

Адронная терапия, транспорт частиц и высокопроизводительные вычисления



24 Адронная терапия, транспорт частиц и высокопроизводительные вычисления

В медицине значительный интерес представляет использование пучков адронов для лечения онкологических заболеваний. Терапевтический эффект основан на свойстве частиц резко тормозить в конце своего пробега и передавать большую часть своей энергии поглощающему веществу. Это свойство позволяет нанести точно локализованный энергетический удар по злокачественной опухоли, причинив минимальный вред здоровым тканям. Эффективность такого метода оказалась настолько высокой, что появился специальный термин "адронная терапия", а Европейский Союз развернул программу по исследованиям в данной области и созданию сети лечебных центров. В Российской Федерации есть центры, в которых проводятся сеансы адронной терапии, но их количество и пропускная способность пока еще невелики.

АВТОРЫ:

С. А. Немногин — доцент кафедры вычислительной физики физического факультета СПбГУ, руководитель лаборатории высокопроизводительных вычислений,
e-mail: nemnugin@mms.nw.ru

С. П. Мерц — аспирант кафедры вычислительной физики физического факультета СПбГУ

Моделирование процессов, происходящих в различных средах при прохождении заряженных частиц и жесткого электромагнитного излучения, позволяет решать важнейшие прикладные задачи. Приведем несколько примеров.

Энергетические потребности человечества стремительно возрастают, и атомные электростанции позволяют частично удовлетворить эти потребности. Атомная энергетика, однако, не смогла бы превратиться в мощную индустрию без эффективных средств радиационной защиты. Необходимы системы радиационной защиты и космическим кораблям, особенно межпланетным, ведь мы живем в эпоху грандиозной космической экспансии человечества. Полеты космических аппаратов к ближним и дальним планетам проходят на таком расстоянии от Земли, где ее магнитное поле перестает выполнять свои защитные функции. Наличие надежных средств экранирования в этом случае критически важно как для повышения надежности бортовой электроники, так и для нормальной жизнедеятельности будущих экипажей. Проектирование систем защиты должно основываться на результатах моделирования.

Среди других применений пучков частиц следует упомянуть диагностику некоторых видов быстропротекающих процессов.

Не менее важным является применение жесткого электромагнитного излучения. Гамма-излучение применяется в дефектоскопии, предоставляя эффективный инструмент контроля качества изделий и объектов, в том числе и в таких условиях, в которых другие методы исследования оказываются неприменимыми. В геологии применяется гамма-каротаж, гамма-излучение используется и в медицине.

Значительный интерес представляет использование пучков адронов, а также ядер некоторых элементов в медицине для лечения онкологических заболеваний. Терапевтический эффект в данном случае основан на свойстве частиц, имеющих заряд, резко тормозить в конце своего пробега и передавать большую часть своей энергии поглощающему веществу. Это свойство получило название «пик Брэгга» (рис. 1) по имени ученого, предсказавшего это явление. Оно позволяет нанести точно локализованный энергетический «удар» по злокачественной опухоли, причинив минимальный вред здоровым тканям. Эффективность такого метода оказалась настолько высокой, что появился специальный термин «адронная терапия», а Европейский Союз развернул программу исследований в области адронной терапии ENLIGHT (European network for research in light ion hadron therapy) и по созданию сети лечебных центров. Это не удивительно, ведь в статистике смертности онкологические заболевания занимают второе место после заболеваний сердечно-сосудистой системы. В Российской Федерации есть центры, в которых проводятся сеансы адронной терапии (ИТЭФ в Москве, ПИЯФ в Гатчине, ОИЯИ в Дубне),

но их количество и пропускная способность пока еще невелики.

Эффективное лечение требует тщательной предварительной подготовки, в противном случае пациенту может быть нанесен непоправимый вред. Одним из компонентов такой подготовки должно быть моделирование процессов, происходящих в биологических тканях при облучении. В ходе моделирования подбираются параметры пучка, и делается это с учетом геометрии пораженного органа, физических и химических свойств внутри организма конкретного пациента.

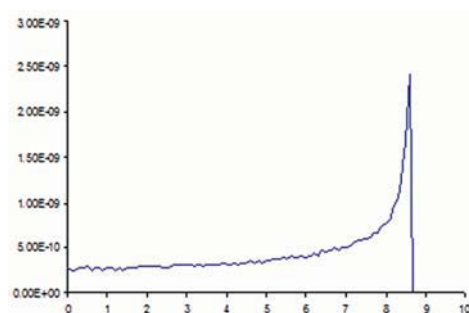


Рис. 1.
Зависимость поглощенной дозы от глубины проникновения пучка

При распространении заряженных частиц и жесткого электромагнитного излучения в различных средах происходит огромное число различных процессов, сопровождающихся, в том числе, рождением большого числа вторичных частиц. Современные пакеты моделирования используют реалистические полуэмпирические модели, основанные не только на современных теоретических исследованиях, но и максимально точно учитывающие экспериментальные данные. На рис. 2 приведен результат моделирования процессов, происходящих при попадании в среду лишь одной заряженной частицы. На рис. 3 представлен результат расчета системы ослабления пучка с энергией 1 ГэВ (такой пучок используется на ускорителе в Гатчине) до медицинских значений (200 МэВ). Очевидно, полный учет всех процессов и получение надежных результатов невозможны без использования высокопроизводительных вычислений.

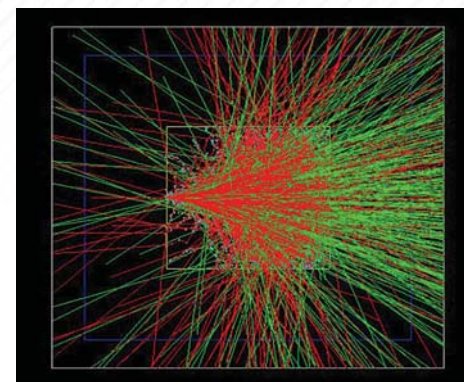


Рис. 2.
Траектории движения вторичных частиц, возникших в результате попадания заряженной частицы в среду

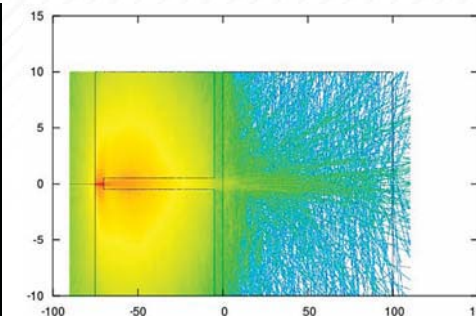


Рис. 3.
Траектории движения частиц и их распределение по энергиям, полученные в результате расчета системы ослабления энергии пучка до медицинских значений

При разработке плана лечения с целью повышения его эффективности следует провести расчеты различных вариантов, необходимо учесть геометрию пораженного органа, особенности физических условий и химического состава. Количество вариантов при этом может быть большим. Вместе с тем время моделирования для каждого конкретного набора параметров существенно зависит от параметров вычислительного эксперимента и может быть значительным (рис. 4). Расчет десятков и сотен вариантов на порядки увеличит время счета. С другой стороны, очевидно, что любое промедление снижает вероятность благоприятного исхода лечения. Это означает, что без применения технологий высокопроизводительных и распределенных (на основе использования грид-систем) вычислений в данном случае не обойтись.

Так как при реальном лечении опухоль имеет не точечную, а протяженную структуру, ее необходимо просканировать, меняя энергию падающих частиц. График суммарной дозы, которую получают клетки при таком сканировании, называется модифицированной кривой Брэгга. На рис. 5 представлена модифицированная кривая Брэгга для протонов в диапазоне энергий от 100 до 110 МэВ, с шагом по энергии 1 МэВ. Оптимальным является случай, когда пик Брэгга представляет собой плато с размером, равным длине опухоли.

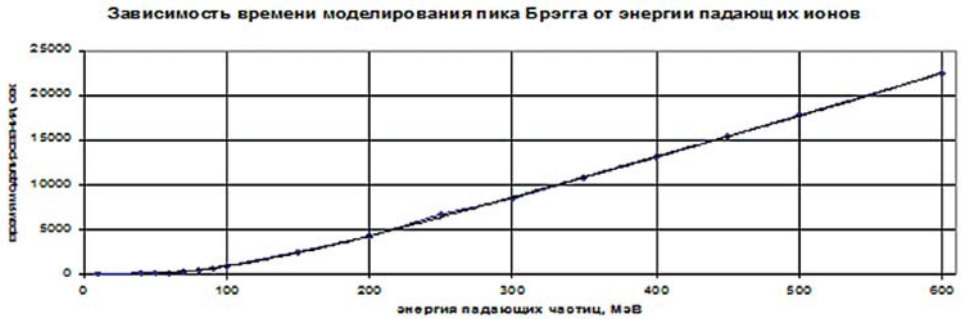


Рис. 4.
Зависимость времени счета от энергии ионов углерода в воде при нормальных условиях

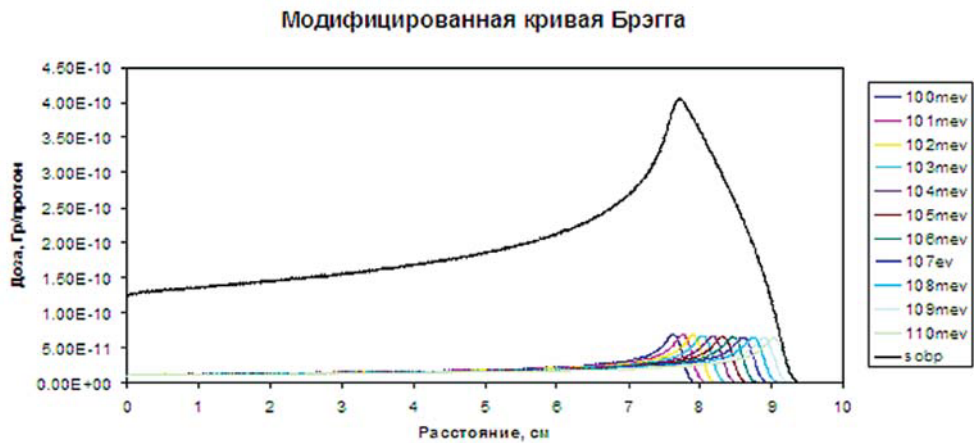


Рис. 5.
Модифицированная кривая Брэгга для протонов в воде (диапазон энергий 100–110 МэВ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.С.Ананько, П.С.Кавригин, С.П.Мери, С.А.Немнюгин, С.Г.Толушкин. Моделирование процессов распространения заряженных частиц и жесткого электромагнитного излучения с использованием технологий высокопроизводительных и распределённых вычислений. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 3(80). 2009. С.246.