PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Classification algébrique des particules élémentaires et des interactions.* Note (*) de M. **Jean-Marie Souriau**, présentée par M. Joseph Pérès.

A partir d'un « endo-espace » à trois dimensions (espace des mésons neutres), on construit par trois extensions spinorielles successives des espaces permettant de décrire toutes les particules élémentaires (en dehors de leurs propriétés spatio-temporelles). A ces trois extensions sont liés trois types d'interactions et trois lois de conservation; une nouvelle règle de sélection est vérifiée par l'expérience.

1. *Notations.* — Soit $\mathfrak{X}$ un espace euclidien; X un élément de $\mathfrak{X}$. Nous noterons $X^\star$ le covecteur hermitien conjugué de X (on a donc $X^\star . X = |X|^2$); ${}_{\mathrm{R}}\dim(\mathfrak{X})$ la dimension réelle de $\mathfrak{X}$ [si $\mathfrak{X}$ est muni d'une structure complexe, c'est le double de la dimension complexe ${}_{\mathrm{C}}\dim(\mathfrak{X})$]; $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$ l'espace euclidien complexe des *spineurs* de $\mathfrak{X}$; $\gamma(X)$ l'opérateur sur $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$ associé canoniquement à X au moyen des « matrices de Dirac »; on sait qu'il vérifie identiquement $[\gamma(X)]^2 = X^\star . X$, $[\gamma(X)]^\star = \gamma(X)$. On sait aussi qu'on construit une représentation (non univoque) du groupe orthogonal de $\mathfrak{X}$ dans le groupe unitaire de $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$ en postulant l'invariance de la forme réelle $l = S^\star . \gamma(X) . S$ [S désigne un élément de $\mathcal{S}(\mathfrak{X})$]. Cette forme est aussi invariante dans la substitution « de jauge » $X \to X$, $S \to S e^{i\alpha}$.

2. *Construction et interprétation d'espaces particulaires.* — Soit $\mathcal{N}$ un espace euclidien réel de dimension 3 (« endo-espace »). Construisons les espaces euclidiens complexes

$$\mathcal{E} = \mathcal{S}(\mathcal{N}), \qquad \mathcal{L} = \mathcal{S}(\mathcal{E}), \qquad \mathcal{B} = \mathcal{S}(\mathcal{M}),$$

en désignant par $\mathcal{M}$ la somme directe $\mathcal{N} + \mathcal{E}$.

On sait que

$${}_{\mathrm{C}}\dim(\mathcal{E}) = 2, \qquad {}_{\mathrm{R}}\dim(\mathcal{E}) = 4, \qquad {}_{\mathrm{C}}\dim(\mathcal{L}) = 4, \qquad {}_{\mathrm{R}}\dim(\mathcal{M}) = 7, \qquad {}_{\mathrm{C}}\dim(\mathcal{B}) = 8;$$

que l'espace $\mathcal{L}$ se décompose canoniquement en deux sous-espaces de demi-spineurs $\mathcal{L}'$ et $\mathcal{L}''$, ayant chacun la C-dimension 2; que la transformation de jauge infinitésimale de $\mathcal{E}$, définie par

$$\delta_{\mathcal{E}} N = 0, \qquad \delta_{\mathcal{E}} E = iE \qquad (N \in \mathcal{N},\ E \in \mathcal{E}),$$

se prolonge canoniquement à tous les espaces considérés; le calcul montre qu'elle a les valeurs propres suivantes : 0, 0, 0 sur $\mathcal{N}$; $+i$, $+i$ sur $\mathcal{E}$; 0, 0 sur $\mathcal{L}'$; $+i$, $-i$ sur $\mathcal{L}''$; $+i$, $+i$, $-i$, $-i$, 0, 0, 0, 0 sur $\mathcal{B}$.

Ceci suggère, entre ces espaces et les familles de particules élémentaires, la correspondance suivante :

$\mathcal{N}$: *mésons neutres* (π^0, K_1^0, K_2^0);

$\mathcal{E}$: *mésons positifs* (π^+, K^+);

$\mathcal{L}$: *leptons;* soit

$\mathcal{L}'$: *deux neutrinos* ν_1 et ν_2;

$\mathcal{L}''$: μ^+ et e^-;

$\mathcal{B}$: *baryons* $(p, \Sigma^+, \Sigma^-, \Xi^-, n, \Lambda^0, \Sigma^0, \Xi^0)$

(chaque espace de spineurs étant d'autre part associé aux antiparticules correspondantes); l'opérateur *charge électrique* est évidemment $(e/i)\,\delta_{\mathcal{E}}$; on associe de même aux transformations de jauge infinitésimales de $\mathcal{L}$ et de $\mathcal{B}$ les opérateurs *charge leptonique* et *charge baryonique*; enfin on prendra les trois formes invariantes associées aux trois structures de spineurs

$$l_1 = \mathrm{E}^\star.\gamma(\mathrm{N}).\mathrm{E}, \qquad l_2 = \mathrm{L}^\star.\gamma(\mathrm{E}).\mathrm{L}, \qquad l_3 = \mathrm{B}^\star.\gamma(\mathrm{M}).\mathrm{B}$$

comme lagrangiens respectifs pour les interactions *faibles non leptoniques, faibles leptoniques* et *fortes*.

3. *Application aux réactions entre particules.* — L'expression des lagrangiens au moyen des fonctions d'onde des particules n'est pas entièrement déterminée, en raison notamment de la structure spatiotemporelle de celles-ci.

L'expression de l_3, précisée par l'expérience, se trouve dans une Note précédente [1], ainsi que le tableau des réactions fortes correspondantes.

Pour l_2, on peut construire au moyen des matrices de Dirac le tableau des réactions (lepton + antilepton $\Rightarrow$ méson chargé) sans autre ambiguïté que la désignation respective des deux neutrinos :

		$\bar{\nu}_1$	$\bar{\nu}_2$	μ^-	e^+
$\mathcal{L}'$	ν_1 ...	o	o	π^-	K^+
	ν_2 ...	o	o	$-\mathrm{K}^-$	π^+
$\mathcal{L}''$	π^+ ...	π^+	$-\mathrm{K}^+$	o	o
	e^- ...	K^-	π^-	o	o

L'expression de l_1 dépend d'un certain nombre de paramètres ajustables; l'invariance CP d'une part, le mode de désintégration des mésons K d'autre part, suggèrent de prendre

$$l_1 = \pm\,\pi^0[\mathrm{K}^+\pi^- + \mathrm{K}^-\pi^+] \pm \mathrm{K}_1^0[\mathrm{K}^+\mathrm{K}^- - \pi^+\pi^-] \pm \mathrm{K}_2^0\left[\frac{\mathrm{K}^+\pi^- - \mathrm{K}^-\pi^+}{i}\right].$$

En désignant par les signes $\xrightarrow{1}$, $\xrightarrow{2}$, $\xrightarrow{3}$ les réactions associées à l_1, l_2, l_3 respectivement, on peut construire des diagrammes pour les réactions entre particules; indiquons-en qui correspondent aux désintégrations faibles :

$$\mu^+ \xrightarrow{2} (\pi^+ + \nu_1) \xrightarrow{2} e^+ + \nu_2 + \nu_1; \qquad \pi^+ \xrightarrow{2} \mu^+ + \bar{\nu}_1; \qquad K^+ \xrightarrow{2} \mu^+ + \bar{\nu}_2;$$

$$K^+ \xrightarrow{1} \pi^0 + \pi^+; \qquad K^+ \xrightarrow{1} (\pi^0 + \pi^+) \xrightarrow{3} \pi^0 + \pi^0 + \pi^+; \qquad K^+ \xrightarrow{1} (\pi^0 + \pi^+) \xrightarrow{3} \pi^+ + \pi^- + \pi^+;$$

$$K_1^0 \xrightarrow{1} \pi^+ + \pi^-; \qquad K_1^0 \xrightarrow{1} (K^+ + K^-) \xrightarrow{3} \pi^0 + \pi^0; \qquad K_2^0 \xrightarrow{1} (K^+ + \pi^-) \xrightarrow{1} \pi^0 + \pi^+ + \pi^-;$$

$$K_2^0 \xrightarrow{1} (K^+ + \pi^-) \xrightarrow{2} \mu^+ + \bar{\nu}_2 + \pi^-; \qquad K_2^0 \xrightarrow{1} (K^+ + \pi^-) \xrightarrow{2} e^+ + \nu_1 + \pi^-;$$

$$n \xrightarrow{3} (p + \pi^-) \xrightarrow{2} p + e^- + \bar{\nu}_2;$$

$$\Lambda^0 \xrightarrow{3} (p + K^-) \xrightarrow{1} (p + \pi^- + \pi^0) \xrightarrow{3} \begin{cases} n + \pi^0 \\ p + \pi^- \end{cases}$$

$$\Sigma^+ \xrightarrow{3} (p + \bar{K}^0) \xrightarrow{1} (p + \pi^- + \pi^+) \xrightarrow{3} n + \pi^+;$$

$$\Sigma^+ \xrightarrow{3} (\Lambda^0 + \pi^+) \xrightarrow{1} (\Lambda^0 + K^+ + \pi^0) \xrightarrow{3} p + \pi^0;$$

$$\Sigma^- \xrightarrow{3} (n + K^-) \xrightarrow{1} (n + \pi^0 + \pi^-) \xrightarrow{3} n + \pi^-;$$

$$\Xi^- \xrightarrow{3} (\Sigma^0 + K^-) \xrightarrow{1} (\Sigma^0 + \pi^0 + \pi^-) \xrightarrow{3} \Lambda^0 + \pi^-;$$

$$\Xi^0 \xrightarrow{3} (\Sigma^+ + K^-) \xrightarrow{1} (\Sigma^+ + \pi^- + \pi^0) \xrightarrow{3} \Lambda^0 + \pi^0.$$

4. *Remarques.* — La théorie conduit à considérer μ^+ et e^- comme leptons, μ^- et e^+ comme antileptons; il y a cependant conservation de la charge leptonique, grâce à l'existence de deux neutrinos et de deux antineutrinos (*voir* ci-dessus la désintégration du muon); on exclut ainsi des réactions non observées, telles que les suivantes : $\mu^\pm \rightarrow e^\pm$; $\pi^0 \rightarrow \mu^\pm + e^\mp$.

Bien que non explicités jusqu'à présent, le *photon* et les *interactions électromagnétiques* s'insèrent dans le schéma précédent; celles-ci s'obtiennent en remplaçant dans les termes « cinématiques » du lagrangien les dérivées d'espace-temps ∂_j par $\partial_j + e A_j \delta_8$, e étant la charge élémentaire, les A_j les composantes du photon. Dans ces conditions, toutes les particules et toutes les interactions connues sont décrites (à l'exception toutefois de la gravitation).

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2807.

(*Laboratoire de Relativité, Faculté des Sciences, Marseille.*)