Ещё одно направление в применении Т. связано с рассмотрением искривлённого пространства-времени. Плоское пространство-время интерпретируется как многообразие прямых, поэтому естественно ожидать, что какие-то его искривлённые версии могут быть реализованы как нек-рые многообразия кривых на трёхмерных комплексных многообразиях. Многообразия с римановой метрикой, удовлетворяющей ур-нию Эйнштейна в вакууме и дополнительному (конформному) условию автодуальности, канонически реализуются как многообразия кривых на искривлённом твисторном трёхмерном многообразии. Условие автодуальности состоит в том, что автодуальная часть тензора Вейля равна нулю. Пенроуз явно описал геом. структуры на искривлённом твисторном многообразии, эквивалентные автодуальным решениям ур-ния Эйнштейна (право-плоским метрикам). Осн. момент состоит в том, что семейство кривых в окрестности каждой кривой эквивалентно семейству прямых с точностью до малых 3-го порядка малости. Твисторное описание позволило построить большое число явных решений ур-ния Эйнштейна (автодуальных).

Приведём теперь нек-рые явные ф-лы. Пусть $T=\mathbb{C}P^3$ — трёхмерное комплексное проективное пространство. Введём в нём однородные координаты $z=(z_0, z_1, z_2, z_3)$, т. е. $z\neq(0, 0, 0, 0)$; координаты $z=(z_0, z_1, z_2, z_3)$ и $\lambda z=(\lambda z_0, \lambda z_1, \lambda z_2, \lambda z_3)$ отвечают одной и той же точке $\mathbb{C}P^3=T$. Прямые l в T можно задавать парой их точек (z, w), $z\neq\lambda w$; их множество $\mathbb{C}M$ зависит от 4 комплексных параметров. На $\mathbb{C}M$ возникает комплексная конформная структура из условия, что прямые, пересекающие прямую l, находятся от неё на нулевом расстоянии [образуют комплексный световой конус $\mathbb{C}V(l)$ с вершиной в l].

Рассмотрим в T вещественную гиперповерхность (эрмитову квадрику) T_0, задаваемую ур-нием

$$H(z)=|z_0|^2+|z_1|^2-|z_2|^2-|z_3|^2=0.$$

Поверхность T_0 делит T на 2 области $T_\pm$, где форма H соответственно положительна (отрицательна). Тогда множество $\overline{M}$ прямых, целиком лежащих на T_0, зависит от 4 вещественных параметров и относительно указанной конформной структуры является конформной компактификацией пространства Минковского. Для $l\in\overline{M}$ конусы $V(l)=\overline{M}\cap\mathbb{C}V(l)$ прямых из $\overline{M}$, пересекающих l, являются световыми конусами. Чтобы получить обычное пространство Минковского M, надо фиксировать нек-рую прямую l_∞ на T_0 (напр., задаваемую ур-ниями $z_0=z_2$, $z_1=z_3$) и выбросить $V(l_\infty)$ из $\overline{M}$ (т. е. M состоит из прямых на T_0, не пересекающих l_∞). Прямые, лежащие в областях $T_\pm$, соответственно образуют на $\mathbb{C}M$ трубы будущего и прошлого.

Чтобы вложить в $\mathbb{C}M$ евклидово компактифицированное (конформно) четырёхмерие — сферу S^4, рассмотрим в T множество прямых, соединяющих точки вида (z_0, z_1, z_2, z_3) и $(-\bar{z}_1, \bar{z}_0, -\bar{z}_3, \bar{z}_2)$. Такие прямые либо не пересекаются, либо совпадают. Т. о. возникает разбиение $T=\mathbb{C}P^3$ на непересекающиеся прямые (расслоение).

Легко проследить действие *групп* на все определённые выше геом. объекты. На многообразие прямых $\mathbb{C}M$ переносится действие группы $SL(4, \mathbb{C})$ проективных преобразований пространства $T=\mathbb{C}P^3$. Очевидно, что они являются автоморфизмами конформной структуры, определённой на $\mathbb{C}M$. Подгруппа $SU(2; 2)$ проективных преобразований, сохраняющих квадрику T_0, индуцирует группу конформных преобразований пространства Минковского. Подгруппа в $SU(2; 2)$, сохраняющая прямую l_∞, порождает *Пуанкаре группу* движений пространства Минковского M. Если рассмотреть в $SU(2; 2)$ подгруппу, сохраняющую не только прямую l_∞, но и ещё одну прямую l_0, не пересекающую l_∞ и лежащую на T_0 (напр., $z_0=-z_2$, $z_1=-z_3$), то на M получим классич. представление *Лоренца группы*.

Если в $\mathbb{C}P^3$ вместо 4-параметрического семейства прямых рассмотреть 8-параметрическое семейство кривых 2-го порядка, то в нём можно описать подсемейства (зависящие от 4 вещественных параметров), на к-рых реализуются автодуальные решения ур-ния Эйнштейна и для этих метрик можно дать явные выражения.

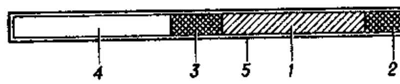
Теория Т. не только позволила применить новый матем. аппарат к разл. задачам теоретич. и матем. физики, но и имела серьёзное обратное влияние на математику, прежде всего в области 4-мерной топологии.

Лит.: Твисторы и калибровочные поля. Сб. ст., пер. с англ., М., 1983; Гиндикин С. Г., Комплексный мир Роджера Пенроуза, в сб.: Математика сегодня, К., 1983, с. 16; Пенроуз Р., Риндлер В., Спиноры и пространство-время, пер. с англ., М., 1988.

С. Г. Гиндикин.

ТВЭЛ (от «тепловыделяющий элемент») — основной элемент *ядерного реактора*, в к-ром находится ядерное топливо, *ядерное горючее* и генерируется тепло за счёт *деления ядер*. Наиб. распространены ТВЭЛы в виде тонких (диаметр неск. мм) стержней, простирающихся на всю высоту активной зоны реактора. Активная зона содержит тысячи однотипных ТВЭЛов, образующих правильную решётку. Между ними прокачивается отводящий энергию теплоноситель (жидкость или газ). В ТВЭЛах используется металлический U (легированный для повышения стабильности) или окислы U в виде керамик, иногда с добавкой Pu. Также применяют т. н. дисперсионное топливо, в к-ром крупицы топлива включаются в матрицу из неделящегося материала с высокими теплопроводностью и радиационной стойкостью (см. *Радиационная стойкость материалов*). Герметичная оболочка предохраняет топливо от контакта с теплоносителем и придаёт ТВЭЛу необходимую механич. прочность. Материал оболочки (сплавы циркония, нержавеющая сталь и др.) имеет низкое сечение захвата нейтронов т. н. реакторного спектра, обладает хорошей совместимостью с топливом и теплоносителем в рабочем интервале темп-р, мало изменяет механич. свойства в нейтронном поле. Ко всем материалам ТВЭЛов предъявляются высокие требования к чистоте, в первую очередь отсутствие примесей, сильно поглощающих нейтроны.

Параметры ТВЭЛа энергетич. реакторов: рабочая верхняя темп-ра (темп-ра оболочки) для реакторов с водяным теплоносителем ≈ 300 °С, для реакторов с жидким Na прибл. 600—700 °С; т. н. линейная теплонапряжённость до 500—600 Вт на 1 см длины стержня; выгорание топлива (доля выгоревших к концу рабочего периода атомов топлива) в тепловых реакторах 3—5%, в быстрых реакторах 7—10% (1% выгорания соответствует выработке 10^4 МВт·сут тепловой энергии на 1 т топлива).



ТВЭЛ быстрого реактора: *1* — участок активной зоны (ядерное топливо); *2*, *3* — торцевые экраны (обеднённый уран); *4* — газосборник; *5* — оболочка (нержавеющая сталь).

На рис. изображён схематич. разрез ТВЭЛа быстрого реактора (см. *Реактор-размножитель*). В нём кроме активной части, содержащей ядерное топливо, имеются торцевые экраны из обеднённого урана для утилизации покидающих активную зону нейтронов, а также полость для сбора выходящих их топлива осколочных газов для снижения внутр. давления при глубоком выгорании.

После достижения номинального выгорания и окончания кампании (рабочего периода) ТВЭЛы выгружаются из реактора и заменяются. Длительность кампании исчисляется временем работы реактора в пересчёте на полную мощность и составляет месяцы или годы. Увеличение кампании и, следовательно, выгорания ограничено ухудшением способности поддерживать цепную реакцию деления из-за выгорания топлива и накопления поглощающих нейтроны осколков и опасности разрушения ТВЭЛа под действием длит. интенсивного облучения и высокой темп-ры в реакторе. Допускаются сотые (или тысячные) доли процента вероятности выхода ТВЭЛа из строя.

Лит.: Оландер Д., Теоретические основы тепловыделяющих элементов ядерных реакторов, М., 1982.

О. Д. Казачковский.