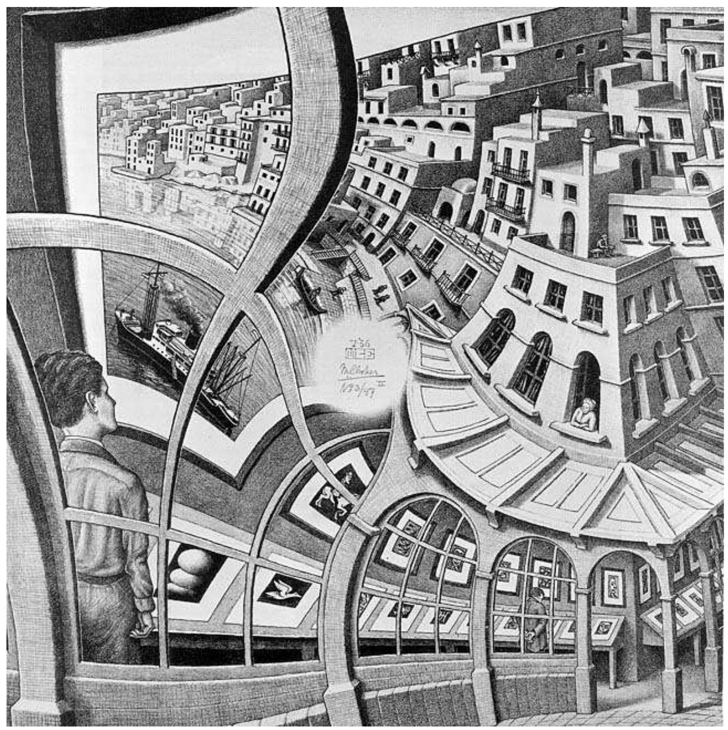
Presentación de curriculum y proyecto docente

para la plaza de Profesor Contratado Doctor

en el área de Física Teórica en la Universidad de Granada



Bert Janssen

Universidad de Granada & CAFPE

Plaza: Profesor Contratado Doctor

Código: 2/3/PCD/90

Área de Conocimiento: Física Teórica

Departamento: Física Teórica y del Cosmos

Perfil Investigador: Aspectos gravitacionales y simetrías gauge en teoría de cuerdas

Perfil docente: Mecánica Teórica

Outlook

I. Perfil Investigador

1. Breve curriculum
2. Resumen de la actividad investigadora

II. Perfil Docente

3. Mecánica analítica dentro de la física
4. La asignatura de Mecánica teórica
5. Temario
6. Bibliografía
7. Evaluación

I. Perfil investigador

Aspectos gravitacionales y simetría gauge en teoría de cuerdas

1. Breve curriculum

1.1. Datos personales

Nombre: Bert Janssen

Lugar y fecha de nacimiento: Hasselt (Bélgica), 8 enero 1971

Nacionalidad: Belga

N.I.E.: X0931977-T

Posición actual: Investigador Ramón y Cajal (UGR)

Dirección actual: Departamento de Física Teórica y del Cosmos
Universidad de Granada
Campus de Fuentenueva
18071 Granada, España

1.2. Estudios

1990 - 1992: Primero y segundo de Física en el Limburgs Universitair Centrum in Diepenbeek (B)

Julio 1992: Aspirante a la licenciatura de Física por el Limburgs Universitair Centrum

1992 - 1994: Tercero y cuarto de Física en la Katholieke Universiteit Leuven (B)

Julio 1994: Licenciado en Física por la Katholieke Universiteit Leuven

1.2. Estudios

1990 - 1992: Primero y segundo de Física en el Limburgs Universitair Centrum in Diepenbeek (B)

Julio 1992: Aspirante a la licenciatura de Física por el Limburgs Universitair Centrum

1992 - 1994: Tercero y cuarto de Física en la Katholieke Universiteit Leuven (B)

Julio 1994: Licenciado en Física por la Katholieke Universiteit Leuven

1994 - 1998: Estudiante de doctorado en la Rijksuniversiteit Groningen (NL), bajo la dirección de E. Bergshoeff y M. de Roo

julio 1998: Doctor en Matemáticas y Ciencias Naturales por la Rijksuniversiteit Groningen
(homologado a Doctor en Física por el MECD en octubre 2000)

1.3. Experiencia laboral

1998 - 2000: Postdoc en el C.S.I.C. en Madrid

2000 - 2002: Postdoc en la University of Durham (GB)

2002 - 2004: Postdoc en la Katholieke Universiteit Leuven (B)

2004 - 2009: Investigador Ramón y Cajal en la Universidad de Granada

1.3. Experiencia laboral

1998 - 2000: Postdoc en el C.S.I.C. en Madrid

2000 - 2002: Postdoc en la University of Durham (GB)

2002 - 2004: Postdoc en la Katholieke Universiteit Leuven (B)

2004 - 2009: Investigador Ramón y Cajal en la Universidad de Granada

1.4. Temas de investigación

Teoría de cuerdas: supergravedad y dualidades; p-branas y acciones efectivos; el efecto dieléctrico; compactificaciones de cuerdas

Relatividad general: agujeros negros, cosmología, técnicas generales

1.5. Publicaciones

Véase curriculum para detalles.

Un poco de estadística:

- 29 artículos en revistas SCI $(1,500 \leq$ impact factor $\leq 6,389)$
- 8 proceedings
- 23 colaboradores
- 686 citas, h=15

1.6. Apuntes

Mecánica Analítica, apuntes (102 p) de la asignatura de 5^o de Matemáticas
Teoría de la Relatividad General, apuntes (170 p) de la asignatura de 4^o de Física

1.7. Docencia

- Profesor de problemas de *Classical Mechanics and Electromagnetism* en la Rijksuniversiteit Groningen (NL), en el curso 1995-1996.
- Profesor de problemas de *Mathematical Methods in Physics* en la Rijksuniversiteit Groningen (NL) en el curso 1996-1997.

1.7. Docencia

- Profesor de problemas de *Classical Mechanics and Electromagnetism* en la Rijksuniversiteit Groningen (NL), en el curso 1995-1996.
- Profesor de problemas de *Mathematical Methods in Physics* en la Rijksuniversiteit Groningen (NL) en el curso 1996-1997.
- Profesor de problemas de *Single Maths B* en la University of Durham (GB) en los cursos 2000-2001 y 2001-2002.
- Profesor de problemas de *Algemene Relativiteit* en la Katholieke Universiteit Leuven (B) en los cursos 2002-2003 y 2003-2004.

1.7. Docencia

- Profesor de problemas de *Classical Mechanics and Electromagnetism* en la Rijksuniversiteit Groningen (NL), en el curso 1995-1996.
- Profesor de problemas de *Mathematical Methods in Physics* en la Rijksuniversiteit Groningen (NL) en el curso 1996-1997.
- Profesor de problemas de *Single Maths B* en la University of Durham (GB) en los cursos 2000-2001 y 2001-2002.
- Profesor de problemas de *Algemene Relativiteit* en la Katholieke Universiteit Leuven (B) en los cursos 2002-2003 y 2003-2004.
- Profesor de *Mecánica Analítica* (teoría y problemas) en la Universidad de Granada en los cursos entre 2004 y 2009 (5 cursos).
- Profesor de *Relatividad General* (teoría) en la Universidad de Granada en los cursos entre 2005 y 2009 (4 cursos).
- Profesor de práctica de laboratorio de *Física de los procesos biológicos* en la Universidad de Granada en el curso 2007-2008.

1.8. Estudiantes de investigación

- Joke Adam, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2002-2003.
- Stefan Knippenberg, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2002-2003.
- Stefaan Desender, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2003-2004.
- Dieter van den Bleeken, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2003-2004. (Apremiado con el Scientific Prize 2005 de la Belgian Physical Society)

1.8. Estudiantes de investigación

- Joke Adam, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2002-2003.
- Stefan Knippenberg, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2002-2003.
- Stefaan Desender, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2003-2004.
- Dieter van den Bleeken, estudiante de licenciatura en la K.U.L. en el curso 2003-2004. (Apremiado con el Scientific Prize 2005 de la Belgian Physical Society)
- Jesús Montero Aragón, estudiante de iniciación a la investigación en la UGR en el curso 2008-2009.
- Mikeal Rodríguez Chala, estudiante de iniciación a la investigación en la UGR en el curso 2009-2010.
- Airam Marcos Caballero, estudiante de Master de Fisymat en la UGR, desde octubre 2008.

1.9. Miscelanea

- Participación en 10 proyecetos de investigación (2 actualmente)
- Miembro de tribunal de doctorado en 4 ocasiones
- Referee ocasional para JHEP, Phys.Let.B, Class.Quant.Grav., J. Phys. A
- Miembro del comité organizador de 4 conferencias
- 2 tramos autonómicos de la Junta de Andalucía
- Acreditación de Profesor Contratado Doctor (ANECA) y Evaluación positica del Programa I3 (ANEP)
- Miembro de la Comisión Docente de Matemáticas desde 2004.
- Solicitado 1 proyecto de innovacion docente de la UGR

2. Resumen de la actividad investigadora

Area de investigación: Teoría de cuerdas

- Dualidades cuérdicas
- Construcción de soluciones
- Efecto dieléctrico
- Gravitones gigantes
- Miscelanea

2.1. Teoría de cuerdas: introducción general

Teoría de cuerdas = candidato para la cuantización de la gravedad

$\longrightarrow$ materia consiste de cuerdas vibratorias

$\longrightarrow$ diferentes partículas $\leftrightarrow$ diferentes modos de vibración

2.1. Teoría de cuerdas: introducción general

Teoría de cuerdas = candidato para la cuantización de la gravedad

$\longrightarrow$ materia consiste de cuerdas vibratorias

$\longrightarrow$ diferentes partículas $\leftrightarrow$ diferentes modos de vibración

sector sin masa: cuerdas abierta $\leftrightarrow$ bosones gauge

cuerdas cerradas $\leftrightarrow$ gravitón

$\longrightarrow \ell_s \sim 10^{-35} m$

2.1. Teoría de cuerdas: introducción general

Teoría de cuerdas = candidato para la cuantización de la gravedad

$\longrightarrow$ materia consiste de cuerdas vibratorias

$\longrightarrow$ diferentes partículas $\leftrightarrow$ diferentes modos de vibración

sector sin masa: cuerdas abierta $\leftrightarrow$ bosones gauge

cuerdas cerradas $\leftrightarrow$ gravitón

$\longrightarrow \ell_s \sim 10^{-35} m$

Primera Revolución de cuerdas (1984 - 1985):

$\exists!$ 5 teorías de cuerdas consistentes: Tipo I, Tipo IIA, Tipo IIB, Heterótica $SO(32)$, Heterótica $E_8 \times E_8$

- viven en 9+1 dimensiones
- libre de anomalías (serie perturbativa bien definida)
- se distinguen por contenido de campos y cantidad de SUSY

A bajas energías (a escalas $L \ggg \ell_s$):

teoría de cuerdas $\longrightarrow$ teoría de campos, con gravedad dinámica

y supersimetría local $\Rightarrow$ Supergravedad

A bajas energías (a escalas $L \ggg \ell_s$):

teoría de cuerdas $\longrightarrow$ teoría de campos, con gravedad dinámica

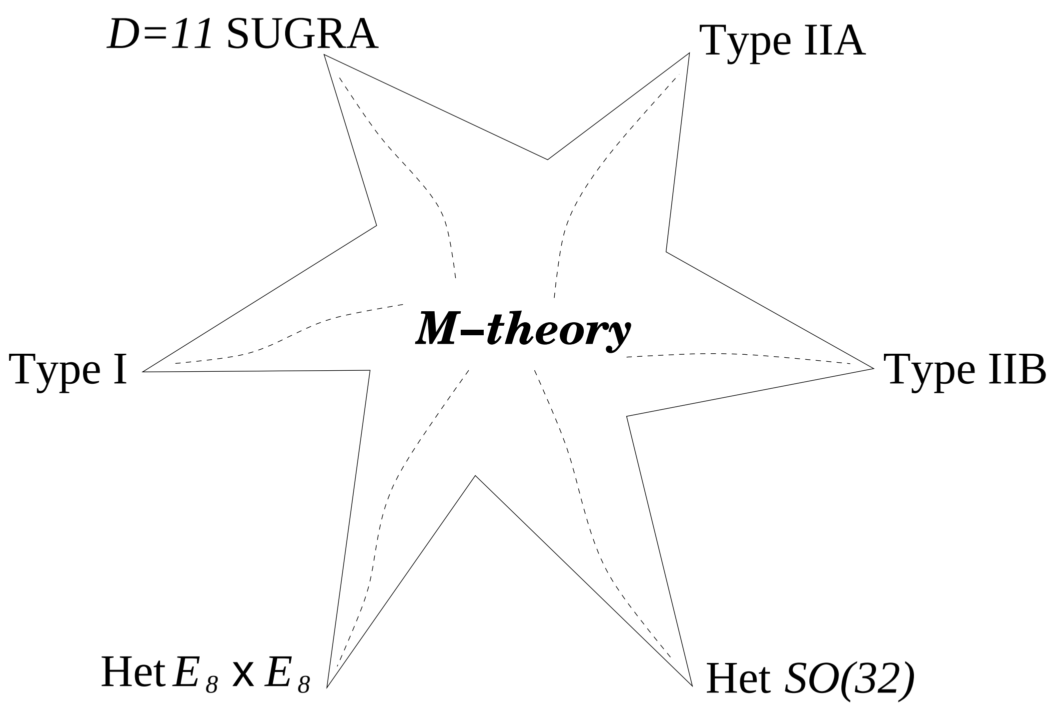
y supersimetría local $\Rightarrow$ Supergravedad

Segunda Revolución de cuerdas (1994 - 1997):

Las 5 teorías de cuerdas están relacionadas a través de dualidades

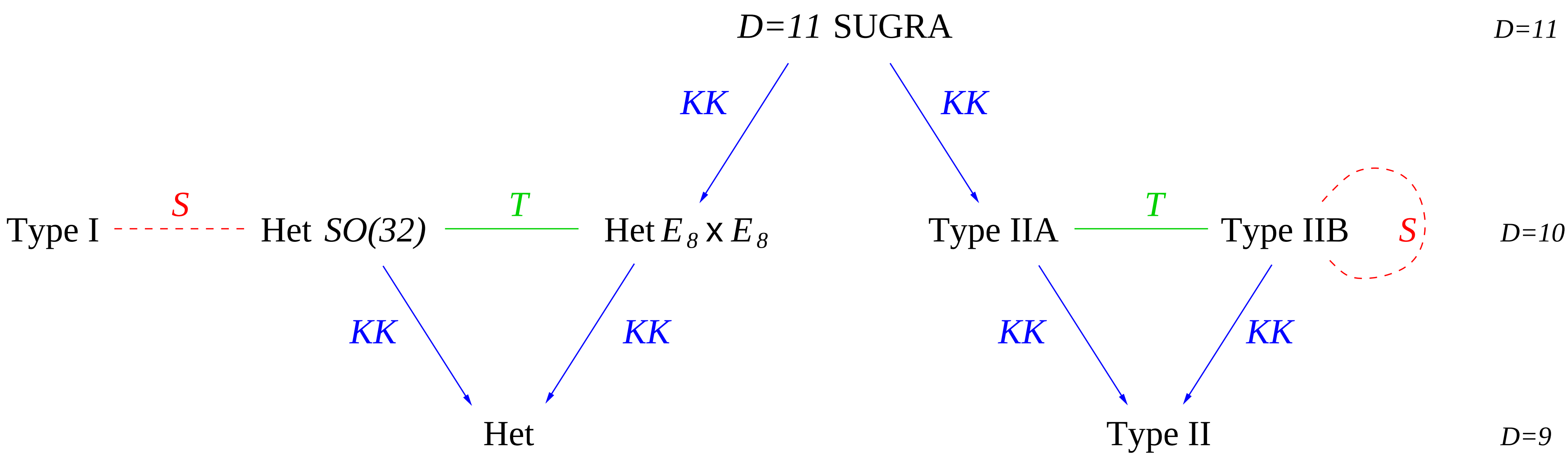
Las 5 teorías y $D = 11$ SUGRA son límites diferentes de una teoría central,

aún desconocida (llamado M-theory)



2.2. Dualidades

Estas dualidades se ven también a nivel de supergravedad



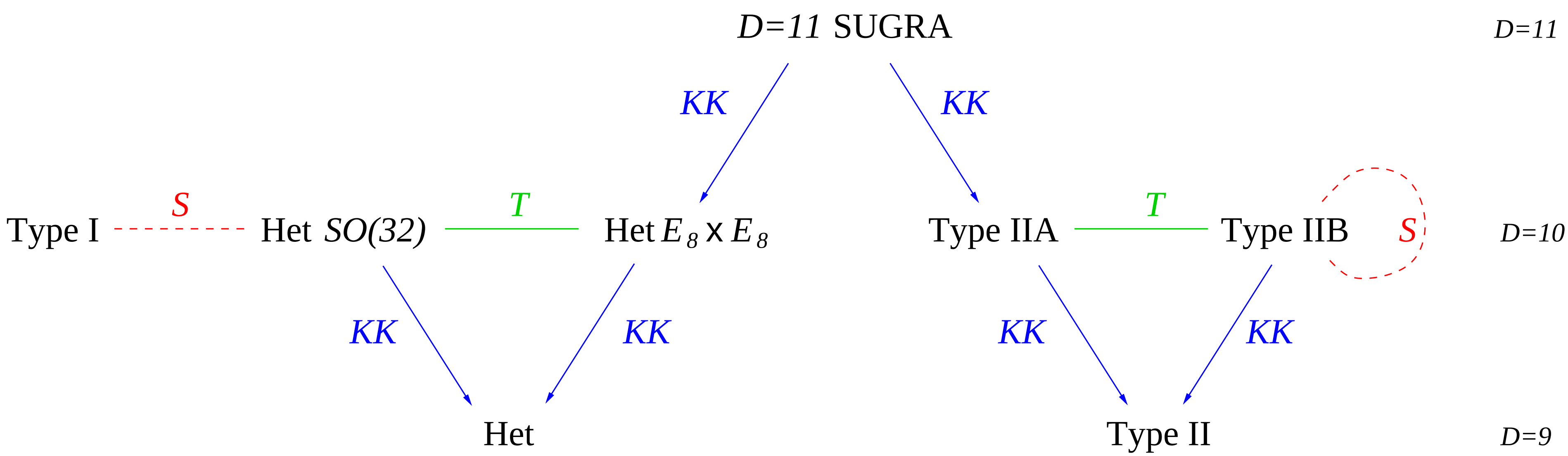
Reducción dimensional: Compactificación Kaluza-Klein

T-dualidad: Simetrías del espectro de cuerdas moviéndose en espacios duales
Relaciones entre campos de (diferentes) supergravedad(es)

S-dualidad: Simetría entre régimen de acoplo debil y fuerte

2.2. Dualidades

Estas dualidades se ven también a nivel de supergravedad

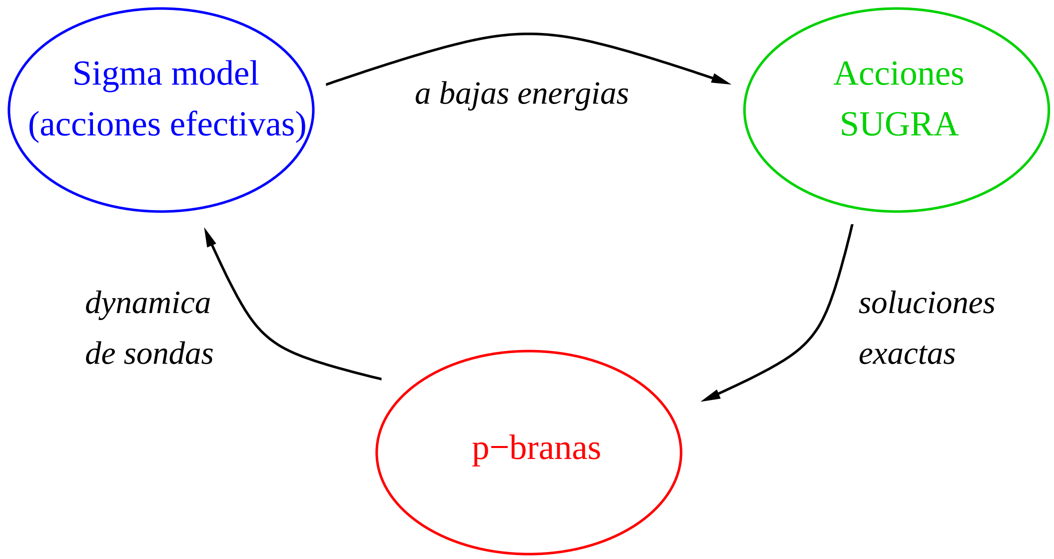


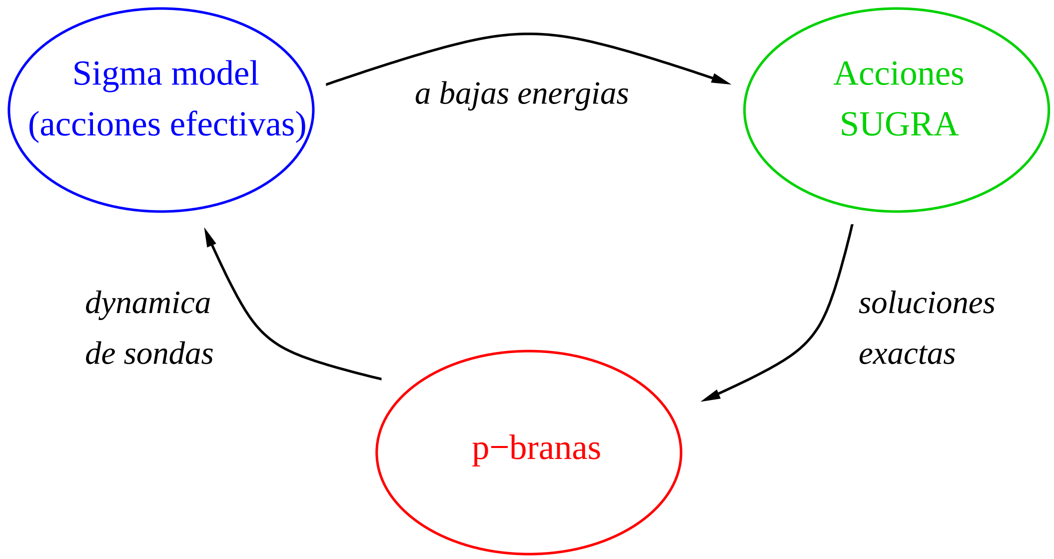
Reducción dimensional: Compactificación Kaluza-Klein

T-dualidad: Simetrías del espectro de cuerdas moviéndose en espacios duales
Relaciones entre campos de (diferentes) supergravedad(es)

S-dualidad: Simetría entre régimen de acoplo debil y fuerte

$\longrightarrow$ Tesis: comprobar dualidades en SUGRA, soluciones y acciones efectivas


Sigma model
(acciones efectivas)
a bajas energias
Acciones
SUGRA
dynamica
de sondas
soluciones
exactas
p−branas



Ejemplo pedagógioco: teoría Einstein-Maxwell

SUGRA: $S = \int d^4x \sqrt{|g|} \Big[R \ - \ \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \Big]$

Solución: $ds^2 = (1 - \frac{2M}{r} + \frac{e^2}{r^2}) dt^2 - (1 - \frac{2M}{r} + \frac{e^2}{r^2})^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2$

$A_t = \frac{e}{r}$ (Reissner-Nordström)

Acción efectiva: $S = m_0 \int d\tau \ g_{\mu\nu} \dot{x}^\mu(\tau) \dot{x}^\nu(\tau) \ + \ e \int d\tau \ A_\mu \dot{x}^\mu(\tau)$

(partícula cargada)

Teoría de cuerdas:

SUGRA:	Teorías con más campos en dimensiones más altas
Solución:	Objetos extendidos, cargados bajos otros campos
	$\longrightarrow$ p-branas
Acción efectiva:	Non-linear sigma models para objetos extendidos

Teoría de cuerdas:

SUGRA: Teorías con más campos en dimensiones más altas

Solución: Objetos extendidos, cargados bajos otros campos

$\longrightarrow$ p-branas

Acción efectiva: Non-linear sigma models para objetos extendidos

Ejemplo:

SUGRA: $S = \int d^{10}x \sqrt{|g|} e^{-2\phi} \Big[R - 4\partial_\mu \phi \partial^\mu \phi + \frac{1}{12} H_{\mu\nu\rho} H^{\mu\nu\rho} \Big]$

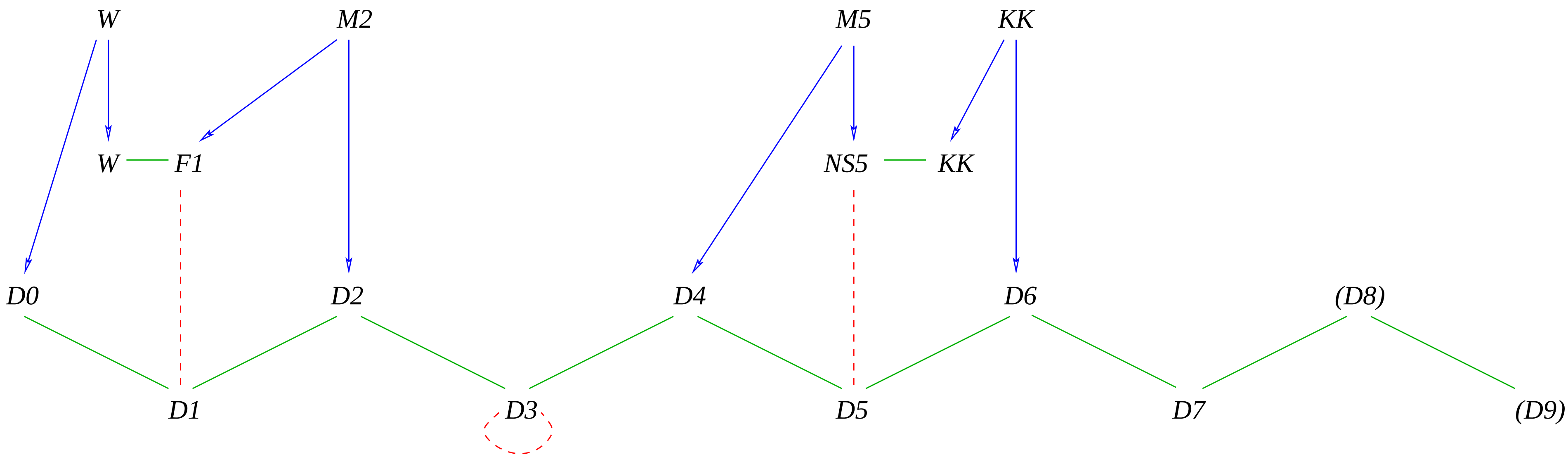
Solución: $ds^2 = H{-}1(r)(dt^2 - dx^2) - (dr^2 + r^2 d\Omega_8^2)$

$e^{-2\phi} = H(r) \qquad B_{tx} = H^{-1}(r)$

Acción efectiva: $S = T_0 \int d^2\sigma \sqrt{|\gamma|} \gamma^{ab} g_{\mu\nu} \partial_a X^\mu \partial_b X^\nu$

$+ T_0 \int d^2\sigma \, \varepsilon^{ab} B_{\mu\nu} \partial_a X^\mu \partial_b X^\nu$

$\longrightarrow$ dualidades deberían funcionar en cada sector!



Si acciones de SUGRA son duales a acciones

$\Longrightarrow$ Soluciones exactas son duales a soluciones exactas

$\Longrightarrow$ Acciones efectivas son duales a acciones efectivas

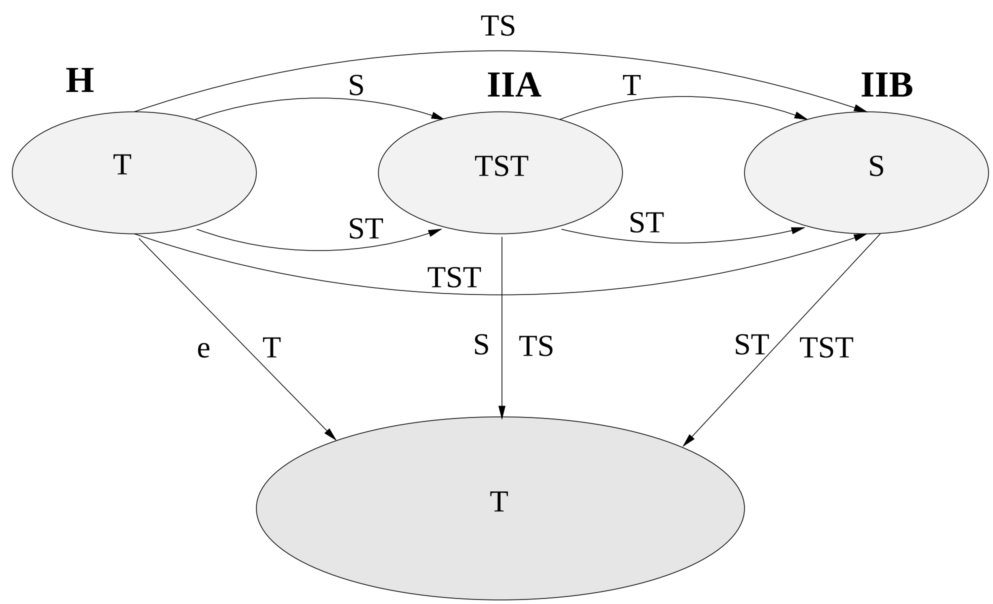
- Bergshoeff, Janssen, Ortín; hep-th/9506156
  - T-dualidad de $D = 10$ $N = 1$ SUGRA con vectores (no) Abelianos
  - Reglas de Busscher a través de reducción dimensional
  - Estructura de grupo $O(2, 1)$ de T-dualidad

$\longrightarrow$ Base para Bergshoeff, Hull, Ortín; hep-th/9504081.

- Bergshoeff, Janssen, Ortín; hep-th/9506156
  - T-dualidad de $D = 10$ $N = 1$ SUGRA con vectores (no) Abelianos
  - Reglas de Busscher a través de reducción dimensional
  - Estructura de grupo $O(2, 1)$ de T-dualidad

$\longrightarrow$ Base para Bergshoeff, Hull, Ortín; hep-th/9504081.

- Behrndt, Bergshoeff, Janssen; hep-th/9512152
  Janssen, hep-th/0105016
  T- y S-dual entre Tipo IIA, Tipo IIB y Heterótica en $D = 6$ + caso masivo

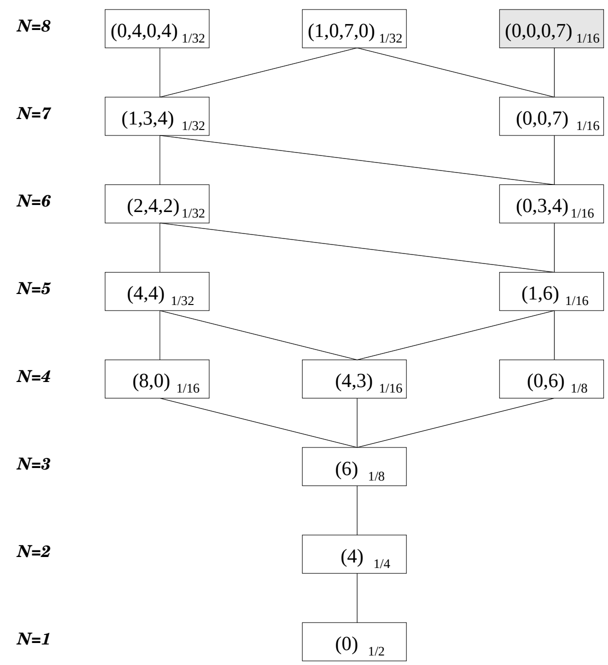


- Behrndt, Bergshoeff, Janssen; hep-th/9604168
  Bergshoeff, de Roo, Eyras, Janssen, v.d. Schaar, hep-th/9612095
  Bergshoeff, de Roo, Eyras, Janssen, v.d. Schaar, hep-th/9704120

  - Intersecciones de pares de D-branas
  - Multiples intersecciones de D-branas (M-branas)
  - Intersecciones de D-branas (M-branas) con W y KK

$$\left\{ \begin{array}{c|ccccccccc} \times & \times & \times & \times & \times & \times & - & - & - & - \\ \times & \times & - & - & - & - & - & - & - & - \end{array} \right.$$

$$\underbrace{\qquad\qquad}_{x_i} \quad \underbrace{\qquad\qquad\qquad\qquad}_{x_a} \quad \underbrace{\qquad\qquad\qquad\qquad}_{x_m}$$



- Bergshoeff, Janssen, Ortín; hep-th/9706117
  Janssen, Fortschr. Phys 47 (1999) 201 (proc.)

  Construccion de una acción efectiva para el monopolo de KK en $D = 11$

  Problema: dirección Taub-NUT es una isometría

  $\longrightarrow$ no es grado de libertad físico: Gauged sigma model!

• Bergshoeff, Janssen, Ortín; hep-th/9706117

Janssen, Fortschr. Phys 47 (1999) 201 (proc.)

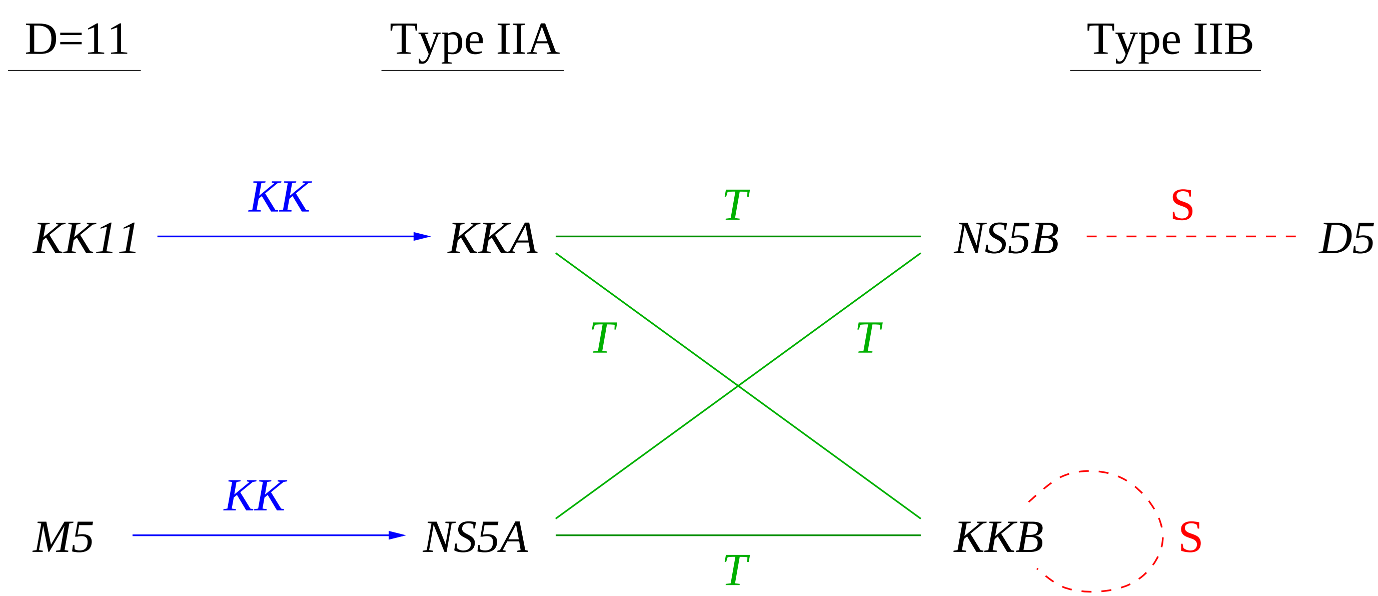
Construccion de una acción efectiva para el monopolo de KK en $D = 11$

Problema: dirección Taub-NUT es una isometría

$\longrightarrow$ no es grado de libertad físico: Gauged sigma model!

• Eyras, Janssen, Lozano; hep-th/9806169

Acción efectiva para KK y NS5 en Tipo IIB



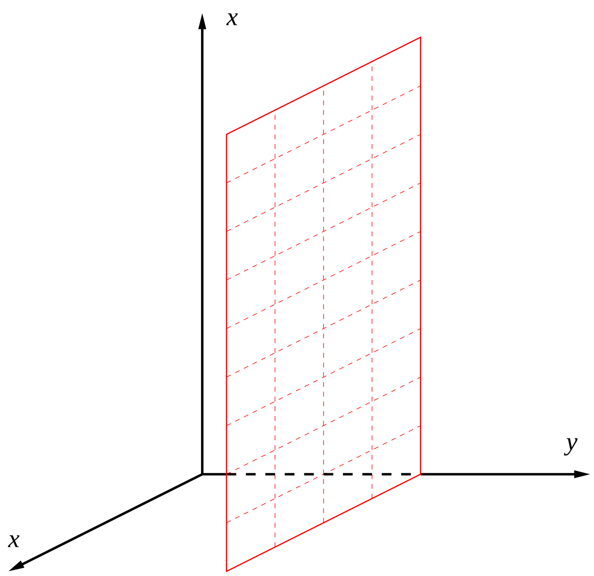
2.3. Construcción de soluciones

p-branas son objetos fundamentales de teoría de cuerdas
objetos solitónicos en supergravedad

$$S = \int d^D x \sqrt{|g|} e^{-2\phi} \Big[R \; + \; \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi \; + \; e^{a\phi} \; F_{\mu_1 \ldots \mu_p} F^{\mu_1 \ldots \mu_p} \Big]$$

$$ds^2 = H^\alpha(y) \eta_{mn} dx^m dx^n - H^\beta(y) \delta_{ij} dy^i dy^j$$

$$e^{-2\phi} = H^\gamma(y), \qquad\qquad F_{m_1 \ldots m_{p-1} i} = \varepsilon_{m_1 \ldots m_{p-1}} \partial_i H^{-1}(y)$$



- Objetos planos extendidos
- Carga eléctrica y/o magnética bajo $F_{\mu_1 \ldots \mu_p}$
- Preservan una parte (1/2) de supersimetría

$\longrightarrow$ Generalizaciones?

- Janssen, Meessen, Ortín; hep-th/9901078

  Soluciones de p-branas en Tipo mIIA:

  $\longrightarrow$ modificadas para F1 y D6

  intersecciones Dp-D8 para las demás

- Janssen, Meessen, Ortín; hep-th/9901078

  Soluciones de p-branas en Tipo mIIA:

  $\longrightarrow$ modificadas para F1 y D6

  intersecciones Dp-D8 para las demás

- Janssen; hep-th/9910077

  generalizaciones a p-branas curvas

  $\longrightarrow$ geometría Ricci-plano ($\tilde{R}_{mn} = 0$)

- Janssen, Meessen, Ortín; hep-th/9901078

  Soluciones de p-branas en Tipo mIIA:

  $\longrightarrow$ modificadas para F1 y D6

  intersecciones Dp-D8 para las demás

- Janssen; hep-th/9910077

  generalizaciones a p-branas curvas

  $\longrightarrow$ geometría Ricci-plano ($\tilde{R}_{mn} = 0$)

- Gómez, Janssen, Silva; hep-th/0002042

  Gómez, Janssen, Silva; hep-th/0003002

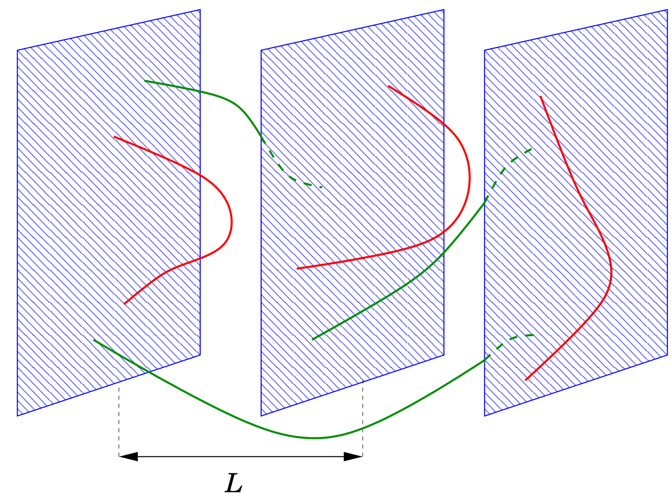
  Alonso-Alberca, Janssen, Silva; hep-th/0005116

  generalizaciones de Randall-Sundrum a

  - caso dilatónico
  - caso de Schwarzschild-AdS
  - caso dilatónico con branas curvas

2.4. El efecto dieléctrico

N D-branas coincidentes son muy distintos a N D-branas paralelas [Witten '96]



cuerda atada a la misma brana: $m \sim 0$

cuerda tendida entre distintas branas: $m \sim L$

cuando $L \rightarrow 0$:

$\Longrightarrow N + N(N-1) = N^2$ grados de libertad

$\Longrightarrow U(1)^N \rightarrow U(N)$ aumento de simetría gauge

2.4. El efecto dieléctrico

N D-branas coincidentes son muy distintos a N D-branas paralelas [Witten '96]

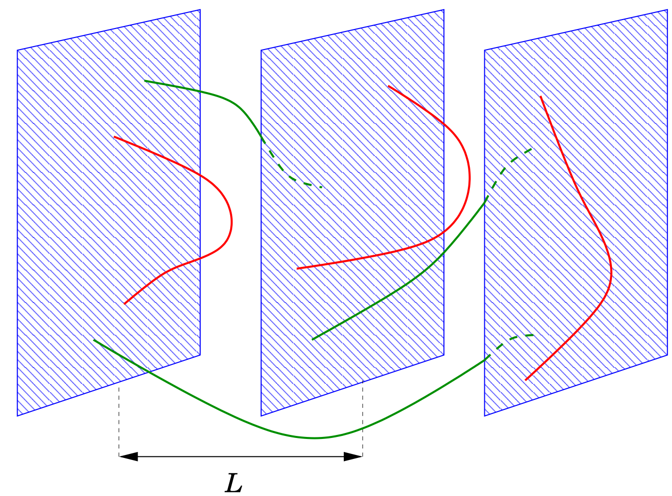
cuerda atada a la misma brana: $m \sim 0$

cuerda tendida entre distintas branas: $m \sim L$

cuando $L \to 0$:

$\Longrightarrow N + N(N-1) = N^2$ grados de libertad

$\Longrightarrow U(1)^N \to U(N)$ aumento de simetría gauge



Extra grados de libertad y simetrías no abelianas (matriciales)

$\Longrightarrow$ dinámica diferente

$\Longrightarrow$ modificaciones en la acción de world volume

2.4. El efecto dieléctrico

N D-branas coincidentes son muy distintos a N D-branas paralelas [Witten '96]

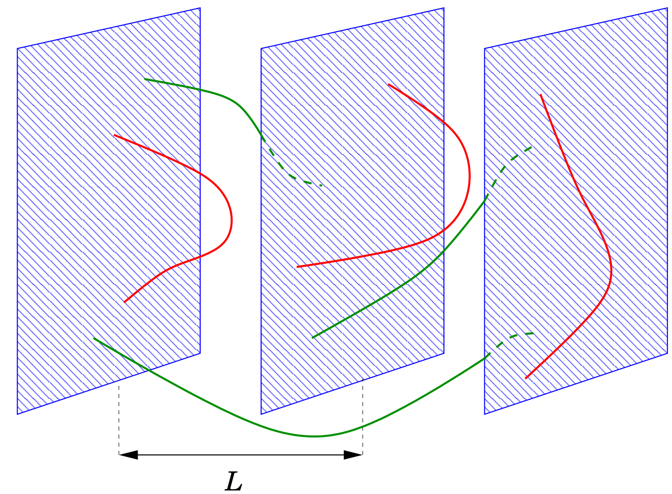
cuerda atada a la misma brana: $m \sim 0$

cuerda tendida entre distintas branas: $m \sim L$

cuando $L \rightarrow 0$:

$\Longrightarrow N + N(N-1) = N^2$ grados de libertad

$\Longrightarrow U(1)^N \rightarrow U(N)$ aumento de simetría gauge



Extra grados de libertad y simetrías no abelianas (matriciales)

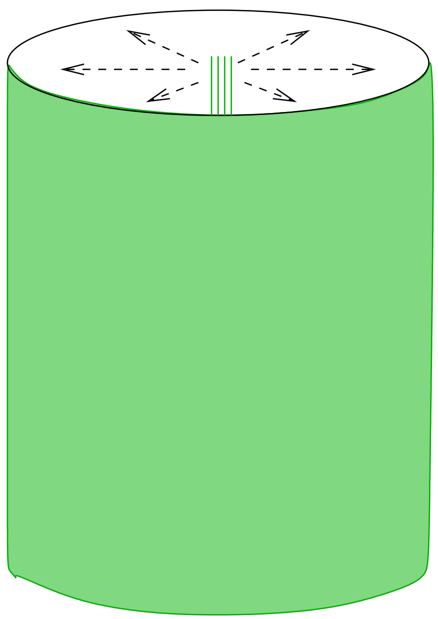
$\Longrightarrow$ dinámica diferente

$\Longrightarrow$ modificaciones en la acción de world volume

Extra acoplos no-abelianos: [Myers '99]

$$S \sim \int d^p\sigma \, [X^\mu, X^\nu] C_{\mu\nu\rho_1\ldots\rho_p} D_{a_1} X^{\rho_1} \ldots D_{a_p} X^{\rho_p} \;\; \epsilon^{a_1\ldots a_p}$$

Nuevos acoplos son multipolares: configuraciones expandidas estables



$$(X^1)^2 + (X^2)^2 + (X^3)^3 = R^2$$

con $[X^i, X^j] = \frac{2iR}{\sqrt{N^2-1}} \epsilon^{ijk} X^k$

$\longrightarrow$ geometría borrosa

Descripción microscópica: N D1's expandiendo a D3 dieléctrica

Descripción macroscópica: D3 esférica con N D1's dissuelto

$\longrightarrow$ descripciones complementarias, que concuerdan para $N \rightarrow \infty$

Efecto dieléctrico tiene aplicaciones en:

enhançons, gauge-gravity duals, matrix models en backgrounds no triviales, gravitones gigantes, Wilson lines, ...

- Janssen, Meessen; hep-th/0009025

  Misma derivación que Myers, para D-branas no BPS

  $\longrightarrow$ acoplos no abelianos con el taquión

• Janssen, Meessen; hep-th/0009025

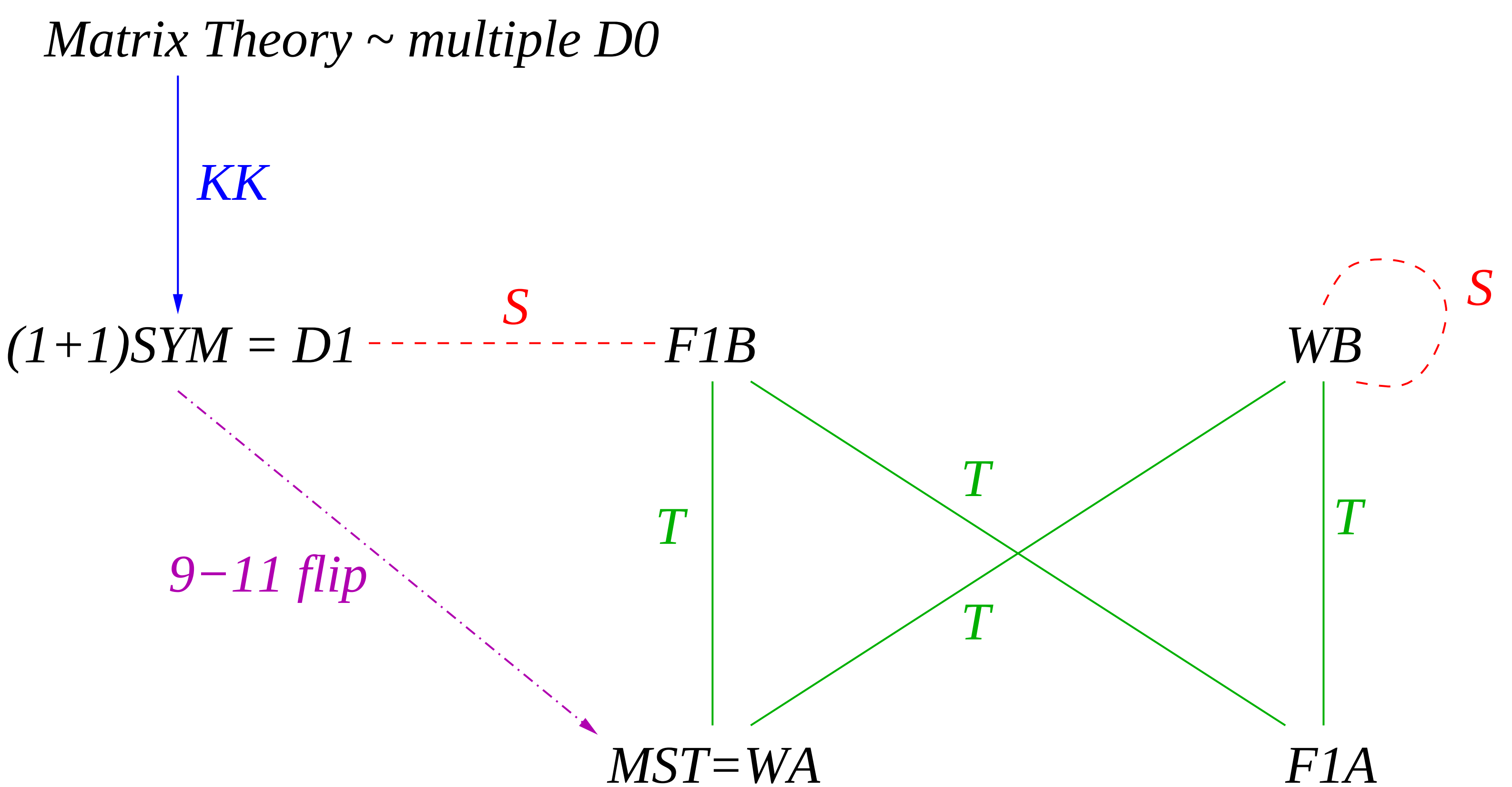
Misma derivación que Myers, para D-branas no BPS

$\longrightarrow$ acoplos no abelianos con el taquión

• Brecher, Janssen, Lozano; hep-th/0112180

Brecher, Janssen, Lozano; hep-th/0201107 (proc.)

Janssen, Lozano; hep-th/0205254



- J. Adam, J. Gheerardyn, B. Janssen, Y. Lozano;hep-th/0312264.
  J. Adam, J. Gheerardyn, B. Janssen, Y. Lozano; hep-th/0501206. (proc)
  J. Adam, I. A. Illán, B. Janssen; hep-th/0507198.

Invariancia gauge de las acciones efectivas no-abelianas:

- bajo simetría $U(N)$: trivial
- bajo transf gauge de campos R-R
- bajo transf gauge masivas en mIIA

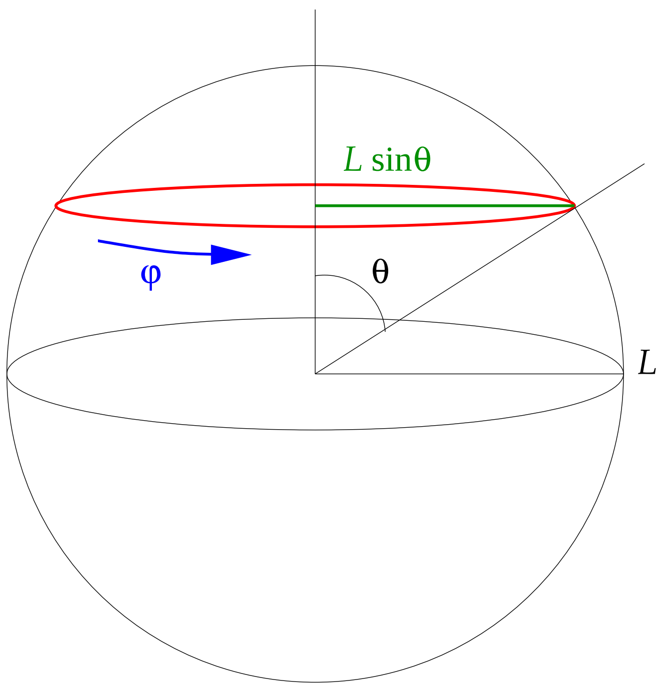
$\longrightarrow$ problema realmente resulto en J. Adam, hep-th/0511191

- bajo transf gauge NS-NS: $\delta X^\mu = i\Sigma_\rho[X^\rho, X^\mu]$

$\longrightarrow$ trabajo extendido por Jesús Montero y Airam Marcos

2.5. Gravitones gigantes

$(n-2)$-brana enroscada en $AdS_m \times S^n$, con momento en dirección angular



$$E = \frac{P_\phi}{L}\sqrt{1 + \tan^2\theta \left(1 - \frac{\tilde{N}}{P_\phi}\sin^{n-3}\theta\right)^2}$$

Minima: $\sin\theta = 0$: Pointlike graviton

$\sin\theta = (\frac{P_\phi}{\tilde{N}})^{\frac{1}{n-3}}$: Giant graviton

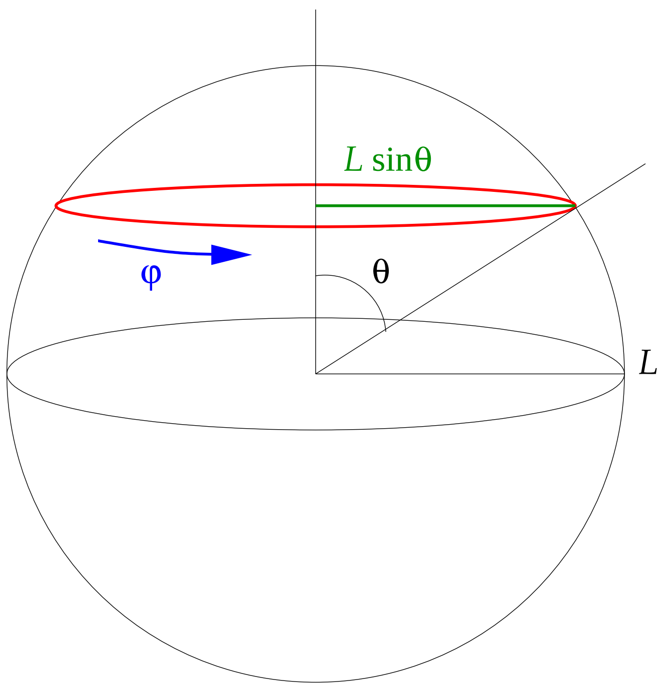
Energy: $E(\text{minimum}) = \frac{P_\phi}{L}$

[McGreevy, Susskind, Toumbas]

Construidos como realización de Stringy Exclusion Principle

2.5. Gravitones gigantes

$(n-2)$-brana enroscada en $AdS_m \times S^n$, con momento en dirección angular



$$E = \frac{P_\phi}{L}\sqrt{1+\tan^2\theta\left(1-\frac{\tilde{N}}{P_\phi}\sin^{n-3}\theta\right)^2}$$

Minima: $\sin\theta = 0$: Pointlike graviton

$\sin\theta = (\frac{P_\phi}{\tilde{N}})^{\frac{1}{n-3}}$: Giant graviton

Energy: $E(\text{minimum}) = \frac{P_\phi}{L}$

[McGreevy, Susskind, Toumbas]

Construidos como realización de Stringy Exclusion Principle

Relación con efecto dieléctrico?

Descripción macroscópico de ondas gravitacionales dieléctricas?

- Janssen, Lozano; hep-th/0207199.
  Janssen, Lozano; hep-th/0212257. (proc.)

  Ondas gravitacionales expandiendo a $M2$ en $AdS_7 \times S^4$

  $\longrightarrow$ Concuerda con graviton gigante para $N \rightarrow \infty$

- Janssen, Lozano; hep-th/0207199.
  Janssen, Lozano; hep-th/0212257. (proc.)

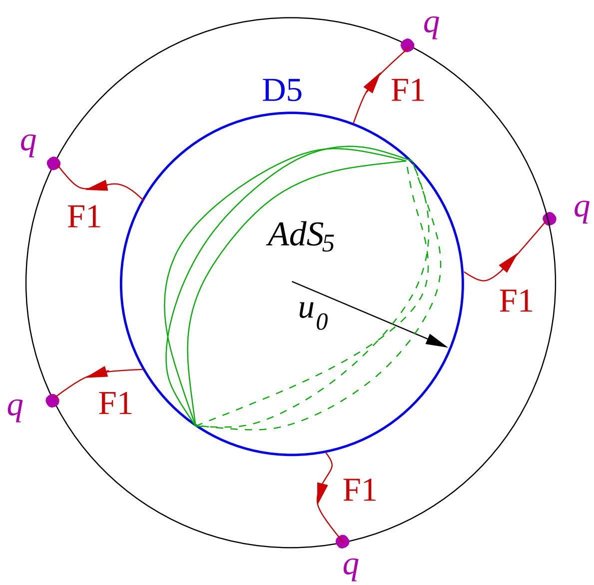
  Ondas gravitacionales expandiendo a $M2$ en $AdS_7 \times S^4$

  $\longrightarrow$ Concuerda con graviton gigante para $N \to \infty$

- Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0303183.
  Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0406148.
  Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0411181.
  Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0412037. (proc.)

  - $AdS_5 \times S^5$: $W \to D3$ con $S^3_{fuzzy} \simeq S^2_{fuzzy} \ltimes S^1$
  - $AdS_3 \times S^3 \times T^4$: $W \to D1$ con $S^1 \subset T^2_{fuzzy} = S^1 \times \mathbb{R}$
  - $AdS_4 \times S^7$: $W \to M5$ con $S^5_{fuzzy} \simeq CP^2{}_{fuzzy} \ltimes S^1$

- Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0606264.
  Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0701151. (proc.)



Vértice bariónico en AdS/CFT: $D5$ enroscada en S^5 con N $F1$'s tendidas entre $D5$ y la frontera

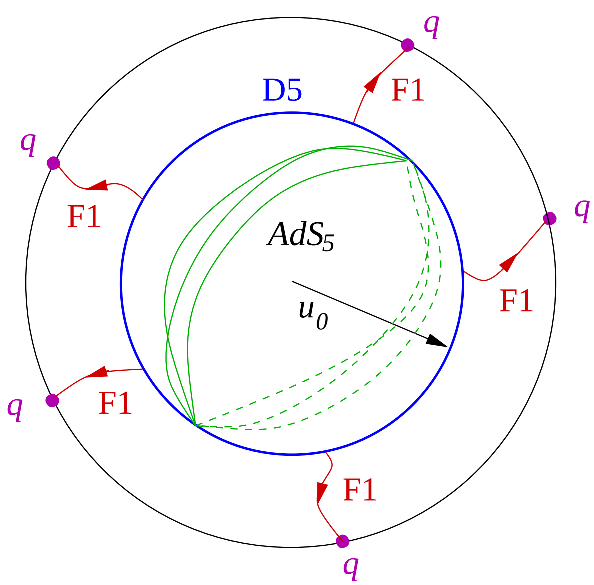
[Witten '98]

- añadir flujo magnético $\simeq$ disolver $n\ D1$
- descripción microscópica:

$$n\ D1 \longrightarrow S^5_{fuzzy} \simeq CP^2_{fuzzy} \ltimes S^1$$

- Cota sobre n: $\quad 0 \leq \frac{n}{N} \leq \frac{3}{8\pi}$

- Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0606264.
  Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; hep-th/0701151. (proc.)



Vértice bariónico en AdS/CFT: $D5$ enroscada en S^5 con N $F1$'s tendidas entre $D5$ y la frontera

[Witten '98]

- añadir flujo magnético $\simeq$ disolver $n\ D1$
- descripción microscópica:
  $$n\ D1 \longrightarrow S^5_{fuzzy} \simeq CP^2_{fuzzy} \ltimes S^1$$
- Cota sobre n: $\quad 0 \leq \frac{n}{N} \leq \frac{3}{8\pi}$

- Janssen, Lozano Rodríguez-Gómez; arXiv:0704.1438.
  W expanden a $S^5_{fuzzy} \simeq CP^2_{fuzzy} \ltimes S^1$ en $AdS_5 \times S^5$
  $\longrightarrow$ configuración sin masa, topológicamente estable
  $\longrightarrow$ Monopolo de Kaluza-Klein como graviton gigante topológico
  $\longrightarrow$ concuerdan descripciones microsc y macrosc

2.6. Miscelanea

- E. Bergshoeff, M. de Roo, B. Janssen, T. Ortín; hep-th/9901055
  Diferentes truncaciones de D9-brana dan distintos $N = 1$ supersimetría.

2.6. Miscelanea

- E. Bergshoeff, M. de Roo, B. Janssen, T. Ortín; hep-th/9901055
  Diferentes truncaciones de D9-brana dan distintos $N = 1$ supersimetría.

- J. Gheerardyn, B. Janssen, hep-th/0301184.
  Rotura de supersimetría en worldvolumen de D2 con reduc. dim. de la M2

2.6. Miscelanea

- E. Bergshoeff, M. de Roo, B. Janssen, T. Ortín; hep-th/9901055
  Diferentes truncaciones de D9-brana dan distintos $N = 1$ supersimetría.

- J. Gheerardyn, B. Janssen, hep-th/0301184.
  Rotura de supersimetría en worldvolumen de D2 con reduc. dim. de la M2

- B. Janssen, P. Smyth, T. Van Riet, B. Vercnocke; arXiv:0712.2808
  Calcular cuota BPS para p-branas no-extremales

2.6. Miscelanea

- E. Bergshoeff, M. de Roo, B. Janssen, T. Ortín; hep-th/9901055
  Diferentes truncaciones de D9-brana dan distintos $N = 1$ supersimetría.

- J. Gheerardyn, B. Janssen, hep-th/0301184.
  Rotura de supersimetría en worldvolumen de D2 con reduc. dim. de la M2

- B. Janssen, P. Smyth, T. Van Riet, B. Vercnocke; arXiv:0712.2808
  Calcular cuota BPS para p-branas no-extremales

- M. Borunda, B. Janssen and M. Bastero-Gil; arXiv:0804.4440
  M. Bastero-Gil, M. Borunda, B. Janssen; arXiv:0901.1590 (proc.)
  Formalismo Palatini en gravedad con curvatura de orden más alta funciona para Lovelock gravity.

Posibles futuros proyectos

- Álgebra de transformaciones gauge y difeomorfismos no-abelianos

$$\delta X^\mu = i[\chi, X^\mu] \qquad \delta X^\mu = i\Sigma_\rho [X^\rho, X^\mu] \qquad \delta X^\mu = \xi^\mu(X)?$$

- Reducción dimensional sobre variedades de grupos
  - Compactificaciones con de Sitter?
  - T-dualidad generalizada y backgrounds no-geométricos
  - ...

- Libro de Relatividad General

II. Perfil docente

Mecánica Teórica (troncal de 4º de Física)

3. Mecánica Analítica dentro de la física

El *Principia* de Newton (1642-1727) es probablemente el libro más influencial de todo la historia de la física:

- descripción unificada: tres leyes de movimiento & gravedad universal explican movimientos terrestres y celestes
- planteamiento sistemático y matemático: solidez anteriormente desconocida

3. Mecánica Analítica dentro de la física

El *Principia* de Newton (1642-1727) es probablemente el libro más influencial de todo la historia de la física:

- descripción unificada: tres leyes de movimiento & gravedad universal explican movimientos terrestres y celestes
- planteamiento sistemático y matemático: solidez anteriormente desconocida

Pero:

- Problemas estéticos: rigor matemático de las demostraciones (figuras), definición circular en $\vec{F} = m\vec{a}$, ...
- Problemas prácticos: $\vec{F} = m\vec{a}$ es inservible si no todas las $\vec{F}$ son conocidas.
  Ejemplo: fuerzas de rozamiento, fuerzas de ligaduras, ... son dificilmente cuantificables

Lagrange (1736 - 1813): *Mécanique Analitique*

"Ya hay varios Tratados sobre la Mécanica, pero el planteamiento de este es completamente nuevo. Me propongo reducir la teoría de esta Ciencia & el arte de resolver los problemas que allí aparecen a fórmulas generales donde el simple desarrollo da todas las ecuaciones necesarias para la solución de cada problema.
[...]
No se encontrará ninguna Figura en esta Obra. Los métodos que expongo en ello no necesitan ni construcciones, ni razonamientos geométricos o mecánicos, sino solamente operaciones algebráicas, sometidas a un paso regular & uniforme. Los amantes del Análisis verán con placer convertirse la Mecánica en una nueva rama, & me serán agradecidos de haber entendido así el campo."

Ecuación de Euler-Lagrange:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}^\alpha}\right) - \left(\frac{\partial T}{\partial q^\alpha}\right) - Q^\alpha = 0$$

- Base matemática solida para la mecánica
- Primer paso en desarrolo de otros formalismos: Hamilton, Poisson, Jacobi, ...
- Bases de la física moderna:
  formalismo lagrangiano $\longrightarrow$ teoría (relativista) de campos
  formalismo hamiltoniano $\longrightarrow$ primera cuantización
  corchetes de Poisson $\longrightarrow$ conmutadores en mecámica cuántica
  mínima acción $\longrightarrow$ integrales de camino

- Base matemática solida para la mecánica
- Primer paso en desarrolo de otros formalismos: Hamilton, Poisson, Jacobi, ...
- Bases de la física moderna:
  formalismo lagrangiano $\longrightarrow$ teoría (relativista) de campos
  formalismo hamiltoniano $\longrightarrow$ primera cuantización
  corchetes de Poisson $\longrightarrow$ conmutadores en mecámica cuántica
  mínima acción $\longrightarrow$ integrales de camino

Objetivos pedagógicos de mecánica analítica:

- desarrollar intuición física-matemática: métodos matemáticos para descibir física clásica
- fomentar una visión global de la física: tecnicas y formalismos que vuelven en varias ramas de la física.

4. La asignatura de Mecánica Teórica

Nombre de la asignatura:	MECÁNICA TEÓRICA
Nivel:	Grado
Plan de estudios:	Licenciatura de Física
Tipo:	Troncal
Año en que se programa:	4^o
Calendario (semestre):	Cuatrimestral (primero)
Créditos teóricos y prácticos:	4 + 2 (= 60 h. lect. = 150 - 180 h. trabajo)
Descriptores:	Mecánica analítica.
	Formalismo lagrangiano y hamiltoniano.
	Sistemas mecánicos y continuos.

Actividad	**Presenciales**	**No presenciales**	**Total**
Clases teóricas	40	50	90
Clases de problemas	20	40	60
Tutorías	6	5	11
Seminarios	2	3	5
Examen	4	-	4
Total	72	98	170

- *Clases teóricas:* Sesiones donde se explica el contenido teórico.
- *Clases de problemas:* Sesiones donde se resuelven problemas y ejercicios.
- *Seminarios:* Exposiciones por parte de los alumnos de 20 minutos, en que presentan un tema relacionado con el temario (voluntario).
- *Tutorías:* Consultas individuales o en grupos reducidos. Presentación de ejercicios que suman 2 puntos a la nota final.
- *Examen:* Resolver problemas del tipo tratados en clase de problemas.

Prerrequisitos:

Física: las leyes de Newton, la conservación de la energía, el momento lineal y el momento angular, el sistema de varios cuerpos, los formalismos lagrangiano y hamiltoniano (básico), el principio de la relatividad, la mecánica relativista (básica), las leyes de Maxwell, los potenciales elctromagnéticos, la conservación de la carga.

Matemáticas: álgebra lineal, espacios vectoriales, autovalores y autovectores, análisis de una y multiples variables, ecuaciones diferenciales.

- *Fundamentos de la Física I* (obligatoria anual de primero)
- *Mecánica y ondas* (troncal anual de segundo)
- *Métodos Matemáticos de la Física I & II* (troncales cuatrimestrales de primero)
- *Métodos Matemáticos de la Física IV* (troncal anual de segundo)

5. Temario

1. **Repaso de la mecánica newtoniana** (2 horas)
   $\longrightarrow$ Repaso y exposición de la notación

5. Temario

1. **Repaso de la mecánica newtoniana** (2 horas)
   $\longrightarrow$ Repaso y exposición de la notación

   a) $\mathbb{R}^N$ como espacio vectorial y las transformaciones ortogonales
   $\longrightarrow$ estructura de especio vectorial y invariancia de la base ortonormal y la métrica euclidea bajo el grupo $O(N)$

   b) Coordenadas curvilíneas
   $\longrightarrow$ conexión de Levi-Civita;
   operadores diferenciales en coord curvas

5. Temario

1. **Repaso de la mecánica newtoniana** (2 horas)

   $\longrightarrow$ Repaso y exposición de la notación

   a) $\mathbb{R}^N$ como espacio vectorial y las transformaciones ortogonales

   $\longrightarrow$ estructura de especio vectorial y invariancia de la base ortonormal y la métrica euclidea bajo el grupo $O(N)$

   b) Coordenadas curvilíneas

   $\longrightarrow$ conexión de Levi-Civita;
   operadores diferenciales en coord curvas

   c) Mecánica de una sola partícula

   $\longrightarrow$ momento lineal, angular, trabajo, energía cinética y potencial, ...

   d) Mecánica de N partículas

   $\longrightarrow$ descomposición en parte interna y centro de masa

2. **Formalismo lagrangiano** (4 horas)

   a) Ligaduras y coordenadas generalizadas

   b) El principio de trabajo virtual y las ecuaciones de Lagrange

   c) Ejemplos concretos
   $\longrightarrow$ partícula puntual en potencial (equivalencia con Newton)
   péndulo simple, máquina de Atwood, partícula en una esfera

2. **Formalismo lagrangiano** (4 horas)

   a) Ligaduras y coordenadas generalizadas

   b) El principio de trabajo virtual y las ecuaciones de Lagrange

   c) Ejemplos concretos
   $\longrightarrow$ partícula puntual en potencial (equivalencia con Newton)
   péndulo simple, máquina de Atwood, partícula en una esfera

   d) El principio de mínima acción
   $\longrightarrow$ repaso del calculo variacional
   importancia histórica: Maupertuis, Snell, Feynman

2. **Formalismo lagrangiano** (4 horas)

   a) Ligaduras y coordenadas generalizadas

   b) El principio de trabajo virtual y las ecuaciones de Lagrange

   c) Ejemplos concretos
   $\longrightarrow$ partícula puntual en potencial (equivalencia con Newton)
   péndulo simple, máquina de Atwood, partícula en una esfera

   d) El principio de mínima acción
   $\longrightarrow$ repaso del calculo variacional
   importancia histórica: Maupertuis, Snell, Feynman

   e) Interpretación y propiedades del lagrangiano
   $\longrightarrow$ cantidades conservadas
   interpretación de geodésica en espacio de configuraciones

3. **Formalismo hamiltoniano** (4 horas)
$\longrightarrow$ formalmente equivalente a lagrangiano
ventaja: abre pasos a otros formalismos

3. **Formalismo hamiltoniano** (4 horas)
$\longrightarrow$ formalmente equivalente a lagrangiano
ventaja: abre pasos a otros formalismos

a) La transformada de Legendre
$\longrightarrow$ importancia en termodinámica

3. **Formalismo hamiltoniano** (4 horas)
$\longrightarrow$ formalmente equivalente a lagrangiano
ventaja: abre pasos a otros formalismos

a) La transformada de Legendre
$\longrightarrow$ importancia en termodinámica

b) Las ecuaciones de Hamilton

c) Curvas integrales en el espacio de fase

d) Ejemplos concretos
$\longrightarrow$ partícula en potencial (equivalencia con Newton)
oscilador armónico y pendulo matemático

3. **Formalismo hamiltoniano** (4 horas)
$\longrightarrow$ formalmente equivalente a lagrangiano
ventaja: abre pasos a otros formalismos

a) La transformada de Legendre
$\longrightarrow$ importancia en termodinámica

b) Las ecuaciones de Hamilton

c) Curvas integrales en el espacio de fase

d) Ejemplos concretos
$\longrightarrow$ partícula en potencial (equivalencia con Newton)
oscilador armónico y pendulo matemático

e) Interpretación y cantidades conservadas
$\longrightarrow$ Hamiltoniano = energia total del sistema si ligaduras constantes
Coordenadas cíclicas; formalismo de Routh

Corchetes de Poisson, Hamilton-Jacobi, ... serán tratados en capítulo 7.

4. **Potenciales centrales** (4 horas)

$\longrightarrow$ mecánica celeste, fisica atómica, teoría de dispersión, ...

4. **Potenciales centrales** (4 horas)

$\longrightarrow$ mecánica celeste, fisica atómica, teoría de dispersión, ...

a) Reducción del problema de dos cuerpos

$\longrightarrow$ problema original de Newton

cantidades conservadas: centro de masa & sistema interno

4. **Potenciales centrales** (4 horas)

$\longrightarrow$ mecánica celeste, fisica atómica, teoría de dispersión, ...

a) Reducción del problema de dos cuerpos

$\longrightarrow$ problema original de Newton

cantidades conservadas: centro de masa & sistema interno

b) Lagrangiano y ecuaciones de movimiento

$\longrightarrow$ Segunda Ley de Kepler, potencial efectivo

c) Estudio cualitativo de las trayectorias

$\longrightarrow$ diferentes potenciales: $1/r^n$, Yukawa, van der Waals, ...

4. **Potenciales centrales** (4 horas)

$\longrightarrow$ mecánica celeste, fisica atómica, teoría de dispersión, ...

a) Reducción del problema de dos cuerpos

$\longrightarrow$ problema original de Newton

cantidades conservadas: centro de masa & sistema interno

b) Lagrangiano y ecuaciones de movimiento

$\longrightarrow$ Segunda Ley de Kepler, potencial efectivo

c) Estudio cualitativo de las trayectorias

$\longrightarrow$ diferentes potenciales: $1/r^n$, Yukawa, van der Waals, ...

d) El problema de Kepler

$\longrightarrow$ importancia histórica y general

soluciones exactas, leyes de Kepler

4. **Potenciales centrales** (4 horas)
$\longrightarrow$ mecánica celeste, fisica atómica, teoría de dispersión, ...

a) Reducción del problema de dos cuerpos
$\longrightarrow$ problema original de Newton
cantidades conservadas: centro de masa & sistema interno

b) Lagrangiano y ecuaciones de movimiento
$\longrightarrow$ Segunda Ley de Kepler, potencial efectivo

c) Estudio cualitativo de las trayectorias
$\longrightarrow$ diferentes potenciales: $1/r^n$, Yukawa, van der Waals, ...

d) El problema de Kepler
$\longrightarrow$ importancia histórica y general
soluciones exactas, leyes de Kepler

e) El vector de Laplace-Runge-Lenz
$\longrightarrow$ derivación el vector conservado
derivación alternativa de trayectorias

5. **Oscilaciones pequeñas** (4 horas)

   a) Oscilaciones armónicas, amortiguadas y forzadas
   $\longrightarrow$ discusión lagrangiano, diagramas de fase

5. **Oscilaciones pequeñas** (4 horas)

   a) Oscilaciones armónicas, amortiguadas y forzadas
   $\longrightarrow$ discusión lagrangiano, diagramas de fase

   b) Aproximación armónica

   c) Lagrangiano y ecuaciones de movimiento de osciladores acoplados
   $\longrightarrow$ problema de autovalores en espacio geométricamente no $\mathbb{R}^N$

   d) Modos normales
   $\longrightarrow$ base ortogonal de moviemientos
   Cfr. formalismo de Heisenberg en Mecánica cuántica

5. **Oscilaciones pequeñas** (4 horas)

a) Oscilaciones armónicas, amortiguadas y forzadas

$\longrightarrow$ discusión lagrangiano, diagramas de fase

b) Aproximación armónica

c) Lagrangiano y ecuaciones de movimiento de osciladores acoplados

$\longrightarrow$ problema de autovalores en espacio geométricamente no $\mathbb{R}^N$

d) Modos normales

$\longrightarrow$ base ortogonal de moviemientos

Cfr. formalismo de Heisenberg en Mecánica cuántica

e) Ejemplos

$\longrightarrow$ péndulo doble, molécula triatómica, cadena de muelles

6. **Cuerpos rígidos** (6 horas)

   a) Ángulos de Euler

   b) El tensor de inercia

   $\longrightarrow$ Ejes principales; simetrías

6. **Cuerpos rígidos** (6 horas)

   a) Ángulos de Euler

   b) El tensor de inercia
   $\longrightarrow$ Ejes principales; simetrías

   c) Lagrangiano del cuerpo rígido

   d) Ejemplos sencillos
   $\longrightarrow$ esfera en campo gravitatorio, péndulo rígido

6. **Cuerpos rígidos** (6 horas)

   a) Ángulos de Euler

   b) El tensor de inercia

   $\longrightarrow$ Ejes principales; simetrías

   c) Lagrangiano del cuerpo rígido

   d) Ejemplos sencillos

   $\longrightarrow$ esfera en campo gravitatorio, péndulo rígido

   e) Rotación alrededor de los ejes principales

   $\longrightarrow$ moviemiento uniforme, estabilidad

6. **Cuerpos rígidos** (6 horas)

a) Ángulos de Euler

b) El tensor de inercia

$\longrightarrow$ Ejes principales; simetrías

c) Lagrangiano del cuerpo rígido

d) Ejemplos sencillos

$\longrightarrow$ esfera en campo gravitatorio, péndulo rígido

e) Rotación alrededor de los ejes principales

$\longrightarrow$ moviemiento uniforme, estabilidad

f) Ejemplo: el giroscopio

$\longrightarrow$ estudio detallado: rotación, precesión, nutación

7. **Formalismo hamiltoniano avanzado** (6 horas)

$\longrightarrow$ continuación del Capítulo 3

7. **Formalismo hamiltoniano avanzado** (6 horas)
$\longrightarrow$ continuación del Capítulo 3

a) Transformaciones canónicas
$\longrightarrow$ simetrías de las ecn de Hamilton: cambio de coord en espacio de fase; funcion generadora, condiciones de canonicidad, ejemplo

7. **Formalismo hamiltoniano avanzado** (6 horas)
$\longrightarrow$ continuación del Capítulo 3

a) Transformaciones canónicas
$\longrightarrow$ simetrías de las ecn de Hamilton: cambio de coord en espacio de fase;
funcion generadora, condiciones de canonicidad, ejemplo

b) Corchetes de Poisson
$\longrightarrow$ formalismo; equivalencia con Hamilton;
invariancia bajo transf canónicas
cantidades conservadas y teorema de Poisson (corchetes de Lie)
ejemplo: momento angular, vector de Laplace-Runge-Lenz

7. **Formalismo hamiltoniano avanzado** (6 horas)
$\longrightarrow$ continuación del Capítulo 3

a) Transformaciones canónicas
$\longrightarrow$ simetrías de las ecn de Hamilton: cambio de coord en espacio de fase;
funcion generadora, condiciones de canonicidad, ejemplo

b) Corchetes de Poisson
$\longrightarrow$ formalismo; equivalencia con Hamilton;
invariancia bajo transf canónicas
cantidades conservadas y teorema de Poisson (corchetes de Lie)
ejemplo: momento angular, vector de Laplace-Runge-Lenz

c) Teorema de Liouville

d) Formalismo de Hamilton-Jacobi
$\longrightarrow$ buscar transf canónica que deja $H = 0$
función principal de Hamilton, separación de variables

$\longrightarrow$ Marcar la relación con formalismos de mecánica cuántica

8. **Relatividad especial** (4 horas)

$\longrightarrow$ formalismo lagrangiano; notación covariante

8. **Relatividad especial** (4 horas)
$\longrightarrow$ formalismo lagrangiano; notación covariante

a) Repaso de la relatividad del tiempo y el espacio
$\longrightarrow$ postulados de Einstein; efectos relativistas

b) Correcciones relativistas a la mecánica newtoniana

8. **Relatividad especial** (4 horas)
$\longrightarrow$ formalismo lagrangiano; notación covariante

a) Repaso de la relatividad del tiempo y el espacio
$\longrightarrow$ postulados de Einstein; efectos relativistas

b) Correcciones relativistas a la mecánica newtoniana

c) Espacio de Minkowski y transformaciones de Lorentz
$\longrightarrow$ cuadrivectores y transf de Lorentz como cambio de base

d) Mecánica relativista en formulación covariante
$\longrightarrow$ formalismo lagrangiano y desventaja del hamiltoniano

9. **Sistemas continuos** (6 horas)

   a) El límite continuo de sistemas discretos

   $\longrightarrow$ cadena de masas y muelles

9. **Sistemas continuos** (6 horas)

   a) El límite continuo de sistemas discretos
   $\longrightarrow$ cadena de masas y muelles

   b) Lagrangiano y hamiltoniano de sistemas continuos
   $\longrightarrow$ derivada funcional, principio de mínima acción
   ecuaciones de Euler-Lagrange y Hamilton

9. **Sistemas continuos** (6 horas)

a) El límite continuo de sistemas discretos

$\longrightarrow$ cadena de masas y muelles

b) Lagrangiano y hamiltoniano de sistemas continuos

$\longrightarrow$ derivada funcional, principio de mínima acción

ecuaciones de Euler-Lagrange y Hamilton

c) Teorema de Noether

$\longrightarrow$ derivación general, ejemplos

d) Ejemplo: Teoría de Maxwell

$\longrightarrow$ lenguaje covariante, lagrangiano

invariancia gauge y conservación de carga

partícula cargada en campo electromagnético

6. Bibliografía

- H. Goldstein, *Classical Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, 1980
- F.R. Gantmájer, *Mecánica analítica*, Ed. URSS, 2003
- L.D. Landau & E.M. Lifshitz, *Mechanics*, Pergamon Press, 1960
- L.D. Landau & E.M. Lifshitz, *Mechanics and Electrodynamics*, Pergamon Press, 1972.

6. Bibliografía

- H. Goldstein, *Classical Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, 1980
- F.R. Gantmájer, *Mecánica analítica*, Ed. URSS, 2003
- L.D. Landau & E.M. Lifshitz, *Mechanics*, Pergamon Press, 1960
- L.D. Landau & E.M. Lifshitz, *Mechanics and Electrodynamics*, Pergamon Press, 1972.

- Varios libros más (véase proyecto docente)
- Varios cursos disponibles en internet (véase proyecto docente)

6. Bibliografía

- H. Goldstein, *Classical Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, 1980
- F.R. Gantmájer, *Mecánica analítica*, Ed. URSS, 2003
- L.D. Landau & E.M. Lifshitz, *Mechanics*, Pergamon Press, 1960
- L.D. Landau & E.M. Lifshitz, *Mechanics and Electrodynamics*, Pergamon Press, 1972.

- Varios libros más (véase proyecto docente)
- Varios cursos disponibles en internet (véase proyecto docente)

- Notas detalladas del profesor
  (véase mis notas de Relatividad General y Mecánica Analítica)

7. Evaluación

- **Examen:** 3 ó 4 problemas, parecidos a los tratados en clase de problemas.
  Libro abierto: evaluar asimilación y compresión
  Examenes anteriores disponibles a través de la página web

7. Evaluación

- **Examen:** 3 ó 4 problemas, parecidos a los tratados en clase de problemas.
  Libro abierto: evaluar asimilación y compresión
  Examenes anteriores disponibles a través de la página web

- **Entrega de problemas:** Resolución de problemas de cálculo en tutorías
  Individual; voluntario; Máximo de 2 puntos
  Fomenta tutorías & proporciona seguimiento de los alumnos

7. Evaluación

- **Examen:** 3 ó 4 problemas, parecidos a los tratados en clase de problemas.
  Libro abierto: evaluar asimilación y compresión
  Examenes anteriores disponibles a través de la página web
- **Entrega de problemas:** Resolución de problemas de cálculo en tutorías
  Individual; voluntario; Máximo de 2 puntos
  Fomenta tutorías & proporciona seguimiento de los alumnos
- **Seminarios:** Exposiciones de temas relacionados con temario
  Voluntario; Máximo de 2 puntos

7. Evaluación

- **Examen:** 3 ó 4 problemas, parecidos a los tratados en clase de problemas.
  Libro abierto: evaluar asimilación y compresión
  Examenes anteriores disponibles a través de la página web
- **Entrega de problemas:** Resolución de problemas de cálculo en tutorías
  Individual; voluntario; Máximo de 2 puntos
  Fomenta tutorías & proporciona seguimiento de los alumnos
- **Seminarios:** Exposiciones de temas relacionados con temario
  Voluntario; Máximo de 2 puntos
- **Evaluación final:** Examen: 80 % (con nota de corte 4/10)
  Seminarios & problemas: 20 %
  Nota necesaria para aprobar: 5/10.

Muchas gracias!