ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук Казалова Владимира Владимировича на диссертацию Халаф Хям Назми Бадр «Взаимодействие продуктов распада радона с аэрозольными частицами и аналитическими фильтрами Петрянова», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Халаф Хям Назми Бадр посвящена изучению характеристик взаимодействия продуктов распада радона с нерадиоактивными аэрозолями и аэрозольными фильтрами, а также разработке средств измерения размерного распределения активности аэрозолей, которые могли бы позволить одномоментно определять мультимодальное распределение активности в широком диапазоне, соответствующем респирабельной фракции аэрозолей (0,5 нм – 20 мкм) без предварительной информации о дисперсности радиоактивных аэрозолей.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы (129 ссылок).

Во введении обосновывается актуальность тематики исследования. Сформулированы основные цели и задачи работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приводится обзор литературных данных по свойствам аэрозолей и методам определения их основных характеристик. Рассмотрены источники образования аэрозолей, дан анализ типичных размеров аэрозольных частиц различного происхождения. Отмечается, что в настоящее время воздействие мелких и ультрадисперсных частиц в воздухе определяется как важный фактор, влияющий на здоровье человека.

Дается классификация аэрозольных частиц по размерам, а также охарактеризованы основные методы размерного распределения аэрозольных частиц: крупнодисперсная, аккумуляции, мода Айткена, нуклеации.

Рассмотрены характеристики радиоактивных аэрозолей различного происхождения: космогенного, аэрозолей продуктов деления, продукты распада изотопов радона и др.

Здесь же дается анализ основных процессов взаимодействия аэрозольных частиц с материалом фильтров, в первую очередь фильтров Петрянова (ФП). Проведен анализ основных методов определения размерного распределения радиоактивных аэрозолей: каскадные импакторы, диффузионные батареи, метод многослойных фильтров.

Во второй главе описаны используемые методы и средства проведения исследования.

Приводится подробное описание диффузионной батареи используемой для получения распределения по размерам аэрозольных частиц в диапазоне 1-100 нм. Данная батарея была разработана в радиационной лаборатории ИПЭ УрО РАН. Интерпретация данных, полученных с данной диффузионной батареей, проводилась при помощи программного пакета, также разработанного в ИПЭ УрО РАН.

Для исследования аэрозолей с размерностями в диапазоне 1-10 мкм были использованы два каскадных импактора, произведённых разными компаниями: импактор АИП2 (ООО «НПП Доза», г. Зеленоград), и аналог каскадного импактора Марк-3, разработанный в Грифитском университете (г. Брисбен, Австралия).

В качестве средства для измерения аэрозольных фильтров по α-излучению был использован блок детектирования БДПА-01, на основе сцинтиллятора ZnS(Ag).

Для генерации аэрозолей, содержащих дочерние продукты (ДПР) распада радона, была использована камера объемом 1 м^3, представляющая собой два пластиковых бокса соединённых вместе. Уровни ЭРОА радона в камере составляли 2000-4000 Бк/м^3. Контроль концентрации аэрозольных частиц проводился при помощи диффузионного аэрозольного спектрометра (ДАС), модель 2702-М.

В третьей главе представлены результаты изучения свойств аэрозольных частиц от различных бытовых источников.

Эксперименты проводились в помещении объемом 65 м^3. Были исследованы следующие источники аэрозольных частиц: табачная сигарета, электронная сигарета, сигарета IQOS (система нагревания табака без горения), курение благовоний, термическая обработка пищи, парафиновые свечи, противомоскитная спираль. При этом, среднее значение фоновой концентрации аэрозоля составляло 10000±1800 см^3.

При использовании системы IQOS было отмечено незначительное (не более чем в 1,5 раза по сравнению с исходным значением) увеличение концентрации ультрадисперсных частиц. Изменение концентрации аэрозолей в диапазоне 300-1000 нм не наблюдалось. Поэтому, в дальнейшем, данный источник аэрозолей был исключен из рассмотрения.

Для описания численного распределения по размерам для различных источников аэрозолей, использовались следующие параметры: средний медианный диаметр (СМД) и стандартное геометрическое отклонение (СГО). Для большинства источников размеры аэрозолей преимущественно относятся к моде нуклеации (диаметр частиц < 0,1 мкм) и, только при горении табачных сигарет и термической обработке пищи переходит на начальный участок моды аккумуляции (диаметр частиц 0,1-1 мкм). Значение СГО, для всех источников, превышают 1,25.

Продемонстрированно, что аэрозоли, в которых сосредоточена основная масса взвешенного в воздухе вещества, и аэрозоли, которые могут сорбировать на своей поверхности природные радионуклиды ДПР радона, имеют различные размеры и будут откладываться в различных отделах респираторного тракта.

На основе полученных, в третьей главе диссертации, результатов было сформулировано **первое** защищаемое положение: **Для высокотемпературных бытовых источников аэрозолей радиационное воздействие за счет присоединения ДПР радона обусловлено частицами с медианным диаметром 130 нм, а токсичное действие – частицами в диапазоне 2-5 мкм.**

В четверной главе представлены данные по изучению факторов, влияющих на улавливание радиоактивных аэрозолей фильтрами Петрянова.

С целью изучения радиометрической эффективности трех типов аналитических, были отобраны, для исследования, две промышленные версии (старая и новая) аналитических фильтров АФА-РСП-20 и АФА-РМП-20, различающихся по времени и способу производства, а также новый вид фильтра АФА-РМВ-20. Проведенные эксперименты показали, что для всех исследуемых фильтров пакет из трех фильтров обеспечивает улавливание практически 100% активности.

Была проведена проверка пропускания аналитических аэрозольных фильтров, помещенных в диффузионную батарею. Для фильтра АФА-РПМ мода с АМТД = 20 нм (мода Айткена) обладает большей проникающей способностью, чем для фильтров АФА-РСП. Отсюда следует, что при высокой концентрации аэрозольных частиц фильтр АФА-РСП-20 более эффективен для частиц моды Айткена, чем фильтр АФА-РПМ-20.

С помощью эксперимента было измерено числовое размерное распределение аэрозолей в окружающем воздухе до и после аэрозольных фильтров и, оценена проницаемость для двух типов аэрозольных фильтров АФА-РСП-20 и АФА-РПМ-20 нового типа. В последующем полученные результаты были использованы при определении размерного распределения аэрозолей методом многослойных фильтров.

На основании полученных результатов было сформулировано **второе** защищаемое положение: **Эффективность фильтров Петрянова для аэрозолей ДПР радона обусловлена процессами образования неприсоединённых продуктов распада радона и их взаимодействия с аэрозолями, относящимся к модам Айткена и аккумуляции, имеющим различную проницаемость через фильтр.**

В пятой главе рассмотрена конструкция универсального устройства для определения размерного распределения радиоактивных аэрозолей.

Автором показана возможность разработки устройства, которое может позволить одновременно определять размерное распределение радиоактивных аэрозолей во всем диапазоне респирабельной фракции от 0,5 нм до 20 мкм.

Также, при непосредственном участии автора, была разработана система отбора проб, состоящая из 12 ступенчатой батареи, пятиступенчатого каскадного импактора и набора из трех аналитических аэрозольных фильтров с установленными функциями проницаемости для измерения распределения радиоактивного аэрозоля по размерам продуктов распада радона. Работоспособность данной системы была проверена в серии экспериментов при низких и высоких концентрациях аэрозоля.

По результатам, полученным в пятой главе было сформулировано третье защищаемое положение: **Комбинированная система, состоящая из последовательно соединенных диффузионной батареи, каскадного импактора и многослойного пакета фильтров, позволяет определить размерное распределение активности в диапазоне от 0,5 нм доя 20 мкм при единичном отборе проб и отсутствии предварительной информации об ожидаемой дисперсности аэрозолей.**

Актуальность избранной темы

Радон — это радиоактивный газ природного происхождения. Он не имеет запаха, цвета или вкуса. Радон образуется в процессе природного радиоактивного распада урана, который обнаруживается во всех видах горных пород и почве. Радон может также присутствовать в воде.

По данным ВОЗ радон является второй после курения причиной развития рака легких. По оценкам, радон вызывает от 3 до 14% всех случаев рака легких в странах в зависимости от среднего уровня концентрации радона в почве и распространенности курения в стране. Вероятность развития рака легких в результате воздействия радона у курильщиков в 25 раз выше, чем у некурящих.

Около 85-88% атомов, образующихся при распаде инертных радиоактивных газов ^{220}Rn и ^{222}Rn или ^{138}Xe и ^{88}Kr образуют молекулярные кластеры размером 1-5 нм. Кластеры, содержащие радионуклиды, присоединяются к существующим аэрозольным частицам в атмосфере в течение 1-100 с, образуя присоединённые продукты распада. Вдыхаемые радиоактивные аэрозоли могут откладываться в различных трактах отделах респираторного тракта и распадаться там, что в результате, как уже было сказано ранее, может привести к развитию рака легких.

Поэтому особенно важно проводить мониторинг уровня радона, а также измерения активностей аэрозолей, которые могут содержать ДПР радона.

До настоящего времени нет достаточной информации по характеристикам бытовых источников аэрозольных частиц, начиная от

традиционных источников, до относительно новых источников, таких как электронные сигареты или устройства IQOS. Поэтому, важную задачу представляет собой разработка средств измерения размерного распределения активностей аэрозолей, позволяющих одновременно определять мультимодальное распределение активности в широком диапазоне размеров аэрозольных частиц.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базируется на материалах научных работ автора, на основании которых написана диссертация.

Научная новизна заключается в следующем: 1) для искусственных источников аэрозолей показано, что частицы, которые дают максимальный вклад в токсическое действие аэрозолей и радиационное воздействие за счет присоединения к аэрозольным частицам ДПР радона, относятся к различным размерным группам, отлагающимся в различных отделах респираторного тракта; 2) показано, что эффективность улавливания фильтрами Петрянова радиоактивных аэрозолей ДПР радона определяется мультимодальным характером их размерного распределения по активности; 3) предложен, научно обоснован и исследован метод определения размерного распределения радиоактивных аэрозолей в диапазоне 0,5 нм – 20 мкм при единичном отборе пробы без предварительной информации об ожидаемом размерном распределении активности аэрозолей.

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные результаты о размерном распределении аэрозолей от бытовых источников могут быть использованы для уточнения дозиметрических оценок внутреннего облучения от ассоциированных с ними ДПР радона, а также для оценки поведения токсических продуктов горения, образующихся при эксплуатации таких источников, в организме человека. Разработанная универсальная система определения размерного распределения аэрозолей может найти применение при измерениях в широком диапазоне диаметров аэрозольных частиц (0,5 нм – 20 мкм) без предварительной информации об ожидаемом размерном распределении активности при единичном отборе проб.

Достоверность полученных данных обеспечивается большим количеством публикаций автора (9 работ в системах Web of Science и Scopus) в рецензируемых научных изданиях и докладами на российских и международных конференциях; хорошей воспроизводимостью данных измерений и использованием современных методов статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

При ознакомлении с тексом диссертационной работы возникли **вопросы**:

С чем связано использование различных линейных скоростей потока воздуха (25, 33 и 42 см/с) при измерениях эффективности улавливания различных аэрозольных фильтров?

Почему исследования характеристик различных источников аэрозолей проводились не в радоновом боксе, где можно было бы исследовать их взаимодействие с ДПР радона, а в открытой атмосфере?

Как была оценена эффективность отложения аэрозолей в различных отделах респираторного тракта с указанием доминирующих размеров аэрозолей от бытовых источников (рис.3.8)?

Как может быть модифицирована схема эксперимента для изучения функции пропускания нерадиоактивных аэрозольных частиц аналитическими фильтрами АФА-РСП-20 и АФА-РМП-20 для тестирования подходящих фильтров для защиты от COVID-19.

К недостаткам можно отнести некоторое количество опечаток и небольших неточностей.

На стр.5, в последнем абзаце опечатка «… до сиз пор…», вместо «… до сих пор…».

На стр.14, во фразе «… концентрация некоторых веществ в помещении может выше, чем на открытом воздухе», скорее всего подразумевалось «может быть выше».

На стр.68, первое предложение пункта 3.1, «Эксперименты проводились по изучению свойств аэрозольных частиц от различных источников в помещении Радоновой лаборатории Уральского федерального университета, объем которого составляет 65 м^3.», составлено не совсем корректно с точки зрения стилистики (грамматики) русского языка.

На стр.71, в первом предложении «…для таких источников, как термическая обработкапищи и горение свечей.», слова написаны слитно.

На стр.136, в пункте 1, в предложении «…частицы с d от 2 до10 мкм при максимуме …», пропущен пробел.

Однако, указанные недостатки не снижают качества работы.

Материалы диссертации со всей полнотой изложены в опубликованных работах автора. **Автореферат отражает содержание диссертации.**

Таким образом, диссертация **Халаф Хям Назми Бадр** на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является **научно-квалификационной работой**, в которой на основании выполненных автором исследований разработана комбинированная система для изучения распределения радиоактивных аэрозолей по размерам с широким диапазоном размеров частиц от 0,5 нм до 20 мкм, изучены проницаемости аэрозольных

фильтров в области АМТД 1–20 нм, изучены типы и размеры аэрозольных частиц от бытовых источников к которым может происходить присоединение ДПР радона, что в совокупности можно квалифицировать как **решение научной задачи, имеющей значение для развития экспериментальной физики,** а также **изложение новых технологических разработок.**

В целом, диссертационная работа **Халаф Хям Назми Бадр** является законченным научным исследованием, по своей актуальности, новизне и практической значимости соответствует специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики по физико-математическим наукам, а также требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор **Халаф Хям Назми Бадр** заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник лаборатории
низкофоновых исследований БНО ИЯИ РАН,
кандидат физико-математических наук
(специальность 01.04.16) ____ _____Казалов Владимир Владимирович
22.01.2021 г.

Филиал Баксанская нейтринная обсерватория Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук, 361609, КБР, Эльбрусский район, с.п. Эльбрус, с. Нейтрино, ул. Губасанты, д.2а (117312, РФ, г. Москва, пр. Шестидесятилетия Октября, д.7а).

Подпись Казалова В.В. заверяю _____

Казалова Владимира Владимировича
ЗАВЕРЯЮ:
алист по кадрам БНО ИЯИ РАН
Никитина