

ях; см. *Калуцы — Клейна теория*) или более сложную связность (т. н. пространственно-временная пена в квантовой гравитации). Вселенная также может быть многосвязной в масштабах порядка совр. космологич. горизонта $L_h = 12\,000 (50/H_0)$ Мпк [при законе расширения Вселенной в настоящее время $R(t) \propto t^{2/3}$, где $R(t)$ — масштабный фактор, а H_0 — *Хаббла постоянная* в $\text{км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$] и более; в меньших масштабах большинство возможных нетривиальных топологий исключается наблюдаемыми данными, в частности структурой угл. флуктуаций темп-ры *микроволнового фонового излучения* (И. Ю. Соколов, 1993; А. А. Старобинский, 1993; Дж. Силк, 1993). Наконец, мыслимо также существование других вселенных, полностью отделившихся от нашей с точки зрения классич. гравитации, но связанных в одно целое квантово-гравитац. эффектами. Однако пока не найдено возможности проверить эту гипотезу на опыте. Топологич. свойствами нашей Вселенной является также её ориентируемость (приводящая к важным ограничениям на возможные симметрии взаимодействия элементарных частиц) и отсутствие замкнутых времениподобных мировых линий («машин времени»).

Говоря о Т. В., следует отличать 4-мерную топологию пространственно-временного многообразия, к-рым она описывается, от её пространственной топологии, т. е. топологии 3-мерной гиперповерхности пост. времени во Вселенной. В качестве последней обычно выбирают гиперповерхность пост. плотности вещества ρ (или плотности энергии материи), поскольку в однородных космологич. моделях ρ является однозначной ф-цией времени t в *синхронной системе* отсчёта. Пространственная Т. В. может быть нетривиальной (т. е. не R^3) даже при тривиальной (R^4) 4-мерной топологии, если выбранная гиперповерхность не является гиперповерхностью Коши, т. е. не пересекает всего пространства-времени. Такое поведение гиперповерхности $\rho = \text{const}$ не является исключительным и естественно возникает, напр., в теории *раздувающейся Вселенной* в послеплыв. период.

В однородной и изотропной Вселенной, описываемой *Фридмана — Робертсона — Уокера метрикой*, Т. В. однозначно связана со знаком следа пространственной *кривизны тензора* P и с соотношением между полной плотностью вещества и критич. плотностью $\rho_c = 3H_0^2/8\pi G = 4,7 \cdot 10^{-30} (H_0/50)^2 \text{ г/см}^3$, где G — ньютоновская *гравитационная постоянная*, а именно: если $\rho > \rho_c$, то $P > 0$, Вселенная пространственно замкнута (имеет пространственную топологию 3-мерной сферы) и коллапсирует как целое в будущем (при отсутствии положит. космологич. постоянной), в обратном случае, $\rho \leq \rho_c$, Вселенная имеет тривиальную пространственную топологию R^3 , бесконечный объём сечения $t = \text{const}$ и будет бесконечно расширяться в будущем (см. *Космология*). В прошлом это вызывало неоднократную философскую критику пространственно замкнутой Вселенной. В настоящее время ясно, что такая связь между локальными характеристиками Вселенной и её глобальной топологией возникла только в результате необоснованного предположения об абс. однородности и изотропии Вселенной. В слабо неоднородной и анизотропной Вселенной однозначной связи между величиной ρ/ρ_c , к-рая определяет локальный знак P , и Т. В. нет. Напр., теория *раздувающейся Вселенной* предсказывает, что в масштабах, много больших совр. космологич. горизонта L_h , гиперповерхность $\rho = \text{const}$ может иметь нетривиальную топологию, хотя всюду локально $\rho \approx \rho_c$. Этот эффект, однако, обязательно связан с возникновением большой неоднородности в таких же (и даже меньших) масштабах. Обратное, из наблюдаемого факта приближённой однородности и изотропии Вселенной в масштабе порядка L_h следует, что пространственная Т. В. должна быть тривиальной в том же масштабе. В этом смысле теория *раздувающейся Вселенной* объясняет наблюдаемый факт отсутствия нетривиальной пространственной Т. В.

Лит.: Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., *Строение и эволюция Вселенной*, М., 1975; Хокинг С., Эллис Дж., *Крупномасш-*

табная структура пространства-времени, пер. с англ., М., 1977; Линде А. Д., *Физика элементарных частиц и инфляционная космология*, М., 1990.

А. А. Старобинский.

ТОРИЙ (лат. Thorium), Th, — радиоактивный хим. элемент III группы периодич. системы элементов, ат. номер 90, ат. масса 232,0381, относится к актиноидам. В природе представлен в основном α -радиоактивным ^{232}Th ($T_{1/2} = 1,405 \cdot 10^{10}$ лет). Электронная конфигурация внеш. оболочек $5s^2p^6d^{10}6s^2p^67s^2$, т. е. формально Т. не относится к f -элементам (к к-рым принадлежит актиноиды). Энергии последоват. ионизации соотв. равны 7,5; 11,5; 20,0; 29,5 эВ. Кристаллохим. радиус атома Т. 0,180 нм, радиус иона Th^{2+} 0,108 нм, Th^{4+} 0,095 нм. Значение электроотрицательности 1,15—1,20. Работа выхода электронов 3,3 эВ.

В свободном виде Т. — серебристо-белый пластичный металл. Существует в двух модификациях: α -Th (граничный трипр. кубич. решётка с параметром $a = 508,6$ пм) и β -Th (объёмноцентрир. кубич. решётка с параметром $a = 411$ пм); темп-ра перехода α -Th \rightarrow β -Th ок. 1365 °С, уд. теплота 12,1 кДж/кг. Плотность α -Th 11,72 кг/дм^3 , $t_{\text{пл}} = 1750$ °С, $t_{\text{кип}} = 3800$ —4200 °С (по разным данным), уд. теплоёмкость $c_p = 27,35$ Дж/(моль · К), теплота сублимации 594,1 кДж/моль, темп-ра Дсбая 180 К. Темп-ра перехода в сверхпроводящее состояние $T_c = 1,4$ К. Уд. электрич. сопротивление 0,191 мкОм · м (при 0 °С), температурный коэф. электрич. сопротивления $3,3 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ (при 0—20 °С). Теплопроводность 35,6 Вт/(м · К) (при 300 К), температурный коэф. линейного расширения α -Th $11,3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ (при 20—100 °С), Магн. восприимчивость по разл. данным $(0,41$ — $1,92) \cdot 10^{-9}$ (при 20 °С). Твёрдость по Виккерсу обработанного Т. от 320—420 МПа до 680—1100 МПа. Модуль нормальной упругости 70,3 ГПа (при 30 °С) и 60,0 ГПа (при 300 °С), модуль сдвига 27,7—32,5 ГПа.

Степень окисления +4 (реже +2 и +3). По хим. свойствам Т. похож на цирконий и гафний. Порошкообразный Th пирофорен. На поверхности компактного Т. образуется плотная химически устойчивая оксидная плёнка.

Под действием нейтронного облучения ^{232}Th превращается в делящийся ^{233}U , поэтому Т. можно использовать в ядерной пром-сти. Металлич. Т. применяют как легирующую добавку к разл. сплавам, какgetter в эл.-вакуумных приборах. ThO_2 — огнеупорный материал. В качестве радиоактивной метки используют член радиоактивного ряда урана-238 ^{234}Th (UX₁) (β -излучатель, $T_{1/2} = 24,1$ сут).

С. С. Бердосов.

ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВЕЩЕСТВА — энергия, теряемая заряж. частицей в слое данного вещества единичной толщины. Энергия теряется за счёт возбуждения и ионизации атомов вещества (см. *Ионизационные потери*) и тормозного излучения (см. *Радиационные потери*).

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — эл.-магн. излучение, испускаемое заряж. частицей при её рассеянии (торможении) в электрич. поле. Иногда к Т. и. относят также излучение релятивистских заряж. частиц, движущихся в макроскопич. магн. полях (в ускорителях, в космич. пространстве), и называют его магнитотормозным.

Согласно классич. электродинамике, к-рая с хорошим приближением описывает осн. закономерности Т. и., его интенсивность пропорциональна квадрату ускорения заряж. частицы (см. *Излучение*). Т. к. ускорение обратно пропорционально массе m частицы, то в одном и том же поле Т. и. электрона будет, напр., в миллионы раз мощнее излучения протона. Поэтому чаще всего наблюдается и практически используется Т. и., возникающее при рассеянии электронов на эл.-статич. поле атомных ядер и электронов; такова, в частности, природа тормозного *рентгеновского излучения* и *гамма-излучения*, испускаемых быстрыми электронами при прохождении их через вещество.

Интенсивность Т. и. электрона пропорциональна также квадрату ат. номера Z ядра, в поле к-рого он тормозится, т. к. по закону Кулона сила взаимодействия электрона с ядром (и, следовательно, ускорение электрона) пропор-