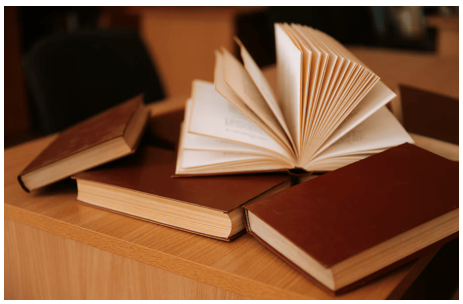
Esse documento mostra uma possível abordagem física e experimental para investigar o fenômeno, ***mas não se limite a ela****! Há inúmeras formas diferentes de analisar qualquer problema da IYPT.*

Capa de livro caindo

Um livro é colocado na horizontal e a capa parcialmente aberta é deixada cair. Investigue o movimento da capa em queda.



---

1 Enunciado

O enunciado deste problema é extremamente curto, e é extremamente vago em relação ao que deve ser analisado. Seria o formato do movimento, a trajetória da capa ou a variação de velocidade o melhor caminho para se analisar? Talvez um bom desenvolvimento desse problema analise todos esses fatores.

Não há delimitação explícita de quais parâmetros são relevantes, nem nenhum comando que indique implicitamente que tal variação é necessária. Mesmo assim, podemos delimitar os seguintes objetivos:

- Uma explicação qualitativa para o movimento da capa;
- Um modelo teórico que preveja esse padrão de movimento e que possa ser comparado com uma abordagem experimental;
- Uma montagem experimental que permita a tiragem de dados relevantes.

1.1 Questionamentos Iniciais

Como a queda da capa se distingue de uma queda de um objeto qualquer? A trajetória em arco da capa é relevante? Como o arrasto do ar vai afetar um objeto de extensão maior? O que acontece com o ar que é comprimido conforme a capa cai? Como o ângulo incial da capa afeta o problema? Como as dimensões da capa afetam o problema? Existe algum modo de simplificar esse sistema para a análise?

1.2 Parâmetros

Para avaliar extensivamente o fenômeno, considere os seguintes parâmetros relevantes:

- **Caracterização do livro:**
  - Dimensões da capa (espessura, largura, comprimento);
  - Peso da capa;
  - Geometria do livro;
- **Condições iniciais:**
  - Ângulo inicial de soltura da capa;
  - Velocidade inicial de soltura da capa.

2 Análise Qualitativa

2.1 Conceitos Físicos Importantes

- **Força peso**
  1. **Definição:** Força de atração gravitacional exercida sobre a massa da capa, induzindo seu movimento.
  2. **Como afeta:** A principal força que atua no movimento da capa.
- **Arrasto do ar**
  1. **Definição:** O arrasto é o conjunto de forças exercidas pelo ar que se opõem ao movimento realizado por um corpo em deslocamento.
  2. **Como afeta:** Devido à grande extensão da capa, talvez seja importante considerar se o arrasto oferece resistência suficiente ao movimento da capa.
- **Conservação de energia**
  1. **Definição:** Condição de um sistema isolado em que a atuação das forças apenas transforma um tipo de energia em outra, sem perdas ou ganhos possíveis.
  2. **Como afeta:** O movimento da capa envolve apenas o peso e a energia cinética, mas note que o movimento não ocorre até toda a energia ser dissipada pelo ar. Em vez disso, o movimento é interrompido por um anteparo. Portanto, a energia da queda da capa deve ser transmitida para outro objeto. Mas qual objeto seria esse?
- **Compressão do ar**
  1. **Definição:** A pressão aplicada pela capa no ar entre si mesma e o anteparo. Como o ar é um gás, essa pressão leva à sua compressão, e o ar é ejetado pelos lados da capa como consequência disso.
  2. **Como afeta:** Talvez, o objetivo do enunciado seja sugerir a análise dessa ejeção de ar. Seria possível maximizar a velocidade dessa ejeção? Qual é o processo termodinâmico que ocorre com o ar?

3 Sugestão de Experimental

3.1 Equipamentos e Forma de Extração de Dados

- **Chapas de papelão/madeira**: Em vez de usar diferentes livros, use chapas e dobraduras para recriar de modo mais fácil e em um sistema mais simples o efeito observado;
- **Fita métrica ou régua** para relacionar a distância real com a distância no vídeo;
- **Câmera ou smartphone** para capturar o movimento do pêndulo;
- **Software de rastreamento (Tracker ou similar)** para identificar a posição da bola no vídeo;
- **Anemômetro** para avaliar a velocidade de ejeção do ar conforme as chapas caem;
- **Transferidor ou aplicativo de medição de ângulo** para determinar a inclinação inicial da chapa.

3.2 Metodologia

- **Preparo do sistema**: Use uma chapa mais pesada para servir de suporte fixo no chão. Instale dobraduras ou apenas cole com fita outra chapa, de modo a obter um sistema em que a chapa de cima está fixa em um de seus lados. Peça para um colega inclinar a chapa móvel até o ângulo desejado.

- **Registro digital**: Coloque a câmera paralela ao chão, com distância suficiente para minimizar a paralaxe. Comece a gravar quando seu colega soltar a chapa. Ao fim do vídeo, nomeie o vídeo com os parâmetros usados (tamanho da chapa, material da chapa, ângulo inicial) para identificação posterior.
- **Análise da trajetória**: Importe o vídeo no software de rastreamento. Marque quadro a quadro a posição da chapa móvel, para obter dados do deslocamento de e da velocidade.
- **Validação experimental**: Sugere-se que o mesmo experimento seja repetido algumas vezes para que uma validação estatística possa ser realizada.

3.3 Cuidados Experimentais, Incertezas e Possíveis Erros

- **Erro humano**: Por vezes, a mão humana pode aplicar alguma força na chapa, mesmo que acidentalmente. Para evitar uma distorção dos dados, sugere-se que os experimentos sejam repetidos algumas vezes.
- **Minimização de paralaxe**: Ponha a câmera centralizada em um plano paralelo ao movimento do pêndulo e a uma distância considerável do plano.
- **Ambiente estável**: Mantenha a câmera estável ao longo do experimento, sem realizar vibrações (use um tripé).
- **Configurações do software**: Ajuste o sistema de coordenadas e o momento inicial de análise (frame 0) de forma consistente.

3.4 Limites Experimentais

- **Precisão do ângulo**: A maior parte dos medidores de ângulo online/transferidores apresenta alta imprecisão. Repita os experimentos e obtenha a incerteza de medição do instrumento.
- **Distorções de paralaxe**: Se o celular não estiver corretamente alinhado, ele pode sofrer efeitos de paralaxe.
- **Comportamento do ar**: O ar é um fluido, e grande parte dos modelos teóricos que consideram sua compressão fazem diversas simplificações. Investigue as limitações do modelo escolhido.
- **Conexão entre as chapas**: Grande parte das capas de livro é feita de papelão rígido e unida por tecido/outro papel de revestimento à outra capa. O sistema sugerido usa dobraduras/fita, o que pode gerar um vão entre as chapas e levar à ejeção de ar do lado incorreto. Considere como unir as chapas para minimizar este efeito.

3.5 Investigações Adicionais

Para analisar as diferentes grandezas relacionadas ao fenômeno e/ou contornar os diferentes limites experimentais, você pode tentar:

- Criar formas de soltura que não envolvam a mão humana; por exemplo, seria possível soltar usando fios, barbantes?
- Investigar além do modelo simplificado empregado, envolvendo uma capa, um apoio e um suporte. Há efeitos que não são contabilizados que ocorrem em um livro (ex.: devido a abas na capa, páginas, distorções da lombada do livro)?
- Investigar os efeitos esperados em um fluido muito ou pouco denso, ou até mesmo no vácuo (na ausência de matéria). Haveria alterações significativas no movimento da capa?

4 Referências para Estudo

- **Kit de Referência da IYPT** (inglês), material excelente para encontrar artigos sobre o fenômeno;
- **Curso de Física Básica: Mecânica (Volume 1)** de H. Moysés Nussenzveig, um curso de física básica que ensina mecânica necessária para o problema;
- **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações, Calor e Ondas (Volume 2)** de H. Moysés Nussenzveig, um livro de fluidos para aprofundar seu entendimento da compressão do ar;
- **Artigo sobre a interação entre o ar e o livro**, que serve como base introdutória para o desenvolvimento da parte mecânica do problema.