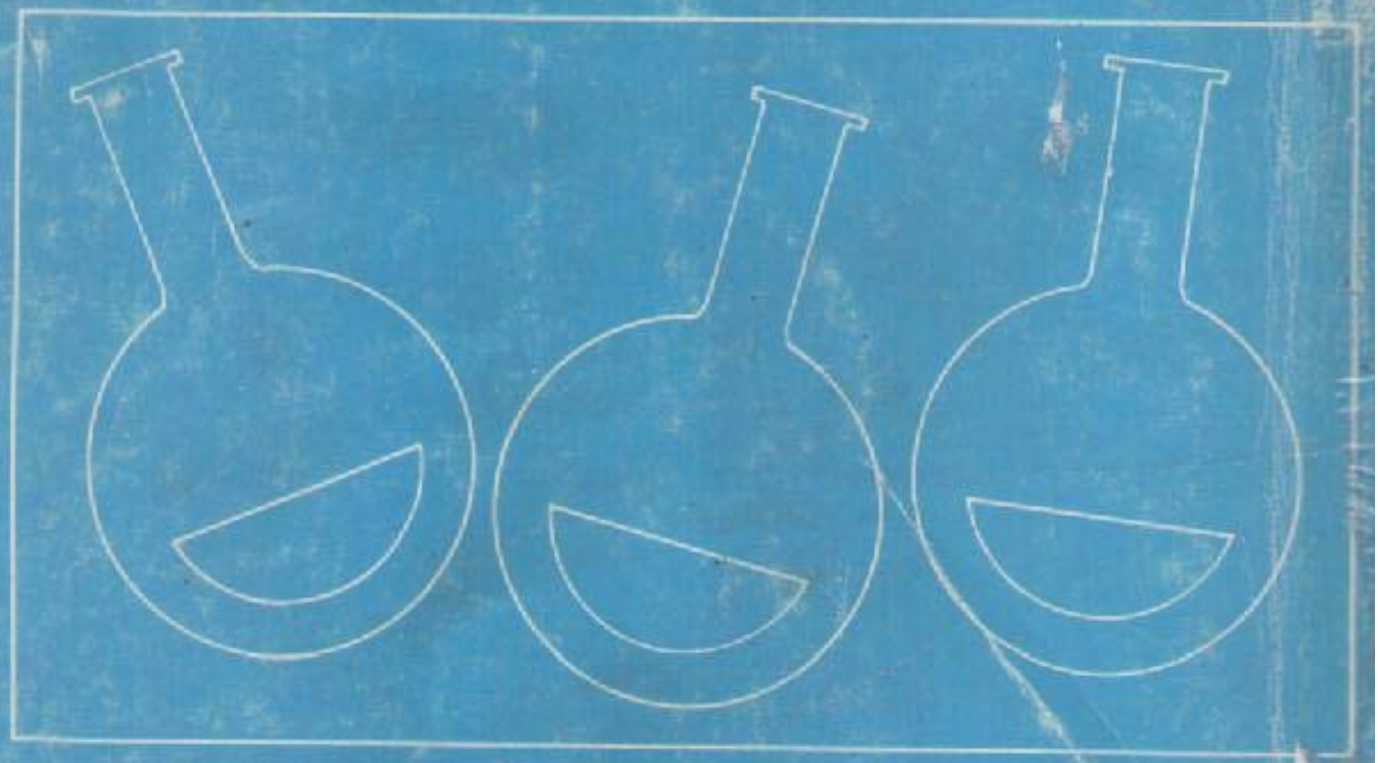
الحرارة والديناميكا الحرارية

مـــارك و. زيـــانسكي
ريتشـارد هـ. ديتمـــان



دار ماكجروهيل للنشر

دار الفرائد العربي

1-536-7-1

وزارة التربية والتعليم والبحث العلمي
المكتبة المدرسية
خاص بالمدرسة

الحرارة والديناميكا الحرارية

مرجع مرحلة جامعية متوسطة

تأليف
مارك و. زيمانسكى Ph.D.
استاذ الفيزيقا (متفرغ) كلية سيتى
جامعة سيتى بنيويورك

ريتشارد هـ . ديتمان Ph.D.
استاذ الفيزيقا المساعد - جامعة ويسكونسين - ميلواوكى

ترجمة
الدكتور محسن سالم رضوان
قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة والتكنولوجيا بالمطرية
جامعة حلوان - جمهورية مصر العربية

مراجعة
الأستاذ الدكتور عبد الرازق عبد الفتاح
استاذ الهندسة الميكانيكية المتفرغ ورئيس جامعة حلوان السابق
جمهورية مصر العربية

دار ماكجروهيل للنشر

نيويورك . سانت لويس . سان فرنسيسكو . اوكلاند . بوجوتا . دوسلدورف . جوهانسبرج .
لندن . مدريد . مكسيكو . مونتريال . نيودلهى . بناما . باريس . ساوباولو . سنغافورة .
سيدنى . طوكيو . تورنتو . لبنان .

دار الرائد العربي
بيروت . لبنان . ص.ب ٦٥٨٥

المحتويات

الموضوع	صفحة
مقدمة	١٥
رموز	١٧
الجزء الأول : مبادىء أساسية	٢١
١ ـ درجة الحرارة	٢٣
١ ـ ١ وجهة النظر الماكروسكوبية (الكلية)	٢٣
١ ـ ٢ وجهة النظر الميكروسكوبية (المجهرية)	٢٤
١ ـ ٣ مقارنة وجهة النظر الماكروسكوبية والميكروسكوبية	٢٤
١ ـ ٤ مجال الديناميكا الحرارية	٢٥
١ ـ ٥ الاتزان الحرارى	٢٦
١ ـ ٦ مبدأ درجة الحرارة	٢٨
١ ـ ٧ قياس درجة الحرارة	٣١
١ ـ ٨ مقارنة الترمومترات	٣٣
١ ـ ٩ ترمومتر الغاز	٣٤
١ ـ ١٠ درجة حرارة الغاز المثالى	٣٧
١ ـ ١١ مقياس درجة الحرارة سلزيوس	٣٩
١ ـ ١٢ قياس درجة الحرارة بالمقاومة الكهربائية	٤٠
١ ـ ١٣ الازدواج الحرارى	٤١
١ ـ ١٤ مقياس درجة الحرارة العملى الدولى لعام ١٩٦٨ (IPTS - 68)	٤٢
٢ ـ منظومات الديناميكا الحرارية البسيطة	٤٦
٢ ـ ١ الاتزان الدينامى الحرارى	٤٦
٢ ـ ٢ بيانى PV (الضغط ـ الحجم) لمادة نقية	٤٩
٢ ـ ٣ بيانى PΘ لمادة نقية	٥١
٢ ـ ٤ سطح PVΘ .	٥٢
٢ ـ ٥ معادلات الحالة	٥٤
٢ ـ ٦ التغيرات التفاضلية للحالة	٥٥
٢ ـ ٧ نظريات رياضية	٥٧
٢ ـ ٨ السلك الممتط (المشدود) .	٥٩
٢ ـ ٩ الغشاء (طبقة رقيقة) السطحى .	٦١
٢ ـ ١٠ الخلية الانعكاسية .	٦٢

الموضوع	صفحة

٢ ـ ١١ اللوح العازل كهربيا ٦٤
٢ ـ ١٢ القضيب المتوازى المغنطيسية (بارامغنطيسية) ٦٥
٢ ـ ١٣ الكميات التركيزية والامتدادية ٦٦

٣ ـ الشغل ٧١
٣ ـ ١ الشغل ٧١
٣ ـ ٢ الاجراء شبه الاستاتى ٧٢
٣ ـ ٣ شغل منظومة هيدروستاتية ٧٣
٣ ـ ٤ بيانى PV ٧٥
٣ ـ ٥ اعتماد الشغل على المسار ٧٦
٣ ـ ٦ الشغل فى الاجراءات شبه الاستاتية ٧٧
٣ ـ ٧ الشغل المبذول فى تغيير طول سلك ٧٩
٣ ـ ٨ الشغل المبذول فى تغيير مساحة غشاء سطحى ٧٩
٣ ـ ٩ الشغل المبذول فى تغيير الشحنة لخلية انعكاسية . ٨٠
٣ ـ ١٠ الشغل المبذول فى تغيير استقطاب عازل كهربى جامد ٨٢
٣ ـ ١١ الشغل المبذول فى تغيير مغنطة جامه مغنطيسى . ٨٤
٣ ـ ١٢ ملخص ٨٦
٣ ـ ١٣ المنظومات المركبة ٨٧

٤ ـ الحرارة والقانون الأول للديناميكا الحرارية ٩٣
٤ ـ ١ الشغل والحرارة ٩٣
٤ ـ ٢ الشغل الادياباتى ٩٦
٤ ـ ٣ دالة الطاقة الداخلية ٩٨
٤ ـ ٤ الصياغة الرياضية للقانون الأول للديناميكا الحرارية ٩٩
٤ ـ ٥ مبدأ الحرارة ١٠١
٤ ـ ٦ الصيغة التفاضلية للقانون الأول للديناميكا الحرارية ١٠٢
٤ ـ ٧ السعة الحرارية وقياسها ١٠٤
٤ ـ ٨ السعة الحرارية للماء ، الكالورى (السعر الحرارى) ١٠٧
٤ ـ ٩ معادلات لمنظومة هيدروستاتية ١٠٩
٤ ـ ١٠ انسياب الحرارة شبه الاستاتى ، خزان الحرارة ١١٠
٤ ـ ١١ توصيل الحرارة ١١٢
٤ ـ ١٢ الموصلية الحرارية ١١٣
٤ ـ ١٣ حمل الحرارة ١١٤
٤ ـ ١٤ الاشعاع الحرارى ، الجسم الأسود ١١٦
٤ ـ ١٥ قانون كيرشوف ، الحرارة المشعة ١١٨
٤ ـ ١٦ قانون ستيفان بولتزمان ١٢٠

الموضوع	صفحة
٥ ـ الغازات المثالية	١٣٠
٥ ـ ١ معادلة الحالة لغاز .	١٣٠
٥ ـ ٢ الطاقة الداخلية لغاز .	١٣٤
٥ ـ ٣ الغاز المثالى .	١٣٧
٥ ـ ٤ تعيين السعات الحرارية تجريبيا .	١٣٩
٥ ـ ٥ الاجراء الادياباتى شبه الاستاتى .	١٤٢
٥ ـ ٦ طريقة روخهاردت فى قياس γ	١٤٤
٥ ـ ٧ سرعة موجة طولية .	١٤٧
٥ ـ ٨ قياس درجة الحرارة صوتيا .	١٥١
٥ ـ ٩ وجهة النظر المجهرية .	١٥٢
٥ ـ ١٠ معادلة الحالة لغاز مثالى .	١٥٤
٦ ـ المحركات والمبردات والقانون الثانى للديناميكا الحرارية	١٦٨
٦ ـ ١ تحويل الشغل لحرارة والعكس .	١٦٨
٦ ـ ٢ محرك ستيرلينج .	١٧٠
٦ ـ ٣ المحرك البخارى .	١٧٣
٦ ـ ٤ محركات الاحتراق الداخلى .	١٧٥
٦ ـ ٥ صيغة كلفن ـ بلانك للقانون الثانى للديناميكا الحرارية .	١٨٠
٦ ـ ٦ المبرد .	١٨٢
٦ ـ ٧ تطابق صيغتى كلفن ـ بلانك وكلوزيس .	١٨٧
٧ ـ الانعكاسية ومقياس درجة الحرارة كلفن .	١٩٤
٧ ـ ١ الانعكاسية واللا انعكاسية .	١٩٤
٧ ـ ٢ اللا انعكاسية الميكانيكية الخارجية .	١٩٥
٧ ـ ٣ اللا انعكاسية الميكانيكية الداخلية .	١٩٦
٧ ـ ٤ اللا انعكاسية الحرارية الداخلية والخارجية .	١٩٧
٧ ـ ٥ اللا انعكاسية الكيماوية .	١٩٨
٧ ـ ٦ شروط الانعكاسية .	١٩٩
٧ ـ ٧ وجود سطح ادياباتى انعكاسى .	٢٠٠
٧ ـ ٨ امكانية تكامل dQ .	٢٠٥
٧ ـ ٩ متذول λ الطبيعى .	٢٠٧
٧ ـ ١٠ مقياس درجة الحرارة كلفن .	٢١١
٧ ـ ١١ تساوى درجة حرارة الغاز المثالى ودرجة حرارة كلفن .	٢١٢
٨ ـ الانتروبى	٢١٧
٨ ـ ١ مبدأ الانتروبى .	٢١٧
٨ ـ ٢ انتروبى الغاز المثالى .	٢١٩
٨ ـ ٣ بيانى TS	٢٢٠

الموضوع	صفحة
٨ ـ ٤ دورة كارنو .	٢٢٤
٨ ـ ٥ الانتروبى والانعكاسية .	٢٢٦
٨ ـ ٦ الانتروبى واللا انعكاسية .	٢٢٧
٨ ـ ٧ الانتروبى والحالات غير المتزنة .	٢٣١
٨ ـ ٨ مبدأ زيادة الانتروبى .	٢٣٣
٨ ـ ٩ تطبيقات هندسية لمبدأ الانتروبى .	٢٣٦
٨ ـ ١٠ الانتروبى والطاقة غير المتاحة .	٢٣٨
٨ ـ ١١ الانتروبى وإخلال الترتيب .	٢٤١
٨ ـ ١٢ الانتروبى والاتجاه ، الانتروبى المطلق .	٢٤١
٨ ـ ١٣ انسياب الانتروبى وإنتاج الانتروبى .	٢٤٢
٩ ـ المواد النقية .	٢٥٤
٩ ـ ١ الانثالبى .	٢٥٤
٩ ـ ٢ دوال هلمهولتز وجبز .	٢٥٨
٩ ـ ٣ نظريتان رياضيتان .	٢٦١
٩ ـ ٤ علاقات ماكسويل .	٢٦٢
٩ ـ ٥ معادلات TdS	٢٦٤
٩ ـ ٦ معادلات الطاقة .	٢٦٨
٩ ـ ٧ معادلات السعة الحرارية .	٢٧٠
٩ ـ ٨ السعة الحرارية عند ثبوت الضغط .	٢٧٣
٩ ـ ٩ التمددية الحرارية	٢٧٥
٩ ـ ١٠ الانضغاطية .	٢٧٩
٩ ـ ١١ السعة الحرارية عند ثبوت الحجم .	٢٨٣
١٠ ـ انتقال (تحول) الأطوار : الانصهار والتبخر والتسامى .	٢٩٠
١٠ ـ ١ الانتقال من الدرجة الأولى ، معادلة كلابيرون .	٢٩٠
١٠ ـ ٢ الانصهار .	٢٩٣
١٠ ـ ٣ التبخر .	٢٩٧
١٠ ـ ٤ التسامى ، معادلة كيرشوف .	٣٠٥
١٠ ـ ٥ ثابت ضغط البخار .	٣٠٨
١٠ ـ ٦ قياس ضغط البخار .	٣١١
الجزء الثانى : تطبيقات المبادىء الأساسية	٣٢٣
١١ ـ الميكانيكا الاحصائية	٣٢٥
١١ ـ ١ مبادىء أساسية .	٣٢٥
١١ ـ ٢ توزيع الاتزان .	٣٢٩
١١ ـ ٣ مدلول A و β	٣٣٢

الموضوع	صفحة
١١ ـ ٤ دالة التقسيم .	٣٣٦
١١ ـ ٥ دالة التقسيم لغاز مثالى أحادى الذرات .	٣٣٨
١١ ـ ٦ التقسيم المتساوى للطاقة .	٣٤٠
١١ ـ ٧ توزيع السرعات الجزيئية .	٣٤٣
١١ ـ ٨ التفسير الاحصائى للشغل والحرارة .	٣٤٧
١١ ـ ٩ اخلال الترتيب والانتروبى والمعلومات .	٣٤٩
١٢ ـ الخواص الحرارية للجوامد	٣٥٥
١٢ ـ ١ الميكانيكا الاحصائية لبللورة لافلزية (غير معدنية)	٣٥٥
١٢ ـ ٢ طيف التردد للبلورات .	٣٦٠
١٢ ـ ٣ الخواص الحرارية للمواد اللا فلزية (غير معدنية)	٣٦٤
١٢ ـ ٤ الخواص الحرارية للمعادن .	٣٦٦
١٣ ـ تحولات الطور بشرجات عليا ، الظواهر الحرجة .	٣٧٨
١٣ ـ ١ تأثير جول ـ كلفن .	٣٧٨
١٣ ـ ٢ اسالة الغازات بتأثير جول ـ كلفن .	٣٨١
١٣ ـ ٣ الحالة الحرجة .	٣٨٨
١٣ ـ ٤ أس (جمع أس) النقطة الحرجة .	٣٩٢
١٣ ـ ٥ أس النقطة الحرجة لمنظومة مغنطيسية .	٣٩٦
١٣ ـ ٦ التحول (الانتقال) بشرجات عليا .	٤٠٠
١٣ ـ ٧ الهليوم السائل والجامد .	٤٠٦
١٤ ـ الاتزان الكيماوى	٤١٣
١٤ ـ ١ قانون دالتون .	٤١٣
١٤ ـ ٢ الغشاء الشبه منفذ (نصف منفذ)	٤١٤
١٤ ـ ٣ نظرية جبز .	٤١٥
١٤ ـ ٤ انتروبى خليط من الغازات الكاملة المثالية .	٤١٧
١٤ ـ ٥ دالة جبز لخليط من الغازات الكاملة المثالية .	٤١٩
١٤ ـ ٦ الاتزان الكيماوى .	٤٢١
١٤ ـ ٧ الوصف الديناميى الحرارى للحالات غير المتزنة .	٤٢٢
١٤ ـ ٨ شروط للاتزان الكيماوىْ .	٤٢٤
١٤ ـ ٩ شرط الاتزان الميكانيكى .	٤٢٦
١٤ ـ ١٠ المعادلات الدينامية الحرارية لطور .	٤٢٨
١٤ ـ ١١ الجهد الكيماوى .	٤٣١
١٤ ـ ١٢ درجة التفاعل .	٤٣٣
١٤ ـ ١٣ معادلة اتزان التفاعل .	٤٣٦
١٥ ـ تفاعلات الغاز المثالى .	٤٤٣
١٥ ـ ١ قانون فعل الكتلة .	٤٤٣

الموضوع	صفحة
١٥ ـ ٢ التعيين التجريبى لثوابت الاتزان .	٤٤٤
١٥ ـ ٣ حرارة التفاعل .	٤٤٧
١٥ ـ ٤ معادلة نرنست .	٤٥٠
١٥ ـ ٥ الألفة .	٤٥٣
١٥ ـ ٦ ازاحة الاتزان .	٤٥٧
١٥ ـ ٧ السعة الحرارية لغازات متفاعلة فى اتزان .	٤٥٩
١٦ ـ المنظومات المتغايرة	٤٦٤
١٦ ـ ١ المعادلات الدينامية الحرارية لمنظومة متغايرة .	٤٦٤
١٦ ـ ٢ قاعدة الطور بدون تفاعل كيماوى .	٤٦٦
١٦ ـ ٣ تطبيقات بسيطة لقاعدة الطور .	٤٧٠
١٦ ـ ٤ قاعدة الطور مع وجود تفاعل كيماوى .	٤٧٥
١٦ ـ ٥ تعيين عدد المركبات .	٤٧٩
١٦ ـ ٦ ازاحة الاتزان .	٤٨٤
١٧ ـ موضوعات خاصة	٤٩٢
١٧ ـ ١ السلك الممتط .	٤٩٢
١٧ ـ ٢ الغشاء السطحى .	٤٩٢
١٧ ـ ٣ الخلية الانعكاسية .	٤٩٤
١٧ ـ ٤ خلية الوقود .	٤٩٦
١٧ ـ ٥ العازل الكهربى .	٤٩٨
١٧ ـ ٦ الظواهر الكهروحرارية .	٤٩٩
١٧ ـ ٧ تيارات الحرارة والكهرباء الآتية فى موصل .	٥٠٢
١٧ ـ ٨ تأثيرات سيبيك وبلتييه	٥٠٥
١٧ ـ ٩ تأثير طومسون ومعادلات كلفن .	٥٠٧
١٧ ـ ١٠ التبريد الكهروحرارى .	٥١٠
١٧ ـ ١١ خواص منظومة فوتونات .	٥١٢
١٧ ـ ١٢ تطبيق احصاءات بوز ـ أينشتين على الفوتونات .	٥١٤
١٧ ـ ١٣ البيرومتر الضوئى .	٥١٦
١٧ ـ ١٤ قوانين فين وستيفان ـ بولتزمان .	٥١٨
١٧ ـ ١٥ ضغط الاشعاع ، إشعاع الجسم الأسود كمنظومة دينامية حرارية	٥٢٠
١٨ ـ التوازى المغنطيسى الأيونى ومجال درجات الحرارة المنخفضة	٥٣٢
١٨ ـ ١ المغنطيسية الذرية .	٥٣٢
١٨ ـ ٢ الميكانيكا الاحصائية لمنظومة الأيون المغنطيسى الفرعية .	٥٣٦
١٨ ـ ٣ العزم المغنطيسى لمنظومة الأيون المغنطيسى الفرعية .	٥٤١
١٨ ـ ٤ الخواص الحرارية لمنظومة الأيون المغنطيسى الفرعية .	٥٤٦
١٨ ـ ٥ انتاج اجزاء من الألف من درجة بواسطة خفض المجال المغنطيسى اديباتيا	٥٥٠

الموضوع	صفحة
١٨ ـ ٦ قياس درجات الحرارة المنخفضة	٥٥٩
١٨ ـ ٧ مبرد التخفيف $^3He/^4He$	٥٦٥
١٩ ـ المغنطيسية النووية ودرجات الحرارة السالبة والقانون الثالث للديناميكا الحرارية	٥٧٣
١٩ ـ ١ استقطاب النويات المغنطيسية	٥٧٣
١٩ ـ ٢ انتاج درجات حرارة تقدر بـ ١٠- ٩ درجة بواسطة خفض المجال المغنطيسى النووى	٥٧٨
١٩ ـ ٣ درجات حرارة كلفن السالبة	٥٨٢
١٩ ـ ٤ تجربة باوند وبيرسيل ورمزى	٥٨٧
١٩ ـ ٥ الديناميكا الحرارية عند درجات الحرارة السالبة	٥٩٠
١٩ ـ ٦ القانون الثالث للديناميكا الحرارية	٥٩٢
الملاحق	٦٠٠
A الثوابت الطبيعية	٦٠٠
B طريقة لاجرانج للمضاعفات	٦٠١
C تقييم التكامل $\int e^{x} dx$	٦٠٤
D توال رايمان زيتا	٦٠٦
المراجع	٦٠٨
أجوبة لمسائل مختارة	٦١٠
قائمة المصطلحات العلمية	٦١٥
الفهرس الأبجدى	٦٤٣