

IFUSP/P 639
B.I.F. - USA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PUBLICAÇÕES

INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01498 - SÃO PAULO - SP
BRASIL

IFUSP/P-639

27 JUL 1987



RACIOCÍNIOS ESPONTÂNEOS DE ESTUDANTES DE
PÓS-GRADUAÇÃO

A. Villani e J.L.A. Pacca

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Maio/1987

Raciocínios espontâneos de estudantes de pós graduação

A. Villani* e J.L.A. Pacca

Introdução

O grande número de pesquisas referentes a concepções alternativas, bem como a variedade das situações nas quais elas foram detectadas, certamente deixa poucas dúvidas de que crianças e estudantes de segundo grau ou no começo da Universidade, possuem um saber articulado, diferente do ensinado na escola e muito resistente à mudança.

Será que a formação universitária, com sua duração e com sua abrangência, é capaz de enquadrar adequadamente este tipo de conhecimento? Mais ainda, será que a prática da pesquisa científica, pelos estudantes de pós-graduação é capaz de instalar de maneira total o conhecimento científico e suas noções precisas?

Alguns indícios interessantes para responder a estas perguntas podem ser encontrados nos relatos de treinamento de professores de Ciências de primeiro e segundo graus (Perez, 1985), nos quais as concepções alternativas ainda têm um papel importante para explicar seus comportamentos.

Uma resposta importante e mais fundamentada às perguntas levantadas acima pode ser encontrada nos resultados de duas pesquisas por nós conduzidas, com mais de uma centena de estudantes de pós-graduação já formados em Física e envolvidos em pesquisas científicas, para obtenção de Mestrado ou Doutorado.

* com auxílio parcial do CNPq

Neste trabalho relataremos estas duas pesquisas, cujos resultados, sem dúvida, confirmam uma forte tendência dos estudantes a interpretarem os fenômenos de acordo com as concepções ou esquemas muito semelhantes aos que foram denominados raciocínios espontâneos.

Metodologia de Pesquisa

Partimos da suposição de que os estudantes de pós-graduação, quando interrogados sobre questões qualitativas que não dizem respeito ao trabalho de pesquisa por eles profissionalmente desenvolvido, utilizam uma bagagem conceitual intuitiva ou espontânea não totalmente moldada pelo conhecimento adquirido, semelhantes às encontradas em pesquisas com estudantes de primeiro e segundo graus.

Por razões práticas, foram escolhidos dois temas para os quais já se conheciam, de pesquisas anteriores, formas espontâneas de raciocínio: velocidade da luz (Teoria da Relatividade) e transmissão do movimento (Teoria Clássica Newtoniana). As referências básicas foram o modelo de Saltiel (1980), complementado por Hosoume (1986) para a cinemática "espontânea" e a mudança de referencial e os modelos de Mariani (1987) para a transmissão de movimento em choques.

Em ambos os casos tínhamos também, além desses modelos, os registros da história da ciência sobre as idéias de espaço absoluto e impulso e "vis viva", servindo de guia complementar para interpretar formas alternativas de pensar a física.

Utilizamos em cada pesquisa dois problemas: um de solução mais imediata e outro que podia ser resolvido somente após raciocínio mais articulado, sem no entanto serem necessários cálculos expli

citados. Os problemas exigiam sempre respostas qualitativas objetivas (do tipo maior, menor ou igual) e a correspondente justificativa. Esperávamos que os problemas mais complexos levassem a respostas em que o conhecimento formal e o "espontâneo" estivessem presentes. No apêndice A estão alguns dos problemas, que foram propostos em entrevistas dirigidas.

No caso da velocidade da luz, aproximadamente 65 alunos participaram da pesquisa, tendo-se 24 entrevistas sobre o primeiro problema e 60 sobre o segundo (com vários casos de superposição); 75% dos estudantes estava em nível de mestrado e 25% de doutorado.

No caso de transmissão de movimento, aproximadamente 85 estudantes participaram da pesquisa, tendo-se 56 entrevistas sobre o problema do choque simples e 59 sobre o choque múltiplo; do total cerca de 50% em nível de mestrado e 50% de doutorado.

A duração média das entrevistas era quarenta minutos para cada problema; o entrevistador anotava sinteticamente as respostas dos estudantes, questionando eventuais inconsistências, e em seguida as devolvia ao estudante dando-lhe a oportunidade de encontrarem uma coerência satisfatória revendo o conjunto das suas respostas. Esta forma de trabalhar, embora mais demorada, nos permitia conhecer as idéias já filtradas pela avaliação do próprio estudante, refletindo então visões ou "protótipos" bem enraizados no pensamento do indivíduo, em vez de idéias impulsivas ou mal entendidos momentâneos. O abundante número de entrevistas de fato supriu a eventual perda de algumas intuições "espontâneas", descartadas pelo entrevistado nesse processo de reavaliação; sempre existia alguém que considerava satisfatoriamente coerente aquilo que outro tinha rejeitado como incompatível ou apressado.

Idéias Espontâneas sobre Velocidade da Luz

Envolvendo dois raios luminosos e dois trens que dela se afastam em direções opostas, as questões do primeiro problema focalizam as distâncias entre fótons e trens, vistas de observadores diferentes (Villani, 1987).

As questões sobre tempo se referem ao tempo de ida e de volta de um raio de luz entre uma antena A e um espelho E, solidários numa das versões, com um foguete relativístico, e na outra com a estação terrestre. Uma das versões deste problema tem alguma semelhança com as questões de cinemática elementar que envolvem "arrastamento": no caso, o arrastamento da luz por parte do foguete.

A análise das justificativas reduziu grandemente a porcentagem das respostas que, num primeiro momento, se mostraram adequadas de acordo com a teoria da relatividade, pois algumas das previsões corretas eram acompanhadas de raciocínios incompletos ou misturados com noções "espontâneas".

No primeiro problema, a idéia geral, que sustentava grande parte das justificativas, era que a invariância da velocidade da luz significava unicamente um afastamento uniforme da luz nas duas direções. A velocidade dos trens nas direções opostas explicava por que os fótons observados dos trens, não estavam à mesma distância. Era como se existisse uma única velocidade para a luz e para os trens, e uma única distância percorrida por eles, independente dos observadores estarem localizados na antena ou nos trens. Por isso, a ambigüidade do texto, não especificando o referencial a que se referiam os dados fornecidos, não causou nenhum problema.

No segundo problema, apareceu de maneira evidente a mistura de noções relativísticas e espontâneas: a distância percorrida pela luz não dependia do observador, a dilatação do tempo se dava

somente quando o objeto se movimentava "realmente", simetrias foram mais se superpunham a uma visão espaço-temporal absoluta, as observações eram qualificadas de "reais" ou "aparentes", dependendo de sua condição de repouso ou movimento.

Em síntese, todas as respostas dos estudantes mostram-se permeadas pela idéia do absoluto.

Em primeiro lugar, existem muitas respostas que ignoraram totalmente a mudança do observador; tudo é fixo e idêntico: tempo de ida e de volta; caminho da luz e sua velocidade. Existe uma única realidade caracterizada por parâmetros que são independentes dos observadores.

Uma primeira distinção entre diferentes observações é acompanhada de uma compensação expressa de várias maneiras: contração e dilatação da distância e/ou do tempo. Em conclusão, apesar de algumas diferenças pouco significativas, o intervalo de tempo global e a distância global do caminho da luz são considerados independentes dos observadores.

Em segundo lugar, aparece a possibilidade de observações diferentes, cujo fundamento é o efeito relativístico aplicado ao tamanho do foguete, mantendo, entretanto, seu movimento absoluto. A distância percorrida pela luz é diferente para os observadores unicamente porque o foguete sofre uma contração devida a seu movimento; o fenômeno é essencialmente igual para todos os observadores.

Por isso, é simples utilizar o último argumento para salvar o absoluto; é verdade que as medidas são diferentes "devido à Relatividade", mas, de fato, trata-se unicamente de efeitos "aparentes". A distância, velocidade e tempo reais são únicos, pois não dependem dos observadores.

A semelhança destas justificativas com as idéias que ca-

racterizam o modelo "Natural" de Saltiel e Hosoume é evidente: a independência entre noções cinemáticas e sistema de referência, a utilização de um esquema tipo "arrastamento" para compor distâncias, as categorias de "real" e "aparente" para distinguir a visão do movimento verdadeiro das outras visões e, finalmente a noção de movimento absoluto.

Idéias espontâneas sobre colisões elásticas

Nesta pesquisa procurava-se conhecer o modo dos estudantes pensarem sobre a transmissão de movimento que ocorre em colisões (Villani, 1986).

O problema sobre colisão simples trata de várias situações de choque entre duas bolas em movimento e dois alvos parados; no problema sobre a colisão múltipla as situações são análogas mas com um alvo constituído por duas bolas paradas. Nosso interesse era detetar o papel das interações recíprocas entre as bolas e a influência das simetrias entre as massas na análise da colisão.

As perguntas são de tipo fenomenológico (previsão de alcance e de sentido de movimento) e de tipo técnico envolvendo energias e impulsos transferidos durante o choque.

No problema sobre colisão simples, as respostas objetivas revelaram que aproximadamente 1/3 dos estudantes previam o comportamento das bolas incidentes e dos alvos de maneira compatível com a mecânica newtoniana aplicada a choques elásticos centrais.

Nas respostas às questões sobre transferência de energia somente 1/6 utilizou sistematicamente critérios compatíveis com a mecânica newtoniana, a maioria preferindo relacionar a transferência de energia unicamente à massa da bola incidente ou à velocidade do alvo.

7.

Finalmente, nas respostas às questões sobre impulso, obtivemos a redução das respostas newtonianas a 5% do total, a grande maioria das respostas apresentava a massa incidente como o único fator responsável pelo impulso comunicado ao alvo.

Quando se trata de uma colisão simples (dois corpos se chocando) encontramos duas tendências de interpretação para explicar o aparecimento de movimento do alvo que podem ser assim caracterizadas:

processo de transmissão- segundo esta interpretação, a bola incidente passa sua energia/quantidade de movimento para o alvo.

A transmissão é total quando a bola incidente e o alvo não são muito diferentes; a bola incidente para e o alvo adquire toda a energia da bola incidente. O alvo sairá com velocidade maior ou menor, dependendo de sua massa e terá alcance maior a bola de menor massa.

A transmissão é parcial no caso de uma diferença significativa entre as massas da bola incidente e do alvo; a bola incidente "não consegue passar" toda sua "energia" para o alvo, então continua no seu movimento ou para a frente, quando o alvo for pequeno, ou para trás quando o alvo for muito grande.

Nesta versão, os elementos físicos envolvidos são puramente escalares e o "movimento" passa de um corpo para o outro num esquema de conservação.

processo de produção- segundo esta interpretação a bola incidente, tendo movimento (adquirido ao descer o plano inclinado), tem força de impacto que, evidentemente, depende de sua massa. Ao se chocar com o alvo parado, dá-lhe um impulso para a frente e este sai com velocidade tanto maior quanto mais leve for. O movimento da bola incidente, após o choque, dependerá totalmente da bola

8.

alvo e da resistência por ela oferecida. Se o alvo for menor, não conseguirá frear a bola incidente; se o alvo for igual, a bola incidente será totalmente freada; se o alvo for maior, a bola incidente ou será freada totalmente ou será até mesmo "empurrada" para trás, num esquema de reação que tem alguma semelhança com o princípio de ação e reação.

Neste segundo modelo, a idéia básica é a força ativa feita pela bola incidente e a resistência ou reação do alvo, em sentido contrário. A única diferença com o esquema newtoniano é que ação e reação não estão ligados por um princípio de simetria. A ação depende da bola incidente e será tanto maior quanto maior for sua massa; o mesmo ocorre com a reação.

Cada um dos enfoques encontra dificuldades na sua tentativa de explicação; o modelo de transmissão não explica muito bem como a bola pode voltar, qual o impulso dado ao alvo, e também como pode a quantidade de movimento do alvo ser maior do que a da bola incidente.

O modelo de produção tem dificuldades em prever a energia do alvo e seu impulso a partir do movimento da bola incidente antes de depois do choque, pois não existe uma ligação entre a ação da bola incidente e a reação do alvo.

Entretanto o significado mais explícito desses processos de transmissão e produção que dão conta do que ocorre durante a colisão se encontra na análise de uma colisão múltipla (segundo problema); neste caso o corpo intermediário é capaz de mostrar os efeitos mais internos do fenômeno, que levam aos diferentes modos de descrevê-lo.

Nota-se que a atenção dos estudantes é voltada para a bola intermediária e as justificativas das explicações fazem sempre referência a esse ponto.

Analisando as respostas pode-se classificá-las em três categorias referentes ao comportamento da bola intermediária, que trazem em si as idéias ligadas a **transmissão** e/ou a **produção**:

colisão independente- são focalizadas duas interações em que a bola intermediária é sucessivamente alvo e bola incidente.

colisão global- é considerada uma colisão simples com o alvo constituído por duas bolas solidárias.

colisão com acoplamento- (corpo transmissor) - a bola intermediária aparece como mera transmissora entre a incidente e o alvo.

Nos dois primeiros casos, as colisões são reguladas pelos mesmos mecanismos da colisão simples.

no terceiro caso a transmissão se dá com a bola intermediária em repouso ou em movimento. Quando ela fica parada, a bola incidente para ou volta e a última bola fica parada ou sai com uma certa velocidade. Quando ela se movimenta é porque foi "arrastada" pela bola incidente e se destaca desta somente após a colisão.

As idéias sobre energia e impulso, sobretudo as que sustentam a proporcionalidade entre perda de energia e aumento da massa do alvo, e a diferenciação entre perda de energia e sua transmissão (idéias incompatíveis com a colisão elástica clássica), sugerem a visão espontânea de uma colisão com uma certa componente inelástica no sentido de que a velocidade da bola incidente após a colisão será tanto menor quanto maior for o obstáculo. De outro lado, a idéia de que a transmissão da energia e do impulso depende, ou diretamente da massa da bola incidente ou inversamente da massa do alvo, sugere a interpretação de energia e impulso como "movimento", que passa mais facilmente quanto mais leve for o alvo ou quanto "mais força fizer" a bola incidente; esta idéia foi encontrada tam

bém na análise da colisão simples.

De modo geral as explicações sempre dão conta de três fatores que estariam presentes numa colisão: a característica do alvo; o modo de transferência ou geração de energia/quantidade de movimento e a elasticidade da colisão.

Todas essas idéias encontradas principalmente quando é analisada a colisão múltipla tornam-se mais interessantes quando articuladas com os resultados de pesquisas análogas com estudantes de segundo grau.

Em trabalhos recentes sobre idéias espontâneas na transmissão do movimento (Mariani, 1987), as idéias mais fundamentais foram:

- a) A existência de modelos de choques do tipo "arrastamento", produção e transmissão total ou parcial, junto com sua possível hierarquização em modelos mais primitivos e mais dependentes da escolaridade.
- b) A existência de uma "eficácia" reduzida por parte da bola incidente e de uma "elasticidade" incompleta, sobretudo em presença de alvos maiores.
- c) A utilização não-simétrica do princípio de ação e reação.
- d) A associação entre energia e massa (consideradas como capacidade de armazenamento) e entre energia e movimento (consideradas como entidades substanciais capazes de serem gastas ou transmitidas) (Terrazzan, 1985).

A análise das justificativas dos alunos de pós-graduação revela características semelhantes; no entanto, no choque simples não aparecem algumas idéias mais primitivas como "arrastamento" e inelasticidade, também a idéia de produção de movimento é quase sempre associada a algum tipo de conservação escalar de energia/quantidade de movimento.

As idéias mais primitivas aparecem somente no choque múltiplo e não parece existir uma razão evidente no contexto do problema, que explique este regresso, a não ser a maior complexidade de sua análise.

Comentários e Conclusões

Uma análise comparativa das duas pesquisas revelam semelhanças interessantes e importantes.

Em primeiro lugar a utilização inadequada da intuição física. Quando a aplicação imediata de fórmulas torna-se complexa, o índice de respostas comparativas com os padrões newtoniano ou relativístico diminui drasticamente.

No caso da velocidade da luz, a comparação entre medidas feitas pelos vários observadores parecia mais difícil do que a comparação entre diferentes medidas (ida e volta) feitas pelo mesmo observador.

No caso das colisões elásticas, o número de respostas newtonianas diminui ao passar das previsões diretas para as mais técnicas e de colisões simples para múltiplas.

Em segundo lugar, a linguagem técnica aparece disfarçando as idéias espontâneas. No caso da velocidade da luz é notável o acoplamento das noções relativísticas de contração e dilatação espaço-temporal num contexto de movimento absoluto ou a aceitação de medidas relativísticas diferentes, mas com uma clara caracterização de efeitos "aparentes".

No caso das colisões, a utilização das idéias de ação e reação num contexto de causalidade absoluta e a interpretação da colisão "elástica" como transferência total de energia/quantidade de movimento.

Em terceiro lugar nota-se uma regressão para modelos mais primitivos no caso de fenômenos fisicamente mais complexos:

No caso das colisões, o aparecimento significativo do "arrastamento" de uma bola por outra ou a utilização de uma "elasticidade" parcial somente nas colisões múltiplas.

No caso da velocidade da luz o aparecimento de respostas que desprezam totalmente a mudança de observador e identificam uma única realidade somente nos problemas sobre tempo.

Finalmente é possível perceber um traço comum na geração das noções espontâneas referentes a mudança do observador e a transmissão do movimento: a tendência a adotar um caráter absoluto as noções físicas; assim no conteúdo aqui tratado sobressaem dois elementos caracterizados por: movimento absoluto e substancial e ação absoluta absoluta e individual.

A primeira idéia, que se expressa dizendo que o movimento é algo em si e que, portanto, pode passar de um corpo para outro deixando o correspondente vazio no primeiro, torna imediata não somente a invariância da velocidade da luz, ou a contração relativística das distâncias mas também se ajusta à interpretação da conservação da quantidade de movimento e/ou da energia, identificadas com entidades que expressam o movimento.

A segunda idéia, que se expressa na proposição de que a ação de um corpo sobre outro somente depende de suas características, é fortemente ligada à anterior pois um movimento absoluto deve ter uma causa absoluta; tal idéia consegue "assimilar" a lei newtoniana de ação e reação associando a ação à massa da bola agente, e a reação às características do alvo; e até nos casos mais drásticos nos quais o alvo é considerado puramente passivo.

Todas essas ocorrências são indícios de que as noções espontâneas permanecem num estado latente na mente dos estudantes de

pós graduação, prontas a reaparecerem quando a utilização de esquemas formais for menos imediata e os estudantes estiverem inseguros.

O número de estudantes entrevistados, seu currículo e sua familiaridade com a pesquisa não deixam dúvida de que não se trata de um acidente de percurso. A semelhança de tais idéias com as apresentadas por estudantes de segundo grau ou no início da formação, a tentativa de articulá-las num discurso "quase" coerente e, sobretudo, a estratégia de adaptação das novas noções adquiridas a um quadro conceitual anterior, além de constituir um sinal evidente do enraizamento deste tipo de construção conceitual, é uma prova, também evidente, da inadequação da formação em Física.

Mais do que isto, esta inadequação tem uma caracterização bem específica: não se trata de falta de domínio do instrumental matemático, pois muitos dos entrevistados estavam trabalhando em física teórica, e quase todos tinham passado por muitos cursos sofisticados de pós graduação (onde o treino básico se faz sobre a resolução de problemas às vezes complicados do ponto de vista formal). A origem das dificuldades é a falta de idéias básicas capazes de articular rapidamente modelos grosseiros, mais compatíveis com as teorias ensinadas e seus princípios fundamentais do que as idéias espontâneas.

O ensino da teoria da Relatividade Restrita começa supondo que o estudante domine completamente a Relatividade Galileiana. Provavelmente os estudantes dominam as fórmulas de transformação, mas não seu espírito, e sobretudo sua incompatibilidade com a noção de referencial absoluto e de movimento absoluto independente de observadores.

A ausência desta intuição relativística Galileiana se manifestou também nos testes sobre colisões; pouquíssimos estudantes utilizaram o recurso de uma mudança de referencial para analisar o

choque entre bolas e perceber a semelhança entre algumas das situações apresentadas; além disso a própria noção de ação e reação, cada qual associada a uma bola foi totalmente encaixada num contexto de valor absoluto, com a atribuição de forças dependentes da massa de cada bola.

Analogamente, o ensino das colisões elásticas começa supondo que o estudante domina a conservação da energia e da quantidade de movimento. Entretanto, ele confunde os dois conceitos e sobretudo tende a dissociar a conservação da quantidade de movimento do princípio de ação e reação; daí a dificuldade em trabalhar com a simetria de tal princípio e em reconhecer o caráter essencialmente vetorial da conservação da quantidade de movimento.

Bibliografia

- Hosoume, Y.: "Proposta de um Modelo Espontâneo de Movimento" Tese de Doutorado - FEUSP (1986) Não publicada.
- Mariani, M.C.: "Evolução das Concepções Espontâneas sobre Colisões" Dissertação de Mestrado - FEUSP - IFUSP -(1987) Não publicada.
- Perez, D.G.; Carrascosa, J.: "Science Learning as a Conceptual and Methodological Change" Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985/pp 231 - 236).
- Saltiel, E.; Malgrange, J.L.: "Spontaneous ways of reasoning in Elementary Kinematics" Eur. Jour. Phys. 2(1980) pp 73-80.
- Terrazzan, E.A.: "A Conceituação Não-Convencional de Energia no Pensamento dos Estudantes" Dissertação de Mestrado - FEUSP/IFUSP (1985) - Não Publicada.
- Villani, A.: "Conteúdo Científico e Problemática Educacional na Formação do Professor de Ciência" - Cap. V - Tese de Livre Docência - IFUSP (1986) - Não Publicada.
- Villani, A.; Pacca, J.L.A.: "Students Spontaneous ideas about the speed of light" - Int. Jour. Sc. Ed. 9(1987) pp 55 - 66.

APÊNDICE A

Neste apêndice apresentaremos os textos de alguns dos problemas utilizados nas pesquisas.

1. VELOCIDADE DA LUZ

- Problema sobre "distância"

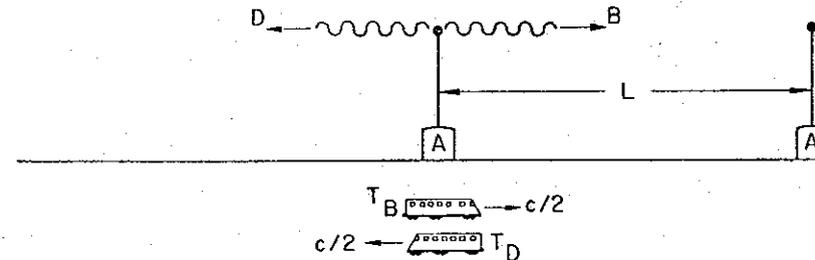


Fig. 1

No instante em que os dois trens T_B e T_D cruzam com a antena A, esta emite dois sinais de luz B e D nas direções positiva e negativa. Sabendo que os dois trens têm velocidade $v = C/2$ na direção positiva e negativa (Fig. 1)

Q1. A que distância de A se encontrarão os dois trens e o sinal D, quando o sinal B atinge uma antena A', que está à distância L de A? Justifique sua resposta.

Q2. Suponha que você está no trem T_B . Para você, quando o sinal B atingir a antena A', qual dos dois sinais estará mais perto de você?

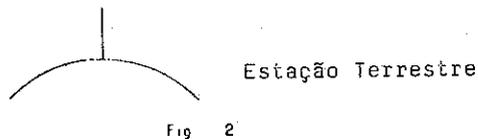
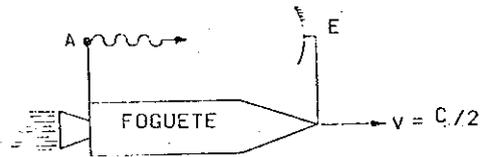
Justifique a sua resposta.

Q3. Suponha que você está no trem T_D . Para você, quando o sinal B atingir a antena A', qual dos dois sinais estará mais perto de você?

Justifique sua resposta.

Q4. As suas respostas às perguntas P_2 e P_3 são compatíveis com a invariância da velocidade da luz ? Explique ?

Problema sobre "tempo"



Um foguete relativístico de comprimento L é dotado de uma antena A na parte posterior e de um espelho E na parte anterior. Quando o foguete, que viaja com velocidade $v = c/2$, passa perto de uma estação terrestre, sua antena A emite um sinal de luz, que após atingir o espelho E é refletida voltando para a antena A , onde é absorvido (Fig. 2)

Q1. Para o Foguete, o sinal de luz demora mais tempo na ida de A até E ou na volta de E até A ? Por quê ?

Q2. Para a Estação Terrestre, o sinal de luz demora mais tempo na ida de A até E ou na volta de E até A ? Por quê ?

Q3. Para percorrer a ida de A até E , o sinal de luz demora mais tempo para quem está no foguete ou para quem está na Estação ? Por quê ?

Q4. Para percorrer a volta de E até A , o sinal de luz demora mais tempo para quem está no foguete ou para quem está na Estação ? Por quê ?

Q5. Faça um diagrama mostrando o caminho da luz da antena do Espelho e retorno, visto por quem está no Foguete. Explique seu desenho.

Q6. Faça um diagrama mostrando o caminho da luz da antena ao Espelho e retorno, visto por quem está na Estação. Explique seu desenho.

2 . TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

Nas figuras abaixo você encontrará sempre duas bolas no plano inclinado e duas bolas (ou quatro bolas) no plano horizontal. Estas bolas de mesmo material, duro, podem ter três tamanhos: pequeno (P), médio (M) e grande (G). Suponha, por simplicidade, que as bolas pequenas pesem a metade das médias e as médias, metade das grandes. As bolas são identificadas por um número que permite distingui-las (bola G_1 , bola M_2 , etc.) entretanto, todas as bolas G são iguais, todas as M também, etc. As bolas que estão no plano inclinado são abandonadas de uma mesma altura em relação ao plano horizontal e no mesmo instante, pela retirada de um obstáculo.

Os tracejados indicam o caminho percorrido por cada bola. O choque entre as bolas é frontal e o movimento das bolas, unidirecional.

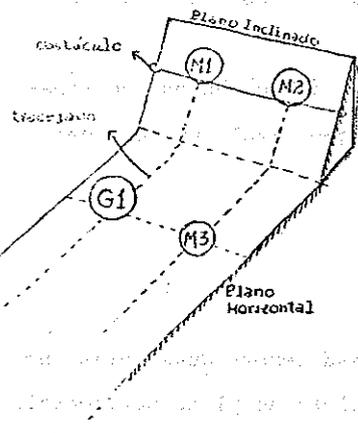
Choque Simples

Fig. 3

QUESTÕES

- Q1. G1 vai mais ou menos longe do que M3 ? Por quê ?
- Q2. O que acontece com as bolas M1 e M2 após o encontro com G1 e M3 respectivamente ? Por quê ?
- Q3. Após o choque, G1 vai ter energia maior ou menor do que M3 ? Por quê ?
- Q4. M1 vai dar maior ou menor impulso em G1 do que o impulso de M2 para M3 ? Por quê ?

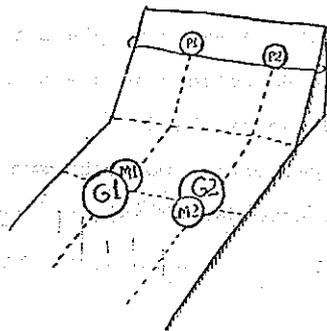
Choque Múltiplo

Fig. 4

- Q1. Qual das bolas G1 e G2 vai mais longe ? Por quê ?
- Q2. O que acontece com P1, P2, M1 e G2 após o choque ? Por que ?
- Q3. Qual das bolas esternas G1 e G2 tem maior energia após o choque? Por quê ?
- Q4. Qual das bolas incidentes P1 e P2 perde mais energia durante o choque ? Por quê ?
- Q5. Qual das bolas incidentes P1 e P2 dá um impulso maior para o alvo durante o choque ? Por quê ?