

Curso de TERMODINAMICA II

Curso 2009 - 2010

Departamento de Física Fundamental y Experimental Electrónica y Sistemas

Facultad de Física

Más información en la dirección <http://webpages.ull.es/users/juperez>

1. Presentación

Esta asignatura constituye un curso avanzado de Termodinámica, centrado en el desarrollo de la Termodinámica de los sistemas con composición variable (sistemas abiertos y sistemas con reacciones químicas) incluyendo un variado número de aplicaciones, en las cuales se hace patente el esquema formal general desarrollado al principio del curso.

2. Descripción y Objetivos

El objetivo global del curso es la caracterización de las condiciones de equilibrio Termodinámico para sistemas con composición variable y su aplicabilidad a distintas situaciones de interés tecnológico o experimental. Así, tras caracterizar las variables de estado de un sistema abierto o con reacciones químicas, se establecen las condiciones de equilibrio para sistemas que pueden intercambiar materia, bien directamente (equilibrio de fases) o bien a través de una membrana semipermeable (equilibrio osmótico) así como para sistemas en los que pueden tener lugar reacciones químicas (equilibrio químico).

El concepto de ecuación fundamental permite caracterizar todas las posibles relaciones entre las variables que describen el sistema en términos de una única ecuación (la ecuación fundamental) que relaciona la energía interna con la entropía, las coordenadas de trabajo y los números de moles de las especies químicas. La introducción de los potenciales termodinámicos permite establecer diferentes formas de la ecuación fundamental, en términos de un conjunto de variables, que al igual que la entropía (para un sistema aislado), obedecen a principios de extremo para sistemas en diversas circunstancias (temperatura constante, presión constante, etc.).

El gas ideal, las mezclas de gases ideales, y la radiación del cuerpo negro son sistemas para los cuales es posible determinar de forma exacta su ecuación

fundamental, pudiéndose deducir de la misma distintas leyes experimentales como por ejemplo la ley de Stefan Boltzmann.

El equilibrio de fases en sistemas pluricomponentes permite analizar, partiendo de las condiciones generales de equilibrio, un variado número de procesos de interés como por ejemplo los procesos atmosféricos, las propiedades de las disoluciones, la destilación, la ósmosis, etc.

El estudio de las reacciones químicas y en particular el equilibrio químico permite obtener conclusiones acerca de por qué unas sustancias son susceptibles de reaccionar y otras no, y en que condiciones son capaces de coexistir y en que proporción reactivos y productos. Este problema, denominado de las afinidades químicas, y más en concreto la determinación del mismo por métodos calorimétricos (teorema del calor de Nernst) nos lleva al enunciado del tercer principio de la Termodinámica que establece que la entropía puede ser tomada como cero en el cero absoluto de Temperatura.

Finalmente el estudio de los distintos mecanismos de conducción del calor, conducción, radiación y convección, permite acercarse a una problemática de alto interés en un gran número de aplicaciones, y el estudio de los procesos de flujo estacionario abre la puerta al análisis de un gran número de procesos de interés en la tecnología.

3. Contenido y Programa

1. Resumen de la fundamentación Clausius-Kelvin de la Termodinámica de los sistemas cerrados.

Resumen de la fundamentación Clausius-Kelvin. Apéndice: Personajes de la Termodinámica.

2. Generalización de la fundamentación Clausius-Kelvin al caso de sistemas de composición variable.

Variables de estado de un sistema homogéneo abierto: Energía interna y entropía. Postulado de las variables de estado. Expresión diferencial de la energía y la entropía. Variables de estado heterogéneo. Postulado de aditividad de la entropía. Variables de estado de un sistema con reacciones químicas. Grado de avance. Ecuación estequiométrica. Reacciones independientes. Ecuaciones de Euler y Gibbs Duhem.

3. Condiciones de equilibrio.

Principio de entropía máxima y de energía interna mínima. Equilibrio térmico y mecánico. Equilibrio de fases. Equilibrio osmótico. Equilibrio químico.

4. Transiciones y equilibrio de fases.

Regla de las fases de Gibbs. Diagrama de fases para una sustancia pura. Ecuación de Clapeyron. Diagrama de fases del helio. Superfluidez.

5. Ecuación fundamental y potenciales termodinámicos.

Ecuación fundamental. Transformadas de Legendre. Función de Helmholtz, Entalpía y Función de Gibbs. Potenciales termodinámicos. Principios de extremo de los potenciales termodinámicos. Relaciones de Maxwell y de Gibbs Helmholtz.

6. Estabilidad

Estabilidad intrínseca de un sistema homogéneo. Estabilidad mutua entre sistemas.

7. Transiciones de fase en el modelo de Van der Waals.

Propiedades de la función de Gibbs en las proximidades de una transición. Estados metaestables. Transiciones de fases según el modelo de Van der Waals.

8. Mezcla de gases ideales.

Ecuación térmica. Ecuación energética. Ley de Dalton. Presión parcial. Entropía. Función de Helmholtz y Función de Gibbs. Potencial químico. Disolución ideal.

9. Radiación del cuerpo negro.

Transmisión del calor por radiación. Cuerpo negro. Ley de Kirchoff. Ley de Stefan Boltzmann. Variables de estado de la radiación en equilibrio. Ecuaciones térmica, energética y ecuación fundamental.

10. La pila electroquímica.

Pila electroquímica a temperatura y volumen constante. Pila electroquímica a temperatura y presión constante.

11. Termodinámica de los sistemas magnéticos.

Magnitudes físicas: Magnetización, inducción magnética y Susceptibilidad magnética. Trabajo termodinámico. Enfriamiento magnético. Magnetostricción. Superconductividad.

12. Termodinámica de las reacciones químicas.

Condiciones de equilibrio químico. Afinidad. Equilibrio químico en fases puras y disoluciones. Energética de las reacciones químicas. Variación de las condiciones de equilibrio con la temperatura y la presión. Principio de Le Chatelier. El cálculo de la afinidades propias.

13. El tercer principio.

Teorema del calor de Nernst. Enunciados del tercer principio. Contrastaciones experimentales del tercer principio. Principio de inaccesibilidad del cero absoluto.

14. Equilibrio en sistemas pluricomponentes. Disoluciones y sistemas osmóticos.

Equilibrio líquido vapor con gases poco solubles: Equilibrio agua-aire-vapor de agua. Humedad relativa y presión de saturación. Equilibrio líquido vapor con gases solubles. Leyes de Henry y de Raoult. Transición líquido vapor. Diagramas temperatura composición y presión composición. Equilibrio líquido vapor con solutos poco volátiles. Aumento ebulloscópico. Equilibrio sólido líquido. Diagrama de fases. Descenso crioscópico. Equilibrio entre líquidos: ley del reparto de Nernst. Equilibrio entre fases fluidas separadas por una membrana semipermeable. Presión osmótica.

15. Transmisión del calor.

Conducción del calor. Ley de Fourier. Ecuación del calor. Transmisión del calor por radiación. Transmisión del calor por conducción. Combinación de conducción y convección.

16. Máquinas térmicas y procesos de flujo estacionario.

La máquina de vapor. Máquinas de combustión interna. Ecuación de conservación de la energía en un fluido en régimen estacionario. Refrigeración.

3. Metodología

Se propone una metodología en la cual los alumnos dispondrán desde el inicio del curso de todo el material necesario para el mismo en la forma de un curso teórico (Notas para un curso de Termodinámica II) y una colección de problemas (Manual de problemas de Termodinámica). Los contenidos se desarrollarán a lo largo del curso combinando la exposición en forma magistral de los contenidos teóricos (aproximadamente 60%) y la resolución de ejercicios y problemas (aprox. 40%).

El desarrollo en clase se realizará utilizando medios audiovisuales tomando como base de trabajo el material descrito anteriormente. De forma paralela se utilizará la

pizarra para la realización de ejercicios y aclaración de aspectos concretos del contenido teórico.

Por otra parte y utilizando la página web se irá desarrollando un programa de acción tutorial con objeto de facilitar al alumno el estudio de la asignatura. En el mismo se irán exponiendo cuestiones, ejercicios y problemas a resolver por el alumno durante su tiempo de estudio.

4. Actividades

Las actividades estarán centradas en el desarrollo expositivo del temario de la asignatura, la realización de ejercicios y problemas en clase y el seguimiento del plan de acción tutorial que podrá formar parte de la evaluación continua para los alumnos que de forma optativa elijan dicho sistema.

De forma esporádica se introducirán seminarios de ampliación relativos a alguna de las problemáticas específicas discutidas a lo largo del curso.

5. Material Didáctico

El material didáctico a disposición del alumno corresponde a las *Notas para un curso de Termodinámica II*, y al *Manual de problemas de Termodinámica* ambos disponibles en la fotocopiadora Campus.

Existe en la Biblioteca una amplia bibliografía sobre Termodinámica, para un seguimiento cercano de la asignatura recomendamos la obra

- José Aguilar Peris. *Curso de Termodinámica*. Pearson Ed. (1992) ISBN 9788420513829 .

Mientras que para un seguimiento didáctico de los aspectos históricos de la Termodinámica

- Justo R. Pérez. *La Termodinámica de Galileo a Gibbs*. Vol 9 Manuales de Historia de la Ciencia. Ed. Fundación Canaria Orotava de Historia de La Ciencia. (2005) ISBN 8460975800

El material adicional para la realización de ejercicios, prácticas o complementos de la asignatura se encuentra disponible en la web

<http://webpages.ull.es/users/juperez>

6. Atención al Alumno

El horario de tutorías¹ es el de Lunes y Miércoles de 16:00 a 19:00 en el despacho 46 de la 5ª planta. El alumno puede además consultar al profesor a través del teléfono 922318261 o del correo electrónico juperez@ull.es

7. Criterios de Evaluación y Calificación

La evaluación de la asignatura tendrá lugar a través de un examen escrito al final del cuatrimestre que constará de preguntas teóricas, y problemas, aproximadamente al 50% entre ambas.

A lo largo del cuatrimestre se desarrollará un proceso de evaluación continua optativo para los alumnos que conllevará el seguimiento del proceso de acción tutorial y la resolución de cuestiones, ejercicios y problemas en clase.

La calificación seguirá el modelo desarrollado en el nuevo grado de Física con una ponderación de un 40% para la evaluación continua y el examen ponderado a la diferencia con la máxima calificación. Esto significa que si c es la calificación de la evaluación continua (en escala de 0-4) y z es la calificación del examen (en escala 0-10) la calificación total p será

$$p = z + c\left(1 - \frac{z}{10}\right)$$

- Será necesario superar en el examen 1/3 de la nota máxima para ponderar con la evaluación continua.
- La calificación de los alumnos que no opten por la evaluación continua o no superen la misma será la calificación del examen.

8. Aula y Horario.

La asignatura se impartirá en el aula 12 de la Facultad de Física en horario de 12 a 13 horas los miércoles y de 12 a 14 horas los Jueves.

9. Equipo Docente

La asignatura estará impartida por el Dr. Justo Roberto Pérez Cruz, Catedrático de Física Aplicada del Departamento de Física Fundamental y Experimental.

¹ Dependiendo de la programación de otras actividades este horario podrá estar sujeto a cambios, de los cuales se informará en clase y en la web.