

Título tentativo: Introducción a la materia activa: de bandadas de pájaros a la formación de tejidos y fabricación de materiales biomiméticos.

Profesor Visitante: Fernando Peruani (Université de Nice Sophia Antipolis, Nice, France)

Duración: de 25 a 30 hs

Fechas tentativas: entre julio y agosto de 2014 (exceptuando la semana del 4 al 8 de agosto)

Resumen:

Qué es la materia activa? Es una nueva rama de la física, en rápida expansión, que se encuentra en la interfase entre la física de la materia blanda (“soft-matter”) y la biología. Esta rama de la física estudia conjuntos de partículas activas en medios disipativos. El término “activo” se refiere a la habilidad de las partículas de convertir energía en trabajo, típicamente para lograr auto propulsarse. Como ejemplo típico de partícula activa podemos tomar a la bacteria *Escherichia coli* que consume ATP para hacer rotar sus flagelas y auto-propulsarse en medios viscosos. Los sistemas de partículas activas se encuentran a toda escala en la naturaleza: desde cardúmenes de peces que se pueden extender por cientos de metros, hasta la escala nanométrica, como ocurre dentro de una célula, donde se observan patrones complejos de microtúbulos propulsados por motores moleculares.

La materia activa es un área de investigación que empezó a desarrollarse para entender la física de ciertos sistemas fuera del equilibrio, tales como las colonias de bacterias, la formación de tejidos o el crecimiento tumoral. Más allá de su motivación original, fuertemente biológica, una de las ramas más dinámicas, dentro de la materia activa hoy en día, está relacionada con el diseño y construcción de materiales activos bio-miméticos. Estos materiales son típicamente conjuntos de partículas fabricadas por el hombre, capaces de convertir energía en trabajo. Existen diversas maneras de crear una partícula activa. En todos los casos se trata de partículas asimétricas o anisotrópicas. En el caso en que la inyección de energía se realiza a través de una superficie vibrante, la auto propulsión se logra utilizando un coeficiente de fricción diferente en cada extremidad de la partícula. Si la inyección de energía se realiza a través de la emisión de luz, la autopropulsión se consigue utilizando partículas coloidales con un coeficiente de absorción de luz anisotrópico. Otra alternativa posible es realizar la inyección de energía a través de una reacción química, lo que requiere, esta vez, la utilización de partículas con una anisotropía en sus propiedades catalíticas.

En definitiva, las aplicaciones de la materia activa van desde la física biológica al diseño y fabricación de materiales activos.

En este curso introductorio se empezará con un repaso de los principales elementos de la física estadística fuera del equilibrio, para luego enfocarse en sistemas de partículas auto-propulsadas como paradigma central de la materia activa. Uno de los objetivos del curso es la derivación, a partir de un modelo microscópico, de ecuaciones hidrodinámicas - es decir, el equivalente a Navier-Stokes - para sistemas fuera del equilibrio donde no se conservan ni el momento ni la energía. El curso incluirá trabajos prácticos en donde se resolverán problemas de caminantes aleatorios anómalos (es decir, de difusión anómala: super-difusión y sub-difusión), teoría de

valores extremos, teoría cinética, y procesos estocásticos. Los trabajos prácticos incluirán también la resolución numérica de ciertos problemas: simulaciones de dinámica molecular, ecuaciones de Langevin, etc.

#### Modalidad de trabajo y evaluación:

El curso estará dividido en clases teóricas, resolución de problemas (cálculos analíticos), y prácticas con herramientas informáticas, en bloques de 2 horas de teoría y 2 horas de trabajos prácticos.

La evaluación consistirá en la resolución y presentación de un problema de materia activa en grupos reducidos de estudiantes, y un examen oral individual.

#### Programa tentativo:

1. Introducción general a la materia activa: definiciones y conceptos.
2. Teoría de caminantes aleatorios discretos y continuos (en 1D y 2D)
3. Teoría de caminantes aleatorios con correlaciones
4. Conceptos de estadística de valores extremos para entender la difusión anómala: super-difusión y sub-difusión.
5. Estadística de primeros pasajes, escape.
6. El pasaje de modelos microscópicos a modelos macroscópicos a altas densidades. Ecuaciones de Langevin y derivación de ecuaciones de Fokker-Planck. Sistemas interactuantes y no interactuantes.
7. El pasaje de modelos microscópicos a modelos macroscópicos a altas densidades. Ecuaciones de Boltzmann y teoría cinética.
8. Campo medio para sistemas de partículas autopropulsadas con alineamiento.
9. Sistemas de partículas autopropulsadas no interactuantes a altas y bajas densidades. Derivación de ecuaciones hidrodinámicas.
10. Sistemas de partículas autopropulsadas interactuantes a altas y bajas densidades. Derivación de ecuaciones hidrodinámicas.
11. Transición de fase de partículas autopropulsadas polares y apolares. Ondas de densidad e inestabilidades elásticas y viscoelásticas.
12. Segregación de fase en sistemas de partículas autopropulsadas.

#### Bibliografía:

Marchetti et al. 2013, Rev. Mod. Phys. 85, 1143  
Vicsek and Zafeiris 2012, Physics Reports, 517, 71  
P. M. Chaikin, and T.C. Lubensky 1995, “Principles of condensed matter physics”, Cambridge University Press.