

Lançamento do Ônibus Espacial Discovery (STS-121)

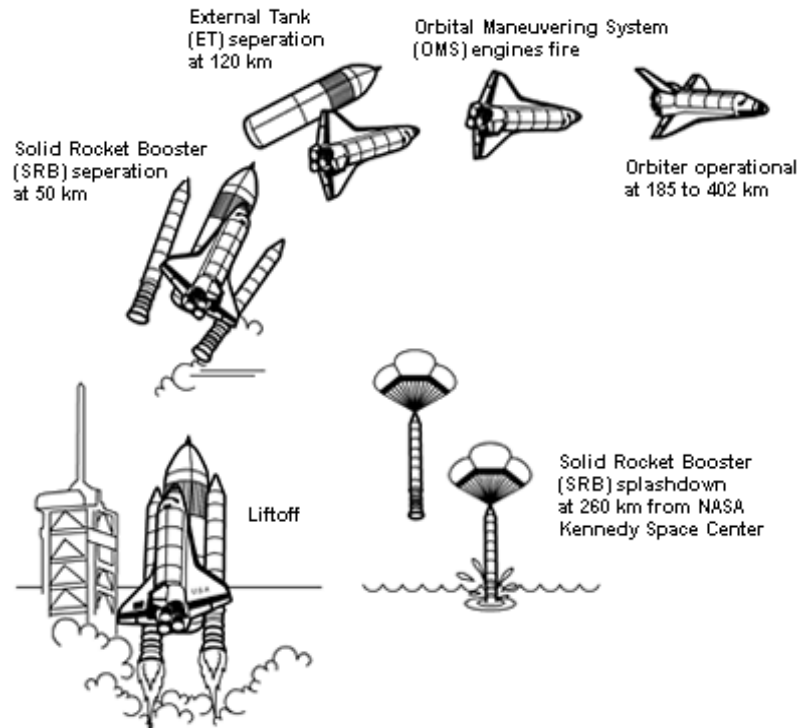


Um dos principais feitos da engenharia do século XX foi o projeto e a construção de naves espaciais. Desde do voo pioneiro de Sputnik em 4 de outubro de 1957, até a conquista da Lua em 20 de julho de 1969, milhares de engenheiros contribuíram para o desenvolvimento da conquista do espaço. Outro ponto alto da conquista do espaço foi o projeto do ônibus espacial, iniciado em 1981 e finalizado 2011. Na aula de hoje usaremos nossos conhecimentos de física para modelamos o lançamento do ônibus espacial.



Lançamento do ônibus espacial Discovery.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/STS-95#/media/File:STS-95_launch.jpg

A agência espacial americana (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*) antes do lançamento de uma nave ao espaço faz um trabalho intenso de modelagem do voo. Abaixo temos as principais etapas da subida de um ônibus espacial.



Antes de cada missão, dados projetados eram gerados para ajudar no lançamento do ônibus espacial para garantir a segurança e o sucesso durante a fase de subida. Para gerar esses dados, engenheiros consideravam diversos fatores, como massa do ônibus espacial, quantidade de propelente, carga útil carregada ao espaço e carga útil trazida de volta do espaço. Outro parâmetro analisado era a densidade atmosférica, que varia durante o ano. Depois de testar diversos cenários para o voo do ônibus espacial, por meio de simulação computacional, os engenheiros tabulavam na forma de planilha o que acontecia em cada segundo da subida do ônibus espacial. A informação tabelada do voo servia para os engenheiros verificarem se o ônibus espacial estava operando como esperado durante a fase do lançamento.

No dia 4 de julho de 2006, o ônibus espacial *Discovery* foi lançado do Centro Espacial Kennedy na missão STS-121, com o objetivo de se acoplar à estação espacial internacional (*International Space Station*, ISS). A Tabela 1 mostra a variação da altitude, velocidade e aceleração do ônibus espacial a cada 20 segundos, iniciando no lançamento até o ponto de desligamento dos motores (*Main-engine Cut-off*, MECO).

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

A seguir apresentaremos questões referentes a tabela 1, onde você irá determinar a função posição ($y(t)$), função velocidade ($v(t)$) e a função aceleração ($a(t)$). A posição do ônibus espacial é definida como a localização num sistema de coordenadas. No presente problema, a altitude do ônibus espacial em função do tempo depois do lançamento é a posição vertical. A velocidade é a taxa de variação da posição vertical com relação ao tempo. A aceleração é definida como a taxa de variação da velocidade com relação ao tempo.

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

A. Use os dados da Tabela 1 para responder as questões abaixo.

i. Crie um gráfico de dispersão da altitude do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Use a regressão linear do programa `shuttle_ascent_model_v101.py` para determinar que tipo de função melhor se ajusta aos dados experimentais (linear, quadrática, cúbica, ou a quarta potência).

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

B. Escreva a função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Use a função obtida por regressão linear usando o programa *shuttle_ascent_model_v101.py*.

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

C. Determine a primeira derivada da função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Qual grandeza física representa esta primeira derivada?

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

D. Calcule os pontos de inflexão da função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Você precisa calcular a segunda derivada de y com relação ao tempo e igualar o resultado a zero. Qual grandeza física representa esta segunda derivada? Descreva a concavidade da função da altitude (y) do ônibus espacial.

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

E. Analise a função altitude no intervalo $[0,160]$. O que acontece com o ônibus espacial quando a concavidade muda?

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

F. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

i. Faça um gráfico de dispersão da velocidade do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Explique o que ocorre com a velocidade do ônibus espacial no intervalo de tempo [0,520]

iii. Determine a equação de regressão para velocidade em função do tempo.

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

G. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

i. Faça um gráfico de dispersão da aceleração do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Identifique os seguintes pontos no gráfico:

- Max Q
- Separação dos foguetes de combustível sólido

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

G. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

iv. O que acontece com a aceleração no intervalo [480, 500] e porquê?

v. Por que a aceleração cai bruscamente no intervalo [500, 520]?

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

H. Usando o gráfico de dispersão da questão G, parte i, responda as seguintes questões.

i. Há uma função que se ajusta aos dados da aceleração em função do tempo? Explique.

ii. O que a função aceleração descreve no intervalo [120, 460]?

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

I. Compare as funções da velocidade obtidas por derivada e regressão.

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

J. Compare as funções da aceleração obtidas por derivada e regressão.

Tabela 1.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

TIPLER, P. A. & MOSCA, G. Física para Cientistas e Engenheiros. Vol. 1. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2012., 759 pp.

Última atualização em: 30 de agosto de 2018.