

éléments de métrologie.

I notions générales.

" grandeurs

1.1.1 def

attribut d'un phénomène physique, d'un corps
ou d'une substance susceptible d'être distingué
qualitativement et quantitativement
unité de mesure d'une grandeur
valeur déterminée de celle-ci adoptée par
convention et utilisée pour exprimer quantitati-
vement des grandeurs de $\vec{3}$ dimension.

ex: longueur = grandeur, unité de mesure: m

1.1.2 classification.

• grandeurs scalaires

les plus nbx, l, m, temps

• il est possible d'imaginer des opérations
permettant de définir l'égalité et la somme
de 2 valeurs de cette grandeur.

- scalaires: peuvent être placés en série,
l'une étant + petite de l'autre (échelle des
grandeurs), grandeurs scalaires entièrement
caractérisées par valeur puis unité.

- vectorielle: c'est un pt \vec{n} donné, sont
caractérisés par une direction, une sens et une
valeur ou intensité



vecteur d'origine Π , support; droite passant par Π ayant la direction du vecteur, sens: sens de la grandeur, norme; son intensité $\|\vec{v}\|$, a tjs une unité celle de la grandeur physique que le vecteur représente.

• grandeur non additive.

on ne peut définir que le rapport, ex: $\theta^\circ\text{C}$, densité, indice réfraction.

1.1.3 système de grandeur.

ensemble de grandeurs définies avec un nombre limité et déterminé de grandeurs choisies en vue d'une application de un domaine particulier au domaine général scientifiquement technique.

† système de grandeur comprend 2 classes de grandeurs.

- grandeurs fondamentales, de base, un nombre limité relevant à 3 critères:

• ces grandeurs doivent constituer un système cohérent

• elles doivent être indépendantes les unes des autres

• les unités de ces grandeurs doivent être définies avec la meilleure précision, et être des unités fondamentales, éléments matériels dont on utilise une certaine propriété

- grandeurs dérivées, définies comme fonction des grandeurs de base du système.

1.1.4 dimension.

expression qui représente cette grandeur de un

système de grandeur, avec le produit des puissances des grandeurs de base de ce système.

1.1.5 équations entre grandeurs.

1.1.6 grandeurs sans dimension:

grandeur dont l'expression, en fonction des grad de base du système, présente tous ses exposants nuls

dilatation linéique relative $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

1.2 unité de mesure.

valeur déterminée d'une grandeur choisie arbitrairement

\exists unités de base, unités dérivées

grandeur $\hat{=}$ unité

2 système international d'unités

2.1 rapports.

CGS sur 3 unités fondamentales : cm, g, s

MKS " " : mètre, tonne, s

MKSA " " : + ampère.

SI : prend la suite de MKSA, à 7 grandeurs fondamentales.

en 1960, ce système est proposé par conférence générale des poids et mesures, avec 6 unités.

1968 : nouvelle def de la seconde, à radiations de l'atome de Cs

1971 : on introduit la septième grad : la quantité de matière, mole.

1975 : on modifie les grandeurs $\hat{=}$ phénomène de radioactivité et d'ionisation.

1983 : on modifie la définition du mètre.

2.2 unités SI

2.2.1 3 unités de base.

7 unités de base, 2 supplémentaires et dérivées voir page 2.

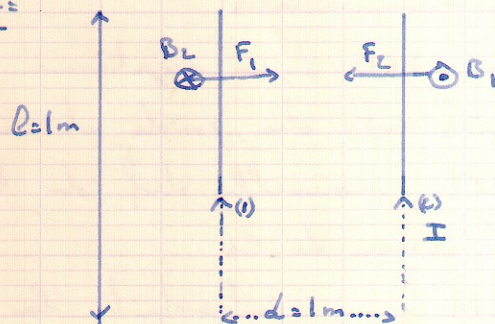
mètre: distance parcourue par l'onde électromagnétique dans le vide c pendant la durée de $299.792.458^{-1}$ s
précision de 10^{-11} m.

masse: (kg) l'étalon est un cylindre de platine irridié, c'est la masse du prototype international en platine irridié.
• maintenu par un faisceau de protons et neutrons
Paris 1889

• définie en liaison avec le mètre et la seconde.
précision: 10^{-8} limité par les balances.

seconde: durée de $9192.631.770$ périodes de la radiation correspondant à la transition entre 2 niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de ^{133}Cs
précision: 10^{-11}

ampère:



étalon constitué par 2 conducteurs F_1 et F_2 rectilignes, de longueur infinie, parcourus par intensité constante I , sur lesquels s'exerce une force de Laplace.

\vec{B}_1 crée par fil infini (1) à une distance

donnée par la relation

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

un conducteur filiforme rectiligne (2) parcouru par un courant d'intensité I est soumis à champ continu B_1 est soumis à une force de Laplace:

$$F_2 = B_1 I l = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I^2 l}{d}$$

d'origine est l'intensité d'un courant électrique I qui est maintenue de 2 conducteurs // infinis, de section circulaire négligeable et placés à 1 distance de 1 m l'un de l'autre dans le vide produit entre ces 2 conducteurs une force de $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ par mètres de longueur

température: Kelvin.

étalon: eau pure.

utiliser la parfaite reproductibilité des phénomènes de changements d'états, en particulier l'E d'un pt triple (0°C et ρ) fixes) où coexistent phases: liquide, solide, vapeur.

le Kelvin est la fraction $1/273,16$ de la 0°C thermodynamique du pt triple de l'eau.

on utilise aussi la température Celsius ($^\circ\text{C}$) $t^\circ\text{C}$ def de la 0°C thermodynamique.

$$t = T - 273,15$$

0°C Celsius du pt triple de l'eau $0,01^\circ\text{C}$

" thermodyn. " " 273,16 K

candela: lumière.

étalon: source émettant un rayonnement

monochromatique de une direction donnée
 dont on définit l'intensité énergétique
 de ce faisceau est l'intensité lumineuse du
 rayonnement monochromatique, de
 fréquence $540 \cdot 10^{12}$ Hz correspondant à une
 intensité énergétique de 683 Watts de une
 direction définie par l'angle solide de 1
 steradian.

mole: Q de matière

étalon: $^{12}_6\text{C}$, atome de carbone 12
 la mole est la Q de matière d'un
 système contenant autant d'entités élémen-
 taires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg
 de ^{12}C

q.e. on appelle la mole, entités élémentaires
 doivent être précisées (ions, atomes, e^- , ...)

unités supplémentaires:

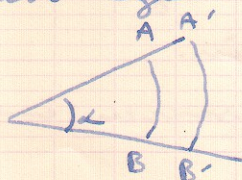
elles ont été introduites en 1980, constituant
 une classe d'unités dérivées sans dimension.

unité d'angle plan: le radian (rad)

angle plan qui ayant son sommet au
 centre d'un cercle intercepte sur la circon-
 férence de ce cercle un arc d'une longueur égale
 au rayon du cercle.

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad.}$$

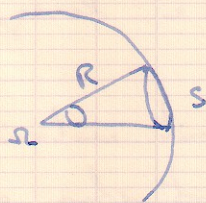
de cette Def, \Rightarrow mesure d'un arc de cercle de
 rayon R ou sous l'angle au centre α
 est égale à R α si α est exprimé en rad



$$\alpha = \frac{\text{arc } AB}{R} = \frac{\text{arc } A'B'}{R'}$$

unité et angle solide : le stéradian (sr)

angle solide qui ayant son sommet au centre d'une sphère détermine sur la surface de cette sphère une aire équivalente à celle d'un carré dont le côté est égal au rayon de la sphère



la surf délimitée étant proportionnelle au carré du rayon, la mesure de l'angle solide est indépendante du choix de la sphère sur laquelle

— mesure la surface

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

pour l'angle solide sr lequel on voit $\#$ espace

$$\Omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ (sr)}$$

unités dérivées

s'expriment par relations algébriques en fonction des unités de base + unités complémentaires.

tableau II

2.2.2 écriture

les noms d'unités : en minuscules en fin de la lettre initiale, prennent la marque du pluriel.

des symboles d'unités : lettres minuscules généralement important en 1^{re} lettre majuscule si le nom vient d'une personne.

1.3 unités hors système.

emploi de certaines d'entre elles \neq si est légale en raison de leur importance et utilité

• heure, minute, jours

- le Fermi = 10^{-15} m (dimension de l'atome)
- unité de masse atomique u ou a = $u = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{N}$

$$u = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- l'électron volt : eV = $1,6021832 \cdot 10^{-19}$ J
E acquise par un $1 e^-$ lorsqu'elle est soumise par une DDP de 1V
- d'autres unités étaient autorisées temporairement, certains ne le sont plus depuis le 31.12.85
curie, rad, rem, poise, stokes, millimètre de mercure, atmosphère en France, unité de mesure de pression sanguine, autorisée par CEE

1.4 multiplis et sans multiplis.

voir tableau 3

ces préfixes s'appliquent aussi bien aux unités SI qu'aux unités hors système.

les multiplis et sans. de l'unité de masse sont formés par convention en ajoutant les préfixes en gramme.

3 dimension, équation, homogénéité des formules.

les unités ont chacune leur nature propre = dimension.

longueur [L], masse [M]

valable pour grandeur de base et dérivées

$$\text{force } [F] = [M][L][T]^{-2}$$

on peut dire qu'écrire une équation avec dimension consiste à exprimer symboliquement les relations entre \neq grandeurs,

la plupart du temps en fonction des grds fondamentaux

les équations avec dim. retiennent non seulement les grandeurs mais aussi les unités correspondantes on peut trouver : la dimension d'une grandeur, l'unité de laquelle elle doit s'exprimer.

$$\eta \text{ viscosité} \quad \|\vec{F}\| = \eta s \frac{dv}{dx}$$

$$\hookrightarrow \eta \text{ en } \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$$

l'application la plus importante des équations dimensionnelles est la vérification de l'homogénéité d'une formule.

ex: $A = B \Rightarrow$ les 2 qtd s'expriment avec la $\hat{=}$ dimension, la $\hat{=}$ unité, la $\hat{=}$ nature.

Divers

1. Généralités

- masse: la masse d'inertie d'un pt Π est un scalaire positif noté m caractérisant la quantité de matière de Π .

- quantité de mouvement de Π

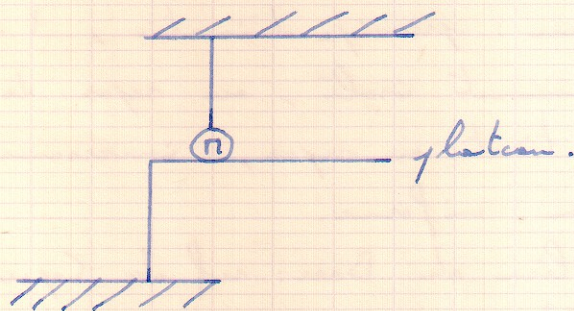
soit un pt Π qui se déplace à vitesse \vec{v} dans un repère R . par def, la Q de mouvement de Π de R notée \vec{p} a pour expression $\vec{p} = m\vec{v}$ s'exprime en kg.m.s⁻¹

- concept de force

un pt matériel est dit mécaniquement isolé lorsqu'il ne subit aucune action ext, ou lorsque l' Σ des actions extérieures se compensent.

on appelle force toute action physique capable de modifier \vec{p}

- action et réaction.



la particule Π exerce une force $\vec{P} = m\vec{g}$ égale à son poids sur le plateau fixe, comme elle reste au repos elle est mécaniquement isolée, donc Π subit de la part du plateau une force de réaction qui compense l'act.

de Π sur le plan.

• référenciel.

la description d'un mot nécessite le choix d'un objet, indéformable au cours du temps

• servant de référence

• que l'on appelle solide de ref ou référenciel.

le mot est relatif au référentiel choisi.

ref galiléen.

de la cadre de la mécanique classique, nous postulons q

qu'il existe un ref dans lequel

\vec{p} de Π mécaniquement isolé = cte.

= ref galiléen

= R_g

$$[\vec{p}(t)]_{R_g} = \text{cte}$$

$$\left[\frac{d\vec{p}}{dt} \right]_{R_g} = \vec{0}$$

la validité d'E et d'un ref galiléen est valable si

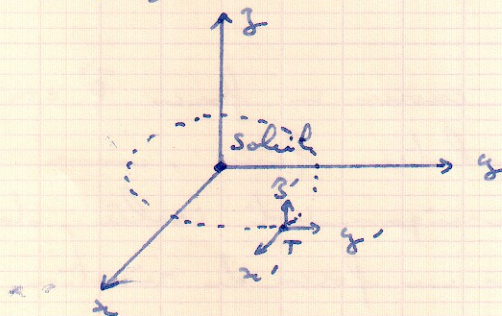
$\forall \Pi$ (espace homogène), $\forall t$ (uniformement de t)

$\forall \vec{p}$ (espace isotrope).

\Rightarrow aucune direction, aucune position, aucun temps n'est privilégié.

conséquence : principe d'inertie, 1 particule mécaniquement isolé, au repos de un ref galiléen se maintient au repos, inversement, un mot, translation uniforme.

ref galiléen de Base: ref de Copernic,



constitué de soleil et de 3 étoiles fixes les unes par rapport aux autres.

a pour origine le centre d'inertie de soleil axes dirigés vers les 3 étoiles.

Σ des ref galiléen: - repère qui est en translation rectiligne et uniforme / repère copernic est dit galiléen.

repère peuvent être assimilés à galiléen: celui de la Terre.

c postulat fondamental de la dynamique dans R_g

e.1 énoncé

soit une particule Π de masse m soumise de la part de milieu extérieur à différentes forces de résultante $\vec{f}(\Pi, t)$ en $p^t \Pi$, à l'instant t le mot de Π étudié de R_g

Il est postulé une relation entre $\vec{f}(\Pi, t)$ et la quantité de mouvement, à t en $p^t \Pi$ de R_g

$$\vec{f} = \left(\frac{d\vec{p}}{dt} \right)_{R_g}$$

unité de force = N en $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

e.2 interprétations

a- principe d'inertie

$$\vec{f} = \vec{0} \quad \text{ou } \vec{v} = \text{cte}$$

b- principe d'évolution

postulat repris la loi d'évolution de l'état mécanique de la particule état est caractérisé par couple de variables:

(\vec{r}, \vec{p}) ds R_3 avec $\vec{r} = \vec{O}M$ (O origine sur R_3)

considérons

à t - état mécanique $[\vec{r}(t) = \vec{p}(t)]_{R_3}$
à $t + dt$ " " $[\vec{r}(t + dt) = \vec{r}(t) + \frac{d\vec{r}}{dt} dt]$
 $\vec{p}(t + dt) = \vec{p}(t) + d\vec{p}$

étant donné que $d\vec{p} = \vec{f} dt$, cet état est déterminé dès que l'on connaît la loi de force $\vec{f}(N, t)$

le produit $\vec{f} \cdot dt$ désigne l'impulsion de la particule.

en mécanique classique : $\vec{f} = m \left(\frac{d\vec{v}}{dt} \right)_{R_3} = m \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \right)_{R_3}$

$$\vec{f} = \left(\frac{dm\vec{v}}{dt} \right)_{R_3}$$

$$\vec{f} = \left(\frac{d\vec{p}}{dt} \right)_{R_3}$$

\Rightarrow la dérivée / t de la Q de mot est égale à la résultante de Σ des forces extérieures appliquées à ce système.

R_3 :

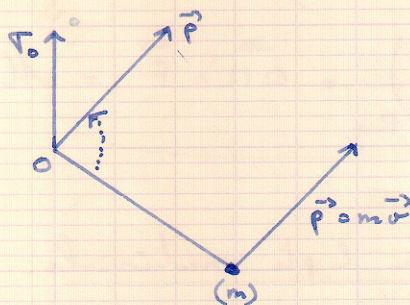
• si équilibre d'une particule sans l'action de champ de pesanteur \vec{g}
dans ce cas $f_g = \frac{\text{poids}}{g} = "m" \text{ masse}$ pesante

Identité entre masse d'inertie et masse pesante

• dis que la vitesse de la particule n'est plus négligeable : $v > 0,1c$ le principe n'est plus applicable.

3 moment cinétique d'un pt matériel

3.1 def



le moment cinétique $L \approx 0$ d'un pt Π de masse m en mot dans un référentiel R est défini par le moment $L \approx 0$ du vecteur Q de mot de la particule de R .

$$[\vec{\Gamma}_0(\Pi)]_R = \vec{O\Pi} \wedge [\vec{p}(\Pi)]_R$$

le sens de $\vec{\Gamma}_0$ est donné par règle de la tire-bouche :
 le sens de la tire qui amène $O\Pi$ vers p
 dimension :

$$L \cdot \Pi \cdot L \cdot T^{-1} = \Pi \cdot L^2 \cdot T^{-1}$$

$$\text{expression : kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

3.1 Théorème du p cinétique d'un pt Π .

de pt O étant fixe de R_g , la dérivée / temps du p cinétique $L \approx 0$ de R_g d'un pt matériel Π est égale au p $\neq 0$ de la force résultante de la force appliquée à Π résultante.

$$\left(\frac{d\vec{\sigma}_0}{dt} \right)_{R_{0y}} = \left[\frac{d(\vec{r} \wedge \vec{p})}{dt} \right]_{R_{0y}} = \vec{v} \wedge \vec{p} + \vec{r} \wedge \left(\frac{d\vec{p}}{dt} \right)_{R_{0y}}$$

avec $\vec{r} = \vec{OM}$

$$\begin{cases} \left(\frac{d\vec{p}}{dt} \right)_{R_{0y}} = \vec{F} \\ \vec{v} \wedge \vec{p} = \vec{0} \end{cases}$$

donc $\left(\frac{d\vec{\sigma}_0}{dt} \right)_{R_{0y}} = \vec{OM} \wedge \vec{F} = M = p \text{ de la force.}$

4 choc élastiques de 2 pts matériels.

4.1 défs. - généralités

choc = collision

toute interaction entre 2 particules s'incisant
polt oblique très petite durée = choc ou une
collision entre ces 2 particules.

= choc est dit élastique lorsqu'il n'y a
pas de perte d' E_c globale au cours du choc

$$E_c(\Sigma \text{ des } 2 \text{ part.}) = \text{cte}$$

lorsqu'il y a perte \Rightarrow choc inélastique.

4.2 propriété générale:

dimos:

cas général d'un système (s) de 2 particules
 $\Pi_1(m_1)$ et $\Pi_2(m_2)$, substitution pendant τ
durée du temps.

• forces extérieures $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

• " intérieures : les interactions mutuelles

\vec{f}_1 et \vec{f}_2 , égales et opposées (théorie $\text{act}\theta$, $\text{reac}\theta$)

RFD : à Π_1 et Π_2 de R_g

$$\Pi_1 : \left(\frac{d\vec{P}_1}{dt} \right)_{R_g} = \vec{F}_1 + \vec{f}_1$$

$$\Pi_2 : \left(\frac{d\vec{P}_2}{dt} \right)_{R_g} = \vec{F}_2 + \vec{f}_2$$

pour durée infinitésimale σ de choc, les forces et interactions (à courte distance ou en contact) sont très grands / forces extérieures.

on peut négliger \vec{F}_i devant \vec{f}_i pour le choc.

Il en résulte pour (2) comparé de Π_1 et Π_2

$$\left(\frac{d\vec{P}_2}{dt} \right)_{R_g} \approx \vec{f}_1 + \vec{f}_2 = \vec{0}$$

\Rightarrow pour σ de choc la Q de mot du système global se conserve

$$\text{à } t_i \quad \vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2' \quad \text{à } t_f = t_i + \sigma$$

notion d'impulsion.

particule $m(m)$ soumise à $t = \vec{f}$

et après RFD $\vec{f} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$

$$m d\vec{v} = \vec{f} dt$$

l'impulsion de la force \vec{f} pour dt

$$d\vec{I} = \vec{f} dt = m d\vec{v}$$

entre 2 instants t_i et t_f

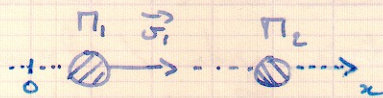
$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{f} \cdot dt = m (\vec{v}' - \vec{v}) \quad (\vec{I} \text{ grad vectorielle})$$

l'impulsion mesure la variation de la Q de mot dimension: $I = \pi L T^{-2} T = \pi L T^{-1}$
 en $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

4.3 choc élastique sur particule cible.

4.3.1 choc frontal.

choc sur une particule en mot rectiligne uniforme sur une particule au repos.



(O_m) pass par centre d'inertie de Π_1 et Π_2 , $\vec{v}_2 = \vec{0}$

frontal: le support vecteur vitesse pass par centre d'inertie de Π_1 et Π_2

équations

v_1' v_2' vitesse algébriques de Π_1 et Π_2 après choc conservation de Q de mot

$$(1) \quad m_1 v_1 = m_2 v_2' + m_1 v_1'$$

$$(2) \quad \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

de (1) et (2), on tire $v_1 - v_1' = \frac{m_2}{m_1} v_2' \quad (1')$

$$v_1^2 - v_1'^2 = \frac{m_2}{m_1} v_2'^2 \quad (2')$$

on divise (1') par (2')

conduit à: $v_1' + v_2' = v_1$

en définitive, v_1' et v_2' sol de:

$$\begin{cases} v_2' - v_1' = v_1 \\ v_1 - v_1' = \frac{m_2}{m_1} v_2' \end{cases}$$

$$\Rightarrow v_1' = \frac{1 - \frac{m_2}{m_1}}{1 + \frac{m_2}{m_1}} v_1$$

$$\text{et } v_2' = \frac{2}{1 + \frac{m_2}{m_1}} v_1$$

conséquences:

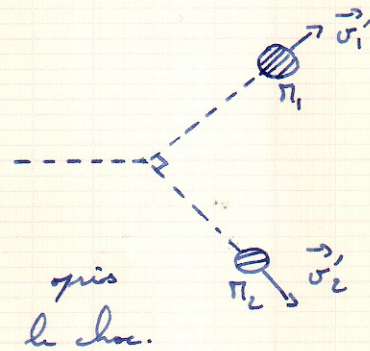
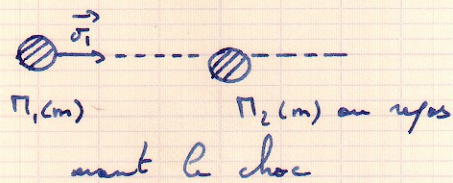
si $m_2 > m_1$, v_1' et v_1 de signes opposés, Π_1 part en sens inverse après le choc

si $m_2 = m_1$, $v_1' = 0$, $v_2' = v_1$ les particules échangent leur vitesse.

si $m_2 < m_1$, v_1' et v_1 de $\hat{=}$ signes, Π_1 suit Π_2

qd $m_2/m_1 \gg \gg 1$ $v_1' \approx -v_1$ et $v_2' \neq 0$ Π_1 rebondit sur Π_2 qui reste pratiquement immobile

9.3.2 choc latéral



les z -axes sont identiques.

$$\begin{cases} m\vec{v}_1 = m\vec{v}_1' + m\vec{v}_2' & (\text{conservation } Q \text{ de movt}) \\ \frac{1}{2}m v_1^2 = \frac{1}{2}m v_1'^2 + \frac{1}{2}m v_2'^2 & (\text{conservation } E_c) \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \vec{v}_1 = \vec{v}_1' + \vec{v}_2' \\ v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2 + 2\vec{v}_1' \cdot \vec{v}_2' \\ v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_1' \cdot \vec{v}_2' = 0, \text{ d'où } \vec{v}_1' \perp \vec{v}_2'$$

Travail & énergie.

1. W. E_c. E_p

1.1 travail d'une force appliquée à un pt - matériel.

1.1.1 travail élémentaire d'une force dans R_g

$\Pi \rightarrow \Pi'$ $d\vec{l}$ entre t et $t + dt$

dans R_g caractérisé par $(0; \vec{e}_1; \vec{e}_2; \vec{e}_3)$

Par Def, le produit scalaire $\vec{f} \cdot d\vec{l}$ représente le travail élémentaire noté δW de \vec{f} entre t et $t + dt$

$$\delta W = \vec{f} \cdot d\vec{l}$$

la force \vec{f} appliquée à Π peut dépendre de la position de Π , de sa vitesse et de t considéré.

• de R_g

$$\delta W = f_x dx + f_y dy + f_z dz$$

↓

↓

↓

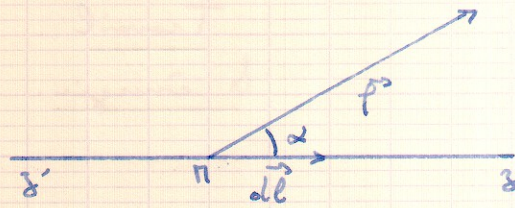
composantes de \vec{f} , des composantes de $d\vec{l}$

• de la cas où plusieurs forces \vec{f}_i exercées sur Π lors du déplacement $d\vec{l}$, la somme des δW travaux élémentaires est égale au travail élémentaire de la résultante \vec{F} des forces appliquées.

$$\delta W = \sum_i \delta W_i = \sum_i \vec{f}_i \cdot d\vec{l} = (\sum_i \vec{f}_i) \cdot d\vec{l}$$

conséquence de l'additivité des forces.

NB

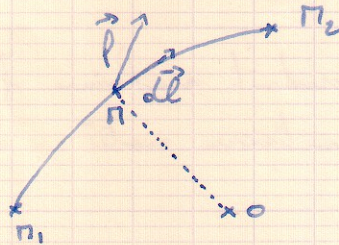


$$\delta W = \vec{f} \cdot d\vec{l} = f \cos \alpha \, dl$$

1.1.2 travail d'une force de R non galiléenne

ne se doit tenir compte des forces d'inertie de l'a doit inclure de la résultante \vec{F} des forces appliquées sur Π .

1.1.3 travail d'une force sur une courbe.



déplacement de Π , décrit
tangente $\Pi_1 \Pi_2$, portion de courbe
(= arc)

entre t_1 et t_2 , de R. sous
l'action de la force \vec{F}

le travail de cette force = Σ des travaux élémentaires
le long de la courbe.

$$W_{\Pi_1}^{\Pi_2} = \int_{\Pi_1}^{\Pi_2} \vec{f}(\Pi) \cdot d\vec{l} = \int_{\Pi_1}^{\Pi_2} \vec{f} \cdot \vec{v} \, dt$$

$d\vec{l}$ est tg à la trajectoire de cette particule

— H pt Π

1.1.4 unité de travail.

joule (J)

travail effectué par une force de 1 Newton (N)
sur un déplacement de 1 m la direction du pt
d'application étant celle de la force.

dimension. $[W] = [F] \cdot l$
 $= \text{N} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{T}^{-2}$

- 1.2 puissance d'une force exercée sur 1 pt matériel.
 la puissance d'une force agissant sur une particule
 de vitesse \vec{v} de R_g

$$P = \vec{f} \cdot \vec{v}$$

puisque $\int W = \vec{f} \cdot d\vec{l} = \vec{f} \cdot \vec{v} dt$
 on déduit que

$$\int W = P \cdot dt \quad (\text{yolt dt})$$

$$[W]_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} P dt$$

unité de puissance watt (W)

puissance d'une force produisant un travail de 1 J
 yolt 1 s.

- 1.3 Th de l' E_c d'un pt matériel.

- 1.3.1 E_c d'un pt matériel.

soit Π , de masse m , de vitesse \vec{v} de R_g

de $Q \frac{1}{2} m v^2$ dirige l' E_c du pt Π de R_g

car le Q de mot \vec{p} est lié à \vec{v} par $\vec{p} = m\vec{v}$
 il en résulte :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

- 1.3.2 Th de l' E_c

pt matériel Π soumis à 1 force résultante \vec{F}

comparons le travail élémentaire de $\vec{F}(\Pi)$

le Δ d' E_c de Π entre t et $t+dt$

$$dE_c = d\left(\frac{1}{2} m v^2\right) = m \vec{v} \cdot d\vec{v}$$

$$= m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt$$

$$= m \vec{a} \cdot \vec{v} dt$$

en tenant compte de la RFD: $\vec{F} = m\vec{a}$

$$dE_c = \vec{F} \cdot \vec{v} dt = \delta W$$

en intégrant la relation entre

l'état initial t_1 , caractérisé par \vec{v}_1 de Π
" " " t_2 " " \vec{v}_2 "

$$(\Delta E_c)_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = [W]_{t_1}^{t_2}$$

la variation dE_c d'un pt matériel, dans R,
est égal au travail de la résultante des forces
s'exerçant sur Π qdt dt. (ce compris la
force d'inertie si on n'est pas dans R_g)

unités d'énergie joules J comme pour le travail
travail moteur, travail résistant.

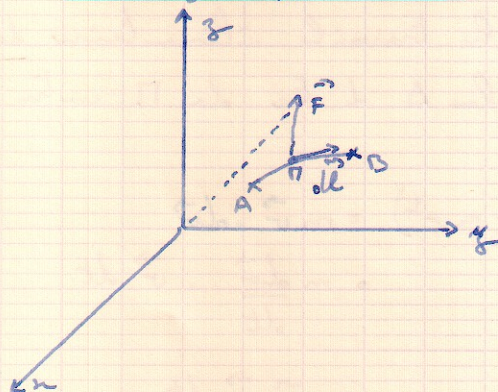
de la relation $dE_c = \delta W$, on déduit que

• qd $\delta W > 0$ (\vec{F} suivant $d\vec{l}$); E_c et donc
 $v \uparrow$: le travail est dit "moteur".

• qd $\delta W < 0$ $E_c \downarrow$, le travail est résistant.

• qd $\vec{F} \perp d\vec{l}$ ($\vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$), l' E_c est constante.

1.4 l'énergie potentielle.



soit 1 déplacement infinitésimal $d\vec{l}$ de \vec{r} à $\vec{r} + d\vec{l}$

soumis au champ de force $\vec{f}(\vec{r})$

Par Def, $\vec{f}(\vec{r})$ dérive d'une fonction scalaire.

notée $E_p(\vec{r})$

appelée énergie potentielle.

lorsque le produit scalaire $-\vec{f}(\vec{r}) \cdot d\vec{l}$ est égal

à la différentielle totale de la fonction $E_p(\vec{r})$

$$dE_p(\vec{r}) = -\vec{f} \cdot d\vec{l}$$

une force dérive d'une E_p est dite conservative.

on introduit le vecteur $\vec{\text{grad}} E_p(\vec{r})$

$$\vec{f} = -\vec{\text{grad}} E_p$$

on dit que \vec{f} est le gradient de E_p chargé de signe

propriété fondamentale.

le travail infinitésimal δW d'une force conservative
égal à $\vec{f} \cdot d\vec{l}$ est lié à dE_p par la relation.

$$\delta W = -dE_p$$

de ce cas le travail infinitésimal correspond à la
différentielle totale de la fonction $-E_p$ est noté δW

$$W_A^B = -[E_{pB} - E_{pA}] \text{ par intégration sur le trajet } A \rightarrow B$$

\Rightarrow la Δ d' E_p d'un pt \vec{r} est égal et de signe contraire
au travail de la force conservative au cours du déplacement

le Δ de E_p est indépendante du chemin parcouru, elle ne dépend que de la position de A et de B.

l' E_p n'est définie qu'à un cte près, on ne peut donc connaître que Δ de E_p .

Du seul fait qu'un corps est soumis à l'action conservative, il possède un E_p .

1.5 bilan énergétique

• forces conservatives.

soit un pt M , de axe Π , de vitesse \vec{v} décrivant \mathcal{C} de \mathcal{R}^3 sans ac \neq forces.

on peut distinguer:

les forces conservatives dérivées d'une fonction de E_p satisfaisant: $\vec{F}_p = -dW_p$

les forces dissipatives (ex. forces de frottement) ne vérifiant pas $\vec{F} = -\text{grad } E_p$; $\int W_d < 0$

• énergie mécanique.

soit un déplacement infinitésimal $d\vec{l}$ de $\Pi(m)$ de \mathcal{R}^3 Th de l' E_c

$$dE_c = \int W = \int dW_p + \int dW_d$$

forces conservatives \uparrow forces dissipatives.

comme $dW_p = -dE_p$, il vient

$$d(E_p + E_c) = \int W_d < 0$$

Par def, $E_c + E_p = E_{\text{mécanique totale}}$ de la particule = $E_m = E_T$

$$\Delta E_m = E_m(\Pi_2) - E_m(\Pi_1) = \int_{\Pi_1}^{\Pi_2} W_d$$

\Rightarrow forces agissant sur la particule uniquement conservatives \exists des forces de frottement

E_m

etc

\rightarrow de E_m
telle que $\Delta E_m = W_{ol}$

en présence de frottement, l'énergie mécanique du système dans une partie à l'écartirium sans forme et E dissipée, calorifique.

2. Mécanique relativiste.

2.1 relations de def des grandeurs relativistes

de mécanique newtonienne décrit les mots de H particule en système soumis à des forces, permet de prévoir les mot tant que les vitesses sont faible devant la vitesse de la lumière.

prise en des insuffisances de \oplus \leftarrow \oplus importantes des que v se rapproche de c .

• Q de mot

$$(mc : \vec{p} = m\vec{v})$$

$$p = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} m\vec{v}$$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = (1 - \beta^2)^{-1/2}$$

$$\vec{p} = \gamma m\vec{v} \quad \text{voir faciale.}$$

• E_c

on calcule q — mécanique classique. —
insistant que le Δ d' E_c est égal au travail
des forces...

$$\Delta E_c = \int \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = \int \frac{d\vec{p}}{dt} \cdot d\vec{\ell}$$

en remplaçant \vec{p} par $\gamma m \vec{v}$
on aboutit à

$$E_c = (\gamma - 1) m c^2$$

Ces formules sont valables \forall la vitesse du
système matériel, de $0 \leq v < c$

- si $v \approx c$, β tend vers 1, $\gamma \rightarrow \infty$

- si $v \ll c$; $\beta \ll 1$; l'expansion $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$
peut être approchée par: $\gamma = 1 + \frac{1}{2} \beta^2$
d'où:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v} \approx \left(1 + \frac{1}{2} \beta^2\right) m \vec{v} = m \vec{v}$$

$$E_c = (\gamma - 1) m c^2 \approx \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} m c^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

m.c. = approximation aux faibles vitesses de
la m.r.

pour que l'approximation soit valable:

il faut:

$$\beta^2 = \frac{v^2}{c^2} \text{ petit devant } 1 \quad \beta^2 < \frac{1}{100}$$

donc $v < 0,1 c$. Seules les particules ou les
systèmes qui ont des E très importantes sont
relativistes. les particules α ne sont pas
relativistes.

2.2 l'E de masse.

mc^2 a la dimension d'une E

→ Einstein postule que cette équivalence math
nivale se réalise physiquement.

une particule m possède une E due à la masse

$$E_0 = mc^2 \quad (\text{invariante!})$$

⇒ en plus de sa E_c (E cinétique) due à son mot,
toute particule possède une E intrinsèque due à sa masse

2.3 l'E totale

$$E = E_c + E_0 = (\gamma - 1)mc^2 + mc^2 = \gamma mc^2$$

2.4 relation E, Q de mot

$$E = \gamma mc^2 \quad \vec{p} = \gamma m \vec{v} \quad \gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$$

parties au carré

$$E^2 = \gamma^2 m^2 c^4 \quad p^2 = \gamma^2 m^2 v^2 \quad \gamma^2 = (1 - \beta^2)^{-1} \quad \textcircled{1}$$

(1) (2) $\Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{\gamma^2} \quad \textcircled{2}$

parties de (2) v^2 tiré de (1)

$$p^2 = \gamma^2 m^2 c^2 \left(1 - \frac{1}{\gamma^2}\right) = \gamma^2 m^2 c^2 - m^2 c^2$$

multiplions les 2 termes par c^2

$$p^2 c^2 = E^2 - m^2 c^4$$

$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$$

2.5 équivalence E-masse

relation d'Einstein & applications.

comme q⁻ une particule possédant une E de repos $m_0 c^2$
c'est appliqué à 1 cas particulier de la
relation générale

$E = \Pi c^2$ valable pour Π les masses et toutes
les formes d'E.

Cette formule s'applique en pratique sous la
forme :

$\Delta E = \Delta \Pi \cdot c^2$, ce qui peut s'exprimer ainsi.

à Π Δ de masse correspond une Δ d'E

à un degré θ de masse correspond à un libéra^o
d'énergie.

inversement, la création de masse ne peut se
faire q⁻ à partir d'une certaine énergie.

ex : phénomène d'annihilation d'un β^+ ,
T de $m_0 = 18$, il s'unit avec un β^- , ces
2 charges se neutralisent.

$m_e = 0,511 \text{ MeV}$, les 2 e^- disparaissent $2m_e = 1,02 \text{ MeV}$
cette E est exportée par un photon γ d'E
supérieure à $1,02 \text{ MeV}$.

des photons γ de $1,02 \text{ MeV}$ disparaissent qu
appari^o d'un β^+ et un β^-
 \downarrow \downarrow
 $0,511 \text{ MeV}$ $0,511 \text{ MeV}$

l'excédent d'E sous forme d'E_c

transf. de masse \Rightarrow réact^o exoénergétiques.

Champs potentiels

1 Def

1.1 de champ d'un grad quelconque de une région de l'espace est une propriété φ continue de cette région décrite par 1 fonction de la position et du temps.

si propriété indépendante de $x, y, z \Rightarrow$ champ uniforme
si " " " " de $t \Rightarrow$ champ permanent

1.2 champ de force

si on place un pt matériel Π de une région de l'espace, si en absence de Π aucun Θ continue, Π subit une force \vec{f} ; de cette région de l'espace rigide un champ de force $\vec{A}(x, y, z, t)$ tel que

$\vec{f} = \alpha \vec{A}$ α : grad caractéristique de Π ou de Π corps identique à Π .

ex: à la surface de la Terre, l'objet est soumis quasi γ -a force, à son poids (interac Θ attractive) autres champs,

champ électrique $\vec{f} = q \vec{E}$

" " magnétique $\vec{f} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$

interac Θ nucléaire.

1.3 potentiel de champ.

de la cas d'un champ de force, lorsque la force \vec{f} est conservative, lorsque γ, t de l'espace

est également caractérisé par une fonction scalaire
nommée potentiel de champ $V(x, y, z)$

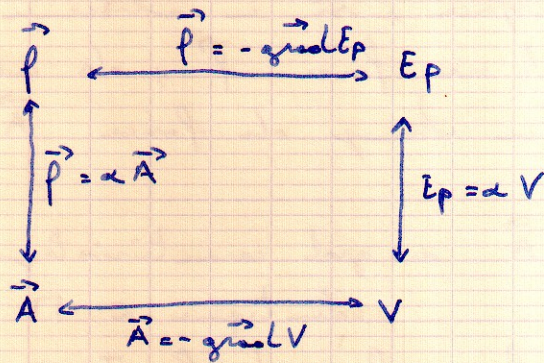
$$\vec{A} = -\text{grad } V$$

le seul phénomène physique observable est la
présence de \vec{A} , — remonte à V par opération
d'intégration.

relations: $dE_p(\pi) = -\vec{f}(\pi) \cdot d\vec{\ell}$
 $\vec{f} = -\text{grad } E_p$

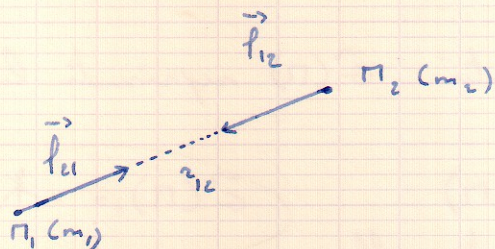
$$\vec{f} = \alpha \vec{A}$$

$$\vec{A} = -\text{grad } V$$



3 interaction gravitationnelle

3.1 force de Newton (1666)



la force d'attraction \vec{f}_{12} exercée par m_1 sur m_2 est :

$$\vec{f}_{12} = -K_G \cdot \frac{m_1 m_2}{(r_{12})^3} \cdot \vec{r}_{12}$$

$$K_G = \text{cte gravitationnelle} = \frac{\text{N} \cdot \text{L} \cdot \text{T}^{-2} \cdot \text{L}^2}{\text{kg}^2} = \text{L}^3 \text{M}^{-1} \text{T}^{-2}$$

$$\text{d'après seulement du SI} : = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Rq: m_1 et m_2 mesurables de l'interaction gravitationnelle = masses gravitationnelles sont identiques aux masses d'inertie de ces particules.

$$\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21} \quad (\text{principe de l'action et réaction})$$

3.2 champ gravitationnel

soit une distribution de particules de masse m_i en mouvement de la pte O_i

Force gravitationnelle exercée par cette distribution sur une particule de masse m située en Π ?

$$\text{avec } O_i \Pi = \vec{r}_i$$

$$\vec{F}(\Pi) = \sum \vec{f}_i(\Pi) = -K_G m \left(\sum \frac{m_i}{r_i^3} \vec{r}_i \right)$$

la grandeur $\frac{\vec{F}(\Pi)}{m}$ indépendante de la particule placée en Π .

elle caractérise les propriétés de l'espace en ce qui concerne les phénomènes de gravitation.

$\frac{\vec{F}(\pi)}{m}$ est noté $\vec{G}(\pi)$ représente le champ de gravitation $\omega \pi$

$$\vec{F}(\pi) = m \vec{G}(\pi)$$

force gravitationnelle

$$\vec{G}(\pi) = -k_G \left(\sum \frac{m_i \vec{r}_i}{(r_i)^3} \right)$$

3.3 champ de pesanteur.

Pour cela, la force de pesanteur sur 1 particule A de masse m est la force exercée sur cette particule, supposée au repos de un ref. terrestre R_T est somme de l'attraction gravitationnelle de la Terre. (centre C, masse M , rayon R)

Cette force \vec{P} définit le poids de la particule

du fait de la rotation de la terre on donne de l'axe sud-nord avec vitesse angulaire $\omega = \frac{2\pi}{T}$ la particule subit la force d'inertie d'entraînement $\vec{F}_c = -m \vec{a}_c$ de R_G

$$\Rightarrow \vec{P}(A) = m \vec{G}(A) + m \omega^2 R \cos \lambda \vec{u} \quad (-m \vec{a}_c)$$

$$\Rightarrow \vec{P}(A) = m \vec{G}(A) - m \vec{a}_c \quad \omega^2 R \cos \lambda = a_c$$

λ latitude cosidienne.

$\frac{\vec{P}(A)}{m}$ désigne le champ de pesanteur $\vec{g}(A)$ au point A et indépendant de A.

$$\vec{P}(A) = m \vec{g}(A) \quad \text{avec} \quad \vec{g}(A) = \vec{G}(A) - \vec{a}_c$$

on néglige $\|\vec{a}_c\|$ devant $\|\vec{G}\|$

\Rightarrow on peut assimiler le champ de pesanteur \vec{g} au champ de gravitation \vec{G}

$$\begin{aligned}
 g_0 &= \text{champ de pesanteur au sol} \\
 &= \text{homogène à une accélération} \\
 &= 9,81 \text{ m.s}^{-2}
 \end{aligned}$$

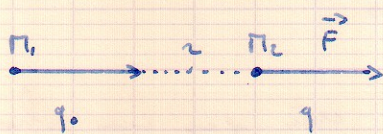
4 champ et potentiel électrique.

L'interaction de nature électrostatique entre particules chargées joue rôle fondamental. cette interaction assure la cohésion du système atomique, responsable de $\#$ les liaisons chimiques, permet expliquer stabilité des \neq solides cristallins, à la base de fonctionnement d'opérateurs (pc, oscilloscope cathodique).

4.1 cas d'une charge ponctuelle.

4.1.1 hypothèse de Coulomb.

à la suite d'expériences réalisées de la suite \exists analogie entre force gravitationnelle et force électrostatique découlant l'action mutuelle de 2 particules possédant des charges q_0 et q distantes de r .



$$\vec{F} = K \frac{q_0 \cdot q}{r^2} \vec{r}$$

cette hypothèse se vérifie lors de nbx applications de la formule de Coulomb de la suite.

\Rightarrow Postulat fondamental de l'électrostatique, loi de Coulomb

$$\vec{F}_{q_0 \rightarrow q} = K \frac{q_0 \cdot q}{r^2} \vec{r} \quad \text{avec } K > 0$$

q — Coulomb (C)

r — " m

F — " N

$$K = 3 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{C}^{-2}$$

$$K = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}$$

avec $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9} \text{ s}^2 \cdot \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ permittivité électrique du vide
où ϵ du vide.

$$[\epsilon_0] = \text{m}^{-1} \cdot \text{L}^{-3} \cdot \text{T}^4 \cdot \text{I}^2$$

Rq : à m correspond à

à q " K

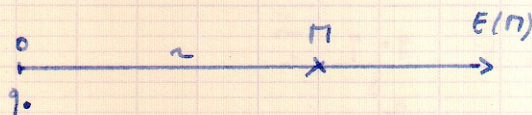
• qd les charges ϵ possèdent $\hat{=}$ signe $q_0 \cdot q > 0$
force répulsive

• $q_0 \cdot q < 0$ force attractive.

• obs — illic quelconque $K = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}$ (ϵ_0 varie)

avec $\epsilon > \epsilon_0$

4.1.2 champ ϵ créé par une charge ponctuelle.



placés successivement au pt M des charges
ponctuelles q, q', q''

Il en résulte des forces ϵ $\vec{F}_{q \rightarrow q'}, \vec{F}_{q' \rightarrow q}, \vec{F}_{q \rightarrow q''}, \vec{F}_{q'' \rightarrow q}$

$$\text{telles que } \frac{\vec{F}}{q} = \frac{\vec{F}}{q'} = \frac{\vec{F}}{q''} = \dots = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r$$

le rapport $\frac{\vec{F}}{q}$ est une fonction vectorielle de $r + \pi$ définit un champ de vecteurs noté $\vec{E}(r)$ champ électrostatique créé par charge ponctuelle q_0 .

$$\vec{E}(r) = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r} \quad \text{et} \quad \vec{F}(r) = q \cdot \vec{E}(r)$$

$$[E] = \text{MLT}^{-3}\text{I}^{-1} \\ = \text{ volt / mètre}$$

4.1.3 E_p électrostatique.

sur figure

→ déplacement infinitésimal dt^3 de q → travail
→ variation dE_p de son énergie.

$$dE_p = -\vec{F} \cdot dt^3 \Leftrightarrow \vec{F} = -\text{grad } E_p$$

à distance r de q_0 , on a :

$$E_p = \int -\vec{F} \cdot dt^3 = \int -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q_0}{r^2} dt^3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \cdot q_0 \int \frac{dt^3}{r^2}$$

$$E_p = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \cdot q_0 \left(-\frac{1}{r} + C\right)$$

$$E_p = +\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q_0}{r} + K$$

$$r \rightarrow \infty$$

$$E_p \rightarrow 0$$

donc

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q_0}{r}$$

4.1.4 potentiel électrique.

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0}{r}$$

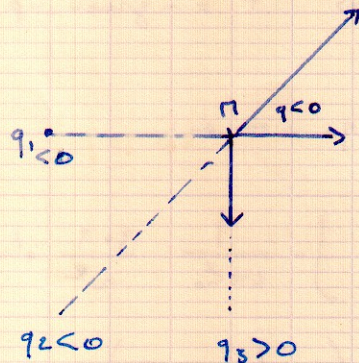
force exercée par q_0 sur q

E_p de q

4.2 cas d'une distribution continue de charge.

charges q_1, q_2, \dots, q_i

action de ces charges sur 1 charge q en M



Le champ créé en un pt de l'espace est égal à la somme vectorielle de \forall les champs partiels créés par chacune des charges

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r^3} \vec{r}$$

Le potentiel étant 1 grad scalaire, \Rightarrow additivité algébrique des potentiels

l'état liquide.

1 Généralités

1.1 def d'un fluide: par opposition au solide

il peut facilement changer de forme. il prend la forme du récipient.

fluides: liq et gaz.

fluide parfait: lorsqu'il est parfait, dépourvu de viscosité, lorsqu'il n'offre aucune résistance à un changement de forme sans changement de V
contraire: fluide réel.

1.2 gaz parfait.

un gaz est dit parfait lorsqu'il obéit rigoureusement à certaines lois.

loi de Boyle Mariotte $\propto \theta^\circ K = \text{cte}$, la product de P par V est cte. $PV = \text{cte}$. pour un Q donné de gaz

loi de Charles la P et un Q donné de gaz sont $V = \text{cte}$ est proportionnel à son $\theta^\circ K$ $\frac{P}{T} = \text{cte}$

loi d'Avogadro Avogadro: le volume de 1 mole de gaz à $\theta^\circ K$ et P donnée est indépendant de la nature du gaz.

un gaz parfait vérifie exactement l'équation d'état dite équation des gaz parfaits $PV = nRT$

de modèle des gaz parfait mes hypothèses:

- les molécules du gaz sont ponctuelles, éloignées les unes des autres, mes interactions entre elles = de hors des chocs.
- leur libre parcours moyen = distance moyenne parcourue par un molécule entre 2 chocs consécutifs pour un gaz parfait: $100n \times \phi$ moléculaire.

Ces hypothèses ne s'appliquent qu'à un gaz sans haute pression, qui tous peuvent être considérés comme parfait. \forall leur nature sans être haute pression.

si $P \uparrow$, ces lois ne s'appliquent plus, on a affaire avec gaz réels: ils ne suivent pas la même loi de compressibilité, les molécules sont plus proches les 1 des autres, libre parcours moyen λ réduit à qq dizaines de ϕ moléculaires. Il apparaît des forces d'interaction entre les molécules, ce qui modifie leur déplacement.

liq: gaz réel comprimé, λ réduit à qq ϕ moléculaires, les forces d'interaction sont voisines leur interactions \uparrow , dirigent propriétés de l'état liq

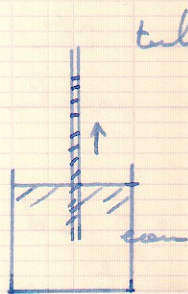
2 forces s'exercent entre les molécules d'un liq.

e.1 mise en évidence.

- forces d'attraction.



lorsque $d \geq 10 \mu m$, rien ne se passe
 si $d \leq 10 \mu m$ la goutte rejoint la paroi et c'est
 il est apparu forces d'attraction plus que $d < 10 \mu m$



tube capillaire $d = 1 mm$

phénomène de capillarité ;

Il s'agit de forces de gravitation, de
 forces de cohésion qui s'exercent au sein
 de la masse liquide et au contact des
 parois.

- forces de régulation
 voir fiche.

lorsque l'équilibre est atteint, si on augmente T , le récipient
 s'élève, ce qui augmente T ; $V \searrow$ pour molécules
 d'eau, on rapproche les molécules eau, on fait
 apparaître forces de régulation dont l'intensité est suffisante
 pour briser le récipient.

pour une distance comprise entre 10 et 3 d , pour un
 pas d'effet, de $3d$, forces attractives apparaissent
 T puis diminuent jusqu'à s'annuler, $d = 0 \pi$ éq. li.
 les entre molécules $\approx d$ moléculaire.

$d < 1d$, forces de régulation, T très vite, les
 molécules ne peuvent pas se rapprocher beaucoup
 $OP = 0 \pi$

2.2 propriétés générales.

- forces attractives : forces de Van Der Waals
 court rayon d'action, caractéristique générale, de très les
 cas de liquides, V liquide. valeur faible.

dûes à des forces électromagnétiques s'exerçant entre molécules saturées, électriquement neutres.

- forces de répulsion.

dûes au fait que l'espace \pm orbitales \pm saturées de ces molécules ne peut être occupé par des \pm supplémentaires (principe d'exclusion de Pauli).
fiche.

partition d'équilibre: $0M = \phi = d$, orbitales ne se recouvrent pas et ne sont pas déformées.

domaines de localisation Θ en contact

si $d \gg \phi = 0P$, les domaines de localisation Θ en contact, ne se recouvrent pas, mais sont déformés.

2.3 conséquences de ces forces.

- forces d'attraction cohésive
et même volumique des liquides.

cohésion liquide

tension superficielle

- forces de répulsion

la non compressibilité d'un liquide.

3 tension superficielle.

3.1 faits expérimentaux.

d'après loi de l'hydrostatique.

pression est la même pour tous les pts d'un liquide situés de plans horizontaux.

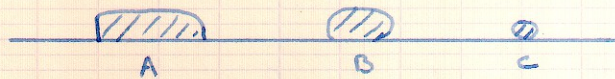
surface de séparation liq avec le gaz q. la surface est horizontale.

surface de séparation de 2 liq non miscibles est horizontale.

certaines observations semblent mettre en défaut ces lois.

- en présence de la pesanteur

ex: mercure regardé sur 1 plan horizontal.
menisque + faible très faible.

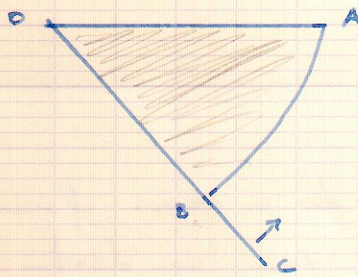


C: parfaitement sphérique, ≠ loi hydrostatique.
⇒ s'infléchit par tension à la surface.

- en cas pesanteur nulle ou très faible.

ex: volume de - eau liquide faible / surface.

bonne liq, couche métallique formé par:



l arc circonscrit à AB

l rayon fixe OA

l " OB pour tourner sur le plan OAB autour de O

On plonge ce caduc de de l'eau savonneuse il se forme 1 lame liq et se attire vers OA

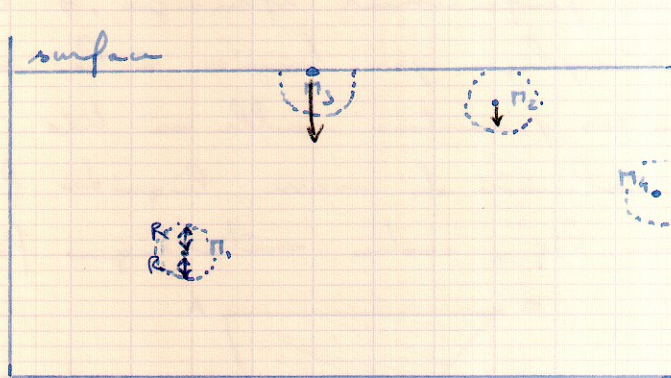
ex: introduit 2 liq A de liq B, de 2 densités et non miscible à A, le liq de A se répartit de B sans former de gouttes parfaitement sphériques.

conclusion:

une masse de liq, en présence de force de pesanteur a tendance à prendre une forme sphérique, la surface liq a-t tendance à se contracter de façon à acquies

l'air minimale. (dûes aux forces attractives)
 La surface de séparation liq.-vapeur de ce liq
 ou liq.-air est le siège d'une tension qui tend
 à l'augmenter à la forme sphérique puisque celle
 ci représente l'air minimale.

Théorie de Laplace.



de l'air de ce vase. forces attractives intermoléculaires
 apparaît pour une distance égale à $gg \approx$ moléculaire
 $= R$.

seules les molécules situées de la sphère de
 centre π de rayon R vont agir sur la sphère
 π .

pour π_1 , située au sein de la vase, forces
 d'attraction se répartissent de toutes directions: résultante
 nulle.

pour π_2 : force résultante, attirée par vase liq.
 amplifiée pour π_3 , résultante \perp surface liq.

pour π_4 : phénomène, forces attractives moléculaires
 liq.-liq., molécules liq.-sol (y compris).

3.2 notion de tension superficielle.

Pour $\uparrow \Delta S$ la surface libre d'un liq, il faut vaincre et déplacer forces de cohésion.

fournir un certain travail.

Ce travail magasiné par S du liq sous forme d'E_p superficielle.

L'E de liq unit $\uparrow \Delta W$ que l'on admet proportionnel à ΔS .

$$\Delta W = \gamma \Delta S.$$

γ = grad qui est caractéristique du liq, du gaz en équilibre avec le liq.

γ = cte capillaire (= cte de tension superficielle).
= "tension superficielle.

énergie superficielle du liq par unité de surface

$$\gamma = \pi L^2 T^{-2} \cdot L^{-2} = \pi T^{-2}$$

γ = force par unité de longueur.

γ en $N \cdot m^{-1}$

3.3 valeurs de la TS de certains liq.

à 18 °C

éthér 16 $mN \cdot m^{-1}$

benzine 29

eau 73 - 62 (à 80 °C)

mercure 437

huile d'olive 32

3.4

3.4.1 la tension.

-75°C : 28,5 mN m⁻¹ pour éther.

134°C : 0

γ serait nulle à température critique :

$\theta^\circ\text{C} \uparrow$; $\gamma \searrow$.

À la température, le liq est en équilibre avec sa vapeur qui le surmonte.

pour $\theta^\circ\text{C} \uparrow$, les molécules d'eau, le nb de + et - qui se lient dans l'état liq à l'état vapeur. (P.E.c) résulte.

• forces d'attraction moléculaires (ét. liq) - moléculaires (ét. vap) \uparrow et pression de + et - d'importance devant les forces d'attraction moléculaires (ét. liq) - moléculaires (ét. liq) : la tension de surface \searrow .

• à $\theta^\circ\text{C}$ critique, les 2 phases (liq et vap) se confondent. la surface de séparation disparaît $\gamma = 0$.

3.4.2 la pression du gaz surmontant le liq.

$P \uparrow$; $\gamma \searrow$.

3.5 pression négative = l'interface d'une goutte de liq. voir fiche.

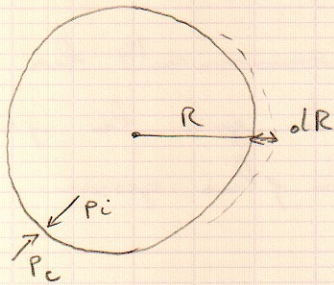
un petit contour circulaire qui de la surf. libre plane d'un liq en équilibre est soumis à des forces de TS situées de son plan, dont la résultante est nulle.

si la surface est convexe (dilat. 1 goutte de liq ou 1 bulle de gaz de liq) le m

contour délimité 1 goutte sphérique.
 les forces de TS ont une résultante dirigée vers
 l'int.

conclusion: Il doit régner de la goutte une P
 supérieure à P atmosphérique.

cas d'une goutte sphérique de liq.
 relation entre la \neq dépression et la TS du liq.



On calcule $p_i - p_e$ en évaluant le travail mis en
 jeu par un accroissement dR du rayon de la goutte
 accroissement de volume $dV = d(\frac{4}{3} \pi R^3) = 4\pi R^2 dR$.
 " de surface $dS = d(4\pi R^2) = 8\pi R dR$

Travail des forces de pression.

pour l'int: $p_i \cdot 4\pi R^2 dR$ (travail moteur)

pour l'ext: $-p_e \cdot 4\pi R^2 dR$ (" résistant)

Travail total: $(p_i - p_e) dV$
 $= (p_i - p_e) 4\pi R^2 dR$.

d'après def de γ , ce travail mesure l' \nearrow γdS
 de l' E_p superficielle.

$$\Rightarrow (p_i - p_e) 4\pi R^2 dR = \gamma 8\pi R dR$$

d'où

$$p_i - p_e = \frac{2\gamma}{R}$$

$p_i - p_c > 0$ pour une surface convexe
 $p_i - p_c < 0$ " " " concave.

ex: 1 goutte de rayon $R = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 10^{-5} \text{ m}$ à 10°C telle
 que $\gamma = 75 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$
 Δp pression = $15 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

expérience des 2 bulles de rayon \neq = extrémités
 de 2 tubes.

si on met en communication les extrémités
 libres, on constate que la petite bulle
 se dégonfle et la plus grosse.

géométrie:

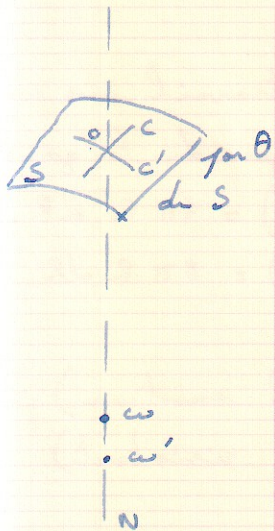
1 masse liq délimitée par 1 surface qui n'est
 ni plane, ni sphérique.

formule de Laplace.

- portion de surface S autour de O ; N normale de S
- en O ; par ON , on fait passer 2 plans rectang
 laires qui coupent S suivant courbes C et C'
- si S suffisamment petite, C et C' peuvent
 être confondus avec arcs de cercles dont centres
 ω et ω' sont sur ON .

si $O\omega = R$ } rayons des cercles, ils définissent les
 $O\omega' = R'$ } rayons de courbure de C et C' en O
 courbure de $C = \frac{1}{R}$
 $C' = \frac{1}{R'}$

O appelée courbure moyenne $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{2} (R^{-1} + R'^{-1})$



formule de Laplace

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

si $R = R'$; $\Delta p = \frac{2\gamma}{R}$

si $R = R' = \infty$; surface plane, $\Delta p = 0$.

cas d'une lame mince courbée (bulle de savon liq)
il faut tenir compte des 2 surfaces.

$$\Delta p = \frac{4\gamma}{R}$$



3.6 TS des sols aqueux.

3.6.1 faits expérimentaux.

• exemples.

TS modifiée légèrement, $\rightarrow \oplus$ ou \ominus

la modification proportionnelle $\propto Q$ produit ajouté
de savon.

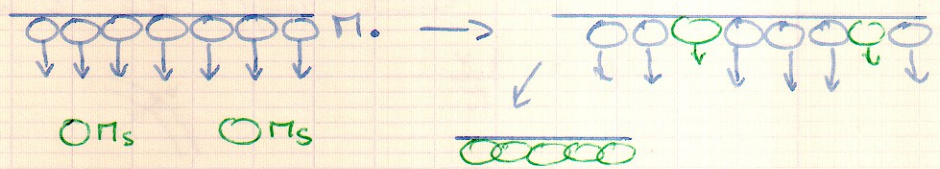
NaCl %	0	10	18	25
γ (mN.m ⁻¹)	73	77	80	84

HCl, HNO₃ provoquent \rightarrow de γ .

∃ certaines subst. q. \rightarrow considérablement valeur de γ
lorsq. elles sont ajoutées \leftarrow faible Q : agent
tensio-actifs. (alcools, ac gras (C₈ \rightarrow C₁₂), sels
biliaires, phospholipides).

3.6.2 impliqué.

- l'agent tensio-actif présente l'effet de TS très faible.
- ces forces attractives entre molécules sont faibles.
- les molécules de l'agent tensioactif ont une affinité pour les molécules d'eau (π_0)
- ces forces attractives moléculaires - moléculaires \Rightarrow forces attractives " agent - mol. eau.



chaque fois qu'une molécule π_0 , sous influence agent tensio-actif arrivera à surf. de liq prenant la place d'une molécule d'eau. situation aura tendance à persister car π_0 est plus attiré par π_0 que π_s .
 Sous influence de l'agent tensio-actif, π_s prend la place des molécules π_0 à la surface, et $\delta \rightarrow 0$
 on aura plus à la surface qu'une couche monomoléculaire de π_s à la surface de l'eau.

4 tension interfaciale.

4.1 généralités

diff. interfaces.

liq - air ou vap.

solide gaz

liq - liq non miscibles.

liq - solide.

4.2 interface liq - liq.

non miscibles.

- qd 2 liq non miscibles sont mis en contact la S de séparation possède propriétés analogues à celle de la surf. dt un liq en contact de sa vapeur ou air

Cette S de séparation a tendance à se contracter \rightarrow on peut définir une tension de surf. tension interfaciale.

- relation entre τ_s et tension interfaciale T_I 2 liq 1 et 2, γ_1 et γ_2

- $\gamma_{1,2} : T_I$ type $\leq \gamma$ la + élevée (règle Antonov)

- $\gamma_{1,2} = \gamma_1 - \gamma_2$ si $\gamma_1 > \gamma_2$

- pour préciser valeur T_I , nous tenir compte de la solubilité des liq l'un de l'autre. non miscibles :

ne se mélangent pas. mais \exists solutions de 1 de 2

exemple : benzène 1 et eau 2

$$\gamma_1 = 28,5 \text{ mN.m}^{-1} \quad \gamma_2 = 73 \text{ mN.m}^{-1} \cdot 10^3 \quad \gamma_{1,2} = 39,5 \text{ mN.m}^{-1} \cdot 10^3$$

$$\neq 73 - 28,5$$

$$\gamma_1' = 28,8 \text{ mN.m}^{-1} \quad \gamma_2' = 63,2 \text{ mN.m}^{-1} \quad \gamma_{1,2}' = 39,4 \text{ mN.m}^{-1}$$

benzène saturé eau eau saturé benzène

car : éther de eau.

4.3 interface liq-sol.
voir ci-dessous.

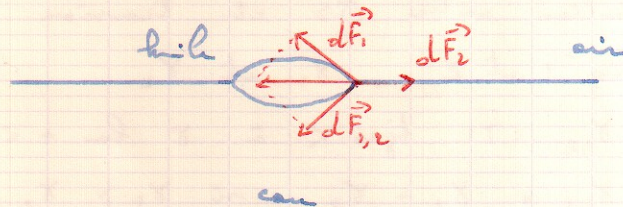
5 étalement liq sur une autre - géométrie θ .

5.1 étalement liq sur liq.

diplot d'une goutte de l_1 sur l_2 non miscible
ex: huile sur eau, en contact de l'air.
voir fiche.

entre les 3 fluides en présence, pris 2 par 2,
3 forces caractéristiques des tensions de surface
 γ_1 pour le couple huile-air
 γ_2 " " " eau-air
 $\gamma_{1,2}$ " " " eau-huile.

forces de TS s'équilibrent en A sur 1 élément de
longueur dl de la ligne de contact.



$$\|d\vec{F}_1\| = \gamma_1 dl$$

$$\|d\vec{F}_2\| = \gamma_2 dl$$

$$\|d\vec{F}_{1,2}\| = \gamma_{1,2} dl$$

pour qu'il y ait un éq entre 3 phases, ces forces
doivent être dirigées pour avoir résultante nulle

$$d\vec{F}_1 + d\vec{F}_2 + d\vec{F}_{1,2} = \vec{0}$$

Il faut que l'une de ces forces puisse former la
diagonale d'un parallélogramme avec les 2 autres forces
pour être

en un mot: construite un triangle avec ces 3 forces

ce qui demande que chacune des tensions de surface soit $<$ à somme des 2 autres.

Inversement si 1 des forces $>$ somme des 2 autres il y a étallement jusqu'à Eq.

exemple:

huile olive à surf de can + prismes d'air

$$\gamma_1 = 38 \text{ mN m}^{-1}$$

$$\gamma_2 = 73 \text{ " "}$$

$$\gamma_{1,2} = \gamma_3 = 18 \text{ " "}$$

$$\gamma_2 > \gamma_1 + \gamma_{1,2}$$

résultat: étallement.

par contre huile olive en contact à l'angle obtus et can à V égale: pas étallement.

can + Hg + air

l'eau ne forme pas 1 goutte à surf de Hg mais s'étale complètement. l'eau mouille Hg

5.2 étallement liq sur sol.

si on place 1 goutte de liq sur sol prismatique surf plane et horizontale.

plusieurs cas:

a) le liq s'étale sur surface.

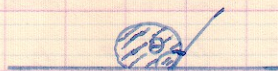
il mouille parfaitement le sol (can sur verre propre) $\theta = 0$ angle d'étallement.

b) le liq mouille imparfaitement le sol

cas le + général.


$$0 < \theta < 90^\circ$$

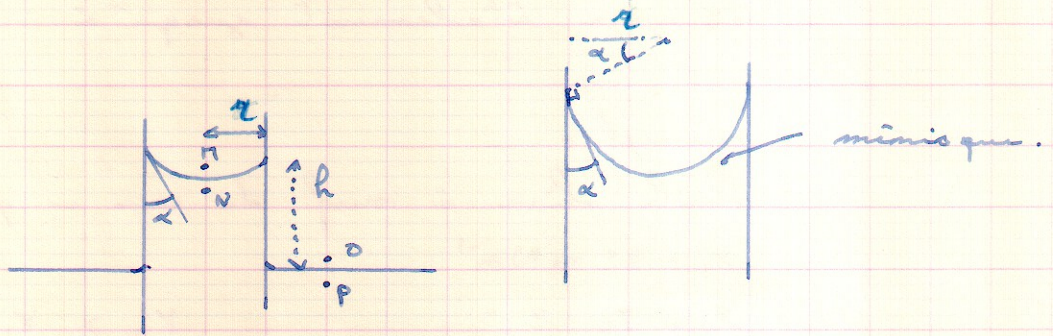
c) le liq ne mouille pas $\theta > 90^\circ$ cas: Hg sur verre



Eq incliné de θ cas, lorsque forces cohésion liq équilibre exactement les forces adhésion liq-sol

(absorption + ou - grad)

6 ascension et le liq de tube capillaire - loi de Jurin.



6.1 fait expérimental.

1 tube de verre de faible ϕ ($< 1 \text{ mm}$), tube capillaire ouvert à ses 2 extrémités, plonge de liq h qui mouille \pm parfaitement les parois du tube.

On constate que h s'élève d'une hauteur h au dessus de la surface libre.

On peut admettre que le ménisque est 1 calotte sphérique de rayon R tel que $R = r(\cos \alpha)^{-1}$

soit $MN \uparrow$ et $OP \downarrow$, 2 angles de γ \pm infiniment voisins situés respectivement de ois et h

principe fondamental de la statique des fluides
la \neq de P entre 2 pts quelconques d'un fluide
— E_q est égal au poids d'un cylindre de fluide de section unité et de hauteur égale à \neq d'altitude entre les 2 pts.

(1) $p_0 - p_N = h \rho g$ ρ : masse volumique de la
 autre \neq de ρ on fait entre le liq.

(2) $p_0 - p_{II} = h \rho g$ ρ_0 : masse volumique air.

$p_0 = p_0$ puisque la surf libre de la est plane.

(1) - (2)

$\Leftrightarrow p_{II} - p_N = h \rho g (p_0 - p_0)$

loi de Laplace $\Rightarrow p_{II} - p_N = \frac{2\gamma}{R}$

$h (\rho - \rho_0) g = \frac{2\gamma}{R}$

$\rho \gg \rho_0$ et air $\rho - \rho_0 \approx \rho$
 $R = r (\cos \alpha)^{-1}$

loi de Jurin : $h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$

6.2 applications.

1. le liq - eau elle parfaitement puriss.

un can + verre propre.

$\alpha = 0$ $\cos \alpha = 1$ $h > 0$, ascension. $r = 10^{-3} m$ $h \approx 1,5 m$

2. le liq - eau elle imparfaitement puriss

$0 < \alpha < 90$

$h > 0$, ascension plus faible.

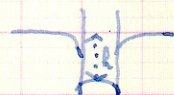
3. liq non mouillant H_2 sur verre.

$90 < \alpha < 180^\circ$

$\cos \alpha < 0$

$h < 0$ le niveau H_2 plus bas que reste liquide.

ex: $r = 10^{-3} m$, $\alpha = 135^\circ$. $h < 0$



7 mesure de la TS

7.1 méthode de ascension de tube capillaire.

loi de Jurin.

7.2 méthode lame immergée.

voir fiche.

balance.

l : lame métall de Pt mince, épaisseur négligeable

de R : liq dont on mesure T_s .

on remonte jusqu'à R jusqu'à contact entre l et lame.

dis affluement, lame l attiré par liq et immergée.

on rétablit E_g en ajoutant p , égal à force de T_s .

on remplace p par force électro \vec{B} : tensiomètre de DOGNON.

8 application des principes de T_s .

8.1 film surfaciel.

certaines solubles, agents tensioactif

ex: alcool, ac butyrique

ces agents ont propriétés émulsionnantes et moussantes: détergent.

à interface eau, bulles d'air se recouvrent

d'un couche monomoléculaire, remonte à surf

→ mesure.

8.2 couche monomoléculaire et structure mol biologique

mol protéiques formés de couche monomolé-

culaires de:

protéines le long de chaîne polypeptidique contient gr hydrophobes et hydrophiles.

triglycérides, # hydrophobes.
lécithines.

8.3 Liposomes.

p vésicules closes dont mb formé de phospholipides
en li-couche permettant et encapsule des PA
q- elles présentent et transportent à travers
l'épithélium.

similitude avec structure mb de la q et mb
liposome.

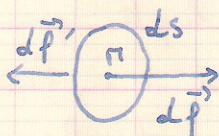
→ fusion : PA → de q.

Dynamique des fluides.

1 Généralités

1.1 rappele de qq lois de la statiq des fluides.

1.1.1 Pression. (scalair)



fluides $\rightarrow E_g$, $S = \text{surf.}$

$d\vec{F}$, $d\vec{F}'$ forces opposés

$$p = \frac{\|d\vec{F}\|}{S} \quad \text{valeur de Pression, Pa (gascal) } N \cdot m^{-2}$$

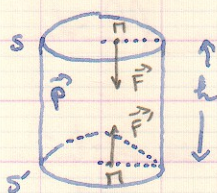
1.1.2 variation de la pression au sein d'un fluide $\rightarrow E_g$

représenté un cylindre de fluide

section S et S' , hauteur h .

pression \vec{P} poids.

Ce cylindre est en Equilibre au sein de la masse de fluide. \rightarrow cylindre fictif.



fictif.

sur surfaces latérales: forces pressantes normales à la surface, résultante est nulle (symétrie cylindrique du système)

sur les 2 surf de base, $\rightarrow \Pi$ et Π' , \vec{F} et \vec{F}'

\perp aux surf, dirigés vers l'intérieur du cylindre

sur axe vertical, l'équilibre:

$$\vec{P} + \vec{F} + \vec{F}' = \vec{0}$$

si ρ masse volumique du fluide.

p et p' pression à π et π'

à l'échelle E_y :

$$(p' - p)S = \rho g h S$$

$$\Rightarrow p' - p = \rho g h$$

principe fondamental de la statique des fluides. voir cours antérieurs.

On se donne P entre E et E' quelconques d'un fluide à $E_y = E_{y'}$ = poids d'un cylindre de fluide de section unité, de h égal à π altitude.

1.2 dynamique des fluides.

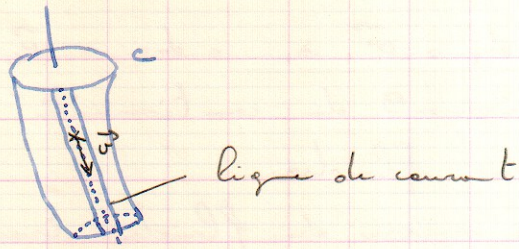
- étude des fluides en mouvement et influence des forces extérieures.
- dès qu'un fluide réel se met en mouvement, subit des forces de frottement dues à viscosité.

2 mouvement d'un corps dans un fluide.

2.1 cas idéal.

1. fluide parfait, viscosité = 0
2. on se considère que des états du régime permanent de laquelle on a chaque point du fluide ne dépend que des coordonnées de ce point, indépendamment de t .
3. fluide incompressible.

de ces conditions, on peut définir: la ligne de courant, tube de courant.



ligne de courant: trajectoire suivie par V petit de fluide au cours de son écoulement, \vec{v} est tangent à ligne de courant.

tube de courant: Σ des lignes de courant s'appuyant sur une courbe de courant (c) s'étend à vol (int et ext), au cours de l'écoulement avec régime permanent: aucune molécule ne passe d'un volume à l'autre. Les lignes de courant ne peuvent se croiser \Rightarrow régime laminaire \neq régime turbulent.

2.1.1 Equation de Bernoulli.

voir fiche.

tube de courant suffisamment étroit pour que v soit \vec{v} \Rightarrow \vec{v} et \vec{v} d'un sec θ droite s .

s_1 et s_2 à travers lesquelles le débit de fluide = Q \vec{v} . (par def, liq incompressible)

* calculs.

- débit \vec{v} travers 1 sec θ droite s .

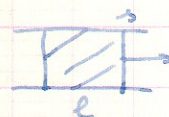
= vol qui traverse s petit intervalle de temps.

= vol du cylindre ayant pour base sec θ s

pour hauteur: longueur l telle que l = vitesse de fluide qui traverse sur une distance l pour

= traverser s petit intervalle de temps.

($l/t = v$ vitesse)



$$d = \vec{v} \cdot s$$

$dv_1 = \vec{\sigma}_1 \cdot s_1 = dv_2 = \vec{\sigma}_2 \cdot s_2$
 équation de continuité de la dynamique
 des fluides.

- masse de fluide traversant s_1 et s_2

$$\sigma_1 s_1 \rho = \sigma_2 s_2 \rho$$

Il ne faut pas si masse était transportée
 de A vers B sans que le fluide inter-
 médiaire ait bougé, soit intervenu.

Le Δ d'É de cette masse de matière
 est égale au travail des forces qui
 s'applique sur cette masse de matière.

- forces agissant sur une masse de fluide.

. forces de pression

$$s_1 : p_1 \quad p_1 > p_2$$

$$s_2 : p_2$$

force de pression en A = $p_1 s_1$

travail " " " = $+p_1 s_1 \sigma_1$ (matériau)

" " " B = $-p_2 s_2 \sigma_2$ (résistant)

le travail de pression peut faire passer la
 masse de fluide de A à B.

$$W = p_1 \sigma_1 s_1 - p_2 \sigma_2 s_2 = \sigma_1 s_1 (p_1 - p_2)$$

$$W_p = \sigma_1 s_1 (p_1 - p_2)$$

. forces de pesanteur.

$$\text{force} = mg = \rho s_1 \sigma_1 g = \rho s_2 \sigma_2 g$$

$$\Rightarrow W_g = \rho s_1 \sigma_1 (z_2 - z_1)$$

- vitesse de la masse de fluide. \vec{v} en passant
 de A vers B sans influence des forces.

- E_c de A vers B \nearrow .

$$\text{gain d}'E_c = \frac{1}{2} \rho \sigma_1 v_1 (v_2^2 - v_1^2)$$

* Th des forces vives

de varia Θ d' E_c d'une masse de particules $\rho \delta t$
 \downarrow temps $t =$ travail accompli $\rho \delta t$, par les forces qui agissent sur cette masse.

$$\rho \sigma_1 v_1 (p_1 - p_2) + \rho \sigma_1 v_1 \rho g (z - z') = \frac{1}{2} \rho \sigma_1 v_1 (v_2^2 - v_1^2)$$

par unit \acute{e} de volume \Rightarrow

$$p_1 - p_2 + \rho g (z - z') = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$\Leftrightarrow p_1 + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g z' + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

E m \acute{e} caniq totale par unit \acute{e} de volume.

"charge de fluide"

$$= p + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cte}$$

\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow
pression statique pression de pesanteur pression dynamique π la charge de tube de courant

* 2 R \acute{e} g.

- appliq \acute{e} sur liq: que s'il n'y a aucune perte de vis forme de frottement: fluide parfait
- cette r \acute{e} gle contient loi fondamentale de l'hydrostatique, $E_g \rightarrow v=0$ $p + \rho g z = \text{cte}$.

2.1.2 conséquence de l'éq 0 de Bernoulli
 concernant d-1 fluide parfait de 1 tube
 horizontal phinonin de Venturi
 A et B = 2 hauteurs.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_c + \frac{1}{2} \rho v_c^2$$

par suite, la pression est + faible là où
 la vitesse est + grande, la section du
 tube est plus faible.
 voir fiche.

On mesure la p par la hauteur d'un
 de fluide de tubes verticaux.

$$v_A \rho_A = v_B \rho_B = v_C \rho_C$$

$$p_A - p_B = \frac{1}{2} \rho (v_B^2 - v_A^2)$$

$$= \frac{1}{2} \rho \left(v_A^2 \frac{S_A^2}{S_B^2} - v_A^2 \right)$$

$$p_A - p_B = \frac{1}{2} \rho v_A^2 \left(\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 \right)$$

la mesure de la diff de p entre 2 pts
 permet de calculer de lit de un écoulement
 les autres notants constants (composition de
 fluide).

appliqu 0 : troupe à can : voir fascicule.
 - rétrécissement de tube de lequel circule
 le lig entre A et B provoque un \rightarrow de
 pression en B et 1 aspiration de l'air
 à travers c = ricle partiel de réciprocité connecté en

2.1.3 écoulement d'un fluide sans influence de sa viscosité.

fiche. $s_1 v_1 = s_2 v_2$

si $s_1 \gg s_2$, $v_2 \gg v_1$ qui devient négligeable donc $\frac{1}{2} \rho v_1^2$ négligeable devant $\frac{1}{2} \rho v_2^2$
 p_1 qui s'exerce sur $s_1 = p_2$ qui s'exerce sur $s_2 = p_{atm}$.

formule de Bernoulli

$$p_1 + \rho g z = p_2 + \rho g z' + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\underbrace{p_1 - p_2}_0 + \rho g h = \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v_2^2 = 2 g h$$

$$v_2 = (2 g h)^{1/2} \quad \text{Th de Torricelli}$$

de fluide qui s'écoule de ce conduit à vitesse égale à celle acquise par un solide au cours d'une chute d'un solide de hauteur h dans un champ de pesanteur.

v de fluide = que s'il tombait en chute libre de hauteur h .

2.2 Dynamique des fluides visqueux.

on avait négligé forces de frottement interne qui apparaissent lors de fluides en mouvement, transformant l'énergie E mise en chaleur.

voir fiche.

réceptif: liq, glycérine colorée, on donne glycérine incolore. Lame de verre L glisse de la 2^e phase. On soulève lentement L , il y a déplacement surf de déplacement \rightarrow

attraction phase liq - lme.

→ écoulement de couche liq // les 1 on
autres, ces couches ont vitesse qui \rightarrow de 1
couche à l'autre.

couche près de la lme = 0 lme

" " " " " "

vitesse = 0 vitesse l = 0

gradient de vitesse.

2.2.2 coefficient de viscosité.

C'est l'écartement de liq qui provient
de def lme viscosité

cas le + simple : mot liq résiste à 1
glissement (ex : de la tige dans l'eau).

qol 2 corps se déplacent à $v \neq$, il
apparaît frottement de H plus vite que
vitesse de glissement de viscosité.

les corps le + lent freine le + rapide et
inversement.

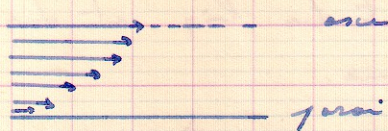
3 conséquences.

Mes les parties de liq se décalent de telle
façon que \rightarrow vitesse.

suffisamment couches de liq qui se déplacent à
 $v \neq$.

chaque couche glisse et frotte entre 1 couche
+ lente et 1 plus rapide.

des couches vont glisser mais se déforment
= écoulement laminaire \neq turbulent.



voir fiche.

2 couches de molécules de fluide P et P' planes situées au sein du fluide visqueux, séparées l'une de l'autre par une distance dx très petite. Le vitesses différentes \vec{v} et $\vec{v}' = \vec{v} - dx \frac{d\vec{v}}{dx}$

On admet que les frottements qui s'exercent entre ces 2 couches créent des forces // à la vitesse.

1 appliqué à la + rapide, tend à ralentir l'autre égale, sans contraire tend à l'accélérer.

valeur commune de ces forces est proportionnelle à l'aire sur laquelle les forces s'appliquent. au gradient de vitesse suivant x.

$$\|\vec{F}\| = \eta \cdot S \cdot \left\| \frac{d\vec{v}}{dx} \right\|$$

η = coef de viscosité ou viscosité du liquide.

$$\eta = \frac{\text{N} \cdot \text{L} \cdot \text{T}^{-2}}{\text{L}^2 \cdot \text{L} \cdot \text{T}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}} = \text{N} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{T}^{-1} = \frac{\text{N} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}}{\text{pression}} \cdot \text{T}$$

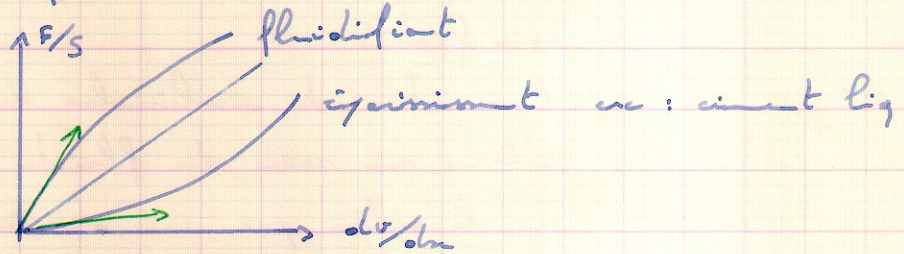
η se mesure en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ou en Pa.s

On distingue

les fluides newtoniens qui obéissent à la loi F/S proportionnel au gradient de vitesse

la plupart des liq et des gaz sont newtoniens.

fl. des non newtoniens



cas : macromolécules, sang

qq valeurs de η

gaz : air à 20°C $1,8 \cdot 10^{-5}$ Pa.s

H_2 (20°C) $3 \cdot 10^{-6}$ Pa.s

liq : 20°C eau 10^{-3} Pa.s

Hg $1,5 \cdot 10^{-3}$ "

glycérine 0,8 "

(10x \otimes viscosité à 0°C)

huile de ricin 0,7

visc. humaine : 10^{-3} Pa.s

sang η varie de 2 à $5 \cdot 10^{-3}$ Pa.s très variable à état pathologique

influence de $\theta^\circ C$ sur η

glycérine (\searrow η $\theta^\circ C$ \searrow)

eau Δ de $1,4 \cdot 10^{-3}$ Pa.s à $20 \cdot 10^{-3}$ Pa.s à 35°C

glycérine générale, \nearrow de $\theta^\circ C \Rightarrow \searrow$ forces de cohésion, et de η

2.2.3 conséquences des forces de frottement.

cas de P et P'

P entraîne P'

P' freine P

pour maintenir un mot uniforme de P , il faut lui appliquer une force constante car en absence d'apport d'E ext, le mot d'un fluide visqueux s'arrête ou bout d'un certain temps. les frottements provoquent un transfert de l'E cinétique de la main du fluide en énergie calorifique.

• perte de charge le long d'un axe horizontal.

pour un mot d'un fluide parfait, pas besoin de \neq de pression.

$$P + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cte.}$$

$$\text{si } z - z' = 0 \quad v = v' \quad P = P'$$

pour obtenir de \neq conditions pour fluide réel, il faut maintenir \neq de pression entre les 2 extrémités du tube. entre 2 pts A et B.

$$P_A + \rho g h_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \rho g h_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \Delta P.$$

où ΔP caractériser chute de pression entre A et B due au seul effet de la viscosité.

voir fiche.

ΔP est un indice pour dispositif expérimental si par un procédé \forall , on arrive à maintenir le débit dte (v dte) on peut mesurer pression statique par $h, h', h'' \dots$ elle \rightarrow alors que la pression dynamique et la pression de pesanteur restent dte.

conclusion.

La P totale de un liquide, \rightarrow , est proportionnelle à longueur du tube.

2.2.4 écoulement de tubes étroits, loi de Poiseuille
voir fiche.

connaissance de la perte de charge de 1 tuyau
cylindrique \rightarrow fonction de ses caractéristiques
géométriques.

cas le + simple : écoulement laminaire en
régime permanent de 1 tube très étroit.

1 tube rayon R de lequel s'écoule le
fluide : régime permanent.

1 second cylindre rayon r , longueur l
conical.

De celui-ci, le fluide s'écoule de façon
permanente.

On peut considérer qu'il s'agit d'1
 V de liq en Eq car σ indépendante de t
 $\vec{v} = \vec{0}$, résultante des forces $= \vec{0}$

on s'intéresse à composante horizontale
(// à x du tuyau) de cette force résultante
résultante forces de pression sur les faces
en A et B

résultante forces de viscosité q s'exerçant
sur les faces.

$$\|\vec{F}_p\| = P_A \pi r^2 - P_B \pi r^2 = (P_A - P_B) \pi r^2$$

force motrice $P_B < P_A$

avec $\|\vec{v}_r\|$ la valeur de la vitesse d'écoulement
fonction de r

$$\|\vec{F}_{\text{vis}}\| = \eta \cdot S \cdot \left\| \frac{d\vec{v}}{dr} \right\| = 2\pi \eta r l \frac{d\vec{v}}{dr}$$

\vec{v} est négative et opposée au mouvement

puisque $\frac{dv}{dr} < 0$

• au total, l'Eq des cylindres conduit à

$$\|\vec{F}_{p_2}\| = \|\vec{F}_{\sigma_2}\|$$

$$\|\vec{F}_{p_2}\| + \|\vec{F}_{\sigma_2}\| = 0$$

$$\Leftrightarrow (P_A - P_B) \pi r^2 + 2\pi \eta r l \|\vec{dv}/dr\| = 0$$

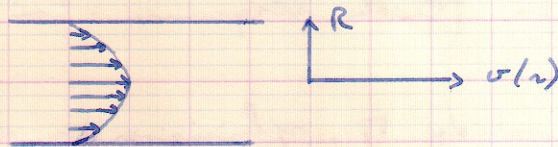
$$\text{ce qui donne } \frac{dv}{dr} = -\frac{P_A - P_B}{4\eta l} \cdot \frac{r}{2}$$

$$\text{il vient } v(r) = -\frac{P_A - P_B}{4\eta l} r^2 + \text{cte.}$$

comme $v(r)$ doit s'annuler lorsque $r = R$.

$$v(r) = \frac{P_A - P_B}{4\eta l} (R^2 - r^2) \quad (*)$$

profil parabolique des vitesses.



calcul du débit total à travers le tube.

$r \rightarrow R$ cylindres

• entre cylindres de ray r et $r + dr$.
vitesses d'écoulement.

$$dS = d(\pi r^2) = 2\pi r dr \quad dQ: \text{débit}$$

$$dQ = v(r) \cdot dS$$

$$= v(r) \cdot 2\pi r dr$$

• débit total : Q

$$Q = \int_0^R dQ = \int_0^R 2\pi r dr v(r)$$

$$Q = \int_0^R \frac{\pi (P_A - P_B)}{2\eta l} r (R^2 - r^2) dr$$

⇒ loi de Poiseuille.

$$Q = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{P_A - P_B}{l} R^4$$

écoulement permanent de \rightarrow tube très étroit

si l'écoulement se fait de \rightarrow tube non horizontal, il faut tenir compte de la hauteur h entre les 2 extrémités

$$Q = \frac{\pi}{8\eta} \frac{P_A - P_B}{l} R^4 \Rightarrow Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \cdot \Delta E$$

$$\Delta E = \text{perte de charge} = (P_A - P_B) + \rho g h.$$

2.2.5 viscosité des fluides visqueux en régime laminaire. déplacement d'un cylindre de \rightarrow fluide visqueux. loi de Stokes.

sphère π , cylindrique se déplaçant avec vitesse v de \rightarrow fluide visqueux.

les couches de fluide voisines de π sont entraînés par π . les plus éloignées restent immobiles.

conclusion : π subit de la part de fluide une résistance à l'avancement appelée force \vec{R} qui freine π .

$$\vec{R} = 6\pi \eta r \vec{v} \quad \text{formule de Stokes.}$$

si π soumis à une force de \vec{F} , il prend \rightarrow mouvement uniformément accéléré $\vec{v} \uparrow$
 $\vec{R} \uparrow$

il existe un moment où les forces s'équilibrent
 $v = ct =$ vitesse limite $= v_e$.
 de la tige.

applique Θ .

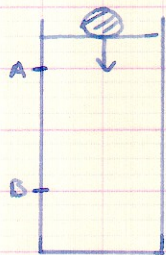
$B =$ bille cylindrique, rayon r , - avec vol ρ_1
 dans l'eau à surf h_1 (ρ_2) sans vitesse initiale.

Force de gravité : $\|\vec{P}\| = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g$ ($\rho_1 - \rho_2$)

Force de résistance $\|\vec{R}\| = 6 \pi r \eta v$

à Eq : $\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g (\rho_1 - \rho_2) = 6 \pi r \eta v_e$

$$v_e = \frac{2 r^2 g (\rho_1 - \rho_2)}{3 \eta}$$



v_e vitesse limite, inverse de η
 si ρ_1, ρ_2 et connus.

bille de verre 10^{-3} m de ϕ , $\rho_1 = 2600$ kg/m³ eau \rightarrow
 $\rho_2 = 1000$ kg/m³; $\eta = 10^{-3}$ Pa.s
 $v_e = 0,87$ m/s.

- réalité formule ne s'applique pas à cette vitesse
 le régime laminaire n'est plus.

• m +

bille de ricin $\rightarrow 370$ kg/m³ = ρ_1
 $\eta = 1,2$ Pa.s

$$v_e = 0,74 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

• 1 goutte eau $\phi = 1,2 \cdot 10^{-6}$ m $\rho_2 = 1,3$ kg/m³ =
 air $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Pa.s (20°C)

$$v_e = 0,74 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

2.2.6 méthodes de mesure de viscosité des liq.

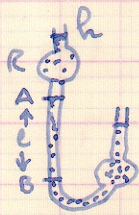
• appliquée θ loi de Stokes.

mesure absolue : \approx consiste de négliger influence des paroi.

mesure relative : comparaison des temps de chute de A et B. de liq à étudier, et 1 liq de ref (eau par exemple).

• viscosimétrie appliquée = formule de Poiseuille
= mesure débit du liq dont on veut connaître η à travers tube capillaire vertical.

de la -ème de débit, on détermine η .



viscosimétrie d'Ostwald.

R = ensemble de lequel on peut faire passer le liquide
tube capillaire entre A et B q.
possède V défini.

on rempli R du liq dont on veut mesurer le liq entre A et B et notant le temps pour passer de A et B.

Il est difficile de faire mesure absolue = appliqué la loi. $\Delta P = P_A - P_B \rightarrow$ avec la \neq de pression, on utilise un rayon tube capillaire mesure relative. comparaison débit Q (volume entre A et B / temps) d'un liq de viscosité connue η (eau) ou liq de viscosité de ref inconnue η'

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \Delta P$$

$$Q' = \frac{V'}{E'} = \frac{\pi R^2}{8\eta' l} \Delta E'$$

ΔE et $\Delta E'$ proportionnels à e et e'

on obtient $\frac{\eta'}{\eta} = \frac{e't'}{e t}$

connaissance de e , e' , η , mesures t et t' permet de connaître η'

• méthode des cylindres coaxiaux.

méthode de Couette. voir fiche.

R_1 fixe \neq de R_2

entre C_1 et C_2 : liq.

on fait tourner C_2 avec 1 vitesse angulaire

$\omega_2 = \omega$.

C_1 entraîne couche liq située à son voisinage et entraîne à son tour C_2 par intermédiaire des autres couches, qui tournent d'un angle α , et s'immobilisent $\omega_1 = 0$

E_{η} atteint qd force d'entraînement compensée par couple de rappel des fils.

force d'entraînement

$$F = \eta S \frac{d\sigma}{dx}$$

$$\sigma = \omega R \quad \text{si } R_1 \text{ fixe } \neq \text{ de } R_2 \quad R = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

$$\text{et } d\sigma = \frac{R_1 + R_2}{2} (\omega_1 - \omega_2)$$

$$d\sigma = \frac{R_1 + R_2}{2} \omega_2 \quad dx = R_2 - R_1 \quad S = 2\pi \frac{R_1 + R_2}{2} h$$

$$\|\vec{F}\| = \eta \cdot 2\pi \frac{R_1 + R_2}{2} h \frac{R_1 + R_2}{2} \omega_c \frac{1}{R_2 - R_1}$$

$$\|\vec{F}\| = \eta K_1 \omega_c$$

moment de torsion du fil.

$$M_T = C \alpha \quad C = \text{cte de torsion du fil.}$$

$$\alpha = l^{-1} E \eta : \eta = K \frac{\alpha}{\omega_c}$$

$K = \text{cte pour l'appareil.}$

par la méthode de Couette, on peut faire des mesures absolues de η

— fait varier ω_c , on modifie le gradient de vitesse. $\frac{dv}{dr}$, on peut ainsi vérifier

si η varie avec le gradient
si le liq est newtonien ou pas.

2.2.7 écoulement rapide. turbulence.

viscosité fluide a pour conséquence, entre la chute de charge, l'É loi de puissance l'écoulement et un mode d'écoulement très différent de celui que jusqu'à maintenant pour des vitesses de fluide relativement importante.

exp:



l'eau prend un mot de rotation plus rapide qu'elle se rapproche de l'écoulement.

au dessus d'un certain nombre de vitesse,
le mot de fluide est plus laminaire.
Il est turbulent pour vitesse critique.

On appelle nb de Reynolds.

$$R = \rho \frac{\overset{\text{vitesse tube}}{v} \cdot \overset{\text{diam tube}}{d}}{\eta}$$

pour $R < 1000$, régime très laminaire.

$R > 2000$ " " turbulent.

zone de transition, $R \approx 1500$ (R critique)

→ l'1 ou l'entrée des caractéristiques ou le
mélange des 2.

Conclusion: il y a pour l'écoulement d'un
fluide dans un tuyau 1 vitesse critique v_c
caractérisant le passage du régime laminaire
au régime turbulent

$$v_c = \frac{\eta}{\rho d} R_c$$

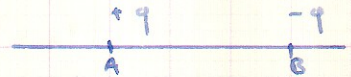
dipôle électrostatique ou électrique.

I Def:

un dipôle électrique est un Σ formé par 2 charges électriques égales et de signes contraires placés à l'écart l l'un de l'autre par distance l .

par def, on appelle moment dipolaire électrique \vec{p} du dipôle :

$$\vec{p} = q \cdot \vec{l}$$



de direction // AB

de sens, charge \oplus \rightarrow charge \ominus

de norme égale à valeur absolue de charge charge multipliée par leur distance.

unité SI Coulomb.mètre C.m

les dipôles électriques ont le moment dipolaire de l'ordre de 10^{-23} C.m

II champ et potentiel en voisinage de dipôle.

voir fig.

Π de la rive, relativement éloigné du dipôle.

de ces conditions, il est commode d'utiliser syst. coordonnées polaires, $r = \|\vec{OM}\|$ et θ (\vec{Ox} ; \vec{OM})

symétrique autour de l'axe du dipôle, on obtient alors une description de l'espace du potentiel et du champ en faisant tourner le plan de la figure autour

de l'axe du dipôle.

$$V_{\pi} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\pi B} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\pi A}$$

$$V_{\pi} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{\pi B} - \frac{1}{\pi A} \right)$$

$$V_{\pi} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{\pi A - \pi B}{\pi A \cdot \pi B} \right)$$

si on considère π placé à quel distance du dipôle, les droites πA , πB , πO sont pratiquement //

$$\pi A - \pi B = l \cos \theta$$

$$\pi A \cdot \pi B = \pi O^2 = r^2$$

$$\text{donc } V_{\pi} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot q \cdot \frac{l \cos \theta}{r^2}$$

$$V_{\pi} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} p \frac{\cos \theta}{r^2} \quad \text{avec } p = ql$$

$$\vec{V}_{\pi} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\|\vec{p}\| \cos \theta}{r^3} \vec{r}$$

Calcul du champ électrique \vec{E} en π .

on utilise la relation.

$$\vec{E} = - \text{grad } V$$

— coordonnées polaires, le vecteur champ \vec{E}
a 2 composantes

$$E_r \text{ radiale : } E_r = - \frac{\delta V}{\delta r}$$

$$E_{\theta} \text{ orthoradiale : } E_{\theta} = - \frac{1}{r} \cdot \frac{\delta V}{\delta \theta}$$

on obtient
$$E_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\|\vec{p}\| \cos\theta}{r^3}$$

$$E_\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\|\vec{p}\| \sin\theta}{r^3}$$

la norme du champ \vec{E} en π est égale.

$$\|\vec{E}\| = (E_z^2 + E_\theta^2)^{1/2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\|\vec{p}\|}{r^3} \sqrt{3\cos^2\theta + 1}$$

III action d'un champ \vec{E} sur un dipôle

voir fig.

sous l'influence de ce champ, il se crée des forces \vec{F}_A et \vec{F}_B .

$$\vec{F}_A = -q\vec{E}$$

$$\vec{F}_B = +q\vec{E}$$

opposés, de sens contraire, résultante générale est nulle.

si le dipôle objet rigide, il ne se déplace pas. son centre de gravité restera immobile.

le champ \vec{E} en est pas sans effets sur le dipôle.

il exerce sur celui-ci un couple. il a tendance

à faire tourner de façon à l'aligner de la

direction du champ, de ce sens tel que \vec{p} et \vec{E} sont de même sens.

calcul du moment du couple / 0

$$\vec{M} = \vec{OA} \wedge \vec{F}_A + \vec{OB} \wedge \vec{F}_B$$

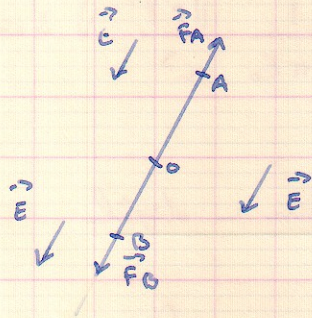
$$\text{ce qui donne } \vec{M} = \vec{p} \wedge \vec{E}$$

ce couple est représenté par un vecteur \vec{M} au pôle de la figure, dont le sens est donné par règle de la main droite des 3 doigts $(\vec{p}; \vec{E}; \vec{M})$ direct.

la norme vaut $\|\vec{M}\| = \|\vec{p}\| \|\vec{E}\| \sin \theta$.
 de la cas de la figure, le vecteur est vers
 l'arrière.

1 fois le dipôle aligné, il est de 1 par de E_q
 stable avec :

$$\vec{F}_A + \vec{F}_B = \vec{0} \quad ; \quad \vec{M} = \vec{0}$$



conclusion : le dipôle n'est soumis qu'à un
 moment dipolaire p , l'axe de \vec{E} tend à
 aligner le dipôle et son \vec{p} avec \vec{E} selon le
 même sens.

calcul de l' E_p électrique de ce dipôle.

$$E_p = +q V_B - q V_A = q (V_B - V_A)$$

$$\text{comme } V_B - V_A = \int_A^B -\vec{E} \cdot d\vec{l} = -\vec{E} \cdot \vec{AB}$$

$$\text{on a } E_p = -q \vec{E} \cdot \vec{AB} = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

IV polarisation des atomes et des molécules.

Lorsqu'un atome placé dans \vec{E} uniforme, des
 forces de sens contraire s'exercent sur charges +
 et - : celle-ci ont tendance à se séparer
] attraction électrostatique entre noyau et cortège
 e^- tend à s'opposer à cette séparation.
 Il s'établit $\perp E_q$ entre les 2 forces.

les centres O et O' des charges $+$ et $-$ sont séparés
 l'atome devient équivalent à un dipôle dont
 \vec{p} proportionnel à \vec{E}
 $\vec{p} = \alpha \vec{E}$
 $\alpha = \text{coef de polarisabilité}$, dépend de Z

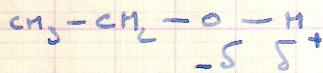
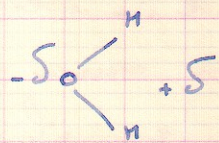
1 atome placé dans un champ \vec{E} subit un moment
 qui est un dipôle, il se polarise et il se
 forme un dipôle induit.

molécule: associe 2 ou + ions atomes avec réarrangement e^- , dépend du type de liaison des atomes constituant la molécule.

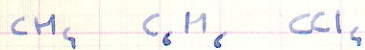
niveau type h \Rightarrow répartition uniforme e^- .

les centres de gravité $+$ et $-$ ne sont pas confondus. la molécule est polarisée, possède 1 \vec{p} intrinsèque indépendamment de la présence d'un champ \vec{E} . dipôle permanent.

ex: CO , HCl , NH_3 , 1 grad nb de molécules organiques ou inorganiques.



les centres de gravité sont confondus en absence de champ \vec{E} : -dipôles non polarisés.



elles possèdent sans aucun champ \vec{E} se polarisent et acquièrent 1 \vec{p} induit.

dans le sodium, 3 \neq vertes conjuguées
équivalentes à dipôles

- molécules polaires - dipôles permanents
- molécules et atomes non polaires qui peuvent se polariser.

voir fiche.

ex: cas $p = 6,2 \cdot 10^{-30}$ C.m

don: $0,56 \cdot 10^{-10}$ m.

angle: $\hat{NON} = 109,28$

pt N et P = centres de gravité des charges - et +
NP dipôle équivalent.

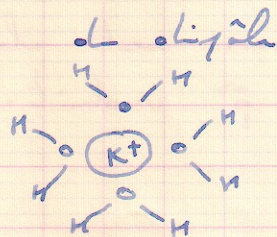
distance NP qui "partent" chacun 10 charges
électriques d'électricité

$$d = \frac{\|\vec{P}\|}{q} = \frac{6,2 \cdot 10^{-30}}{10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,0038 \text{ nm} = 3,8 \text{ pm}$$

cette distance est comparable des effets importants
provoqués par l'eau.

- le site solubles d'eau, + précisément à H_2O
- le hydrogène pour H_2 conjugués conjugués
1 qui hydrogène alcool.
- hydratation des ions: l'ion unit à force de
la part de dipôle, l'ion se crée également par
intermédiaire du charge q^- il crée, 1 force
et le couple sur le dipôle.

résultat: attraction entre l'ion et l'1 de la entité



Courant électrique.

I généralités.



Σ conducteurs AB, fil c, $\Rightarrow \Sigma \approx E_q$ ou \bar{u}
potentiel.

l'égalité \bar{u} des potentiels de A et B se fait se
produire par suite de présence de porteurs de charge
mobiles de ABC, du déplacement de celle-ci.

Ce déplacement s'explique par \bar{E} entre A et B de
la conductance qui les relie et un champ électrique \vec{E}
dirigé de la vers des potentiels décroissants.

$\hat{=}$ force $\vec{F} = q\vec{E}$ qui met en mouvement les porteurs de
charge \vec{E} .

Un déplacement ordonné des porteurs de charge
s'appelle courant électrique.

par convention, on dit courant = vers de
déplacement des charges \oplus .

le courant qui apparaît dans un fil est instantané.
pour entretenir courant, nous disposons d'un appareil U
capable à t instant de compenser les Δ des
porteurs de charge A et B, de conserver une DDP
cte entre A et B. une tension électrique.

U : génératrice de courant.

ds un circuit alimenté par U , courant va de la borne + à - de génératrice. ce courant est dû au mouvement des porteurs de charge de la $\frac{1}{2}$ matériel = courant de conduction.

a) e^- en sens contraire du courant de conduction métallique.

b) ions + ds sens de courant

" - " contraire "

de conduction ionique.

II vitesse de déplacement - vitesse limite.

1 barre métallique parcourue par courant i s'échauffe. Se \exists ds un conducteur des phénomènes dissipatifs à l'intérieur de conducteur, choc des e^- libres ce sont sur les particules fixes du métal.

Ces e^- libres soumis à action champs \vec{E} , soumis également à l'influence d'une force de frottement de type $\vec{F} = -\alpha \vec{v}$ analogue à force de frottement et en fluide.

ds un fil conducteur creusé, la vitesse de Σ des porteurs de charge colimée au champ \vec{E} atteint une valeur limite de la forme

$$\|\vec{v}_c\| = \mu \|\vec{E}\|$$

μ : mobilité des porteurs de charge.

dépend nature porteurs, $\theta^\circ C$

$$[\mu] = L.T^{-1}.[V]^{-1}.L$$

μ en $m^2.s^{-1}.V^{-1}$ de l'ordre de $10^{-2} m^2.s^{-1}.V^{-1}$

III intensité d'un courant.

solide métallique cylindrique homogène porteur de charge mobile. e^- de conduction.

nb e^- qui traversent S_1

ds le temps Δt , l'espace parcouru par les e^- est $v \Delta t = d_n$

nb e^- qui traversent S_1 p.olt Δt est le volume de volume $S_1 v \Delta t$

s'il y a n e^- libres par unité de volume, le nb de e^- qui traversent S_1 est : $n S_1 v \Delta t$.

soit q la charge de l' e^- , la charge dq qui traverse ds le temps Δt .

$$\|dq\| = n e S_1 \|v\| \Delta t.$$

$$\text{l'intensité de courant } i = \frac{\|dq\|}{\Delta t} = n e S_1 \|v\|$$

On appelle intensité d'un courant électrique traversant section S d'un conducteur la quantité d'électricité qui traverse S par unité de temps.

L'intensité s'exprime en Ampère.

$$1 \cdot 10^{-6} \approx 1 \text{ A pour 1 transistor.}$$

$$10 \approx 50 \quad \text{"} \quad \text{moteur}$$

$$5000 \text{ A} \quad \text{"} \quad \text{central électrique.}$$

IV loi d'ohm.

à partir de $\|\vec{j}_e\| = \rho \|\vec{E}\|$

on peut écrire:

$$i = n e S \rho \|\vec{E}\|$$

$$\|\vec{E}\| = \frac{V_1 - V_2}{l}$$

$$i = n e S \rho \frac{V_1 - V_2}{l}$$

$$V_1 - V_2 = R i \quad \text{loi d'ohm}$$

$$\frac{l}{n e S \rho} = R = \text{résistance du conducteur.}$$

R s'exprime en Ω de si

l'unité de \vec{E} est de $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ et de la dimension du conducteur de sa nature ($n; \rho$).

pour s'approcher de ce critère, on introduit la notion de résistivité.

$$\rho = \frac{1}{n e \mu}$$

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \downarrow \text{ se mesure en } \Omega \cdot \text{m}$$

la résistivité d'un métal pur \rightarrow si $0^\circ\text{C} \rightarrow$ le milieu devient meilleur conducteur.

elle tombe à zéro qd $0^\circ\text{K} = 0\text{K}$, nous sommes en présence de supraconductivité.

pour l'étain : $3,7\text{K}$

Al : $1,2\text{K}$.

conductivité d'un milieu homogène isotrope

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \text{s'exprime en } \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

I généralisation θ .

n_i : nb de porteurs i / unité de volume.

q_i : charge de chaque porteur i

p_i : mobilité " " " "

$$i = \left(\sum_i n_i q_i p_i \right) s \frac{V_1 - V_2}{l}$$

$$R = \frac{l}{\sum_i n_i q_i p_i} \frac{e}{s}$$

$$\rho = \frac{1}{\sum_i n_i q_i p_i}$$

Construction de la solides.

II Généralités

des e^- de la cristalline.

1. de n atomes, les e^- se trouvent situés sur des niv
d'E bien définis, de n état d'E défini.

les e^- sur orbitales profondes ont une E_c très qual.

les e^- sur orbitales les + externes ont des E_c plus
faible : c'est par l'interaction de ces e^- que
atomes rigides interagissent entre eux pour former
solides.

responsables des l chimiques $\Rightarrow e^-$ de valence
en opposition avec e^- profonds qui ne jouent aucun
rôle de liaison chimique.

2) cas d'un Σ d'atomes identiques.

s'ils sont éloignés les uns des autres, chacun aura
une l'action négligeable sur l'état des autres.

les états d'E des e^- de chaque atome ne sont pas
modifiés et restent ceux d'un atome isolé.

si on les rapproche progressivement par un
arrangement périodique c'est à dire cristallin, les niv
d'E d'abord inchangés sont progressivement
altérés car chaque atome exerce sur les autres
l'act. voisine.

3 atomes identiques se rapprochent et forment cristallin.

les 3 e^- (1) localisés autour du noyau correspondant
et occupent un niv dont E très voisine de celle

d'un atome isolé. Les 3 niv E_1 très rapprochés et forment 1 intervalle très étroit ΔE_1

s'explique par fait que niv des couches profondes sont associés avec e^- de val E_v protégés par interaction des couches - profondes. Les e^- de valence qui jouent un rôle de l'interaction qui prend naissance. Ces e^- vont assurer les interactions entre eux et avec d'autres particules.

Il devient impossible d'affecter un e^- à 1 atome déterminé. On considère que chaque e^- est partant de la cristal.

Les 3 e^- de type n occupent des niv d' E très \neq des niv initiaux.

\Rightarrow bande ΔE_n large.

Les niv électroniques d'un cristal se groupent par bande d' E

Les e^- des couches profondes occupent des niv dont E voisines forment des bandes étroites

en revanche, les e^- de valence occupent des niv groupés en bande large.

Toutes ces bandes d' E , larges ou étroites, sont appelées bandes permises.

elles sont séparées les 1 des autres par des régions ou intervalles de lesquelles on ne rencontre pas d' e^- \rightarrow bandes interdites.

I généralités

aux $\Theta^\circ\text{C}$ habituelles, les solides conduisent courant de façon \neq .

métalliques et leur alliage satisf. à loi d'Ohm et conductivité lin. def, relativement à T .

\downarrow qd $\Theta \uparrow$.

autres solides s'écartent loi d'Ohm, conductivité + faible qd T augmente et \uparrow avec Θ .

- différences:

- isolants, conductivité très faible (10^{-16} à $10^{-10} \text{ } \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)
- semi-conducteurs = solides non métalliques entre métaux et isolants.

III occupation des bandes d'E d'un solide.

1) probabilité pour qu'un e^- occupe un état d'E donné.

statistique de Dirac-Fermi.

• soit dN nb de places disponibles pour e^- de intervalle d'E compris entre E et dE .

• de état le + probable E . le nb d_n d' e^- qui occupent effectivement ces places à $\Theta^\circ\text{C}$ est défini par:

$$f(E) = \frac{d_n}{dN} = \frac{1}{1 + e^{\frac{E - E_F}{kT}}}$$

$$T = \Theta^\circ\text{K}$$

k = cte de Boltzmann

$E_F = E_F$ = cte niveau de Fermi qui dépend de la température, de la distrib. $f(E)$ des niveaux E possibles.

= niveau séparant les bandes occupées des bandes vacantes à $\Theta^\circ\text{K}$.

On détermine E_F de chaque cas particulier en exprimant que le Σ des i grains a une \neq pour avoir valeur de nb total des i de la crist. $f(E)$ = fonction de Fermi Dirac.

calculs:

1. $E - E_F = 3KT$ $\exp 3 \rightarrow 21$ $f = 0,05$

$E - E_F = -3KT$ $\exp -3 \rightarrow$ $f = 0,95$

2. $E - E_F > 3KT$ f tend rapidement $\rightarrow 0$

$E - E_F < -3KT$ f voisin de 1

3. pour $T = 0K$, \rightarrow une discontinuité.

$f = 1$ pour $E < E_F$

$f = 0$ pour $E > E_F$.

4. ds les cas les cas, pt de cond. Θ $E = E_F$

$f = 1/2$, \Rightarrow centre de symétrie.

la figure montre que:

$f(E)$ pour pratiquement de 1 \rightarrow 0. ds intervalle $[E_F - 3KT; E_F + 3KT]$

pour faibles valeurs de T , varia. Θ très rapide.

en $0K$, Hs niveaux $< E_F$ sont entièrement occupés ($f = 1$), Hs niveaux $> E_F$ sont

complètement vides.

2) position du niveau de Fermi.

1. le niv de Fermi tombe ds une bande de E permise

celle-ci n'est ni jamais pleine, ni jamais vide

Hs les autres bandes sont pleines ou vides.

\rightarrow affaire à 1 conducteur.

2. le niv de Fermi tombe ds une ds bandes interdites.

les bandes permises situées en dessous de E_f sont pleines. ($f(E) = 1$)

les bandes permises situées au dessus de E_f sont vides ($f(E) = 0$)

Il n'y a que des bandes vides et que des bandes pleines.

parmi des bandes vides, celle dont E la plus basse est la bande de conduction.

la plus élevée = bande de valence.

on a affaire à un isolant.

3) passage du courant de un cristal.

pour qu'un courant passe, nous transport de charges électriques sous action d'un champ \vec{E}

• En absence de \vec{E} , pas de courant.

• en présence \vec{E} , les e^- de la bande pleine ne peuvent pas modifier leur état pour créer un état pour créer un courant. Mais les places sont occupées.

• seuls les bandes partiellement occupées donneront naissance à un courant sous action d'un \vec{E} appliqué.

voir la fig 1 → conducteur

" " 2 → isolant.

4) semi-conducteurs.

1. se intrinsèques. fig 3

niveau de Fermi de une bande interdite, et on parle d'occupation de la bande de valence = 1 bande de conduction = 0, il s'agit d'un isolant.

si on modifie, $\uparrow \theta \cdot K$, comme $f(E)$ modifiée on influence thermique, les places d'occupation de la bande de conduction plus H à fait négligeable, \uparrow de cette bande qq e^- .

comme pour les orbitales d'occu^o du sommet
de la bande de valence par $n \approx 1$
3l y a qq états non occupés au sommet
bande : trous, considérés comme des
particules presque libres de charge \oplus .

e^- et trous ont un nb identique car il y
a pair électron - trou +
sans influence de e^- le champ \vec{E} : e^- se
déplace de direction opposée à \vec{E} , trous
se déplacent en sens inverse transportant
des charges $+$.

Germanium ou silicium.



atomes tétravalents.

2 semiconducteurs extrinsèques.

• sc type N.

de niveau de Ge ou Si, introduit de qq
atomes d'un autre élément pentavalent
(As ou P) qui possèdent un e^- de +.

1 e^- par atome de P ou As se trouve en
excès par rapport à ceux qui assurent la
liaison de niveau. 3l devient ainsi
libre et participe à la conduction
des 0°C ordinaire.

l'atome étranger fonctionne comme un donneur
de e^- . conductivité assurée par e^- .

• sc de type P.

On introduit ds un cristal de Ge ou Si qq atomes d'Al ou de Boré qui possèdent 1 e⁻ de moins.

Il manque 1 e⁻ de liaison, ce qui forme une lacune qui peut combler le e⁻ venant d'une autre liaison Ge-Ge ou Si-Si.

L'atome étranger fonctionne comme accepteur d'e⁻, la lacune, en se déplaçant conduit le courant comme le fait une charge +.

3. applications.

• diodes à jonction

réalisation d'un contact électrique parfait sur une surface plane entre

1 semi C de type N (e⁻ en excès)

1 sc de type P (trous en excès).

des trous + de la région P au voisinage de la jonction sont générés de la région de n pour se recombiner avec e⁻

idem pour e⁻ de la région de n (ce cas inverse)

conséquences:

trous +, en quittant P laisse une région chargée - au voisinage zone θ .

idem pour e⁻ qui laisse une région +

conclusion: de la région de transition, il y a \vec{E}_y , on aie le DDP $V_0(0,25 - 0,35V) \approx 0,1$ ordinaire au voisinage jonction

apparié d'un champ \vec{E}_y $y = \text{jonction}$.

appliquons un ODP V entre n et p .
a) pile + de polarisation à p (polarisation directe)

le champ \vec{E} ainsi crée produit par V s'oppose à \vec{E}_j crée par V_0 \vec{E}_{cat} $V > V_0$.
c⁻ passent de n à p et se recombinaient avec trous à qq 10^{-6} m de la jonction de \vec{E} pour les trous en sens opposé.
de région isolante a disparu.

de flux de c⁻ fourni par la pile (\neq potentiel V) circule dans le circuit et le courant d'intensité i dirigé en sens inverse.

On a affaire à un diode connecté.

3) pile + à n . polarisation inverse.

le champ \vec{E} est créé par polarisation s'additionne au champ due à V_0 . le passage des c⁻ de n à p ne peut plus s'effectuer.
(et trous de p à n).

le courant est pratiquement nul. il s'agit d'une diode fermée (sens bloquant) qui permet par ex: de réaliser un courant en courant alternatif.



les c⁻ attirés par pile (+), les trous par (-) au niveau de la jonction apparaît 1 zone de charge dont volume \uparrow au fur et à mesure que les c⁻ et trous se déplacent à l'intérieur.

• transistor.

formé par une jonction pn reliée à l'autre semi-conducteur type n ou p.

transistor npn ou pnp.

p représente la base, les 2 autres régions représentent l'une l'émetteur, l'autre le collecteur.

cas du t npn.

a) on établit 1 DDP entre n et p en reliant $n = \oplus$, et $p = \ominus$.

dans ce cas, le courant ne passe pas.

b) si la \pm DDP établie est mes inversée inversement les polarités.

le courant passe, mais les e^- et trous ne peuvent s'éloigner loin de la jonction.

si Base très fine les e^- de l'émetteur peuvent traverser B sans être neutralisés.

et si N est à 1 potentiel +, ces e^- se précipitent de la collection (C) \Rightarrow 1 courant i va passer.

de DDP appliquée entre émetteur n et la base B contrôle le nb de e^- qui entre de la région p et par suite le courant du collecteur.

utilisé comme amplificateur : soit gain de I, soit gain de U.

cas du transistor pnp.

en mode de fonctionnement mais polarités doivent être inversées.

• détection à jonction.

constituée par diode à jonction p-n
galvanisée en sens inverse: il apparaît
au niveau de la jonction \rightarrow diques liés (zone)
ne possèdent plus de porteur de charge
libre. il s'agit d'une véritable chambre
d'ions \ominus solide.

par un rayonnement ionisant γ incidente
à l'intérieur de cette chambre, traversant
zone diques liés. il crée des ions \ominus
 $\rightarrow e^-$ qui vont se diriger vers le pôle
 \oplus , trous qui vont se diriger vers pôle
 \ominus , le nb de paires e^- trous créés est
directement proportionnel à l'énergie
perdue par le rayonnement ionisant.

conclusions:

- 1) sous influence de R_1 , il apparaît un courant
électrique.
- $\Rightarrow I^-$ de ce courant = $h \cdot E$ perdue.
- $\Rightarrow h \cdot E$ particule incidente.

avantages.

- l'énergie moy W requise pour produire une
paire d' e^- trou dépend nature du solide
cristallin. elle est très faible (3,61 eV
pour Si, 2,34 eV pour Ge)
elle est 10 fois plus faible pour
produire un ion \ominus de la gaz.
- pouvoir d'arrêt des sc est environ
1000 x important que pour les gaz.

général à ses 2 caractéristiques, la détecteur se convertit bien avec 3 types de rayons (α , β & γ).

pour α de $5,4 \text{ MeV}$, on parle de α -trans.
 $= \frac{5,4 \cdot 10^6}{3,6} = 1,5 \cdot 10^6$.

pour β , totalement absorbés par 5 mm de Si alors qu'ils ne produisent qu'une partie de leur E de leur gaz.

pour γ , efficacité plus faible avec sc que avec un cristal I Na (TL) . meilleure résolution.

Cours de m électrolyte.

1. Conductivité.

la plupart des liq. à état pur sont isolants
= ne conduisent pas.

ex: eau pure (dissimulée, dissimulée).

lorsq. - dissolvant certaines subst. eau devient
conductrice. \Rightarrow soln Θ électrolyte ou électrolyte
(Arrhenius) cette propriété liée à conductivité
type ionique.

certaines molécules mises en sol. se dissocient
en anions (-) et cations (+)

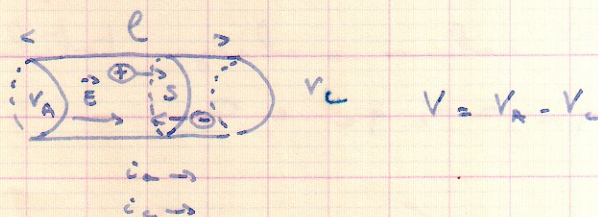
si dissociation partielle \rightarrow électrolyte faible.

" " totale \rightarrow " fort

en appliquant une DDP entre 2 électrodes qui
plongent ds un telle soln Θ , on crée un \vec{E} ,
les ions + se déplacent ds sens de champ.
les ions - en sens inverse.

conclusion: on retrouve comme pour les sc, 1 double
mvt des porteurs de charges.

2. notion de résistance, conductivité et conductivité.



sol aqueux saturé électrolyte.

$n_a = n_b$ ions / unité de volume.

$n_c = n_b$ cations / " " "

$q_a =$ charge de chaque ion. volume absolu

$q_c =$ " " " cations " "

Dès que ions se déplacent en mouvement sans influence

$\vec{F} = q\vec{E}$, ils subissent la force de frottement.

$\vec{f} = -\sigma\pi r\eta\vec{v}$.

très rapidement, les forces se compensent et

chaque espèce d'ions aura la vitesse limite v_c .

$$\text{soit } \|\vec{v}_c\| = \frac{q}{\underbrace{\sigma\pi r\eta}_\mu} \|\vec{E}\|$$

$\mu =$ mobilité des porteurs de charge.

$$v_{c_a} = \mu_a E$$

$$v_{c_c} = \mu_c E$$

d'après expression I électrique

$$i_a = n_a q_a v_{c_a} S$$

$$i_c = n_c q_c v_{c_c} S.$$

les 2 I sont s'ajoutent

$$i = i_a + i_c = S (n_a q_a v_{c_a} + n_c q_c v_{c_c})$$

l'ensemble restant neutre, la charge totale \oplus / unité volume = charge totale \ominus / V.

$$n_a q_a = n_c q_c = Q.$$

$$i = Q S (v_{c_a} + v_{c_c})$$

$$i = Qs (p_+ + p_-) \|\vec{E}\|$$

$$i = Qs (p_+ + p_-) \frac{V}{l}$$

$$V = \frac{l}{Q(p_+ + p_-)} \cdot \frac{l}{s} \cdot i \quad \text{loi d'Ohm.}$$

résistance du sol $R = \frac{l}{Q(p_+ + p_-)} \cdot \frac{l}{s}$

résistivité du sol $\rho = \frac{l}{Q(p_+ + p_-)}$

conductivité $\chi = \frac{1}{\rho} = Q(p_+ + p_-)$

χ et ρ dépendent uniquement du sol d'électrolyte
mobilité des ions (p_+ et p_- et concentration.)

charge ionique.

concentration.

dissociation.

chapitre I.

1 généralités

1.1 unités employées en physique moderne.

fermi : 10^{-15} m

unité masse atome
electron Volt.

$u = \frac{1}{12}$ de la masse de l'atome de C^{12}
définis 1961.

$$\frac{12 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot N} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ kg.}$$

eV multiples : keV GeV TeV.

1.2 relativité avec énergie.

≡ masse énergie indissociable pour comprendre
les phénomènes nucléaires.

Einstein 1905.

1 particule de masse m possède E de masse E_0 .

$$E_0 = mc^2.$$

masse d'une particule invariable.

$$E_T = E_c + E_0$$

↑ ↓
cinétique masse

$$E_{ext} \quad E_{int}$$

conclusion : masse et E sont 2 aspects d'une
réalité, Δ de masse d'un système s'accompagne
nécessairement d'un Δ de son E et réciproque-
ment $\Delta E = \Delta m c^2$.

La masse d'un système s'accroît soit en unités
de masse soit en unités d'E.

est quelle $E \hat{=} 1 \text{ u ma} = 10 ?$

$$E = mc^2$$

$$E_{\text{jeu}} = \frac{10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$E_{\text{ev}} = E_{\text{jeu}} / 1,6 \cdot 10^{-13}$$

$$E_{\text{ev}} = 331,420 \text{ MeV.}$$

par 1 trio faill au de nature $\hat{=} Q$
énoncé d'E

les axes peut s'exprimer en $\nu = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
en MeV/c^2 .

1.3 les particules élémentaires.

1.3.1 spin.

difficile de donner leur def.

système physique qui a un état donné
possède certaines propriétés permettant de le
caractériser:

- masse au repos qui peut être nulle,
- charge électrique qui peut être nulle.
- durée de vie
- spin nucléaire, moment dipolaire \vec{S} ou \vec{E}^2

1.3.2 quarks et leptons.

• quarks.

A. 3 expériences.

1858, en lançant e^- de 100 MeV sur H liq
on a vu que rayon proton était 1 fm
 $= 10^{-15} \text{ m}$.

permet rigoureusement l'existence de quarks de
son Σ , mais ne permet pas d'explorer sa structure

1968 emploi de e^- + énergiques 20 GeV ou neutrons de 30 GeV. sur protons ou pions de confinement L^{-1} de proton de grain durs. (Friedman, Kendall, Taylor).

B. conclusions.

grains: quarks, particules fondamentales de masse faible de charge fractionnaire. ($\frac{2}{3}$ ou $\frac{1}{3}$ de la charge du proton.

A about L^{-1} de 6 familles de quarks. caractérisés par un "saveur".

up (u), charme (c), top (t) $+\frac{2}{3}e$
down (d), strange (s), bottom (b) $-\frac{1}{3}e$.

peut expliquer leur comportement au niveau d'un quark des "couleurs"

3 "couleurs" par saveur (rouge bleu jaune)

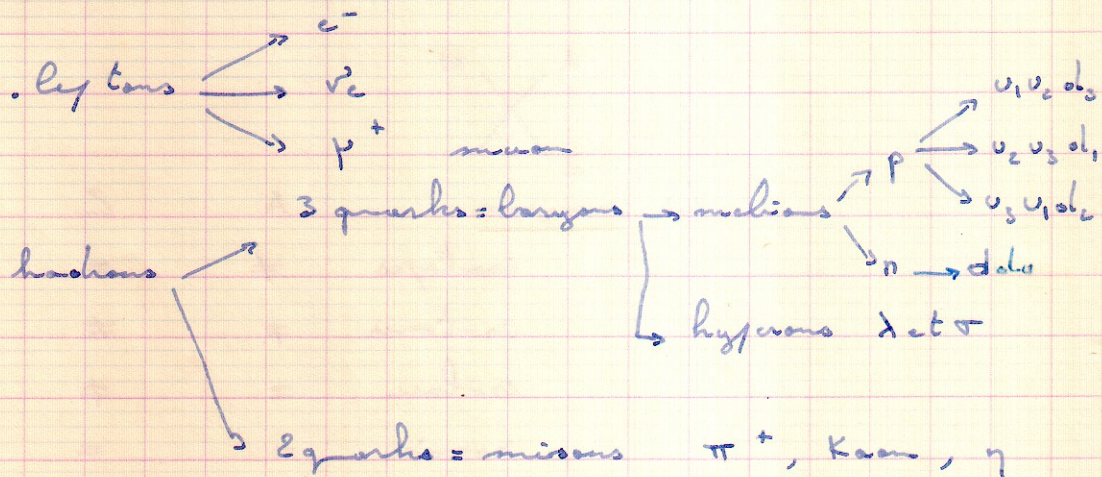
ce qui $u \rightarrow u_1, u_2, u_3$

des quarks s'associent soit par 2 ou par 3 et donnent naissance aux hadrons.

• leptons.

ils n'ont pas de sous-structure, ce sont des particules élémentaires \rightarrow famille des leptons.

1.3.3 classe.



2. constituants du noyau.

2.1 H noyau est un assemblé de 2 espèces de nucléons mis par force nucléaire

• proton p.

— masse $1,007276 \text{ u} \rightarrow 938,28 \text{ MeV}/c^2$

rayon 1 fm

charge électrique $+e$.

stable, durée vie infinie.

• neutron n.

— masse $1,008665 \rightarrow 939,565 \text{ MeV}/c^2$

rayon 1 fm .

charge 0

temps de vie : 15 min (disintégré en $\bar{\nu}_e + p$)

stable lorsqu'il est lié de la noyau.

• transfo

$n \Rightarrow p$ avec perte de masse, libère E

$p \Rightarrow n$ si on fournit E , réagit endothermique.

2.2 conclusion

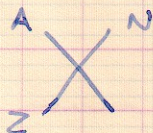
noyau entièrement défini par sa structure

par 2 quelconques de ces 3 paramètres.

$Z = \text{nb protons ou de charge +}$

$N = \text{nb neutrons.}$

$A = N + Z$



2.3 noyau

	A	Z	N
isotopes	\neq	$=$	$\neq \rightarrow \bar{n}$ const. ch.
isotones	\neq	\neq	$=$
isobares	$=$	\neq	$\neq \rightarrow H_0$ transfo avec $\bar{\nu}_e$
isomères	$=$	$=$	$= \rightarrow$ différent par leur état énergétique

3 forme D du noyau.

3.1 sa masse / celle de ses constituants.

sa masse est $<$ somme des masses des nucléons qui le composent.

$$m(A; Z) < Z m_p + (A-Z) m_n$$

à cette Δm , on peut associer une E :

$$B = \Delta m \cdot c^2 = \text{énergie de liaison totale.}$$

E fournie à l'état lorsque les constituants se sont rassemblés pour former le noyau.

E qu'il faut fournir à l'état si on veut arracher les n nucléons du noyau.

$$B/A = E_c \text{ par nucléon.}$$

exemples. ${}^2_1\text{H}$ deutérium. ($1p + 1n$)

$$\text{masse } p : 1,00728 \text{ u}$$

$$n : 1,00867 \text{ u}$$

$$\Sigma = 2,01595 \text{ u}$$

$$\text{masse du noyau} = 2,01353 \text{ u}$$

$$\Delta m = 0,00242 \text{ u} \text{ le noyau perd sa masse.}$$

$$B = \Delta m \cdot 931,475 = 2,24 \text{ MeV}$$

$$B/A = \frac{2,24}{2} = 1,12 \text{ MeV.}$$

noyau de ${}^4_2\text{He}$

$$\text{masse du noyau} : 4,002604 \text{ u}$$

$$\Delta m =$$

$$B = 28 \text{ MeV}$$

$$B/A = 7 \text{ MeV. plus stable que } {}^2_1\text{H}$$

noyau ${}_{13}^{27}\text{Al}$

— énergie du noyau = 26,3746 u

$$\Delta m = B = B/A = 8,33 \text{ MeV.}$$

3.2 évolution de B/A — fonction de A.

• construction de la courbe.

3 régions.

② entre 60 et 120, les noyaux ont une E_c la plus importante \rightarrow noyaux les plus stables. ceux qui ont le plus de la matière.

① et ③ ont une E_c plus faible \rightarrow tendent à se transformer en des noyaux situés dans la région ②.

③ : les noyaux sont légers, mais perdent une partie de leur masse de 2 façons : en perdant $2p + 2n =$ particule α ou en se convertissant en e^- . $U_{238} \rightarrow 2 \text{ noyaux } \overset{=120}{X}$

$$U_{238} \quad B/A = 7,5 \text{ MeV.}$$

$$X_{120} \quad " = 8,3 \text{ MeV.}$$

quel gain de U à X , libère Θ d'E de 11 MeV par nucléon. \Rightarrow libère Θ de 238 MeV par noyau.

libère Θ de 11 MeV / nucléon poids d'un nucléon = 1000 MeV

$$\hookrightarrow 1/1000$$

1 million de la masse de nucléon qui s'est transformé en E.

① tendance à s'associer : fusion.



$$B/A = 1 \rightarrow 7$$

libère Θ de la même chose de 6 MeV / nucléon.

— dans fusion, transfère de 6/1000 de la masse en énergie. 6x plus que de fission.

4 caractéristique du noyau.

4.1 dimension.

étudié la diffusion des particules et de certaines réactions.

$$R = r_0 A^{1/3} \quad (r_0 \approx 1,2 - 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m})$$

forme : en 1^{ère} approximation Θ , pratiquement sphérique.

4.2 distribution des charges

approximativement ete sauf la partie superficielle

4.3 volume.

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \cdot A$$

4.4 masse volumique.

$$\rho = \frac{A}{V} = \frac{A}{\frac{4}{3} \pi r_0^3 A} = \text{indépendant de } A = \text{cte.}$$

même vol d'un noyau = même vol d'un nucléon

$$\rho = \frac{\text{masse d'un nucléon}}{\text{vol " "}} = 2,3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

mat. nucléaire continuellement dense (de telle ρ se rencontre lors de l'insulation des étoiles et $\rho \sim 2 \times 10^{17}$).

matière essentiellement constituée de nucléons.

ex: vol occupé par les nucléons d'un ^1Al de 1 vol de 1 pm^3 $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$

$$\Rightarrow V = 1 \cdot 10^{20} \text{ m}^3.$$

5 forces nucléaires.

assurent stabilité du noyau.

connues ou encore incertaines.

- ne sont pas de nature électrostatique s'exercent entre particule chargée et une chargée. de la longueur comme conséquence de la charge. $\|F_{nucl}\|$ qui s'exerce entre $2p = \|F_{nucl}\|$ qui s'exerce entre $2n$ ou $1n$ et $1p$.

- ont une courte portée $\sim 10^{-15} m$, s'annule lorsque la distance nucléaire devient $>$ au R du noyau.

- sont dites saturées, dans un noyau comportant \otimes nucléons, 1 nucléon particulier ne peut interagir qu'avec un nb limité de nucléons.

6 stabilité et instabilité de noyau.

- stable ou non serait stable lorsqu'il ne subit aucune transformation ou changement d'état E en absence d'intervention extérieure. un peu en échelle de temps déterminée.

- 1200 noyaux instables pour 300 noyaux stables.

- diagramme de $Z = f(N)$

noyaux stables, $Z \rightarrow 20, 40$, $Z = N$ $N/Z \approx 1$

lorsque $Z \uparrow$, les noyaux s'écartent de la bissectrice $N/Z > 1$. atteint une valeur $N/Z = 1,6$ pour valeur de Z égale à 82.

au delà de $Z = 82$, plus de noyaux stables.

\Rightarrow zone de stabilité : "vallée de la stabilité"

transfo des zéros instables.
radioactivité.

- 1 critère des zéros instables par rapport à zone stabilité.
 zone ①, les zéros ont trop n .
 " ② " " " " p
 " ③ " " " " de n et p , trop grands.

2 transfo des zéros instables.

2.1 transfo isovalarique.

zone ①, trop de n , $n \rightarrow p + \beta^-$

2.1.1 transfo $n \Rightarrow p$.

Le nombre en excès de n se gère.

$${}^1_0 n \rightarrow {}^1_{+1} p + {}^0_{-1} \beta + \bar{\nu}$$

$$\Rightarrow {}^A_Z A \rightarrow {}^A_{Z+1} Z + {}^0_{-1} \beta + \bar{\nu}$$

à condition que:

$$\Pi(A, Z) > (\Pi(A, Z+1) + m c^- + m \bar{\nu}) \text{ pour zéro}$$

$$E_m = \left[\Pi(A, Z) - (\Pi(A, Z+1) + m c^- + m \bar{\nu}) \right] \cdot c^2 \text{ (énergie)}$$

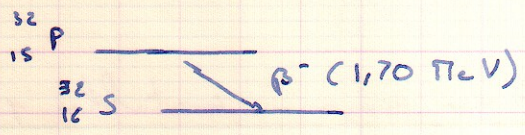
$$\text{alors } \mathcal{M}(A; Z) = \Pi(A, Z) + Z m c^-$$

$$E_m = \left[\mathcal{M}(A; Z) - Z m c^- - \frac{\Pi(A; Z+1) - m c^- - m \bar{\nu}}{\mathcal{M}(A; Z+1) - (Z+1) m c^-} \right] \cdot c^2$$

$$\Rightarrow E_m = (\mathcal{M}(A; Z) - \mathcal{M}(A; Z+1)) c^2$$

E tjs la = en cours d'une transfo $n \Rightarrow p$.
 si E identiq, cette E exporte totalement
 ou partiellement par le rayonnement β^-

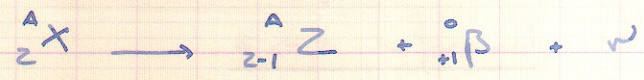
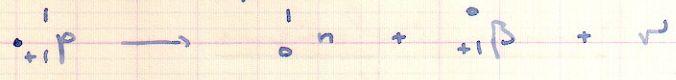
ex:



masse de l'atome $P = 31,98403 \text{ u}$
 $S = 31,98220 \text{ u}$
 $\Delta m = 0,00183 \text{ u}$

$$E_m = \Delta m \times 931,5 = 1,70 \text{ MeV.}$$

2.1.2 transfo $p \Rightarrow n$



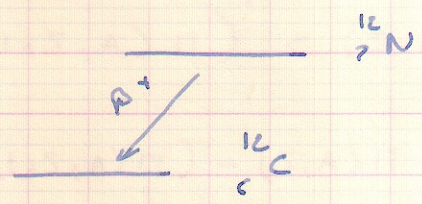
à condition que $E_m > 0$.

$$E_m = \left(\Pi(A, Z) - \left(\Pi(A, Z-1) + m_e c^2 + m_\nu c^2 \right) \right) c^2$$

pour l'atome:

$$E_m = \left(M(A, Z) - M(A, Z-1) - 2m_e c^2 \right) c^2$$

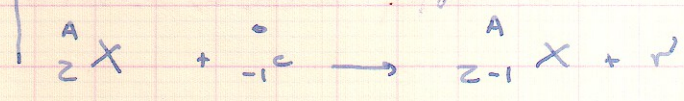
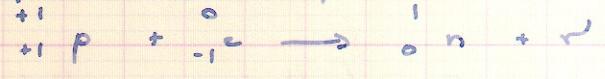
ex:



masse atome de N = 12,02278 u
 $C = 12,003803 \text{ u}$
 $\Delta m = 0,018977 \text{ u}$

$$E_m = (0,018977 \cdot 931,5) - (2 \cdot 0,511) = 16,65 \text{ MeV.}$$

• capture électronique.



il n'y a pas de particule émise.

condition :

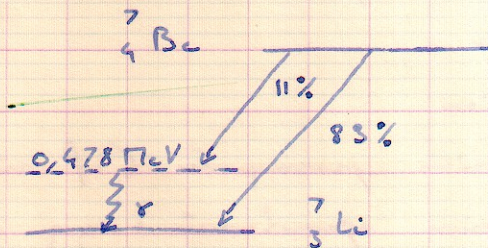
$$\Pi(A, Z) + m_e c^2 - \frac{E_K}{c^2} > \Pi(A; Z-1) + \cancel{m_e c^2}$$

$$E = \left(M(A; Z) - \frac{E_K}{c^2} - M(A; Z-1) \right) c^2$$

$E_K \approx 100 \text{ KeV}$ $E_e = 20 \text{ KeV}$.

L'énergie E est emportée par le neutrino.

ex :



$E_m = 0,86 \text{ MeV}$.

émission β^+ impossible.

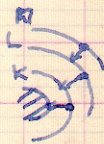
• compétition émission β^+ , capture e^- .

émission β^+ demande un E de $2 \times 0,511$ de $1,02 \text{ MeV}$, ce que ne requiert pas la capture électronique.

de ces e^- et e^+ sont fournis, la capture électronique favorise pour les noyaux lourds (mult avec capture K)

explication : e^- périphériques pris du noyau.

consequence capture électronique : réarrangement de la cortège électronique après e^- .



entraîne vacance sur K

passage d' $1e^-$ de L sur K

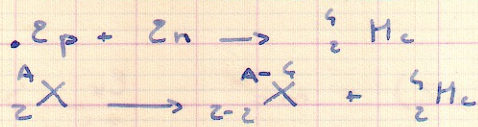
" " " " " L

$E_K - E_L = h \nu_{K \rightarrow L}$ (photon X monoénergétique)

$E_L - E_M = h \nu_{L \rightarrow M}$ (visible)

existe pas lorsque émission β^+ .

2.2 transfo en transition par parti: θ .



condi θ :

masses nucléaires formées < masses nucléaires initiales

$$E = (M(A, Z) - M(A-4, Z-2) - M_{\text{He}}) c^2.$$

cette E est répartie par la ou les particules α émises.

• fission

fission provoquée (cf réact θ nucléaire)

fission spontanée : qq noyaux lourds ont possibilité de se scinder spontanément en 2 fragments légers. cette proba est néanmoins faible.

probab θ f. spontanée de ^{238}U est de l'ordre de 10^{-16} ans.

$\hat{=}$ fission de 20 noyaux par gramme chaque heure.

2.3 transfo isomérique.

• c'est une transi θ de disexcitati θ nucléaire ne s'accompagnant d'aucune émission corpusculaire d'origine nucléaire. $\Delta A = 0$ $\Delta Z = 0$

• 2 types.

a) transi θ radiative ($t < 10^{-15}$ s)

le noyau se disexcite par émission photon γ et $h\nu = h\nu$.

b) conversion interne : l'E de disexcitati θ

est transférée directement à l'e $^-$ qui se trouve extrait de l'atome si E suffisante

équation avec $E_c (= E_{\text{dissociation}} - E_e)$

3 cinétique.

3.1 proba de désintégration.

on ne peut pas prévoir la désintégration.

on peut définir un proba de désintégration

ne dépend - des condi^o physiques, ni chimiques de laquelle le noyau se trouve. ni de l'âge du noyau

\Rightarrow constante radioactive λ qui caractérise le type de noyau défini.

3.2 expression de N en fonc^o de temps.

N_t : source radioactive.

$$-dN = \lambda N_e dt$$

N_t sol de l'équ^o diff

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad \text{avec } \lambda = \text{cte.}$$

$$\int \frac{dN}{N} = - \int \lambda dt + \text{cte}$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

On détermine C en prenant $t = t_0$, il y avait N_0 noyaux d'o^ù $N_0 = C$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

3.3 finisole.

temps au bout duquel le nb de noyaux a diminué de moitié.

$$N_T = N_0/2$$

3.4 rela^o T et λ

$$N_T = N_0 e^{-\lambda T}, \quad N_T = N_0 e^{-\lambda T} = \frac{N_0}{2}$$

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$$

$$\lambda T = \ln 2$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad \lambda = \frac{0,693}{T}$$

3.5 activité d'une source.

3e n'est pas possible d'étudier la Δ de N_t de la temps.

3e est possible de mesurer dN/dt de la temps.

l'activité à instant donné est le nombre de radiations est égale au nb de disinté-gration dont elle est la source par unité de temps.

$$A_t = \frac{dN_t}{dt} = -\lambda N_t$$

$$A_t = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{or : } -\lambda N_0 = A_0$$

$$\text{donc } A = A_0 e^{-\lambda t}$$

unité d'activité : becquerel (Bq) = 1 disinté-gration / seconde.

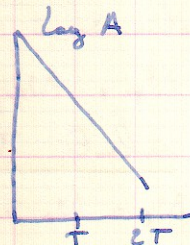
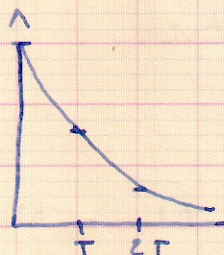
autre Ci Curie

activité spécifique : A / unité de masse.

3.6 détermination de T

1. T mesurable à échelle humaine (min, heure, jours, mois).

effectuer des \pm mesurés des sources d'activité à intervalle de temps constant.



2. T importante (siècles)

applique formule $A_t = -\lambda N_t$

faire une somme de A_t

$$A_t = -\lambda N_t$$

pour la source $m = \text{mass}$.

= partie de m , déterminée N_t

$$N_t = \frac{N \cdot m}{A}$$

\rightarrow nb de nucl .

$$\lambda = \frac{A_t \cdot A}{N \cdot m}$$

$$\lambda = 0,633 / T$$

3.7 radioéléments naturels - artificiels.

naturels : rencontrés de la nature et dont période est de l'ordre de grandeur de l'âge de la Terre.

3 familles, composées de 1 Σ H α issues d'un rayon initial instable, qui se gène en fils, conduisant à 1 rayon final stable.

famille Thorium	${}_{90}^{232}\text{Th}$ ($1,4 \cdot 10^{10}$ années)	\rightarrow ${}_{82}^{208}\text{Pb}$
" Uranium	${}_{92}^{235}\text{U}$ ($7 \cdot 10^8$ années)	\rightarrow ${}_{82}^{207}\text{Pb}$
" Uranium	${}_{92}^{238}\text{U}$ ($4,5 \cdot 10^9$ ans)	\rightarrow ${}_{82}^{206}\text{Pb}$

NB: qq autres rayons instables ne rencontrent pas appartenir à une famille.

${}_{19}^{40}\text{K}$ ($T = 1,2 \cdot 10^9$ ans) \rightarrow β^- , capture e^- .

${}_{37}^{87}\text{Rb}$ ($T = 6 \cdot 10^{10}$ ans) \rightarrow β^- .

artificiels : initialement de la nature mais T insuffisante pour qu'ils \exists encore.

A fabriquer = les éléments à moyenne stabilité.

les rayonnements.

1 instabilité.

rayonnements sont émis par les noyaux instables au cours de leur transfert spontané.

2 Rayonnement α

2.1 valeur et caractéristique.



$$E_C \text{ totale} = D = 28,3 \text{ MeV}$$

$$\text{" par nucléon} = 7,07 \text{ MeV.}$$

comparaison avec celle des rayons voisins.

	${}^1_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^6_3\text{Li}$	${}^7_3\text{Li}$
B	2,22	8,48	7,72	32	33,2
B/A	1,1	2,83	2,57	5,33	5,6

conclusion : la particule α est identique au noyau le + stable de ces voisins.

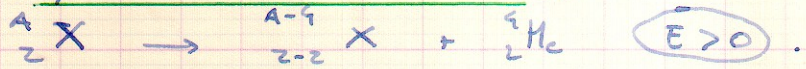
seule particule lourde émise spontanément à l'état fondamental de certains noyaux lourds. cette faculté d'émission spontanée s'explique par :

valeur B/A très élevée de part α .

" " " des nucléons les plus externes (périphériques) dans certains noyaux lourds ($\approx 6 \text{ MeV}$)

2.2 propriétés.

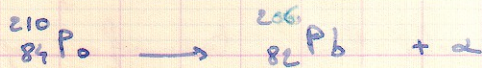
2.2.1 spectre d- E , de raies(α)



tous rayons formés au cours d'une α $\hat{=}$ transition $\hat{=}$ E $\hat{=}$ leur état fondamental.

1 seule raie α émise avec E .

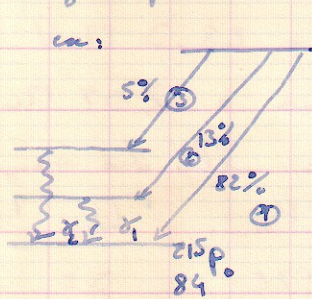
ex:



$$E_\alpha = 5,3 \text{ MeV}$$

sur les rayons α formés de leur état fondamental, mais aussi de n états excités à chaque état $\hat{=}$ des particules α monoénergétiques : spectre de raies

ex:



${}^{226}_{86} \text{Ra}$ (radon)

$$\alpha_1 = 6,81 \text{ MeV}$$

$$\alpha_2 = 6,59 \text{ MeV}$$

$$\alpha_3 = 6,41 \text{ MeV}$$

$$\delta_1 = 6,81 - 6,59 = 0,27 \text{ MeV}$$

$$\delta_2 = 6,81 - 6,41 = 0,40 \text{ MeV}$$

2.2.2 parcours de la matière.

utilisée et très court, $\hat{=}$ de gaz.

${}^4_2 \text{He}$ particule lourde, α s'absorbent facilement.

perte progressive par interaction avec les e^- qu'elle rencontre, de la matière

lourde (Pb, U) et lourde, la particule α crée une ionisation continue.

	air	eau	Al	Pb
R(m)	$38 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$

de gaz $\hat{=}$ arrêt total.

Les α sont très peu pénétrants. — il suffit pour les arrêter.

3 Raisonnement β .

3.1 notions.

β^+ positons β^- positons.

charge $q = \pm e$

$$m_0 = m_e = 9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ = 0,511 \text{ MeV}/c^2$$

vitesses beaucoup plus importantes que celle des α à E_0 égale.

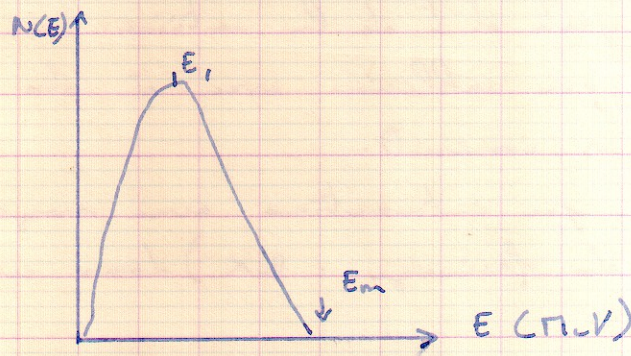
ex: pour $0,2 \text{ MeV}$, $v = 0,7c$

à partir de $0,7 \text{ MeV}$, $v > 0,9c$

3.2 propriétés.

3.2.1 spectre de E continu.

Les β ont par moyenne des vitesses identiques subissant la même force — ont par Hs la même E , E comprise entre 1 valeur proche de 0 et E_m caractéristique des rayons incidents.
ex: spectre β de ^{90}K .



interprétation Pauli 1930.

l' E non exporté par β^+ est emmené par l'antineutrino $\bar{\nu}$, β^- par le ν ou $\bar{\nu}$ de masse négligeable, non chargée
 $< 1/1000 m_e < 1/2000 m_p$

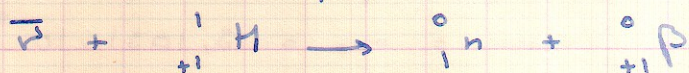
$$\Rightarrow E_p \text{ ou } E_n = E_m - E_c$$

en 1953 on a découvert des neutrons
(Reine et Cowan).



n instable car plus lourd que le p.

φ de n sert à réacteurs. on doit trouver des $\bar{\nu}$
recherche au flux sur un cible à H.



2 photons de 0,511 MeV.

émission de 2 γ en sens opposé 180°.

3.2.2 interact avec matière.

pour les particules > à celle de a.

	${}^{131}\text{I}$	${}^{138}\text{Au}$	${}^{32}\text{P}$	${}^{90}\text{Y}$
E_m (eV)	0,608	0,26	1,7	2,24
de air	2	3,3	6,7	3
de car	2,1	4	8	11

trajectoire

en ligne brisée, les p sont - lourds
perte d'E de la matière.

par collision avec e de atomes (arrachés)
→ ionisation.

par interactions avec rayons (rayonnement
de freinage: RX) dans certaines conditions.

4 Rayonnement γ.

4.1 nature

émis par le noyau qui passe d'un état excité
à un état excité ou état fondamental.
état excité apparaît après émission de p

finira au centre vers Θ nucléaire.

4.2 propriétés

vitesse : c

spectre de raie

puissance ionisante Θ que β et α .

puissance de pénétration Θ : important, dépend de E du rayonnement.

4.3 absorption des photons γ

valeur CDA pour γ de 1 MeV.

air 150 m

con 15 cm

bitum 6 cm

Pb 1,5 cm.

4.3.1 loi de l'absorption totale.

of RX

4.3.2 phénomènes responsables de l'absorption.

• effet photo e^- (RX)

• " Compton (RX)

• " création Θ électrons.

photon γ passe au voisinage noyau $\rightarrow 2e^-$.

C processus peut apparaître par photons γ ou X
et $E \geq 1,02 \text{ MeV}$.

En arrivant au voisinage d'1 noyau, photon se transforme brusquement son énergie quantique de rayonnement $h\nu$ en.

- E de création Θ : création de e^- et e^+

caroli Θ : $2 \cdot 0,511 = 1,02 \text{ MeV}$.

- E_c communiquée par moitié à chaque électron.

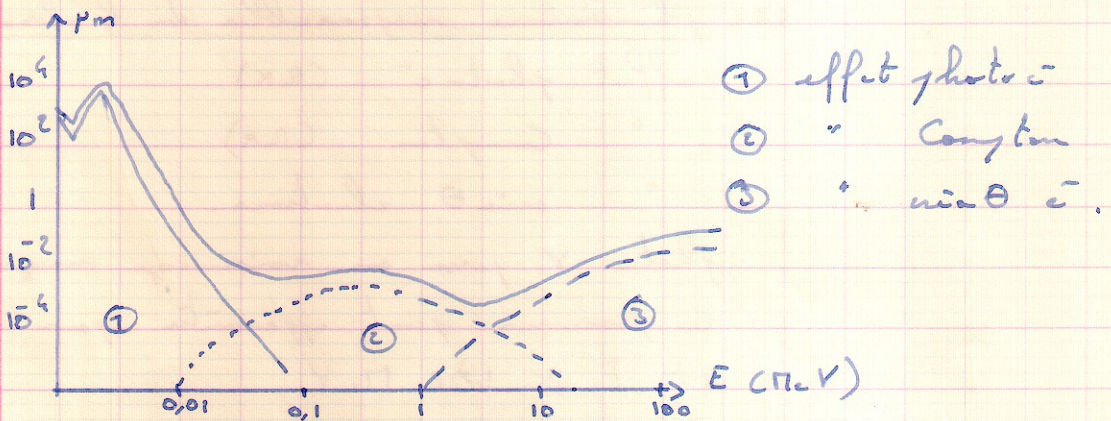
le photon totalement absorbé.

4.3.3 création des e^- .

l' e^- circule de la cible et cède progressivement son E_c en ionisant la cible.

l' $e^- e^+$ issu de via 10-15 min a tendance à se recombiner avec e^- : il y a annihilation d'1 paire $e^- e^+$ la perte de masse compensée par production de 2 photons de $\approx E$ (0,511 MeV) qui partent de 2 directions opposées ces 2 photons \Rightarrow interagissent par effet Compton ou photo e^- .
 le processus d'annihilation accompagne très la via de paire e^- et e^+ .

importance des 3 types d'interaction.



pour $Z = 29$ (Cu)

appel pm : proba d'interaction par unité de masse
 effet photo e^- dominant pour basses énergies.

" Compton : moyenne

" via $e^- e^+$ sup.

Méthodes de détec θ et de mesure de la radioactivité.

1 généralité.

- elles reposent sur certains phénomènes engendrés par absorp θ des α β γ X de la matière.
- impression plaque photographique.
 - ionisat θ des gaz.
 - fluorescence de certains solst solides ou liquides.
 - act θ sur semi conducteurs.

2 principaux détecteurs ou compteurs.

2.1 détecteurs basés sur ionisat θ gaz.

α β γ X se propagent ds un gaz sont capable de provoquer des ionisat θ . on recolle ces e^- sur une électrode \oplus , cette recolle qui sert à la détec θ et mesure ds rayonnement.

cylindre métallique $e \rightarrow 3$ cm de ϕ , longueur $6 \rightarrow 10$ cm. fermé à une extrémité. support isolant placé ds l'axe. on étiré traversé par filament de Tungstène porté à $V \oplus$ Tris Haute Tension qui ionise. P recolle ($1/10$ atm) le gaz.

sans ds rayonnement : traverse la plaque et pénètre à l'int. cylindre : gaze recolle à la masse : cathode.

généralité à l'int l seul rayonnement ionisant est E_c . crée des ionisat θ , fait opposer nb

→ X ions négatifs (ionisation primaire).
 tension de crête (V) charge collectée à
 anode (amplitude impulsion)

0
 $0 < V < 100$
 (région I)
 $V = 100$

0
 ↑ avec V
 X' ions collectés ($< X$)
 He les ions primaires (X)
 sont collectés. charge collectée
 à anode = $f(X) = f(E_c)$
 est constant de part.

$100 < V < 200$
 $200 < V < 600$

ionisation II, les e^- ont
 une énergie qui ↑, suffisante
 pour arracher des e^- les molécules
 du gaz.

$$E_c \Rightarrow X \quad X'' = a X$$

a dépend de la tension.

pour V déterminé a connu.

$$\text{charge} = f(X'') = f(E_c)$$

proportionnalité pas respectée.

$600 < V < 800$
 région 4

ionisation II très brève
 et très importante.

$800 < V < 1200$
 région 5

Geiger Muller.

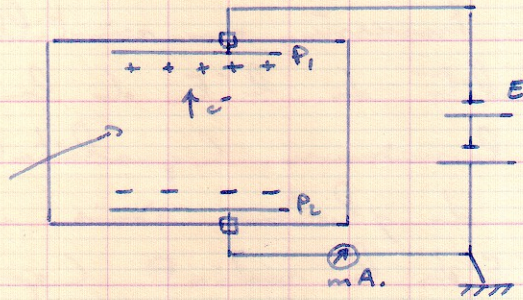
le primaire a temps très bref.
 donc 1 nb considérable de e^- II
 qui ne dépend plus de E_c .
 ⇒ avalanche.

② ⇒ dans la région I. charge et ionisation.

③ ⇒ compteur proportionnel: impulsion = $f(E_c)$
 charge collectée ④ importante (RX).

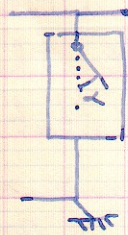
⑤ / compteur Geiger Muller, ne permet pas
 de mesurer E_c : détecteur rayonnement.

$V E_c$ des particules, avalanche type la \bar{c} .
chambre d'ionisation \bar{c} gaz.



de circuit apparaît comme si que l'on peut
mesurer. \bar{c} doзимètre instantané.

chambre d'ionisation "intégration".
utilisé à luthroscope à feuille d'or.
E remplacé par



l'instrumentation nous on
dichroïsme. on peut intégrer les doses qu'on reçoit.

2.2 détecteurs basés sur la fluorescence de certains cristall
à scintillation.

absorption $\sigma p \sigma$ dans le \bar{c} ionisation rapide
et instantanée par les cristall sol ou liq de
photons visibles. \rightarrow flash lumineux ou
éclair de scintillation.

si l'on veut détecter, les compteurs, on dispose
d'un compteur dit à scintillation.

comprend 2 parties.

1 cristall scintillation scintillation.

• l'architecture du scintillateur = PM.

- scintillateur.

propriété d'émettre photons visibles
lorsqu'il est traversé par une radiation ionisante.

de la traversée du scintillateur (fraction) on
a la totalité de l'E de la radiation convertie
en E lumineuse. (qualitatif).

le nb de photons émis est proportionnel
à l'E de la radiation (quantitatif).

les fréquences des photons émis se
situent de bleu-violet au proche UV
→ facilement détectable par le PM.

- principes scintillateurs.

• pour RX et γ .

on utilise surtout le cristal de NaI
(TL Thallium activation) solide.

à état pur, cristal NaI possède propriété
luminescente faible, devient excellent
scintillateur par addition de traces de TL
(0,01 à 1%)

$\rho = 3,67$; $Z = 50$; $\lambda = 410 \cdot 10^{-9}$ m.

• pour β de faible énergie (^{14}C ; ^3H), on
utilise des scintillateurs liquides.

soit chimiques formés de espèces radiolucides
polyatomiques possédant des liaisons
conjugées et π délocalisées.

ou sol faible conc de solvant organique
(Toluène)

$\rho = 0,87$; $Z = 5,6$; $\lambda = 380 - 470$ nm.

transfo source X ou γ \leftarrow E lumineuse.

l'E luz reçue par la photo cathode : arrachement de e^- , multiplié par les dynodes

e^- recollés par l'anode $\Rightarrow \Delta V$ directement proportionnel à l'énergie $h\nu$

pour la scintillation \leftarrow - liq. source de rayonnement de récipient, placé devant le PM.

2.3 détecteurs sc.

avantage, E_i plus faible. permet détecter α β γ X .

effet des RI sur les êtres vivants.

1. Modalité d'irradia θ .

mes faire \neq

• irradia θ externe par 1 source ext \bar{a} l'organisme
- échelle : x , y , et \oplus souvent n .

• irradia θ interne

par pénétra θ des radioéléments de l'organisme par
voies normales (eau, air)

les voies respiratoire la + directe et la + dangereuse
(gaz, poussière, aérosol)

voie digestive et transcutanée.

2. effets biologiques.

par irradia θ int en ext, RI transfère énergie
à Mat vivante, ce qui, à la suite, ob \oplus ions
étoiles, amine conséquences biologiq.

c'est ionisa θ atomes et molécules de Mat
vivante, en particulier ADN, naissent radicaux
libres \Rightarrow altéra θ \neq , soit muta θ , soit
perte de viabilité.

3. grad dosimétriq.

3.1 dose absorbée D

E cédée par le rayonnement à l'unité de
masse de matière.

Unité Gray (Gy) = 1 J/kg.

3.2 Equivalent de dose H

\bar{a} dose absorbée égale, effets biologiques
varient en fonction nature et E du
rayonnement.

$$H = E_q \text{ de dose.}$$

$H = D (G_{eq}) \cdot Q$
(Sierst: Sv) facteur de qualité
ou rem. au rad = f (rayonnement).
valeur de Q.

$$Q = 1 \text{ pour } \alpha \text{ et } \beta.$$

$$Q = 2,3 \text{ pour } n \text{ thermiques.}$$

$$Q = 10 \text{ pour } p \text{ et } n \text{ rapides}$$

$$Q = 30 \text{ pour } d.$$

L'Eq permet de comparer les effets de \neq
rayonnement 1 qui entraîne \bar{a} Dose absorbée
égale des risques \neq .

de comparer la radioprotection les effets d'1
irradia θ par \neq types de rayonnement
par ex: n et RX.

5.3 Délit de dose.

\bar{a} presque \sim considérée pour caractériser un
irradia θ .

efficacité biologique d'une irradia θ varie selon
le délit de dose, c'est la dose administrée
par unité de temps.

ex: 5 Gy de RX. en qq, sur corps entier
touché 1 heure sur 2. en qq mois, ne
connaît des effets biologiques \bar{a} peine
détectable.

radioactivité
artificielle et nucléaire

1 Originalité

* essai de Rutherford (1913) Hypothèse de Brachet (1925)

Des scintilles uniquement de N_2 sans F visible.
source de rayonnement α (^{210}Po) dont parcours de $N_2 < 4cm$. — face source : 1 cm
fluorescent F de distance à source peut être modifiée.

Dis que F observé S, imit scintilla θ .
apparaissent lorsque $D \leq 40$ cm au minimum
sur un parcours des α .

elles disparaissent pour $D > 40$ cm.

" " " " que N_2 est remplacé par
— autre gaz (CO_2, O_2)

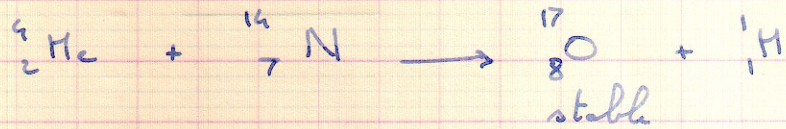
Les scintilla θ doivent être produites lors de choc
sur écran de particules de E élevée, imit
à la suite du bombardement des noyaux de N
par les $R\alpha$ imit par ^{210}Po

On a vu ensuite que ces particules de E élevée
étaient des H^+ de trajet de ordre ≈ 40 cm.

Vérification par Brachet (1925)

la influence des α sur les noyaux cibles de N

cana-ci se transforme en noyau de O avec émission de 1 H^+



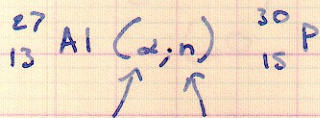
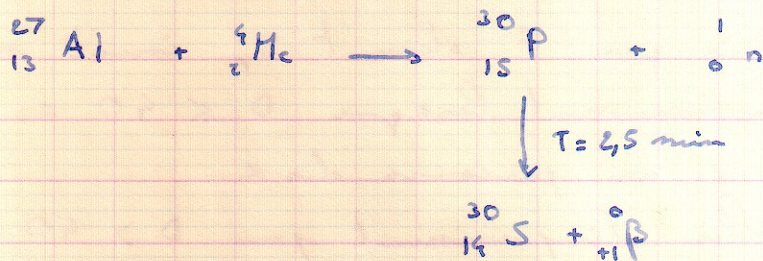
1^{me} transmutation, réactⁿ nucléaire \Rightarrow noyau stable.

* découverte radioactivité artificielle.

I et F Juliot Curie bombarde plaque d'

${}^{27}_{13}\text{Al}$ par Ra. (1934)

cette plaque devient source de l'émission de $R\beta^+$, cette émission de $R\beta^+$ ne poursuit pas en arrêt le bombardement



particulate part formée.

2 principes généraux

2.1 Terminologie.

de la réactⁿ nucléaire, on croise une cible X de particules a de son inf^é cible de noyau. se forme noyau final Y avec éventuellement part b.

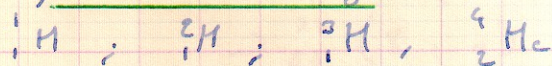


2.2 lois de conservation.

- conservation de l'électricité = égalité du nb de protons.
- conservation du nb de nucléons = égalité nb nucléons.
- Non conservation de la masse.
 $\Delta m > 0 \Rightarrow$ gain de masse, ne fournit E
 $< 0 \Rightarrow$ perte de masse, libère E.
- conservation de l'énergie.

3 projectiles

3.1 particules chargées



Les part. chargées doivent avoir E suffisamment élevée pour vaincre force répulsive de la barrière de potentiel du noyau.

On utilise cette E de l'accélérateur de part.

3.2 part. non chargées.

~ tout gas à surmonter cette force répulsive et pénétrer facilement de noyau.
ce sont surtout les neutrons. de réacteurs nucléaires (flux de n : $10^{10} \rightarrow 10^{12}$ n/cm²/sec) ou autres sources (Ra + Be ; Po + Be ; Am + Be réact. nucléaire : ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$, flux de n de ces sources ; $10^5 \rightarrow 10^6$ n/sec de H₂ Olibé).

des n nucléaires sont très énerg. due de la relativité, \rightarrow n thermique, relative à la vitesse des solides d'un gaz. utilisée n relatives par C, H, O, N (eau, eau lourde, paraffine, graphite).

4 principales réactions nucléaires.

4.1 capture radiative.

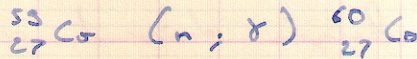
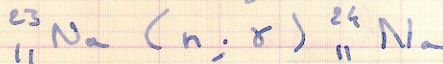
particule capturée par noyau cible, forme un
élément nouveau noyau, l'énergie s'échappe
sous forme de photons γ .

c'est la réaction la plus importante $X(n; \gamma)Y$

ex:



produit radioactifs utilisés pour explorer
en vivo chez l'homme.



aussi pour donner éléments à état de trace
des éléments biologiques = analyse par
activation.

4.2 capture de particule par noyau + émission autre particule.

ex:



pour dater par ${}^{14}\text{C}$.



4.3 fission.

de U naturel, contient 3 isotopes.

$${}^{238}\text{U} : 99,28\%$$

$${}^{235}\text{U} : 0,71\%$$

$${}^{234}\text{U} : 0,01\%$$

par bombardement neutronique \Rightarrow fission
probabilité faible pour ${}^{238}\text{U}$, plus élevée
pour ${}^{235}\text{U}$.

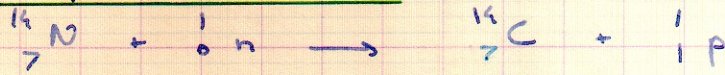


de capture peut s'effectuer et l'incorporation de
 manière → grande fixation diverse.

→ moy, l'atome $^{14}_7\text{N}$ → 2,3 neutrons
 → nouvelle fixation.

→ vient en chaîne lors A, si contrôle
 (réaction nucléaire) avec absorption des n
 (barres de Cd)

principe de la datation.



→
 rayonnement

cosmique de haute
 atmosphérique

le % de ^{14}C sur C total est de un organisme
 vivant. A_0 est le ^{14}C par gramme de C total
 est de.

après la mort, % ^{14}C → , A →

$$A_t(^{14}\text{C}) = A_0(^{14}\text{C}) e^{-\frac{0,693}{5730} \cdot t}$$

$$\text{Age (ans)} = t = \frac{5730 \ln \frac{A_0(^{14}\text{C})}{A_t(^{14}\text{C})}}{0,693}$$