



# L'enseignement en licence de la relativité restreinte et de la physique subatomique

*Par Arnaud Le Padellec, commission 'Enseignement' de la Société Française de Physique*

# LICENCES

- Pas de programme national au sens de celui des prépas !
- **TOTAL PHYSIQUE: ~ 12560 étudiants** en France Métropolitaine + DOM-TOM en 2009-2010 – source ministère (Physique ~ 5290 étudiants, PRO Physique ~ 915 étudiants, Physique - chimie ~ 6355 étudiants)
- La licence se prépare en 3 ans après le baccalauréat, à l'université.
  - ⇒ la première année est assez généraliste (nouvelles technologies, langues, méthodologie, expression écrite et orale...).
  - ⇒ la deuxième année de licence constitue l'étape d'entrée dans la spécialisation disciplinaire.
  - ⇒ la troisième année de licence : c'est l'année de finalisation du projet d'études sur la base de l'affermissement des connaissances disciplinaires et des compétences acquises.

... pas de programme national mais des préconisations de l'ex 'Mission Scientifique, Technique et Pédagogique – MSTP' – rôle d'évaluation, d'expertise et de prospective au ministère (D. Bideau *et al*)  
**en collaboration avec la Société Française de Physique !**

[http://www2.enseignementsup-recherche.gouv.fr/mstp/physique\\_licence\\_sfp\\_mstp.pdf](http://www2.enseignementsup-recherche.gouv.fr/mstp/physique_licence_sfp_mstp.pdf)

**L1** (165 heures) : Optique géométrique (60 heures ; S1 ou S2) , mécanique I (forces, champs, énergies, 60 heures ; S1 ou S2) , thermodynamique I (fondamentaux , 45 heures ; S2)

**L2** (255 heures) : physique quantique I (mécanique quantique, 60 heures ; S3 ou S4), thermodynamique II (applications , 45 heures ; S3 ou S4), mécanique II (statique et dynamique du solide et des fluides, 60 heures ; S3 ou S4) , électromagnétisme (90 heures ; S3 ou S4)

**L3** (315 heures) : **relativité (30 heures ; S5 ou S6)**, physique quantique II (mécanique ondulatoire, 60 heures ; S5 ou S6), thermodynamique III (thermodynamique statistique, 60 heures ; S5 ou S6), mécanique III (physique des milieux continus, 45 heures ; S5 ou S6), physique de la matière (30 heures ; S5 ou S6), **physique subatomique (30 heures ; S5 ou S6)** et optique ondulatoire et cristallographie (60 heures ; S5 ou S6)

⇒ Concrètement, qu'en est-il dans les ~ **40** universités scientifiques françaises ?

Panel (représentatif !?) de 13 universités scientifiques: Amiens, Angers, Brest, Cergy-Pontoise, Dijon, Lille1, Montpellier 2, Paris 6, Paris 7, Paris 11, Rennes 1, Strasbourg 1 et Toulouse 3

# RELATIVITE

## *Introduction historique*

- Transformation de Galilée – hypothèse de l'éther – expérience de Michelson et Morley
- Principe de relativité d'Einstein

## *Conséquences : relativité du temps et de l'espace*

- Postulats d'Einstein sur la vitesse de la lumière dans le vide
- Transformation spéciale de Lorentz
- Relativité du temps (simultanéité ; temps propre et impropre ; dilatation des durées)
- Relativité des longueurs (contraction ; longueur propre et impropre)
- Applications : durée de vie apparente des muons ; paradoxe des jumeaux ; paradoxe de la barre et de l'ouverture ; effet Doppler – Fizeau ; aberration des étoiles ; GPS

## *Espace-temps*

- Structure métrique et espace de Minkowski ; quadrivecteurs
- Relativité et causalité : cône de lumière ; passé, futur, ailleurs

## *Dynamique relativiste*

- Quadrivecteur énergie – quantité de mouvement : énergie d'une particule au repos ; relation énergie – quantité de mouvement ; application aux particules de masse nulle
- Equivalence masse-énergie
- Force

## *Illustration en physique des particules élémentaires*

- Accélérateurs de particules : linéaire, cyclotron, synchrotron
- Collisions élastique et inélastique ; lois de conservation

## Observation à partir du panel:

⇒ modules quasi obligatoires partout, souvent en L2 / S4

⇒ parfois des modules combinés (ex 'Ondes, Relativité et Particules' à Rennes 1, 'Relativité et magnétisme' à Brest, 'Approche Lagrangienne et Relativité' à Paris 7, 'Mécanique analytique et Relativité' à Cergy-Pontoise ou Dijon)

⇒ particulièrement développée dans certains endroits (Lille 1 / Toulouse 3 avec théorie des champs, liens relativité et EM, extension vers relativité générale)

⇒ introduction historique : pas très visible dans les syllabus

⇒ illustrations en physique des particules élémentaires: oui pour collisions, non pour accélérateurs

# PHYSIQUE SUBATOMIQUE

## *Introduction historique*

- Découvertes de la radioactivité, du neutron, du neutrino, des quarks.

## *Le monde élémentaire : des quarks aux noyaux et à l'univers*

- Quarks et leptons
- Hadrons, mésons et baryons
- Les interactions fondamentales et les particules d'échange associées
- Les noyaux
- Des particules aux étoiles : nucléosynthèse et cosmologie

## *Processus nucléaires*

- Phénoménologie du noyau
- Formule de masse et modèle de la goutte liquide.
- Radioactivités
- Réactions nucléaires : section efficace, cinématique des réactions, réactions dominantes à basse énergie
- Le cas particulier du soleil.

## *Applications*

- Interactions rayonnement matière
- Conséquences sur la détection et la protection contre les rayonnements
- Analyse par activation
- Fission et réacteurs à fission
- Fusion et réacteurs à fusion
- Etudes comparatives dans les domaines de l'analyse et de la production d'énergie.

## Observation à partir du panel:

⇒ communément enseignée en master, la physique subatomique l'est de façon plus aléatoire en licence !

⇒ la physique subatomique en licence apparaît dans certaines universités comme un module en soi, dans d'autres comme une application des modules de mécanique quantique et relativité

⇒ lieux où la recherche y est adossée (ex: IPM à Montpellier 2)

⇒ pas beaucoup d'introductions historiques, ni d'applications !

⇒ assez qualitatif au niveau L bien que l'on puisse faire du quantitatif sous forme magistrale et/ou applicatives (voir exemples) !

## Un exemple qualitatif en TD:

⇒ combinaisons de quarks u et d pour former des baryons de charges  $-e$ ,  $0$ ,  $e$  et  $2e$ , absence de mésons de charge  $2e$  ou de baryons de charge à partir des mêmes quarks.



# Quelques exemples quantitatifs en TD:

## ASTROPHYSIQUE

⇒ production (par les supernovae) et destruction (spectrométrie  $\gamma$ , raie à 1.8 MeV) de l'aluminium  $^{26}\text{Al}$  dans la voie lactée: évaluation des luminosité de sources  $\gamma$ , flux de photons au niveau de la Terre, phénomène d'annihilation du positron produit par décroissance de  $^{26}\text{Al}$  / raie à 511 keV.

## PHYSIQUE NUCLÉAIRE

⇒ modèle de la goutte liquide, calcul du coefficient de répulsion coulombienne, stabilité vis à vis de la désintégration  $\beta$

⇒ critères énergétiques sur les transitions isobariques, diagrammes et spectres énergétiques des particules  $\beta$  issues de désintégrations

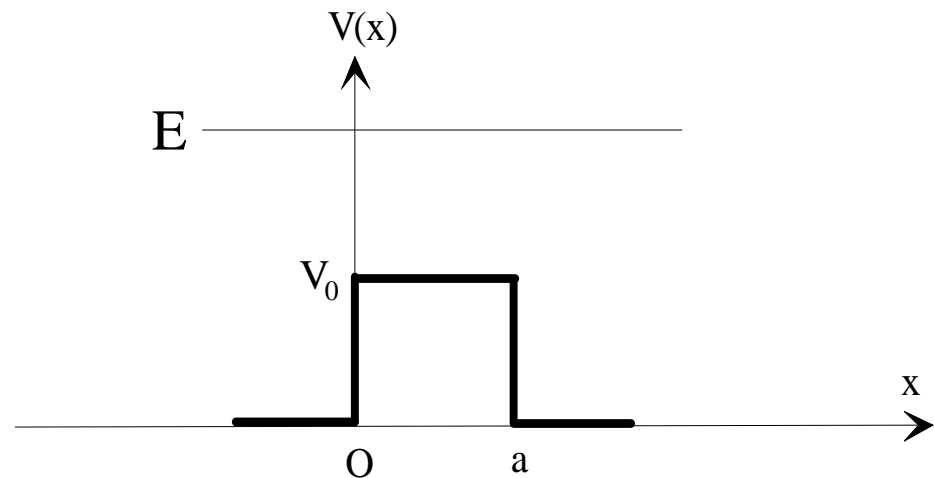
## ...suite et fin ... combiner la physique quantique et la physique nucléaire avec un modèle simple de désintégration $\alpha$

Recherche des états stationnaires d'une particule incidente pour une barrière de potentiel (cas  $E > V_0$ )

Equation de Schrödinger  $\Rightarrow$  formes analytiques des fonctions d'onde  $\Psi(x)$  dans toutes les régions de l'espace + équations de continuité  $\Rightarrow$  coefficients d'amplitudes  $\Rightarrow$  coefficient de transmission  $T$  en intensité fonction de  $a$ , largeur de la barrière (analogie avec l'EM).

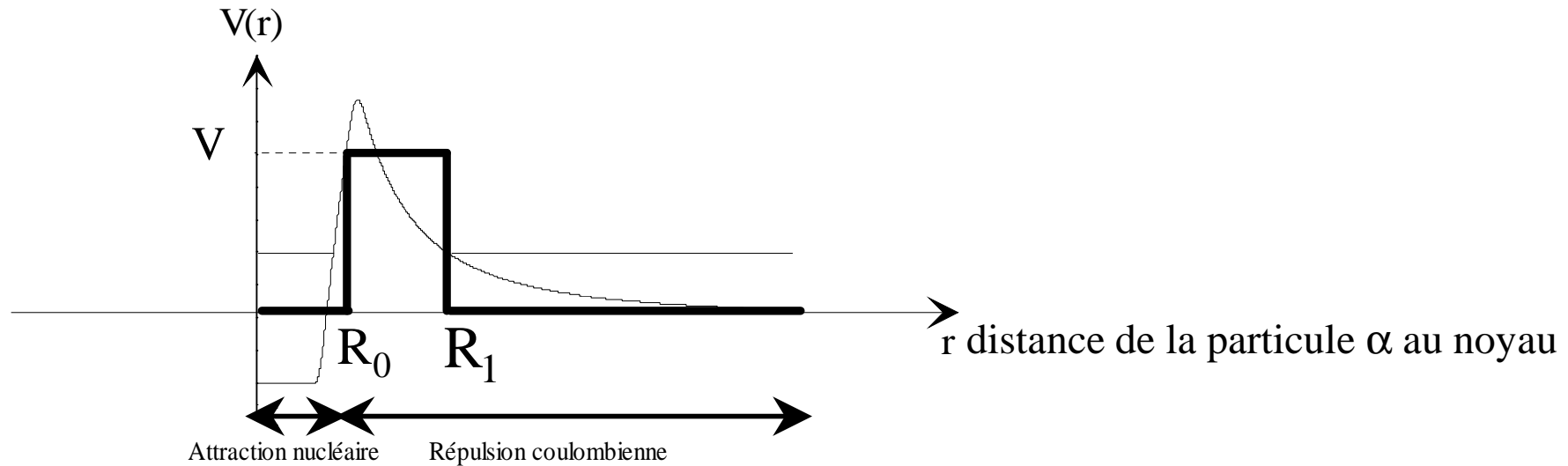
Cas  $E < V_0$ : extrapolation du coefficient de transmission puis approximation de la barrière épaisse:

$$T \approx 16(1 - E/V_0)E/V_0 \exp\left(-2\sqrt{2mV_0(1 - E/V_0)a/\hbar^2}\right)$$



### Calculatoire ... mais possibilité méthode de la matrice de transfert !

*Chaque discontinuité (ou dioptré en optique) entre deux milieux consécutifs homogènes peut être décrite par une matrice de réflexion-transmission  $[R]$ , et la propagation dans les milieux est elle-même associée à une matrice de translation  $[T]$  (analogie avec optique et l'électrocinétique).*



Le noyau émetteur crée un potentiel d'interaction où préexiste la particule  $\alpha$ . Cette dernière, une fois émise (quand  $r \rightarrow \infty$ ,  $V_\infty = 0$ ), possède l'énergie cinétique  $E$ , égale à l'énergie totale  $E$  qu'elle avait dans le puits.

Hypothèse: la transmission représente la probabilité qu'à la particule  $\alpha$  de s'échapper du noyau chaque fois qu'elle frappe la paroi du puits de potentiel aux points  $R_0$ .

Probabilité élémentaire  $P(t)dt$  pour que la particule  $\alpha$  s'échappe du noyau à l'instant  $t$ , dans l'intervalle de temps  $dt \approx NT \exp(-NTt)dt$  avec  $N = \frac{1}{2R_0} \sqrt{\frac{2E}{m}}$  le nombre de rebonds sur la paroi  $R_0 \Rightarrow$  durée de vie moyenne (ou demi-vie) du noyau émetteur.

AN  $^{238}\text{U}$ :  $E = 5 \text{ MeV}$ ,  $V = 30 \text{ MeV}$ ,  $m = m_{\text{He}}$ ,  $R_0 = 10 \text{ fm}$ ,  $R_1 = 30 \text{ fm} \Rightarrow T_{1/2} = 0,39 \cdot 10^9 \text{ ans} / 4,46 !$

**Remerciements**  
Daniel Bideau - Rennes  
Jean Cosléou - Lille