

тов), с к-рыми связаны такие концептуальные новации, как флуктуация метрики, изменения топологии, «пенообразная структура» пространства-времени на расстояниях порядка *планковской длины* ( $\Delta x \lesssim 10^{-33}$  см). Однако достаточно решительный пересмотр представлений о П. и в. потребовался на уровнях, вполне доступных совр. эксперименту при развитии физики элементарных частиц. Уже квантовая электродинамика столкнулась со многими трудностями именно потому, что была связана с заимствованными из классич. физики понятиями, основанными на концепции пространственно-временной непрерывности: точечность заряда, локальность поля и т. д. Это повлекло за собой существенные осложнения, связанные с бесконечными значениями таких важных величин, как масса, собств. энергия электрона и т. д. (*ультрафиолетовые расходимости*). Эти трудности пытались преодолеть введением в теорию представления о дискретном, квантованном пространстве-времени. Первые разработки 30-х гг. (В. А. Амбарцумян, Д. Д. Иваненко) оказались неконструктивными, ибо не удовлетворяли требованию релятивистской инвариантности, а трудности квантовой электродинамики были решены с помощью процедуры *перенормировки*: малость константы эл.-магн. взаимодействий ( $\alpha = 1/137$ ) позволила использовать ранее разработанную теорию возмущений. Но в построении квантовой теории др. полей (слабого и сильного взаимодействий) эта процедура оказалась не работающей, и выход стали искать на пути ревизии концепции локальности поля, его линейности и т. д., что опять наметило возврат к идее существования «атома» пространства-времени. Это направление получило новый импульс в 1947, когда Х. Снайдер (H. Snyder) показал возможность существования релятивистски инвариантного пространства-времени, в к-ром содержится естеств. единица длины  $l_0$ . Теория квантованного П. и в. получила развитие в работах В. Л. Авербаха, Б. В. Медведева, Ю. А. Гольфанда, В. Г. Кадышевского, Р. М. Мир-Касимова и др., к-рые стали приходить к выводу, что в природе существует *фундаментальная длина*  $l_0 \sim 10^{-17}$  см. Дж. Чу (G. Chew), Э. Циммерман (E. Zimmermann) и др. экстраполировали представление о дискретности пространства-времени в гипотезу о макроскопич. природе П. и в. Речь стала идти не о специфич. дискретной структуре П. и в. в физике элементарных частиц, а о наличии некой границы в микромире, за к-рой вообще нет ни пространства, ни времени. Весь этот комплекс идей продолжает привлекать внимание исследователей, но существенный прогресс был достигнут Ч. Янгом (Ch. Yang) и Р. Миллсом (R. Mills) путём небелева обобщения квантовой теории поля (*Янга — Миллса поля*), в рамках к-рого удалось не только реализовать процедуру перенормировки, но и приступить к реализации программы Эйнштейна — к построению единой теории поля. Создана единая теория электро-слабых взаимодействий, к-рая в пределах расширенной симметрии  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)_c$  объединяется с *квантовой хромодинамикой* (теорией сильных взаимодействий). В этом подходе произошёл синтез ряда оригинальных идей и представлений, напр. гипотезы *кварков*, цветовой симметрии кварков  $SU(3)_c$ , симметрии слабых и эл.-магн. взаимодействий  $SU(2) \times U(1)$ , локально калибровочного и небелеваго характера этих симметрий, существования спонтанно нарушенной симметрии и перенормируемости. Причём требование локальности калибровочных преобразований устанавливает ранее отсутствующую связь между динамич. симметриями и пространством-временем. В настоящее время разрабатывается теория, объединяющая все фундам. физ. взаимодействия, включая гравитационные. Однако выяснилось, что в этом случае речь идёт о пространствах 10, 26 и даже 605 размерностей. Исследователи надеются, что чрезмерный избыток размерностей в процессе компактификации удастся «замкнуть» в области планковских масштабов и в теорию макромира войдёт

лишь привычное четырёхмерное пространство-время. Что же касается вопросов о структуре пространства-времени глубокого микромира или о первых мгновениях Большого взрыва, то ответы на них будут найдены лишь в физике 3-го тысячелетия.

Лит.: Фок В. А., Теория пространства, времени и тяготения, 2 изд., М., 1961; Пространство и время в современной физике, К., 1968; Грюнбаум А., Философские проблемы пространства и времени, пер. с англ., М., 1969; Чудинов Э. М., Пространство и время в современной физике, М., 1969; Блохинцев Д. И., Пространство и время в микромире, 2 изд., М., 1982; Мостепаненко А. М., Пространство-время и физическое познание, М., 1975; Хокинг С., Эллис Д. Дж., Крупномасштабная структура пространства-времени, пер. с англ., М., 1977; Девис П., Пространство и время в современной картине Вселенной, пер. с англ., М., 1979; Барашенков В. С., Проблемы субатомного пространства и времени, М., 1979; Ахундов М. Д., Пространство и время в физическом познании, М., 1982; Владимиров Ю. С., Мицкевич Н. В., Хорски А., Пространство, время, гравитация, М., 1984; Рейхенбах Г., Философия пространства и времени, пер. с англ., М., 1985; Владимиров Ю. С., Пространство-время: явные и скрытые размерности, М., 1989.

М. Д. Ахундов.

**ПРОСТРАНСТВО ИЗОБРАЖЕНИЙ** — см. *Изображение оптическое*.

**ПРОСТРАНСТВО ПРЕДМЕТА** — см. *Изображение оптическое*.

**ПРОТАКТИНИЙ** (Protactinium), Pa, — радиоактивный хим. элемент III группы периодич. системы элементов Менделеева, ат. номер 91, относится к *актиноидам*. Все изотопы П. радиоактивны. В природе существует  $^{231}\text{Pa}$  ( $T_{1/2} = 3,28 \cdot 10^4$  лет) — член естеств. радиоактивного ряда  $^{235}\text{U}$  (в лабораториях этот изотоп выделен в кол-ве ок. 150 г). В состав естеств. радиоактивного ряда  $^{238}\text{U}$  входят ядерные изомеры  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  ( $\beta^-$ -радиоактивные,  $T_{1/2} = 1,18$  мин и  $T_{1/2} = 6,7$  ч). Искусственно получены изотопы  $^{216}\text{Pa}$  —  $^{230}\text{Pa}$ , из них наиб. применение получил  $\beta^-$ -радиоактивный  $^{233}\text{Pa}$  ( $T_{1/2} = 27$  сут), образующийся в реакции  $^{232}\text{Th} (n, \gamma)^{233}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} \text{Электронная конфигурация внеш. электронных оболочек } 5s^2 p^6 d^{10} f^2 6s^2 p^6 d^7 7s^2$ . Энергия ионизации 5,9 эВ. Металлич. радиус атома Pa 0,163 нм, радиус иона  $\text{Pa}^{3+}$  0,105 нм,  $\text{Pa}^{4+}$  0,096 нм,  $\text{Pa}^{5+}$  0,090 нм. Значение электроотрицательности 1,14.

Металлич. П. существует в виде двух модификаций: ниже 1170 °C устойчив  $\alpha$ -Pa (тетрагональная кристаллич. структура, постоянные решётки  $a = 0,3931$  нм и  $c = 0,3236$  нм), выше 1170 °C —  $\beta$ -Pa (объёмноцентрированная кубич. кристаллич. структура, постоянная решётки  $a = 0,5019$  нм). Плотность  $\alpha$ -Pa 15,34 кг/дм<sup>3</sup>,  $\beta$ -Pa 12,13 кг/дм<sup>3</sup>;  $t_{\text{пл}}$  ок. 1575 °C,  $t_{\text{кип}}$  = 4230—4500 °C, теплота плавления 12 кДж/моль, теплота испарения 552 кДж/моль, теплоёмкость  $c_p = 27,6$  Дж/(моль·K). Уд. электрич. сопротивление 0,19 мОм·м, термич. коэф. линейного расширения  $11,2 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup>. По твёрдости близок к урану.

В хим. соединениях проявляет степени окисления +3, +4 и +5 (наиб. устойчива). Хим. свойства Pa во многом отличаются от свойств др. актиноидов. Потенц. практич. значение Pa связано с предполагаемым использованием  $^{232}\text{Th}$  для получения ядерного горючего (при облучении  $^{232}\text{Th}$  нейтронами он превращается в  $^{233}\text{Pa}$ , при последующем  $\beta^-$ -распаде  $^{233}\text{Pa}$  образуется  $^{233}\text{U}$ , к-рый можно использовать как делящийся материал).

С. С. Бердосов.

**ПРОТЕКАНИЯ ТЕОРИЯ** (перколяция теория, от лат. percolatio — процеживание; просачивания теория) — матем. теория, к-рая используется в физике для изучения процессов, происходящих в неоднородных средах со случайными свойствами, но зафиксированными в пространстве и неизменными во времени. Возникла в 1957 в результате работ Дж. Хаммерсли (J. Hammersley). В П. т. различают решёточные задачи П. т., континуальные задачи и т. н. задачи на случайных узлах. Решёточные задачи в свою очередь делятся на т. н. задачи узлов и задачи связей между ними.