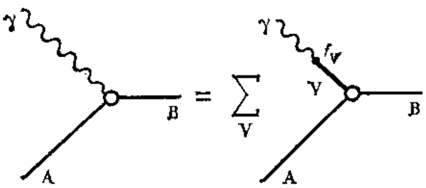
номерными вещественными В. п. являются, напр., трёхмерное физ. пространство $\mathbb{R}^3$ (без учёта кривизны), конфигурац. пространство $\mathbb{R}^{3n}$ и фазовое пространство $\mathbb{R}^{6n}$ системы $n$ классич. точечных частиц. К числу бесконечномерных комплексных В. п. принадлежат *гильбертовы пространства*, конкретные и абстрактные, составляющие основу матем. аппарата квантовой физики. Простейший пример гильбертова пространства — уже упоминавшееся пространство $L^2(\mathbb{R}^1)$. Осн. физ. примеры — пространства *векторов состояний* разл. систем микрочастиц, изучаемых в квантовой механике, квантовой статистич. физике и квантовой теории поля. Находят применение и такие В. п., у к-рых поле скаляров не совпадает со множеством вещественных или комплексных чисел: так, гильбертово пространство над полем кватернионов используется в одной из формулировок квантовой механики, а гильбертово пространство над полем о к т о н и о н о в — в одной из формулировок квантовой хромодинамики. В совр. теориях *суперсимметрии* интенсивно применяются т. н. г р а д у и р о в а н н ы е В. п., т. е. линейные пространства вместе с их фиксир. разложением в прямую бесконечную сумму подпространств.

*Лит.:* Г е л ь ф а н д И. М., Лекции по линейной алгебре, 4 изд., М., 1971; К о с т р и к и н А. И., М а н и н Ю. И., Линейная алгебра и геометрия, 2 изд., М., 1986. *С. С. Хоружий.*

**ВЕ́КТОРНОЙ ДОМИНА́НТНОСТИ МОДЕ́ЛЬ** (ВДМ) — модельная теория эл.-магн. процессов с участием адронов, согласно к-рой взаимодействие фотона (реального или виртуального) с барионами и мезонами осуществляется не прямым образом, а посредством превращения фотона в нейтральные векторные мезоны (с изотопич. спинами $I$, равными 0 и 1) и их последующего взаимодействия с адронами. Возможность превращения обусловлена совпадением квантовых чисел фотона ($\gamma$) и нейтрального векторного мезона (V)($Q=0$, $J^{PC}=1^{--}$, где $Q$ — электрич. заряд, $J$ — полный спин, $P$ и $C$ — пространственная и зарядовая чётности частицы) и законом изменения изотопич. спина при эл.-магн. взаимодействии: $\Delta I=0$, $\pm 1$. Переход $\gamma\to$V происходит виртуально; для фотонов с времениподобным 4-мерным импульсом $q$ при $|q|^2=m_V^2c^2$, где $m_V$ — масса векторного мезона, возможен реальный переход. Одно из осн. предположений ВДМ — слабая зависимость амплитуд взаимодействия векторного мезона с адронами от $m_V$.




Убедит. доказательством перехода фотона в векторные мезоны служат процессы образования адронов при столкновениях электронов и позитронов. Так, в энергетич. зависимости сечения процесса $e^++e^-\to\pi^++\pi^-$, происходящего посредством аннигиляции пары $e^+e^-$ в фотон и его превращения в $\rho^0$-мезон, распадающийся на пару $\pi$-мезонов, имеется широкий максимум, положение к-рого соответствует энергии покоя $\rho^0$-мезона.

Гипотеза о существовании векторных мезонов и доминирующей роли переходов $\gamma\to$V при эл.-магн. взаимодействии адронов выдвинута в 1950-х гг. при анализе *формфакторов* нуклона (на основе метода дисперсионных соотношений) и применении идей локальной *калибровочной инвариантности* к теории сильного взаимодействия. После обнаружения векторных мезонов в нач. 60-х гг. ВДМ сформулирована в виде представления оператора эл.-магн. тока адронов через сумму операторов полей нейтральных векторных мезонов. Находя матричные элементы этих операторов по адронным состояниям А и В, можно получить соотношение между амплитудами (а следовательно, и сечениями) эл.-магн. процессов и амплитудами сильного взаимодействия векторных мезонов. Схематически соотношение представляется в виде диаграмм на рис. (константа $f_V$ характеризует связь фотона с мезоном V, суммирование проводится по известным нейтральным векторным мезонам). В частности, для сечений фотореакций выполняется приближённое соотношение

$$\sigma(\gamma+\mathrm{A}\to\mathrm{B})=\sum\nolimits_{V}\frac{\pi\alpha}{f_V^2}\,\sigma(\mathrm{V}_\perp+\mathrm{A}\to\mathrm{B})\,\big|_{m_V\to 0}. \qquad (*)$$

Здесь в правой части $\sigma$ — сечение для поперечно поляризованных векторных мезонов, экстраполированное к нулевой массе векторного мезона, $\alpha\approx 1/_{137}$ — постоянная тонкой структуры. Обычно в соотношениях типа (*) учитываются легчайшие векторные мезоны: $\rho^0$, $\omega$, $\varphi$, причём определяющий вклад ($\sim$70%) вносит $\rho^0$-мезон. В этом случае ВДМ даёт удовлетворит. описание мягких (с передачами импульса менее 1 ГэВ/с) эл.-магн. процессов. Так, хорошо выполняются предсказываемые ВДМ соотношения между сечениями процессов $\gamma+\mathrm{N}\to\pi+\mathrm{N}$ и $\pi+\mathrm{N}\to\rho^0+\mathrm{N}$ (N — нуклон). В рамках ВДМ получило объяснение подобие угловых и энергетич. зависимостей сечений фотопроцессов и процессов сильного взаимодействия адронов при высоких (более 2 ГэВ) энергиях, хотя по величине сечения различаются на неск. порядков. Следствием ВДМ являются эффекты «затенения» одних нуклонов другими при фоторождении мезонов на ядрах, т. к. $\rho^0$-мезоны, в к-рые переходят фотоны, сильно взаимодействуют с ядрами и поглощаются ими.

ВДМ не применима для жёстких (с передачами импульса больше 1 ГэВ/с), глубоко неупругих эл.-магн. реакций, для к-рых определяющим становится прямое взаимодействие фотона с *кварками*, входящими в адрон. Развитая, т. н. обобщённая, ВДМ, в к-рой учитываются переходы фотонов во все возможные нейтральные векторные состояния адронов (в т. ч. $J/\psi$- и $\Upsilon$-частицы), претендует на объяснение и глубоко неупругих эл.-магн. взаимодействий адронов. В рамках *квантовой хромодинамики* сделаны успешные попытки вычисления констант $f_V$.

*Лит.:* Электромагнитные взаимодействия и структура элементарных частиц. Сб. ст., пер. с англ., М., 1969; Ф е й н м а н Р., Взаимодействие фотонов с адронами, пер. с англ., М., 1975; Ф р а у э н ф е л ь д е р Г., Х е н л и Э., Субатомная физика, пер. с англ., М., 1979. *А. Н. Лебедев.*

**ВЕ́КТОРНЫЙ АНА́ЛИЗ** — раздел математики, в к-ром изучаются скалярные и векторные поля и разл. операции с ними. Скалярное поле сопоставляет каждой точке (3-мерного) пространства нек-рое (действительное) число $\varphi=\varphi(\boldsymbol{r})$, а векторное поле — нек-рый вектор $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}(\boldsymbol{r})$. Если точка задаётся своими декартовыми координатами, $\boldsymbol{r}=\{x_1, x_2, x_3\}$, а вектор — своими компонентами $\boldsymbol{a}=\{a_1, a_2, a_3\}$, то *градиент* скалярного поля, *дивергенция* и *ротор* векторного поля выражаются ф-лами:

$$(\mathrm{grad}\,\varphi)_i=\frac{\partial\varphi}{\partial x_i},\qquad \mathrm{div}\,\boldsymbol{a}=\frac{\partial a_1}{\partial x_1}+\frac{\partial a_2}{\partial x_2}+\frac{\partial a_3}{\partial x_3},$$

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{a}=\left\{\frac{\partial a_3}{\partial x_2}-\frac{\partial a_2}{\partial x_3},\ \frac{\partial a_1}{\partial x_3}-\frac{\partial a_3}{\partial x_1},\ \frac{\partial a_2}{\partial x_1}-\frac{\partial a_1}{\partial x_2}\right\}.$$

Градиент, дивергенцию и ротор удобно выражать с помощью символич. вектора $\boldsymbol{\nabla}$ (набла), компонентами к-рого являются операторы дифференцирования по координатам, $\boldsymbol{\nabla}=\left\{\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}, \frac{\partial}{\partial x_3}\right\}$. Действуя этим символич. вектором на скалярные и векторные поля по правилам *векторной алгебры*, получим:

$$\mathrm{grad}\,\varphi=\boldsymbol{\nabla}\varphi,\ \ \mathrm{div}\,\boldsymbol{a}=(\boldsymbol{\nabla}\boldsymbol{a}),\ \ \mathrm{rot}\,\boldsymbol{a}=[\boldsymbol{\nabla}\boldsymbol{a}].$$

Скалярный квадрат вектора $\boldsymbol{\nabla}$ представляет собой *Лапласа оператор*, или л а п л а с и а н, к-рый обозначается $\Delta$:

$$\Delta=\boldsymbol{\nabla}^2=\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}.$$

Формальное применение правил векторной алгебры