

PROFESSOR DANILO

FOLHA 08

Apostila 3

Gases Ideais p. 1

- Lista: Os Gases Perfeitos

Termodinâmica p. 5

- Lista: Termodinâmica

GASES IDEAIS

Nós vamos estudar a teoria dos gases ideais, na qual devemos levar em conta algumas propriedades e será importante você saber a validade das equações que veremos.

É também importante prestar atenção em termos chaves, tais como variáveis de estado, energia interna, processo rápido, processo lento, adiabático etc.

A respeito do que é um gás ideal, consideraremos um gás ideal aquele gás que possui as seguintes propriedades:

- Não há forças intermoleculares;
- Átomos maciços e indivisíveis;
- Colisão elástica;
- Não interação entre as moléculas do próprio gás, nem mesmo colisão;
- As moléculas/partículas só interagem com as paredes do recipiente;
- As partículas não ocupam espaço;
- A gravidade é irrelevante.

GRANDEZAS IMPORTANTES

Você já deve ter ouvido falar que para medirmos unidade minúsculas, na escala atômica, é conveniente utilizarmos a chamada **unidade de massa atômica** ou simplesmente u . Lembremos que esta unidade corresponde à aproximadamente a massa de um próton (ou nêutron). Na verdade, utilizamos o isótopo 12 do carbono (^{12}C) que possui 6 prótons e 6 nêutrons.

Assim, podemos dizer que um átomo de carbono possui massa que corresponde à 12 u .

Podemos também dizer que:

$$1u \approx 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad \text{Eq. (1)}$$

Vamos nomear as equações, bem como os valores de certas constantes para facilitar a organização deste material. Agora continuando, também podemos dizer que:

$$\text{massa do próton} \approx \text{massa do nêutron} \approx u \quad \text{Eq. (2)}$$

Chamemos de **massa atômica** a massa de um átomo em unidades de massa atômica, sendo que o valor apresentado na tabela periódica corresponde ao valor médio da massa atômica do elemento.

Massa molecular (M) é a massa de uma molécula que, em geral, também é medida em unidade de massa atômica.

Um **mol** é definido como a quantidade de unidades de massa atômica necessária para se obter um grama. Vejamos o seu valor:

$$1 \text{ mol} = 6,023 \cdot 10^{23} \quad \text{Eq. (3)}$$

Um outro valor importante é o **número de Avogadro** (N_A), que nos será também bastante útil:

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad \text{Eq. (4)}$$

Definimos como massa molar (M) a massa de um mol de um certo elemento. Assim, sendo n o número de mols (*plural* de mol) desse elemento, a massa m da amostra será:

$$m = n \cdot M \quad \text{Eq. (5)}$$

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

Tabela periódica

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

1 H 1.008 Hidrogênio

2 He 4.003 Hélio

3 Li 6.941 Lítio

4 Be 9.012 Boro

5 B 10.81 Boro

6 C 12.011 Carbono

7 N 14.007 Nitrogênio

8 O 15.999 Oxigênio

9 F 18.998 Flúor

10 Ne 20.180 Neônio

11 Na 22.990 Sódio

12 Mg 24.304 Magnésio

13 Al 26.981 Alumínio

14 Si 28.086 Silício

15 P 30.974 Fósforo

16 S 32.06 Enxofre

17 Cl 35.45 Cloro

18 Ar 39.948 Argônio

19 K 39.098 Potássio

20 Ca 40.078 Cálcio

21 Sc 44.956 Escândio

22 Ti 47.88 Tântalo

23 V 50.942 Vanádio

24 Cr 51.996 Cromo

25 Mn 54.938 Manganês

26 Fe 55.845 Ferro

27 Co 58.933 Cobalto

28 Ni 58.693 Níquel

29 Cu 63.546 Cobre

30 Zn 65.38 Zinco

31 Ga 69.723 Gálio

32 Ge 72.64 Germânio

33 As 74.921 Arsênio

34 Se 78.96 Selênio

35 Br 79.904 Bromo

36 Kr 83.80 Criptônio

37 Rb 85.468 Rubídio

38 Sr 87.62 Estrôncio

39 Y 88.906 Ítrio

40 Zr 91.224 Zircônio

41 Nb 92.906 Nióbio

42 Mo 95.94 Molibdênio

43 Tc 98.906 Tecnécio

44 Ru 101.07 Ródio

45 Rh 101.07 Ródio

46 Pd 106.36 Paládio

47 Ag 107.86 Prata

48 Cd 112.41 Cádmio

49 In 114.82 Índio

50 Sn 118.71 Estanho

51 Sb 121.75 Antimônio

52 Te 127.60 Telúrio

53 I 126.90 Iodo

54 Xe 131.29 Xenônio

55 Cs 132.91 Césio

56 Ba 137.32 Bário

57 La 138.905 Lantânio

58 Ce 140.12 Cério

59 Pr 140.907 Praseodímio

60 Nd 144.24 Nêdímio

61 Pm 144.912 Promécio

62 Sm 150.36 Samário

63 Eu 151.964 Európio

64 Gd 157.25 Gádo

65 Tb 158.925 Térbio

66 Dy 162.50 Dítio

67 Ho 164.930 Hólio

68 Er 167.259 Érbio

69 Tm 168.930 Térmio

70 Yb 173.054 Ítalo

71 Lu 174.967 Lutécio

72 Hf 178.49 Háfio

73 Ta 180.947 Tântalo

74 W 183.84 Tungstênio

75 Re 186.207 Rênio

76 Os 190.23 Osmio

77 Ir 192.222 Iridio

78 Pt 195.08 Platina

79 Au 196.967 Ouro

80 Hg 200.59 Mercúrio

81 Tl 204.38 Talho

82 Pb 207.2 Pomo

83 Bi 208.980 Bismuto

84 Po 209 Polônio

85 At 210 Ástato

86 Rn 222 Radônio

87 Fr 223 Frâncio

88 Ra 226 Rádio

89 Ac 227 Actínio

90 Th 232 Tório

91 Pa 231 Protáctio

92 U 238 Urânio

93 Np 237 Neptúcio

94 Pu 244 Plutúcio

95 Am 243 Amélio

96 Cm 247 Cúrio

97 Bk 247 Berquélio

98 Cf 251 Califórnia

99 Es 252 Esmécio

100 Fm 257 Férmio

101 Md 258 Mendelevio

102 No 259 Nóblio

103 Lr 262 Lawrencio

104 Rf 261 Rfório

105 Db 262 Dubnio

106 Sg 266 Seabórgio

107 Bh 264 Bório

108 Hs 277 Hassíio

109 Mt 276 Mítério

110 Ds 271 Dúnsio

111 Rg 272 Rógenio

112 Cn 285 Copernício

113 Nh 286 Nihônio

114 Fl 289 Flóvio

115 Mc 288 Moscúvio

116 Lv 293 Livermório

117 Ts 294 Tenessio

118 Og 294 Oganessio

119 Uu 295 Ununécio

120 Uu 295 Ununécio

121 Uu 295 Ununécio

122 Uu 295 Ununécio

123 Uu 295 Ununécio

124 Uu 295 Ununécio

125 Uu 295 Ununécio

126 Uu 295 Ununécio

127 Uu 295 Ununécio

128 Uu 295 Ununécio

129 Uu 295 Ununécio

130 Uu 295 Ununécio

131 Uu 295 Ununécio

132 Uu 295 Ununécio

133 Uu 295 Ununécio

134 Uu 295 Ununécio

135 Uu 295 Ununécio

136 Uu 295 Ununécio

137 Uu 295 Ununécio

138 Uu 295 Ununécio

139 Uu 295 Ununécio

140 Uu 295 Ununécio

141 Uu 295 Ununécio

142 Uu 295 Ununécio

143 Uu 295 Ununécio

144 Uu 295 Ununécio

145 Uu 295 Ununécio

146 Uu 295 Ununécio

147 Uu 295 Ununécio

148 Uu 295 Ununécio

149 Uu 295 Ununécio

150 Uu 295 Ununécio

151 Uu 295 Ununécio

152 Uu 295 Ununécio

153 Uu 295 Ununécio

154 Uu 295 Ununécio

155 Uu 295 Ununécio

156 Uu 295 Ununécio

157 Uu 295 Ununécio

158 Uu 295 Ununécio

159 Uu 295 Ununécio

160 Uu 295 Ununécio

161 Uu 295 Ununécio

162 Uu 295 Ununécio

163 Uu 295 Ununécio

164 Uu 295 Ununécio

165 Uu 295 Ununécio

166 Uu 295 Ununécio

167 Uu 295 Ununécio

168 Uu 295 Ununécio

169 Uu 295 Ununécio

170 Uu 295 Ununécio

171 Uu 295 Ununécio

172 Uu 295 Ununécio

173 Uu 295 Ununécio

174 Uu 295 Ununécio

175 Uu 295 Ununécio

176 Uu 295 Ununécio

177 Uu 295 Ununécio

178 Uu 295 Ununécio

179 Uu 295 Ununécio

180 Uu 295 Ununécio

181 Uu 295 Ununécio

182 Uu 295 Ununécio

183 Uu 295 Ununécio

184 Uu 295 Ununécio

185 Uu 295 Ununécio

186 Uu 295 Ununécio

187 Uu 295 Ununécio

188 Uu 295 Ununécio

189 Uu 295 Ununécio

190 Uu 295 Ununécio

191 Uu 295 Ununécio

192 Uu 295 Ununécio

193 Uu 295 Ununécio

194 Uu 295 Ununécio

195 Uu 295 Ununécio

196 Uu 295 Ununécio

197 Uu 295 Ununécio

198 Uu 295 Ununécio

199 Uu 295 Ununécio

200 Uu 295 Ununécio

201 Uu 295 Ununécio

202 Uu 295 Ununécio

203 Uu 295 Ununécio

204 Uu 295 Ununécio

205 Uu 295 Ununécio

206 Uu 295 Ununécio

207 Uu 295 Ununécio

208 Uu 295 Ununécio

209 Uu 295 Ununécio

210 Uu 295 Ununécio

211 Uu 295 Ununécio

212 Uu 295 Ununécio

213 Uu 295 Ununécio

214 Uu 295 Ununécio

215 Uu 295 Ununécio

216 Uu 295 Ununécio

217 Uu 295 Ununécio

218 Uu 295 Ununécio

219 Uu 295 Ununécio

220 Uu 295 Ununécio

221 Uu 295 Ununécio

222 Uu 295 Ununécio

223 Uu 295 Ununécio

224 Uu 295 Ununécio

225 Uu 295 Ununécio

226 Uu 295 Ununécio

227 Uu 295 Ununécio

228 Uu 295 Ununécio

229 Uu 295 Ununécio

230 Uu 295 Ununécio

231 Uu 295 Ununécio

232 Uu 295 Ununécio

233 Uu 295 Ununécio

234 Uu 295 Ununécio

235 Uu 295 Ununécio

236 Uu 295 Ununécio

237 Uu 295 Ununécio

238 Uu 295 Ununécio

239 Uu 295 Ununécio

240 Uu 295 Ununécio

241 Uu 295 Ununécio

242 Uu 295 Ununécio

243 Uu 295 Ununécio

244 Uu 295 Ununécio

245 Uu 295 Ununécio

246 Uu 295 Ununécio

247 Uu 295 Ununécio

248 Uu 295 Ununécio

249 Uu 295 Ununécio

250 Uu 295 Ununécio

251 Uu 295 Ununécio

252 Uu 295 Ununécio

253 Uu 295 Ununécio

254 Uu 295 Ununécio

255 Uu 295 Ununécio

256 Uu 295 Ununécio

257 Uu 295 Ununécio

258 Uu 295 Ununécio

259 Uu 295 Ununécio

260 Uu 295 Ununécio

261 Uu 295 Ununécio

262 Uu 295 Ununécio

263 Uu 295 Ununécio

264 Uu 295 Ununécio

265 Uu 295 Ununécio

266 Uu 295 Ununécio

267 Uu 295 Ununécio

268 Uu 295 Ununécio

269 Uu 295 Ununécio

270 Uu 295 Ununécio

271 Uu 295 Ununécio

272 Uu 295 Ununécio

273 Uu 295 Ununécio

274 Uu 295 Ununécio

275 Uu 295 Ununécio

276 Uu 295 Ununécio

277 Uu 295 Ununécio

278 Uu 295 Ununécio

279 Uu 295 Ununécio

280 Uu 295 Ununécio

281 Uu 295 Ununécio

282 Uu 295 Ununécio

283 Uu 295 Ununécio

284 Uu 295 Ununécio

285 Uu 295 Ununécio

286 Uu 295 Ununécio

287 Uu 295 Ununécio

288 Uu 295 Ununécio

289 Uu 295 Ununécio

290 Uu 295 Ununécio

291 Uu 295 Ununécio

292 Uu 295 Ununécio

293 Uu 295 Ununécio

294 Uu 295 Ununécio

295 Uu 295 Ununécio

296 Uu 295 Ununécio

297 Uu 295 Ununécio

298 Uu 295 Ununécio

299 Uu 295 Ununécio

300 Uu 295 Ununécio

301 Uu 295 Ununécio

302 Uu 295 Ununécio

303 Uu 295 Ununécio

304 Uu 295 Ununécio

305 Uu 295 Ununécio

306 Uu 295 Ununécio

307 Uu 295 Ununécio

308 Uu 295 Ununécio

309 Uu 295 Ununécio

310 Uu 295 Ununécio

311 Uu 295 Ununécio

312 Uu 295 Ununécio

313 Uu 295 Ununécio

314 Uu 295 Ununécio

315 Uu 295 Ununécio

316 Uu 295 Ununécio

317 Uu 295 Ununécio

318 Uu 295 Ununécio

319 Uu 295 Ununécio

320 Uu 295 Ununécio

321 Uu 295 Ununécio

322 Uu 295 Ununécio

323 Uu 295 Ununécio

324 Uu 295 Ununécio

325 Uu 295 Ununécio

326 Uu 295 Ununécio

327 Uu 295 Ununécio

328 Uu 295 Ununécio

329 Uu 295 Ununécio

330 Uu 295 Ununécio

331 Uu 295 Ununécio

332 Uu 295 Ununécio

333 Uu 295 Ununécio

334 Uu 295 Ununécio

335 Uu 295 Ununécio

336 Uu 295 Ununécio

337 Uu 295 Ununécio

338 Uu 295 Ununécio

339 Uu 295 Ununécio

340 Uu 295 Ununécio

341 Uu 295 Ununécio

342 Uu 295 Ununécio

343 Uu 295 Ununécio

344 Uu 295 Ununécio

345 Uu 295 Ununécio

346 Uu 295 Ununécio

347 Uu 295 Ununécio

348 Uu 295 Ununécio

349 Uu 295 Ununécio

350 Uu 295 Ununécio

351 Uu 295 Ununécio

352 Uu 295 Ununécio

353 Uu 295 Ununécio

354 Uu 295 Ununécio

355 Uu 295 Ununécio

356 Uu 295 Ununécio

357 Uu 295 Ununécio

358 Uu 295 Ununécio

359 Uu 295 Ununécio

360 Uu 295 Ununécio

361 Uu 295 Ununécio

362 Uu 295 Ununécio

363 Uu 295 Ununécio

364 Uu 295 Ununécio

365 Uu 295 Ununécio

366 Uu 295 Ununécio

367 Uu 295 Ununécio

368 Uu 295 Ununécio

369 Uu 295 Ununécio

370 Uu 295 Ununécio

371 Uu 295 Ununécio

372 Uu 295 Ununécio

373 Uu 295 Ununécio

374 Uu 295 Ununécio

375 Uu 295 Ununécio

376 Uu 295 Ununécio

377 Uu 295 Ununécio

378 Uu 295 Ununécio

379 Uu 295 Ununécio

380 Uu 295 Ununécio

381 Uu 295 Ununécio

382 Uu 295 Ununécio

383 Uu 295 Ununécio

384 Uu 295 Ununécio

385 Uu 295 Ununécio

386 Uu 295 Ununécio

387 Uu 295 Ununécio

388 Uu 295 Ununécio

389 Uu 295 Ununécio

390 Uu 295 Ununécio

391 Uu 295 Ununécio

392 Uu 295 Ununécio

393 Uu 295 Ununécio

394 Uu 295 Ununécio

395 Uu 295 Ununécio

396 Uu 295 Ununécio

397 Uu 295 Ununécio

398 Uu 295 Ununécio

399 Uu 295 Ununécio

400 Uu 295 Ununécio

401 Uu 295 Ununécio

402 Uu 295 Ununécio

403 Uu 295 Ununécio

404 Uu 295 Ununécio

405 Uu 295 Ununécio

406 Uu 295 Ununécio

407 Uu 295 Ununécio

408 Uu 295 Ununécio

409 Uu 295 Ununécio

410 Uu 295 Ununécio

411 Uu 295 Ununécio

412 Uu 295 Ununécio

413 Uu 295 Ununécio

414 Uu 295 Ununécio

415 Uu 295 Ununécio

416 Uu 295 Ununécio

417 Uu 295 Ununécio

418 Uu 295 Ununécio

419 Uu 295 Ununécio

420 Uu 295 Ununécio

421 Uu 295 Ununécio

422 Uu 295 Ununécio

423 Uu 295 Ununécio

424 Uu 295 Ununécio

425 Uu 295 Ununécio

426 Uu 295 Ununécio

427 Uu 295 Ununécio

428 Uu 295 Ununécio

429 Uu 295 Ununécio

430 Uu 295 Ununécio

431 Uu 295 Ununécio

432 Uu 295 Ununécio

433 Uu 295 Ununécio

434 Uu 295 Ununécio

435 Uu 295 Ununécio

436 Uu 295 Ununécio

437 Uu 295 Ununécio

438 Uu 295 Ununécio

439 Uu 295 Ununécio

440 Uu 295 Ununécio

441 Uu 295 Ununécio

442 Uu 295 Ununécio

443 Uu 295 Ununécio

444 Uu 295 Ununécio

445 Uu 295 Ununécio

446 Uu 295 Ununécio

447 Uu 295 Ununécio

448 Uu 295 Ununécio

449 Uu 295 Ununécio

450 Uu 295 Ununécio

451 Uu 295 Ununécio

452 Uu 295 Ununécio

453 Uu 295 Ununécio

454 Uu 295 Ununécio

455 Uu 295 Ununécio

456 Uu 295 Ununécio

457 Uu 295 Ununécio

458 Uu 295 Ununécio

459 Uu 295 Ununécio

460 Uu 295 Ununécio

461 Uu 295 Ununécio

462 Uu 295 Ununécio

463 Uu 295 Ununécio

464 Uu 295 Ununécio

465 Uu 295 Ununécio

466 Uu 295 Ununécio

467 Uu 295 Ununécio

468 Uu 295 Ununécio

469 Uu 295 Ununécio

470 Uu 295 Ununécio

471 Uu 295 Ununécio

472 Uu 295 Ununécio

473 Uu 295 Ununécio

474 Uu 295 Ununécio

475 Uu 295 Ununécio

476 Uu 295 Ununécio

477 Uu 295 Ununécio

478 Uu 295 Ununécio

479 Uu 295 Ununécio

480 Uu 295 Ununécio

481 Uu 295 Ununécio

482 Uu 295 Ununécio

483 Uu 295 Ununécio

484 Uu 295 Ununécio

485 Uu 295 Ununécio

486 Uu 295 Ununécio

487 Uu 295 Ununécio

488 Uu 295 Ununécio

489 Uu 295 Ununécio

490 Uu 295 Ununécio

491 Uu 295 Ununécio

492 Uu 295 Ununécio

493 Uu 295 Ununécio

494 Uu 295 Ununécio

495 Uu 295 Ununécio

496 Uu 295 Ununécio

497 Uu 295 Ununécio

498 Uu 295 Ununécio

499 Uu 295 Ununécio

500 Uu 295 Ununécio

501 Uu 295 Ununécio

502 Uu 295 Ununécio

503 Uu 295 Ununécio

504 Uu 295 Ununécio

505 Uu 295 Ununécio

506 Uu 295 Ununécio

507 Uu 295 Ununécio

508 Uu 295 Ununécio

509 Uu 295 Ununécio

510 Uu 295 Ununécio

511 Uu 295 Ununécio

512 Uu 295 Ununécio

513 Uu 295 Ununécio

514 Uu 295 Ununécio

515 Uu 295 Ununécio

516 Uu 295 Ununécio

517 Uu 295 Ununécio

518 Uu 295 Ununécio

519 Uu 295 Ununécio

520 Uu 295 Ununécio

521 Uu 295 Ununécio

522 Uu 295 Ununécio

523 Uu 295 Ununécio

524 Uu 295 Ununécio

525 Uu 295 Ununécio

526 Uu 295 Ununécio

527 Uu 295 Ununécio

528 Uu 295 Ununécio

529 Uu 295 Ununécio

530 Uu 295 Ununécio

531 Uu 295 Ununécio

532 Uu 295 Ununécio

533 Uu 295 Ununécio

534 Uu 295 Ununécio

535 Uu 295 Ununécio

536 Uu 295 Ununécio

537 Uu 295 Ununécio

538 Uu 295 Ununécio

539 Uu 295 Ununécio

540 Uu 295 Ununécio

541 Uu 295 Ununécio

542 Uu 295 Ununécio

543 Uu 295 Ununécio

544 Uu 295 Ununécio

545

PROFESSOR DANILO

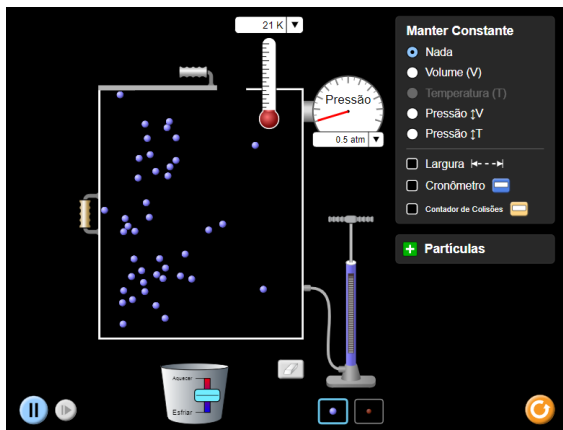


Figura 3: Animação interativa do comportamento clássico de gases ideais. Acesse em https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html

Porém vamos estudar o comportamento de gases ideais, sendo assim, você pode acessar uma animação com a possibilidade de diversos controles na [figura 3](#), acessando o link logo abaixo.

Faça o seguinte teste: coloque moléculas de dois tamanhos distintos e repare qual delas serão mais rápidas!

Você irá concluir que as moléculas serão mais rápidas.

O conceito de temperatura nos é, até certa medida, intuitivo, assim podemos supor que as moléculas devem possuir a mesma temperatura, logo o que seria igual entre as moléculas não deve ser a velocidade, mas alguma outra grandeza.

Respondendo à pergunta: a temperatura das moléculas está relacionada à energia cinética das moléculas. Lembremos que a energia cinética de uma molécula será:

$$E_{cin} = \frac{MM \cdot v^2}{2} \quad \text{Eq. (6)}$$

Veremos isso com mais detalhes em breve. Por hora, vamos à mais uma grandeza importante e mais intuitiva para vocês: a **pressão**.

Repare novamente na animação da [figura 3](#) e observe que quanto mais colisões ocorrem nas paredes do reservatório maior será a pressão do gás. Assim, a pressão de um gás está relacionada ao número médio de colisões que ocorrem entre as partículas e a parede.

Vamos à última grandeza importante antes de iniciarmos o estudo dos gases: o **volume**.

Aqui é importante que você se lembre de como calcular o volume de alguns objetos tridimensionais, sendo o mais importante deles o cilindro. Vamos relembrar algumas dessas fórmulas.

Cálculo do volume de um cilindro de altura h e base de raio r . A área da base deste cilindro será $A = \pi \cdot r^2$ e o volume será dado por:

$$V = A \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{Eq. (7)}$$

O volume de um cone de altura h e raio da base r :

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{Eq. (8)}$$

Por fim, o volume de uma esfera de raio r será:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \quad \text{Eq. (9)}$$

Agora vamos entender o que chamaremos de gás ideal:

- A quantidade de molécula no volume estudado é muito grande (da ordem 10^{15} ou mais moléculas);
- Em cada instante, o número de colisões com a parede é imenso;
- As moléculas não interagem entre si à distância e a colisão com as paredes são sempre elásticas.

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

LEI DE BOYLE

Em 1660, Robert Boyle, um físico e químico irlandês, estabeleceu uma relação entre o **volume** e **pressão** para o caso de uma transformação gasosa à **temperatura constante**.

Verifique na [figura 4](#) o verbete em inglês sobre o assunto. Clique ali para ver a animação, ou procure na *internet* por *Lei de Boyle* que você encontrará facilmente.

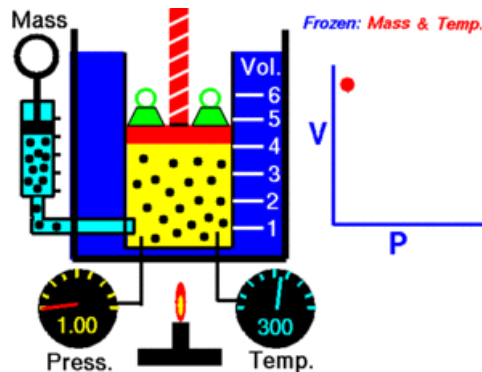
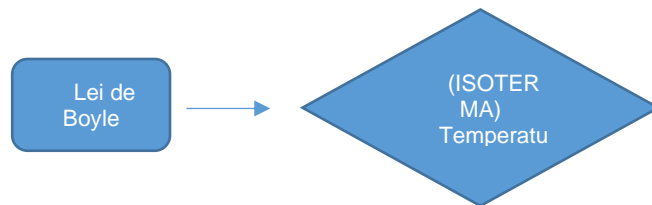


Figura 4: Verifique esta animação da *Wikipedia* sobre a Lei de Boyle: https://en.wikipedia.org/wiki/Boyle%27s_law



A relação que Boyle descobriu é que o produto entre pressão e volume é sempre uma constante. Assim:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \dots = \text{constante} \quad \text{Eq. (10)}$$

Na figura a seguir ([figura 5](#)) está representada graficamente a relação entre a pressão e o volume: a figura apresentada é uma hipérbole.

Q. 1 – ISOTERMA

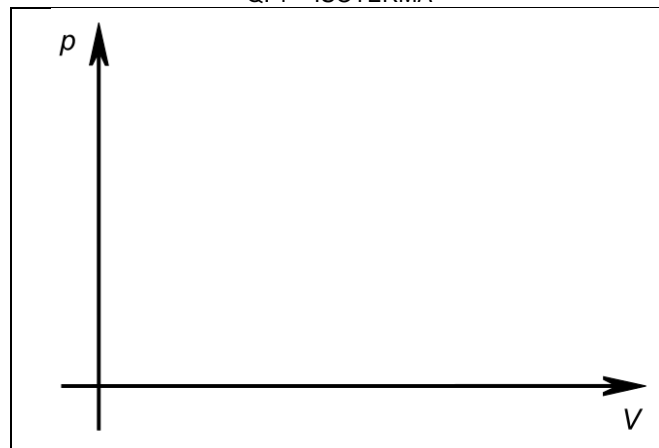


Figura 5: Representação gráfica da lei de Boyle: **isotermia**. Podemos enunciar a Lei de Boyle da seguinte forma:

Para uma transformação isotérmica, o produto entre a pressão e o volume é sempre uma constante.

De forma equivalente, podemos dizer que numa transformação isotérmica, a pressão e o volume são grandezas inversamente proporcionais.

PROFESSOR DANILO

LEIS DE CHARLES/GAY LUSSAC

Apenas 127 anos depois de Boyle, o francês Jacques Alexandre César Charles estudou quais seriam as relações entre as grandezas quando matemos o volume e a pressão constante. No entanto, o trabalho de Charles não foi publicado, tendo isso sido feito 15 anos depois por Gay-Lussac, que chegou aos mesmos resultados.

Quando a pressão for constante, isto é, quando o processo for **isobárico**, a razão entre o volume e a temperatura do gás será constante.

Q. 2 – ISOBÁRICA

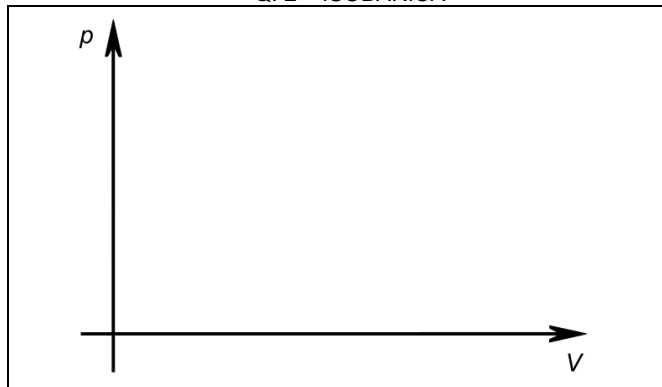


Figura 6: Uma das leis de Charles/Gay-Lussac: **isobárica**.

ISOBÁRICA:

Razão entre o volume e a temperatura é constante.

Podemos escrever da seguinte forma:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \text{constante} \quad \text{Eq. (11)}$$

Na [figura 6](#) vamos representar o gráfico de p por V .

Quando o **volume** for constante chamamos o processo de **isométrico** ou **isocórico** ou **isovolumétrico**. Neste caso, a razão entre a pressão e a temperatura do gás será constante.

Q. 3 – ISOCÓRICA OU ISOMÉTRICA OU ISOVOLUMÉTRICA

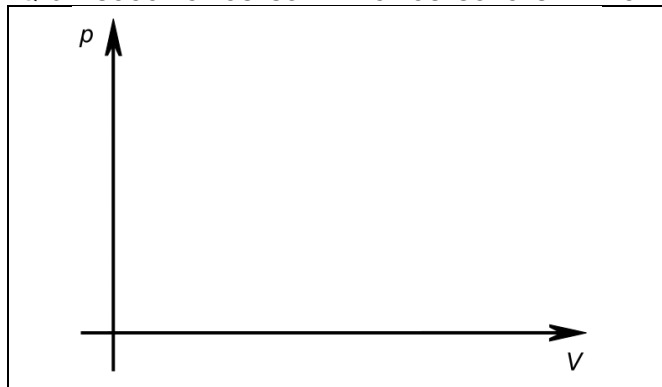


Figura 7: Outra lei de Charles/Gay-Lussac: **isocórica**.

ISOCÓRICA:

Razão entre a pressão e a temperatura é constante.

Podemos escrever da seguinte forma:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots = \text{constante} \quad \text{Eq. (12)}$$

Na [figura 7](#) vamos representar o gráfico de p por V .

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

LEI GERAL DOS GASES IDEAIS

Repare que podemos unificar as três relações anteriores em uma só, que chamaremos de Lei Geral dos Gases:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \dots = \frac{p \cdot V}{T} = \text{constante} \quad \text{Eq. (12)}$$

Repare que podemos recuperar as relações anteriores impondo alguma grandeza como sendo constante.

$$\text{ISOTÉRMICA: } \left. \begin{aligned} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ \text{se } T_1 &= T_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$\text{ISOBÁRICA: } \left. \begin{aligned} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ \text{se } p_1 &= p_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\text{ISOCÓRICA: } \left. \begin{aligned} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ \text{se } V_1 &= V_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

Falamos até agora que certas relações entre algumas grandezas nos dá uma constante, mas que constante é essa? Vamos agora responder esta pergunta, adicionando uma grandeza: o número de mols n .

A razão apresentada na [equação 12](#) é função do número de mols, da constante **universal dos gases ideais** R e da temperatura. Geralmente, escrevemos a equação na forma a seguir:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{Eq. (13)}$$

O valor da constante universal dos gases ideais, que iremos utilizar com frequência, no Sistema Internacional, é:

$$R \approx 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,31 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad \text{Eq. (14)}$$

Em outros sistemas de unidades, temos:

$$R \approx 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \approx 2,0 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

TRABALHO REALIZADO POR UM GÁS A...

PRESSÃO CONSTANTE

Para vermos como calcular o trabalho de um gás a pressão constante, vamos primeiramente supor um gás dentro de um cilindro com êmbolo de área A .

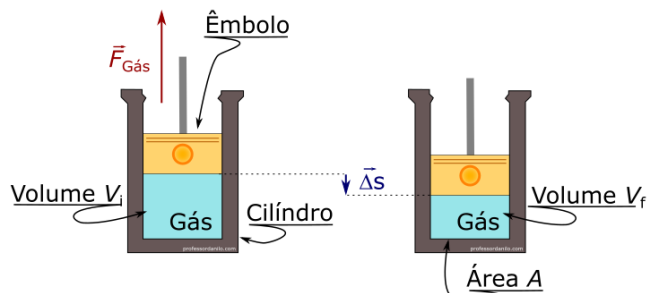


Figura 8: Cilindro de área A , gás com volume inicial V_i , êmbolo, força do gás e deslocamento do êmbolo.

PROFESSOR DANILO

Observe a figura acima na qual apresentamos um gás que é comprimido. Vamos supor que a temperatura do gás é controlada de tal forma que a pressão do gás se mantenha constante. Com isso podemos determinar o trabalho que o gás realiza.

Primeiramente, suponhamos que o ângulo entre a força que o gás faz e o deslocamento do êmbolo seja θ . Observe que se o gás sofre expansão, então $\theta = 0^\circ$ e, portanto, $\cos\theta = 1$; quando o gás sofre compressão, então $\theta = 180^\circ$ e $\cos\theta = -1$.

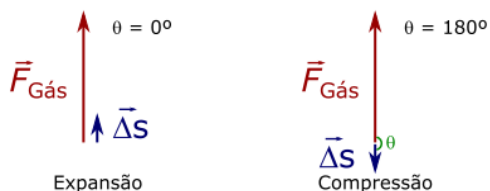


Figura 9: Se o gás sofre uma expansão, o cálculo do trabalho retorna um valor positivo; se o gás sofre uma compressão, o trabalho retorna um valor negativo.

Calculemos o trabalho:

$$\tau = F \cdot \Delta s \cdot \cos\theta \Rightarrow \begin{cases} \tau = F \cdot \Delta s & \text{se } \theta = 0^\circ \\ \tau = -F \cdot \Delta s & \text{se } \theta = 180^\circ \end{cases} \quad \text{Eq. (15)}$$

Lembremos que a força que o gás faz é o produto da pressão do gás pela área A do cilindro/êmbolo:

$$F_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot A \quad \text{Eq. (16)}$$

Assim, substituindo na equação do trabalho, obtemos de forma genérica sem considerar os sinais, que:

$$\tau_{\text{gás}} = F_{\text{gás}} \cdot \Delta s \Rightarrow \tau_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot \underbrace{(A \cdot \Delta s)}_{\text{variação do volume do gás}} \Rightarrow \tau_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot \Delta V \quad \text{Eq. (17)}$$

Sendo ΔV a variação do volume do gás. Note que a variação do volume do gás pode ser positiva ou negativa:

$$\Delta V = V_f - V_i \Rightarrow \begin{cases} \Delta V > 0 \text{ se } V_f > V_i & (\cos\theta = 1) \\ \Delta V < 0 \text{ se } V_f < V_i & (\cos\theta = -1), \end{cases}$$

com isso podemos ver que a equação 03 é geral, pois se o gás expandir, $\Delta V > 0$, o trabalho também será positivo; se, por outro lado, o gás sofrer compressão, $\Delta V < 0$, então o trabalho também será negativo.

Podemos então resumir nosso resultado da seguinte maneira:

Em um processo isobárico, o trabalho de um gás é determinado por

$$\tau_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot \Delta V.$$

VOLUME CONSTANTE

Se o volume do gás não varia então não há deslocamento, portanto pela equação (15) o trabalho do gás é nulo.

Em um processo isocórico (ou isométrico ou isovolumétrico), o trabalho de um gás é NULO

$$\tau_{\text{gás}} = 0.$$

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

CASO GERAL

O trabalho é calculado pela equação (17), caso a pressão for constante, no entanto se a pressão variar, temos que calcular a área da figura plana definida entre o eixo horizontal até a função que representa a pressão *versus* volume. Como uma imagem vale mais que mil palavras, abaixo representamos esta figura:

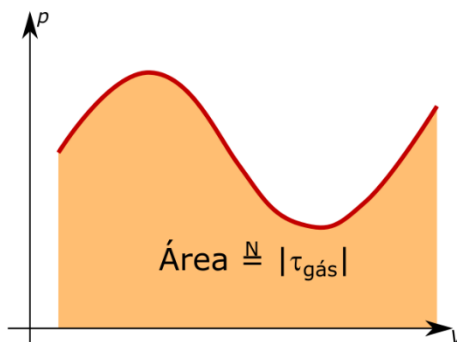


Figura 10: Caso a pressão não seja constante, o trabalho é definido pela área da figura abaixo da curva definida pelo diagrama p versus V .

Temos, no entanto, que orientar este processo, pois como vimos anteriormente se o gás sofre uma expansão então o trabalho é positivo e se o gás sofre compressão então o trabalho realizado pelo gás é negativo¹.

Veja nas duas próximas figuras a seguir os diagramas de pressão versus volume no caso do gás sofrendo expansão e no caso do gás sofrendo compressão. Você pode simplificar dizendo que o trabalho é positivo se o diagrama é da esquerda para a direita e negativo se o diagrama é da direita para a esquerda.

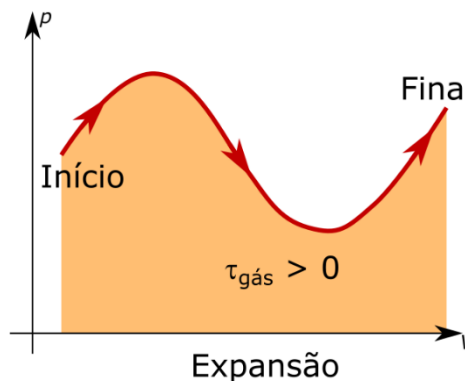


Figura 11: Na expansão, o volume do gás aumenta, portanto o trabalho do gás é positivo.

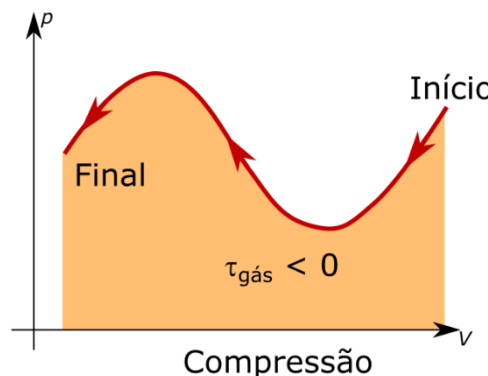


Figura 12: Na compressão, o volume do gás diminui, portanto o trabalho do gás é negativo.

¹ É comum utilizar os termos “trabalho realizado pelo gás” e “trabalho realizado sobre o gás”. Para evitar qualquer tipo de confusão, sempre que falarmos de trabalho sempre estaremos nos referindo ao gás, nunca a algum operador que realiza trabalho sobre o gás.

Em todo nosso material, se quiser saber sobre o trabalho realizado sobre o gás, basta substituir o trabalho do gás em todas as equações que ele aparecer por menos trabalho sobre o gás:

$$\tau_{\text{gás}} = \tau_{\text{PELO gás}} = -\tau_{\text{sobre o gás}}$$

PROFESSOR DANILO

TEMPERATURA CONSTANTE

No caso de uma transformação isotérmica a curva obtida é tal que não sabemos como calcular a sua área (pelo menos não aprendemos como fazer isso no ensino médio). Por esta razão, normalmente não se vê a fórmula de se determinar o trabalho, mas como o céu é o limite, vamos ver isso aqui!

Veja a figura a seguir, onde apresentamos a pressão em função do volume no caso de uma transformação isotérmica:

$$p = \frac{nRT}{V}.$$

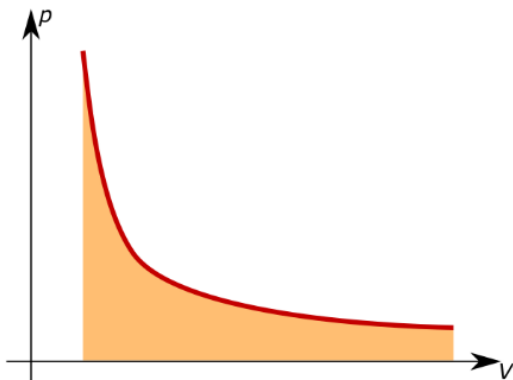


Figura 13: Uma transformação isotérmica. Não indicamos a direção do processo (compressão ou expansão) pois isso é determinado numericamente pelos valores dos volumes final e inicial.

Utilizando-se cálculo integral (vocês terão uma noção sobre isso no final do ano) pode-se demonstrar que o trabalho do gás é dado por:

$$\tau_{\text{gás}} = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad \text{Eq. (18).}$$

Em um processo isotérmico, o trabalho de um gás é determinado por

$$\tau_{\text{gás}} = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right).$$

Note aqui que \ln é o logaritmo neperiano, isto é, é o logaritmo na base e , que é o número neperiano:

$$\ln k = \log_e k.$$

Lembre-se também de como mudar a base:

$$\ln k = \log_e k = \frac{\log k}{\log e}.$$

Lembre-se também de como trabalhamos com funções logarítmicas:

$$\log_{10} k = a \Leftrightarrow 10^a = k.$$

Lembremos também que

$$e = 2,718281828...$$

Q. 4 – RESUMO DAS PARTES MAIS IMPORTANTES

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

ENERGIA INTERNA DE UM GÁS

Energia interna (U): A energia interna de um gás é a soma das energias cinética e potencial de todas as moléculas do gás. Ela é uma medida da energia total contida no sistema de partículas.

Quando falamos de um gás ideal, estamos considerando que não haja nenhuma interação entre as moléculas contidas em um gás. Portanto, para um gás ideal, a energia interna é a soma da energia cinética de todas as moléculas do gás.

Q. 5 – ENERGIA INTERNA DE UM GÁS MONOATÔMICO

Q. 6 – ENERGIA INTERNA DE UM GÁS DIATÔMICO

Q. 7 – ENERGIA INTERNA DE UM GÁS TRIATÔMICO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Com base no que vimos sobre energia interna e trabalho, podemos, pensando na conservação de energia, pensar no seguinte esquema:

Q. 8 – FORMAS DE ENERGIAS E SUAS TROCAS EM UM GÁS

Energia cinética: A energia cinética está associada ao movimento das moléculas de gás. Em um gás, as moléculas estão constantemente em movimento aleatório e possuem energia cinética devido a essa movimentação. A temperatura do gás está relacionada à energia cinética média das moléculas.

Energia interna (U): A energia interna de um gás é a soma das energias cinética e potencial de todas as moléculas do gás. Ela é uma medida da energia total contida no sistema de partículas.

Trocas de energia: Em um gás, as trocas de energia ocorrem principalmente por meio de processos de transferência de calor (Q) e trabalho τ .

Basicamente aí se encontra a primeira lei da termodinâmica:

Q. 9 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

$$\text{Eq. (19)}$$

Vamos agora aplicar estes conceitos nas diversas transformações que vimos.

PROFESSOR DANILO

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

Q. 10 – TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA**Q. 11 – TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA****Q. 12 – TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA****Q. 13 – TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA****Q. 14 – MÁQUINAS TÉRMICAS**

Uma máquina térmica é um dispositivo que converte energia térmica em trabalho mecânico. Ela opera com base no princípio da termodinâmica, aproveitando a diferença de temperatura entre duas fontes para realizar um ciclo termodinâmico.

O exemplo mais comum de máquina térmica é o motor a vapor, onde a energia térmica do vapor de água é convertida em trabalho mecânico para movimentar um pistão. Outros exemplos incluem motores de combustão interna, como o motor a explosão utilizado em veículos, e turbinas a gás.

O desempenho de uma máquina térmica é geralmente avaliado através de sua eficiência, que é a razão entre a energia útil gerada e a energia térmica fornecida. No entanto, a eficiência de uma máquina térmica está limitada pelas leis da termodinâmica, como a lei da conservação da energia e a segunda lei da termodinâmica.

PROFESSOR DANILO

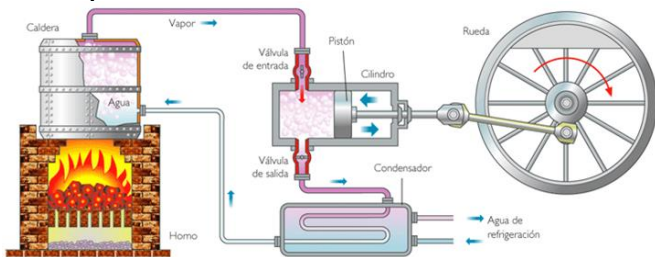
MÁQUINAS TÉRMICAS**Exemplos:**

Figura 14: Máquina a vapor

A máquina a vapor, amplamente utilizada durante a primeira revolução industrial, é um exemplo de máquina térmica: a fornalha aquece a água da caldeira pela queima de carvão; a água na caldeira entra em ebulição; o vapor de água entra, por uma válvula quando esta está aberta, em um cilindro e empurra um pistão, acionando algum mecanismo, como a roda de um trem; posteriormente a válvula de entrada (válvula de admissão) é fechada e a válvula de saída se abre, enquanto o pistão volta para eliminar o vapor; o vapor deve então ser resfriado para poder retornar à caldeira.

Note que ao empurrar o pistão o gás realiza trabalho, assim sua energia é reduzida. É justamente através do trabalho que a energia térmica é convertida em energia mecânica.

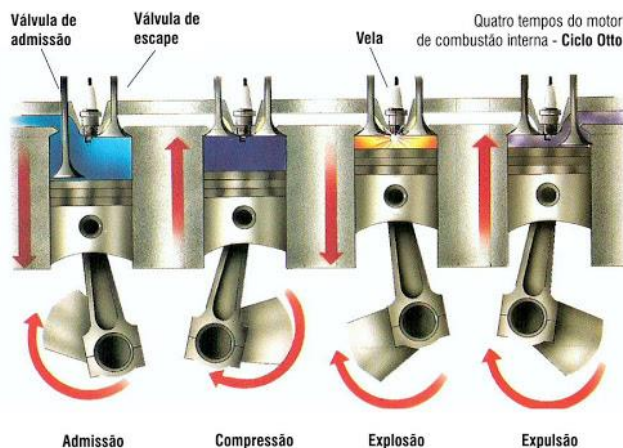


Figura 15: Motor de combustão interna.

Como o nome indica, um motor de combustão interna, diferente da máquina a vapor, realiza a queima dentro do cilindro. A expansão do gás devido à queima empurra o cilindro, fazendo-o realizar trabalho e, com isso, empurra o carro, aciona o gerador do veículo (normalmente chamado de alternador, responsável por carregar a bateria e alimentar a parte elétrica), bomba de óleo para lubrificação e outros componentes, a depender de cada veículo.

Normalmente, os veículos possuem 4 cilindros dispostos em linha. Alguns veículos, com o UP, Onix, Argo, Kwid, possuem três cilindros dispostos em linha. Existem também alguns veículos com os cilindros dispostos em V ("vê"), chamados de V seguido de um número que corresponde ao número de cilindros. Por exemplo, o Azeera V6 com 6 cilindros, ou o Mustang V8, com 8 cilindro. Existem motores usados em locomotivas ou navios com muitos cilindros, tendo motores V12, V16, V24 entre muitos outros. Se você quiser ver alguns outros tipos de motores, com inúmeras animações, o professor recomenda a wikipedia: https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_V6. Neste link você pode seguir para inúmeros outros tipos de motores.

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

Outro conceito importante é a cilindrada: os veículos são caracterizados sempre por um número, onde é comum dizermos que tal veículo é 1.0, ou 2.0, 1.4 e outros. Isso corresponde à soma dos volumes de todos os cilindros onde ocorre a queima do combustível, em litros. Por exemplo, um veículo 1.6 tem como soma de todos os volumes dos cilindros igual a 1,6 litro.

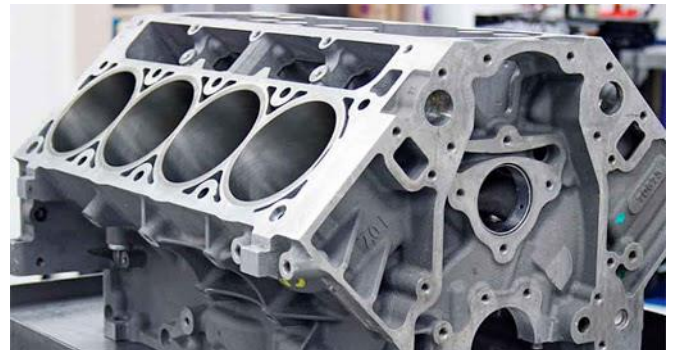


Figura 16: Fotografia que mostra o bloco de um motor V8

Os motores de combustão interna usados em veículos automotores são chamados de motores 4 tempo, como podemos ver na Figura 15: o cilindro descendo e recebendo combustível corresponde ao primeiro tempo (**admissão**); a mistura de combustível com oxigênio é comprimida, correspondendo ao segundo tempo (**compressão**); quando o ar está comprimido, ocorre uma faísca elétrica quando o veículo é movido à álcool ou gasolina, e corresponde ao terceiro tempo (**explosão**); posteriormente, o resultado da reação de combustão ocorre a expulsão do combustível, chegando finalmente ao quarto tempo (**exaustão** ou **expulsão**).

Há muitas coisas interessantes a respeito de motores, como, por exemplo, que motores a diesel não possuem vela, pois a mistura é aquecida na compressão, produzindo a queima. Além disso, como o álcool queima mais lentamente, a faísca em um motor a álcool deve ocorrer ligeiramente antes do que ocorreria em um motor a gasolina. Carros flex devem ter sensores que detectam o combustível.

Muitos países, incluindo o Brasil, usam usinas termoeletricas como fontes geradoras de energia elétrica. A parte envolvendo transformação de calor em energia mecânica, para mover os geradores, funcionam de forma muito similar às máquinas a vapor, como representado na figura Figura 17.

Como podemos ver na Figura 18, o princípio de funcionamento de uma usina termonuclear é também similar ao de uma máquina a vapor: reações nucleares aquecem a água em um circuito primário; esta água do circuito primário se transforma em vapor e aquece a água de uma caldeira em um circuito secundário; a água do circuito secundário, por sua vez, vira vapor e move uma turbina, que gera energia elétrica.

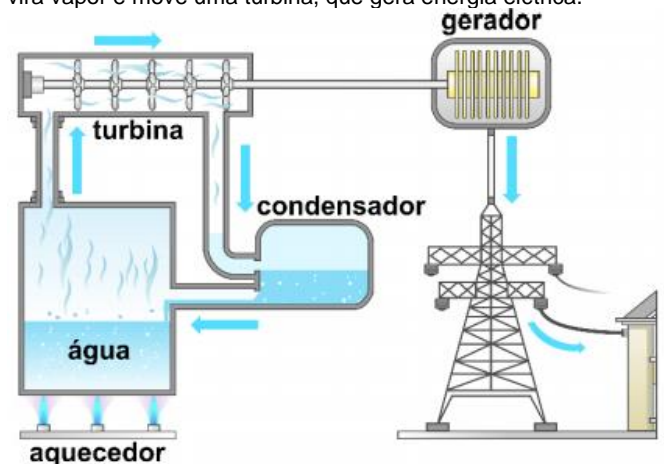


Figura 17: Usinas termoeletricas

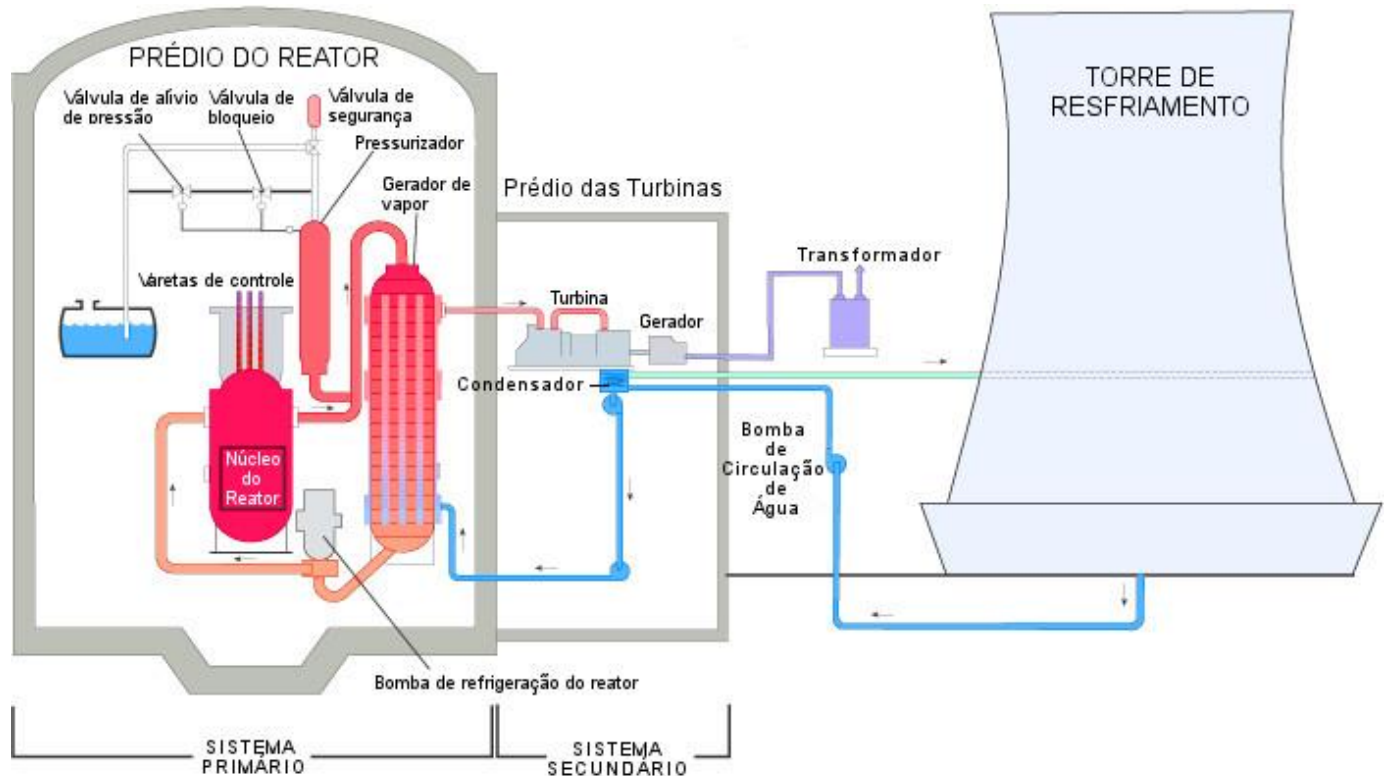


Figura 18: Usina termonuclear

Em **todos** os motores térmicos, precisamos de um sistema para resfriar o vapor de água ou controlar a temperatura do motor. Nos veículos, são os radiadores; nas usinas termoeletricas ou termonucleares, usam águas correntes de rios, água de lagos ou torres de refrigeração. Portanto, aquela “fumaça” que você vê saindo daquelas “chaminés” em usinas nucleares é, na verdade, vapor de água.

Representação geral:

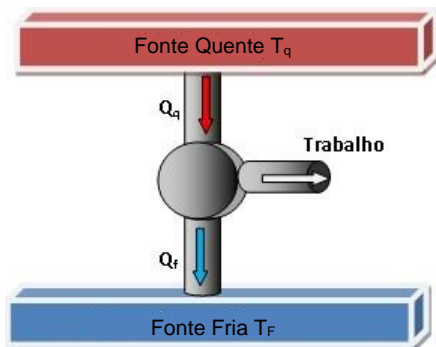


Figura 19: Representação de uma máquina térmica com uma fonte quente (quem fornece calor) e uma fonte fria (usada para refrigerar o motor). É uma representação um tanto quanto abstrata e genérica de máquinas térmicas

Q. 15 – COMPONENTES BÁSICOS DE UMA MÁQUINA TÉRMICA

Fonte quente: É a fonte de alta temperatura com a qual a máquina térmica interage para receber energia térmica.

Fonte fria: É a fonte de baixa temperatura para a qual a máquina térmica rejeita o calor residual.

Fluidos de trabalho: São utilizados para transferir e converter energia térmica. Podem ser gases, líquidos ou até mesmo vapor de água.

Ciclo termodinâmico: A máquina térmica opera ciclos.

Q. 16 – RENDIMENTO

Q. 17 – CICLO DE CARNOT

PROFESSOR DANILO

Q. 18 – RENDIMENTO MÁXIMO POSSÍVEL**SEGUNDA LEI DA
TERMODINÂMICA****ENUNCIADO DE CLAUSIUS**
(Rudolf Emanuel Clausius - 1850)

O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a realização de trabalho.

ENUNCIADO DE KELVIN E PLANK
(Lord Kelvin e Max Plank - 1851)

É impossível, para uma máquina térmica que opera em ciclos, converter integralmente calor em trabalho.

ENTROPIA**Q. 19 – ENTROPIA (S)**

Entropia é uma grandeza física que está associada à medida de desordem, aleatoriedade ou incerteza em um sistema. Ela é uma propriedade fundamental da termodinâmica e está relacionada à distribuição de energia dentro de um sistema.

A entropia também está relacionada à dispersão da energia em um sistema. Em um sistema altamente ordenado, com poucas configurações possíveis, a entropia é baixa. Já em um sistema desordenado, com muitas configurações possíveis, a entropia é alta.

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia de um sistema isolado tende a aumentar ao longo do tempo, ou no máximo permanecer constante em processos reversíveis. Isso implica que, em processos naturais, a tendência é que a energia se disperse e a desordem aumente.

GASES E TERMODINÂMICA – TERCEIRO ANO – 15/06/2024

Q. 20 – IRREVERSIBILIDADE

A entropia total de um sistema isolado nunca diminui: ou ela fica constante ou aumenta.

Q. 21 – VIAGEM NO TEMPO

Se a viagem no tempo fosse possível, algumas questões intrigantes surgiriam em relação à entropia. Por exemplo, se alguém pudesse voltar no tempo e interferir em eventos passados, isso poderia levar a paradoxos ou contradições lógicas. Essas ações poderiam, teoricamente, interferir no aumento da entropia que ocorreria naturalmente ao longo do tempo.

Q. 22 – MORTE TÉRMICA

A morte térmica do universo está relacionada à entropia e às leis da termodinâmica. Segundo essa ideia, o universo está caminhando em direção a um estado de equilíbrio termodinâmico máximo, onde a entropia será máxima e não haverá mais energia disponível para ser utilizada.

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia de um sistema isolado tende a aumentar ou, no máximo, permanecer constante em processos reversíveis. Isso significa que, ao longo do tempo, a energia dentro do universo tende a se dispersar e se distribuir de forma cada vez mais uniforme.

A morte térmica do universo é um possível destino para o universo, em que todas as fontes de energia serão esgotadas e a entropia será máxima. Nesse estado, não haverá mais gradientes de temperatura ou energia disponíveis para realizar trabalho. Todas as estrelas se extinguirão, os processos nucleares cessarão e o universo se tornará um lugar frio, estático e homogêneo.

Esse estado de alta entropia e equilíbrio térmico é conhecido como "morte térmica" porque não haverá mais possibilidade de realizar trabalho ou de ocorrerem interações significativas entre partículas ou sistemas. A entropia máxima implica em uma distribuição uniforme da energia e uma ausência de gradientes ou diferenças significativas.

Assim, a morte térmica do universo está intimamente ligada ao aumento da entropia e à tendência do universo em caminhar em direção a um estado de maior desordem e equilíbrio termodinâmico. É um conceito fundamental na cosmologia e nas teorias sobre o destino último do universo.