

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESCLARECIMENTO DE ALGUNS
PROBLEMAS FUNDAMENTAIS ASSOCIADOS AOS PRIMEIRO E SEGUNDO
PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA - TRANSFORMAÇÕES RELATIVISTAS

POR

RODRIGO TEIXEIRA DIAS DE ABREU

Tese a submeter para
provas de Doutoramento
em Física.

Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa
Lisboa

Abril 1983

ÍNDICE

	Pág.
MOTIVAÇÃO	1
RESUMO	3
 <u>CAPÍTULO I</u>	
Problemas postos pelos sistemas de massa variável relativamente aos conceitos de trabalho e força	10
INTRODUÇÃO	10
1. A Massa	10
2. A Inércia da Energia	12
3. A Noção de Trabalho	14
4. A Variação de Massa	23
 <u>CAPÍTULO II</u>	
Problemas postos pelo Primeiro Princípio da termodinâmica ao sentido físico das grandezas trabalho e calor. O Princípio de Conservação da Energia e o Calor-Energia Interna	32
INTRODUÇÃO	32
1. A "Desinvenção" do Calor-Energia	35
2. A Identificação do Calor com a Energia Interna	36
2.1 - Transformação isotérmica reversível no modelo B	45
2.2 - Transformação reversível equivalente a uma irreversível	47
 <u>CAPÍTULO III</u>	
A formulação do segundo princípio da termodinâmica feita a identificação do calor com a energia interna	49
INTRODUÇÃO	49

	Pág.
1. As Relações entre a Energia e a Entropia: o Segundo Princípio da Termodinâmica	50
2. A Formulação de Carnot-Clausius do Segundo Princípio e sua Compatibilização com a Identificação do Calor com a Energia Interna	56
2.1 - O raciocínio analógico de Carnot	56
2.2 - O raciocínio de Carnot aplicado a sistemas abertos	57
2.3 - A formulação da função entropia identificado o calor com a energia interna	59
 <u>CAPÍTULO IV</u>	
A Interpretação Estatística e a análise apresentada	63
INTRODUÇÃO	63
1. O Equilíbrio e a Entropia	64
2. Condição de Equilíbrio Maximizando a Entropia	68
3. Condição de Equilíbrio impondo a equiprobabilidade dos estados de igual energia	69
4. Conclusões Relativas aos Parágrafos 1, 2, 3	72
5. A Possibilidade de Relacionar as Formulações Estatística e não Estatística prescindindo-se do "primeiro princípio"	72
5.1 - Identificação da entropia definida na formulação estatística com a entropia definida no Cap. III	72
5.2 - Conclusões	75

CAPÍTULO V

Esclarecimento da Controvérsia existente no domínio das Transformações Relativistas das Grandezas da Termodinâmica	78
INTRODUÇÃO	78
1. Como na Física Clássica se pretende ter generalizado o primeiro princípio da Termodinâmica para corpos em movimento	79
2. Como se pretende ter estabelecido Fórmulas de Transformação do Calor e da Temperatura na Relatividade	83

CONCLUSÃO

APÊNDICE I

O Conceito de Calor na Termodinâmica Clássica	100
---	-----

APÊNDICE II

James P. Joule: On the existence of an equivalent relation between heat and the ordinary forms of Mechanical Power	110
--	-----

APÊNDICE III

Carnot e o princípio de conservação da energia	113
--	-----

APÊNDICE IV

A desinvenção do calórico	114
---------------------------------	-----

APÊNDICE V

A função de estado introduzida por Clausius	116
---	-----

APÊNDICE VI

A degradação do trabalho em calor	119
---	-----

	Pág.
APÊNDICE VII	
Sobre a relação entre o princípio de Caratheodary e o princípio de Kelvin-Planck	121
APÊNDICE VIII	
Transformações equivalentes	123
APÊNDICE IX	
A entropia de um gas ideal	125
APÊNDICE X	
O trabalho não depende do caminho	131
APÊNDICE XI	
Energia interna, temperatura e entropia	133
APÊNDICE XII	
Exemplos	136
BIBLIOGRAFIA	142

RESUMO

1.

O presente trabalho situa-se no domínio da Termodinâmica.

Não obstante o estudo sistemático da Termodinâmica se ter iniciado nos princípios do século XIX (Carnot - 1824), o que é facto é que se tem assistido a uma permanente preocupação de eliminar contradições, esclarecer conceitos e apurar destes o essencial.

É nesse sentido e com essa preocupação que aparece na primeira década do século XX (1909) o trabalho de investigação de Caratheodory sobre os fundamentos da Termodinâmica.

Um dos objectivos de Caratheodory foi evitar, por sugestão de Born, a "linguagem da Engenharia" eficazmente utilizada por Carnot, engenheiro que era. Eliminou-se, assim, a necessidade do conceito de Fonte e atingiu-se generalidade para sistemas de variáveis em número maior ou igual a três.

Na década de 60 vários trabalhos procuraram interpretar fisicamente a axiomática de Caratheodory.

O Primeiro Princípio da Termodinâmica surge com Clausius que havia prosseguido a via de Carnot, e na convicção de Planck, ia além do Princípio de Conservação da Energia contendo o Princípio da Equivalência das Acções Exteriores. Introduz-se assim, a função de estado energia interna, U , através da expressão diferencial $dU = dT + dQ$. dT e dQ são, afirma-se, respectivamente as quantidades elementares de trabalho e de calor trocadas com o exterior.

Suportavam a formulação de Clausius diversos trabalhos, re

conhecidos hoje como básicos no estabelecimento do Princípio de Conservação da Energia. Destes, o de maior relevo dado o carácter experimental, foi sem dúvida o de Joule.

Por impossibilitar a afirmação de que o trabalho se transforma em calor, na célebre experiência de Joule do aquecimento de água agitada por pás, a formulação de Clausius irá originar uma das mais estranhas confusões da História da Ciência.

Nos últimos anos diversos trabalhos têm procurado esclarecer conceitos nos domínios da Termodinâmica Macroscópica Clássica, Estatística e Relativista. [Kittel, Kroemer, 1] [Sales Luís, 2] [Kestin, 3] [Pau-Chang Lu, 4] [Kubo, 5] [Arzeliães, 6] [Cavalleri, G. and Salgarelli, G., 7] [Brotas, 8] [Landsberg, 9] [Roegen, 10] .

Mostra-se neste nosso trabalho que aceitar a forma $dU = dt + dQ$ como base tradicionalmente consagrada de definição da grandeza calor dá origem a contradições irremovíveis.

Tanto basta considerar como equivalentes os conceitos de calor e de energia interna para eliminar estas dificuldades.

Como consequência desta equivalência, esclarece-se a controvérsia existente no domínio da Termodinâmica Relativista.

2.

Pela mesma data do trabalho de Caratheodory (1906 e 1907) surgem os trabalhos de Einstein e de Planck contemplando as transformações relativistas da Termodinâmica.

A Teoria da Relatividade, pela extensão da fenomenologia que contempla, necessariamente teria que considerar a Termodinâmica.

Pelo Princípio de Relatividade, as equações da Física devem ser covariantes numa transformação de coordenadas e particularmente numa transformação especial de Lorentz. As equações de Maxwell se traduzem leis fundamentais da física devem portanto admitir uma escrita covariante, o que, aliás, foi desde logo demonstrado por Minkowski relativamente à transformação de Lorentz. Em Relatividade Geral há que postular esse facto (Adler, R., M. Bazin and M. Schiffer, Introduction to General Relativity, McGraw-Hill, New York, 1965).

Assiste-se, assim, desde Einstein, ao estabelecimento das fórmulas de transformação das grandezas da Termodinâmica.

As fórmulas de transformação de Einstein e de Planck foram sendo admitidas sem crítica de maior. Salientem-se no entanto, as propostas por Eddington em 1923 (Mathematical Theory of Relativity), por incompatíveis com as de Einstein. Se um objecto tem temperatura T_0 no referencial próprio, a temperatura em S, que se move com velocidade βc em relação ao objecto, será segundo Einstein e Eddington, respectivamente,

$$T = T_0 \sqrt{1 - \beta^2} \quad \text{e} \quad T = T_0 / \sqrt{1 - \beta^2}.$$

A transformação de Lorentz originou interpretações sem sentido físico.

São bem conhecidos os paradoxos a que uma ciência mal dominada conduz, se não definirmos exactamente as circunstâncias em que as grandezas físicas tradutoras de determinados conceitos são definidas e decorrentemente medidas.

Preside à Teoria da Relatividade a preocupação duma correcta descrição dos acontecimentos no espaço-tempo.

Se não restringirmos neste espaço surgem paradoxos. São exemplos o problema da contracção do espaço e o problema da dilatação do tempo.

Existem falsos paradoxos que se architectaram em face dos resultados contrariarem conceitos pré-estabelecidos. Exemplifiquemos com o paradoxo dos gêmeos que hoje não é um paradoxo.

Existem ainda outras dificuldades directamente ligadas à persistência da simplicidade de uma grandeza, ou melhor, ao facto de uma dada grandeza dar grandezas distintas noutra referencial. É o caso do tensor campo electromagnético. Postulando a covariância das leis da física e usando como suporte formal o cálculo tensorial, este último aspecto clarifica-se. Por exemplo, um campo eléctrico é observado como um campo eléctrico e um vector indução magnética o que nos mostra que o campo electromagnético é parte de um tensor de 2^a. ordem.

Assim esclarecidos, não há estranheza em relação à simplicidade que é o campo electromagnético no vácuo, no tocante à transformação da grandeza tensorial momento electromagnético - energia electromagnética.

No entanto, dificuldades grandes surgem na formulação da transformação da grandeza mais geral momento-energia. Estamos convencidos que essas dificuldades estão intimamente ligadas, aos problemas que levantamos, como estamos convencidos que é na conservação do momento energia que se encontra explicação sem contradição da fenomenologia observada.

Tudo o resto, como força, temperatura, quantidade de calor, são grandezas que em determinadas circunstâncias se casam com a realidade e noutras não podem ser consideradas senão e apenas como simples objecto formal.

É nossa convicção que não têm sentido físico as fórmulas de transformação anteriormente referidas associadas às grandezas da termodinâmica.

3.

As relações da termodinâmica têm sido convenientemente desenvolvidas para os corpos em repouso.

Se um sistema não está em movimento e se encontra num campo gravitacional, os conceitos de energia e de entropia apoiam-se experimentalmente na não existência de motores perpétuos de 1.^a e 2.^a espécie.

Seguimos a ideia de Pauli de que a grandeza trabalho é redutível à subida ou descida de pesos.

Por se generalizar a noção de trabalho para corpos a massa própria constante e se estabelecerem relações aparentemente consistentes entre a força de Lorentz e a força de Newton, $\vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, é natural que se assista à tentativa de generalização dos conceitos para corpos de massa própria variável. Compreende-se, então, a arbitrariedade da definição de força e conseqüente estabelecimento das fórmulas de transformação do calor aceite a expressão $dE = d\tau + dQ$ em todos os referenciais de inércia.

Expressa ou implicitamente é generalizado, no domínio de Termodinâmica Relativista, considerar o calor como "energia cinética diluída". Pretende-se atribuir ao calor o carácter essencial de uma grandeza que era calor e será calor. Esta atitude é explicitamente assumida por Arzeliès. As críticas deste autor são muitas vezes as nossas. No entanto é bem conhecida a crítica da termodinâmica clássica à pretensão de identificação do calor com a "energia cinética diluída", aliás como é

salientado no Apêndice II e na pág XVI da Introdução do livro de Arzeliês, Thermodynamique Relativiste e Quantique. Pensamos que as críticas de Arzeliês estão completamente integradas no nosso trabalho, e sem recorrer, como faz Arzeliês, a dois conceitos de calor dado abolirmos o carácter essencial da grandeza calor.

Assim, surgem nos textos dedicados à termodinâmica relativista pelo menos três tipos de posições que revelam inconsistências intrínsecas e relativas:

a. A quantidade de calor não pode ser interpretada dum forma unívoca como "energia cinética diluída" aceite a expressão $dE = d\tau + dQ$.

Para que se obtenha formalmente a fórmula de transformação $dQ = dQ_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$ obtida através da transformação da "energia cinética diluída" do referencial próprio para o referencial onde o corpo se move com velocidade βc , escolhe-se para definição de força $f = m_0 \frac{d}{dt} \left(\frac{v}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right)$ impondo-se que a variação de massa própria é devida à entrada de calor.

b. Impõe-se como definição de força $f = \frac{dp}{dt}$, com $p = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} v$. Aceite $dE = d\tau + dQ$ em todos os referenciais de inércia e $dQ_0 = dm_0 c^2$ verifica-se, então, $dQ = dQ_0 \sqrt{1 - \beta^2}$.

c. Sales Luís determinou a fórmula de transformação da temperatura de Eddington, num trabalho de 1965. (A Expressão Relativista do Segundo Princípio da Termodinâmica).

Não considera válida em todos os referenciais de inércia a expressão de Clausius do Primeiro Princípio, não propondo, neste trabalho, qualquer expressão de transformação do calor.

Considera essencial que a "edificação científica da termo-

dinâmica só se torna possível desde que haja coragem de romper com a tradição, não conferindo à grandeza calor outros atributos para além daqueles que lhe são reconhecidos e impostos pelo primeiro princípio da termodinâmica".

Em 1973, publica "A Invariância Relativista da Entropia e a Lei de Transformação do Calor" onde se propõe conciliar os dois grupos de fórmulas (de Einstein e de Eddington), sem no entanto afirmar a validade do Primeiro Princípio em todos os referenciais e base da sua de finição de calor.

Influenciados por todos estes pontos de vista, numa atitude relativista, realizamos este trabalho convencidos de que em Ciência não se pode atribuir um só nome a entidades diferentes.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - Kittel, C. and Kroemer, H., Thermal Physics, W.H. Freeman and Company, 1980
- [2] - A. Sales Luís, Temperatura, Calor e Energia Interna, Técnica, nº 364, 1967.
- [3] - Kestin, J., A Course in Thermodynamics, Blaisdell Publishing Company, 1966
- [4] - Pan Chang Lu, Didactic remarks on the Sears - Kestin statement of the second law of thermodynamics, Am. J. Phys. 50(3), 1982
- [5] - Kubo, R. Thermodynamics, North-Hol. Pub. Company, 1976.
- [6] - H. Arzeliès, Sur le concept de temperature en thermodynamique relativiste et en thermodynamique statistique, Il Nuovo Cimento, 1965
- [7] - G. Cavalleri and G. Salgarelli, Revision of the Relativistic Dynamics with variable Rest Mass and Application to Relativistic Thermodynamics, Il Nuovo Cimento, 1969
- [8] - A. Brotas, Termodinâmica, I.S.T., 1981
- [9] - P.T. Landsberg, Thought Experiment to Determine the Special Relativistic Temperature Transformation, Physical Review Letters, 1980
- [10] - N.Georgescu - Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, 1971
- [11] - L. Landau et E. Lifchitz, Théorie du Champ, Mir, 1966.
- [12] - Abreu Faro, Propagação e Radiação de Ondas Electromagnéticas, Vol. I., Técnica, A.I.S.T., 1979

- [13] - A. Einstein, A Inércia de um Corpo será dependente do seu conteúdo Energético, Ann. d. Phys., 1905.
- [14] - M. Louis de Broglie, la Thermodynamique de la particule isolée, Gauthier - Villars, 1964.
- [15] - H. Arzeliès, Transformation relativistic de la temperature et de quelques autres grandeurs thermodynamique, Il Nuovo Cimento, Vol. XXXV, Nº 3, 1965.
- [16] - H. Arzeliès, Sur le problème relativiste du levier coudé, Il Nuovo Cimento, Vol. XXXV, Nº 3, 1965.
- [17] - H. Arzeliès, Relativistic Point Dynamics, Pergamon Press, 1972
- [18] - H. Arzeliès, thermodynamique relativiste e quantique, Gauthier - Villars, 1968.
- [19] - A. Gamba, Relativistic Transformation of Thermodynamical Quantities, Il Nuovo Cimento, Vol. XXXVII, Nº 4, 1965.
- [20] - A. Gamba, Physical Quantities in Different Reference Systems According to Relativity, Am. J. Phys. 65, 83, 1967
- [21] - R. Penney, Note on Relativistic Thermodynamics, Il Nuovo Cimento, Vol. XLIII A, Nº 4, 1966.
- [22] - A. Brotas, Recherches sur la Thermodynamique et la Mécanique des milieux continus relativistes, Thèse, 1969.
- [23] - A. Brotas, sur la transformation relativiste du travail et de la chaleur, C.R. Acad. Sc. Paris, t. 265, 1967
- [24] - A. Sales Luís, A expressão Relativista do Segundo Princípio da Termodinâmica, Lisboa, 1965.
- [25] - A. Sales Luís, A Invariância Relativista da Entropia e a Lei de Transformação do Calor, Portugaliae Physica, 8, 1973.

- [26] - M. Van Laue, La th eorie de la Relativit e, Gauthier - Villars, 1924
- [27] - H. Ott, Lorentz Transformation der W arme und der Temperatur, Z. Phys., B d. 175, 1963
- [28] - W.G. Sutcliffe, Lorentz Transformation of Thermodynamic Quantities, Il Nuovo Cimento, Vol. XXXIX, N  2, 1965.
- [29] - A. Staruszkiewicz, Relativistic Transformation Laws for Thermodynamical Variables with Application to the Classical Electron Theory, Il Nuovo Cimento, Vol. XLV A, W. 3, 1966.
- [30] - P.T. Landsberg and K.A. Johns, A Relativistic Generalization of Thermodynamics, Il Nuovo Cimento, Vol. LII B, N  1, 1967.
- [31] - J. Brevik, Relativistic Thermodynamics, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Matematisk - fysiske Meddelelser 36, 3, Kobenhavn, 1967.
- [32] - Karade, T.M., e Borikar, S.M., Termodinâmica de sistemas em movimento, Técnica, n  453, 1979.
- [33] - P.F. González Díaz, Internal and External Temperatures, Il Nuovo Cimento, Vol. 64B, N  2, 1981.
- [34] - P.A. Goodinson and B.L. Luffman, Specific and Latent Heats in Special Relativity, Il Nuovo Cimento, Vol. 64B, N  2, 1981
- [35] - J.H. Eberly, Temperature Transformation, a "Practical" Choice, Il Nuovo Cimento, Vol. XLVIII B, N  1, 1967.

- [36] - P.T. Landsberg, Does a Moving Body Appear Cool?, Nature, Vol. 212, November 5, 1966.
- [37] - P.T. Landsberg, Does a Moving Body appear cool ?, Nature, Vol. 214, May 27, 1967
- [38] - T.W.B. Kibble, Comment of the Remarks of Gamba, Il Nuovo Cimento, Vol. XLI B, N° 1, 1966.
- [39] - T.W.B. Kibble, Remarks on the Comments of Dr. Arzeliès, Il Nuovo Cimento, Vol. XLI B, N° 1, 1966
- [40] - T.W.B. Kibble, Relativistic Transformation Laws for Thermodynamic Variables, Il Nuovo Cimento, Vol. XLI B, N° 1, 1966
- [41] - H. Arzeliès, Comment on Dr. Kibble's Article, Il Nuovo Cimento, Vol. XLI B, N° 1, 1966.
- [42] - A. Gamba, Remarks to the Preceding Letter by Kibble, Il Nuovo Cimento, Vol. XLI B, N° 1, 1966
- [43] - M. Louis de Broglie, Sur la Dynamique du corps à masse propre variable et la formula de transformation relativiste de la chaleur, C.R. Acad. Sc. Paris, t. 264, 1967.
- [44] - B.E.L. Deckker, Does a Moving Body Appear Cool ?, Nature, Vol. 214, May 27, 1967.
- [45] - I.P. Williams, Temperature of a Moving Body, Nature, Vol. 213, March 18, 1967.
- [46] - J.H. Fremlin, Does a Moving Body appear Cool ?, Nature, Vol. 213, January 21, 1967.
- [47] - P.D. Noerdlinger, A Moving Body must "appear" Cool , Nature, Vol. 213, March 18, 1967.

- [48] - F. Rohrlich, True and Apparent Transformations, Classical Electrons, and Relativistic Thermodynamics, *Il Nuovo Cimento*, vol. XLV B., N. 1, 1966.
- [49] - F. Rohrlich, Self-Energy and Stability on the Classical Electron, *Am.J. Physics*, 28, 639, 1960.
- [50] - James Terrel, Invisibility of the Lorentz Contraction, *Physical Review*, vol. 116, N. 4, 1959.
- [51] - M. Abreu Faro, Estabelecimento e Interpretação Física da Transformação de Lorentz, *Técnica*, 438, 1977.
- [52] - A. Einstein, Elementary derivation of the equivalence of mass and energy, *Am. Math. Soc. Bull.* 41, 223-230, 1935.
- [53] - T.M. Karade and K.G. Pangarkar, Statistical Mechanics of an Ideal Gaseous assembly in Motion, *Proceedings: Einstein Centenary Symposium*, 1980.
- [54] - H. Arzeliès, Problèmes actuels en théorie électromagnétique macroscopique: réalité du champ, emploi éventuel des potentiels avancés, *La Pensée Physique Contemporaine*, ed. Augustin Fresnel, 1982.
- [55] - A. Sales Luís, *Lições de Mecânica Clássica*, Lisboa, 1970.
- [56] - L. Landau et E. Lifchitz, *Mecânica*, Mir, 1978.
- [57] - Bernoulli, J. The Principle of Virtual Displacements and Use of the Word Energy, 1717 (ver ref. 143).
- [58] - A. Sommerfeld, *Mechanics*, Acad. Press, 1964.
- [59] - R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, *Lectures on Physics, Vol. I*, Addison - Wesley Publishing Company Inc., 1963.
- [60] - E. Fermi, Correzione di una Contraddizione Tra La Teoria Elettrodinamica e Quella Relativistica delle Masse Elettromagnetiche, *Nuovo Cimento*, 25, 159, 1923.

- [61] - S. Carnot, Reflexions sur La Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres a Dēvelopper cette Puissance, 1824
(ver ref. 144)
- [62] - T.S. Kuhn, Critical Problems in the History of Science, ed. M. Clagett, 1959.
- [63] - R. Clausius, On the Application of the Theorem of the Equivalence of Transformations to the Internal Work of Mass of Mater, 1862 (ver. ref. 144).
- [64] - A. Sales Luīs, Lições de Termodinâmica Macroscōpica, Lisboa, 1971.
- [65] - S.G. Brush, "The Kind of Motion We Call Heat", North-Holland Publishing Company, vol. I e II, 1976.
- [66] - Gassendi, P., Opera Omnia, vol. 1, Corante Nicolao Averanio, Florence, 1727 (ver ref. 143).
- [67] - Allis, W., Herlin, M., Thermodynamics and Statistical Mechanics, McGraw-Hill, 1952.
- [68] - R.E. Warner, Statement of the First Law of Thermodynamics, American Journal of Physics, Vol. 29, 1961.
- [69] - R. Clausius, On Different Forms of the Fundamental Equations of the Mechanical Theory of Heat and their Convenience for Application, 1867 (ver ref. 143).
- [70] - M. Born, Antecedence: Themodynamics, Natural Philosophy of Cause and Chance, Oxford, Univ. Press, 1949.
- [71] - E. Fermi, Thermodynamics, Dover Pub., 1937.
- [72] - W. Pauli, Thermodynamics and the Kinetic Theory of Gases, MIT Press, 1973.
- [73] - J.P. Joule, On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the ordinary Forms of Mechanical Power, 1845.

- [74] - M. Planck, Second Law of Thermodynamics, Introduction to Theoretical Physics, Vol. V: Theory of Heat, Henry L. Brose, Trans., Macmillan and Co. Ltd, London, 1932.
- [75] - H. Poincaré, La Science et l'Hypothèse, Flammarion, 1943.
- [76] - Rolf Haase, Thermodynamics of irreversible processes, Addison-Wesley Pub. Com., 1969.
- [77] - J.P. Joule, On Matter, Living Force, and Heat, 1847. (ver ref. 143).
- [78] - J.P. Joule, On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat, 1843. (ver ref. 143)
- [79] - P.T. Landsberg, A Deduction of Caratheodory's Principle from Kelvin's Principle, Nature, 201, 485, 1964.
- [80] - F.W. Sears, A Simplified Simplification of Caratheodory's Treatment of Thermodynamics, Am. J. of Physics, 31, 10, 1963.
- [81] - L.A. Turner, Simplification of Carathéodory's Treatment of Thermodynamics.
- [82] - Zemansky, M., Heat and Thermodynamics, McGraw-Hill, 1968.
- [83] - R. Dugas, La Théorie Physique au Sens de Boltzmann, Editions du Griffon Neuchatel-Suisse, 1959.
- [84] - D.S.L. Cardwell, Les débuts de la Thermodynamique, La Recherche, N° 48, 1974.
- [85] - M.J. Klein, Carnot's Contribution to Thermodynamics, Physics Today, August, 1974.
- [86] - A. Silveira, Estrutura da Luz - Hipótese dos Quanta - Métodos de Estatística, Técnica, N°s 91 e 92, 1938.
- [87] - C. Kittel, Thermal Physics, John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- [88] - A.C. de Sales Luís, Lições de Termodinâmica Estatística, I.S.T., 1972.

- [89] - E. Atlee Jackson, *Equilibrium Statistical Mechanics*, Prentice-Hall, Inc., N.J., 1968.
- [90] - Schrödinger, E., *Statistical Thermodynamics*, Cambridge University Press, 1967.
- [91] - Leibniz, G., *A Brief Demonstration of the Memorable Error of Descartes and Others Concerning the Natural Law According to Which They Claim That the Same Quantity of Motion is Always Conserved by God, a Law That They use Incorrectly in Mechanical Problems*, 1686 (ver ref. 143).
- [92] - Descartes, R., *Conservation of Quantity of Motion*, (1596-1650) (ver ref. 143).
- [93] - M. Jammer, *Le Concept de Force*, *La Recherche*, Nº 43, 1974.
- [94] - J. Andrade e Silva e G. Lochak, *Los cuantos*, Ed. Guadarrama, 1969.
- [95] - M. Born, *Einstein's Theory of Relativity*, Dover Pub., 1962.
- [96] - C. Moller, *The Theory of Relativity*, Oxford University Press, 1972.
- [97] - E. Mendoza, *Reflections on the Motive Power of Fire and Other Papers*, Dover Pub., Inc., 1960.
- [98] - B. Thompson, *Source of Heat from Friction*, 1798. (ver ref. 143)
- [99] - J. Black, *The Nature of Heat, Lectures on the Elements of Chemistry at the University of Edinburgh*, (1766-1797) (ver ref. 143).
- [100] - C. Caratheodory, *Investigação sobre os Fundamentos da Termodinâmica*, *Math. Ann (Berlin)*, 67, 355-386, 1909.
- [101] - C.K. Yuen, *Lorentz Transformation of Thermodynamic Quantities*, *Am. J. of Phys.*, 38, 246, 1970.

- [102] - R. Balescu, and T. Kotera, On the Covariant Formulation of Classical Relativistic Statistical Mechanics, *Physica*, 33, 558-580, 1967
- [103] - A. Bressan, On Relativistic Thermodynamics, *Il Nuovo Cimento*, 48 B, N° 2, 1967.
- [104] - J.H. Eberly, A. Kujawski, Relativistic Statistical Mechanics and Blackbody Radiation, *Physical Review*, 155, 1, 1967.
- [105] - R. Balescu, Relativistic Statistical Thermodynamics, *Physica*, 40, 309-338, 1968.
- [106] - N.G. van Kampen, Relativistic Thermodynamics of Moving Systems, *Phys. Rev.*, 173, 295, 1968.
- [107] - Victor H. Hamity, Relativistic Thermodynamics, *Phys. Rev.*, 187, 1745, 1968.
- [108] - H. Callen and G. Horwitz, Relativistic Thermodynamics, *Am. J. of Phys.*, 39, 938, 1971.
- [109] - O. Ter Haar and H. Wergeland, Thermodynamics and Statistical Mechanics in the Special Theory of Relativity, *Physics Reports*, 1, n° 2, 31-54, 1971.
- [110] - C.C. Habeger, The Second Law of Thermodynamics and Special Relativity, *Annals of Physics*, 72, 1-28, 1972.
- [111] - P.T. Landsberg, Thermodynamic Inequalities in Special Relativity, *Annals of Physics*, 70, 1-9, 1972.
- [112] - P.T. Landsberg and K.A. Johns, Carnot efficiencies for moving reservoirs, *J. Phys. A*, 5, 1433, 1972.
- [113] - Ø Grøn, The Asynchronous Formulation of Relativistic Statics and Thermodynamics, *Il Nuovo Cimento*, 17B, 141, 1973.
- [114] - G. Horwitz and J. Katz, Thermodynamics of Relativistic Rotating Perfect Fluids, *Annals of Physics*, 76, 301, 1973.

- [115] - I. Paiva-Veretennicoff, Is Galilean Relativistic Thermodynamics Well Defined ?, *Physica*, 75, 194, 1974.
- [116] - David Eimerl, On Relativistic Thermodynamics, *Annals of Physics*, 91, 481, 1975.
- [117] - V.N. Strel'tsov, Remarks on Relativistic Thermodynamics, *Foundations of Physics*, vol. 7, 325, 1977.
- [118] - Noam Agmon, Relativistic Transformations of Thermodynamic Quantities, *Foundations of Physics*, 7, 331, 1977.
- [119] - H.A. Buchdall, From Phenomenological Thermodynamics to the Canonical Ensemble, 9, 819, 1979.
- [120] - R.G. Newburgh, Relativistic Thermodynamics: Temperature Transformations, Invariance and Measurement, *Il Nuovo Cimento*, 52B, 219, 1979.
- [121] - John, E. Krizan, Temperature and Relativistic Thermodynamics, *Physics Letters*, 71A, 174, 1979.
- [122] - P.A. Goodison and B.L. Luffman, The Relativistic Transformation Law for the Ideal-Gas Scale of Temperature, *Il Nuovo Cimento*, 60B, 1, 1980.
- [123] - R. Balescu, T. Kotera, E. Pina, Lorentz Transformations in Phase Space and in Physical Space, *Physics*, 33, 581-594, 1967.
- [124] - P.G. Bergman, Generalized Statistical Mechanics, *Physical Review*, 84, 5, 1951.
- [125] - V. Ougarov, *Théorie de la Relativité restreinte*, Ed. Mir, 1969.
- [126] - J.L. Synge, *Relativity: The Special Theory*, North-Holland, Publishing Company, 1972.
- [127] - W. Rindler, *Essential Relativity*, Van Nostrand Reinhold Company, 1969.

- [128] - A. Bressan, Relativistic Theories of Materials, Springer Tracts in Natural Philosophy, vol. 29, 1970.
- [129] - C. Lanczos, The Variational Principles of Mechanics, University of Toronto Press, 1970.
- [130] - B.R. Gossik, Hamilton's Principle and Physical Systems, Academic Press, 1967.
- [131] - H. Stephani, General Relativity, Cambridge University Press, 1982.
- [132] - F. Reif, Fundamentals of Statistical and Thermal Physics, MacGraw-Hill, Inc., 1965.
- [133] - F. Mandl, Statistical Physics, John Wiley & Sons, Inc. 1978.
- [134] - L. Landau et E. Lifchitz, Physique Statistique, Mir, 1967.
- [135] - A. Sommerfeld, Thermodynamics and Statistical Mechanics, Academic Press, 1971.
- [136] - C.M. Ferreira, Termodinâmica Geral - Introdução à Mecânica Estatística, A.E.I.S.T., Lisboa, 1978.
- [137] - R.B. Lindsay, The Concept of Energy and its Early Historical Development, Found. Phys., 1 (4), 383-393, 1971.
- [138] - K. Huang, Statistical Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., 1963.
- [139] - M. Planck, The Theory of Heat Radiation, Dover Pub., 1959.
- [140] - B. Gal-Or, The Crisis about the Origin of Irreversibility And Time Anisotropy, Science, Vol. 176, Nº 4030, 1972.
- [141] - J. Tonnelat, Qu'est-ce qu'un être vivant ?, Nº 101, 1979.
- [142] - Antoine Dauchin, Entropie et Ordre Biologique, La Recherche, Nº 92, 1978.
- [143] - Energy: Historical Development of the Concept, Edited by R. Bruce Lindsay, Brown University, Halsted Press, 1975.

- [144] - The Second Law of Thermodynamics, Edited by Joseph Kestin, Brown University, Halsted Press, 1976.
- [145] - Applications of Energy, Edited by R. Bruce Lindsay, Brown University, Halsted Press, 1976.
- [146] - M. Planck, L'Image du Monde dans la Physique Moderne, Ed. Gonthier, 1963.