ponto B, todos os trajetos possíveis entre A e B acontecem e não podemos definir qual foi o trajeto que o elétron fez, o que podemos descobrir são

as probabilidades de cada caminho e baseado nisso supor o trajeto utilizado. Essa ideia incomodou muito Einstein que acreditava que poderíamos descobrir com certeza o trajeto percorrido de A até B.[73]

Einstein, Poldoski e Rosen produziram um artigo em 1935 que julgavam por em questão a teoria quântica, hoje conhecido como paradoxo do EPR. O que chamou a atenção do simpatizante irlandês John S. Bell (1928-1990), que produziu outro artigo baseado nas ideias do trio, que explicava como desenvolver uma experiência que demonstrasse que era possível determinar duas variáveis distintas de uma partícula. Os físicos desenvolveram essa experiência inúmeras vezes e ela mostrou que a teoria quântica estava correta. [73, 77, 87]

Enquanto alguns cientistas tentavam provar a invalidade da teoria quântica outros a utilizavam para explicar novos fenômenos e demonstrar sua eficiência: Linus Pauling e outros explicaram a ligação química utilizando a teoria quântica, Enrico Fermi demonstra que a teoria é válida no nível atômico e Dirac diz que: "a física quântica explicou a totalidade da química e a maior parte da física". [73]

Para criticar a interpretação usual sobre a física quântica Schroedinger desenvolveu um paradoxo do gato, um experimento mental que está inserido na interpretação de Copenhague. [76]

Em 1933 Schroedinger é agraciado com o prêmio Nobel de física junto com P.A.M. Dirac e Werner Heisenberg, foi a primeira vez que o prêmio homenageia três físicos que deram contribuições á física teórica. Conhecidos como os pais da velha mecânica quântica. [73, 76]

3.8.2 Obra

A primeira preocupação de Schroedinger foi de encontrar uma equação para as ondas materiais propostas por de Broglie, começou pelos estados estacionários, onde a energia E é dada. [76, 80, 86]

Para as partículas livres não-relativísticas foi mais fácil, pois as relações de de Broglie implicam em um número de onda $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ e a frequência relacionadas com energia e momento da partícula. [75, 76, 86, 88, 89, 90]

$$\mathcal{E} = h\nu = \hbar\omega \tag{3.30}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k \tag{3.31}$$

Para uma partícula livre com massa m temos: [74, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95]

$$\mathcal{E} = \frac{p^2}{2m} \tag{3.32}$$

E disso chegamos a

$$-\frac{h^2}{4\pi}\Delta\Psi(x) = E\Psi(x) \tag{3.33}$$

onde

$$\Psi(x,t) = cos(kx - \omega t) + isen(kx - \omega t) \tag{3.34}$$

Que é a equação de Schroedinger estacionária para partículas livres com massa m e energia $\mathcal{E}$. [75, 88, 89, 92]

A função de onda é complexa, pois tem um número imaginário i. A presença do i na função implica que no caso geral as funções de onda que terão soluções complexas. [75, 86]

Agora se considerar uma partícula não-relativística em um campo de energia potencial V(x) para o qual. [75, 86, 90, 91, 93, 94, 95]

$$E = \frac{p^2}{2m} + V(x) \tag{3.35}$$

Nesse caso Schroedinger apelou para a analogia ótico-mecânica descoberta por Hamilton, como o próprio de Broglie já tinha usado. A equação de Schroedinger independente do tempo é dada por:[75, 88, 89, 92, 93, 94, 95]

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi(x)}{\partial x^2} + V(x)\Psi(x,t) = \mathcal{E}\Psi(x) \tag{3.36}$$

Que é a equação de Schroedinger para estados estacionários de energia $\mathcal{E}$ na presença de uma energia potencial V(x).[75, 88, 89, 92, 93, 94, 95]

Sabendo que

$$p \leftrightarrow -i\hbar\frac{\partial}{\partial(x\ )} \tag{3.37}$$

$$\mathcal{E} \leftrightarrow i\hbar\frac{d}{d(t\ )} \tag{3.38}$$

Chegamos até:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x,t)\Psi(x,t) = i\hbar\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial(t)} \tag{3.39}$$

A equação de Schroedinger independente do tempo não tem i, portanto sua solução não é necessariamente complexa, pode sê-la se for conveniente. As suas soluções são ditas autofunções.[75, 88, 89, 92, 93, 94, 95]

A quantização da energia surge de forma espontânea quando analisamos as autofunções , as soluções para equação de Schroedinger independente do tempo, para que essas autofunções tenham um valor aceitável ela deve seguir alguns parâmetros: deve ser finita, unívoca, contínua, deve ter a sua primeira derivada finita, unívoca e contínua também. [75, 86, 88, 89, 92, 93, 94, 95]

Estas definições são estabelecidas para que a função seja bem comportada matematicamente, para que a partir da autofunção seja calculada grandezas mensuráveis bem comportadas também.[75]

Resolvendo a equação de Schroedinger independente do tempo encontra soluções possíveis que só admitem certos valores de energia:[75]

$$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, ..., \mathcal{E}_n$$

Essas energias são chamadas autovalores do potencial V(x), cada autovalor está relacionado a uma autofunção $\Psi(x)$ que é a solução da equação de Schroedinger independente do tempo. [75, 90, 91]

Entre tanto além de formular as equações de onda é necessário interpretá-las, saber o que medem, o que corresponde a amplitude e intensidade da onda e qual é a relação entre a onda e a partícula a ela associada.[75]

A interpretação é outro problema levantado. Deve-se considerar as condições impostas para que sejam fisicamente aceitáveis e foi necessário formular novos conceitos físicos associados as escalas atômicas. [75, 76]

A interpretação do que realmente a matemática ondulatória proposta por Schroedinger demonstrava foi desenvolvida pelo físico Max Born. Born mostra que o significado físico é encontrado em termos de densidade de probabilidade. E é encontrado fazendo: [80, 96]

$$P(x,t) = \Psi^*(x,t)\,\Psi(x,t) \tag{3.40}$$

Significa o complexo conjugado da psi. Essa grandeza especifica a probabilidade de encontrar a partícula próxima do ponto x em um instante t. [75, 80]

As previsões da mecânica quântica são estatísticas, ou seja, ela não pode dizer que a partícula será encontrada na posição x no instante t, e sim, as probabilidades relativas de que a partícula seja encontrada em várias posições no instante t. [75, 88, 89, 92, 93, 94, 95]

Em 1935 Schroedinger propõe uma experiência de pensamento conhecida como "o gato de Schroedinger": Imagine que um gato seja fechado em uma caixa hermética de aço, junto com uma fonte radioativa fraca e um detector de partículas radioativas. A caixa contém também um frasco de veneno e um martelo suspenso. Se o martelo for solto, quebra o frasco com o gás. O detector é ligado na caixa uma única vez e apenas durante um minuto. O material radioativo tem uma chance de 50% de emitir a partícula radioativa, e 50% de não ocorrer. Se a partícula for detectada aciona o martelo e o veneno é liberado, ocasionando a morte do felino. Mas ninguém pode observar dentro da caixa. De acordo com a interpretação passado o um minuto não podemos definir se o gato encontra-se vivo ou morto. Até que alguém abra a caixa e observe, temos uma sobreposição de resultados o que nos leva a entender que o gato está vivo e morto ao mesmo tempo até a observação. [73, 76]

Esse impasse é conhecido como problema da medição, pois quando um sistema quântico está em uma superposição de estados e a função de onda prevê essa superposição simultânea até que ocorra o colapso da função em apenas um resultado. [73]

Para solucionar esse problema o físico americano Hugth Everett III propõe em sua tese de doutorado, sob orientação de John Wheeler na Universidade de Princeton em 1957 uma

teoria que não contemple o colapso da função de onda de Schroedinger. Ele propõe que cada resultado da função de onda acontece simultaneamente, porém em pontos diferentes no espaço de Hilbert (espaço matemático utilizado na mecânica quântica). Por exemplo, o gato estará vivo em um espaço e morto em outro, porém pela estrutura matemática utilizada uma não tem acesso a outra de forma que para cada situação aparenta que só ela ocorreu, quando na verdade ambas ocorreram e estão ocorrendo simultâneas. [76, 87]

Essa interpretação ficou conhecida como interpretação dos muitos-mundos. Outros físicos se motivaram a entender essa interpretação e estudar o problema de medição. Nessas pesquisas os físicos puderam entender outro fenômeno importante para a informação quântica, a descoerência. No mundo quântico o sistema perde a coerência de forma muito rápida, pois não temos um sistema isolado que sempre está trocando fótons com o meio ambiente. O físico alemão H. Dieter Zeh chegou até uma estimativa para calcular o tempo no qual o sistema perderia essa coerência. [76]

A descoerência é responsável pela quebra do emaranhamento e da superposição dos estados quânticos em apenas um resultado, no caso do gato, que é um sistema macroscópico a descoerência ocorre quase que instantaneamente o que resulta em encontrar um gato vivo ou morto, mas nunca os dois simultâneos. [76]

3.9 Robert Oppenheimer

Durante a Segunda Guerra Mundial mesmo com as tensões políticas e sociais, a ciência estava em crescimento exponencial, a era atômica chamava muita atenção e suas aplicações ainda eram desconhecidas, com a divisão pela guerra de muitos países e cientistas, começa uma corrida para criação de armas nucleares e o físico Robert Oppenheimer lidera um grupo de cientistas que produzem a primeira arma nuclear, sendo assim considerado o pai da bomba atômica.

3.9.1 Vida

J. Robert Oppenheimer nasceu em 1904, foi um físico americano. Em 1939 Oppenheimer e H. Snyder estudaram a evolução de uma estrela e analisaram o que poderia acontecer quando os combustíveis acabassem e a força gravitacional começasse a ganhar das forças termodinâmicas, concluíram que se a estrela tivesse uma massa cerca de 3x superior a do sol, ele sofreria um colapso gravitacional e nasceria um buraco negro, uma estrela com um raio crítico que nem mesmo a luz consegue escapar. [97]

Oppenheimer foi convidado a liderar a parte técnica do projeto Manhattan, esse projeto tinha como objetivo construir armas nucleares antes que os alemães. Ele foi montado em um colégio desativado em Los Alamanos no Novo México. Nesse período vários cientistas trabalharam para seu êxito, entre eles entre eles grandes físicos da época como Fermi, Feynman, Bohr, Bethe e Von Neumann. . Oppenheimer foi um grande físico que

liderou com maestria e entusiasmo o projeto. [78, 98]

Ao ver a primeira explosão da bomba de teste Trinity e ter uma noção do poder de destruição da arma produzida no projeto Oppenheimer chega a dizer que ele era a própria morte e um destruidor do mundo.[78]

Em outubro 1945 Oppenheimer é convidado por Edward Teller para participar da construção de uma bomba de hidrogênio, mas ele recusa devido a devastação ocorrida com a explosão no Japão. [97]

Após a guerra o projeto Manhattan ainda continuou funcionando, mas Oppenheimer pediu demissão do posto de diretor e entre 1945 e 1946 quase todos os chefes das "divisões" deixaram o laboratório também. [98]

Oppenheimer morreu em 1967, mas seus últimos anos de vida foram respondendo processos e sendo espionado, por ser contrário a utilização de armas nucleares para fins miliares. Ele perdeu suas credenciais de segurança o que o deixou arrasado. Infelizmente o uso abusivo de cigarros e cachimbos tornou sua morte prematura. [99]

3.9.2 Obra

PROJETO MANHATTAN

A ideia do projeto para a construção da bomba atômica tem algumas pontas que se unem ao fim. Inicialmente Otto Frisch e Rudolf Peierls estudando o Urânio percebem que pode ser possível a construção de armas nucleares. Meses antes Peierls já havia publicado um artigo que estimava a massa crítica para sustentar uma reação em cadeia. Baseados em suas ideias eles produzem dois memorandos e os entrega ao governo britânico logo no inicio da segunda guerra mundial, um continha uma descrição qualitativa das armas, e era destinado a funcionários do governo, enquanto o outro tinha uma abordagem mais técnica, que demonstrava formas e efeitos da utilização da energia nuclear. [83, 100]

Esses memorandos chamaram a atenção do presidente britânico Sir Henry Tizard que estabeleceu o comitê MAUD em julho de 1941, foram gerados inúmeros relatórios com detalhes técnicos e a viabilidade de construção da bomba atômica. O memorando de Otto-Peierls e os relatórios do MAUD chegam ao conhecimento das autoridades americanas em outubro do mesmo ano, o que pode ser considerado um empurrão para a criação de um programa naquele país. A Inglaterra percebeu que seria possível desenvolver uma arma nuclear antes do fim da guerra e admitiu que seria preciso um grande esforço e que apenas os Estados Unidos tinha condições de realizar esse empreendimento em sigilo, assim se uniram para a construção das armas[100].

Outra influência para a criação do projeto foi a carta escrita por Szilard e endereçada ao presidente americano Franklin Roosevelt que continha a assinatura de Albert Einstein. Szilard foi um cientista que fugiu da Alemanha nazista por ter descendência judia pensava na possibilidade de construção de uma bomba atômica, mas sabia que só a descoberta da fissão nuclear não era suficiente para sua produção, precisaria de um disparador para

que a reação se iniciasse. A carta demonstrava uma preocupação de Hitler construir uma bomba atômica primeiro que outro país, pois os físicos alemães, entre eles Heisenberg, conheciam as descobertas científicas e o poder de armas nucleares. Einstein se arrepende de ter assinado a carta após o fim da guerra quando foi descoberto que os alemães estavam longe de alcançar o objetivo e com o Japão devastado. [73, 78, 100]

A carta escrita em 1939 teve um efeito imediato e o projeto Manhattan é instaurado. O projeto foi desenvolvido pelos EUA, porém contou com o apoio do Canadá e da Inglaterra. No final de 1941 uma dúzia de universidades já trabalhava nisso, estudando a separação de isótopos de urânio e desenvolvendo reações nucleares em cadeia. Em 1943 ele é colocado nas mãos do exército sendo comandado pelo general Brigadeiro Leslie R Groves. Nesse período já estavam em construção fábricas para enriquecer o urânio e sintetizar plutônio, Groves escolheu um local deserto em Los Alamos, no Novo México para sediar o projeto de construção da bomba atômica e intitulou Robert Oppenheimer como responsável técnico. [97, 98, 100]

A construção da bomba foi tida como um projeto secreto e Los Alamos foi oficialmente ativado como um posto militar em 1º de abril de 1943. Foram convidados a participar vários físicos de que trabalhavam com reações de nêutrons rápidos em vários laboratórios do país, lá eles recebiam informações do projeto e as novas descobertas em forma de palestras e apostilas. Como objetivo de manter todos no mesmo nível de conhecimento. [100]

Um evento que influenciou a utilização da bomba não foi dado pela Alemanha, e sim, pelo Japão que ataca uma base americana no pacífico, em Pearl Harbour, sem declaração de guerra, isso fez com que os EUA entrassem na guerra e acelerasse o processo de construção da bomba, e sua utilização em solo japonês. [97]

Entre 1940 até o ataque japonês a Pearl Harbour, os governos americanos e britânicos já tinham conseguido contratos de altos investimentos com as universidades para o estudo sobre fissão nuclear, números de nêutrons e métodos de separação isotópica. Assim que esses trabalhos progrediam mais se aproximava da construção de reatores e bombas. Estimasse que até o fim da guerra foram investidos mais de 2 bilhões de dólares no projeto Manhattan. [97, 100]

O objetivo do projeto foi construir arma militar prática na forma de uma bomba de fissão, fazendo com que a energia fosse liberada por uma reação em cadeia, com algum elemento que se mostrasse útil. [100]

Esse projeto foi sem dúvida o maior desenvolvido durante a guerra. A maior parte do trabalho foi dividida em três seções: dois locais eram utilizados para extrair e separar o urânio 235 do urânio natural, e em outro ponto o urânio natural 238 era transformado em plutônio 239. O plutônio foi descoberto pelos físicos Edwin McMilan e Glenn Seaborg em 1941.[98]

O projeto alcança seu objetivo e em 16 de julho de 1945 fez a primeira detonação num deserto no novo México, a *Trinity test* como foi batizada. Às 5:30 da manhã uma bola

laranja se ergue no céu, vários físicos observaram a explosão. A cerca de 35 km do marco zero cientistas ansiosos esperam os primeiros efeitos além da enorme claridade no céu e um minuto e meio depois escuta-se um enorme estrondo, e sons de trovão o que significou que realmente tinha dado certo. A reação dos físicos variou de grande alegria e euforia por terem alcançado o objetivo, até preocupação e medo pela arma poderosa e devastadora que tinham criado. [98]

Oppenheimer foi um dos que demonstrou grande preocupação de como a arma seria utilizado na guerra e escreveu uma carta informando o alto poder de destruição da bomba e aconselhando não utiliza-la e conseguiu recolher assinatura de cerca de 137 cientistas. Porém, sua conduta foi tida como errônea.[98]

Entre os cientistas que participaram do projeto temos Niels Bohr e seu filho também físico Aage, embora não tenha residido em Los Alamos fez várias visitas prolongadas ao rancho, ele era interessado nos trabalhos ali desenvolvidos e foi um consultor dos cientistas mais novos, por ter certo conhecimento. Bohr era respeitado pelos seus trabalhos no campo da física e tinha um grande prestígio entre os cientistas que trabalhavam ali. [73, 78]

Acreditasse que cerca de 85 mulheres ajudaram na construção da bomba, entre elas destacamos Chien-ShiungWu e laureateMaria Goeppert-Mayer. [78]

Durante a guerra existiu uma desconfiança que Heisenberg fosse líder de um projeto Alemão para construção da bomba atômica para o governo de Hitler. O que foi constatado ser verídico, porém os alemães estavam muito longe de alcançar o objetivo, o que tinham era uma pilha radioativa. [73]

O Projeto Manhattan abriu uma nova fronteira na relação entre ciência e sociedade e estabeleceu o modelo organizacional para futuros projetos financiados com recursos públicos, como aceleradores, grandes observatórios e o programa espacial. [100]

BOMBA ATÔMICA

A primeira centelha para a produção da bomba atômica é encontrada na teoria da relatividade restrita, onde Einstein propõe a transformação de massa em energia, o que abriu espaço para dúvidas, interesse e até sarcasmo. A descoberta do nêutron em 1932, por James Chadwick traz uma nova visão do mundo atômico. [73, 83, 98]

Logo em 1938 Otto Hahn, Lise Meitner e Otto Frisch fazendo experiências no laboratório conseguiram pela primeira vez a fissão nuclear, a quebra da instabilidade do núcleo atômico. O que estava de acordo com a previsão de Einstein, porém, segundo a teoria de Einstein deveria ter ocorrido uma enorme explosão que destruiria o laboratório, o que não ocorreu. No fim do ano em dezembro foi Otto Robert Frisch quem consegue explicar o fenômeno simultaneamente a Niels Bohr e John Wheeler. Ambos estudando o processo de fissão, conseguem a explicar o porquê não ocorreu à explosão prevista e definir condições para ocorrer à fissão nuclear nos núcleos. [73, 78, 83]

Pouco tempo depois tivemos o primeiro protótipo de uma bomba, a pilha radioativa que funcionou como um pequeno reator nuclear foi produzida em um laboratório americano por Enrico Fermi, que bombardeou átomos de urânio com nêutrons. Fermi conseguiu desencadear uma reação atômica controlada e lançou as bases para a descoberta da fissão nuclear. [73, 98]

Em 1939 Otto Hahn, Lise Meitner e Otto Frisch fazendo experiências no laboratório conseguiram pela primeira vez a fissão nuclear, a quebra da instabilidade do núcleo atômico. O que estava de acordo com a previsão de Einstein, porém, segundo a teoria de Einstein deveria ter ocorrido uma enorme explosão que destruiria o laboratório, o que não ocorreu. No mesmo ano Niels Bohr e John Wheeler estudando o processo de fissão, conseguem a explicar o porque não ocorreu a explosão prevista e definir condições para ocorrer a fissão nuclear nos núcleos. [73, 83]

Com a descoberta da fissão muitos cientistas passaram a pesquisar o Urânio para avaliar se ele era capaz de sustentar uma reação em cadeia, e em maio de 1939 dois grupos submeteram artigos a The Physical Review demonstrando que o urânio era capaz de gerar uma reação em cadeia, vale ressaltar que eles encontraram os mesmos resultados de formas independentes. Outros cientistas em outros países também fizeram experiências demonstraram o mesmo resultado, e ficou claro que o urânio -235 poderia ser utilizado para armas nucleares. E durante os estudos desenvolvidos pelo projeto Manhattan, foi descoberto um novo elemento também radioativo o plutônio 239 e físsil. [100]

Em 1942 e 1943 os cálculos previam viável a construção da bomba, as pesquisas estavam voltadas para outros aspectos como as ondas de choque, teoria da difusão, compactação e impurezas, as características dos nêutrons emitidos. Enquanto isso o exército se preparava para a construção e Oppenheimer recrutava cientistas para o projeto. [100]

Para se ter ideia a energia liberada na fissão de um único núcleo U-235 é de cerca de 170 milhões de elétron-volts ($1Mev = 1.6$ x10^{13} J). Com um peso atômico de 235 $gmol^{-1}$, 1 kg de U-235 contém cerca de 2.56 x10^{24} núcleos. Se ocorrerem todas essas fissões, a liberação de energia será de 6.97 x 10^{13} joules. Em uma base por reação, a fissão nuclear libera cerca de 17 milhões de vezes mais energia do que um poderoso explosivo químico. Ficou fácil ver porque as armas nucleares chamou tanta atenção, seriam necessário cerca de 17 mil bombas de TNT cada uma pesando 1000 kg para ter o mesmo resultado de uma bomba de 1 kg de U-235. [100]

O número de nêutrons liberados na reação foi designado por $\nu = 2$ para o isotópo $U - 235$, se considerar que apenas um nêutron incide no sistema, esse nêutron quando causar a fissão dará origens a nêutrons da primeira geração, e cada um desses nêutrons irá gerar mais dois nêutrons de segunda geração e assim por diante. O número de nêutrons liberados depois de G gerações será $G\nu$. E se tivermos um número N de núcleos e se nenhum nêutron se perda para outros processos, então teremos uma quantidade de gerações $N - G\nu$. Para uma bomba com 1kg teremos $N = 2.56$ x 10^{24}, $G = 81$ para $\nu = 2$. O tempo para que ocorra todas as fissões foi considerado de apenas microssegundos.

[83, 100]

A medida que a reação vai acontecendo o material tende a se expandir, aumentando do tamanho mínimo para o real mais rapidamente, porém apenas as últimas gerações são as que vão gerar uma grande expansão. [100]

Sabemos que pela termodinâmica temos:

$$E = \frac{k_0 T}{2} \tag{3.41}$$

Sendo k_0 a constante de Boltzmann. A detonação de 100 MeV viaja a uma velocidade equivalente a uma temperatura da ordem de $10^{11} K$. O que nos leva a analogia da reação nas estrelas. [100]

O plutônio Pu-239 foi produzido pelo enriquecimento do U-238, os núcleos capturam nêutrons em um reator nuclear, após a captura dos nêutrons ele sofre dois decaimentos e se transforma em Pu-239, e suas propriedade físseis é similar ao do U-235: [100]

$$^{1}_{0}\mathrm{n} \; + \; ^{238}_{92}\mathrm{U} \; \overset{\beta^-}{\rightarrow} \; ^{239}_{92}\mathrm{U} \; \overset{\beta^-}{\rightarrow} \; 23,5min \; ^{239}_{93}\mathrm{Np} \; \overset{\beta^-}{\rightarrow} \; 2,36dias \; ^{239}_{94}\mathrm{Pu} \tag{3.42}$$

A produção de Plutônio foi iniciada em 1943 com microgramas produzidas, já em meados de 1944 dezenas de gramas de Pu estavam sendo produzidas por mês no reator X-10, em Oak Ridge e no fim do ano quilos de Pu pelos reatores de Hanford, em Washington. [100]

Os estudos sobre o Pu mostraram que a magnitude de sua aplicação era bem grande, mas também demonstrou que ele era muito instável, ou seja, que poderia desencadear a reação em cadeia antes do premeditado, o que resultaria em um resultado menos eficiente do que o planejado. [100]

Para que esse efeito fosse minimizado foram tomadas algumas medidas pelo projeto Manhattan como a montagem o mais rápido possível da bomba, a diminuição de impurezas leves no material e menor quantidade de materiais físseis. [100]

Um conceito importante para a construção da bomba foi o de massa crítica, que significa a menor massa de material físsil para que seja possível desencadear uma reação autossustentável, onde os nêutrons liberados incidam outros núcleos até que a maioria do material físsil seja fissionada, ou se aqueça e se disperse. A massa crítica depende do material físsil utilizado porque depende de características como a densidade do material, a dispersão, a quantidade de nêutrons liberados. [100]

Para analisar essa reação em cadeia que é necessária temos que verificar a equação de difusão dos nêutrons. Em qualquer sistema de coordenadas, a equação de difusão de nêutrons, em notação moderna, é:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\langle \nu_{neut} \rangle}{\lambda_{fiss}} (\nu - 1) N + \frac{\lambda_{tran} \langle \nu_{neut} \rangle}{3} \left(\nabla^2 N \right) \tag{3.43}$$

N será uma função da posição dentro do núcleo e do tempo t medida a partir do momento da primeira fissão. O termo no lado esquerdo é a taxa de tempo da mudança

de N. O primeiro termo no lado direito corresponde à taxa de criação de nêutrons por fissões, e o segundo termo à taxa de perda de nêutrons pela superfície do núcleo. V é o número de nêutrons criados por fissão, -1 no primeiro termo no lado direito explica o fato de que um nêutron é consumido em causar uma fissão. As unidades de medidas sãom^{-3} s^{-1}.

Considerando as coordenadas esféricas, o operador Laplaciano para uma função esfericamente simétrica aparece como:

$$\nabla^2 N = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial N}{\partial r}\right) \tag{3.44}$$

Onde r é a distância radial do centro do núcleo. Neste ponto, a equação 3.44 é substituída na equação 3.43, e o coeficiente de difusão D é introduzido:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\langle \nu_{neut} \rangle}{\lambda_{fiss}}(\nu - 1)\, N + \frac{D}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial N}{\partial r}\right) \tag{3.45}$$

O poder de destruição de uma arma nuclear é surpreendente, ela causa a destruição de várias formas, ao ser detonada cerca de 70 até 80% de sua energia é liberada como energia térmica na faixa do visível, infravermelha e raios-X do espectro eletromagnético. [100]

Os raios-x são absorvidos pelo ar a poucos metros da explosão o que aquece o ar gerando uma onda luminosa e quente que pode causar cegueira, queimaduras graves e até a morte. Em Hiroshima poucos milionésimos depois da detonação surgiu uma bola de fogo com um raio aproximadamente de 1 km, a temperatura se elevou por alguns segundos em vários milhões de graus célsius. Em um raio de 4 km pessoas e prédios sofreram combustão instantânea e espontânea. Em até 8 km do epicentro pessoas sofreram queimaduras severas. [97, 100]

O segundo efeito sentido foi a onda de choque causada á alta pressão devido a expansão dos gases. Um muro de ar sólido se moveu a uma velocidade de cerca de 1000 km por hora, força suficiente para derrubar prédios bem fundados a quilômetros de distância mesmo que conforme a onda vai se afastando do ponto inicial a pressão vá diminuindo os efeitos tem um alto poder de destruição em um raio consideravelmente grande. Em Hiroshima tudo foi reduzido ao pó em até 2 km do epicentro. [97, 100]

O último efeito era o menos conhecido, porém foi o mais gerou pânico – a radioatividade. Os núcleos instáveis passam a decair o que faz com que o solo e a atmosfera se tornem radioativas no local da explosão por um longo período de tempo, que provocou câncer, leucemia entre outras doenças. Esse efeito se mostrava com o passar do tempo, em semanas, meses e até anos após a detonação. Todos esses efeitos ocorreram nas bombas lançadas em Hiroshima e Nagasaki. [97, 100]

Após o conhecimento do poder da bomba atômica com a explosão da *Trinity test* alguns cientistas iniciam uma corrida contra a utilização dessas armas na guerra que já estava praticamente terminada, entre eles estava Szilard, o inspirador da carta de Einstein

a Roosevelt, foram apresentados ao ministro da Guerra relatórios e até mesmo uma petição assinada por vários cientistas para que ele não utilizasse as bombas contra o Japão, porém todos os esforços foram em vão. [98]

E em 6 de agosto de 1945 parte das ilhas Marianas o bombardeiro B-29 batizado de Enola Gay, levando a bomba de urânio Little Boy com destino a Hiroshima. A bomba media apenas 4,5 m de comprimento e 76 cm de diâmetro, com 60 kg de U-235 e tinha um poder de destruição comparado á 12.500 toneladas de TNT. As 8 h 45 min, no horário local, a bomba foi lançada, 40 s depois ocorre a explosão a cerca de 580 m acima da cidade. [97]

Apenas três dias depois o bombardeiro B-29 tem a missão de transportar a Fat Man, uma bomba de plutônio com destino a Kokura, o alvo foi mudado para Nagasaki devido ao mau tempo e a pouca visibilidade em Kokura. A bomba pesava 4,5 toneladas e continha 8 kg de plutônio 239, o que equivaleu a 22 mil toneladas de TNT. E Em 9 de agosto de 1945, às 11h 2min a segunda bomba foi lançada em solo japonês. [97]

Em Hiroshima, essencialmente tudo foi destruído a um raio de 1,6 km do ponto em que a bomba foi detonada, exceto por alguns edifícios de concreto fortemente armados; edifícios com estriados sofreram danos estruturais a mais de 1,61 km. Em Nagasaki, paredes de tijolos foram severamente quebradas a quase um quilômetro, e alguns colapsos de edifícios a uma distância de 7 km foram registrados. [100]

Os nêutrons energéticos liberados podem causar danos celulares a centenas de metros do ponto da explosão. Como qualquer partícula de alta energia, criam danos biológicos pela ionização e dissociação de átomos e moléculas no corpo de qualquer entidade viva exposta a eles. [100]

Foi estimado um raio de aproximadamente 914 m para os nêutrons estivessem em quantidade suficiente para produzir efeitos patológicos severos, esse valor na verdade é duas vezes maior que a distância real, porém o efeito é de mesma magnitude. Além disso, os estudos no projeto Manhattan também previu que após 10 dias da explosão a atividade da radiação no local ainda seria da ordem de um milhão de curies (O curie é um unidade da taxa de decaimentos radioativos presentes em uma amostra). O que parece muito, mas poderia ser válido, após 30 dias da explosão alguns cientistas foram até as áreas da explosão e verificaram uma atividade nula no local. Estima-se que 15% das mortes foram causadas diretamente pela radiação, a maioria pelos efeitos da explosão, com suas altíssimas temperaturas e por queimaduras. [100]

Analisando o brilho e o calor liberado na explosão podemos considerar que uma arma nuclear age brevemente como um pequeno Sol, levando ao que é conhecido como "queimaduras de flash". A energia liberada por uma arma nuclear aquece o ar circundante à incandescência, levando, depois de alguns décimos de segundo, a uma bola de fogo de raio cerca de 130 m e temperatura $\sim$ 7270 K. [100]

O tamanho aparente da bola de fogo á um observador a uma distância de 1600 m, seria cerca de 9,3 graus, o tamanho do sol é cerca de 0,5 pelo que a bola de fogo aparecerá

cerca de 18,6 vezes mais larga. Vamos utilizar a lei de Stefan-Boltzmann para estimar o brilho da bomba, essa lei diz que a potência de saída radiante total de um objeto de raio R e temperatura absoluta T é proporcional a $R^2\ t^4$. O brilho é considerado a potência recebida por unidade de área pelo observador para alguém localizado na distância d é o poder dividido pela área da esfera sobre a qual a energia se espalhou,$4\pi d^2$. Vamos comparar o brilho da bola de fogo (F) pelo Sol (S) [100]

$$\frac{b_F}{b_s} = \left(\frac{R_F}{R_s}\right)^2 \left(\frac{T_F}{T_s}\right)^4 \left(\frac{d_s}{d_F}\right)^2 \tag{3.46}$$

Para a bola de fogo de 130 m de raio com $T_F = 7270$K observado a uma distância de 1600 m e considerando o sol com raio $R_s = 6,96.10^8$m, a temperatura da superfície $T_s = 5770$ K a uma distância da terra de $D_s = 1,5.10^1$1m resolvendo equação 50 chegamos a uma razão de 770. Este valor é aproximado pois nem toda a radiação é emitida na faixa do visível. [100]

A exposição a essa explosão leva á uma vaporização, em Hiroshima pessoas a 2300 m de distância do marco zero sofreram queimaduras, telhas foram fundidas a 1200 m e ainda cerca de 2900 m postes telefônicos foram queimados. [100]

Como já sabemos que após iniciar a reação em cadeia com nêutrons rápidos é necessário apenas alguns microssegundos para que a reação seja completa. Por isso foi preciso desenvolver um método de ignição para o disparo da bomba. [100]

A bomba foi construída de modo a ter duas massas críticas em cada extremidade, um gatilho acionava a primeira que ia direção a outra que era acionado pela pressão do ar, ou seja, uma massa de urânio era lançada em outro alvo também de urânio para começar a fissão nuclear. Conforme a figura 3.5.[100]

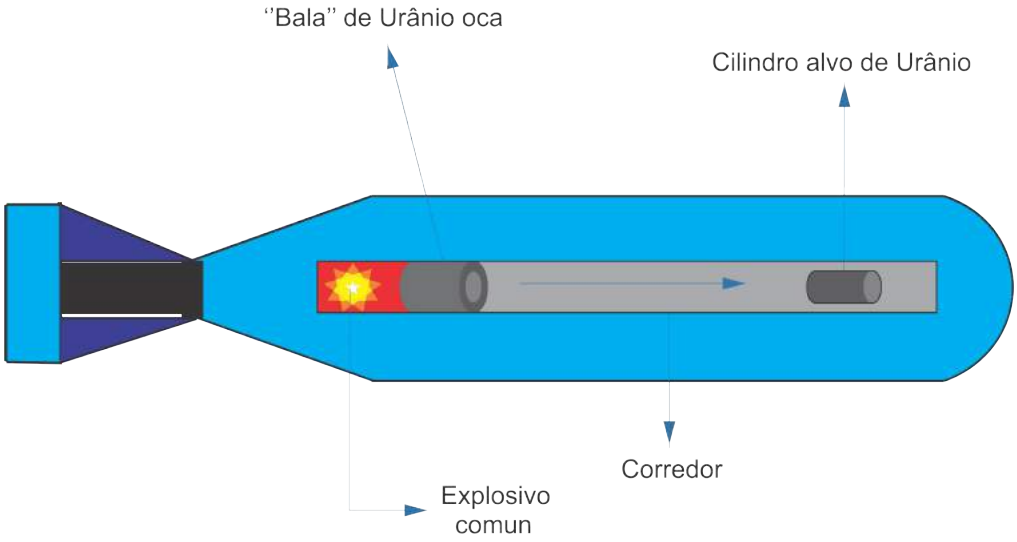


Figura 3.5: Bomba de Urânio

O elemento polônio foi escolhido para a detonação inicial por ter uma meia vida de

apenas 138 dias. E as bombas Trinity e a lançada sobre Nagasaki tiveram um mecanismo de implosão que diferia de maneira muito fundamental do que é esboçado na figura 10 (de Hiroshima). Esses dispositivos usavam núcleos esféricos subcríticos que eram sólidos, mas com um vazio central para manter fonte de nêutrons. A implosão não se destinava a montar o núcleo, mas sim a esmagá-lo a alta densidade em alta velocidade, resolvendo assim o problema de pré-detonação, aproveitando a menor massa crítica proporcionada pela maior densidade, como relacionado a seguir. [100]

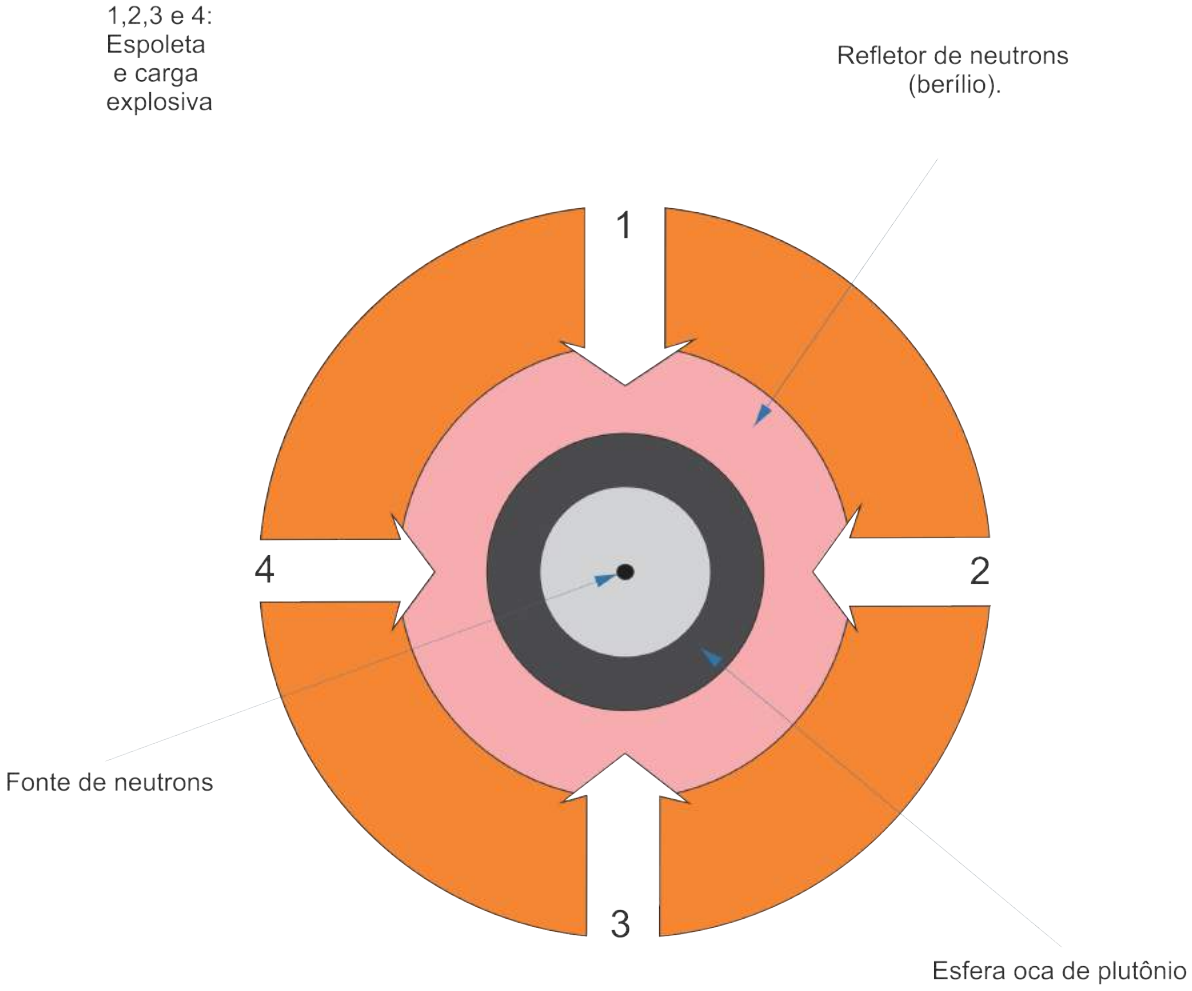


Figura 3.6: Bomba de Plutônio

A pressão foi muito grande nos cientistas e engenheiros de Los Alamos para produzir bombas viáveis o mais rápido possível, o que o levaram a receber qualquer recurso que considerassem necessário para facilitar a missão. [100]

Todos os envolvidos no projeto tiveram importância e muito trabalho para desenvolver. Os teóricos precisavam desenvolver a compreensão do processo de fissão, analisar possíveis configurações centrais, considerar como as reações em cadeia evoluíam e realizar

estimativas de danos para uma arma que geraria condições de pressão e temperatura muito além das de qualquer bomba anterior. Já os experimentalistas tiveram que desenvolver programas para medir as características nucleares materiais cindíveis e de adulteração, tais como secções transversais e números de nêutrons, através de uma ampla gama de energias. E a junção de ambos resultou no êxito do objetivo central do projeto.[100]

Eles tiveram que investigar também as propriedades a granel desses materiais e desenvolver geradores de nêutrons confiáveis. Os engenheiros enfrentariam a integração de todo esse novo e exótico conhecimento com a prática de munição militar estabelecida. [100]

Eles conseguiram construir a arma nuclear e mudaram a história. Mas esses recursos não teriam significado se fossem atrelados à dedicação, criatividade e a inteligência de cada um.

Existia uma desconfiança que Heisenberg era líder de um projeto Alemão para construção da bomba atômica para o governo de Hitler. Então os Estados Unidos inicia um projeto denominado "Manhattan" sob a liderança de Robert Oppenheimer em Los Alamos para a construção da bomba atômica. Muitos cientistas se envolveram nesse projeto entre eles Bohr e seu filho Aage. [73]

Assim chega o fim da segunda guerra mundial, a Alemanha havia perdido, o Japão se rende, com inúmeros civis mortos e tantos outros feridos, com duas cidades totalmente destruídas. Os EUA demonstrou ter domesticado a energia nuclear. [97]

A bomba atômica mostrou que a ciência não traz apenas benefícios a humanidade, mas que também pode trazer um grande mal, e nos anos pós-guerra os cientistas passaram de heróis para muitas vezes uma visão de louco, mal e egoísta. Mas a própria visão dos cientistas que desenvolveram a arma foi modificada pela destruição causada ao Japão e a preocupação da possível utilização das armas para fim militares e o armamento nuclear pelos países. Muitos ficaram assombrados por anos a fim, e passaram a lutar contra o armamento nuclear e por um mundo com mais transparente, o que com o início da guerra fria não foi possível. [78, 98]

3.10 Wolfgang Pauli

O século XX é marcado pelas ideias de Planck, Bohr, Einstein, entre outros ganhavam espaço se mostrando válidas, a mecânica newtoniana se mostrou inadequada para lidar com os novos problemas que surgiam, e esses problemas traziam várias indagações e cada dia era preciso novas teorias para explicarem as descobertas, nesse momento surge uma mente brilhante que foi capaz de resolver alguns desses conflitos e de expandir o estudo do novo mundo que se mostrava ele foi Wolfgang Pauli. [76]

3.10.1 Vida

Wolfgang Ernst Pauli foi um físico Austríaco nascido em 1900, descendente de uma família com tradição científica e de valorização do conhecimento, desde pequeno demonstrou uma grande habilidade intelectual. Entendeu a relatividade com facilidade o que o influenciou em seus estudos, pois no segundo ano da universidade já havia publicado três artigos sobre esse tema. [76]

Nos anos de estudo na universidade de Munique teve como mentor Arnold Sommerfeld, que foi muito importante para sua formação por envolvê-lo em estudos avançados e atuais da época. Nesse ambiente desafiador e inspirador que conheceu seu amigo e colaborador de toda a vida Werner Heisenberg. [76]

Se doutorou em 1921 com uma tese sobre a molécula de hidrogênio ionizada, desenvolvida nos moldes da antiga mecânica quântica de Bohr – Sommerfeld, com uma teoria quântica para o átomo.[76]

Em 1925 o estudo do espectro de metal alcalinos estava gerando problemas que não podiam ser explicados pela teoria de Bohr, estudando essa questão Pauli sugeriu a existência do spin, e também no mesmo trabalho postulou o princípio da exclusão que define que duas partículas possuindo spin semi-inteiro (férmions) no mesmo sistema nunca podem ter exatamente o mesmo conjunto de números quânticos, existe um grau de liberdade com dois valores possíveis para cada partícula, mas não conseguiu dar uma explicação física para isso. O princípio reflete que a função de onda dos férmions é anti-simetrica. [76, 101]

George Uhlenbeck e Samuel Goudsmit desenvolveram uma ideia que associava o princípio de Pauli com uma característica magnética ligada ao elétron. Pauli inicialmente se mostrou contrário a essas ideias, mas em 1927 acabou aceitando e a combinou a nova mecânica quântica, produzindo uma notação de matrizes, chamadas matrizes de Pauli para representar essa grandeza- o spin. O spin é considerado hoje em dia uma propriedade intrínseca do elétron que não tem correspondente na física clássica e não uma rotação em torno de seu eixo. [76]

O principio da exclusão é utilizado pelos físicos para aplicações e generalização das ideias por Dirac e Fermi. Esse principio foi fundamental para o desenvolvimento da mecânica estatística, além de ser escolhido para a premiação do Nobel á Pauli em 1945. [76]

Estudando a estatística de Bose- Einstein e Fermi-Dirac, Pauli conseguiu demonstrar em 1940 que os bósons (partículas com spin inteiro) são governadas pela estatística de Bose-Einstein e os férmions (partículas de spin semi-inteiro)são governadas por Fermi-Dirac. [76]

Pauli junto com Jordan e Heisenberg também produziram trabalho que explicassem as teorias de Schroedinger e de Broglie sob a visão da física quântica desenvolvida nos anos 20 e 30, esses trabalhos foram as primeira contribuições para a teoria quântica de campo. Essa teoria só foi bem desenvolvida no período pós guerra, pela implantação da normalização matemática que excluía os valores infinitos que surgiam nos cálculos. [76]

Pauli trabalhou como chefe na área de física no Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, na Suíça por muitos anos até sua morte de forma inesperada em 1958. [76]

3.10.2 Obra

O princípio da exclusão é fundamental para a determinação da estrutura de átomos multieletrônicos, não existe um análogo na física clássica para esse princípio, pois possue uma descrição quântica de sistemas que possuem duas ou mais partículas eletrônicas.[75]

O m_s representam os números quânticos e pode variar entre:

$$\pm \frac{1}{2} \tag{3.47}$$

Os autovalores são dados por $|\uparrow\rangle$ $|\downarrow\rangle$ para spins - $\frac{1}{2}$ [87, 90, 91, 101]

Pauli introduz suas matrizes para explicar os três componente do momento angular de spin:

$$\sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} \sigma_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.48}$$

Essas matrizes obedecem a essas propriedades:[87, 90, 91, 102]

$$\sigma_r^2 = 1, \sigma_r.\sigma_s + \sigma_s.\sigma_r = 0\,(r \neq s) \tag{3.49}$$

NEUTRINO

Em 1911 a física Lise Meitner e o químico Otto Hahn desenvolviam pesquisas na área da física nuclear mostraram que a energia total no decaimento atômico não era conservada e a soma dos spins também indicavam uma violação no princípio da conservação. Os físicos procuravam entender e explicar essa falha. Em 1931 Pauli propôs a existência de uma partícula sem carga que chamou de neutrino para diferenciar do nêutron, segundo ele essa partícula não tinha sido detectada por ter fraca interação com a matéria. Essa teoria se encaixava bem para explicar o problema mas demorou 25 anos para que Clyde Cowan e Frederick Reines encontrassem o neutrino produzindo experiências com reatores nucleares. Essa descoberta rendeu a Reines um Nobel em 1995. [76]

Hoje nos sabemos que na emissão de elétrons do átomo temos um nêutron **(n)** se transforma em um próton **(p)**, um elétron (e^-) e em um neutrino ν:

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \nu \tag{3.50}$$

Podemos ter também a emissão de pósitrons, um próton do núcleo se transforma em um nêutron (n), um pósitron (e^+) e um antineutrino $(\bar{\nu})$

$$p^+ \rightarrow n + e^+ + \bar{\nu} \tag{3.51}$$

3.11 Paul Adrien Maurice Dirac

Um físico brilhante surge em meios a tantos desarranjos e rearranjos na teoria física: Paul Dirac, foi um grande físico teórico que desenvolveu inúmeros trabalhos e predisse algumas descobertas, abriu mais espaço para a teoria quântica, trazendo uma nova linguagem ao que já se conhecia e deduzindo nova descobertas.

3.11.1 Vida

P.A. M Dirac foi um físico inglês nascido em 1902, desde pequeno demonstrou interesse pela matemática, mas não tinha interesse de ser professor e por isso se formou em engenharia elétrica, obteve seu diploma em 1921, mas não conseguiu um bom emprego e em 1923, se graduou em matemática pela universidade de Bristol. [76]

Ele se interessou de imediato pela teoria da relatividade ao conhecê-la, porém só conseguiu um estudo sobre mecânica estatística e teoria atômica quântica. Sendo assim, estudou relatividade independentemente. [76]

Ao ter conhecimento do trabalho de de Broglie, Dirac o apreciou porque ele relacionava de certa forma a mecânica quântica com a relatividade, mas acreditou que ele não trazia significância física, pois defendia a teoria eletrônica de Bohr: elétrons pontuais com órbitas em torno do núcleo, anos mais tarde se arrependeu de não ter dado real importância a de Broglie. [76]

Em seus estudos Dirac estudou maneiras de associar a teoria quântica á sua paixão a relatividade. Se dedicou ao estudo da mecânica hamiltoniana e da mecânica matricial de Heisenberg, sendo fortemente influenciado pelo último, além de utilizar a equação de Schroedinger se baseou nos estudos de Wolfgang Pauli sobre o spin, para assim desenvolver sua própria mecânica quântica utilizando de outro formalismo matemático. [76]

Em 1925 publica seu primeiro artigo sobre mecânica quântica, já em 1926 aplica a mecânica quântica ao átomo de hidrogênio paralelamente a Pauli. E reunindo seus trabalhos sobre mecânica quântica ainda em 1926 se doutorou. No ano seguinte consegue um emprego no St John's College, em Cambridge como pesquisador.[76]

Sua teoria era relativística e aplicada ao elétron livre. Uma das coisas que chamou a atenção foi que fração $\frac{1}{2}$ do spin surgia de maneira espontânea. [76]

Desse estudo ele prevê a existência das anti-partículas, partículas que teriam as mesmas propriedades das partículas conhecidas, mas que só se diferenciavam pela carga. Para entender isso Dirac explicou que o universo é preenchido com um mar de elétrons que não observamos por estar em outra parte, mas uma hora ou outra aparecem lacunas nessa rede de elétrons que poderiam ser detectadas experimentalmente como elétrons com carga positiva, conhecida como pósitron. O pósitron foi descoberto em 1932 por Carl Anderson em suas experiências, o que mostrou válida a teoria quântica de campos de Dirac. [76, 83, 102]

Nessa teoria Dirac demonstra como ocorre a produção de um par elétron-pósitron a

partir de um par de fótons de radiação gama, a equivalência de massa energia permite que isso ocorra, a aniquilação também é válida, quando um elétron e um pósitron se unem se aniquilando e produzindo de fótons de radiação gama ou outras partículas. [83]

Em 1930 Dirac publicou um livro que foi referência por décadas *"The principles of quantum mechanics"*, nele foi utilizado o formalismo de operadores em um espaço de Hilbert que descreve o estado de um sistema, também foram introduzidos a notação de braket e a função delta de Dirac que passou a ser utilizada posteriormente como referência. Em 1933 é agraciado com o prêmio Nobel, pelos seus trabalhos que unia a teoria quântica à relatividade, prêmio que ele dividiu com Schroedinger e Heisenberg. [76]

Em 1932 Dirac passou a ser "professor Lucasiano" de matemática na Universidade de Cambridge (mesma posição de Sir Isaac Newton), onde se manteve no cargo por 37 anos. Se mudou para os EUA após se aposentar, para ficar próximo de uma de suas filhas que tinha se mudado para lá. Seus últimos anos de vida foram na Flórida, EUA, onde faleceu no dia 20 de outubro de 1984. [76]

3.11.2 Obra

Ao ter conhecimento da mecânica matricial de Heisenberg Dirac fica intrigado com a propriedade de comutação das matrizes:[87]

$$X.Y \neq Y.X \tag{3.52}$$

Um tempo depois ele percebeu que os comutadores de Heisenberg, Born e Jordan eram análogos aos colchetes de Poisson da mecânica hamiltoniana, de onde:[74, 87, 90, 91]

$$[X.Y] \neq [Y.X] \tag{3.53}$$

Estudando a mecânica hamiltoniana e o trabalho de Heisenberg, começa a desenvolver sua própria mecânica quântica, utilizando de outro formalismo matemático. Assim ele aplicou os colchetes de Poisson e mostrou que: [76]

$$PQ - QP = \frac{h}{2i\pi} \tag{3.54}$$

Que é a regra de comutação de Born-Jordan. Utilizando da sua abordagem Dirac também demonstrou que qualquer função $f\,[q,p]$ das variáveis quânticas q e p, a equação básica do movimento era:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right)(fH - Hf) \tag{3.55}$$

Onde H(q,p) é o hamiltoniano do sistema. [76, 90, 91]

Dirac desenvolveu uma mecânica quântica para o elétron livre, essa mecânica lida com os níveis mais altos de energia de forma que os efeitos relativísticos não podem ser negligenciados. [83, 102]

Dirac observou que para que a equação do elétron fosse tanto relativística como quântica ela deveria ser diferencial de primeira ordem no espaço e no tempo, já que a teoria quântica requer o derivado de primeira ordem no tempo, e relatividade requer que o espaço e o tempo deve entrar simetricamente, e na verdade esse espaço e tempo deve ser intercambiável. [102]

Dirac acompanhou as mesmas ideias de Heisenberg e derivou sua teoria das abordagens de Heisenberg e Schroedinger, admitindo a teoria de Pauli. Pois a função de onda de Schroedinger para o elétron não relativístico estava correta, e Dirac desenvolveu sua equação de forma que ela se convertia na equação de Schroedinger no limite relativista, o que foi crucial para sua aceitação. [102]

Baseado no trabalho de Schroedinger da mecânica quântica Dirac percebeu que não precisaria abrir mão de nada do que já havia produzido e aplicou o trabalho de Schroedinger ao estudo de um sistema com muitas partículas. [76]

A equação original de Dirac foi:[87, 90, 91]

$$F\Psi = \left[p_0 + \frac{e}{c}A_0 + \sum_{1}^{3} \left(\alpha_1 \left(p_i + \frac{e}{c}A_i \right) \right) + \alpha_4 mc \right] \Psi \tag{3.56}$$

Onde p é o momento, A é a componente do quadrivetor potencial e α é a grandeza que Dirac precisou introduzir e descreve algum movimento do elétron, sendo identificado como o spin.[76]

Desenvolvendo essa teoria foi preciso introduzir matrizes 4x4 que representavam α, no lugar das 2x2 que representavam o spin anteriormente desenvolvido. As matrizes de Dirac eram todas Hermitanas.Essa nova matriz mostrava que o elétron era muito mais complexo do se imaginava, além dos estados positivos e negativos do spin, existiam outras possibilidades. [76, 102]

Dirac propõe que a função de onda se baseia na teoria da transformação e é possível graças a equação de onda sendo da forma:

$$(H - W) = 0 \tag{3.57}$$

Ou seja sendo linear em W e $\frac{\partial}{\partial t}$ de modo que a função de onda em qualquer tempo determina a função de onda em qualquer momento posterior, a função relativística também deve ser linear em W. [87, 102]

Seus estudos tinham um problema, que depois se mostrou uma solução válida, Uma perturbação causava uma transição do estado com W positivo para um estado com um W negativo, o que parecia que o elétron negativo se transformava em um elétron positivo. [102]

Dirac tentou encontrar uma maneira de exterminar os valores de energia negativa que surgiam, mas por fim, resolveu aceitar como provável e postular que para que o princípio de exclusão de Pauli fosse verdadeiro , era preciso encontrar uma partícula que

se diferenciasse do elétron apenas pela carga. Assim prevê a existência da anti-matéria. [76]

Dirac ampliou as matrizes de Pauli 3.48 , porém as ampliou de forma a compreender o quarto momento angular do spin, assim introduziu mais três matrizes ρ_1, ρ_2 e ρ_3 ampliando as linhas e colunas e chegou a:[87, 90, 91]

$$\sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.58}$$

$$\sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \end{bmatrix} \tag{3.59}$$

$$\sigma_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{3.60}$$

$$\rho_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.61}$$

$$\rho_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.62}$$

$$\rho_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{3.63}$$

Temos além de 3.49:

$$\rho_r = \rho_r.\rho_s + \rho_s.\rho_r = 0 \quad com \quad 1\,(r \neq s) \tag{3.64}$$

[87, 90, 91, 102]

As matrizes de Pauli estão contidas nas matrizes de Dirac, porém enquanto Pauli tinha uma teoria do spin mais fenomenológica, Dirac tinha um argumento teórico dos primeiros princípios e sugeria que o spin surgia da unificação da mecânica quântica com a relatividade. A teoria de Dirac também foi capaz de justificar a importância dos números

complexos e a necessidade de uma função complexa na teoria quântica, pela sua álgebra partindo da geometria do espaço-tempo relativística. [102]

Dirac percebeu que a solução da função de onda chegava a dois resultados: uma função simétrica e outra anti-simétrica, a primeira levava a estatísticas equivalentes as produzidas por Bosen e Einstein em 1924-25. E a outra conduzia a uma nova estatística quântica, que Dirac desenvolveu e publicou um artigo. Mas logo descobriu por meio de uma carta que Enrico Fermi já tinha publicado um artigo sobre o tema, Dirac se desculpou com Fermi, que entendeu que ambos desenvolveram o mesmo trabalho de forma independente e com motivações diferentes. Assim essa nova estatística foi batizada de "estatística de Fermi-Dirac", que foi realmente definida em 1940 por Pauli que demonstrou que as partículas de spin semi-inteiros (férmions) que obedecem a essa estatística e as partículas com spin inteiro obedecem a estatística de Bose-Einstein (bósons). [76]

P.A.M. Dirac desenvolveu muitos trabalhos na era quântica sendo muito importante para o desenvolvimento e fundamento da mecânica quântica, seus trabalhos são reconhecidos até os dias atuais e sua contribuição valorizada. Ele conseguiu fundir a teoria da relatividade com a mecânica quântica. [76]

3.12 Prêmio Nobel

O prêmio nobel é a mais alta condecoração científica, normalmente é anunciado o laureado no inicio do mês de outubro de cada ano, iniciando no ano de 1901. [103]

Alfred Nobel(1833-1896) nasceu na Suécia, filho de um inventor e construtor. A família Nobel investiu na educação dos filhos, Nobel escolheu ser químico, além de ser influente em várias línguas, escreveu poesia e drama, ele era interessado em questões sociais e relacionadas à paz. Os interesses de Nobel são refletidos no prêmio que ele estabeleceu na área da ciência, invenções, empreendedorismo, literatura e trabalho pela paz.[103]

Alfred Nobel já sabia do poder de explosão da nitroglicerina, mas não era utilizada de forma adequada, assim, o pai de Alfred já estava fazendo experiências para utilizar a nitroglicerina em explosivos, mas ele não conseguiu sucesso. Alfred continuou estudando maneiras de utiliza-lo, e em 1862 teve êxito e inventou a dinamite, além de ser detentor de 355 patentes.[103]

Alfred Nobel deixa um testamento que reserva parte de sua fortuna a uma premiação aqueles que no ano precedente desenvolveram algum bem para a humanidade. A família de Nobel é contrária ao seu testamento e as pessoas que ele nomeou se negaram a fazer o que ele havia pedido. Só depois de cinco anos de sua morte que o primeiro prêmio Nobel foi concedido.[103]

Em seu testamento ele elucida como sua fortuna deve ser repartida, o capital deveria ser revertido em bens mobiliários, constituindo um fundo e os juros divididos em cinco partes iguais e distribuídos para os seguintes campos: física, química, medicina ou fisiologia, literatura e paz. Ele decidiu quem deveria escolher os ganhadores do prêmio: para física

e química intitulou a Academia Sueca de Ciências, para medicina ou fisiologia o Instituto Karolinska em Estocolmo, para a literatura a Academia em Estocolmo e para os defensores da paz um comite de cinco pessoas escolhidos pelo norueguês Storting. Nobel também deixou claro em seu testamento que a escolha deveria ser feita de modo justo independente da sua nacionalidade.[103]

Segue abaixo a lista dos laureados em física desde o primeiro premio, até o ano de 2018.[103]

- 1901 Wilhelm Conrad Röntgen "pela descoberta dos raios X"
- 1902 Hendrik Antoon Lorentz e Pieter Zeeman "pela descoberta e pesquisas da influência do magnetismo sobre as radiações"
- 1903 Antoine Henri Becquerel "pela descoberta da radioatividade espontânea" Pierre Curie e Marie Curie "pelas pesquisas sobre o fenômeno da radioatividade espontânea"
- 1904 John William Strutt (Lord Rayleigh) "pelas investigações sobre a densidade dos gases e pela descoberta do Argônio"
- 1905 Philipp Eduard Anton von Lenard "por pesquisas sobre os raios catódicos"
- 1906 Joseph John Thomson "por seus grandes méritos e pelas pesquisas sobre condução elétrica dos gases"
- 1907 Albert Abraham Michelson "por seus instrumentos ópticos de precisão e pesquisas espectroscópicas e metrológicas"
- 1908 Gabriel Lippmann "por seu método de reprodução fotográfica de cores com base em fenômenos de interferência"
- 1909 Guglielmo Marconi e Carl Ferdinand Braun "em reconhecimento a suas contribuições para o desenvolvimento do telégrafo sem fio"
- 1910 Johannes Diderik van der Waals "pelos trabalhos no estabelecimento das equações de estado para gases e líquidos"
- 1911 Wilhelm Wien "pela descobertas das leis de irradiação do calor (Lei de Wien)"
- 1912 Nils Gustaf Dalén "pela invenção de reguladores automáticos para reservatórios de gás de iluminação"
- 1913 Heike Kamerlingh-Onnes "por pesquisas sobre as propriedades da matéria a baixas temperaturas e pela produção do hélio líquido"
- 1914 Max von Laue "pela descoberta da difração dos raios-X pela matéria cristalina"

- 1915 William Henry Bragg e William Lawrence Bragg "pelos trabalhos na análise da estrutura cristalina através da difração de raios-X"
- 1916 não houve premiação.
- 1917 Charles Glover Barkla "pela descoberta de emissões características de Raios Röntgen pelos elementos"
- 1918 Max Karl Ernst Ludwig Planck "por trabalhos no desenvolvimento da Física e pela descoberta dos quanta de energia"
- 1919 Johannes Stark "pela descoberta do Efeito Doppler em Raios Canais e do espalhamento das linhas espectrais em campos elétricos"
- 1920 Charles Edouard Guillaume "pela melhora na precisão de medições na Física e pela descoberta de anomalias em ligas de aço-níquel"
- 1921 Albert Einstein "por seus trabalhos em Física Teórica e, em especial, sobre o Efeito fotoelétrico"
- 1922 Niels Henrik David Bohr "pelas investigações sobre a estrutura de átomos e de suas radiações"
- 1923 Robert Andrews Millikan "pelos trabalhos sobre cargas eltricas elementares e o Efeito fotoelétrico"
- 1924 Karl Manne Geogr. Siegbahn "pela descobertas e pesquisas em Espectroscopia de Raios-X"
- 1925 Jates Franca e Gustavo Ludwig Hertz "pelo estabelecimento das leis que atuam no impacto de elétrons sobre os átomos"
- 1926 Jean Baptiste Perrin "pelos estudos sobre a estrutura descontínua da matéria e, em especial, pela descoberta do equilíbrio na sedimentação"
- 1927 Arthur Holly Compton "pela descoberta do Efeito Compton" Charles Thomson Rees Wilson – "pelo seu método de tornar visível as trajetórias de partículas através da condensação do vapor de água (Câmara de Wilson)"
- 1928 Owen Willans Richardson "por estudos sobre os fenômenos termoiônicos e da descoberta da Lei de Richardson"
- 1929 Louis de Broglie "pela descoberta da natureza ondulatória dos elétrons"
- 1930 Chandrasekhara Venkata Raman "pelos trabalhos sobre o espalhamento da luz e descoberta do Efeito Raman"
- 1931 não houve premiação

- 1932 Werner Karl Heisenberg "pela criação da Mecânica Quântica e descoberta das Formas Alotrópicas do Hidrogênio"
- 1933 Erwin Schrödinger e Paul Adrien Maurice Dirac "pelo desenvolvimento de novas teorias atômicas"
- 1934 não houve premiação
- 1935 James Chadwick "pela descoberta do nêutron"
- 1936 Victor Franz Hess "pela descoberta da Radiação Cósmica" Carl David Anderson "pela descoberta do pósitron"
- 1937 Clinton Joseph Davisson e George Paget Thomson "pela verificação experimental da difração do elétron por cristais"
- 1938 Enrico Fermi "pela demonstrações da existência de novos elementos radioativos produzidos por irradiação de nêutrons e pela descoberta de reações nucleares produzidas por nêutrons lentos"
- 1939 Ernest Orlando Lawrence "pela invenção e desenvolvimento do ciclotron e, em especial, pela obtenção de elementos radiativos artificiais
- 1940 não houve premiação
- 1941 não houve premiação
- 1942 não houve premiação
- 1943 Otto Stern "por contribuições no desenvolvimento do método do raio molecular e pela descoberta do momento magnético do próton"
- 1944 Isidorsaac Rabi "pelo método de registro de propriedades de Ressonância Magnética de núcleos atômicos"
- 1945 Wolfgang Pauli "pela formulação do Princípio da Exclusão, também chamado de Princípio de Pauli"
- 1946 Percy Williams Bridgman "pela invenção de equipamentos de alta pressão e pelas descobertas no campo da Física de Altas Pressões"
- 1947 Edward Victor Appleton "pelas investigações da alta atmosfera e, em especial, pela descoberta da Barreira de Appleton"
- 1948 Patrick Maynard Stuart Blackett "pelo desenvolvimento do método da Câmara de Wilson e por descobertas no campo da Física Nuclear e Radiações Cósmicas"

- 1949 Hideki Yukawa "pela predição da existência de mésons com base em trabalhos teóricos sobre forças nucleares"
- 1950 Cecil Frank Powell "pelo desenvolvimento do método ortográfico para estudo de processos nucleares e por descobertas relacionadas com os mésons."
- 1951 John Douglas Cockcroft e Ernest Thomas Sinton Walton "por trabalhos pioneiros sobre transmutação de núcleos atômicos através de partícula aceleradas artificialmente."
- 1952 Felix Bloch e Edward Mills Purcell "pelo desenvolvimento de novos métodos de medição precisa do magnetismo nuclear e descobertas afins."
- 1953 Frits Zernike "pela demonstração do método de contraste de fase e, em especial, pela invenção do microscópio de contraste de fase."
- 1954 Max Born "pelo método da coincidência e descobertas relacionadas."
- 1955 Willis Eugene Lamb "por descobertas relativas a estrutura fina do espectro de hidrogênio." Polykarp Kusch "pela determinação precisa do momento magnético do elétron."
- 1956 William Bradford Shockley e John Bardeen e Walter Houser Brattain "pelas pesquisas de semicondutores e descoberta do Transístor."
- 1957 Chen Ning Yang e Tsung-Dao Lee "pela investigação profunda das Leis da Paridade e obtenção de importantes descobertas relativas a Partículas Elementares."
- 1958 Pavel Alekseyevich Cherenkov e Illia Mikhailovich Frank e Igor Yergenyevich Tamm "pela descoberta e interpretação do Efeito Cherenkov."
- 1959 Emilio Gino Segrè e Owen Chamberlain "pelas descoberta do antiproton"
- 1960 Donald Arthur Glaser pelo invenção da Câmara de Bolhas.
- 1961 Robert Hofstadter Rudolf Ludwig Mössbauer pelos estudos pioneiros do espalhamento do elétron em núcleos atômicos pelas descobertas sobre a estrutura dos núcleos. pelas pesquisas relativas a resonance de absorção de radiação gama e descoberta do Efeito Mössbauer.
- 1962 Lev Davidovich Landau pela teorias pioneiras para a Matéria Condensada, especialmente para o Hélio liquido.
- 1963 Eugene Paul Wigner, Maria Goeppert-Mayer e J. Hans D. Jensen por contribuições para a teoria do núcleo atômico e partículas elementares, particularmente pela descoberta e aplicações dos princípios fundamentais de simetria. Pelas descobertas relacionadas a estrutura das camadas nucleares.

- 1964 Charles Hard Townes, Nicolay Gennadiyevich Basov, Aleksandr Mikhailovich Prokhorov por trabalhos fundamentais no campo da eletrônica quântica conduzindo à construção de osciladores e amplificadores baseados no princípio dos maser e laser.

- 1965 Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger, Richard Phillips Feynman pelos trabalhos fundamentais em eletrodinâmica quântica, com profundas implicações na Física de partículas.

- 1966 Alfred Kastler pelo descoberta e desenvolvimento de métodos ópticos no estudo da ressonância Hertziana nos átomos.

- 1967 Hans Albrecht Bethe pelas contribuições à teoria das reações nuclear, em especial, pelas descobertas relativas à produção de energia nas estrelas.

- 1968 Luis Walter Alvarez por contribuições importante na Física das partículas elementares e, especialmente, pela descoberta do grande número de estados de ressonância, tornando possível o desenvolvimento da técnica do uso de hidrogênio em câmara de bolhas.

- 1969 Murray Gell-Mann pela contribuições e descobertas referentes a classificação de partículas elementares e de suas interações 1970 Hannes Olof Gösta Alfvén

- Louis Eugène Félix Néel Por trabalhos fundamentais e descobertas na Magneto-hidrodinâmica e pelas varias aplicações na Física de Plasma, por trabalhos fundamentais e descobertas referentes ao Ferromagnetismo e Antiferromagnetismo e suas importantes aplicações na Física do Estado Sólido.

- 1971 Dennis Gabor Pela invenção e aperfeiçoamento do método halográfico.

- 1972 John Bardeen, Leon Neil Cooper, John Robert Schrieffer Pelo desenvolvimento conjunto da teoria da supercondutividade, também conhecida como Teoria BCS.

- 1973 Leo Esaki, Ivar Giaever, Brian David Josephson Pelas descobertas experimentais referentes ao fenômeno de tunelamento em semicondutores e supercondutores. Pelas predições teórica de super-correntes em barreiras de tunelamento e, especialmente, do Efeito Josephson.

- 1974 Martin Ryle, Antony Hewish Pela invenção e aplicação da técnica de abertura sintética; Pela importante atuação na descoberta dos Pulsares; – A ambos, pelas pesquisas pioneiras em Rádio-astrofísica.

- 1975 Aage Niels Bohr, Ben Roy Mottelson, Leo James Rainwater Pela descoberta da relação entre movimento coletivo e movimento individual de partículas no núcleo atômico e pelo desenvolvimento da teoria da estrutura do núcleo atômico.

- 1976 Burton Richter, Samuel Chao Chung Ting Pelos trabalhos pioneiros na descoberta de uma nova espécie de partículas elementares pesadas.
- 1977 Philip Warren Anderson, Nevill Francis Mott, John Hasbrouck van Vleck Pelos estudos teóricos fundamentais das estruturas eletrónicas magnéticas e de sistemas desordenados.
- 1978 Pyotr Leonidovich Kapitsa, Arno Allan Penzias, Robert Woodrow Wilson Pelas invenções básicas e descobertas na área da Física de Baixas Temperaturas. Pela descoberta das microondas da radiação cósmica de fundo.
- 1979 Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam, Steven Weinberg Pelas contribuições à teoria unificada das interações fracas e eletromagnéticas entre partículas elementares, inclusive, a predição das correntes neutras.
- 1980 James Watson Cronin, Val Logsdon Fitch Pela descoberta de violações dos princípios fundamentais de simetria no decaimento de mésons-K neutros.
- 1981 Nicolaas Bloembergen, Arthur Leonard Schawlow, Kai M. Siegbahn Pelas contribuições no desenvolvimento da Espectroscopia de Laser, Pelas contribuições no desenvolvimento da espectroscopia eletrónica de alta resolução.
- 1982 Kenneth G. Wilson Pela teoria dos fenômenos críticos em conexão com as transições de fase
- 1983 Subramanyan Chandrasekhar, William Alfred Fowler Por importantes estudos teóricos de processos físicos referentes a estrutura e evolução das estrelas. Por estudos teóricos e experimentais de reações nucleares importantes na formação dos elementos químicos no universo.
- 1984 Carlo Rubbia, Simon van der Meer Pelas contribuições fundamentais que levaram à descoberta das partículas de campo W e Z, transportadoras da interação fraca.
- 1985 Klaus von Klitzing pelo descoberta da quantizaçao do Efeito Hall.
- 1986 Ernst Ruska, Gerd Binnig, Heinrich Rohrer Pelos trabalhos fundamentais em óptica eletrónica e pelo projeto do primeiro Microscópio Eletrônico. Pelo projeto do microscópio de varredura tunelada.
- 1987 J. Georg Bednorz, K. Alexander Müller Pelos importantes avanços na descoberta de materiais cerâmicos supercondutores.
- 1988 Leon M. Lederman, Melvin Schwartz, Jack Steinberger Pelo método do feixe de neutrinos, descoberta do muon neutrino e demonstração dos leptons dobrados.

- 1989 Norman F. Ramsey, Hans G. Dehmelt, Wolfgang Paul Pela invenção do método de campos oscilatórios separados e seu uso no maser de hidrogênio e em outros relógios atômicos. Pelo desenvolvimento da técnica de ion trap.

- 1990 Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall, Richard E. Taylor Pelas investigações pioneiras referentes ao espalhamento inelástico de elétrons sobre prótons e sobre ligações de nêutrons que foram essenciais para o desenvolvimento do modelo dos quarks na Física de partículas.

- 1991 Pierre-Gilles de Gennes Pelo descobrimento de que o método desenvolvido para estudo do fenômeno de ordenamento em sistemas simples pode ser generalizado para formas mais complexas da matéria, em particular para cristais líquidos e polímeros.

- 1992 Georges Charpak Pela invenção e desenvolvimento de detetores de partículas, em particular a câmara de múltiplas ligações proporcionais (multiwire proportional chamber).

- 1993 Russell A. Hulse, Joseph H. Taylor Jr. pelo descoberta de um novo tipo de pulsar, abrindo novas possibilidades no estudo da gravitação.

- 1994 Bertram N. Brockhouse, Clifford G. Shull Pelo desenvolvimento da espectroscopia de neutrons, Pelo desenvolvimento da técnica de difração de neutrons. A ambos, pelo pioneirismo das contribuições ao desenvolvimento das técnicas de espalhamento de neutron no estudo da matéria condensada.

- 1995 Martin L. Perl, Frederick Reines, Pela descoberta do lepton tau. Pela detecção do neutrino. A ambos, pelo pioneirismo de contribuições experimentais na Física dos leptons

- 1996 David M. Lee, Douglas D. Osheroff, Robert C. Richardson pela descoberta da superfluidade no hélio_3

- 1997 Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji, William D. Phillips pelo desenvolvimento de método para esfriar e fixar átomos com laser de luz.

- 1998 Robert B. Laughlin, Horst L. Störmer, Daniel C. Tsui pelas descoberta de uma nova forma de fluido quântico com exitabilidade fracionada.

- 1999 Gerardus 't Hooft, Martinus J. G. Veltman Pela elucidação da estrutura quântica da Física de interações eletrofracas.

- 2000 Zhores Ivanovich Alferov "por trabalhos básicos na tecnologia de informação e de comunicação" Herbert Kroemer "pelo desenvolvimento heteroestruturas de semicondutores usados opto-eletrônica de alta velocidade" Jack Kilby "pela participação na invenção do circuito integrado"

- 2001 Eric Cornell, Carl Wieman e Wolfgang Ketterle "pela criação experimental do condensado de Bose-Einstein"
- 2002 Raymond Davis Jr. e Masatoshi Koshiba "pelas contribuições pioneiras à Astrofísica, em particular pela detecção dos neutrinos cósmicos" Riccardo Giacconi "pelas contribuições à Astrofísica que levaram à descoberta dos Raios X cósmicos"
- 2003 Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg e Anthony J. Leggett "pelas contribuições à teoria dos supercondutores e superfluidos"
- 2004 David J. Gross, H. David Politzer e Frank Wilczek "pela descoberta da liberdade assintótica na teoria da interação forte"
- 2005 Roy Glauber "por suas contribuições para a teoria quântica de coerência óptica" John Hall e Theodor Hänsch "por suas contribuições para o desenvolvimento de espectroscopia de precisão baseada em laser, incluindo a técnica de pente de freqüência óptica"
- 2006 John C. Mather (EUA) e George F. Smoot (EUA) "pela descoberta da anisotropia de forma de corpo negro presente na radiação cósmica de fundo"
- 2007 Albert Fert, Peter Grünberg "pela descoberta da Magnetorresistência gigante"
- 2008 Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa, Yoichiro Nambu, pela descoberta do mecanismo de simetria quebrada espontânea na física subatômica.
- 2009 - Charles K. Kao, Reino Unido, Willard S. Boyle e George E. Smith, premiados por seus trabalhos na área da comunicação óptica;
- 2010 - Andre Geim, Konstantin Novoselov, por experimentos inovadores com grafeno;
- 2011 - Saul Perlmutter, Brian Schmidt, Adam Riess, Pesquisas com supernovas renderam o prêmio aos estudiosos;
- 2012 Serge Haroche, David Wineland, por métodos experimentais que permitem medições e manipulações de sistemas quânticos individuais;

  2013 - François Englert, Peter Higgs, or seus trabalhos teóricos sobre como as partículas adquirem massa, propostos separadamente em 1964; 2014 - Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura, pela criação de luz branca em led;
- 2015 - Takaaki Kajita, Arthur Bruce McDonald, pela descoberta das oscilações dos neutrinos, que mostra que os neutrinos possuem uma massa.
- 2016 - Duncan Haldane, David Thouless e John Michael Kosterlitz pela descoberta dos segredos exóticos da matéria;

- 2017 - Rainer Weiss, Barry Barish e Kip Thorne, O prêmio foi para o time que descobriu as ondas gravitacionais, um fenômeno que Einstein previu;
- 2018 Gérard Mourou, Arthur Ashkin, Donna Strickland, pela utilização de pinças óticas aplicadas a medicina.

Fonte: [103]

4 Resultados e Discussões

4.1 Formas de Aplicação Geral e Métodos de Aplicação

A avaliação da aplicação do jogo educacional foi feita em etapas. A primordial é a da aprendizagem, feita em uma avaliação escrita no final de todo o processo, foi construída quatro avaliações distintas, cada aluno respondeu apenas uma delas, para mensurar a aprendizagem dos tópicos, elas estão disponíveis nos apêndices. As notas podem ser verificadas na computação dos dados mais a frente. Todo o processo foi avaliado durante o bimestre corrente da aplicação do jogo, culminando em uma grande parcela da nota final bimestral, para incentivar o empenho e a participaçãodos alunos.

Outra avaliação foi feita com dois questionários, disponíveis nos apêndices, um produzido por nós e outro baseado no artigo de Savi et all. este último foi modificado conforme necessidade, mas as perguntas foram mantidas. Os questionários tiveram como objetivo avaliar na visão do aluno o impacto do jogo "enigma da física" na aprendizagem. Conforme Savi et all essa avaliação foi dividida em três partes: a motivação, os estudantes se motivam a utilizar o material para a aprendizagem?; a participação no jogo, proporciona uma boa experiência para o jogador?; o conhecimento adquirido, os alunos percebem a utilidade educacional do jogo? acreditam que estão aprendendo?[44]

Cada turma teve a oportunidade de jogar de duas maneiras distintas, primeiro com o professor sendo o mediador e a turma dividida em grupos, cada grupo correspondia a uma peça do tabuleiro, o que resultou em seis grupos por turma de três até seis alunos por grupo. E por último, o aluno sendo o mediador, a sala foi dividida em quatro grupos e cada grupo recebeu um jogo, assim eles revezavam na leitura das cartas conforme as regras do jogo.

Foi escolhido propositalmente a primeira maneira ser o professor como mediador para que os alunos pudessem aprender as regras e tirar todas as dúvidas sobre a execução dos passos no jogo, minimizando assim as dificuldades, pois já conheciam as regras e maneiras de jogar.

A seleção das cartas compreendeu os mesmos tópicos, quando mediado pelo professor, as cartas seguiram a mesma ordem em todas as turmas para analisar as dificuldades

encontradas em cada contexto. O que significa que todas as turmas analisaram a mesma carta na mesma sequência. Mas quando o jogo foi disponibilizado para que os alunos jogassem a sós, eles podiam escolher qualquer carta, assim jogaram com temas de forma aleatória.

Durante a aplicação do jogo em todas as turmas foi valorizado a disputa entre os grupos, o melhor grupo seria bonificado. Toda a participação foi incentivada, avaliada e recompensada. O que tornou a participação no jogo de grande relevância. Todos os tópicos trabalhos em sala foram abordados no jogo.

Foi elaborado duas formas de aplicar o mesmo jogo: A primeira foi intitulada "escolha livre", onde o aluno grupo escolhia o número da dica que seria lida.

A segunda maneira foi "roleta" era sorteada a dica por uma roleta de bingo ou numa sacola, o professor sorteava a dica de cada aluno/grupo que seria lida por rodada.

A primeira maneira gerou uma boa aplicação, o lado negativo é que as vezes o aluno demorava para escolher, ou alunos do mesmo grupo escolhiam dicas diferentes o que gerava uma demora maior na escolha final, além de desentendimentos internos, quando um integrante escolhia a dica e ela não auxiliava o grupo da maneira que eles esperavam.

A outra maneira foi a mais adequada em nossa visão de aplicador, pois otimizou o tempo, os alunos esperavam o aplicador sortear e informar o número da dica e a leitura da referida. Por ser aleatório não ocorria disputas internas nos grupos de quem escolheria o número, nem discussões pelo resultado positivo ou negativo da dica. Assim é aconselhado que a utilização seja feita por esta maneira, pois teve um melhor aproveitamento na aplicação e proporcionou uma maior quantidade de cartas lidas por jogo.

Foram escolhidas turmas de terceiro ano baseado na proposta do PCN+ , que sugeriram trabalhar os conceitos de FMC nessa série. Sendo destinado um bimestre do ano letivo para explanação desses conceitos e aplicação do jogo didático. Foram aplicados os jogos em quatro turmas aleatórias e nomeadas de A,B,C e D, para análise dos dados. Inicialmente foi aplicado em três turmas, em cada uma foi utilizada uma metodologia diferenciada para que pudesse observar a relevância de cada aplicação. Na quarta turma não houve aplicação no primeiro momento para mensurar a diferença nos resultados de aprendizagem. Porém, como o jogo alcançou uma fama na escola a turma pressionou os professores para que pudessem conhecer o jogo e o que reforçou a ideia de utilizar o jogo no bimestre seguinte, assim a turma C teve uma avaliação diferenciada nesse trabalho.

4.2 Métodos de Aplicação Por Turma

Na turma A foi aplicado o jogo concomitantemente ao conteúdo, cada aula compreendia um assunto que depois era aplicado o jogo logo após a explanação do contexto, a explanação foi feita por meio de aulas em slides e pequenos trechos de vídeos disponíveis no youtube.

Na turma B o jogo entrou como introdução aos conceitos que foram abordados em aula

posterior. Foi feita uma abordagem preliminar sobre a Física Moderna e suas implicações e seu desenvolvimento, uma aula introdutória, após iniciou a utilização do jogo que foi feito em 2 aulas de 45 min cada, totalizando 1,5 h de jogo.[20]

Na turma C foi aplicado no bimestre seguinte das outras, utilizou a mesma metodologia da turma A pelo fato de ser o melhor resultado em aprendizagem. Essa turma foi utilizada para avaliar o quanto as metodologias e aplicações do jogo melhoraram a aprendizagem dos tópicos. Foi feito o mesmo teste em dois períodos diferentes, um no final do primeiro bimestre, antes da utilização do jogo e o outro no fim do segundo bimestre, após a aplicação da metodologia.

Na turma D foi aplicado como metodologia de aprendizagem. Iniciava dizendo quais tópicos seria aquela aula, durante o jogo os alunos pesquisavam as dicas e havia intervenção do professor em cada carta, as vezes a dica compreendia uma explicação no quadro, que complementava a dica, o contexto da carta era trabalhado durante o jogo, algumas vezes antes do jogo foi disponibilizado pequenos trechos de vídeos disponíveis no youtube.

4.3 Resultados Por Turma

Turma A

No Conselho de classe do bimestre da aplicação do projeto a turma foi avaliada como "ótima" participação, comportamento e disciplina. O que coincidiu com o melhor índice de aprendizagem, mostrando que o interesse e a dedicação da turma trás bons resultados as metodologias.

Na avaliação escrita a média dos alunos foi 3,19 (de 0 a 5), a maior nota de todas as turmas, cerca 63,3% dos alunos alcançaram notas superiores a 3,0, comprovando que o jogo teve uma relevância na aprendizagem dos indivíduos participantes. .

Sobre o questionário desenvolvido pelos pesquisadores, os alunos avaliaram as cartas pelo nível de dificuldade conforme o quadro 4.1.

Analisando percebemos que em geral a turma avaliou a dificuldade do jogo como mediana, exceto o Nobel que foi avaliado como muito difícil. Foi a turma que deu mais "muito difícil" a carta "Nobel" 43,34% da turma.

Na escolha da forma de como jogar se o professor sendo o mediador ou em pequenos grupos a sala se dividiu ao meio 50% votou na mediação do professor. A respeito da pergunta sobre qual é a preferência do aluno entre as cartas disponíveis 53,3% dos alunos preferiram a carta "coisa".

A avaliação dos alunos sobre o caráter do jogo foi positiva cerca 73,4% como educativo, 63,4% como avaliativo e 36,7% como lúdico. A última pergunta era se os alunos recomendariam o jogo para aplicação em turmas futuras e por qual motivo, 46,7% recomendou pelo fato de ser uma metodologia de aprendizagem e 56,7% por dinamizar a aula, um total de 86,7% da turma recomendou a utilização do jogo. 13,3% disse que não recomendaria

NÍVEL DE DIFICULDADE		NÍVEL DE DIFICULDADE		NÍVEL DE DIFICULDADE		NÍVEL DE DIFICULDADE	
TURMA A		TURMA B		TURMA C		TURMA D	
coisa		coisa		coisa		coisa	
fácil	26,70%	fácil	30,40%	fácil	26,30%	fácil	54,20%
médio	46,70%	médio	26,10%	médio	26,30%	médio	37,50%
difícil	23,30%	difícil	34,80%	difícil	47,40%	difícil	4,20%
muito difícil	3,30%	muito difícil	8,70%	muito difícil	0%	muito difícil	4,20%
pessoa		pessoa		pessoa		pessoa	
fácil	13,30%	fácil	8,70%	fácil	0%	fácil	12,50%
médio	46,70%	médio	43,50%	médio	78,90%	médio	62,50%
difícil	30%	difícil	34,80%	difícil	21,10%	difícil	25%
muito difícil	10%	muito difícil	13%	muito difícil	0%	muito difícil	0%
teoria		teoria		teoria		teoria	
fácil	16,70%	fácil	4,35%	fácil	5,20%	fácil	0%
médio	36,60%	médio	52,20%	médio	47,40%	médio	50%
difícil	30%	difícil	39%	difícil	31,60%	difícil	37,50%
muito difícil	16,70%	muito difícil	4,35%	muito difícil	15,80%	muito difícil	12,50%
Nobel		Nobel		Nobel		Nobel	
fácil	13,35%	fácil	4,30%	fácil	15,70%	fácil	8,30%
médio	20%	médio	30,40%	médio	47,40%	médio	25%
difícil	23,35%	difícil	43,50%	difícil	21,10%	difícil	29,20%
muito difícil	43,30%	muito difícil	21,80%	muito difícil	15,80%	muito difícil	37,50%

Figura 4.1: Dificuldade por carta.

por não afetar a aprendizagem.

Sobre o questionário do artigo

Atenção

Aproximadamente 23% dos alunos avaliaram que o jogo chamou muito a atenção deles logo no início e 14,3% respondeu com mais ou menos. O designer da interface do jogo foi avaliado como muito atraente por 60,7% dos alunos, e 14,3% respondeu com mais ou menos.

Relevância

Sobre a clareza dos dados que o jogo trouxe e a como relacionaram os conceitos abordados com conhecimentos prévios, e a relevância dos temas ao interesse dos alunos. Apenas 29,9% dos alunos responderam positivamente, E 31,3% deram um avaliação mediana (3) no questionário.

Confiança

Sobre a facilidade que os alunos tiveram em participar das atividades, o nível de dificuldade durante o jogo e a interpretação dos dados trabalhos no jogo. 52,9% dos alunos demonstraram uma boa confiança no jogo, avaliando o jogo com de fácil interpretação dos dados, com conceitos que manteve a atenção dos alunos e a facilidade em desenvolver as atividades do jogo. E 19,3% avaliou como mediana os quesitos.

Satisfação

Compreende o sentimento de satisfação em completar o jogo e alcançar os objetivos propostos. 43,8% dos alunos demonstraram satisfação ao fim do jogo e 22,4% demonstraram uma média satisfação em completar os objetivos.

Imersão

Compreende questões de imersão dentro do contexto do jogo e o esforço e estimulação em participar e aprender. No primeiro caso temos 57,1% dos alunos falaram não ter percebido o tempo passar durante o jogo, 14,3% deu uma avaliação mediana a percepção de passagem do tempo. Já na segunda parte sobre o estimulo a participação e aprendizagem 51,8% demonstraram um ótimo estimulo e esforço e cerca de 19,7% demonstrou um interesse mediano.

Desafio

Sobre o nível de complexidade do jogo no sentido de desafiar e manter a atenção do aluno. 37,5% responderam que o jogo é muito desafiador e cerca de 28,6% demonstrou um nível mediado. A afirmação "eu gostei do jogo e não me senti ansioso ou entediado" 57,1% responderam com notas em 5 e 4, o que reforçou a ideia que eles gostaram do jogo.

Habilidade/ competência

Uma auto avaliação sobre o quanto o aluno se sentiu competente em participar e como ele julgou seu progresso durante as partidas, e o tempo que demoraram para alcançar os objetivos propostos. 20,5 % se sentiram competentes e bem sucedidos durante o jogo. E 29,5% se sentiram medianos. Sendo que 50% deram notas baixas para a auto avaliação de como se sentiram mediante ao jogo. O que surpreendeu, pois foi a turma que teve a melhor nota nas avalições feitas pelos pesquisadores, ou seja, eles não se avaliaram bem, porém foram muito bem nas avalições conceituais.

Interação social

Como os alunos interagiram com a turma e como o jogo comporta essa interação.45,8% Deram notas altas a capacidade de interagir e cerca de 34,5% acredita em uma interação mediana.

Divertimento

As avalições foram cerca de 67,9% positivas, chegando a 85,7% responderam que não acharam o jogo meio parado. Os alunos demonstraram um grande nível de diversão durante o jogo e interesse por novas oportunidades de participarem de atividades lúdicas em sala.

A maioria dos alunos 82,2% dos alunos não torceram para o fim do jogo. O que demonstrou que o jogo manteve a atenção durante todo o período.

Conhecimento

Sobre os conhecimentos adquiridos após o jogo a turma avaliou como 50% avaliou como ótimo conhecimento no pós jogo sobre os temas abordados e 26,8% avaliou com um conhecimento médio após o jogo.

Turma B

No conselho de classe do bimestre da aplicação do projeto a turma foi avaliada como "ruim" participação, comportamento e disciplina. Durante as aulas tradicionais eles não demonstraram tanto interesse, mas na utilização do jogo eles se animaram, participaram

ativamente e o resultado final foi satisfatório. O que demonstrou que a utilização de práticas diferentes em turmas com baixo rendimento, melhoram a participação nas aulas, gerando uma melhora no resultado final da aprendizagem.

Na avaliação escrita a média dos alunos foi de 2,85 pontos (de 0 a 5), cerca de 45,8% obtiveram notas superiores a 3,0 pontos, o que é considerado excelente, comparado as notas nas outras disciplinas observadas durante o conselho de classe, o que demonstrou que o jogo chamou a atençao e desenvolveu a aprendizagem em turmas consideradas de ruim rendimento.

No questionário produzido pelos pesquisadores onde os alunos avaliaram o grau de dificuldade das cartas podemos observar no quadro 4.1. Ocorreu uma variação efetiva entre o grau de dificuldade que eles encontraram no jogo, os maiores números de escolhas foram médios e difícil, muito difícil teve pouquíssima avaliação e fácil uma quantidade baixa o que reforça a ideia do jogo de trazer desafios e gerar um grau de complexidade. O que chamou a atenção foi a avaliação ramificada de cada aluno, não ocorreu um padrão de escolha, apenas um aluno marcou apenas uma avaliação para todas as cartas do jogo. Então o grau de dificuldade dependeu inteiramente de cada aluno.

Na escolha da forma de jogar 60,9% escolheu o professor mediando o jogo. A carta que eles preferiram jogar foi "coisa", porém "pessoa" e "teoria" juntas deram mais da metade das escolhas, o que demonstrou que as preferências nas cartas não foram unânimes pelo contrário representou diferenças significativas.

O caráter do jogo teve uma boa avaliação também: 78,3% como educativo, 73,4% como avaliativo e 52,2% como lúdico. A última pergunta era se os alunos recomendariam o jogo para aplicação em turmas futuras e por qual motivo, 56,5% recomendou pelo fato de ser uma metodologia de aprendizagem e 56,5% pelo por dinamizar a aula, um total de 91,3% da turma recomendou a utilização do jogo. E 8,7% não recomendou por defender que o jogo não afeta a aprendizagem.

No questionário do artigo

Atenção

Das médias, 41,6% foram de avaliação de bom e ótimo, já 37,5% avaliaram como mediana a atenção que o jogo despertou neles, mais da metade (54,1%), avaliaram a interface como atraente. Nenhum aluno avaliou a interface com ruim.

Relevância

Sobre a clareza dos dados que o jogo trouxe e a como relacionaram os conceitos abordados com conhecimentos prévios, e a relevância dos temas ao interesse dos alunos. Apenas 30,2% dos alunos responderam positivamente, E 29,2% deram uma avaliação mediana (3) no questionário.

Confiança

Sobre a facilidade que os alunos tiveram em participar das atividades, o nível de dificuldade durante o jogo e a interpretação dos dados trabalhos no jogo. 65% dos alunos demonstraram uma boa confiança no jogo, avaliando o jogo com de fácil interpretação dos

dados, com conceitos que manteve a atenção dos alunos e a facilidade em desenvolver as atividades do jogo. E 19,2% avaliou como mediana os quesitos.

Satisfação

Compreende o sentimento de satisfação em completar o jogo e alcançar os objetivos propostos. 42,7% dos alunos demonstraram satisfação ao fim do jogo e 21,9% demonstraram uma média satisfação em completar os objetivos.

Imersão

Compreende questões de imersão dentro do contexto do jogo e o esforço e estimulação em participar e aprender. No primeiro caso temos 39,6% dos alunos definiram uma grande imersão no jogo, como a perda de percepção do tempo que passava durante o jogo, e 25% demonstrou uma imersão mediana no contexto do jogo. Já na segunda parte sobre o estimulo a participação e aprendizagem 54,2% demonstraram um ótimo estimulo e esforço e cerca de 26% demonstrou um interesse mediano.

Desafio

Sobre o nível de complexidade do jogo no sentido de desafiar e manter a atenção do aluno. 38,5% responderam que o jogo é muito desafiador e cerca de 25% demonstrou um nível mediado.

Habilidade/ competência

Uma auto avaliação sobre o quanto o aluno se sentiu competente em participar e como ele julgou seu progresso durante as partidas, e o tempo que demoraram para alcançar os objetivos propostos. 27,2% se sentiram competentes e bem-sucedidos durante o jogo. E 24% se sentiram medianos. Sendo que 48,8% deram notas baixas para a auto avaliação de como se sentiram mediante ao jogo.

Interação social

Como os alunos interagiram com a turma e como o jogo comporta essa interação. 45,8% deram notas altas a capacidade de interagir e cerca de 22,2% acredita em uma interação mediana.

Divertimento

A maioria dos alunos achou que o jogo acabou na hora certa, o que tempo de jogo foi adequado, não demonstrando desapontamento com a interrupção de término, e mais da metade da turma disseram que com certeza jogaria outra vez o jogo, o que demonstrou que eles gostaram de jogar. Cerca de 82% dos alunos avaliaram o tempo de jogo como excelente, pois não demonstraram interesse que ele terminasse logo.

Conhecimento

Sobre os conhecimentos adquiridos após o jogo a turma avaliou como 27,1% ótimo conhecimento no pós-jogo sobre os temas abordados e 37,5% avaliou com um conhecimento médio após o jogo.

Turma C

No conselho de classe do bimestre de aplicação do projeto a turma foi avaliada como "boa" participação, comportamento e disciplina. Os alunos desta turma têm muitas dificuldades de aprendizagem, porém demonstram um interesse muito grande em aprender. A participação no jogo foi unânime, até os alunos que apresentavam laudos de deficiência de aprendizagem se divertiram durante o jogo.

A avaliação escrita foi feita duas vezes, na primeira os conceitos não foram abordados e foram propostos que os alunos realizassem a mesma avalição das outras turmas. O resultado foi que de uma nota de 0 a 5 a maior nota foi 1.7, e a média das notas foi 1.27 pontos. No bimestre seguinte foi feita a aplicação das metodologias e reaplicou a mesma avaliação, o resultado foi um aumento de 128% na nota média da turma, que passou a ser 2,90. Cerca de 59% dos alunos alcançaram notas superiores a 3,0. Demonstrando que a utilização do jogo é significativa para melhorar a aprendizagem dos tópicos de FMC no ensino médio, e que atrai a atenção dos alunos, melhorando a aprendizagem.

Sobre o questionário desenvolvido pelos pesquisadores, os alunos avaliaram as cartas pelo nível de dificuldade conforme o quadro 4.1

Percebemos que em geral a turma avaliou como média dificuldade, exceto "coisa" que foi considerada díficil, e "pessoa" não houve nenhuma avaliação para fácil e muito díficil.

Na escolha da maneira de jogar 68,4% preferiu ter o professor como mediador. E os alunos demonstraram mesmo interesse pela carta sobre "pessoa" e "coisa", e a carta "teoria" também teve uma porcentagem alta, o que demonstra que em geral não ocorreu preferências.

A avaliação dos alunos sobre o caráter do jogo 52,30% avaliou como educativo, 63,20% como avaliativo e 42,10% como lúdico. A úlima pergunta era se os alunos recomendavam a utilização do jogo em outras turmas e teve como resposta 52,60% sim porque é uma metodologia de aprendizagem e 63,20% sim porque dinamiza as aulas, totalizando 94,8% recomendou, apenas um aluno respondeu que não recomendaria porque a utilização no quadro tinha um melhor rendimento.

Não foi aplicado o questionário do artigo a essa turma.

Turma D

No conselho de classe do bimestre da aplicação do projeto a turma foi avaliada como "regular" na participação, comportamento e disciplina. Vale ressaltar que essa turma é a que tem o maior número de repentes, ou seja, alunos fora da idade correta, além de a maior parte ser das periferias e da zona rural, o que dificulta a aprendizagem, pois os alunos já chegam cansados na escola pelo trajeto que percorrem até chegar na escola. O que nos surpreendeu foi o fato dessa turma ser a de melhor feedback, todos se interessaram, perguntavam do jogo, queriam jogar todas as aulas, se empolgavam, se divertiam, aula superdescontraída, melhor competição, eles competiam quem acertava mais, qual era o melhor grupo, buscavam com entusiasmo as respostas. Demonstrando que o jogo conseguiu gerar um ambiente descontraído que ensinou brincando os conceitos, aliviando

a pressão das aulas convencionais e que mesmo os alunos mais velhos se envolveram na metodologia, alcançando o objetivo da aprendizagem.

Na avaliação escrita a média foi de 2,73 (0 a 5), sendo que 53,8% conseguiram uma nota superior a 3,0 pontos, demonstrando que o resultado foi positivo e alcançou a aprendizagem, resgatando até os alunos repetentes e de baixa auto-estima a aprender.

Sobre o questionário desenvolvido por nós, os alunos avaliaram as cartas pelo nível de dificuldade conforme pode ser observado no quadro 4.1.

Analisaram o jogo como mediano, mas houve uma discrepância muito grande entre cada carta, ”coisa” e ”nobel” tiveram avaliações muito distintas. Foi a turma que teve menor número de avaliações “muito difícil” para as cartas. Nenhum aluno achou teoria “fácil”. Nenhum aluno achou pessoa “muito difícil”.

Sobre o questionário do artigo.

Na escolha do modo de como jogar o professor como mediador venceu com 83,3% foi a maior porcentagem de escolha de todas as turmas. Os alunos demonstraram uma preferência maior na carta sobre ”coisa”.

Na avaliação do caráter do jogo tivemos a melhor avaliação: 83,4% como educativo, 87,5% avaliativo e 45,8% como lúdico. A última pergunta sobre recomendar a utilização do jogo em outra turma e porque deu 83,3% sim, porque é uma metodologia de aprendizagem e 79,2% sim porque dinamiza a aula, resultando em 100% de recomendação para utilização em outras turmas.

Sobre o questionário do artigo

Motivação

Aproximadamente 63% dos alunos avaliaram que o jogo chamou muito a atenção deles logo no início. O designer da interface do jogo foi avaliado como muito atraente por 79,1% dos alunos, apenas 2 alunos avaliaram a interface como pouco ou nada atraente.

No total 37,5% dos alunos associaram o jogo à conhecimentos que já sabiam, e 45% tiveram uma assimilação mediana entre conhecimentos adquiridos e o jogo. O restante teve pouca ou nenhuma associação dos conhecimentos existentes com o jogo. Do total dos alunos 83,4 %, declaram ter gostado tanto do jogo que gostariam de aprender mais sobre o assunto abordado, nenhum qualificou que não queria aprender mais sobre o tema. Ainda nessa turma, 62,5% declarou um que o jogo foi relevante aos interesses deles. 25% respondeu que o conteúdo do jogo continha conceitos de médio interesse deles e apenas 12,5% demonstrou não ter interesse nenhum nos conceitos abordados no jogo. Nenhum aluno respondeu que o jogo tinha poucos conceitos de interesse deles.

Sobre a pergunta que o no jogo continha conceitos que se relacionava com coisas vistas, pensadas ou feitas pelos alunos eles responderam que: 58,3% muito, 37,5% médio, 1 aluno respondeu que não tinha ou tinha pouco conceitos.

Confiança

A maior porcentagem das perguntas demonstrara uma confiança mediana no jogo, o número de baixa confiança foi muito pequeno. Apenas a pergunta sobre o conteúdo do

jogo ser de difícil abstração e ser difícil manter a atenção demonstrou 62,5% avaliaram que não, que o jogo era de fácil abstração e assim mantiveram a atenção nele. Nenhum aluno considerou essa afirmativa como cem por cento verdadeira.

Satisfação

A satisfação teve uma aprovação de mais de 66,7% dos alunos no maior nível. Cerca de 21,1% demonstraram uma satisfação mediana no jogo.

Imersão

As respostas sobre a opinião de imersão demonstraram que 79,2% dos alunos tiveram uma imersão entre ótima e boa no jogo. Chegamos a alcançar votos nulos em 3 de 4 perguntas para pouca ou nenhuma imersão. E 14,4% demonstraram uma imersão mediana.

Desafio

Dessa turma, 58,32% avaliaram o jogo como sendo desafiador e 34,4% como meio desafiador. O que demonstrou que o jogo compreende seu objetivo.

Habilidade/competência

No quesito habilidade e competência, 40,62% dos alunos avaliaram positivamente a qualidade da sua participação no jogo respondendo notas em 4 e 5 para demonstrarem o quanto acreditam terem ido bem durante o desenrolar do jogo. O que chama atenção foi a segunda pergunta desse sistema: "eu alcancei rapidamente os objetivos do jogo", 41,6% dos alunos pontuaram 2, demonstrando não terem a percepção de alcançarem o objetivo, porém na observação dos pesquisadores a turma alcançou o objetivo do jogo rapidamente sim. Isso demonstrou na visão dos pesquisadores a baixa-autoestima da turma, pela capacidade que eles demonstraram durante a realização da experiência e as posteriores auto avaliação que fizeram no seu desempenho no jogo.

Interação social

Nessa questão da interação os alunos avaliaram que o jogo comporta a interação e que essa interação é importante na aprendizagem, porém avaliaram que tiveram uma colaboração mediana com os colegas. O que demonstrou mais uma vez a baixo-autoestima da turma concernente a auto avaliações.

Divertimento

As avalições foram cerca de 78,2% positivas, chegando a 95,8% dos alunos jogariam o jogo outra vez (apenas um aluno da turma respondeu avaliou como 2 o quesito de jogar outra vez). Os alunos demonstraram um grande nível de diversão durante o jogo e interesse por novas oportunidades de participarem de atividades lúdicas em sala.

Cerca de 50% ficou bem desapontado com a interrupção pelo fim do jogo e 25% ficou parcialmente desapontado com o fim do jogo. O que demonstrou que o tempo de jogo nessa sala foi pouco devido ao grande interesse e o nível de diversão que eles alcançaram.

Conhecimento

56,3% avaliaram que o pós jogo trouxe melhoras em seus conhecimentos em uma escala de 4-5, ou seja, melhorou muito os conhecimentos e 35,4% respondeu com 3, o que mostra

que acreditam que o jogo aumentou mais ou menos seus conhecimentos sobre o tema abordado.

4.4 Comparando os Resultados

Sobre o nível de dificuldade encontrado nas cartas, ''coisa" a turma D a maior parte avaliou como fácil, a turma A avaliou como de média dificuldade, as turmas B e C a maior parte avaliou como difícil.

A carta de ''pessoa" foi avaliada por todas as turmas com média dificuldade. Na turma C não houve avaliações de fácil, como não houve avaliações de muito difícil nas turmas C e D. A carta de ''teoria" foi avaliada por todas as turmas como média dificuldade. Na turma D não houve nenhuma avaliação como fácil. As cartas de ''Nobel" a turma C avaliou como média dificuldade, a turma B como difícil, já as turmas A e D avaliaram como muito difícil. Conforme quadro 4.2

Relacionando as turmas e seus resultados				
nível de dificuldade encontrada em cada carta percentualmente				
	A	B	C	D
coisa				
fácil	26,70%	30,40%	26,30%	54,20%
médio	46,70%	26,10%	26,30%	37,50%
difícil	23,30%	34,80%	47,40%	4,20%
muito difícil	3,30%	8,70%	0%	4,20%
pessoa				
fácil	13,30%	8,70%	0%	12,50%
médio	46,70%	43,50%	78,90%	62,50%
difícil	30%	34,80%	21,10%	25%
muito difícil	10%	13%	0%	0%
teoria				
fácil	16,70%	4,35%	5,20%	0%
médio	36,60%	52,20%	47,40%	50%
difícil	30%	39%	31,60%	37,50%
muito difícil	16,70%	4,35%	15,80%	12,50%
Nobel				
fácil	13,35%	4,30%	15,70%	8,30%
médio	20%	30,40%	47,40%	25%
difícil	23,35%	43,50%	21,10%	29,20%
muito difícil	43,30%	21,80%	15,80%	37,50%

Figura 4.2: Comparação dos resultados - Dificuldade por carta.

As turmas escolheram como a melhor maneira de jogar o professor sendo o mediador, exceto a turma A que 50% preferiu o professor mediando e a outra metade jogar em pequenos grupos. Conforme 4.3

A carta considerada mais atraente foi a de ''coisa", mas na turma C a carta ''coisa" empatou em porcentagem com ''pessoa", na turma B as cartas ''pessoa" e ''teoria '' também empataram como segundo lugar. Todas as turmas avaliaram que o jogo tem um grande caráter de aprendizagem e avaliativo, o quesito lúdico foi o que recebeu menor avalição e mesmo assim pode ser considerado uma boa avaliação. Conforme 4.3

Relacionando as turmas e seus resultados				
	A	B	C	D
Modo de jogar				
pequenos grupos	50%	39,10%	31,60%	16,70%
professor médiador	50%	60,90%	68,40%	83,30%
Carta mais atraente				
pessoa	36,70%	26,10%	36,80%	29,20%
teoria	10%	26,10%	26,40%	16,70%
coisa	53,30%	47,80%	36,80%	54,10%
Características do jogo	os alunos responderam mais de uma altern			
Educativo	73,40%	78,30%	52,30%	83,40%
Avaliativo	63,40%	73,40%	63,20%	87,50%
Lúdico	36,70%	52,20%	42,10%	45,80%
Você recomendaria a utilização em turmas futuras, justificativa				
sim	**86,70%**	**91,30%**	**94,80%**	**100%**
metodologia de aprendizagem	46,70%	56,50%	52,60%	83,30%
dinamiza a aula	56,70%	56,50%	63,20%	79,20%
não	**13,30%**	**8,70%**	**5,20%**	**0%**
não afeta a aprendizagem	10%	8,70%	0%	0%
o quadro é melhor opção	6,60%	0%	5,20%	0%

Figura 4.3: Comparação dos resultados - Questionário dos pesquisadores.

A pergunta sobre os alunos recomendar a utilização do jogo em outras turmas teve um resultado muito positivo a turma D todos os alunos recomendam a utilização, a turma A foi a que menos recomendou e deu uma porcentagem de 86.7%, o que demonstra que a maioria recomenda a utilização em outras turmas nos anos posteriores, por avaliarem como metodologia de aprendizagem e por dinamizar as aulas. Conforme 4.3

O quadro 4.4 mostra as notas das avaliações escritas:

Notas das Avalições escritas - valor 5,0 pts				
A	B	C Antes	C depois	D
3,19	2,85	1,27	2,9	2,73

Figura 4.4: Notas das avaliações.

Podemos observar que todas as turmas tiveram boas avaliações e bom rendimento, a turma de melhor rendimento foi a A, que no conselho de classe também teve a melhor avaliação de participação e comportamento, as turmas B e D tiveram rendimentos bons e bem parecidos, porém a melhor participação foi da turma D, a turma C deu um aumento significativo na nota depois da aplicação do jogo, e superou as espectativas, sendo superior as turmas B e D.

O quadro 4.5 a seguir demonstra detalhadamente as avaliações do questionário do Savi et all.

Podemos observar que a turma D avaliou mais positivamente a utilização dos jogos. O designer do jogo foi muito bem avaliado nas três turmas.

No quesito confiança, as turmas demonstraram uma boa confiança, porém a turma D foi que demonstrou menor confiança no jogo, acreditamos que essa avaliação baixa

Relacionando as turmas e seus resultados			
	A	B	D
Atenção			
Boa	23%	41,60%	63%
média	14,30%	37,50%	20,80%
baixa	62,70%	20,90%	16,20%
Designer			
Boa	60,30%	54,10%	79,10%
média	14,30%	41,70%	12,50%
baixa	25,40%	4,20%	8,40%
Relevância			
Boa	29,90%	30,20%	37,70%
média	33,30%	29,20%	45%
baixa	36,80%	40,60%	17,30%
Confiança			
Boa	52,90%	65%	43,40%
média	19,30%	19,20%	31%
baixa	27,80%	15,80%	25,60%
Satisfação			
Boa	43,80%	42,70%	66,70%
média	22,40%	21,90%	21,10%
baixa	33,80%	35,40%	12,20%
Imersão			
Boa	57,10%	39,60%	70,90%
média	14,30%	25%	20,80%
baixa	28,60%	35,40%	8,30%
Esforço/participação			
Boa	51,80%	54,20%	47,90%
média	19,70%	26%	41,70%
baixa	28,50%	19,80%	10,40%
Desafio			
Boa	37,50%	38,50%	58,32%
média	28,60%	25%	34,40%
baixa	33,90%	36,50%	7,28%
Habilidade/competência			
Boa	20,50%	27,20%	40,60%
média	29,50%	24%	35,40%
baixa	50%	48,80%	24%
Interação Social			
Boa	45,80%	45,80%	68%
média	34,50%	22,20%	22,20%
baixa	19,70%	32%	9,80%
Divertimento			
Boa	67,40%	59,40%	78,20%
média	9%	16,70%	12,50%
baixa	23,60%	23,90%	9,30%
Conhecimento			
Boa	50%	27,10%	56,30%
média	26,80%	37,50%	35,40%
baixa	23,20%	35,40%	8,30%

Figura 4.5: Resultado por tópicos abrangidos - Questionário de Savi et all.

se justifica pela baixa auto-estima dos alunos concernentes a aprendizagem, da mesma maneira no quesito esforço e participação eles se auto avaliaram com notas baixas, sendo que foi a turma de maior esforço e participação.

4.5 Os Professores

O questionário que foi utilizado com os professores está disponível em anexo, foi aplicado para três professores que lecionam física na escola Ricardo Cantanhede, um tem formação em física e os outros dois são formados em matemática, lecionando física apenas para complementação de carga horária, além de os outros dois professores com formação na área, porém lecionam física em outras escolas.

Para os três professores da escola foi disponibilizado um dia para explanação do jogo, neste dia para que os professores pudessem entender e analisar o jogo, foi feita uma explanação geral dos conceitos e regras do jogo e após iniciou uma partida com nossa mediação, assim durante a jogada eles iam tirando as dúvidas e interagindo entre si, no fim foi disponibilizado o questionário.

Os outros dois professores acompanharam a criação do jogo, por eles já conhecerem as regras e o contexto de aplicação, antes do jogo ser disponibilizado aos alunos ele avaliaram o jogo, sugerindo alterações, eles jogaram independentes o jogo, nos solicitando pouquíssimas vezes, no fim responderam o questionário.

Todos os participantes avaliaram o jogo como excelente conforme mostra o quadro 4.6:

Perguntas	Respostas		
	Prof 1	Prof 2	Prof 3, 4 e 5
1- Designer	4	5	5
2- Conteúdos Abrangidos	5	5	5
3- A qualildade das cartas	5	5	5
4- Didática	5	5	5
5- Forma de Aplicação	4	4	5
6- Aprendizagem com o jogo	5	5	5
7- Atenção que chama do aluno	5	5	5
8- Se utilizaria o jogo nas aulas	4	5	5

Figura 4.6: Resultado dos professores

Apenas um professor atribuiu nota 4 ao designer do jogo, e dois professores analisaram a forma de aplicação do jogo como boa. Sobre utilizar o jogo em suas aulas as notas foram excelentes, apenas um professor avaliou como 4.

Dois professores sugeriram a alteração da palavra "coisa" na carta por outra palavra que contemplasse as cartas, porém não deram sugestões para essa mudança. Analisando também não encontramos uma palavra que abrangesse todos os temas que as cartas mostram. A palavra "coisa" foi utilizada baseada no jogo de tabuleiro "perfil" que também trás essa mesma palavra para cartas.

Outra avaliação do jogo foi feito com a turma do mestrado 2017/01, o jogo foi apresentado como metodologia de ensino e jogado pela turma, depois foi distribuído os ques-

tionários para que pudessem avaliar o jogo.

Os mestrandos avaliaram o jogo como excelente conforme mostra o quadro 4.7:

Perguntas	Respostas				
	Prof 1	Prof 2	Prof 3, 4 e 5	Prof 6	Prof 7
1- Designer	5	5	5	5	5
2- Conteúdos Abrangidos	5	3	5	5	5
3- A qualildade das cartas	4	3	5	5	5
4- Didática	5	5	5	3	5
5- Forma de Aplicação	5	5	5	3	4
6- Aprendizagem com o jogo	5	4	5	4	4
7- Atenção que chama do aluno	5	5	5	4	5
8- Se utilizaria o jogo nas aulas	5	5	5	4	4

Figura 4.7: Resultado dos professores

Três mestrandos avaliaram o jogo atribuindo notas máximas a todo o questionário.

Apenas dois participantes sugeriram alterações no jogo, um sugeriu uma redução da quantidade de dicas, justificando o pouco tempo em sala de aula. O outro sugeriu que fosse propostos mais bônus no decorrer do jogo, como fichas de dinheiro aos participantes e/ou fichas que representasse bens para os melhores no desempenho.

Todas as contribuições foram validas e pode analisar que em geral o jogo atraiu a atenção dos professores que serão os multiplicadores da ideia, alcançando assim um dos objetivos que é a disseminação do jogo.

4.6 Além da Escola

Nós produzimos encontros com diversos profissionais antes de aplicar o jogo aos alunos, utilizando estudantes universitários de física, administração, psicologia e fisioterapia junto com profisionais formados em psicologia, análise de sistema, professores de outras áreas, fisioterapeutas, e também com pessoas sem nenhuma formação. A idade dos convidados variou entre 17 - 40 anos. O intuito era observar o grau de interesse que o jogo pode gerar em adultos que tiveram diferentes contantos com a física. O resultado foi positivo, a maior parte cerca de 90% das pessoas convidadas a participar do jogo foram até o fim com entusiasmo, todos avaliaram o jogo como excelente, surgiu uma competividade entre eles, alguns se interessaram até em adquirir o jogo, cerca de 80% pediram para jogar outras

vezes.

Tivemos três encontros mediados e outros dois encontros que os participantes jogaram sozinhos. Todos os participantes preferiram a nossa mediação pois justificaram que assim poderiam tirar dúvidas além do contexto do jogo, mas avaliaram que é possível mesmo sem a interferência de um profissional da área jogar e interpretar o jogo. O grau de satisfação foi excelente.

Desses encontros uma psicológa se interessou pelo jogo, para utilizar em seu consultório, ela já trabalha com jogos em seus atendimentos e viu no ”enigma da física” potencialidade para ser utilizado com pacientes de altas habilidades e que possuem interesse pela ciência. Foi feito uma doação de um dos jogos ao consultório ”Espaço Villar"na cidade de Ariquemes-RO, pois não temos pretensão financeira no jogo.

Isso mostra que nosso produto já saiu dos muros da escola e que ele alcança o objetivo de ensinar tópicos de FMC de maneira simplista, alcançando uma enorme gama de pessoas de todas as áreas do saber o que reforça o objetivo do ensino de física proposto pelos PCN+, formar o cidadão para a vida, que contemple uma aprendizagem que alcance também os alunos que não vão seguir uma carreira científica. [45]

5

Conclusão e Perspectivas Futuras

O ensino no Brasil passa por muitas dificuldades, entre falta de valorização profissional à falta de estruturas físicas. O resultado pode ser observado nas avaliações nacionais e internacionais, onde a maior parte dos alunos não alcança o mínimo das competências exigidas. No ensino de física a situação se agrava pois são poucos os professores formados na área que atendem esse público, e a FMC é um dos tópicos que são mais afetados por essas dificuldades por abrangerem temas considerados de difícil assimilação, pois boa parte dos professores que lecionam demonstra dificuldade em encontrar metodologias que abranjam esse tema de maneira compatível ao ensino básico.

O uso de jogos no ensino se mostrou satisfatório na literatura, demonstrando que até tópicos complexos podem ser abordados de maneira dinâmica e alcança os objetivos da aprendizagem quando elaborados de maneira a compreender tanto a ludicidade como a aprendizagem.

A proposta de construção de um jogo didático com tópicos de FMC de forma mnemônica culminaram no jogo "Enigma da física" que abrange muitos conteúdos desde a física semi-clássica até a física contemporânea, em uma linguagem acessível e com um caráter lúdico. O jogo foi desenvolvido de modo a contemplar a aprendizagem significativa e como prática da aprendizagem ativa, desenvolvendo técnicas que colocassem o aluno como principal ator no processo de aprendizagem. Assim o jogo veio com o objetivo de ensinar FMC de maneira compatível com o ensino básico e de forma lúdica, chamando a atenção dos alunos e melhorando a aprendizagem.

A avaliação da aplicação deste jogo se mostrou muito atraente tanto na visão dos professores, todas as disciplinas se interessaram por conhecer o jogo, como na dos alunos que demonstraram um grande interesse em participar dos jogos. Até profissionais de outras áreas se interessaram pelo jogo. O que reforça a importância do jogo no desenvolvimento cognitivo dos alunos.

Esses resultados positivos da aplicação do jogo demonstra que é possível ensinar FMC no ensino básico e que os alunos têm maturidade e conhecimento para interpretar e entender os tópicos desde que eles tenham uma linguagem acessível e contemplem a contextualização histórica e social do conhecimento.

Além de estar disponível na escola Ricardo Cantanhede, o jogo "enigma da física" já ultrapassou os muros escolares e está em um consultório de psicologia, o que reforça nossas perspectivas que o ensino de física seja tratado de maneira natural em qualquer contexto e que esse ensino vá além das limitações escolares, estando presente em diversos espaços.

Nossa perspectiva é que futuramente o jogo enigma da física esteja presente em diversos ambientes ultrapassando a sala de aula, que ele seja difundido para o máximo de pessoas possíveis, sendo aplicado amplamente para que as pessoas possam aprender conceitos físicos de forma descontraída, sem o formalismo matemático de difícil assimilação da FMC, e sim aprendendo com formas mnemônicas os conceitos.

Devemos trabalhar para que o estudo da física seja prazeroso ao aluno, deixando de ser formalizado apenas em equações e conceitos descontextualizados, o que gera aversão em grande parte dos alunos, para um ensino centrado no educando de forma que todo o aluno seja contemplado pelo ensino e se interesse pelos conceitos apresentados, preparando o aluno para a vida, o convívio social, gerando cidadãos críticos.

Referências Bibliográficas

[1] MOEHLECKE, S. O ensino médio e as novas diretrizes curriculares nacionais: entre recorrências e novas inquietações. **Revista Brasileira de Educação**, v. 17, n. 49, p. 39-60, jan./abr. 2012.

[2] MONTEIRO, M. A. A.; TEIXEIRA, O. P. B. O ensino de física nas séries iniciais do ensino fundamental: um estudo das influências das experiências docentes em sua prática em sala de aula. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 1, p. 7-25, 2016.

[3] TERRAZZAN, E. A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2° Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

[4] MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectiva. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, mar. 2000.

[5] PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É Possível Levar A Física Quântica Para O Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, abr. 1999.

[6] MOREIRA, M. A. O Ensino de STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) no Século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 14-23, 2018.

[7] OLIVEIRA, W. A. de. **Práticas Instrucionais de Aprendizagem Ativa em Física Para o Ensino Médio**, 2014. Dissertação (mestrado em ciências naturais)-Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

[8] DE OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

[9] PROCEE, H. Reflection In Education: A Kantian Epistemology. University of Twerte Department of Philosophy. **Educational Theory**, v. 56, n. 3, p. 237-253, 2006. Disponível em: http://www.readcube.com/articles. Acesso em 18 jun. 2016.

[10] INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS (Brasília). **Censo Escolar da educação básica de 2016**. Brasília: INEP, 2017.

[11] UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA. **Catálogo de Dados Universidade Federal de Rondônia**. 2014. Disponível em:https://www.unir.br/noticias_-arquivos/16107_catalogo_de_dados_unir_2014.pdf acesso em 12 out. 2018.

[12] BRUNS, B.; LUQUE, J. **Great Teachers: How to Raise Teacher Quality and Student Learning in Latin America and the Caribbean** . The World Bank, 2014. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20488 acesso em 13 mar. 2018.

[13] MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória. **REIEC, Buenos Aires**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2012.

[14] VALENTE, L.; et all. Física Nuclear: Caminhos para a Sala de Aula. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11.,**Anais**. Curitiba: Instituto de Física USP, 2008.

[15] POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

[16] MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

[17] BONWEL, C. C.; EISON, J. A. **Active Learning: Creating Excitement in the Classroon. The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington: ASHEERIC Higher Education Report**. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183, 1991. Disponível em: http://eric.ed.gov/?id=ED336049. Acesso em: 05 fev. 2018

[18] GARRIS, R.; AHLERS, R.; DRISKELL, J. E. Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model. **Simulation and Gaming**, v. 33, n. 4, p. 441-467, 2002.

[19] D'AGOSTIN, A. **Física Moderna e Contemporânea: Com a Palavra Professores do Ensino Médio**. 2008. Dissertação (mestrado em educação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

[20] BRASIL. MINISTÉRIDO DA EDUCAÇÃO. **PCN+ Ensino Médio: Ciências da Natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2002. p. 56-86. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf. Acesso em: 02 de fev. 2018.

[21] CINTRA, R. Aprendizagem Ativa. Disponível em: https://aprendizagemativa.org.br/. Acesso em: 01 fev. 2018.

[22] INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS (Brasília). **Censo Escolar de 2014: Professores no Brasil Perfil docente, políticas para o magistério e níveis de formação dos professores brasileiros**. Brasília: INEP, 2016.

[23] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Programme for International Students Assessment (PISA)2015 Results in Focus**. OECD, 2018. Disponível em: https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus.pdf. Acesso em 03 set. 2018.

[24] CHIQUETO, M. J. O currículo de física no ensino médio do Brasil: discussão retrospectiva. **Revista e curriculum**, v. 7, n. 1, abr. 2011.

[25] JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO. Por: Rivaldo Gomes. 2016. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/educacao/2016/12/1841737-escola-e-professor-tem-boa-avaliacao-entre-estudantes-e-pais-diz-datafolha.shtml. Acesso em: 20 mar 2018.

[26] STRAPASON, L. P. R. **O uso de Jogos Como Estratégia de Ensino e Aprendizagem da Matemática no** 1° **Ano do Ensino Médio**. 2011. Dissertação (mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e Matemática) - Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, RS.

[27] DICIONÁRIO ONLINE. Disponível em: https://dicionariodoaurelio.com/jogo. Acesso em: 27 Mar. 2018

[28] LUDOVICO, M. M. Física de Partículas Elementares e a Utilização de Jogos no Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS (ENPEC), 11., 2017, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0788-1.pdf. acesso em 20 mar. 2018.

[29] BRAGA, R. G.; MATOS, S. A. de. Kronus: Refletindo Sobre a Construção de um Jogo Com Viés Investigativo. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 701-719, 2013.

[30] FILGUEIRA, S. S.; SOARES, M. H. F. B. O Lúdico no Ensino de Física: Elaboração e Desenvolvimento de um Minicongresso com temas de Física Moderna no Ensino Médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 66-93, 2015.

[31] FERREIRA, M. C.; CARVALHO, L. M. O. de. A evolução dos jogos de Física, a avaliação formativa e a prática reflexiva do Professor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 57-61, 2004.

[32] ROSETTI JUNIOR, H.; OLIVEIRA, L. P.; SCHIMIGUEL, J. Ensino de matemática financeira com jogo interativo entre equipes: um estudo de caso. **Experiências em ensino de ciências**, v. 7, n. 3, dez. 2012.

[33] CUNHA, M. B. Jogos no Ensino de Química: Considerações Teóricas Para Sua Utilização em Sala de Aula. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 2, mai. 2012.

[34] MIRANDA, S. No fascínio do jogo, a alegria de aprender. **Linhas críticas**, v.8, n.14, jan./jun. 2002. Disponível em: http://periodicos.unb.br/. Acesso em: 02 maio 2016.

[35] CAMPOS, L. M. L.; BORTOLO, T. M.; FELÍCIO, A.K.C. A Produção de Jogos Didáticos Para o Ensino de Ciências e Biologia: Uma Proposta Para Favorecer a Aprendizagem. **Caderno dos núcleos de Ensino**, v. 3548, 2003. Disponível em: www.unesp.br/prograd/PDFNE2002/aproducaodejogos.pdf. Acesso em: 04 mai. 2018.

[36] BENEDETTI FILHO, E; et al. Utilização de Palavras Cruzadas Como Instrumento de Avaliação no Ensino de Química. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.8, n.2, 2013.

[37] FERREIRA, C. N.; LIMA, R.; ANDRADE, J. M. V. Análises práticas da didática tradicional e do método construtivista em uma turma de 5º ano do ensino fundamental no contexto do pibid/pedagogia. IN: ENCONTRO NACIONAL DAS LICENCIATURAS (ENALIC), 5., 2014, Natal. **Anais**. Natal: Universidade federal do Rio Grande do Norte, 2014. Disponível em: http://enalic2014.com.br Acesso em: 02 mai. 2016.

[38] PANOSSO, M. G.; SOUZA, S. R. de; HAYDU, V. B. Características atribuídas a jogos educativos: uma interpretação Analítico- Comportamental. **Revista Quadrimestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional**, v. 19, n. 2, p. 233-241, 2015.

[39] SWEETSER, P.; WYETH, P. GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games. **Computers in Entertainment (CIE)**, v. 3, n. 3, p. 3-3, 2005.

[40] MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de. Einstein, a Física dos Brinquedos e o Princípio Da Equivalência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3: p. 299-315, 2005.

[41] LEITE, T. L. H. **Ensino Significativo de Óptica Geométrica Utilizando Experimentos de Baixo Custo**. 2016. Dissertação (Mestrado profissional em ensino de física) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.

[42] FOUREZ, G. Crise No Ensino De Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2016.

[43] PARISOTO, M. F. **O Ensino De Conceitos Do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas E Física Moderna e Contemporânea Através de Situaçoes na Medicina**. 2011. Dissertação (mestrado em ensino de física) - Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

[44] SAVI, R.; et al. Proposta de um Modelo de Avaliação de Jogos Educacionais. **Renote**, v. 8, n. 3, 2010.

[45] BRASIL. MINISTÉRIDO DA EDUCAÇÃO. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio, Ciências da Natureza, Matemáticas e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2008.

[46] ANJOS, A.J.S.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. As equações matemáticas no ensino de Física: Uma análise de conteúdos em livros didáticos de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)**, Ourense, v. 14, n. 3, p. 312-325, 2015.

[47] SANTANA, R. S.; et al. Jogos didáticos e o ensino por investigação: contribuições do jogo mundo dos parasitos. **Revista internacional de formação de professores**, v. 1, n. 4, 2016.

[48] OLIVEIRA, C. L. **Significado e Contribuições Da Afetividade, no Contexto da Metodologia de Projetos, na Educação Básica**. 2006. Dissertação (mestrado). CEFET - MG, Belo Horizonte. Cap. 2. Disponível em: www.tecnologiadeprojetos.com.br. Acesso em: 02 mai. 2016

[49] BRITTO, R. M. G.M. de; BASTOS, H. F. B. N.; FERREIRA, H. S. A análise de uma sequência de ensino-aprendizagem estruturada para auxilar o desenvolvimento de habilidades de comunicação científica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS (ENPEC), 7., 2009, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 2009. Disponível em: http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/1365.pdf. acesso em: 05 mai. 2018.

[50] OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

[51] DARROZ, L.M.; ROSA, C.W.; GHIGGI, C.M. Método tradicional x aprendizagem significativa: investigação na ação dos professores de física. **Aprendizagem significativa em Revista/Meaningful Learning Review**, v.5, n.1, p. 70-85, 2015.

[52] ALVES-FILHO, J.P. **Atividades Experimentais: Do Método à Prática Construtivista**. 2000. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

[53] OSTI, A. Concepções Sobre Desenvolvimento e Aprendizagem Segundo a Psicogênese Piagetiana. **Revista de Educação**, v. 12, n. 13, p. 109-118, 2009.

[54] LAKOMY, A. M. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. Curitiba: Intersaberes, 2014.

[55] PIAGET, J. **Psicologia da Inteligência**. Editora: Fundo de cultura, 1972.

[56] PIAGET, J. **O nascimento da Inteligência na criança**. Editora: Zahar, 1975.

[57] TABER, K. S.; AKPAN, B. (E.). **Science Education: An International Course Companion**. Springer, 2016. Cap. 7.

[58] MOREIRA, M. A. Organizadores previos y aprendizaje significativo. **Revista Chilena de EducaciónCientifíca**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2008a.

[59] MOREIRA, M. A. Negociação de Significados e Aprendizagem Significativa. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 2-13, dez, 2008b.

[60] MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

[61] MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, p. 43-63, 2011.

[62] PELIZZARI, A. et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **revista PEC**, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

[63] MOREIRA, M. A. La teoría del aprendizaje significativo crítico: un referente para organizar la enseñanza contemporánea. **Revista iberoamericana de educación matemática**, v. 31, p. 9-20, 2012.

[64] MIRANDA, P. R. M. de. Aprendizagem Significativa: Por que não? **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 2, n. 1, 2015.

[65] PONTES, I. A. M. Atuação Psicopedagógica no contexto Escolar: Manipulação, Não; Contribuição, Sim. **Revista Psicopedagogia**, v. 27, n. 84, p. 417-427, 2010.

[66] ROBERTO, E. V. COSTA, G. G. G.; CATUNDA, T. Aprendizagem Ativa em Óptica Geométrica: Desenvolvimento de Instrumentos Investigativos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11., 2008, Curitiba. **Anais**. Curitiba: 2008. Disponível em: http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/sys/resumos/T0210-2.pdf. Acesso em 02 out. 2018

[67] LEITE-FILHO, J. F. **Debates Orientados: Uma Abordagem de Aprendizagem Ativa em Física Para o Ensino Médio**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

[68] PARUSSOLO, A. P.; LOMBARDE, W.; BARON, A. M. Galinho do tempo: um jogo didático para auxiliar o ensino-aprendizagem do conteúdo equilíbrio químico no ensino médio. **Experiências no ensino de Ciências**, v. 10. n. 1, 2015.

[69] PIFFERO, E. D. L. F. **Uma unidade de ensino potencialmente significativa para ensinar fontes de energia**. 2017. 106 f. Dissertação (mestrado profissional em ensino de ciências) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2017.

[70] SOUSA, S. M. G. **Aprendizagem Significativa Crítica de tópicos de Física Nuclear por meio de aula de campo**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

[71] DE JESUS, M. A. **Produção De Materiais Paradidáticos Para a Inserção Da Física Moderna e Contemporânea No Ensino Médio**. 2015. Dissertação (mestrado profissional em ensino de física) - Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2015.

[72] DE JESUS, M. A.; et al. Análise do ensino da Física Moderna nas escolas públicas de nível médio de Rondônia. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, n. 66, 2014, Rio Branco. **Resumos**. Brasilia: SBPC, 2014.

[73] BRENNAN, R. **Gigantes da física:** Uma história da física Moderna através de oito biografias. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. ed. rev. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 2003.

[74] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. v. 4. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1998.

[75] EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica:**Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Tradução: Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

[76] REVISTA SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL. Gênios da Ciência: Quânticos: os homens que mudaram a física. 13. ed., Duetto editorial, 2006.

[77] RENN, J.; HOFFMANN, D. 1905—a miraculous year. **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.** n.38, abr., 2005.

[78] MĂRTENSSON-PENDRILL, A. M. The Manhattan project—a part of physics history. **Physics Education**, v. 41, n. 6, p. 493, 2006.

[79] HART-DAVIS, A. et al. **O Livro da Ciência**. Tradução: Alice Klesck. 2. ed. São Paulo: Globo, 2016.

[80] KANG, H. J. A New Approach for Introducing Schrödinger's Equation Using Maxwell's Equations, Quantum Mechanics, and Special Relativity.**American Journal of Educational Research**, v. 6, n. 7, 2018.

[81] EBERHARDT, D.; et all. Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs.**Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 928-950, 2017.

[82] VALADARES, E. de C. Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

[83] THOMAS, E. G. What' s so special about $E = mc^2$? Separating truth from myth. **European journal of physics**, v. 26, n. 6, p. S125, 2005.

[84] AMERICAN PHYSICAL SOCIETY. Representative selections of the role of Arthur H. Compton. Disponível em: https://history.aip.org/exhibits/gap/Compton/Compton.html. Acesso em 10 mai 2018.

[85] BIOGRAFIAS Y VIDA. In: LA ENCICLOPEDIA BIOGRÁFICA EN LÍNEA. Disponível em: https://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/compton.htm. Acesso em 10 mai 2018.

[86] SCHRÖDINGER, E. An Undulatory Theory Of The Mechanics Of Atoms And Molecules. **The Physical Review**, v. 28, n. 6, 1926.

[87] SAKURAI, J. J. **Modern Quantum Mechanics**. ed. rev. Addison Wesley, 1993.

[88] DE SOUSA, A. A. **Vazamentos De Correntes e Ineficiência de Corrente De Transporte em Nanoestruturas Semicondutoras Investigadas Através de Propagação de Pacotes de Onda**. 2015. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Ceará. 2015

[89] CHAVES, A. **Dinâmica de pacotes de onda em semicondutores e grafeno e de vórtices em supercondutores**. 2010. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Ceará, 2010.

[90] COHEN-TANNOUDJI, C.; DIU, B.; LALOE, F. **Quantum Mechanics**. v. 1, 1th ed., 1995.

[91] LANDAU, L. D.; LIFSCHITZ, E. M. **Quantum mechanics**. v. 3, 1965

[92] COSTA, D. R. **Anéis quânticos semicondutores ideais**. 2011. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, 2011.

[93] PEREIRA, T. A. S. **Confinamento Dielétrico Versus Quântico em nanoestruturas**. 2006. Tese (Doutorado). - Universidade Federal do Ceará, 2006.

[94] VALLS, M. R. **Theoretical Modelling of electrons and holes in semiconductor nanostructures**. 2010. Tese (doutorado). - Universitat Jaume I, Espanha, 2010.

[95] REZENDE, S. M. **A Física de materiais e dispositivos eletrônicos**. Ed. Universidade Federal de Pernambuco, 1996.

[96] MORENO, R. R. de M. Resenha do livro "Schrödinger" de José Maria Filardo Bassalo e Francisco Caruso. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 735-739, 2016. Acesso em: http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n2p735.

[97] MOURÃO, R. R. de F. Hiroshima e Nagasaki: razões para experimentar a nova arma. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 683-710, 2005.

[98] REVISTA SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL. Gênios da Ciências Feynman: A lâmpada da nano. 4. ed., Duetto editorial, 2006.

[99] BIRD, K.; SHERWIN, M. J. **American Prometheu: The Triumph and Tragedy of J. Robert Oppenheimer**. Vintage Books, New York, 2006.

[100] REED, B. C. A physicists guide to The Los Alamos Primer. **Physica Scripta**, v. 91, n. 11, p. 113002, 2016.

[101] OLIVEIRA, R. R. **Modelo de Heisenberg Para a Cadeias de Spins**. 2016. Dissertação (mestrado em física) - Universidade do Ceará.

[102] PLOTNITSKY, A. Dirac's Equation And The Nature of Quantum Field Theory. **Physica Scripta**, v. 2012, n. T151, p. 014010, 2012.

[103] MLA style: Laureates. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2018. Disponível em: https://www.nobelprize.org. Acesso em 20 out. 2018.

Apêndice A
Produto Educacional

Utilização do Jogo de Tabuleiro "Enigma da Física" Para Inserção de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Desenvolvido por: Danielle de Matos Vitor e Ariel Adorno de Sousa

Autora:
Prof. Danielle de Matos Vitor
Orientador:
Prof. Drº Ariel Adorno de Sousa
Universidade Federal de Rondônia (Unir)
Programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) - Polo 40

Apoio: CAPES

Porto Velho - 2019

Danielle de Matos Vitor e Ariel Adorno de Sousa – 2019

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor, contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

5.1 Apresentação

O produto educacional é direcionado ao ensino médio, tendo aplicação em qualquer etapa do ensino. Ele foi baseado em algumas necessidades do ensino de física, como a necessidade de se abranger conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino básico de maneira contextualizada, a falta de capacitação dos professores, a carência de materiais instrucionais e a valorização do lúdico no ensino. O produto foi desenvolvido para auxiliar os professores de física que querem implementar no currículo tópicos de FMC. Na fig. 5.1, mostra a caixa para armazenamento do jogo que foi disponibilizado neste trabalho.

Figura 5.1: Caixa de armazenamento das peças e do tabuleiro do Jogo Enigma da Física

Conhecendo a importância da ludicidade no ensino e os resultados positivos alcançados da utilização de jogos educativos em diversos conceitos, apresentamos um jogo de tabuleiro interativo chamado: ''Enigma da Física", que trata de tópicos de FMC de forma compatível com o ensino básico, proporcionando o conhecimento de forma descontraída, motivando os alunos à pesquisa e ao estudo. Na fig. 5.2 é mostrado o tabuleiro onde o jogo é manipulado.

O jogo trata de conceitos diversos como biografia de alguns cientistas do século XIX

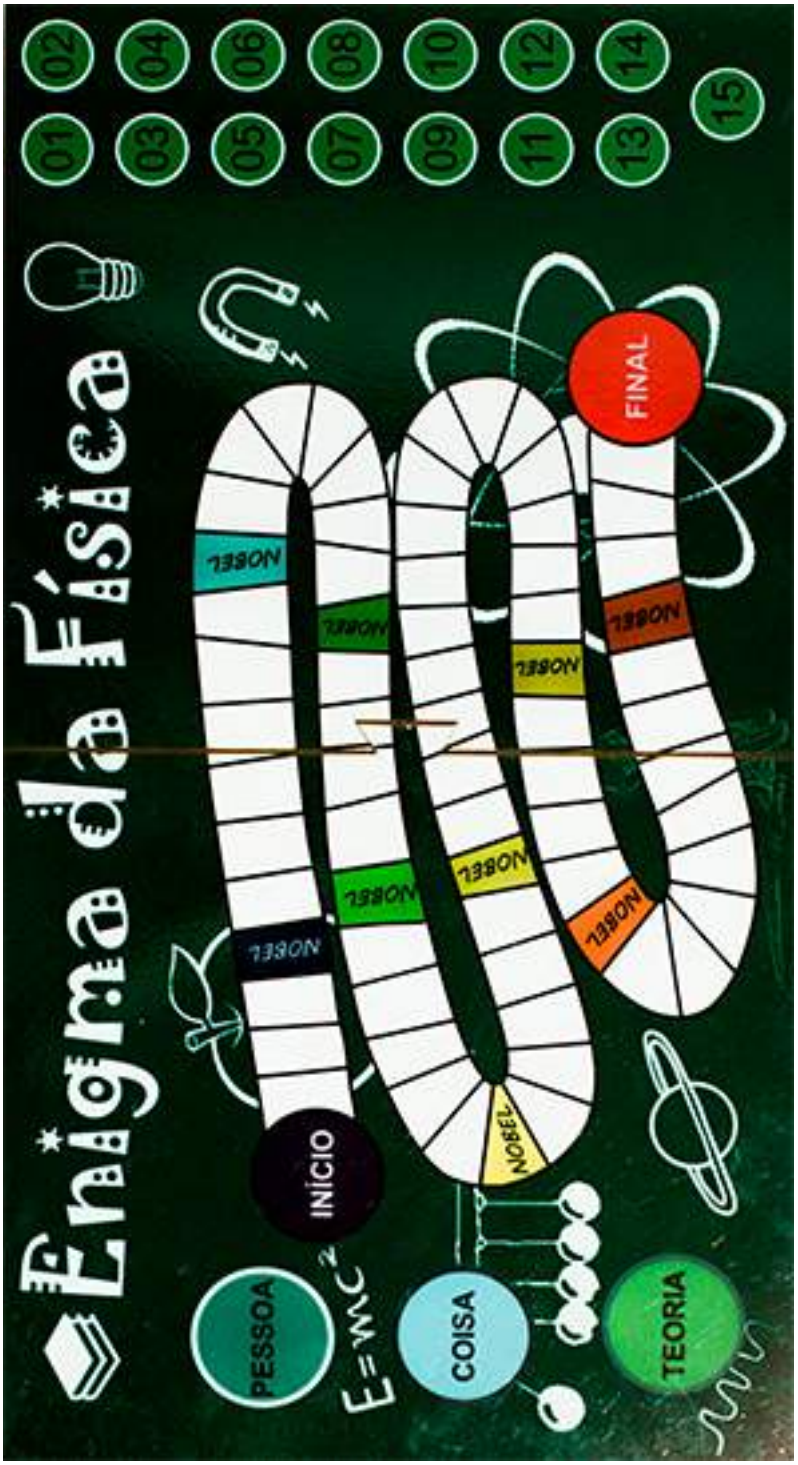


Figura 5.2: Tabuleiro do Jogo Enigma da Física

e XX, suas descobertas e contribuições para o desenvolvimento da física como radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico e da dualidade da luz e matéria, como também trata de aplicações do desenvolvimento como bomba atômica, lasers, computadores e tipos de lâmpadas.

Os resultados mostraram que é possível ensinar Física Moderna e Contemporânea nas escolas de forma consistente, diversificando as metodologias e chamando a atenção dos

alunos. O jogo será disponibilizado gratuitamente a todos os professores que tenham interesse em utiliza-lo, mais informações podem ser encontradas na dissertação do mestrado profissional de ensino de física do polo 40 de Danielle de Matos Vitor.

Figura 5.3: Base de um jogo de bingo para auxílio da contagem dos pontos de cada jogador.

5.2 Objetivos

O escopo do projeto foi desenvolver um jogo didático com tópicos de física moderna, baseado no jogo conhecido: "perfil", com um viés científico e intrigante de modo a chamar a atenção do aluno à tópicos de FMC e ao mesmo tempo desenvolver o conhecimento histórico e conceitual do mesmo, além de trazer diversão.

Objetivando levar o conhecimento histórico, cultural, biográfico e conceitual de tópicos de FMC com uma linguagem acessível ao ensino básico, contribuir para o desenvolvimento social do educando, apresentando tópicos de FMC de maneira divertida e contextualizada, aumentando o interesse dos alunos por assuntos relacionados à FMC. Também objetiva desenvolver uma aprendizagem significativa, onde o aluno relacione os conhecimentos e contextualize com conhecimentos pré-estabelecidos, valorizando as contribuições de vários cientistas para a produção final do saber. Além de avaliar a aprendizagem de conceitos apresentados durante as aulas.

O objetivo do trabalho é de melhorar o ensino de física incorporando conceitos importantes de forma compatível com o ensino, valorizando a contextualização histórica da ciência, entrelaçando conhecimentos de forma atrativa, capacitando o aluno para um aprendizado permanente e qualificando para a cidadania. Inserindo conceitos do seu dia-a-dia no ensino. Capacitando os alunos para que os mesmos possam compreender e intervir na realidade, mesmo aqueles que não darão prosseguimento nos estudos científicos construam uma visão sólida da realidade física, aplicando os conhecimentos adquiridos nos seu contexto social. Desenvolvendo competências para que o aluno saiba lidar com os conhecimentos de fenômenos naturais e tecnológicos. Interagindo com as mídias e aparelhos de forma consciente.

5.3 Sugestão Para Aplicação do Projeto

O produto educacional para o ensino foi elaborado com propósito de permitir ao aluno desenvolver habilidades cognitivas e sociais e que o mesmo sinta-se parte do processo de ensino aprendizagem. Ele poderá ser utilizado de diversas formas e com objetivos distintos.

Uma forma é como avaliação, sendo desenvolvido depois de algumas aulas de tópicos específicos de FMC, o professor poderá escolher as cartas condizentes com seu plano de aula e avaliar a aprendizagem pelos alunos.

Ele também pode ser implementado como material introdutório aos tópicos de FMC, no início das atividades como forma de despertar a curiosidade pelos tópicos. O professor pode ensinar os tópicos depois do jogo, aprofundando os conceitos que foram abordados.

Outra forma é utiliza-lo associando a práticas pedagógicas, desenvolvendo os conceitos de FMC em aulas, palestras e/ou vídeos. Assim entrelaça os conceitos em aulas com os tópicos do jogo. O que cria novas ramificações do conhecimento na mente do aluno.

Além de utiliza-lo como material de aprendizagem, nesse caso o professor pode liberar a pesquisa sobre o tema, em sites e livros no decorrer do jogo, assim o aluno poderá pesquisar as dicas dadas sobre o tema, valorizando a pesquisa. É uma forma que o aluno estuda sobre os temas propostos, procurando descobrir qual a resposta correta.

5.4 Característica do Jogo

O jogo é composto por: uma caixa de mdf 25x23 cm, para abrigar os componentes do jogo; um tabuleiro de mdf 22,5x42 cm de encaixe, 6 peões distintos; 15 fichas brancas; 1 ficha dourada; um encarte com as regras do jogo; uma roleta de bingo com apenas 15 números, de 1 até 15; 27 cartas de ''coisa", 15 cartas de ''teoria", 25 cartas de ''pessoa", 21 cartas de ''Nobel", totalizando 88 cartas, conforme fotos abaixo.

O tabuleiro contém 71 casas para avançar, destas 9 são casas bônus intituladas ''Nobel";

Cada carta contém 15 dicas sobre um assunto de FMC, que pode ser uma Pessoa (no caso um físico, químico ou matemático), uma Teoria (uma explicação de algum fenômeno ou suposições de explicações) ou uma Coisa (que pode ser um aparelho, um objeto, um astro, um tipo de força -gravidade, uma experiência). Além de cartas bônus que são os anos de premiações do Nobel que contém apenas 10 dicas;

As cartas de pessoas são de cientistas que contribuíram para a formulação e desenvolvimento da FMC: As dicas são uma biografia, que traz maiores trabalhos, frases mais conhecidas, pessoas contemporâneas, embates científicos, participações em eventos, datas de nascimento e morte, prêmios agraciados, visão de mundo, filosofia de vida, curiosidades, ''coisas" que se desenvolveram pelas suas descobertas, partes da vida pessoal e vida profissional. Buscou desenvolver uma biografia diferenciada, que abrange tanto antecedentes como precedentes da pessoa escolhida.

As cartas de teorias são teorias da FMC: As dicas são relacionadas a traços da teoria, a(s) pessoa(s) que propôs, a(s) pessoa(s) que contribuíram ao longo da história para a formulação, experiências relacionadas, aplicações da teoria, teorias que são rivais, teorias complementares, críticas de cientistas á teoria, problemas que levaram a formulação, problemas que ainda não foram explicados. Se valoriza os trabalhos desenvolvidos no decorrer da história e a contribuição isolada ou conjunta para a formulação final da teoria.

As cartas de coisas são aparelhos tecnológicos, astros, experimentos, forças exercidas, coisas que tem aplicações ou explicações baseadas nos conceitos de FMC: as dicas trazem os conceitos físicos, características físicas, a evolução histórica, cientistas que deram contribuições para criação e/ou aperfeiçoamento, teorias relacionadas.

As cartas de Nobel, são anos que tiveram premiações: As dicas falam sobre o(s) cientista(s) laureado(s), qual trabalho foi desenvolvido, trabalhos desenvolvidos nesse ano, publicações/descobertas que renderam prêmios posteriores, acontecimentos históricos do ano em questões, ganhadores de anos anteriores ou posteriores. Foram desenvolvidas com bases históricas do ano em questão, valorizando os acontecimentos e pesquisas desenvolvidas.

Todas as cartas foram produzidas de modo interligado, uma dica tem relação com outras cartas, o que valoriza a aprendizagem, uma carta tem a resposta de outras cartas. Em toda a construção das cartas buscou-se uma contextualização histórica, uma abrangência de todas as descobertas relacionadas á carta, valorizando os antecessores e predecessores.

5.5 Regras do Jogo

Números de participantes: De 2 a 6 pessoas ou em equipes.

Objetivo: O jogador deve reconhecer por meio de dicas qual é a pessoa/coisa/teoria que está sendo descrita.

O jogo:

1. Cada participante/equipe escolhem um peão e posicionam na linha de largada do tabuleiro;
2. Os participantes fazem a brincadeira "dois ou um" o primeiro a sair inicia como jogador leitor;
3. O jogador leitor escolhe uma carta e coloca a ficha no tabuleiro informando a categoria da carta: PESSOA; TEORIA; COISA;
4. Os jogadores iniciam do sentido horário do jogador leitor;
5. O jogador leitor gira a roleta e pega o número, que corresponderá á uma dica que o jogador leitor marcará com uma peça no tabuleiro;
6. A dica deve ser lida em voz alta para todos os participantes e após a leitura é estabelecido um prazo máximo de 30 segundos para a resposta do jogador, tendo direito a apenas uma chance por dica;
7. O jogador deverá anunciar seu palpite em voz alta ou se não quiser, passar a vez para o próximo;
8. Se o jogador errar, movimenta-se a roleta e seleciona a próxima dica;
9. Se o jogador acertar devolve a carta ao final do monte, retiram-se as dicas fornecidas do tabuleiro e obedecerá a pontuação (ver pontuação);
10. O que acertou passará a ser o leitor e escolherá a próxima carta;
11. Ganha o jogo quem chegar à casa FINAL primeiro.

PESSOA

Se a carta for de pessoa o jogador deverá responder corretamente o que estiver negritado, na maioria dos casos apenas o sobrenome será suficiente.

PONTUAÇÃO

A quantidade de dicas fornecidas (peças no tabuleiro) corresponderá a quantidade de casas que o jogador leitor andará. A quantidade de dicas que faltavam (peças fora do tabuleiro) corresponderá a quantidade de casas que o jogador que acertou andará.

O que resulta que cada rodada o total de 15 casas serão percorridos divididos entre o jogador leitor e o jogador que acertou.

CASA NOBEL

No tabuleiro existem casas com o inscrito NOBEL, essa casa só terá valor caso o jogador leitor ou o jogador que acertou a dica caiam na contagem final das casas, ou seja, se for pela dica avance casas ou volte casas o NOBEL não valerá;

O jogador terá direito a responder uma carta sobre o NOBEL sozinho, ela é uma carta bônus;

A carta conterá apenas 10 dicas, e ele só terá direito a 5 dicas;

Ele poderá escolher o número das dicas colocando no tabuleiro o número correspondente à dica que ele quer e cada dica corresponderá a apenas uma resposta obedecendo o tempo máximo de 30 s;

Se ele acertar no 1º dica anda 10 casas, na 2º dica andará 8 casas, na 3º dica 6 casas, na 4º 4 casas e na 5º dica andará 2 casas. Se não acertar o jogador leitor lê as outras 5 dicas que não saíram e anuncia a resposta certa, e o jogador continuará no mesmo lugar e volta-se ao jogo.

DICAS DIFERENTES

Se a dica for ''ESCOLHA UM JOGADOR PARA" ..., deverá escolher outro jogador que não seja ele mesmo ou alguém do seu time. E não perderá a chance de responder seu palpite. Se a dica for ''VOLTE OU AVANCE CASAS" o jogador deverá obedecer a dica com seu peão, mas não perderá a chance de responder seu palpite. Caso seja ''PERCA SUA VEZ", o jogador passará a vez para o próximo sem responder.

5.6 Tipos de Jogos

Foi elaborado 2 (duas) formas de jogar o mesmo jogo:

A primeira foi intitulada ''escolha livre", onde o aluno/grupo escolhia o número da dica que seria lida. A segunda maneira foi "roleta" era sorteada a dica por uma roleta de bingo ou numa sacola, o professor sorteava a dica de cada aluno/grupo que seria lida por rodada. A última maneira foi utilizada dados e cada aluno/grupo lançava os dados para a escolha das dicas. Nesse caso o eram lançados 4 dados simultâneos e o tabuleiro era numerado de 4 até 18.

A primeira maneira gerou uma boa aplicação, o lado negativo é que as vezes o aluno demorava para escolher, ou alunos do mesmo grupo escolhiam dicas diferentes o que gerava uma demora maior na escolha final, além de desentendimentos internos, quando um integrante escolhia a dica e ela não auxiliava o grupo, exemplo se caísse em perca sua vez.

A outra maneira foi a mais adequada em nossa visão de aplicador, pois otimizou o tempo, os alunos esperavam o aplicador sortear e informar o número da dica e a leitura da referida. Por ser aleatório não ocorria disputas internas nos grupos de quem escolheria o número ou jogaria o dado, nem discussões pelo resultado positivo ou negativo da dica. Assim é aconselhado que a utilização seja feita por esta maneira, pois teve um melhor

aproveitamento na aplicação e proporcionou uma maior quantidade de cartas lidas por jogo.

5.7 Tópicos Desenvolvidos no Jogo

Foi desenvolvido conceitos da FMC de forma a abranger os conceitos da física semi-clássica, iniciando o temas com os problemas que não podiam ser explicadas pelas teorias da época. Ele também abrange a velha mecânica quântica (1900-1926) até a física contemporânea (a partir de 1950). Indo de J. J. Thomson até Murray Gell-Mann.

Abrangendo além dos cientistas e suas teorias, algumas aplicações, objetos e fenômenos que tem relação com o desenvolvimento da física moderna e contemporânea.

5.8 Avaliação do Jogo

Para desenvolver o conhecimento de conceitos de FMC de forma lúdica, a valorizando as contribuições históricas, sociais e culturais, o interesse por estudar, pela pesquisa, pela busca do conhecimento, trazendo dúvidas e curiosidades sobre os temas recentes, incentivar a participação, as perguntas, as possíveis respostas. Além de desenvolver o raciocínio lógico, a concentração, fala e leitura.

Anexo 1 - Questionários e Cartas Utilizadas Para Aplicação do Produto Educacional na Escola Ricardo Cantanhede

Estamos disponibilizando em anexo os materiais utilizados na Escola Estadual Ricardo Cantanhede em Ariquemes-RO: os questionários dos alunos e professores, as avaliações de aprendizagem escrita e todas as cartas do jogo que foram produzidas.

Questionário para aplicação do jogo
Série e Turma:_____

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é insatisfatório, e 5 muito satisfatório.

MOTIVAÇÃO

Atenção

- Houve algo interessante no início do jogo que capturou minha atenção._____
- O design da interface do jogo é atraente. _____

Relevância

- Ficou claro como o conteúdo do jogo está relacionado com coisas que eu já sabia. _____
- Eu gostei tanto do jogo que gostaria de aprender mais sobre o assunto abordado por ele. _____
- O conteúdo do jogo é relevante para meus interesses. _____
- Eu poderia relacionar o conteúdo do jogo com coisas que já vi, fiz ou pensei. _____

Confiança

- O jogo foi mais difícil de entender do que eu gostaria. _____
- O jogo tinha muita informação que foi difícil identificar e lembrar dos pontos importantes_____
- O conteúdo do jogo é tão abstrato que foi difícil manter a conectado a ele. _____
- As atividades do jogo foram muito difíceis. _____
- Eu não consegui entender uma boa parcela do material do jogo. _____

Satisfação

- Completar os exercícios do jogo me deu um sentimento de realização. _____
- Eu aprendi algumas coisas com o jogo que foram surpreendentes ou inesperadas. _____
- Os textos de feedback depois dos exercícios, ou outros comentários do jogo, me ajudaram a sentir recompensado pelo meu esforço. _____
- Eu me senti bem ao completar o jogo. _____

EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO

Imersão

- Eu não percebi o tempo passar enquanto jogava. _____
- Me senti mais no ambiente do jogo do que no mundo real. _____
- Me esforcei para ter bons resultados no jogo. _____
- Me senti estimulado a aprender com o jogo. _____

Desafio

- Eu gostei do jogo e não me senti ansioso ou entediado. _____
- O jogo me manteve motivado a continuar utilizando-o. _____
-Minhas habilidades melhoraram gradualmente com a superação dos desafios_____
- Este jogo é adequadamente desafiador para mim, as tarefas não são muito fáceis nem muito difíceis. _____

Habilidade / Competência

- Me senti bem-sucedido. _____
- Eu alcancei rapidamente os objetivos do jogo. _____
- Me senti competente. _____
- Senti que estava tendo progresso durante o desenrolar do jogo. _____

Interação Social

- Senti que estava colaborando com outros colegas. _____
- A colaboração no jogo ajuda a aprendizagem. _____
- O jogo suporta a interação social entre os jogadores. _____

Divertimento

- Quando interrompido, fiquei desapontado que o jogo tinha acabado. _____
- Eu jogaria este jogo novamente. _____
- Fiquei torcendo para o jogo acabar logo. _____
- Achei o jogo meio parado. _____

CONHECIMENTO

- Depois do jogo consigo lembrar de mais informações relacionadas ao tema apresentado no jogo. _____
- Depois do jogo consigo compreender melhor os temas apresentados no jogo. _____

Proposta de um Modelo de Avaliação de Jogos Educacionais

Rafael Savi; Christiane Gresse von Wangenheim; Vania Ulbricht; Tarcisio Vanzin. ***CINTED-UFRGS Novas Tecnologias na Educação. V. 8 Nº 3, dezembro, 2010***

QUESTIONÁRIO SOBRE O JOGO ENIGMA DA FÍSICA

TURMA:

1. Na sua concepção qual foi a melhor maneira de se jogar o "enigma da física" ?

( ) Em pequenos grupos, os alunos lideram o jogo

( ) A professora como mediadora durante todo o jogo

2. Qual sua opinião geral sobre o grau de dificuldade das cartas do jogo que foram lidas :

Pessoa	( ) muito difícil	( ) difícil	( ) médio	( ) fácil
Teoria	( ) muito difícil	( ) difícil	( ) médio	( ) fácil
Coisa	( ) muito difícil	( ) difícil	( ) médio	( ) fácil
Nobel	( ) muito difícil	( ) difícil	( ) médio	( ) fácil

3. Se fosse permitido escolher o tipo de carta em cada rodada do jogo qual seria sua maior escolha:

( ) **Pessoa** ( ) **Teoria** ( ) **Coisa**

4. Marque as alternativas que caracterizam o jogo: (pode ser mais de uma)

( ) Aprendizagem: o aluno aprende novos conceitos e teorias.

( ) Avaliativo: testa o conhecimento sobre os temas de física.

( ) Lúdico: é uma brincadeira que dinamiza a aula.

5. Você recomendaria a utilização desse jogo didático em turmas futuras.

( ) sim, porque é uma forma de aprender.

( ) sim, porque dinamiza a aula a tornando mais atrativa.

( ) não, porque não afeta na aprendizagem.

( ) não, porque é melhor aulas no quadro do conteúdo.

AVALIAÇÃO DE FÍSICA
E.E.E.F.M. RICARDO CANTANHEDE
Nome: _____ 3 ano ___ PROF. DANIELLE VITOR

1. Marque com um **x** as principais obras de Albert Einstein:

a) Bomba atômica
b) Efeito fotoelétrico
c) Efeito Compton
d) Radiação do Corpo negro
e) Relatividade Geral e Restrita
f) Movimento Browniano

2. O modelo atômico proposto por Niels Bohr englobava uma consideração importante, o "salto quântico", explique o que é um "salto quântico"?

3. Uma das maiores contribuições de Werner Heisenberg para a física foi seu postulado conhecido como "princípio da Incerteza". Assinale qual alternativa correta:

a) Define que a mecânica dos sistemas quânticos deve necessariamente ser determinística.
b) Essa teoria declara que partículas não podem ter sua posição e momento bem definidos.
c) Trouxe uma nova limitação às pesquisas científicas no que tange ao mundo clássico e macroscópico.
d) Os cientistas me apoiaram assim que fui proposta por demonstrar a natureza ondulatória das partículas.

4. Segundo a teoria de Albert Einstein do efeito fotoelétrico marque a alternativa **incorreta.**

a) A luz é quantizada e cada comprimento de onda tem energia diferente.
b) A luz vermelha é menos energética que a luz azul.
c) A luz solar pode produzir energia elétrica.
d) A produção de energia depende intensidade da luz independente de sua cor.

5. Sobre o trabalho do famoso cientista Schroedinger, assinale qual a alternativa INCORRETA.

a) Propôs um paradoxo de um gato.
b) Desenvolveu uma mecânica quântica matricial.
c) Tem uma equação muito importante para mecânica quântica.
d) Ganhou um prêmio Nobel pelas suas contribuições.

6. Ligue a descoberta ao respectivo cientista

a) Partícula elétron.
b) Espectrometria.
c) Dualidade da luz.
d) Difração de elétrons
e) Radiação do corpo negro

I. MAX PLANCK
II. ALBERT EINSTEIN
III. G. P. THOMSON
IV. J. J. THOMSON
V. NIELS BOHR

AVALIAÇÃO DE FÍSICA
E.E.E.F.M. RICARDO CANTANHEDE

Nome: _____ 3 ano ___

1. Sobre o trabalho do famoso cientista Schroedinger, assinale qual a alternativa INCORRETA.

a) Propôs um paradoxo de um gato.

b) Desenvolveu uma mecânica quântica matricial.

c) Tem uma equação muito importante para mecânica quântica.

d) Ganhou um prêmio Nobel pelas suas contribuições.

2. Albert Einstein é considerado um gênio até os dias de hoje, sabendo que ele foi um pacifista, ou seja, era contrário a guerra, comente qual foi a participação dele na produção da BOMBA ATÔMICA pelos EUA.

3. Sobre as contribuições de Niels Bohr para o desenvolvimento científico assinale a alternativa INCORRETA.

a) Foi o primeiro a descobrir a partícula nêutron, no núcleo atômico.

b) Desenvolveu junto com Heisenberg a interpretação de Copenhague.

c) Inseriu a quantização da energia de Planck no modelo atômico.

d) Defendeu a ideia da mecânica quântica ser probabilística.

4. Sobre o efeito de difração dos elétrons feita pelos cientistas Davisson e Germer. Assinale qual alternativa correta:

a) Define que a mecânica dos sistemas quânticos deve necessariamente ser determinística.

b) Essa teoria declara que partículas não podem ter sua posição e momento bem definidos.

c) Trouxe uma nova limitação às pesquisas científicas no que tange ao mundo clássico e macroscópico.

d) Comprovou a teoria de de Broglie que as partículas possuem características ondulatórias.

5. Ligue a descoberta ao respectivo cientista.

a) Primeiro modelo quântico do átomo.

b) Partículas beta e gama.

c) Relatividade Geral.

d) Experimento com raios-X

e) Função de onda

I. ALBERT EINSTEIN

II. ERWIN SCHROEDINGER

III. NIELS BOHR

IV. RUTHERFORD

AVALIAÇÃO DE FÍSICA
E.E.E.F.M. RICARDO CANTANHEDE

V. ARTHUR COMPTON

Nome: _____ 3 ano ___

1. Louis De Broglie foi um cientista com formação em história e um doutorado em física. Qual foi a problemática que ele trouxe em sua tese de doutorado?

a) A radiação do corpo negro.

b) No modelo atômico atual.

c) Momento magnético do elétron.

d) Dualidade da matéria.

2. A quantização da energia foi uma importante descoberta para ciência e revolucionou o mundo, trazendo grandes contribuições para a eletrônica e consequentemente uma expansão tecnológica. Quem desenvolveu tal explicação? Em qual problema físico ele trabalha (qual o contexto da descoberta)?

3. Marque a alternativa **Incorreta** sobre a relatividade restrita.

a) Define que a velocidade da luz é constante independente do referencial.

b) Define que um corpo acelerado próximo a velocidade da luz perde massa e se torna cada vez mais leve.

c) Define que é impossível acelerar qualquer corpo que tenha massa a velocidade da luz.

d) Define que o tempo passa mais lentamente conforme a velocidade aumenta.

4. Segundo a teoria de Albert Einstein do efeito fotoelétrico marque a alternativa **incorreta.**

a) A luz é quantizada e cada comprimento de onda tem energia diferente.

b) A luz vermelha é menos energética que a luz azul.

c) A luz solar pode produzir energia elétrica.

d) A produção de energia depende intensidade da luz independente de sua cor.

5. Ligue a descoberta ao respectivo cientista.

a) Efeito fotoelétrico.	**I.** RUTHERFORD
b) O núcleo atômico.	**II.** ALBERT EINSTEIN
c) Princípio da complementariedade	**III.** NIELS BOHR
d) Interpretação de muitos mundos	**IV.** HUGHT EVERETH
e) Elétron como onda.	**V.** G.P. THOMSON

AVALIAÇÃO DE FÍSICA
E.E.E.F.M. RICARDO CANTANHEDE

Nome: _____ 3 ano ___

1. Ligue a descoberta ao respectivo cientista.

a) Relatividade Restrita
b) Difração de elétrons
c) Principio da incerteza
d) Quantização da energia
e) Dualidade da matéria

I. MAX PLANCK
II. ALBERT EINSTEIN
III. WERNER HEISENBERG
IV. LOUIS DE BROGLIE
V. G.P. THOMSON

2. Max Planck é considerado o pai da Física Moderna por explicar a quantização da energia pela primeira vez introduzindo sua constante **h** na resolução da radiação do corpo negro. Cite qual (is) cientistas depois dele utilizaram sua constante para desenvolver outros problemas não solucionados pela física clássica.

3. Sobre o trabalho do famoso cientista Schroedinger, assinale qual a alternativa INCORRETA.

a) Propôs um paradoxo de um gato.
b) Desenvolveu uma mecânica quântica matricial.
c) Tem uma equação muito importante para mecânica quântica.
d) Ganhou um prêmio Nobel pelas suas contribuições.

4. Marque a alternativa **Incorreta** sobre a relatividade restrita.

a) Define que a velocidade da luz é constante independente do referencial.

b) Define que um corpo acelerado próximo a velocidade da luz perde massa e se torna cada vez mais leve.

c) Define que é impossível acelerar qualquer corpo que tenha massa a velocidade da luz.

d) Define que o tempo passa mais lentamente conforme a velocidade aumenta.

5. Ligue os modelos atômicos ao seu respectivo cientista:

a) Bola de Bilhar
b) Pudim de passas
c) Núcleo minúsculo
d) Planetário
e) Modelo quântico atual

I. Niels Bohr
II. Dalton
III. J.J. Thomson
IV. Schroedinger
V. Ernest Rutherford

QUESTIONÁRIO PROFESSOR PARTICIPANTE

Avalie de 1 a 5, onde 1 é insatisfatório, e 5 muito satisfatório.

1. O designer do jogo. ☐

2. Os conteúdos abrangidos. ☐

3. A qualidade das informações contidas nas cartas. ☐

4. A didática do jogo. ☐

5. A forma proposta para aplicação. ☐

6. Poderá ocorrer uma aprendizagem com a utilização do jogo ☐

7. O jogo chama a atenção do aluno. ☐

8. Você utilizaria essa metodologia em suas aulas. ☐

9. Cite possíveis alterações a serem feitas no jogo que possa torna-lo mais eficaz em sua concepção.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

NOBEL

1913

1) **Avance 2 casas.**
2) O físico Arthur H. Compton se gradua no College of Wooster.
3) **Nesse ano Henry Moseley redefine a tabela periódica usando números atômicos.**
4) Niels Bohr sugere um modelo para a estrutura do átomo, incluindo níveis de energia que explica os diferentes grupos de elementos químicos.
5) **H. G. Wells escreve sobre utilizar a energia interna de um átomo para construção de armas nucleares.**
6) Henry Ford cria o fordismo uma linha de produção que modificou toda a indústria, onde cada operário tinha uma função específica.
7) **No ano passado o maior navio do mundo naufragou, o Titanic.**
8) O único ganhador foi Heike Kamerlingh Onnes.
9) **Fui concedido pelas investigações sobre propriedades da matéria a baixas temperaturas, que levaram à produção do hélio líquido.**
10) Em química o agraciado foi Alfred Werner, pelo estudo das ligações dos átomos na constituição das moléculas.

TEORIA **PRINCIPIO DA INCERTEZA**

1) Eu defino que a mecânica dos sistemas quânticos deve necessariamente ser probabilística.
2) **Afirmo que as propriedades ondulatórias fornecem informações matemáticas sobre a probabilidade que ele tem de ser observado, detectado ou medido numa posição particular.**
3) Essa teoria declara que partículas não podem ter sua posição e momento bem definidos.
4) **Fui publicado em um artigo em 1927, por Werner Heisenberg e também sou conhecido como o princípio da indeterminação.**
5) Surgi das tentativas teóricas para determinar a órbita exata dos elétrons em um átomo.
6) **Perca sua vez.**
7) Trouxe uma nova limitação às pesquisas científicas no que tange a certezas de medidas.
8) **Em 1933 fui motivo para um prêmio Nobel a meu criador.**
9) Meu idealizador chegou a dizer que eu era a única realidade, pois não fazia nenhum sentido falar onde se encontrava o elétron ou o que ele fazia entre uma medição e outra.
10) **Sou o princípio chave da interpretação de Copenhague, por delimitar a precisão com que podemos determinar as propriedades quânticas.**
11) Minha origem se deve a consequência matemática da mecânica matricial que permitia que certos pares de propriedades fossem simultaneamente determinados com precisão.
12) **Vários cientistas tentaram provar que não era uma característica real, incluindo Albert Einstein, porém, no fim, eu sou um traço inerente ao sistema quântico.**
13) Essa teoria parece estranhamente contrária as que vivenciamos no mundo de grande escala, porém, no mundo das partículas subatômicas é uma base importante da física moderna.
14) **Defino um limite para se conhecer a energia e o tempo de uma partícula simultaneamente.**
15) Incorporo a constante de Planck ao limite da mediação e uma adequação chamada "h cortado" que significa a constante dividida por 2π.

PESSOA WERNER **HEISENBERG**

1) A junção do meu princípio da incerteza com a teoria da complementaridade de Bohr, resultou no que ficou conhecida como interpretação de Copenhague.
2) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
3) Aprendi cálculo sozinho e aos 18 anos tentei publicar um artigo sobre a teoria dos números.
4) **Tive como mentor e professor Arnold Sommerfeld.**
5) Meu melhor amigo na universidade foi Wolfgang Pauli, que também foi colaborador e crítico de meus trabalhos por um longo tempo.
6) **Fui convidado por Bohr para trabalhar auxiliando em suas pesquisas sobre a teoria atômica e aceitei.**
7) Volte 1 casa.
8) **Desenvolvi uma matemática matricial para o elétron que foi compatível com a mecânica quântica de Schroedinger, porém, a dele era mais fácil de interpretar e por isso ganhou mais atenção dos físicos.**
9) Em 1927 produzi meu artigo que continha minha maior contribuição para a ciência, meu princípio da indeterminação, que surgiu das minhas tentativas teóricas de encontrar a órbita exata de um elétron no átomo.
10) **A quem diga que eu tentei produzir uma bomba atômica alemã, porém, eu disse que na verdade atrapalhara a construção da bomba, o que ficou indeterminado e gerou grande desconfiança.**
11) Fui um dos membros chaves do projeto da bomba atômica na Alemanha e por esse motivo perdi a amizade de 20 anos com Bohr.
12) **Ganhei um Nobel em 1933, que compartilhei com Paul Dirac e Erwin Schroedinger, porém, fiz um agradecimento especial a Bohr.**
13) Junto com Ernst Jordan, Erwin Schroedinger, Niels Bohr e Paul Dirac, formulamos a nova teoria da Mecânica Quântica em 1925.
14) **Expliquei o ferromagnetismo com base na estrutura atômica.**
15) Colaborei com Max Born e Pascual Jordan para formular a mecânica matricial da mecânica quântica.

PESSOA WOLFGANG **PAULI**

1) Fui considerado um dos mais brilhantes físicos teóricos do século XX.
2) **Desenvolvi pesquisas que levaram a descoberta da partícula neutrino.**
3) Fui capaz de entender a teoria geral da relatividade de Einstein, o que me influenciou grandemente na fascinação pela física teórica.
4) **Na universidade de Munique, Alemanha, fui aluno de Arnold Sommerfeld.**
5) Em 1921 recebi o grau de doutor, apresentando a teoria quântica do átomo.
6) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
7) Em 1925 desenvolvi meu trabalho mais conhecido o Princípio da exclusão, que diz que em um átomo, dois elétrons não podem ter a mesma energia, base da interpretação da valência e da impenetrabilidade da matéria.
8) **Ganhei o prêmio Nobel em 1945 pela minha descoberta do princípio da exclusão.**
9) Perca sua vez.
10) Em 1925 propus uma teoria para descrever porque os elétrons não decaem automaticamente dentro do átomo.
11) Meu primeiro nome é Wolfgang.
12) **Meu princípio afirma que é impossível que duas partículas dentro do mesmo sistema tenham o mesmo estado quântico simultaneamente.**
13) Volte 1 casa.
14) **Para explicar os padrões dos níveis de energia na tabela periódica calculei que os elétrons deveriam ser descritos por quatro números quânticos, três já eram conhecidos e o quarto foi descoberto tempos depois, o spin.**
15) Schroedinger utilizou da minha ideia para produzir uma nova visão para o modelo atômico que substituiu a ideia das órbitas regulares para os elétrons, por uma nuvem de probabilidade de encontra-lo.

COISA **LÂMPADA**

1) **Surgi no início do século XIX e sou um marco importante na história da vida do homem e da sociedade.**
2) Posso ser fluorescente, utilizando o modelo atômico de Bohr que excita os elétrons a camadas superiores e quando retornam emitem radiação eletromagnética.
3) **Perca sua vez.**
4) A minha primeira versão foi a incandescente, que é proibida a comercialização no Brasil atualmente, era compostas de um gás inerte e um fino filamento constituído de tungstênio que ao ser percorrido por uma corrente elétrica, se aquece até a incandescência.
5) **Minha versão fluorescente ganhou maior mercado do que a incandescente, por ser mais eficiente, ter uma vida útil de 4 a 15 vezes mais longa e 80% mais econômica.**
6) Emito radiação eletromagnética.
7) **Em 1879 o americano Thomas Alva Edison me inventa e começo a ser produzida em escala industrial.**
8) A mais recente criada de mim é a LED, são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível.
9) **As de LED convertem 40% da energia elétrica em energia luminosa enquanto uma incandescente apenas 5%, o restante é transformado em outras formas de energia como exemplo energia térmica.**
10) Sou encontrada em faróis, lanternas, casas e ruas.
11) **Avance 2 casas.**
12) Sou a maioria das vezes branca, mas também existo em diversas cores e tenho uma versão negra.
13) **Transformo energia elétrica em energia luminosa.**
14) O prêmio Nobel de 2014 em física foi para cientistas que descobriram o LED que produzia a cor azul, era o que faltava para a produção da minha versão em LED, pois o vermelho e o verde já existiam há muito tempo.
15) **Baseada na minha versão fluorescente foi possível produzir a televisão de plasma, com os mesmos princípios.**

COISA **LASER**

1) **Sou basicamente um amplificador óptico.**
2) Posso ser a gás (de hélio, neônio e CO_2), líquido (corantes) ou em estado sólido (usado em canetas e em leituras de CD's).
3) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
4) Minha luz difere da luz de uma lâmpada de filamento que tem a emissão de fótons desordenada, enquanto que meu processo de emissão é desencadeado por fótons já emitidos, de modo que todos os fótons acabam sendo idênticos.
5) **Minha cavidade ótica é formada por um espelho côncavo e um espelho plano, utilizados para amplificar a luz.**
6) Perca sua vez.
7) **Produzo luz.**
8) O funcionamento do tipo sólido são elétrons injetados no dispositivo que decaem para estados de mais baixa energia emitindo fótons com praticamente a mesma frequência característica do semicondutor.
9) **Minha luz pode ser utilizada para aquecer ou cortar regiões muito localizadas.**
10) Sou utilizado para leituras de códigos de barra.
11) **Sou utilizado em algumas cirurgias.**
12) Apareci devido aos estudos da teoria quântica da radiação, proposta por Albert Einstein.
13) **Sou um feixe de luz e apresento características diferentes da luz do sol ou de uma lâmpada incandescente.**
14) Sou um dispositivo que remete aos fenômenos de absorção e emissão de luz pelos átomos. O átomo absorve uma radiação e emite um fóton.
15) **O meu nome é uma abreviação, que traduzido para o português fica "Amplificação de luz por emissão estimulada de radiação."**

COISA **LUA**

1) **Se uma pessoa está muito distraída, dizem que ela esta no meu mundo.**
2) Júpiter tem mais de 60 catalogadas.
3) **Galileu Galilei foi o primeiro a ver algumas orbitando Júpiter com seu telescópio.**
4) Sou um satélite natural.
5) **Perca sua vez.**
6) Posso ser nova ou cheia.
7) **O sol me ilumina, na verdade ele é a minha luz.**
8) Aristóteles pensava que eu era perfeita, circular e lisa, mas Galileu Galilei descobriu crateras em mim.
9) **Às vezes sofro um eclipse.**
10) Estou a 384 403 km da terra e com uma velocidade de 1,03 km/s.
11) **As mais famosas são Europa, Ganímedes, Io e Calisto e orbitam o planeta Júpiter.**
12) Só mostro um lado para terra, à outra face nunca é vista.
13) **Minha força gravitacional é aproximadamente 6x menor do que na terra.**
14) Minha revolução em volta da Terra leva 27 dias, 7 horas e 43 minutos.
15) **Isaac Newton explicou minha órbita e as forças de atração ao relacionar a queda de uma maçã com a minha órbita ao redor da terra.**

COISA **LUZ**

1) Alhazen é o primeiro a dizer que eu ando em linha reta.
2) **Estou intimamente relacionada ao estudo da óptica.**
3) René Descartes, Robert Hooke e Cristian Huygens, acreditavam que eu era uma onda e em 1803 Thomas Young faz um experimento que comprova isso.
4) **Maxwell prevê minha velocidade no vácuo de quase 300.000 km/s e concluiu que sou uma onda eletromagnética.**
5) Newton disse que sou uma partícula.
6) **Por muitos anos procuraram o éter que seria meu meio de locomoção, porém, a experiência de Michelson e Morley comprava que esse meio não existe.**
7) Eu não preciso de nenhum meio para me propagar, ou seja, ando pelo vácuo.
8) **Sou uma onda eletromagnética que na faixa do visível tem frequência entre 4.10^{14} Hz até 8.10^{14} Hz.**
9) Também sou conhecida como fótons.
10) **As ondas de rádio, radares e raios gama, se propagam com a mesma velocidade que eu por serem ondas eletromagnéticas também.**
11) Einstein me define com uma velocidade invariante no vácuo, ou seja, não posso ser acelerada nem retardada, independente do referencial adotado.
12) **Sou um campo magnético e elétrico oscilante que percorre o espaço, uma onda eletromagnética e sou também uma partícula sem massa.**
13) Avance 2 casas.
14) **O vaga-lume me produz.**
15) Na teoria quântica da radiação sou uma onda-partícula.

COISA **RADIOATIVIDADE**

1) **Quem me intitulou foi Marie Curie.**
2) Estou presente em exames como raios-X, tomografia e mamografia.
3) **Tenho tudo a ver com meia-vida, método utilizado para a datação de tudo o que existe.**
4) Já ocorreram muitos acidentes me envolvendo como o de Chernobyl (Ucrânia em 1986), o do Césio-137 (Goiânia em 1987) e em Fukushima (Japão em 2011).
5) **Sou utilizada no tratamento de câncer e tumores.**
6) Fui utilizada na I guerra mundial para matar tecidos doentes e na II guerra mundial para construção da bomba atômica.
7) **Me refiro ao fenômeno de emissão espontânea de radiações por núcleos instáveis.**
8) Rutherford me definiu como um processo que acontece espontaneamente em alguns elementos químicos, e os transformam em elementos químicos diferentes.
9) **Os estudos sobre mim destruíram a ideia de que a matéria era imutável, mostrando que alguns elementos químicos sofriam mutações em suas propriedades gerando outros elementos diferentes.**
10) Sou uma propriedade atômica do urânio, plutônio, rádio, polônio.
11) **Avance 2 casas.**
12) A filha dos Curie Irene Joliot-Curie se casou com o físico Frédéric Joliot e juntos descobriram que poderiam me produzir artificialmente, partilhando o Nobel em 1935.
13) **O químico Soddy junto com o físico Rutherford demonstraram que eu envolvia um processo que um elemento espontaneamente se transformava em outro.**
14) Fui descoberta por Becquerel.
15) **O casal Peter e Marie Curie ganhou Nobel pelas descobertas de minhas propriedades, e mais tarde Marie ganhou outro Nobel também por estudos na mesma área.**

COISA **SOL**

1) **Gero energia através do processo de fusão nuclear, quando dois átomos se fundem e formam um novo átomo de outra substância, no caso hidrogênio é transformado em hélio.**
2) O processo que ocorre em meu interior é devido ao equilíbrio entre a atração para dentro da gravidade e a pressão para fora da fuga da radiação.
3) **Na visão de Aristóteles eu girava em torno da terra.**
4) Tenho um monte de "bolinhas" girando ao meu redor e esse sistema é heliocêntrico, descobertos por Nicolau Copérnico e apoiado por Galileu Galilei e Johannes Kepler.
5) **Galileu Galilei ficou cego de tanto me olhar com seu telescópio.**
6) Emito uma radiação que tem muitos comprimentos de onda desde Raios X até as ondas de rádio.
7) **Estou a 149 597 870 km da terra e minha temperatura média é de 5 507 °C**
8) Tenho 4,55 bilhões de anos.
9) **Sou responsável pela criação da aurora boreal e austral.**
10) Sou uma estrela pequena.
11) **Às vezes sofro um eclipse.**
12) Se você estiver no ponto mais próximo de mim, estará no periélio e se for no mais distante estará no afélio.
13) **Quando acontece uma tempestade aqui eu produzo ventos eletromagnéticos altamente radioativos.**
14) Se você se expuser a mim é melhor passar protetor UVA e UVB e utilizar óculos escuros.
15) **Para eu morrer, primeiro vou inchar e virar uma estrela vermelha e depois expelir muito material pela galáxia, me tornando uma anã branca. (vai demorar bilhões de anos)**

COISA **SOM**

1) **Sou definido como a propagação de uma frente de compressão mecânica ou onda longitudinal.**
2) Propago apenas em meios materiais.
3) **O ser humano só interpreta frequências entre 20Hz até 20000Hz.**
4) Minha propagação em meios gasosos depende fortemente da temperatura do gás.
5) **Os músicos me estudam.**
6) Estou relacionado ao efeito Doppler.
7) **Sou utilizado na medicina em um exame que procura analisar os órgãos, por exemplo, de um bebê, com uma frequência muito alta chamada de ultra.**
8) Existem aparelhos que me produzem.
9) **Se minha frequência estiver abaixo de 20Hz sou chamado de infra, e alguns animais as identificam, como exemplo, o cachorro, o morcego e o elefante.**
10) Avance 2 casas.
11) **A área da física que me estuda é chamada de acústica.**
12) Tenho cristas.
13) **Minhas características são intensidade, altura e timbre.**
14) Sou emitido na faixa ultra por alguns animais, como o morcego, que me utiliza para caçar e enxergar a noite e baseado nessa capacidade dos morcegos o homem criou o sonar.
15) **Não posso sofrer polarização como a luz.**

COISA **TELESCÓPIO**

1) **Não se sabe ao certo quem me inventou, mas o primeiro a me patentear foi Hans Lipperhey, em 1608, na Holanda.**
2) Sou responsável por grandes revoluções científicas no século XVII e muitos embates entre a ciência e a religião.
3) **Galileu foi o primeiro a me utilizar para o estudo científico do céu, ou seja, na astronomia.**
4) Me utilizando Galileu conseguiu ver as crateras da lua, e derruba a ideia Aristotélica de uma lua circular, perfeita e lisa.
5) **Escolha um jogador para avançar 1 casa.**
6) Os primeiros modelos foram construídos com lentes e funcionavam com base na refração da luz, por isso são chamados refratores.
7) **Os modelos mais utilizados são os chamados refratores, o primeiro a produzir foi Isaac Newton.**
8) Perca sua vez.
9) **Quanto menor a luminosidade, melhor é o meu resultado.**
10) Fui construído como artigo militar, para observar o campo inimigo.
11) **Outro nome dado a mim foi luneta, na verdade ela é considerada uma antecessora minha ou uma forma mais simples de mim.**
12) Sou encontrado em centros de pesquisas astronômicas.
13) **Registro imagens de galáxias, nebulosas e planetas.**
14) O Hubble é um dos mais famosos, é um instrumento espacial lançado na década de 1990.
15) **Existem versões minhas que detectam luz infravermelha e até raios x.**

TEORIA **RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO**

1) Era um desafio para a física clássica que nunca pode me explicar.
2) **Em 1859 Gustav Kirchhoff me nomeia e propõe minha primeira concepção dizendo que "um corpo ideal é aquele que absorve toda a radiação que incide sobre ele".**
3) Estou relacionada à "catástrofe do ultravioleta" por conta do meu comportamento na irradiação.
4) **Max Planck produz em 14/12/1900 um trabalho que me explica magnificamente e por isso essa data é considerado o nascimento da física moderna.**
5) Em termos técnicos, significo um absorvedor ideal, ou seja, aquele que absorve 100% da radiação que é incidida.
6) **Quando estou frio não reflito nenhuma luz, desse fato surge meu nome.**
7) Em 1893 o físico Wilhelm Wein, desenvolveu uma equação matemática para a distribuição da energia da radiação que emito, porém ela só era aplicada a altas frequências.
8) **Rayleigh e Jeans apresentaram uma expressão matemática para a minha distribuição da energia da radiação que emito, porém na prática ela só se adequava a baixas frequências.**
9) Para explicar a radiação que emito, Max Planck introduziu uma ideia revolucionária, sugeriu que a energia não era contínua, e sim, era como a matéria, existia em pequenas unidades ou pacotes, e as chamou de quantum.
10) **Minha energia emitida é expressa por $E = h.\nu$, onde E é a energia, h é a constante de Planck e ν é a frequência.**
11) Sou a explicação do fenômeno da matéria absorver energia térmica e emitir energia luminosa de forma descontínua, apenas em valores específicos, "pacotes", denominados quanta.
12) **Sou uma teoria predecessora dos conceitos da relatividade, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, entre outros.**
13) Minha definição: É o espectro contínuo de radiação emitido por um corpo que, quando frio, é um absorvedor perfeito de todos os comprimentos de onda.
14) **Sou a explicação do por que o carvão depois de certa temperatura passa a produzir radiação no espectro visível, aparentando se avermelhado.**
15) Uma garrafa térmica pode ser considerada uma, pois sua tampa é o local que a radiação adentra e pelo fato das paredes internas serem refletoras, impedem a saída da energia, fazendo com que toda a radiação incidente seja absorvida e mantida dentro dela.

TEORIA **RELATIVIDADE GERAL**

1) Defendo que todos os referenciais são equivalentes para as leis da física e não apenas os referenciais inerciais.
2) **Sou uma teoria que traz uma ideia inovadora sobre a gravidade.**
3) Torno obsoleta a formulação da força gravitacional de Newton.
4) **Explico à gravidade como um campo curvo no contínuo espaço-tempo.**
5) Prevejo que quanto maior a massa mais devagar o tempo passa.
6) **Por muito tempo fui tida como uma teoria opaca e difícil até para os maiores cientistas.**
7) Eu digo que um corpo acelerado ou em repouso é a mesma coisa, exemplo, é impossível prever se estamos acelerando ou em repouso dentro um elevador.
8) **Proponho que no espaço as massas curvam o espaço-tempo como em um pula-pula a pessoa deforma-o com seu peso.**
9) Nessa teoria é atribuído o tempo como a quarta dimensão, além, do comprimento, altura e largura.
10) **Explico as órbitas dos planetas, são elipses por que torna o caminho mais curto a ser percorrido devido à curvatura do espaço-tempo.**
11) Fui publicada em 1915 por Albert Einstein, que esperava receber o prêmio Nobel pelo meu desenvolvimento, porém, isso nunca ocorreu.
12) **Essa teoria se propõe a descrever como o espaço-tempo interage com a matéria ao longo do universo.**
13) Explico a órbita irregular do planeta Mercúrio ao redor do Sol.
14) **Minha comprovação veio por um eclipse solar (quando a lua fica entre o sol e a terra) em 29 de maio de 1919 que provou que o sol curva os raios luminosos das estrelas, na cidade de Sobral no Ceará, aqui no Brasil.**
15) Sou uma extensão da teoria da Relatividade Restrita que foi proposta em 1905.

TEORIA **RELATIVIDADE RESTRITA**

1) Modifico as ideias imposta por Isaac Newton sobre o tempo, o espaço, a simultaneidade e a velocidade.
2) **Perca sua vez.**
3) Fui desenvolvida por Einstein em 1905.
4) **A melhor maneira para me compreender é por "Gedanken", que significa uma experiência de pensamento.**
5) Eu prevejo uma dilatação para o tempo e uma contração para o espaço.
6) **Eu prevejo um aumento de massa para corpos em movimentos acelerados.**
7) Segundo essa teoria a velocidade da luz é invariante, ou seja, não muda independente do referencial adotado.
8) **Eu explico que é impossível se acelerar a velocidade da luz, e justifico dizendo que á velocidade da luz o tempo para e a massa torna-se infinita.**
9) $E= m.c^2$ faz parte de mim.
10) **Alguns me definem como "tudo é relativo", porém, não é isso o que eu prego, e sim, que ao contrário do que se pensava, tempo e espaço são a mesma grandeza e são relativos, e que a velocidade da luz é absoluta, ou seja defino grandezas que eram absolutas como relativas e grandezas consideradas relativas como absolutas.**
11) Defino simultaneidade (a ocorrência ao mesmo tempo de dois eventos), como algo relativo, ou seja, dois eventos podem ocorrer simultâneos para um observador e em tempos diferentes para outro, estando os dois certos na afirmação.
12) **Nessa teoria não existe referencial absoluto, nem privilegiado (o famoso éter).**
13) Parte de mim foi comprovada em 1971, utilizando relógios de césio, que marcam o tempo com precisão de um milionésimo de segundo, cientistas verificaram o efeito da dilatação temporal relacionadas a velocidades, e os resultados foram compatíveis com as previsões teóricas.
14) **Dentro de mim existe o paradoxo dos gêmeos, muito conhecido onde um dos gêmeos fica na terra e outro é enviado a uma viagem a altas velocidades ao espaço, passado determinado tempo ele volta, porém mais jovem que o gêmeo que ficou na terra, ou seja o tempo passou lentamente para o gêmeo viajante.**
15) As transformações matemáticas de Lorentz é um de meus pilares.

COISA **ESPAÇO SIDERAL**

1) Os satélites me observam.
2) **Aqui a gravidade é zero.**
3) Perca sua vez.
4) **Pra vir pra cá é preciso tomar uma aeronave espacial e usar um traje especial.**
5) Aqui não há oxigênio.
6) **O que mais existe aqui é hidrogênio.**
7) Aqui se aplica a relatividade de Albert Einstein.
8) **A NASA é uma agência americana responsável por algumas pesquisas sobre mim.**
9) Daqui posso ver todos os planetas.
10) **Não se sabe onde eu começo nem onde eu termino, aliás, estou sempre em expansão.**
11) Poeiras cósmicas, nebulosas e meteoros podem ser encontrados aqui.
12) **Aqui há ondas gravitacionais.**
13) Aqui há radiações de toda a espécie, como infravermelha, ultravioleta, raios-X entre outras.
14) **Sou dividido em três: interplanetário, interestelar e intergaláctico.**
15) Tem muitos buracos negros aqui.

TEORIA **EFEITO FOTOELÉTRICO**

1) Fui descoberto por Hertz em 1897 e explicado por Einstein, fazendo o ganhar o prêmio Nobel em 1921.
2) **Sou baseado na ideia de pacotes de energia de Planck.**
3) Minha energia é encontrada multiplicando a constante de Planck pela frequência da luz.
4) **Sou o nome dado quando a luz atinge certos metais e faz com que a superfície deles emita elétrons.**
5) A física clássica não conseguiu me explicar.
6) **Ao contrário do que se esperava a intensidade não interfere na experiência que explico, estou relacionada com a cor da luz, ou seja, com seu comprimento de onda.**
7) Einstein postulou que a radiação de alta frequência deveria arremessar elétrons com mais energia que a radiação de baixa frequência.
8) **Os elétrons se difratam e isso me torna possível.**
9) A luz arranca elétrons de uma placa metálica e isso somado a experiência de dupla fenda do Thomas Young, me justifica.
10) **Algumas das minhas aplicações: controle automático de portas e de esteiras de supermercados.**
11) Perca sua vez.
12) **Avance 2 casas.**
13) Uma das minhas características é que número de fotoelétrons aumenta com o aumento da intensidade da radiação e não a energia de cada fotoelétron.
14) **Essa teoria explica que existe uma energia mínima para tipo de metal para que seja possível retirar seus elétrons.**
15) Na visão clássica esperava que eu deveria ocorrer para qualquer frequência da radiação e que a energia dos elétrons ejetado deveria aumentar com o aumento da radiação utilizada e nada disso acontecia.

TEORIA **ELETRODINÂMICA QUANTICA (QED)**

1) Sou uma das teorias testadas com maior precisão da história da ciência.
2) **Sou uma teoria que descreve a interação entre a luz e a matéria no nível mais fundamental.**
3) Sou uma teoria que descreve todas as interações entre elétrons ou entre elétrons e campos elétricos ou magnéticos, em termos de absorção e emissão de fótons pelos elétrons.
4) **Uma parte fundamental dessa teoria são os diagramas de Richard Feynman, que são uma espécie de atalho calculacional, são desenhos que representam cálculos complexos.**
5) Sou uma teoria quântica para o eletromagnetismo.
6) **Quando surgi explicava a interação das partículas através da troca de eletromagnetismo.**
7) Richard Feynman me chamou de teoria estranha e foi pioneiro no meu desenvolvimento.
8) **Sou explicada por meio de partículas virtuais.**
9) Dentro dessa teoria quântica de campo as partículas mensageiras são conhecidas como "bósons de calibre".
10) **Em 1940 o físico Shin'ichiro Tomonaga com mais outros dois físicos Richard Feynman e Julian Schwinger desenvolveram versões matemáticas que fossem compatíveis com os resultados experimentais.**
11) Por ser muito complexa Feynman desenvolveu simples representações ilustradas das possíveis interações eletromagnéticas entre partículas, que ficou conhecida como diagramas de Feynman e foi bem aceito na comunidade científica se incorporando a essa teoria.
12) **Sou o significado da sigla em inglês QED.**
13) Em 1965 o prêmio Nobel foi para meus três idealizadores.
14) **Sou a descrição matemática que me incorpora descreve interações eletromagnéticas como a soma de probabilidades de cada caminho individual, o que inclui caminhos onde as partículas se deslocam voltando no tempo, por isso o nome de teoria estranha.**
15) Sou uma teoria tão bem sucedida que me tornei modelo para teorias semelhantes de forças fundamentais como a cromodinâmica quântica que descreve a força nuclear.

TEORIA **EQUAÇÃO DE SCHROEDINGER**

1) Perca sua vez.
2) **Sou uma função utilizada para calcular o estado de uma partícula microscópica e sua evolução no tempo, igual se utiliza as leis de Newton para prever a posição de um objeto macroscópico.**
3) O postulado de De Broglie forneceu um passo fundamental para meu desenvolvimento.
4) **Especifico as leis do movimento ondulatório para qualquer partícula de um sistema microscópico.**
5) Fui obtida pela primeira vez em 1926 e levo o sobrenome de quem me enunciou.
6) **Sou uma equação matemática que faz parte da mecânica quântica.**
7) O meu significado exato não fica imediatamente claro, o que faz ser preciso uma interpretação do meu resultado.
8) **Meu inventor é um austríaco chamado Erwin.**
9) Sou uma função matemática que tem um valor em cada ponto do espaço, esse valor pode ser positivo, negativo, zero ou até mesmo um número complexo (imaginário).
10) **Sou uma equação matemática que expressa apenas probabilidades e nunca resultados absolutos.**
11) Foi sobre mim e minhas previsões que Einstein disse que "Deus não joga dados", ele nunca acreditou em um mundo probabilístico.
12) **Faço parte da Interpretação de Copenhague, podendo colapsar em apenas um resultado.**
13) Tenho relação com a energia cinética da mecânica clássica, porém, aperfeiçoada incluindo a constante de Planck e a lei de De Broglie, ligando a cinética de uma partícula ao seu comprimento de onda.
14) **Max Born que descobre que eu media uma amplitude de probabilidade.**
15) Na forma mais genérica eu mostro o desenvolvimento de um sistema quântico ao longo do tempo.

TEORIA **FÍSICA MODERNA**

1) Sou a ciência que trata desde a imensidão do cosmo até a menor partícula indivisível.
2) **Trouxe ao mundo concepções inteiramente novas da realidade e novas verdades para considerar.**
3) Muita coisa a nossa volta na Idade Moderna se deve a minha existência, de automóveis a eletrodoméstico, do laser a usina elétrica.
4) **Modifico a compreensão dos fenômenos físicos na medida em que se aplicam em velocidades altas (próximas a da luz), em objetos imensos (estrelas supermassivas) e nos diminutos elementos constitutivos da matéria (como elétrons, prótons, quarks, etc).**
5) Três Nobel dados num período de cinco anos por trabalhos em campos quânticos marcaram a minha aceitação pelo mundo da ciência.
6) **Minha data de nascimento é tida como 14/12/1900, com uma publicação de Max Planck.**
7) A quem diga que induzo a filosofia, por defender que o observador interfere na experiência pelo simples fato de olhar a experiência.
8) **Dualidade, relatividade, buraco negro e incerteza, são alguns de meus temas.**
9) Segundo Dirac essa teoria explicou "a maior parte da física e a totalidade da química".
10) **Sou subdivida em dois grandes ramos: Relatividade e Mecânica Quântica.**
11) Avance 2 casas.
12) **Imponho limites ao que podemos saber do universo e das propriedades neles inseridos.**
13) Aqui definiu se a propriedade onda-partícula da matéria-energia.
14) **Trouxe ao mundo concepções inteiramente novas da realidade e novas verdades para considerar.**
15) Sou uma das divisões do estudo da física, abranjo todas as descobertas feitas a partir de 1900.

NOBEL 1927

1) **O fisico Arthur H. Compton me recebe junto com Charles Thomson Rees Wilson.**
2) Fui concedido pela descoberta do efeito Compton, o espalhamento de elétrons com comprimento de onda maior do que os raios X incidentes e pelo método de tornar visiveis os caminhos das partículas carregadas eletricamente por condensação de vapor.
3) **A teoria da dualidade onda-partícula de De Broglie é comprovada pelas experiências de Germer, Davisson e G. P. Thomson (filho de J.J. Thomson).**
4) O fisico Werner Heisenberg propõe seu principio da incerteza ou indeterminação, que prediz que é impossível se conhecer simultaneamente a velocidade e a posição de um elétron.
5) **Clinton J. Davisson faz uma série de investigações em seu laboratório e descobre a difração do elétron, o que 10 anos mais tarde o leva a ganhar o Nobel.**
6) Enrico Fermi com Paul Dirac desenvolvem a teoria estatística da mecânica quântica.
7) **Foi realizado entre os dias 20 e 21 de maio, o primeiro voo sem escalas a cruzar o Oceano Atlântico, pelo piloto americano Charles Lindbergh.**
8) Nesse ano ocorreu uma reunião dos grandes, na Solvay Conference de física, em Bruxelas. Entre outros nomes estão Schroedinger, Heisenberg, Dirac, Einstein, De Broglie e Marie Curie.
9) **Heisenberg e Bohr propõe a famosa interpretação de Copenhague de como os eventos em nivel quântico afetam o mundo em larga escala.**
10) George Leaître propõem que o universo pode ser traçado de volta a um único ponto de origem, a teoria Big Crunch.

NOBEL 1929

1) **Paul Dirac dá uma enorme contribuição à física: a teoria do elétron giratório, spin.**
2) Enrico Fermi é eleito membro da Academia de Ciências da Itália, tornando-se seu mais jovem acadêmico.
3) **Avance 2 casas.**
4) César Lattes entrava no primário da Escola Americana de Curitiba.
5) **Erwin Hubble descobre que o universo está se expandindo.**
6) Nasce Peter Higgs, que propôs a existência da partícula de Deus e ganhou o Nobel em 2013 depois da descoberta experimental dela no CERN.
7) **O dirigível alemão Graf Zeppelin completa volta ao mundo.**
8) Iniciou uma grande depressão econômica mundial, cujo início é marcado pela quebra da Bolsa de Valores de Nova York.
9) **Quem me recebe é o príncipe Louis De Broglie.**
10) Fui concedido pela sua descoberta da natureza ondulatória dos elétrons.

NOBEL 1932

1) **Paul Dirac foi nomeado Lucasian professor de matemática da University of Cambridge.**
2) Amelia Earhart mostrou que os homens não eram os únicos capazes de pilotar aviões. Ela atravessa o oceano Atlântico em 21 de maio, mas some misteriosamente ao tentar dar a volta no mundo pelo ar.
3) **Agraciei um jovem, que compõe um dos mais jovens a me receber.**
4) O ganhador foi Werner Heisenberg.
5) **No ano anterior Leó Szilárd inventou o microscópio de elétrons.**
6) James Chadwick descobre o nêutron.
7) **Carl Anderson encontra o pósitron, antipartícula do elétron.**
8) Avance 2 casas.
9) **Fui concedido pelos estudos da mecânica quântica.**
10) No Brasil é criado o sufrágio eleitoral feminino e a jornada de oito horas de trabalho.

NOBEL 1933

1) Louis De Broglie é admitido como Membro da Academia de Ciências.
2) **Erwin Schroedinger me obtém devido a sua famosa função de onda do elétron, enorme contribuição para a mecânica quântica, mas tem que me dividir com Paul Dirac.**
3) Paul Dirac me obtém pelas novas formulações da teoria atômica, mas tem me dividir com Erwin Schroedinger.
4) **Getúlio Vargas é o presidente provisório do Brasil até o ano que vem e depois continua no poder até 1954.**
5) Nesse ano Erwin Schroedinger deixa a Alemanha.
6) **É lançado o avião Boeing 247 que atingia a velocidade de 322 km/h.**
7) Avance 2 casas.
8) **Nesse ano os químicos britânicos Karl Rehn e Reginald Gibson criam o primeiro poliestireno prático.**
9) A teoria de Enrico Fermi do decaimento Beta descreve a força fraca.
10) **Adolf Hitler alcança o poder e se torna chanceler na Alemanha.**

PESSOA WOLFGANG **PAULI**

1) Fui considerado um dos mais brilhantes físicos teóricos do século XX.
2) **Desenvolvi pesquisas que levaram a descoberta da partícula neutrino.**
3) Fui capaz de entender a teoria geral da relatividade de Einstein, o que me influenciou grandemente na fascinação pela física teórica.
4) **Na universidade de Munique, Alemanha, fui aluno de Arnold Sommerfeld.**
5) Em 1921 recebi o grau de doutor, apresentando a teoria quântica do átomo.
6) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
7) Em 1925 desenvolvi meu trabalho mais conhecido o Princípio da exclusão, que diz que em um átomo, dois elétrons não podem ter a mesma energia, base da interpretação da valência e da impenetrabilidade da matéria.
8) **Ganhei o prêmio Nobel em 1945 pela minha descoberta do princípio da exclusão.**
9) Perca sua vez.
10) Em 1925 propus uma teoria para descrever porque os elétrons não decaem automaticamente dentro do átomo.
11) Meu primeiro nome é Wolfgang.
12) **Meu princípio afirma que é impossível que duas partículas dentro do mesmo sistema tenham o mesmo estado quântico simultaneamente.**
13) Volte 1 casa.
14) **Para explicar os padrões dos níveis de energia na tabela periódica calculei que os elétrons deveriam ser descritos por quatro números quânticos, três já eram conhecidos e o quarto foi descoberto tempos depois, o spin.**
15) Schroedinger utilizou da minha ideia para produzir uma nova visão para o modelo atômico que substituiu a ideia das órbitas regulares para os elétrons, por uma nuvem de probabilidade de encontra-lo.

TEORIA **DUALIDADE (ONDA-PARTÍCULA)**

1) Fui inicialmente aplicada à luz no efeito fotoelétrico, por Albert Einstein.
2) **Sou uma explicação que diz que algo pode ser duas coisas diferentes.**
3) O efeito do espalhamento de Compton nos raios X me comprova.
4) **Louis De Broglie é famoso em me propor como simetria entre luz e matéria.**
5) Sou baseado nas ideias de Max Planck sobre o quantum.
6) **A comunidade científica não me aceitou muito bem como teoria, mas fui provada experimentalmente o que me tornou uma base da física quântica.**
7) Uma partícula material tem comprimento de onda. E uma onda é um facho de partículas.
8) **O elétron foi muito estudado para me justificar.**
9) Vários físicos contribuíram para minha aceitação e para desenvolverem a matemática para me explicar.
10) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
11) A luz é a mais famosa nessa teoria, na verdade foram anos de discussão sobre sua natureza e no fim eu sou a natureza da luz.
12) **Perca sua vez.**
13) Só posso ser verificada em nível atômico, ou seja, em substâncias muito pequenas, no cotidiano passo despercebido.
14) **No final dos anos vinte, Bohr, Born, Schroedinger, De Broglie, Pauli, Dirac e outros me transformaram em uma teoria bem fundamentada.**
15) J.J. Thomson e G. P. Thomson, pai e filho ganharam o Nobel, um em 1906 por descobrir o elétron e defini-lo como partícula e o filho em 1937 por mostrar a propriedade ondulatória do elétron. Entendeu?

TEORIA **BIG BANG**

1) Sou uma teoria sobre a origem do universo.
2) **Em 1922 o matemático Alexander Friedmam, resolvendo as equações cosmológicas de Einstein, concluiu que realmente sou verdadeira.**
3) Em 1929 Georges Lemaître e George Gamow postularam essa teoria.
4) **Sou uma teoria que prevê que o universo começou como um grumo superdenso de matéria que, segundo meus precursores, explodiu por razões desconhecidas.**
5) Meu nome foi dado por George Gamow, que propôs um modelo detalhado de como eu poderia ter sido e previu que existia uma radiação causada pela alta temperatura, o que foi confirmada em 1965.
6) **Sou uma teoria que prevê um espaço em expansão devido a uma explosão de um átomo primordial.**
7) Os aceleradores de partículas tentam reconstruir as mesmas condições que existiam nessa teoria.
8) **Fui baseada nas descobertas de Edwin Hubble: se o universo está se expandindo significa que ele já foi menor, e o que iniciou essa expansão? Eu!**
9) Não sou uma teoria completa, ainda existem lacunas a serem preenchidas. Um exemplo é: O universo estará sempre em expansão? Ou algum dia ele inverterá e começara a se contrair?
10) **A descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas confirma essa teoria.**
11) Uma teoria rival foi proposta por Fred Hoyle, é conhecida como "estado estacionário" e defende a ideia que a matéria é continuamente criada no universo.
12) **Perca sua vez.**
13) Em 1950 começaram a procurar vestígios que me tornaria uma teoria aceitável, Alpher e seu colega engenheiro Herman, descobriram ao acaso a radiação cósmica de fundo que me evidenciou.
14) **Venho sendo aprimorada conforme as novas descobertas, porém, os eventos que me originaram ainda permanecem desconhecidos.**
15) Aconteci a aproximadamente 15 bilhões de anos atrás.

TEORIA **EFEITO COMPTON**

1) Sou a explicação da radiação de raios X não ser espalhada de modo consistente com a natureza ondulatória.
2) **Em colisões a radiação comporta-se como um feixe de partículas com energia = hxf.**
3) Fiz com que a teoria fotoelétrica da luz de Einstein fosse aceita na comunidade científica.
4) **Sou um efeito que mostra que os raios X tem comportamento corpuscular semelhante ao da luz proposto por Einstein.**
5) Avance 2 casas.
6) **Meu idealizador foi Arthur Holly Compton.**
7) Foi demonstrado que os fótons do raios-X têm momento linear e esse momento linear é transferido para outras partículas nas colisões.
8) **Outro nome dado a mim foi espalhamento de Compton.**
9) Perca sua vez.
10) **Sou um efeito.**
11) Fui proposta em 1923 e motivo para o prêmio Nobel de 1927.
12) **Sou uma comprovação da natureza de onda-partícula.**
13) Sou contemporânea das teorias do princípio da incerteza, da relatividade geral, da radioatividade, entre outras.
14) **Posso ser interpretado como uma colisão entre um fóton de raio-X e um elétron do material alvo.**
15) Para chegar ao meu resultado utilizou: um colimador, uma fonte de raios-X, um anteparo (no caso um cristal de grafite) e um detector.

NOBEL **1921**

1) O físico Wolfgang Pauli recebe o grau de doutor, apresentando a teoria quântica do átomo.
2) **Max Born é nomeado diretor do Instituto de Física Teórica de Göttingen.**
3) Surge o emissor de rádio da Torre Eiffel, em Paris, e acontece a primeira transmissão ao vivo de um evento esportivo: uma luta de boxe acompanhada por 330 mil ouvintes.
4) **O laureado foi Albert Einstein.**
5) Fui concedido pela descoberta do efeito fotoelétrico da luz, que demonstra e explica a transformação da luz em energia elétrica.
6) **Faz 6 anos que Albert Einstein propôs sua teoria da relatividade geral.**
7) O Partido Fascista é fundado oficialmente na Itália e tem uma grande expansão.
8) **No Brasil é criado o jornal Folha de São Paulo.**
9) Avance 1 casa.
10) **Estou na década de 20.**

NOBEL **1922**

1) **O físico George Paget Thomson é nomeado professor de física em Aberdeen.**
2) O físico Enrico Fermi obtém o grau de doutor na Universidade de Pisa.
3) **Avance 2 casas.**
4) Concedido o Nobel em física pelos estudos da estrutura dos átomos e da radiação que emana deles.
5) **Acontece a semana da arte moderna no teatro municipal de São Paulo.**
6) É criado o Partido Comunista Brasileiro (PC do B).
7) **Em números romanos sou MCMXXII.**
8) Estou no na década de 20.
9) **O premiado foi Niels Bohr.**
10) É eleito o Papa Pio 11.

NOBEL **1923**

1) **O físico Arthur H. Compton desenvolve uma experiência com raios X e descobre o espalhamento de Compton ou efeito Compton, que é o fato de os elétrons se espalharem com comprimentos de onda superiores ao que foi incidido no alvo.**
2) Werner Heisenberg que foi discípulo de Arnold Sommerfield, se doutorou em física na Universidade de Munique
3) **Wolfgang Pauli foi nomeado professor da Universidade de Hamburgo.**
4) Avance 2 casas.
5) **Edwin Hubble confirma que as espirais nebulosas são galáxias distantes.**
6) Fui concedido pelos estudos sobre a carga elementar.
7) **Edgard Roquete Pinto e Henry Morize fundam em 20 de abril a primeira estação de rádio do Brasil.**
8) Morre Gustave Eiffel criador da torre que leva seu nome em Paris e que participou da construção da Estatua da Liberdade, nos EUA.
9) **Quem me recebeu foi Robert Andrews Millikan.**
10) No Rio Grande do Sul acontece uma revolução contra o voto cabresto e a reeleição de Borges de Medeiros como governador.

NOBEL **1925**

1) Werner Heisenberg, Ernst Jordan, Erwin Schroedinger, Niels Bohr e Paul Dirac, formulam a nova teoria da Mecânica Quântica.
2) **Avance 1 casa.**
3) Werner Heisenberg se transfere de Gottingen, onde era professor no centro universitário para trabalhar com Niels Bohr em Copenhague.
4) **Fui concedido pelas descobertas das leis que descrevem o impacto entre elétrons e átomos, criando o conceito do nível de energia do elétron dentro do átomo.**
5) Ano passado Louis De Broglie prediz que a matéria se comporta como partícula e como onda.
6) **Mussolini toma-se o Duce (o condutor supremo da Itália) e o fascismo começava a mostrar sua verdadeira face de ditatura.**
7) Laureei James Franck e Gustav Hertz.
8) **John Baird, engenheiro escocês, realiza a primeira transmissão televisiva de um objeto em movimento.**
9) A soma dos meu dois últimos algarismos é 7.
10) **Estou na década de 20.**

TEORIA **INTERPRETAÇÃO DE COPENHAGUE**

1) Sou considerado uma interpretação da mecânica quântica.
2) **Sou a combinação da complementaridade de Niels Bohr com a relação de incerteza de Werner Heisenberg.**
3) Implico na divisão do mundo físico em um sistema observado e um sistema observador.
4) **As partículas atômicas não existem com certeza em certos lugares, explico que é apenas probabilidade de existir.**
5) Albert Einstein foi contrário a mim, não me aceitou como explicação física e morreu combatendo minhas ideias.
6) **Einstein, Podolsky e Rosen, desenvolveram um paradoxo, para me atacarem. Esse paradoxo era um experimento mental que media momento e posição de uma partícula, porém, era inválido.**
7) Dentro de mim ainda existe a experiência mental famosa do gato de Schroedinger.
8) **Defendo a ideia que o ato de observar um fenômeno quântico faz com que a função de onda colapse em um dos inúmeros resultados possíveis.**
9) Trago muitas discussões e problemas por separar as leis da física em microscópicas e macroscópicas e defender que elas não são aplicáveis uma na outra.
10) **Sou uma teoria que tenta conciliar a incerteza quântica com a realidade.**
11) Sou uma interpretação bem aceita no mundo científico.
12) **Uma demonstração que sou coerente são os experimentos da difração dos elétrons e da dupla fenda com a luz, você pode observar a natureza ondulatória, mas não pode averiguar a propriedade de partícula usando o mesmo aparato, ou seja, é impossível verificar as duas propriedades simultaneamente.**
13) Sou uma interpretação que descreve a forma como os sistemas quânticos interagem como mundo em grande escala.
14) **Meu elemento-chave é o princípio da incerteza, proposto por Heisenberg, que limita a precisão com que podemos determinar as propriedades dos sistemas quânticos.**
15) Uma teoria que tenta explicar a mesma coisa que eu é a teoria de Muitos Mundos de Hugh Everett III.

TEORIA **INTERPRETAÇÃO DE MUITOS MUNDOS**

1) Sou uma dentre outras teorias que procurou encontrar uma forma mais satisfatória de tratar o problema da medição quântica.
2) **Sou concorrente da interpretação de Copenhague, proposta antes de mim por Niels Bohr, Werner Heisenberg e Erwin Schroedinger.**
3) Defendo a ideia de que algum ramo da função de onda do universo evolui unitariamente em outro estado quântico.
4) **Volte 1 casa.**
5) Fui proposta pelo físico americano Hugh Everett III.
6) **Proponho que ocorre descoerência entre os ramos da função de onda, não ocorrendo a possibilidade de interferência entre as partes diferentes da função, o que torna efetivamente universos separados e inacessíveis.**
7) Perca sua vez.
8) **Defendo que as coisas que acontecem em outros universos não podem interagir com o nosso universo.**
9) Sou uma teoria amplamente aceita na cultura popular.
10) **Prevejo a existência de um número quase infinito de universos alternativos em que os eventos seguiram caminhos diferentes daqueles que vemos.**
11) As descoerências são interações flutuantes com o ambiente que obscurecem os efeitos da interferência entre as partes da função de onda.
12) **Explico que a função de onda sempre e em toda a parte evolui de acordo com a equação de Schroedinger, mas só podemos ver apenas um pequeno pedaço da função de onda maior do universo, as outras partes são apresentadas em mundos paralelos ao nosso.**
13) Outros nomes que sou conhecida são: Muitas histórias, Muitas mentes, Histórias descoerentes, formulação de estado relativo e teoria da função de onda universal.
14) **Giordano Bruno no século XVII é queimado por manifestar uma ideia parecida a minha, a previsão de outros mundos.**
15) Defendo uma ideia de multiverso, que vai se ramificando toda vez que uma observação é feita.

TEORIA **MECÂNICA QUÂNTICA**

1) Grande parte dos meus problemas gira em torno da interpretação dessa teoria.
2) **Werner Heisenberg com seu princípio me impõe como uma nova visão da teoria clássica.**
3) Niels Bohr foi um dos arquitetos de uma das minhas interpretações que ficou conhecida como interpretação de Copenhague.
4) **Um dos princípios fundamentais dessa teoria é a ideia dos estados permitidos: um objeto quântico só pode ser observado em um de um número limitado de estados permitidos.**
5) Nessa teoria o ato de medir o estado de um objeto determina definitivamente o estado daquele objeto.
6) **Sou a interpretação do mundo muito pequeno.**
7) Um de meus estudos é sobre a dualidade onda-partícula, que prediz que a matéria tem propriedades de onda e de partícula.
8) **Para me interpretar é preciso reconhecer a probabilidade como um traço fundamental da realidade atômica que governa todos os processos da matéria e até sua existência.**
9) Um problema conceitual que tenho é o efeito da não-localidade, que significa que diferentes partes de um sistema quântico parecem se influenciarem mesmo a distâncias muito grandes.
10) **Sou responsável pelo entendimento da natureza quântica do elétron, devido a isso foi possível à fabricação dos chips semicondutores, presentes em computadores, televisores e celulares.**
11) No final dos anos vinte, Bohr, Born, Schroedinger, De Broglie, Pauli, Dirac e outros me transformaram em uma teoria bem fundamentada.
12) **A equação de Erwin Schroedinger que mostra o desenvolvimento de uma partícula no tempo é uma das minhas bases.**
13) A QED (eletrodinâmica quântica) é um dos meus pilares, junto com a Cromodinâmica quântica.
14) **Como a mecânica newtoniana explica a evolução no tempo das partículas, eu faço a mesma coisa só que para partículas muito pequenas.**
15) Uma de minhas interpretações foi desenvolvida por Hugh Everett III e é conhecida como Interpretação de Muitos Mundos.

TEORIA **MODELO PADRÃO**

1) Sou abordada pela QED (eletrodinâmica quântica) no que tange as partículas virtuais que fazem parte de mim, assim como a cromodinâmica, teoria das interações fortes.
2) **Murray Gell-Man quem me propôs, sendo um dos maiores físicos na minha produção.**
3) Aqui você encontra estranhos e charmosos.
4) **Sou conhecido também como zoológico das partículas.**
5) César Lattes também deu sua contribuição ao meu desenvolvimento com a descoberta experimental do méson π.
6) **O bóson de Higgs me completa, por descrever como as partículas ganham massa, a famosa partícula de Deus.**
7) Os aceleradores de partículas são as experiências que me tornaram possível por descobrirem novas partículas e suas propriedades.
8) **Organizo cada partícula pela sua característica encontrando assim a sua família.**
9) Identifico as interações das partículas.
10) **Aqui a antimatéria tem vez e lugar.**
11) Separo em Léptons (não tem estrutura interna) e hádrons (tem estrutura interna, são constituídas de partículas menores) e os hádrons são divididos em Bárions (formadas por três quarks) e Mésons (formadas por um quark e um antiquark).
12) **Sou conhecida como o modelo, mas na verdade sou uma teoria.**
13) Aqui são previstas as quatro forças fundamentais da natureza: Forte, fraca, eletromagnética e gravitacional, lembrando que a gravitacional não se encaixa bem aqui.
14) **A gravidade não está bem definida aqui e tem o único bóson de calibre que não foi detectado, o gráviton, que é proposto nessa teoria.**
15) Perca sua vez.

NOBEL **1937**

1) **O dirigível Hindenburg explode em 6 de maio, matando 37 das 97 pessoas a bordo e abre caminho para o domínio dos aviões de passageiros comerciais.**
2) E os laureados pelo Nobel são Clinton Joseph Davisson e George Paget Thomson.
3) **Fui concedido pela descoberta experimental da difração de elétrons por cristais.**
4) Avance 2 casas.
5) **Inicia-se a ditadura do Estado Novo de Getúlio Vargas no Brasil que dura até 1945.**
6) No ano que vem Chester Carlson, físico e inventor norte-americano, apresenta a patente relativa ao invento do chamado processo Xerox.
7) **Morre em Roma Guglielmo Marconi o inventor da radiotelegrafia sem fio, o que o fez ganhar o prêmio Nobel em 1909.**
8) A marca Volkswagen é fundada nesse ano pela indústria automobilística alemã com o objetivo de conceber um carro para o povo alemão, claro que a ideia foi de Adolf Hitler.
9) **Sou um número impar.**
10) Estou na década de 30.

NOBEL **1945**

1) **O físico Arthur H. Compton dirigiu o projeto de pesquisa do governo, sobre o plutônio, e o Argonne National Laboratory.**
2) John von Neumann descreve a estrutura lógica básica do computador moderno com programa armazenado.
3) **No ano que vem será exposto o ENIAC, primeiro computador eletrônico programável, parcialmente baseado nos conceitos de Alan Turing.**
4) Nesse ano o Japão presencia o poder de destruição da bomba atômica, decretando o fim da II Guerra Mundial.
5) **O ganhador do Nobel é Wolfgang Pauli.**
6) Fui concedido pela descoberta do Princípio de Exclusão, também chamado de Princípio Pauli.
7) **Chega ao fim à ditadura do Estado Novo de Getúlio Vargas no Brasil iniciada em 1937.**
8) Foi fundado o Partido Trabalhista Brasileiro - PTB sob influência de Getúlio Vargas.
9) **Nasce Raul Seixas, cantor e compositor brasileiro.**
10) Avance 2 casas.

NOBEL **2013**

1) **Ano passado morreu o primeiro homem a pisar na lua.**
2) Agraciei o criador da previsão do Bóson de Higgs, quase 50 anos depois.
3) **No ano anterior é um ano apocalítico, pois era anunciado o fim do mundo.**
4) Sou do século XXI.
5) **Sou fornecido a dois físicos pela previsão da "partícula de Deus".**
6) Um Incêndio na boate Kiss mata 242 no RS.
7) **Papa Bento XVI renuncia ao pontificado.**
8) Peter Higgs e François Englert me compartilham.
9) **Um movimento contra o aumento do preço do transporte em algumas capitais desencadeou a maior onda de protestos da história do país.**
10) Morre Nelson Mandela líder da luta contra o Apartheid, na África do Sul.

NOBEL **2014**

1) **Foi concedido aos japoneses Isamu Akasaki e Hiroshi Amano e ao americano Shuji Nakamura.**
2) Avance 1 casa.
3) **Laureei os inventores da lâmpada de LED.**
4) Surgem novos casos de EBOLA na África.
5) **A Crimeia é anexada à Rússia.**
6) Morre o ator Roberto Bolaños, que interpretava o Chaves e o Chapolin.
7) **O estado de São Paulo passou pela pior seca já registrada nos últimos 70 anos.**
8) A copa do mundo é no Brasil.
9) **Morre o candidato a presidência do Brasil Eduardo Campos em uma queda de avião, fato que chocou o país.**
10) Avance 2 casas.

PESSOA **MARIE CURIE**

1) Sou a única pessoa a ganhar dois Nobel em áreas diferentes, um em física e outro em química.
2) **Meu nome de solteira é Maria Salomea Skldowska.**
3) Nasci na Polônia em 1867, porém, me mudei para a França e quando me casei alterei meu nome para o francês.
4) **Morri em 1934, de anemia, provavelmente pelas longas exposições a radiação.**
5) Eu quem nomeei de Radioatividade a propriedade descoberta no urânio e no tório.
6) **Eu propus que a Radioatividade era uma propriedade do átomo de urânio e não de quaisquer interações entre elementos químicos.**
7) Trabalhei junto com meu marido e Colega Pierre Curie, e ganhamos o primeiro Nobel juntos em 1903.
8) **Eu e meu marido descobrimos dois elementos químicos e os chamamos de rádio e polônio (em homenagem ao meu país de origem).**
9) Percebi que a radioatividade tinha utilização na medicina e publiquei estudos descrevendo como a descoberta do rádio poderia ajudar a destruir tumores.
10) **No início acreditava que a radioatividade dos minérios portadores de urânio resultava de quantidades muito pequenas de certas substâncias altamente radioativas.**
11) Fui a primeira mulher a lecionar na Sorbonne, substituindo meu falecido marido Pierre.
12) **Minha filha Irene se casou com o físico Frédéric Joliot e juntos descobriram a Radioatividade artificial, partilhando o Nobel em 1935.**
13) O tema de meu doutorado foi as radiações de urânio, descobertas por Becquerel.
14) **Minha nomeação ao Nobel foi muito criticada e meu trabalho negligenciado pelo fato de ser mulher.**
15) Sou um ícone até os dias atuais por incorporar uma nova mulher: estudada, independente e talentosa.

PESSOA **MAX BORN**

1) Sou um físico alemão nascido em Breslaw em 1882.
2) **Perca vez.**
3) Produzi uma teoria dos fluidos que forneceu uma nova concepção da mecânica ondulatória.
4) **Sou filho do professor de anatomia e embriologia, Gustav Born.**
5) Obtenho meu doutorado em 1907 com o tema "Estabilidade de Elástico em um Plano e Espaço".
6) **Ganhei o Nobel em 1954 junto com Walter Wilhelm Bothe, pelas minhas pesquisas em Mecânica Quântica, especialmente pela interpretação estatística da função de onda.**
7) Desenvolvi trabalhos que contribuíram à física do estado sólido e a óptica.
8) **Volte 1 casa.**
9) Max Delbrück, Pascual Jordan, Maria Goeppert-Mayer, Robert Oppenheimer, e Victor Weisskopf, entre outros, receberam seu doutorado sob a minha orientação.
10) **Meu primeiro nome é Max.**
11) Alguns de meus assistentes foram: Enrico Fermi, Werner Heisenberg, Pascual Jordan, Wolfgang Pauli.
12) **Colaborei com Werner Heisenberg e Pascual Jordan para formular a mecânica matricial da mecânica quântica.**
13) Fui o primeiro a sugerir o significado de mundo real da equação de Schroedinger que era a probabilidade de encontrar uma partícula em um ponto específico do espaço-tempo.
14) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
15) Meus trabalhos originais sobre a função ondulatória constituem uma valiosa conquista para o progresso da mecânica quântica.

PESSOA MAX **PLANCK**

1) Postulei pela primeira vez que a energia eletromagnética não varia continuamente, mas sim é um múltiplo de um pacote mínimo de energia.
2) **Meu estudo marcou o ponto decisivo entre a mecânica de Newton e a mecânica quântica.**
3) Albert Einstein se simpatizou com minha teoria e a aplicou ao efeito fotoelétrico.
4) **Cheguei a minha teoria em decorrência do fracasso da física clássica em explicar os resultados experimentais da distribuição de radiação de corpos negros.**
5) Em 14/12/1900, estava com 42 anos e apresentei um novo e estranho conceito, a assembleia da Sociedade alemã de física, mais tarde esse dia foi considerado o nascimento da física quântica.
6) **Perca a vez.**
7) Resolvi um problema que atormentava estudiosos da termodinâmica a anos.
8) **Descobri que a matéria absorve energia térmica e emite energia luminosa de forma descontínua, apenas em valores específicos, "pacotes", que denominei quanta.**
9) Em meu doutorado tive como orientadores Gustav Kirchhoff e Hermann von Helmholtz.
10) **Solucionei o problema da "catástrofe do ultravioleta" que perturbavam cientistas.**
11) Uma analogia a minha teoria é uma escada, a energia aumenta ou diminui em degraus, é impossível estar no meio de um degrau, ou seja, ou você modifica um degrau ou nenhum.
12) **Minha constante é reconhecida atualmente como uma das fundamentais do universo, porém, eu a propus como um truque, um valor provisório para que os resultados dessem certo até encontrar uma solução real, o que nunca aconteceu.**
13) Ganhei o Nobel em 1918.
14) **Fui o único físico a se interessar pela teoria da relatividade especial de Albert Einstein.**
15) Me baseei na ideia da entropia de Boltzmann para produzir minha famosa equação.

PESSOA **MICHELSON E MORLEY**

1) Avance 2 casas.
2) **O experimento que produzimos reforçou a ideia de Einstein de que a velocidade da luz é uma constante.**
3) Nossa experiência reforçou a teoria da relatividade de Albert Einstein, o tempo se dilata, o espaço se contrai, mas a luz tem sempre a mesma velocidade.
4) **Somos dois professores.**
5) Um é químico e outro é físico.
6) **Escolha um jogador para avançar 3 casas.**
7) Produzimos um experimento sofisticado para detectar o meio éter (onde a luz se propagava), porém, ficou conhecido como a experiência que comprou a inexistência dele.
8) **Dividimos o prêmio Nobel de 1907, pela invenção do interferômetro, utilizado em nossa famosa experiência, e pelas nossas pesquisas sobre no campo da espectroscopia e meteorologia e pela descoberta da velocidade da luz.**
9) Perca a sua vez.
10) **Em 1887, determinamos a velocidade da luz 299.792.458 m/s.**
11) O químico notabilizou-se por pesquisa em pesos atômicos do *hidrogênio* e do *oxigênio* em 1870
12) **Escolha um jogador para avançar 1 casa.**
13) Somos dois físicos-químicos americanos.
14) **A experiência que fizemos não evidenciou o que procurávamos.**
15) Nossos nomes começam com a letra M.

COISA **TELEVISÃO**

1) Posso ser de LED (diodo emissor de luz).
2) **Sou considerada uma tecnologia e tenho evoluido e sendo aprimorada com o tempo.**
3) Posso ser de plasma, utilizando gases como Xenon e Neon, mesmo principio da lâmpada florescente.
4) **Sou uma extensão do rádio e só fui produzida em escala comercial a partir de 1945.**
5) Posso ser de LCD (Display de cristal liquido), a imagem é formada por pequenas células de cristal líquido entre duas placas de vidro, que são ativadas através de pequenos pulsos elétricos.
6) **O primeiro desse aparelho foi patenteado em 1923, por Vladimir Zworykin.**
7) Meus primeiros modelos eram de CRT (tubo de raios catódicos).
8) **Exerço um papel social, sou utilizada como entretenimento e para transmissão de notícias.**
9) Até pouco tempo utilizava o sistema analógico, agora é um sistema digital, com uma resolução incrível.
10) **Minha definição é dada em Pixel e meu tamanho é medido em polegadas.**
11) Meu nome vem do grego e do latim e significam visão do distante.
12) **Posso ter entrada USB, VGA, HDMI e DVI.**
13) Sou um sistema eletrônico de transmissão de imagens e som. Possível devido a conversão da luz e do som em ondas eletromagnéticas e de sua reconversão em luz e som.
14) **Minhas primeiras transmissões foram de contorno de objetos em 1924, por Baird.**
15) Sou um aparelho receptor que decodifica os sinais enviados por um satélite ou antena e reproduzo a informação em forma de imagem e som.

COISA **USINAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

1) **Perca sua vez.**
2) No Brasil é predominante o uso das hidrelétricas.
3) **Posso ser termelétrica, onde o movimento dos geradores se dá através da queima de um combustível..**
4) Meu componente principal é o gerador.
5) **Posso ser do tipo que utiliza água para movimentar o eixo do gerador.**
6) Minhas construções na maioria das vezes causa um impacto ambiental.
7) **Posso ser totalmente limpa e renovável.**
8) Posso ser nuclear, no qual o composto urânio fica armazenado no reator nuclear. Por meio do lançamento controlado de nêutrons, o núcleo de urânio se desintegra com liberação de grande quantidade de energia, que é utilizada para vaporizar a água armazenada ao redor do reator, esse vapor de água é utilizado para mover as pás das turbinas.
9) **Posso ser do tipo eólico onde a energia é obtida através da força dos ventos.**
10) Posso ser baseada no efeito fotoelétrico de Albert Einstein.
11) **Posso ser de Biomassa, utiliza materiais em decomposição (lenha, alimentos em decomposição) e degradação de polímeros orgânicos derivados de matéria biodegradável para geração de energia.**
12) Posso ser maremotriz, onde se utiliza o movimento de fluxo das marés para movimentar uma comporta, que está diretamente ligada a um sistema de conversão.
13) **Posso ser geotérmica, obtida pelo calor que existe no interior da terra.**
14) Posso ser construida utilizando recursos como os gêiseres – fontes de vapor no interior da terra que apresentam erupções periódicas.
15) **Em Rondônia temos a de Santo Antônio e a de Jirau, 5º e 7º maiores do Brasil, respectivamente.**

COISA **VIA LÁCTEA**

1) **Levei milhões de anos para me formar e tenho um formato espiral.**
2) Seu sistema solar fica a 30 mil anos-luz ou 285 quatrilhões de quilômetros do meu centro.
3) **Meu nome significa "caminho do leite".**
4) Com a invenção do telescópio, no século XVII, por Galileu Galilei pude ser mais entendida.
5) **Sou objeto de estudo dos astrônomos e astrofísicos.**
6) Sou invisível durante o dia, a não ser que ocorra um eclipse solar total.
7) **O meu centro fica na direção da constelação de Sagitário.**
8) Sou objeto de interesse da NASA.
9) **Minha vizinha Andrômeda esta a 2,5 milhões de anos-luz de distância.**
10) Avance 2 casas.
11) **Sou uma galáxia.**
12) Sou um amplo conjunto de estrelas, incluindo uma grande variedade de gases e poeira.
13) **Perca sua vez.**
14) Você encontra nebulosas aqui, que são nuvens formadas por hidrogênio, plasma e poeira cósmica.
15) **Acreditasse que em meu centro existe um buraco negro.**

NOBEL **1901**

1) **Santos Dumont pilotando o seu mais recente balão, o "Nº 6", levantou voo do Campo de SaintCloud, no dia 19 de outubro, em disputa do prêmio Deustsch e venceu ganhando 126.000 francos, por conseguir dar uma volta sem tocar no chão por 30 min.**
2) Foi o primeiro ano que é concedido o prêmio Nobel.
3) **Avance 1 casa.**
4) Um ano depois de Max Planck publicar sua obra que revolucionou a ciência, o Quantum para a radiação do corpo negro.
5) **E o ganhador é o alemão Wilhelm Conrad Röntgen.**
6) Fui agraciado pela descoberta dos raios-X.
7) **Avance 2 casas.**
8) Sou o primeiro ano do século XX.
9) **Nasce o Walt Disney, empresário e desenhista norte-americano.**
10) Campos Sales é o presidente do Brasil.

PESSOA RICHARD **FEYNMAN**

1) Ganhei o Nobel em 1965, com mais duas pessoas: meu rival Schwinger e o japonês Tomonago.
2) **Inventei um método gráfico para a descrição de interações entre partículas que é empregado hoje em toda a física de altas energias. E são conhecidos como os diagramas de... (meu nome)**
3) Contribui com a teoria QED, que significa eletrodinâmica quântica.
4) **Estudei a eletrodinâmica quântica, que é uma mistura de relatividade especial de Einstein e a mecânica quântica de Schroedinger, que é aplicável á física nuclear, à física do estado sólido e dos plasmas entre outros campos.**
5) Avance 2 casas.
6) **Na expressão mais simples meu método foi descrever uma versão mecânico-quântica da ideia que uma partícula toma "o trajeto e menor resistência" ao ir de um ponto ao outro.**
7) Meus diagramas são utilizados para calcular rapidamente qualquer tipo de colisão complexa de partículas, tanto por físicos teóricos como por físicos experimentais e foram chamados de taquigrafia da física quântica.
8) **Me baseei nos diagramas do espaço tempo para produzir os meus.**
9) Passei uma temporada no Brasil, onde debati a física com Cesar Lattes, José Leite Lopes, Marcelo Damy, entre outros, no CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)
10) **Troquei correspondência com Enrico Fermi sobre a teoria do Méson.**
11) Produzi um trabalho com Gell-Mann sobre a teoria das partículas elementares.
12) **Realizei um trabalho significativo no campo da física de baixas temperaturas com ênfase nas propriedades do hélio líquido e da supercondutividade.**
13) Desenvolvi desenhos para representar os cálculos complexos, que são os pilares da teoria da eletrodinâmica quântica (QED).
14) **Fui pioneiro no estudo da computação quântica e na física nanoscópica.**
15) Trabalhei no projeto da Bomba atômica (projeto Manhattan) sob tutela de Hans Bethe.

PESSOA STEPHEN WILLIAM **HAWKING**

1) Assim que terminei a faculdade de física descobri que possuía esclerose lateral amiotrófica (ELA), uma doença degenerativa que enfraquece os músculos do corpo.
2) **Em 1959, com 17 anos de idade, entrei para a University College, em Oxford, onde estudei física.**
3) Mesmo doente, decidi continuar estudando até me tornar Ph.D. em cosmologia pelo Trinity Hall, em Cambridge, Inglaterra.
4) **Desenvolvi um trabalho sobre as características dos buracos negros.**
5) Desde 1985 depois de uma pneumonia, vivo imobilizado em uma cadeira de rodas e me comunico através de um sintetizador de voz.
6) **Volte 1 casa.**
7) Entre minhas obras encontram-se "Breve História do tempo" (1988), "Buracos Negros, Universos Bebês e Outros Ensaios" (1993) e "O Universo numa Casca de Noz", lançado no Brasil em 2001.
8) **Sou um físico inglês, nascido em 1942.**
9) Me casei duas vezes, com minha primeira esposa tive três filhos, me separei dela e casei com minha enfermeira, porém, em 2007 me separei outra vez e ela foi acusada de agressão e maus tratos.
10) **Em 2015 lançaram um filme que conta a minha história: "A teoria de tudo", com direção de James Marsh.**
11) Participei de desenhos como The Simpsons, futurama, Os Padrinhos Mágicos, O Laboratório de Dexter e Uma Família da Pesada e ainda tive uma participação especial no seriado The Big Bang Theory.
12) **Desacreditei na existência dos buracos negros e em 2014 anunciei que eles não existem (fato que é considerado errôneo, eles existem sim).**
13) O tema de minha tese de doutorado foi os aspectos cosmológico de uma singularidade (ponto no espaço-tempo no qual a massa do buraco negro está concentrada) e tracei paralelos entre as singularidades e o estado inicial do universo durante o big bang.
14) **Meus estudos criaram indícios de que há uma ligação entre entropia e gravidade.**
15) Em 1973 descobri que os buracos negros não apenas engolem matéria e energia, mas que emitem radiação no horizonte do evento. Em minha homenagem essa radiação é conhecida com meu nome.

PESSOA **ROBERT OPPENHEIMER**

1) Meu primeiro nome é Robert.
2) Fui à Alemanha em 1926, onde junto com Max Born produzimos o que ficou conhecida como Aproximação Born-....(meu nome).
3) Escolha um jogador para avançar 2 casas.
4) Estudei as estrelas contraindo e explodindo, sob sua própria gravidade, para formar buracos negros.
5) Escolhi uma escola desativada no Rancho Los Alamos no Novo México para a instalação final do projeto Manhattan.
6) Liderei três mil cientistas e juntos conseguimos alcançar o objetivo do projeto Manhattan.
7) Sou conhecido como o pai da bomba atômica.
8) Fui contra o lançamento das bombas atômicas "Little Boy" em Hiroshima e "Fat Man" em Nagasaki, ambas no Japão em 1945.
9) Me arrependi de ter participado da construção da bomba atômica.
10) Depois dos ataques atômicos ao Japão me opus à corrida armamentista.
11) Fui chamado de "antiamericano", por ser contrário ao uso da energia nuclear em armas militares.
12) Avance 2 casas.
13) Perca sua vez.
14) Trabalhei com Ernest Rutherford e com J.J. Thomson em meus primeiros estudos na Europa.
15) Fui contemporâneo de grandes cientistas como Werner Heisenberg, Erwin Schrodinger, Max Born, Wolfgang Pauli, Paul Dirac e Enrico Fermi.

PESSOA WERNER **HEISENBERG**

1) A junção do meu princípio da incerteza com a teoria da complementaridade de Bohr, resultou no que ficou conhecida como interpretação de Copenhague.
2) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
3) Aprendi cálculo sozinho e aos 18 anos tentei publicar um artigo sobre a teoria dos números.
4) **Tive como mentor e professor Arnold Sommerfeld.**
5) Meu melhor amigo na universidade foi Wolfgang Pauli, que também foi colaborador e crítico de meus trabalhos por um longo tempo.
6) **Fui convidado por Bohr para trabalhar auxiliando em suas pesquisas sobre a teoria atômica e aceitei.**
7) Volte 1 casa.
8) **Desenvolvi uma matemática matricial para o elétron que foi compatível com a mecânica quântica de Schroedinger, porém, a dele era mais fácil de interpretar e por isso ganhou mais atenção dos físicos.**
9) Em 1927 produzi meu artigo que continha minha maior contribuição para a ciência, meu princípio da indeterminação, que surgiu das minhas tentativas teóricas de encontrar a órbita exata de um elétron no átomo.
10) **A quem diga que eu tentei produzir uma bomba atômica alemã, porém, eu disse que na verdade atrapalhara a construção da bomba, o que ficou indeterminado e gerou grande desconfiança.**
11) Fui um dos membros chaves do projeto da bomba atômica na Alemanha e por esse motivo perdi a amizade de 20 anos com Bohr.
12) **Ganhei um Nobel em 1933, que compartilhei com Paul Dirac e Erwin Schroedinger, porém, fiz um agradecimento especial a Bohr.**
13) Junto com Ernst Jordan, Erwin Schroedinger, Niels Bohr e Paul Dirac, formulamos a nova teoria da Mecânica Quântica em 1925.
14) **Expliquei o ferromagnetismo com base na estrutura atômica.**
15) Colaborei com Max Born e Pascual Jordan para formular a mecânica matricial da mecânica quântica.

PESSOA **ENRICO FERMI**

1) Em 1942 eu e minha equipe desenvolvemos o primeiro reator nuclear do mundo, a pilha atômica, e controlamos a reação em cadeia produzida por meio da absorção em blocos de carvão empilhados.
2) **Troquei correspondência com Richard Feynman sobre a teoria do Méson.**
3) Em 1924 começo a lecionar na Universidade de Florença na Itália e lá desenvolvi uma teoria dando tratamento estatístico à distribuição de energia nos diversos níveis eletrônicos, que teve grande importância para a ciência.
4) **Avance 2 casas.**
5) Junto com três de meus discípulos descobri e estudei as propriedades dos nêutrons lentos.
6) **Em 1934 apresentei uma importante teoria nuclear sobre a produção das partículas beta.**
7) Ganhei o prêmio Nobel em 1938, pelos estudos sobre o nêutron.
8) **Descobri novos elementos radioativos por irradiação de nêutrons e uma correlata de reações nucleares induzidas por nêutrons lentos.**
9) Sugeri que nêutrons e prótons são as mesmas partículas fundamentais, em estados quânticos diferentes.
10) **Demonstrei que todo bombardeio de uma substância por nêutrons leva à ocorrência de transformações nucleares. Bombardeando elementos químicos pesados com nêutrons, se produz elementos mais pesados que os existentes na natureza.**
11) Sou um físico italiano, nascido em Roma que fugindo do fascismo de Mussolini imigrei para os EUA com minha família em 1938.
12) **Em sua homenagem foi designados o férmio, elemento químico de número atômico 100 e a partícula subatômica férmion.**
13) Perca sua vez.
14) **Trabalhei no projeto americano Manhattan que produziu a primeira bomba atômica do mundo.**
15) Em 1933 produzi a teoria da interação fraca, conhecida também como força fraca que explica o decaimento beta.

PESSOA ERNEST **RUTHERFORD**

1) Disse sobre sua descoberta: "Foi como se uma cápsula de bala tivesse ressaltado de um lenço de papel".
2) **Devido a meus trabalhos fui chamado de pai da física nuclear e comparado com Faraday.**
3) Trabalhei em Cambridge sob supervisão de J.J. Thomson, ajudando na experiência que descobriu o elétron.
4) **Me dediquei ao estudo da radioatividade, estudando os três elementos radioativos: rádio, tório e actínio.**
5) Com meus estudos conclui que a radioatividade era um processo que átomos de um elemento se desintegravam espontaneamente em átomos de outro elemento inteiramente diferente, o qual continuava radioativo.
6) **Sou muito conhecido na química.**
7) A datação histórica por carbono 14 se deve a minhas pesquisas e descobertas da meia-vida dos elementos químicos.
8) **Em 1908 ganhei um Nobel em química, o que me deixou meio sem graça, pois, era um físico com certa implicância com a química.**
9) Produzi o modelo planetário do átomo, com o sol sendo o núcleo e os planetas os elétrons. Depois do pudim de passas de J.J. Thomson.
10) **Sou conhecido por uma experiência com partículas alfa e uma fina folha de ouro.**
11) Descobri o próton e o núcleo atômico.
12) **Batizei os três tipos de radiações nucleares "alfa", partículas pesadas e positivas, "beta", negativas e velozes e "gama", sem carga e altamente energéticas.**
13) Fui o primeiro a utilizar as partículas "alfa" que são pesadas, lentas e de baixa penetração, no estudo do reino atômico.
14) **Descobri que partículas alfa, na verdade eram núcleos do elemento hélio.**
15) A grande inovação no modelo atômico que eu propus é a conclusão que o átomo não é sólido, pelo contrário é um enorme espaço vazio, o que é uma ruptura com os modelos anteriores.

PESSOA ERWIN **SCHROEDINGER**

1) Minha teoria é uma extensão do postulado de Broglie e trata o movimento ondulatório de partículas de qualquer sistema microscópico.
2) **Minha equação de onda leva de forma natural à quantização da energia.**
3) Modifiquei a ideia do átomo de Rutherford.
4) **Descobri que o elétron ocupa muitos lugares ao mesmo tempo.**
5) Trabalhando com Dirac e Born desenvolvemos uma complexa matemática da teoria ondulatória das partículas propostas por De Broglie.
6) **Hoje minha matemática é conhecida como mecânica quântica e é à base da teoria quântica.**
7) Houve um grande debate entre a teoria matricial de Heisenberg sobre os modelos atômicos e minhas equações de onda, no fim, descobrimos que ambas eram equivalentes, porém minha matemática prevaleceu por ser mais fácil de interpretar.
8) **Sou conhecido por uma experiência mental de um gato VIVO E MORTO ao mesmo tempo em uma caixa com um material radioativo, o que se encaixou na interpretação de Copenhague.**
9) Perca sua vez.
10) **Minha equação tem relação com a energia cinética da mecânica clássica, porém, aperfeiçoada incluindo a constante de Planck e a lei de De Broglie, ligando a cinética de uma partícula ao seu comprimento de onda.**
11) Produzi a "equação de onda" como ficou conhecida minha função, porém, não consegui entender o que ela media, foi Max Born que sugeriu que era uma amplitude de probabilidade.
12) **Combinei o princípio da exclusão de Wolfang Pauli as minhas equações e produzi uma nova visão do átomo: uma nuvem de probabilidade para o elétron.**
13) Avance 2 casas.
14) **Minha ideia foi capaz de explicar a desintegração radioativa alfa, por meio da ideia de barreira de potencial e do tunelamento quântico, quando uma partícula atravessa uma barreira maior que a sua energia.**
15) Minha equação na forma mais genérica mostra o desenvolvimento de um sistema quântico ao longo do tempo.

PESSOA **G. P. THOMSON**

1) Avance 2 casas.
2) **Sou filho do famoso atomista J.J. Thomson.**
3) Meu pai ganhou o prêmio Nobel pela descoberta do elétron como partícula em 1906 e eu também ganhei em 1937, pela descoberta da propriedade ondulatória do elétron. (contrária à descoberta de meu pai)
4) **Me apaixonei pelo trabalho de meu pai e escolhi a carreira científica.**
5) Estudei as propriedades do elétron.
6) **Escolha um jogador para avançar 1 casa.**
7) Em 1937 ganhei o prêmio Nobel junto com Clinton Joseph Davison, físico americano que descobriu a mesma coisa, a difração dos elétrons.
8) **Sou um físico inglês nascido em Cambridge.**
9) Avance 3 casas.
10) **Me graduei em física e matemática no Trinity College.**
11) Perca sua vez.
12) **Também desenvolvi estudos sobre estabilidade de aeroplanos e problemas aerodinâmicos.**
13) Recebi em 1960 a Faraday Medal da Institution of Electrical Engineers (Instituição de Engenheiros Elétricos).
14) **Desenvolvi pesquisas sobre nêutrons e sobre fusão nuclear, mas não obtive êxito.**
15) Avance 2 casas.

NOBEL **1903**

1) **Quem me recebeu foi o casal Currie (Pierry e Marie) junto com Antoine Henri Becquerel.**
2) Avance 1 casa.
3) **Esse ano também é marcado pelo movimento das mulheres, conhecido como a primeira onda do feminismo.**
4) Laureei o descobridor da radioatividade e um casal que estudava o fenômeno fazendo mais descobertas.
5) **Nesse ano o Brasil tomou posse do Acre, através do Tratado de Petrópolis.**
6) Estou no século XX.
7) **Sou um número impar.**
8) É fundada a Ford Motor Company, por Henry Ford em Detroit, Michigan, EUA.
9) **Em números romanos sou MCMIII.**
10) Avance 2 casas.

NOBEL **1906**

1) **O físico Max Born na Universidade de Göttingen produz um trabalho em estabilidade de fios elásticos.**
2) Fui concedido pela descoberta do elétron.
3) **Santos Dumont cruzava o Campo de Bagatelle, na França com o seu 14-Bis.**
4) Avance 2 casas.
5) **O engenheiro elétrico Lee De Forest inventa a válvula triodo (de três pólos), principal componente dos primeiros computadores eletrônicos.**
6) Quem me recebeu foi J.J. Thomson, famoso pelo seu modelo atômico de pudim de passas.
7) **Afonso Pena se torna presidente do Brasil.**
8) Lee de Forest e Reginald Audrey Fesseden realizam a primeira transmissão radiofônica do mundo. Usando um microfone construído por eles mesmos, conseguem transmitir suas vozes e o som de um disco de fonógrafo.
9) **Avance 1casa.**
10) Morre Pierry Curie atropelado por uma carroça durante uma tempestade.

NOBEL **1907**

1) **O físico Max Born obtém seu título de doutor na Universidade de Göttingen.**
2) O laureado foi Albert A. Michelson, da experiência de Michelson-Morley que buscava o éter.
3) **O Nobel foi concedido pela invenção do interferômetro e por pesquisas no campo da espectroscopia e meteorologia.**
4) Em números romanos sou MCMVII.
5) **Avance 1 casa.**
6) Em química o laureado foi Eduard Büchner por seus trabalhos sobre a fermentação.
7) **Avance 2 casas.**
8) Sou um número impar.
9) **Estou na primeira década do século XX.**
10) Nasce no Rio de Janeiro o famoso arquiteto Oscar Niemeyer.

NOBEL **1909**

1) **Avance 2 casas.**
2) Os ganhadores foram Guglielmo Marconi e Karl Ferdinand Braun.
3) **Fui concedido em reconhecimento das contribuições para o desenvolvimento da telegrafia sem fio.**
4) Avance 1 casa.
5) **Um dos ganhadores foi o inventor do rádio.**
6) Nasce a cantora, atriz e dançarina luso-brasileira Carmem Miranda.
7) **Carlos Chagas anuncia para a comunidade científica a detecção, em humanos, do protozoário Trypanosoma cruzi, agente causador da doença de Chagas.**
8) Felippo Marinetti, poeta italiano, inicia o futurismo, um movimento literário e artístico, com a publicação do Manifesto Futurista.
9) **Ano que vem o alemão Paul Ehrlich apresentará o Salvarsan 606, um medicamento que possibilitou a cura da sífilis.**
10) Afonso Pena morre e deixa de ser Presidente do Brasil.

PESSOA MURRAY **GELL-MANN**

1) Não fui bem no ensino médio em física, mas, escolhi cursar pelo interesse do meu pai por ciência e engenharia, mas com intenção de mudar de curso depois, porém me apaixonei por física avançada.
2) **Em 1952 comecei um pós-doutorado em Princeton e em seguida trabalhei com Enrico Fermi.**
3) Em 1953, ganhei prestígio ao propor as partículas subatômicas, uma qualidade que inicialmente chamei de "estranheza".
4) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
5) Dei o nome de estranheza a uma propriedade subatômica devido aos físicos nos aceleradores de partículas descobrirem que algumas partículas não obedeciam à previsão teórica.
6) **Baseado em meus estudos pude prever os eventos das chamadas partículas estranhas e ainda profetizei a descoberta de novas partículas.**
7) Propus a divisão das partículas descobertas em famílias de oito, agrupando as conforme as características parecidas.
8) **Volte 1 casa.**
9) A proposta original dos quarks foi proposta em 1963, por mim e George Zweig.
10) **Coloquei o nome de quark, que não tem uma tradução literal, por analisar os significados de próton e átomo e perceber que não se relacionam com seus significados originais depois das novas descobertas.**
11) Eu sugeri que os quarks eram de três tipos, que chamei sabores, diferentes e os denominei de: Up, down e estranho.
12) **Baseado em meus estudos descobriram que os prótons e nêutrons são partículas formadas pela junção de três quarks, do tipo up e down.**
13) Recebi o Nobel em 1969, com 40 anos de idade.
14) **Foram nos aceleradores de partículas que minhas teorias sobre o subatômico foram comprovadas.**
15) Dei o nome de Cromodinâmica quântica ao estudo da propriedade cor dos quarks, pois é uma derivação do grego chrôma, que significa cor. Esse estudo é baseado na eletrodinâmica quântica de Richard Feynman.

PESSOA NIELS **BOHR**

1) Sou o principal arquiteto de interpretação de Copenhague.
2) **Debati muitos minhas ideias com o físico de renome Albert Einstein, pois eu acreditava num universo probabilístico, e ele no determinístico.**
3) De Broglie criticou minhas ideias dizendo que no futuro se entenderia melhor a mecânica quântica e acabaria com as probabilidades.
4) **Expus minha teoria quântica do átomo de hidrogênio.**
5) Recebi o premio Nobel em 1922 por ter juntado o modelo atômico de Rutherford a teoria quântica de Planck.
6) **Resolvi o problema atômico do meu grande amigo de Rutherford, a atração coulumbiana entre os elétrons e o núcleo positivo.**
7) Defini as órbitas do elétron ao redor do núcleo do átomo em termos de energia.
8) **Tenho tudo a ver com a espectroscopia, estudo dos espectros de luz emitidos por átomos de diferentes elementos.**
9) Defendia a ideia de complementaridade, que é a existência de duas explicações diferentes para um fenômeno físico como a dualidade onda-partícula.
10) **A junção de minha teoria de complementariedade com o princípio da incerteza de Heisenberg gerou a interpretação de Copenhague.**
11) Eu e Wheeler estudamos o processo de fissão e calculamos o equilíbrio das forças repulsivas elétricas e a tensão de superfície.
12) **Wheeler me ajudou a explicar o processo de fusão nuclear, quando dois átomos se fundem, o que ocorre no sol.**
13) Tinha origem judia e como a Dinamarca foi conquistada por Hitler, tive que fugir e me refugiei no EUA. Mas consegui ajudar a salvar mais de 7 000 judeus.
14) **Participei do projeto Manhattan que produziu a bomba atômica.**
15) Expliquei os espectros de emissão e absorção dos átomos, evidenciando que cada elemento possui um específico, como nossa impressão digital, isso possibilitou conhecer os elementos que compõe o sol e outras estrelas.

PESSOA PAUL A. M. **DIRAC**

1) Em 1930 propus a existência de uma anti-partícula para cada partícula existente no mundo que é uma partícula de mesma massa, porém de carga elétrica oposta.
2) **Foi Carl David Anderson que comprovou experimentalmente minha teoria das anti-partículas.**
3) Escolha um jogador para avançar 1 casa.
4) **Descobriram o pósitron, que é idêntico ao elétron, porém, tem carga elétrica positiva, o que comprova minha teoria da anti-partícula.**
5) Dentro de minha teoria uma partícula só pode ser criada se ao mesmo tempo criar sua anti-partícula e as partículas só podem ser destruídas quando se chocarem com sua anti-partícula.
6) **Formulei uma hipótese para explicar o comportamento dos elétrons em torno do núcleo atômico.**
7) Me doutorei em Cambridge, Inglaterra em mecânica quântica.
8) **Avance 2 casas.**
9) Descobri a conexão entre relatividade e mecânica quântica, o famoso spin.
10) **Em 1929 publiquei uma das minhas melhores contribuições à física: a teoria do elétron giratório, uma teoria quântica relativística do elétron.**
11) Contribui imensamente para a estruturação teórica da física quântica em 1920.
12) **Uma de minhas descobertas foi à derivação da ideia de spin quântico.**
13) Perca a sua vez.
14) **Homenageei Enrico Fermi, chamando de férmions as partículas que possuem um valor de spin semi-inteiro.**
15) Minha nova interpretação do mundo quântico foi uma teoria quântica de campo.

PESSOA PETER **HIGGS**

1) Compartilhei o Nobel de Física em 2013 com François Englert.
2) **Volte 1 casa.**
3) Desenvolvi uma teoria das partículas.
4) **Previ um mecanismo que possibilitaria que um campo de força gerasse bósons de calibre.**
5) Escolha um jogador para avançar 3 casas.
6) **Minha teoria de campo previa uma partícula fundamental que daria massa a tudo o que compõem o universo que foi descoberta em 2012, no acelerador de partículas CERNE.**
7) Existe um bóson que leva meu nome, por ser eu quem o previu.
8) **Sugeri a ideia de um campo que existe mesmo no vácuo, e que as partículas desse campo ocupam todo o espaço e sugeri que as partículas elementares ganham massa quando interagem com esse campo.**
9) Avance 2 casas.
10) **O grande acelerador de partículas conhecido como colisor de Hádrons (LHC) foi construído com o objetivo de encontrar a minha partícula prevista, o bóson de calibre.**
11) Meu bóson de calibre também é conhecido como a partícula de Deus.
12) **De forma independente François Englert e sua equipe chegaram a mesma conclusão e suposição sobre o bóson de calibre.**
13) Minha teoria prediz que quanto mais à partícula interagir com o campo, mais massa ela adquire e se ela não interagir, como a luz, não ganha nada de massa.
14) **Minha teoria é uma parte central do Modelo Padrão das partículas físicas que descreve como o mundo é construído.**
15) Minha partícula tem um spin inteiro.

PESSOA HENDRIK **LORENTZ**

1) Einstein fez uma alocução e a pronunciou em meu túmulo: "Seu luminoso espírito esclareceu o laço entre a teoria de Maxwell e as criações da física atual".
2) **Trabalhei como presidente dos congressos de física Solvay, em Bruxelas em 1909 e 1911.**
3) Minha famosa transformação matemática é uma das bases da teoria da relatividade restrita de Einstein.
4) **Encontrei uma transformação matemática que leva meu nome e substitui as transformações de Galileu Galilei para altas velocidades.**
5) Avance 2 casas.
6) **Einstein utilizou do meu trabalho para desenvolver a relatividade restrita.**
7) Jules Heinri Poincaré usou minhas transformações para demonstrar a covariância da eletrodinâmica de Maxwell.
8) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
9) Fui o primeiro a sugerir o conceito de que o átomo era composto de partículas eletricamente carregadas e que a oscilação dessas partículas estava na origem dos fenômenos luminosos.
10) **Fui pioneiro em dizer que a massa pode aumentar com o aumento da velocidade.**
11) Fui um dos três nomes mencionados no primeiro artigo sobre relatividade de Einstein, junto com Maxwell e Hertz.
12) **Fui um físico-matemático Holandês.**
13) Em 1875 apresentei minha importante tese sobre a reflexão e refração da luz por dielétricos e metais.
14) **Em 1880 desenvolvi o trabalho sobre a relação entre o índice de refração e a densidade de um meio.**
15) Recebi o Prêmio Nobel de Física em 1902, com meu aluno Pieter Zeeman, por nossas pesquisas da influência do magnetismo sobre o fenômeno da radiação.

PESSOA HUGH **EVERETT III**

1) Em 1957 propus uma sugestão simples para o problema do "colapso" da equação de Schroedinger.
2) **Minha teoria de Muitos Mundos explica que a função de onda sempre e em toda a parte evolui de acordo com a equação de Schroedinger, mas só podemos ver apenas um pequeno pedaço da função de onda maior do universo, as outras partes são apresentadas em mundos paralelos ao nosso.**
3) Escolha um jogador para avançar 2 casas.
4) **A minha mais famosa teoria fala sobre universos paralelos independentes, completamente inacessíveis a partir de nosso universo, e em cada universo é criado uma história ligeiramente diferente aquela que vivenciamos.**
5) Minha teoria abrange o processo de descoerência, que é uma explicação moderna de porquê a estranheza probabilística da mecânica quântica se resolve no mundo concreto de nossa experiência.
6) **Me voltei para pesquisas militares de alto nível, depois de minha teoria de muitos mundos ser rejeitada pela comunidade científica.**
7) Defendi que os efeitos quânticos geram inúmeros ramos do universo com eventos diferentes ocorrendo em cada um.
8) **Avance 3 casas.**
9) Morri aos 51 anos de idade, não vivi o suficiente para ver o grande respeito que minha teoria alcançou por parte da sociedade científica.
10) **Fui um matemático brilhante.**
11) Para os admiradores da ficção científica, eu continuo sendo um herói popular.
12) **Desenvolvi minha teoria quando era estudante na Universidade de Princeton em meados da década de 1950.**
13) Meu trabalho é muito conhecido tanto na ciência como na filosofia, mas a história da minha vida é conhecida por poucos.
14) **O núcleo da minha ideia era interpretar o que as equações da mecânica quântica representam no mundo real.**
15) Minha teoria pretendia responder a questão: como e por que o mundo único de nossa experiência surge das múltiplas alternativas disponíveis no supermercado do mundo quântico?

PESSOA **J. J. THOMSON**

1) Perca sua vez.
2) **Sob a supervisão de James Clerk Maxwell, empreendi as primeiras pesquisas sobre eletromagnetismo.**
3) Minhas pesquisas foram fundamentais para o desenvolvimento da eletricidade, eletrônica, química, e outras ciências.
4) **Por ser muito desajeitado no laboratório sempre trabalhei com assistentes, entre eles, Ernest Rutherford.**
5) Avance 2 casas.
6) **Sou conhecido por meu modelo atômico de pudim de passas, onde o pudim é composto de cargas positivas e as passas são cargas negativas incrustadas nas cargas positivas.**
7) Trabalhando com Ernest Rutherford em 1897, descobri uma partícula com carga negativa e cerca de 2000 vezes mais leve que o átomo, era o elétron.
8) **Volte 1 casa.**
9) Ganhei o prêmio Nobel em 1906, devido à descoberta do elétron e meu filho G.P. Thomson foi premiado em 1937 pela descoberta da natureza ondulatória do elétron, o que foi contrário a minha descoberta.
10) **Em 1897 sugeri que os raios catódicos eram fluxos de partículas bem menores que o átomo.**
11) Descobri que os raios-X eram produzidos quando um facho de elétrons atinge um alvo metálico.
12) **As minhas experiências com raios catódicos me fez concluir que o átomo não era indivisível, pois este era composto por partículas menores.**
13) Em 1903 formulei um modelo de luz constituído por partículas emitidas de modo descontínuo, o que antecipou a teoria dos fótons de Albert Einstein.
14) **Ernest Rutherford deu continuidade ao meu trabalho e propôs o modelo atômico planetário, com o núcleo bem pequeno no centro e os elétrons girando em uma área grande denominada eletrosfera.**
15) Meu antecessor foi Dalton, com um modelo atômico "bola de bilhar": massivo, indivisível e indestrutível, mas que não explicava a eletricidade nem a radioatividade.

PESSOA LOUIS **DE BROGLIE**

1) Não aceitei a ideia de que a princípio da incerteza de Heisenberg era um resultado de indeterminação real dos estados físicos, acreditava que no futuro seria descoberto uma maneira que aproximaria essa ideia tomando a em dados mais precisos.
2) **Apaixonado pelas experiências e discussões filosóficas do meu irmão Maurice, durante a primeira guerra mundial mudei de carreira, formado em história, fiz um doutorado em física.**
3) Meu postulado diz que o movimento de uma partícula microscópica é governado pela propagação de uma onda associada à ela.
4) **Em 1927 Davisson e Germer observaram pela primeira vez a difração de elétrons o que comprou minha teoria.**
5) Perca a vez.
6) **Especulei que se uma onda de energia luminosa podia se comportar como um punhado de partículas (fótons) e se a natureza fosse simétrica como muitos cientistas defendiam elétrons e prótons também deveriam ter propriedades ondulatórias.**
7) Sou um príncipe francês, e fui também o sétimo duque, cujo tetravô fora executado na revolução francesa.
8) **Volte 1 casa.**
9) Consegui meu doutorado em física por sugerir que a dualidade onda-partícula da luz também ocorria na matéria.
10) **Einstein achou minha dissertação brilhante e ajudou na divulgação dela no meio acadêmico.**
11) Juntei as ideias de Einstein que relacionava massa e energia com a de Planck que relacionava frequência e energia, para produzir meu famoso trabalho.
12) **Ganhei o prêmio Nobel em 1929, depois da comprovação experimental da teoria aos 37 anos, passando a ser um dos mais jovens a ser premiado pelo Nobel.**
13) Schroedinger quem desenvolveu a complexa matemática para meu modelo ondulatório das partículas.
14) **Defendia a ideia de simetria no universo, o que significa que se havia uma simetria entre a energia e matéria, essa foi minha tese de doutorado em física.**
15) Avance 2 casas.

PESSOA ALBERT **EINSTEIN**

1) **A luz atua como onda e como partícula, eu disse e demonstrei.**
2) Eu modifiquei a ideia de Newton sobre a gravitação universal com minha teoria da relatividade geral.
3) **Utilizei a ideia de Planck sobre o 'quanta' em minha teoria do efeito fotoelétrico.**
4) Sou pacifista. Escrevi uma carta ao presidente dos EUA Roosevelt, falando sobre o risco universal da construção da bomba atômica.
5) **Acabei com a ideia de tempo e espaço absolutos, propostas por Isaac Newton.**
6) Após me formar em física, consegui um emprego no departamento de patentes na Suíça como "perito técnico de terceira classe".
7) **Estudei Kirchoff, Hertz, Maxwell, Mach e Lorentz por conta própria durante meus anos de estudante, porém Michael Faraday foi um físico que teve influência fortíssima sobre mim.**
8) Desconhecia a experiência de Michelson-Morley, porém, com experiências mentais cheguei à mesma conclusão da não existência do éter, sendo assim, a experiência deles influenciou na aceitação da minha teoria da relatividade especial pela comunidade científica.
9) **Minha teoria da invariância diz que a velocidade da luz é independente do movimento relativo do observador, e ressalta ainda que é impossível acelerar na velocidade da luz.**
10) Fiquei muito famoso e minha equação $E=m.c^2$ também. Ela é relacionada à construção da bomba atômica.
11) **A um equívoco quando dizem que eu propus que "tudo é relativo". Na verdade o que eu disse foi que coisas que antes eram tidas como absolutas, como o tempo, agora são relativas, e outras que eram ditas relativas, exemplo a velocidade da luz, agora é absoluta.**
12) Uma comprovação da teoria da relatividade restrita foi desenvolvida no CERN onde aceleraram um múons a 99,4% da velocidade da luz e sua vida foi ampliada em quase 30 x, comprovando que o tempo o passou mais devagar para o múon de que para os cientistas do laboratório.
13) **Em 1921, ganhei o Nobel por meu trabalho sobre o efeito fotelétrico, porém, sempre esperei um Nobel pela minha teoria da relatividade, o qual nunca recebeu.**
14) Devido a minha ideia sobre a física determinista disse que: "Deus não joga dados com o universo".
15) **Um dos meus primeiros artigos publicados falava sobre o movimento Browniano.**

PESSOA ARTHUR HOLLY **COMPTON**

1) Escolha um jogador para avançar 2 casas .
2) **Ganhei o Nobel em 1927, pela descoberta do efeito que leva meu nome.**
3) Meu trabalho sobre os raios X reforçou a ideia da teoria da luz como onda-partícula proposta por Albert Einstein, facilitando a aceitação na comunidade científica do efeito fotoelétrico.
4) **Em 1923, eu fiz incidir raios X com um comprimento de onda muito pequeno em um alvo sólido e verifiquei que alguns elétrons tinham comprimentos de onda maiores do que o que fora incidido, daí surge o efeito famoso que leva meu nome.**
5) Estudei muito e analisei os comprimentos de onda em muitos ângulos diferentes e os resultados corroboraram exatamente com a previsão teórica, reforçando a ideia de que os raios X eram partículas.
6) **Em 1945 dirigi o projeto de pesquisa do governo, sobre o plutônio, e o Argonne National Laboratory.**
7) Sou um físico americano, nascido em 1842.
8) **Meu primeiro nome é Artur.**
9) Sou contemporâneo de Niels Bohr, De Broglie, Werner Heisenberg, entre outros.
10) **Meu trabalho auxiliou no desenvolvimento da teoria quântica.**
11) Trabalhei no laboratório dirigido por Rutherford em Cambridge.
12) **Meu pai me apoiou e me aconselhou a ser um cientista.**
13) Perca a vez.
14) **Fui apresentado ao estudo de raios X por meu irmão Karl, que foi um físico notável.**
15) Minha tese de doutorado foi sobre a distribuição angular de raios X refletida a partir de cristais.

PESSOA CÉSAR LATTES

1) Sou um físico brasileiro de renome internacional.
2) **Debati sobre a física com Feynman, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas CBPF, em uma temporada que ele passou aqui no Brasil.**
3) Na Bolívia, analisando chapas expostas, verifiquei evidências dos mésons π propostos por Yukawa.
4) **Perca a vez.**
5) Em 1946, aos 22 anos fui à Inglaterra para uma temporada no Laboratório H.H. Wills, na Universidade de Bristol.
6) **Tive uma boa formação teórica e experiência na análise de chapas fotográficas, adquirida em um treinamento dado pelo físico italiano Giuseppe Occhialini, que passou uma temporada no Brasil, o que foi fundamental para minha contribuição em Bristol.**
7) Avance 2 casas.
8) **Trabalhei com Occhialini e Powell, nossa descoberta conhecida como mésons π explicava por que o núcleo dos átomos é estável - em outras palavras, por que os prótons, que têm carga positiva, não se repelem, explodindo o núcleo.**
9) No início de 1948, fui trabalhar em Berkeley, Califórnia, cujo principal objetivo da equipe era a produção artificial de píons. Apostei que eles poderiam ser produzidos no acelerador de Berkeley. E uma semana depois da minha chegada, os primeiros píons apareceram.
10) **Na década de 1960, descobri fenômenos relacionados à produção múltipla de mésons.**
11) Volte 1 casa.
12) **Fui professor titular aposentado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e da Universidade Estadual de Campinas.**
13) Minha vida mudou quando publiquei um trabalho científico sobre a abundância de núcleos no universo, sob a orientação de Gleb Wataghin.
14) **Minha descoberta revelava a partícula responsável pelo comportamento das forças nucleares.**
15) Fui convidado a substituir o falecido Enrico Fermi na chefia do seu instituto na Universidade de Chicago, porém, recusei para criar, na USP, um laboratório para estudos de interações a altas energias na radiação cósmica.

PESSOA EDWIN POWELL **HUBBLE**

1) Mostrei que o Universo abrigava outras galáxias além da Via Láctea.
2) **Em 1929, demonstrei que as galáxias estavam se afastando com velocidades crescentes com a distância.**
3) Perca a vez.
4) **O afastamento das galáxias que demonstrei foi revelado pelo desvio para o vermelho dos espectros das galáxias, em conformidade com a teoria de Christian Doppler e Hippolyte Fizeau.**
5) Existe um telescópio espacial lançado em 1990 que tem meu nome como homenagem.
6) **Nunca ganhei um Nobel, porque o comitê do prêmio não reconhecia a astronomia, nos últimos anos da minha vida fiz campanha para que a astronomia fosse reconhecida, mas não vivi o suficiente para comtemplar esse reconhecimento.**
7) Escolha um jogador para avançar 2 casas.
8) **Em 1924 comecei a produzir trabalhos sobre a nebulosa extragaláctica.**
9) Em 1922 junto com Milton Humason trabalhei no telescópio Hooke, para identificar as variáveis cefeídas brilhando dentro das nebulosas espirais.
10) **Estudando o redshifts, desvio da cor das estrelas para o vermelho, percebi que quanto mais longe a estrela se encontra maior é o desvio da cor, o que evidencia que mais rápido ela se afasta.**
11) Avance 1 casa.
12) **A proporção de expansão de espaço é uma constante que leva meu nome.**
13) Em 2001 foi comprovado que minha constante da expansão espacial estava correta.
14) **Minha teoria do universo em expansão acomoda a teoria do "Big Bang", que prediz uma explosão primordial que teria originado o Universo.**
15) Em1929 fiz meu melhor trabalho à prova da expansão cósmica.

COISA **ACELERADOR DE PARTÍCULAS**

1) Um dos motivos para minha criação foi à procura pelo bóson de Higgs, também conhecida como partícula de Deus.
2) **Experiências realizadas nesse aparato comprovaram a teoria da relatividade restrita de Einstein, pois conforme as partículas são aceleradas aqui, o tempo de suas vidas aumenta significativamente.**
3) Conforme as partículas vão sendo aceleradas aqui elas começam a ganhar energia e aumentam a velocidade, porém, chega um momento que um aumento de energia resulta em um aumento de massa em vez de aumentar a velocidade.
4) **Sou um equipamento utilizado para exploração da física das partículas subatômicas fundamentais.**
5) Muitas vezes fui classificado como um dos maiores e mais caros equipamentos de laboratório do mundo.
6) **Já houve quem me chamou de "despedaçador de átomos".**
7) Sou uma máquina gigantesca que dispara elétrons, prótons e outras partículas subatômicas a velocidade próximas da luz.
8) **Encontro partículas menores, que são pequenas demais para serem visualizadas, porém, com instrumentos potentes os físicos conseguem observar suas trajetórias.**
9) As partículas descobertas aqui chegam a durar um bilionésimo de segundo, porém, os comprimentos e as formas das trajetórias fornecem dados quanto à natureza e propriedades delas.
10) **Um dos meus objetivos é reconstruir as colisões que ocorreram no Big Bang.**
11) Me utilizando físicos experimentais confirmaram a previsão de físicos teóricos e a década de 1970 ficou conhecida como idade do "ouro da física das partículas" graças às descobertas possíveis pela minha existência.
12) **O maior que existe de mim é o grande colisor de hádrons – LHC- ele tem 27 km de comprimento enterrado a 100 m abaixo do solo e está na divisa da França com a Suécia.**
13) Ajudei a construir o modelo padrão da física das partículas.
14) **Sou um grande anel circular ou túnel, em mim as partículas são aceleradas em direção oposta e produzem milhares de colisões por segundo. Possuo um detector que registra o rastro das partículas que resultam de cada choque e um computador seleciona as colisões a serem analisadas.**
15) Em 2012, o Bosón de Higgs é descoberto em experiência realizadas aqui, quase 50 anos depois de sua previsão teórica por Peter Higgs.

COISA **AERONAVE**

1) **Posso ser militar, espacial, aeronáutica, de carga.**
2) O protótipo experimental Bell X-1 em 14 de outubro de 1947 atingiu a velocidade de Mach 1.06, sendo o primeiro a superar a velocidade do som.
3) **Eu aproximo você do céu.**
4) Posso ser um Boeing ou Airbus.
5) **Em 1906 Santos Dumont cruzava o Campo de Bagatelle, na França com o meu protótipo 14-Bis.**
6) Meu precursor pode ser considerado o balão inflamável.
7) **Diminuo o tempo de viagem entre dois locais.**
8) Os irmãos norte-americanos Wilbur e Orville Wrigh realizavam inúmeros experimentos e protótipos meus.
9) **Sou conhecido como "corta ar" ou "corta céu".**
10) No século XV Leonardo da Vinci desenvolveu um protótipo meu em desenhos, mas ele não me construiu.
11) **O primeiro modelo construído inteiramente de metal, foi fabricado pela empresa German Junkers, apelidado de "Donkey Tin", voou pela primeira vez em 1916.**
12) Perca a sua vez.
13) **A bordo de um, em 1927, Charles Lindbergh é o primeiro a atravessar o Oceano Atlântico sem escala.**
14) A primeira mulher a atravessar o Oceano Atlântico pilotando um protótipo foi Amelia Earhart, em 1932, mas infelizmente ela some misteriosamente ao tentar dar a volta ao mundo.
15) **Posso ser supersônica.**

COISA **BOMBA ATÔMICA**

1) Com a utilização do hidrogênio em minha produção me tornei uma das armas nucleares com maior poder de destruição.
2) **Em 1905 Einstein tinha proposto que massa poderia ser convertida em energia, uma das ideias que colaborou para minha criação.**
3) Albert Einstein assinou uma carta que informava o presidente do EUA sobre o alto poder de destruição que eu tenho e as possíveis catástrofes que poderiam acontecer se a Alemanha me produzisse primeiro.
4) **Depois de minha detonação criasse uma bola de fogo com temperaturas próximas a do sol, a segunda parte é a onda de pressão, que se espalha em alta temperatura e velocidade derrubando e incendiando tudo e por fim uma chuva radioativa invisível composta de raios gama, raios-X e nêutrons livres. O que significa que destruo tudo ou quase tudo.**
5) Os EUA criaram um projeto chamado "Projeto Manhattan", para minha produção.
6) **Niels Bohr, cientista Dinamarquês, com descendência judia, participou da minha construção no EUA, após fugir da Dinamarca que tinha sido ocupada pelos Alemães.**
7) Richard Feynman contribuiu no projeto de minha produção, chegando a ministrar palestras sobre montagem, e além, supervisionar alguns cálculos.
8) **A quem diga que Heisenberg tentou me construir para Adolf Hitler, porém, ele e sua equipe estavam muito longe de conseguirem quando foram interceptados e capturados pelo EUA.**
9) Tenho tudo a ver com uma força contida no núcleo de um átomo.
10) **Sou explicada como uma reação em cadeia descontrolada.**
11) Meus princípios são utilizados para a produção de energia elétrica, porém, com uma reação controlada.
12) **Robert Oppenheimer é considerado meu inventor, por ter liderado três mil cientistas no projeto Manhattan que me produziu.**
13) A reação em cadeia que levou a minha invenção começou em 1938, com os químicos Otto Han e fritz Strassman que "cindiram o átomo", mas não entenderão a grandiosidade da descoberta.
14) **Bohr e Wheeler conseguiram explicar o efeito da fissão nuclear e identificaram o urânio 235 (U-235), o átomo U-235 se divide e forma um átomo de bário (Ba), um átomo de criptônio (Kr) e mais três nêutrons, esses nêutrons podem então seguir e causar cisão em mais átomos (reação em cadeia) que é a minha base.**
15) No fim da II Guerra mundial exatamente no dia 06 de Agosto de 1945 um protótipo meu chamado "Little Boy" foi lançado sobre Hiroshima e três dias depois outro chamado "Fat Man" sobre Nagasaki, ambas no Japão.

COISA **BÓSON DE HIGGS**

1) Foi construído um aparelho muito grande e muito caro com o intuito de me detectar – o acelerador de partículas.
2) **Sou uma partícula subatômica de spin inteiro.**
3) Escolha um jogador para avançar 2 casas.
4) **Também sou chamada de "partícula de Deus".**
5) Uma das teorias que me previu foi desenvolvida em 1964, por um cientista chamado Peter Higgs.
6) **Avance 2 casas.**
7) Os físicos François Englert e Peter Higgs ganharam o Nobel em 2013, por terem me previsto, lembrando que eles trabalharam de forma independente sem nem se conhecerem.
8) **Escolha um jogador para avançar 2 casas.**
9) Sou uma partícula que os físicos acreditam ser responsável por dar massa às demais.
10) **Estou dentro da famosa teoria do modelo padrão das partículas, proposta por Murray Gell-Man.**
11) Perca sua vez.
12) **Fui descoberta em 2012 no LHC (grande colisor de hádrons) e completei o modelo padrão das partículas.**
13) Eu só apareço em níveis de energia realmente altos e me transformo em outras partículas muito rapidamente.
14) **Fiquei realmente famosa quando o cientista Leon Lederman resolveu escrever um livro sobre mim, que no título propunha o nome "partícula amaldiçoada", porém foi comercializado com o título escolhido pela editora "partícula de Deus".**
15) Quando sou produzido em 58% dos casos eu decaio imediatamente para um quark bottom e para seu respectivo antiquark.

COISA MÁQUINA FOTOGRÁFICA

1) Minhas partes mais importantes são: a lente, o diafragma, e o obturador.
2) **Substitui de certa forma boa parte das pinturas.**
3) Meu funcionamento óptico é basicamente equivalente ao de uma câmara escura.
4) **1826 que o francês Joseph Nicéphore Niépce aperfeiçoa as ideias vigentes e consegue me criar, porém, demorava em torno de 8h para o resultado final do que eu produzia.**
5) Daguerre é um dos primeiros a produzir um aparelho que em minutos gerava a imagem do que se queria, assim, me torno super popular e minhas produções são chamadas de daguerreotipo.
6) **Nos últimos anos de século XIX que me popularizo com a introdução no mercado da minha versão tipo "caixão" e pelo rolo substituível.**
7) Assim como a lupa, a luneta, os projetores de imagem e o microscópio, eu sou considerada um instrumento óptico.
8) **Hoje em dia venho acoplada nos celulares.**
9) Um nome famoso na minha produção foi George Eastman, fundador da Kodak Company, que desenvolveu uma maneira prática de me utilizarem.
10) **Passei a ser comercialmente colorida após a década de 1940, mas pelo alto valor só a partir de 1970 realmente tive uma aceitação no mercado.**
11) Se você me possuísse na década de 1980 teria que comprar filmes para me utilizar e só veria os resultados quando gastasse todo o filme.
12) **O que eu faço é usar a luz — passando por uma lente e sendo absorvida por uma superfície (cromos, papéis, filtros e sensores) — para capturar o que você está vendo ao seu redor.**
13) Você me utiliza quando precisa atualizar seu perfil.
14) **Abranjo conceitos físicos e químicos.**
15) Sou um equipamento capaz de projetar e armazenar uma imagem em um anteparo.

COISA MICROFONE

1) Avance 2 casas.
2) **Amplifico as vibrações acústicas, tornando o som mais audível.**
3) Graham Bell foi o primeiro a me patentear sendo considerado meu inventor.
4) **Faço parte também dos computadores como dispositivo periférico.**
5) Thomas Edison me aperfeiçoou, produzindo um de carvão o resultou na melhoria das ligações telefônicas.
6) **Se eu for construído por uma bobina móvel, possuo um imã que produz um campo magnético devido às vibrações do diafragma.**
7) Sou um dispositivo eletromecânico que transforma as vibrações mecânicas em corrente elétrica.
8) **Fui fundamental para o desenvolvimento do rádio e da televisão.**
9) Sou baseado em um princípio da física chamado indução magnética.
10) **Se eu for de grão de carvão as vibrações fazem com que as distâncias variem, sendo que os grãos fazem parte de um circuito elétrico que provoca uma corrente elétrica variável.**
11) O primeiro foi inventado por Emile Berliner em 4 de março de 1877.
12) **Os telefones celulares me possuem.**
13) Posso ser com ou sem fio.
14) **Os cantores me utilizam com frequência.**
15) Perca sua vez.

COISA PEN DRIVE

1) **Tenho memória flash, que é eletrônica e não magnética.**
2) Ainda que bem pequeno, guardo um número incalculável de informações.
3) **O disquete tornou-se obsoleto depois que eu surgi.**
4) Em inglês fala-se Flash-drive.
5) **Avance 1 casa.**
6) Volte 1 casa.
7) **Sou um dispositivo de memória removível que precisa de uma porta USB.**
8) Os primeiros fabricados eram chamados de Disk On Key.
9) **Posso ser gravado e regravado.**
10) Surgi no ano de 2000.
11) **Nos sistemas de computadores atuais sou reconhecido automaticamente, porém em pc's mais antigos é necessário à instalação de drivers específicos.**
12) Minha capacidade pode ir além de 1 terabyte."
13) **Existo de vários modelos.**
14) Muitos professores não me dispensam em suas aulas.
15) **Perca sua vez.**

COISA PROJETO MANHATTAN

1) Fui um dos maiores projetos existentes no mundo.
2) **Fui criado para a produção de armas pelos EUA, com o objetivo maior de construir a bomba atômica.**
3) Era a ciência na maior escala imaginável da época.
4) **Quando fui fechado tinha empregado 130 mil pessoas e consumido US$ 2 bilhões em moeda corrente em 2014 no mais alto sigilo.**
5) Avance 1 casa.
6) **No começo de 1941, o projeto deveria testar cinco métodos separados para a produção de uma bomba: de separação eletromagnética, de difusão gasosa, térmica e mais duas linhas de pesquisa da tecnologia da reação nuclear.**
7) Minha sede foi um colégio desativado no Rancho Los Alamos no Novo México.
8) **Fui criado para produzir uma bomba atômica primeiro que os alemães liderados por Werner Heisenberg.**
9) Robert Oppenheimer liderou 3 mil cientistas aqui.
10) **Perca sua vez.**
11) Produzi a "Little Boy", feita de urânio 235, testada em Hiroshima e a "Fat Man", com o plutônio, elemento produzido mais instável e com maior efeito de devastação, testada em Nagasaki, ambas no Japão.
12) **Fui motivo de muitas críticas e desavenças.**
13) Fui criado durante a II guerra mundial.
14) **O que eu produzi devastou duas cidades japonesas em 1945.**
15) Albert Einstein não acreditava em minha existência.

COISA

BURACO NEGRO

1) **Stephen Hawking foi o primeiro a falar sobre a radiação que emito na faixa do infravermelho e em sua homenagem é chamada de radiação Hawking.**
2) Sou como um sugador, engolindo tudo o que passa perto de mim.
3) **Em 2013 o físico Joseph Polchiski sugeriu que os efeitos da escala quântica criariam um "muro de fogo" no horizonte de eventos que esturricaria qualquer coisa que caísse aqui.**
4) As primeiras especulações sobre mim, minha existência e características remontam á três séculos e dura até os dias atuais.
5) **Karl Schwarzschild utilizou a teoria da Relatividade de Einstein para obter soluções matemáticas que apontavam para minha existência.**
6) Robert Oppenheimer estudou minha formação observando e pesquisando estrelas contraindo e explodindo sob sua própria gravidade.
7) **Em 1971 o primeiro de mim é encontrado e chamado de Cygnus X-1.**
8) A observação de astros orbitando perto do centro de nossa galáxia em 2002, sugeriu a existência de um enorme.
9) **Perca sua vez.**
10) Em 1783 John Michell me teoriza, prevendo objetos cuja gravidade é tão grande que pode prender a luz.
11) **Em 2014, Stephen Hawking anunciou que não acredita mais que eu existo. (mas a sociedade científica ainda acredita na minha existência)**
12) Subrahmanyan em 1930 propõe que eu surgi se um núcleo estelar se colapsar devido a sua massa ser muito grande.
13) **O austríaco Wolfgang Rindler em 1950 propõem que eu possuo um horizonte de eventos que é a fronteira externa na qual a gravidade se torna tão forte que nem a luz escapa.**
14) Stephen Hawking propôs que se eu for rotacional a gravidade intensa daria origem a produção de pares virtuais partículas-antipartículas, sendo que uma é tragada para dentro de mim e a outra escapa.
15) **A radiação Hawking que emito, faz com que com o tempo perco massa e evaporo.**

COISA

COMPUTADOR

1) **Tenho processador e memória.**
2) Em 1981 a IBM lançou um modelo pessoal, o IBM-PC, que imediatamente se tornou popular. E em 1984 a Apple lançou o Macintosh, uma maquina revolucionária pela facilidade de utilização.
3) **Em 1984 a Microsoft lança o enorme sucesso, o sistema operativo Windows, o que me tornou mais popular.**
4) Em 1980 Seymourt Papert desenvolveu o primeiro software educacional, era um jogo chamado LOGO, com a qual crianças com mais de seis anos podiam programar e desenhar figuras matemáticas.
5) **Eu represento um dos mais eficientes recursos para a busca e acesso à informação.**
6) Minha primeira geração é a dos eletro-eletrônicos, tinham tamanhos exponenciais e eram compostos por numerosas válvulas.
7) **Alguns precursores famosos são Mark-1, que ocupava 120 m² e realizava 10 multiplicações em 3 segundos, e o ENIAC, primeiro eletrônico desenvolvido, que pesava 30 toneladas, 5,5 metros de altura e 25 de comprimento.**
8) Minha segunda geração é marcada pelos transistores, que substituíram as válvulas, por serem menores, mais rápidos e mais duradouros.
9) **Minha terceira geração é marcada pelos circuitos integrados, uma tecnologia que propiciava a síntese dos transistores e válvulas numa pequena placa de silício, o chip. Trouxe muitos benefícios como a redução de tamanho, velocidade maior, baixo custo e baixo consumo de energia. Os principais modelos foram OIBM e o PDP-11.**
10) A quarta e atual geração é a dos microprocessadores, dispositivos eletrônicos encapsulados num chip possuindo uma unidade de controle, uma unidade lógico-aritmética e uma memória interna.
11) **Preciso de hardwares e softwares para funcionar.**
12) Em 1943 foi criado o Colossus, o primeiro a ser programável do mundo, criado para decifrar códigos.
13) **Sou um aparelho considerado com inteligência artificial e construído em código binários 0 e 1, chamados bits.**
14) Já existem versões quânticas de mim, porém experimentais existindo muitas questões a serem resolvidas para minha produção em grande escala.
15) **Minha tela pode ser de raios catódicos, LCD ou LED.**

COISA

ESPAÇO SIDERAL

1) Os satélites me observam.
2) **Aqui a gravidade é zero.**
3) Perca sua vez.
4) **Pra vir pra cá é preciso tomar uma aeronave espacial e usar um traje especial.**
5) Aqui não há oxigênio.
6) **O que mais existe aqui é hidrogênio.**
7) Aqui se aplica a relatividade de Albert Einstein.
8) **A NASA é uma agência americana responsável por algumas pesquisas sobre mim.**
9) Daqui posso ver todos os planetas.
10) **Não se sabe onde eu começo nem onde eu termino, aliás, estou sempre em expansão.**
11) Poeiras cósmicas, nebulosas e meteoros podem ser encontrados aqui.
12) **Aqui há ondas gravitacionais.**
13) Aqui há radiações de toda a espécie, como infravermelha, ultravioleta, raios-X entre outras.
14) **Sou dividido em três: interplanetário, interestelar e intergaláctico.**
15) Tem muitos buracos negros aqui.

COISA

EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY

1) Sou um experimento.
2) **Avance 2 casas.**
3) Fui projetado minuciosamente para detectar o famoso éter, um meio hipotético.
4) **Fui projetado por um professor de física e outro de química e me chamam do sobrenome de ambos.**
5) Fui criado para medir a força do vento hipotético do éter, meio onde a luz se propaga.
6) **Consisto em separar um feixe de luz em dois feixes perpendiculares e eles percorrem a mesma distância em direções diferentes e depois retornarem a um ponto em comum, para analisar a diferença no tempo do feixe que percorrer o caminho contra o éter.**
7) Isaac Asimov me descreve como "O mais importante experimento que não deu certo de toda a história da ciência".
8) **Volte 1 casa.**
9) Esse experimento colocou em prova a física newtoniana, o que na época era um absurdo.
10) **Einstein desconhecia essa experiência física, porém, com experiências mentais, chegou ao mesmo resultado e sugeriu que o éter não existia.**
11) Fui produzido com um interferômetro.
12) **Meus idealizadores esperam encontrar uma interferência entre os dois feixes de luz.**
13) Comprovo que a velocidade da luz é a mesma independente do sentido de propagação.
14) **Minha explicação leva ao as transformações de Hendrik Lorentz que prediz a dilatação do tempo e a contração do espaço.**
15) Perca a vez.

COISA GARRAFA TÉRMICA

1) **Sou um dispositivo construído com o intuito de reduzir ao máximo a troca de energia com o meio externo, mas não sou 100% eficiente.**
2) Posso ser para líquidos frios ou quentes.
3) **Sou constituída a maioria das vezes de uma dupla parede espelhada (para evitar troca de calor por irradiação) com vácuo entre elas (para evitar a condução).**
4) Minha tampa é feita com um material de pequena condução térmica.
5) **Volte 1 casa.**
6) Meu primeiro protótipo foi construído 1892 pelo escocês James Dewar, um cientista da Universidade de Oxford, com o objetivo de manter soluções químicas a uma temperatura padrão, mas ele não me patenteou.
7) **Geralmente sou feita de metal, vidro, espuma ou plástico.**
8) Às vezes sou utilizada em laboratórios.
9) **Em 1904 a fundação da companhia alemã Thermos Gmbh me criou, patenteou e me produziu em escala industrial.**
10) Escolha um jogador para avançar 1 casa.
11) **Sou um utensílio da cozinha.**
12) Mantenho a temperatura do que é posto em mim por um bom tempo.
13) **Não deve utilizar líquidos gaseificados, pois posso até estourar devido à diferença de pressão interna e externa.**
14) Posso ser considerada um corpo negro, pois minha tampa é o local que a radiação adentra e o fato das minhas paredes serem refletoras impedem a saída da energia, fazendo com que toda a radiação incidente seja absorvida e mantida pelo sistema.
15) **Perca sua vez.**

COISA GELADEIRA

1) **Em 1834 Jacob Perkins patenteou meu primeiro protótipo, um compressor que solidificava água.**
2) Escolha um jogador para avançar 2 casas.
3) **Um parente meu é o ar condicionado, criado em 1902 pelo americano Willis Carier.**
4) Em 1920 surgi em versões domésticas.
5) **Meu funcionamento baseia-se em um processo de transferência de calor de uma fonte fria para uma fonte quente, que ocorre devido a uma energia externa em forma de trabalho.**
6) Perca sua vez.
7) **Utilizam o fluído fréon em minha construção, porque ele se vaporiza a baixa pressão e se condensa a alta pressão.**
8) Minha função é retirar calor de meu interior e liberar calor para o exterior.
9) **Meus componentes principais são compressor, válvula, radiador e congelador.**
10) Existo em diversos tamanhos, se eu for "pequeno" termino com a sílaba bar.
11) **Sou considerada uma máquina térmica.**
12) Avance 2 casas.
13) **Até 1929 usavam gases tóxicos na minha fabricação e hoje em dia utiliza-se clorofluorcarbono (CFCs), como o fréon que é atóxico e não inflamável.**
14) Sou um eletrodoméstico.
15) **Sou um armário metálico com um sistema de isolamento que evita que o frio se escape.**

COISA GRAVIDADE

1) **Sou explicada em termos de curvatura no espaço-tempo, pela teoria da relatividade geral de Albert Einstein em 1915.**
2) Estou relacionada ao movimento orbital dos planetas.
3) **Tenho tudo a ver com uma maçã caindo.**
4) A primeira pessoa a desenvolver uma lei sobre mim e minha força foi Newton.
5) **Sou associada a uma aceleração constante.**
6) Para Newton minha força depende da massa de dois corpos e é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.
7) **A precessão de mercúrio não pode ser explicada com a lei de Newton, mas Einstein solucionou o "problema" me explicando.**
8) Até a luz é afetada por mim o que demonstra que eu atuo também sobre energia, e não apenas sobre massa como se pensava.
9) **Na lua sou 6x menor do que na terra.**
10) Sou um fenômeno de atração entre corpos.
11) **Sou uma força fundamental da natureza, sendo a de intensidade mais fraca, as outras são: eletromagnética, força fraca e força forte.**
12) No sol sou 28x maior do que na terra.
13) **A massa nunca muda, mas já o peso sim, para definir essa grandeza vetorial tem que saber meu valor.**
14) Se eu for zero tudo flutua.
15) **No modelo padrão das partículas é previsto um bóson pra mim, uma partícula virtual responsável por transmitir força, mas nunca foi detectado, chamado gráviton.**

COISA IMPRESSORA

1) Perca sua vez.
2) **Posso ser a laser, de sublimação de tinta ou a jato.**
3) Avance 2 casas.
4) **Só funciono quando tem suplementos pigmentosos.**
5) Posso ser conectada ao computador.
6) **A linguagem entre mim e o computador pode ser PCL (desenvolvida pela HP) e a Postscript (criada pela Adobe). As duas trabalham descrevendo as páginas em vetores, ou seja, o que vai ser impresso é transformado em valores matemáticos para as formas geométricas ao invés de pontos (bitmaps).**
7) Posso ser preto ou colorido.
8) **Você me encontra no modelo Plotters em gráficas.**
9) Posso ser multifuncional, como o próprio nome já diz ter várias funções - as mais comuns são cópia, digitalização, impressão e envio de fax.
10) **Volte 1 casa.**
11) Posso me engasgar com papel, e te dar trabalho.
12) **Posso ser em 3D, criando objetos a partir de um programa no computador, que faz o design do objeto.**
13) Sou a evolução da máquina de escrever.
14) **Meu primeiro protótipo foi desenvolvido em 1938 pelo americano Chester Carlson que inventou o processo de reprodução de imagens e textos por meio de máquinas.**
15) Em 1953 foi criado meu primeiro protótipo de alta velocidade. A mesma foi utilizada no Univac, primeiro computador comercial fabricado e comercializado nos Estados Unidos.

Anexo 2 - Fotos da aplicação do produto educacional

Figura 5.4: Aplicação dos jogos.

Figura 5.5: Aplicação e entrega do jogo à escola.

Figura 5.6: Entrega do jogo ao consultório de psicologia.