

со связями к квантованию гравитац. поля. В рамках этого формализма происходит потеря релятивистской ковариантности теории в результате разбиения единого 4-мерного пространства-времени на 3-мерное пространство и время, причём объектом динамики является именно 3-мерное пространство, а не пространство-время. В связи с тем, что гравитац. поле обладает *калибровочной инвариантностью*, часть *Гамильтона уравнений* для него представляет собой связи 1-го рода и после квантования эти связи, действуя на физ. состояния, должны давать нулевой результат. Именно это требование приводит к У.—Де В. у., имеющему вид

$$\left\{ G_{abcd} \left[\frac{\delta}{\delta g_{ab}} \right] \left[\frac{\delta}{\delta g_{cd}} \right] - g^{1/2} {}^3R \right\} \Psi [g_{ab}] = 0, \quad (1)$$

где g_{ab} — метрика (метрич. тензор) 3-мерного пространства; g — детерминант этой метрики; 3R — внутр. скалярная кривизна 3-мерного пространства (3-геометрии); G_{abcd} — суперметрика Де Витта, равная

$$G_{abcd} = g^{-1/2} \frac{1}{2} [g_{ac} g_{bd} + g_{ad} g_{bc} - g_{ab} g_{cd}];$$

$\Psi [g_{ab}]$ — вектор состояния, функционально зависящий от метрики g_{ab} . Это ур-ние предложено в 1967 Дж. А. Уилером (J. A. Wheeler) и Б. С. Де Виттом (B. S. De Witt) в качестве обобщения *Шрёдингера уравнения* на случай гравитац. поля с бесконечным числом степеней свободы. Ур-ние (1) рассматривается совместно с др. ур-ниями связей:

$$g_{ac} \left\{ \frac{\delta \Psi [g_{ab}]}{\delta g_{ab}} \right\} \Big|_b = 0, \quad (2)$$

где символ $|$ обозначает взятие 3-мерной ковариантной производной, а само ур-ние (2) выражает тот факт, что вектор состояния Ψ не меняется при координатных преобразованиях метрики, т. е. Ψ определяется 3-геометрией, а не её конкретной параметризацией. У.—Де В. у. описывает квантовую эволюцию 3-геометрии пространства. Эта эволюция происходит в т. н. суперпространстве, представляющем собой *многообразие*, элементами к-рого являются 3-геометрии с разл. метриками g_{ab} .

Решения У.—Де В. у. не содержат явно времени и пространственных координат. Их однозначная вероятностная интерпретация и введение времени, как правило, возможны только в той области, где применимо *квазиклассическое приближение* квантовой геометродинамики, в к-ром вектор состояния представляется в виде $e^{iS/\hbar}$, где S — действие системы. Тогда ур-ние (1) переходит в ур-ние Эйнштейна — Гамильтона — Якоби

$$G_{abcd} \left[\frac{\delta S}{\delta g_{ab}} \right] \left[\frac{\delta S}{\delta g_{cd}} \right] + g^{1/2} {}^3R = 0,$$

к-рое представляет собой *Гамильтона — Якоби уравнение* для гравитац. системы и описывает классич. динамику общей теории относительности.

Из-за indefinitности (см. *Indefinitная метрика*) суперметрики G_{abcd} структура ур-ния (1) в суперпространстве напоминает *Клейна — Гордона уравнение* для релятивистской квантовой частицы в физ. пространстве-времени. Поэтому в квантовой космологии предпринимаются попытки построения формализма вторичного квантования для вектора состояния $\Psi [g_{ab}]$, в рамках к-рого Ψ становится оператором, а отд. решения У.—Де В. у. («вселенные») будут представлять квантовые частицы, движущиеся в суперпространстве. Этот подход наз. также третичным квантованием, т. к. уже сам вектор состояния Ψ является объектом квантовой («вторично квантованной») теории поля. В отд. решениях У.—Де В. у. топология пространства не меняется. Предполагается, что третичное квантование позволит описать квантовые переходы между разл. топологически несвязанными «вселенными».

Лит.: Уилер Дж., Предвидение Эйнштейна, пер. с нем., М., 1970; Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж., Гравитация, т. 2—3, пер.

с англ., М., 1977; Пономарев В. Н., Барвинский А. О., Обухов Ю. Н., Геометродинамические методы и калибровочный подход к теории гравитационных взаимодействий, М., 1985.

А. Ю. Каменицк.

УЛЬТРАЗВУК — упругие волны с частотами прибл. от $(1,5-2) \cdot 10^4$ Гц (15—20 кГц) до 10^9 Гц (1 ГГц); область частот упругих волн от 10^9 до 10^{12} — 10^{13} Гц принято называть *гиперзвуком*. По частоте У. удобно подразделять на 3 диапазона: У. низких частот ($1,5 \cdot 10^4$ — 10^5 Гц), У. средних частот (10^5 — 10^7 Гц), область высоких частот У. (10^7 — 10^9 Гц). Каждый из этих диапазонов характеризуется своими специфич. особенностями генерации, приёма, распространения и применения.

Свойства ультразвука и особенности его распространения. По физ. природе У. представляет собой упругие волны, и в этом он не отличается от звука, поэтому частотная граница между звуковыми и УЗ-волнами условна. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн (так, длины волн У. высоких частот в воздухе составляют $3,4 \cdot 10^{-3}$ — $3,4 \cdot 10^{-5}$ см, в воде— $1,5 \cdot 10^{-2}$ — $1,5 \cdot 10^{-4}$ см, в стали— $5 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-4}$ см) имеет место ряд особенностей распространения У.

Малая длина УЗ-волн позволяет в ряде случаев исследовать их распространение методами *геометрической акустики*. Это даёт возможность рассматривать отражение, преломление, а также фокусировку с помощью лучевой картины.

Ввиду малой длины волн У. характер его распространения определяется в первую очередь молекулярной структурой среды, поэтому, измеряя скорость c и коэф. затухания α , можно судить о молекулярных свойствах вещества (см. *Молекулярная акустика*). Характерная особенность распространения У. в многоатомных газах и во мн. жидкостях — существование областей дисперсии звука, сопровождающейся сильным возрастанием его поглощения. Эти эффекты объясняются процессами релаксации (см. *Релаксация акустическая*). У. в газах, и в частности в воздухе, распространяется с большим затуханием (см. *Поглощение звука*). Жидкости и твёрдые тела (особенно монокристаллы) представляют собой, как правило, хорошие проводники У., затухание в них значительно меньше. Поэтому области использования У. средних и высоких частот относятся почти исключительно к жидкостям и твёрдым телам, а в воздухе и газах применяют только У. низких частот.

Др. особенность У. — возможность получения большой интенсивности даже при сравнительно небольших амплитудах колебаний, т. к. при данной амплитуде плотность потока энергии пропорц. квадрату частоты. УЗ-волны большой интенсивности сопровождаются рядом нелинейных эффектов. Так, для интенсивных плоских УЗ-волн при малом поглощении среды (особенно в жидкостях, твёрдых телах) синусоидальная у излучателя волна превращается по мере её распространения в слабую периодич. ударную волну (пилообразной формы); поглощение таких волн оказывается значительно больше (т. н. нелинейное поглощение), чем волн малой амплитуды. Распространению УЗ-волн в газах и жидкостях сопутствует движение среды, т. н. акустическое течение, скорость к-рого зависит от вязкости среды, интенсивности У. и его частоты; вообще говоря, она мала и составляет долю % от скорости У. К числу важных нелинейных явлений, возникающих при распространении интенсивного У. в жидкостях, относится акустич. *кавитация*. Интенсивность, соответствующая порогу кавитации, зависит от рода жидкости и степени её чистоты, частоты звука, темп-ры и др. факторов; в водопроводной воде, содержащей пузырьки воздуха, на частоте 20 кГц она составляет доли Вт/см². На частотах диапазона У. средних частот в УЗ-поле с интенсивностью начиная с неск. Вт/см² могут возникнуть фонтанирование жидкости и распыление её с образованием весьма мелкодисперсного тумана. Акустич. кавитация широко применяется в технол. процессах; при этом используются У. низких частот.