

гам ИНИС с целью популяризации услуг ИНИС и ядерной информации, которой располагал CIDN. В нем приняло участие 65 представителей основных организаций и институтов Мексики, связанных с ядерной наукой и техникой и их мирным применением.

В 1980 г. CIDN выпустил видеофильм об ИНИС и его услугах в Мексике. По специальным двусторонним соглашениям Мексика через CIDN предоставляет на основе кооперации свои услуги Чили, Кубе, Эквадору, Гватемале и сравнительно недавно — по просьбе МАГАТЭ — Уругваю.

Преимущества ИНИС

В Мексике весьма значительное влияние на развитие исследований в ядерной области оказывают услуги ИНИС. ИНИС играет решающую роль в организации на национальном уровне услуг по ядерной информации и документации.

Благодаря равноправному участию в ИНИС промышленно развитых и развивающихся стран для менее развитых стран появляется возможность

эффективно использовать ядерную информацию независимо от уровня их развития. Каждая страна может принять участие в ИНИС и пользоваться необходимой информацией в соответствии со своим уровнем развития и потребностями.

Однако Мексика и большинство стран Латинской Америки обладают чрезвычайно ограниченными возможностями и ресурсами (как финансовыми, так и людскими), которые можно было бы направить на развитие их собственных ядерных программ и информационных служб. Необходимо изыскать дополнительные возможности для оказания региональной взаимопомощи. Определенными примерами могут служить программа МАГАТЭ по техническому сотрудничеству A.RCAL и проект Организации американских государств и Бразилии (INFORCIEN).

Программа учебных курсов ИНИС также играет все возрастающую роль для развивающихся стран, так как масштабы участия и возможности всех этих стран успешно пользоваться информационными услугами и ресурсами промышленно развитых государств в значительной степени связаны с ИНИС.

Центр ядерных данных: удовлетворение насущных потребностей науки и техники

Обзор деятельности Международного центра ядерных данных МАГАТЭ

Алекс Лоренц и Джозеф Дж. Шмидт

В современном мире передача и распространение информации предполагают систематический сбор, классификацию, хранение, поиск и распространение данных на основе широкого применения компьютеров.

В целях наиболее эффективного использования информационных методов, которые бурно развивались в течение последних десятилетий, объем научных сведений необходимо уменьшить до уровня концентрированных фактических формулировок или просто данных. В настоящее время объем публикуемой информации настолько велик, что ни один специалист не в состоянии быть полностью информированным в своей области, не говоря уже о других областях исследований. В результате возникла необходимость дополнить общедоступную информацию (например, книги, журналы и отчеты), хранящуюся в библиотеках, сжатой

Г-н Шмидт — руководитель Секции ядерных данных МАГАТЭ; г-н Лоренц — штатный сотрудник этой секции.

информацией, которая поддается компьютерной обработке и предоставляется пользователям в легкодоступной и удобной форме.

Существует целый ряд различных форм сжатой информации:

- сборники рефератов, например, Международной системы ядерной информации (ИНИС);
- информационные бюллетени;
- указатели специальной информации, например, CINDA (указатель литературы по нейтронным данным);
- сборники фактической информации в числовой форме.

Возрастающие потребности в данных

Для большинства ученых и инженеров наибольшее значение имеют числовые данные, которые являются основными входными данными по всем

проблемам, решаемым путем расчетов. В области ядерной техники в течение последних 30 лет мы стали свидетелями все возрастающей потребности в организованной и легкодоступной системе числовой ядерной информации. Для реализации существующих тенденций в развитии ядерно-энергетической техники (например, разработка более эффективных и надежных ядерных реакторов, использующих реакции деления, долгосрочное планирование в области термоядерного синтеза и возросшее применение ядерных методов и приборов практически во всех областях науки и техники) постоянно требуется все возрастающий объем числовой информации более высокого качества, которую обычно называют ядерными данными.

В течение последних 5–10 лет ядерные данные стали требоваться все большему числу развивающихся стран, кроме того, значительно возросло число запросов и сложность запрашиваемой информации. В настоящее время услугами МАГАТЭ в области ядерных данных пользуются ученые из более чем 70 государств-членов. За последние 5 лет число запросов, поступающих в Секцию ядерных данных МАГАТЭ, удвоилось. В течение последних нескольких лет целый ряд развивающихся государств-членов МАГАТЭ приступил к развитию ядерной энергетики и технологий ядерного топливного цикла. Еще большее число стран проявляет возрастающий интерес к внедрению в науку и промышленность ядерной техники, основанной на использовании радиоизотопов.

Это потребовало от МАГАТЭ предоставления все возрастающему числу пользователей большого объема современных ядерных данных и необходимых для их обработки компьютерных кодов. С помощью таких услуг Агентство вносит вклад в создание ядерной инфраструктуры в этих странах.

Основной целью программы МАГАТЭ по ядерным данным является предоставление необходимых ядерных и атомных числовых данных научным сообществам во всех государствах-членах. Это достигается с помощью деятельности, предусмотренной в трех подразделах программы:

- оценка данных и координация исследований
- обработка и обмен данными
- информационные услуги центра данных и передача технологии

Для осуществления соответствующего планирования и выполнения поставленных задач руководство программой МАГАТЭ по ядерным данным осуществляет Международный комитет по ядерным данным, являющийся постоянным консультативным комитетом Агентства; его члены — высококлассные специалисты — назначаются Генеральным директором. Данный комитет регулярно проводит обзор программы и планирует ее будущую деятельность в соответствии с потребностями и приоритетами как промышленно развитых, так и развивающихся государств-членов.

Деятельность центра ядерных данных

Центр ядерных данных МАГАТЭ осуществляет следующую деятельность:

- В качестве центра координации научных исследований он проводит оценку потребностей в ядерных данных в различных областях науки и техники. Достигается это с помощью поддержания контактов между учеными путем проведения совещаний и организации посещений научно-исследовательских лабораторий в 60 государствах-членах (включая 55 лабораторий в 33 развивающихся странах), вносящих активный вклад в сбор и использование ядерных данных. Для оказания содействия в получении и улучшении необходимых ядерных и атомных данных центр осуществляет несколько скоординированных научно-исследовательских программ, в которых участвует примерно 50 групп из научно-исследовательских институтов. Благодаря этим усилиям центр может осуществлять сбор исходных стандартных ядерных данных и создавать специализированные файлы по важным технологическим областям, к числу которых относятся ядерная безопасность, применение гарантий к ядерным материалам и исследования в области термоядерного синтеза.
- В качестве центра по сбору, оценке и обмену данными он координирует деятельность международных информационных сетей, состоящих из

Сельское хозяйство является одной из областей применения ядерных данных для проведения научных исследований и разработок. Ученые в сельскохозяйственной лаборатории МАГАТЭ в Зейберсдорфе, Австрия. (Фото Католики)



более чем 30 национальных и региональных центров и групп по систематическому сбору, оценке и распространению ядерных и атомных данных. Наиболее важной частью этой деятельности является сбор во всемирном масштабе ядерных данных, осуществляемый четырьмя сотрудничающими между собой центрами ядерных данных. Членами этой информационной сети являются США, СССР, МАГАТЭ и Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР/АЯЭ); сотрудничество между этими четырьмя центрами осуществляется через общую базу данных EXFOR. Начиная с 1970 г. они проводят систематический обмен данными в объеме около 40 магнитных лент в год. В базу данных EXFOR (ее общий объем равен примерно 300 мегабайтам числовых данных) поступают данные из 51 страны. Из общего объема данных 35 % предоставляют США, 11 % – СССР, 43 % – страны-члены ОЭСР (за исключением США) и 11 % – другие государства-члены МАГАТЭ, включая 29 развивающихся государств. В дополнение к всеобъемлющей базе данных EXFOR центр ядерных данных МАГАТЭ пополняет 80 банков ядерных данных специального назначения (в которых содержится еще 600 мегабайтов числовых и библиографических данных). Предпринимаются значительные усилия по анализу, проверке и оценке данных, чтобы гарантировать их точность и надежность.

● В качестве международного центра ядерных данных он предлагает широкий диапазон услуг, главным образом, развивающимся государствам-членам. Центр предоставляет ядерные данные и соответствующие компьютерные программы и документацию для их обработки. Кроме того, он поддерживает и координирует передачу и обмен информацией по ядерным данным между Востоком и Западом, Севером и Югом. В 1985 г. в центр поступил 881 запрос из 73 государств-членов (из 53 развивающихся и 20 промышленно развитых стран), включая 269 запросов на предоставление числовых ядерных данных, 13 – на коды по обработке данных и 591 – на технические отчеты. Для удовлетворения этих запросов Секция ядерных данных распространила в 1985 г. около 1900 документов и свыше 45 000 отдельных комплектов ядерных данных общим объемом приблизительно 1600 мегабайтов. Одновременно с этим ученым развивающихся стран оказывалась значительная консультативная помощь по использованию и компьютерной обработке этих данных.

● В качестве основного международного центра по выпуску и распространению публикаций, содержащих ядерные данные, он периодически издает для продажи два основных указателя библиографических данных (CINDA – для ядерных данных и CIAMDA – для атомных данных), а также рассылает их более чем 1200 библиотекам, научно-исследовательским группам и отдельным ученым. Кроме того, периодически издается международный перечень запросов WRENDA, в котором содер-

жится свыше 1000 запросов относительно измерений ядерных данных. Этот перечень рассылается примерно 800 ученым-исследователям и руководителям программ, которые используют его в качестве руководства для проведения своих исследований. В дополнение к этому центр ежегодно выпускает около 20 отчетов по ядерным данным, рассылает около 40 аналогичных отчетов, подготовленных странами-членами, и переводит около 10 отчетов по ядерным данным с русского языка на английский; каждый отчет рассылается примерно 300–500 ученым.

● В качестве центра передачи технологий в области ядерных данных он является центром передачи ядерных методов и технических средств в развивающиеся страны. Свыше 20 развивающихся и 10 промышленно развитых стран принимают участие в Межрегиональном проекте технического сотрудничества по ядерным данным, технике и приборам. С помощью этого проекта центр предоставляет техническую помощь в виде оборудования, стипендий, услуг экспертов и исследовательских контрактов. Все это делается с целью подготовки и обучения ученых и технического персонала в развивающихся странах использованию ядерных методов и технических средств. Кроме того, совместно с Международным центром теоретической физики в Триесте центр организует и проводит двухгодичные курсы по расчету ядерных данных, на которых проходят подготовку 70–90 ученых из примерно 30 развивающихся стран, а также ежегодные межрегиональные учебные курсы в рамках технического сотрудничества, которые, как правило, посещают 20 ученых из 20 развивающихся стран.

Тенденции, влияющие на развитие

Как показано в прилагаемой таблице, ядерные данные широко применяются в целом ряде областей, число которых постоянно растет. В результате возникают новые потребности в улучшенных ядерных данных или в данных, которых в настоящее время нет. Кроме того, развитие ядерной науки и техники в развивающихся странах привело к необходимости создания непрерывной программы передачи ядерных данных ученым этих стран. В настоящее время тенденции в области ядерных данных определяются несколькими направлениями:

● Усовершенствованием банков данных, при этом особое внимание уделяется точности и надежности данных.

● Составлением всеобъемлющих собраний ядерных и атомных данных в виде указателей, дополненных компьютерными файлами данных по конкретным областям применения (например, ядерная безопасность, гарантии, исследования в области термоядерного синтеза, ядерная геофизика и радиотерапия).

● Оказанием обширной технической помощи и организацией программ подготовки кадров для развивающихся стран.

Потребности в ядерных данных в различных областях

В различных областях ядерные и атомные данные являются информационной основой для проектирования, внедрения и интерпретации ядерных методов и технических средств, далеко выходящих за рамки первоначальной цели – ядерной энергетики (см. подраздел „Ядерные данные и ядерная безопасность”). В качестве примера можно привести следующие тенденции в росте потребностей в ядерных данных в других областях:

● **Радиотерапия.** Последние достижения в области радиотерапии с использованием нейтронов и протонов высоких энергий привели к возникновению новых потребностей в ядерных и атомных данных для различных диапазонов энергий и нуклидов. Для выяснения радиобиологического механизма радиотерапии проводятся точные расчеты переноса радиации, цель которых заключается в моделировании взаимодействия различных радиационных полей высокой энергии (т.е. нейтронов, протонов, электронов, рентгеновских лучей и гамма-лучей) с клетками ткани. Кроме того, с развитием терапии, использующей нейтроны и протоны высоких энергий, возникла потребность в данных для проектирования необходимой биологической защиты и устройств формирования пучка, а также для понимания эффектов взаимодействия излучения с живой тканью. Для оценки имеющихся данных в этой области и стимулирования проведения новых экспериментальных и теоретических работ в целях ликвидации существующих пробелов центр ядерных данных Агентства планирует провести серию совещаний.

● **Термоядерный синтез.** Развитие термоядерной энергетики в значительной степени основывается на выполнении большого объема расчетов. Для описания процессов, происходящих в плазме, требуются атомные данные, а для моделирования переноса нейтронов и их поглощенияblankетами, генерирующими тритий, и окружающей биологической защитой – нейтронные ядерные данные. Имеющиеся данные с трудом могут удовлетворить потребности, существующие в обеих областях. Специально для удовлетворения потребностей физиков-атомщиков и специалистов по моделированию процессов в плазме, работающих над проблемой получения управляемой термоядерной реакции, центр ядерных данных Агентства начал реализацию отдельной программы по атомным данным. Эта работа проводится совместно с оценкой потребностей в ядерных данных, необходимых для разработки термоядерных реакторов, и созданием банка ядерных данных для расчета таких реакторов.

● **Ядерная геофизика.** В этой области используются методы идентификации пород и измерения их состава, определения минералов и жидкостей, содержащихся в подземных геологических формациях, с помощью гамма-спектроскопии шахт и скважин. Необходим точный количественный анализ результатов измерений, с помощью которых можно опре-

Использование ядерных данных в программах МАГАТЭ

Ядерная энергетика	<ul style="list-style-type: none"> ● Физические расчеты ядерных и термо-ядерных реакторов (расчеты активной зоны, переноса плазмы) ● Инженерные расчеты ядерных и термоядерных реакторов (конструкционная целостность, радиационные повреждения, биологическая защита)
Ядерный топливный цикл	<ul style="list-style-type: none"> ● Обращение с топливом внутри и вне реактора ● Химическая переработка топлива ● Транспортировка, обработка и захоронение отходов
Ядерная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> ● Радиологическая безопасность (обращение и дозиметрический контроль за излучениями, воздействие излучений и расчеты доз облучения) ● Оценка ядерных аварий (расчеты ядерной безопасности и критичности)
Гарантии	<ul style="list-style-type: none"> ● Разработка приборов, методов и технологий (например, методов неразрушающего анализа и расчета критичности)
Физические науки	<ul style="list-style-type: none"> ● Ядерная физика (проектирование и применение ускорителей, исследовательских реакторов и детекторов излучения, применение и анализ ядерных технических средств) ● Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез
Промышленность и химия	<ul style="list-style-type: none"> ● Анализ материалов (ядерные методы разведки природных ископаемых, использование аналитических методов) ● Производство источников излучения и радиоизотопов в медицинских и фармацевтических целях
Изотопная гидрология	<ul style="list-style-type: none"> ● Применение ядерных методов с использованием природных протонов, искусственных меченых атомов и герметичных радиоактивных источников
Океанология	<ul style="list-style-type: none"> ● Экологическая оценка сброса радионуклидов в океан ● Оценка воздействия захоронения отходов в океанах и загрязнения морей
Естественные науки	<ul style="list-style-type: none"> ● Применение в медицине (использование радиоизотопов и излучений в целях клинической медицины и терапии с помощью ядерных частиц) ● Радиационная дозиметрия (взаимодействие излучения с веществом) ● Исследования в области защиты окружающей среды (активационный анализ, анализ с помощью меченых атомов, воздействие низкоактивных излучений)
Продукты питания и сельское хозяйство	<ul style="list-style-type: none"> ● Животноводство и растениеводство (использование меченых атомов) ● Облучение пищевых продуктов

Ядерные данные и ядерная безопасность

Ядерная безопасность является одной из областей использования ядерных данных, которой в течение последних нескольких лет уделялось самое пристальное внимание международного сообщества. Этот факт, вероятно, является одной из основных причин повышения точности и надежности ядерных данных.

Проблема ядерной безопасности охватывает различные аспекты: от безопасности самого реактора (включая вопросы радиационного повреждения конструктивных реакторных материалов, накопления актинидов и продуктов деления и безопасности с точки зрения критичности) до защиты окружающей среды от ядерных излучений, транспортировки и переработки отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Проведение количественного анализа этих проблем, а также расчетов допустимых доз радиационного облучения людей предполагает глубокое знание свойств ядерных излучений и процессов, в результате которых возникают эти излучения. Огромное значение приобретает точность и надежность этих данных, так как от них непосредственно зависит точность и надежность расчетов по ядерной безопасности.

Примером этого могут служить потребности в ядерных и атомных данных, необходимых для определения радиационных повреждений конструктивных материалов ядерных и термоядерных реакторов. Повреждения материалов реакторных компонентов, вызванные излучением нейтронов или заряженных частиц, оказывают прямое влияние на безопасность, экономику и конструкцию ядерных реакторов. (Радиационные повреждения материалов возникают в результате длительного воздействия сильных радиационных полей внутри ядерных реакторов на их компоненты). Для понимания механизма повреждений необходимо скоррелировать вид и степень повреждения с характером и интенсивностью радиационного излучения. Информация, необходимая для интерпретации и понимания такой корреляции, включает в себя как ядерные, так и атомные данные. В настоящее время пока еще нет базы данных, с помощью которой можно было бы полностью понять и спрогнозировать все аспекты радиационного повреждения.

Одним из видов необходимых ядерных данных являются нейтронные сечения, используя которые можно количественно выразить взаимодействие быстрых нейтронов с конструктивными материалами ядерных и термоядерных реакторов. Такие данные требуются для оценки ядерной безопасности, радиационного повреждения, полезного использования нейтронов, а также для расчета

биологической защиты. Что касается воздействия нуклидов на компоненты конструктивных материалов (тремя основными составляющими нержавеющей стали являются железо, никель и хром), то данные о нейтронных реакциях, используемые для расчета нейтронных характеристик ядерных и термоядерных реакторов, являются довольно устаревшими и, как правило, уже не соответствуют современному уровню знаний. В последние годы было получено значительное количество данных о реакциях, вызываемых нейтронами в конструктивных материалах. Существенно улучшены ядерные модели и компьютерные программы, с помощью которых можно прогнозировать и интерпретировать реакции быстрых нейтронов с ядрами. В настоящее время центр ядерных данных Агентства координирует международные усилия, направленные на повышение качества имеющихся ядерных данных с учетом самых последних экспериментальных результатов и описаний ядерных моделей.

Другим аспектом, имеющим большое значение для ядерной безопасности, является накопление актинидов и продуктов деления в процессе эксплуатации реактора. Причиной этого служат процессы захвата нейтронов и деления ядер в топливе ядерного реактора. Кроме того, оба эти процесса играют важную роль при решении вопросов безопасности ядерных реакторов, ядерного топливного цикла, обращения с отработавшим топливом и применения гарантий к ядерным материалам. Что касается актинидов, то для обеспечения точности и наличия разнообразных данных необходима международная стандартизация и осуществление непрерывного анализа данных (к числу таких данных относятся величины сечений захвата нейтронов и реакций деления, параметры резонанса, средние количества мгновенных нейтронов, испускаемых в ходе одного деления, а также данные о характере ядерного деления целого ряда трансурановых нуклидов, вырабатываемых в облученном топливе).

Недавно Агентство опубликовало справочник данных о распаде трансурановых нуклидов — результат семилетних усилий с участием основных лабораторий мира. Что касается продуктов деления, то здесь отсутствует требуемая степень точности данных о выходе и периоде полураспада продуктов деления, поэтому предусматриваются аналогичные меры по модернизации этой базы данных. В будущем центр ядерных данных Агентства планирует провести несколько совещаний и скоординировать научные исследования с целью повышения точности требуемых данных и ликвидации имеющихся пробелов.

делять концентрацию меченых атомов и основных составляющих минералов. Это предъявляет жесткие требования к качеству спектроскопических измерений. В результате возрастают требования, предъявляемые к точности гамма-спектроскопических данных и данных о ядерных реакциях, используемых в расчетах радиационного переноса, с помощью которых моделируются условия в крупных геологических формациях, а также используемых для проведения фактического анализа и интерпретации геофизических измерений.

Расчетные ядерные данные, полученные для применения в реакторостроении, не удовлетворяют этим требованиям. Они неадекватны требованиям охвата всего диапазона нуклидов, присутствующих в геологическом материале, а также ядерных реакций и поперечных сечений гамма-излучения при проведении таких измерений. В настоящее время предпринимаются значительные усилия для оценки наличия и состояния необходимых данных. В ближайшие годы центр ядерных данных Агентства планирует выпустить всеобъемлющий справочник

и создать соответствующий компьютерный файл ядерных данных для ядерной геофизики.

● **Гарантии.** Основной целью программы применения гарантий МАГАТЭ к ядерным материалам является установление контроля за потоком расщепляющихся материалов и материалов для ядерного воспроизводства. Учет ядерных материалов основывается на информации, предоставляемой операторами установок, и контрольных проверках этой информации, выполняемых инспекторами МАГАТЭ. К числу аналитических методов проведения таких контрольных проверок относятся деструктивные (DT) и неразрушающие (NDT) методы, в основе которых лежит измерение энергий и интенсивности излучения анализируемых

материалов. Для оценки и интерпретации результатов таких измерений требуется большое количество соответствующих высокоточных ядерных данных. Кроме того, ядерные данные необходимы для проведения (в дополнение к этим измерениям) вспомогательных расчетов, а также для усовершенствования и разработки новых аналитических методов и приборов. В настоящее время центр ядерных данных Агентства совместно с персоналом Департамента гарантий МАГАТЭ осуществляет сбор необходимых данных и подготавливает указатель по ядерным данным в области гарантий. Планируется дополнить этот указатель файлом данных для прямого ввода в компьютер.



Система информации по ядерному топливному циклу: NFCIS

Международный справочник МАГАТЭ по установкам ядерного топливного цикла

Серхио Ахуриа

В результате работ по сбору, анализу, организации и распространению информации Агентство имеет две автоматизированные базы данных, сфокусированные на ядерном топливном цикле: Систему информации по ядерному топливному циклу (NFCIS) и Международную систему информации по геологии урана (INTURGEO). В настоящее время рассматривается вопрос о создании Системы информации по обращению с отходами (WAMIS). Задача всех этих систем – служить широким и авторитетным источником информации в указанных областях.

В данной статье коротко описывается NFCIS, которая является международным справочником по установкам ядерного топливного цикла.

Г-н Ахуриа – сотрудник Отдела по ядерному топливному циклу Агентства, в обязанности которого входит обеспечение поддержки и функционирования NFCIS и INTURGEO.

Охват системы

В настоящее время NFCIS охватывает 272 установки в 32 странах следующего назначения:

- обработка урановой руды: 66 действующих (Д), 49 недействующих установок (НД);
- рафинирование и переработка урана: 15 (Д), 3 (НД);
- обогащение урана: 14 (Д), 4 (НД);
- изготовление топлива: 34 (Д), 4 (НД);
- хранение отработавшего топлива вне реактора: 10 (Д), 5 (НД);
- переработка отработавшего топлива: 17 (Д), 10 (НД);
- производство тяжелой воды: 12 (Д), 4 (НД);
- производство металлического циркония: 5 (Д), 5 (НД);
- производство трубок из циркалоя: 14 (Д), 1 (НД).