



Trabalho de programação I

Explorando a física de Interestelar

André Pacheco e Jordana Salamon

TRABALHO DE PROGRAMAÇÃO I

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Este documento descreve o trabalho da disciplina de programação I 2018/2 ofertada pelo departamento de informática para o curso de bacharelado em Física da UFES.

05 de outubro de 2018



Sumário

1	Introdução	4
1.1	Motivação	4
1.2	Objetivo	4
2	Descrição do trabalho	6
2.1	Enredo	6
2.2	Descrições técnicas	7
2.2.1	Padrão de entrada de dados	7
2.2.2	Padrão de saída dos dados	7
2.2.3	Tarefa 1: O gato está vivo ou morto?	8
2.2.4	Tarefa 2: Afinal, isso é um buraco negro?	8
2.2.5	Tarefa 3: O planeta é capaz de resistir a matéria/buraco negro?	8
2.2.6	Tarefa 4: os efeitos da força de maré	9
2.2.7	Tarefa 5: uma viagem no tempo	10
2.3	Regras gerais	11
2.3.1	Nota e critério de avaliação	11
2.3.2	Submissão	11
2.3.3	Dúvidas ou problemas encontrados na descrição do trabalho	12
2.4	Fontes de referências	12



1. Introdução

1.1 Motivação

O filme de ficção científica **Interestelar** ¹, lançado em 2014, retrata um futuro, não muito distante, na qual a humanidade está a beira da extinção. Por conta da atividade humana, alterações na atmosfera tornarão o planeta terra inabitável em pouco tempo. Sendo assim, por meio de um misterioso e inesperado buraco de minhoca que surgiu próximo a Júpiter, um grupo de astronautas e cientistas viajam para uma nova galáxia, que é circundada por um buraco negro super massivo, com intuito de encontrar um novo planeta para a humanidade. Como nossa intenção é dar o mínimo de *spoilers* possível, este parágrafo já é o suficiente para resumir o intuito do filme. Certamente, o que mais chama a atenção no filme, além das belíssimas imagens do universo que o mesmo proporciona, é o forte embasamento científico para a construção do roteiro. Podemos considerá-lo o filme de ficção mais fiel a Física que conhecemos até o momento. Essa característica não ocorreu por acaso. Os diretores do filme contrataram como consultor o famoso físico teórico Kip Thorne ², o que garantiu o forte embasamento teórico do filme. Uma curiosidade é que Thorne ganhou o prêmio nobel da Física 3 anos depois pelo seu trabalho sobre ondas gravitacionais no projeto LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*). Em resumo, Interestelar é um belíssimo filme que se você não assistiu, fica a sugestão (ainda mais para um aluno do curso de Física). De qualquer forma, ele vai ser a inspiração para o nosso trabalho computacional.

1.2 Objetivo

Tendo em vista que também estamos caminhando para a destruição do nosso planeta, vamos simular alguns eventos que ocorrem ao longo do filme (vai que um de vocês entre em uma missão como a contada no enredo do filme...). Mas fique tranquilo, será numa escala muito menor, usando muitas simplificações e de maneira bem agradável. No filme, uma nave espacial atravessa um buraco de minhoca rumo ao uma nova galáxia. Nessa galáxia eles visitam o planeta de Miller, que orbita um

¹<https://www.imdb.com/title/tt0816692/>

²https://en.wikipedia.org/wiki/Kip_Thorne

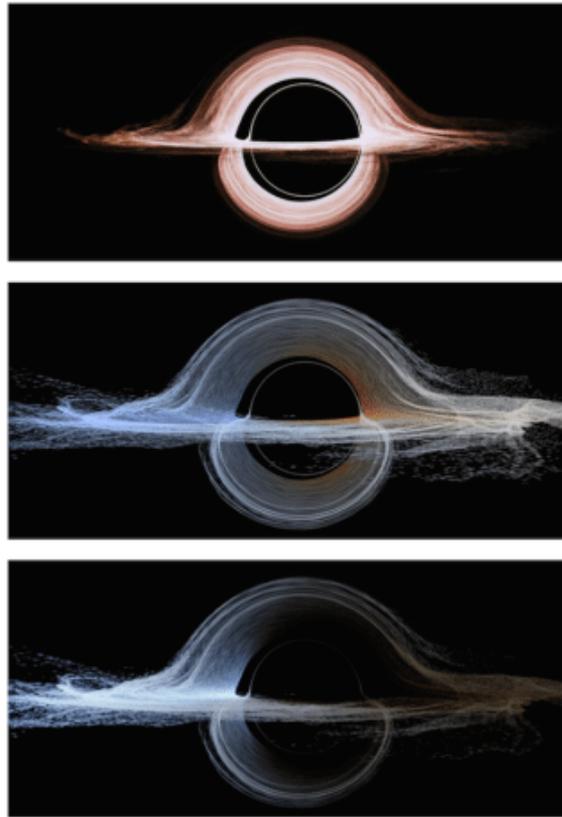


Figure 1.1: Imagem da simulação de um buraco negro no filme *Interestelar*. Thorne forneceu um modelo matemático de simulação para o buraco, com isso, este é a simulação mais próxima do real já feita sobre o tema. A imagem mais abaixo é o resultado real da simulação. Todavia, os produtores do filme a trataram para ficar mais agradável aos olhos. O resultado é a imagem do topo.

buraco negro chamado Gargantua. Nessa empreitada, os tripulantes da nave *Endurance* encaram diversos problemas físicos como força de maré, dilatação temporal, dentre outros. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é, inspirado nos acontecimentos do filme, desenvolver um programa de computador que dado um conjunto de entradas em um ambiente simulado, retorne um relatório de acordo com as especificações.

R Disclaimer: este trabalho é fictício e não tem a intenção de ser 100% fiel a física. Lembrem-se, foram dois engenheiros de computação, sem ajuda de Kip Thorne, bolando essa história magnífica para que vocês possam se sentir motivados e encorajados a finalizar esse trabalho. Se no fim das contas todo esse esforço não for suficiente para motivá-los, lembrem-se, o trabalho conta como 30% da sua nota final, então é altamente recomendável que você o faça :D

2. Descrição do trabalho

2.1 Enredo

Assim como em Interestelar aqui também teremos uma nave, a *Millenium Transcol*, atravessando um buraco de minhoca com intuito de chegar em uma nova galáxia. Essa estrutura é ilustrada na Figura 2.1. Uma peculiaridade desse buraco de minhoca é que dentro dele existe um gato ¹ e seu dono, Alexander Schrödinger, deseja muito verificar se ele está vivo. Porém, este buraco de minhoca exala uma radiação letal exclusiva para gatos com uma certa probabilidade. Essa probabilidade é proporcional a distância em que o gato percorreu dentro do buraco. Então essa será a **tarefa 1**, reportar se o gato esta vivo ou morto.

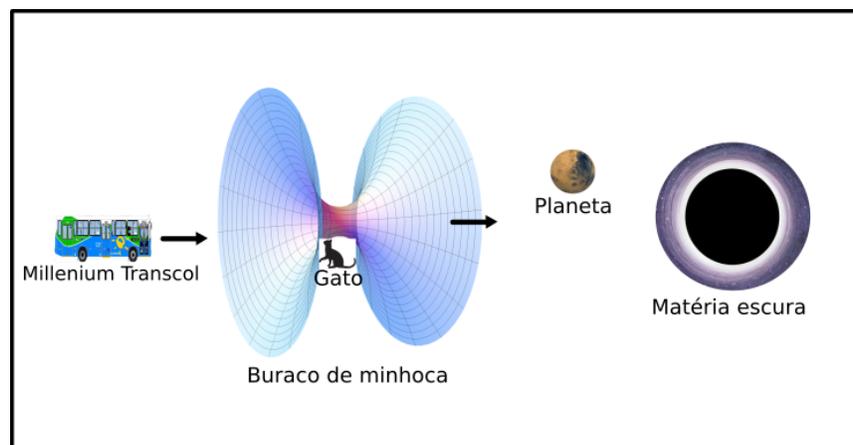


Figure 2.1: Figura ilustrativa do enredo do trabalho

Após reportar o estado do gato e chegar na nova galáxia, os cientistas desta empreitada desejam

¹Não se sabe ao certo como o gato foi parar dentro do buraco, mas todos sabemos que gatos tem poderes sobrenaturais a noite

visitar o planeta exibido na figura. Antes de ir em direção ao planeta para saber se o planeta é habitável, os cientistas a bordo da *Millenium Transcol* precisam saber se a matéria escura muito densa, na qual o planeta orbita, é de fato um buraco negro. Reportar essa informação será sua **tarefa 2**.

Após realizar a verificação anterior, é necessário também verificar se o planeta consegue resistir a força de atração do buraco/matéria. Se o planeta resistir, a nave se dirige a ele, caso contrário, os cientistas retornam para Terra. Portanto, essa será sua **tarefa 3**.

Caso o planeta exista e os cientistas vão em direção a ele para visitá-lo. Partindo do pressuposto que o planeta possui água e oceano, é necessário calcular os efeitos da força de maré que o buraco/matéria negra exerce no planeta. Sabemos que essa força pode gerar ondas gigantes e é importante termos um relatório sobre isso. Com isso, se configura sua **tarefa 4**.

Por último, de acordo com a teoria da relatividade de Einstein, sabemos que o tempo é relativo e depende do campo gravitacional que estamos sujeitos. Logo, a **tarefa 5** é calcular o tempo que se passou na terra de acordo com o tempo que os cientistas ficaram no planeta ².

Portanto, a função do seu programa é realizar a computação necessária para criação de um relatório levando consideração as 5 tarefas exigidas. Todos os dados de entrada necessários, equações e padrões de saída serão descritos a seguir.

2.2 Descrições técnicas

2.2.1 Padrão de entrada de dados

Todos os dados necessários para a realização do trabalho serão descritos em um arquivo chamado `dados_entrada.txt`. Cada linha deste arquivo deverá conter, **obrigatoriamente**, os seguintes dados em sequência:

- Distância que o gato percorreu no buraco de minhoca (d_g)
- Massa da matéria escura (M)
- Raio da matéria (R)
- Massa do planeta visitado (M_p)
- Raio do planeta visitado (R_p)
- Distância do planeta para a matéria escura (D)
- Tempo que os cientistas ficaram no planeta (t_p)

Todos esses valores serão do tipo **double**. O arquivo pode conter uma ou mais entradas, sendo que cada linha do arquivo, é uma nova viagem completa.

Para todas as tarefas, assuma os seguintes valores de constantes:

- Constante da gravitação universal: $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
- Velocidade da luz: $c = 300000000 \text{ m/s}$
- Densidade da água: $\rho = 5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- $\pi = 3.14$

2.2.2 Padrão de saída dos dados

Os dados de saída do programa deverão ser **impressos na tela** de acordo com cada padrão descrito nas próximas subseções. **TODOS** os valores floats que deverão ser impressos devem conter apenas

²Isso é importante pois essa linha da *Millenium Transcol* é famosa por atrasar bastante. Talvez Einstein possa explicar os atrasos.

2 casas após a vírgula. Por exemplo, 3.14159265... deverá ser exibido como 3.14 apenas.

ATENÇÃO: é muito importante que siga cada um dos padrões, pois caso o padrão esteja errado, o seu código apresentará erro durante a correção do trabalho. Logo, **não inclua** caracteres onde não existe, **não inclua** espaços onde não existe, **não inclua** quebras de linhas onde não existe etc. Em resumo, **siga os padrões** para garantir que tudo ocorra corretamente.

2.2.3 Tarefa 1: O gato está vivo ou morto?

A primeira tarefa é verificar se o gato está vivo ou morto de acordo com a distância d_G que ele percorreu dentro do buraco e ficou exposto a radiação letal a gatos. A probabilidade do gato morrer é proporcional a distância e deve ser calculada de acordo com a equação sigmóide, descrita a seguir:

$$p(d_g) = \frac{1}{1 + e^{-d_g}} \quad (2.1)$$

Sendo assim, dado a probabilidade você deve imprimir a verificação da seguinte maneira:

A probabilidade do gato morrer: <prob>
Estado do gato: <estado>

na qual <prob> é a probabilidade retornada pela sigmóide e <estado> assumirá o valor **vivo** ou **morto**.

2.2.4 Tarefa 2: Afinal, isso é um buraco negro?

A segunda tarefa é verificar se a matéria negra avistada pelos cientistas é de fato um buraco negro. Para isso, vamos recorrer ao raio de Schwarzschild ³ para averiguar essa informação. Primeiramente, o raio de Schwarzschild é calculado da seguinte forma:

$$R_{sch} = \frac{2GM}{c^2} \quad (2.2)$$

na qual M é a massa da matéria que será obtida no arquivo de entrada. A teoria diz que para que tenhamos um buraco negro, a massa M deve ser comprimida entro do raio de Schwarzschild. Portanto, você deve comparar R_{sch} com o raio da matéria escura informada nos dados de entrada. Você deve imprimir na tela o seguinte padrão:

O raio de Schwarzschild: <Rsch>
Existe um buraco negro? <resultado>

na qual <Rsch> é o raio calculado e <resultado> assumirá **sim** for um buraco negro e **nao** caso contrário.

2.2.5 Tarefa 3: O planeta é capaz de resistir a matéria/buraco negro?

A terceira tarefa é verificar se o planeta resiste a força de atração do buraco/matéria. Em teoria, para que o planeta não seja desfeito pela enormes forças de maré que o buraco exerce nele, sua própria gravidade g_p tem que ser grande o suficiente para manter o planeta unido. Para isso, utilizando os

³https://pt.wikipedia.org/wiki/Raio_de_Schwarzschild

dados de entrada, você deve verificar se g_P é maior do que a força de maré, que chamaremos de F_m . Ambos os valores são obtidos da de acordo com as seguinte equações:

$$g_P = \frac{GM_p}{R_p^2} \quad (2.3)$$

$$F_m = \frac{2GM}{D^3} \quad (2.4)$$

sendo, m_p a massa do planeta, R_p o raio do planeta, M a massa da buraco/matéria e D a distância do planeta para o buraco/matéria. Todos esses valores são informados no arquivo de entrada. A saída do seu programa para essa tarefa deverá imprimir na tela o seguinte padrão:

Tarefa 3:

Força de mare: <FM>

Gravidade do planeta: <GP>

Planeta resiste? <resultado>

na qual <FM> e <GP> são a força de maré e gravidade do planeta, respectivamente, e <resultado> assumirá **sim** quando o planeta resistir, não caso contrário.

R **Observação:** atente-se que se o planeta não resiste a força de maré, os cientistas não o visitarão. Logo, você deve ignorar as tarefas 4 e 5 caso isso ocorra.

2.2.6 Tarefa 4: os efeitos da força de maré

Uma das consequências da força de maré que atua no planeta é a formação de ondas gigantes no oceano, como foi bem ilustrado no filme. Nesta quarta tarefa vamos calcular as seguinte informações dessas ondas: periodicidade e altura. Sem entrar em detalhes teóricos⁴, o sistema que gera as ondas pode ser interpretado como um pêndulo e sua periodicidade é calculada da seguinte forma:

$$T = \frac{2\pi GM}{\sqrt{5}c^3} \quad (2.5)$$

Sendo M a massa da matéria/buraco. Para calcular a altura das ondas geradas pela força de maré, após algumas simplificações e suposições, será utilizado a seguinte equação:

$$H = \frac{9}{4\pi\rho G^3 M^2} \pm \alpha \quad (2.6)$$

Como o valor calculado é aproximado, o valor α é um erro de 10% que devemos inserir no cálculo. Logo o valor vai sempre variar dentro dessa margem e seu programa deverá considerar essa informação.

⁴Vide as referências caso queira mais teoria

R Dica: para calcular a margem de erro, gere um número aleatório de -10 a 10, assumo como se fosse a % do erro, multiplique pelo valor encontrado da altura e some a ela. Obviamente, você é encorajado a codificar uma outra abordagem.

O valor de T será retornado em horas. Nós consideramos um dia ter 24h por conta da rotação da terra. Vamos simplificar e considerar que o dia nos planetas que serão explorados é proporcional apenas ao raio da terra. Sendo assim, vamos calcular o tempo, em horas, de um dia da seguinte forma:

$$T_{dia} = \frac{24R_p}{6000} \quad (2.7)$$

sendo R o raio do planeta em questão. Sua tarefa aqui será a seguinte. De acordo com a equação anterior, calcule quanto tempo dura o dia em um planeta. Na sequência, de acordo com T calcule quantas ondas ocorre por dia⁵. Para cada onda que ocorre no dia, você deve calcular uma altura da mesma. Lembre-se, os valores serão diferentes por conta da margem de erro. Por fim, você deve reportar a média de todas as alturas, a altura máxima e mínima das ondas. Exemplo, suponha que $T = 2.2$ e $T_{dia} = 10$, logo, ocorrerão 4 ondas. Gere 4 valores de onda e faça os cálculos necessários.

O padrão de saída do seu programa deverá ser:

```
Tarefa 4:
Periodo das ondas: <T>
Duracao do dia: <Tdia>
Numero ondas por dia: <N0ndas>
Tamanho medio: <hmed>
Tamanho max: <hmax>
Tamanho min: <hmin>
```

Sendo <T>, <Tdia> e <N0ndas> os valores discutidos no parágrafo anterior e <hmed>, <hmax> e <hmin> os valores que descrevem o tamanho medio, máximo e mínimo da altura da onda.

2.2.7 Tarefa 5: uma viagem no tempo

Sua última missão como programador é reportar o tempo decorrido na terra durante a missão. Esse é um dos ápices no filme, na qual ao visitar o planeta de Miller, 1h dos cientistas tomou 7 anos na terra. Como já mencionado, o tempo é relativo e afetado pelo campo gravitacional que estamos sujeitos. De acordo com a teoria da relatividade, podemos calcular o tempo que se decorreu na terra enquanto os cientistas visitavam o planeta em questão da seguinte forma:

$$t_p = t_t \sqrt{1 - \frac{2GM}{Dc^2}} \quad (2.8)$$

na qual t_p é o tempo que os cientistas passaram no planeta e D a distância do planeta para o buraco/matéria. Ao fim deste cálculo, seu programa deverá imprimir o seguinte padrão de saída:

```
Tarefa 5:
Tempo transcorrido no planeta: <t_p>
Tempo transcorrido na terra: <t_t>
```

⁵Neste caso, arredonde para baixo os valores não inteiros

2.3 Regras gerais

O trabalho poderá ser realizado em dupla. Todavia, a nota é individual. Além da correção técnica de funcionamento e inspeção do código, será realizada uma entrevista com a dupla. Nessa entrevista serão realizadas algumas perguntas na quais definirão a nota de participação de cada um. Atente-se que se você comprou o trabalho ou teve um grande amigo muito bem intencionado que decidiu fazer o trabalho pra você, sua nota será corrigida na entrevista e por inspeção ao código enviado.

De maneira alguma tente copiar o trabalho de uma outra dupla. Todos os códigos serão submetidos a um detector de plágio. Se algum plágio for detectado, sua nota será **zero**.

Identifique o seu código! Organização e modularização serão critérios de avaliação.

Qualquer situação extraordinária será levada em consideração no momento da correção.

2.3.1 Nota e critério de avaliação

A avaliação do trabalho será realizada em duas etapas:

- **Correção automática:** bateria de testes (algumas baterias de testes serão disponibilizadas no site da disciplina). Avaliação objetiva;
- **Entrevista:** análise e explicação do código por parte dos alunos. Avaliação subjetiva.

A nota final do trabalho será calculada da seguinte forma:

$$\text{NotaFinal} = \text{NotaCorreçãoAutomática} \times \text{NotaEntrevista} + \text{FatorDeAjuste} \quad (2.9)$$

A nota da correção automática será de 10 pontos e a da entrevista 1 ponto. O fator de ajuste é variável e existe apenas para corrigir possíveis injustiças na nota objetiva. Por exemplo, imagine que você esqueceu um espaço na saída do seu programa e a correção automática falhou. Neste caso é injusto não pontuar nesta bateria, logo, haverá um desconto, mas sua nota será ajustada. Lembre-se que o peso do trabalho na sua média final será de **30%**.

2.3.2 Submissão

Seu trabalho poderá ser entregue até as **23:59 horas do dia 04/12/2018**. Você deverá enviar empacotar todos os seus códigos em um .zip, .rar ou .tar.gz como nome Trab1-nome1-nome2 e enviar para o email agcpacheco@inf.ufes.br com assunto Trab 1 - Fisica 2018-2. **Atenção ao preencher esses dados**, caso preencha errado, seu trabalho não será recebido.

Não deixe para enviar seu trabalho nos momentos finais do prazo. É comum a ocorrência de problemas em virtude de erros na submissão. Logo, enviem com algumas horas (se possível dias) de antecedência para que haja tempo hábil para eventuais correções. Caso você não respeite a data limite, você perderá 2 pontos por dia de atraso, ou seja, se entregar no dia 28/11, sua nota máxima será 8 pontos, no dia 29, 6 pontos e assim por diante.

A correção do trabalho será realizada na medida que ele for entregue. Caso queira entregar ele antes e marcar a entrevista, isso será possível. O quanto antes você entregar o seu trabalho, mais rápido ele será corrigido. Isso é muito bom para aqueles alunos que queiram adiantar o desenvolvimento do trabalho por conta de provas ou entregas de outras disciplinas. Vocês sabem que final de período é uma época muito complicada, então a sugestão é terminar o trabalho o quanto antes.

2.3.3 Dúvidas ou problemas encontrados na descrição do trabalho

Qualquer dúvida ou problema encontrado na descrição do trabalho poderá ser sanada/apontada em sala de aula e/ou nos laboratórios em momentos oportunos, ou através da monitoria da disciplina. Mas por favor, leia mais de uma vez, converse com sua dupla antes de enviar um e-mail ou procurar o professor/monitor.

2.4 Fontes de referências

Caso você se interesse pelo o assunto, toda a parte séria e real deste trabalho foi retirado de 3 publicações:

- O vídeo *The Science of Interstellar: an Illustration of a Century of Relativity with Kip Thorne*. Você pode acessá-lo neste [link](#).
- O artigo *Física do filme Interstellar*, escrito por um mestrando em Astrofísica da Universidade de Coimbra. Você pode acessá-lo neste [link](#).
- Um artigo do blog *O diferencial da física*, que é mantido por estudantes de Física da USP. Você pode acessá-lo neste [link](#).