

② notion de courant électrique au lycée

→ expérience de la pile et de la boussole d'Ampère (cf. les pads ENS Lyon pour lien internet).

• l'aiguille aimantée dévie pareillement tout au long du fil conducteur (\sim galvanomètre) → propriété du courant électrique (intensité!)

• difficulté chez les élèves: le courant "s'épuise" le long du fil...

→ le courant conserve sa même caractéristique (sa intensité) tout au long du circuit:

⚠ effet magnétique
courant pas au
programme

→ (effet commun à la pile et au fil)

③ longueur d'onde de de Broglie

$$\lambda_p := \frac{h}{p} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{constante de Planck } \sim 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s} \\ p \leftarrow \text{q'té de mouvement} \end{array}$$

$$\Rightarrow \lambda_p = \frac{h}{m v}$$

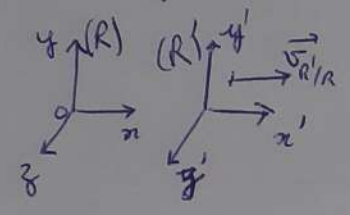
$$\text{masse électron } m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

dans un conducteur, vitesse électron \sim 10^{-4} m.s^{-1}
~~99 milliards/sec.~~

④ Relativité restreinte

- postulats: 1) les lois de la physique sont invariantes par changement de référentiel galiléen;
2) la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens:

•



$$\begin{cases} x' = (x - vt) \gamma \\ t' = \left(t - \frac{vx}{c^2}\right) \gamma \end{cases}$$

- contraction des longueurs: → mesure simultanée de la position des extrémités de l'objet dont on cherche la longueur.

→ Dans le référentiel dans lequel l'objet est au repos (R): $\Delta x = L$

Dans (R') en mouvement par rapport à (R), $\Delta x = \gamma \Delta x'$ car $\Delta t' = 0$

$$\Leftrightarrow \boxed{\Delta x' = \frac{L}{\gamma} < L}$$

⑤ Relativité générale

→ principe d'équivalence :

équivalence masse inerte et masse grave
 \Leftrightarrow / \oplus (?)
 équivalence locale entre accélération et gravitation.

Trou noir = objet céleste si compact que l'intensité de son champ gravitationnel empêche toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper.

→ singularité gravitationnelle en RG.

en MQ, un trou noir peut s'évaporer → rayonnement de Hawking:

(rayonnement de corps noir)

a) MQ relativiste: création spontanée de paires particules/antiparticules → généralement pas observable car durée de vie très courte.

b) l'horizon de marée d'un trou noir éloigne les paires créées.

- ⑥ Théorie des cordes : « briques élémentaires » = « cordes »
 → dont l'état vibratoire caractérise différentes particules.

⑦ Chambre à bulles

chauffé très proche de sa T° d'ébullition
 → d'où les bulles au passage chargé.
 (vaporisation)

La cuve contenant un liquide (ex: hydrogène liquide) dont les molécules qui constituent le milieu peuvent être ionisées au passage d'une particule chargée.

[invention D.H. Glaser en 1952 → prix Nobel 1960]

◦ Dans le référentiel du laboratoire :

(système isolé)
 PFD

→ conservation de la q^{te} de mouvement ($p = mv$) : $\vec{p}_1 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$ (1)

→ conservation de l'énergie cinétique $\frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m v_1'^2 + \frac{1}{2} m v_2'^2$

$\Leftrightarrow p_1^2 = p_1'^2 + p_2'^2$ (2)

Or (1) $\Rightarrow p_1^2 = p_1'^2 + p_2'^2 + 2 \vec{p}_1' \cdot \vec{p}_2'$ (1)

\Rightarrow en comparant (1) et (2) il vient $\boxed{\vec{p}_1' \cdot \vec{p}_2' = 0}$

△ il est hors de question de faire traiter (calcul) le cas relativiste par les élèves.

⑧ Transition para-ferro. (du 2nd ordre)

Absence de \vec{B}_{ext}

- $T < T_c$, $M(T) \neq 0$: ferro ($M \equiv$ paramètre d'ordre)
- $T \geq T_c$, $M(T) = 0$: para (phase la plus symétrique)

autour de $M=0$, $G(T, M) = A_0(T) + \alpha(T)M^2 + \frac{1}{2}\beta(T)M^4 + \dots$

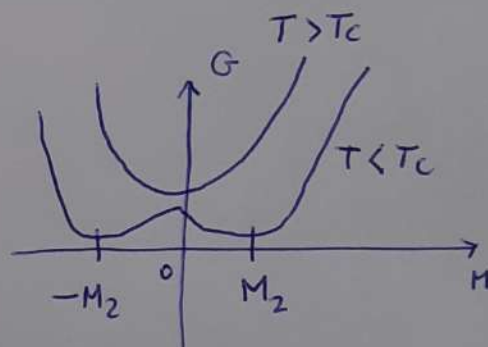
\uparrow enthalpie libre

→ modèle de Landau

$G(T, M)$ est minimale pour $\frac{\partial G}{\partial M}|_T = 0$ et $\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}|_T \geq 0$

$$\Rightarrow \begin{cases} 2\alpha(T)M + 2\beta(T)M^3 = 0 \\ 2\alpha(T) + 6\beta(T)M^2 > 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} M_1 = 0 \\ \text{ou} \\ M_2 = \left(-\frac{\alpha(T)}{\beta(T)} \right)^{1/2} \end{cases}$$



avec $\alpha(T) = a(T - T_c)$

⚠ transition du 1^{er} ordre → \exists enthalpie de changement d'état

—— 2^{ème} ordre → (dites continues)

Interféromètre de Michelson

Duval tout-en-un PC/PC*

[prix Nobel P 1907]

2016

⚠ pour qu'il y ait interférences, il faut que les rayons qui "interfèrent" soient issus de sources cohérentes

→ les ondes doivent avoir m. pulsation; (M_2) (fixe)

→ les ondes doivent être polarisées de sorte que $\vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \neq 0$

Cohérence spatiale = traduit l'influence de l'extension spatiale de la source sur le contraste des franges.

séparatrice ⊕ compensatrice

↑ traitement de surface =

→ division d'amplitude.

→ si M_1 et M_2 sont \perp , l'interféromètre est configuré en lame d'air.

• 2 sources ponctuelles distinctes quasi-monochromatiques sont incohérentes

• interférences si $\delta(M) < l_c$ la longueur de cohérence (extension spatiale du train d'onde) temporelle.

⇒ étendue spectrale de la source.

(pour un laser → cohérence temporelle élevée)

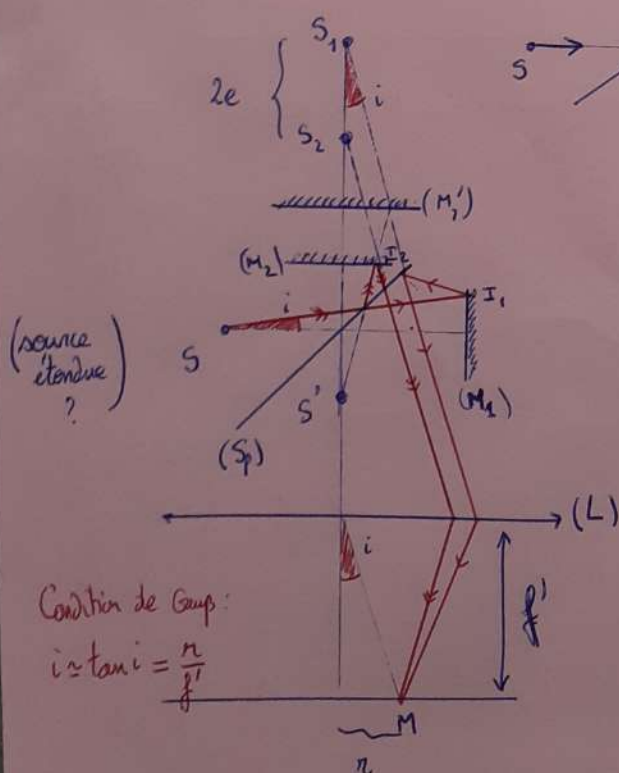
1) Configuration lame d'air

→ franges d'interférences localisées à l'infini (en: plan focal image lentille convergente)

ne dépend que de la position du point M sur l'écran (et non pas de la position de la source).

schéma équivalent:

$e \updownarrow$ (M'_1) : symétrique image de (M_1) par la séparatrice.



rayon → : $S \xrightarrow{(S_p)} S' \xrightarrow{(M_2)} S_2$

• différence de marche $\delta(M) = (SM)_{\text{voie 1}} - (SM)_{\text{voie 2}}$

$$= 2ne \cos i$$

$$= (S_1 M) - (S_2 M)$$

• déphase $\Delta\varphi(M) = \frac{2\pi}{\lambda} \delta(M)$

• ordre d'interférence $p = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$

éclairement $E(M) = E_1(M) + E_2(M) + 2\sqrt{E_1(M)E_2(M)}\cos(\Delta\varphi(M))$
 (formule de Fresnel) $= 2E_0(M)(1 + \cos(\Delta\varphi(M)))$

→ les \neq points de la source étendue sont incohérents \Rightarrow chacun produit son propre ensemble de franges d'interférence.

\hookrightarrow tous ces systèmes coïncident exactement (car elles ne dépendent que de M sur l'écran).
 de franges

→ rayon anneau d'interférence :

$$r_m = f' \sqrt{2 \left(1 - \frac{\lambda_0}{2ne} (\rho_0 - m + 1) \right)}$$

$$\Rightarrow e = \frac{\lambda_0 f'^2}{n(\underbrace{r_{m+1}^2 - r_m^2}_{\text{grandeur mesurée}})}$$

ex. de laser \rightarrow He-Ne (gaz excité par décharge électrique \oplus cavité Fabry - Perot) \rightarrow rouge $\lambda \approx 632,8 \text{ nm}$
 \rightarrow faisceau gaussien (faiblement divergent)

[appel : configuration coin d'air \rightarrow franges localisées au voisinage des miroirs]

(?) Jury : Mme Marie - Christine Angouin

M. Christophe Balland

• rayonnement cyclotron :

→ rayonnement E.M. d'une charge accélérée

Toute charge est la source d'un champ E.M.
(équations de Maxwell) → elle rayonne.
(même lorsqu'elle est au repos : loi de Coulomb)

↓
modification des lignes de champ électrique à cause de la source émettrice de ce champ.

Le calcul du rayonnement associé à l'accélération nécessite l'utilisation des potentiels retardés.
(Lienard et Wiechert) $\downarrow \vec{a}$

→ flux d'énergie \equiv vecteur de Poynting.

⇒ Formule de Larmor (limite non relativiste)

$$P = \frac{q^2 \vec{a}^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$$

↳ Δ dans le référentiel propre de la particule chargée (charge q)

→ si la charge est accélérée dans un champ magnétique extérieur, $\vec{a} \sim q \vec{v} \wedge \vec{B}$ (force de Lorentz).

• Mécanique de Newton :

Hypothèses : tps universelle ; espace euclidien ; déterminisme classique ; l'espace et le temps sont des grandeurs continues.

(i) $v \ll c$: théorie de la relativité restreinte :
• invariance de la vitesse de la lumière
• principe de relativité (les lois de la physique sont les mêmes pour tout observateur galiléen).

(ii) théorie de la relativité générale : la gravitation est la manifestation de la courbure de l'espace.

eq d'Einstein

$$G_{ij} = R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R$$
$$= \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij}$$

• hypothèse : masse inertielle = masse pesante. (force centrifuge \approx force gravitationnelle)
→ équivalence locale entre mouvement accéléré et gravitation.
(principe d'équivalence)

(iii) mécanique quantique : taille du système \sim longueur d'onde de De Broglie.

À propos du boson de Higgs:

↳ nécessaire à la cohérence du modèle standard de la physique des particules.

(interaction entre particules \Rightarrow échange de particule médiatrice)

→ l'invariance vis-à-vis des transformations de jauge est essentielle pour la cohérence de la théorie électromagnétique au niveau quantique:

↳ elle est reliée par des théorèmes généraux à la loi de conservation de la charge électrique (\oplus photon = masse nulle)

↳ interaction longue portée.

interaction faible \rightarrow très courte portée $\sim 10^{-18}$ m \Rightarrow bosons médiateurs (Z, W^\pm) très massifs.

↳ observation Z en 1973.

Δ sym. de jauge \Rightarrow bosons sans masse!

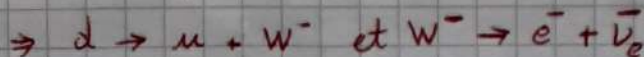
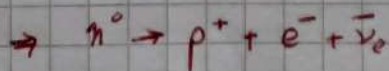
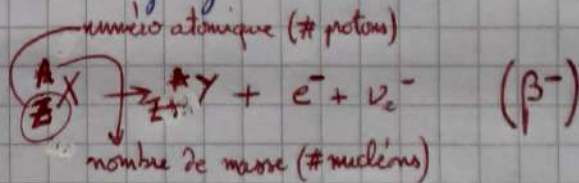
même e^- : 500 keV
" proton: 1000 MeV
" Higgs: 125 GeV

Le champ de Higgs induit une brisure de la symétrie "électrofaible"

↓
interaction faible se différencie de l'interaction électromagnétique
 \rightarrow le Higgs donne une masse aux bosons W^\pm et Z .

→ chaque particule en interaction avec le champ scalaire de Higgs acquiert aussi une masse, d'autant plus élevée qu'elle interagit fortement avec ce champ.

Δ interaction faible \rightarrow désintégration β



$\left\{ \begin{array}{l} n^0 = (udd) \\ p^+ = (uud) \end{array} \right.$

Z :