

Guia docent

300211 - MF - Mecànica de Fluids

Última modificació: 31/05/2021

Unitat responsable: Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels
Unitat que imparteix: 748 - FIS - Departament de Física.

Titulació: GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES AEROESPACIALS (Pla 2015). (Assignatura obligatòria).
GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES AEROESPACIALS/GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES DE TELECOMUNICACIÓ - ENGINYERIA TELEMÀTICA (AGRUPACIÓ DE SIMULTANÈITAT) (Pla 2015). (Assignatura obligatòria).

Curs: 2021 **Crèdits ECTS:** 7.5 **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: Definits a la web de la universitat.

Altres: Definits a la web de la universitat.

CAPACITATS PRÈVIES

- Operativitat en el càlcul diferencial i integral de camps vectorials (integrals dobles i triples, gradient, divergència i rotacional) i comprensió dels teoremes vectorials, continguts de l'assignatura Ampliació de Matemàtiques de l'1B.
- Operativitat en equacions diferencials ordinàries, contingut de l'assignatura Àlgebra i Geometria de l'1A, i nocions sobre equacions en derivades parcials lineals i sobre aproximació numèrica de derivades, continguts de l'assignatura Ampliació de Matemàtiques 2 del 2A.
- Operativitat amb els conceptes i les lleis de la mecànica i la termodinàmica continguts en les tres assignatures de física dels quadrimestres 1A,1B i 2A.
- Programació en llenguatge Python/Matlab/Octave, contingut de l'assignatura Informàtica 1 de l'1B.

REQUISITS

Prerequisits: Termodinàmica

Corequisits: Ampliació de Matemàtiques 2

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:

CE16. CE 16 AERO. Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los conceptos y las leyes que gobiernan los procesos de transferencia de energía, el movimiento de los fluidos, los mecanismos de transmisión de calor y el cambio de materia y su papel en el análisis de los principales sistemas de propulsión aeroespaciales. (CIN/308/2009, BOE 18.2.2009)

CE18. CE 18 AERO. Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los fundamentos de la mecánica de fluidos; los principios básicos del control y la automatización del vuelo; las principales características y propiedades físicas y mecánicas de los materiales. (CIN/308/2009, BOE 18.2.2009)

CE19. CE 19 AERO. Conocimiento aplicado de: la ciencia y tecnología de los materiales; mecánica y termodinámica; mecánica de fluidos; aerodinámica y mecánica del vuelo; sistemas de navegación y circulación aérea; tecnología aeroespacial; teoría de estructuras; transporte aéreo; economía y producción; proyectos; impacto ambiental. (CIN/308/2009, BOE 18.2.2009)

CE2. CE 2 AERO. Comprensión y dominio de los conceptos básicos sobre las leyes generales de la mecánica, termodinámica, campos y ondas y electromagnetismo y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería. (CIN/308/2009, BOE 18.2.2009)

Genèriques:

CG1. CG1 - Capacidad para el diseño, desarrollo y gestión en el ámbito de la ingeniería aeronáutica que tengan por objeto, de acuerdo con los conocimientos adquiridos, los vehículos aeroespaciales, los sistemas de propulsión aeroespacial, los materiales aeroespaciales, las infraestructuras aeroportuarias, las infraestructuras de aeronavegación y cualquier sistema de gestión del espacio, del tráfico y del transporte aéreo.

CG2. CG2 - Planificación, redacción, dirección y gestión de proyectos, cálculo y fabricación en el ámbito de la ingeniería aeronáutica que tengan por objeto, de acuerdo con los conocimientos adquiridos, los vehículos aeroespaciales, los sistemas de propulsión aeroespacial, los materiales aeroespaciales, las infraestructuras aeroportuarias, las infraestructuras de aeronavegación y cualquier sistema de gestión del espacio, del tráfico y del transporte aéreo.

Transversals:

CT6. APRENTATGE AUTÒNOM - Nivell 2: Dur a terme les tasques encomanades a partir de les orientacions bàsiques donades pel professorat, decidint el temps que cal emprar per a cada tasca, incloent-hi aportacions personals i ampliant les fonts d'informació indicades.

CT3. COMUNICACIÓ EFICACIÓ ORAL I ESCRITA - Nivell 2: Utilitzar estratègies per preparar i dur a terme les presentacions orals i redactar textos i documents amb un contingut coherent, una estructura i un estil adequats i un bon nivell ortogràfic i gramatical.

CT7. TERCERA LLENGUA: Conèixer una tercera llengua, que serà preferentment l'anglès, amb un nivell adequat de forma oral i per escrit i amb consonància amb les necessitats que tindran les titulades i els titulats en cada ensenyament.

CT2. SOSTENIBILITAT I COMPROMÍS SOCIAL - Nivell 2: Aplicar criteris de sostenibilitat i els codis deontològics de la professió en el disseny i l'avaluació de solucions tecnològiques.

CT5. ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ - Nivell 1: Identificar les pròpies necessitats d'informació i utilitzar les col·leccions, els espais i els serveis disponibles per dissenyar i executar cerques simples adequades a l'àmbit temàtic.

CT4. TREBALL EN EQUIP - Nivell 1: Participar en el treball en equip i col·laborar-hi, un cop identificats els objectius i les responsabilitats col·lectives i individuals, i decidir conjuntament l'estratègia que s'ha de seguir.

Bàsiques:

CB1. CB1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la

educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio

CB2. CB2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio

CB4. CB4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado

CB5. CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía

METODOLOGIES DOCENTS

L'assignatura s'impartirà combinant classes magistrals (sessions de grup de teoria), activitats dirigides de problemes que els estudiants hauran resolt prèviament a casa, i un petit projecte en grup sobre resolució numèrica de problemes en mecànica de fluids, que els alumnes realitzaran principalment fora de l'aula.

Les classes de teoria seguiran principalment el model expositiu, on el professor introduirà els conceptes i lleis bàsiques de la mecànica de fluids, amb el suport de la pissarra i/o de diapositives. Les classes d'activitat dirigida permetran consolidar el coneixement d'aquests conceptes i lleis i utilitzar-los per resoldre problemes. Amb una setmana d'antelació es distribuirà la llista de problemes a resoldre pels alumnes fora de l'aula. Els problemes seran discutits posteriorment a la sessió d'activitat dirigida i alguns d'aquests problemes seran resolts a la pissarra pels mateixos alumnes i/o pels professors. El projecte es realitzarà en petits grups i principalment fora de l'aula. Cap al final del quadrimestre els grups hauran de presentar el projecte amb el suport de diapositives.

El Campus Digital Atenea serà utilitzat habitualment per a l'intercanvi de documentació entre estudiants i professors i per mantenir actualitzat el procés d'avaluació. També s'hi introduiran els textos i vídeos relacionats amb el temari que siguin necessaris, per guiar l'aprenentatge autònom dels estudiants, i els fulls de la col·lecció de problemes.

L'expressió oral i escrita es treballarà explícitament a les sessions d'AD de problemes (discussió dels mètodes emprats i resolució de problemes a la pissarra) i al projecte. També es treballarà implícitament en els exàmens, ja que es demanarà als estudiants que justifiquin la resolució dels problemes i contestin preguntes teòriques. La tercera llengua (anglès) es treballarà sobretot en el projecte, ja que tot el que s'entregui haurà d'estar escrit en anglès i la presentació oral es podrà fer també en anglès. A part, un dels dos llibres bàsics, alguns dels continguts de l'Atenea i els enunciats dels problemes de la col·lecció seran en anglès. L'aprenentatge autònom es guiarà mitjançant textos amb conceptes teòrics de l'assignatura i/o vídeos explicatius. A més, els estudiants hauran de resoldre individualment a casa la col·lecció de problemes, aprenent de manera autònoma a aplicar els coneixements teòrics per resoldre problemes més concrets. El projecte també serà una eina de treball d'aprenentatge autònom ja que els estudiants hauran d'adquirir coneixements més enllà dels explicats a les classes de teoria i realitzar gran part del projecte de manera autònoma. Aquestes tres competències genèriques s'avaluaran en les diferents activitats d'avaluació en què estan implicades (veure la descripció detallada de les AV1-5).

OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En acabar l'assignatura Mecànica de Fluids, l'estudiant/a ha de ser capaç de:

- Definir les variables i conceptes fonamentals de la mecànica de fluids: pressió, densitat, velocitat, energia interna, viscositat, tensor de tensions, descripcions lagrangiana i euleriana, derivada de Stokes, línia de corrent, trajectòria, circulació, vorticitat, flux de calor, velocitat del so, ona de xoc, capa límit, turbulència, flux adiabàtic, flux isentròpic, números adimensionals característics (Reynolds, Mach, etc), etc.
- Explicar el significat i les implicacions de les lleis de conservació que governen la dinàmica de fluids, tant en forma integral com en forma diferencial: conservació de la massa, equació de balanç del moment i equació de balanç de l'energia.
- Identificar els diferents tipus de fluids (incompressible/compressible, no viscos/ viscos, subsònic/supersònic, irrotacional/ rotacional) i les magnituds i lleis específiques que permeten descriure el seu moviment.
- Deducir conclusions qualitatives i quantitatives a partir de les magnituds i lleis específiques que governen el moviment dels diferents tipus de fluid.
- Utilitzar els conceptes i lleis de conservació adquirides i les eines matemàtiques adequades per resoldre problemes d'un cert nivell de complexitat en mecànica de fluids, posant especial èmfasi en problemes pràctics d'aerodinàmica.
- Comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera oral i escrita per justificar raonaments de tipus científic amb arguments qualitius i quantitius.
- Adquirir coneixements de manera autònoma, utilitzant les fonts d'informació i les pautes indicades i identificant les carències d'aprenentatge.
- Llegir i interpretar documents tècnics redactats en anglès relacionats amb la Mecànica de fluids i saber-se expressar en anglès oral i escrit en el context del projecte de l'assignatura.
- Aplicar criteris i proposar alternatives que eliminin les causes de discriminació per raó de gènere en un determinat context o situació.



HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores aprenentatge autònom	105,0	56.00
Hores grup gran	48,0	25.60
Hores activitats dirigides	34,5	18.40

Dedicació total: 187.5 h

CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ A LA MECÀNICA DE FLUIDS

Descripció:

- Presentació. Concepte de fluid. Definició de fluid com a medi continu.
- Dimensions i sistemes d'unitats. Variables fonamentals: densitat, pressió, velocitat i temperatura.
- Variables termodinàmiques: energia interna i entalpia. Viscositat i esforços tallants.
- Classificació dels tipus de fluxos segons les propietats físiques del fluid (viscositat i densitat), i segons les característiques del moviment.
- Estàtica de fluids. Principi d'equilibri hidrostàtic. L'atmosfera estàndard. Força sobre superfícies submergides. Força sobre cossos submergits.

Activitats vinculades:

- AV1: Control de problemes dels temes 1 i 2.
- AV2: Resolució de problemes de la col·lecció fora de l'aula per part de l'alumne. Exposició dels problemes en sessions d'AD per part dels professors i/o dels alumnes. Discussió col·lectiva sobre els mètodes emprats i els resultats obtinguts.
- AV4: Examen de mig quadrimestre.
- AV5: Examen de final de quadrimestre.

Dedicació: 18h

Grup gran/Teoria: 6h

Activitats dirigides: 4h

Aprenentatge autònom: 8h

CINEMÀTICA DE FLUIDS

Descripció:

- Modes d'estudi del moviment: Euler i Lagrange. Derivada de Stokes o material.
- Trajectòries y línies de corrent.
- Cabal i velocitat mitja. Divergència de la velocitat. Funció de corrent.
- Rotació y deformació d'una partícula fluida. Vorticitat y flux irrotacional. Circulació. Potencial de velocitats.

Activitats vinculades:

- AV1: Control de problemes dels temes 1 i 2 (1 h d'AD assignada a aquest tema).
- AV2: Resolució de problemes de la col·lecció fora de l'aula per part de l'alumne. Exposició dels problemes en sessions d'AD per part dels professors i/o dels alumnes. Discussió col·lectiva sobre els mètodes emprats i els resultats obtinguts.
- AV4: Examen de mig quadrimestre.
- AV5: Examen de final de quadrimestre.

Dedicació: 25h

Grup gran/Teoria: 6h

Activitats dirigides: 5h

Aprenentatge autònom: 14h



DINÀMICA DE FLUIDS: EQUACIONS EN FORMA INTEGRAL

Descripció:

- Models de fluid. Flux quasi-unidimensional. Teorema del transport de Reynolds.
- Equació de conservació de la massa.
- Equació de balanç del moment lineal. Forces de superfície i forces de volum. Equació de Bernoulli.
- Equació de balanç de l'energia. Energia interna i entalpia. Flux estacionari en conductes.

Activitats vinculades:

- AV2: Resolució de problemes de la col·lecció fora de l'aula per part de l'alumne. Exposició dels problemes en sessions d'AD per part dels professors i/o dels alumnes. Discussió col·lectiva sobre els mètodes emprats i els resultats obtinguts.
- AV4: Examen de mig quadrimestre.
- AV5: Examen de final de quadrimestre.

Dedicació: 28h

Grup gran/Teoria: 7h

Activitats dirigides: 4h

Aprenentatge autònom: 17h

DINÀMICA DE FLUIDS: EQUACIONS EN FORMA DIFERENCIAL

Descripció:

- Equació de conservació de la massa o de continuïtat en forma diferencial.
- Equació de balanç del moment lineal en forma diferencial. Esforços tallants i viscositat. Equacions d'Euler per flux no viscos. Equacions de Navier-Stokes per flux viscos Newtonià.
- Flux en règim laminar. Flux de Couette i de Poiseuille. Moviment entre plaques. Moviment axisimètric dins de conductes cilíndrics.
- Equació de balanç de l'energia en forma diferencial. Flux de calor.
- Condicions inicials i de contorn.
- Anàlisi dimensional. Adimensionalització d'equacions. Concepte de similaritat.
- Nocions de mètodes numèrics en mecànica de fluids.

Activitats vinculades:

- AV2: Resolució de problemes de la col·lecció fora de l'aula per part de l'alumne. Exposició dels problemes en sessions d'AD per part dels professors i/o dels alumnes. Discussió col·lectiva sobre els mètodes emprats i els resultats obtinguts.
- AV3: Projecte sobre resolució numèrica de problemes en mecànica de fluids (presentació teòrica durant 2 h de teoria assignada a aquest tema i 16 h de treball en grup fora de l'aula assignades a aquest tema).
- AV5: Examen de final de quadrimestre.

Dedicació: 45h

Grup gran/Teoria: 11h

Activitats dirigides: 6h

Aprenentatge autònom: 28h



FLUXOS INCOMPRESSIBLES I NO VISCOSOS

Descripció:

- Aplicacions de l'equació de Bernoulli en aerodinàmica. Flux incompressible quasi-unidimensional: túnel de vent de baixa velocitat i tub de Pitot. Coeficient de pressió.
- Equació de Laplace per fluxos potencials i condicions de contorn.
- Fluxos potencials elementals bidimensionals: uniforme, font, remolí i doblet. Combinacions de fluxos elementals. Flux potencial al voltant de cilindres i efecte Magnus.

Activitats vinculades:

- AV2: Resolució de problemes de la col·lecció fora de l'aula per part de l'alumne. Exposició dels problemes en sessions d'AD per part dels professors i/o dels alumnes. Discussió col·lectiva sobre els mètodes emprats i els resultats obtinguts.
- AV3: Projecte sobre resolució numèrica de problemes en mecànica de fluids (2 h de presentacions dels grups a sessió de teoria i 16 h de treball en grup fora de l'aula assignades a aquest tema).
- AV5: Examen de final de quadrimestre.

Dedicació: 32h

Grup gran/Teoria: 7h

Activitats dirigides: 3h

Aprenentatge autònom: 22h

FLUXOS COMPRESSIBLES I NO VISCOSOS

Descripció:

- Compressibilitat d'un fluid. Equació de l'energia per flux compressible i no viscos. Condicions de recés.
- Velocitat del so. Nombre de Mach. Versions alternatives de l'equació de l'energia. Condicions sòniques.
- Ones de xoc normals. Ones de xoc obliqües.
- Expansió de flux supersònic. Expansió de Prandtl-Meyer.
- Moviment de flujo compresible en toveres o conductes de secció lentament variable.

Activitats vinculades:

- AV2: Resolució de problemes de la col·lecció fora de l'aula per part de l'alumne. Exposició dels problemes en sessions d'AD per part dels professors i/o dels alumnes. Discussió col·lectiva sobre els mètodes emprats i els resultats obtinguts.
- AV5: Examen de final de quadrimestre.

Dedicació: 39h 30m

Grup gran/Teoria: 10h

Activitats dirigides: 6h

Aprenentatge autònom: 23h 30m



ACTIVITATS

AV1: CONTROL DE PROBLEMES

Descripció:

Durant una sessió d'Activitat Dirigida, es realitzarà un control individual de problemes dels temes 1 i 2.

Objectius específics:

Comprovar els coneixements assolits sobre els temes 1 i 2, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes.

Material:

Enunciat dels problemes en paper, calculadora i formulari.

Lliurament:

S'entregarà el control resolt individualment per ser avaluat amb un 15% de la nota final.

Dedicació: 7h

Activitats dirigides: 1h

Aprenentatge autònom: 6h

AV2: ACTIVITATS DIRIGIDES DE RESOLUCIÓ DE PROBLEMES

Descripció:

En les sessions d'AD es treballaran els problemes de la col·lecció del tema corresponent, que els estudiants hauran resolt prèviament a casa. Es realitzarà l'exposició d'alguns dels problemes a la pissarra per part dels professors i/o dels alumnes. Es discutirà de manera col·lectiva els mètodes emprats i els resultats obtinguts.

Objectius específics:

Consolidar els coneixements assolits a les classes de teoria. Desenvolupar la capacitat de resolució de problemes en mecànica de fluids. Adquirir de manera autònoma els coneixements que els manquin per poder resoldre a casa els problemes de la col·lecció. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se oralment de manera clara i eficaç.

Material:

Col·lecció amb els enunciats dels problemes proposats (incloent les solucions al final), calculadora i formulari.

Dedicació: 81h

Activitats dirigides: 27h

Aprenentatge autònom: 54h



AV3: PROJECTE SOBRE RESOLUCIÓ NUMÈRICA DE PROBLEMES EN MECÀNICA DE FLUIDS

Descripció:

Els alumnes hauran de realitzar en petits grups un projecte sobre resolució numèrica de problemes en mecànica de fluids, utilitzant el llenguatge Python, Matlab, Octave o altres. La introducció als projectes es farà durant 1 h en una sessió de teoria, incloent una descripció de les dones que han contribuït als mètodes numèrics en mecànica de fluids. El projecte es farà principalment fora de l'aula, fent un seguiment en horari de consultes. Es faran explícits els rols dins dels grups de 3 persones (programació del codi, anàlisi de resultats i gestió del projecte) i es fomentarà que les noies agafin rol de programadores. Cap al final del quadrimestre, els alumnes hauran de presentar el projecte amb el suport de diapositives, tot en anglès. Entregaran dos documents de control entremig del projecte, així com els codis en Python/Matlab/Octave i les diapositives de la presentació final.

Objectius específics:

Consolidar els coneixements assolits a les classes de teoria. Desenvolupar la capacitat de resolució numèrica de problemes en mecànica de fluids. Adquirir de manera autònoma els coneixements necessaris per poder resoldre a casa els problemes proposats en el projecte. Adquirir la capacitat de comunicar-se en anglès de manera oral i escrita. Aplicar criteris i proposar alternatives que eliminin les causes de discriminació per raó de gènere en un determinat context o situació.

Material:

Ordinador amb Python/Matlab/Octave per fer el projecte fora de l'aula.
Ordinador i projector per a la sessió on es presentin els projectes.

Lliurament:

Les entregues i la presentació s'avaluaran amb un 15% de la nota final, tenint en compte els documents entregats, els codis, les diapositives i la presentació oral.

Dedicació: 34h

Grup gran/Teoria: 2h

Aprenentatge autònom: 32h

AV4: EXAMEN DE MIG QUADRIMESTRE

Descripció:

Durant la setmana d'exàmens de mig quadrimestre es realitzarà un examen individual de teoria i problemes dels continguts treballats fins al moment.

Objectius específics:

Comprovar els coneixements assolits sobre els continguts inclosos, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes i responent preguntes teòriques.

Material:

Enunciat dels problemes i les preguntes en paper, calculadora i formulari.

Lliurament:

S'entregarà l'examen resolt individualment per ser avaluat amb un 30% de la nota final.

Dedicació: 10h 30m

Activitats dirigides: 1h 30m

Aprenentatge autònom: 9h



AV5: EXAMEN DE FINAL DE QUADRIMESTRE

Descripció:

Durant la setmana d'exàmens de final de quadrimestre es realitzarà un examen individual de teoria i problemes de tots els continguts treballats a l'assignatura.

Objectius específics:

Comprovar els coneixements assolits sobre els continguts de l'assignatura, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes i responnent preguntes teòriques.

Material:

Enunciat dels problemes i les preguntes en paper, calculadora i formulari.

Lliurament:

S'entregarà l'examen resolt individualment per ser avaluat amb un 40% de la nota final.

Dedicació: 13h 30m

Activitats dirigides: 2h

Aprenentatge autònom: 11h 30m

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

S'aplicaran els criteris d'avaluació definits a la infoweb de l'assignatura.

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

Totes les activitats d'avaluació proposades són obligatòries. Un examen, control, lliurable o projecte no presentat es puntuarà amb una nota de zero. Els exàmens i controls es realitzaran de manera individual. El projecte es realitzarà en petits grups.

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- White, Frank M. Fluid mechanics [en línia]. Eighth edition. Ney Work, NY: McGraw-Hill Education, [2016] [Consulta: 05/11/2020]. Disponible a: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=6327616>. ISBN 9780073398273.
- Anderson, John David. Fundamentals of aerodynamics. 3rd ed. Boston [etc.]: McGraw-Hill, 2001. ISBN 0072373350.
- White, Frank M. Mecánica de fluidos [en línia]. 6ª ed. Madrid [etc.]: McGraw-Hill, 2008 [Consulta: 15/04/2020]. Disponible a: http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=4144. ISBN 9788448166038.

Complementària:

- Anderson, John David. Computational fluid dynamics. New York [etc.]: McGraw-Hill, 1995. ISBN 0070016852.
- Anderson, John David. Introduction to flight. 6th ed. Boston [etc.]: McGraw-Hill, 2008. ISBN 9780073529394.
- Batchelor, G.K. An introduction to fluid dynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521663962.