



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

19 septembre 2008
cours de la semaine # 1

Bienvenue au



EPFL - LABORATOIRE
D'ASTROPHYSIQUE

Cours de physique générale

Physique I pour étudiants de première année
en section de mathématiques

Prof. Georges Meylan

Laboratoire d'astrophysique

Site web du laboratoire et du cours :

<http://lastro.epfl.ch>

Cours de physique générale

Physique I pour étudiants de première année
en section de mathématiques

Mécanique et thermodynamique

Cursus de physique générale pour étudiants en section de mathématiques

- 1ère année Physique I et II (84 h de cours)
- Prof. Georges Meylan
 - Mécanique classique (56 h)
semestre d'hiver + 1/2 semestre d'été
 - Thermodynamique (28 h)
1/2 semestre d'été
- 2ème année Physique III et IV (84 h de cours)
- Prof. Minh Quang Tran
 - Physique des fluides, Phénomènes ondulatoires, Électromagnétisme, Physique quantique

Support de cours et bibliographie

- **Le cours se base sur plusieurs sources :**
 - «Mécanique générale» C. Gruber & W. Benoit (disponible aux PPUR et Numilog)
 - Les cours des professeurs J.-P. Ansermet, O. Schneider et J.-J. Meister
- **Transparents du cours ppt :**
 - mis **sur le web** après chaque leçon avec les dernières corrections
<http://lastro.epfl.ch> et regarder sous **cours** dans l'index
- **Autres références de livres (facultatifs) : voir à la bibliothèque centrale**
 - «Physique générale», Tome 1– Mécanique et Thermodynamique, Alonso & Finn
 - «Mécanique», cours de physique de Berkeley, Kittel, Knight & Ruderman
 - «Mécanique», cours de physique de Feynman, Feynman, Leighton & Sands
- **Exercices corrigés (facultatifs) : voir à la bibliothèque centrale**
 - «Engineering Mechanics, Dynamics», Hibbeler
 - «Engineering Mechanics», McLean & Nelson (série Schaum)
 - «Mécanique générale», Spiegel (série Schaum)
 - «Lagrangian Dynamics», Wells (série Schaum)

Support de cours et bibliographie

- Le cours se base sur plusieurs sources :
 - «Mécanique générale» C. Gruber & W. Benoit (disponible aux PPUR et Numilog)

La deuxième édition du livre de Gruber & Benoit est épuisée

mais

des exemplaires de la reproduction du livre de MM
Gruber & Benoit seront mis en vente à la Vente des
cours de la Librairie La Fontaine, pour vos étudiants
de la section mathématiques

au prix de CHF 75.- TTC l'exemplaire

Errata pour le livre de Gruber & Benoit

un fichier pdf de 6 pages est disponible sur la page web du cours

page 1

Errata	
p. xi	Sec. 3.3 (Valeurs admises en 2006)
p. 5	[61] Wigner 1902-1995 Kepler (1596)
p. 23	Kepler (1571-1630) Kolmogoroff (1903-1987) Moser (1928-1999) Fig. 1.9 Mécanique Quantique
p. 41	Fig. 2.6 $\Gamma_L(TS) = \Gamma(T_L S)$
p. 53	les observations sur les pulsars doubles découvertes
p. 55	112 éléments ... comprise entre 1 et 112 Tableau 3.13 Masse de la Terre
p. 56	Tableau 3.14: Le système solaire [60] masse du soleil $333 \cdot 10^3$ Tableau 3.15: diamètre de notre Galaxie 100000 al
p. 57	on en connaît environ 150 situés dans le Galaxie
p. 58	L'âge de l'Univers ... à 14 milliards d'années
p. 59	Tableau 3.9 (valeur admises en 2006) $G = 6,674 28 \cdot 10^{-11}$ $\hbar = 1,054 571 628 \cdot 10^{-34}$ $m_e = 9,109 382 15 \cdot 10^{-31}$ $= 0,510 998 910$ $e = 1,602 176 487 \cdot 10^{-19}$ $m_p = 1,672 621 637 \cdot 10^{-27}$ $= 938,272 013$ $m_n = 1,674 927 211 \cdot 10^{-27}$ $= 939,565 346$

page 6

p. 703	4.10.6 $\cos \theta = x' / [(x')^2 + (y')^2]^{1/2}$
p. 705	5.7.7 $\vec{\alpha} = \dots$
p. 706	les réponses 6.10.8 et 6.10.9 sont les réponses des problèmes 6.10.9 et 6.10.8 6.10.14 ... 1 jour solaire = $(86400 - 7,8) \rho$... 1 jour solaire = $(86400 + 8,2) \rho$
p. 710	13.10.7 $\ddot{z} = \frac{g}{1 + \frac{I_G}{(m+2M)r^2}}$ $T = \frac{I_G g}{r^2 + \frac{I_G}{(m+2M)}}$
	14.10.15 Voir le paragraphe 14.9.2
p. 711	14.10.10 $\dot{\theta} = -2 \sqrt{\frac{gR(1-\sin \theta)}{R^2 \cos^2 \theta + 4I_G/m}}$
p. 713	Chapitre 19 19.4.7 19.4.8 $ CD = 3,46 \text{ m}$ $ CD^* = 3,18 \text{ m}$
p. 729	ajouter Masse d'inertie 258

Exercices et séances d'exercices

- Vous permettent de :
 - mettre en pratique les notions vues au cours
 - vous entraîner à la résolution de problèmes (objectif du cours)
 - évaluer votre niveau de compréhension des notions abordées
 - vous faire une idée des aptitudes requises aux examens propédeutiques
 - poser des questions aux assistants
 - obtenir aide, motivation et encouragement
- **Soyez réguliers dans l'effort :**
 - **n'attendez pas la fin du semestre ou de l'année pour travailler**
- **Soyez vigilants face aux difficultés rencontrées :**
 - **réagissez rapidement si vous « décrochez »**
 - **parlez à d'autres étudiants, aux assistants ou au professeur, ne restez pas seul(e)s !**

Vous devez suivre les deux conseils suivants

- **Soyez réguliers dans l'effort:**
 - **n'attendez pas la fin du semestre ou de l'année pour travailler**
- **Soyez vigilants face aux difficultés rencontrées:**
 - **réagissez rapidement si vous « décrochez »**
 - **parlez à d'autres étudiants, aux assistants ou au professeur.**

NE RESTEZ PAS SEULS

Organisation des exercices

- Horaire des exercices : **vendredi de 16:15 à 18:00** (après le cours)
- Lieu des exercices : dans les 3 salles d'exercices ci-dessous :
 - Répartition des étudiants selon les instructions particulières données au cours et disponibles sur le web
 - Dans chaque salle : un assistant diplômé + un étudiant assistant

Etudiants	Salle	Assistants	Responsable Pierre North
A - Fey	CE 100	Jérôme Guterl - Jelena Ristic	
G - Pig	CE 101	Céline Terranova - Alexandre Rydlo	
Pil - Z	CE 103	Arun Mohan - Martin Tafelmeyer	

- Chaque série d'exercices :
 - Durant la séance d'exercices : énoncés distribués et résolutions commencées
 - A la séance suivante :
 - (i) solutions manuscrites rendues aux assistants et
 - (ii) corrigés distribués aux étudiants
 - A la séance suivante : solutions manuscrites corrigées rendues aux étudiants avec une appréciation (A = bon, B = suffisant, C = insuffisant)
- Responsable de l'organisation des exercices :
Pierre North toujours atteignable à l'adresse email : pierre.north@epfl.ch

Contrôle continu facultatif

- Article 3 de l'ordonnance sur le contrôle des études à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne :
 - [...] le contrôle continu [...] facultatif contribue uniquement à augmenter la note de la branche correspondante à raison d'un point au maximum. Les enseignants ne sont pas tenus d'organiser ce type de contrôle
- Vous jouissez d'une totale liberté académique !
- Contrôle continu prévu pour ce cours de mécanique :
 - 12 séries d'exercices dans le semestre avec corrections et appréciations A(+), B(±), C(-), sans bonus
 - 1 travail écrit dans le semestre, sans bonus, avec note de 1(-) à 6(+), simulant l'examen

Un travail écrit : unique test, sans bonus

- Date : vendredi 12 décembre 2008
- Heure : de 16:15 à 18:00
- Lieu : dans les salles d'exercices CE 100, 101 et 103

- Remarque : pas de séance de remplacement pour les étudiants absents à cette date annoncée

- Simulation des conditions d'examen :
 - Les données des problèmes à résoudre sont distribuées en début de séance
 - Les solutions rédigées sont à rendre au plus tard à la fin de la séance
 - Matériel autorisé : papier vierge, crayon/stylo, formulaire personnel manuscrit (maximum : 1 feuille A4 double face)
 - Aucun autre matériel n'est autorisé !
 - Travail individuel en silence
 - Aucune interaction autorisée entre les étudiants pendant la séance

- Les travaux rendus sont corrigés et notés : échelle de 1(-) à 6(+)

Attention !

la section de physique étant organisée différemment de la section de mathématiques

vous aurez non pas un
mais deux examens propédeutiques écrits

- un examen écrit de 4 heures après la fin du semestre d'automne, en février 2008
- un examen écrit de 4 heures après la fin du semestre de printemps, en juin 2008

Mécanique générale

Observation, expérimentation, et théorie

Mécanique générale

Observation, expérimentation, théorie

- **Mathématiques** considérées comme un outil pour décrire et analyser les résultats expérimentaux
- **Mathématiques** permettent d'établir les lois fondamentales, de prédire de nouveaux phénomènes, de calculer l'évolution et les forces dans les systèmes
- Introduction de la mécanique comme base de la physique
- Formalisme mathématique lié aux concepts fondamentaux
- **Premier but** : synthèse entre **deux approches** possibles :
 - **approche expérimentale** : met en évidence la démarche conduisant des observations aux lois, souvent trop élémentaire du point de vue mathématique pour résoudre des problèmes concrets
 - **approche abstraite** : présente la mécanique de façon déductive, avec toute la rigueur mathématique, en partant d'axiomes et de définitions, mais qui n'accorde que peu d'importance à la discussion des concepts physiques

Mécanique générale

Observation, expérimentation, théorie

- Deuxième but : faire ressortir que la physique est basée sur un certain nombre de choix arbitraires :
 - choix des unités
 - choix du référentiel
 - choix des variables
- L'invariance des prédictions théoriques par rapport à ces choix, appelé **principe d'objectivité**, permet de développer des méthodes d'investigation très puissantes, par exemples l'utilisation de modèles réduits, pour les études théoriques et expérimentales des systèmes complexes.
- La mécanique est l'étude des systèmes réels : le point matériel n'est qu'un modèle préliminaire ; pas de division traditionnelle en deux parties :
 - mécanique du point & mécanique des systèmes**(le point matériel, cas particulier introduisant le cas général des systèmes matériels)

Buts de la physique

- Expliquer les phénomènes naturels, y compris ceux de la vie.
- physique (1487) , « science de la nature » , du latin *physica* et du grec *phusikê*
- Dans ce chapitre nous allons voir :
- Différences entre
 - physique « classique » et « quantique » ,
 - physique « générale » et « statistique » ,
 - physique « relativiste » et « non-relativiste »
- Notions d'espace spatio-temporel, espace dans lequel se déroulent les phénomènes que la physique se propose d'expliquer ou de prédire.

Description classique

- Jusqu'à la fin du XIX^e, la recherche est basée sur la **description classique** (que nous adoptons dans ce cours mais que nous voulons expliciter et nuancer pour tenir compte des développements modernes et pour faire ressortir les hypothèses à la base de cette description).
- **Description classique** : élaborée au cours des siècles à partir de l'observation répétée, consciente ou non, de phénomènes qui apparaissent avec une grande régularité, de façon familière et **indépendante de l'observateur**, tels que le mouvement des corps célestes ou la chute des objets à la surface de la Terre.
- Il existe une Réalité, indépendante de l'observation, obéissant à un ensemble de règles, appelées **lois naturelles**. Cette confiance en l'existence de lois régissant l'évolution temporelle repose sur deux principes fondamentaux :
le déterminisme et l'homogénéité du temps

- Le **déterminisme** affirme que la Réalité, telle qu'elle existe à un instant donné, détermine univoquement l'évolution future et contient l'histoire du passé.
- L'**homogénéité du temps** est le principe selon lequel deux situations identiques, réalisées à des instants différents, doivent évoluer de façons identiques.

Ces deux principes sont à la base de la méthode scientifique

- But : découvrir les lois fondamentales afin de déduire l'ensemble des lois de la nature pour obtenir une description de la Réalité.
- Pour énoncer ces lois, l'approche classique admet que tout système est caractérisé par un ensemble de grandeurs ayant à tout instant une valeur bien définie : **connaissance à $t = t_0 \Rightarrow$ connaissance $\forall t$.**
- **Trois hypothèses classiques** :
 - **HC1** : possible de mesurer les grandeurs avec la **précision** désirée, uniquement un problème de technologie.
 - **HC2** : possible de mesurer simultanément toutes les grandeurs, i.e., possible de mesurer la grandeur B immédiatement après la grandeur A sans modifier la valeur de A.
 - **HC3** : possible de mesurer les grandeurs sans modifier les valeurs qu'elles auraient en l'absence de toute observation.

Grand succès de cette approche jusqu'à la fin du XIX^e siècle

- Les succès aussi bien théoriques qu'expérimentaux obtenus à la fin du XIX^e siècle semblaient confirmer le bien-fondé de cette approche et portaient à penser que l'on avait effectivement trouvé l'ensemble des lois fondamentales, l'univers étant composé de « **particules** » et de « **champs électro-magnétiques** » évoluant dans le vide.
- évolution des **particules** décrites par les lois de **Newton**.
- évolution des **champs** décrites par les lois de **Maxwell**.
- interactions entre les **particules** et les **champs** décrites par la loi de **Lorentz**.

la physique a connu plusieurs révolutions au cours de son histoire avec **Galilée** (1564-1642), **Newton** (1642-1727), puis **Einstein** (1879-1955) sans jamais mettre en doute le bien fondé de la description classique.

Description moderne

- XX^e siècle : observations à des échelles de plus en plus petites et des températures de plus en plus basses impliquent qu'il faut distinguer entre **observation** et **réalité** :
 - L'observation des propriétés corpusculaires de l'électron n'implique pas que l'électron **est** une particule (au sens classique \approx à une bille) ;
 - L'observation des propriétés ondulatoires de la lumière n'implique pas que la lumière **est** une onde ;
 - D'autres expériences permettent d'observer des propriétés ondulatoires de l'électron et des propriétés corpusculaires de la lumière.

soit : maintenir le principe du déterminisme \Rightarrow abandon de la description des phénomènes en termes de grandeurs spatio-temporelles ;

soit : garder une description spatio-temporelle \Rightarrow abandon du déterminisme

nouvelle conception de la Réalité



1901 - 1976

- **Principe d'incertitude de Werner Heisenberg (1927)**

- Il existe des grandeurs qui ne peuvent pas toujours être exactement et simultanément mesurées : plus la précision sur l'une des mesures augmente, plus la précision sur l'autre diminue.
- Quelle que soit la technologie, la mesure d'une grandeur s'accompagne généralement d'une modification non déterministe de l'évolution.



1885 - 1962

- **Principe de complémentarité de Niels Bohr (1928)**

- Les propriétés corpusculaires et ondulatoires sont deux aspects complémentaires d'une même réalité, mais elles ne sont jamais simultanément observables.
- Le déterminisme et la description des phénomènes au moyen de grandeurs spatio-temporelles sont deux aspects complémentaires d'une même réalité, qui ne peuvent pas toujours être simultanément satisfaits.

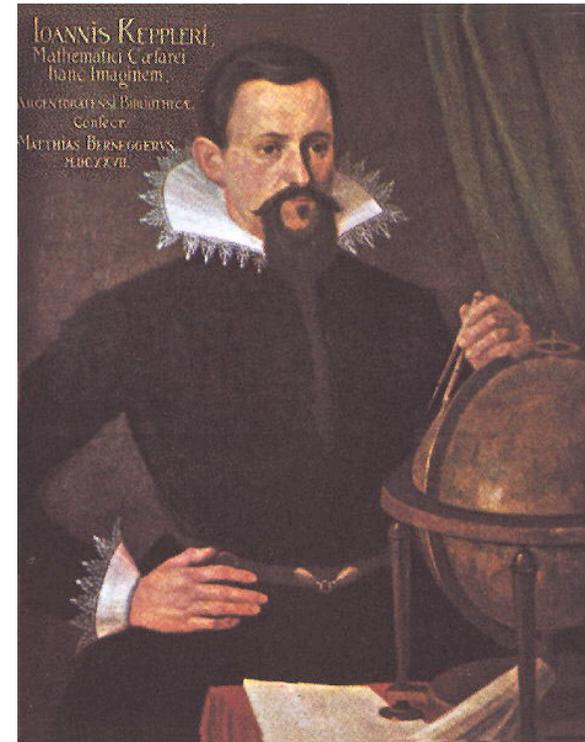
Physique quantique

- Les principes d'incertitude et de complémentarité, à la base de la **physique quantique**, vont bouleverser la pensée classique et remettre en question les objectifs même de l'approche scientifique.
- Les concepts fondamentaux de la physique ne sont pas définis par rapport à une « Réalité » indépendante de toute observation, mais au contraire sont définis par rapport à la « connaissance » que nous possédons de cette Réalité.
- La physique n'apparaît plus comme une description de la Réalité, mais seulement comme une description de l'« image » que nous nous faisons de cette Réalité.

Expliquer les phénomènes observés

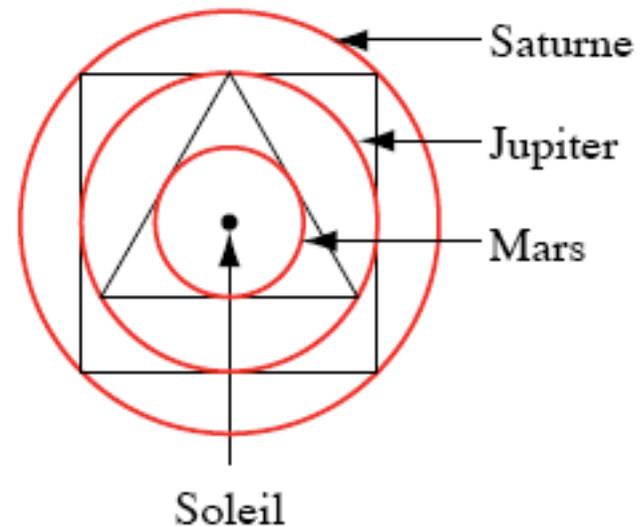
- Quelles sont les observations qui peuvent être expliquées ?
- Il est parfois des questions qu'il ne faut pas poser !

Kepler (1571-1630), qui a obtenu les lois décrivant le mouvement des planètes autour du Soleil, a aussi chercher des lois pour expliquer le nombre des planètes (alors six) et les dimensions relatives de leurs orbites.

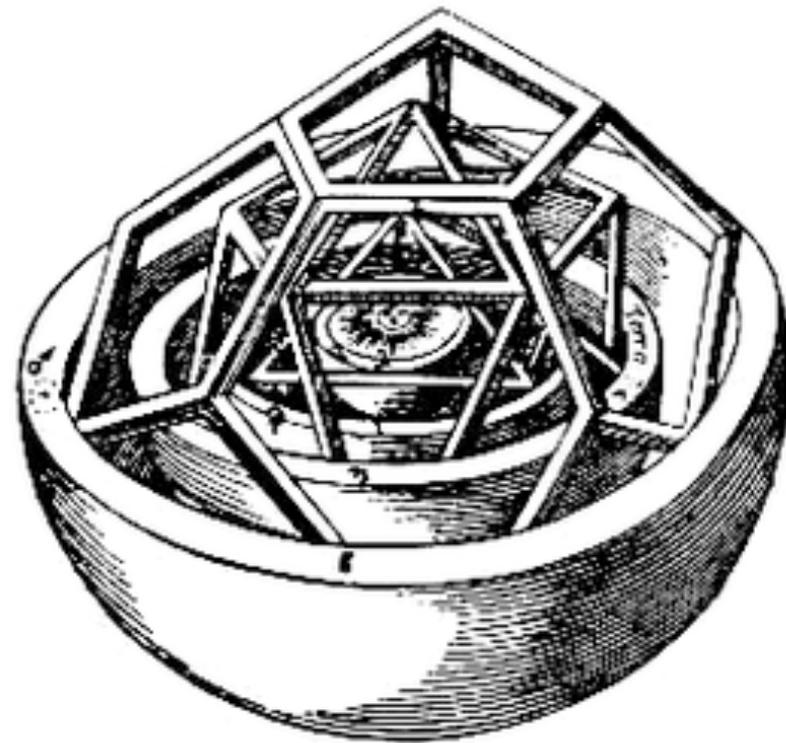
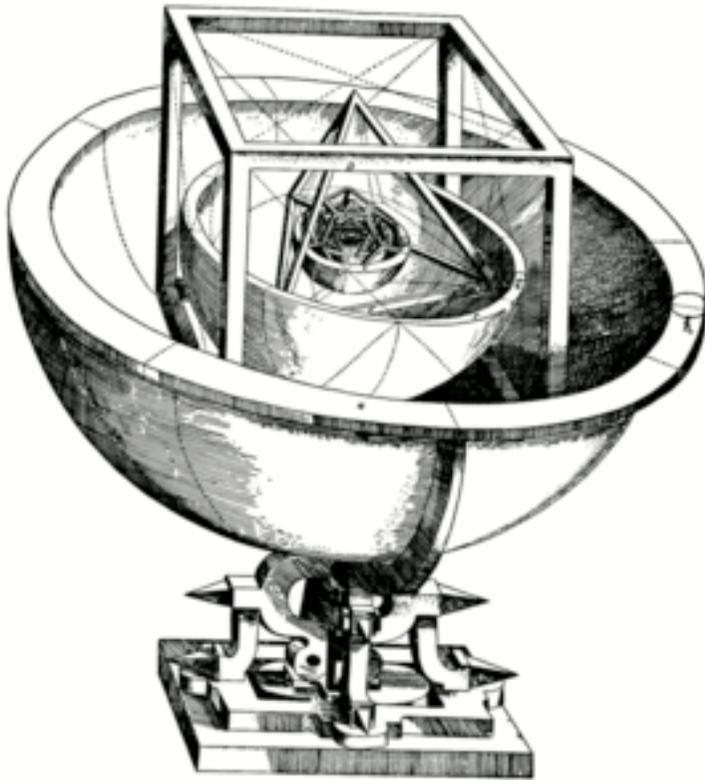


Kepler explique les distances au Soleil des six planètes connues à son époque au moyen des sphères inscrites et circonscrites aux **cing polyèdres réguliers** :

- sphère de Saturne
- cube
- sphère de Jupiter
- tétraèdre
- sphère de Mars
- dodécaèdre
- sphère de la Terre
- icosaèdre
- sphère de Vénus
- Octaèdre
- sphère de Mercure

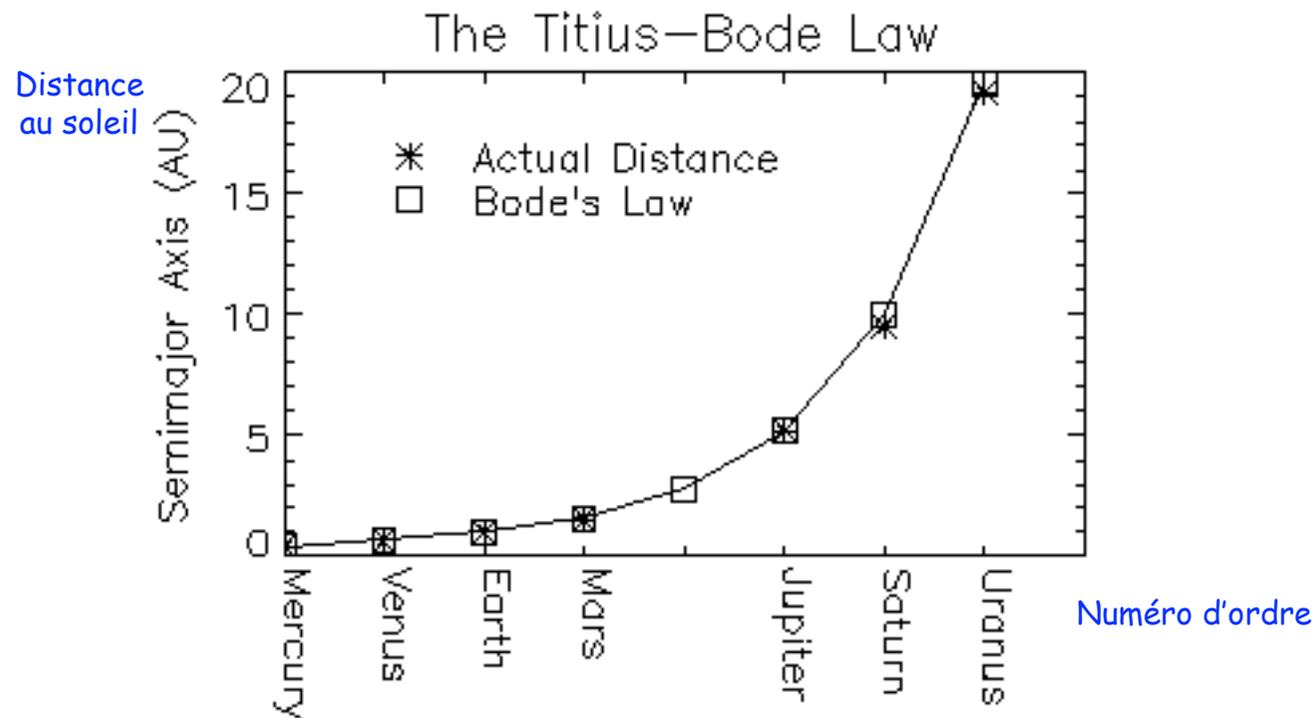


Mysterium cosmographicum
de Kepler (1596)



Loi de Titius-Bode (1772)

$$r_n = (0,4 + 0,3 \times 2^n) \text{ UA} \quad \text{avec pour les astéroïdes } n = 3$$



ensuite Neptune et Pluton

Poser la bonne question ... !

- Newton rejeta cette tentative en considérant que ces observations ne demandent pas à être expliquées.
- De nos jours, on pense que la distribution régulière des orbites planétaires résulte de circonstances particulières (processus en parties stochastiques) liées à la formation et à l'évolution du système solaire.
- « Expliquer » signifie trouver les **conditions initiales** (soit les variables) et les **lois de la nature** (i.e., les relations entre les variables) à partir desquels il est possible de décrire les phénomènes observés (le code de la route impose des règles et laisse encore beaucoup de liberté !).
- **Sommes-nous aveuglés par quelques subtils « mysterium cosmographicum » contemporains, aussi inutiles que celui de Kepler ... ?!**

Lois et superlois

- De même que les **lois** imposent certaines conditions aux régularités observées, il existe des « **superlois** » imposant certaines conditions aux lois elles-mêmes (comme la constitution impose certaines règles devant être satisfaites par le code de la route).
- Ces superlois sont les « **principes d'invariance** » déjà introduits par Galilée, mais qui ont pris une très grande importance, surtout depuis 1930. **Les prédictions de la théorie ne doivent pas dépendre de la manière choisie, elles doivent être « invariantes ».**
- L'importance accordée aux « **principes d'invariance** » est justifiée pour deux raisons :
 - d'une part, ils jouent le rôle de garde-fou dans l'élaboration d'une théorie et servent de critère dans la recherche des lois fondamentales, pour être acceptable, une loi physique doit être consistante avec les principes d'invariance ;
 - d'autre part, ils conduisent à des lois fondamentales, dites « lois de conservations », exprimant le fait que certaines grandeurs restent constantes au cours de l'évolution temporelle, si le système est isolé : **conservation de l'énergie, de la quantité de mvt, du moment cinétique.**

Méthodologie de l'approche scientifique

- Pour expliquer les phénomènes observés, la physique étudie des **systemes**, i.e., des portions de l'Univers qu'il est possible de considérer, en première approximation, comme isolés du reste de l'Univers.
- Une étude s'effectue en 4 étapes :
 - description (recherche des grandeurs dignes d'intérêt, **observables** ; caractérisation de l'**état** actuel du système) ;
 - recherche des lois (invention d'un **modèle**) ;
 - déduction des conséquences de ces lois (**évolution temporelle de l'état**) ;
 - vérifications expérimentales.
- Les mathématiques possèdent une relation très particulière avec la physique, qui peut être interprétée de deux façons :
 - c'est **le langage de la Nature** que l'homme doit assimiler (attitude des Grecs et de Galilée) ;
 - c'est **le langage de l'homme** pour traduire les faits de la Nature (attitude de Heisenberg et de la physique moderne).

Etat d'un système.

Distinction entre physique générale et physique statistique

Etat d'un système

- Expérience : mesure de la vitesse v des molécules d'un gaz pour une température et une pression données. Deux constatations :
 - l'échelle graduée avec division d'unité ε , donc le résultat d'une mesure est compris $n\varepsilon$ et $(n+1)\varepsilon$ où n est un nombre entier
 - en répétant la mesure, on n'observe pas toujours le même résultat : il y a des fluctuations
 - histogramme $N(v)/N$ vs. v
 - si N est très grand, le nombre $p(v) = N(v)/N$ représente la probabilité que le résultat de la mesure donne la valeur v

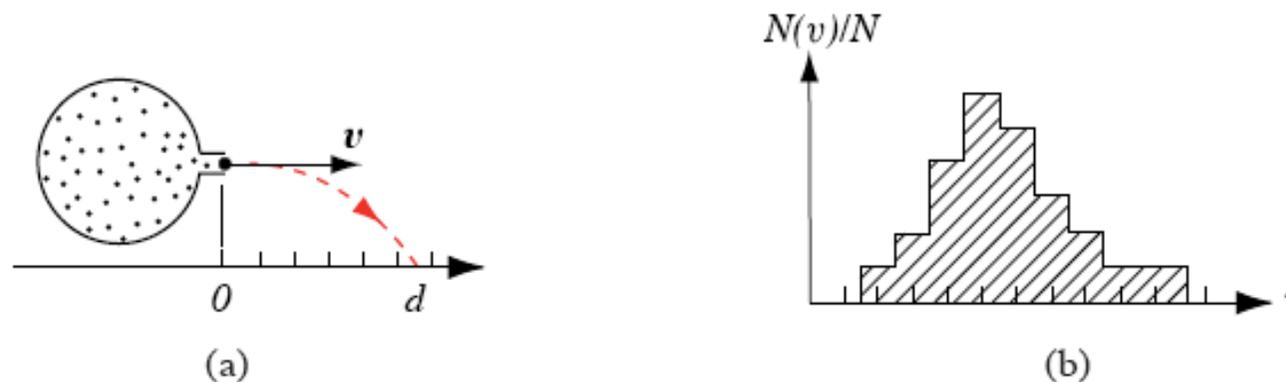


Fig. 1.4 (a) Mesure de la vitesse v et (b) histogramme de la vitesse des molécules d'un gaz.

Espace-temps et evolution temporelle

Espace, temps, événement

- **événement** : phénomène élémentaire défini par un lieu et un instant déterminés.
- un événement définit un point d'un ensemble appelé **espace-temps**.
- définition et propriétés intrinsèques de l'espace-temps : problème des philosophes et physiciens de l'Antiquité à nos jours, tels Aristote, St Augustin, Descartes, Newton, Leibniz, Kant, Bergson et Einstein, en invoquant Dieu, la raison pure et les faits expérimentaux.
- **espace** (continu à trois dimensions) + **temps** (continu linéaire \rightarrow)
- mesures de distances $\approx 10^{-18}$ m et de temps $\approx 10^{-24}$ s
- notion d'espace-temps continu actuellement remis en cause à des échelles de 10^{-35} m et de 10^{-43} s

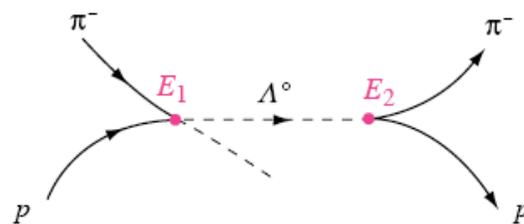


Fig. 1.5 Événement E_1 : création du Λ^0 . Événement E_2 : annihilation du Λ^0 . $\Delta t \sim 2,6 \cdot 10^{-10}$ s.

Soit les événements E_1 et E_2 :
il est possible de définir
et de mesurer les intervalles
de longueur Δl et de temps Δt
qui les séparent

Espace-temps et évolution temporelle

Espace et temps ou espace-temps : physique non relativiste et relativiste

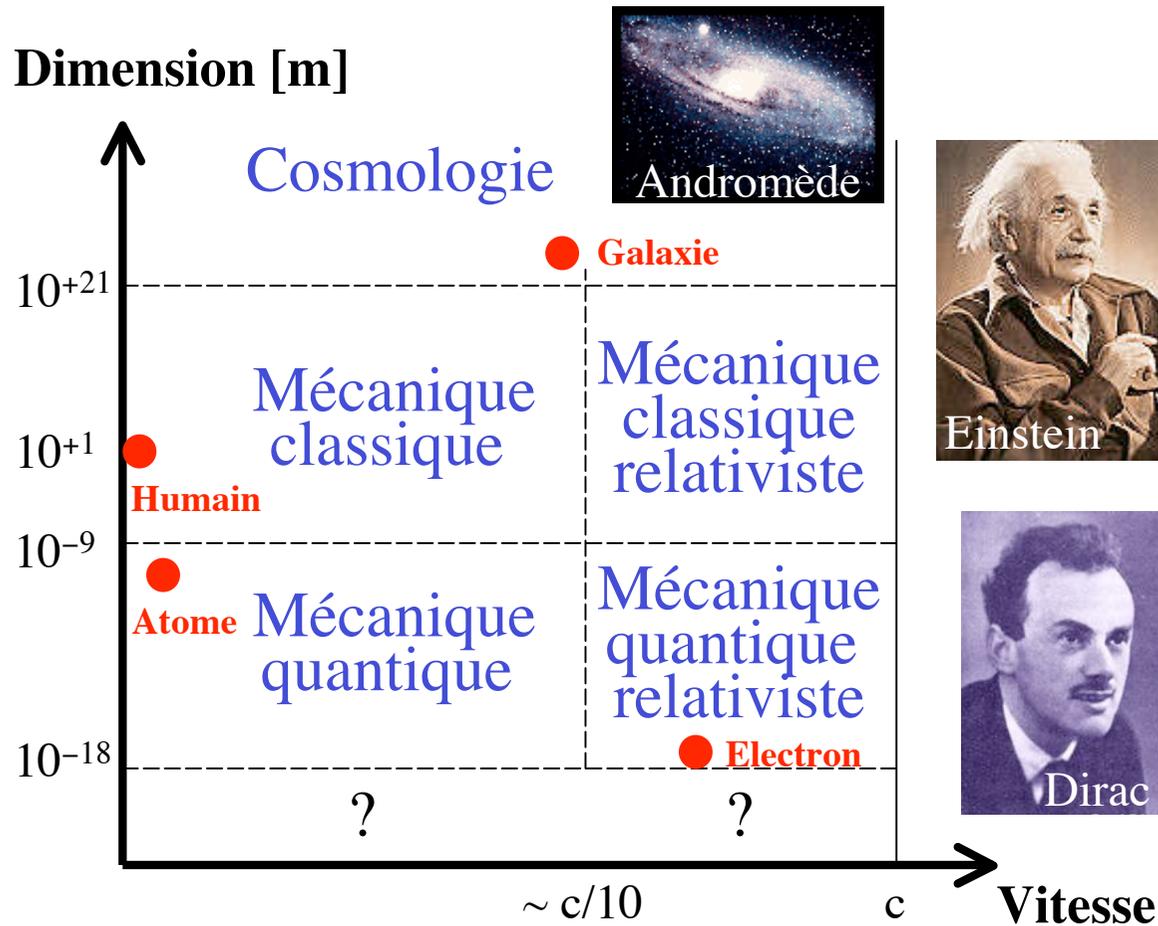
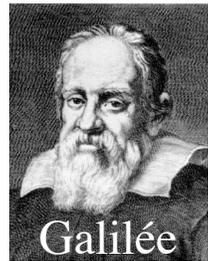
- **Newton (1686)** : admet « un espace absolu, sans relation aux choses externes, toujours similaire et immobile » et un « temps absolu, vrai et mathématique, sans relation avec l'extérieur, qui coule uniformément et s'appelle durée » ; les intervalles de longueur Δl et de temps Δt entre deux événements simultanés sont des invariants, i.e., ne dépendent pas de l'observateur.
- **Michelson et Morley (1881 ; 1887)** : pas d'évidence de mouvement de la Terre par rapport à l'éther.
- **XIX^e siècle** : les **transformations de Galilée** laissent les équations de Newton invariantes, mais pas les équations de Maxwell. Introduction des **transformations de Lorentz**, dans lesquelles les coordonnées d'espace et de temps sont simultanément modifiées de manière à ce que la vitesse de la lumière soit la même dans tous les référentiels d'inertie, expliquant l'expérience de **Michelson-Morley**.

- En 1905 Einstein :
 - introduit le postulat que la vitesse de la lumière dans le vide est une constante universelle
 - arrive à la conclusion que le concept de simultanéité n'est pas un concept absolu

Ceci l'oblige à rejeter les concepts newtoniens de temps et d'espace absolus et à leur substituer celui d'espace-temps

- Dans cette nouvelle approche, l'intervalle de temps Δt et l'intervalle de longueur Δl dépendent de l'observateur, mais la vitesse de la lumière c et la grandeur $\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta l^2$ sont des invariants.
- En plus de l'éclipse totale de Soleil de 1919, la théorie d'Einstein a été brillamment confirmée par des observations :
 - 1964 : la vitesse de la lumière émise par des particules élémentaires π^0 ayant une vitesse de $0,99975 c$ était égale à c , indépendamment de la direction d'émission, avec une précision relative de 10^{-4} .
 - 1971 : deux horloges atomiques en avion volant en sens contraires et synchronisées au départ diffèrent à l'arrivée de $+273 \cdot 10^{-9} s$ et $-59 \cdot 10^{-9} s$.
 - 1975 : la durée de vie des muons de vitesse $0,9994 c$ est 30 fois plus longue que la durée de vie des muons immobiles.

Le panorama de la mécanique



vitesse de la lumière dans le vide: $c \equiv 299'792'458$ m/s

Intuition

Dictionnaire Le Petit Robert (édition de 1989):

- Philo. Forme de connaissance immédiate qui ne recourt pas au raisonnement
- Cour. Sentiment plus ou moins précis de ce qu'on ne peut vérifier, de ce qui n'existe pas encore

par sa définition même, l'intuition semble assez éloignée de la démarche scientifique ...

De l'importance des mathématiques dans le cadre de la physique

- Sans les mathématiques, la physique ne serait rien, si ce n'est une suite de petites expériences plus ou moins divertissantes et plus ou moins utiles
- Si Kepler, si Galilée, si Newton ont fait progresser la physique, c'est parce qu'ils étaient d'excellents mathématiciens. Pour ses travaux, Newton a dû inventer le calcul différentiel et intégral, en parallèle avec Leibnitz
- Einstein demande à son ami Marcel Grossman de lui expliquer les développements mathématiques alors récents sur les espaces courbes obtenus par Riemann, Ricci et Levi-Civita. Les achèvements mathématiques des italiens fertilisent la profonde « intuition » physique d'Einstein. Grossman lui fournit le tenseur de Riemann-Christoffel, qui deviendra l'outil géométrique de base de la future théorie de la RG.

L'**intuition** n'est pas à dédaigner,
mais la compréhension profonde de la **physique**
ne passe que par la compréhension profonde
des **mathématiques** qui permettent
de l'appréhender et de l'expliquer

la physique n'est pas une suite
d'expériences rigolotes

la physique est l'application des mathématiques
à la Nature pour en comprendre le fonctionnement
et en déduire les explications/prédictions possibles

votre choix des mathématiques

Vous avez choisi d'étudier
la science de très loin
la plus fondamentale
parmi toutes les autres sciences

ce cours de physique vous montrera
l'aspect mathématique de la physique
et ses principes essentiels

Darwin

Précisions, chiffres significatifs et système d'unités

- Les mesures et le degré de précision :

- importantes que depuis le XVIII^e siècle, négligées auparavant
- la mesure de la longueur d'une planche 2,32 m avec une incertitude de 0,01 m fournit le pourcentage d'incertitude :

$$(0,01 / 2,32) 100 = 0,4 \%$$

- Chiffres significatifs :

Le résultat final d'une multiplication ou d'une division doit avoir le même nombre de chiffres significatifs que le terme de l'opération qui en a le moins.

- Notation scientifique :

36'900 m (?chiffres significatifs) se note $3,69 \cdot 10^4$ m si 3 chiffres significatifs et $3,69 \cdot 10^4$ m n'est pas identique à $3,690 \cdot 10^4$ m.

- Système d'unités :

Longueur, temps, masse \Rightarrow Système International SI MKS

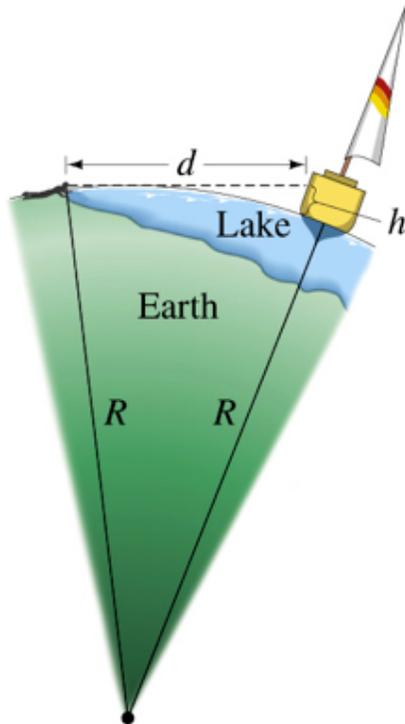
1 m \equiv distance parcourue par la lumière dans le vide en $1 / 299'792'458$ s

1 s \equiv temps requis par un atome de césium pour 9'192'631'770 périodes de sa radiation émise entre 2 états particuliers

1 kg \equiv cylindre de plat-irid BIPM ; unité de m atom unif = u = $1.6605 \cdot 10^{-27}$ kg

Estimation du rayon terrestre

Un bateau ancré à 4,4 km dépasse de l'eau de 2 m. A cette distance, 3/4 de la coque est sous l'horizon.



Pythagore : R = rayon de la Terre

$h + R$ = hypoténuse

$d = 4,4$ km

$h = 1,5$ m

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

avec $\alpha = 90^\circ$

$$R^2 + d^2 \approx (R + h)^2$$

$$\approx R^2 + 2hR + h^2 \quad \text{d'où :}$$

$$R \approx (d^2 - h^2) / 2h = ((4400\text{m})^2 - (1,5\text{m})^2) / 2 \approx 6500 \text{ km}$$

$$R_{\text{Terre}} \approx 6380 \text{ km}$$

Analyse dimensionnelle permet le contrôle rapide des unités

- Vous ne vous rappelez pas laquelle des deux formules suivantes donne la période d'un pendule de longueur l :

$$i) \quad T = 2\pi\sqrt{l/g} \qquad ii) \quad T = 2\pi\sqrt{g/l}$$

où g est l'accélération gravitationnelle.

$$i) \quad [T] = \sqrt{\frac{[L]}{[L/T^2]}} = \sqrt{[T^2]} = [T] \qquad \text{correct}$$

$$ii) \quad [T] \neq \sqrt{\frac{[L/T^2]}{[L]}} = \sqrt{\frac{1}{[T^2]}} = \frac{1}{[T]} \qquad \text{faux}$$