



Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão
Unidade Acadêmica Especial de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



PRODUTO EDUCACIONAL

APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Carlos Henrique Moreira Sales

Produto Educacional associado à Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Professor Dr. Mauro Antonio Andreato.

CATALÃO – GO
Fevereiro 2020

APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA

INTRODUÇÃO

Endereçamos esta produção acadêmica aos professores de Física do Ensino Médio que buscam o desenvolvimento, aprimoramento das metodologias de ensino, a fim de tornar os conteúdos da Física Quântica mais apreciáveis pelos alunos e desta forma contribuir para que a Física Quântica seja cada vez mais envolvida no cotidiano das pessoas, diminuindo assim o senso de estranheza proveniente da “desconexão” dos fenômenos quânticos com as experimentações do mundo macro.

Consiste no produto educacional apresentado juntamente com a Dissertação de Mestrado com o título “Aprendizagem Ativa de Física Quântica no Ensino Médio” desenvolvido pelo Acadêmico Carlos Henrique Moreira Sales por ocasião da conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), na Universidade Federal de Goiás (UFG) - Regional Catalão, com orientação do Professor Dr. Mauro Antonio Andreatta.

As atividades foram desenvolvidas no formato de Sequência Didática objetivando facilitar a interação entre professor e alunos, com uma série de atividades pré-estabelecidas, no final das quais, pretende-se que o aluno tenha desenvolvido competência, e afinidades nesse ramo da Física, ainda pouco elucidado em sala de aula, a saber, a Física Quântica.

Dar ênfase ao conteúdo de Física Moderna na disciplina de Física significa dar ao aluno conhecimento e perspectiva de um campo científico extremamente presente na sua realidade cotidiana, ampliando seu interesse no desenvolvimento e aplicações de tecnologias que surgem e que se renovam com velocidade altíssima, e tudo isso sobre uma plataforma de compreensão proveniente dos avanços que esse ramo da ciência pôde trazer para a humanidade. Além disso, contribuir para o despertar de uma natural

curiosidade em compreender a realidade na qual esse aluno está inserido, mais que isso, adquirir condições intelectuais de questionar essa realidade e interferir sobre ela.

A Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado. (PCN+, MEC, 2002, p. 56)

Contribuições essas, sem as quais vários outros campos, de pesquisa estariam distantes de maximizar seus potenciais de aplicabilidade. Sem a Mecânica Quântica a Química ainda estaria na Idade Média e a Biologia Molecular – Conhecimento do DNA, engenharia genética, e todo o resto – não existiria. (GRIBBIN, 1988, P.12)

Propomos o desenvolvimento de aulas com essa sequência didática visando entender um importante resultado da física quântica: o Princípio da Incerteza enunciado em 1927 pelo físico alemão Werner Heisenberg¹ (1901-1976). Para conduzir os discentes a um melhor entendimento desse importante princípio da Física Moderna, faremos uso de uma metodologia de ensino desenvolvida pelo pedagogo, pesquisador e neuropsiquiatra, Ovide Decroly² (1871-1932), com vista no ensino ativo, no qual o aluno é o centro do processo educativo, estruturando condições para que os discentes tenham uma educação motivada e fruto de ações extraídas de seus próprios centros de interesse.

¹ Werner Heisenberg (1901- 1976), físico alemão, estabeleceu a teoria da chamada Mecânica Quântica de Heisenberg. Foi diretor do Instituto de Física Max Planck, em Berlim.

² Ovide Decroly (a forma aportuguesada é Ovídio Decroly), um dos precursores da Escola Nova, nasceu na cidade de Renaix, na Bélgica, em 23 de julho 1871, e veio a falecer na cidade de Bruxelas, de estafa, em 12 de setembro de 1932. Decroly cursou medicina na Universidade de Gand, na Bélgica, e aprofundou seus conhecimentos no estudo do sistema nervoso (neuropsiquiatria) e de doenças mentais. (CHANEL, 1977, pp. 265-266).

OBJETIVOS

Objetivos Gerais

- Desenvolver condições para que o aluno adquira conhecimento do Princípio da Incerteza;
- Compreender a importância da Física Quântica e das tecnologias que se desenvolveram a partir dela;
- Mostrar aos discentes que eles podem ter clareza de qualquer conteúdo da Física que queiram, se partirem para uma autoeducação, ou seja, se assumirem como sujeito que produzem seus próprios saberes, e que a aquisição de conhecimento é muito mais do que sentar para ouvir, mas criar as possibilidades para a sua construção.

Objetivos Específicos

Deseja-se que o aluno seja capaz de:

- Adquirir suporte teórico para se articular nos conceitos elementares da Física Quântica;
- Desenvolver habilidades e competências que o permita interpretar textos de Física Quântica;
- Adquirir a habilidade matemática específica que é necessária para operar sobre questões que envolva algoritmos dentro da Física Quântica;
- Conhecer e assimilar quais foram às circunstâncias do nascedouro da Física Quântica, todo o contexto histórico e os principais personagens que contribuíram com suas pesquisas para construírem essa tão importante ciência.

PÚBLICO ALVO

Esta sequência didática foi planejada para ser ministrada para os alunos da terceira série do Ensino Médio, porém pode ser aplicada também para as turmas da

segunda série se o professor se planejar para isso. O pré-requisito mais importante para os conteúdos desta proposta é a ondulatória. Portanto, se os alunos já estudaram esse ramo da Física, então a turma está apta para a aplicação dessa sequência didática.

RECOMENDAÇÕES INICIAIS AOS ALUNOS

Antes de iniciar as aulas dessa sequência, o professor deverá repassar algumas orientações aos alunos:

- Como se trata de uma mudança de comportamento pedagógico, os alunos poderão agir com alguma estranheza, já que não estão acostumados com o Ensino Ativo, onde neste as aulas serão desenvolvidas com muita participação de todos eles, portanto os alunos deverão ser avisados desse fato;
- Os alunos deverão ser avisados que serão requisitados a respeito de alguns conteúdos de ondulatória, dando aos que quiserem oportunidade de revisar tais conteúdos.

RECOMENDAÇÕES AO PROFESSOR

É de fundamental importância que o professor trabalhe com os alunos os conteúdos de Física Quântica que antecedem o Princípio da Incerteza, e ao fazê-lo, desenvolva o ensino ativo, pois dessa forma haverá um deslocamento de todos os envolvidos de uma zona de comodidade que o ensino acroamático impõe na atitude dos discentes. É possível que haja alguma insegurança no início (insegurança devido à falta de costume dos educandos com o ensino ativo), mas logo após esse momento de “instabilidade”, as aulas tendem a ficarem extremamente produtivas, agradáveis e de muito fácil manejo.

Antes dos alunos aprenderem sobre o Princípio da Incerteza, propriamente dito, recomendamos que sejam ministrados os conteúdos relacionados abaixo:

- História da Física Moderna;
- Teoria dos quantas;

- Radiação proveniente dos corpos aquecidos;
- O quantum de energia – descoberta de Planck;
- O efeito fotoelétrico;
- A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico;
- A dualidade onda-partícula;
- Comprimento de onda de de Broglie.

NÚMERO DE AULAS

São propostos nove encontros, cada um deles com duração de uma hora/aula. O quadro abaixo descreve resumidamente as atividades, qualificação dos momentos bem como o tempo destinado à realização das mesmas. E ainda a fase do processo do ensino ativo, baseado no método dos Centros de Interesses cujas fases são observação, associação, expressão de Ovide Decroly (1871-1932).

Tabela: Quadro Resumido das Aulas

Atividades	Momentos	Tempo
<p>Fase: Observação</p> <p>1- Professor solicitará aos alunos a descobrirem qual o formato de uma estatueta dentro de uma caixa de papel feita de material extremamente sensível ao toque. A caixa terá uma abertura, tampada apenas com tecido, porém por toque não conseguirão descobrir o formato da pequena estátua.</p>	<p>No laboratório de Ciências ou em sala de aula, Os alunos devem conversar entre si para decidirem como fazer. A estatueta pode ser feita de bloquinhos posicionados um em cima do outro, sem firmeza alguma.</p>	<p>Uma aula</p>

<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>2- Repetir o mesmo experimento da aula anterior. O esperado é que agora utilizem uma solução física plausível. O professor deve ouvir as possíveis soluções que os alunos vierem a sugerir e aplica-las</p>	<p>No laboratório de Ciências ou em sala de aula, jogar luz na caixa, já que a caixa é de papel e tentar ver a silhueta do objeto projetada na parede oposta da caixa é uma solução bem viável.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>3- Propor uma analogia, na forma de experimento mental: mostrar quais as consequências da interação de um fóton com um elétron. Mostrar a simulação ou o vídeo da tentativa de “observar” um elétron e explicar significado de “colapso da função de onda”.</p>	<p>Na sala de vídeo, o professor deverá conduzir para que os alunos se lembrem das aulas do efeito fotoelétrico. O vídeo em questão é do personagem chamado “O Senhor Quântico” cujo título é “Mecânica Quântica o Experimento da Fenda Dupla!” Disponível em : <https://www.youtube.com/watch?v=GXYW4a3OZY></p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>4- Nesta aula os alunos conhecerão a expressão matemática do Princípio da Incerteza de Heisenberg. Mostrar que Heisenberg provou que a incerteza da posição e a incerteza do momento são inversamente proporcionais quando medidos de simultaneamente em partículas atômicas e subatômicas.</p> <p style="text-align: center;">$\Delta x \cdot \Delta Q \geq h/4\pi$</p> <p>(descrição matemática do Princípio da Incerteza)</p>	<p>Conduzir os discentes pelo mesmo arranjo experimental imaginário que Heisenberg usou para explicar o Princípio da Incerteza. O Professor poderá incrementar o experimento com outras ideias ou ações que queira para ilustrar o Princípio da Incerteza.</p>	<p>Uma aula</p>

<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>5- Aplicação do programa <i>Modellus</i> (software de simulação) de uma formiguinha em movimento com massa e velocidade definidas e com os dados apresentados solicitar que os alunos apliquem o Princípio da Incerteza.</p>	<p>O professor deve mediar para que os alunos resolvam a questão, e auxilie aqueles que não conseguirem aplicar o Princípio da Incerteza na primeira tentativa.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Associação</p> <p>6- Os discentes serão conduzidos a explicar e utilizar a forma matemática do Princípio da Incerteza para responder questões envolvendo algoritmos.</p>	<p>Ao resolverem o problema proposto, chegarão a um resultado com valores da ordem de 10^{-34}. Então, deverão ser questionados sobre o que significava tal resultado. O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido e o objeto estudado.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Expressão</p> <p>7- Para expressar o conhecimento adquirido nas etapas anteriores, os alunos serão requisitados a responder algumas pergunta de natureza dissertativa.</p>	<p>Na sala de aula, o professor direcionará quatro perguntas a turma a fim de fortalecer as diferenças entre as abordagens de objetos quânticos e objetos macroscópicos.</p>	<p>Duas aulas</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Expressão</p> <p>8- Os procedimentos de verificação da aprendizagem poderão ser formais ou informais. Todavia, para evitar dúvidas a respeito da eficácia do ensino ativo, sugerimos ao professor a realização da verificação da aprendizagem através de prova escrita tradicional.</p>	<p>O professor deverá aplicar a mesma prova em duas turmas. Em seguida estabelecer a distinção dos resultados em percentuais do número de acertos da turma em que foi usado o método Decroly comparando com o número de acerto da turma em que foi usado o tradicional método expositivo.</p>	<p>Duas aulas</p>

Fonte: O próprio autor.

DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

As atividades deverão seguir as sequências abaixo destacadas, podendo, no entanto ser modificadas a critério do professor afim de que adeque à realidade de sua escola.

PRIMEIRA AULA

OBJETIVO

Compreender que a abordagem a certos sistemas físicos interferem nos resultados.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Caixa de papel vegetal, provida com uma abertura em uma de seus lados; Blocos de montar do tipo lego (sem encaixar)

DINÂMICA DA AULA

Direcionar os alunos para que descubram qual o formato de uma estatueta dentro de uma caixa de papel. A mesma deve ser feita de material extremamente sensível ao toque. O objetivo é que descubram que pelo toque não é possível saber a forma da pequena estátua. A caixa terá uma abertura, tampada apenas com tecido preto, ficando bem sugestivo aos alunos por a mão por essa abertura.

O Professor passa a tarefa de descobrirem a forma dentro da caixa. Os alunos devem conversar entre si para decidirem como fazer. Como a maneira mais simples é colocando a mão dentro da caixa e quando o fizerem a estatueta se desfará com o menor toque. A estatueta poderá ser feita de bloquinhos posicionados um em cima do outro, sem firmeza alguma. A forma pode ser de uma letra, um quadrupede, uma cruz, ou qualquer outra que o professor queira. Os alunos são solicitados para que pensem em uma nova estratégia para alcançar o objetivo de descobrir o formato da estatueta, agora sabendo que com o toque isso não poderá acontecer, isso será para o próximo encontro.

Após essa primeira tentativa o professor mediará com as seguintes perguntas:

- Faz algum sentido vocês continuarem a tentar descobrir qual o formato da estatueta usando o tato?
- Se não faz sentido, o que vocês devem fazer para continuar a tarefa de descobrir a forma dentro da caixa?
- A forma de abordar o experimento pode interferir na experiência?

SEGUNDA AULA

OBJETIVO

Descobrir o formato de um objeto dentro de uma caixa, sem olhar, sem tocar e relacionar as opções plausíveis para isso.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Caixa de papel vegetal, provida com uma abertura em uma de seus lados, blocos de montar do tipo lego, lanternas.

DINÂMICA DA AULA

Os estudantes serão conduzidos ao laboratório de ciências, e lá estará preparado o mesmo experimento da aula anterior. O esperado é que agora utilizem uma solução física plausível, tal como: incidência de luz e explorar a possibilidade de translucidez da caixa, emissão de raios x para impressionar uma chapa, etc.

O professor deve ouvir as possíveis soluções que sugerirem, deixar que os alunos comentem se são soluções plausíveis ou não, mas o professor deverá conduzi-los para que apliquem a solução que for viável dentro das condições e recursos que dispõe.

Em algum momento perceberão que emitir luz na caixa por uma pequena abertura e ver a sombra do objeto projetada em uma das paredes da caixa, (com se fosse um anteparo) é a solução ideal. O professor deverá direcioná-los para que apliquem essa solução.

Antes, de começar as tentativas para descobrir o formato do objeto dentro da caixa, pedir para que elenquem a relação de procedimentos que conseguiram pensar

como opção para a descoberta que tentam, e ainda, que considerem, como forma de exercício mental, que têm a disposição, todos os recursos que precisam, como se estivessem em um laboratório munido com todos os equipamentos imagináveis.

Jogar luz na caixa, já que a caixa é de papel e tentar ver a silhueta do objeto projetada na parede oposta da caixa é uma solução bem viável.

Deixar sobre a mesa, algumas lanternas.

TERCEIRA AULA

OBJETIVO

Compreender que observar objetos quânticos não é o mesmo que observar objetos macroscópicos e mostrar que o ato de “observar” um elétron “colapsa a função de onda”.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de vídeo.

DINÂMICA DA AULA

Propor uma analogia, na forma de experimento mental, que consiste no seguinte: usar uma caixa semelhante a anterior e imaginar que agora a estatueta dentro da caixa seja feita de elétrons. A proposta, novamente é: Como fariam para descobrir o formato da estatueta dentro da caixa? (Essa analogia é o “gancho” para explicar a impossibilidade de se usar as mesmas possíveis soluções de antes (aquelas que envolvem emissão de luz, raios x, etc), para resolução do atual problema, e mostrar quais as consequências da interação de um fóton com um elétron).

Mostrar a simulação ou o vídeo da tentativa de “observar” um elétron e mostrar como o ato de “observar” interfere no experimento e dar significado para a frase “colapsou a função de onda”.

Na sala de vídeo, conduzir para que os alunos se lembrem das aulas do efeito fotoelétrico, nas quais viram que, quando um elétron absorve um fóton, surge um fotoelétron proveniente dessa absorção. Dar espaço para que falem sobre esse fenômeno físico, fazendo perguntas que os levem a respostas e comentários do tipo: o elétron fica excitado por causa da energia do fóton, sendo que o elétron, antes estava na superfície de um metal, agora salta deste, com uma energia cinética definida e calculável. E que por esse motivo, a interação de um elétron com um fóton resulta no mínimo em deslocamento alheatório do – agora – fotoelétron.

O vídeo em questão é do personagem chamado “O Senhor Quântico” cujo título é “Mecânica Quântica o Experimento da Fenda Dupla!” Disponível em : <<https://www.youtube.com/watch?v=GXAYW4a3OZY>>

QUARTA AULA

OBJETIVO

Conhecer o Princípio da Incerteza, o contexto histórico no qual ele surgiu bem como a construção de raciocínio do autor até chegar nesse princípio.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Laboratório de física ou sala de aula.

DINÂMICA DA AULA

Nesta aula os alunos conhecerão a expressão matemática do Princípio da Incerteza de Werner Heisenberg, bem como o contexto histórico em que esse princípio surgiu, a construção do raciocínio do autor até chegar nesse princípio e a aplicação matemática do mesmo.

Mostrar que Heisenberg enunciou o Princípio da Incerteza assim: “Quanto maior a precisão na determinação da posição do elétron, menor é a precisão na determinação de sua velocidade ou de sua quantidade de movimento e vice-versa”, quando medido simultaneamente.

$$\Delta x \cdot \Delta Q \geq h/4\pi$$

(descrição matemática do Princípio da Incerteza)³

Onde x é a posição dada em metros (no S.I.) e Δx a incerteza na posição da partícula ao longo do eixo x , enquanto que Q é a quantidade de movimento e que ΔQ é, portanto a incerteza na quantidade de movimento da partícula ao longo do eixo x , sendo Q calculado com a equação $\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$, sendo a unidade de medida kg.m/s (no S.I.). O professor deverá conduzir os discentes pelo mesmo arranjo experimental imaginário que Heisenberg usou para explicar o Princípio da Incerteza, o arranjo consiste no seguinte: “para evidenciar o fato, descrito no enunciado, Heisenberg utilizou a seguinte experiência mental: com um poderosíssimo microscópio ótico, analisou o movimento de um elétron, iluminando com um raio de luz. Como o raio de luz é constituído de fótons, houve a colisão entre um fóton e o elétron, o qual recebeu certa quantidade de movimento. Nessas condições, alteram-se a velocidade e a posição do elétron”.

O Professor poderá incrementar o experimento com outras ideias ou ações que queira para ilustrar o Princípio da Incerteza.

QUINTA AULA

OBJETIVO

Aplicar o Princípio da Incerteza, e determinem a incerteza da posição de um objeto que não tem dimensões subatômicas, e compreender se o princípio físico estudado se aplica nesse caso.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Laboratório de física ou Sala de vídeo.

DINÂMICA DA AULA

³ Usa-se às vezes o símbolo \approx em lugar de \geq , a fim de levar em conta que, na prática, nunca se pode atingir o limite quântico. Também em algumas formulações do princípio, se utiliza $h/2\pi$ em lugar de $h/4\pi$. Estas pequenas diferenças não consideramos dignas de maiores preocupações aqui nesta exposição. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER. 1996, P.185)

Nessa aula, ainda na fase da observação, os alunos virão uma simulação através do programa *Modellus* (software de simulação) de uma formiguinha de massa $m = 10^{-3}$ kg que corre certa distância em linha reta com velocidade de 1m/s com imprecisão de 10%. Com os dados apresentados solicitar que os alunos apliquem o Princípio da Incerteza, e determinem a incerteza da posição.

O professor deve mediar para que os alunos resolvam a questão, e auxilie aqueles que não conseguirem aplicar o Princípio da Incerteza na primeira tentativa, podendo também colocar alunos mais experientes juntos daqueles com menos desenvoltura.

SEXTA AULA

OBJETIVO

O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido ao aplicar o Princípio da Incerteza e o objeto estudado, e mostrar que a incerteza na posição de bola de futebol é infinitesimal, isto é, a bola pode ser localizada com grande facilidade e precisão.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de aula.

DINÂMICA DA AULA

Os discentes serão conduzidos a explicar, por escrito, a causa da incerteza, ou da imprecisão entre as grandezas físicas posição e momento de um elétron e utilizar a forma matemática do Princípio da Incerteza para responder questões envolvendo algoritmos, sugerimos essa:

“Uma bola de futebol tem massa de 0,45 kg e move-se com velocidade de 30 m/s. Supondo que a quantidade de movimento seja determinada com uma incerteza de 2,0%, de acordo com o Princípio da Incerteza. Qual é a incerteza ao medir a posição dessa bola”.

É possível que não saibam responder instantaneamente, porém, com um pouco de reflexão e conversa entre eles e com a mediação do professor, entenderão que se trata de um valor extremamente pequeno.

O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido e o objeto estudado, não será difícil entenderem que esse resultado mostra que a incerteza na posição da bola é infinitesimal, isto é, a bola pode ser localizada com grande facilidade e precisão. Como o valor da constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) é muito pequeno para corpos macroscópicos as incertezas também são muito pequenas como mostra o resultado

SÉTIMA AULA

OBJETIVO

Fomentar a compreensão física da lei quântica estudada;

Desenvolver a capacidade de interpretação de problemas de natureza quântica e aplicação da equação do princípio de Heisenberg.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de aula

DINÂMICA DA AULA

Para expressar o conhecimento adquirido nas etapas anteriores, os alunos serão requisitados a responder algumas perguntas. Segue as perguntas:

- O Princípio da Incerteza é válido para a formiguinha?
- Por quê?
- Tendo como base a experiência da estatueta dentro da caixa (extremamente sensível ao toque), como você faria para medir o diâmetro de uma bola de sorvete?
- Um elétron move-se na direção do eixo x com velocidade de $3,0 \cdot 10^6$ m/s. Supondo que se possa medir essa velocidade com uma incerteza de 2,0%, qual é a

incerteza na medida da posição desse elétron? considerando: $h/2\pi = 1,1 \cdot 10^{-34}$ J.s; massa do elétron: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Na sala de aula, o professor direcionará as quatro perguntas acima. Segue um resumo em torno das ideias do que se espera como resposta por parte dos alunos:

- Embora a formiguinha seja extremamente pequena (do ponto de vista macroscópico), ainda assim não é um ente quântico. Portanto o Princípio de Heisenberg não é válido para o animalzinho.
- Em virtude do fato mencionado na resposta anterior, o resultado para a incerteza da posição é extremamente pequeno (da ordem de 10^{-32}), ou seja, é uma imprecisão que praticamente não existe.
- Sabemos que medidas diretas seriam impossíveis, pois deformariam o sorvete. É possível medir esse diâmetro indiretamente por fotografia, por exemplo. Neste caso não haveria a interferência direta nas dimensões, mas certamente haveria a necessidade de correções ou ajustes no processo de medida. Como no exemplo da estatueta, processos que utilizam a luz, portanto, fótons, não interferem nos corpos no plano macroscópico.
- RESOLUÇÃO:

A quantidade de movimento do elétron é $Q = m \cdot v$.

Sendo $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e $v = 3,0 \cdot 10^6$ m/s, temos:

$$Q = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3,0 \cdot 10^6 \Rightarrow Q = 2,7 \cdot 10^{-24} \text{ kg.m/s}$$

Admitindo-se para a incerteza da medida da quantidade de movimento a incerteza da medida da velocidade, temos:

$$\Delta Q = 2,7 \cdot 10^{-24} \cdot 2,0\% \Rightarrow \Delta Q = 2,7 \cdot 10^{-24} \cdot \frac{2,0}{100} \Rightarrow \Delta Q = 5,4 \cdot 10^{-26} \text{ kg.m/s}$$

Pelo Princípio da incerteza, obtemos:

$$\Delta x \cdot \Delta Q \geq \frac{h}{2\pi} \Rightarrow \Delta x \cdot 5,4 \cdot 10^{-26} \geq 1,1 \cdot 10^{-34} \Rightarrow \Delta x \geq 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

OITAVA AULA

OBJETIVO

Verificação da Aprendizagem

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de aula

DINÂMICA DA AULA

Os procedimentos de verificação da aprendizagem poderão ser formais ou informais. Os formais são a prova oral e a prova escrita. Os informais são o interrogatório, a arguição, a consulta ou entrevista individual, a discussão socializada, os exercícios de classe, as tarefas, os relatórios e sumários escritos pelos alunos, as experiências e os trabalhos práticos. Todavia, para evitar dúvidas a respeito da eficácia do ensino ativo, sugerimos ao professor a realização da verificação da aprendizagem através de prova escrita tradicional.

Em sala de aula, para efeito de comparação, o professor deverá em uma turma discutir o Princípio da Incerteza usando o ensino ativo. Em outra turma, discutir o Princípio da Incerteza usando o método expositivo. O professor deverá aplicar a mesma prova nas duas turmas. Em seguida estabelecer a distinção dos resultados em percentuais do número de acertos da turma em que foi usado o método Decroly comparando com o número de acerto da turma em que foi usado o tradicional método expositivo.