

DINAMIKUS METEOROLÓGIA I

Havasi Ágnes, Tasnádi Péter, Weidinger Tamás
ELTE TTK
Meteorológia Tanszék

I. A dinamikus meteorológia története (35 oldal)

- I.1 A dinamikus meteorológia tárgya, tudományközi helyzete
 - I.1.1 A légköri rendszerek leírásában alkalmazott alapfeltevések
- I.2 A dinamikus meteorológia fejlődésének főbb szakaszai
 - I.2.1 Kezdetek
 - I.2.2 A newtoni mechanika alkalmazása a meteorológiában , a XVIII. Század
 - I.2.3. A klasszikus termodinamika születése a XIX. Század
 - I.2.4. A légköri termodinamika fejlődése a XX. század első fele
 - [I.2.5. Az elméleti meteorológia nagy évszázada, a dinamikus meteorológia megszületése: 1850–1950](#)
 - I.2.5.1 A ciklonok, anticiklonok kialakulásának és fejlődésének elmélete a XIX. század második felében
 - I.2.5.2. A légköri mozgások matematikai-fizikai leírása
 - I.2.5.3. A ciklonok, anticiklonok szerkezetének kutatása, a nyomási centrumok áthelyeződése
 - I.2.5.4. A modern dinamikus meteorológia születése, a Bergeni Iskola (1917–1926)
 - I.2.5.4. Időjárás matematikai alapon – Az első sikertelen numerikus előrejelzés (Richardson, 1922)
 - I.2.6. A dinamikus meteorológia helyzete, főbb kutatási irányai
- I.3 A hazai dinamikus meteorológia
 - I.3.1. Kezdetek
 - I.3.2. A hazai dinamikus meteorológia fénykora – a századfordulótól az 1930-as évekig
 - I.3.3. Az 1930-as évek közepétől az 1950-es évek közepéig
 - I.3.4. Az új meteorológus generáció, az 1960-as évektől a 80-as évek elejéig
 - I.3.5. A maiak
 - I.3.6. A hazai dinamikus meteorológia a nemzetközi publikációs tevékenység tükrében

II. Matematikai alapok, jelölések (17 oldal)

- II.1. Jelölések
- II.2. Vektorműveletek, vektorfüggvények
 - II.2.1. Vektorok és koordináták
 - II.2.2. Skaláris, vektoriális, vegyes szorzat
- II.3. Többváltozós függvények
 - II.3.1. Többváltozós függvények differenciálása
 - II.3.1.1. Kétfváltozós, valós értékű függvények differenciálása
 - II.3.1.2. Skalármező differenciálása
- II.4. Skalár- és vektormezők invariánsai
- II.5. Integrálfogalmak
 - II.5.1. A vonalintegrál
 - II.5.2. Felületi integrálok

- II.5.2.1. Vektormező skalárértékű felületi integrálja
- II.5.2.2. Skalármező vektorértékű felületi integrálja
- II.5.2.3. Vektormező vektorértékű felületi integrálja
- II.5.3. Integrálátalakító tételek
- II.5.4. Skalár- és vektormezők invariánsainak integrál-előállításai
 - II.5.4.1. A gradiens
 - II.5.4.2. A Laplace-kifejezés
 - II.5.4.3. A divergencia
 - II.5.4.4. A rotáció

III. Termodinamikai alapismeretek (35 oldal)

- III.1. Termodinamikai alapfogalmak
- III.2. A levegő állapotegyenlete
 - III.2.1. A piezotrop és a politrop állapotváltozás
- III.3. A termodinamika főtételei
 - III.3.1. Az első főtétel
 - III.3.2. Termodinamikai körfolyamatok
 - III.3.3. A termodinamika II. főtétele
 - III.3.3.1. Az entrópia
 - III.3.3.2. A termodinamika II. főtételének alkalmazása a meteorológiában
 - III.3.3.3. A száraz levegő entrópiájának megváltozása
 - III.3.4. Adiabatus folyamat
 - III.3.4.1. A potenciális hőmérséklet
 - III.3.4.2. Az entrópia és a potenciális hőmérséklet változása közötti kapcsolat
 - III.3.5. Politrop folyamatok
 - III.3.5.1. A légköri folyamatok főbb termodinamikai változásai
- III.4. A légköri hangsebesség
- III.5. Termodinamikai potenciálok
 - III.5.1. A termodinamikai potenciálok és tulajdonságaik
 - III.5.2. A belső energia $U(S, \alpha)$
 - III.5.3. A szabadenergia $F(T, \alpha) = U - TS$
 - III.5.4. Az entalpia $H(S, p) = U + p\alpha$
 - III.5.5. A szabadentalpia $G(T, p) = U + p\alpha - TS = H - TS$
 - III.5.6. Az entrópia $S(U, \alpha)$
 - III.5.7. A specifikus térfogat $\alpha(S, U)$
 - III.5.8. A termodinamikai potenciálok általános alakja
- III.6. Többkomponensű rendszerek
 - III.6.1. A kémiai potenciál
 - III.6.2. Többfázisú rendszerek
 - III.6.3. A Gibbs-féle fáziszabály

IV. A nedves levegő termodinamikája (48 oldal)

- IV.1. A vízgőz szerepe a légkörben
- IV.2. A vízgőz állapotegyenlete
- IV.3. A víz fázisátalakulásai
 - IV.3.1. A légköri víz fázisainak entrópiája
 - IV.3.1.1. Gőzfázis

- IV.3.1.2 Vízfázis
- IV.3.1.3 Jégfázis
- IV.3.2. A fázisátalakulási hő
- IV.3.3. A telítési gőznyomás hőmérsékletfüggése, a Clausius-Clapeyron egyenlet
- IV.3.4. A fázisátalakulási hőök közötti kapcsolat
- IV.3.5. A fázisátalakulási hő hőmérsékletfüggése, a Planck-egyenlet
- IV.4. A nedves levegő jellemzői
 - IV.4.1. A víztartalom mérőszámai
 - IV.4.1.1 Sűrűség (ρ), [$kg\ m^{-3}$]
 - IV.4.1.2 Abszolút nedvesség (a), [$g\ m^{-3}$]
 - IV.4.1.3 Specifikus térfogat (α), [$m^3\ kg^{-1}$]
 - IV.4.1.4 A vízgőz parciális nyomása (e), [Pa]
 - I V.4.1.5 Harmatpont (vagy a harmatpont hőmérséklete)
 - IV.4.1.6 A harmatpontdeficit
 - IV.4.1.7 Telítési hiány
 - IV.4.1.8 Keverési arány
 - IV.4.1.9 Specifikus nedvesség
 - IV.4.1.10 A relatív nedvesség (f), [%]
 - IV.4.2. A nedves levegő izobárikus folyamatokkal definiálható hőmérsékletei
 - IV.4.2.1 A virtuális hőmérséklet (T_v)
 - IV.4.2.2 Az ekvivalens hőmérséklet (T_e)
 - IV.4.2.3 Ekvivalens potenciális hőmérséklet
 - IV.4.2.4 A nedves hőmérséklet (T_w)
- IV.5. Száraz és nedves adiabaták, a vertikálisan elmozduló légrésszel kapcsolatos hőmérsékleti fogalmak
 - IV.5.1. A reverzibilis nedves adiabata
 - IV.5.1.1 A telítetlen szakasz
 - IV.5.1.2 A kondenzációs szakasz
 - IV.5.1.3 A fagyási szakasz
 - IV.5.1.4 A kristályosodási szakasz
 - IV.5.2. A nedves levegő pszeudoadiabatikus állapotváltozása
 - IV.5.3. A pszeudoadiabatikus folyamatokkal definiálható hőmérsékletek
 - IV.5.3.1 A pszeudoekvivalens és a pszeudoekvivalens potenciális hőmérséklet
 - IV.5.3.2 A pszeudonedves és a pszeudonedves potenciális hőmérséklet
- IV.6. Termodinamikai diagramok
 - IV.6.1. Mi a feltétele annak, hogy az (A, B) koordináta-rendszer termodinamikai diagram legyen?
 - IV.6.2. A termodinamikai diagramok konstruálása, a gyakorlatban használt főbb diagramok
 - IV.6.2.1 Az emagram
 - IV.6.2.2 A tefigram
 - I V.6.2.3 Az aerogram
 - IV.6.2.4 Ferde-diagram
 - IV.6.2.5 A szondogram
 - IV.6.2.6 A Stüve-gram

V. Az egydimenziós hidrosztatikus légkör (21 oldal)

- V.1. A légkörben ható erők csoportosítása
- V.2. A légköri sztatika alapegyenlete
 - V.2.1. A nyomási gradiens erő
 - V.2.2. A nehézségi erő
 - V.2.2.1. Az abszolút gravitációs erő
 - V.2.2.2. A centripetális és a centrifugális erő
 - V.2.2.3. A nehézségi (vagy gravitációs) erő
 - V.2.3. Az egységnyi tömegű légréteg potenciális energiája, a geopotenciál
 - V.2.4. A sztatika alapegyenlete
 - V.2.4.1. A vertikális koordinátázás kérdése
- V.3. A politrop légkör
 - V.3.1. A légköri sztatika két alapfeladata
 - V.3.1.1. A két alapfeladat megoldása politrop légkörben
 - V.3.2. A politrop légkör magassága
 - V.3.3. A legfontosabb politrop légkörök
 - V.3.3.1. A homogén légkör
 - V.3.3.2. Az adiabatikus légkör
 - V.3.3.3. Az izoterm légkör
 - V.3.3.4. A légkör felező magassága
 - V.3.4. A standard légkörök

VI. A vertikális mozgásokat kísérő adiabatikus változások (45 oldal)

- VI.1. A száraz és a telítetlen nedves levegő vertikális mozgása, a száraz adiabatikus gradiens
 - VI.1.1. A száraz levegő emelkedése
 - VI.1.2. A telítetlen nedves levegő emelkedése
- VI.2. A telített nedves levegő adiabatikus emelkedése
 - VI.2.1. A száraz adiabatikus és nedves adiabatikus hőmérsékleti gradiens összehasonlítása
 - VI.2.2. A nedves hőmérséklet változása a feláramlás során
 - VI.2.3. A harmatpont változása az emelkedő levegőben
- VI.3. Stabilitási kritériumok
 - VI.3.1. A részecskemódszer
 - VI.3.1.1. A perturbált légréteg mozgása
 - VI.3.1.2. A stabilitás kritériumai adiabatikus mozgás során
 - VI.3.1.3. A stabilitási kritériumok megfogalmazása a potenciális hőmérsékleti gradienssel
 - VI.3.1.4. Konvektív mozgások a trópusi légkörben
 - VI.3.1.5. A nagyterésű vertikális mozgások hatása a levegőrétegek hidrosztatikus egyensúlyára
 - VI.3.2. A rétegmódszer
 - VI.3.2.1. A hőmérséklet lokális megváltozása
 - VI.3.3. Konvektív elemek keveredése a környezeti levegővel
- VI.4. A légbeszívás szerepe az emelkedő légréteg mozgásában
 - VI.4.1. A termik energiamérlege
 - VI.4.2. A vertikális mozgásegyenlet
 - VI.4.3. A termik mozgása
 - VI.4.3.1. A légbeszívásmentes eset
 - VI.4.3.2. Az általános megoldás
 - VI.4.3.3. Az emelkedő termik vertikális sebességváltozása

VI.5. A labilitási energia és a kihullható vízmennyiség meghatározása

VI.5.1. A labilitási energia

VI.5.2. A kihullható víztartalom

VI.5.3. A labilitás becslése a trópusokon

VII. A légköri kinematika (45 oldal)

VII.1. A Lagrange- és az Euler-féle szemléletmód

VII.1.1. A Lagrange-féle szemléletmód

VII.1.1.1. A lagrange-i mechanika alapjai

VII.1.1.2. A Lagrange-egyenlet

VII.1.1.3. A Lagrange-, a Hamilton- és a Newton-féle leírási mód azonossága

VII.1.1.4. A Lagrange-féle szemléletmód a meteorológiai gyakorlatban

VII.1.2. Az Euler-féle szemléletmód

VII.1.3. A Lagrange- és az Euler-féle szemléletmód közötti kapcsolat

VII.1.3.1. A két koordináta-rendszer közötti áttérés szükséges és elégséges feltétele

VII.1.3.2. A Lagrange- és az Euler-rendszerbeli változások közötti kapcsolat

VII.2. A skalár- és vektorterek legfontosabb invariánsai

VII.2.1. A divergencia

VII.2.2. A gradiens

VII.2.3. A Laplace-operátor

VII.2.4. A rotáció

VII.3. A Stokes-tétel és a Gauss–Osztrogradszkij-tétel néhány következménye

VII.3.1. Példák a rotáció meghatározására

VII.4. Helmholtz tétele

VII.4.1. A teljességi tétel

VII.5 A deriválttenzor

VII.5.1. A deriválttenzor és sajátosságai

VII.5.2. Alakváltozási (geometriai) egyenletek

VII.6 A lineáris sebességi mező

VII.6.1. A lineáris sebességi mező felbontása

VII.6.1.1. Háromdimenziós forgatások

VII.6.2. Az áramlási mező ábrázolása

VII.6.2.1. Az áramlási mező ábrázolása

VII.6.2.2. Egyszerű áramvonal-szerkezetek

VII.6.2.3. Divergencia- és rotációmentes áramlások

VII.7. A természetes koordináta-rendszer

VII.7.1. A divergencia és az örvényesség természetes koordináta-rendszerben

VIII. A légköri hidro-termodinamikai egyenletrendszer (24 oldal)

VIII.1. A légkörben ható erők

VIII.1.1. A nyomási gradiens erő

VIII.1.2. Az abszolút gravitációs erő

VIII.1.3. A molekuláris súrlódási erő

VIII.1.4. A teljes feszültségi tenzor

VIII.2. A Navier-Stokes egyenletek

VIII.3. A kontinuitási egyenlet

VIII.3.1. A kontinuitási egyenlet az Euler-féle szemléletmódban

VIII.3.2. A kontinuitási egyenlet Lagrange-féle szemléletmódban

- VIII.4. A nedvesség- és nyomanyagszállítási egyenlet
 - VIII.4.1. A nedvességszállítási egyenlet
 - VIII.4.2. A nyomanyagszállítási egyenlet
- VIII.5. A termodinamikai egyenlet, a fázisátalakulások parametrizálása

IX. A Navier–Stokes egyenlet forgó koordináta-rendszerben (14 oldal)

- IX.1. A koordináta-transzformáció
- IX.2. A mozgásegyenletek alakja a forgó Földön Descartes-féle koordináta-rendszerben
 - IX.2.1. A forgó rendszerben fellépő tehetetlenségi erők
 - IX.2.2. A nehézségi erő változása a földrajzi szélesség függvényében
 - IX.2.3. Skalárok a forgó rendszerben
 - IX.2.4. A Navier–Stokes-egyenletek
 - IX.2.5. A hidro-termodinamikai egyenletrendszer forgó koordináta-rendszerben
 - IX.2.5.1 Az egyenletek Euler-szemléletmódban
 - IX.2.5.2 Az egyenletek Lagrange-szemléletmódban

X. Mozgásegyenletek szférikus koordináta-rendszerben (22 oldal)

- X.1. A görbe vonalú ortogonális koordináta-rendszer
 - X.1.1. A skalár- és vektorinvariánsok alakja a görbe vonalú ortogonális rendszerben
 - X.1.1.1. A skalármező gradiense
 - X.1.1.2. A divergencia
 - X.1.1.3. A Laplace-operátor
 - X.1.1.4. A rotáció
- X.2. A szférikus koordináta-rendszer
 - X.2.1. Fizikai koordináták
 - X.2.2. Sebességek és gyorsulások a szférikus koordináta-rendszerben
 - X.2.2.1. Az abszolút szférikus rendszerbeli gyorsulás
 - X.2.2.2. A Navier-Stokes egyenlet az abszolút szférikus rendszerben
 - X.2.3. A relatív szférikus koordináta-rendszer
 - X.2.4. A mozgásegyenletek alakja a forgó Földön
 - X.2.5. A Föld geoid alakja
- X.3. A hidro-termodinamikai egyenletrendszer alakja a forgó Földön
 - X.3.1. A mozgásegyenletek
 - X.3.2. A kontinuitási egyenlet
 - X.3.3. A termodinamikai egyenlet
 - X.3.4. A nedvességszállítási egyenlet
 - X.3.5. Az állapotegyenlet

XI. A vertikális koordinátázás kérdése (57 oldal)

- XI.1 Horizontális koordinátázás kérdése
 - XI.1.1. A gradiens, a divergencia és a rotáció alakja általános térképsík felett
 - XI.1.1.1. A gradiens, a divergencia és a rotáció alakja konform leképezés esetén
 - XI.1.2. Teljes derivált és a pályamenti teljes derivált alakja általános térképsík felett
 - XI.1.3. A teljes derivált és a pályamenti teljes derivált alakja konform leképezés esetén
- XI.2. A kormányzó egyenletek felírása általánosított vertikális koordináta-rendszerben

- XI.2.1. A két koordináta-rendszer közötti kapcsolat
 - XI.2.1.1. Időben változó skalár- és vektorterek
 - XI.2.1.2. A két rendszerbeli parciális differenciálhányadosok közötti kapcsolat
 - XI.2.1.3. A két koordináta-rendszerbeli sebességek
 - XI.2.1.4. A sebességek közötti kapcsolat
 - XI.2.1.5. A teljes deriváltak
 - XI.2.1.6. A divergencia alakja
- XI.2.2. A hidro-termodinamikai egyenletrendszer alakja az (x_1, y_1, ζ, t_1) rendszerben
 - XI.2.2.1. A mozgásegyenletek átírása
 - XI.2.2.2. A kontinuitási egyenlet
 - XI.2.2.3. A termodinamikai egyenlet
 - XI.2.2.4. A nedvességszállítási egyenlet
 - XI.2.2.5. Az állapotegyenlet
- XI.3. A felszínkövető, a nyomási, a tömeg- és a potenciális hőmérsékleti koordináta-rendszer
 - XI.3.1. A felszínkövető (z^*) koordináta-rendsze
 - XI.3.2. A nyomási koordináta-rendszer
 - XI.3.3. A tömegkoordináta-rendszer
 - XI.3.4. Az izentrop koordináta-rendszer
- XI.4. A szigma-, az eta és a vegyes koordináta-rendszerek
 - XI.4.1. A Phillips-féle σ -koordináta-rendszer
 - XI.4.2. Az η -koordináta-rendszer
 - XI.4.2.1. A kormányzóegyenletek alakja az η -rendszerben
 - XI.4.3. Hibrid koordináta-rendszerek
- XI.5. Alkalmazások
 - XI.5.1. A horizontális koordinátázás néhány kérdése
 - XI.5.2. További magassági koordinátázások
 - XI.5.3. Az Exner-függvény
 - XI.5.4. A leggyakrabban használt vertikális koordinátázások (σ , η , Θ , hibrid) összehasonlítása
 - XI.5.4.1. A z- és a p-rendszer korlátai
 - XI.5.4.2. A σ -rendszer
 - XI.5.4.3. Az η -rendszer
 - XI.5.4.4. A Θ -rendszer
 - XI.5.4.5. Hibrid koordináta-rendszerek
 - XI.5.4.6. Összefoglaló megjegyzések

XII. A légköri folyamatok nagyságrendi analízise (16 oldal)

- XII.1. A légköri folyamatok tér- és időskálája
- XII.2. Nagyságrendi analízis
- XII.3. A mozgásegyenletek nagyságrendi analízise szinoptikus skálán
 - XII.3.1. Átlagok és fluktuációk
 - XII.3.2. A hidrosztatikai egyensúly
 - XII.3.3. A Navier–Stokes-egyenletek nagyságrendi analízise
 - XII.3.4. Hasonlósági kritériumok, az áramlások hasonlósága

XIII. Egyensúlyi áramlások és változásai (44 oldal)

- XIII.1. Az alacsony szélességek egyensúlyi áramlásai
 - XIII.1.1. Euler-áramlás a szabad légkörben

- XIII.1.2. Antitriptikus áramlás a trópusi határrétegben
- XIII.2. A mérsékelt és a magas szélességek egyensúlyi áramlásai
 - XIII.2.1. A geosztrofikus áramlás
 - XIII.2.2. A geosztrofikus áramlás változása
 - XIII.2.3. A gradiens és a ciklosztrofikus áramlás
- XIII.3. A termikus szél
 - XIII.3.1. Vertikális szélnyírást barotrop és baroklin légkörben
 - XIII.3.2. Termikus szél ciklonban és anticiklonban
 - XIII.3.3. A termikus szél különböző vertikális koordináta-rendszerekben
- XIII.4. A hőmérséklet lokális változása
 - XIII.4.1. A hőmérséklet lokális megváltozásának nem-advektív része
 - XIII.4.2. A lokális hőmérsékletváltozás advektív része
 - XIII.4.3. A nyomás lokális változása
 - XIII.4.4. Az izallobárikus szél
- XIII.5. Az ageosztrofikus szél
 - XIII.5.1. Az ageosztrofia és a vertikális sebességi mező

XIV. A divergencia és a rotáció szerepe a légköri folyamatok fejlődésében (26 oldal)

- XIV.1. A cirkuláció és az örvényesség kapcsolata
- XIV.2. A cirkuláció időbeli változása
 - XIV.2.1. A Bjerknes-féle cirkulációs elmélet néhány alkalmazása
- XIV.3. A rotáció (illetve az örvényesség) időbeli változása, az örvényességi egyenlet
 - XIV.3.1. Az örvényességi egyenlet alakja nyomási koordináta-rendszerben
 - XIV.3.2. Az örvényességi egyenlet alakja potenciális hőmérsékleti koordináta-rendszerben
- XIV.4. A divergencia időbeli változása, a divergenciaegyenlet

XV. A potenciális örvényesség (15 oldal)

- XV.1. Az örvényességi egyenlet vektoriális alakja
- XV.2. A potenciális örvényesség megmaradásának származtatása
 - XV.2.1. A Kelvin-tétel és a potenciális örvényesség
 - XV.2.1.1 Barotrop eset
 - XV.2.1.2 A baroklin eset
 - XV.2.2. A potenciális örvényességi tétel általános levezetése
- XV.3. A potenciális örvényességi tétel kvázisztatikus közelítésben
- XV.4. A potenciális örvényességi tétel P és Θ rendszerben
 - XV.4.1. Az izentrop potenciális örvényesség közvetlen származtatása
- XV.5. Potenciális örvényesség állandó sűrűségű folyadékban
- XV.6. A potenciális örvényesség megmaradásának következményei
 - XV.6.1. A hegyen átkelő levegő mozgása, a lee-oldali ciklogenezis

XVI. Szakadási felületek a légkörben, frontok, frontfelületek (23 oldal)

- XVI.1. A szakadási felületek osztályozása, főbb tulajdonságai
 - XVI.1.1. Határfelület-feltételek
- XVI.2. A frontfelületek egyensúlyi hajlata
 - XVI.2.1. A frontok haladási sebessége
 - XVI.2.2. Front geosztrofikus áramlási mezőben, a Margules-féle egyensúlyi hajlat

- XVI.2.3. A frontálzónák vertikális metszete
- XVI.2.4. A frontfelületek nem-geosztrofikus közelítéssel számolt egyensúlyi hajlata
- XVI.2.5. A frontok elméleti elhelyezkedése kétszeresen rétegzett ideális folyadékban
- XVI.2.6. Fel- és leszálló mozgások kvázistacionárius határfelületen
- XVI.3. A tropopauza mint diszkontinuitási felület

XVII. A frontfelületek fejlődése, a frontogenetikus függvény (13 oldal)

- XVII.1. A frontogenetikus függvény
- XVII.2. Frontogenezis lineáris áramlási mezőben
- XVII.3. A frontogenetikus függvény alkalmazása a szinoptikus analízisben
- XVII.4. Termikus szél a frontálzónákban, geosztrofikus és ageosztrofikus hatások

F.1. Különböző koordináta-rendszerekben felírt elemi térfogatok közötti kapcsolat (5 oldal)

F.2. A vonal-, felületi és térfogati integrálokkal kapcsolatos legfontosabb összefüggések (5 oldal)

F.2.1. Integrálttételek

F.2.1.1 Gauss-Osztogradszkij-tétel

F.2.1.2. A Stokes-tétel

F.2.1.3. A Green-formulák

F.3 Helmholtz tétele a sebességmező felbontásáról és a teljességi tétel a sebességi mező felépítéséről (5 oldal)

F.4. Tenzorinvariánsok, a deriválttenzor felbontása és invariánsai (17 oldal)

F4.1. Általános feltételek

F4.2. A deriválttenzor felbontása

F4.2.1. A deriválttenzor és sajátosságai

F4.2.2. Vektorszámítási alapok, visszatekintés

F4.2.3. A deriválttenzor felbontása

F4.3. A tenzorok szimmetrikus és az antiszimmetrikus részének jellemzése, elméleti alapok

F4.3.1. Skalárinvariánsok

F4.3.2. A tenzor vektorinvariánsa

F4.3.3. A tenzorok egy másik felbontása: a nyújtás-zsugorítás-tükrözés mint invariáns mennyiség

F4.4. A deriválttenzor skalár- és vektorinvariánsai

F4.4.1. Skalárinvariánsok

F4.4.2. A deriválttenzor vektorinvariánsa

F4.5. A deriválttenzor geometriai értelmezése, alakváltozások

