

### 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 ( $^{12}\text{C}$ ) 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:

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

**Tabela periódica**

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

1 H Hidrogênio 1,008  
2 He Hélio 4,003

3 Li Lítio 6,941  
4 Be Berílio 9,012

5 B Boro 10,81  
6 C Carbono 12,01  
7 N Nitrogênio 14,01  
8 O Oxigênio 16,00  
9 F Flúor 18,99  
10 Ne Néon 20,18

11 Na Sódio 22,99  
12 Mg Magnésio 24,31  
13 Al Alumínio 26,98  
14 Si Silício 28,09  
15 P Fósforo 30,97  
16 S Enxofre 32,07  
17 Cl Cloro 35,45  
18 Ar Argônio 39,95

19 K Potássio 39,10  
20 Ca Cálcio 40,08  
21 Sc Escândio  
22 Ti Titânio 47,88  
23 V Vanádio 50,94  
24 Cr Cromo 52,00  
25 Mn Manganês 54,94  
26 Fe Ferro 55,85  
27 Co Cobalto 58,93  
28 Ni Níquel 58,69  
29 Cu Cúprico 63,55  
30 Zn Zinco 65,38

31 Ga Gálio 69,72  
32 Ge Germânio 72,64  
33 As Arsênio 74,92  
34 Se Selênio 78,96  
35 Br Bromo 79,90  
36 Kr Criptônio 83,80

37 Rb Rubídio 85,47  
38 Sr Estrôncio 87,62  
39 Y Ítrio  
40 Zr Zircônio 91,22  
41 Nb Nióbio 92,91  
42 Mo Molibdênio 95,94  
43 Tc Tecnécio  
44 Ru Ródio 101,07  
45 Rh Ródio 102,91  
46 Pd Paládio 106,42  
47 Ag Prata 107,87  
48 Cd Cádmio 112,41  
49 In Índio 114,82  
50 Sn Estanho 118,71  
51 Sb Antimônio 121,76  
52 Te Telúrio 127,60  
53 I Iodo 126,91  
54 Xe Xenônio 131,29

55 Cs Césio 132,91  
56 Ba Bário 137,33  
57 La Lantânio  
58 Ce Cério  
59 Pr Praseodímio  
60 Nd Nêdímio  
61 Pm Promécio  
62 Sm Samário  
63 Eu Európio  
64 Gd Gádolio  
65 Tb Térbio  
66 Dy Disprósio  
67 Ho Hólio  
68 Er Érbio  
69 Tm Térmio  
70 Yb Iúbio  
71 Lu Lúteo

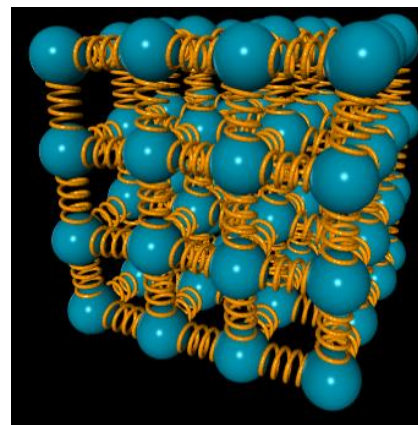
72 Hf Háfnio  
73 Ta Tântalo  
74 W Tungstênio  
75 Re Rênio  
76 Os Ósmio  
77 Ir Írrio  
78 Pt Platina  
79 Au Ouro  
80 Hg Mercúrio  
81 Tl Talho  
82 Pb Chumbo  
83 Bi Bismuto  
84 Po Polônio  
85 At Astatina  
86 Rn Radônio

87 Fr Francium  
88 Ra Rádio  
89 Ac Actínio  
90 Th Tório  
91 Pa Protactínio  
92 U Urânio  
93 Np Neptúlio  
94 Pu Plutônio  
95 Am Amélio  
96 Cm Cúrio  
97 Bk Berquélio  
98 Cf Califórnio  
99 Es Éisbergo  
100 Fm Fermílio  
101 Md Mendelevílio  
102 No Nihônio  
103 Lr Lawrencio

104 Rf Rfênio  
105 Db Dubnio  
106 Sg Seabórgio  
107 Bh Bólio  
108 Hs Hécio  
109 Mt Meitnerílio  
110 Ds Dúnsio  
111 Rg Rógenio  
112 Cn Copernício  
113 Nh Nihônio  
114 Fl Flúvino  
115 Mc Moscóvio  
116 Lv Livermório  
117 Ts Tenessio  
118 Og Oganessio

119 Uu119  
120 Uu120  
121 Uu121  
122 Uu122  
123 Uu123  
124 Uu124  
125 Uu125  
126 Uu126  
127 Uu127  
128 Uu128  
129 Uu129  
130 Uu130  
131 Uu131  
132 Uu132  
133 Uu133  
134 Uu134  
135 Uu135  
136 Uu136  
137 Uu137  
138 Uu138  
139 Uu139  
140 Uu140  
141 Uu141  
142 Uu142  
143 Uu143  
144 Uu144  
145 Uu145  
146 Uu146  
147 Uu147  
148 Uu148  
149 Uu149  
150 Uu150  
151 Uu151  
152 Uu152  
153 Uu153  
154 Uu154  
155 Uu155  
156 Uu156  
157 Uu157  
158 Uu158  
159 Uu159  
160 Uu160  
161 Uu161  
162 Uu162  
163 Uu163  
164 Uu164  
165 Uu165  
166 Uu166  
167 Uu167  
168 Uu168  
169 Uu169  
170 Uu170  
171 Uu171  
172 Uu172  
173 Uu173  
174 Uu174  
175 Uu175  
176 Uu176  
177 Uu177  
178 Uu178  
179 Uu179  
180 Uu180  
181 Uu181  
182 Uu182  
183 Uu183  
184 Uu184  
185 Uu185  
186 Uu186  
187 Uu187  
188 Uu188  
189 Uu189  
190 Uu190  
191 Uu191  
192 Uu192  
193 Uu193  
194 Uu194  
195 Uu195  
196 Uu196  
197 Uu197  
198 Uu198  
199 Uu199  
200 Uu200  
201 Uu201  
202 Uu202  
203 Uu203  
204 Uu204  
205 Uu205  
206 Uu206  
207 Uu207  
208 Uu208  
209 Uu209  
210 Uu210  
211 Uu211  
212 Uu212  
213 Uu213  
214 Uu214  
215 Uu215  
216 Uu216  
217 Uu217  
218 Uu218  
219 Uu219  
220 Uu220  
221 Uu221  
222 Uu222  
223 Uu223  
224 Uu224  
225 Uu225  
226 Uu226  
227 Uu227  
228 Uu228  
229 Uu229  
230 Uu230  
231 Uu231  
232 Uu232  
233 Uu233  
234 Uu234  
235 Uu235  
236 Uu236  
237 Uu237  
238 Uu238  
239 Uu239  
240 Uu240  
241 Uu241  
242 Uu242  
243 Uu243  
244 Uu244  
245 Uu245  
246 Uu246  
247 Uu247  
248 Uu248  
249 Uu249  
250 Uu250  
251 Uu251  
252 Uu252  
253 Uu253  
254 Uu254  
255 Uu255  
256 Uu256  
257 Uu257  
258 Uu258  
259 Uu259  
260 Uu260  
261 Uu261  
262 Uu262  
263 Uu263  
264 Uu264  
265 Uu265  
266 Uu266  
267 Uu267  
268 Uu268  
269 Uu269  
270 Uu270  
271 Uu271  
272 Uu272  
273 Uu273  
274 Uu274  
275 Uu275  
276 Uu276  
277 Uu277  
278 Uu278  
279 Uu279  
280 Uu280  
281 Uu281  
282 Uu282  
283 Uu283  
284 Uu284  
285 Uu285  
286 Uu286  
287 Uu287  
288 Uu288  
289 Uu289  
290 Uu290  
291 Uu291  
292 Uu292  
293 Uu293  
294 Uu294  
295 Uu295  
296 Uu296  
297 Uu297  
298 Uu298  
299 Uu299  
300 Uu300  
301 Uu301  
302 Uu302  
303 Uu303  
304 Uu304  
305 Uu305  
306 Uu306  
307 Uu307  
308 Uu308  
309 Uu309  
310 Uu310  
311 Uu311  
312 Uu312  
313 Uu313  
314 Uu314  
315 Uu315  
316 Uu316  
317 Uu317  
318 Uu318  
319 Uu319  
320 Uu320  
321 Uu321  
322 Uu322  
323 Uu323  
324 Uu324  
325 Uu325  
326 Uu326  
327 Uu327  
328 Uu328  
329 Uu329  
330 Uu330  
331 Uu331  
332 Uu332  
333 Uu333  
334 Uu334  
335 Uu335  
336 Uu336  
337 Uu337  
338 Uu338  
339 Uu339  
340 Uu340  
341 Uu341  
342 Uu342  
343 Uu343  
344 Uu344  
345 Uu345  
346 Uu346  
347 Uu347  
348 Uu348  
349 Uu349  
350 Uu350  
351 Uu351  
352 Uu352  
353 Uu353  
354 Uu354  
355 Uu355  
356 Uu356  
357 Uu357  
358 Uu358  
359 Uu359  
360 Uu360  
361 Uu361  
362 Uu362  
363 Uu363  
364 Uu364  
365 Uu365  
366 Uu366  
367 Uu367  
368 Uu368  
369 Uu369  
370 Uu370  
371 Uu371  
372 Uu372  
373 Uu373  
374 Uu374  
375 Uu375  
376 Uu376  
377 Uu377  
378 Uu378  
379 Uu379  
380 Uu380  
381 Uu381  
382 Uu382  
383 Uu383  
384 Uu384  
385 Uu385  
386 Uu386  
387 Uu387  
388 Uu388  
389 Uu389  
390 Uu390  
391 Uu391  
392 Uu392  
393 Uu393  
394 Uu394  
395 Uu395  
396 Uu396  
397 Uu397  
398 Uu398  
399 Uu399  
400 Uu400  
401 Uu401  
402 Uu402  
403 Uu403  
404 Uu404  
405 Uu405  
406 Uu406  
407 Uu407  
408 Uu408  
409 Uu409  
410 Uu410  
411 Uu411  
412 Uu412  
413 Uu413  
414 Uu414  
415 Uu415  
416 Uu416  
417 Uu417  
418 Uu418  
419 Uu419  
420 Uu420  
421 Uu421  
422 Uu422  
423 Uu423  
424 Uu424  
425 Uu425  
426 Uu426  
427 Uu427  
428 Uu428  
429 Uu429  
430 Uu430  
431 Uu431  
432 Uu432  
433 Uu433  
434 Uu434  
435 Uu435  
436 Uu436  
437 Uu437  
438 Uu438  
439 Uu439  
440 Uu440  
441 Uu441  
442 Uu442  
443 Uu443  
444 Uu444  
445 Uu445  
446 Uu446  
447 Uu447  
448 Uu448  
449 Uu449  
450 Uu450  
451 Uu451  
452 Uu452  
453 Uu453  
454 Uu454  
455 Uu455  
456 Uu456  
457 Uu457  
458 Uu458  
459 Uu459  
460 Uu460  
461 Uu461  
462 Uu462  
463 Uu463  
464 Uu464  
465 Uu465  
466 Uu466  
467 Uu467  
468 Uu468  
469 Uu469  
470 Uu470  
471 Uu471  
472 Uu472  
473 Uu473  
474 Uu474  
475 Uu475  
476 Uu476  
477 Uu477  
478 Uu478  
479 Uu479  
480 Uu480  
481 Uu481  
482 Uu482  
483 Uu483  
484 Uu484  
485 Uu485  
486 Uu486  
487 Uu487  
488 Uu488  
489 Uu489  
490 Uu490  
491 Uu491  
492 Uu492  
493 Uu493  
494 Uu494  
495 Uu495  
496 Uu496  
497 Uu497  
498 Uu498  
499 Uu499  
500 Uu500  
501 Uu501  
502 Uu502  
503 Uu503  
504 Uu504  
505 Uu505  
506 Uu506  
507 Uu507  
508 Uu508  
509 Uu509  
510 Uu510  
511 Uu511  
512 Uu512  
513 Uu513  
514 Uu514  
515 Uu515  
516 Uu516  
517 Uu517  
518 Uu518  
519 Uu519  
520 Uu520  
521 Uu521  
522 Uu522  
523 Uu523  
524 Uu524  
525 Uu525  
526 Uu526  
527 Uu527  
528 Uu528  
529 Uu529  
530 Uu530  
531 Uu531  
532 Uu532  
533 Uu533  
534 Uu534  
535 Uu535  
536 Uu536  
537 Uu537  
538 Uu538  
539 Uu539  
540 Uu540  
541 Uu541  
542 Uu542  
543 Uu543  
544 Uu544  
545 Uu545  
546 Uu546  
547 Uu547  
548 Uu548  
549 Uu549  
550 Uu550  
551 Uu551  
552 Uu552  
553 Uu553  
554 Uu554  
555 Uu555  
556 Uu556  
557 Uu557  
558 Uu558  
559 Uu559  
560 Uu560  
561 Uu561  
562 Uu562  
563 Uu563  
564 Uu564  
565 Uu565  
566 Uu566  
567 Uu567  
568 Uu568  
569 Uu569  
570 Uu570  
571 Uu571  
572 Uu572  
573 Uu573  
574 Uu574  
575 Uu575  
576 Uu576  
577 Uu577  
578 Uu578  
579 Uu579  
580 Uu580  
581 Uu581  
582 Uu582  
583 Uu583  
584 Uu584  
585 Uu585  
586 Uu586  
587 Uu587  
588 Uu588  
589 Uu589  
590 Uu590  
591 Uu591  
592 Uu592  
593 Uu593  
594 Uu594  
595 Uu595  
596 Uu596  
597 Uu597  
598 Uu598  
599 Uu599  
600 Uu600  
601 Uu601  
602 Uu602  
603 Uu603  
604 Uu604  
605 Uu605  
606 Uu606  
607 Uu607  
608 Uu608  
609 Uu609  
610 Uu610  
611 Uu611  
612 Uu612  
613 Uu613  
614 Uu614  
615 Uu615  
616 Uu616  
617 Uu617  
618 Uu618  
619 Uu619  
620 Uu620  
621 Uu621  
622 Uu622  
623 Uu623  
624 Uu624  
625 Uu625  
626 Uu626  
627 Uu627  
628 Uu628  
629 Uu629  
630 Uu630  
631 Uu631  
632 Uu632  
633 Uu633  
634 Uu634  
635 Uu635  
636 Uu636  
637 Uu637  
638 Uu638  
639 Uu639  
640 Uu640  
641 Uu641  
642 Uu642  
643 Uu643  
644 Uu644  
645 Uu645  
646 Uu646  
647 Uu647  
648 Uu648  
649 Uu649  
650 Uu650  
651 Uu651  
652 Uu652  
653 Uu653  
654 Uu654  
655 Uu655  
656 Uu656  
657 Uu657  
658 Uu658  
659 Uu659  
660 Uu660  
661 Uu661  
662 Uu662  
663 Uu663  
664 Uu664  
665 Uu665  
666 Uu666  
667 Uu667  
668 Uu668  
669 Uu669  
670 Uu670  
671 Uu671  
672 Uu672  
673 Uu673  
674 Uu674  
675 Uu675  
676 Uu676  
677 Uu677  
678 Uu678  
679 Uu679  
680 Uu680  
681 Uu681  
682 Uu682  
683 Uu683  
684 Uu684  
685 Uu685  
686 Uu686  
687 Uu687  
688 Uu688  
689 Uu689  
690 Uu690  
691 Uu691  
692 Uu692  
693 Uu693  
694 Uu694  
695 Uu695  
696 Uu696  
697 Uu697  
698 Uu698  
699 Uu699  
700 Uu700  
701 Uu701  
702 Uu702  
703 Uu703  
704 Uu704  
705 Uu705  
706 Uu706  
707 Uu707  
708 Uu708  
709 Uu709  
710 Uu710  
711 Uu711  
712 Uu712  
713 Uu713  
714 Uu714  
715 Uu715  
716 Uu716  
717 Uu717  
718 Uu718  
719 Uu719  
720 Uu720  
721 Uu721  
722 Uu722  
723 Uu723  
724 Uu724  
725 Uu725  
726 Uu726  
727 Uu727  
728 Uu728  
729 Uu729  
730 Uu730  
731 Uu731  
732 Uu732  
733 Uu733  
734 Uu734  
735 Uu735  
736 Uu736  
737 Uu737  
738 Uu738  
739 Uu739  
740 Uu740  
741 Uu741  
742 Uu742  
743 Uu743  
744 Uu744  
745 Uu745  
746 Uu746  
747 Uu747  
748 Uu748  
749 Uu749  
750 Uu750  
751 Uu751  
752 Uu752  
753 Uu753  
754 Uu754  
755 Uu755  
756 Uu756  
757 Uu757  
758 Uu758  
759 Uu759  
760 Uu760  
761 Uu761  
762 Uu762  
763 Uu763  
764 Uu764  
765 Uu765  
766 Uu766  
767 Uu767  
768 Uu768  
769 Uu769  
770 Uu770  
771 Uu771  
772 Uu772  
773 Uu773  
774 Uu774  
775 Uu775  
776 Uu776  
777 Uu777  
778 Uu778  
779 Uu779  
780 Uu780  
781 Uu781  
782 Uu782  
783 Uu783  
784 Uu784  
785 Uu785  
786 Uu786  
787 Uu787  
788 Uu788  
789 Uu789  
790 Uu790  
791 Uu791  
792 Uu792  
793 Uu793  
794 Uu794  
795 Uu795  
796 Uu796  
797 Uu797  
798 Uu798  
799 Uu799  
800 Uu800  
801 Uu801  
802 Uu802  
803 Uu803  
804 Uu804  
805 Uu805  
806 Uu806  
807 Uu807  
808 Uu808  
809 Uu809  
810 Uu810  
811 Uu811  
812 Uu812  
813 Uu813  
814 Uu814  
815 Uu815  
816 Uu816  
817 Uu817  
818 Uu818  
819 Uu819  
820 Uu820  
821 Uu821  
822 Uu822  
823 Uu823  
824 Uu824  
825 Uu825  
826 Uu826  
827 Uu827  
828 Uu828  
829 Uu829  
830 Uu830  
831 Uu831  
832 Uu832  
833 Uu833  
834 Uu834  
835 Uu835  
836 Uu836  
837 Uu837  
838 Uu838  
839 Uu839  
840 Uu840  
841 Uu841  
842 Uu842  
843 Uu843  
844 Uu844  
845 Uu845  
846 Uu846  
847 Uu847  
848 Uu848  
849 Uu849  
850 Uu850  
851 Uu851  
852 Uu852  
853 Uu853  
854 Uu854  
855 Uu855  
856 Uu856  
857 Uu857  
858 Uu858  
859 Uu859  
860 Uu860  
861 Uu861  
862 Uu862  
863 Uu863  
864 Uu864  
865 Uu865  
866 Uu866  
867 Uu867  
868 Uu868  
869 Uu869  
870 Uu870  
871 Uu871  
872 Uu872  
873 Uu873  
874 Uu874  
875 Uu875  
876 Uu876  
877 Uu877  
878 Uu878  
879 Uu879  
880 Uu880  
881 Uu881  
882 Uu882  
883 Uu883  
884 Uu884  
885 Uu885  
886 Uu886  
887 Uu887  
888 Uu888  
889 Uu889  
890 Uu890  
891 Uu891  
892 Uu892  
893 Uu893  
894 Uu894  
895 Uu895  
896 Uu896  
897 Uu897  
898 Uu898  
899 Uu899  
900 Uu900  
901 Uu901  
902 Uu902  
903 Uu903  
904 Uu904  
905 Uu905  
906 Uu906  
907 Uu907  
908 Uu908  
909 Uu909  
910 Uu910  
911 Uu911  
912 Uu912  
913 Uu913  
914 Uu914  
915 Uu915  
916 Uu916  
917 Uu917  
918 Uu918  
919 Uu919  
920 Uu920  
921 Uu921  
922 Uu922  
923 Uu923  
924 Uu924  
925 Uu925  
926 Uu926  
927 Uu927  
928 Uu928  
929 Uu929  
930 Uu930  
931 Uu931  
932 Uu932  
933 Uu933  
934 Uu934  
935 Uu935  
936 Uu936  
937 Uu937  
938 Uu938  
939 Uu939  
940 Uu940  
941 Uu941  
942 Uu942  
943 Uu943  
944 Uu944  
945 Uu945  
946 Uu946  
947 Uu947  
948 Uu948  
949 Uu949  
950 Uu950  
951 Uu951  
952 Uu952  
953 Uu953  
954 Uu954  
955 Uu955  
956 Uu956  
957 Uu957  
958 Uu958  
959 Uu959  
960 Uu960  
961 Uu961  
962 Uu962  
963 Uu963  
964 Uu964  
965 Uu965  
966 Uu966  
967 Uu967  
968 Uu968  
969 Uu969  
970 Uu970  
971 Uu971  
972 Uu972  
973 Uu973  
974 Uu974  
975 Uu975  
976 Uu976  
977 Uu977  
978 Uu978  
979 Uu979  
980 Uu980  
981 Uu981  
982 Uu982  
983 Uu983  
984 Uu984  
985 Uu985  
986 Uu986  
987 Uu987  
988 Uu988  
989 Uu989  
990 Uu990  
991 Uu991  
992 Uu992  
993 Uu993  
994 Uu994  
995 Uu995  
996 Uu996  
997 Uu997  
998 Uu998  
999 Uu999  
1000 Uu1000

Figura 1: Tabela periódica, versão 2019.



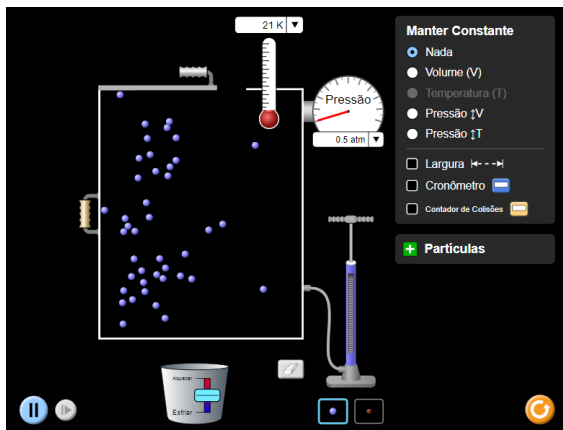


Figura 3: Animação interativa do comportamento clássico de gases ideais. Acesse em [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html)

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.

## 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.

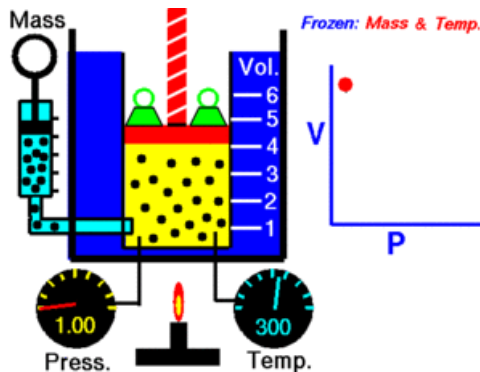
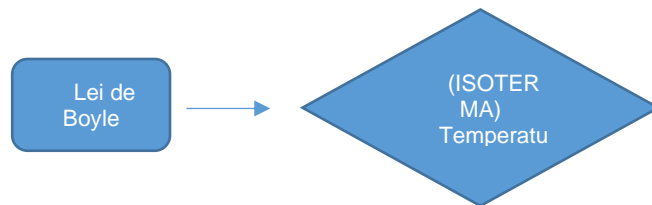


Figura 4: Verifique esta animação da *Wikipedia* sobre a Lei de Boyle: [https://en.wikipedia.org/wiki/Boyle%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Boyle%27s_law)



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

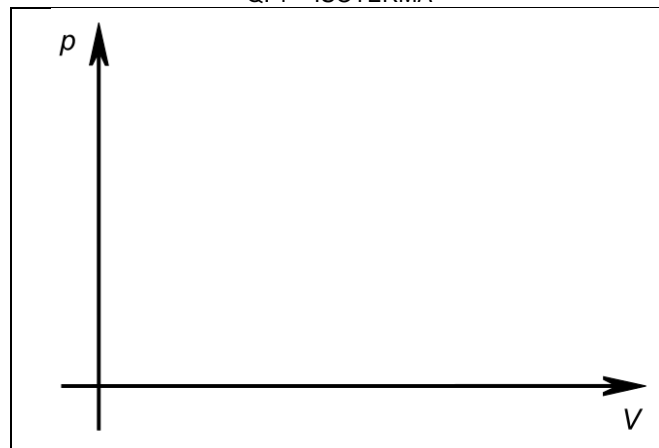


Figura 5: Representação gráfica da lei de Boyle: **isotermia**. Podemos enunciar a Lei de Boyle da seguinte forma:

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

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 14/08/2024

**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**

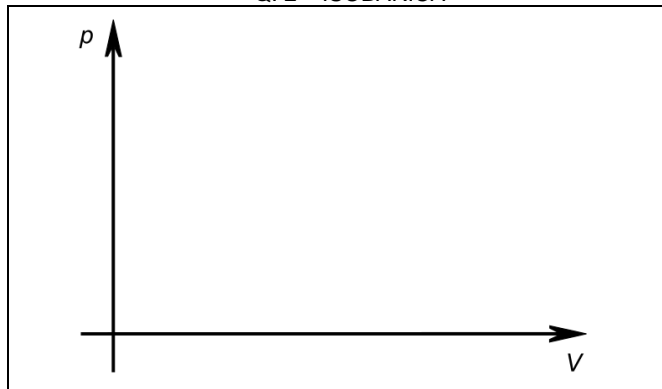


Figura 6: Uma das leis de Charles/Gay-Lussac: **isobárica**.

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**

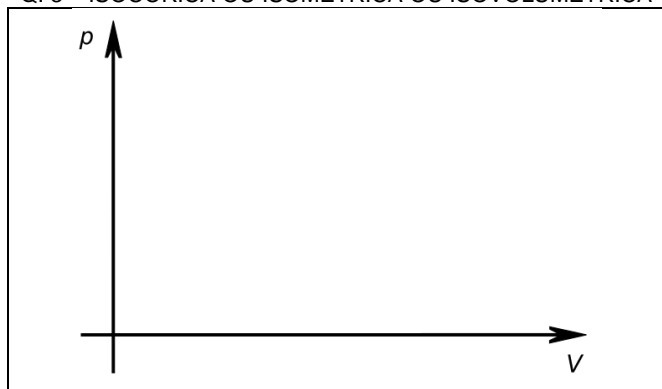


Figura 7: Outra lei de Charles/Gay-Lussac: **isocórica**.

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  $V$ .

**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  $A$ .

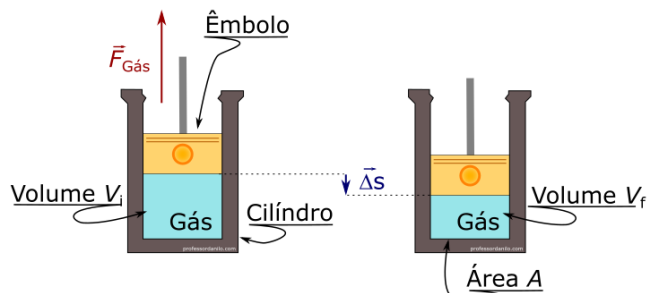


Figura 8: Cilindro de área  $A$ , gás com volume inicial  $V_i$ , êmbolo, força do gás e deslocamento do êmbolo.

PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 14/08/2024

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  $\theta$ . 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  $\cos\theta = -1$ .

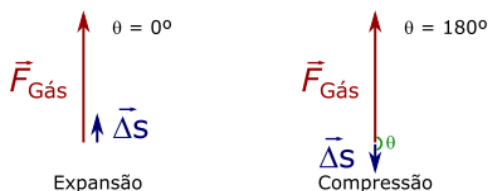


Figura 9: Se o gás sofre uma expansão, o cálculo do trabalho retorna um valor positivo; se o gás sofre uma compressão, o trabalho retorna um valor negativo.

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  $\Delta V$  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

$$\tau_{\text{gás}} = 0.$$

<sup>1</sup> 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.

**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:

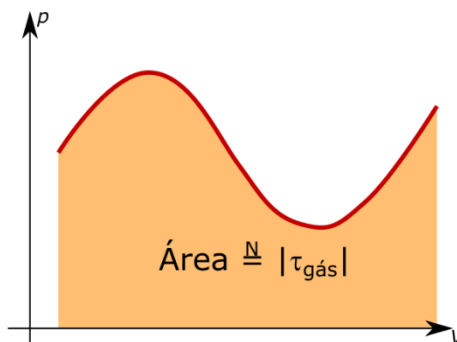


Figura 10: Caso a pressão não seja constante, o trabalho é definido pela área da figura abaixo da curva definida pelo diagrama  $p$  versus  $V$ .

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 negativo<sup>1</sup>.

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.

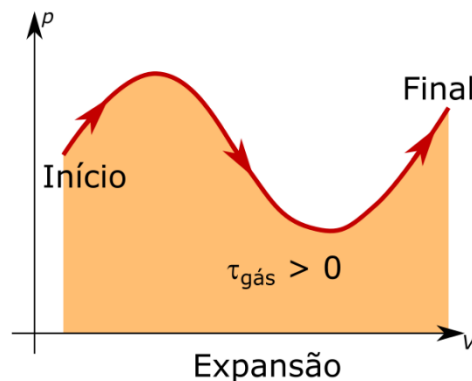


Figura 11: Na expansão, o volume do gás aumenta, portanto o trabalho do gás é positivo.

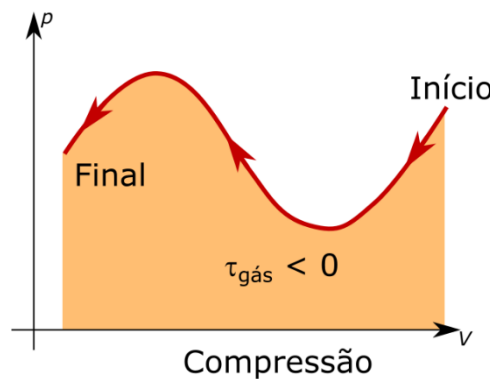


Figura 12: Na compressão, o volume do gás diminui, portanto o trabalho do gás é negativo.

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

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 14/08/2024

**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:

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

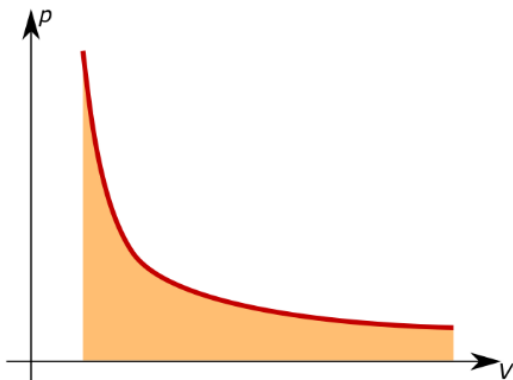


Figura 13: Uma transformação isotérmica. Não indicamos a direção do processo (compressão ou expansão) pois isso é determinado numericamente pelos valores dos volumes final e inicial.

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**

**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  $\tau$ .

Basicamente aí se encontra a primeira lei da termodinâmica:

**Q. 9 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA**

Eq. (19)

Vamos agora aplicar estes conceitos nas diversas transformações que vimos.

PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 14/08/2024

**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.

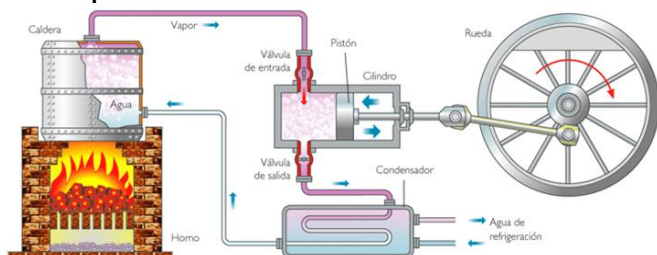
**MÁQUINAS TÉRMICAS****Exemplos:**

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.

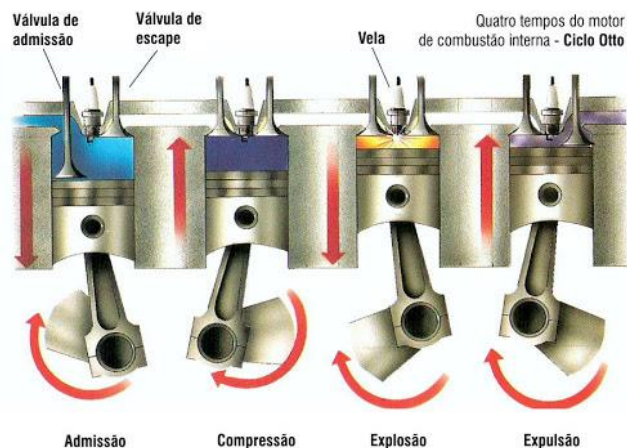


Figura 15: Motor de combustão interna.

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](https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_V6). Neste link você pode seguir para inúmeros outros tipos de motores.

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.

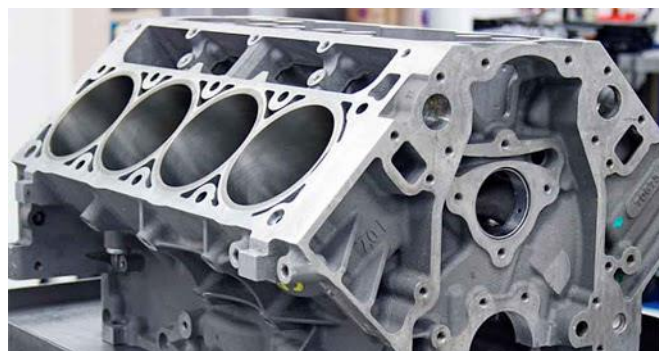


Figura 16: Fotografia que mostra o bloco de um motor V8

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.

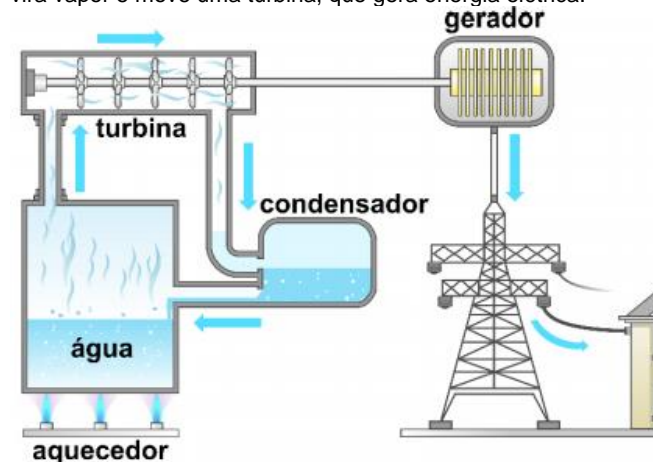


Figura 17: Usinas termoeletricas

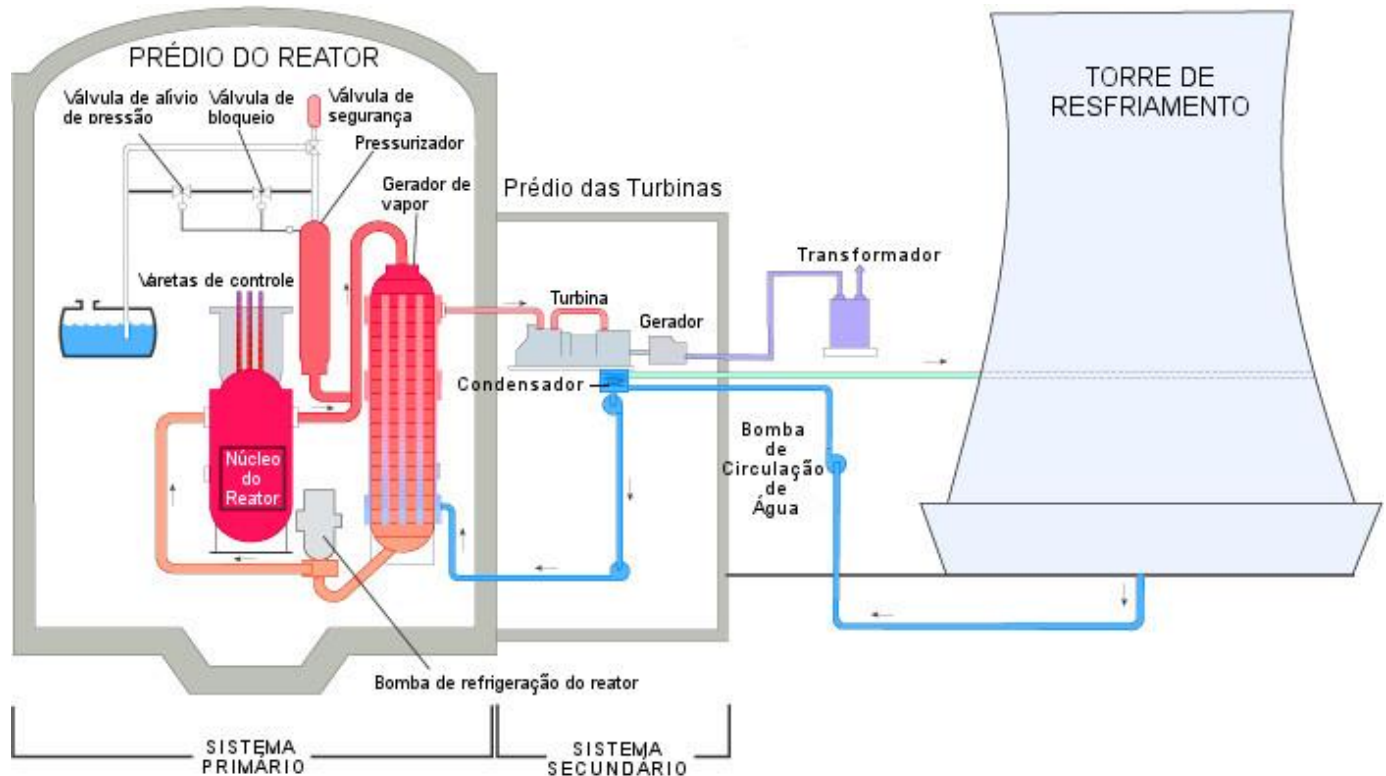


Figura 18: Usina termonuclear

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:**

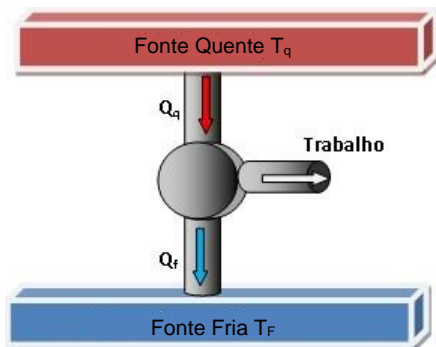


Figura 19: Representação de uma máquina térmica com uma fonte quente (quem fornece calor) e uma fonte fria (usada para refrigerar o motor). É uma representação um tanto quanto abstrata e genérica de máquinas térmicas

#### 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

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 14/08/2024

**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.

**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.