

An abstract illustration of quantum physics concepts. It features a central bright yellow and white point, from which numerous blue and white lines radiate outwards, forming a complex, web-like structure. This structure is overlaid with several concentric circles and arcs, suggesting orbits or wave functions. The background is a dark grey, and the overall image has a soft, ethereal quality with some light blue wavy lines on the left and right sides.

**A “BORRACHA QUÂNTICA” APLICADA COMO
ATIVIDADE EXPERIMENTAL NO ENSINO DA FÍSICA
QUÂNTICA PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

*Imagem disponível em: https://miro.medium.com/max/700/1*BdFp71spjnPraBV8FI4T0Q.png*

FRANCISCO MIRANDA MONTEIRO JÚNIOR

DENILSON DA SILVA BORGES

**A “BORRACHA QUÂNTICA” APLICADA COMO ATIVIDADE
EXPERIMENTAL NO ENSINO DA FÍSICA QUÂNTICA PARA
ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

SÚMARIO

Apresentação.....	04
A construção da atividade experimental: a “borracha quântica”.....	06
A sequência como proposta para o ensino da física quântica para alunos do ensino médio.....	12
1° aula.....	12
2° aula.....	12
3° aula.....	13
4° aula.....	13
5° aula.....	14
6° aula.....	14
7° aula.....	15
Recomendações.....	16
Conclusão.....	17
Referências bibliográficas.....	18
Exemplar da avaliação diagnóstica.....	19

APRESENTAÇÃO

As atividades que compõem este trabalho derivam de uma situação-problema que envolve a falta de equipamentos didáticos para melhor explicar a física quântica em sala de aula, seja ela do ensino médio ou até mesmo do ensino superior. E esta dificuldade se dá devido a particularidade da própria natureza da física quântica: uma natureza microscópica.

O objetivo do desenvolvimento deste produto está relacionado a uma introdução dos conceitos, princípios e fenômenos que regem a parte básica da física quântica, com o intuito de dar apoio ao professor durante explicações sobre o assunto abordado e de propor aos alunos uma compreensão através de uma atividade experimental, além de melhor disseminar esta ciência que é muito citada, porém bem pouco compreendida.

Para os alunos e curiosos, este material possibilita uma visão de alguns conceitos e fenômenos quânticos, porém, não podemos deixar de destacar que o que a atividade experimental proporciona são visualizações de um campo nada quântico, é apenas algo para ilustrar alguns fenômenos. Auxiliando assim na construção do conhecimento, seguindo as orientações do professor.

O motivo em trabalhar com tal ciência se baseou em algumas perspectivas como: Trazer algo diferente para sala de aula com o intuito de melhor explicar a física quântica e seus princípios; a dificuldade em materiais experimentais que abordam tal assunto, mesmo que sejam materiais que lembrem os efeitos quânticos; disseminar tal ciência, além do que as histórias em ficção já citam, porém organizando o senso comum que muitos já possuem elencados por personagem fictícios. Pois é para onde estamos nos dirigindo quando diz respeito a modernização, a física quântica tem sido e será a ciência do futuro.

Portanto aqui apresentamos, uma proposta sobre o ensino da física quântica para alunos do ensino médio, por meio de uma sequência didática a partir dos estudos de conceitos e de uma atividade experimental “a borracha quântica”, com o intuito de tornar as aulas mais prazerosas, onde parte da elaboração da atividade experimental será montada pelos alunos que receberam

auxílio, explicações e monitoria por parte do professor. Um trabalho que será desenvolvido em conjunto contribuindo assim para uma compreensão dos conceitos relacionado ao tema.

Como citado acima, esta sequência de ensino foi pensada em uma metodologia em que o professor aparecesse como um auxiliador, funcionando como um mediador. Desta forma permitiria uma autonomia do aluno fazendo-o assim um ator importante do próprio conhecimento.

As escolas de ensino básico, em sua maioria encontram-se com um grande déficit de equipamentos com material (ou kits) para as atividades experimentais para o ensino da física. Quando se trata de campos microscópicos, nos deparamos com praticamente nada para esta área específica da física.

Estamos habituados a observar a natureza a partir de uma óptica macroscópica. Ou seja, observamos a natureza nos domínios da mecânica newtoniana. No nível quântico, construímos as leis físicas baseado no que observamos, ou melhor, baseado nos fenômenos que a natureza nos revela: é o que chamamos de “observáveis”.

A atividade experimental da borracha quântica (apagador quântico) tem como objetivo uma possível visualização de algo que parece muito distante de se observar, ou muitas vezes de algo que julgamos ser abstrato, dentro de um contexto de probabilidade da natureza dual da luz (onda-partícula).

A aplicação desta atividade experimental, que consiste em uma apresentação de dupla fenda, irá nos permitir explorar algumas características da física quântica, como observar que é impossível saber o caminho a ser escolhidos pelas partículas da luz (fótons), o princípio da superposição e interferência quântica.

A CONSTRUÇÃO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL: A “BORRACHA QUÂNTICA”

O nosso trabalho foi baseado em um artigo publicado na Scientific American Internacional em maio de 2007, intitulado como “FAÇA VOCÊ MESMO UMA BORRACHA QUÂNTICA” por Rachel Hillmer e Paul Kwiat. Retiramos a ideia para a realização deste trabalho e a transformamos em uma sequência de ensino para alunos curiosos do ensino médio que queiram se aventurar ou conhecer um pouco desta área da física.

Mas, o processo para a construção da nossa “borracha quântica” procurou inspiração na produção de Jorge Faccipieri Junior do Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas.

MATERIAIS UTILIZADOS

- 1- Local escuro e um anteparo: Esta é uma condição necessária.
- 2- Filmes polarizadores: Esse material pode ser obtido de telas de LCD de monitores que não funcionem mais. Trata-se de uma película escura, fácil de ser encontrada, mas se faz necessário um cuidado na hora da extração do material.

Figura 1: Extração do filme polarizador de uma tela LCD não utilizável.



Fonte: Própria, 2019.

- 3- Laser-pointer: Utilizamos um laser comum, desses utilizados em apresentações de coloração esverdeada e com comprimento de onda de aproximadamente 532 nm.

Figura 2: Apontador a laser verde.



Fonte: Própria, 2019.

- 4- Fio fino: Quanto mais fino for o fio melhor será a apresentação das franjas a serem formadas. Demos preferência por pontas de grafites de lapiseiras de 0,5mm, mas sua única desvantagem é a sua fragilidade, quebram com muita facilidade.

Figura 3: Ponta de grafite 0,5 mm.



Fonte: Própria, 2019.

- 5- Suportes: para os suportes podem ser utilizados diversos materiais como: Isopor, fita adesiva, anéis de suportes universais para laboratório de diâmetro 5 cm, pregador de roupa e madeira.

Figura 4: Suportes de isopor, anéis de laboratório e o pregador de roupa



Fonte: Própria, 2019.

GUIA PARA MONTAGEM EXPERIMENTAL:

- 1- Inicia-se o preparo para a execução do aparato com os suportes. Utilizamos madeira como base com 50 cm de comprimento e 14 cm de largura para a atividade experimental e para confeccionar uma base para o laser pointer (com a finalidade de apoiar o laser sem termos que ficar segurando).
- 2- Em seguida fura-se o suporte com o intuito de colocar os anéis de suporte de laboratório, a uma distância de aproximadamente de 20 cm.

Figura 5: Suporte borracha quântica, corresponde ao número 5 da figura e suporte para o laser que corresponde ao número 2 da figura.



Fonte: Própria, 2019.

- 3- Finalizada a estrutura da base, iremos para outro suporte. O suporte do identificador de caminho e da borracha quântica. Utiliza-se isopor com dimensões externas 10 cm x 10 cm e interna 5 cm x 5 cm. Como temos um identificador de caminho e duas borrachas quânticas, confeccionamos 3 suportes de isopor.
 - 4- Depois de extraído o filme polarizador, corta-se ele em pedaços pequenos e aconselhamos ter cuidado no momento da identificação. O primeiro corte foi o identificador de caminho, onde deve-se cortar dois pedaços do polarizador em dimensões de 3,5 cm x 7,5 cm, porém esse corte não pode ser feito de qualquer jeito, o cuidado está no direcionamento do polarizador, identificamos com V de vertical e H de horizontal. Utiliza-se de fita adesiva para unir ao máximo os polarizadores como mostrado na figura 6 e em um segundo momento ainda com o identificador colocamos o nosso fio fino, a ponta de grafite de 0,5 mm, ela é posta bem na divisa do identificador de caminho. O intuito dela neste momento da confecção concentra-se em esconder o espaço deixado entre os dois polarizadores conforme mostrado na figura 7.
- O segundo corte seria um pedaço do polarizador de dimensões 3,3 cm x 7,5 cm, o identificamos apenas como horizontal, consequentemente o oposto seria o vertical (Fig. 8) e o terceiro corte foi feito dimensões de 6,5 cm x 7,5 cm, o diferencial deste corte foi que o extraímos formando um ângulo de 45° e para identificação deste polarizador

fizemos um corte em uma das pontas, para identifica-lo como sendo o polarizador de 45°.

Estes dois últimos cortes são as nossas “borrachas quânticas”.

Figura 6: Identificador de caminho sem a ponta de grafite.



Fonte: Própria, 2019.

Figura 7: Identificador de caminho com a ponta de grafite para esconder a abertura entre os dois polarizadores.



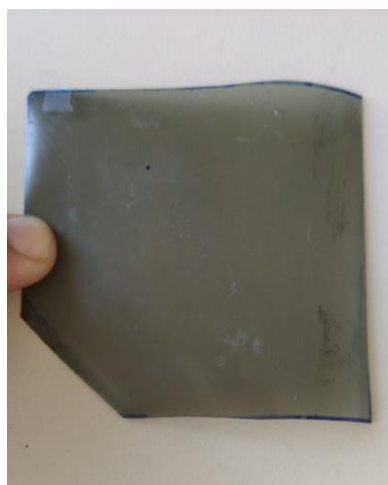
Fonte: Própria, 2019.

Figura 8: “Borracha quântica” na horizontal e na vertical.



Fonte: Própria, 2019.

Figura 9: “Borracha quântica de 45°.



Fonte: Própria, 2019.

- 5- Em seguida, gruda-se nosso identificador de caminho e as nossas “borrachas quânticas” no isopor (suporte). O pregador de roupa tem como finalidade pressionar o botão do laser pointer com o intuito de mantê-lo ligado, sem a necessidade de ficarmos pressionando.

E por fim, a nossa atividade experimental está pronta para ser utilizada conforme a figura 10.

Figura 10: Atividade experimental da borracha quântica produzida por Francisco Miranda.



Fonte: Própria, 2019.

A SEQUÊNCIA COMO PROPOSTA PARA O ENSINO DA FÍSICA QUÂNTICA PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

A nossa sequência de ensino conta com 7 passos ou sete aulas, que são elas:

1º Aula: 1º Avaliação diagnóstica (45 minutos)

Objetivo: Avaliar o conhecimento prévio dos alunos com relação a física quântica.

Procedimento didático: Iniciar com a recepção dos alunos, explicando a eles que faremos uma avaliação com o intuito de analisar o que eles conhecem e entendem sobre o significado de alguns conceitos da física quântica. Para conseguir obter estes registros deve-se realizar a 1º avaliação diagnóstica. O tempo para a realização desta avaliação será de 45 minutos. A 1º avaliação diagnóstica consta de 7 questões objetivas e que foram utilizadas em vestibulares.

2º Aula: Luz e radiação eletromagnética (45 minutos)

Objetivo: Explanar sobre a evolução dos conceitos da luz até chegarmos a ideia de radiação eletromagnética.

Procedimento didático:

1º momento: Passearemos sobre a visão de algumas diferentes épocas e de alguns diferentes povos, a procura de um conceito para o que é a luz e do que ela é formada, recomenda-se a utilização de apresentações em power point para que se possa visualizar o roteiro de pensamento de alguns povos antigos até o embate entre Newton e Huygens, ou seja, levantando a discussão se a luz é de natureza ondulatória ou corpuscular. Nesta aula, se faz necessário o debate entre essas duas formas de definições. Definiremos a interferência com um vídeo sobre ondas mecânicas e através de imagens definição da luz como onda segundo Huygens.

2º momento: Nessa etapa definimos luz como onda eletromagnética com o intuito de chegarmos à explanação radiação eletromagnética. Nessa etapa,

também pode ser apresentado aos alunos um dos materiais utilizados na nossa atividade experimental, o laser pointer. Inicia-se a montagem das bases de madeira e onde o laser pointer irá ficar localizado.

3º Aula: Polarização da luz (45 minutos)

Objetivo: Comentar a ideia da polarização, os polarizadores e a polarização da luz.

Procedimento didático:

1º momento: A conceituação do termo polarização em demais esferas sociais é de grande ajuda para conseguirmos atingir o nosso objetivo maior desta aula que será de definir a polarização da luz, para isso sugerimos que comece com diferentes exemplos da palavra polarização empregada em no âmbito social. Passaremos para uma animação computacional sobre a polarização agindo em uma corda.

2º momento: A visualização do vídeo “Como identificar a película polarizadora correta” que se encontra no seguinte endereço eletrônico aberto ao público, <https://www.youtube.com/watch?v=42VYx4E21mk>. Este vem nos ajudar a observar principalmente a importância do emprego correto do filme polarizador. Além de nos mostrar o comportamento se for colocado de forma inadequada. E então, chegaremos a definição da polarização da luz, o seu comportamento e os seus efeitos como onda eletromagnética.

3º momento: Finalizado os dois momentos, nos voltamos para a nossa atividade experimental, onde colocaremos os polarizadores nos suportes, identificaremos o identificador de caminho e as “borrachas quânticas”.

4º Aula: Introdução histórica (45 minutos)

Objetivo: Compreender o momento do surgimento da física quântica.

Procedimento didático:

1º momento: Inicia-se comentando o momento em que a física passava, comentaremos a conferência na Royal Society em março de 1900 onde se debateu a “completude” da física pelo nobre cientista Lorde Kelvin. Continua-se

citando as dificuldades e os problemas a serem solucionados da época, até chegarmos aos dois problemas que deram início ao surgimento da teoria da relatividade e da física quântica.

2º momento: passaremos a comentar mais fortemente o assunto que diz respeito a física quântica (corpo negro, a teoria dos quanta, efeito fotoelétrico, a natureza da luz, dualidade onda-partícula e os princípios da física quântica).

Os dois primeiros momentos devem ser voltados a explanação de conceitos relacionados ao estudo e compreensão da parte introdutória da física quântica. Lembrando e devendo se levar em consideração que trataremos de alunos que possuem um conhecimento um pouco mais aprofundado no cálculo.

5º Aula: Dualidade onda-partícula (45 minutos)

Objetivo: Explicar a ideia de dualidade e o que seria a dualidade onda-partícula para a física quântica.

Procedimento didático:

1º momento: Nesse momento é feita uma breve introdução explicando o que seria a dualidade, procurando trazer como lembrança o que foi estudado anteriormente (os fatos históricos), comentaremos o experimento de fenda dupla através de animações computacionais. E por fim, deste primeiro momento, adentraremos nos conceitos da dualidade onda-partícula, explanando a hipótese de De Broglie e os princípios da complementariedade e da incerteza.

2º momento: Como forma de revisar todo o conteúdo explanado ao longo das aulas anteriores incluindo esta aula, assistiremos a uma pequena animação intitulada como “física quântica: experimento da fenda dupla” disponível no seguinte endereço <https://www.youtube.com/watch?v=GXYW4a3OZY&list=PLJ33OIBTtlq8IG6lZdVcD8cVklR80Ug-&index=2>

6º Aula: A atividade experimental da “borracha quântica”

Objetivo: Manusear o experimento e ilustrar os efeitos quânticos citados.

Procedimento didático: Após passarmos por todas as aulas necessárias para explicar os materiais utilizados, procedimentos a serem seguidos, o

conteúdo básico através dos conceitos e montagem do aparato. Como alicerce para a nossa sequência de ensino, nesta aula passaremos o nosso tempo explorando a atividade experimental, onde os alunos devem estar livres para o manuseio do aparato. E o professor terá como papel mediar os feitos dos alunos. Controlando-os, questionando-os e dando dicas dos passos a serem seguidos pelos alunos.

Primeiramente sugerimos a identificação do fenômeno de interferência, em seguida passarmos para o identificador de caminho e por fim a aplicação da borracha quântica e então a verificação da mesma no sentido de apagar eventos anteriores, sempre fazendo ligação aos princípios que regem a física quântica.

O intuito dessa forma de moldagem concentra-se em ter um aproveitamento satisfatório e uma administração do próprio tempo de aula.

7º Aula: 2º Avaliação diagnóstica (45 minutos)

Objetivo: Avaliar o conhecimento adquirido após a aplicação da sequência de ensino e da atividade experimental.

Procedimento didático: A aplicação da 2º avaliação diagnóstica consiste em reaplicar a mesma avaliação inicial. O intuito desta avaliação é verificar se após a apresentação da sequência de ensino o aluno compreendeu o que seriam os conceitos básicos que regem a física quântica, além de mostrar uma opção para se ensinar a física quântica.

Após a realização desta atividade avaliativa, finalizaremos nossa sequência de ensino, agradecendo a participação e a atenção dos alunos. As avaliações diagnósticas devem ser corrigidas procurando analisar os erros, as dúvidas e verificando se houve aprendizagem por parte dos alunos.

RECOMENDAÇÕES

É importante deixar bem claro que o que estará sendo abordado não é o “reino” ou “universo” quântico, como muitas vezes pode ser citado ou indagado por algum aluno, pois é assim que algumas nomenclaturas se referem a esta ciência.

Também é de suma importância lembra-los que o que será visto é apenas imagens que estão nos servindo como apoio para uma melhor explanação e algo que não representa a realidade, pois nossa natureza é algo macroscópica e o campo de atuação da física quântica é de natureza microscópica, ou seja, que foge completamente da nossa percepção.

Porém, muito embora a atividade experimental da “borracha quântica” possa nos auxiliar de forma majestosa na concepção da aquisição dos conceitos que regem os princípios e os principais fenômenos da física quântica, ou pelo menos os necessários para começarmos uma compreensão desta curiosa ciência.

Aproveitamos para recomendar uma boa leitura no que diz respeito a história da física quântica por parte do professor para melhor auxiliar os seus alunos, assim como uma interação entre os alunos é necessária para que um ajude o outro em visualizações e na formação de opiniões.

E por fim, ao final da aplicação de toda a proposta didática, ao ser constatada alguma dúvida, que esta seja retirada logo de imediato a fim que dar por finalizada a proposta e quem sabe dar início a outra maneira de se ensinar a física quântica.

CONCLUSÃO

Este material em suas aplicações preliminares se mostrou eficaz quanto ao seu objetivo, tornando uma ferramenta de grande auxílio quando diz respeito ao ensino da física quântica. Lembrando que, o nosso material não demonstra o que é a natureza quântica, estamos distantes disso, porém esta atividade nos permitiu explorar caminhos que demonstram o que seria o princípio da incerteza de Heisenberg, o princípio da superposição e interferência quântica.

Alicerçados com a história da física, esta atividade ganha mais riqueza com o significado e melhor compreensão do momento vivido e como foram feitas tais descobertas. A busca de materiais de uso do cotidiano para a implementação da nossa atividade experimental nos fez observar que em pequenos adereços já “se trabalha com conceitos da física quântica”, restando apenas um olhar mais carinhoso e crítico para percebermos o que mais temos da física quântica ao nosso redor.

Ao entender que estudar a física quântica é um tanto complexo, trouxemos neste material uma forma de trabalharmos os conceitos iniciais para o entendimento do que seria a física quântica e assim poderemos entender o motivo de tanta disseminação desta ciência, assim como o aparecimento repentino em diversos tipos de filmes. Nosso produto é apenas um ponto de partida para os estudos introdutórios, uma vez que a precariedade das ferramentas demonstrativas da física quântica seja bem elevada.

Por fim, nosso produto traz consigo uma sequência de ensino e a utilização de uma atividade experimental “a borracha quântica” assim como a sua utilização e onde encontrarmos os materiais utilizados. Deixando uma ferramenta de ensino e de baixo custo, procurando tornar as aulas de tal conteúdo atrativa e participativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D.P. A aquisição e retenção de conhecimento: uma visão cognitiva. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

AUSUBEL, D.P. Psicologia educacional: uma visão cognitiva. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1968.

BACHELARD, G. A formação do Espírito Científico. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCNs Ensino Médio: Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2000.

HILLMER, R.; KWIAT, P. Faça você mesmo uma Borracha Quântica. Scientific American Brasil. Nº 61, P. 76-81, junho 2007.

JÚNIOR, F. R. & FERRARO, N. G. & SOARES, P. A. T. Os Fundamentos de Física. Vol. 3. São Paulo, Moderna, 2003

EXEMPLAR DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

Avaliação diagnóstica

1. Na coluna da esquerda, estão listados eventos ou situações físicas; na da direita, grandes áreas das teorias físicas.

1. Descrição de sistemas que envolvam objetos que se movam com velocidades próximas da velocidade da luz.	(a) Física Clássica
2. Descrição de fenômenos que ocorrem em dimensões muito pequenas, como as de um átomo.	(b) Física Quântica
3. Unificação da Eletricidade e Magnetismo, conforme realizada por Maxwell.	(c) Física Relativística

A alternativa que relaciona corretamente o evento ou situação com a área usada para descrevê-lo é

- a) 1(a), 2(b) e 3(c).
- b) 1(a), 2(c) e 3(b).
- c) 1(b), 2(c) e 3(a).
- d) 1(c), 2(a) e 3(b).
- e) 1(c), 2(b) e 3(a)

2. No contexto histórico da virada do século XIX para o século XX, Lord Kelvin proferiu uma palestra e afirmou que não havia mais muitos pontos obscuros para serem resolvidos pela Física. Destacou que existiam apenas dois problemas: o primeiro referente a não detecção do vento de éter (resultado nulo do experimento de Michelson-Morley), e o segundo, relacionado à partição de energia (emissão e absorção da radiação de corpo negro). Em relação ao avanço na construção de conhecimento em Física, decorrente dos dois problemas apontados por Lord Kelvin, assinale a alternativa **correta**.

- a) Os pontos obscuros apontados por Lord Kelvin não se configuraram em problemas científicos, e foram ignorados pela Ciência.
- b) Os problemas sinalizados por Lord Kelvin foram solucionados pela mecânica newtoniana, sendo necessário apenas um refinamento experimental.
- c) A Ciência, em particular a Física, não avançou mediante a resolução de problemas e aos pontos obscuros apontados por Lord Kelvin, que retratavam apenas dúvidas pessoais dele próprio.
- d) Max Planck foi o único a solucionar os dois problemas apontados por Lord Kelvin e, por isso, Planck é considerado por muitos o “Pai da Mecânica Quântica”.
- e) Os pontos obscuros destacados por Lord Kelvin foram determinantes na condução de mudanças radicais na Física, culminando na construção das teorias quânticas e relativísticas.

3. O princípio da incerteza de Heisenberg trata da

- a) incerteza do conhecimento da Física de que tudo é sempre relativo e nunca definitivo.
- b) imprecisão de definir as coordenadas de posição e o momento linear de uma partícula quântica simultaneamente, ao longo de uma direção.
- c) dificuldade de encontrar um elétron nas camadas de valência do átomo.
- d) dilatação do tempo e contração dos objetos ao atingirem velocidade próxima à da luz.
- e) variação de entropia e o sentido da seta do tempo.

4. O físico francês Louis de Broglie (1892-1987), em analogia ao comportamento dual onda-partícula da luz, atribuiu propriedades ondulatórias à matéria.

Sendo a constante de Planck $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, o comprimento de onda de Broglie para um elétron (massa $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$) com velocidade de módulo $v = 2,2 \times 10^6 \text{ m/s}$ aproximadamente,

- a) $3,3 \times 10^{-10} \text{ m}$.
- b) $3,3 \times 10^{-9} \text{ m}$.
- c) $3,3 \times 10^3 \text{ m}$.
- d) $3,0 \times 10^9 \text{ m}$.
- e) $3,0 \times 10^{10} \text{ m}$.

5) Na história da física, existem vários exemplos de conceitos que exigiram revisão ou mesmo substituição, quando novos dados experimentais se opuseram a eles. Em relação à natureza do

comportamento da luz, isso não foi diferente, sendo resolvido somente no último século pela Mecânica Quântica. Qual é a natureza do comportamento da luz para a Mecânica Quântica?

- a) Natureza corpuscular.
- b) Natureza ondulatória.
- c) Natureza dual, ou seja, às vezes se comporta como onda e às vezes como partícula.
- d) Natureza dual, ou seja, sempre se comporta como partícula.
- e) Natureza dual, ou seja, sempre se comporta como onda.

6) O dualismo onda-partícula refere-se a características corpusculares presentes nas ondas luminosas e as características ondulatórias presentes no comportamento de partículas, tais como elétrons. A natureza nos mostra que características corpusculares e ondulatórias não são antagônicas, mas sim complementares.

Dentre os fenômenos listados, o único que não está relacionado com o dualismo onda-partícula é:

- a) o efeito fotoelétrico.
- b) a ionização de átomos pela incidência de luz.
- c) a difração de elétrons.
- d) o rompimento de ligações entre átomos pela incidência de luz.
- e) a propagação, no vácuo, de ondas de rádio de frequência média.

7) O modelo atômico de Bohr, aperfeiçoado por Sommerfeld, prevê órbitas elípticas para os elétrons em torno do núcleo num sistema planetário. A afirmação “um elétron encontra-se exatamente na posição de menor distância ao núcleo com velocidade exatamente igual a 10^7 m/s” é correta do ponto de vista do modelo de Bohr, mas viola o princípio:

- a) da relatividade restrita, de Einstein.
- b) da conservação da energia.
- c) de Pascal.
- d) da incerteza de Heisenberg.
- e) da conservação de momento linear.