

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

Planos de aulas para inserção de tópicos de Teoria da Relatividade

Restrita e Geral ao longo do 1º ano do ensino médio¹

Prof. Marcos Ribeiro Rabelo de Sá²

Prof.^a Dra. Vanessa Carvalho de Andrade³

Prof.^a Dra. Maria de Fatima Da Silva Verdeaux³

1 – Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 1 – Universidade de Brasília (UnB). Contato: profmarcosrabelo@gmail.com

2 – Professor da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal e do Colégio Rogacionista de Brasília

3 – Instituto de Física da Universidade de Brasília - UnB

Introdução

Atualmente, há certo consenso na comunidade científica voltada às pesquisas na área de ensino de Física a respeito da necessidade de se inserir a Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo do ensino médio. Dentre as justificativas para tal inserção, destacam-se, por exemplo:

- ✓ Despertar a curiosidade e interesse dos estudantes pela ciência, inclusive em relação às carreiras científicas;
- ✓ Reconhecer a Física como empreendimento humano, histórico e atual;
- ✓ Promover a compreensão das inúmeras tecnologias relacionadas à FMC;
- ✓ Formar cidadãos esclarecidos sobre o que os cercam;
- ✓ Fazer ponte entre a Física da sala de aula e a Física do cotidiano;
- ✓ Proteger o aluno do obscurantismo, das pseudociências e charlatanias pós-modernas;
- ✓ Apresentar ao aluno a beleza e o prazer do conhecimento, como parte inseparável da cultura, pois, o saber faz o indivíduo livre e valoriza a humanidade;

Pautados na Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio (PCN+EM) foram publicados, respectivamente, nos anos de 2000 e 2002. A reforma curricular proposta por esses documentos, dentre outros pontos, converge para uma abordagem dos temas de FMC no Ensino Médio, entendendo-os como essenciais para a formação das competências almejadas nessa etapa final da educação básica.

Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. [...] Nunca é demais insistir que não se trata de se incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária. Trata-se, isso sim, de se prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam. (BRASIL, 2000, p. 8).

Os PCNEM apresentam um posicionamento claro no sentido de estimular que essa abordagem se dê ao longo de todo o Ensino Médio e não somente na última etapa do curso, argumentando ainda a favor de uma visão flexível de professor no que se refere à sequência didática.

A possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia depende do desenvolvimento da teoria da gravitação, assim como de noções sobre a constituição elementar da matéria e energética estelar. Essas e outras necessárias atualizações dos conteúdos apontam para uma ênfase à Física contemporânea ao longo de todo o curso, em cada tópico, como um desdobramento de outros conhecimentos e não necessariamente como um tópico a mais no fim do curso. Seria interessante que o estudo da Física no Ensino Médio fosse finalizado com uma discussão de temas que permitissem sínteses abrangentes dos conteúdos trabalhados. Haveria, assim, também, espaço para que fossem sistematizadas idéias gerais sobre o universo, buscando-se uma visão cosmológica atualizada. (BRASIL, 2000, p. 26)

Apesar do consenso acerca da importância da inserção da FMC no ensino médio, de haverem propostas interessantes na literatura e até mesmo de um aumento nas pesquisas dentro dessa área, pesquisas mostram que uma grande parcela dos professores não tem inserido temas de FMC em suas aulas no ensino médio, mesmo embora reconheçam a importância disso. Dentre os impedimentos destacados no discurso dos professores, encontram-se a “falta de tempo”, a priorização de “conteúdos clássicos”, “as dificuldades” ou “falta de base” dos alunos, a “falta de formação dos próprios professores” nos temas de FMC e o programa dos exames vestibulares.

Ora, a falta de tempo existe tanto para conteúdos clássicos quanto para modernos. Portanto, esse argumento se reduz à priorização dos conteúdos clássicos. As dificuldades ou falta de base dos alunos também existe frente aos conteúdos clássicos, nem por isso deixamos de ensiná-los. Quanto aos exames vestibulares, primeiro é preciso dizer que o ensino médio não se dedica exclusivamente a eles, embora, claro, eles sejam importantes. Segundo, é preciso lembrar que existem universidades que, seguindo o consenso científico acerca da inserção da FMC no ensino médio, têm gradativamente cobrado estes temas em seus processos seletivos. Infelizmente esse ainda não é o caso do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Entretanto, órgãos como a Sociedade Brasileira de Física têm estimulado os

organizadores da prova a tomarem medidas nesse sentido.²⁸ Assim, pode-se imaginar que a tendência é que o ENEM também passe a avaliar conhecimentos relativos à FMC.

Quanto à falta de formação dos professores nos temas envolvendo a FMC e à priorização dos conteúdos de Física Clássica, ambos podem estar intimamente relacionados. O professor não priorizará o ensino de um conteúdo para o qual se sente mais inseguro, despreparado, para ensinar. É mais fácil continuar lidando com os conteúdos mais tradicionais, cuja abordagem já está bem estabelecida nos livros didáticos e na *práxis* docente. Essa postura é, portanto, até compreensível. Contudo, insistir nela significa privar os alunos dos benefícios de conhecerem um pouco mais sobre a FMC, como os listados nas justificativas para inserção da FMC citadas no início deste texto. E vale lembrar que, para a maioria deles, o nível médio é o último contato com a educação formal em Física. Tendo isto em mente, cabe ao professor a decisão de encarar esse desafio e entrar para o grupo dos que vivenciaram a beleza de ver seus alunos curiosos, empolgados e surpresos com a beleza de uma Física mais recente.

Para auxiliar os professores que desejam encarar essa empreitada, propõe-se um conjunto de quatro planos de aulas voltados a inserir alguns temas da Teoria da Relatividade Restrita e Geral ainda no 1º ano do ensino médio, em conjunto com o conteúdo tradicionalmente abordado nessa série.

Sugestão de Temas da Mecânica Relativística para inserção ao longo do 1º ano

Os quatro planos de aula propostos a seguir se inserem num projeto maior que visa promover a discussão de sete temas de Relatividade Restrita e Geral ao longo do 1º ano do ensino médio, sendo esses quatro primeiros temas correspondem aos 1º e 2º bimestres letivos. A proposta é discutir cada tema em paralelo ou mesmo em conjunto com os conteúdos tradicionalmente ensinados ao longo dessa série. O quadro a seguir fornece uma visão geral sobre os temas e os momentos propostos para sua inserção.

²⁸ Por exemplo, ver: SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA (SBF). **Carta aberta ao Inep quanto à adoção do Exame Nacional do Ensino Médio como critério de ingresso nas Universidades**. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/~barbosa/enem-conselho-sbf-2014.pdf>> Acessado em: 01 out 2014.

Quadro 1 - Sugestão dos temas da Teoria da Relatividade a serem inseridos ao longo do 1º ano em paralelo aos temas clássicos usualmente abordados nessa etapa do ensino básico

| Série | Temas Clássicos | Temas da Teoria da Relatividade |
|---------------|--|---|
| 1º ano | Áreas da Física / O que é Física? ou ainda Introdução à Dinâmica | 1. Uma breve história da Mecânica: de Aristóteles à Teoria da Relatividade |
| | Referenciais (posição/movimento/repouso/velocidade/trajetória como conceitos relativos) ou Velocidade Relativa | 2. Velocidade e referenciais: a velocidade da luz e o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial |
| | Qualquer momento dos estudos da Cinemática | 3. Dilatação do tempo e contração do espaço |
| | Leis de Newton | 4. Deformação do espaço-tempo: a inércia segundo a Teoria da Relatividade Geral |
| | Leis de Newton | 5. Limitações da Mecânica Newtoniana: surgem duas novas mecânicas |
| | Energia | 6. A massa tem energia? – A equação mais famosa de Einstein |
| | Gravitação | 7. Deformação do Espaço-Tempo: Desvio na trajetória da luz |

Os objetivos previstos para a abordagem de cada tema são:

1. Uma breve história da Mecânica: de Aristóteles à Teoria da Relatividade

- Apresentar as principais ideias da filosofia natural de Aristóteles (os quatro elementos e o éter, movimento natural, violento e perfeito, mundo sub e supralunar), um primeiro modelo de dinâmica.
- Desenvolver uma visão geral sobre a evolução da mecânica, particularmente sobre as contribuições de Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein, promovendo uma contextualização histórica dos modelos que o aluno irá estudar.
- Apresentar a Física como ciência histórica e coletivamente construída.
- Iniciar a discussão sobre o surgimento da Física Moderna e os limites de validade da Mecânica Newtoniana.
- Apresentar, em nível introdutório, alguns fenômenos físicos relativísticos.
- Discutir o papel de Einstein no desenvolvimento da Teoria da Relatividade.

2. Velocidade e referenciais: a velocidade da luz e o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial

- Revisar os conceitos clássicos de referencial e velocidade relativa (em uma dimensão).

- Contextualizar historicamente a descoberta do imenso valor da velocidade da luz, apresentando a Física como construção humana, coletiva e historicamente construída.
 - Apresentar o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial como historicamente construído.
 - Compreender o surgimento da Teoria da Relatividade como correção da Mecânica Clássica, partindo dos dois postulados.
 - Apresentar a expressão relativística para a velocidade relativa, comparando-a à expressão clássica, com o intuito de discutir os limites de validade da Mecânica Clássica.
3. Dilatação do tempo e contração do espaço
- Através de uma obra de ficção científica, identificar a dilatação do tempo e suas causas.
 - Partindo do 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial, discutir qualitativamente os conceitos de dilatação do tempo e contração do espaço, bem como suas implicações.
 - Desenvolver a concepção de que esses efeitos só são válidos para movimentos com velocidades próximas à da luz.
 - Apresentar algumas provas experimentais.
4. Deformação do Espaço-Tempo: a inércia segundo a Teoria da Relatividade Geral
- Apresentar qualitativamente o conceito de deformação do espaço-tempo como uma espécie de alteração da Lei da Inércia de Isaac Newton.
 - Contrastar a visão de gravitação de Newton com a da Teoria da Relatividade Geral, assentando as bases para um estudo mais aprofundado de ambos nos temas seguintes.
5. Limitações da Mecânica Newtoniana: surgem duas novas mecânicas
- Discutir os limites da Mecânica Newtoniana que levaram ao desenvolvimento da Mecânica Quântica e, principalmente, da Mecânica Relativística.

6. A massa tem energia? – A equação mais famosa de Einstein²⁹
 - Apresentar a relação massa-energia $E=mc^2$ e as transformações de energia na fissão e fusão nucleares em bombas atômicas, usinas termonucleares e estrelas.
 - Acrescentar a energia como fator que promove a deformação do espaço-tempo.

7. Deformação do Espaço-Tempo: Desvio na trajetória da luz
 - Apresentar a evolução do modelo geocêntrico ao modelo heliocêntrico do universo, da separação de mundo sublunar e supralunar de Aristóteles até a Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton e, por fim, as limitações dessa Lei que levaram ao surgimento da Teoria da Relatividade Geral.
 - Utilizar o conceito de deformação do espaço tempo para apresentar a visão de gravitação da Teoria da Relatividade Geral.
 - Apresentar evidências experimentais da Deformação do Espaço Tempo, em particular, o experimento de Sobral e as Lentes Gravitacionais.

A seguir, apresenta-se um exemplo de como os quatro primeiros temas podem ser inseridos ao longo do planejamento semanal de aulas do 1º e 2º bimestres letivos. Considerou-se uma carga semanal de 2 h/a semanais de Física por ser a realidade da rede pública de ensino do Distrito Federal. Além disso, espera-se que a adaptação desse planejamento para uma situação de 3 h/a ou 4 h/a semanais de Física seja mais fácil de se fazer do que o contrário.

²⁹ Como esse tema ainda não foi desenvolvido no presente trabalho, o leitor interessado em abordá-lo no 1º ano do ensino médio pode consultar as páginas 289 a 298 do volume 1 da coleção “Física, contexto e aplicações” de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, integrante do PNL D 2015. (MÁXIMO, A., ALVARENGA, B. **Física contexto & aplicações**. Ed. Scipione, 1ª Ed, 2013)

Quadro 2- Planejamento semanal dos 1º e 2º bimestres inserindo os temas 1 a 4 com uma carga de 2 h/a semanais de Física

| | Semana | Carga Horária | Conteúdos/Atividades |
|-------------|--------|---------------|--|
| 1º Bimestre | 1 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do professor • O que é Física? • Grandezas Físicas, Unidades de Medidas e Notação Científica |
| | 2 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema Internacional de Unidades • Transformações de Unidades • Orientações para elaboração de cartazes e apresentação na próxima aula • Entrega dos textos de apoio ao Tema 1 |
| | 3 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Tema 1: Apresentações de Cartazes • Velocidade Média |
| | 4 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Exercícios • Movimento Uniforme: definição, função horária e gráficos |
| | 5 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Exercícios • Velocidade Relativa • Orientações sobre atividades da próxima aula • Entrega da apostila sobre o tema 2 |
| | 6 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Exercícios • Tema 2: Discussão da apostila em sala |
| | 7 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Exercícios e revisão para prova |
| | 8 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • PROVA DO 1º BIMESTRE |
| | 9 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • LIVRE |
| | 10 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • LIVRE |
| 2º bimestre | 11 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Aceleração, Movimento Acelerado e Retardado • Exercícios |
| | 12 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Movimento Uniformemente Variado: definição, funções horárias e gráficos • Exercícios |
| | 13 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Tema 3: Atividade com trechos do filme “Interstellar” e apresentação de slides. |
| | 14 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Grandezas Físicas Vetoriais: As Forças • Determinação da Força Resultante • Exercícios |
| | 15 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Leis de Newton • Exercícios |
| | 16 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Força Peso e Força Normal • Exercícios |
| | 17 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Exercícios: aplicação das Leis de Newton • Tema 4: apresentação da analogia com o lençol e resolução de atividades em sala |
| | 18 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Revisão |
| | 19 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • PROVA DO 2º BIMESTRE |
| | 20 | 2 h/a | <ul style="list-style-type: none"> • Atividades de fechamento |

Repare que, no planejamento proposto acima, 4h/a ficaram livres para permitir flexibilidade frente a “perdas” de aulas devido a feriados ou atividades escolares diversas que possam ocorrer nos horários que seriam destinados às aulas de Física (palestras, passeios, informes, entre outros). Além disso, 2h/a na última semana foram destinadas às típicas atividades de fechamento do semestre na rede pública de ensino do Distrito Federal (conselhos de classe participativos, atividades de recuperação, gincanas/jogos, por exemplo). Essas medidas foram tomadas para tentar tornar a proposta a mais fidedigna possível à realidade da maioria das escolas públicas do DF.

Ressalta-se que o planejamento acima é apenas uma possibilidade. Naturalmente o professor deve adaptá-lo à realidade de sua escola e seu Projeto Político Pedagógico. Os planos de aula apresentados aqui se mostrarão bastante versáteis e adaptáveis a abordagens mais profundas (caso se disponha de mais horas-aulas) ou mais superficiais (caso a disponibilidade de tempo seja menor). A idéia é “não deixar espaço para desculpas”, mostrando que, em qualquer situação, pelo menos um pouquinho de Teoria da Relatividade pode ser apresentada aos alunos ainda no 1º ano do ensino médio.

Fornecida uma visão geral do projeto, segue-se a descrição detalhada dos planos de aula para os temas 1 a 4. Todos os materiais necessários para execução das aulas estão anexados ao final de cada plano.

TEMA 1 – Uma breve história da Mecânica: de Aristóteles à Teoria da Relatividade

1. Carga-horária: 1 a 2 h/a

2. Objetivos

- Apresentar as principais ideias da filosofia natural de Aristóteles (os quatro elementos e o éter, movimento natural, violento e perfeito, mundo sub e supralunar), um primeiro modelo de dinâmica.
- Desenvolver uma visão geral sobre a evolução da mecânica, particularmente sobre as contribuições de Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein, promovendo uma contextualização histórica dos modelos que o aluno irá estudar.
- Apresentar a Física como ciência histórica e coletivamente construída.
- Iniciar a discussão sobre o surgimento da Física Moderna e os limites de validade da Mecânica Newtoniana.
- Apresentar, em nível introdutório, alguns fenômenos físicos relativísticos.
- Discutir o papel de Einstein no desenvolvimento da Teoria da Relatividade.

3. Recursos Didáticos

- Textos de apoio (anexos)
- Quadro e giz/pincel
- Cartazes confeccionados pelos alunos

4. Metodologia

1ª Etapa: orientações prévias sobre a apresentação a ser elaborada pelos alunos

Com algumas aulas de antecedência, o professor deve orientar a turma a formar cinco grupos (se necessário, é possível reduzir para quatro grupos, agrupando os temas 2 e 3). Cada grupo receberá cópias do texto de apoio referente ao seu tema. O professor deve reforçar que não é necessário recorrer a qualquer outro material para pesquisa. É preferível se ater à boa compreensão do texto, evitando fugas ao tema. Havendo disponibilidade, o professor pode informar horários (de coordenação, por exemplo) ou outro meio (como e-mail, por exemplo) para que os alunos possam esclarecer possíveis dúvidas sobre a leitura. É bom lembrar que a habilidade de fazer uma apresentação oral também é aprendida pelos alunos. Sendo assim, o professor deve tomar o tempo necessário para fazer todas as orientações para preparar os alunos para esse tipo de trabalho. Por fim, certificar-se que a data combinada para a apresentação dos trabalhos ficou bem registrada, bem como a sequência de apresentação dos temas (começando pelo tema 1 e encerrando com o 5, garantindo a cronologia histórica)

2ª Etapa: apresentação oral dos alunos e confecção de uma linha do tempo no quadro

Na data combinada previamente, o professor deve orientar a turma a permanecer em silêncio e com a atenção focada durante a apresentação dos grupos – questão de respeito e de aprendizagem. É sempre bom lembrar que a aprendizagem de todos os temas será avaliada

posteriormente (na prova ou por outros meios escolhidos pelo professor). Para facilitar a apresentação, recomenda-se que os cartazes sejam presos (com fita adesiva, por exemplo) em alguma parede para a apresentação. Após a apresentação de cada grupo, o professor deve dirigir-se ao quadro para fazer um fechamento do tema, complementando pontos importantes esquecidos pelos alunos, corrigindo com cuidado os erros cometidos na apresentação e abrindo espaço para esclarecimento de dúvidas. Isso será feito por meio da construção de uma linha do tempo (anexa) no quadro, destacando as principais características das contribuições de cada pensador. Os alunos devem registrar a linha do tempo no caderno para estudos posteriores.

5. Avaliação

- Qualidade dos cartazes produzidos e da apresentação oral
- É fundamental que todos os alunos do grupo participem da apresentação oral, para que todos desenvolvam essa importante habilidade. Entretanto o professor deve tratar com muito cuidado os mais tímidos, demonstrando compreensão e transmitindo-lhes segurança.
- Questões em testes e provas sobre todos os temas

6. Material de Apoio

Texto 1: O movimento dos corpos segundo Aristóteles

Texto 2: Galileu e a queda dos corpos

Texto 3: Galileu e o rompimento de outras ideias aristotélicas

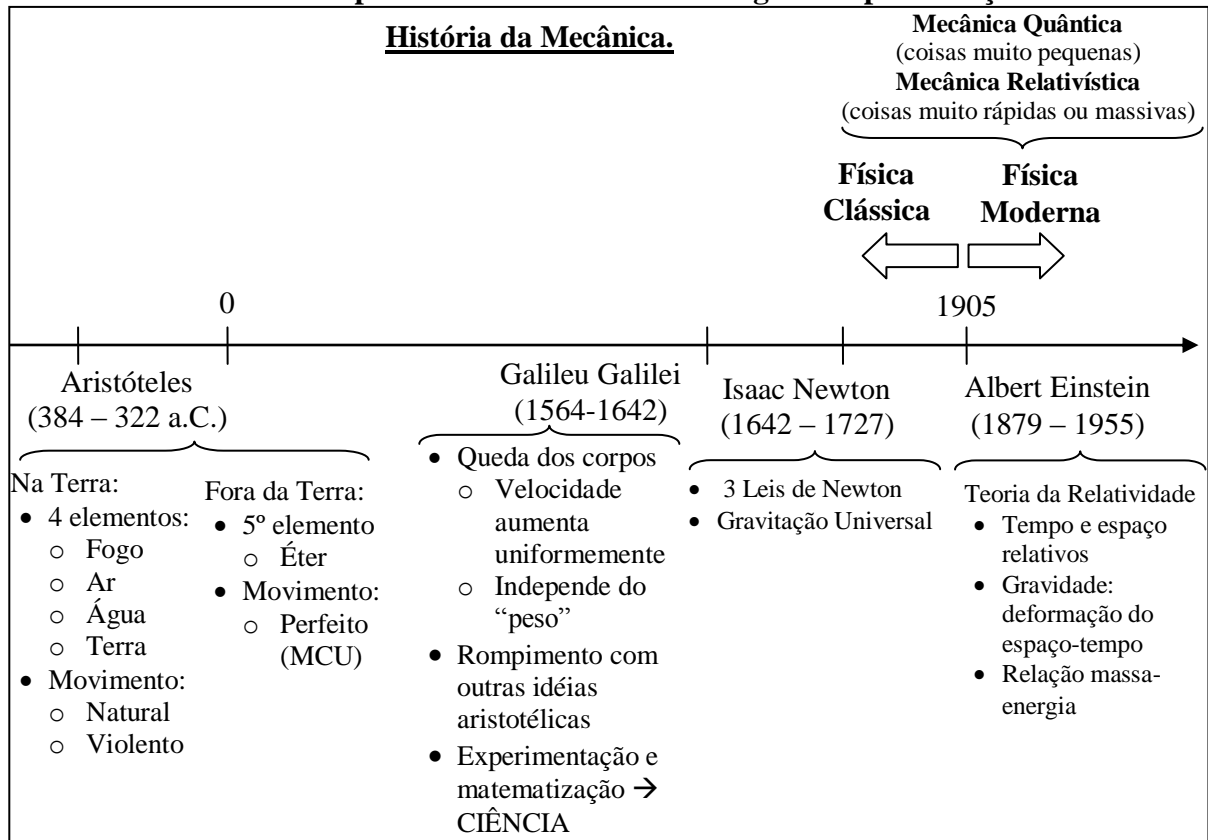
Texto 4: Isaac Newton e a síntese da Mecânica

Texto 5: A Teoria da Relatividade de Albert Einstein

7. Possíveis Adaptações

Caso se disponha de menos tempo, o tema 1 pode ser abordado por meio da leitura dos textos como tarefa de casa, como um material paradidático. Nesse caso, é importante passar os textos pouco a pouco, por exemplo, um a cada tarefa de casa. O professor poderia avaliar a leitura dos alunos por meio de algum tipo de trabalho escrito ou questionário (também a serem feitos em casa) e fica livre para comentar os textos ou tirar dúvidas sobre eles dentro do tempo que dispuser (entre uma aula e outra, na sala dos professores, em horário de coordenação, ou mesmo em sala de aula, entre um exercício e outro ou nos minutos finais ou iniciais das aulas). Dispondo-se de mais tempo, aprofundar sobre o contexto histórico cultural vivenciado por cada pesquisador, como por exemplo no trabalho desenvolvido por Guerra *et al* (GUERRA, A.; BRAGA, M; REIS, J. C. *Teoria da Relatividade Restrita e Geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem*. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007).

Linha do tempo a ser confeccionada ao longo das apresentações

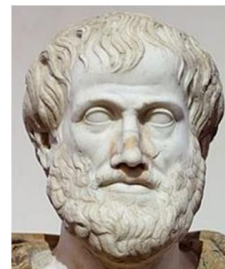


Fonte: autoria própria

Texto 1: O movimento dos corpos segundo Aristóteles

(Adaptado de PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: movimento, força, astronomia: 1.** 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013. p. 44 e 45)

Aristóteles foi um importante filósofo do século IV a.C. Nasceu em 384 a.C., na cidade de Estagira, uma colônia grega. Por volta de 343 a.C., mudou-se para a Macedônia para ser tutor de Alexandre, o Grande. Sua obra é tão vasta que abrange quase todas as áreas do conhecimento humano, o que levou alguns pesquisadores a duvidarem de ter sido fruto do trabalho de uma única pessoa.



Busto de Aristóteles
(384 – 322 a.C.)

Até meados do séc. XVI, o que se pensava sobre os movimentos dos corpos e de suas causas era atribuído aos estudos de Aristóteles. Pode-se dizer que Aristóteles dividia os movimentos em três categorias: os naturais, os violentos e os perfeitos. Essa classificação teve origem na sua concepção de Universo. Ele acreditava que o mundo terrestre era constituído basicamente de quatro elementos: a terra, a água, o ar e o fogo, e todos tinham o seu lugar natural.

A terra, o elemento mais pesado, buscava sempre o centro da Terra, seu lugar natural. A água, mais leve, espalhava-se sobre a terra. O ar distribuía-se sobre a terra e a água. O fogo, por ser o elemento mais leve de todos, ardia acima da camada atmosférica.

Para Aristóteles, o **movimento natural** era o movimento realizado por esses elementos ao encontro de seu lugar natural. Uma pedra abandonada a certa altura cairia porque seu lugar natural estava embaixo. Da mesma forma, a fumaça subiria em busca de seu lugar natural. Portanto, não haveria outra razão para esses movimentos se deslocarem, a não ser a busca pelo seu lugar natural.

Uma pedra, uma flecha ou um projétil atirados para o alto estariam animados de um **movimento violento**, forçado, que seria sempre causado por alguma força externa. Em geral, essa força era explicada como a ação do meio – ar ou água – sobre o corpo depois que a força inicial deixasse de atuar diretamente nele.



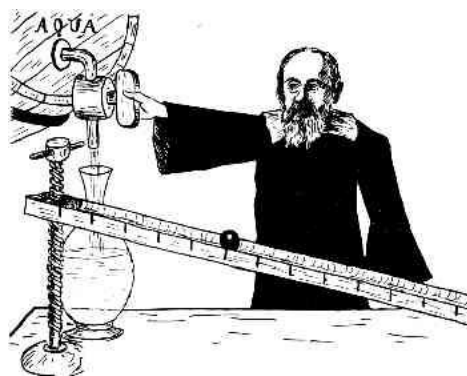
Os **movimentos perfeitos** seriam aqueles apresentados pelos astros celestes. Esses astros não eram constituídos pelos quatro elementos naturais, mas por um quinto elemento, uma quinta essência especial, o éter, que não era regido pelos movimentos naturais. Todos os objetos celestes realizavam um movimento circular: o mais perfeito de todos, sem início e sem fim.

É interessante perceber que a Física de Aristóteles não era norteadada pelo “como”, mas pelo “por quê”. Buscava apenas explicar a natureza: se existia um fato, existiria uma razão para ele. Por mais que hoje a Física de Aristóteles nos pareça ingênua, ela conseguia explicar alguns fenômenos observados e, por isso, suas ideias permaneceram inabaláveis por cerca de 2 mil anos.

Atividade: O grupo deverá preparar dois cartazes contendo figuras, desenhos, esquemas, diagramas e/ou palavras-chaves e utilizá-los para apresentar, em até 5 minutos, os principais pontos abordados em cada texto aos demais integrantes da turma. Não será permitido escrever e ler longos textos nos cartazes, nem ler trechos do texto durante a apresentação! **Todos os integrantes do grupo devem falar durante a apresentação!**

Texto 2: Galileu e a queda dos corpos

(Adaptado de: PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: movimento, força, astronomia: 1.** 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013. p. 79-83)



Representação de Galileu Galilei (1564-1642) fazendo experimentos sobre um plano inclinado.

Por volta de 1610, o médico (de formação) e cientista italiano Galileu Galilei (1564-1642) começou a escrever uma das páginas mais importantes da história da Ciência. Seus escritos deram origem à Ciência moderna, rompendo com o pensamento aristotélico dominante havia 2 mil anos.

Ao questionar as teorias aristotélicas, Galileu se deparou com muitas dificuldades técnicas e práticas quando estudou a queda dos corpos. Segundo Aristóteles, os corpos em queda mantinham a **velocidade constante durante praticamente todo o trajeto**. Galileu, entretanto, estava convencido de que **a velocidade dos corpos em queda aumenta gradativamente**, sofrendo acréscimos constantes de velocidade, isto é, sempre ocorre a adição da

mesma parcela de velocidade, em intervalos iguais de tempo.

Para averiguar essa idéia, Galileu estudou o movimento de queda de esferas de bronze que, partindo do repouso, desciam ao longo de uma rampa inclinada. Dessa forma, poderia monitorar a variação da rapidez do movimento da esfera com mais facilidade, pois, na rampa inclinada, o movimento é mais lento do que numa queda vertical.

Para medir o tempo, primeiro tentou utilizar seus batimentos cardíacos. Mas, por não serem constantes e por ser muito difícil de avaliar as frações de batimentos cardíacos, ele abandonou o “instrumento”. Passou, então, a fazer as medidas de intervalo de tempo com uma clepsidra, ou relógio de água, que consistia em um recipiente com um orifício na base por onde a água podia escorrer. Para realizar a medida de tempo, Galileu encheu completamente o recipiente e fez a água escorrer pelo orifício ao mesmo tempo que se iniciava o movimento da esfera sobre a rampa. Depois de o objeto ter percorrido determinada distância, ele interrompeu o fluxo de água e mediu o volume restante no recipiente. Comparando a diferença entre os “pesos” dos volumes de água, Galileu estimou o tempo gasto para cada descida da esfera pela rampa.

Em todas as medidas realizadas por Galileu, a relação entre a distância percorrida pela esfera (d) e o quadrado do tempo (t) gasto manteve-se constante. Era o que Galileu procurava! Ele encontrou uma ordem, um padrão na Natureza que poderia ser escrito em linguagem matemática e testado, como ele mesmo escreveu, “centenas de vezes”. A descrição matemática dos fenômenos a partir de dados experimentais é uma das principais características da Física até os dias atuais!

$$\frac{d}{t^2} = \text{constante}$$

Atividade: O grupo deverá preparar dois cartazes com figuras, desenhos, esquemas, diagramas e/ou palavras-chaves e utilizá-los para apresentar, em até 5 minutos, os principais pontos abordados em cada texto aos demais integrantes da turma. Não será permitido escrever e ler longos textos nos cartazes, nem ler trechos do texto durante a apresentação! **Todos os integrantes do grupo devem falar durante a apresentação!**

Texto 3: Galileu e o rompimento de outras ideias aristotélicas

(Adaptado de PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: movimento, força, astronomia: 1.** 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013. p. 226-227)

A principal contribuição de Galileu Galilei foi abrir caminhos para a elaboração de uma “nova” Física (posteriormente desenvolvida por Newton), apresentando argumentos contra a “antiga” Física (tendo como seu principal representante Aristóteles). A seguir, apresentamos alguns argumentos sustentados por Galileu para rebater as ideias aristotélicas:

Sobre a queda dos corpos

ARISTÓTELES: A queda dos corpos em busca de seu lugar natural dependia do “peso” do corpo.

GALILEU: Experimentalmente, pode-se observar que todos os corpos caem da mesma forma, independentemente de sua massa.

Sobre a perfeição dos céus

ARISTÓTELES: Tudo no céu é perfeito, o que se traduz pela imutabilidade e pelas formas dos círculos e das esferas.

GALILEU: Apontando a luneta para a Lua, ele mostrou a existência de montanhas, vales e crateras. Como um corpo perfeito poderia ter imperfeições na superfície?

Sobre o centro do Universo

ARISTÓTELES: Todos os corpos no céu descrevem círculos em torno da Terra, que é o centro do Universo.

GALILEU: Novamente com o uso da luneta, ele mostrou que existiam luas girando em torno de Júpiter. Como poderia haver dois centros para o Universo?

Sobre o movimento da Terra

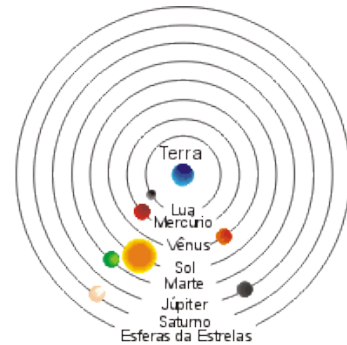
ARISTÓTELES: A Terra está parada no centro do Universo, pois esse é seu lugar natural, com todos os outros corpos celestes se movendo ao seu redor.

GALILEU: Galileu defendeu a ideia de que a Terra se move em torno do Sol, apresentando evidências astronômicas para isso (fases de Vênus).

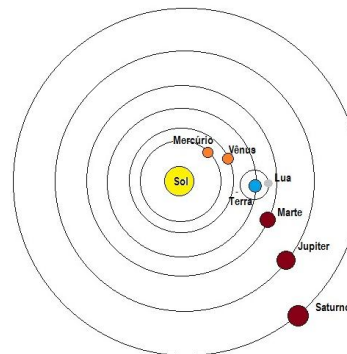
ARISTÓTELES: Estando a Terra em movimento, o ar, as nuvens, os pássaros e outros objetos não ligados à Terra deveriam ser deixados para trás. Quando um homem salta para o alto não deveria cair no mesmo lugar, visto que a Terra se movimentou.

GALILEU: Em um barco navegando em águas tranquilas, as coisas continuam a se mover como se ele estivesse parado. Uma pedra solta do mastro de um navio cairá sempre a seu pé, com o barco parado ou em movimento. O mesmo acontece com a Terra.

Atividade: O grupo deverá preparar dois cartazes com figuras, desenhos, esquemas, diagramas e/ou palavras-chaves e utilizá-los para apresentar, em até 5 minutos, os principais pontos abordados em cada texto aos demais integrantes da turma. Não será permitido escrever e ler longos textos nos cartazes, nem ler trechos do texto durante a apresentação! **Todos os integrantes do grupo devem falar durante a apresentação!**



Aristóteles: Terra imóvel no centro do universo e todos os corpos celestes giram em torno dela.



Galileu: a Terra se move em torno do Sol, assim como os demais planetas.

Texto 4: Isaac Newton e a síntese da Mecânica

(Adaptado de: 1) MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física – Volume 1**. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2012, p. 126-128. 2) ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física**. 1ª ed. Curitiba: Positivo, 2013, v. 1, p. 86, 87 e 95. 3) PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: movimento, força, astronomia: 1**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013. p. 238 e 239)

Newton e suas três leis do movimento

No dia de natal de 1642, nascia em uma pequena cidade da Inglaterra Isaac Newton (1642-1727). Conta-se que era um menino retraído, típica criança de fazenda, que gostava de construir pequenos aparelhos mecânicos e brincar com eles. Além disso, parecia apresentar uma tendência natural para a Matemática. Aos 18 anos, com a ajuda financeira de um tio, Newton é enviado ao *Trinity College* da Universidade de Cambridge (próximo a Londres, na Inglaterra), para prosseguir seus estudos.

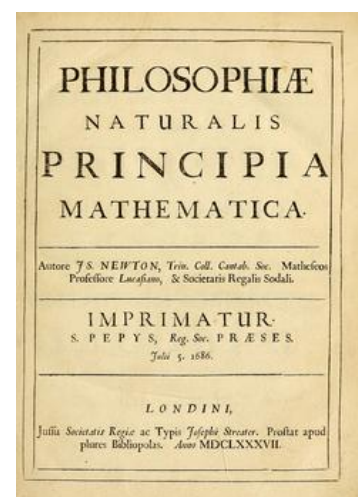
Em 1665, Londres é assolada pela peste negra (peste bubônica) que dizimou grande parte de sua população. Newton retornou à sua cidade natal, refugiando-se na fazenda de sua família, onde permaneceu durante 18 meses, até que os males da peste fossem afastados e ele pudesse regressar a Cambridge. Nesse período, ele se dedicou ao estudo e à meditação, desenvolvendo as bases de boa parte de sua obra, principalmente nas áreas de matemática, óptica (estudo da luz) e mecânica (estudo do movimento). Retornando a Cambridge, em 1667, Newton se dedicou a desenvolver essas ideias.

As principais contribuições do trabalho de Newton à mecânica, no entanto, só foram publicadas em 1686 em seu livro **Princípios matemáticos da filosofia natural** (embora provavelmente já estivessem prontas há muito tempo), que viria a consagrar Newton como um dos maiores cientistas da história. Somando suas próprias contribuições às ideias de Galileu Galilei, de René Descartes (1596 – 1650) e muitos outros, Isaac Newton foi capaz de sintetizar sua compreensão sobre o funcionamento do Universo nesse livro. As chamadas Três Leis de Newton são a expressão máxima dessa síntese para a mecânica: em apenas três leis se resumem os princípios básicos que explicam o movimento dos corpos. A Lei da Gravitação Universal, ou simplesmente, lei da gravidade, também presente no *Principia*, foi outra grande contribuição de Newton para a mecânica.

A lei da gravidade

Muito antes de Newton, pensadores já tinham proposto que seria necessária a existência de um “poder atrativo” no Sol para garantir a órbita dos planetas. Esse poder atrativo deveria existir, em menor escala, também na Terra, para garantir a órbita da Lua. Mas como seria isso?

Com base nas pesquisas de seus predecessores, Newton deu um grande salto conceitual no conhecimento da Física. Ele respondeu a essa questão propondo a ação de uma força atrativa agindo entre os corpos com massa, que foi denominada força gravitacional ou lei da Gravitação Universal. Assim, a massa do Sol atrai a massa da Terra, fazendo-a orbitar



A capa do *Principia*, de Isaac Newton.

em torno dele. Igualmente, a massa da Terra atrai a massa da Lua, sendo este o motivo pelo qual a Lua gira em torno da Terra.

Segundo a lenda, Newton estava sentado sob uma macieira quando subitamente uma fruta caiu sobre sua cabeça. Ao olhar para cima, ele vislumbrou a Lua, por entre os galhos da árvore, e pensou que tanto a fruta quanto o astro são atraídos pela Terra por uma força de mesma natureza. Independentemente da veracidade do mito, o fato é que Newton forneceu uma explicação para um problema astronômico de 2 mil anos: ele explicou como funciona a força da gravidade!



Moral da fábula da maçã: a mesma força da gravidade que faz uma maçã cair faz a Lua girar em torno da Terra.

Newton sobre os ombros de gigantes

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes”

Essa é uma das mais célebres frases de Isaac Newton, geralmente usada para ilustrar o desenvolvimento do conhecimento como um processo. Ela costuma ser citada no contexto das descobertas da mecânica newtoniana, sobretudo da Gravitação Universal, em que os gigantes são Copérnico, Galileu e Kepler. É verdade que Newton reconheceu as contribuições desses seus predecessores, mas não com essas palavras! A frase acima é citada originalmente em uma carta a Robert Hooke, cujo contexto era a óptica (estudos da luz). Os gigantes na verdade eram René Descartes e o próprio Hooke.

Atividade: O grupo deverá preparar dois cartazes com figuras, desenhos, esquemas, diagramas e/ou palavras-chaves e utilizá-los para apresentar, em até 5 minutos, os principais pontos abordados em cada texto aos demais integrantes da turma. Não será permitido escrever e ler longos textos nos cartazes, nem ler trechos do texto durante a apresentação! **Todos os integrantes do grupo devem falar durante a apresentação!**

Texto 5: A Teoria da Relatividade de Albert Einstein¹

Prof. Marcos Ribeiro Rabelo de Sá²
 Prof.^a Dra. Vanessa Carvalho de Andrade³
 Prof.^a Dra. Maria de Fatima Da Silva Verdeaux³

1 – Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 1 – Universidade de Brasília (UnB). Contato: profmarcosrabelo@gmail.com

2 – Professor da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal e do Colégio Rogacionista de Brasília

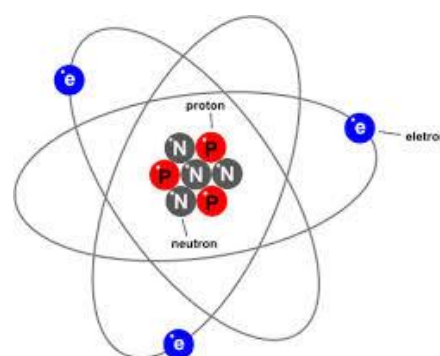
3 – Instituto de Física da Universidade de Brasília - UnB

Física: da Clássica à Moderna

Durante séculos, a mecânica (estudo do movimento dos corpos) sintetizada por Isaac Newton (1642-1727) foi a base do desenvolvimento tecnológico e científico realizado a partir de então. De fato, é em grande parte com as ideias decorrentes de Newton que, ainda hoje, desenvolvemos meios de transporte cada vez mais modernos, lançamos satélites em órbita em torno da Terra e sondas em direção a Marte.

Entretanto, no início do século passado, evidências teóricas e experimentais começaram a apontar limitações para a mecânica de Newton. Não se conseguia explicar o movimento de corpos muito pequenos – como átomos e moléculas – e nem de objetos muito velozes ou próximos de corpos de massa muito elevada. Assim, ao longo do século, muitos cientistas se engajaram em construir duas novas mecânicas: a Mecânica Quântica, voltada ao primeiro caso, e a Teoria da Relatividade (ou Mecânica Relativística), voltada para o segundo. Isso representou uma verdadeira revolução na Física, de modo que a Física desenvolvida a partir do século passado passou a ser chamada de Física Moderna, enquanto as ideias anteriores, incluindo as de Newton e todos que o precederam, ficaram conhecidas como Física Clássica.

No iníciozinho dessa revolução, em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) publicou cinco importantes artigos científicos. O primeiro, sobre o chamado efeito-fotoelétrico, contribuiu para o início da formulação da Mecânica Quântica e rendeu o Prêmio Nobel a Einstein – um dos maiores reconhecimentos de qualidade e importância de um trabalho científico. Os dois últimos podem ser considerados o início da Teoria da Relatividade. Esses trabalhos, portanto, nos permitem afirmar que Einstein esteve envolvido nas duas frentes que revolucionaram a Física no século passado. Entretanto, Einstein ficou mais famoso pela revolução que causou por meio da Teoria da Relatividade, sendo seu principal desenvolvedor.



A Mecânica Quântica explica o movimento de coisas muito pequenas, como os elétrons dentro dos átomos.



A Teoria da Relatividade explica o movimento de coisas quase tão rápidas quanto a luz!

As revoluções trazidas pela Teoria da Relatividade

Einstein esteve entre os primeiros cientistas a levar a sério as evidências que surgiam contra as ideias tão estabelecidas de Newton e dos que o precederam, ou seja, esteve entre os primeiros a pôr em cheque a Física Clássica. E, para desenvolver a Teoria da Relatividade, ele teve que questionar os elementos mais fundamentais do estudo do movimento dos corpos: o tempo e o espaço!

Ao longo de todo o desenvolvimento da Física Clássica, o tempo sempre foi tratado como absoluto. Isto significa dizer que o tempo passa igualmente para todos e não há por que pensar o contrário – exceto, talvez, se considerarmos o caráter psicológico da nossa percepção de tempo que faz uma aula chata de 50 minutos parecer demorar muito mais do que 50 minutos assistindo a um filme divertidíssimo. Acontece que, na Teoria da Relatividade, o tempo é verdadeiramente relativo! Se uma pessoa parte em viagem com altíssima velocidade e você permanece parado em sua cadeira esperando o seu retorno, vocês discordarão a respeito da duração dessa viagem. Isso mesmo: a viagem demorará mais para uma pessoa e menos para a outra. Provavelmente você já viu algum filme ou leu algum livro que se inspirou nesse caráter relativo do tempo para falar de viagens no tempo ou coisas semelhantes.

O espaço também perde seu caráter absoluto e torna-se relativo nessa nova mecânica. Isso significa que você e outra pessoa podem discordar a respeito do comprimento de um mesmo objeto, caso um de vocês esteja se movendo em altíssima velocidade. Entretanto a teoria de Einstein prevê que tempo e espaço são mais do que relativos, são altamente interdependentes, de modo que podem ser tratados como uma coisa só, chamada de espaço-tempo. Talvez você também já tenha ouvido esse termo em algum lugar.



Tempo e espaço são relativos e interdependentes na Teoria da Relatividade!

Como se não bastassem essas bizarrices, depois de alguns anos de desenvolvimento desde aqueles dois artigos de 1905, Einstein consegue reinterpretar a ideia de gravidade. A resposta que a Teoria da Relatividade fornece para a antiga pergunta “por que os corpos caem?” é totalmente diferentes da que foi proposta gloriosamente por Newton alguns séculos antes. A gravidade passa a ser interpretada como uma modificação na estrutura do espaço-tempo, dispensando a ideia newtoniana de Força Gravitacional.



Terrível destruição causada por uma bomba atômica: uma triste consequência da Teoria da Relatividade.

Para completar essa pequena lista de revoluções trazidas pela Teoria da Relatividade, podemos adicionar uma que tem a ver com mais um conceito fundamental da Física: a massa de um corpo. Einstein descobre uma fortíssima relação entre massa e energia – tão forte quanto a explosão de uma bomba atômica! Foi a partir das ideias da Teoria da Relatividade que se tornou possível extrair imensas quantidades de energia da massa dos corpos, seja numa explosão brusca e catastrófica (como nas bombas atômicas), seja na produção pacífica e controlada de energia elétrica, em usinas nucleares.

Atividade: O grupo deverá preparar dois cartazes com figuras, desenhos, esquemas, diagramas e/ou palavras-chaves e utilizá-los para apresentar, em até 5 minutos, os principais pontos abordados em cada texto aos demais integrantes da turma. Não será permitido escrever e ler longos textos nos cartazes, nem ler trechos do texto durante a apresentação! **Todos os integrantes do grupo devem falar durante a apresentação!**

**TEMA 2 – Velocidade relativa: a velocidade da luz
e o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial**

1. Carga-horária: 2 h/a

2. Objetivos

- Revisar os conceitos clássicos de referencial e velocidade relativa (em uma dimensão).
- Contextualizar historicamente a descoberta do imenso valor da velocidade da luz, apresentando a Física como construção humana, coletiva e historicamente construída.
- Partindo de breve revisão histórica sobre a velocidade da luz, apresentar o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial.
- Partindo dos dois postulados, apresentar a Teoria da Relatividade como uma nova mecânica diferente da Mecânica Clássica.
- Apresentar a expressão relativística para a velocidade relativa, comparando-a à expressão clássica, com o intuito de discutir os limites de validade da Mecânica Clássica.

3. Recursos Didáticos

- Texto de apoio (anexo)
- Quadro e giz/pincel

4. Metodologia

1ª etapa: orientações prévias sobre a leitura do texto e sua posterior discussão em sala

Com algumas aulas de antecedência, o professor deve entregar cópias do texto de apoio aos alunos (ou informar como obtê-la por meio eletrônico) e orientá-los a ler com calma e persistência, em casa, até a data estabelecida para sua discussão em sala. O professor deve deixar claro a dinâmica de avaliação da participação dos alunos na discussão do texto na próxima aula, reforçando mais uma vez a importância da leitura.

2ª etapa: discussão do texto em sala

Na aula combinada previamente, o professor promove a discussão do texto por meio de perguntas a serem respondidas voluntariamente pelos alunos. É importante ressaltar que os alunos serão avaliados mais pela participação na aula do que pela correção das respostas. Para garantir a oportunidade de participação de todos, o professor deve permitir que a mesma pergunta seja respondida por mais de um aluno, aproveitando para levá-los a debater opiniões contraditórias. Assim, inclusive, ele coletará mais informação sobre a compreensão que os alunos tiveram do texto, o que fomentará as necessárias correções e explicações, recorrendo ao quadro quando necessário. Segue a lista de perguntas para essa discussão:

- a) O que significa dizer que os estados de repouso ou movimento são relativos?
- b) E a velocidade, também é relativa? Explique!
- c) Comente o significado das figuras 2, 3 e 4.
- d) Por que a 2ª parte do texto se chama “A velocidade relativa que não é relativa: a velocidade da luz!”
- e) Quem pode explicar o experimento ilustrado na fig. 5? (Experimento de Galileu)
- f) Por que a implementação desse experimento pode ser considerada inviável?
- g) Quem pode explicar, através da fig. 6, a idéia do experimento de Roemer?
- h) Qual é o valor aproximado atualmente aceito para a velocidade da luz no vácuo?

- i) Quem pode explicar o experimento de Arago, na fig. 7?
 - j) Quem pode calcular a velocidade da luz de B com relação à Terra?
 - k) Quem pode calcular a velocidade da luz de C com relação à Terra?
 - l) Foram esses resultados que o experimento de Arago encontrou? Explique.
 - m) Houve outros experimentos que chegaram à mesma conclusão? Comente.
 - n) Esses resultados experimentais são compatíveis com as leis da Mecânica Clássica? Comente.
 - o) No desenvolvimento de um modelo científico, o que é um “postulado” ou “princípio”?
 - p) Qual é o primeiro postulado da Teoria da Relatividade Especial, de Albert Einstein?
 - q) Qual é o seu segundo postulado?
 - r) Por que Einstein teve que “reformular” as leis da Mecânica Clássica?
 - s) Em que tipo de situação a Teoria da Relatividade é mais precisa, isto é, fornece resultados mais corretos do que a Mecânica Clássica?
 - t) Então as leis da Mecânica Clássica estão erradas? Comente.
- * Havendo tempo, efetuar os cálculos com a expressão da velocidade relativística.
- * Ler o “moral da história” do texto, como um fechamento da atividade.

OBS.: Alternativamente, o professor pode explorar o texto para introduzir a concepção clássica de velocidade relativa, por meio da discussão da primeira parte do texto numa primeira aula. Somente após fazer e corrigir exercícios sobre a velocidade relativa clássica, agendar a segunda aula para discutir o resto do texto, introduzindo as concepções relativísticas.

5. Avaliação

- Participação durante a discussão do texto em sala (pode-se utilizar um sistema de “ponto positivo” por participação, por exemplo)
- Questões em testes e provas

6. Possíveis Adaptações

Caso se disponha de menos tempo, o tema 2 pode ser abordado por meio da leitura dos textos como tarefa de casa, como um material paradidático. Nesse caso, é importante passar o texto pouco a pouco, por exemplo, um ou dois tópicos a cada tarefa de casa. O professor poderia avaliar a leitura dos alunos por meio de algum tipo de trabalho escrito ou questionário (também a serem feitos em casa) e fica livre para comentar os tópicos ou tirar dúvidas sobre eles dentro do tempo que dispuser (entre uma aula e outra, na sala dos professores, em horário de coordenação, ou mesmo em sala de aula, entre um exercício e outro ou nos minutos finais ou iniciais das aulas). Dispondo-se de mais tempo, pode-se aprofundar a descrição de cada experimento, ou ainda, discutir as divergências entre eletromagnetismo e mecânica clássica que culminaram no surgimento da Teoria da Relatividade, ou ainda focar-se mais no significado do 1º postulado. Para esse caso, algumas sugestões podem ser encontradas no trabalho desenvolvido por Guerra *et al* (GUERRA, A.; BRAGA, M; REIS, J. C. Teoria da Relatividade Restrita e Geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007).

Velocidade relativa: a velocidade da luz e o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial¹

Prof. Marcos Ribeiro Rabelo de Sá²
Prof.^a Dra. Vanessa Carvalho de Andrade³
Prof.^a Dra. Maria de Fatima Da Silva Verdeaux³

1 – Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – pólo 1 – Universidade de Brasília (UnB). contato: profmarcosrabelo@gmail.com

2 – Professor da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal e do Colégio Rogacionista de Brasília

3 – Instituto de Física da Universidade de Brasília - UnB

1. Velocidade Relativa segundo a Mecânica Clássica

A Física tem a incrível capacidade de nos surpreender, de dar um nó na nossa cabeça, fazendo a gente enxergar as coisas com outros olhos, compreender um fenômeno da natureza de diferentes maneiras! Ela nos mostra que conceitos simples e intuitivos, muito utilizados no nosso dia-a-dia – como REPOUSO e MOVIMENTO, por exemplo – são relativos, isto é, dependem do REFERENCIAL adotado para analisar a situação.

Você certamente diria que esta apostila apoiada sobre a mesa está em REPOUSO. Mas os físicos diriam: “em repouso em relação a quê?” Porque sua apostila está em REPOUSO em relação ao chão, que é o REFERENCIAL que as pessoas mais estão acostumadas a adotar. Mas o chão nada mais é do que a superfície do planeta Terra. E a Terra está girando em torno de si mesma (movimento de rotação, lembra? Você estudou isso com a “Tia” lá no ensino fundamental...) e ainda movendo-se em torno do Sol (movimento de translação, lembra? Ainda bem que você era craque em geografia e em ciências naquela época...). Então podemos dizer que sua apostila está em MOVIMENTO com relação ao Sol. Ou, em outras palavras, se tomarmos o Sol como REFERENCIAL, sua apostila não está em REPOUSO, mas sim em MOVIMENTO. Mas, como vimos antes, se tomarmos o chão como REFERENCIAL, então diríamos o contrário, que ela está em REPOUSO, e não em MOVIMENTO. Assim, as noções de REPOUSO ou MOVIMENTO são relativas: dependem do referencial!

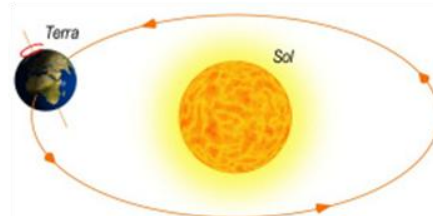


Figura 1: qualquer ponto sobre a superfície do planeta está em movimento (com relação ao Sol) devido à rotação e translação da Terra.

Acontece que a VELOCIDADE também tem esse caráter relativo. Diferentes REFERENCIAIS podem discordar a respeito da velocidade de alguma coisa. Daí vem a ideia de VELOCIDADE RELATIVA. Vejamos o exemplo da figura 2. Um ciclista A (de Arnaldo) pedala sua *bike* que se move com velocidade constante de 18 km/h para a esquerda. À sua frente, um carro B (de Bóris, o motorista) se move com velocidade de 72 km/h para a direita. É claro que essas velocidades citadas são medidas com relação ao chão, que é o nosso referencial preferido. Aliás, nem era necessário mencionar isso, pois já estamos muito acostumados a tomar o chão como referencial. Sabemos então que, se a *bike* A e

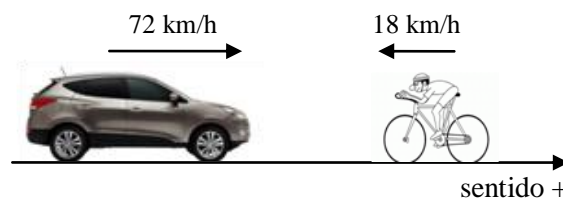


fig. 2: carro e bicicleta movendo-se em sentidos opostos.

o carro B moverem-se sempre com essas velocidades, depois de 1 h de movimento a *bike* estará 18 km mais à esquerda sobre o chão e o carro 72 km para a direita, com relação ao solo. E durante essa 1 h o chão permaneceu paradinho (porque optamos por tomar ele como referencial! Se tomássemos o Sol como referencial, então o chão diríamos que ele gira em torno da Terra, que se move em torno do Sol e blá blá blá...).

Agora é hora de enxergar o mundo com outros olhos! Tomemos Arnaldo... digo, tomemos a bicicleta A como referencial. Enquanto Arnaldo pedala ele olha pra sua *bike* e vê ela sempre na mesma POSIÇÃO, isto é, logo abaixo dele. Portanto, pra ele, a *bike* está em REPOUSO. Mas, olhando pra baixo ele vê o asfalto em MOVIMENTO para trás. Assim, tomando A como referencial, o chão se move com velocidade de 18 km/h para a direita do nosso desenho. E qual será a velocidade do carro B com relação a *bike* A? É fácil! Para saber a velocidade de B com relação ao referencial A, basta usar a expressão da velocidade relativa:

$$v_{rel} = v_B - v_A$$

Onde v_B e v_A são as velocidades de B e de A, medidas com relação ao chão.

Então, a velocidade de B com relação a A é dada por:

$$\begin{aligned} v_{rel} &= v_B - v_A \\ v_{rel} &= 72 - (-18) \\ v_{rel} &= 72 + 18 \\ v_{rel} &= 90 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Repare que usamos o valor +72 km/h para a velocidade do carro porque ele vai pra direita e -18 km/h pra velocidade da *bike* porque ela vai para a esquerda. O resultado positivo +90 km/h indica que, para A, o carro B se move para a direita com velocidade de módulo igual a 90 km/h. Então a velocidade do carro com relação ao ciclista é de 90 km/h! Olha só que perigo! Já imaginou se acontece algum acidente?

Aí o leitor se pergunta: “ué... mas não era 72 km/h???” Pois bem, meu caro, a velocidade do carro é de 72 km/h com relação ao chão, mas de 90 km/h com relação à bicicleta. Isso significa que em 1 h de movimento o carro estará 90 km mais a direita em relação à bike. Quer ver? Imagine que os dois veículos estavam a exatamente 90 km de distância um do outro num dado momento. (fig. 3a) Então, durante 1 h, o carro move-se 72 km para a direita e a bike 18 km para a esquerda, com relação ao solo. Ou seja, durante essa 1 h de movimento, eles se aproximaram 90 km e, assim, se encontraram! (fig. 3b) Depois de passarem um pelo outro, eles continuam movendo-se do mesmo jeito. Passada mais

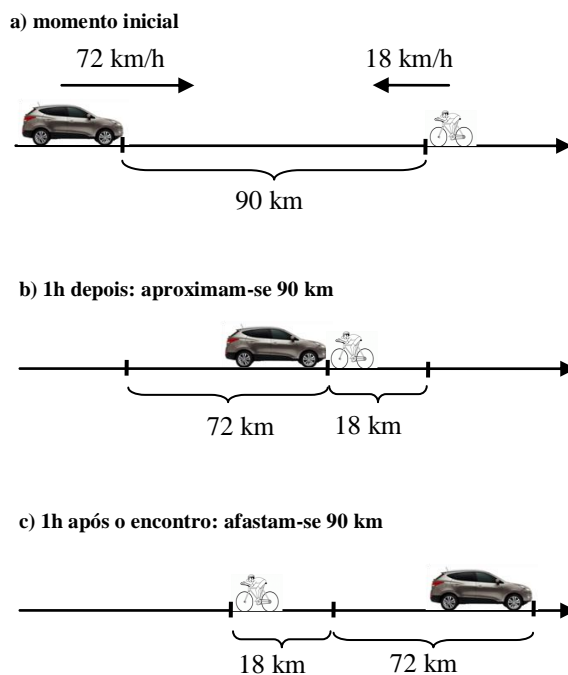


fig. 3: velocidade relativa como velocidade de aproximação ou de afastamento

1 h, a bike estará 18 km mais a esquerda sobre o solo e o carro 72 km mais a direita. Então, durante essa 1 h de movimento, eles se afastaram 90 km, de modo que o carro está 90 km mais a direita da *bike*! (fig. 3c) Conferiu?

O exemplo acima nos mostra também porque muitas vezes nos referimos à velocidade relativa como sendo a velocidade de aproximação entre A e B (na primeira 1 h de movimento do nosso exemplo) ou como velocidade de afastamento entre A e B (na segunda 1 h de movimento do nosso exemplo).

Aqui vale lembrar um dos motivos pelos quais as normas de trânsito orientam os ciclistas a pedalam numa via seguindo o mesmo sentido dos carros e nunca no sentido contrário. Considere o caso em que um carro e um ciclista movem-se no mesmo sentido (fig. 4). Nessa situação, a velocidade do carro B com relação ao ciclista A é dada por:

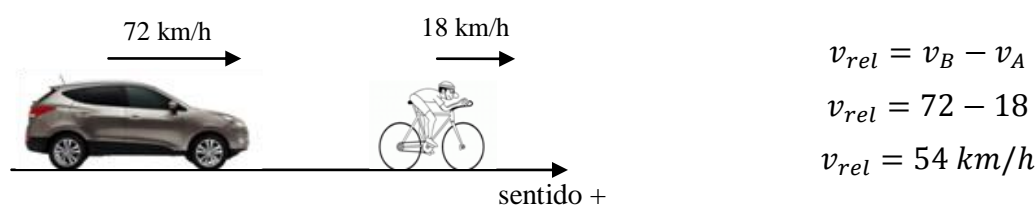


fig. 4: carro e bicicleta movendo-se no mesmo sentido.

Reparou? A velocidade relativa entre bicicletas e carros é maior quando os ciclistas pedalam no sentido contrário ao dos carros (90 km/h - fig. 2) do que quando pedala no mesmo sentido (54 km/h - fig. 4). Quando motoristas aproximam-se mais lentamente dos ciclistas, eles tem mais tempo para reagir em situações de perigo inesperadas, o que reduz a chance de ocorrerem acidentes. Por outro lado, caso ocorra um acidente, ele tende a ser mais grave para maiores velocidades relativas. Nesse ponto, vale uma analogia: imagine o ciclista parado (com relação ao chão) e um carro se aproximando até atropelá-lo. O que seria mais grave – uma aproximação a 90 km/h ou a 54 km/h?

Em toda a discussão realizada até o momento tomamos como base, implicitamente, alguns princípios da chamada Mecânica Clássica, como por exemplo o caráter absoluto do tempo, que quer dizer que o tempo passa igualmente pra todos referenciais, independente de sua posição ou velocidade. Veremos a seguir que a aplicação dessa concepção de velocidade relativa para o caso da luz levou a Física a reformular completamente esses princípios, aparentemente tão sólidos.

2. A velocidade relativa que não é relativa: a velocidade da luz!

Já se imaginou vivendo num mundo sem luz? Pois é... A luz é um fenômeno tão simples e cotidiano quanto importante para nossas vidas. Ela vem intrigando os Físicos por séculos: afinal, o que seria a luz? Do que ela seria feita? O que significam suas cores e como elas se misturam? Se a luz é composta por algo que se movimenta, qual seria a sua velocidade? A busca por respostas a perguntas como essas promoveu profundas reformulações dos conceitos mais básicos e fundamentais da Física – como o tempo absoluto, mencionado agorinha a pouco. Mas, por enquanto, vamos nos ater à questão da velocidade da luz.

Ao longo da história, vários experimentos tentaram medir a rapidez com que a luz se move. Galileu Galilei (1564-1642), por exemplo, apresentou uma proposta que pode ser

ilustrada na fig. 5. Ele e um assistente se posicionaram a uma distância de cerca de 2 km portando lanternas. Galileu descobria a sua lanterna e seu assistente deveria fazer o mesmo assim que enxergasse a luz da lanterna de Galileu. Logo, Galileu também veria a luz da lanterna de seu assistente, e tentaria medir o tempo decorrido para o movimento de ida e volta da luz. A ideia é simples mas sua implementação é totalmente inviável. Hoje sabemos que a luz demoraria algo em torno de $6,6 \cdot 10^{-5}$ s, ou seja, 0,000066 s para executar esse movimento, enquanto o tempo de reação do sistema nervoso humano (entre perceber a luz de uma lanterna e agir no sentido de destampar a sua própria lanterna, por exemplo) é da ordem de 0,2 s.

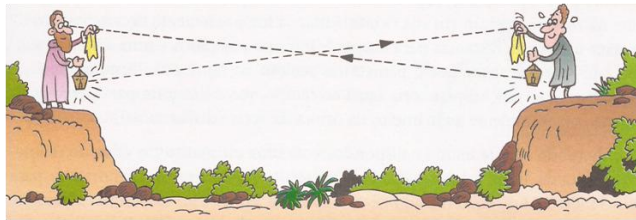


fig. 5: Uma das primeiras tentativas (frustradas) de se medir a velocidade da luz, realizada pelo grande Galileu.

Medir a velocidade da luz exigia, portanto, distâncias muito maiores do que alguns quilômetros. Estudando os eclipses de uma das luas de Júpiter, o astrônomo dinamarquês Ole Roemer (1644 – 1710) conseguiu realizar uma primeira medida razoavelmente boa. Comparando a ocorrência dos eclipses quando a Terra estava mais próxima de Júpiter (posição A, na figura) com quando a Terra estava mais afastada (posição B), ele percebeu um atraso de alguns minutos no segundo caso.³⁰ Deduziu que isto acontecia por conta da maior distância a ser percorrida pela luz até chegar a Terra e, seguindo esse raciocínio, obteve o valor de 215 mil quilômetros por segundo ($2,15 \cdot 10^8$ m/s) para a velocidade da luz. Eis um valor apreciavelmente preciso para a época!

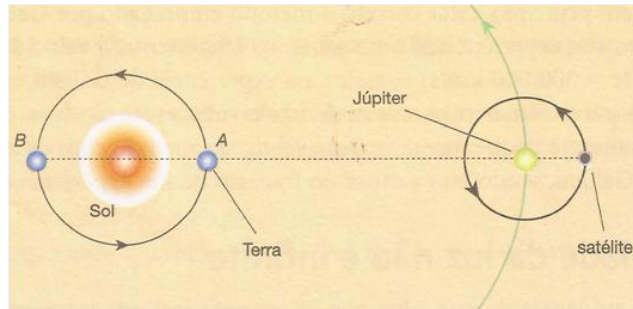


fig. 6: representação das diferentes distâncias percorridas pela luz proveniente de Júpiter e um de seus satélites até a Terra.

Os dois experimentos brevemente relatados acima são apenas dois exemplos das tentativas de se medir a velocidade da luz. De lá pra cá, muitos cientistas debruçaram-se sobre a questão e, com o avanço da tecnologia, nos tornamos capazes de medir esse valor cada vez com maior precisão e utilizando diferentes técnicas. O melhor valor para representar a velocidade da luz no vácuo atualmente é 299 792 458 m/s, ou seja, algo como $2,998 \cdot 10^8$ m/s. Portanto, em geral, utiliza-se o valor aproximado:

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Repare que a letra “c”, de *celeridade* (rapidez) é o símbolo usualmente utilizado para representar a velocidade da luz no vácuo. Esse valor corresponde a 300 000 km/s, isto é, em apenas 1 s a luz percorre uma distância de 300 000 km – cerca de sete voltas e meia em torno da Terra! Então o termo *celeridade* é bem apropriado, não é mesmo?

Ao longo desse processo histórico, os cientistas sentiram a necessidade de se medir a velocidade relativa da luz, isso é, a velocidade da luz com relação a alguma coisa (um referencial) que se move. No contexto, discutia-se qual seria a natureza da luz: ela seria constituída de partículas em movimento ou seria uma onda em um suposto meio transparente quase indetectável, chamado na época de **éter**³¹? Por volta do séc. XIX, o modelo ondulatório

³⁰ A descrição do raciocínio de Roemer aqui foi bastante simplificada por questões didáticas. Na verdade ele mediu o atraso para várias posições da Terra em sua órbita, não somente para duas.

³¹ Cuidado para não confundir: *éter* é também o nome de uma substância química utilizada, por exemplo, como solvente ou anestésico. Repare que, neste texto, o termo *éter* (ou *éter luminífero*) tem um significado diferente.

estava em voga e a detecção de variações na velocidade relativa da luz poderiam ser encaradas como evidências favoráveis à existência do éter.

Nesse contexto, o físico francês Jean Dominique Arago (1786-1853) utilizou-se de prismas e de algumas propriedades ópticas (que você deve estudar no 2º ano!) para averiguar se haveria alguma diferença na velocidade relativa da luz que se propaga a favor ou contra o sentido do movimento da Terra. Fazendo uma analogia com as figuras 2 e 4, é como se a Terra fosse a bicicleta e a luz vinda das estrelas B e C fossem os carros em movimento mais rápido, o que pode ser esquematizado numa figura só (fig. 7).

A Terra efetua seu movimento de translação em torno do Sol com uma velocidade de 30 km/s, representada para a esquerda na figura ($v_T = -30 \text{ km/s}$). A luz proveniente da estrela B é como um carro que se

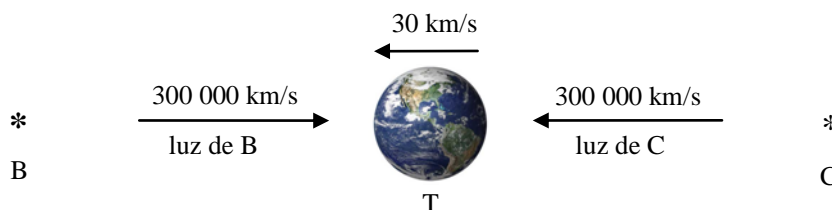


fig. 7: O experimento de Arago mediu a velocidade relativa da luz que se move em sentido contrário (proveniente da estrela distante B) e no mesmo sentido (proveniente da estrela distante C) do movimento de translação da Terra.

move para direita, em direção à bicicleta... digo, em direção à Terra, com a velocidade da luz no vácuo “c”. (Vamos utilizar aqui o valor aproximado para “c” para facilitar nosso raciocínio. Assim $v_B = + 300\,000 \text{ km/s}$). A luz da estrela C é como outro carro que se move para a esquerda, no mesmo sentido da Terra ($v_C = - 300\,000 \text{ km/s}$). Então, tomando a Terra como referencial, de acordo com nossos conhecimentos de velocidade relativa da Física Clássica, podemos calcular a velocidade desses raios de luz medida por um observador na Terra (Arago, em seu experimento, por exemplo):

Velocidade da luz de B com relação à Terra (T):

$$\begin{aligned} v_{rel} &= v_B - v_T \\ v_{rel} &= 300.000 - (-30) \\ v_{rel} &= 300.000 + 30 \\ v_{rel} &= 300.030 \text{ km/s} \end{aligned}$$

Velocidade da luz de C com relação à Terra (T):

$$\begin{aligned} v_{rel} &= v_C - v_T \\ v_{rel} &= -300.000 - (-30) \\ v_{rel} &= -300.000 + 30 \\ v_{rel} &= -299.970 \text{ km/s} \end{aligned}$$

Lembrando que os sinais só representam o sentido do movimento (para direita ou para a esquerda), concluímos que a velocidade da luz de B com relação à Terra seria de 300 030 km/s e a que a velocidade da luz de C com relação à Terra seria de 299 970 km/s. Assim, de acordo com nossos conhecimentos clássicos, a velocidade relativa da luz deveria ser diferente para cada estrela.

Acontece que o experimento de Arago não detectou diferença nenhuma! Pelo contrário, encontrou sempre o mesmo valor: 300 000 km/s. Esse resultado contrariou as expectativas dos cientistas da época. Como não há nada no mundo mais avassalador do que um cientista contrariado, vários deles se colocaram a realizar experimentos cada vez mais precisos para tentar detectar essa diferença na velocidade relativa da luz nas décadas que se seguiram. Por sua genialidade e precisão para a época, tornou-se especialmente famoso o experimento do polonês Albert Michelson (1852 - 1931), realizado em 1881, que fora ainda

aprimorado e repetido em 1887 com contribuições do norte-americano Edward Morley (1838 – 1923).

No experimento de Michelson e Morley (como ficou consagrado historicamente) uma fonte emitia um raio de luz que incidia sobre um espelho semi-refletor (fig. 8). Esse espelho refletia parte da luz e permitia a passagem da outra parte. Assim, parte da luz seguia reto, chocava-se contra um espelho e retornava em direção ao espelho semitransparente. Mas o espelho era arranjado de maneira que a outra parte, que fora refletida, seguia uma direção perpendicular, chocando-se contra outro espelho e retornando ao espelho semi-refletor. Então os dois raios de luz se uniam e seguiam em direção a um detector, capaz de averiguar o que chamamos de interferência das ondas luminosas (outra coisinha que você estudará no 2º ano!).

Acontece que o aparelho era ajustado de tal forma que parte da luz seguia o movimento no mesmo sentido do movimento de translação da Terra (com aquela velocidade de 30 km/s), enquanto a outra parte movia-se numa direção perpendicular. A velocidade relativa da luz no primeiro caso seria influenciada pelo movimento da Terra, como calculamos agora a pouco. O experimento ainda era refeito girando-se toda a montagem – que boiava sobre um tanque de mercúrio! Comparando-se os padrões de interferência entre os dois raios de luz em diferentes situações era possível detectar variações na velocidade relativa da luz.

Não se assuste caso você não tenha compreendido muito bem a descrição do experimento acima, pois o mais importante é você perceber a sua engenhosidade. Com esse aparato baseado na comparação das interferências entre os dois feixes de luz, era possível detectar variações na velocidade relativa da luz com bastante precisão! Entretanto, as linhas que traçam a história da ciência são sinuosas: tamanha engenhosidade não foi capaz de detectar diferença alguma. Sendo assim, de acordo com as evidências experimentais da época, era como se a velocidade relativa da luz fosse sempre a mesma, não interessando o sentido e a rapidez do movimento do observador (ou referencial). Hoje podemos dizer com clareza que é como se a velocidade relativa da luz não fosse relativa!

Esse resultado é, de certa maneira, equivalente a dizer que a velocidade relativa entre um carro e uma bicicleta é sempre a mesma, estejam eles se aproximando ou se afastando. Talvez isso hoje nos cause mais espanto do que causou aos cientistas da época. Havia outros fatores que levavam a maioria a permanecer firme na ideia do éter e a enxergar os resultados experimentais como algo sem muita importância ainda a ser contornado. Outros buscavam dar mais atenção ao caso, mas ainda de maneira um tanto quanto desconexa, com reflexões um tanto quanto isoladas. Nesse contexto, um certo senhor chamado Albert Einstein (1879-1955) – já ouviu falar dele? – soube dar a devida importância ao caso, sintetizando de maneira mais clara o que essa minoria discutia. O resultado acabou sendo uma revolução na Física.

3. A Teoria da Relatividade Especial de Albert Einstein e seus dois postulados

Em 1905, Einstein publicou um artigo com as ideias básicas que constituem o que hoje chamamos de Teoria da Relatividade Restrita ou Especial. Diante das evidências experimentais, das discussões em torno delas e, sobretudo, de seus estudos de uma área da

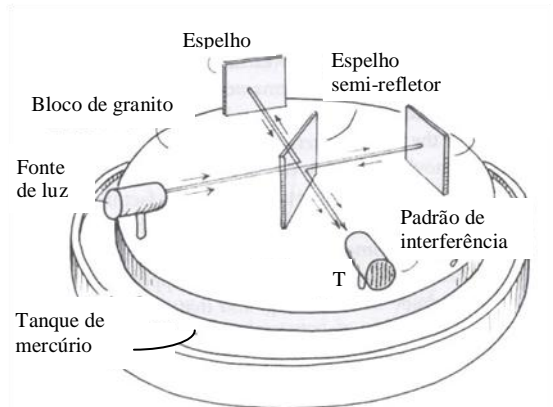


fig. 8: Esquema representativo simplificado do incrível aparato experimental desenvolvido por Michelson e Morley – quanta engenhosidade e precisão!!!

Física conhecida como eletromagnetismo (estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos), Einstein tomou duas ideias que não eram novas e elevou-as à categoria de *princípios*. Isso significa dizer que essas ideias foram tomadas como verdade, como se fossem uma característica natural do universo. Assim nada poderia contestá-las.

A primeira delas já tinha sido discutida por Descartes, Galileu e Newton, porém mais no âmbito da mecânica – estudo do movimento dos corpos. Einstein a estendeu a todas as áreas da Física, particularmente à Eletrodinâmica. Trata-se do chamado Princípio da Relatividade:

1. Princípio da Relatividade: As leis físicas são as mesmas para quaisquer observadores (ou referenciais) em movimento uniforme.

A segunda ideia surge dos resultados experimentais sobre a invariância da velocidade da luz para diferentes referenciais em movimento, como discutimos anteriormente, mas também de algumas ideias teóricas da eletrodinâmica. Trata-se do Princípio da Invariância da Velocidade da Luz:

2. Princípio da Constância da Velocidade da Luz: A velocidade da luz no vácuo possui sempre o mesmo valor para qualquer observador, a saber, o valor “ c ”.

Como vimos, esse segundo postulado é incoerente com a concepção de velocidade relativa da Física Clássica. Em nossos cálculos com a expressão clássica $v_{rel} = v_B - v_A$, encontramos diferentes valores para a velocidade da luz de duas estrelas com relação à Terra, quando o segundo postulado diz que só pode haver uma: 300 000 km/s. Esse é apenas um exemplo da incompatibilidade entre a Mecânica Clássica e esses dois postulados. Assim, Einstein teve a audácia de considerar que essas duas ideias é que estavam corretas, e que a Mecânica Clássica, de Galileu, Newton e muitos outros grandes cientistas, é que precisava ser “adequada” para respeitar esses postulados. Assim, Einstein criou uma nova mecânica, que hoje chamamos de Teoria da Relatividade.

Entenderemos melhor as estranhas consequências desses postulados mais adiante. Por ora, vamos apenas dar um exemplo do tipo de “correção” que a Teoria da Relatividade faz sobre a Mecânica Clássica, dentro do nosso tema, que é “velocidade relativa”.

4. A velocidade relativa segundo a Teoria da Relatividade e a validade da Mecânica Clássica

Considere a situação (ilustrada na fig. 9) em que um astronauta “O” flutua no espaço e observa o movimento de duas naves espaciais A e B que se movem com velocidade v_A para a esquerda e v_B para a direita. Vimos que, de acordo com a Mecânica Clássica, a velocidade relativa entre as duas naves é dada por:

$$v_{rel} = v_B - v_A$$

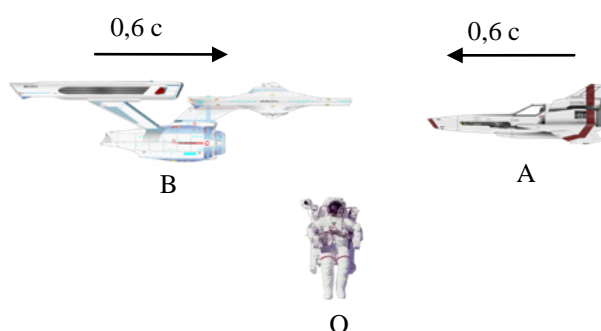


fig. 9: Um astronauta observa os velocíssimos movimentos de duas naves espaciais. Qual será a velocidade relativa entre elas?

Mas de acordo com a Teoria da Relatividade, de Albert Einstein, ela deve ser dada por:

$$v_{rel} = \frac{v_B - v_A}{1 - \frac{v_B v_A}{c^2}}$$

Não se assuste com essa expressão e nem com as contas que efetuaremos agora! Só queremos tirar mais algumas interessantes conclusões. Considere, por exemplo, que ambas as naves se movem com rapidez equivalente a 60% da velocidade da luz. Logo, $v_A = -0,6 c$ e $v_B = +0,6 c$ (mais uma vez, os sinais indicam apenas o sentido do movimento). Assim, a velocidade de B medida pelo referencial A será dada por:

$$v_{rel} = \frac{v_B - v_A}{1 - \frac{v_B v_A}{c^2}}$$

$$v_{rel} = \frac{+0,6c - (-0,6c)}{1 - \frac{0,6c \cdot (-0,6c)}{c^2}}$$

$$v_{rel} = \frac{0,6c + 0,6c}{1 - \frac{-0,36c^2}{c^2}}$$

$$v_{rel} = \frac{1,2c}{1 + 0,36}$$

$$v_{rel} = \frac{1,2c}{1,36}$$

$$v_{rel} \cong 0,88c$$

(previsão da Teoria da Relatividade)

Ou seja, de acordo com a Teoria da Relatividade, o piloto da nave A vê a nave B se aproximar dele com uma velocidade de $0,88c$ (isto é, 88% da velocidade da luz). Esse resultado é bem diferente do que se obteria no caso clássico, para o qual teríamos:

$$v_{rel} = v_B - v_A$$

$$v_{rel} = 0,6 c - (-0,6 c)$$

$$v_{rel} = 0,6 c + 0,6 c$$

$$v_{rel} = 1,2 c$$

(previsão da Mecânica Clássica)

Talvez você esteja com um nó na cabeça: “como podem existir duas expressões para calcular velocidade relativa? E como aquela que eu acabei de aprender a usar com bicicletas e carros, e que parecia funcionar tão bem, pode agora estar errada?” Calma, caro leitor. Vamos tentar esclarecer as coisas. Todo modelo científico tem seus limites de validade. A Mecânica Clássica funciona muito bem na maioria das situações do nosso dia-a-dia, inclusive para bicicletas e carros. Podemos dizer que, nesse contexto, ela não está “errada”, é um excelente modelo que descreve muito bem o que ocorre na natureza. As previsões realizadas pela Mecânica Clássica só começam a dar errado quando corpos (ou a luz...) se movimentam com velocidades muito altas (e quando há corpos com massas muito grandes, mas essa discussão fica para outra hora...). E por “velocidades muito altas” entenda-se velocidades próximas à velocidade da luz.

Já a Teoria da Relatividade é um modelo científico que funciona muito bem em ambos os casos, para corpos que se movem muito rápido ou não. Ou seja, em ambos os casos, suas previsões teóricas estarão de acordo com os resultados experimentais. Quer ver? Tomemos novamente o caso da bicicleta e do carro,

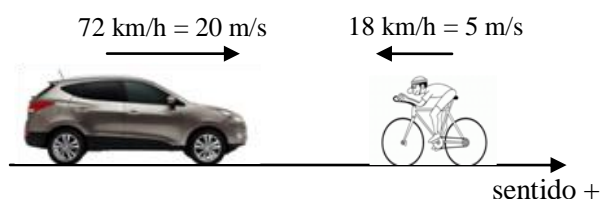


fig. 2 de novo: carro e bicicleta movendo-se em sentidos opostos.

representado lá na fig. 2, por exemplo. Vamos

calcular a velocidade do carro B com relação à bicicleta A usando a expressão para a velocidade relativa da Teoria da Relatividade. Só que para isso, lembremos que $18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s}$ e $72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ (para transformar de km/h para m/s é só dividir por 3,6, lembra?). Assim essas velocidades estão expressas em m/s, a mesma unidade que utilizaremos para a velocidade da luz: $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Sendo assim, temos $v_A = -5 \text{ m/s}$ e $v_b = +20 \text{ m/s}$. Mãos a obra:

$$v_{rel} = \frac{v_B - v_A}{1 - \frac{v_B v_A}{c^2}}$$

$$v_{rel} = \frac{20 - (-5)}{1 - \frac{20 \cdot (-5)}{(3 \cdot 10^8)^2}}$$

$$v_{rel} = \frac{20 + 5}{1 - \frac{-100}{9 \cdot 10^{16}}}$$

$$v_{rel} = \frac{25}{1 + \frac{100}{9 \cdot 10^{16}}}$$

Chegando nesse ponto, tente fazer a conta $\frac{100}{9 \cdot 10^{16}}$ numa calculadora científica. Você encontrará algo em torno de $1 \cdot 10^{-15}$. Oras, isso corresponde a

0,000 000 000 000 001, que é praticamente zero. E se somarmos isso com 1, vai dar: 1,000 000 000 000 001, que é praticamente 1! Se considerarmos o valor “1” para o denominador, estaremos cometendo um erro minúsculo, totalmente desprezível. Assim, temos:

$$v_{rel} = \frac{25}{1}$$

$$v_{rel} = 25 \text{ m/s}$$

Por fim, pra passar esse resultado para km/h, devemos multiplicá-lo por 3,6. Assim, temos:

$$v_{rel} = 25 \cdot 3,6$$

$$v_{rel} = 90 \text{ km/h}$$

Oras, esse é exatamente o resultado obtido quando utilizamos a expressão da velocidade relativa da Mecânica Clássica!

5. Moral da história

Que tal sintetizar o que você aprendeu nessa leitura?

1. A velocidade (assim como a idéia de repouso ou movimento) é um conceito relativo, isto é, que depende do referencial. Assim, a velocidade de um carro com relação ao solo é diferente da velocidade desse carro com relação a uma bicicleta em movimento – o que chamamos de velocidade relativa. Por exemplo: quando um carro e uma bicicleta se movem em sentidos opostos, a velocidade relativa entre eles é maior do que quando eles se movem no mesmo sentido. Vimos ainda que a Mecânica Clássica permite calcular essas velocidades através de uma lei matemática muito simples.
2. Você aprendeu um pouco sobre como foram feitas as primeiras medidas da velocidade da luz, até se chegar ao valor atualmente aceito de $300\,000 \text{ km/s}$ – portanto a luz é extremamente rápida! Mas, ao longo da história da ciência, vários experimentos constataram que a velocidade relativa da luz, curiosamente, é sempre a mesma e igual ao valor acima, independente do movimento de quem a observa. Isso contraria as leis da Mecânica Clássica, como a da velocidade relativa.

3. Einstein teve a audácia de tomar a idéia acima como correta e de considerar que a Mecânica Clássica é que precisava de correções. Partindo de seus dois *postulados*, elaborou uma nova Mecânica, que ficou conhecida como Teoria da Relatividade.
4. Foi demonstrado ainda que tipo de correção Einstein teve que fazer, tomando como exemplo o cálculo da velocidade relativa. Vimos que a Mecânica Clássica, embora seja muito útil para a maioria das situações do nosso dia-a-dia, começa a falhar quando há velocidades muito altas envolvidas (próximas à da luz). Já a Teoria da Relatividade faz previsões mais corretas tanto para velocidades baixas quanto para velocidades altas!

Referências

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002

PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico, eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria: 3**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física – Volume 2**. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Volume 4**. 6ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.

BARTHEM, Ricardo B. **A luz**. 1ª ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>

<http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/metre.html>

RENN, Jürgen. **A Física clássica de cabeça para baixo: Como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, p. 27 - 36, (2004)

Imagens

Fig. 1: <http://nautilus.fis.uc.pt/astro/hu/movi/corpo.html>

Figs. 2, 3 e 4:

- Carro: <http://revistaautoesporte.globo.com/Revista/Autoesporte/0,,EMI88633-10132,00.html>
- Ciclista: <http://azcolorir.com/desenho/40488>

Fig. 5: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 2012, p. 189.

Fig. 7:

- Terra <http://www.ambientemelhor.com.br/index.php/artigos/item/121-10-curiosidades-interessantes-sobre-a-terra>

Fig. 8:

<http://www.ifsc.usp.br/~lavfis2/BancoApostilasImagens/ApMichelson/MMInterfClean.jpg>
(traduções por conta do autor)

Fig. 9:

- Astronauta: <http://publicdomainvectors.org/pt/vetorial-gratis/Desenho-vetorial-do-astronauta/7448.html>

- Nave A: <http://publicdomainvectors.org/en/free-clipart/Viper-Mark-II-aircraft-vector-image/10136.html>
- Nave B: <http://publicdomainvectors.org/en/free-clipart/Start-Trek-Enterprise-vector-illustration/12763.html>

Tema 3 – Dilatação do tempo e contração do espaço

1. Carga-horária: 2 h/a

2. Objetivos

- Através de uma obra de ficção científica, identificar a dilatação do tempo e suas causas.
- Partindo do 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial, discutir qualitativamente os conceitos de dilatação do tempo e contração do espaço, bem como suas implicações.
- Desenvolver a concepção de que esses efeitos só são observáveis para movimentos com velocidades próximas à da luz.
- Apresentar algumas provas experimentais.

3. Recursos Didáticos

- Data-show ou televisão (grande) com leitor de DVD
- DVD dublado do filme “Interestelar” (2014, Paramount Pictures e Warner Bros Pictures. Diretor: Christopher Nolan. Consultor científico e produtor executivo: Kip Thorne)
- Apresentação de Slides (anexo)

4. Breve descrição do filme e dos trechos selecionadas

Trata-se de um filme de ficção científica de 2014, dirigido por Christopher Nolan, que conta a história de uma equipe de astronautas que viaja através de um buraco de minhoca à procura de um novo lar para a humanidade. Vale notar que o importante físico teórico Kip Thorne, cujo trabalho inspirou o filme, trabalhou como consultor científico e como produtor executivo.

Trecho 1: Conversa entre pai e filha antes da viagem (37min20s até 41min00s - duração: 4 min)

Pai: “um [relógio] pra você e um pra mim. Quando eu estiver em animação suspensa ou viajando à velocidade da luz ou perto de um buraco negro, o tempo vai mudar para mim, e ele vai passar mais devagar. E então, quando eu voltar, vamos poder comparar.”³²

Filha: “O tempo vai passar diferente para nós?”

Pai: “Vai. Quando eu voltar nós podemos ter até a mesma idade.”

Trecho 2: Já próximo a Saturno, astronautas discutem sobre a deformação do espaço-tempo causada pelo buraco de minhoca (57min40s até 59min00s - duração: 2 min)

Um dos astronautas faz uma analogia com uma folha de papel. Marcando-se dois pontos sobre a folha inicialmente plana (representando o espaço-tempo não deformado), a distância entre eles é muito longa, portanto seriam necessários muitos anos para uma viagem. Em seguida o

³² As traduções apresentadas correspondem à versão dublada do filme. Esse trecho já apresenta um erro conceitual (que pode ser também ou erro de tradução para a dublagem ou, ainda, pode ser interpretado como uma fala mais “didática” para a menina) que deve ser enfatizado aos alunos: um corpo com massa não poderia viajar “à velocidade da luz”, mas, no máximo, “próximo” à velocidade da luz. Apesar dessa fala do personagem Cooper, não se identifica com clareza nenhuma situação em que os astronautas viajem com velocidade próxima à da luz, de modo que as diferenças temporais apresentadas no filme devem ser atribuídas eminentemente aos demais fatores (animação suspensa e elevado campo gravitacional próximo ao buraco negro).

astronauta curva a folha em formato de “U”, até que um ponto esteja sobre o outro, e atravessa os dois lados da folha com a ponta de um lápis, passando pelos dois pontos. Assim, num espaço-tempo deformado, o buraco de minhoca funcionaria como um atalho entre os dois pontos.

Trecho 3: Após atravessar o buraco de minhoca, discute-se a influência da gravidade do buraco negro sobre o tempo em um dos planetas a serem visitados (1h02min até 1h3min20s - duração: 2 min)

Astronauta: “Olha.... Cada hora lá naquele planeta corresponderá a.... 7 anos nossos lá na Terra! É a famosa relatividade...” (devido à forte gravidade do buraco negro em torno do qual o planeta orbita)

Trecho 4: Visita ao planeta e retorno à estação espacial: 1h7min até 1h22min47s (15 min)

Durante todo esse trecho, os astronautas lutam para ficar o menor tempo possível na superfície do planeta, pois a forte gravidade causada pelo buraco negro em torno do qual o planeta orbita faz com que 1 h no planeta corresponda a 7 anos na Terra. As coisas não saem como o esperado e os astronautas ficaram mais tempo do que o programado no planeta. Então discutem sobre as conseqüências temporais. Em dado momento, a astronauta comenta:

“O tempo é relativo... Pode ser esticado ou ser achatado, mas não dá para andar para trás. A única coisa que pode se mover pelas dimensões, assim como o tempo, é a gravidade!”

Mais adiante, ao conseguirem sair do planeta e retornar à estação espacial, os dois astronautas reencontram um terceiro colega, que os aguardou na estação espacial. Este, de aparência envelhecida, comenta:

“Eu esperei anos... Foram 23 anos 4 meses e 8 dias.”

Em seguida, os dois astronautas vão verificar as mensagens de vídeo enviadas da Terra ao longo do período em que estiveram fora da estação espacial. São mais de 20 anos de mensagens, ao longo das quais pode-se notar, por exemplo, um dos filhos do astronauta envelhecendo e ganhando filho. A filha mais nova, que era criança quando o pai astronauta partiu, chega a enviar uma mensagem já adulta, quando completa a idade que o pai tinha quando partiu.

5. Metodologia

1ª parte: Apresentação dos trechos do filme à turma (30 min)

Antes de apresentar cada trecho, convém contextualizar brevemente o que se passa ao longo do filme entre uma cena e outra, para que os alunos que nunca viram o filme não fiquem perdidos e mantenham o interesse. Reforçar sempre que os alunos devem ficar atentos aos aspectos de Física que são discutidos em cada trecho.

SUGESTÃO: Que tal marcar uma “sessão cinema de Física” no contra-turno um ou dois dias antes dessa aula para assistir o filme completo (quase 3h de duração)? Certamente será um momento rico em termos de interação entre os alunos e com o professor, que permitirá ainda importantes comentários ao longo do filme sobre vários conteúdos da Física, como: movimento circular, movimento relativo, Terceira Lei de Newton, lei da inércia, ondas

eletromagnéticas, etc. Há muita ciência boa no filme, que poderá servir de exemplos nas aulas ao ministrar os conteúdos posteriores.

2ª parte: questões conceituais para discussão (20 min)

As questões a seguir devem ser colocadas para os alunos responderem (constam nos primeiros slides). O professor deve conduzir a discussão, levantando mais questionamentos, pedindo mais opiniões, contrastando posicionamentos divergentes. Assim, vai conduzindo o raciocínio dos alunos para a interpretação almejada. Seguem as perguntas e suas respectivas respostas corretas:

a) Antes de entregar um relógio para sua filha Murphy, antes de viajar para o espaço, Cooper (o pai) disse a ela que o tempo passaria diferente para os dois. Em que situações, segundo ele, isso aconteceria?

Resposta: “Quando eu estiver em animação suspensa ou viajando na velocidade da luz³³ ou perto de um buraco negro, o tempo vai mudar para mim”. Aqui é importante o professor ressaltar que o caso da animação suspensa (uma espécie de estado de sono profundo durante a viagem espacial) reflete uma percepção mais biológica/psicológica do tempo, como ocorre quando dormirmos durante uma noite e “não vemos o tempo passar”. Não é disso que a Teoria da Relatividade trata. Ela trata, na verdade, dos dois outros casos: viajando com velocidade próxima à da luz e perto de um buraco negro.

b) Ainda nesse contexto, Cooper afirma: “Quando eu voltar nós podemos ter até a mesma idade”. Sendo assim, ao longo da viagem, o tempo passará mais devagar para o pai ou para a filha?

Resposta: Mais devagar para o pai, que demorará mais a envelhecer em relação à filha. Pode-se argumentar que, enquanto estava no planeta próximo ao buraco negro, a cada 1 h que o pai envelheceu, a filha envelheceu 7 anos na Terra.

c) Os astronautas vivem um drama ao visitar o primeiro planeta porque cada 1 h que estiverem nele corresponde a 7 anos para as pessoas na Terra. Segundo o filme, o que causa essa distorção no tempo?

Resposta: O forte campo gravitacional devido ao buraco negro em torno do qual o planeta orbita. Aqui é interessante destacar dois pontos. Primeiro, que não é o campo gravitacional do planeta que é intenso o suficiente para dilatar perceptivelmente o tempo, mas sim o do buraco negro. Aqui pode se fazer uma analogia: o planeta translada em torno do buraco negro devido ao campo gravitacional do buraco negro da mesma forma que a Terra translada em torno do Sol devido ao campo gravitacional do Sol e a Lua translada em torno da Terra. Segundo, que em nenhum momento no filme, os astronautas viajam a velocidades próximas à da luz. Portanto, o efeito de dilatação do tempo que se observa no filme é exclusivamente devido ao forte campo gravitacional (deformação do espaço-tempo) nas proximidades de um buraco negro.

Obs.: aqui, provavelmente os alunos perguntarão o que é um buraco negro. De maneira simplificada, pode-se dizer que trata-se de um corpo celeste com massa tão grande e tão

³³ Vide nota de rodapé nº 32.

compactada que o campo gravitacional causado por ele é forte o suficiente para absorver até mesmo a luz que passa por perto. Pode-se sugerir uma pesquisa posterior sobre o tema. Assim evita-se a fuga ao tema.

d) A “relatividade do tempo” apresentada no filme é apenas um efeito biológico ou psicológico para os seres humanos? Ou significa que, de fato, o tempo passou de maneira mais devagar em alguns locais ou situações? Argumente com elementos do filme.

Resposta: A dilatação do tempo causada pelo forte campo gravitacional próximo ao buraco negro faz com que o tempo passe, de fato, de maneira diferente. Um elemento do filme que comprova isso é o fato de os destroços de uma nave espacial encontrados no mar do planeta ainda estarem muito próximos uns dos outros. Segundo a trama do filme, a nave teria caído no planeta anos antes dos dois astronautas chegarem, entretanto, no tempo daquele planeta, isso corresponderia a apenas alguns minutos. Assim, no planeta, não passou tempo suficiente para que os destroços se espalhassem pelo mar.

3ª parte: apresentação de slides discutindo a dilatação do tempo e a contração do espaço, partindo do 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial (50 min)

Tendo os slides como recurso didático, o professor conduz uma apresentação oral seguindo a linha de raciocínio descrita abaixo. Deve-se deixar os alunos a vontade para interromper e efetuar perguntas a qualquer momento.

- Destacar que tempo e espaço são absolutos na mecânica clássica, isto é, não dependem do referencial. Assim, uma viagem de Brasília a Goiânia dura cerca de 2,5 h tanto para o motorista quanto para seu parente, que o aguarda em Goiânia. Aqui aproveita-se para retomar o conceito de movimento relativo.
- Retomar os dois fatores que, segundo a Teoria da Relatividade, causam a dilatação do tempo: 1) a gravidade e 2) movimentos com velocidades próximas à da luz. Reforçar que no decorrer da apresentação, trataremos do 2º caso. (o 1º caso será tratado na aula 4, no contexto dos estudos sobre as Leis de Newton)
- Retomar o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial, discutido na aula 2.
- Definir o que é um relógio de luz e a analisar a trajetória de um pulso de luz vista por um referencial que observa o relógio em movimento. Mostrar que a distância percorrida pelo pulso vista por esse referencial é maior do que a distância percorrida por esse pulso vista do referencial do próprio relógio. Como a velocidade da luz é a mesma para cada referencial (2º postulado), o tempo de percurso deve ser maior para um referencial do que para o outro.
- No exemplo ilustrado nos slides, o “tic tac” de um relógio de luz é de 10^{-8} s para um observador que o vê em repouso (motorista do fusca), mas é maior do que isso para um observador que o observa em movimento (parente em repouso em Goiânia). Convém ressaltar que isso não é uma alteração no “funcionamento” do relógio de luz, mas sim uma alteração no “passar do tempo” (fluxo temporal) em cada referencial.
- Há um aspecto aqui importante de ser ressaltado que costuma dar um nó na cabeça de alunos e professores: o “tica tac” do mesmo relógio de luz colocado em repouso em Goiânia durará 10^{-8} s em um referencial em repouso com relação a ele (parente em repouso em Goiânia), mas estará em movimento para o motorista do carro, que portanto medirá uma duração maior do que 10^{-8} s para ele. Embora seja importante que o professor detenha esse conhecimento, ele não precisa ser exposto para os alunos nesse momento, evitando confusões e focando mais no significado da dilatação temporal e suas causas.

- Convém mostrar qualitativamente que a dilatação é maior para maiores velocidades. Os slides propõem que isso seja feito de maneira até mesmo um tanto quanto visual, algo mais apropriado para o nível cognitivo dos alunos do 1º ano.
- Por fim, comentar que o efeito da dilatação temporal é desprezível na maioria das aplicações do nosso dia-a-dia (pois não lidamos com situações que exigem grande precisão na medida do tempo) e só é considerável para velocidades próximas a da luz.
- A “demonstração” da contração do espaço é apresentada como consequência direta da dilatação temporal: se a velocidade de um referencial com relação a outro é a mesma, aquele para o qual uma viagem dura mais (tempo dilatado) medirá uma distância maior, e aquele para o qual a viagem dura menos medirá uma distância menor (contração do espaço).
- Por uma questão de disponibilidade de tempo, não se recomenda aprofundar muito nesse ponto. Lembre-se que o objetivo maior dessa apresentação é discutir qualitativamente os conceitos de dilatação do tempo e contração do espaço, partindo do 2º postulado.
- Como fechamento da apresentação, sugere-se discutir algumas demonstrações experimentais do efeito da dilatação do tempo/contração do espaço. Assim, espera-se que os alunos percebam que, embora os efeitos sejam desprezíveis na maioria das situações cotidianas, eles são relevantes em outras situações, algumas bem corriqueiras atualmente, como o uso de um aparelho de GPS.

6. Avaliação

- Questões nos testes e provas
- Alternativamente, pode-se avaliar a participação durante a aula

7. Possíveis Adaptações

Caso se disponha de menos tempo, o tema 3 pode ser abordado numa atividade opcional planejada para o contra turno, caso em que poderia ser agregada à uma “seção de cinema” – assistir ao filme “Interstellar” completo e depois discutir os efeitos da dilatação do tempo e contração do espaço. Dispondo-se de mais tempo, é possível aprofundar a discussão sobre os experimentos comprobatórios da dilatação do tempo e ampliar a visão filosófica sobre os conceitos de tempo e espaço. Outra alternativa, a depender do nível dos alunos, consiste em apresentar as deduções das Transformações de Lorentz e utilizá-las em alguns exemplos numéricos.

8. Referências

Caso o professor sinta a necessidade de aprofundar seus conhecimentos para melhor abordar o tema, seguem algumas referências que podem auxiliá-lo, considerando a realidade do ensino de Física no ensino médio.

http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/Special_relativity_clocks_rods/index.html

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002

PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico, eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria: 3**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física – Volume 2.** 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Volume 4.** 6ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.

GUERRA, A.; BRAGA, M; REIS, J. C. Teoria da Relatividade Restrita e Geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007

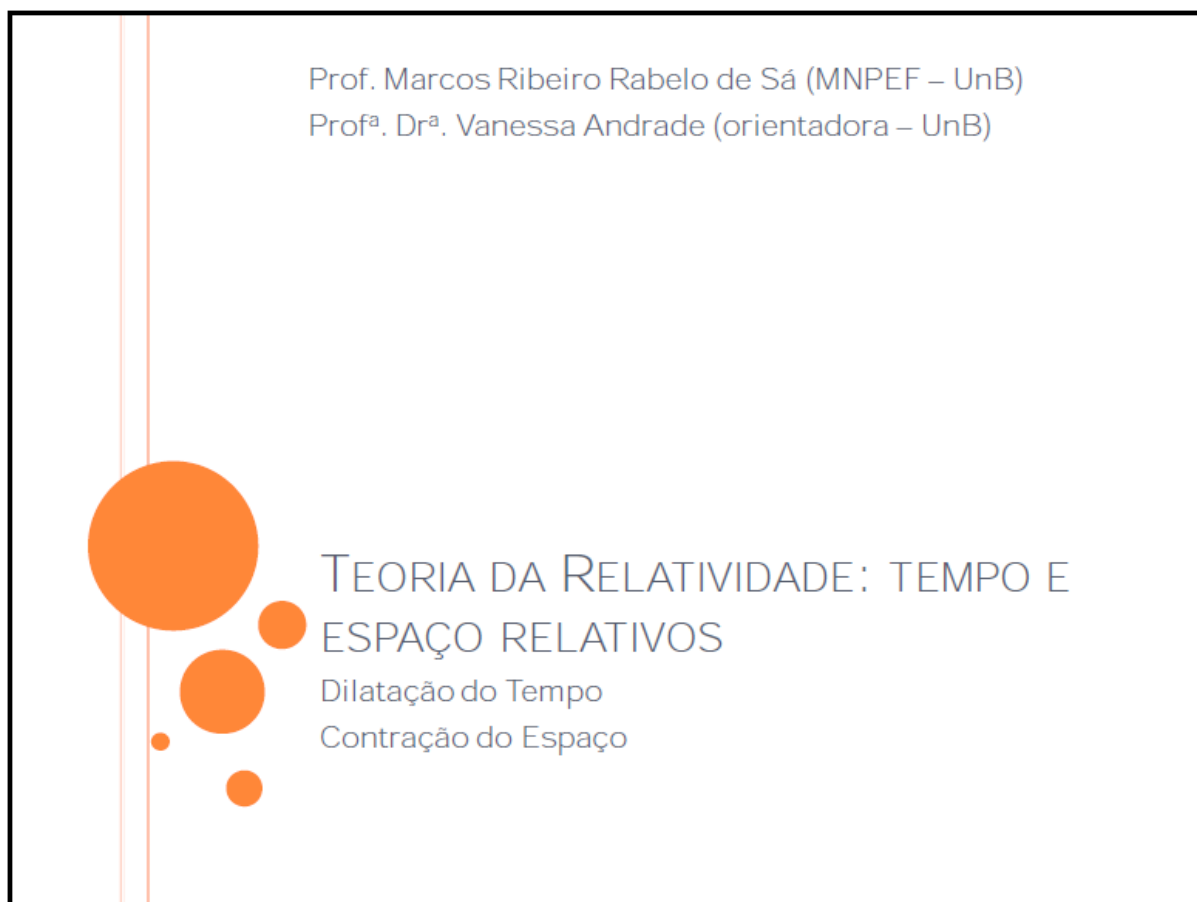
KARAM, Ricardo A. S.; SOUZA CRUZ, Sônia M. S. C.; COIMBRA, Débora. **Tempo relativístico no início do ensino médio.** RBEF, v.28, n.3, p. 373-386, 2006.

Apresentação de slides para inserção dos temas “dilatação do tempo e contração do espaço”, partindo de uma discussão sobre o filme “Interestelar” (2014) e do 2º postulado da Teoria da Relatividade Espacial¹

Prof. Marcos Ribeiro Rabelo de Sá²
Prof.^a Dra. Vanessa Carvalho de Andrade³

1 – Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – pólo 1 – Universidade de Brasília (UnB). contato: profmarcosrabelo@gmail.com

2 – Professor da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal e do Colégio Rogacionista de Brasília



SOBRE O FILME INTERESTELAR (2014)

1. Ao entregar um relógio para sua filha Murphy, antes de viajar para o espaço, Cooper (o pai) disse a ela que o tempo passaria diferente para os dois. Em que situações, segundo ele, isso aconteceria?
2. Ainda nesse contexto, Cooper afirma: “Quando eu voltar nós podemos ter até a mesma idade.” Sendo assim, ao longo da viagem, o tempo passará mais devagar para o pai ou para a filha?



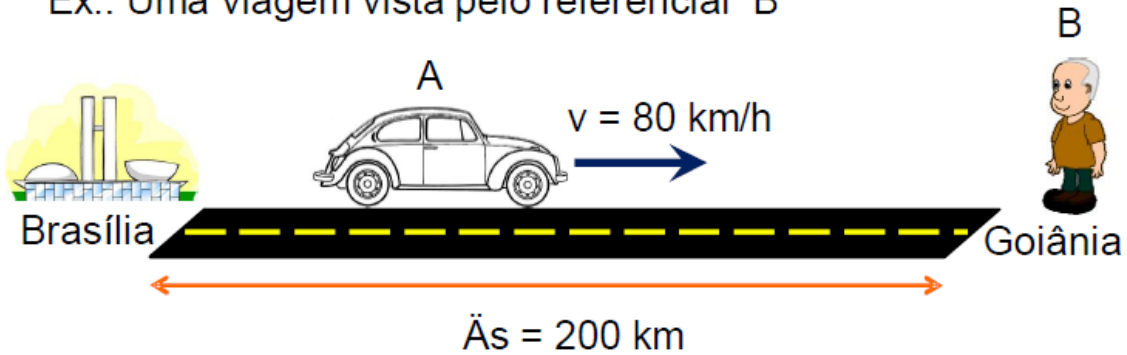
SOBRE O FILME INTERESTELAR (2014)

3. Os astronautas vivem um drama ao visitar o primeiro planeta porque cada 1 h que estiverem nele corresponde a 7 anos para as pessoas na Terra. Segundo o filme, o que causa essa distorção no tempo?
4. A “relatividade do tempo” apresentada no filme é apenas um efeito biológico ou psicológico para os seres humanos? Ou significa que, de fato, o tempo passou de maneira mais devagar em alguns locais ou situações? Argumente com elementos do filme.



MECÂNICA CLÁSSICA: TEMPO ABSOLUTO

Ex.: Uma viagem vista pelo referencial "B"



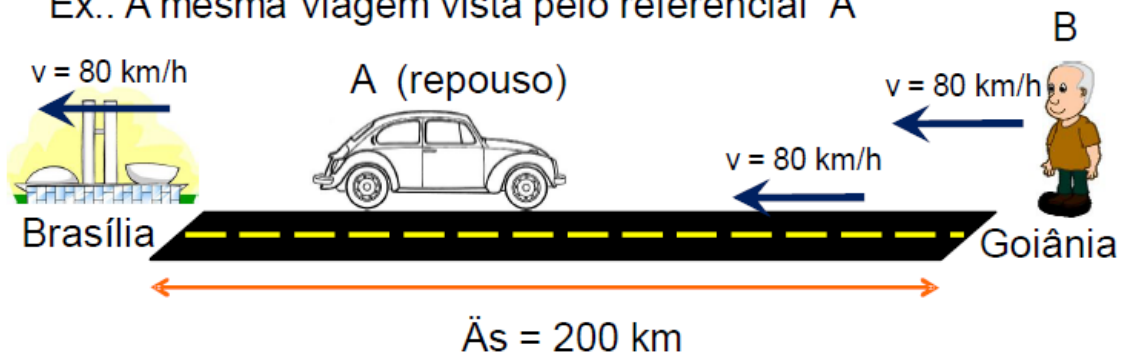
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow 80 = \frac{200}{\Delta t} \rightarrow 80\Delta t = 200$$

$$\therefore \Delta t = \frac{200}{80}$$

$$\therefore \Delta t = 2,5h = 2 \text{ h } 30 \text{ min}$$

MECÂNICA CLÁSSICA: TEMPO ABSOLUTO

Ex.: A mesma viagem vista pelo referencial "A"



$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow 80 = \frac{200}{\Delta t} \rightarrow 80\Delta t = 200$$

$$\therefore \Delta t = \frac{200}{80}$$

$$\therefore \Delta t = 2,5h = 2 \text{ h } 30 \text{ min}$$

MECÂNICA CLÁSSICA: TEMPO ABSOLUTO

- Não há por que pensar que a duração de uma viagem será diferente para um referencial A ou B
- É dessa maneira que temos lidado com o tempo até o momento, pois temos utilizado as leis da Mecânica Clássica (Galileu, Newton, etc.)

CONCLUSÃO:

Na Mecânica Clássica, o tempo é ABSOLUTO, isto é, passa igualmente para qualquer referencial.

MECÂNICA RELATIVÍSTICA (OU TEORIA DA RELATIVIDADE): TEMPO RELATIVO

- Identificamos no filme dois fatores que, segundo a Teoria da Relatividade, “distorcem” o tempo:
 - A Gravidade (Ex.: forte campo gravitacional próximo a um buraco negro)
 - Movimento a altíssima velocidade (Ex.: uma viagem em uma nave espacial super rápida)
- O 1º caso, discutiremos mais tarde...
- O 2º caso, discutiremos agora!

MECÂNICA RELATIVÍSTICA (OU TEORIA DA RELATIVIDADE): TEMPO RELATIVO

o 2º Postulado da Teoria da Relatividade Especial:

A velocidade da luz no vácuo possui sempre o mesmo valor para qualquer observador, a saber, o valor "c".

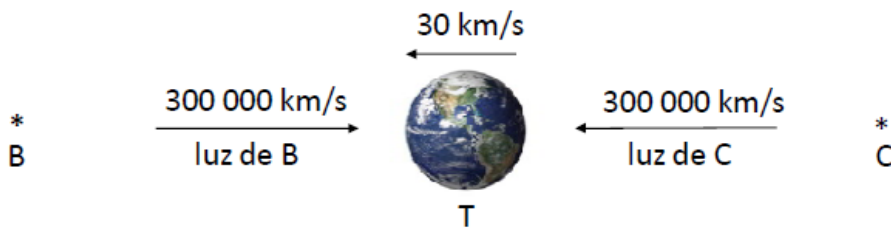


fig. 7: O experimento de Arago mediu a velocidade relativa da luz que se move em sentido contrário (proveniente da estrela distante B) e no mesmo sentido (proveniente da estrela distante C) do movimento de translação da Terra.

MECÂNICA RELATIVÍSTICA (OU TEORIA DA RELATIVIDADE): TEMPO RELATIVO

o 2º Postulado da Teoria da Relatividade Especial:

A velocidade da luz no vácuo possui sempre o mesmo valor para qualquer observador, a saber, o valor "c".

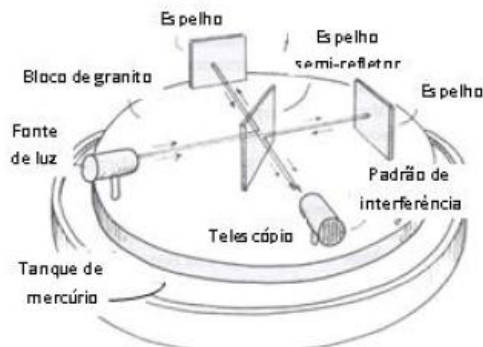
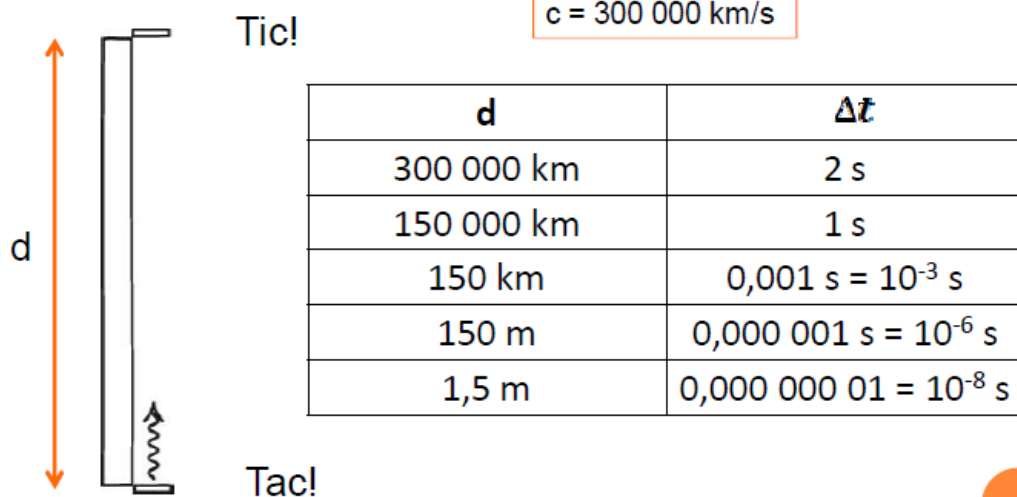


fig. 8: Esquema representativo simplificado do incrível aparato experimental desenvolvido por Michelson e Morley —o quanto engenhosidade e precisão!!

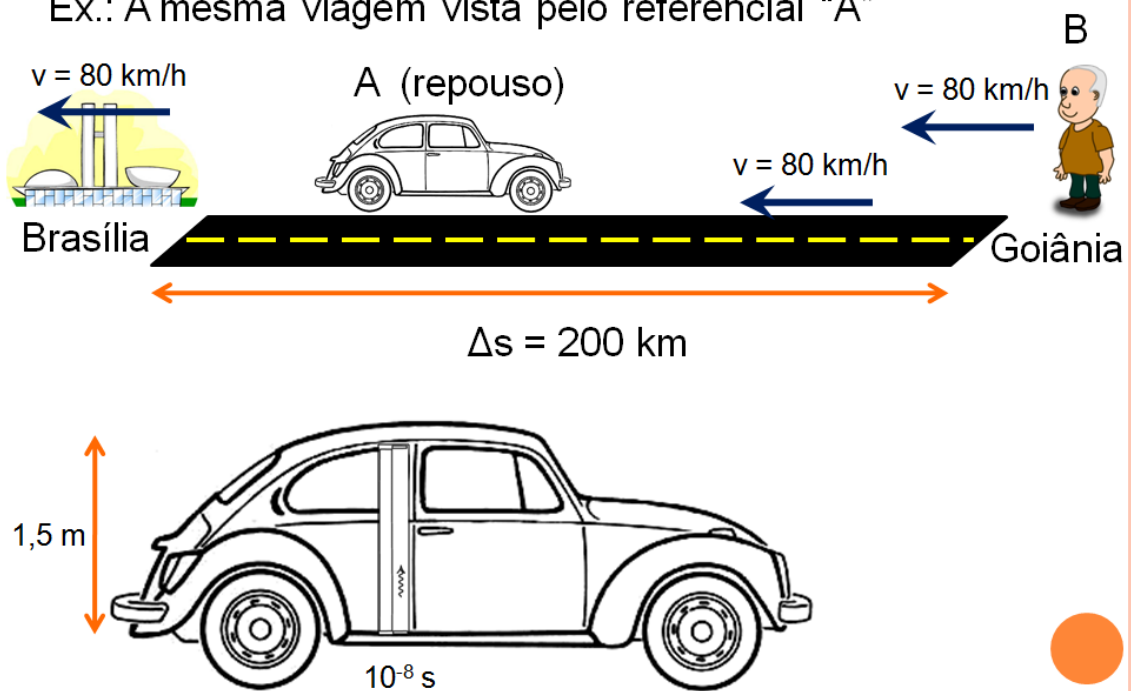
MECÂNICA RELATIVÍSTICA (OU TEORIA DA RELATIVIDADE): TEMPO RELATIVO

o Relógio de luz



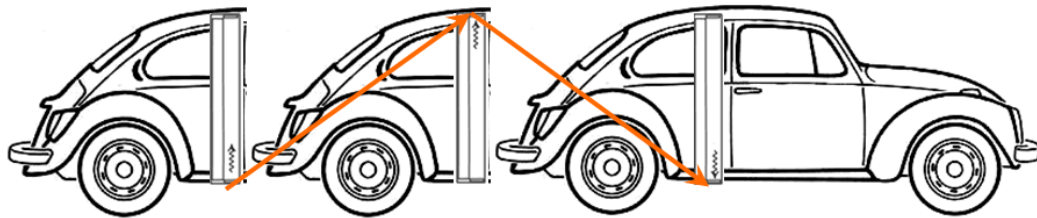
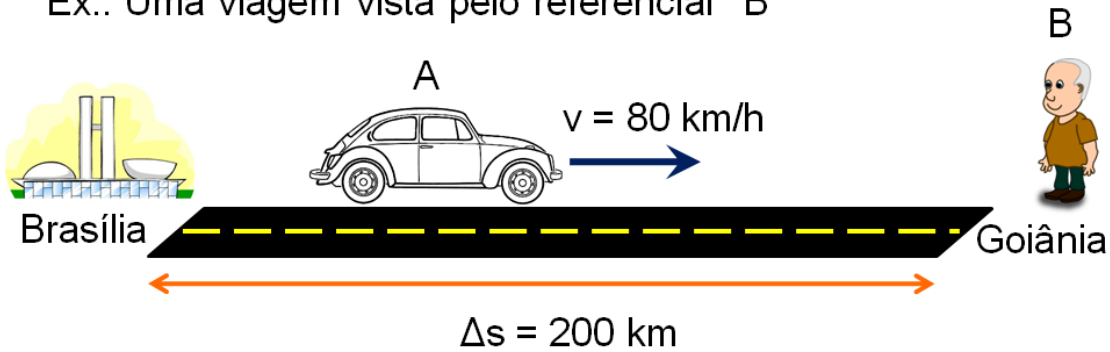
TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

Ex.: A mesma viagem vista pelo referencial "A"



TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

Ex.: Uma viagem vista pelo referencial "B"

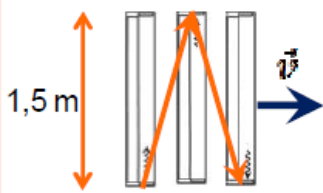


Trajetória da luz vista pelo referencial B!!!

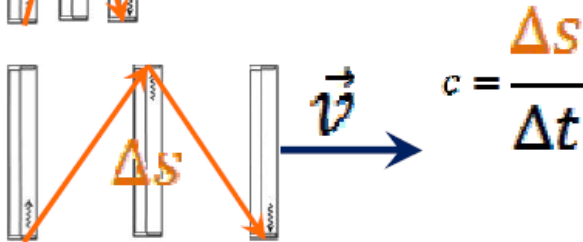
TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

Ex.: Uma viagem vista pelo referencial "B"

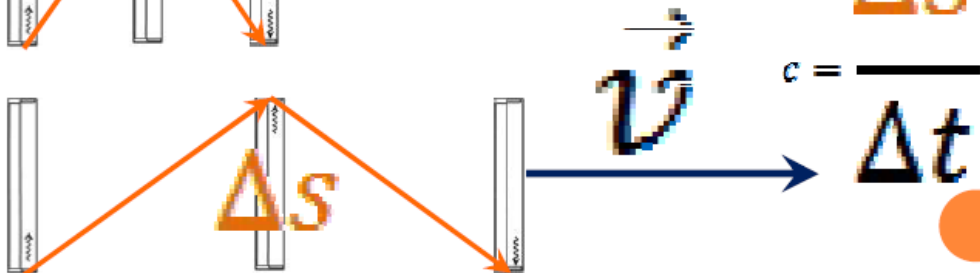
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$



$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \Delta s > 1,5 \text{ m} \quad \Delta t > 10^{-9} \text{ s}$$

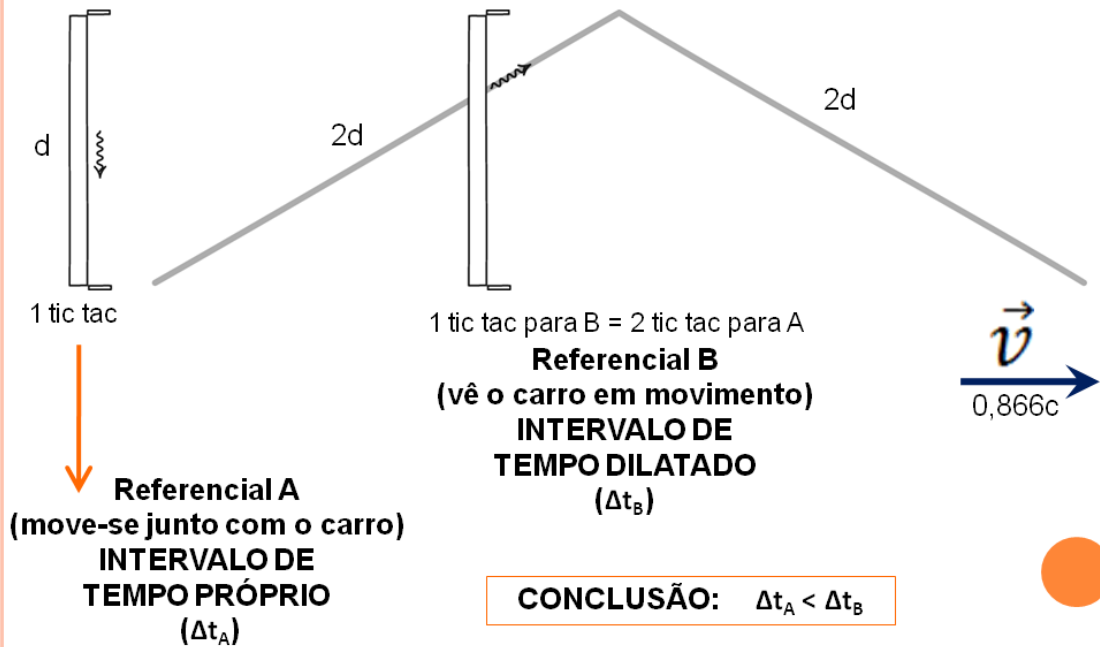


$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$



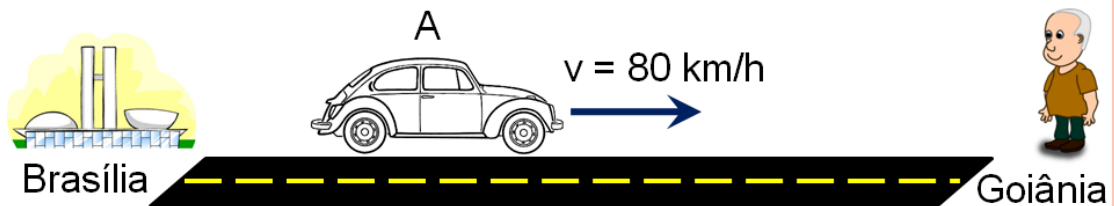
TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

Ex.: Uma viagem vista pelo referencial "B"



TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

Ex.: Uma viagem vista pelo referencial "B"

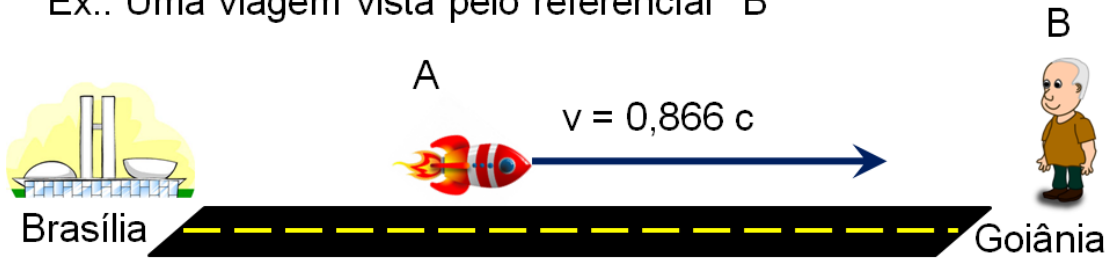


CONCLUSÃO: $\Delta t_A < \Delta t_B$

- A viagem vai durar menos para o motorista A do que para o observador B!!!
- **MAS** para um movimento tão "lento", seria necessário usar relógios muitíssimo precisos para detectar a diferença!
- Nessa situação, podemos dizer que: $\Delta t_A \approx \Delta t_B$

TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

Ex.: Uma viagem vista pelo referencial "B"



CONCLUSÃO: $\Delta t_A < \Delta t_B$

- A viagem vai durar menos para o motorista A do que para o observador B!!!
- Para movimentos com velocidades próximas à da luz, a dilatação do tempo é considerável!
- Ex.: Para $v = 0,866 c$, temos $\Delta t_B = 2 \Delta t_A$

TEORIA DA RELATIVIDADE: TEMPO RELATIVO

- RESUMINDO, para a Teoria da Relatividade:
 - O tempo não é absoluto, mas sim relativo
 - Dois referenciais podem discordar a respeito da duração de um evento (uma viagem, por exemplo)
 - A GRAVIDADE e o MOVIMENTO EM ALTA VELOCIDADE são fatores que dilatam o tempo
 - O tempo passa mais devagar (menor duração) para um referencial que se move em alta velocidade do que para um referencial que observa esse movimento
 - A dilatação do tempo é DESPREZÍVEL para baixas velocidades e CONSIDERÁVEL para velocidades próximas à da luz

TEORIA DA RELATIVIDADE: CONTRAÇÃO DO ESPAÇO

Brasília Goiânia

Δs

$\Delta t_A < \Delta t_B$

- Para o referencial A:
$$v = \frac{\Delta s_A}{\Delta t_A}$$
- Para o referencial B:
$$v = \frac{\Delta s_B}{\Delta t_B}$$

CONCLUSÃO: $\Delta s_A < \Delta s_B$

TEORIA DA RELATIVIDADE: CONTRAÇÃO DO ESPAÇO

CONCLUSÃO: $\Delta s_A < \Delta s_B$

- Para o referencial A:

d_A $\Delta s_A < 200 \text{ km}$
- Para o referencial B:

d_B $\Delta s_B = 200 \text{ km}$

TEORIA DA RELATIVIDADE: CONTRAÇÃO DO ESPAÇO

- Quando um corpo é observado em movimento, ocorre um “achatamento” do seu tamanho na direção do movimento, o que se denomina **CONTRAÇÃO DO ESPAÇO**
- A contração do espaço é **DESPREZÍVEL** para movimentos com baixa velocidade e **CONSIDERÁVEL** para movimentos com velocidades próximas à da luz



ALGUMAS COMPROVAÇÕES EXPERIMENTAIS...

- Dilatação do tempo
 - Vôos com relógios atômicos
 - Efeito de MOVIMENTO e de GRAVIDADE
 - Tempo de vida de partículas subatômicas (múon)
 - Efeito de MOVIMENTO
 - Parado com relação ao laboratório: $\Delta t_A = 2,2 \mu s$
 - Em movimento com relação ao laboratório: $\Delta t_B = 63,51 \mu s$
 - Sistema de GPS
 - Efeito de GRAVIDADE
 - Relógios nos satélites Vs relógios na superfície da Terra
- Não fosse o fenômeno da contração do espaço, não seria possível explicar a penetração dos múons provenientes do espaço na atmosfera terrestre.



REFERÊNCIAS

- <http://pixabay.com>
- http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/Special_relativity_clocks_rods/index.html
- HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 9ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002
- PIETROCOLLA, M. *et al.* Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico, eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria: 3. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Curso de Física – Volume 2. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2012.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física – Volume 4. 6ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.



Tema 4 – Deformação do espaço-tempo: a inércia segundo
a Teoria da Relatividade Geral

1. Carga-horária: 50 min

2. Objetivos

- Apresentar qualitativamente o conceito de deformação do espaço tempo como uma espécie de alteração da Lei da Inércia de Isaac Newton
- Contrastar a visão de gravitação de Newton com a da Teoria da Relatividade Geral, assentando as bases para um estudo mais aprofundado de ambos os casos mais adiante (Tema 7)

3. Recursos Didáticos

- Quadro e giz/pincel
- Lençol ou forro de mesa (preferencialmente com linhas quadriculadas)
- Corpo esférico menor e mais leve (bolinha de pingue-pongue, pequeno limão, etc.)
- Corpo esférico maior e mais pesado (bola de basquete, melão, etc.)
- Cópias das atividades de fixação (anexa)

4. Metodologia

1ª etapa: revisão da lei da inércia clássica por meio da analogia entre um lençol e o espaço-tempo

Organizar as carteiras da sala em formato de U, ocupando as laterais e o fundo da sala, com os alunos sentados em duplas nas carteiras voltados para o centro da sala. Enquanto a turma se organiza, o professor pode passar um esquema no quadro, resumindo o que será discutido durante a aula e servindo de referência para os alunos. O esquema a seguir é uma sugestão:

Sugestão de esquema comparando a Lei da Inércia e a Gravitação entre a Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade Geral

| <u>Mecânica Clássica</u> | <u>Teoria da Relatividade Geral</u> |
|--|--|
| <p><u>1ª Lei de Newton: Lei da Inércia:</u></p> <p>Se $F_R = 0$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Repouso (Eq. Estático)} \\ \text{M.R.U. (Eq. Dinâmico)} \end{array} \right.$</p> <p><u>Lei da Gravitação Universal</u></p> <p>“matéria atrai matéria” $\rightarrow \vec{F}_G$ ou \vec{P}</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A Lei da Inércia Clássica aplica-se a um espaço-tempo não deformado (plano) • A massa de um corpo (planeta, estrela, buraco-negro, etc.) deforma o espaço-tempo, alterando os estados de inércia. |

Numa conversa amistosa, o professor pode resgatar os conhecimentos prévios por meio de algumas perguntas como: Quais são as três leis de Newton? O que diz a Lei da Inércia? Quando um corpo está em movimento retilíneo uniforme, tem alguma força resultante agindo nele? E quando ele está fazendo uma curva? Em que circunstâncias vimos que o tempo e o espaço são relativos? Embora os temas abordados nessas perguntas já tenham sido trabalhado anteriormente, é natural que alguns alunos ainda permaneçam com dúvidas. Este é um momento para esclarecê-las, antes de introduzir a visão da Relatividade Geral.

O professor estende o lençol sobre o chão da sala e posiciona o pequeno corpo esférico menor em repouso sobre ele. Numa analogia semelhante à apresentada no “trecho 2” do filme *Interestelar* (2014), conforme discutido na abordagem do tema 3, o lençol representará o espaço-tempo. Aqui é bom lembrar que o termo espaço-tempo se tornou popular devido ao entrelaçamento entre tempo e espaço relativos, como discutido no tema 3. Além disso, a abordagem matemática da Teoria da Relatividade Geral costuma ser organizada com base nas quatro dimensões em pé de igualdade: três espaciais (largura, comprimento e altura) e uma temporal. Embora não caiba desenvolver tal abordagem matemática no ensino médio, esta é uma informação cultural importante, que costuma ser explorada em livros, revistas, programas de televisão, obras de ficção científica, etc. Portanto, cabe ao professor ressaltar que, na dinâmica a ser apresentada, o lençol bidimensional (largura e comprimento) representará o espaço-tempo quadridimensional.

Num espaço-tempo plano, isto é, quando o espaço-tempo não está deformado, um corpo em repouso tende naturalmente a permanecer em repouso, fato ilustrado pela bolinha em repouso sobre o lençol esticado. Para que um corpo saia do repouso, uma força resultante deve agir sobre ele, fato que pode ser ilustrado dando um pequeno impulso sobre a esferinha, colocando-a em movimento sobre o lençol. Nesse mesmo espaço-tempo plano, um corpo em movimento tende a permanecer em movimento retilíneo uniforme por inércia, isto é, na ausência de uma força resultante. Isso pode ser representado lançando-se a pequena esfera ao longo de uma linha reta sobre o lençol.³⁴ Para que um corpo em movimento acelere, freie ou faça uma curva, uma força resultante não-nula deve agir sobre ele. Do contrário, a tendência natural é do corpo permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Eis como a Lei da Inércia funciona num espaço-tempo plano.

2ª etapa: deformação do espaço-tempo como uma alteração da Lei da Inércia

Ocorre que, segundo a Teoria da Relatividade Geral, a massa de um corpo³⁵ é capaz de deformar o espaço-tempo a sua volta. Quanto maior a massa, maior será a deformação do espaço-tempo causada em torno dela. Para ilustrar esse fenômeno com a analogia com o lençol, o professor pode convidar alguns alunos a suspenderem o lençol horizontalmente acima do solo. Então o professor coloca a esfera maior e mais pesada no centro do lençol. Todos observarão que o lençol fica deformado pelo peso do objeto, representando o espaço-tempo deformado.

Nesse espaço-tempo deformado, um corpo em repouso não tende mais naturalmente a permanecer em repouso. Pelo contrário, por inércia, ele se move aceleradamente em direção ao corpo massivo no centro. Isso pode ser ilustrado colocando-se a esferinha em repouso sobre algum ponto razoavelmente afastado da esfera maior. Devido à inclinação do lençol, ela começará a se mover cada vez mais rápido em direção ao centro. É assim que a Teoria da Relatividade Geral explica a queda de um corpo próximo à superfície da Terra, por exemplo.

³⁴ Aqui há de se esclarecer a diferença entre a analogia apresentada e a situação real: na realidade, devido ao atrito, o objeto lançado não permanecerá em movimento retilíneo uniforme.

³⁵ De fato, a energia também é capaz de deformar o espaço-tempo. Mas isso seria abordado nos temas 6 e 7.

Os corpos caem por inércia! Movem-se com aceleração “g” porque essa é a tendência natural num espaço-tempo deformado. Não há força de atração entre massas na Teoria da Relatividade. Não há força gravitacional!

Similarmente, se um corpo é lançado em movimento num espaço-tempo deformado pela presença de outro mais massivo, a tendência natural não é mais permanecer em movimento retilíneo uniforme, mas sim seguir uma trajetória curva, devido a deformação do espaço-tempo. Quanto maior a deformação, maior será a curvatura da trajetória. Isso pode ser ilustrado lançando a esferinha em movimento numa direção paralela à um dos lados do lençol. A esferinha desenvolverá uma curva, aproximadamente em torno da esfera grande. Com um pouco de prática é possível até fazê-la dar uma volta em torno da esfera grande, como a Lua em torno da Terra ou a Terra em torno do Sol. Esses exemplos devem ser comentados pelo professor.

3ª etapa: resolução da atividade de fixação em duplas

Finalizada essa discussão, o professor entrega a atividade de fixação (anexa) para que cada dupla responda. Ele deve incentivar a troca de idéias entre os integrantes da dupla e deve estar disponível para esclarecer as dúvidas que surgirem.

5. Avaliação

- Atividade de fixação
- Questões nos testes e provas
-

6. Possíveis Adaptações

Dispondo-se de menos tempo, o tema 4 poder ser adaptado a um projeto de pesquisa ou, ainda, a uma “seção de cinema” no contraturno, utilizando-se do filme “Einstein e Eddington” (*Einstein and Eddington*, BBC, Inglaterra, 2008) como um elemento a mais, motivador e promotor de uma discussão sobre o contexto do surgimento e teste da Teoria da Relatividade Geral. Dispondo-se de mais tempo, passar cenas do filme sugerido acima durante as aulas.

Aluno(a): _____ N° _____ Turma: 1° _____

Aluno(a): _____ N° _____ Turma: 1° _____

Atividade – Noções de Teoria da Relatividade Geral
A inércia e a deformação do espaço-tempo

Questão 1: Explique, com suas palavras, a 1ª Lei de Newton: a Lei da Inércia.

Questão 2: Julgue os itens a seguir, assinalando (C) para os corretos e (E) para os errados.

() Na Teoria da Relatividade Geral, um corpo livre da ação de forças permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, independente das características do espaço-tempo.

() Na Teoria da Relatividade Geral, a força gravitacional é uma força de atração entre as massas de dois corpos.

() Na Teoria da Relatividade Geral, o espaço-tempo possui duas dimensões, como um lençol: largura e comprimento

() Na Teoria da Relatividade Geral, a massa de um corpo deforma o espaço-tempo a sua volta.

Questão 3: As duas figuras a seguir ilustram um satélite em órbita em torno da Terra, porém os diferentes elementos presentes em cada figura remetem a dois modelos físicos distintos para a gravitação.

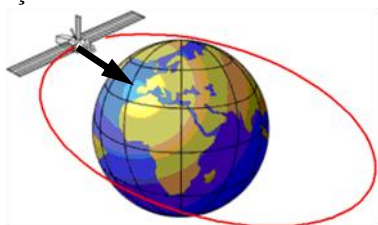


fig. 1

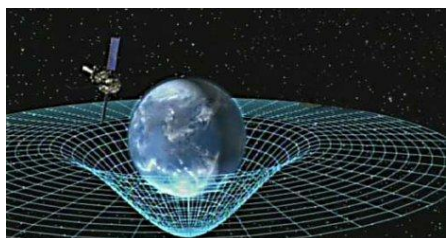


fig. 2

a) Qual figura corresponde à Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton? Justifique sua resposta com elementos da figura.

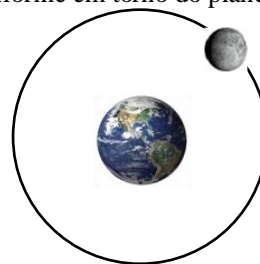
b) Qual figura corresponde à Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein? Justifique sua resposta com elementos da figura.

Questão 4: Considere uma maçã que se desprende do galho de uma macieira e então, partindo do repouso, começa a cair cada vez mais rapidamente em direção ao chão.

a) Como a Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, explica esse fenômeno?

b) Como a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, explica esse fenômeno?

Questão 5: Sabe-se que a Lua está em órbita, desenvolvendo um movimento aproximadamente circular e uniforme em torno do planeta Terra.



a) De acordo com a Mecânica Clássica, é possível dizer se há alguma força agindo sobre a Lua ao longo de seu movimento? Explique.

b) De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, por que a Lua não segue uma trajetória retilínea?

**APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PRÉVIO À LEITURA DA APOSTILA
SOBRE O TEMA 2**

Questionário Prévio à Leitura da Apostila – Valor: 0,5 pts.

Responda a todas as perguntas abaixo da forma mais completa e honesta possível. Estes serão os únicos critérios para a avaliação das suas respostas, isto é, não importa se elas estão certas ou erradas.

1. Qual das pessoas abaixo está mais relacionada ao desenvolvimento da Teoria da Relatividade:

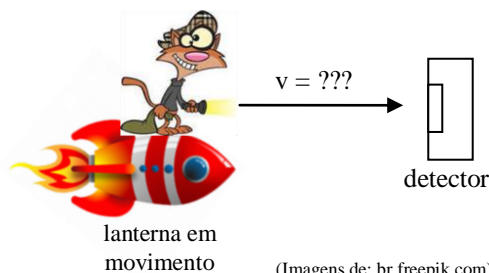
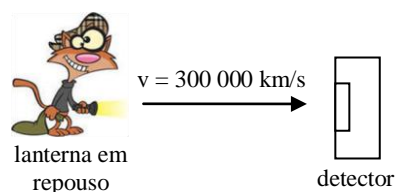
- a) Albert Einstein
- b) Aristóteles
- c) Galileu Galilei
- d) Isaac Newton
- e) Max Plack
- f) **não faço a menor ideia.**

2. Quais dos fenômenos a seguir estão mais intimamente ligados à Teoria da Relatividade:

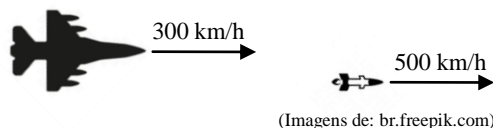
- buracos negros
- contração do espaço
- deformação do espaço-tempo
- difração e interferência de elétrons
- dilatação do tempo
- efeito fotoelétrico
- lentes gravitacionais
- modelo atômico de Bohr
- paradoxo dos gêmeos
- quantização da luz
- bombas atômicas e usinas nucleares
- não faço a menor ideia**

3. Além da discussão realizada com a apresentação do Tema 5, na aula passada, você já tinha lido algum material (livros, reportagens, sites, etc.), visto algum vídeo (documentários de TV a cabo ou no youtube, por exemplo) ou realizado algum tipo de estudo ou pesquisa sobre a Teoria da Relatividade? Quais? Cite exemplos.

4. Uma lanterna em repouso emite um feixe de luz que incide sobre um detector capaz de medir a velocidade do movimento da luz. Nessa situação, o detector mede uma velocidade $v = 300\,000\text{ km/s}$ para a luz da lanterna. Se a lanterna estiver em movimento em direção ao detector, a velocidade da luz medida por esse detector será maior, menor ou igual a $300\,000\text{ km/s}$? **Justifique sua resposta.**



5. Num treinamento militar, um avião lança um míssil para frente. Tanto o avião quanto o míssil passam a se mover em linha reta e com velocidade constante. Num dado momento, a torre de comando da missão mede a velocidade de 300 km/h para o avião e de 500 km/h para o míssil. Para o piloto, qual é a velocidade com que o míssil se afasta do avião?

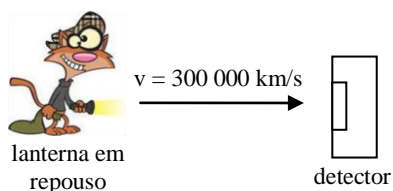


- a) 200 km/h
- b) 300 km/h
- c) 500 km/h
- d) 800 km/h

**APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APÓS A LEITURA DA APOSTILA SOBRE O
TEMA 2**

Questionário Após a Leitura da Apostila: para alunos que LERAM o texto

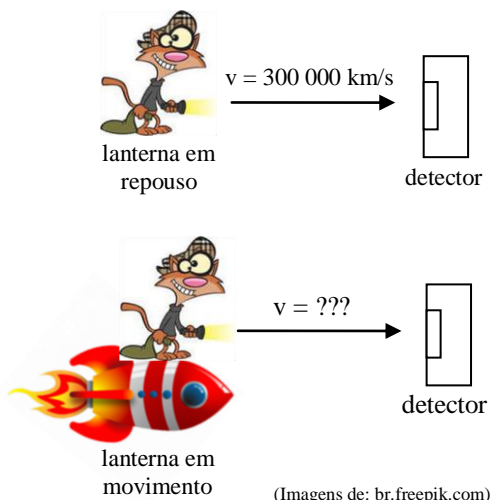
1. Você leu o texto? () sim () não
2. O que você achou do texto lido? Comente.
3. Você pulou alguma parte do texto durante a leitura? Qual(is)? Por quê?
4. Comente pelo menos três aspectos discutidos no texto que você considerou mais interessantes:
5. Qual(is) parte(s) do texto você considera que não compreendeu bem? Justifique.
6. Você gostaria de conhecer mais sobre a Teoria da Relatividade, de Albert Einstein? Por quê?
7. Uma lanterna em repouso emite um feixe de luz que incide sobre um detector capaz de medir a velocidade do movimento da luz. Nessa situação, o detector mede uma velocidade $v = 300\,000\text{ km/s}$ para a luz da lanterna. Se a lanterna estiver em movimento em direção ao detector, a velocidade da luz medida por esse detector será maior, menor ou igual a $300\,000\text{ km/s}$? **Justifique sua resposta.**



(Imagens de: br.freepik.com)

Questionário Após a Leitura da Apostila: para alunos que NÃO LERAM o texto

1. Você leu o texto? () sim () não
2. Por que você não leu o texto? Explique.
3. Você chegou a tentar ler alguma parte do texto? Quais foram as dificuldades encontradas?
4. Você acha importante o professor passar textos para ler em casa sobre os assuntos abordados nas aulas de Física? Por quê?
5. Você costuma ler com frequência? Que tipo de material você costuma ler?
6. Você gostaria de conhecer mais sobre a Teoria da Relatividade, de Albert Einstein? Por quê?
7. Uma lanterna em repouso emite um feixe de luz que incide sobre um detector capaz de medir a velocidade do movimento da luz. Nessa situação, o detector mede uma velocidade $v = 300\,000\text{ km/s}$ para a luz da lanterna. Se a lanterna estiver em movimento em direção ao detector, a velocidade da luz medida por esse detector será maior, menor ou igual a $300\,000\text{ km/s}$? **Justifique sua resposta.**



APÊNDICE D – PROVA DO 1º BIMESTRE

Algumas das coisas mais rápidas do mundo

1. O animal terrestre mais rápido do mundo

A chita, também conhecida como guepardo, consegue correr a até 110 km/h com seu corpo esguio, feito para corridas.



2. O carro mais rápido do mundo produzido em série

A empresa Barabus liberou informações sobre o TKR, um novo carro com motor de 1005 cavalos de potência, que chega a uma velocidade de 430 km/h.



3. O avião mais veloz



A aeronave experimental X-15, criada pela Força Aérea dos EUA possuía motores de foguete. Não só atingiu o recorde de velocidade no início da década de 1960, mas também o recorde de altitude. Foram 80,47 km de altura (o que qualificou os pilotos como astronautas) e uma velocidade de 7.273 km/h.

4. A coisa mais rápida já registrada



Na Física moderna, a luz é considerada a coisa mais veloz do universo, sendo sua velocidade no vácuo atualmente definida como 299.792.458 m/s. Com essa velocidade é possível dar 7,4 voltas em torno da Terra em apenas 1 s.

(adaptado de <http://hypescience.com/20308-as-15-coisas-mais-velozes-do-universo/>, acesso em 16/04/2015)

Sobre as informações contidas no texto e assuntos correlatos estudados nas aulas de Física, julgue os itens a seguir, assinalando (C) para os corretos e (E) para os errados.

1. () Todas as medidas de velocidade informadas no texto foram expressas com as unidades padrões do Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).
2. () A chita consegue atingir velocidades superiores a 25 m/s.
3. () O recorde de altitude do X-15 corresponde a 80 470 m.
4. () A 4ª parte do texto (“A coisa mais rápida já registrada”) fornece medidas utilizando o metro e o segundo, que são as unidades de medida padrões do SI para distância e tempo, respectivamente.
5. () Se o autor do texto desejasse fornecer as massas de cada veículo citado utilizando as unidades padrões do SI, então ele deveria utilizar o grama (g).
6. () O valor da velocidade da luz fornecida no texto corresponde a $2,99 \cdot 10^6$ m/s.
7. () Ao partir do repouso e acelerar até atingir a velocidade de 430 km/h, o carro TKR desenvolve um movimento uniforme.
8. () Até se chegar ao valor atualmente aceito para a velocidade da luz no vácuo, diversos experimentos foram realizados ao longo da história para tentar medir a velocidade da luz.
9. () O movimento extremamente rápido da luz trouxe dificuldades para os primeiros experimentos que tentaram medir a velocidade da luz.
10. () Se o carro TKR mantiver a velocidade constante de 430 km/h ao longo de uma viagem de 2h e 30 min de duração, então ele percorrerá uma distância menor que 1 000 km nessa viagem.
11. () O termo “Física moderna” se refere à revolução ocorrida a partir do surgimento da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade.

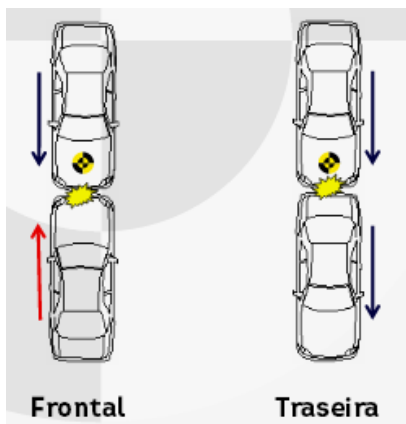
12. Uma partida de vôlei durou exatamente 1h 25 min e 10 s. Assinale a alternativa que expressa corretamente essa medida de tempo utilizando a unidade padrão do Sistema Internacional de Unidades:

- a) () 1,25 h
 b) () 85,17 min
 c) () 1570 s
 d) () 5110 s

13. (UFPE - adaptada) Um caminhão se desloca com velocidade escalar constante de 144 km/h. Suponha que o motorista cochile durante 2,0 s. Qual a distância, em metros, percorrida pelo caminhão nesse intervalo de tempo se ele não colidir com algum obstáculo?

- a) () 288 m
 b) () 80 m
 c) () 72 m
 d) () 40 m

14. As colisões frontais e traseiras são dois tipos de acidentes de trânsito muito comuns nas estradas. No primeiro caso, os carros se movem em sentidos opostos, colidindo de frente. No segundo caso, um dos veículos se move mais rápido e alcança o veículo da frente, atingindo sua traseira.



A figura a seguir ilustra o poder de destruição de uma colisão frontal entre carros em uma rodovia.



Considere dois automóveis A e B que se movem em uma estrada com velocidades de módulos 90 km/h e 72 km/h. Assinale a alternativa que indica o módulo da velocidade relativa entre esses dois automóveis caso ocorra uma colisão frontal ou uma colisão traseira:

| | Colisão frontal | Colisão traseira |
|--------|-----------------|------------------|
| a) () | 162 km/h | 18 km/h |
| b) () | 90 km/h | 72 km/h |
| c) () | 72 km/h | 90 km/h |
| d) () | 18 km/h | 162 km/h |

Sabemos há muito tempo que a Terra movimenta-se girando ao redor do Sol. Existem também estrelas com movimentos conhecidos e de grande velocidade. Porém, ao medir a velocidade da luz vinda de diferentes direções e de astros em movimento, não encontrou-se qualquer alteração na sua velocidade. Esta velocidade é a constante $c = 300.000$ km/s, comprovada pelos estudos feitos até então. Alguma coisa deveria estar errada! Como tornar este resultado compatível com as teorias aceitas até o momento? Para resolver estes impasses, Albert Einstein propôs a **Teoria da Relatividade Restrita**, que está baseada em dois postulados:

- Postulado 1: Todas as leis da Física assumem a mesma forma em todos os referenciais inerciais;

- **Postulado 2:** Em qualquer referencial inercial, a velocidade da luz no vácuo c é sempre a mesma, seja emitida por um corpo em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme;

(<http://www.infoescola.com/fisica/teoria-da-relatividade/>)

O texto faz referência ao contexto do surgimento da Teoria da Relatividade Especial, de Albert Einstein. A esse respeito, julgue os itens a seguir e resolva o item **21**:

15. () Atualmente sabe-se que não há evidências experimentais para comprovar o 2º postulado indicado acima.

16. () De acordo com a Física Clássica, a velocidade da luz de uma estrela em relação a Terra pode ser diferente caso a estrela esteja se aproximando ou se afastando da Terra.

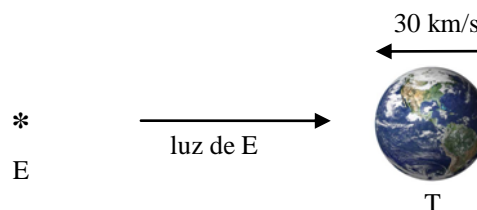
17. () A partir desses dois postulados, Einstein fez alterações nas leis da Mecânica Clássica, o que deu origem a Teoria da Relatividade.

18. () Na Teoria da Relatividade, a lei para determinar da velocidade relativa entre dois corpos não foi afetada pelos dois postulados mencionados acima.

19. () Para descrever o movimento de corpos com velocidades extremamente elevadas, próximas à da luz, a Mecânica Clássica é tão precisa quanto a Teoria da Relatividade.

20. () Para calcular a velocidade relativa entre dois carros em uma rodovia, as leis da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade fornecerão essencialmente o mesmo resultado.

21. Sabe-se que a Terra gira em torno do Sol com velocidade de 30 km/s. Na figura a seguir, a luz de uma estrela distante E move-se exatamente no sentido contrário ao movimento da Terra.



Sendo $c = 300\,000$ km/s a velocidade da luz no vácuo, assinale a alternativa correta:

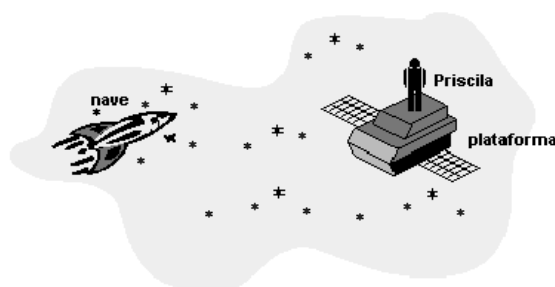
a) () De acordo com as leis da Física Clássica, a velocidade da luz no vácuo é a mesma para qualquer referencial.

b) () De acordo com a Teoria da Relatividade, a velocidade da luz da estrela E com relação à Terra possui módulo de 300 030 km/s.

c) () Um experimento realizado na Terra para medir a velocidade da luz proveniente da estrela E certamente obterá o valor $c = 300\,000$ km/s como resultado.

d) () De acordo com o 2º postulado da Teoria da Relatividade Restrita, a velocidade da luz da estrela E depende do referencial.

22. (UFMG) Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que “ c ” é a velocidade da luz no vácuo. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave.



Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:

a) () $0,7c$

b) () $1,0c$

c) () $0,3c$

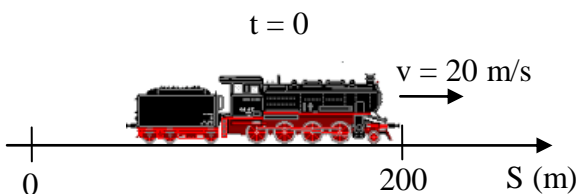
d) () $1,7c$

Um aluno do CEM JK sai da aula, pega um ônibus para ir para casa e põe-se a observar o que ocorre a sua volta. Notou que o motorista e todos os demais passageiros estavam sentados sobre suas poltronas. No momento em que o ônibus passava direto por uma parada de ônibus, o aluno viu um amigo sentado no banco da parada. Durante todos esses momentos, o ônibus se movia em linha reta pela avenida e com velocidade constante. Como tinha acabado de sair de uma maravilhosa aula de Física, naturalmente o aluno pôs-se a pensar sobre tudo que tinha observado, relacionando com o que tinha aprendido em suas aulas.

Considerando a situação descrita acima, julgue os itens:

23. () Todos os passageiros estavam em movimento com relação à parada de ônibus, mas não com relação ao motorista.
24. () A parada de ônibus estava em repouso com relação a qualquer referencial.
25. () Enquanto o aluno fazia suas observações, o ônibus percorria distâncias iguais em intervalos de tempos iguais.
26. () A velocidade do ônibus com relação ao aluno é igual à velocidade do ônibus com relação a seu amigo na parada de ônibus.

Um trem viaja com velocidade constante e igual a 20 m/s ao longo de uma ferrovia. Quando o trem atinge a posição 200 m da rodovia, um de seus passageiros ativa o cronômetro e começa a marcar o tempo de viagem.



Sobre essa situação, julgue os itens a seguir:

27. () O movimento do trem é progressivo e uniforme.
28. () O movimento do trem pode ser representado corretamente pela função horária $S = 200 - 10 t$.
29. () No instante $t = 35$ s, o trem estará passando pela posição $S = 900$ m.
30. () O trem passará pela posição $S = 600$ m no instante $t = 25$ s.

31. Durante uma viagem, um automóvel passa pelo km 200 de uma rodovia às 15 h da tarde. Às 18 h, ele passa pela placa que indica o km 410 da mesma rodovia. A velocidade escalar média desse veículo nessa viagem foi de:

- a) () 90 km/h
- b) () 80 km/h
- c) () 70 km/h
- d) () 60 km/h

32. Dois trens A e B movem-se em sentidos contrários em uma mesma ferrovia, de acordo com as seguintes funções horárias, onde se utilizou as unidades do SI:

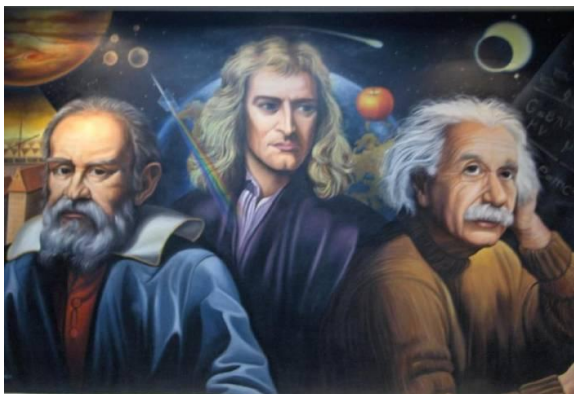
$$S_A = 300 + 20 t$$

$$S_B = 1000 - 15 t$$

Sendo assim, assinale a alternativa que indica em que instante os dois trens vão se encontrar:

- a) () $t = 15$ s
- b) () $t = 30$ s
- c) () $t = 45$ s
- d) () $t = 50$ s

A figura a seguir representa três cientistas que fizeram importantes contribuições para a Mecânica – o estudo do movimento dos corpos. São eles, da esquerda para a direita, Galileu Gailei (1564-1642), Isaac Newton (1642-1727) e Albert Eintein (1879-1955)



Além das contribuições desses cientistas, também discutiremos em nossas aulas sobre as idéias do filósofo grego Aristóteles (384 – 322 a.C.). Sobre a evolução dos conceitos da Mecânica, promovida por esses quatro pensadores, julgue os itens a seguir:

33. () A história desses quatro pensadores mostra exatamente como a ciência funciona: somente os grandes gênios contribuem de verdade para a evolução da ciência, fazendo grandes descobertas mesmo sem a ajuda de outros cientistas.

34. () Segundo Aristóteles, o movimento natural é aquele em que um dos elementos da natureza busca o seu lugar natural. Assim, uma pedra cai porque o lugar natural do elemento terra é abaixo do elemento ar.

35. () Por meio da observação e experimentação e buscando expressar as leis da natureza em uma linguagem matemática, Galileu conseguiu demonstrar que muitas idéias de Aristóteles estavam erradas.

36. () Galileu mostrou que corpos mais pesados caem mais rapidamente do que corpos leves, independente da influência do ar.

37. () Isaac Newton foi um grande gênio capaz de descobrir a lei da gravitação universal somente através da observação da queda de uma maçã.

38. () Na passagem da Física Clássica para a Física Moderna, Albert Einstein contribuiu para o surgimento da Mecânica Quântica (que estuda o movimento de corpos muito pequenos, como átomos e moléculas) e também foi o principal desenvolvedor da Teoria da Relatividade.

39. () Segundo a Teoria da Relatividade de Albert Einstein, o tempo é relativo. Assim, ela explica porque 50 minutos de uma aula chata demoram mais do que 50 minutos assistindo um filme interessante e divertido.

40. () A evolução dos conceitos da Mecânica promovida por esses quatro pensadores é um exemplo de como os conhecimentos da Física são construídos coletivamente ao longo da história.

APÊNDICE E - PROVA DO 2º BIMESTRE

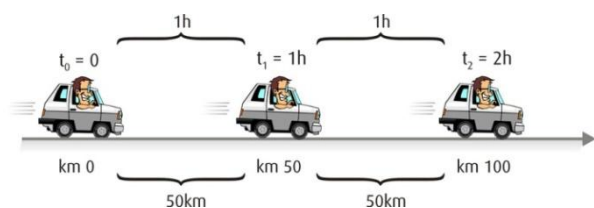


Figura 1

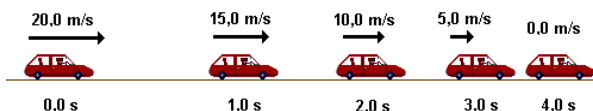


Figura 2

Observe os movimentos representados nas figuras acima e julgue os itens a seguir:

12. () A figura 1 representa um movimento uniformemente variado, pois o móvel percorre espaços iguais em tempos iguais.
13. () A velocidade escalar do veículo na figura 1 é constante e igual a 50 km/h.
14. () Na figura 2, entre os instantes $t = 0,0$ s e $t = 3,0$ s, o módulo da velocidade escalar média do veículo é superior a 13,0 m/s.
15. () Na figura 2, a aceleração é constante e possui módulo de 5 m/s^2 .
16. () A figura 2 representa um Movimento Uniformemente Variado.

(Unirio - adaptada)



Caçador nato, o guepardo é uma espécie de mamífero que reforça a tese de que os animais predadores estão entre os bichos mais velozes da natureza. Afinal, a velocidade é essencial para os que caçam outras espécies em busca de alimentação. O guepardo é capaz de, saindo do repouso e correndo em linha reta, chegar à velocidade de 72km/h em apenas 2,0 segundos.

6. Na situação descrita no texto, o módulo da aceleração média do guepardo, em m/s^2 , é de:

- a. () 10 m/s^2
 b. () 15 m/s^2
 c. () 18 m/s^2
 d. () 36 m/s^2
 e. () 50 m/s^2

A partir de 1905 a Teoria da Relatividade implementou uma série de inovações em relação à Mecânica Clássica, decorrente das idéias de Isaac Newton. Muitas dessas inovações apresentam aspectos que diferem da nossa experiência cotidiana e, talvez por isso, estejam cada vez mais presentes em produções literárias e em filmes de cinema, especialmente no gênero ficção científica. Considere que um roteirista deseja elaborar um filme onde, num futuro distante, um personagem A viaja da Terra até um planeta desconhecido e distante em uma nave espacial com velocidade extremamente alta, consideravelmente próxima à velocidade da luz. Outro personagem B permanece na Terra e comunica-se com A através de sinais de rádio trocados entre a base na Terra e a espaçonave.



Terra



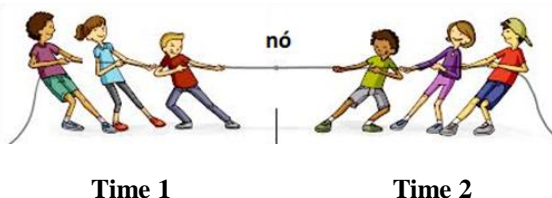
A

Planeta
Desconhecido

A respeito das implicações da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade para o roteiro desse filme, julgue os itens a seguir:

7. () De acordo com a Mecânica Clássica, o tempo é absoluto, isto é, passa igualmente para o personagem A e para o personagem B.
8. () Segundo a Teoria da Relatividade, o tempo passa de maneira diferente para os dois personagens, devido ao movimento em alta velocidade.
9. () De acordo com a Teoria da Relatividade, a viagem entre os dois planetas vai demorar mais para o personagem A do que para o personagem B.
10. () Mesmo que a Terra esteja em repouso com relação ao planeta desconhecido, se a gravidade na superfície do planeta desconhecido for consideravelmente maior do que a gravidade na superfície da Terra, então o tempo medido pelo personagem A após aterrissar no planeta desconhecido passará diferente do tempo medido pelo personagem B na superfície da Terra.
11. () Segundo a Teoria da Relatividade, durante a viagem em alta velocidade do foguete, os dois personagens vão discordar a respeito da distância entre os dois planetas, devido ao fenômeno conhecido como contração do espaço.

O “Cabo de Guerra” é uma brincadeira popular onde dois times em lados opostos de uma corda devem tentar puxá-la para seu lado. Em geral, um nó no meio da corda é utilizado para avaliar qual time está “ganhando” a competição.



Considere que na disputa de cabo de guerra ilustrada acima, os três membros do **time 1** exercem forças horizontais e para a esquerda sobre a corda, com intensidades de 220 N, 315 N e 400 N, enquanto os três membros do **time 2** exercem forças também horizontais, mas para a direita, com intensidades de 110 N, 250 N e 350 N. A corda é extremamente leve e resistente.

12. () Todos os participantes da disputa exercem forças de mesma direção.
13. () A força resultante exercida pelos três integrantes do time 1 sobre a corda possui 935 N de intensidade e seu sentido é para a esquerda.
14. () A intensidade da força resultante sobre a corda será de 1645 N.
15. () Para equilibrar a disputa, de maneira que o nó permanecesse em repouso, poderia ser adicionada uma pessoa ao time 2 que exercesse uma força de intensidade igual a 225 N.
16. () Se em algum momento da disputa a força resultante sobre a corda for nula, então o nó pode estar em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.
17. () A aceleração do nó aponta na mesma direção e sentido da força resultante que atua sobre ele.
18. () Se a mão de um participante puxa a corda com uma força de 100 N, então a corda exerce uma força de 100 N de mesma direção e sentido oposto sobre a mão do participante.

Galileu, Descartes e a Elaboração da Lei da Inércia

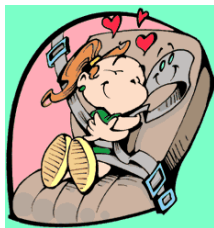
A formação da idéia de inércia exigiu uma completa reformulação do pensamento humano, com o abandono da visão de mundo de Aristóteles (384 – 322 a.C.). Essa trajetória, lenta e gradual, contou com a contribuição de diversos pensadores, sendo Galileu Galilei (1564-1642 d.C.) um dos mais marcantes. Ele estabeleceu de forma clara a idéia da persistência do movimento. Porém sua argumentação se baseou na tendência dos corpos de, em razão da gravidade, se aproximarem do centro da Terra, de maneira que ele acaba concluindo que o movimento cuja velocidade é inercialmente constante seria o movimento circular. Galileu não deu o último passo de abstração, formulando a questão: como se moveriam os corpos na ausência de gravidade? A resposta a essa pergunta veio somente por meio da visão de Universo completamente geometrizado e mecanizado de Descartes, na forma de um dos princípios fundamentais de sua Física: o corpo persiste indefinidamente em seu movimento retilíneo, a menos que outros corpos o retirem do estado em que se encontra.

(baseado em artigo de PORTO, da RBEF, v.31, n.4, 2009)

A respeito do texto e da Lei da Inércia por ele discutida, julgue os itens:

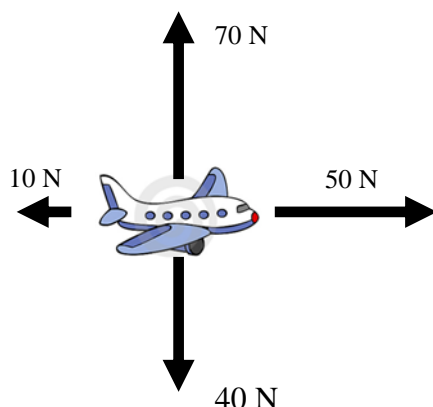
19. () Segundo Aristóteles, os corpos tendem naturalmente a se mover em movimento retilíneo uniforme, independente da ação de forças.
20. () A conclusão de Galileu a respeito dos movimentos com velocidade inercialmente constante, sublinhada no texto, está de acordo com a visão de Isaac Newton, uma vez que todo corpo em movimento tende a permanecer em movimento.
21. () Infere-se do texto que a Lei da Inércia, conhecida como 1ª Lei de Newton, foi uma das principais contribuições da genialidade de Isaac Newton para a Física, já que ele não contou com a contribuição de outros pensadores para formular essa lei.

22. O cinto de segurança é um dispositivo de uso obrigatório para motoristas e passageiros de carros. Numa colisão frontal entre dois veículos, um passageiro que esteja utilizando o cinto de segurança terá mais chances de sobreviver porque:



- a. () A força que o passageiro faz sobre o cinto é maior do que a força que o cinto faz sobre o passageiro.
- b. () A inércia do passageiro será maior quando ele estiver preso ao cinto.
- c. () O cinto exercerá uma força sobre o corpo do passageiro contrária ao seu movimento.
- d. () O cinto tende a manter o corpo do passageiro em movimento retilíneo e uniforme.

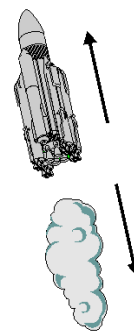
Ao decolar, um aviãozinho de brinquedo de massa igual a 4 kg está sujeito a ação das quatro forças indicadas abaixo.



23. Determine o módulo, direção e sentido da força resultante sobre o aviãozinho. Para encontrar o **módulo**, **efetue os cálculos no espaço apropriado da folha de respostas**. Indique **a direção** e o **sentido** por meio de um **desenho** ou **por escrito**, no **espaço apropriado da folha de respostas**.

24. Calcule o módulo da aceleração do aviãozinho, em m/s^2 . Para marcação da resposta, **multiplique o resultado encontrado por 10** e despreze, caso exista, a parte fracionária do resultado obtido após efetuar todos os cálculos necessários.

O termo foguete aplica-se a um motor que impulsiona um veículo expelindo gases de combustão por queimadores situados em sua parte traseira. Os motores de foguetes vêm sendo utilizados amplamente em vôos espaciais, nos quais sua grande potência e capacidade de operar no vácuo são essenciais, mas também podem ser empregados para movimentar mísseis, aeroplanos e automóveis.



(Adaptado de: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/>, acesso em 27/09/2010)

A respeito do texto acima e sobre os princípios físicos que explicam o funcionamento dos foguetes, julgue os itens a seguir:

25. () O princípio de funcionamento do foguete é a 3ª Lei de Newton, a Lei da Ação e Reação.

26. () Na figura acima, a seta superior pode representar corretamente a força que os gases fazem sobre o foguete, enquanto a seta inferior pode representar corretamente a força que o foguete faz sobre os gases.

27. () Como os gases são expelidos em alta velocidade pela parte traseira do foguete, é correto afirmar que a força que os impulsiona para baixo é mais intensa do que a força que impulsiona o foguete para cima.

Considere que, num futuro distante, um astronauta de 75 Kg saia com sua nave espacial da superfície da Terra, pouse sobre a superfície da Lua para um reabastecimento e então siga rumo à exploração de um planeta desconhecido. Sabe-se que a aceleração gravitacional é $g = 9,8 m/s^2$ na superfície da Terra e $g = 1,6 m/s^2$ na superfície da Lua.

Sobre essa situação, julgue os itens a seguir e assinale a alternativa correta no item **C-3**.

28. () É fisicamente correto afirmar que o peso do astronauta é de 75 kg.

29. () É fisicamente correto afirmar que a medida da inércia do corpo do astronauta é de 75 kg, esteja ele na Terra ou na Lua.

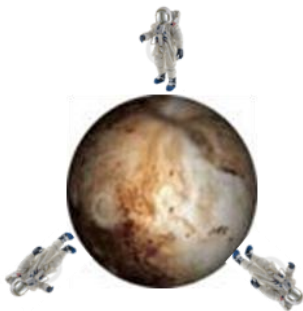
30. () Enquanto reabastece sua espaçonave, se o astronauta deixar sua carteira cair do bolso de seu traje espacial até atingir o solo lunar, então ela cairá com aceleração de $1,6 m/s^2$, esteja ela cheia de moedas ou completamente vazia.

31. Calcule a intensidade da força peso do astronauta na superfície da Terra, em N. **Para fins de marcação na folha de respostas, despreze, caso exista, a parte fracionária do resultado encontrado após efetuar todos os cálculos necessários.**

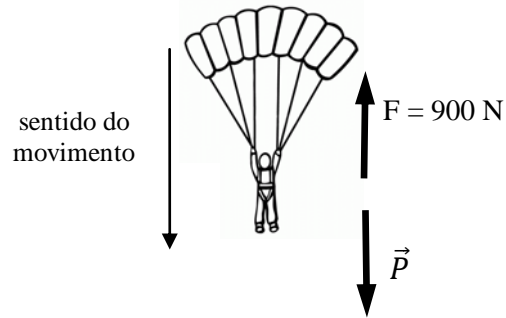
32. A força peso do astronauta na superfície da Terra é _____ peso dele na superfície da Lua. A expressão que completa corretamente a lacuna na afirmação acima é:

- a. () Igual ao
- b. () cerca de seis vezes superior do que o
- c. () cerca de seis vezes inferior do que o
- d. () cerca de dez vezes superior do que o

33. O desenho abaixo representa o astronauta em três posições diferentes sobre o solo do planeta desconhecido. Complete o desenho com setas indicando a direção e o sentido da força peso do astronauta. **Não se esqueça de reproduzir o seu desenho no espaço apropriado da folha de resposta!**



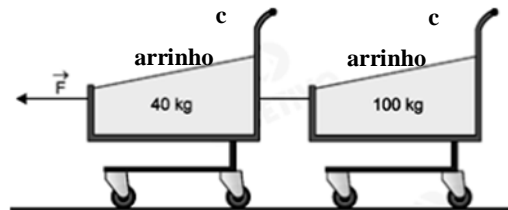
34. Um paraquedista está caindo em alta velocidade quando aciona o mecanismo para abrir seu paraquedas. Nesse momento, seu corpo de 60 kg passa a desenvolver um movimento retardado, sujeito somente à ação de duas forças: a força peso \vec{P} e uma força \vec{F} vertical e para cima, exercida pelo paraquedas, de intensidade igual a 900 N.



Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, assinale a alternativa que indica corretamente o módulo, direção e sentido da aceleração do paraquedista:

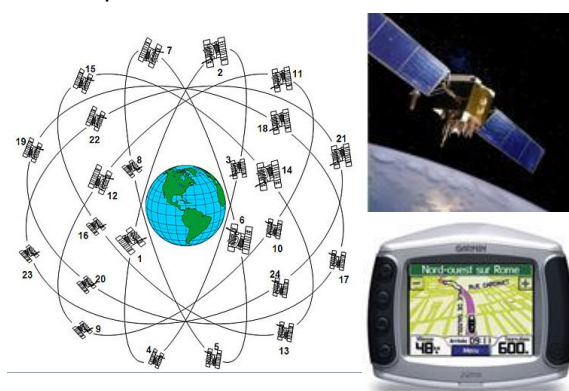
- a. () 5 m/s^2 , vertical, para baixo
- b. () 5 m/s^2 , vertical, para cima
- c. () 10 m/s^2 , vertical, para baixo
- d. () 15 m/s^2 , vertical, para cima

35. Dois carrinhos de supermercado podem ser acoplados um ao outro por meio de um pequeno fio de aço, de modo que uma única pessoa, ao invés de empurrar dois carrinhos separadamente, possa puxar o conjunto. Um cliente aplica uma força horizontal de intensidade $F = 70 \text{ N}$, sobre o carrinho dianteiro, fornecendo ao conjunto uma aceleração para a esquerda. As massas de cada carrinho estão especificadas na figura abaixo.



Considerando o piso plano e horizontal, o fio de aço ideal e as forças de atrito desprezíveis, calcule a intensidade da tração no fio de aço que liga os dois carrinhos, **em Newtons**. (dica: calcule, primeiro, a aceleração do conjunto). **Para fim de marcação na folha de respostas, despreze, caso exista, a parte fracionária do resultado encontrado após efetuar todos os cálculos necessários.**

(UNICAMP-SP-2010 - adaptada) O GPS (*Global Positioning System*) consiste em um conjunto de 24 satélites que orbitam a Terra, cada um deles carregando a bordo um relógio atômico. A Teoria da Relatividade Geral prevê que, por conta da gravidade, os relógios atômicos do GPS adiantam com relação a relógios similares na Terra. Enquanto na superfície da Terra transcorre o tempo de um dia, no satélite o tempo transcorrido é ligeiramente maior que um dia, e a diferença de tempo tem que ser corrigida. Sem essas correções introduzidas pela Teoria da Relatividade na medição do tempo, não seria possível definir com precisão a localização dos aviões, barcos ou automóveis que dispõem de um receptor GPS.



Sobre o texto e as figuras acima, julgue os itens a seguir e assinale a alternativa correta no item 40:

36. () De acordo com a Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, a massa da Terra atrai a massa dos satélites, desviando-os da trajetória retilínea que seria seguida caso não houvesse forças.

37. () De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, a massa da Terra deforma o espaço-tempo em torno dela, de maneira que a trajetória inercial de um satélite em movimento não é retilínea, mas sim curva.

38. () De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, a Terra exerce uma força gravitacional sobre os satélites, impedindo que eles se afastem do planeta.

39. () De acordo com a Mecânica Clássica, um corpo em movimento tende a permanecer em movimento circular e uniforme, sendo este o motivo do movimento dos satélites em torno da Terra.

40. De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, é correto dizer que o tempo medido por um aparelho na superfície da Terra passa de maneira diferente do tempo medido pelo

relógio atômico de um satélite do sistema GPS porque:

a. () A força gravitacional exercida pela Terra sobre cada satélite é nula.

b. () A gravidade gerada pela Terra é maior no satélite do que na superfície do planeta, uma vez que os satélites estão muito distantes da superfície.

c. () Os satélites se movem em torno da Terra com velocidade igual à velocidade da luz, enquanto os aparelhos na superfície da Terra se movem mais lentamente.

d. () As propriedades do espaço e do tempo em torno da Terra foram alteradas devido à presença da massa do planeta, sendo essa deformação do espaço-tempo mais intensa próximo à Terra.

**APÊNDICE F – RELATO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E
ANÁLISES PRELIMINARES**

Nos relatos a seguir optou-se, em geral, por narrar a apresentação e discussão efetuada pelo professor dos temas junto à turma 1, a primeira a apresentar (nos dois primeiros horários do dia). Para a turma 2, em geral, será feita uma discussão comparativa, focada na mudança de postura do professor frente às dificuldades encontradas com a primeira turma (o que pode auxiliar outros professores que queiram fazer a experiência de aplicar esse plano de aulas) e eventuais contribuições importantes trazidas pelas apresentações dos grupos.

1: Tema 1 – Uma breve história da Mecânica: de Aristóteles à Teoria da Relatividade

Durante a aula anterior à apresentação dos cartazes sobre o tema 1, enquanto os alunos terminavam de copiar a matéria do quadro (velocidade média) – uma estratégia para aproveitar melhor o tempo de aula –, o professor tirou o tempo necessário para explicar aos alunos sobre o trabalho que deveriam fazer, valendo 1,0 ponto da nota bimestral. Orientou que os alunos se organizassem em 5 grupos, a critério dos alunos, tomando o devido cuidado para que os grupos tivessem aproximadamente o mesmo número de integrantes (5 a 6 integrantes na turma 1 e 6 a 8 integrantes na turma 2). Elucidou o que era uma apresentação oral e quais características o cartaz deveria ter para ser um bom instrumento de apoio a esta apresentação. Por fim, atribuiu um tema a cada grupo, tomando o cuidado de conferir os textos um pouco mais longos aos grupos maiores. Os alunos tiveram, portanto, um prazo de uma semana para ler o texto recebido, elaborar os cartazes e preparar a apresentação. Ao final dessa explanação, que durou cerca de 10 minutos, todos os alunos já tinham terminado de copiar a matéria do quadro, então o professor pôde seguir com as explicações sobre “velocidade média”.

No início da aula agendada para as apresentações, o professor organizou a turma para as apresentações, exigindo o devido silêncio, respeito e atenção às apresentações dos grupos. Em seguida, convocou o primeiro grupo, responsável pelo **Texto 1 – O movimento dos corpos segundo Aristóteles**. Segue a descrição das apresentações de cada turma:

1.1: Texto 1 – O movimento dos corpos segundo Aristóteles

1.1.1: Apresentação do Grupo I da turma 1 e discussão conduzida pelo professor

A apresentação do primeiro grupo (Grupo I/1) contou com a presença de 4 integrantes. Iniciou-se a apresentação com o 1º INTEGRANTE fazendo uma breve biografia de Aristóteles, quase que com as mesmas palavras do 1º parágrafo do texto. Em seguida, o 2º INTEGRANTE apresenta as três categorias de movimento elencados no texto: perfeitos, violentos ou naturais. O 3º INTEGRANTE começa a explicá-los: “O movimento natural era devido aos elementos. Aí tinha também o movimento forçado, devido a uma força externa.” O professor enfatiza: “Força o quê?”. “Externa!”, reforça o grupo. O 4º INTEGRANTE do grupo complementa: “O movimento perfeito era pelos astros celestes.”

O 1º INTEGRANTE volta a falar, demonstrando maior compreensão e maior capacidade de explanação sobre os movimentos naturais e sobre os 4 elementos:

Complementando sobre o movimento natural, ele [Aristóteles] acreditava que se você jogasse uma pedra para cima, ela ia descer não por causa da gravidade, mas por causa que o ambiente natural dela é aquela parte de baixo, e não em cima. Ele dividia tudo em quatro elementos: fogo, ar, terra e água. A terra, que seria o mais pesado, ficaria assim no centro [gesticulando]. A água, que seria mais leve, ficaria por cima da terra. O ar, um pouco mais leve, ficava por cima dos dois. O fogo, que era o mais leve de todos, ficava na camada atmosférica. (1º INTEGRANTE)

Com isso, em menos de 2 minutos, o Grupo I deu por encerrada a apresentação, sem fazer nenhuma referência aos cartazes. O professor então os interroga: “Mas e os cartazes? Apresenta pra gente o que vocês colocaram nos cartazes.”

O 1º INTEGRANTE se reporta às figuras do segundo cartaz (ANEXO A, Turma 1 - Texto 1, cartaz 2/2): “Aqui é que nem o conceito lá... dos movimentos naturais. Ele tá jogando as coisas pra cima e elas descem pela gravidade, só que ele (Aristóteles) acreditava que era porque o ambiente natural dela era ficar em baixo. Aqui é a mesma coisa (se reportando às demais figuras).” O professor insiste: “Ahn... E o que mais?”

O 4º INTEGRANTE se reporta ao primeiro cartaz (ANEXO A, Turma 1 - Texto 1, cartaz 1/2): “Aqui é... os principais conceitos do movimento. E aqui os quatro tipos de elemento: fogo, ar, água e terra.” O professor insiste um pouco mais: “Ahn muito bom. Mais alguma coisa aí nos cartazes, que o grupo queira mostrar? Não? Bom, então o grupo está de parabéns.” A apresentação se encerra, totalizando agora pouco menos de 3 minutos de duração.

De maneira geral, o 1º INTEGRANTE demonstrou uma excelente compreensão do tema. Os outros se limitaram a apresentar o que tinham decorado ou estava escrito nos cartazes. De qualquer modo, percebe-se forte influência do texto entregue na aula anterior na apresentação:

- A pequena biografia no início da apresentação oral era idêntica ao primeiro parágrafo do texto
- A referência aos termos “movimento forçado” e “força externa”, constantes no 5º parágrafo do texto
- A explicação do 1º INTEGRANTE, seguindo exatamente a mesma linha sugerida nos 3º e 4º parágrafos do texto.
- O texto contido no 2º cartaz é praticamente uma soma de recortes do texto base fornecido aos alunos

Esses são indícios de que o texto foi a principal fonte de consulta para a preparação da apresentação e de que foi acessível ao entendimento deles (ou, pelo menos, do 1º INTEGRANTE). Já as figuras contidas nos cartazes certamente foram retiradas de outra fonte de pesquisa.

Convém reforçar a importância da intervenção do professor. Não fosse por ela, os cartazes sequer teriam sido mencionados na apresentação. A habilidade de fazer uma apresentação oral é aprendida e o professor deve sempre estimular essa habilidade. Além disso, notou-se que os alunos ficaram meio perdidos em alguns momentos, sem saber se seguravam o cartaz com as próprias mãos ou se falavam. Assim, é importante sugerir que coletem os cartazes no quadro antes de iniciar as apresentações.

Finalizada a 1ª apresentação, o professor se dirige ao quadro e começa a traçar a linha do tempo com a história da Mecânica. Ao colocar o nome e data de nascimento e morte de Aristóteles, reforça: “A Mecânica é o estudo do movimento dos corpos. Então a história do estudo do movimento dos corpos, a gente tá começando com Aristóteles. Mas ela começou antes! Tem outras pessoas que já pensaram sobre o movimento dos corpos antes de Aristóteles, tá? Mas a gente selecionou só os quatro principais.” Nota-se, aqui, a preocupação em enfatizar o caráter coletivo da construção da ciência, tentando deixar claro que não foram

só cinco grandes cientistas que construíram a Mecânica. Essa preocupação estará presente em outros momentos da aplicação dos planos de aulas.

À medida que vai traçando as informações sobre as contribuições de Aristóteles, o professor busca sempre se reportar ao que o grupo falou durante a apresentação, muitas vezes pedindo para os próprios integrantes repetirem a fala ou mostrarem nos cartazes. Destaca alguns pontos que não ficaram muito claros na apresentação e aproveita para fazer alguns aprofundamentos:

- Certifica-se de que toda a turma tenha compreendido quais são os quatro elementos que constituem o mundo sublunar e cita exemplos de como essa concepção ainda permeia a nossa cultura, até hoje
- Chama a atenção para o 5º elemento, o éter, que sequer foi citado na apresentação dos alunos
- Comenta a figura da “flecha lançada por um arco”, presente no texto, para reforçar o pensamento aristotélico sobre o movimento violento (circulação do ar devido ao vácuo criado com o movimento), onde uma força externa continua agindo sobre a flecha para ela continuar em movimento
- Destaca o tratamento diferenciado dado pela mecânica de Aristóteles aos mundos sublunar e supralunar (sem mencionar esses termos). No primeiro caso, há os quatro elementos e os movimentos naturais e violentos. No segundo caso, há o éter e o movimento perfeito (movimento circular uniforme)

Durante a fala do professor a turma permanece em silêncio e atenta, parece interessada. Após o comentário do professor sobre o terceiro ponto acima, um aluno faz uma colocação onde demonstra confundir o mecanismo do movimento violento com a ideia de resistência do ar. O professor esclarece que a fala do aluno está correta hoje, mas que não se trata da ideia de movimento violento proposto por Aristóteles. No caso citado pelo aluno, o ar atrapalha o movimento da flecha, enquanto no movimento violento, dando a volta na flecha, o ar a empurra continuamente. O professor reforça, então, que essa ideia de Aristóteles está, hoje, superada por modelos mais precisos, mas que é importante compreender como se pensava naquela época, até porque é o pensamento intuitivo de muitos alunos quando veem a matéria pela primeira vez. Encerra-se, assim, a discussão promovida pelo professor, totalizando mais 10 minutos de duração.

1.1.2: Apresentação do Grupo I da turma 2 e discussão conduzida pelo professor

Antes de iniciar as apresentações do Grupo I/2, um aluno já perguntou ao professor: “vai poder olhar o papelzinho?” Diante da pergunta e das ocorrências de dificuldades para apresentação oral manifestadas na outra turma (como o leitor verificará na descrição das apresentações referentes aos próximos textos), o professor tomou o cuidado de fazer um discurso mais apurado para tentar tranquilizar aqueles que iriam apresentar (boa parte desse discurso já tinha sido feito na aula anterior à apresentação, quando houve a divisão de temas e orientações gerais):

Pode... Pode... se tiver ali, apertado pra lembrar de alguma coisa, de algum nome, pode dar uma olhadinha sim. Olhadinha! Porque a ideia é você falar, né? É uma apresentação oral. Não é uma apresentação lida. Mas calma, gente, tá? Escuta! (a turma, que estava meio agitada, faz mais silêncio e presta mais atenção) Lembrando a vocês que eu sei que tem elementos do texto que talvez você tenha tido dificuldade para entender. Eu sei que tem gente que morre de vergonha de apresentar na frente de todo mundo, né? Então, só recordando, eu vou levar tudo

isso em conta na avaliação da apresentação, tá? Fiquem tranquilos. O que a gente quer com esse trabalho é ver o que vocês entenderam com esse texto, apresentando ele para seus colegas. E eu vou complementar as discussões de todos os grupos. A gente vai lá no quadro fazer um linha do tempo com vocês... Então fiquem tranquilos! Agora, quero ver o que vocês leram e entenderam dos textos que tiveram que ler. (PROFESSOR)

A turma se mostrou mais preparada para esse tipo de apresentação. O Grupo I/2 já foi logo colando os dois cartazes elaborados no quadro com uma fita crepe que eles mesmos trouxeram. Durante a apresentação ficou clara uma divisão de tarefas: cada um dos sete integrantes do grupo ficou responsável por um dos sete parágrafos do texto 1. Assim, houve essencialmente uma reprodução direta do texto, palavra por palavra, seja de memória (a maioria decorou o seu parágrafo), seja lendo o próprio parágrafo, quando a memória falhava (apenas dois recorreram a leitura). Não houve nenhuma referência aos dois cartazes colados no quadro.

Terminada a apresentação, o professor exigiu que o grupo comentasse sobre os cartazes. O 1º INTEGRANTE tomou a frente e, aparentemente lendo-o pela primeira vez, limitou-se a falar: “Não, aqui a gente tipo meio que contou a história de Aristóteles, onde ele nasceu... Quando ele se mudou...” Em seguida o 2º INTEGRANTE comentou: “Eu já falei isso...” E o 1º INTEGRANTE completou: “Foi tutor de Alexandre...”

O PROFESSOR fez uma intervenção: “Tem uma figura ali também. Que que é essa figura?” E em resposta o 1º INTEGRANTE: “Uma corrente...” Para finalizar o PROFESSOR arguiu: “Ah tá... mais alguma coisa aí? Não? Então tá bom...”

Apesar da maior desenvoltura para apresentações, no sentido de maior organização e divisão de tarefas, o grupo não demonstrou domínio do conteúdo, limitando-se essencialmente a decorar e reproduzir o texto oralmente. A figura do cartaz (Anexo A - Turma 2 – Texto 1 – cartaz 1/2) mostrava um corpo sujeito a uma Força em três momentos. 1) Para $F = 0$, o corpo estava em repouso; 2) Para $F \neq 0$, o corpo estava em movimento; e 3) novamente, para $F = 0$, o corpo estava em repouso. Entretanto, ninguém do Grupo I/2 soube explicar o significado da figura.

Finalizada a apresentação, que durou aproximadamente 4 minutos, o professor efetuou essencialmente a mesma discussão relatada anteriormente. A turma é composta por um número maior de alunos, sendo mais agitada e dificultando um pouco mais a condução, embora possuísse mais lideranças positivas. Apesar disso, se mostrou muito mais participativa. Destacamos alguns recortes que mostram a participação ativa da turma:

PROFESSOR: “Nosso tema da aula de hoje é a História da Mecânica. O que que é a Mecânica mesmo, gente?”

ALUNA 1: “É o estudo do movimento!” (respondeu prontamente!)

ALUNA 2: “Criada pelo Isaac Newton, né?”

ALUNA 3: “Não só o Isaac Newton...”

(o professor silencia diante das conversas paralelas sobre outros assuntos)

ALUNA 4: “Gente, o professor quer falar!”

[...]

PROFESSOR: “Quais são os principais pontos que o pessoal do grupo aí abordou sobre as contribuições de Aristóteles?”

ALUNA 2: “Os quatro elementos!”

PROFESSOR: “Isso, segundo Aristóteles, o mundo é constituído de quantos elementos?”

ALUNO 1: “Três!”

VÁRIOS ALUNOS: “Quatro!”

PROFESSOR: “Quatro mas depois vem um quinto elemento que eles falaram lá no final. Calma que eu vou falar dele depois. Quais são os quatro elementos?”

Vários alunos foram citando os elementos. Muitos se referiram ao “ar” como “vento”. O professor faz a devida diferenciação: “Vento é o ar em movimento!”

Quando questionados se já haviam ouvido falar dos quatro elementos anteriormente, a imensa maioria da turma responde em coro: “Já!!!” Antes mesmo que o professor pergunte “aonde?”, já saem citando vários exemplos, como: Avatar (desenho animado onde os personagens possuem poderes mágicos relacionados aos quatro elementos), Turma da Mônica (provavelmente alguma história em quadrinhos específica), jogos de tabuleiro e de computador, etc. Ao arguir de onde é que veio esses quatro elementos, a turma, em conjunto, responde “De Aristóteles!” – apontando para o nome dele na linha do tempo que vinha sendo traçada no quadro.

O pequeno trecho inicial da discussão, relatado acima, mostra que o professor organizou sua explanação de maneira a fazer mais perguntas para os alunos, estimulando mais a participação deles e, assim, verificando melhor o entendimento que tiveram do apresentado no texto 1. É verdade que foi mais fácil adotar esta postura na turma 2, pois ela é mais ativa e participativa.

Vale lembrar que nenhum dos alunos citados no trecho relatado acima eram integrantes do grupo que apresentou sobre o tema. De fato, ao longo da aula, há elementos que permitem inferir que alguns alunos, que não apresentaram o tema, o compreenderam melhor do que os que o apresentaram.

Após retomar com a turma os três tipos de movimento, segundo Aristóteles, o PROFESSOR pergunta: “Quem consegue me dizer – sem ser do grupo (que apresentou o texto 1), de preferência – o que que é o movimento natural?” Em resposta a ALUNA 2 aponta: “Acho que é o movimento das folhas com o vento, assim... (gesticulando com a mão, fazendo uma diagonal e tremulando, como uma folha caindo sob ação do vento). Para confirmar, o PROFESSOR questiona: “É isso, grupo?”. O ALUNO 1 expõe: “É... quase...”

Como a turma não complementou, o professor retomou a explicação da ideia de lugar natural. Pelo visto, com a apresentação (ou leitura) do texto, a turma não associou os quatro elementos à essa ideia e à concepção de movimento natural. A partir deste momento, a condução da discussão foi essencialmente a mesma efetuada na turma 1, exceto pela maior participação da turma, em parte estimulada pelo maior número de perguntas efetuadas pelo professor. O professor manteve a característica de, sempre que possível, se reportar ao que foi falado pelo Grupo I/2. A discussão após a apresentação do grupo durou, também, cerca de 10 minutos.

1.2: Texto 2 – Galileu e a queda dos corpos

1.2.1: Apresentação do Grupo II da turma 1 e discussão conduzida pelo professor

Em primeiro lugar, é preciso observar que, ao ser convocado, o Grupo II/1 mostrou-se resistente a dirigir-se para a apresentação. O professor insistia e motivava-os a apresentar, até descobrir que um integrante do grupo havia faltado e outra não quis apresentar de modo algum. Aparentemente isto tinha quebrado a autoestima das duas integrantes remanescentes,

que portavam apenas um cartaz. Então o professor as motivou mais uma vez, reforçando à turma que, infelizmente, o trabalho estaria incompleto, mas que as duas teriam a coragem de apresentar sozinhas a parte delas. A estratégia funcionou, a apresentação teve início, mas ainda com muito nervosismo e insegurança por parte das duas integrantes:

Então a 1ª INTEGRANTE iniciou: “Galileu tava enfrentando várias dificuldades nos seus trabalhos, então ele começou a estudar a queda dos corpos. E... basicamente... tinha...” Tentando recordar a fala decorada, a aluna para, tenta ler o cartaz, mas as letras estão muito pequenas, então olha para os lados. O PROFESSOR intervém: “Tá nervosa? Faz parte...” E a 1ª INTEGRANTE continua: “Tô! Enfim... Ele vinha estudando depois de [incompreensível] a queda dos corpos, que mantinha a velocidade. Ele estudou sobre a esfera e o bronze, em uma rampa inclinada, que era mais fácil que uma rampa vertical. E... basicamente... depois ele desistiu... e os seus trabalhos... que foi sobre...” A integrante pára e lê por uns instantes o texto base que está sobre a mesa. O PROFESSOR completa: “Galileu estudou a queda de uma esfera de bronze...”

Então a 1ª INTEGRANTE desabafa: “E... eu não sei o resto, que o resto era a fala dela...”, apontando para a colega que segurava o cartaz o tempo todo mas não falou nada. E continua “Só isso mesmo... e o resto já era...”, com tom de desapontamento. O PROFESSOR incentiva a fala: “E o cartaz aí, cheio de texto, que vocês nem falaram... Mostra aí pra gente, lê o cartaz...”. E a 1ª INTEGRANTE finaliza: “É o que eu já falei... que Galileu enfrentava muitas dificuldades...”

A segunda integrante vira o cartaz para si para começar a ler o texto. Neste momento o PROFESSOR orienta: “Não! Uma segura o cartaz e mostra pra gente, e a outra lê, né? Senão a gente não vai conseguir acompanhar a leitura... Isso!” – sempre com voz calma, tentando transmitir tranquilidade. E a 1ª INTEGRANTE pergunta: “Pode ler do começo?”. O professor manifesta positivamente.

Então ela lê o texto contido no cartaz, que é essencialmente um conjunto de recortes do texto 2. A leitura se dá com um pouco de dificuldade, pois as letras estavam pequenas. Ela tropeça na leitura dos termos “pensamento aristotélico”, “teorias aristotélicas”, e “Aristóteles”. Feita a leitura do cartaz, encerra-se a apresentação e o professor pede aplausos para o esforço da dupla, no que é prontamente atendido pela turma. A apresentação durou cerca de 3 minutos, incluindo o tempo de leitura do cartaz.

Nota-se uma forte baixa autoestima nessa apresentação. A 2ª INTEGRANTE não falou em nenhum momento, o que impossibilitou fazer análises sobre sua desenvoltura. Mas a 1ª INTEGRANTE do grupo, apesar de tanta resistência, receio e insegurança, apresentou elementos que permitem inferir com segurança que ela estudou o texto, na pior das hipóteses para tentar decorá-lo. De improviso ainda conseguiu lembrar alguns aspectos, mesmo demonstrando pouca compreensão do que tinha lido. É possível que essa dificuldade na leitura e interpretação seja um dos fatores causadores da baixa autoestima e insegurança demonstrada.

O professor dirige-se ao quadro novamente para complementar a linha do tempo com as informações sobre as contribuições de Galileu. Tenta valorizar o pouco que a dupla conseguiu apresentar:

PROFESSOR: “A colega destacou muito bem uma coisa, né? Galileu acreditava que, à medida que os corpos caem, eles caem cada vez mais rápido! Ele avaliou isso usando uma rampa, não

é?” – começa a desenhar no quadro a rampa e uma esfera no topo – “Usando uma rampa inclinada e analisando o movimento de queda de pequenas esferas. Por que ele usou essa rampa, gente? Por que ele não deixou a esfera cair assim – gesticulando um movimento vertical – simplesmente?”

ALUNO 1: “Por que senão quebrava.”

PROFESSOR: “Quebrava a esfera? Ele usou uma esfera de chumbo né.”

ALUNO 2: “Porque ela vai cair direto!”

PROFESSOR: “Isso! Assim – apontando para a rampa desenhada – ela cai mais devagar! Não é verdade? Dá pra ele analisar melhor o tempo que demora pra esfera sair lá de cima e chegar lá em baixo – gesticulando ao longo da rampa –, entende? De comparar com o movimento de outras esferas. Então esse – apontando para a rampa – é um artifício inteligentíssimo, simples, mas inteligente.” – interrompido

ALUNO 3: “Galileu era... ele era italiano, né? Ele pegou a bola, subiu na Torre de Pisa e jogou lá de cima.”

A participação, mesmo com colocações erradas (ALUNO 1), demonstram envolvimento da turma. O professor aproveita o comentário do aluno e desenvolve o assunto, que nem estava previsto no plano dessa aula – seria discutido dentro do assunto movimento uniformemente variado:

PROFESSOR: “Isso! A gente acabou que não comentou sobre isso no texto. A Torre de Pisa é uma torre que hoje é inclinadinha assim (desenhando no quadro) e **conta-se** que Galileu teria subido lá e deixado as esferas de pesos diferentes caírem. E pra quê que ele fez isso? Justamente pra questionar aquela ideia de Aristóteles (aponta para as informações na linha do tempo), do movimento natural na queda de uma pedra, por exemplo. Lembra que eu comentei com vocês agora a pouco, que se a pedra fosse mais pesada, para Aristóteles ela cairia mais rápido? Galileu tava questionando isso! Será que cai mais rápido mesmo? Então ele pegou esferas de pesos diferentes – uma é mais pesada, outra é mais leve – soltou e avaliou quanto tempo demorava pra elas caírem até o chão. Quem vocês acham que cairia mais rápido? Uma pedra mais pesada ou uma pedra mais leve?”

Imediatamente O ALUNO 4 responde: “A pesada!”. E o PROFESSOR complementa: “Pois é... acontece que não foi isso que Galileu observou... A gente, no nosso dia-a-dia né, tem uma visão mais ou menos aristotélica, de que uma pedra mais pesada vai cair mais rápido. Vejam que as ideias de Aristóteles tinham toda uma lógica, um sentido, que a gente acredita até hoje. Só que o que se observa na natureza é que um corpo pesado cai tão rapidamente quanto um mais leve. Vocês acreditam nisso?”

O ALUNO 4 outra vez participa: “Não!” E o PROFESSOR propõe experimentação: “Não! Vamos fazer o experimento então...” Motivado o ALUNO 5 exclama com o tom de voz não denotava gozação, mas sim envolvimento): “Eba!” Ao realizar o experimento, o PROFESSOR interroga: “Quem é mais pesado, este pincel ou este pedaço de papel?” ao que os alunos acreditam ser o pincel!. Para certificar-se da resposta o PROFESSOR argui: “Alguém tem dúvida disso? Claro que não. Vou soltar os dois, vamos ver quem cai mais rápido?”

Segurando o pincel e a folha plana na horizontal e os abandona, partindo do repouso e da mesma altura com relação à mesa do professor. O pincel cai direto enquanto a folha cai lentamente, “flutuando” pelo ar. O PROFESSOR continua: “Ih professor, o pincel, que é mais pesado, caiu mais rápido que o papel. Então Aristóteles é que está certo! Galileu está errado! – simulando a fala de um aluno. E completa: “Não, não é bem assim não.” – voltando a falar como professor.

A turma permanecia totalmente focada e atenta na discussão. Diante do interesse demonstrado, o professor, que já tinha fugido um pouco do plano original (traçar linha do tempo), resolve antecipar a discussão sobre a resistência do ar (que seria no contexto do ensino da “força peso”). Por meio de experimentos comparando a queda de folhas lisas, folhas amassadas em formato de bola e de um pincel de quadro branco, vai construindo os conceitos de “queda livre” e de “resistência do ar”. Finalmente, retorna para a discussão do experimento com o plano inclinado: “E Galileu fez medidas mais precisas a esse respeito (comparação da queda dos corpos) usando o plano inclinado, porque aí a queda é mais lenta, demora mais pras esferas caírem.”

Finalmente passa para a discussão do restante do texto, que não foi sequer mencionado pelo grupo, sobre a medida do tempo com a clepsidra, sobre a lei matemática obtida e sobre a descrição matemática dos fenômenos como importante característica da Física até os dias de hoje. A discussão sobre o tema se encerra, com aproximadamente 15 minutos de duração. Entretanto, antes de finalizar a discussão, o professor é surpreendido pelo seguinte diálogo:

PROFESSOR: “E aí estou colocando essa última linha aqui (nas informações da linha do tempo sobre as contribuições de Galileu), sobre essa última discussão que a gente fez né, que Galileu começou a fazer experimentos, usar um método pra descobrir as coisas, chegar a leis matemáticas.... Então, isso foi muito importante para constituir a ciência do jeito que a gente conhece hoje.”

ALUNO 5: “Eu posso ser um cientista que nem eles? (Referindo-se a Galileu e Aristóteles)

PROFESSOR: “Claro que pode! Claro!”

ALUNO 6: “Poder ser um físico...”

PROFESSOR: “Qualquer um de vocês pode ser um Aristóteles, um Galileu, um Newton, um Einstein...”

ALUNO 7: “Ou não...”

ALUNO 8: “Eu não!”

PROFESSOR: “Esses caras todos eram pessoas normais, como a gente, tá? Só que eles estudaram bastante... eles estudaram bastante!”

1.2.2: Apresentação do Grupo II da turma 2 e discussão conduzida pelo professor

O Grupo II/2 também revela uma apresentação muito mais estruturada. Dos seis integrantes, dois se dedicam a fazer uma introdução ao tema, sem leituras, revisando as concepções de Aristóteles sobre os quatro elementos e o movimento natural, tentando enfatizar que, para eles, corpos mais pesados cairiam mais rápido:

Por exemplo: a terra (o elemento) quando se encontra em outra posição (fora do lugar natural), ela tende a cair. Então, na teoria de Aristóteles, quando o corpo tiver mais massa, ele... ele tem mais gravidade e... com mais gravidade, ele chega ao chão mais rápido. (2º INTEGRANTE)

A fala do 3º INTEGRANTE, preparada – provavelmente por outro integrante – num papelzinho deixa claro que o texto não foi a única fonte de consulta:

Um dos principais exemplos dele foi... ele explicando quando... os corpos, um caem mais rápido e o outro mais devagar. Um exemplo é a folha e a maçã, né... que a maçã cai mais rápido do que a folha. E... no século XIII... Deixa eu ler aqui que eu esqueci... (risos da turma) Graças a um padre dominicano que foi chamado de... Tomás Aquino (consultando o papel), e as concepções aristotélicas acabaram sendo absorvidas pela Igreja Católica, por estarem muito de acordo com as escrituras sagradas. E a partir daquele momento, desmentir Aristóteles seria ir contra a Bíblia. (3º INTEGRANTE)

O 4º INTEGRANTE se remete aos experimentos físicos e mentais que Galileu teria feito para derrubar essa concepção aristotélica. Comenta sobre o plano inclinado e a clepsidra. A 5ª INTEGRANTE apresenta a conclusão que corpos de massas diferentes caem com o mesmo tempo: “Então, por exemplo... o exemplo que ele falou, né: Se eu pegar a folha e uma maçã, as duas vão levar exatamente o mesmo tempo para cair, elas chegam praticamente juntas.”

Por fim, a 6ª e última integrante comenta que o experimento foi realizado por um astronauta na Lua com uma pena e um martelo. E complementa:

Aqui na Terra isso não acontece, porque aqui tem o ar. Por exemplo, se a gente soltasse uma pena e um martelo aqui, o martelo ia chegar primeiro, porque o ar ia atrapalhar o movimento da pena. E os corpos caem (trecho incompreensível, pois a aluna fala muito rápido e troca de raciocínio algumas vezes) essa gravidade... essa aceleração recebe o nome de gravidade e essa gravidade é calculada... a fórmula dela é calculada em 10 m/s^2 , ou seja, a cada segundo que o corpo cai, ele recebe... a sua velocidade aumenta 10 m/s . (6ª INTEGRANTE)

Encerrou-se assim a apresentação, com cerca de 4 minutos de duração. Nota-se que o grupo organizou sua apresentação muito bem e, em geral, demonstrou boa compreensão do tema. Quanto aos cartazes produzidos, compostos em sua maioria por figuras, tiveram a função de ilustrar o que vinha sendo falado ao longo de toda a apresentação.

O texto 2 não foi a única referência utilizada para elaborar a fala e os cartazes. Se por um lado isso foi enriquecedor para a apresentação, inclusive antecipando conteúdos que seriam discutidos posteriormente no estudo do movimento uniformemente variado, por outro, deixou-se de abordar um tema importante para essa etapa introdutória, discutido essencialmente no último parágrafo do texto 2: a lei matemática obtida com o experimento com plano inclinado e sobre a descrição matemática dos fenômenos como importante característica da Física até os dias de hoje.

A discussão conduzida pelo professor após a apresentação foi facilitada pela boa apresentação do grupo. O professor tratou de resumir logo as conclusões a respeito da queda dos corpos, destacando que derrubavam as concepções de movimento natural de Aristóteles. Em seguida, conduziu a mesma discussão sobre “queda livre” e “resistência do ar” feita na turma 1, relatada na seção anterior. Nessa discussão, fez questão de se reportar ao exemplo fornecido pela 5ª INTEGRANTE, conforme diálogo a seguir:

PROFESSOR: “Vocês acreditam nisso?”

MAIORIA DOS ALUNOS DA TURMA: “Sim!”

ALUNO 1: “Claro que não!”

PROFESSOR: “Que um corpo mais pesado pode cair junto com um corpo mais leve?” – em tom de discordância, o que fez muitos alunos mudarem de opinião – “O colega ali” – referindo-se ao aluno 1 – tá questionando, né? Uma maçã vai cair junto com uma folha, gente?”

Aluno 1: “Lógico que não!”

Aluno 2: “Depende!”

Instala-se uma discussão generalizada na turma. A certeza com que a maioria respondeu “sim” à primeira pergunta, provavelmente estabelecida pelas informações fornecidas pelo grupo e reforçadas na primeira parte da explicação do professor, caiu por terra com um simples questionamento – propositalmente em tom de discordância – do professor e de um aluno mais inflamado. Após as mesmas demonstrações experimentais relatadas no caso da turma 1, mais uma vez, houve uma mudança mais convicta por parte da turma. O professor

seguiu então com uma explanação sobre o experimento com planos inclinados e encerrou o assunto. A discussão demorou cerca de 10 minutos.

1.3: Texto 3 – Galileu e o rompimento de outras ideias aristotélicas

1.3.1: Apresentação do Grupo III da turma 1 e discussão conduzida pelo professor

Quando convocado a apresentar, o Grupo III/1 demonstrou que não tinha se preparado. Uma das integrantes pensou em apresentar mesmo assim, entretanto, mesmo com insistência em tom de brincadeiras por parte do professor, convidando a turma a incentivá-la, ela acabou não criando coragem. Para tentar remediar a situação e dar uma chance ao grupo, o professor sugeriu que apresentassem na próxima aula. Lamentavelmente, mesmo na aula seguinte, o grupo não quis apresentar e o professor fez uma breve discussão para abordar o tema, complementando a parte faltante na linha do tempo.

Não se pode tirar conclusões a respeito dos motivos que levaram a essa situação. Entretanto, o episódio reforçou a sensação de que a turma tem dificuldades com esse tipo de trabalho. De certo faltou-lhes, nas séries anteriores, oportunidades ou orientações a respeito de como fazer apresentações orais. Nesse sentido, os esforços empenhados pelo professor nas orientações sobre o trabalho, dadas na aula anterior, não foram suficientes para conferir maior confiança aos alunos.

1.3.2: Apresentação do Grupo III da turma 2 e discussão conduzida pelo professor

Os integrantes do Grupo III/2 organizaram-se à frente da turma, com um cartaz pregado no quadro, e iniciou a apresentação. O 1º INTEGRANTE começa lendo brevemente uma lista de contribuições de Galileu à Mecânica:

Bom dia! Galileu... Galileu Galilei desenvolveu os primeiros estudos sistemáticos do movimento, acelerando [incompreensível, o aluno fala baixo em alguns momentos], descobriu a lei [da queda] dos corpos, enunciou o princípio de inércia, e o conceito de referencial inercial, melhorou o telescópio... telescópico refletor... com ele descobriu as manchas solares, é... as montanhas na Lua, é... as fases de Vênus, os quatro satélites de Júpiter e os anéis de Saturno, e as estrelas [da] Via Láctea. Contudo, a principal contribuição de Galileu foi para o Método Científico. (1º INTEGRANTE)

A 2ª INTEGRANTE falava mais baixo ainda. Mas pela filmagem ainda é possível compreender que o texto que ela lê discorre sobre a Teoria do Big-Bang e os momentos iniciais do Universo, a morte das estrelas e a formação dos elementos químicos – algo totalmente fora do contexto do texto 3. Entretanto outros dois integrantes retomaram o assunto, conforme a seguir:

3º INTEGRANTE: “É... vou falar sobre o movimento da Terra. A Terra tem dois tipos de movimento: rotação e translação, que todo mundo sabe. Um é em volta do Sol e o outro é em torno dela mesma. Aí... a teoria do Aristóteles falava que a Terra era imóvel e os outros planetas...”

PROFESSOR: “Desculpa, eu não ouvi. A teoria de Aristóteles falava que a Terra era o quê?”

3º INTEGRANTE: “Ela num... ela ficava parada e os outros planetas girando ao redor dela”

4º INTEGRANTE: “Era o centro do Universo e todos os planetas giravam em torno dela.”

3º INTEGRANTE: “Aí... Galileu foi lá e provou... provas né, falou que não era assim... e que a Terra girava em torno do Sol.”

A 5ª INTEGRANTE também foge do tema, lendo uma revisão dos quatro elementos e dos três tipos de movimento, segundo Aristóteles. Mas, o 4º INTEGRANTE volta a falar sobre o tema, embora sua fala seja em volume muito baixo em determinados momentos. Contudo, pela gravação da aula, é possível compreender que se refere, finalmente, às contraposições impostas pelas ideias de Galileu sobre as ideias de Aristóteles, a respeito da queda dos corpos, do movimento da Terra, da passagem do geocentrismo para o heliocentrismo.

Em seguida o PROFESSOR intervém: “E o cartaz, pessoal?” O cartaz (ANEXO A, turma 2, texto 3, cartaz 1/1) era dividido em quatro partes, cada qual mostrando uma contraposição entre as ideias de Galileu sobre as de Aristóteles: 1) sobre a velocidade de queda dos corpos, constante para um e acelerada para o outro; 2) a Terra como centro do universo e a descoberta dos satélites de Júpiter; 3) a ideia de corpos celestes perfeitos em comparação com a descoberta de montanhas e vales na superfície da Lua; e 4) a Terra imóvel no centro do universo em contraste com seu movimento em torno do Sol. O 4º e a 5ª INTEGRANTES lêem os textos contidos em cada um deles. Assim encerra-se a apresentação, totalizando 7 minutos de duração, contando o tempo para leitura do cartaz.

Como, apesar dos percalços e fugas ao tema, a apresentação conseguiu mostrar as superações do pensamento aristotélico pelas ideias de Galileu, o professor aproveitou para criticar as fugas ao tema e fazer uma discussão a respeito do uso do cartaz como instrumento facilitador das apresentações orais. Ressaltou que essas falhas não ocorreram somente com o grupo que acabara de apresentar, mas que estava usando a apresentação deles como exemplo apenas para colaborar para o crescimento de todos. Enfatizou a qualidade do cartaz dos alunos e mostrou como a apresentação oral poderia ter sido conduzida essencialmente a partir dele. Por fim, reforçou brevemente todas as contraposições apresentadas no texto 3, encerrando a discussão. Assim, a discussão durou apenas 4 minutos.

1.4: Texto 4 – Isaac Newton e a síntese da Mecânica

1.4.1: Apresentação do Grupo IV da turma 1 e discussão conduzida pelo professor

O grupo não preparou nenhum cartaz e também não queria apresentar. Após insistência do professor, dois integrantes apresentaram. Dos outros quatro integrantes do grupo, dois faltaram a aula – porque não tinham preparado a apresentação, segundo os colegas –, um terceiro foi transferido de turma e outro estava presente, mas não quis apresentar de forma alguma.

O 1º INTEGRANTE posicionou-se a frente e começou a falar, guardando atrás das costas a folha de caderno que continha o texto que vinha relendo até a hora de começar a falar. Ele não precisou consultar a folha em nenhum momento e falou com certa desenvoltura, mostrando bastante entendimento do assunto, exceto pelo caráter de “lenda” da história de Newton e da maçã:

Antes de Isaac Newton, alguns historiadores e pesquisadores... eles pensavam que... sabiam que o Sol precisava de um poder atrativo para os planetas girarem em torno dele. E eles também sabiam que a Terra também precisava de imprimir um poder desse para a Lua poder fazer a órbita dela em torno da Terra. E Newton foi quem descobriu a gravidade. Ele estava em baixo de uma macieira e uma fruta caiu em cima da cabeça dele. Ele olhou para cima e viu a Lua. Aí ele descobriu que a Lua fazia a órbita por causa da gravidade que atraía a massa da fruta para a Terra. (1º INTEGRANTE)

Após receber um “cutucão” no braço do 1º INTEGRANTE, a 2ª INTEGRANTE começou a falar: “E... é chamado as Três Leis de Newton.... é... Pode ler um pouco?” – referindo-se à colinha que trazia na mão. Então o PROFESSOR respondeu: “Poder não podia não, mas vamos lá...” E a 2ª INTEGRANTE continuou: “É só porquê... tipo... uma das Três Leis de Newton são a expressão máxima dessa síntese para a Mecânica. Com a apresentação das três leis, resume os princípios básicos que explicam o movimento dos corpos. A Lei da Gravitação Universal, ou simplesmente lei da gravitação – olha com mais atenção e reformula – gravidade!. Também presente no piri... pirimin... Principia, foi outra grande contribuição de Newton para a Mecânica.” E para finalizar PROFESSOR questiona: “Mais alguma coisa? Não? Ok, palmas para eles...”

A apresentação se encerrou com menos de 2 minutos de duração. O professor parte para o quadro para completar mais um pouco a linha do tempo que vem sendo construída ao longo da aula. Chama a atenção para o fato de que a linha do tempo está fora de escala. Reforça a primeira parte do texto, sobre o surgimento do *Principia*, destacando a importância da obra para a humanidade, escrita em latim. Após um comentário do professor sobre a universalidade do latim na época, o ALUNO 1 pergunta: “O latim era o inglês de hoje, professor?” E confirmando, PROFESSOR responde: “É! Comparação interessante! Hoje o inglês é meio que uma linguagem universal, né? Na época, seria o latim! Interessante, sim!”

O professor destaca então o caráter de síntese da mecânica por meio dessa obra, dando destaque para as Três Leis de Newton. Quando o professor comenta que elas serão estudadas em mais detalhes algumas aulas adiante, preocupado, o ALUNO 2 interroga: “Cai no ENEM?”, e o professor afirma que será cobrado no exame para ingresso nas universidades públicas.

Em seguida, o professor destaca a outra grande contribuição contida no *Principia*, a Lei da Gravitação Universal, ou simplesmente, Lei da Gravidade. Começa então a corrigir o único erro na apresentação do 1º INTEGRANTE: “Aí o colega... cadê... ali, o – citando o nome do 1º INTEGRANTE – né... contou pra gente uma **lenda**. Uma lenda que constava lá no texto. Qual foi essa lenda, gente?”

ALUNA 1: “Da árvore!”

PROFESSOR: “Isso! Newton estava debaixo de uma macieira... O que é uma macieira, gente?”

VÁRIOS ALUNOS: “Pé de maçã!”

PROFESSOR: “Isso! Então Newton estava lá debaixo de um pé de maçã quando, de repente, cai uma maçã na cabeça dele... e aí ele descobre a gravidade! – pausa – Gente, vocês acham que realmente foi assim que as coisas aconteceram?”

VÁRIOS ALUNOS: “Não!”

PROFESSOR: “Imagina: você tá andando e aí de repente vem uma coisa... súbita, né? E aí você... descobre uma lei tão importante assim?!”

Enquanto o professor ainda está falando, alguns alunos se mostram confusos, começam a discutir entre si sobre o assunto. Um aluno ainda afirmou ter visto na TV que foi encontrada a maçã que caiu na cabeça de Newton. O professor aproveita para chamar a atenção para o fato de que nem todos documentários apresentados nesses canais de TV a cabo são cientificamente confiáveis, citando alguns exemplos que, inclusive, são reconhecidos por alguns alunos.

Pessoal, pessoal, atenção! Isso é uma **LENDA!** Uma lenda! A gente não pode nem afirmar que em algum momento caiu uma maçã na cabeça dele. Não se sabe! Isso é uma **lenda!** Pra chegar à Lei da Gravitação Universal, Newton estudou **muito!** Fez uma série de desenvolvimentos, que são mostrados, inclusive, no *Principia*... argumentos, raciocínios... pra chegar até o que hoje a gente chama de Lei da Gravitação Universal.

[...]

Então gente, que fique bem claro! Isso é uma lenda! Ninguém chega a uma lei científica assim... por uma iluminação divina súbita.... não existe isso! Existe estudos... Inclusive Newton não fez isso sozinho! Ele se baseou nos trabalhos de outros cientistas que vieram antes dele pra chegar até a Lei da Gravitação Universal. Como o Galileu.

[...]

Tem outros nomes aí que foram citados no texto... Copérnico, Kepler... A gente vai ver melhor essa história mais pra frente! Eu só quero que vocês entendam que essa historinha de: ‘ai, caiu a maçã no Newton e aí... Ai, descobri a gravidade!’ Isso é lenda! As coisas não acontecem assim. **Mas**, toda lenda tem uma moral da história. Tá certo? Qual que é a moral da história dessa lenda? Aí eu vou completar a história que o [1º INTEGRANTE] contou, né? Ele disse lá que Newton viu a maçã, na macieira, ou caindo na cabeça dele, e ao fundo, entre os galhos, ele viu a Lua. Aí é que está a moral da história. O que Newton percebeu... não por esse episódio mirabolante! Percebeu ao longo dos estudos dele, tá certo? O que Newton percebeu é que a mesma força que age aqui na Terra e faz os corpos caírem é a força que age na Lua, por exemplo, e faz a Lua girar em torno da Terra. (PROFESSOR)

O professor seguiu, tomando o sistema Sol-Terra-Lua como exemplo, desenhado no quadro, mostrando o caráter universal da Lei da Gravitação, comparando a atração entre astros celestes com a atração entre a Terra e uma simples maçã, fazendo-a cair. Reforça também como esse pensamento é revolucionário frente à antiga concepção aristotélica – que ainda perdurava – que considerava umas leis para o mundo sublunar e outras leis para o mundo supralunar. Tenta, então, encerrar o assunto: “Eu vou botar isso na minha prova, gente (rindo). Vocês vão falar lá que Newton descobriu a gravidade porque caiu uma maçã na cabeça dele?” E os alunos manifestaram que não.

Desta forma, passou-se de uma situação de confusão e dúvida para uma aceitação geral dos argumentos do professor por parte da turma. A discussão se encerra, com duração de cerca de 12 minutos. O professor optou por deixar a discussão da famosa frase de Newton “Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes” para fazer um fechamento de todas as apresentações, ao final da aula.

1.4.2: Apresentação do Grupo IV da turma 2 e discussão conduzida pelo professor

Os oito integrantes do Grupo IV/2 se organizam bem, portando dois cartazes. Em geral cada um possui um pedaço de papel com a sua fala. Inicia-se a apresentação com o 1º INTEGRANTE lendo o trecho contido em seu papelzinho e preparado, provavelmente, por outra pessoa. Trata-se de uma breve biografia, mas já com elementos diferentes dos contidos no texto 2.

A 2ª INTEGRANTE já começa a discutir as Leis de Newton, falando um enunciado da 1ª Lei de Newton. Embora não esteja lendo seu papel, nota-se claramente que ela apenas decorou o texto. Instantaneamente a 3ª INTEGRANTE passa a apresentar as imagens – tirinha da Turma da Mônica – contidas no primeiro cartaz (Anexo A, turma 2 – texto 4, cartaz 1/2), ilustrando a 1ª Lei de Newton. O 4º INTEGRANTE lê seu papelzinho, enunciando a 2ª Lei de Newton e dando um exemplo, enquanto a 3ª INTEGRANTE faz cara de decepção com a leitura e segue para sua explicação baseada na figura do primeiro cartaz, apresentando até cálculos.

O 5º INTEGRANTE também lê seu papelzinho, enunciando a 3ª Lei de Newton, e em sequência a 3ª INTEGRANTE volta à figura do cartaz para exemplificá-la. Dando continuidade, o 6º INTEGRANTE lê em seu papel um trecho fora do contexto da apresentação, sobre a divisão da mecânica entre cinemática e dinâmica. Entretanto, parecia ter sido posicionado fora de ordem, o que foi confirmado quando a 3ª INTEGRANTE dá um tapa na testa, como que reprovando.

A 7ª INTEGRANTE fala sobre a Lei da Gravitação Universal, fornecendo um enunciado matemático para a mesma, momento no qual a 3ª INTEGRANTE remete-se ao segundo cartaz (Apêndice F, turma 2 – texto 4, cartaz 2/2) para mostrar a figura e a fórmula correspondentes. Depois disso, ela ainda fala sobre algumas contribuições para a óptica. O 8º INTEGRANTE começa a ler seu papelzinho, mas imediatamente é repreendido pela 3ª INTEGRANTE. Todos ficam confusos. Ela resolve antecipar o assunto: “Então... ele vai falar aqui... porque Newton disse que ele... onde ele chegou aqui, ele teve que subir sobre ombros de gigantes, que foram Aristóteles, Galileu – apontando para a linha do tempo no quadro – e outros que... não foram tão importantes e não tão destacados. Aí ele vai explicar sobre o porquê dessa frase.”

O gigante a que Newton se referia era [incompreensível, o aluno estava lendo muito baixo, a ponto de uma das alunas ouvintes pedir que ele lesse mais alto] Galileu Galiléia... lei... o alemão Kelvin [novamente incompreensível, novo protesto da aluna. Mas ele é incapaz de ler o resto em voz alta, seja por não entender a letra, seja por dificuldade de leitura mesmo] 8º INTEGRANTE:

A 3ª INTEGRANTE toma a frente novamente, mostrando as duas frases de Newton constantes no 1º cartaz, sendo uma delas a que acabara de ser comentada. Assim, encerra-se a apresentação, totalizando cerca de 5 minutos.

A apresentação do grupo foi excelente, mas notavelmente foi elaborada pela 3ª INTEGRANTE e os demais apenas falaram (ou leram) o que lhes haviam preparado – o que se confirmou posteriormente em uma conversa entre o professor e a 3ª INTEGRANTE. Além disso, fica claro que o texto 3 não foi a principal fonte de pesquisa do Grupo IV/2. Mais uma vez, por um lado, isso é virtuoso: demonstra esforço e boa habilidade para pesquisa. Por outro, promove certa fuga ao tema, antecipando temas a serem detalhados com calma posteriormente. Não se discutiu a construção histórica das ideias que viriam a ser publicadas posteriormente no *Principia*, o que é importante para compreender que essas ideias não surgiram por um episódio único e brilhante, como a lenda da queda da maçã sobre a cabeça de Newton costuma ser interpretada, erroneamente. Aliás, a lenda sequer foi citada na apresentação.

Na discussão subsequente promovida pelo professor, acrescentando as contribuições de Newton à linha do tempo, ele buscou resgatar os elementos esquecidos do texto. Demonstrou uma preocupação em relacionar essas informações à superação da visão aristotélica de mundo (mundo sublunar e supralunar) e refletiu sobre a moral por trás da lenda da queda da maçã na cabeça de Newton. Essa discussão levou cerca de 8 minutos. Tudo se deu de maneira muito semelhante à discussão desse texto realizada na turma 1, sendo desnecessário mais comentários.

1.5: Texto 5 – A Teoria da Relatividade de Albert Einstein

1.5.1: Apresentação do Grupo V da turma 1 e discussão conduzida pelo professor

Novo episódio revelando uma dificuldade da turma com o tipo de trabalho proposto: quando o Grupo V/1 foi convocado a se posicionar a frente da turma para iniciar sua apresentação, um dos integrantes permaneceu na carteira. Quando o professor questionou porquê ele não apresentaria o trabalho, os colegas inventaram desculpas: “Está passando mal professor...”. Não estava. Após um pouco de insistência do professor, tentando transmitir tranquilidade ao aluno, ele se juntou aos demais integrantes do grupo. Diante de toda a situação, levando em conta também o que já tinha acontecido com outros grupos anteriormente, o professor resolve fazer um discurso motivador e tranquilizador para toda a turma, supondo que a dificuldade talvez fosse também em relação ao nível de leitura e interpretação dos textos:

Gente, só reforçando. Eu sei que é difícil ir lá na frente e apresentar um trabalho. Às vezes tem alguma coisa que você não entendeu direito. Mas eu sei! Inclusive eu sei que tem coisa aí – referindo-se aos textos – que é difícil você entender. Então eu estou levando tudo isso em conta na minha avaliação. Tá? Agora, se você não se propuser nem a ficar lá na frente e tentar falar tudo que você entendeu, aí fica difícil, aí eu não tenho opção. Então parabéns aos colegas, que apesar de não terem entendido direito os textos, foram lá e tentaram apresentar, e falaram muito bem! – um dos integrantes abraça o colega que, inicialmente, não queria apresentar. Mostraram o que entenderam, tá bom? Mas vamos lá então. (PROFESSOR)

Assim, teve início a apresentação do grupo, que não portava nenhum cartaz. Enquanto outros dois integrantes do grupo tentavam ler trechos da apostila, o 1º INTEGRANTE disparou a falar, rápida e nervosamente:

Bom a Teoria da Relatividade de Einstein não começou do nada, ele precisou de outros cientistas... que começou com Isaac Newton, né? Dentro da mecânica, o estudo dos corpos né... – aluno vem demonstrando nervosismo, apesar de certa desenvoltura para falar – A partir daí, a Teoria da Relatividade que Einstein estudou... é... Newton estudou... foi tão importante hoje para a ciência, né? Porque a gente só tem... [incompreensível] ...transportes mais rápidos, mais modernos, comunicação por satélites... Mas com o decorrer do tempo, né, muitos cientistas começaram a colocar limitação aos estudos de Newton. Porque ele não conseguia explicar tudo que ele dizia, né? Então, ao decorrer do tempo, os cientistas, né, os estudiosos, queriam formar... formar duas ciências, né... A ciência clássica, que Newton estudou, e a ciência moderna... Então eles criaram a Mecânica Quântica. E outra foi a Mecânica... Pode ler aqui professor? – após confirmação que sim, seguiu lendo – a Mecânica Re... Relativística. Que... teve essa separação, mas, tipo assim, eles conseguiam formar essa separação: a ciência moderna e a ciência clássica. Mas só que eles não conseguiam pôr o que eles estavam estudando mesmo... Foi quando o Einstein, ele começou a estudar isso. O primeiro dos estudos dele foi a Relatividade. Que ele ainda fez cinco... cinco artigos, né? Sobre esses estudos... Que a primeira foi – procura no texto – sobre o efeito fotoelétrico, que estudava a velocidade média da luz, 300.000 km por segundo né... Aí a partir daí Einstein, ele começou a estudar a teoria de Newton... mas só que as Leis de Newton não eram muito completa. – depois de uma pausa, em que deu uma olhada na apostila, como ninguém do grupo tomou a palavra, ele continuou – E... esse estudo... esse estudo de Einstein, ele ganhou o Prêmio Nobel. Que o Prêmio Nobel era... era a parte mais importante que um cientista poderia ganhar. E além disso, pra ele estudar a Teoria da Relatividade, ele teve que, praticamente destruir algumas teorias né. Destruir alguns elementos, né, que Newton estudou, né... Daí, a partir daí... ele começou a estudar na... na... na Física Clássica né... coisas que o Newton estudava né, para ele poder entender... E a obra de Einstein, ele chegou na Teoria da Relatividade. Uma suposição... 50 minutos com uma aula de Física e 50 minutos assistindo um filme. Isso foi na Teoria da Relatividade que Einstein chegou né... Porque... o filme é mais divertido, né? Que a aula de Física... E daí o Einstein começou a estudar a velocidade. A velocidade... a velocidade... [incompreensível] Uma outra

suposição foi, tipo assim, uma pessoa pega um trem bala. Ela que está dentro do trem bala vai estar mais rápida. Mas a pessoa que ficou esperando ela voltar, é... vai ser relativa... vai demorar. Parece que vai demorando, demorando, demorando... Até esse trem bala chegar. E uma das teorias de... é... [pausa demorada... olha na apostila novamente. Os colegas começam a fazer menção para ele encerrar a fala dele] E... tipo assim, a respeito da Teoria da Relatividade... foi que o espaço e o tempo, eles não era relativo... eles era interdependentemente... daí ele juntou os dois: criou o espaço e o tempo. Onde depois ele começa a estudar a relatividade em cima de algumas teorias de Isaac Newton.”

Finalmente, passa-se a palavra para o 2º INTEGRANTE:

Então ele estudou que, o seguinte... por mais que um objeto seja pequeno, um próton, por exemplo, ele pode ter energia. Quanto mais energia ele tiver, melhor [ou menor?] ele vai ser. Aí, o ser humano, é um ser muito bom, ele é capaz de [incompreensível]. Então, que que ele fez? [...] Ele criou a bomba-atômica.

[...]

Aí ele (o ser-humano) criou a nossa famosa bomba atômica, que revela que a energia contida no átomo pode se expandir e destruir (incompreensível, enquanto uma aluna ouvinte perto da câmera diz: ‘o mundo inteiro’). (2º INTEGRANTE)

Enquanto o 2º INTEGRANTE falava, com bastante desenvoltura e um pouco de humor, característico do aluno, o 1º INTEGRANTE dava mais uma lida no texto para retomar: “Aí, uma das coisas que também ajudou o Einstein a estudar a Relatividade, foi por que os corpos caem. Que isso foi estudado lá por Aristóteles.”, apontando para a linha do tempo. O PROFESSOR instiga: “Pronto fechou?”

Um terceiro integrante, de cabeça baixa, começa a falar, mas tão baixo que é impossível ouvir. O professor intervém e pede para ele falar mais alto. Um colega da turma também o motiva. O 3º INTEGRANTE continua tímido, esconde-se atrás do texto. Outro aluno da turma faz uma brincadeira de mal gosto com a situação. O professor o repreende na mesma hora, e torna a motivar a apresentação dos alunos. Um 4º INTEGRANTE é que resolve falar:

Bem, vou contar só uma história... Eu tenho algumas coisas a acrescentar. O fato de Einstein ser um daqueles caras que pensava... ‘Eu não tenho que provar que Einstein... que Newton estava errado em algum ponto’. Newton foi um dos primeiros a adotar as coisas... (dá uma rápida olhadinha no texto) as evidências de que Einstein estava errado, em vários pontos. Então ele pensou... Aí foi quando ele pensou na teoria do espaço-tempo, que é relativo, pra mim pode ser uma coisa, pra outras pessoas pode ser diferente. Por exemplo, uma aula... o professor de Artes... pode ter alguém aqui que não gosta da aula do professor de artes. Vai ser uma aula chata, vai passar devagar. Agora, pra mim, e pra outras pessoas, vai ser uma aula legal, que vai passar rápido, e que vai ser legal, e que eu vou querer mais. Então é relativo. (4º INTEGRANTE)

O professor pergunta se mais alguém do grupo tem algo a falar. De fato, dois integrantes não falaram nada: o 3º INTEGRANTE, que tentou começar a falar mas teve muita timidez, momento em que foi alvo de piada de um colega ouvinte, e o 5º INTEGRANTE, que foi aquele que não queria apresentar desde o princípio. O professor se levanta e se posiciona diante do quadro com a linha do tempo, dando início ao seu discurso: “Bom, vamos esclarecer um pouquinho essa história de relatividade, né? Que é meio confuso... Então, continuando aí com a nossa linha do tempo, vamos botar um marco no ano de 1905, que é o ano que Einstein publicou... alguém falou aí, né... 5 trabalhos muito importantes. Esse ano foi muito importante...” O PROFESSOR é interrompido pelo 4º INTEGRANTE, que afirma constar no cartaz do grupo essa informação. Então o PROFESSOR os motiva a apresentarem. Neste

sentido a 4º INTEGRANTE diz: “Aqui tem... o átomo... e aqui, é Einstein!” – apontando para as duas únicas gravuras que constavam no cartaz, ANEXO A, Turma 1 – Tema 5, cartaz 1/1

Para finalizar, o PROFESSOR retoma a condução da discussão, demonstrada por meio do diálogo a seguir:

PROFESSOR: “Pessoal, retorna aqui, só pra gente esclarecer algumas coisas que o... Qual é seu nome mesmo filho? (referindo-se ao 1º INTEGRANTE) Isso, pra esclarecer alguns pontos que o 1º INTEGRANTE falou... Aliás o 1º INTEGRANTE falou rápido né, falou bem, mas algumas coisas ficaram um pouquinho confusas... Só pra esclarecer. Esse ano aqui (1905) foi tão importante para a Física, que daqui para trás, a Física ficou conhecida como Física Clássica. E daqui para frente, como Física Moderna. (desenha e escreve os termos na linha do tempo) Pra ficar claro, o texto enfoca bastante em Einstein, né, porque depois ele vai falar da Teoria da Relatividade. Mas não foi só Einstein que participou disso aqui não (apontando para a divisão entre Clássica e Moderna na linha do tempo), foi muita gente. Essa revolução que aconteceu na Física a partir de 1905, mais ou menos isso... Por que que houve essa divisão, de Física Clássica para Física Moderna? Porque até então, tudo que se sabia sobre a mecânica estava aí desenvolvido por Newton e outros que seguiram depois dele, que foram aprimorando cada vez mais a teoria dele. Tá? Não é só Newton aqui não, tem vários outros aí no meio dessa nossa linha do tempo. Acontece, que todo esse conhecimento passou a ser questionado por conta de algumas evidências experimentais que começaram a surgir. E aí, foi necessário criar duas novas mecânicas!”

1º INTEGRANTE: “Eu falei...”

PROFESSOR: “Falou sim, muito bem. A Mecânica Quântica e a Mecânica... Como é o termo?”

1º INTEGRANTE (que tinha tido dificuldade para falar o termo durante a apresentação): “Relativística!”

PROFESSOR: “Que é a chamada Teoria da Relatividade, de Albert Einstein. (...) O texto fala que a Mecânica Quântica serve pra que tipo de coisa? Quem lembra aí? Tem até uma figurazinha sobre isso no texto... Vocês já guardaram o texto né? Que maravilha...”

A turma, em geral, estava já cansada e inquieta, mas muitos permaneciam atentos. O PROFESSOR se preocupa em chamar a atenção dos que estavam dispersos, para então continuar: “A Mecânica Quântica surgiu para explicar o movimento de que tipo de coisa?” Em resposta a ALUNA 1 diz: “Quantidade?” Manifestando discordância o PROFESSOR salienta: “Quantidade? Não, tá aí na figura da apostila ó...” E dando continuidade o ALUNO 2 responde: “O movimento de coisas muito pequenas” – lendo na apostila.

PROFESSOR: “Isso! Movimento de coisas **muito** pequenas.” – escrevendo no quadro, ao lado do termo Mecânica Quântica – “Daí eles colocaram no cartaz, né: o átomo por exemplo. Então, o movimento de átomos, o movimento dos elétrons em volta do átomo... A Mecânica Quântica surgiu mais para esse tipo de coisa. Porque as Leis de Newton... não funcionavam para coisas muito pequenas! Não dava certo! Não conseguia explicar, tá certo? E, a Mecânica Relativística, de Albert Einstein, surgiu pra que tipo de contexto?”

ALUNA 1: “O movimento de coisas quase tão rápidas como a luz.” – lendo na figura da apostila.

PROFESSOR: “Isso! Vamos simplificar assim então: coisas **muito** rápidas. (ALUNA 1 fala junto, parece envolvida com o tema) Mas quando eu falo **muito**, é **muito mesmo** (ALUNA 1 já tinha previsto a fala, dizendo ao mesmo tempo que o professor). Quase na velocidade da luz.”

ALUNA 2: “Da luz?”

PROFESSOR: “Da luz! Isso mesmo! – termina de escrever no quadro – Só pra constar, a gente ainda não vai entrar muito nesse tema agora, ou coisas muito massivas, tá? Muito pesadas, digamos assim. Como estrelas, buracos negros...”

Nesse momento o 3º INTEGRANTE (o tímido, que não falou nada) se mostra interessado por buracos negros, fazendo uma pergunta, mas com voz muito baixa, que não pôde ser

ouvida pela turma. O professor, preocupado com o horário da aula, quase por terminar, pede a ele que tenha calma, que esse assunto poderá ser abordado mais adiante, em outras aulas. O professor acrescenta o nome de Einstein na linha do tempo, e o termo Teoria da Relatividade logo abaixo, e continua:

Então, daqui para frente – apontando para 1905 na linha do tempo –, surgiram duas novas mecânicas, para explicar coisas que a Mecânica de Newton, né, não conseguia mais explicar.” – chama a atenção de mais um aluno desatento, e então continua – “Daqui pra trás, é a Física Clássica, a Física do passado, digamos assim. Daqui pra frente é a Física nova que tá surgindo, com essas duas mecânicas. Aí o texto vai começar a falar da Teoria da Relatividade, de Albert Einstein. Então, isso é só **uma** das revoluções que tiveram.”

O professor acrescenta o nome de Einstein na linha do tempo, e o termo Teoria da Relatividade logo abaixo. Volta a comentar o texto:

Aí o texto começa a falar, então, das novas contribuições dessa nova mecânica né, trazida pelo Einstein, que é a Teoria da Relatividade. Algumas consequências muito diferentes, né? Por exemplo, que tempo e espaço são relativos. [acrescenta esses termos na linha do tempo] A gente vai estudar melhor isso mais pra frente [na abordagem do tema 3]. Mas o que significa dizer que tempo é relativo? Presta atenção aqui que isso foi uma coisa que eles entenderam errado do texto, talvez porque o texto estivesse mesmo meio difícil. Quando você assiste a aula de um professor legal [dirigindo-se ao 4º INTEGRANTE, que comentou errado sobre isso durante a apresentação], parece que a aula passa voando, né? [...] Parece que aqueles 50 minutos duram só uns 20 minutos! [...] Quando você assiste aquela aula chata, maçante, parece que demorou uma eternidade. [...] É isso que significa tempo relativo na Teoria da Relatividade? – apontando para a observação anotada na linha do tempo, e em tom de discordância – Não... Não... Isso é uma questão psicológica, né? Isso é uma questão, sei lá, de funcionamento do nosso cérebro. **Parece** que foi mais rápido, ou **parece** que foi mais devagar. Por uma questão de gosto, né? Quando eu gosto de uma coisa, eu nem vejo o tempo passar! Tá certo? Então, não é isso que significa dizer que o tempo é relativo, na Teoria da Relatividade. Na Teoria da Relatividade, o tempo pode, **de fato**, passar diferente pra duas pessoas diferentes. Basta que, por exemplo, uma esteja em repouso, e a outra saia numa viagem com uma velocidade **muuuuito alta**. Um movimento **muito** rápido. Aí o tempo, pra uma, vai passar de um jeito, pra outra, vai passar de outro! Pra uma vai passar um pouco mais lento, pra outra um pouco mais rápido. E isso, inclusive, é medido experimentalmente, com relógios e tal. O tempo pode passar diferente. (PROFESSOR)

O ALUNO 3, que estava desatento até pouco tempo, e que fez a brincadeira de mal gosto com o 3º INTEGRANTE, se mostrou bastante curioso. Fez um questionamento que acabou por originar um interessante debate:

ALUNO 3: Como assim? Um sai com um relógio e o tempo passa diferente?

PROFESSOR: Pois é, você já imaginou isso? Vocês conseguem imaginar uma situação como essa?

1º INTEGRANTE: Qual que é?

PROFESSOR: Onde o tempo passa mais rápido pra mim e mais devagar pra você? Entende? Isso não existia na Mecânica de Newton! Lá o tempo é absoluto, o tempo passa igual pra todo mundo. De acordo com a Mecânica Clássica.

ALUNO 3: Então existe isso?

PROFESSOR: Hoje existem evidências experimentais de que o tempo é relativo! Ele pode passar diferente!

ALUNO 3: Então quer dizer que num trem bala é diferente? No trem bala, se eu tiver com um relógio, o tempo vai passar diferente?

PROFESSOR: Então, acontece que o trem bala é muito lento... A gente tá falando de coisas que se movem com velocidades próximas à velocidade da luz!

ALUNO 4: A velocidade de um caça?

PROFESSOR: Ainda tá muito longe da velocidade da luz!

ALUNO 5: Nosas!

ALUNO 6: A velocidade do som?

PROFESSOR: A velocidade do som ainda tá **muuuuito** baixa quando comparada à velocidade da luz!

Nesse momento, 3 ou 4 alunos fazem perguntas ao mesmo tempo, mas sobressai a voz mais alta do ALUNO 3:

ALUNO 3: Então como é que foi comprovado???

PROFESSOR: Por meio de experimentos, por exemplo, com partículas, é... já ouviu falar de acelerador de partículas? (...) Então, esses experimentos foram realizados com essas pequenas partículas, aceleradas a altíssimas velocidades, próximas à da luz.

ALUNO 3: Como é que eles mediram o tempo nesses casos então?

PROFESSOR: Ah, aí é outra história. Tem por exemplo (...) o tempo para ela [uma partícula]... sofrer uma determinada mudança! Vamos simplificar, né? Aí, se ela estiver em repouso, eles medem o tempo, e dá um certo valor. Se ela estiver em [interrompido pelo aluno 3]

ALUNO 3: Mas não é só com a velocidade que ela sofre...

PROFESSOR: Calma, escuta!

ALUNO 5: Calma cara! [risos]

ALUNO 6: Relaxa!

PROFESSOR: Assim, ela sofre essa mudança naturalmente, digamos, sozinha, né? Aí, se ela estiver parada, você mede o tempo lá no laboratório e dá um valor. Se ela estiver em movimento, em altíssima velocidade, perto da velocidade da luz... você vai medir esse tempo e vai dar um valor diferente, entende? Isso é feito em laboratório!

O ALUNO 3 ainda faz mais uma colocação envolvendo naves espaciais, mas não é possível ouvir direito na filmagem da aula. O professor tenta fazer um fechamento:

PROFESSOR: Calma! Por enquanto, só entendam que tempo e espaço, na Teoria da Relatividade, são coisas relativas. Tá? A gente pode discordar não só a respeito do tempo medido pra alguma coisa, como também do comprimento!

O 2º INTEGRANTE faz algum comentário relacionado a observações realizadas no dia-a-dia, mas também não é possível compreender na filmagem. Porém, ouve-se a resposta do professor:

PROFESSOR: Não, não é assim. A gente vai ver que esses efeitos da Teoria da Relatividade... só dá pra perceber quando as coisas se movem **muuuuito** rápido, coisas fora do nosso dia-a-dia. Tá bom?

A última colocação dessa fala foi um pouco infeliz, pois deu margem a uma interpretação errônea pelo aluno 3:

ALUNO 3: Mas se são fora do nosso dia-a-dia...

PROFESSOR: Ah, sim, só pra constar: coisas fora do nosso dia-a-dia entre aspas, porque, por exemplo, já ouviram falar de GPS?

VÁRIOS ALUNOS: Já...

PROFESSOR: Não seria possível construir um sistema de GPS sem a precisão que a Teoria da Relatividade trouxe. Entende? Por conta dessas correções do tempo...

ALUNO 3: Então se eu tiver uma nave andando rápido o tempo vai passar mais rápido pra mim de verdade?

PROFESSOR: É... mais lento, na verdade.

ALUNO 3: Mais lento?

PROFESSOR: Isso...

Outro aluno começa a discutir com o ALUNO 3 sobre o assunto. O professor pede calma e diz que precisa concluir o assunto do texto:

Aí, [o texto] fala que, algumas décadas depois daqueles primeiros artigos que Einstein publicou, e tal, é... Ele também chegou a um estudo sobre a gravitação, sobre a gravidade, na sua Teoria da Relatividade. Aqui, a ideia de gravidade é totalmente diferente... – termina de escrever: ‘gravidade: deformação do espaço-tempo’ no quadro. – A gente viu [no tema 4] que, pra Newton, gravidade é aquela força com que massa atrai outra massa, né? A massa do Sol atrai a massa da Terra, a massa da Terra atrai a massa da Lua. A massa da Terra atrai uma maçã, né? Pra Einstein... A Teoria da Relatividade derruba essa ideia! Gravidade, na Teoria da Relatividade, é outra coisa. Ele chega então à Deformação do Espaço-tempo, dessa relação entre tempo e espaço. A gente vai discutir melhor sobre mais à frente. E uma outra característica que é destacada no texto, da Teoria da Relatividade, é uma relação entre massa e energia. – escreve o termo no quadro – Que, infelizmente – apontando para o 2º INTEGRANTE, que falou sobre isso na apresentação – levou ao surgimento das bombas atômicas [...] Einstein percebeu que uma pequena parcela de massa por se transformar numa imensa quantidade de energia, é uma das consequências da Teoria da Relatividade. Então foi a partir dela que surgiu a bomba atômica. Mas a gente também pode utilizar esse conhecimento pra fazer coisas úteis e coisas boas! Como por exemplo as usinas nucleares, que produzem energia! (PROFESSOR)

Assim, o 2º INTEGRANTE trouxe na aula seu conhecimento: “Que nem lá no Japão!”³⁶ E o PROFESSOR ratificou: “Produzem energia elétrica, né? Produzir energia elétrica é uma coisa boa. Embora possam ocorrer acidentes nucleares, né?”

Nesse momento o 1º INTEGRANTE comenta e questiona sobre o “convite” que Einstein teria recebido para ir para os Estados Unidos, no contexto das Guerras Mundiais, e sobre sua possível participação na construção da bomba. Nota-se que o aluno detém informações de outras fontes (documentários, livros, etc.) além do texto. E PROFESSOR explica:

Sim, é verdade... Mas, primeiro que não foi bem um convite, né? Einstein teve que fugir da Alemanha, porque Einstein era judeu e eles estavam sendo perseguidos pelo nazismo. Mas, estando nos Estados Unidos, é verdade, Einstein teve um certo papel, uma certa contribuição, política também, no sentido de incentivar o governo americano a produzir a bomba atômica. Mas por quê? Porque acreditava-se que os alemães estavam produzindo... então era melhor que eles produzissem primeiro.

Nesse momento o 3º INTEGRANTE faz novo comentário, a respeito de alguma informação sobre Einstein veiculada por documentários de televisão, mas não é possível ouvir com clareza na gravação, visto que o aluno fala muito baixo. O professor se limita a dizer que “não sabia disso” e, com pressa, pede aos alunos que terminem de anotar a linha do tempo no caderno, pois a aula já está se encerrando. Assim, a discussão do tema se dá por encerrada, com 15 minutos de duração.

Alguns alunos se levantam e procuram conversar em particular com o professor. Não se pode ouvir a conversa na gravação, pois a turma já entrou no estado de bagunça próprio de quando o sinal se aproxima, mas tratava-se essencialmente sobre a vida de Einstein e a Teoria da Relatividade, trazendo informações vindas principalmente de documentários. O PROFESSOR ainda foi questionado a respeito da bomba atômica e quais países teriam este poder bélico. Ao informar que outros países, na atualidade já possuíam tal tecnologia, não pode precisá-los. Entretanto, salientou que “essas bombas poderiam explodir nosso mundo hoje” e que “hoje, infelizmente, a humanidade tem um poder bélico, um poder de armas, suficiente para destruir o planeta inteiro várias vezes”

³⁶ Na época, corria na mídia notícias sobre recentes complicações na situação de contaminação radioativa nos arredores da usina nuclear de Fukushima, no Japão, ainda em decorrência do desastre nuclear devido a um terremoto ocorrido em março de 2011.

É possível notar alguns grupos que falam sobre o assunto recém comentado, outros já desviaram para assuntos diversos. Outros alunos se dirigem ao quadro para tirar foto da linha do tempo em seus celulares. O professor chama a atenção da turma uma última vez e comenta sobre o fato de poucos terem anotado a linha do tempo nos cadernos, recomendando que, aqueles que tiraram fotos, passem a limpo no caderno. Lembra ainda que, agora que todos receberam todos os textos – inicialmente cada grupo recebeu apenas o texto referente ao seu tema de apresentação –, que os leiam, pois todos eles serão avaliados na prova.

Aproveitando que, apesar de o horário de aula já ter terminado, o sinal da escola ainda não havia batido, o professor comentou mais um pouco sobre os assuntos discutidos: a famosa frase de Isaac Newton, seu significado, e a possibilidade, segundo alguns historiadores, que a frase fosse uma provocação de Newton a Robert Hooke, com quem se correspondia, por este ser de baixa estatura.

Os alunos se mostram interessados em saber que Newton também apresentaria características de “seres humanos comuns”. Diante do interesse, o professor se comprometeu em levar a cópia das correspondências entre eles.³⁷ Na aula da semana seguinte, essas cópias foram coladas no mural da sala. O professor se recorda de ter visto alguns alunos de ambas as turmas lendo-as.

1.5.2: Apresentação do Grupo V da turma 2 e discussão conduzida pelo professor

Enquanto o Grupo V/2 se preparava para a apresentação, uma aluna ouvinte pergunta ao professor se é verdade que Einstein não falou até os 5 anos de idade. O professor diz não saber se era verdade, mas duvida que fosse. A aluna refaz a colocação, dizendo que ele, na verdade, seria muito tímido com essa idade. Esse pequeno episódio já marca o fascínio que o nome de Albert Einstein tem sobre os jovens estudantes, já no 1º ano do ensino médio. A apresentação inicia-se com a exposição de seus integrantes conforme a seguir:

1ª INTEGRANTE: “A gente vai falar sobre a Teoria da Relatividade de Albert Einstein, e a Física, da Clássica pra Moderna. Durante séculos, a mecânica, que é o estudo do movimento dos corpos, foi elaborada por Isaac Newton e também por outros... é... bem, foi a base do desenvolvimento tecnológico e científico. E é bem visível, né, que hoje, tais ideias de Newton são bem usadas, tanto nos transportes mais modernos como nas naves espaciais.”

2ª INTEGRANTE: “Mas, no entanto, no século passado... é... algumas evidências teóricas vieram a apontar certos limites para a Mecânica de Newton. Que... que ela não conseguia medir a massa de corpos muito pequenos como os átomos e as moléculas. Que não conseguia medir a velocidade de um objeto muito veloz perto de um objeto com a massa muito elevada. Aí alguns cientistas se engajaram a criar novas... novas teorias, como a Mecânica Quântica, que era desse primeiro caso de... da massa desses objetos muito pequenos... E a Teoria da Relatividade, que era desse segundo caso... que era de medir a velocidade de corpos... de... perto de um corpo com a massa muito elevada. – a 3ª INTEGRANTE parece ter identificado um erro e tenta tomar a fala, mas ele continua – Nisso aconteceu tipo uma revolução da Física, né. E... que fez mudar essas leis novas, o que ficou conhecido como Física Moderna. E as leis antigas, como as de Newton, ficou conhecida como Física Clássica.”

3ª INTEGRANTE: “Então assim, só para ilustrar, o desenho ali [ANEXO A, turma 2 – texto 5, cartaz 1/2] é o modelo de um átomo. Então a Mecânica Quântica vai explicar o movimento desse átomo. – nota-se aqui a correção que ela queria fazer: não se tratava da massa, mas do movimento dos átomos – Então, assim, por volta de 1960 [certamente a data está errada] existia um professor de uma universidade, chamado [incompreensível], que passou um trabalho... e Newton tava... opa, perdão... E Einstein tava nessa turma. Então, assim, ele desenvolveu esse trabalho e também, junto com isso, desenvolveu cinco artigos científicos. E o primeiro deles é o mais conhecido... que é o... o chamado

³⁷ Disponível, por exemplo, no manual do professor do livro do PNLD do Pietrocolla

fotoelétrico... que rendeu o Prêmio Nobel da Paz...³⁸ e também foi o iniciuzinho pra Mecânica Quântica. E os outros dois últimos, que esses não são tão conhecidos, mas são muito importantes, deram início à Teoria da Relatividade. Então, assim, em 1905 ele iniciou duas frentes de revoluções. A primeira foi da Mecânica Quântica. E a segunda foi da Teoria da Relatividade. Como o 2º INTEGRANTE explicou, a Teoria da Relatividade explica o movimento de coisas muito rápidas, como... a velocidade... isso, a velocidade da luz.”

4ª INTEGRANTE: “Sobre a revolução da Teoria da Relatividade. Einstein foi... esteve entre os primeiros cientistas a levar a sério as evidências contra as ideias de Newton. E também foi um dos primeiros cientistas a colocar em prática a... a Física Clássica. Para desenvolver a Teoria da Relatividade, ele teve que questionar muito os elementos mais fundamentais sobre o movimento de um corpo: o tempo e o espaço. E também, durante... ao longo do desenvolvimento da Física Clássica, o tempo sempre foi considerado como absoluto, que significa que o tempo passa para todos. Não há por que questionar o contrário.”

5º INTEGRANTE: “[início da fala incompreensível] tempo relativo. O exemplo dos gêmeos que, tipo, se um tá na Terra e o outro vai na velocidade... tipo, na velocidade da luz, o que tá na velocidade da luz vê que ele vai pra lá. E ele vai... tipo... um ano pra ele, vai parecer um ano normal, vai demorar. Aí, quando ele voltar, o que estiver na Terra vai estar envelhecido cem anos. Vai até ter morrido, sei lá. Aí também explica sobre, algo muito comum. Tipo, sei lá, você tá lá... ‘Ah nossa, que aula chata, bate logo esse sinal pra eu ir embora’. Aí foi alguns minutos, aí, tipo, parece que demora pra caramba! Aí quando você tá jogando *vídeo game*, ou ta, sei lá, com seus amigos, aí o tempo passa rapidão. Aí vem sua mãe e [incompreensível], aí você diz: ‘porra mãe, me dá mais cinco minutos aqui’. É assim...”

3ª INTEGRANTE: “De acordo com a Teoria da Relatividade, o tempo é relativo. Só que... ele também concluiu que além do tempo, o espaço é relativo. E eles estão interligados. Que muitas vezes são chamados de espaço-tempo. Então, um exemplo. Por exemplo, eu tô aqui do lado da 1ª INTEGRANTE. Pra mim, ela tem mais ou menos um metro e sessenta e quatro. Agora a 1ª INTEGRANTE tá na rua, parada, conversando com uma amiga dela. E passa dentro de um carro a 60 km/h. Quanto eu olhar pra ela, eu vou pensar que ela tem um metro, porque eu vou olhar muito rápido. Porque o tempo e o espaço, eles interferem no que eu vou ver.”

Curiosamente, alguns alunos parecem ter gostado da explicação dela. Uma ouvinte solta um “Êeeepa!!!” e outros começam a aplaudir. O professor prefere não interromper a apresentação para apontar o erro, o que poderia causar constrangimento no grupo que vinha tão bem, por entender ser muito natural e até inteligente para uma aluna de 1º ano tentando interpretar sozinha o que é a dilatação do tempo e a contração do espaço, possivelmente a partir de um único texto. Entretanto, anota que deve abordar o assunto com cuidado na discussão posterior. Os integrantes do grupo continuam:

3ª INTEGRANTE: “Então isso foi possível graças à Teoria da Relatividade.”

6º INTEGRANTE: “Então... passaram-se alguns anos desde 1995 [mais uma confusão com a data] e Einstein começou a aperfeiçoar sua nova teoria. É... com isso, deixou praticamente esquecida a... grav.. a Teoria de Newton sobre a força gravitacional.”

7ª INTEGRANTE: “Então professor... [incompreensível] sobre a Teoria da Relatividade. O... aí, como é que é?”

DEMAIS INTEGRANTES DO GRUPO: “Einstein! Albert Einstein!”

7ª INTEGRANTE: “O Einstein descobriu uma... que a massa de um corpo possui energia. E que essa energia pode ser extraída e conservada. Como por exemplo... a eletri... aí eu desisto. A eletricidade, por exemplo. Ela é conservada numa... – olha para a 3ª INTEGRANTE, que lhe dá a resposta – usina! – resmungo – deu branco de nervosismo”

5º INTEGRANTE: “Professor, tem uma curiosidade com o que eu falei, que é possível viajar pro futuro. Só que você... precisa da velocidade da luz. Então é quase impossível, né?”

PROFESSOR: “Calma, vamos discutir melhor sobre tudo isso! Tem mais algum ponto?”

3ª INTEGRANTE: “Não, assim, eu só queria complementar uma coisa que a gente esqueceu. Que são as armas... bombas... as armas nucleares. Então, assim, tem as usinas nucleares. Elas

³⁸ Na verdade, Prêmio Nobel de Física, é claro. Apesar de perceber o erro, o professor preferiu não interromper a explicação do grupo, corrigindo-os mais tarde. Essa postura foi tomada diversas vezes durante as apresentações, visando não causar nervosismo nos alunos durante as apresentações, já que muitos demonstravam dificuldade com esse tipo de trabalho.

não são coisas ruins, é uma forma de armazenar energia, né? Mas conseguiram armazenar energia só que alguém ainda mais inteligente, conseguiu armazenar energia numa bomba! Então, assim, só pra complementar... Obrigado.”

A turma aplaude com entusiasmo. Realmente gostaram da apresentação, que durou aproximadamente 7 minutos. O segundo cartaz não foi esquecido: na verdade ele continha uma série de palavras-chave para, supostamente, guiar a apresentação do grupo, atendendo às orientações do professor, na aula anterior, de não escrever muitos textos nos cartazes, mas sim palavras-chave. Entretanto, a letra ficou tão pequena e os alunos tão apegados ao texto, que ele acabou não cumprindo esse objetivo. De qualquer forma, fornece elementos para analisar as compreensões e, principalmente, incompreensões do grupo a respeito da leitura.

A primeira frase do cartaz era: “Einstein foi o primeiro a por em prática a Física Clássica”. Certamente desejava-se remeter à primeira frase da 2ª página do texto 5: “Einstein esteve entre os primeiros cientistas a levar a sério as evidências que surgiam contra as ideias tão estabelecidas de Newton e dos que o precederam, ou seja, esteve entre os primeiros a por em cheque a Física Clássica.”

Outro termo errôneo no cartaz é “Mecânica Aquântica”. Além disso, lá está também a referência ao “Prêmio Nobel da Paz”, demonstrando que os alunos certamente desconhecem as demais modalidades do famoso Prêmio Nobel. Esses termos errôneos, unidos a outros nas apresentações, denotam uma certa dificuldade dos alunos em compreender determinados termos do português comum (como “por em cheque”) e também termos técnicos novos para eles (como “Mecânica Quântica”). Daí a importância dessa atividade não se limitar à simples leitura dos textos. É preciso instigá-los a preparar uma apresentação, o que exige maior esforço pela compreensão dos textos, e, depois, é preciso esclarecer significados por meio da discussão realizada pelo professor. Contudo, talvez em um ambiente onde os alunos possuam melhores habilidades de leitura e interpretação de textos, esse material possa exercer um bom papel como textos paradidático, sem exigir tanta interferência do professor.

O professor toma a palavra, já a frente da turma, e inicia a discussão sobre o tema. Nessa turma, ele demonstra uma preocupação maior em corrigir os erros cometidos na apresentação, que foram muito convincentes, a ponto de fazer a turma aplaudir as explicações do grupo. Mas faz isso ainda mantendo a atenção em valorizar as interpretações do texto corretas (e até algumas incorretas!) que o grupo apresentou.

Palmas para o grupo, que pegou o tema... mais difícil... (rindo) E se esforçou para interpretar algumas colocações que foram feitas no texto, né... cometeu alguns erros (rindo), nessa interpretação, mas tudo bem! É que, realmente, são coisas que a gente vai discutir melhor mais pra frente. Mas vocês atropelaram, né, e já tentaram discutir agora! Legal! Que bom! É... Sobre Albert Einstein... aliás, melhor, antes de falar de Albert Einstein – e o grupo colocou isso muito bem – o texto fala de uma revolução que começou a acontecer na Física a partir, mais ou menos, de 1905 [ênfase na data]. Não é só por conta dos trabalhos de Einstein não, tá? Esse texto, ele é mais voltado para Einstein e pra Teoria da Relatividade, entendeu? Que é o trabalho do Einstein. Mas não é só por causa de Einstein não – apontando pra data de 1905 na linha do tempo –, tem vários envolvidos aí nessa revolução. Mas a coisa foi tão revolucionária, que mais ou menos daqui para trás – desenhando uma seta para a esquerda na linha do tempo, partindo no ano de 1905 – a Física ficou conhecida como Física...” – buscando complementação dos alunos. (PROFESSOR)

O ALUNO 1 entendeu que seria Quântica, mas ao ser corrigido, outro aluno, a 3ª INTEGRANTE afirmou ser a Clássica. E o PROFESSOR confirmou: “Clássica! Então, tudo que foi feito na Mecânica até então, foi chamado de Física Clássica. Daqui em diante, tá

surgindo uma nova Física. Que ficou conhecida como Física...” – outra vez instigando os alunos a responderem. E de fato o termo Física foi completado pelo ALUNO 2: “Moderna!”

No pequeno trecho acima, nota-se a preocupação do professor em corrigir a data 1905, que foi mencionada com erro por duas vezes durante a apresentação, e verificar a compreensão dos alunos da turma a respeito dos termos Física Clássica, Moderna, Quântica e Relativística. Neste sentido o diálogo com a turma continua:

PROFESSOR: “A Física Moderna começou a surgir com duas novas mecânicas... Duas novas mecânicas que vieram a derrubar muitas ideias já fortes, bem estabelecidas, do Newton, e dos que o sucederam.”

ALUNA 1 (a 3ª INTEGRANTE da apresentação sobre o texto 4): “Não... demorou 5 anos...”

PROFESSOR: “Derrubou! Derrubou sim...”

Nesse momento, parece haver uma curiosa disputa entre a ALUNA 1, defendendo Newton, tema de seu trabalho, e a 3ª INTEGRANTE, defendendo Einstein, tema de seu trabalho. O professor ri da disputa e reforça que realmente houve uma superação das ideias de Newton e dos que o sucederam no desenvolvimento da Mecânica Clássica. Passa então a efetuar a mesma discussão efetuada na turma 1, a respeito dos limites de validade da Mecânica Clássica que deram origem à Mecânica Quântica e à Teoria da Relatividade.

Falando do segundo caso, o PROFESSOR pergunta aos alunos: “(...) e também começou a falhar – referindo-se a Física Clássica – quando a velocidade era muito grande. Quando uma coisa se move muuuuito rapidamente. Mas quando eu falo muito rapidamente... Pense numa coisa mais rápida que vocês conhecem!”

Prontamente a ALUNA 2 respondeu: “Avião!” e o ALUNO 1 afirmou: “A luz!” Parte da turma ri da colocação da ALUNA 2, mas o professor a defende: “Do que vocês estão rindo? O avião é um dos meios de transporte mais rápidos que a gente conhece (...) só que a luz, bicho, é muuuuito mais rápida! Muuuuito mais rápida!” O ALUNO 2 ainda questiona se é possível calcular o tempo. O PROFESSOR diz que sim: “Ah, calcular o tempo... a velocidade da luz, é isso? Sim a gente tem como fazer isso.”

Nessa segunda aula sobre o texto 5, o professor já parece ter mais desenvoltura para conduzir a apresentação e discussão desse **texto do saber**. O trecho acima é um exemplo disso: na discussão realizada na turma 1, as perguntas dos alunos revelaram uma dificuldade para compreender o que se entende por “movimento muito rápido” e dedicou-se bom tempo para essa discussão. Na turma 2, então, o professor já começa a atacar essa dificuldade, por meio de perguntas. Surpreendentemente, alguns alunos já demonstram a noção de que, nesse contexto, um avião é lento (daí as risadas). Além de reprimir a chacota, o professor segue a explicação, ciente de que muitos outros alunos não têm ainda essa compreensão.

Essa maior “experiência” do professor, de uma aula para a outra, se observa também mais a frente, na discussão sobre a relatividade do tempo e do espaço. Aliás, nesse momento, a preocupação em corrigir os erros de interpretação do grupo se mostra intensa, sem desvalorizar o trabalho apresentado:

PROFESSOR: “Então, a Teoria da Relatividade... o grupo colocou muito legal: tempo e espaço são relativos. – escrevendo abaixo do nome de Einstein, completando a linha do tempo – Agora, na hora de tentar explicar o que seria essa relatividade, a coisa ficou meio confusa... e é confusa mesmo e a gente não vai explicar ela agora, tão fácil! A gente vai discutir mais a frente. [de fato, na aula sobre o tema 3] Mas, só pra esclarecer: durante uma aula chata, parece

que os 50 minutos passam assim... demora um século, né? Pros 50 minutos passarem... Agora, o colega – apontando para o 5º INTEGRANTE, que deu o exemplo – deu um exemplo legal: pra jogar *videogame*, passa rapidinho! Nem vi passar 50 minutos! Isso é um caráter psicológico do tempo! Isso não tem nada a ver com a Teoria da Relatividade! Isso é uma percepção psicológica! Às vezes, numa atividade prazerosa, pra você, parece que passou rápido. Às vezes, numa atividade chata, parece que o tempo passou devagar. [...] O que a Teoria da Relatividade vai dizer – e alguns exemplos que vocês citaram iam nesse sentido [o referente ao paradoxo dos gêmeos] tem a ver com... realmente com o passar do tempo! Vocês conseguem imaginar alguma situação onde, pra mim, no meu relógio, o tempo vai passar mais rápido ou mais devagar do que pra ela (apontando pra uma aluna próxima), no relógio dela? – Alguns alunos fazem sinal de negativo com a cabeça – E eu não tô falando só do funcionamento do relógio, né? Um tá atrasado, o outro adiantado... não é isso! Tô falando do tempo passar mais rápido ou mais devagar, pra uma pessoa ou para a outra! Vocês conseguem imaginar alguma situação em que isso aconteça? – momentos de silêncio – A noção que a gente tem de tempo... o tempo passa igual pra todo mundo, né? Não tem por que o tempo passar mais devagar para mim e mais rápido para outra pessoa! E é essa noção que foi sendo construída ao longo de toda a história da Mecânica (aponta para a linha do tempo, de Aristóteles até Newton), quer dizer, lá em Newton isso tava presente. Então essa é a ideia de tempo absoluto! O tempo passa igual pra todo mundo! [...] A Teoria da Relatividade vai derrubar isso! Existem situações – e a gente não tá falando desse tempo psicológico, né? – existem situações onde o tempo pra mim pode passar mais rápido do que pra ela. Ela citou um exemplo – apontando para a 3ª INTEGRANTE – que seria se um carro estivesse em movimento. Só que ela falou ‘Ah, o carro a 60 km/h’. Não, aí não vai ter diferença nenhuma!”

ALUNA 3: “Mas não é um movimento...” - defendendo a fala da amiga.

PROFESSOR: “Eu sei! Mas o exemplo é válido, tá? Só que se o carro estivesse com uma velocidade muuuuuito alta, próxima à velocidade da luz. Aí a gente ia conseguir perceber que, de fato, pra mim, o tempo ia passar diferente que pra você. Pelo simples fato que você tá em altíssima velocidade. Tá entendendo?”

PROFESSOR: “[...] Na Teoria da Relatividade, tempo e espaço são coisas relativas... Só que no nosso dia-a-dia a gente não consegue perceber isso! Porque as velocidades no nosso dia-a-dia são velocidades baixas [comparadas à da luz, conforme discussão anterior]. Só se a gente conseguisse se mover com altíssimas velocidades é que a gente conseguiria perceber isso. Quer dizer, faça uma observação: por exemplo, já ouviram falar de GPS?”

O professor segue com a mesma discussão sobre a necessidade da Teoria da Relatividade para que o GPS tenha a precisão que tem hoje. Mais uma vez, a experiência vivida na aula da turma 1, onde um aluno entendeu que “se não consigo perceber no nosso dia-a-dia, então não faz diferença”, foi resgatada nesse momento. O professor se antecipou à essa interpretação e já começou a falar de aplicações ao dia-a-dia.

Em seguida, o professor segue com a discussão sobre a evolução do conceito de gravitação (queda dos corpos), desde Aristóteles, passando por Galileu e Newton, até a nova concepção de deformação do espaço-tempo, que será discutida algumas aulas a frente. O enfoque está na mudança de concepções. Nesse ponto, a ALUNA 1 faz importante observação: “Mas não teria chegado até aí se não fosse os outros, né?” Novamente o PROFESSOR esclarece as dúvidas:

Muito bem observado, né? A gente não teria chegado até aqui (apontando para a Teoria da Relatividade, na linha do tempo) se não tivesse as contribuições de Newton, se não tivesse as contribuições de Galileu e de todos anteriores, fora todos os nomes, né, que a gente não colocou aqui nessa nossa linha do tempo! Tem muitos outros, certo? (PROFESSOR)

O professor fecha o assunto, discutindo a relação massa-energia e comentando a famosa frase de Newton, de modo semelhante ao conduzido na turma 1, porém mais breve, pois a aula está encerrando. A discussão se encerra totalizando 17 minutos, incluindo a discussão sobre a frase de Newton.

Alguns alunos também se mostraram interessados em ler as cartas trocadas entre eles, o que reforçou a ideia do professor de colá-las no mural da sala. Ao final da aula, após o sinal ter tocado, um aluno quis tirar foto das cartas. O professor sugeriu que o aluno enviasse as fotos para os demais, via redes sociais. Um grupinho de três a quatro alunos ficou em torno do professor por mais uns instantes, perguntando a opinião dele a respeito da postura de Newton: a frase teria sido mesmo uma provocação devido à sua baixa estatura? Eis um indício de que a discussão promovida pelo professor rompeu a visão de ciência construída por alguns poucos pensadores geniais e isoladamente, em prol de uma visão de ciência histórica e coletivamente construída, por gente como a gente.

2: Tema 2 – Velocidade e referenciais: a velocidade da luz e o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial

Esse tema foi abordado por meio da leitura (em casa) de uma apostila com o texto “Velocidade Relativa: a velocidade da luz e o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial” de 10 páginas (APÊNDICE A, tema 2). Os alunos deveriam ler o texto em casa para, na data agendada, discutir-se sobre o texto em sala, contando com uma avaliação. O relato a seguir foi elaborado com base na análise da filmagem da aplicação da aula na turma 2. Infelizmente, por problemas técnicos, a filmagem da aplicação da aula na turma 1 foi perdida. Entretanto, o procedimento seguido pelo professor e as colocações efetuadas pelos alunos não diferem muito das ocorridas na turma 2.

No primeiro horário da aula anterior, o professor encerrou a resolução de exercícios sobre Movimento Uniforme. No segundo horário, explicou o assunto “velocidade relativa” (clássica) e fez alguns exemplos do livro. No final da aula, antes mesmo de entregar as apostilas para os alunos, aplicou o “Questionário prévio à leitura da apostila” (APÊNDICE B). Para motivar a participação dos alunos, este questionário valeu 0,5 ponto na média bimestral. Entretanto, para evitar vícios nas respostas, o único critério adotado para que o aluno ganhasse essa pontuação foi: responder honestamente e da maneira mais completa possível. Assim, alunos que, num primeiro momento, entregavam o questionário com respostas em branco ao professor, eram orientados por ele a retornar para a carteira e tentar responder as perguntas da maneira mais completa possível. Por outro lado, o professor frisou inúmeras vezes que “não há resposta certa ou errada para ganhar a nota, o importante era simplesmente responder honestamente”. Alguns alunos demonstraram dúvidas com relação às perguntas 3 e 4. O professor esclareceu o significado das perguntas, com o cuidado de não interferir na resposta dos alunos. Somente após recolher os questionários respondidos por todos alunos presentes, o professor entregou-lhes a apostila com o texto a ser lido para a discussão na aula posterior.

Na data previamente marcada, antes de iniciar a discussão sobre o texto da apostila, o professor certificou-se de que todos alunos estivessem com os textos guardados. Assim, aplicou o “questionário após a leitura da apostila” (APÊNDICE C). Mais uma vez, para motivar a participação, os questionários entregues com respostas honestas e o mais completas possível somariam 0,5 ponto na média bimestral dos alunos. O professor tomou também o devido cuidado de explicar que essa pontuação independia do fato de o aluno ter lido ou não o texto, já que havia uma série de perguntas para um caso e outra série de perguntas para o outro.

Alguns alunos identificaram que a questão 7 desse questionário era igual à questão 4 do questionário aplicado na aula anterior. O professor explicou que era assim mesmo: se eles tivessem mudado de opinião, por qualquer motivo, poderiam mudar a resposta, se não, poderiam escrever a mesma resposta. Alguns demonstraram mais curiosidade em saber a resposta correta, mas o professor insistiu que não podia dar a resposta ainda.

Desde o início das orientações sobre o questionário até terminar de recolhê-los, passaram-se 22 minutos (muito mais do que o professor-pesquisador esperava). Essa observação é importante porque esse tempo só foi tomado no contexto desse trabalho com o intuito de avaliar o produto educacional elaborado, isto é, ele não seria “perdido” numa aula comum, fora do contexto desse trabalho.

Recolhidos os questionários, os alunos foram orientados a colocar as apostilas sobre as mesas para iniciar a discussão do texto. Ela se deu simplesmente por meio das perguntas “a” a “t” do plano de aula desenvolvido para abordar o tema 2 (APÊNDICE A, tema 2). A participação dos alunos, ao tentar voluntariamente responder uma pergunta (levantando a mão) ou comentando/contestando a resposta de algum colega, também valeu uma pontuação.

a) O que significa dizer que os estados de repouso ou movimento são relativos?

Pelo menos³⁹ três alunos levantam a mão. Por cavalheirismo, o professor dá a preferência para a única dama:

ALUNA 1: “Porque depende.... depende do... de onde você tá, do referencial!

PROFESSOR: “Você pode dar um exemplo?”

Disse isso dirigindo-se ao ALUNO 1, que tinha levantado a mão. Mas ele fica sem reação. Vários alunos começam a falar ao mesmo tempo, mas o professor insiste que deve ser um de cada vez, para permitir a avaliação. Dá a palavra a uma aluna que não tinha levantado a mão inicialmente:

ALUNA 2: “Vamos supor que o chão aqui é o referencial. A gente tá vendo a apostila (sobre a mesa dela)... ela tá em repouso. Mas, por exemplo, se a gente tivesse no espaço, ela ia tá girando! Se a gente visse por esse ângulo, ela estaria em movimento.” (Refere-se à rotação, junto com o planeta Terra)

O professor registra o ponto positivo para as duas alunas. A turma fica automaticamente agitada, todos querem falar. O professor coloca ordem, dizendo que tem pergunta pra todo mundo, pois pra cada uma ele vai ouvir dois ou três alunos falarem. Insiste que levantem a mão para falar um de cada vez. O ALUNO 1 estava com a mão levantada, mas o professor passa para a próxima pergunta.

b) E a velocidade, também é relativa? Explique!

ALUNO 2: “Sim. Porque... Quando você tá numa velocidade maior, ela vai... ela vai.. tipo... uma velocidade muito alta, como a da luz... aí vai correr devagar e aí... tipo, a velocidade...”

PROFESSOR: “Não, peraí, tá muito confuso. Você!” – apontando para outra que tinha levantado a mão

ALUNA 3: “Tipo, ele quis dizer que a velocidade da luz é mais rápida que a de um carro... é a velocidade... aí, véi, depende, entendeu?”

A argumentação dos dois alunos parece ir no sentido de que cada corpo pode ter uma velocidade (uns mais lentos, outros mais rápidos). Interessante perceber como eles já tomam a luz como exemplo de algo que se move extremamente rápido. O professor intervém:

PROFESSOR: “Não é bem isso gente. Olha só, o estojo, pra um referencial, que é o chão, tá em repouso. Pra outro referencial, que é o espaço, tá em movimento! – retoma o exemplo da ALUNA 1 – **Isso** é ser relativo. Uma pessoa enxerga uma coisa outra pessoa enxerga outra. Com a velocidade também pode acontecer isso? Uma pessoa vê um valor de velocidade e outra pessoa vê outro valor de velocidade? Pro mesmo corpo?”

ALUNO 3: “Assim... Você falou um exemplo na última aula de dois carros, o carro A e o carro B. O carro A tá a... digamos que tá a 60 km/h. O carro B tá a 50 (km/h). É... a velocidade vai ser diminuindo, quer dizer, vai ser relativo. Vai ser um resultado diferente.”

³⁹ Como a turma é cheia e a sala não é muito comprida, o campo visual coberto pela câmera, posicionada no fundo da sala (nas costas dos alunos, deixando-os mais a vontade para participar), não contempla toda a turma. Assim, não é possível saber se algum aluno fora do campo visual levantou a mão.

PROFESSOR: “A velocidade do carro com relação ao chão é uma coisa, a velocidade do carro com relação ao outro carro, é outra, certo? Então a velocidade é relativa! Depende do referencial!”

c) Comente o significado das figuras 2, 3 e 4. (APÊNDICE A, tema 2, p. 169 a 177)

Como sentiu dificuldades ainda por parte da turma, o professor resolve trabalhar com os exemplos fornecidos pela apostila, reforçando o assunto “velocidade relativa” (clássica). Desenha no quadro a fig. 2 da apostila, onde um carro B se move para a direita com velocidade de 72 km/h e uma bicicleta para a esquerda com velocidade de 18 km/h. Pergunta qual aluno poderia fazer a conta no quadro. A ALUNA 4 se levanta e resolve corretamente, usando a expressão estudada na aula anterior.

PROFESSOR: “Muito bom! Então olha só, pro observador na bicicleta... ele vê esse carro se dirigindo em direção à ele com uma velocidade de 90 km/h. Mas a velocidade do carro com relação ao chão, é de 72 km/h. [...] Isso significa dizer que a velocidade é relativa: depende do referencial!” [...]

Para reforçar ainda mais, o professor faz o mesmo com a fig. 4 da apostila, onde agora o carro e a bicicleta se movem para a direita, com os mesmos módulos de velocidade do caso anterior. Convida o ALUNO 1 (aquele que não tinha conseguido dar um exemplo sobre a pergunta “a”) para resolver no quadro. O aluno resolve corretamente. Enquanto o professor reforça a explicação, alguns alunos demonstram dificuldade com o sinal negativo da velocidade no caso da fig. 1.⁴⁰ Depois dessa discussão, o professor fala do significado do resultado:

[...]

PROFESSOR: “Deu pra entender que a velocidade é uma coisa que depende do referencial? – alunos dizem “sim” – E nesse outro caso, né, a velocidade do carro com relação ao chão é 72 km/h [...], mas a velocidade do carro com relação a essa bicicleta, que agora tá indo para a direita, é apenas 54 km/h.”

O professor pretendia, ao final dessa resolução, discutir sobre a importância de se pedalar nas ruas sempre no mesmo sentido dos carros. Mas diante da confusão sobre o sinal negativo, acabou se esquecendo.

d) Por que a 2ª parte do texto se chama “A velocidade relativa que não é relativa: a velocidade da luz!”

ALUNA 3: “Que não tem como medir a velocidade da luz...”

PROFESSOR: “Não! Tem como sim! Falou de vários exemplos disso lá no texto!”

ALUNO 1: “É que tipo... a velocidade da luz não depende do referencial... a velocidade da luz é a mesma pra qualquer referencial...”

PROFESSOR: “Ficou claro pra você isso, na leitura? (ele acena que sim) Vocês entenderam o que ele falou?” – alguns dizem que “não”, mas a ALUNA 1 parece convicta que sim – Você também tinha entendido isso?”

ALUNA 1: “Sim!”

PROFESSOR: “A luz... a velocidade da luz não depende do referencial! É isso que, ao longo da discussão desse texto todo, praticamente, né? Ele vai chegar nessa conclusão: que a velocidade da luz não depende do referencial. [...] Então, gente, pra luz, a velocidade relativa dela... na verdade não é relativa, porque dá sempre o mesmo valor! É a essa conclusão que a gente vai chegar no final dessa discussão.”

⁴⁰ Utilizou-se a convenção de que a velocidade escalar pode ser positiva (para a direita) ou negativa (para a esquerda). A confusão foi com relação ao “jogo de sinal” efetuado entre o (-) da fórmula e o (-) da velocidade escalar: $v_{relativa} = v_B - v_A = 72 - (-18) = 72 + 18 = 90$ km/h. **Muitos** alunos apresentaram esse tipo de dificuldade!

e) Quem pode explicar o experimento ilustrado na fig. 5? (Experimento de Galileu)

[...]

ALUNO 4: “Eu não li, mas eu quero tentar responder, posso?” – os alunos estão consultando a apostila desde o início da aula. Assim, aqueles que não leram em casa tiveram algum tempo de consultá-la.

PROFESSOR: “Tenta, uai!”

ALUNO 4: “É que... as duas lâmpadas eles conseguiram enxergar na mesma hora. Se destampasse as duas ao mesmo tempo, eles iam enxergar a luz no mesmo segundo, na mesma hora...”

PROFESSOR: “Ahn... foi isso aí gente? Num foi bem isso não...”

ALUNO 2: “Era pra medir, tipo o tempo... tipo, na hora que o cara tira. – gesticulando – Aí ele queria medir, tipo, um segundo, assim... só que a distância era muito pouca!”

PROFESSOR: “Medir o tempo do quê?”

ALUNO 2: “O tempo da luz!” – vários responderam algo semelhante, junto com ele.

PROFESSOR: “É isso mesmo! A ideia do Galileu, com esse experimento [...] é tentar medir a velocidade da luz. [...] Como? Medindo o tempo, né? Ele sabia por exemplo que a distância daqui até aqui – apontando para os dois homens na figura, um de cada lado de um vale – era de quanto?”

ALUNO 2: “2 km”

PROFESSOR: “Isso, 2 km! Essa é a distância que a luz ia percorrer, não é isso? [...] Quando ele [Galileu] destampa a lanterna dele, a luz vai se movendo, vai se movendo, vai se movendo – escrevendo a trajetória da luz – chega no colega dele, não é isso? Aí o que o colega faz?”

ALUNA 4: “Ele destampa a lanterna dele também.”

PROFESSOR: “Destampa a lanterna dele também! Aí a luz sai da lanterna dele e vem andando, vem andando, vem andando – desenhando a trajetória de retorno – e chega até Galileu! Qual que era a ideia de Galileu?”

ALUNA 5: “Medir o tempo da ida e volta.”

PROFESSOR: “Isso! Você já ganhou positivo?”

ALUNA 5: “Não...”

A ALUNA 5 respondeu espontaneamente, como quem acompanha o raciocínio em voz alta, sem que o professor tivesse feito o procedimento típico da aula de esperá-los levantar a mão e dar a palavra para um deles. Mesmo assim, percebendo que ela ainda não tinha participado, o professor valoriza a participação dela, registrando o ponto.

[...]

PROFESSOR: “Ótimo! A ideia dele era medir o tempo que a luz demora para ir e voltar! Como é que isso me ajuda a descobrir a velocidade da luz, gente?”

ALUNA 4: “Velocidade média é igual a delta S sobre delta T”

PROFESSOR: “Isso!” – escrevendo a fórmula no quadro – Qual que é a distância que a luz percorreu aí nesse movimento?” – gesticula mostrando ida e volta.

Muitos respondem 2 km (que é apenas a distância do percurso de ida). Ao perceber a resposta o PROFESSOR intervém: “Opa... 2 km? Ela **foi e voltou!**” Neste instante muitos já começam a falar 4 km. E o PROFESSOR estimula outra vez: “Então foi de 4 km! Muito bom! Então esse seria o delta S. E o tempo ele ia tentar medir! Ótimo, então essa é a ideia do experimento!”

f) Por que a implementação desse experimento pode ser considerada inviável?

Alunos já saem falando sem nem levantar a mão: ALUNO 1: “Porque naquela época não tinha tecnologia.”; ALUNO 2: “Não, porque a distância era menor!”; ALUNO 5: “Porque a essa distância a luz nunca ia chegar do outro lado!” (do vale. Alguns riem da colocação.); ALUNA 4: “Porque tinha que ter uma distância maior.”

O professor capta a resposta correta e passa a palavra para ela, que coincidentemente foi a única a levantar a mão:

ALUNA 4: “Tinha que ter uma distância maior pra dar tempo dele medir e também não tinha como o amigo dele ver a luz e destampar a lanterna dele exatamente na mesma hora!”

PROFESSOR: “Isso, tá vendo, tem uma série de coi...” (interrompido)

ALUNO 6: “Não tinha como ser precisa!”

PROFESSOR: “Por quê?”

ALUNO 6: “Porque... que nem ela explicou... é... um abre, o outro vê e abre depois, certo? A gente só tem a capacidade de detectar a velocidade da luz com um aparelho feito para detectar... entendeu?”

PROFESSOR: “Bom, então você tá falando da questão da tecnologia, não tinha tecnologia, é isso?”

ALUNO 6: “É...”

PROFESSOR: “Aí isso não daria... **precisão?**”

ALUNO 6: “É...”

PROFESSOR: “Bom, ok, ok... Mas o ponto mais importante ninguém falou!”

Alguns perceberam e falam “porque precisaria de uma distância maior”. E o PROFESSOR argumenta: “Tá, mas por que precisaria de uma distância maior?”. Nesse instante o ALUNO 7 responde: “A velocidade da luz é muito grande!” Com essa resposta o PROFESSOR ratifica: “Opa! Esse é o ponto! A velocidade da luz é **muito** grande! Lê ai na apostila pra mim... quanto tempo a luz ia demorar para fazer esse movimento, gente? (fazendo gesto de ida e volta)” Vários alunos ditam o valor 0,000066 s. E o professor começa a escrever $\Delta t = 0,000066$ s no quadro.

PROFESSOR: “Zero vírgula quatro zeros e depois meia, meia, é isso? Olha o tempo que ia demorar para a luz fazer esse movimento (gesticulando novamente). Tinha tecnologia naquela época para medir um tempo desse? (aponta para o ALUNO 6)”

PROFESSOR: “Com essa distância pequenininha aí ele não ia conseguir medir nunca esse tempo! Certo? Além disso – acho que foi você que falou né? (apontando para a ALUNA 4) – tinha outras dificuldades, né? O tempo que ele ia demorar para enxergar a luz chegando e abrir a lanterna dele, né? Só o tempo que ele demorou pra abrir a lanterna dele já é muito maior do que isso! (apontando para o valor 0,000066 s) Então, realmente, esse experimento, desse jeito que Galileu pensou é inviável, não dá pra fazer! Mas já era um tentativa, né gente? De medir a velocidade da luz.”

g) Quem pode explicar, através da fig. 6, a ideia do experimento de Roemer?

Professor reproduz a figura a fig. 6 da apostila no quadro e chama a atenção para o fato de que a figura está fora de escala. Aproveita para explicar o que significa “estar fora de escala”. Lançada a pergunta “g”, depois de alguns instantes de silêncio, o aluno 6 é o único a criar coragem de falar:

ALUNO 6: “Ele... ele tentou medir a velocidade da... da luz, por Júpiter... por uma das luas de Júpiter... quando fazia um eclipse. Então ele tentou fazer isso pela lua da Terra... e eu acho que é isso.”

PROFESSOR: “A lua da Terra?”

ALUNO 6: “Ops... pela lua de Júpiter, e a distância da Terra. E ele obteve 215 mil quilômetros por segundo.”

Percebendo que a maioria realmente não tinha compreendido, o professor trata de explicá-lo de maneira mais simplificada do que a registrada na apostila (que já era uma simplificação):

PROFESSOR: “Então a ideia desse experimento era tentar avaliar o movimento da luz desde essa lua de Júpiter até a Terra. (mostrando no quadro a distância), certo? Só que ele fez isso em diferentes épocas do ano. Então, tem uma época do ano, ó, que a luz vai percorrer essa distância aqui. (desenha a distância até o ponto de maior aproximação).

ALUNO 6: “Da lua de Júpiter até a Terra? Da lua exíipse até a Terra?”

PROFESSOR: “Oi?”

ALUNO 6: “Aqui ele falou que tava alinhado em eclipse... da lua de Júpiter... com a Terra.”

PROFESSOR: “Certo, certo... mas eu tô simplificando bastante! A ideia era então tentar comparar o movimento para essa distância pequena (escreve “d”) e depois para essa distância grande (escreve “D”), a distância até o ponto de maior afastamento entre a Terra e Júpiter. Entenderam?”

A ALUNA 4 faz alguma pergunta referente ao eclipse, mas não é possível ouvir na gravação porque outros alunos estão discutindo sobre o problema ao mesmo tempo, mais próximos da câmera. Percebendo agora que as dúvidas dos alunos eram sobre o papel do eclipse no experimento, mas querendo contornar as dificuldades e simplificar o máximo possível, transmitindo a ideia essencial do experimento, ele responde:

PROFESSOR: “É, na verdade o eclipse aqui funciona como uma espécie de relógio, entende? Para ele determinar quando é que a luz de fato saiu do satélite, da lua de Júpiter. Mas a ideia então era comparar o movimento da luz nessas duas distâncias. Em qual movimento, gente, a luz ia chegar mais rápido até a Terra? Percorrendo a distância dezinho (d) ou percorrendo a distância dezoito (D)? Mais rápido significa em menor tempo, né gente?”

Alunos parecem meio confusos a princípio, mas logo percebem que seria para a menor distância.

PROFESSOR: “Tá vendo? Ele viu quanto tempo a luz demora para chegar nesse primeiro caso (gesticula, percorrendo a distância menor). Seis meses depois, a Terra tava lá do outro lado. Aí ele vê quanto tempo a luz ia demorar para chegar nesse outro caso (gesticula, percorrendo a distância maior). Entende? Comparando as duas coisas, ele conseguiu uma estimativa da velocidade da luz.”

Anota o valor no quadro e comenta sobre a precisão razoavelmente boa para a época. Faz um fechamento:

PROFESSOR: “Como você falou, ele usou agora uma distância maior: porque a distância da Terra até Júpiter é muito grande! Não é algo como 2 km! (diz sorrindo). É muuuito maior! Ta certo?”

h) Qual é o valor aproximado atualmente aceito para a velocidade da luz no vácuo?

Feita a pergunta, vários alunos começam a ler o valor preciso na apostila. O professor enfatiza o “aproximadamente”. Apenas alguns passam a ler o valor aproximado, fornecido logo abaixo na apostila. Enquanto isso o professor anota o ponto positivo para os ALUNO 6 e 7.

PROFESSOR: “Ótimo! Pessoal, foram só esses dois experimentos aí que tentaram medir a velocidade da luz? (a maioria responde negativamente) Tem vários outros experimentos, até hoje viu, muito mais preciso, que mediram a velocidade da luz, né? Com tecnologias novas (apontando para o ALUNO 6)... E hoje o valor mais aceito para a velocidade da luz no vácuo é **aproximadamente**, tá? Arredondando... 300 000 km/s. Isso... em 1 s a luz seria capaz de percorrer sete voltas e meia em torno da Terra, gente! É rápido?”

Vários alunos exclamam: “Jesus...”, “Nossa!”, “É rápido...”, ao mesmo tempo.

PROFESSOR: “Senhores, não tem nada que a gente conheça no universo mais rápido do que a luz... Tá bom? Seguindo adiante: até agora nós falamos dos experimentos que tentaram medir a velocidade da luz, certo? Agora a gente vai falar dos experimentos que tentaram medir a **velocidade relativa** da luz, a velocidade da luz com relação a diferentes referenciais, digamos assim!”

i) Quem pode explicar o experimento de Arago, na fig. 7?

Enquanto o professor apaga o quadro, orienta os alunos a irem pensando, vendo a figura. Eles procuram na apostila e conversam entre si enquanto o professor reproduz no quadro a fig. 7 da apostila. É possível ouvir vários alunos tentando explicar o experimento uns para os outros. Finalmente o professor escolhe um aluno que ainda não tinha contribuído e estava com a mão levantada. Apesar de falar de maneira confusa, o ALUNO 8 acaba transmitindo a ideia de que a velocidade proveniente de um lado se somará com a da Terra, enquanto a proveniente do outro se subtrairá. Diante da confusão, o professor pergunta para a turma qual é “a ideia” do experimento. A ALUNA 4 também demonstra compreensão:

ALUNA 4: “É que ele queria saber se variava [a velocidade da luz] dependendo da direção, do sentido [do movimento da luz em relação ao movimento da Terra]. Que nem no caso da bicicleta e do carro, que quando muda o sentido muda a velocidade relativa. Ele queria saber se com a luz é a mesma coisa.”

O professor valoriza a comparação (de fato, tinha deixado os desenhos e cálculos das figuras 2 e 4 da apostila no quadro justamente para, posteriormente, fazer essa comparação). Mostra então que o experimento visava a medir a velocidade da luz com relação a Terra nos dois casos: quando a luz se move no mesmo sentido ou no sentido contrário ao movimento de translação Terra.

j) Quem pode calcular a velocidade da luz de B com relação à Terra?

k) Quem pode calcular a velocidade da luz de C com relação à Terra?

O professor convida dois alunos que ainda não participaram da discussão para fazer os cálculos, usando a expressão clássica para determinação da velocidade relativa. A estratégia visa a reforçar ainda mais o cálculo da velocidade relativa clássica. De fato, é como se o professor estivesse corrigindo exercícios sobre o tema em sala. Mas ele já está aproveitando

as situações para percorrer a trajetória histórica que fornecerá as bases para os alunos “aceitarem” o 2º postulado da Teoria da Relatividade Especial.

Enquanto os alunos efetuam os cálculos no quadro, o professor anota o ponto positivo em seu controle da avaliação de participação. Terminados os cálculos, faz questão de explicá-los novamente, inclusive identificando erros de sinal novamente. Os resultados encontrados são: +300 030 km/s no primeiro caso e - 299 970 km/s no segundo. O professor frisa o significado do sinal negativo no segundo caso (sentido do movimento da luz: para a esquerda). Antes de passar para a próxima pergunta, o professor frisa que os cálculos foram realizados com a expressão da velocidade relativa da Mecânica Clássica.

l) Foram esses resultados que o experimento de Arago encontrou? Explique.

Enquanto alguns alunos dizem que “sim” (provavelmente não leram o texto), outros dizem que “não”. Uma aluna destaca que “ele não encontrou diferença”. O professor anota em cor vermelha no quadro os valores encontrados: 300 000 km/s, nos dois casos. Um aluno pergunta: “por quê?” Outra comenta:

ALUNA 4: “Mas é porque tava no mesmo referencial, não é?”

PROFESSOR: “O referencial é o mesmo, mas estamos medindo a velocidade de coisas diferentes. Aqui (mostrando os casos envolvendo o carro e da bicicleta) o referencial também era o mesmo, a bicicleta, só que as situações eram diferentes (...) Aqui então, gente, é a mesma situação. A Terra é a bicicleta, a luz da estrela é o carro B. Tem uma situação em que eles estão se aproximando (gesticula, indicando movimento com sentidos opostos) e tem outra situação em que eles se movem no mesmo sentido! (...) Entretanto, o experimento não encontrou esses valores, não encontrou diferenças entre os dois valores.”

Os alunos parecem confusos. Uma pergunta mais uma vez: “Por quê?”

PROFESSOR: “Aí é que tá! Ninguém sabia explicar isso na época! Como é que dá o mesmo resultado? A gente sempre fez velocidade relativa desse jeito e sempre deu certo! Tá entendendo? A gente fazia com carro, com bicicleta, com carroça, sei lá com o quê... e dava sempre certo! Por que com a luz deu diferente? É o questionamento, entende? Mas era o resultado do experimento! E aliás, foi só esse experimento que tentou medir a velocidade relativa da luz?”

ALUNA 5: “Não! (imediatamente), teve o outro! O dos espelhos...”

m) Houve outros experimentos que chegaram à mesma conclusão? Comente.

O professor busca algum aluno que ainda não tenha participado (ganhado o ponto positivo), mas ninguém se manifesta. Então ele pede para um aluno que já participou mesmo responder. Vários citam os nomes de Michelson e Morley, lendo-os na apostila com certa dificuldade de pronúncia.

PROFESSOR: “Esse experimento ficou muito famoso! Alguém conseguiu entender esse parágrafo aí?”

Muitos protestaram, dizendo que tava muito confuso, que não deu pra entender mesmo, que era muito difícil.

PROFESSOR: “É um experimento bem complexo, né? Só de olhar pra figura você já vê que o aparato experimental utilizado aí é bem complexo, né? O interessante, o importante desse experimento é que ele foi muito preciso, muito preciso. Então a comunidade científica começou a entender que, se tivesse alguma diferença entre essas duas velocidades relativas (apontando para os dois casos discutidos há pouco no quadro), esse experimento seria capaz de detectar. E ele detectou alguma diferença, gente?”

Muitos respondem que “não.” Nisso um aluno pergunta a necessidade do tanque de mercúrio no aparato utilizado para o experimento, representado na fig. 8 da apostila.

n) Esses resultados experimentais são compatíveis com as leis da Mecânica Clássica? Comente.

De início os alunos parecem meio confusos com a pergunta. O professor esclarece o significado da palavra “compatíveis”, e sugere:

PROFESSOR: “De que leis da Mecânica Clássica a pergunta tá falando, gente? Da lei da velocidade relativa!”

Diante disso, a maioria responde que não é compatível. Alguns ainda falam “sim”. Então o professor mostra a incompatibilidade entre as duas coisas. O professor prossegue para uma breve descrição histórica até chegar a ideia dos dois postulados da Teoria da Relatividade Especial como forma de reformular as leis da mecânica.

o) No desenvolvimento de um modelo científico, o que é um “postulado” ou “princípio”?

ALUNA 5: “Princípios...”

Preocupado com o tempo, o professor já não abre tanto espaço para discussão e segue conduzindo a discussão:

PROFESSOR: “Princípios! Ótimo! O que é um princípio para uma teoria científica?”

Alguns alunos falam: “o começo”, outros “a primeira ideia”.

PROFESSOR: “Isso! A primeira ideia! A ideia mais fundamental, entende? Então Einstein, pra reformular as leis da Mecânica Clássica, ele resolveu partir de dois princípios! Que a gente costuma chamar também de dois postulados. Qual que é o primeiro postulado? Agora, por favor, alguém que ainda não participou!”

p) Qual é o primeiro postulado da Teoria da Relatividade Especial, de Albert Einstein?

q) Qual é o seu segundo postulado?

A ALUNA 6 lê os dois postulados, em destaque na apostila.

PROFESSOR: “Isso! Então Einstein teve que partir dessas duas ideias fundamentais, e a partir dessas ideias ele reformulou a Mecânica que tinha até então, como essa lei aqui

(apontando para a fórmula da velocidade relativa clássica), por exemplo, e várias outras. Então, as ideias fundamentais são: as leis físicas são as mesmas para todo mundo, pra qualquer referencial... e a segunda é essa dos experimentos que a gente viu! A velocidade da luz é a mesma para qualquer referencial! O experimento tá me mostrando isso, então vamos partir disso! Certo?”

Os alunos demonstram um pouco de inquietação, parecem cansados. A discussão está demorando mais do que o professor esperava. Ele tenta agilizar, pulando a questão “r” e partindo para a discussão do limite de validade da Mecânica Clássica.

Discussão sobre o limite de validade da Mecânica Clássica

Antes de partir para a próxima pergunta, o professor escreve as expressões clássica e relativística para o cálculo da velocidade relativa no quadro. Comenta: “é isso que significa reformular as leis da Física, tá?” Uma aluna pergunta se há alguma chance da segunda fórmula cair na prova. O professor imediatamente diz que “não, chance zero!”

PROFESSOR: “Gente, não se preocupe com essa fórmula, não vai ter que fazer cálculo com essa fórmula na prova! Podem ficar tranquilos! A gente só vai usar ela agora pra entender o que é reformular um modelo científico, fazer uma nova mecânica. Então na Teoria da Relatividade, partindo daqueles dois princípios, o Einstein chegou nessa nova expressão pra calcular a velocidade relativa. Aí é interessante, que se a gente utilizar... a apostila fez esses cálculos com vocês, né? Não precisa se preocupar, não precisa fazer. Se a gente usar essa expressão pra calcular a velocidade relativa nesse caso aqui? (apontando para o carro e a bicicleta) (...) Que resposta que a gente encontrou? A mesma! Vocês viram isso na apostila?”

ALUNA 1: “Sim!”

O professor não efetua os cálculos em sala, por não haver tempo. Mas anota o resultado no quadro.

PROFESSOR: “Então, assim, nessas situações do nosso dia-a-dia, do nosso cotidiano, a Teoria da Relatividade faz previsões de acordo com a Mecânica Clássica, tá certo? Isso significa que, pro seu dia-a-dia, você pode usar essa (aponta para a expressão clássica para cálculo da velocidade relativa), é muito mais simples e dá o mesmo resultado. **Mas** tem algumas situações onde, se você usar essa expressão (apontando para a mesma), vai dar errado! E se você usar essa expressão (apontando para a relativística), vai dar certo! Que situação foi essa, que tá aí na sua apostila?”

Os alunos indicam a fig. 9 da apostila, onde duas naves se movem em sentidos opostos, cada uma com velocidade de módulo $0,6c$.

PROFESSOR: “Ah, o que significa $0,6c$, gente?”

ALUNO 8: “Celeridade!”

PROFESSOR: “sim, ‘c’ significa celeridade. Mas é um símbolo que é usado para quê?”

ALUNO 8: “Pra velocidade da luz no vácuo, professor!”

(...)

PROFESSOR: “Isso! Então ‘c’ é esse valor, 300 000 km/s. Então, $0,6c$ é 0,6 vezes 300 000 km/s. Tá perto da velocidade da luz... é 60% da velocidade da luz! Aí, ó, se você calcular a velocidade relativa para essas naves usando a expressão clássica, qual é o resultado que se encontra, gente? (alunos respondem, olhando o cálculo na apostila) Isso, $1,2c$! Mas esse resultado tá errado! Experimentalmente verifica-se que não é isso! Então, pra essas velocidades muito altas, quando os corpos se movem com velocidades próximas à velocidade da luz, se você usar essa expressão não dá certo (apontando para a expressão clássica). Tá errado. Aqui a Mecânica Clássica começa a falhar! Agora, se você usar essa outra aqui (aponta para a relativística), qual é o resultado que a apostila encontrou? (alunos informam) Isso, $0,88c$. E a gente observa experimentalmente que é esse aqui que está correto! Tão entendendo o que eu to falando? (alunos dizem que sim). Então deixa eu ver se estão mesmo.”

Assim, segue para as demais perguntas.

s) Em que tipo de situação a Teoria da Relatividade é mais precisa, isto é, fornece resultados mais corretos do que a Mecânica Clássica?

ALUNO 2: “Para velocidades mais rápidas!”

PROFESSOR: “Mais rápidas quanto?”

ALUNO 2: “Aproximadamente a velocidade da luz!”

O professor toma como exemplo um jato, o jato mais rápido que já voou pela face da Terra. Pergunta se ele está próximo da velocidade da luz. Os alunos dizem que não. Alguns sugerem que o som estaria, o professor esclarece que não. Retomando o raciocínio, o professor mostra que pra esse jato, usar a expressão clássica pra calcular a velocidade relativa é suficiente.

PROFESSOR: “Então essa não funciona (referindo-se à expressão clássica para a velocidade relativa) pra coisas que se movem **realmente** muito rápidos, com velocidade próximas a da luz. Aí, meu amigo, as leis da Mecânica Clássica não funcionam mais.”

(...)

ALUNO 3: “Então a Teoria da Relatividade só serve para corpos com velocidade próxima a da luz?”

PROFESSOR: “Opa! Presta atenção todo mundo nessa pergunta que ela vai ser questão de prova, hein gente! (o aluno repete) E aí, o que vocês acham, tá certo ou tá errado?”

A maioria diz que “não”, mas alguns ainda dizem “sim”.

ALUNA 4: “Não, ela serve para todos os casos. Só que você não vai usar uma fórmula desse tamanho (referindo-se à expressão relativística) se você puder usar aquela ali bem mas fácil (referindo-se à clássica)”

PROFESSOR: “Isso! A Teoria da Relatividade serve para todos os casos! Só que tem situações que tanto faz qual você vai usar (referindo-se às duas expressões) Né? Que situações são essas? De velocidades baixas, comparadas à da luz. (...) Então, atenção para isso: a Teoria

da Relatividade se aplica tanto para corpos rápidos como para corpos lentos. Ela serve para todas situações! Agora, em quais situações a Mecânica Clássica dá um resultado diferente do da Teoria da Relatividade?”

ALUNO 9: “Velocidades muito altas!”

t) Então as leis da Mecânica Clássica estão erradas? Comente.

Turma, em coro, diz: “Não!”

PROFESSOR: “Por quê?”

ALUNO 1: “Porque ela serve para velocidades baixas!”

PROFESSOR: “Ótimo! Ela funciona muito bem pra velocidades baixas, pra maioria das situações do nosso dia-a-dia!”

ALUNA 4: “Também foram essas leis que fizeram Einstein questionar aqueles resultados experimentais, o que levou às novas leis da Teoria da Relatividade.”

PROFESSOR: “ÓTIMO! É isso aí! Muito bom!”

Encerramento da aula

Terminada toda essa discussão, aproximando-se o toque do sinal, o professor aproveita para matar a curiosidade que os alunos demonstraram com a questão 7 do “questionário após a leitura da apostila”.

PROFESSOR: “Agora me respondam a questão 7! Vamos ver se vocês entenderam!”

ALUNA 5: “Professor, eu não sei, é maior, menor ou igual?”

Outros alunos já dizem categoricamente que a resposta é “igual”. Inicia-se uma discussão com outros alunos, que acham que a resposta correta é “maior”. Isso tudo antes mesmo do professor reler a pergunta. Após relê-la, ele diz:

PROFESSOR: “A velocidade da luz, depende do referencial, gente?”

É possível escutar apenas 1 “sim” em meio a vários “não”. O professor nem precisa terminar o raciocínio, e muitos já começam a responder novamente a questão 7: “É igual! É igual!” Então o professor completa o raciocínio:

PROFESSOR: “A velocidade da luz é a mesma... em qualquer caso! Ela não depende do referencial”

Há uma comemoração por parte de vários, outros se mostram frustrados por terem errado. Em meio a tudo isso, o professor fica surpreso com o quanto a questão despertou a curiosidade dos alunos, seja pelo problema físico em si, seja por uma disputa entre opiniões divergentes na turma. Alguns ainda parecem não compreender o porquê.

PROFESSOR: “Calma, gente! Vocês não erraram! Vocês só não tinham estudado o assunto ainda! Agora vocês já estudaram! Agora vejam, que os resultados experimentais e os postulados da Teoria da Relatividade me garantem isso, garantem que a velocidade da luz vai ser a mesma para qualquer referencial, esteja ele em repouso, em movimento, esteja a luz indo ou vindo, pra um lado ou pra outro... Agora, essa é outra pergunta muito boa para colocar na prova: e será que a Teoria da Relatividade... um dia não vão mostrar que, de repente, ela está errada?”

Vários alunos dizem que “sim”, ou “vai”. O professor provoca:

PROFESSOR: “Tem certeza, gente?”

Muitos continuam confirmando a resposta. A turma vira um falatório danado, mas, aparentemente, sobre o assunto.

3: Tema 3 – Dilatação do tempo e contração do espaço

O plano de aula elaborado para abordar esse tema propõe a apresentação de trechos do filme de ficção científica “Interestelar” (2014) que ilustra os efeitos da dilatação do tempo para um astronauta e sua família como instrumento para exemplificar esse efeito relativístico tão abstrato. Na trama, o astronauta visita um planeta que orbita um buraco-negro. O forte campo gravitacional do buraco-negro faz com que cada hora no planeta corresponda a 7 anos na Terra. Assim, quando o astronauta retorna do planeta, passaram-se mais de 23 anos na Terra. Ele tem a oportunidade de ver seus filhos crescerem e envelhecerem por meio de vídeos enviados esporadicamente da Terra para a estação espacial em que eles se encontram, até ver sua filha, que era adolescente quando ele partiu, atingir a sua idade.

Para motivar as turmas, o professor organizou uma “seção cinema” na escola, no turno contrário à aula, que foi realizada no dia anterior, onde o filme foi integralmente passado aos alunos (totalizando cerca de 3h de duração), com direito a pipoca e refrigerante. Essa atividade contou com a participação de 18 alunos, dos quais apenas 4 eram da turma 1 e os demais da turma 2.

Numa segunda parte do plano de aula, propõe-se uma apresentação de slides para explicar os conceitos de dilatação do tempo e contração do espaço. Inicialmente, identifica-se, a partir de cenas do filme, quais são os dois fatores que, segundo a Teoria da Relatividade, promovem a dilatação do tempo: o movimento em velocidades próximas à da luz ou a exposição a um forte campo gravitacional. Depara-se essa dilatação frente a possíveis efeitos biológicos ou à percepção psicológica do fluxo temporal. Em seguida, partindo de situações clássicas e aplicando a elas o 2º postulado da Teoria da Relatividade Espacial, mostra-se qualitativamente esses conceitos, usando também a fórmula para o cálculo da velocidade média. Encerra-se a apresentação de slides comentando algumas provas experimentais e aplicações da dilatação do tempo, como por exemplo ao sistema GPS.

A avaliação da aplicação desse plano de aulas, se deu com base na observação de uma pesquisadora à aula conduzida na turma 1. Ela se posicionou ao fundo da sala e permaneceu em silêncio o tempo todo, de modo que mal foi notada pelos alunos. Durante a aula a pesquisadora-observadora efetuou uma série de anotações. Ao termina dela, pegou algumas informações com o professor-regente. Com esses dados, elaborou o “Relatório de aplicação do produto educacional” (ANEXO B), ao qual esse texto se remeterá durante a análise de

dados. Como a condução da aula na turma 2 e a participação dos alunos nessa turma foram muito semelhantes ao ocorrido na turma 1, julgou-se que este relatório é instrumento suficiente para se atingir os objetivos deste trabalho.

4: Tema 4 – Deformação do espaço-tempo: a inércia segundo a Teoria da Relatividade Geral

Para análise da abordagem desse tema em sala de aula, optou-se por relatar primeiro a aula desenvolvida na turma 1, que foi a primeira aplicação do professor, no 2º horário do dia. O relato se baseia na análise da filmagem da aula. Após esse relato, será apresentada uma discussão a respeito das melhorias promovidas pelo professor para a segunda aplicação do mesmo plano de aula, na turma 2. Também serão inseridas algumas colocações efetuadas pelos alunos dessa turma.

4.1: Relato da aplicação do plano de aula abordando o tema 4 na turma 1

Em uma aula dupla, de 100 minutos, o professor destinou a maior parte da primeira aula (40 min) para a realização de exercícios de revisão em duplas e concentrou seus esforços em tirar as dúvidas de cada dupla, carteira a carteira. No restante do tempo (60 min), abordou o tema 4.

Inicialmente, pediu que os alunos reorganizassem as carteiras em forma de U, ocupando somente as laterais e o fundo da sala, voltados para o centro. Os alunos permaneceram sentados em duplas. O professor escreve algumas observações no quadro, contrastando a Mecânica Clássica com a Teoria da Relatividade nos assuntos “Lei da Inércia” e “Gravitação”, conforme esquema na Figura 4 - Esquema comparando a Lei da Inércia e a Gravitação entre a Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade Geral a seguir:

Figura 4 - Esquema comparando a Lei da Inércia e a Gravitação entre a Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade Geral

| <u>Mecânica Clássica</u> | <u>Teoria da Relatividade Geral</u> |
|--|--|
| <p><u>1ª Lei de Newton: Lei da Inércia:</u></p> <p>Se $F_R = 0$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Repouso (Eq. Estático)} \\ \text{M.R.U. (Eq. Dinâmico)} \end{array} \right.$</p> <p><u>Lei da Gravitação Universal</u></p> <p>“matéria atrai matéria” $\rightarrow \vec{F}_G$ ou \vec{P}</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A Lei da Inércia Clássica aplica-se a um espaço-tempo não deformado (plano) • A massa de um corpo (planeta, estrela, buraco-negro, etc.) deforma o espaço-tempo, alterando os estados de inércia. |

Enquanto os alunos copiam as observações no caderno, o professor estende um lençol branco quadriculado sobre o chão, no meio da sala, de modo que todos possam visualizar. Pega um conjunto de bolas emprestadas pela professora de Educação Física e escolhe, dentre elas, uma bola pequena e mais leve (bola de pingue-pongue) e outra maior e mais pesada

(bola de basquete). Por fim, entrega para cada dupla uma cópia da “Atividade – Noções de Teoria da Relatividade Geral: a inércia e a deformação do espaço-tempo” (APÊNDICE A, tema 4) e espera o tempo necessário para os alunos copiarem do quadro, reforçando que o assunto será cobrado na prova, na próxima semana. Finalmente inicia-se a discussão:

PROFESSOR: “Vamos começar revisando. A gente viu que ao longo da história da Mecânica o Newton pegou as várias ideias que tinha sobre o movimento dos corpos, de Galileu, Kepler e muitos outros que a gente ainda vai ver, e sintetizou tudo, né? Sintetizou principalmente na forma do que a gente hoje chama de ‘As Três Leis do Movimento’. Qual é a Primeira Lei de Newton mesmo?”

ALUNO 1: “Lei da Inércia!”

PROFESSOR: “Ótimo. E o que diz a Lei da Inércia?”

ALUNO 1: “Ela diz que...”

Vários começam a falar ao mesmo tempo, em geral enunciando de uma forma diferente. O professor pede calma e passa a palavra ao ALUNO 2:

ALUNO 2: “Um corpo em repouso vai ficar em repouso e um corpo em movimento vai ficar em movimento retilíneo e uniforme, a não ser que uma força aja sobre eles.”

PROFESSOR: “Isso! Explicou direitinho, né? Já podem responder aí a 1ª então...” (referindo-se à primeira questão da atividade, a saber: “Explique, com suas palavras, a 1ª Lei de Newton: a Lei da Inércia”)

Alguns alunos demonstram ainda dúvida. O professor se dirige a eles e intervém para esclarecê-las. Faz ainda um fechamento, enunciando a lei mais uma vez, apontando para o esquema colocado no quadro. Dá o tempo para os alunos escreverem suas respostas e inicia a demonstração com o lençol e a bolinha:

PROFESSOR: “Ta claro aí pra todo mundo? Então a gente vai representar isso aqui, agora, usando esse pequeno tecido (...) (estica o tecido sobre o chão, retirando suas rugas). Aqui eu tenho um pequeno corpo (pegando a bolinha de pingue-pongue). Se eu coloco ele nessa posição – e aí nós vamos dizer que esse tecido, logo a seguir, quando a gente falar da Teoria da Relatividade, representa o espaço-tempo. **Representa** o espaço-tempo. É só uma **comparação**, uma **analogia** que a gente ta fazendo. Mas por enquanto vamos ficar só na Lei de Newton mesmo: a inércia na visão da Mecânica Clássica, né? Então se eu coloquei um corpo ali em repouso (apontando para a bolinha) e não tem nenhuma força resultante agindo sobre ele, ele vai... (apontando para a bolinha)”

VÁRIOS ALUNOS: “Ficar em repouso!”

PROFESSOR: “Permanecer em repouso. Pra ele sair do repouso, só se (...) uma força resultante tirar ele do repouso (dando um impulso na bolinha com o dedo – um ‘peteleco’, fazendo-a mover-se) Similarmente, se este corpo estava em movimento, (lança a bolinha sobre o lençol, rolando ao longo de uma das linhas do quadriculado. A bolinha pára após percorrer um ou dois metros) a tendência natural dele é continuar em movimento...”

VÁRIOS ALUNOS COMPLEMENTAM: “retilíneo uniforme!”

PROFESSOR: “Aí aqui já dá pra ver que a nossa analogia já tem um problema, né? A comparação que a gente ta fazendo já tem um problema. Este corpo continuou em movimento retilíneo uniforme até o fim da vida, gente?”

ALUNOS: “Não!”

PROFESSOR: “Por que esse corpo parou?”

ALUNO 3: “Por causa da gravidade...”

PROFESSOR: “Não, não é por causa da gravidade...”

ALUNO 4: “Por causa do atrito!”

PROFESSOR: “Por causa do... (apontando para o aluno)”

VÁRIOS ALUNOS: “Atrito!”

PROFESSOR: “O atrito do corpo com o chão (atrito de rolamento, o qual não é explicado em detalhes) e o atrito com o ar (resistência do ar ao movimento).⁴¹ Então o ar e o chão fizeram uma força que reduziu o movimento desse corpo. Mas vocês entenderam a analogia, né? Se não tivesse nenhuma força de fato... esse corpo estaria em movimento e ia continuar em movimento em linha reta e com velocidade constante, certo? Então, por exemplo, ele poderia seguir uma dessas linhas (no lençol) retinhas (...). Isso é a Lei da Inércia na visão da Mecânica Clássica, tá? De Newton e todos que vieram depois dele... O que nós vamos ver agora é que na Teoria da Relatividade – que começou a surgir aí em... 1905, né? – isso aí começou a mudar! E, particularmente, no que a gente chama de a Teoria da Relatividade Geral – que surgiu por volta de 1915 e 1916 – aí a gente tem uma mudança de visão muito grande! A gente já viu aí nas aulas anteriores que na Teoria da Relatividade o tempo não é absoluto (alguns alunos completam o termo ‘absoluto’ junto com ele), o tempo é relativo (novamente, alguns alunos falam junto com o professor), né? Depende do referencial! Lembra dessa discussão que a gente fez? Que o tempo passava diferente para uma pessoa em repouso e para uma pessoa que ela via em movimento? Lembra disso? Que a gente até viu no filme essa ideia, né? Só que lá, mais devido à gravidade. Certo? Então, na Teoria da Relatividade, o tempo é relativo, o espaço é relativo, e essas duas coisas são, assim, totalmente interdependentes. Uma coisa tá amarrada com a outra! O espaço tá amarrado com o tempo. Por isso, na Teoria da Relatividade a gente fala de **espaço-tempo**, como se fosse uma coisa só, certo? Esse espaço-tempo, na nossa analogia, tá sendo representado por esse tecido. E o que a gente observa, na Teoria da Relatividade **Geral**, é que a Lei da Inércia funciona desse jeito que a gente viu, da Mecânica Clássica, quando o espaço-tempo tá assim ó (apontando para o lençol esticado sobre o chão), retinho, plano... quando ele não está **deformado**, quando ele não está distorcido. Aí a Lei da Inércia funciona desse jeito: se o corpo tá em repouso (coloca a bolinha novamente em repouso sobre o lençol), a menos que uma força retire ele desse estado. Se o corpo tá em movimento, ele tende a continuar em movimento retilíneo uniforme, a menos que uma força faça ele fazer uma curva ou coisa desse tipo, certo?”

⁴¹ A força de atrito e a força de resistência do ar serão estudados mais profundamente posteriormente. Entretanto, ao longo das aulas, o professor sempre as menciona em seus exemplos, numa abordagem qualitativa. Vide, por exemplo, discussão sobre “queda livre” e “resistência do ar” na discussão do tema 1 – texto 2.

Os alunos seguem em silêncio e atentos às explicações e demonstrações. O professor dirige-se ao quadro e aponta para o próximo tópico:

PROFESSOR: “Agora, o que a gente vê na Teoria da Relatividade Geral é que a massa de um corpo – especialmente se for um corpo assim, muito massivo, muito grande, tipo um planeta, uma estrela, um buraco-negro... A massa de um corpo, ela é capaz de deformar o espaço-tempo.”

Professor pega a bola de basquete e convoca dois voluntários para auxiliá-lo. Imediatamente os alunos 1 e 5 se levantam. O professor os orienta a pegar o lençol e estendê-lo na horizontal mas suspenso acima do chão, segurando uma extremidade com cada mão. Os alunos prontamente o fazem. O professor posiciona a bola maior no centro do lençol, o que o torna curvado, deformado.

PROFESSOR: “Olha, o que está acontecendo aqui? Qual é a ideia que a gente quer representar? Suponha, por exemplo, que esta bola de basquete seja a Terra, com a sua massa enorme, né? O que a Terra está fazendo com aquele espaço-tempo que estava retinho, tava plano? Está deformando ele, está curvando ele, certo? E aí, galera, nesse espaço-tempo deformado pela Terra, se eu pegar um corpo e colocá-lo em repouso, a tendência natural dele é permanecer em repouso? (executa a demonstração com a bolinha, posicionando-a em repouso sobre determinada parte inclinada do lençol, devido à presença da bola maior. Naturalmente, a bolinha inicia um movimento em direção à bola maior).”

ALUNO 2: “Não, ele se move pra Terra...”

PROFESSOR: “A tendência natural é ele se mover em direção à...”

O professor percebe o braço de um aluno tremendo. Notando o cansaço, ele convida mais dois para auxiliá-los a manter o lençol suspenso. Prontamente os alunos 5 e 6 se levantam, parecem empolgados em poder participar de uma aula diferente. Agora cada um segura um dos vértices do lençol. O professor os orienta a tentar não esticar demais a ponto do lençol ficar muito plano, e nem de menos, a ponto de se formarem muitas ‘ruga’. A turma brinca com o colega cansado, num clima amistoso, mas assim que o professor retoma a palavra, fica atenta:

PROFESSOR: “Então, ó, como a Terra... a massa da Terra, deformou o espaço-tempo, mudou as propriedades do tempo e do espaço em volta dela, tá? Se eu coloco um corpo em repouso (repete a demonstração) a tendência dele não é continuar em repouso, é cair em direção à Terra, certo? É assim que o Einstein, na Teoria da Relatividade, explica porque um corpo cai (afasta-se do lençol e demonstra a simples queda da bolinha menor até o chão) em direção à Terra (aponta para baixo), certo? Não é porque tem uma força puxando o corpo para baixo! Na Teoria da Relatividade não tem força nenhuma puxando o corpo para baixo. O corpo cai por inércia! Só que a inércia está alterada pela deformação do espaço-tempo!”

O professor reforça mais uma vez a fala, repetindo de novo a demonstração. A ALUNA 1 pergunta:

ALUNA 1: “Então, tipo, não tem força de atração nenhuma?”

PROFESSOR: “Não! Não é uma força! Ao invés de ser uma força, é a deformação do espaço-tempo, é o espaço-tempo que tá diferente e aí... mudou a Lei da Inércia! Outra coisa, se eu lançar um corpo em movimento, nesse espaço tempo deformado aqui (referindo-se ao lençol), ele vai tender a continuar em linha reta?”

VÁRIOS ALUNOS: “Não...”

PROFESSOR: “Vai fazer uma...”

ALUNO 3: “Curva!”

O professor lança a bolinha a certa distância da bola maior e numa direção paralela à sua superfície. A bolinha se move numa curva em torno da bola maior, quase completando uma volta. Uma aluna protesta que não está conseguindo ver o movimento, pois o lençol está muito elevado e ela está sentada na carteira. O professor convida seus quatro ajudantes a se abaixarem um pouco, ficando de joelhos. Alguns alunos se levantam das carteiras para enxergar melhor.

De sua carteira, eufórico e de pé, o ALUNO 2 comenta com o ALUNO 5, segurando o lençol:

ALUNO 2: “Nosso trabalho, hein!”

Era uma referência ao trabalho da Feira Cultural da escola, onde cada turma é dividida em grupos e cada grupo deve desenvolver uma apresentação sobre determinado assunto. Alguns dias antes o grupo deles tinha procurado orientação do professor, pois queriam abordar sobre a Teoria da Relatividade nesse trabalho.

O professor vai demonstrando mais algumas vezes o movimento da bolinha em torno da bola maior. Um dos ajudantes brinca, mexendo o lençol para atrapalhar o movimento da bolinha. O professor faz cara feia, em tom de brincadeira, e solta um sorriso. Ele não repete mais a brincadeira. A turma ri do professor e do aluno. Nota-se que a demonstração se desenrola num clima agradável, descontraído e amistoso, onde professor e alunos se sentem muito a vontade para brincar uns com os outros, mas sabem retomar a seriedade da discussão com rapidez e interesse. É algo bem diferente da tradicional aula expositiva no quadro branco.

O professor repete mais algumas vezes até conseguir fazer a bolinha dar pouco mais de uma volta em torno da bola maior. Então pede para seus auxiliares deixarem o lençol e a bola no chão, agradece a colaboração e segue com a discussão. A turma fica atenta.

PROFESSOR: “Então vejam que a massa de um corpo – como a Terra por exemplo, né? – deforma o espaço-tempo em volta dela, muda as propriedades do tempo e do espaço, de maneira então que a gente tem uma espécie de alteração da Lei da Inércia. A tendência natural de um corpo que está em repouso não é mais permanecer em repouso! A tendência **natural**, sem força nenhuma, a tendência é ele cair em direção à Terra! (deixa, mais uma vez, a bolinha cair da sua mão até o chão) Beleza?”

ALUNO 7: “Beleza!”

PROFESSOR: “A tendência natural de um corpo que está em movimento, não é continuar em movimento retilíneo uniforme! Na Teoria da Relatividade Geral não... se o espaço-tempo estiver deformado, a tendência é ele fazer uma curva! De acordo com a deformação do espaço-tempo! Se o espaço-tempo estivesse mais deformado, né, se a bola estivesse mais funda, a curva ia ser mais intensa (com sua mão, faz a bolinha percorrer uma curva de menor raio de curvatura no ar). Entende, gente?”

ALUNO 7: “Professor, é tipo os satélites dando a volta em torno da Terra?” (é uma referência às figuras da questão 3 da atividade).

PROFESSOR: “Isso, isso! Mas calma, já vamos discutir direitinho essas perguntas aí!”

PROFESSOR: “Deu pra entender essa ideia, gente?”

ALUNA 1: “Deu!”

PROFESSOR: “Deu pra entender que na Teoria da Relatividade Geral a gente derruba mais aqueles dois conceitos ali (apontando para o quadro) de Newton? A Lei da Inércia é alterada... e aquela lei que a gente chamou de Lei da Gravidade, também é alterada! Pra Newton, na Mecânica Clássica, a massa da Terra (apontando para a bola maior) atrai a massa da Lua (gesticulando com a bolinha), a massa da Terra atrai a massa do satélite (mesmos gestos), então tem uma **força** agindo, né? Para Einstein, a gravidade tem a ver com força?”

VÁRIOS ALUNOS: “Não!”

PROFESSOR: “Tem a ver com o quê?”

ALUNO 2: “Deformação do espaço-tempo!”

Encerrada essa discussão, o professor orientou os alunos a responderem em duplas as questões da atividade. A questão 1 já tinha sido resolvida no início da aula. Para a questão 2, ele deu um certo tempo para os alunos tentarem responder e, logo a seguir, conduzia uma pequena discussão com a turma toda, pedindo para os alunos justificarem suas respostas. Para as demais questões, ele leu a pergunta para toda a turma e estimulava os alunos a responderem oralmente, de modo que a turma foi resolvendo em conjunto, mas sempre pedindo para os alunos justificarem suas respostas. Assim era possível avaliar se a turma, como um todo, tinha compreendido cada ponto da discussão e corrigir as eventuais falhas. Seguem as respostas da maioria da turma e as justificativas segundo alguns alunos:

Questão 2: Julgue os itens a seguir, assinalando (C) para os corretos e (E) para os errados.⁴²

1. Na Teoria da Relatividade Geral, um corpo livre da ação de forças permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, independente das características do espaço-tempo.

A maioria da turma julgou o item “errado”, que é a avaliação correta.

⁴² Esse tipo de questão, voltada ao julgamento de itens, é o mais comum nos exames avaliativos para ingresso na Universidade de Brasília, principal universidade pública do Distrito Federal, onde a pesquisa ocorreu.

ALUNO 2: “Porque depende das características do espaço-tempo.”

ALUNO 8: “Porque se o espaço-tempo estiver com deformação, estiver distorcido, então vai mudar a Lei da Inércia.”

O professor aproveita o item para perguntar:

PROFESSOR: “Quanto é que a Lei da Inércia funciona desse jeito, aí, que o item colocou?”

ALUNO 2: “Quanto não tem deformação do espaço-tempo!”

2. Na Teoria da Relatividade Geral, a força gravitacional é uma força de atração entre as massas de dois corpos.”

A maioria da turma julgou o item “errado”, que é a avaliação correta.

ALUNO 6: “Na Relatividade Geral não é uma força!”

PROFESSOR: “Em que modelo, em que teoria científica, a gravidade é uma força?”

Alunos demonstram certa confusão.

ALUNO 8: “Na lei da inércia?” (professor parece não ter ouvido a pergunta)

ALUNO 2: “Terceira Lei de Newton!”

PROFESSOR: “Não é a Terceira Lei de Newton... Qual foi a interpretação que Newton deu pra força gravitacional, pra força peso? A massa atrai...”

VÁRIOS ALUNOS: “A massa...”

PROFESSOR: “A massa da Terra atrai a nossa massa, a massa da Terra atrai a massa da bolinha (deixando-a cair ao chão)”

ALUNA 1: “Ah é, a gente viu na aula passada...”

PROFESSOR: “Na interpretação dele, é uma força, né, que tá puxando a bolinha em direção à Terra!”

Nesse momento, uma aluna de outra turma devolve ao professor o pincel de quadro branco que ele tinha emprestado anteriormente. O professor, sentado, arremessa o pincel para que ele fique no aparador do quadro branco, mas erra a mira e o pincel cai no chão. OS ALUNOS 2 e 4 fazem piada com a situação:

ALUNO 2: “Tá vendo! A massa do chão atrai...”

ALUNO 4: “A massa do chão atraiu a massa do pincel!”

3. Na Teoria da Relatividade Geral, o espaço-tempo possui duas dimensões, como um lençol: largura e comprimento

A turma permaneceu em silêncio, mostrando que não sabiam a resposta. O professor comenta que isso foi discutido nas aulas anteriores (tema 3), mas retoma pacientemente a explicação:

PROFESSOR: “Pessoal, o espaço tem quantas dimensões? Três! Por isso que a gente chama de 3D, né? Por exemplo, nessa sala, uma dimensão seria a largura da sala, a outra dimensão seria o comprimento da sala e uma terceira dimensão seria a altura da sala (Durante a fala, aponta para três arestas da sala – a quina entre o chão e a parede do quadro, a quina do chão com a parede lateral e a quina entre essas duas paredes – como num eixo cartesiano xyz). Tá vendo? Três dimensões para o espaço! Além disso, na Teoria da Relatividade, o tempo seria uma quarta dimensão! Beleza? Então o espaço-tempo tem 4 dimensões: 3 do espaço e mais uma do tempo! Mas o meu lençol aqui só tem duas dimensões, né? Largura e comprimento! Por isso que eu disse, que isso aqui é só uma analogia, uma comparação. Não tem como eu representar aqui para vocês uma coisa com quatro dimensões. Mas tem como eu usar uma coisa de duas dimensões.”

Um aluno pede para o professor repetir quais são as 4 dimensões, o que ele faz prontamente.

PROFESSOR: “Então este item está certo ou está errado?”

VÁRIOS ALUNOS: “Errado!”

4. Na Teoria da Relatividade Geral, a massa de um corpo deforma o espaço-tempo a sua volta.

A maioria dos alunos julgou o item “certo”, o que está correto.

O professor olha para o relógio e alerta aos alunos que o tempo está curto. Aparentemente a discussão inicial demorou mais do que ele previa. Sendo assim, ao invés de dar um tempo para os alunos responderem as questões, ele mesmo lê as próximas perguntas e elas são respondidas pela turma em conjunto. Entretanto, ele ainda deixa que cada dupla elabore a sua resposta por escrito, colocando-se a disposição para ser chamado para tirar dúvidas.

Questão 3: As duas figuras a seguir ilustram um satélite em órbita em torno da Terra, porém os diferentes elementos presentes em cada figura remetem a dois modelos físicos distintos para a gravitação.

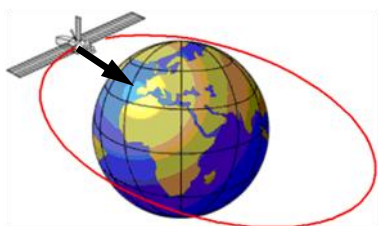


fig. 1

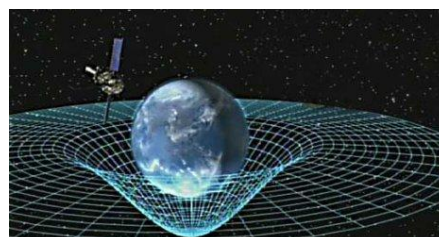


fig. 2

- a) Qual figura corresponde à Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton? Justifique sua resposta com elementos da figura.

ALUNO 2: “A primeira!”

PROFESSOR: “Por quê?”

ALUNO 2: “Porque você pode ver ali que tem uma coisa apontando (referindo-se à seta), então massa atrai massa! (apontando para o esquema anotado no quadro branco)”

PROFESSOR: “Ótimo! O que é essa setinha aí na figura 1, gente?”

O ALUNO 2 não deixa nem tempo para os colegas tentarem falar:

ALUNO 2: “O satélite está sendo atraído pela Terra!”

PROFESSOR: “Isso! O satélite está sendo atraído por uma...?”

VÁRIOS ALUNOS: “Força!”

b) Qual figura corresponde à Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein? Justifique sua resposta com elementos da figura.

A maioria dos alunos responde “a fig. 2”.

ALUNO 2: “A gente pode ver a deformação do espaço-tempo”

O professor, apressado, dessa vez nem espera outro aluno falar. Ele precisa percorrer todas as questões e prevê que o tempo pode não ser suficiente se não for mais direto.

PROFESSOR: “Isso! Ta vendo essas linhas aí representadas? Elas representam a deformação do espaço-tempo! Tem alguma força representada aí nessa figura? Não né... Só a deformação do espaço-tempo.”

Nota-se que, como o professor não tem fornecido mais o tempo para solucionarem as questões antes de discuti-las, os alunos se concentram mais em redigir suas respostas do que em participar da discussão. Enquanto o professor aguarda eles terminarem de redigir, pergunta:

PROFESSOR: “Alguém já tinha visto uma figura como essa figura 2?”

ALUNA 3: “Não!”

ALUNO 2: “Eu já vi!”

ALUNA 1: “No livro, eu já vi!” (Não no livro didático de Física adotado naquela escola, pois nele não há essa figura. Certamente em algum outro livro...)

PROFESSOR: “Agora vocês já sabem o que isso representa, né?”

ALUNA 1: “A deformação do espaço-tempo...”

Questão 4: Considere uma maçã que se desprende do galho de uma macieira e então, partindo do repouso, começa a cair cada vez mais rapidamente em direção ao chão.

Ao ler a questão, para melhor interpretação dos alunos, o professor repete a demonstração de um corpo em queda, com a bolinha, como se a bolinha fosse a maçã.

a) Como a Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, explica esse fenômeno?

ALUNO 2: “A força...” (interrompido pela ALUNA 1)

ALUNA 1: “Massa atrai massa!”

ALUNO 2: “Exatamente!”

PROFESSOR: “Só ‘massa atrai massa’? A massa de quem tá atraindo a massa de quem, aí?”

Vários alunos explicam, cada um com suas palavras, a ideia de que é a massa da Terra que atrai a massa da maçã. O professor então completa:⁴³

PROFESSOR: “Exercendo uma...?”

VÁRIOS ALUNOS: “Força!”

(...)

ALUNO 2: “Professor, eu coloquei que a Terra atrai a massa da maçã!”

PROFESSOR: “Beleza!”

ALUNO 4: “Eu coloquei isso aí, só que por meio de uma força!”

PROFESSOR: “Ótimo!”

b) Como a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, explica esse fenômeno?

Alunos demonstram certa confusão. Depois de algum tempo, a ALUNA 3 responde:

ALUNA 3: “Por causa da gravidade!”

PROFESSOR: “Da gravidade?”

ALUNO 2: “A gravidade não tem... (a ver com a Relatividade, por suposto) Tem a ver é com a força!”

⁴³ A intenção do professor era identificar os dois corpos (Terra e maçã) que interagem por meio da Força Gravitacional. Entretanto, a pergunta foi infeliz, podendo induzir a uma resposta em desacordo com a 3ª Lei de Newton, isto é, a interpretação de que a Terra atrai a maçã mas a massa não atrai a Terra. Cabe ressaltar, entretanto, que a aplicação da 3ª Lei de Newton, considerando esse mesmo exemplo, foi discutido na aula anterior, quando se tratou do assunto “Força Peso”. Curiosamente, a mesma discussão se dará novamente adiante, porém envolvendo o conceito de “deformação do espaço-tempo”.

PROFESSOR: “A gravidade tem a ver com a força gravitacional, do Newton!”

ALUNO 2: “Na Relatividade não!”

ALUNO 9: “É a deformação do espaço-tempo!”

PROFESSOR: “Isso! Mas quem deforma o espaço-tempo?”

Dois alunos respondem juntos:

ALUNO 9: “A própria Terra!”

ALUNO NÃO IDENTIFICADO: “A maçã!”

PROFESSOR: “A maçã ou a Terra?”

Vários alunos da turma começam a falar entre si ao mesmo tempo, debatendo a questão. O professor percebe o raciocínio por trás das duas respostas e então explica:

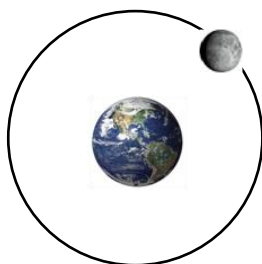
PROFESSOR: “Olha... Na verdade os dois! Mas calma! Só que a massa da maçã é muito pequenininha! Comparada com a massa da Terra, certo? Então a deformação que ela causa no espaço-tempo é... irrisória! Muito pequena! Certo? Agora, a Terra tem uma massa enorme! Ela deforma bastante o espaço tempo em volta dela! Tá certo? E aí, ó, essa parte que é importante... Como o espaço-tempo tá deformado, a tendência natural da maçã é continuar em repouso?”

VÁRIOS ALUNOS: “Não!”

PROFESSOR: “A tendência natural dela é de se mover para baixo. **Por inércia**, tá? Sem força nenhuma agindo nela!”

Os alunos começam a discutir entre si para elaborar suas respostas por escrito. Alguns ainda demonstram confusão e chamam o professor para esclarecer. O professor torna a repetir a analogia com o lençol (com ele no chão mesmo, levantando apenas uma das extremidades com uma mão e posicionando a bolinha em repouso sobre o lençol inclinado com a outra mão) e comenta com esses alunos em dúvida. Outros não demonstram ter dúvidas, não sentem necessidade de prestar atenção na repetição, permanecem simplesmente compenetrados em elaborar a resposta por escrito. Depois de passar em mais algumas carteiras, confirmando as respostas elaboradas pelos alunos, segue-se para a próxima questão.

Questão 5: Sabe-se que a Lua está em órbita, desenvolvendo um movimento aproximadamente circular e uniforme em torno do planeta Terra.



a) De acordo com a Mecânica Clássica, é possível dizer se há alguma força agindo sobre a Lua ao longo de seu movimento? Explique.

VÁRIOS ALUNOS: “Sim!” (alguns citando a força gravitacional)

PROFESSOR: “Por quê? Como é que você sabe que tem a força gravitacional agindo sobre a Lua?”

Alguns citam a massa da Lua e da Terra, o que está correto, mas o professor quer seguir com outro raciocínio, lembrando uma discussão efetuada nas aulas anteriores (no estudo da força peso)⁴⁴ sobre a força gravitacional:

PROFESSOR: “Se não tivesse essa atração, o que ia acontecer com a Lua? Ela ia seguir... reto! Certo? De acordo com a Lei da Inércia, de Newton, qual é a tendência natural de um corpo que está em movimento? (professor pega a bola maior para representar a Terra e gira a bolinha em volta dela, representando a Lua) É continuar fazendo uma curva? Não... Qual que é a tendência natural? É seguir uma linha... reta! Para esse corpo fazer uma curva em torno da Terra, tem que ter uma?”

VÁRIOS ALUNOS: “Força!”

PROFESSOR: “Ótimo... explica isso aí na letra ‘a’.”

Alunos discutem em dupla, elaborando a resposta. O professor passa novamente de carteira em carteira verificando as respostas e esclarecendo as dúvidas. Um dos alunos comenta com o professor que o mesmo raciocínio seria válido para a Terra e o Sol. O professor aproveita e apresenta a ideia para toda a turma, novamente gesticulando com uma esfera em cada mão. Por fim, lembra que em ambos os casos (Terra-Lua e Sol-Terra), a interpretação apresentada é a da Mecânica Clássica.

b) De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, por que a Lua não segue uma trajetória retilínea?

ALUNO 2: “Porque a massa da Terra está causando uma deformação, e aí a Lua gira em torno dela!”

O professor aproveita a resposta para reforçar as explicações de antes, no contexto da Relatividade Geral, enquanto os alunos terminam suas respostas. O sinal não bateu ainda, mas várias turmas já foram liberadas e a próxima turma a entrar nessa sala ambiente já está a porta, fazendo bastante barulho. O clima de fim de aula leva os alunos a se agitarem, querendo terminar logo para sair de sala. Então o professor tenta fazer um encerramento da discussão, mas mal pode ser ouvido por conta do barulho fora da sala, e também mal consegue ouvir os alunos. Então ele apenas espera os alunos terminarem e entregarem suas atividades.

⁴⁴ Na aula sobre a “Força Peso” o professor promoveu uma apresentação teórica e qualitativa sobre a Lei da Gravitação Universal e a noção de campo gravitacional, para só depois apresentar a tradicional expressão $P = m \cdot g$. Durante essa primeira discussão teórica, apresentou a ideia de que a Lua, em movimento curvo em torno da Terra, deve estar sujeito à ação de uma força resultante.

Desde o início da organização da turma até o encerramento da aula, a atividade durou cerca de 60 minutos na turma 1.

4.2: Observações sobre a aplicação do plano de aula abordando o tema 4 na turma 2

A aplicação da aula sobre o tema 4 na turma 2 contou com mais um limitante: eles tinham tido menos tempo para resolução de exercícios sobre as matérias passadas do que a turma 1. Sendo assim, o professor precisou dedicar mais tempo para essa atividade, ultrapassando o tempo dedicado na primeira turma (40 minutos) em cerca de 25 minutos. Portanto, teve menos tempo para abordar o tema 4.

O professor aprimorou a introdução da aula, lembrando brevemente quais são as três Leis de Newton – não focando somente a Lei da Inércia, como na turma 1. Também acrescentou uma breve revisão sobre a matéria apresentada na aula anterior, a Força Peso, focando nos aspectos teóricos da Lei da Gravitação Universal e na presença de uma força nessa relação: a força da gravidade. Por fim, acrescentou uma breve fala sobre o objetivo da aula, lembrando a divisão da Teoria da Relatividade em Especial e Geral:

PROFESSOR: “Nós vamos ver agora como que a Teoria da Relatividade, particularmente, a Teoria da Relatividade Geral, tá? A Teoria da Relatividade Especial surgiu lá em 1905. A Teoria da Relatividade Geral em 1915, por aí. A gente vai ver, então, como que essa teoria aí de Einstein, muda um bocado, né, esses dois conceitos da Mecânica Clássica: a Lei da Inércia e a Lei da Gravitação Universal. E aí na verdade a gente vai ter uma mistura das duas coisas.”

Em seguida, o professor conduz uma revisão mais profunda da Lei da Inércia e solicita que os alunos respondam a questão 1 da atividade. Temos aí essencialmente a mesma condução efetuada na turma 1.

Antes de partir para a demonstração com o lençol, o professor faz uma revisão sobre o conceito de espaço-tempo, lembrando quais são as três dimensões espaciais e a quarta dimensão temporal. Diferencia isso com a analogia por meio do lençol, destacando que o lençol, na verdade, possui apenas duas dimensões: comprimento e largura. Assim, ao contrário do efetuado na turma 1, o professor se preocupa mais em esclarecer melhor, desde o início, os significados envolvidos na analogia.

Feito isso, segue com a demonstração da Lei da Inércia num espaço-tempo plano e, logo a seguir, a demonstração da deformação do espaço tempo e o que ocorre para um corpo inicialmente em repouso presente nele. O professor segue essencialmente a mesma condução efetuada na turma 1, porém de maneira muito mais segura, melhor estruturada e mais direta. Evitou-se, por exemplo, excesso de repetições, e pôde-se contrastar melhor a visão relativística com a clássica, graças ao melhor resgate dos conceitos clássicos no início da aula. Nessa exposição ficou mais clara a ausência da força gravitacional na Teoria da Relatividade. Ao invés dela, o professor focou no termo “cai por inércia”. O ALUNO 1 faz uma colocação interessante logo após essa exposição:

ALUNO 1: “Professor, então, tipo, é por inércia que, sei lá, um meteoro pode cair na Terra?”

PROFESSOR: “Sim! Por inércia quando ele entra num espaço-tempo deformado!”

ALUNO 1: “Senão ele ia passar reto o tempo todo, né?”

PROFESSOR: “Sim!”

Essa última colocação do ALUNO 1 é interessante, pois o professor ainda não tinha feito a analogia para o caso de um corpo em movimento no espaço-tempo deformado. De fato, ele aproveitou o exemplo citado pelo aluno para, logo em seguida, apresentar o caso de um corpo inicialmente em movimento no espaço-tempo deformado pela Terra. Aqui valem as mesmas observações: evitou-se repetições excessivas, buscou-se maior contraste entre a visão relativística e a clássica, focando na ausência de forças e movimento curvo por inércia. Aqui a ALUNA 1 também relaciona o que acabou de aprender com um exemplo prático:

ALUNA 1: “É por isso que a Terra gira em torno do Sol!”

PROFESSOR: “É por isso que a Terra gira em torno do Sol! Ótimo! A Terra... perdão... O Sol deforma o espaço-tempo em torno dele e a tendência natural da Terra é seguir esse movimento (curvo, conforme gesto realizado com a mão), em torno do Sol. É por isso que a Lua gira em torno da Terra: a Terra deforma o espaço-tempo em volta dela e a tendência natural da Lua é girar em volta da Terra.”

ALUNO 2: “Então a Terra também está deformando o espaço-tempo?”

ALUNO 3: “Professor, mas por que a Terra não vai até o Sol? (gesticulando um movimento em linha reta)”

ALUNA 2: “Porque a massa do Sol é maior que a massa da Terra!”

Na verdade vários alunos fazem outras perguntas e sugestões de respostas, ao mesmo tempo. Parecem, portanto, bastante interessados no assunto. O professor se atém à discussão colocada em tom de voz mais alto, relatado logo acima, e continua:

PROFESSOR: “É mais do que isso, é mais do que isso... (...) Mas... ela vai (a Terra, em direção ao Sol)! Tá? O fato de fazer a curva significa que está indo em direção ao Sol! Porque, senão, iria reto! Fazer a curva significa ir em direção ao Sol! Só que aí a Terra fica fazendo a curva, fazendo a curva, fazendo a curva (e gesticula um movimento circular em torno do Sol)...”

O professor parte para a resolução do questionário. Devido à maior limitação de tempo, nessa turma ele não pode dar um tempo para as duplas tentarem elaborar suas respostas antes de expô-las oralmente em público. Ele leu cada pergunta e estimulou os alunos a respondê-las diretamente para todos, dando depois um breve tempo para que cada dupla elaborasse sua resposta por escrito. Assim, não houve tempo para as duplas tentarem elaborar suas respostas antes de falá-las em público. Dada a similaridade com o ocorrido na turma 1, relatar-se-á apenas os elementos mais importantes.

Questão 2: Julgue os itens a seguir, assinalando (C) para os corretos e (E) para os errados.

1. Na Teoria da Relatividade Geral, um corpo livre da ação de forças permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, independente das características do espaço-tempo.

A maioria dos alunos julgou o item “errado”, a avaliação correta.

ALUNA 2: “Porque não é independente...”

2. Na Teoria da Relatividade Geral, a força gravitacional é uma força de atração entre as massas de dois corpos.

Num primeiro momento a maioria dos alunos julgou o item “certo”, o que está incorreto.

PROFESSOR: “Cuidado, hein! Que teoria que ele (o item) falou?”

ALUNO 3: “Na Relatividade Geral!”

ALUNO 4: “Ai! Não tem gravitação!”⁴⁵

PROFESSOR: “Onde é que tem força gravitacional?”

ALGUNS ALUNOS: “Na Mecânica Clássica...”

ALUNA 1: “Então tá errado, né?”

3. Na Teoria da Relatividade Geral, o espaço-tempo possui duas dimensões, como um lençol: largura e comprimento

O ALUNO 4 não deu nem tempo de terminar de ler o item e já foi falando:

ALUNO 4: “Não! Tá errado! Tem quatro dimensões!”

A turma toda concordou com ele.

4. Na Teoria da Relatividade Geral, a massa de um corpo deforma o espaço-tempo a sua volta.

A maioria julgou o item “certo”, avaliação correta.

Questão 3: As duas figuras a seguir ilustram um satélite em órbita em torno da Terra, porém os diferentes elementos presentes em cada figura remetem a dois modelos físicos distintos para a gravitação.

a) Qual figura corresponde à Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton? Justifique sua resposta com elementos da figura.

⁴⁵Na verdade, a ideia de gravitação na Teoria da Relatividade Geral é justamente o conceito de “deformação do espaço-tempo” que o professor vem discutindo. Nesse sentido, “tem gravitação” nessa teoria sim. No entanto, o professor entendeu que o aluno quis dizer “Não tem Força Gravitacional”, conforme se observa na pergunta que ele lança à turma logo a seguir.

Vários alunos comentam “A figura 1”. Professor pede justificativas.

ALUNA 2: “Porque, de acordo com a Mecânica Clássica, a Lei da Gravidade vai fazer o satélite girar em torno da Terra, porque massa atrai massa!”

PROFESSOR: “Mas o que você tá vendo na figura que te permite dizer isso?”

ALUNA 2: “Porque massa atrai massa!”

PROFESSOR: “Como é que você percebeu que tá tendo essa atração aqui na figura?”

ALUNA 2: “Por causa da setinha!”

PROFESSOR: “Porque tem a setinha! O que essa setinha representa, gente? A força! A força gravitacional!”

Enquanto a maioria da turma já estava escrevendo a resposta, uma aluna ainda demonstrou dúvida:

ALUNA 3: “Peraí professor, qual das duas mesmo?”

PROFESSOR: “A primeira! Por que?”

ALUNA 3: “Por causa da gravidade da Terra, que atrai o satélite...”

PROFESSOR: “Por meio de uma...?” (apontando para a seta na figura)

ALUNA 3: “Força!”

Ouve-se uma outra dupla comentando entre si: “Então, massa atrai massa!” A turma se mostra bastante empenhada em solucionar a atividade, discutindo em duplas e recorrendo ao professor sempre que necessário.

b) Qual figura corresponde à Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein? Justifique sua resposta com elementos da figura.

A maioria da turma responde “a figura 2”. O professor agora solicita claramente que os alunos citem “que elementos da figura” os convence disso.

Vários alunos falam ao mesmo tempo, em geral citando a palavra “deformação”.

Questão 4: Considere uma maçã que se desprende do galho de uma macieira e então, partindo do repouso, começa a cair cada vez mais rapidamente em direção ao chão.

a) Como a Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, explica esse fenômeno?

ALUNO 1: “A massa da Terra atrai a massa da maçã!”

b) Como a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, explica esse fenômeno?

ALUNO NÃO IDENTIFICADO: “A massa atrai a massa...”

PROFESSOR: “Cuidado com essa! Presta atenção! Como é que essa ideia de deformação do espaço-tempo explica essa queda da maçã?”

ALUNO 2: “O espaço-tempo está deformado!”

PROFESSOR: “O espaço-tempo está deformado. Mas por que ele está deformado?”

A turma reluta um pouco em responder, até que o ALUNO 1 tenta:

ALUNO 1: “Porque a maçã vai...” (ele mesmo parece perceber algo errado na resposta)

PROFESSOR: “Qual é a causa da deformação do espaço-tempo?”

ALUNA 4: “Ah, a própria maçã vai deformando o espaço-tempo?”

PROFESSOR: “Olha, é verdade... a maçã tem massa? Tem matéria na maçã? (todos afirmam que sim) Então ela produz uma deformação do espaço-tempo em volta dela. É verdade. Só que a massa dela é pequenininha. Então a deformação do espaço-tempo que ela produz é minúscula. O que está produzindo o espaço-tempo deformado que faz todas as coisas se moverem em direção... (aponta para baixo)?”

VÁRIOS ALUNOS: “Ah, a massa da Terra!”

PROFESSOR: “Então a massa do planeta Terra deforma o espaço-tempo em volta dela e aí nesse espaço tempo deformado as coisas...”

ALUNA 2: “Por inércia as coisas caem?”

PROFESSOR: “... caem por inércia! Legal, gostei dessa expressão!”

Algumas duplas demonstram dificuldade ou insegurança para redigir a resposta e pedem ao professor que ele confira. O professor passa esclarecendo ou simplesmente confirmando que está correto. Por fim, reforça mais uma vez, valorizando a expressão usada pela ALUNA 2:

PROFESSOR: “Deu pra entender, gente? Gostei dessa expressão! Ó, na Teoria da Relatividade Geral... não tem gravidade!⁴⁶ Ta entendendo? Não tem força da gravidade! Tem só inércia! Né? Só que a inércia está alterada pela deformação do espaço-tempo! Então a gente pode dizer sim que os corpos caem por inércia!”

Questão 5: Sabe-se que a Lua está em órbita, desenvolvendo um movimento aproximadamente circular e uniforme em torno do planeta Terra.

⁴⁶ Conforme mencionado na nota de rodapé 24, esta expressão do professor foi infeliz, podendo levar à concepção errônea de que o termo “gravitação” não pode ser utilizado no contexto da Teoria da Relatividade Geral. Como se observa na pergunta seguinte lançada pelo professor, sua intenção era enfatizar que, nessa teoria, a gravidade não é uma força.

Logo após ler a pergunta, o professor faz a bolinha dar a volta em torno da bola maior, segurando-as com as mãos. Aproveita para revisar o significado da expressão “movimento uniforme”. Então parte para o item “a”.

a) De acordo com a Mecânica Clássica, é possível dizer se há alguma força agindo sobre a Lua ao longo de seu movimento? Explique.

ALUNO 2: “É a força entre a Terra e a Lua!”

Vários alunos citam a palavra “atração” ou “massa da Terra atrai a massa da Lua”, falando ao mesmo tempo.

PROFESSOR: “Certo... Mas se não tivesse essa força, como é que seria o movimento da Lua?”

ALUNO 2: “A Lua ia reto!!!”

PROFESSOR: “Ta entendendo? Ótimo! De acordo com a Lei da Inércia, para a Lua fazer essa curva, tem que ter uma... Força! Senão ela iria reto! Essa força, óbvio, é a Força da Gravidade”

b) De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, por que a Lua não segue uma trajetória retilínea?

ALUNO 5: “Porque a massa da Terra deforma o espaço-tempo... Fazendo com que a... Lua...” (aluno gesticula com a mão, fazendo um movimento circular)

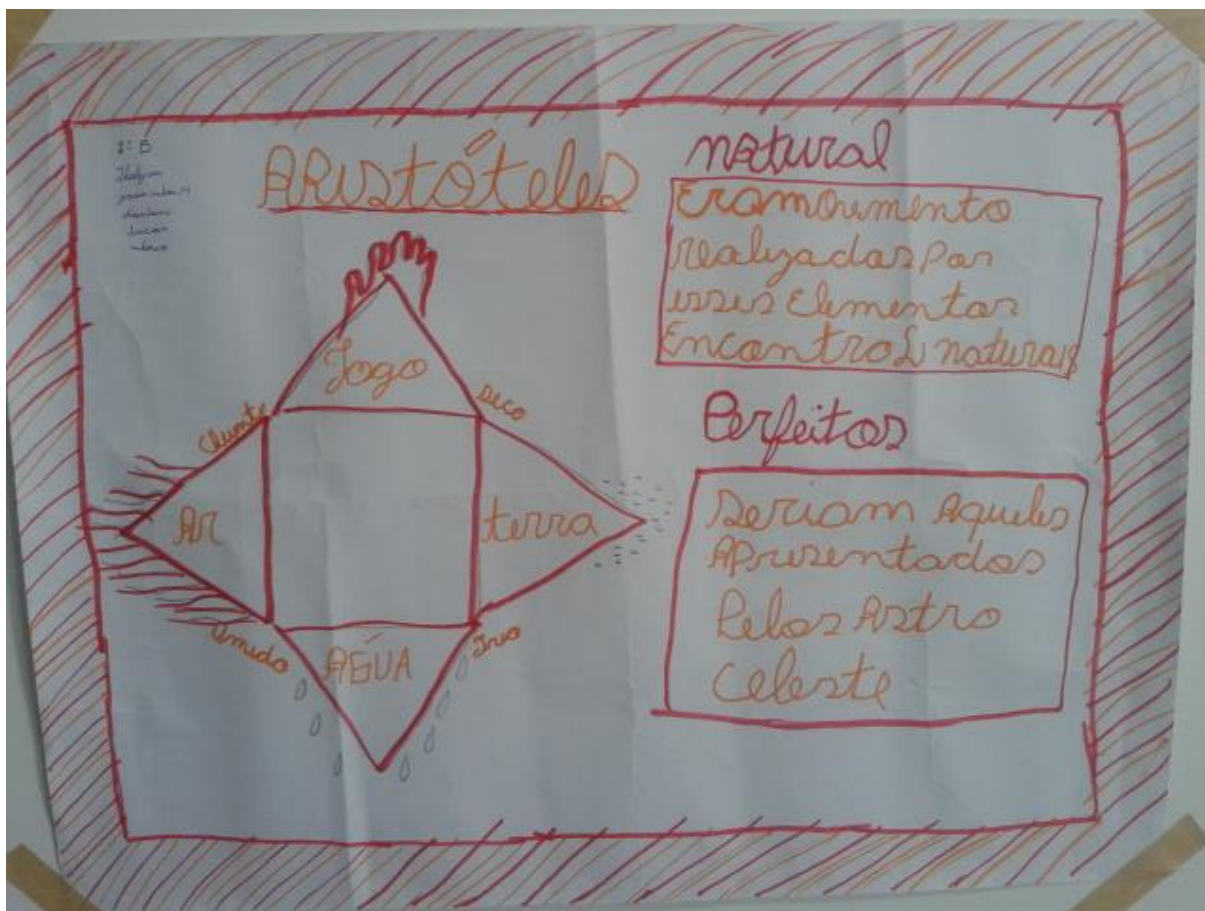
PROFESSOR: “Isso! Então a massa da Terra deforma o espaço-tempo em volta dela! Aí a tendência natural não é seguir uma linha reta, é justamente fazer essa curva!”

Comentários Finais:

PROFESSOR: “Aí vocês poderiam pensar assim: ‘ah, professor, então a Teoria da Relatividade só substituiu a ideia de Força Gravitacional por essa ideia de deformação do espaço-tempo, não tem muita diferença entre elas.’ Tem diferença sim! Ó, a mudança conceitual já é muito grande, não tem Força da Gravidade na Relatividade. Além disso, há experimentos que demonstram que essa ideia de deformação do espaço-tempo do Einstein é mais precisa! Tá? Então, por exemplo, sobre a órbita do planeta Mercúrio, que a Mecânica Clássica não conseguiu explicar direito por que ela tinha uma certa característica, e a Teoria da Relatividade explicou! Tem experimentos que mostram que no espaço-tempo deformado a luz também sofre uma curva, coisa que não era muito bem prevista pela gravidade, certo? Enfim, existem vários outros experimentos, tá bom?”

Encerra-se, assim, a discussão do tema 4 na turma 2, com apenas cerca de 30 minutos de duração.

**ANEXO A – CARTAZES ELABORADOS E APRESENTADOS PELOS ALUNOS NA
AULA REFERENTE AO TEMA 1**



Turma 1 – Texto 1: O movimento dos corpos segundo Aristóteles – cartaz 1/2

116
Turma 1


O movimento dos corpos segundo Aristóteles.

Aristóteles foi um importante filósofo do século IV a.C.

Até o séc XVI, pensavam que os movimentos dos corpos e de seus causas era atribuída aos estudos de Aristóteles. Ele dividia os movimentos em três categorias: os naturais, os violentos e os perpétuos.

Ele acreditava que o mundo terrestre era constituída basicamente por quatro elementos: a terra, a água, o ar e o fogo.

Para ele, o movimento natural era o movimento realizado por esses elementos ao encontrar de seu lugar natural.




Nome: _____
Data: ____/____/____
Turma: _____
Professor: _____

Turma 1 – Texto 1: O movimento dos corpos segundo Aristóteles – cartaz 2/2

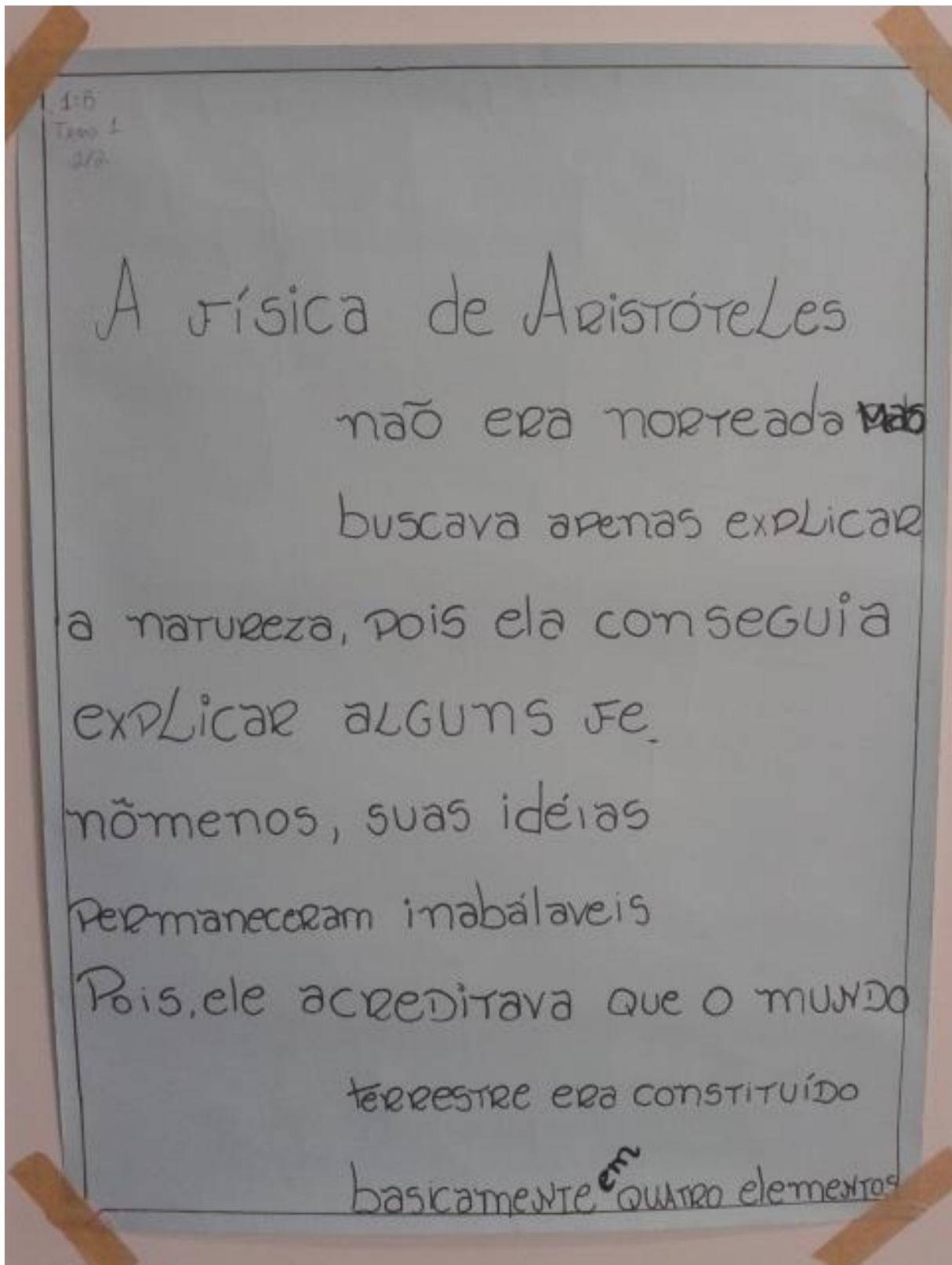
1:0
Tema 1
1/2

O MOVIMENTO dos CORPOS SEGUNDO Aristóteles

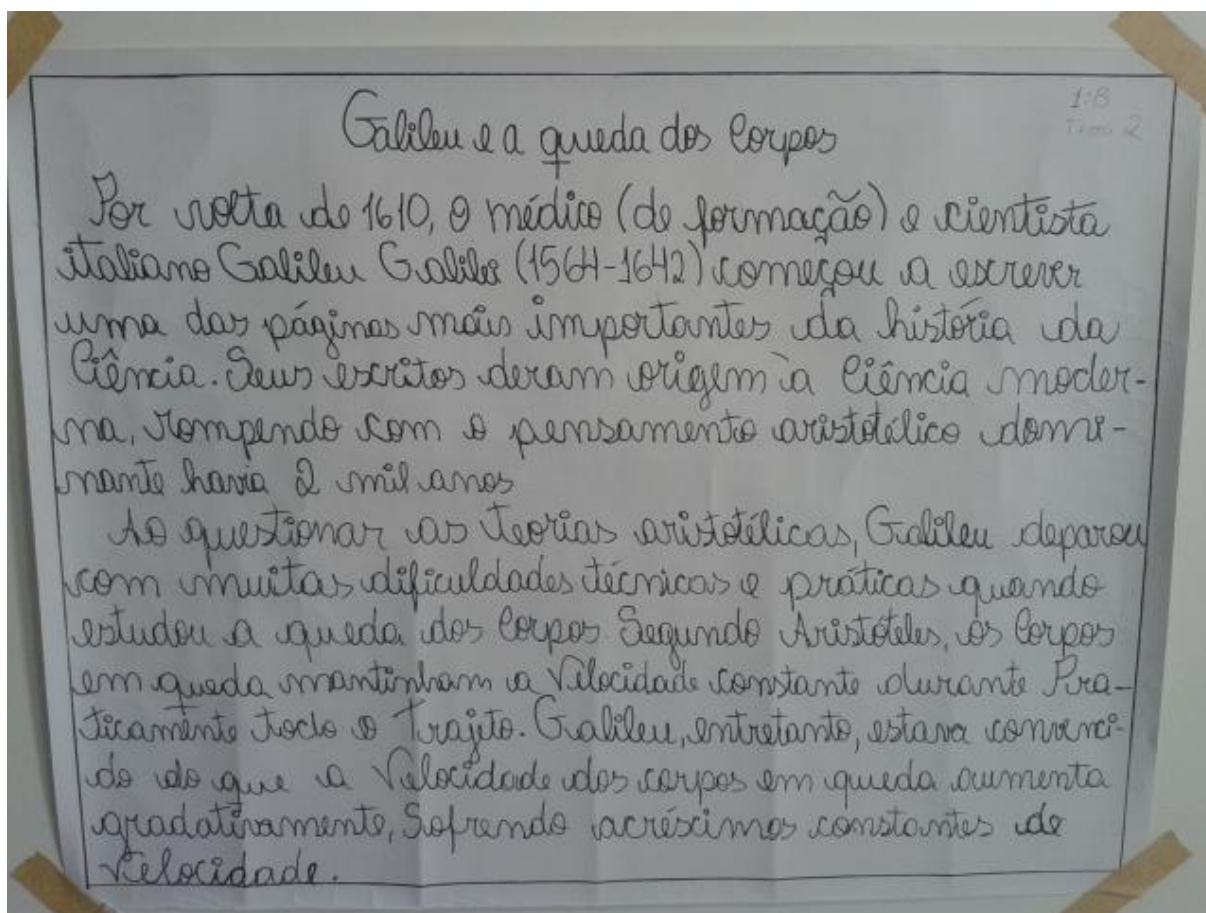
Aristóteles foi um im-
portante filósofo do século
IV a.C. Nasceu em 384 a.C. mudou-
se para ser tutor de Alexandre.
Aristóteles dividia os movi-
mentos em três cate-
gorias: OS NATURAIS, OS
VIOLENTOS, e OS PERFEITOS



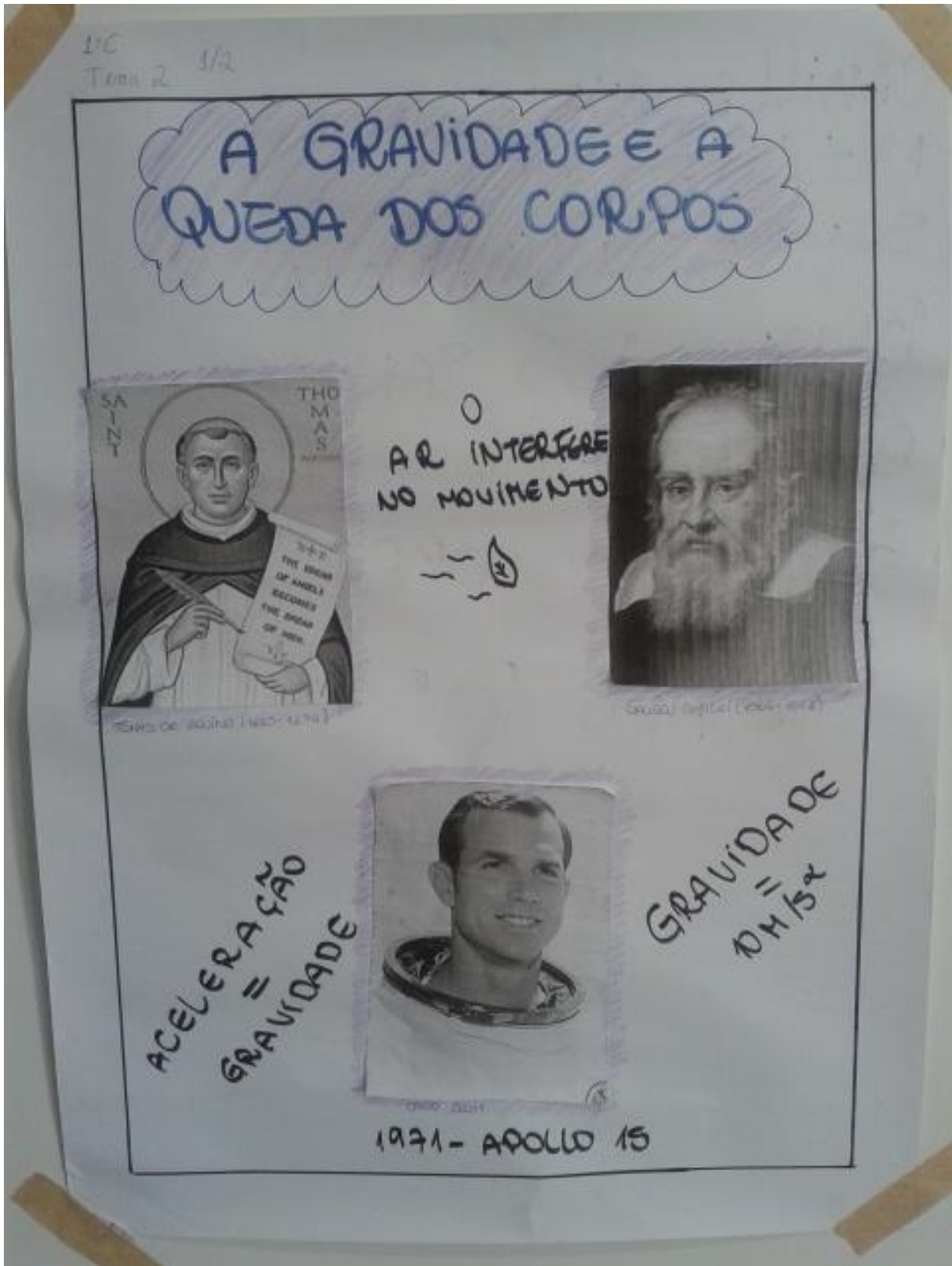
Turma 2 – Texto 1: O movimento dos corpos segundo Aristóteles – cartaz 1/2



Turma 2 – Texto 1: O movimento dos corpos segundo Aristóteles – cartaz 2/2







Turma 1 – Texto 2: Galileu e a queda dos corpos – cartaz 1/1



Turma 2 – Texto 2: Galileu e a queda dos corpos – cartaz 1/2



Turma 2 – Texto 2: Galileu e a queda dos corpos – cartaz 2/2

| | | | |
|---|---|--|---|
|  <p>Queda dos corpos</p> | <p>Segundo Aristóteles os corpos em queda mantinham a velocidade durante quase todo o trajeto.</p> <p>Galileu: a velocidade dos corpos em queda aumenta gradativamente.</p> |  <p>Universo</p> | <p>A: todos os corpos no céu descerem à Terra que é o centro do universo.</p> <p>G: ele mostrou que existiam luas girando em torno de Júpiter.</p> |
|  <p>Perfeição dos céus</p> | <p>Tudo no céu é perfeito e que se traduz pela imutabilidade pelas formas dos círculos e dos esferas.</p> <p>G: ele mostrou a existência de montanhas, rios.</p> |  <p>Terra</p> | <p>A: esta parada no centro do universo, pois é seu lugar natural, com todos os outros celestes.</p> <p>G: A Terra se movia em torno do sol</p> <p>1.º - Tema 4</p> |

Turma 2 – Texto 3: Galileu e o rompimento de outras idéias aristotélicas – cartaz 1/1

176
T. 4

1º Lei de Newton:


1. Carrões levanta e ficam alinhados com a roda. Como! Gostei estudando a 1º Lei de Newton.

2. Um corpo em repouso tende a permanecer em repouso...

2º Lei de Newton:

| | |
|---|---|
| $F = 2n$ \rightarrow 4Kg $a = 0,5\text{m/s}^2$ | $F = 2n$ \rightarrow 1Kg $a = 2\text{m/s}^2$ |
|---|---|

3º Lei de Newton:



"O que sabemos é uma gota,
e que ignoramos é um oceano."

"Se vi mais coisas feias por estar
fui sobre ombros gigantes."

Turma 2 – Texto 4: Isaac Newton e a síntese da Mecânica – cartaz 1/2

1:0
Tema 4

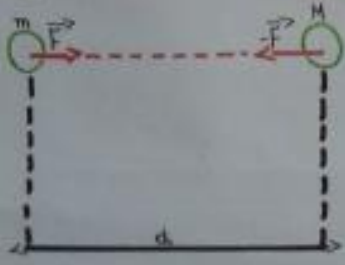
Isaac Newton

- Físico e matemático inglês, tornou-se uma das maiores figuras da ciência em todos os tempos. Formulou os três princípios da mecânica, conhecidas como leis de Newton, e a teoria da gravitação universal.

- Primeira lei de Newton ou princípio da inércia.
- Segunda lei de Newton. o princípio da dinâmica.
- Terceira lei de Newton. o princípio da ação e reação

• Lei da Gravitação universal:

Dois corpos se atraem reciprocamente com uma força gravitacional cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

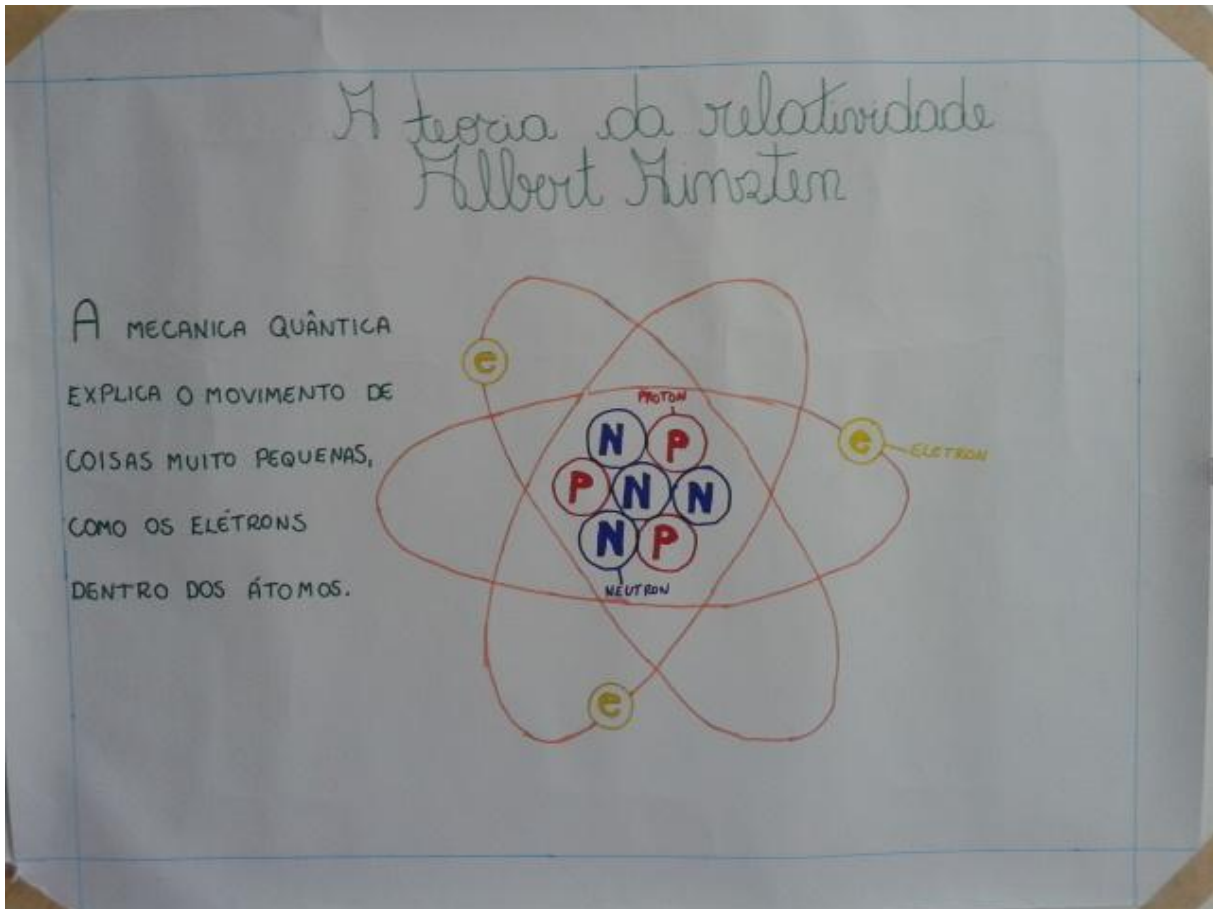


$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

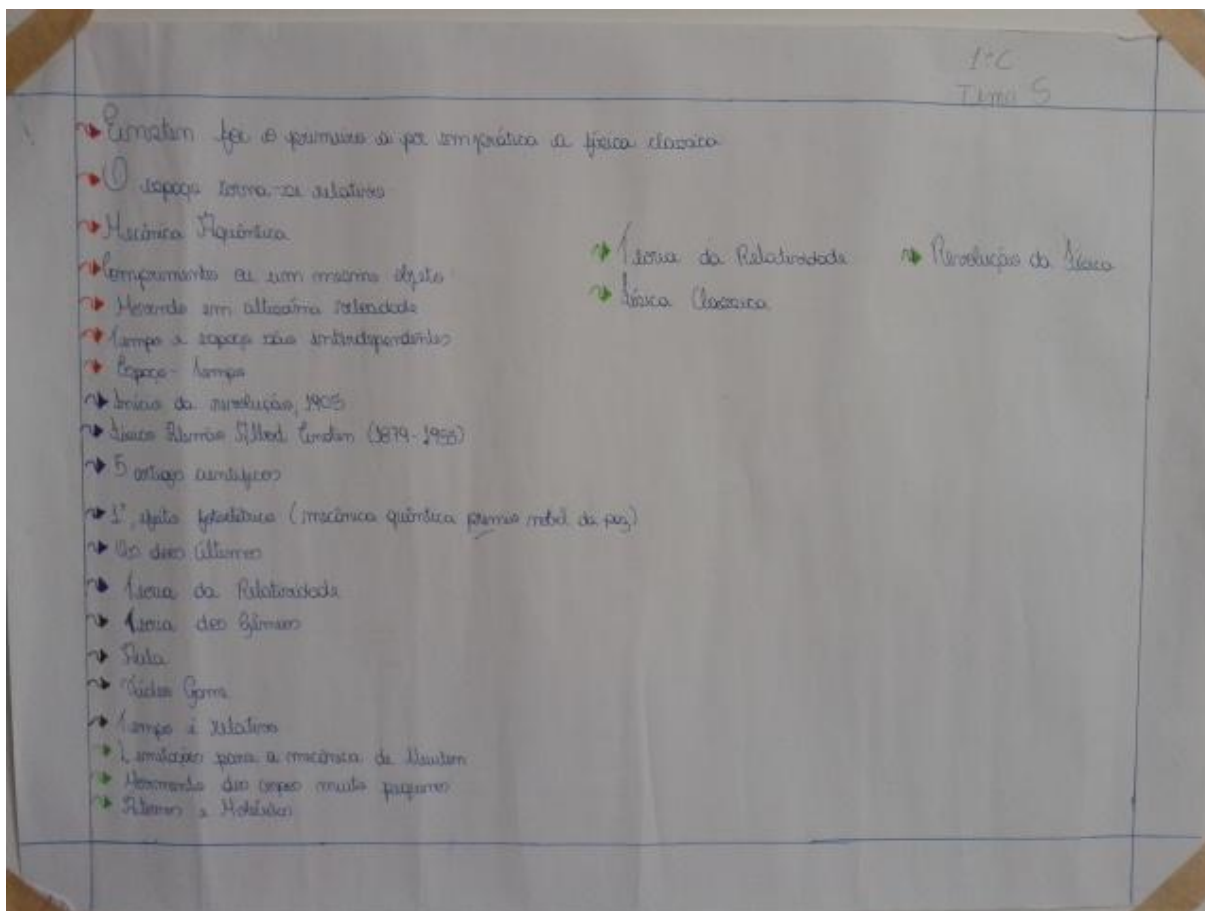
1:0
Anna Luísa
Daniel B
Victor H
Larissa N
Yasmin M
William
Thalita
Larissa



Turma 1 – Texto 5: A Teoria da Relatividade de Albert Einstein – cartaz 1/1



Turma 2 – Texto 5: A Teoria da Relatividade de Albert Einstein – cartaz 1/2



Turma 2 – Texto 5: A Teoria da Relatividade de Albert Einstein – cartaz 2/2

**ANEXO B - RELATÓRIO DE APLICAÇÃO DE PRODUTO EDUCACIONAL
REFERENTE À AULA ABORDANDO O TEMA 3**

Relatório de Aplicação de Produto Educacional

Tema 3 – Dilatação do Tempo e Contração do Espaço

Prof. Regente: Marcos Ribeiro Rabelo de Sá

Pesquisadora-observadora: Vanessa Carvalho de Andrade

Junho de 2015

Introdução

O presente relatório baseou-se em uma visita da orientadora ao colégio da rede pública de ensino do Distrito Federal onde o Produto Educacional produzido como requisito para o Mestrado está sendo aplicado. O mestrando, Marcos Ribeiro Rabelo de Sá aplica o produto desde o início do ano em suas duas turmas de 1º série do ensino médio, seguindo essa proposta de inserção dos conteúdos de Relatividade junto à apresentação do conteúdo de Mecânica de maneira contínua e suave, sem compartimentar o conteúdo de Física Clássica e conteúdo de Física Moderna separadamente. A orientadora participou de uma das aulas.

Visita de Acompanhamento

Descrição das Atividades Propostas

A proposta desta aula é rever com os estudantes os conceitos apresentados classicamente de tempo e espaço agora introduzindo elementos da Relatividade Restrita e Geral. Para tanto, criou-se uma sequência didática baseada nas seguintes atividades:

Primeira atividade: Assistir a trechos do filme *Interstellar*.

O mestrando selecionou trechos curtos porém com conteúdo físico interessante, intercalando-os com explicações contextualizadas com as cenas, narrando a história e destacando a Física envolvida em cada cena. Os principais conceitos selecionados no filme foram (i) o tempo como grandeza Física não absoluta (ii) influência do campo gravitacional no fluxo temporal (iii) a ideia de Buraco de Minhoca e deformação do espaço (iv) a existência de Buracos Negros.

Sobre o filme: Trata-se de um filme de ficção científica de 2014, dirigido por Christopher Nolan, que conta a história de uma equipe de astronautas que viaja através de um buraco de minhoca à procura de um novo lar para a humanidade. Vale notar que o importante físico teórico Kip Thorne, cujo trabalho inspirou o filme, trabalhou como consultor científico e como produtor executivo.

Segunda Atividade: Lista de questões conceituais para discussão.

O mestrando selecionou uma série de perguntas sobre os conceitos que foram abordados de Física relativística associados a cada uma das cenas para que os alunos

refletissem, gerassem hipóteses e finalmente respondessem. O professor conduziu o debate e ao final de cada tópico gerou uma explicação considerando o nível de entendimento dos estudantes e apresentando as conclusões de forma qualitativa. Enfatizou que tais fenômenos apresentados no filme não são ficção e sim previsões da teoria da Relatividade (Geral e Restrita), com evidências experimentais.

Terceira atividade: Exibição de Slides

Marcos passou a exibir slides com as discussões mais sistematizadas, utilizando desenhos, recursos de animação e realizando contas simplificadas numa transposição didática para nível de ensino médio do que seriam os cálculos para se obter a dilatação do tempo e contração do espaço, no contexto da Relatividade Restrita. Durante a exposição, procurou o máximo de interação com os estudantes, fazendo perguntas para que eles participassem das conclusões de cada tópico.

Momento final: Últimas discussões

Ao final da aula, já liberados para ir embora, alguns estudantes (cerca de dez) se reuniram em torno do professor para realizar as perguntas que não tiveram oportunidade de fazer ao longo da aula, de maneira descontraída e motivada.

Descrição Detalhada da Aula

A aula iniciou-se às 11 horas do dia 26 de maio de 2015 na sala de multimídia da escola. A mesma é bem equipada, com datashow e caixas acústicas em cada extremo da sala. Na mesma sala, na tarde do dia anterior (turno contrário às aulas regulares), o professor havia feito uma “Sessão Pipoca” com os estudantes das duas turmas que puderam comparecer, exibindo o mesmo filme integralmente.

Depois de 10 minutos para organização e do momento da chamada, o professor pede que eles se dirijam mais à frente da sala, para que possam assistir melhor ao filme. A orientadora de Marcos, Professora Vanessa Carvalho de Andrade, se coloca ao fundo da sala para intervir o mínimo possível na dinâmica da aula.

Marcos inicia fazendo uma rápida enquete sobre quantos haviam comparecido na véspera para assistir ao filme. 4 estudantes dessa turma levantam a mão. Ao todo, 18 estudantes compareceram na atividade do dia anterior, que contou com a participação das

duas turmas em que o Produto Educacional está sendo aplicado. Ele avisa então que na atividade daquele dia eles iriam assistir apenas à alguns trechos do filme para a compreensão dos conceitos que seriam abordados naquela aula.

Faz então um preâmbulo sobre do que se trata o filme. Pergunta quem se lembra da teoria da Relatividade. 2 estudantes levantam a mão.

Marcos explica que na Mecânica Clássica o tempo é absoluto, ou seja, que se passa igualmente para todos, e que agora verão situações onde o tempo é uma grandeza relativa. Inicia então com a exibição do filme *Interestelar* escolhendo o trecho em que o personagem principal, o astronauta, que é pai de uma menina, irá avisar sobre sua viagem: “Quando você tem filhos torna-se fantasma do futuro deles”. “Perto do Buraco Negro o tempo vai mudar para mim, vai passar mais devagar. Quando eu voltar, teremos a mesma idade”. Então dá um relógio para a menina igual ao seu.

Assim, Marcos vai intercalando os trechos do filme para contextualizar a história.

Explica sobre o que é espaço-tempo, a anomalia chamada Buraco de Minhoca, utilizada no filme para que a humanidade pudesse alcançar lugares extremamente distantes, com outros planetas em que pudessem povoar.

Marcos alerta: “Observem que a nave em que estão não pára de girar”

Marcos seleciona o trecho do filme em que um astronauta pega um papel e, fazendo uma dobra, esquematiza o que seria o Buraco de Minhoca, tornando pontos distantes em próximos. Então a nave atravessa de fato essa anomalia espaço-temporal e eles visualizam 3 planetas. Os personagens discutem sobre qual planeta devem se dirigir. Então vem a explicação por um deles: “Cada hora no planeta corresponderá a 7 anos na Terra”.

Marcos explica que um dos astronautas irá ficar na nave mãe enquanto os outros dois descerão ao planeta.

Já no planeta, os astronautas andam sobre o mar. “Como eles andam sobre a água?” pergunta um aluno. Os próprios colegas esclarecem que o mar é raso.

No filme, uma manobra errada fez com que os astronautas perdessem décadas com relação ao tempo na Terra. A astronauta lamenta: “O tempo pode ser achatado e esticado, mas o tempo não volta”.

Os estudantes prestam bastante atenção e sempre nas pausas da exibição realizam alguma pergunta.

Agora no filme, os astronautas voltam à nave e constatam que enquanto passaram-se alguns minutos no planeta, na Terra passaram-se 23 anos 4 meses e 2 dias. Então o

personagem principal passa a ver as mensagens dos filhos enviadas da Terra nesses anos todos. Por fim, a filha, já adulta lembra a ele que naquele dia estava fazendo aniversário, completando a mesma idade do pai quando ele viajou.

Na pausa, os estudantes fazem as seguintes perguntas:

Aluno 1: qual é a influência do campo gravitacional na mudança do tempo?

Aluno 2: Por que no planeta havia ondas no mar gigantescas?

Marcos faz as devidas explicações e então lança uma pergunta: “Quais são todas as situações que estamos vendo e das aulas passadas em que o tempo passa diferente?”

O Aluno 1 responde: “ O tempo passa diferente quando alguém tiver andando perto da velocidade da luz e perto de um buraco negro”.

Marcos confirma e ainda menciona outra situação apresentada no filme em que isso ocorre: “Também na *Animação Suspensa*, o que é ainda ficção científica, não há tecnologia para isso”. Explica: “Os astronautas dormem anos na viagem, e não têm percepção do tempo passado”. “Nada a ver com a teoria da Relatividade”.

Então a Aluna 3 faz o comentário: “É o tempo psicológico, quando você está numa atividade chata?”

Marcos retoma a ideia e explica que a percepção temporal de fato ocorre, que há atividades que fazemos que gostamos em que o tempo parece passar muito rápido e outras enfadonhas, em que o tempo passa devagar. De novo, isso não tem nada a ver com a discussão sobre o passar do tempo no contexto da relatividade.

Marcos sintetiza então os conceitos: “Vimos até aqui 3 fatores que afetam o passar do tempo dependendo dos observadores. E dois fatores são previsões da Relatividade Especial e Relatividade Geral.

- ✓ Na Relatividade Especial, os corpos que andam muito rápido, com velocidades próximas a da luz, possuem um fluxo temporal diferente com relação a um observador parado.
- ✓ Na Relatividade Geral, a presença de gravitação muito forte gera uma distorção, uma dilatação no tempo.”

O Aluno 2 confunde os conceitos de Buraco Negro e Buraco de Minhoca na hora de entender porque o tempo passou para eles mais devagar. Marcos explica que eles estavam sujeitos, devido à proximidade com o Buraco Negro, a um campo gravitacional tão intenso, que o tempo passou para eles diferente. Que o Buraco de Minhoca foi utilizado para viabilizar a chegada a um sistema planetário tão distante da Terra.

O Aluno 3 pergunta se o buraco Negro emite luz.

Marcos explica qualitativamente o que é o Buraco Negro, que ele possui gravidade tão alta que nem mesmo a luz consegue escapar dele...

A Aluna 4 pergunta se existe Buraco de Minhoca de verdade.

Marcos explica que a teoria da Relatividade Geral prevê a existência dele, mas ainda não comprovamos isso observacionalmente.

Aluno 6 fala que o buraco de Minhoca é um atalho.

Aluno 2 menciona a existência de outras dimensões.

Marcos explica o que significam essas dimensões: as 3 dimensões do espaço mais o tempo, que representa outra dimensão, formam um conjunto de 4 dimensões ligadas, o qual chamamos Espaço-tempo. A gravidade, de acordo com o filme, ficaria numa espécie de quinta dimensão.

Aluno 5: Se o planeta estava tão perto do Buraco Negro, por que não foi absorvido por ele?

Aluno 6: por causa da atmosfera?

Marcos responde a cada uma das perguntas e volta à pergunta projetada sobre o tempo passar mais devagar para o pai, o que gera uma grande discussão entre os alunos.

Marcos começa a falar que esse efeito está presente em fatos do dia a dia, como o sistema GPS: “seu celular se comunica com satélites girando em torno da Terra. Os dados são cruzados para saber sua posição exata. Como o celular está mais próximo da Terra do que o satélite, está sujeito a um campo gravitacional levemente mais intenso e o tempo passa diferente para cada um deles.”

Aluno 7: É de segundos a diferença?

Marcos: Muito menor! Mas precisa ser considerada...

Marcos volta à idéia do filme de que 1 dia no planeta vale 7 anos na Terra. Então os alunos respondem em coro o porquê.

Marcos pergunta o que é a relatividade do tempo. Se é biológico, psicológico. O que significa.

E os alunos respondem que o tempo, para os astronautas que desceram ao planeta, passou de fato diferente do tempo para o astronauta que permaneceu fora dele.

Marcos explica então as conseqüências biológicas.

Aluno 8 repara que quando os astronautas chegaram à nave, encontram o astronauta que ficou mais envelhecido.

Aluno 9 cita as muitas mensagens registradas vindas da Terra.

Aluno 8: não era psicológica!

Discutem sobre os destroços de uma outra nave que havia ido ao planeta anos antes deles e encontraram o destroços como se o acidente tivesse acabado de acontecer, como se tivessem chegado alguns minutos depois do colega, indicando que o tempo no planeta havia passado diferente.

Os alunos falam juntos, completam e colaboram com as idéias.

Agora Marcos parte para a outra atividade prevista. Passa a projetar os slides discutindo a viagem de um carrinho de Brasília a Goiânia do ponto de vista clássico, comentando o que se passa para alguém que vê o movimento dentro do carrinho (fusca) e outro observador na pista parado, representado por um “vovô”. Discute o conceito de velocidade relativa e conclui sobre o TEMPO ABSOLUTO.

Alunos observam que a conclusão do filme é outra.

Aí Marcos se remete ao segundo postulado da Relatividade Especial: “A velocidade da luz no vácuo possui o mesmo valor para todos os referenciais possíveis”. Se remete aos experimentos que discutiram na apostila e cita o experimento de Michelson-Morley. “Independente do sentido do movimento, c (símbolo para velocidade da luz) é igual para todos”.

Pede então para que os estudantes relacionem o que acabaram de falar com um experimento mental que passa a exibir no slide, “o relógio de luz”.

Volta então no esquema do fusca, agora contendo um relógio de luz e andando ao mesmo tempo que a luz se propaga dentro do carro. Mostra a trajetória do feixe de luz. É essa a trajetória que o vovô vê parado na pista. Nesse esquema, e outros semelhantes, Marcos discute a dilatação temporal e contração do espaço, com um mínimo de matemática e muitas ilustrações.

A Aluna 9 fica em dúvida sobre o “tic tac” do relógio de luz em cada referencial.

Marcos explica. E reforça que para situações que envolvem baixas velocidades, o tempo se passa da mesma forma para todos os referenciais.

Aluno 7 pergunta: “Qual é uma velocidade mínima para se perceber o efeito relativístico?”

Marcos fala que com objetos a 10% da velocidade da luz, menos até, dependendo do instrumento de medição, já é possível comprovar efeitos desta natureza.

Então joga para discussão o fato de que é necessário se fornecer uma energia enorme para colocar uma nave nessas velocidades relativísticas.

A turma é participativa, a sala se enche de “ruído”.

Marcos faz um resumo das ideias discutidas e o Aluno 10 pergunta: “O mesmo vale para o campo gravitacional, né?”

Conclui dizendo que tudo isso não é ficção científica.

A Aula termina 12:30h. Marcos pergunta: “Gostaram?”

“Sim!”, todos respondem.

Alguns alunos saem da sala mas forma-se uma rodinha de alguns estudantes em torno do Marcos para uma última rodada de discussões.

Aluno 1 pergunta: “ Por que os planetas não caem todos dentro do Buraco Negro?”

Marcos explica os efeitos gravitacionais fortes e cita que a lua está “em queda” com relação à Terra, mas como gira, a composição do movimento é uma trajetória circular.

Aluno 2: “O Buraco Negro já foi observado ou é ficção?”

Marcos diz que sim, e explica o efeito da Lente Gravitacional.

Aluno 3 fala que se interessa por Buracos Negros.

Aluno 4 menciona que a cada ano a lua se afasta um pouco da Terra.

Marcos explica que por isso o movimento de rotação da Terra se torna levemente mais lento por esse efeito.

Aluno 11: O dia vai chegar a ter 25h depois de muito tempo...

Conclui-se assim a visita de Estágio Supervisionado.