



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

Изучение изотопных эффектов кристаллизации NaCl из водного раствора в магнитном поле

УДК 661.833'032.1.065.5:543.51:537.612

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Арыштаев Алексей Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Мышкин В.Ф.	д.ф.-м.н., профессор.		

Консультант (руководство ВКР на английском языке)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Тимченко С.Н.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Передерин Ю.В.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Видяев Д.Г.	д.т.н., профессор		



Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution
Higher education
«NATIONAL RESEARCH TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY»

School of Nuclear Science & Engineering
Field of training: 14.04.02 Nuclear Science and Technology
Specialization: Isotope technologies and materials
Nuclear Fuel Cycle Division

MASTER THESIS

Topic of research work
Study of isotopic effects of NaCl crystallization from an aqueous solution in a magnetic field

UDC 661.833'032.1.065.5:543.51:537.612

Student

Group	Full name	Signature	Date
0AM11	Aryshtaev Alexey Mikhailovich		

Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor NFCD SNSE TPU	Myshkin V.F.	Sc.D., professor		

Advisers

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor NFCD SNSE TPU	Timchenko S.N.	Ph.D., associate professor		

ADVISERS:

Section «Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor DSSH SBET TPU	Spitsyna L.Yu.	Ph.D., associate professor		

Section «Social Responsibility»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor NFCD SNSE TPU	Perederin Yu.V.	Ph.D., associate professor		

ADMITTED TO DEFENSE:

Program Director	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Isotope technologies and materials	Vidyaev D.G.	Sc.D., professor		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

LEARNING OUTCOMES

Competence code	Competence name
Universal competences	
UC(U)-1	Ability to make critical analysis of problem-based situations using the systems analysis approach, and generate decisions and action plans.
UC(U)-2	Ability to run a project at all life-cycle stages.
UC(U)-3	Ability to organize and lead the teamwork and generate a team strategy to achieve the target goal.
UC(U)-4	Ability to use modern communication technologies to realize academic and professional interaction.
UC(U)-5	Ability to analyze and account for cultural diversity in the process of intercultural interaction.
UC(U)-6	Ability to set and pursue individual and professional activity priorities and ways to modify professional activity based on the self-esteem.
General professional competences	
GPC(U)-1	Ability to formulate goals and objectives of the research study, select assessment criteria, identify priorities for solving problems.
GPC(U)-2	Ability to apply modern research methods, evaluate and present the results of the performed research.
GPC(U)-3	Ability to present research outcomes in the form of articles, reports, scientific reports and presentations using computer layout systems and office software packages.
Professional competences	
PC(U)-1	Ability to use fundamental laws in a volume sufficient for independent combination and synthesis of new ideas, creative self-expression
PC(U)-2	Ability to create new methods for calculating modern physical installations and devices, develop methods and advanced technologies
PC(U)-3	Ability to create mathematical and physical models that describe processes and phenomena in separation cascades, installations for the separation and fine purification of substances, processing and neutralization of industrial waste
PC(U)-4	Ability to assess the prospects for the development of the nuclear industry, use its modern achievements and advanced technologies in research work
PC(U)-5	Ability to independently perform experimental and theoretical research to solve scientific and industrial problems using modern instruments for scientific research and mathematical calculation methods
PC(U)-6	Ability to carry out calculation, conceptual and design development of modern physical installations and devices
PC(U)-7	Ability to formulate terms of reference, use information technologies and application packages in the design and calculation of physical installations, use knowledge of methods for analyzing environmental and economic efficiency in the design and implementation of projects
PC(U)-8	Ability to objectively analyze technical and computational-theoretical developments, solutions and projects, taking into account their compliance with the requirements of laws in the field of industry, ecology, technical, radiation and nuclear safety, other regulations at the Russian and international level, prepare an expert opinion
PC(U)-9	Readiness for teaching activities in the main educational programs of higher education and additional professional education (APE)
PC(U)-10	Ability to develop plans and programs for the organization of innovative activities, carry out a feasibility study of innovative projects, manage programs for the development of new products and technologies



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Видяев Д.Г.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Арыштаеву Алексею Михайловичу

Тема работы:

Изучение изотопных эффектов кристаллизации NaCl из водного раствора в магнитном поле

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 27-77/С от 27.01.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – кристаллы NaCl; Предмет исследования – изотопы хлора.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор и анализ литературы 2. Практическая часть 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 4. Социальная ответственность 5. Выводы

Перечень графического материала	<p>Графики:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Процесс формирования кристалла хлорида натрия, заснятый японскими учеными с помощью электронной микроскопии с атомарным разрешением (фрагменты из видео). 2. Источники ошибок, проявляющихся при измерении изотопных соотношений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой 3. Модель процесса роста кристаллов 4. Установка для получения кристаллов NaCl под воздействием магнитного поля 5. Увеличенные ($\times 66$) изображения поверхности двух монокристаллов NaCl 6. Обобщенная схема элементного масс-спектрометра 7. Положение пиков ^{37}Cl (слева) и $^{37}\text{Ar}^1\text{H}$ (справа) в масс-спектре NaCl 8. Вид пика изотопа ^{35}Cl в масс-спектре NaCl 9. Результаты измерения изотопного состава образца с естественным изотопным составом хлора
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Отделения социально-гуманитарных наук, к.э.н. Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Доцент Отделения ядерно-топливного цикла, к.т.н. Передерин Ю.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

27.01.2023

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Мышкин В.Ф.	д.ф.-м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Арыштаев А.М.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

School of Nuclear Science & Engineering
Field of training: 14.04.02 Nuclear Science and Technology
Specialization: Isotope technologies and materials
Nuclear Fuel Cycle Division

APPROVED BY:
 Program Director
 _____ Vidyayev D.G
 « ____ » _____ 2023

ASSIGNMENT for the Graduation Thesis completion

In the form:

master's thesis

For a student:

Group	Full name
0AM11	Aryshyaev Alexey Mikhailovich

Topic of research work:

Study of isotopic effects of NaCl crystallization from an aqueous solution in a magnetic field	
Approved by the order of the Director of School of Nuclear Science & Engineering (date, number):	№ 27-77/C dated January 27, 2023

Deadline for completion of Master Thesis:	
---	--

TECHNICAL TASK:

<p>Initial date for research work: <i>(the name of the object of research or design; performance or load; mode of operation (continuous, periodic, cyclic, etc.); type of raw material or material of the product; requirements for the product, product or process; special requirements to the features of the operation of the object or product in terms of operational safety, environmental impact, energy costs; economic analysis, etc.)</i></p>	<p>The object of study is NaCl crystals; The subject of the study is chlorine isotopes.</p>
<p>List of the issues to be investigated, designed and developed <i>(analytical review of literary sources with the purpose to study global scientific and technological achievements in the target field, formulation of the research purpose, design, construction, determination of the procedure for research, design, and construction, discussion of the research work results, formulation of additional sections to be developed; conclusions).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Review and analysis of literature 2. Practical part 3. Financial Management, Resource Efficiency and Resource Conservation 4. Social responsibility 5. Conclusions

<p>List of graphic material (with an exact indication of mandatory drawings)</p>	<p>Figure:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The process of forming a crystal of sodium chloride, filmed by Japanese scientists using electron microscopy with atomic resolution (fragments from the video). 2. Sources of errors manifested in the measurement of isotopic ratios by mass spectrometry with inductively coupled plasma 3. Model of the crystal growth process 4. Installation for the production of NaCl crystals under the influence of a magnetic field 5. Enlarged ($\times 66$) images of the surface of two single crystals of NaCl 6. Generalized diagram of the Element mass spectrometer 7. Position of peaks ^{37}Cl (left) and $^{37}\text{Ar}^1\text{H}$ (right) in the NaCl mass spectrum 8. View of the peak of the isotope ^{35}Cl in the mass spectrum of NaCl 9. Results of measuring the isotopic composition of a sample with a natural isotopic composition of chlorine
---	--

Advisors to the sections of the Master Thesis (with indication of sections)	
Section	Advisor
Financial management, resource efficiency and resource saving	Associate Professor of the Department of Social Sciences and Humanities, Ph.D. Spitsyna L. Yu.
Social Responsibility	Associate Professor of the Department of Nuclear Fuel Cycle, Ph.D. Perederin Yu.V.

Date of issuance of the assignment for Master Thesis completion according to the schedule	
--	--

Assignment issued by a scientific supervisor:

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor NFCD SNSE TPU	Myshkin V.F.	Sc.D., professor		

Assignment accepted for execution by a student:

Group	Full name	Signature	Date
0AM11	Aryshyaev Alexey Mikhailovich		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2023	Разработка и утверждения технического задания	10
15.03.2023	Подбор и изучение материалов по теме исследования	5
20.03.2023	Исследование структуры кристаллов	25
10.05.2023	Изучение изотопного состава хлора	20
16.05.2023	Анализ и обобщение полученных результатов	15
18.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность	15
26.05.2023	Оформление пояснительной записки и презентации	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Мышкин Вячеслав Федорович	д.ф.-м.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Видяев Дмитрий Геннадьевич	д.т.н., профессор		

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
 Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
 «NATIONAL RESEARCH
 TOMSK POLYTECHNICAL UNIVERSITY»

School of Nuclear Science & Engineering
Field of training: 14.04.02 Nuclear Science and Technology
Specialization: Isotope technologies and materials
Nuclear Fuel Cycle Division

Work submission form:

Master thesis

CALENDAR RATING PLAN
completion of the final qualifying work

Deadline for student submission of completed work:	
--	--

Date control	Section (module) name / type of work (research)	Maximum section (module) score
27.01.2023	Development and approval of the terms of reference	10
15.03.2023	Selection and study of materials on the research topic	5
20.03.2023	Crystal structure research	25
10.05.2023	Study of the isotopic composition of chlorine	20
16.05.2023	Analysis and generalization of the results obtained	15
18.05.2023	Financial management, resource efficiency and resource conservation; social responsibility	15
26.05.2023	Making an explanatory note and presentation	10

COMPILED BY:
Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor NFCD SNSE TPU	Myshkin Vyacheslav Fedorovich	Sc.D., professor		

AGREED:
Program Director

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor NFCD SNSE TPU	Vidyaev Dmitry Gennadievich	Sc.D., professor		

ABSTRACT

Master's thesis contains: 91 pages, 11 figures, 21 tables, 39 references.

Keywords: crystallization, aqueous solution, NaCl, isotope, mass spectrometric analysis, magnetic field.

The object of study is NaCl crystals grown from an aqueous solution under the influence of a weak constant magnetic field.

The aim of the studies is to experimentally determine the change in the isotopic effect in a magnetic field during the crystallization of NaCl from aqueous solutions.

In the course of the study, the following were carried out:

1. Literature review;
2. Experimental studies of changes in the isotope effect of the NaCl crystallization process from an aqueous solution in a magnetic field;
3. Analysis of the results, evaluation of the optimal conditions for the formation of crystals with different isotopic compositions in an external weak constant magnetic field.

The results of studies on the change in the isotope effect in a constant magnetic field during the crystallization of NaCl from aqueous solutions can be further used in the development of an innovative method for isotope separation.

Table of contents

Introduction	15
1 Review of scientific and technical literature.....	18
1.1 Formation of sodium chloride crystals from an aqueous solution.....	18
1.2 Methods of growing crystals from solutions	19
1.2.1 Crystallization by temperature changes.....	19
1.2.2 Crystallization by concentration convection	20
1.2.3 Crystallization by chemical reaction	20
1.2.4 Crystallization by evaporation.....	21
1.3 Foreign inclusions in the crystal	22
1.4 Effect of magnetic field on crystal growth from aqueous solutions.....	24
1.5 Methods for determining the isotopic composition	26
1.5.1 Non-spectral interference.....	27
1.5.2 Spectral interference	29
1.5.3 Mass discrimination in mass spectrometry.....	29
2 Experimental studies on the magnetic activation of the isotopic effect during the growth of NaCl crystals from an aqueous solution.....	35
2.1 Isotopic effect of crystallization in a magnetic field.....	35
2.2 Obtaining samples of single crystals of NaCl.....	36
2.3 Investigation of the structure of NaCl crystals using scanning electron microscopy	38
2.4 Measurement of the isotopic composition of chlorine using the Element inductively coupled plasma mass spectrometer.....	39
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
3.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ. Предпроектный анализ	48

3.2 Анализ потенциальных потребителей и конкурентных технических решений.....	48
3.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	50
3.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	52
3.5 Разработка устава научно-технического проекта и инициация проекта	53
3.6 Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок.....	55
3.7 Бюджет научно-технического исследования	58
3.7.1 Основная заработная плата исполнителей темы	58
3.7.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	60
3.7.3 Отчисления во внебюджетные фонды	60
3.7.4 Накладные расходы	61
3.7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
3.8 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	62
3.8.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	62
3.8.2 Интегральный показатель эффективности разработки.....	63
3.9 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	65
4 Социальная ответственность	67
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
4.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	67
4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	68
4.2 Производственная безопасность	71

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	71
4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов	73
4.2.3 Микроклимат.....	73
4.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	75
4.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	76
4.2.6 Превышение уровня шума	78
4.2.7 Психофизиологические факторы	79
4.2.8 Поражение электрическим током	80
4.2.9 Пожарная и взрывная безопасность.....	82
4.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	85
4.4 Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	86
Conclusions	87
References	88

Introduction

Chlorine occurs naturally in the form of two stable isotopes ^{35}Cl and ^{37}Cl . The composition of the natural mixture of chlorine isotopes is: ^{35}Cl - 75.78%, ^{37}Cl - 24.22%.

Ionic compounds such as sodium chloride NaCl are solid and refractory because there are powerful forces of electrostatic attraction between the charges of their ions "+" and "-". A negatively charged chlorine ion attracts not only "its" Na^+ ion, but also other sodium ions around it. This leads to the fact that any of the ions interacts not with one ion with the opposite sign, but several. In fact, there are 6 sodium ions near each chlorine ion, and 6 chlorine ions near each sodium ion. This orderly packing of ions is called an ionic crystal. If a single chlorine atom is isolated in a crystal, then among the surrounding sodium atoms it is no longer possible to find the one with which chlorine reacted. Attracted to each other by electrostatic forces, ions are extremely reluctant to change their location [1].

Currently, developments are very actively underway to obtain isotope-modified materials. By changing the isotopic composition of a substance, it is possible to achieve significant improvements in the desired properties. The redistribution of isotopes can lead, for example, to a change in the thermal conductivity of the crystal. This effect can be used for semiconductor crystals, which in turn will increase the speed of electronic circuits

At the moment, there are many methods for separating almost all isotopes. However, the industrial production of isotope-modified materials is hampered by their high cost. Therefore, research on the search and development of more efficient methods for the separation of isotopes of various elements is relevant [2].

In nature, natural fractionation of chlorine isotopes is possible during the evaporation of a reservoir with salt water. In the quasi-equilibrium deposition regime, the ratio between Na^{35}Cl and Na^{37}Cl in the surface layer of the solid phase in direct contact with the solution is determined at each moment by the isotope separation coefficient. The inner space of the crystal with the solution of the

substance is not exchanged due to the extremely low rate of diffusion of ions in solid NaCl [3].

In the diffusion mode of deposition, a layer of the liquid phase with a thickness (diffusion layer) is formed at the surface, the transfer through which the precipitated ions occur in a time commensurate with the growth rate of crystals, but less than the time for establishing the equilibrium distribution. Since the volume of the phase in which the isotopic exchange occurs (surface + near-surface layer) is negligible compared to the volume of the mother liquor, the change in the isotopic composition of the solution when considering the precipitation of the next thin layer of the crystal can be neglected. The experimentally measured mobility ratio of $^{35}\text{Cl}^-$ and $^{37}\text{Cl}^-$ ions in sodium chloride solution at solution concentrations close to saturation is 1.0022. The thermodynamic isotopic effect, on the other hand, favors the concentration in the solid phase of the heavy isotope ^{37}Cl . Thus, the kinetic (diffusion) and thermodynamic effects in the precipitation of sodium chloride act in opposite directions, which leads to the extreme nature of the dependence of the differential isotope separation coefficient on the deposition rate. In reality, during the deposition of a salt layer, isotopic exchange at each moment of deposition does not occur throughout the thickness, but only on the surface of the formation, which must inevitably create variations in the isotopic composition in the salt layer depending on its depth.

Studies of the Master's thesis are related to the formation of crystals in a magnetic field and are aimed at the scientific substantiation of the possibility of obtaining isotope-modified crystals.

The purpose of the research is to experimentally determine the change in the isotopic effect in a constant magnetic field during the crystallization of NaCl from aqueous solutions.

This purpose will be achieved within the research of the following tasks:

Review of scientific and technical literature;

Experimental studies on changes in the distribution of the isotopic composition of chlorine in NaCl crystals formed from an aqueous solution when exposed to a constant magnetic field;

Analysis of the results, evaluation of the possibility of forming NaCl crystals with different isotope distributions, taking into account the occurrence of paramagnetic phenomena in an external magnetic field.

1 Review of scientific and technical literature

1.1 Formation of sodium chloride crystals from an aqueous solution

In 2021, Japanese scientists for the first time recorded on video the process of forming a sodium chloride crystal at the atomic level. It was based on the technology of electron microscopy in real time with atomic resolution. A lot of attention was paid to the preparation of samples - Japanese scientists designed a carbon frame with a thickness of one atom. It is needed to suppress molecular diffusion so that the atoms under study do not leave a given area. A solution of sodium chloride, edible salt, was placed inside the frame. The video, recorded at 25 frames per second, shows how a crystal lattice emerges from the liquid chaos. It has a size of four by six atoms and is not stable, because we are not yet a full-fledged crystal, but its embryo. A series of experiments in practice proved that the average time of crystal formation corresponds to the calculated one - 5.07 seconds.

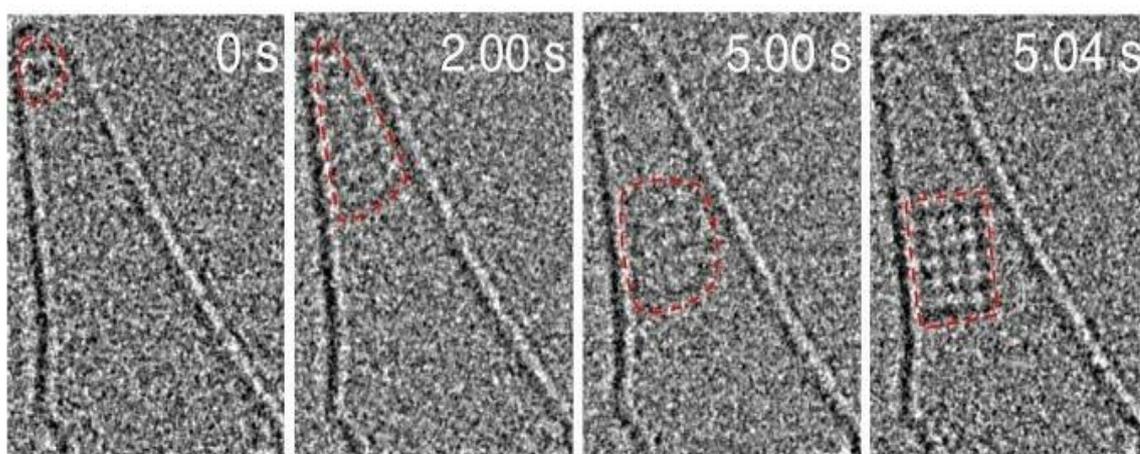


Figure 1 – The process of forming a crystal of sodium chloride, filmed by Japanese scientists using electron microscopy with atomic resolution (fragments from the video).

Scientists observed the process nine times. Each time, the molecules then gathered in a group, then disintegrated, and as a result, abruptly formed a crystal of four by six molecules. According to the authors, these intermediate states are radically different from the final crystals.

The scientists also drew attention to the fact that the rate of crystal formation has a normal distribution with an average time of 5.07 seconds. Such a result has

already been obtained in theoretical calculations, but for the first time it was possible to confirm it experimentally. The study showed that both the size of the group of molecules and the dynamics of its structure play a role in the formation of crystallization centers [4].

1.2 Methods of growing crystals from solutions

Crystallization from solutions is used in the cultivation of substances that decompose at temperatures below the melting point or have several polymorphic modifications. Crystal growth is carried out at temperatures below the melting point, so there are no defects in crystals grown by such methods, which are characteristic of crystals grown from a melt. When growing crystals from solutions, the driving force of the process is supersaturation, the level of which is characterized by the amount of hypothermia [5].

1.2.1 Crystallization by temperature changes

When growing crystals from low-temperature aqueous solutions, crystallization is carried out by changing the temperature of the solution, supersaturation is created by lowering the temperature in the zone of the growing crystal. This can be achieved either by gradually lowering the temperature in the entire volume of the mold, or by creating two zones with different temperatures in the mold.

When using temperature difference methods, two regions with different temperatures are created in the mold. In one of them, there is a dissolution of a substance that is always in excess in the form of a solid phase, in the other - crystal growth. The simplest option is a tall vessel, in the lower part of which the original substance is placed, and in the upper part the seed is suspended. As a result, convection of the solution occurs, which ensures a constant transfer of the substance from the bottom up to the growth zone [6].

1.2.2 Crystallization by concentration convection

Crystal cultivation is a complex and delicate process that requires certain knowledge and technologies. It is based on the creation of crystals from solutions, using methods that allow increasing the concentration of solute to values exceeding equilibrium by evaporation.

To achieve the desired results, it is necessary to use strictly isothermal conditions at a constant temperature. An important role in the process is played by the seed of the crystal, which regulates the process of crystal growth.

However, the process of growing crystals long lasting, it can take several weeks, since the crystallization is very slow. It is important to take into account technological features and to approach the process of growing crystals with high responsibility and attention to detail.

The process of crystal growth via crystallization is an important technology in the field of materials science and chemistry. To obtain crystals of the desired substance you need to add solvent to create a solution that increase the concentration of the substance at strict isothermal conditions. Thus, a seed crystal, which then regulates the process of growing crystals. The end result is obtaining crystals of a certain substance.

A prerequisite for the improvement of production in various industries is the use of clear crystals, which are used in particular in the semiconductor industry. The achievement of the desired quality when grown crystals includes many parameters such as temperature, concentration and evaporation rate of the solvent. This allows for the creation of the crystal structures of various compounds, which opens up opportunities for innovation in various fields of science and technology [7].

1.2.3 Crystallization by chemical reaction

In the process of chemical reactions can occur crystallization, where solid products stand out from the dissolved components. However, in order for the method of crystallization to be effective, the solubility of the crystal must be below

the solubility of the initial components. In chemical reactions in solution is a selection of small crystals, since the rate of reaction is high enough, and the glut is done quickly.

To limit the consumption, it is possible to limit the use of dissolved ingredients, or to adjust the date of receipt of the substances in the reaction zone. However, there are other factors that affect crystallization in chemical reactions. For example, crystallization may depend on the temperature of the solution. You can also use different methods of separation of the crystals from the solution, such as evaporation or centrifugation.

There are many examples where crystallization plays an important role in chemical processes, including the production of drugs, the synthesis of semiconductors and many other areas of science and technology. Therefore, the understanding of the crystallization processes in chemistry is important for a variety of research and development.

1.2.4 Crystallization by evaporation

One of the methods of crystallization, which is widely used in the chemical industry, is the crystallization by evaporation of the solvent. The essence of this method is to increase the solute concentration is the result of the gradual evaporation of the solvent to levels higher than the equilibrium. It is important to note that the process of crystallization must be carried out at a constant temperature and strictly isothermal conditions.

One of the key elements of a successful crystallization are the seed crystals play an important role in regulating the process of saturation of the solution. Seed crystals gradually grow, increasing its size and thereby adjusting the rate of supersaturation of the solution. Although this process may take several weeks, it is an effective and reliable method of obtaining high-quality crystals.

It is important to know that there are many methods of crystallization, in addition to crystallization by evaporation of the solvent. Each method can use different approaches to achieve supersaturation and crystal growth. However,

crystallization by evaporation of the solvent remains one of the most popular methods in many fields due to its undeniable advantages.

1.3 Foreign inclusions in the crystal

When growing crystals from low-temperature solutions, protogenetic inclusions are most common. Protogenetic (relict) inclusions are grains and crystals of earlier minerals that played the role of mechanical obstacles in the growth of the crystal, i.e. these are mechanical impurities. Sometimes they in the form of powders or "dust" sit on the faces of the crystal facing upwards, new particles grow on top of them - this is how "phantoms" are formed when zones of accumulations of foreign particles mark the zones of crystal growth. Each such "plaque" corresponds to a change in crystallization conditions. Due to their small size, these inclusions may not be visible to the naked eye [8].

Epigenetic inclusions occur when crystals formed at high temperatures turn out to be unstable when the temperature decreases and decay into different phases. Epigenetic inclusions are formed after the growth of the mineral, and in fact, have no genetic connection with it or physical effects. For crystals grown from low-temperature solutions, epigenetic inclusions are uncharacteristic.

Zero-dimensional or point defects include vacancies (unoccupied spaces in the crystal structure), any impurity particles (atoms, ions, molecules) located both in the nodes of the structure and in the internodes, as well as their own interstitial particles. These defects are caused by the thermal motion of atoms. The higher the temperature, the more such defects exist in the crystal.

Impurities with induced activity are solid particles that have been in contact with the crystallized substance and have retained it in their pores.

Impurities with natural activity are solid particles, the structure of which has a three-dimensional or two-dimensional similarity with the structure of a crystallizing substance [9].

The mechanism for capturing small gas bubbles is generally identical to the mechanism for capturing impurities with a distribution coefficient of less than one.

Serious morphological distortions of crystals, often leading to their destruction, occur when gas bubbles are accidentally captured by the outer surface of a growing crystal. Gas bubbles floating on the surface of the solution are brought by convection currents to the crystal, and after numerous collisions stick to its outer surface. Depending on where in the growing crystal and at what stage of growth the gas bubble sticks, three cases are possible.

1. Adhesion of gas bubbles to the smooth outer surface of the crystal (the space between the protruding "risks" - the rib shape of the faces). The gas bubbles are moistened with a thin film of solution at the interfacial boundary, remaining on the outer surface of the crystal. The adhesion of gas bubbles to the surface of the growing crystal does not lead to significant structural disturbances, except for localized surface defects.

2. Adhesion of gas bubbles to protruding risks at the stage of cylinder growth. In this case, gas bubbles are most likely to stick to protruding risks rather than to a smooth surface. When the crystal rotates, the gas bubbles adhering to the smooth surface slide along it and are captured by the protruding "risk", which, splitting into two branches, grows bypassing the gas bubble. In the space bounded by the growing branches of "risks", polycrystalline growth with geometric selection is observed. The "risks" branches gradually converge at the bottom of the crystal, from where the growth of the single crystal continues again. As a result of the competing growth between the main crystal and the individuals born at the base of the gas bubble, the main direction of the crystal survives.

3. Adhesion of gas bubbles to the protruding risks on the shoulder part of the crystal (stage of the straight cone of growth - exit to the diameter). The mechanism of defect formation in this case is generally identical to case 2, with the only difference being that under the conditions of the forming diameter of the crystal with an increase in supercooling, the nucleation and development of macroblocks covers the internal regions of the crystal. Ultimately, such a crystal turns out to be very tense and collapses along the boundaries of the blocks.

The number of gas bubbles in the volume of crystals increases with increasing pulling speed. However, in the case of the capture of gas bubbles by the outer surface, the opposite picture is observed: at the same rotational speeds, the relative number of gas bubbles on the surface of the crystal decreases with increasing pulling speed until they disappear completely [10].

1.4 Effect of magnetic field on crystal growth from aqueous solutions

The magnetic moment is an inherent property of an electron that has nothing to do with its movement in space. Previously, it was assumed that the magnetic moment is formed due to the rotation of an electron with an electric charge. However, in non-magnetic materials, the electron moments are compensated due to the random order of the direction of the electron spins, which leads to a zero magnetic moment. As a rule, when two electrons have their moments oriented in opposite directions, their effects must be compensated, because two equal in amplitude, but oppositely directed vectors are equally extinguished [11].

There are materials in which the electron moments are not compensated and magnetic regions are formed. Such regions have their own ultra-small stability zone, where atoms can form magnetic placements in the material. These materials are called ferromagnetic and are the basis for the creation of permanent magnets. In addition, the magnetic properties of materials are used in various fields, for example, in medicine, where the magnetic field is used to treat various diseases.

One of the most amazing properties of crystals - their ability to form magnets. This is due to the alignment of the magnetic moments of a large number of electrons in one direction. However, only a small percentage of crystal is magnetic, as this requires special conditions that are not always found in nature.

An interesting phenomenon are magnetic impurities, which may be in non-magnetic crystals. In this case, the magnetic ions retain their magnetic moment and are distributed throughout the crystal in a random way. This gives you the opportunity to use such materials in various applications, for example, in the manufacture of magnets for electronics [12].

If we consider impurities in metal crystals, we can note an interesting fact - they can affect the electrical resistivity of the material. When conducting electrons through such crystals, impurities with spin can interact and change the direction of their spin orientation - this process is called "spin flip". This phenomenon is used in modern electronics to create magnetic sensors and other devices [13].

One of the most interesting phenomena associated with temperature changes in metals is the Kondo effect, which is manifested in the increase of the spin inversion of scattering with decreasing temperature. Kondo temperature, which depends on the impurities and metal base, describes the characteristic temperature at which this effect becomes noticeable.

While the resistivity of metals increases at low temperatures, which is due to the fact that almost all of the metal atoms are in the form of magnetic impurities in copper or gold. Temperature Condo in different systems can range from 1000 K to a fraction of 1 K [14].

It is worth noting that in crystalline materials observed the influence of magnetic field on the kinetics of the crystallization process may be due to various factors. One of them is the reduction of the formation energy of the embryo caused by orienting the magnetic field. It is also possible structural changes in the initial phase, which are caused by exposure to a magnetic field.

In General, the Kondo effect and its relationship with the magnetic field is an important topic for research in the field of solid state physics and crystallography [9].

The structure of crystals formed in water solutions of salts, can significantly change under the influence of a magnetic field. The manifestation of this effect is explained by the change of hydration shells around the particles forming the crystal, as well as changes in the structure of the solutions [15].

An important role is played not only by the magnetic field itself, but also by its magnitude. It determines the frequencies of the resonances of the precession of the spins of atoms in solution and on the crystal growth surface. The temperature of the solution is also important, as it determines the frequency of collisions

between atoms and the surface. It is the difference between the frequencies of spin dynamics and collisions that can affect the rate of crystallization from aqueous solutions.

If there is a difference in the spin dynamics rate of two isotopes of the same element, the probability of the selected isotope settling on the crystal surface increases [16].

1.5 Methods for determining the isotopic composition

Today, the most common method for determining isotopic composition is mass spectrometry. In analytical chemistry, mass spectrometry has taken the place of an extremely fast, efficient and highly sensitive method for the quantitative simultaneous determination of many elements in a very large concentration range.

At the same time, from the initial moment of its appearance, the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma began to solve one of the most important analytical problems - measurement with high accuracy of the ratios of isotope concentrations of various elements in various objects of analysis.

The use of the mass spectrometry method for measuring isotopic ratios became possible due to the fairly good stability of the ion source (inductively coupled plasma) and the high efficiency of ionization of atoms of the elements in it, the satisfactory resolution of mass analyzers in the isotopic mass range, as well as the wide dynamic range, speed and accuracy of electronic equipment that registers ion currents [17].

When determining the content of the basic nuclide in isotope-enriched pure substances, a very high correctness of the analysis is necessary - at the level or better of hundredths of a percent (atomic or mass). Devices with a sector magnetic field ICP-SF-MS, providing a flat top of mass peaks and, accordingly, the possibility of a more accurate measurement of the intensity of the ion current, make it possible to determine isotopic ratios with a slightly lower error, even with sequential recording of the intensities of these peaks [18]. The effect of the instability of an ion source with an inductively coupled plasma, which impairs the

convergence and repeatability of isotopic measurements on single-collector devices (single collector) ICP-MS-SC, which measure the ion current of different isotopes only sequentially, can be significantly reduced by simultaneously measuring the signals of several isotopes (the corresponding number of ion receivers). The main sources of uncertainty in the measurement of isotopic ratios by mass spectrometry with inductively coupled plasma are shown in Fig.2.

1.5.1 Non-spectral interference

Non-spectral (physical) interference is generally related to the viscosity and surface tension of the sample under study, affecting the transportation of the sample through the automatic sampler probe, atomizer and spray chamber. In the sample injection system, the plasma is converted into an ion flux. Since ions have a positive charge, heavy ions repel lighter ions, causing mass-dependent matrix effects, affecting ions with less mass to a greater extent [19]. Due to the presence of the sample matrix, the analyte signal may be suppressed or amplified, resulting in incorrect analytical results. The comparison of matrixes of calibration standards and the use of internal standards are common methods of compensating for these types of interference.

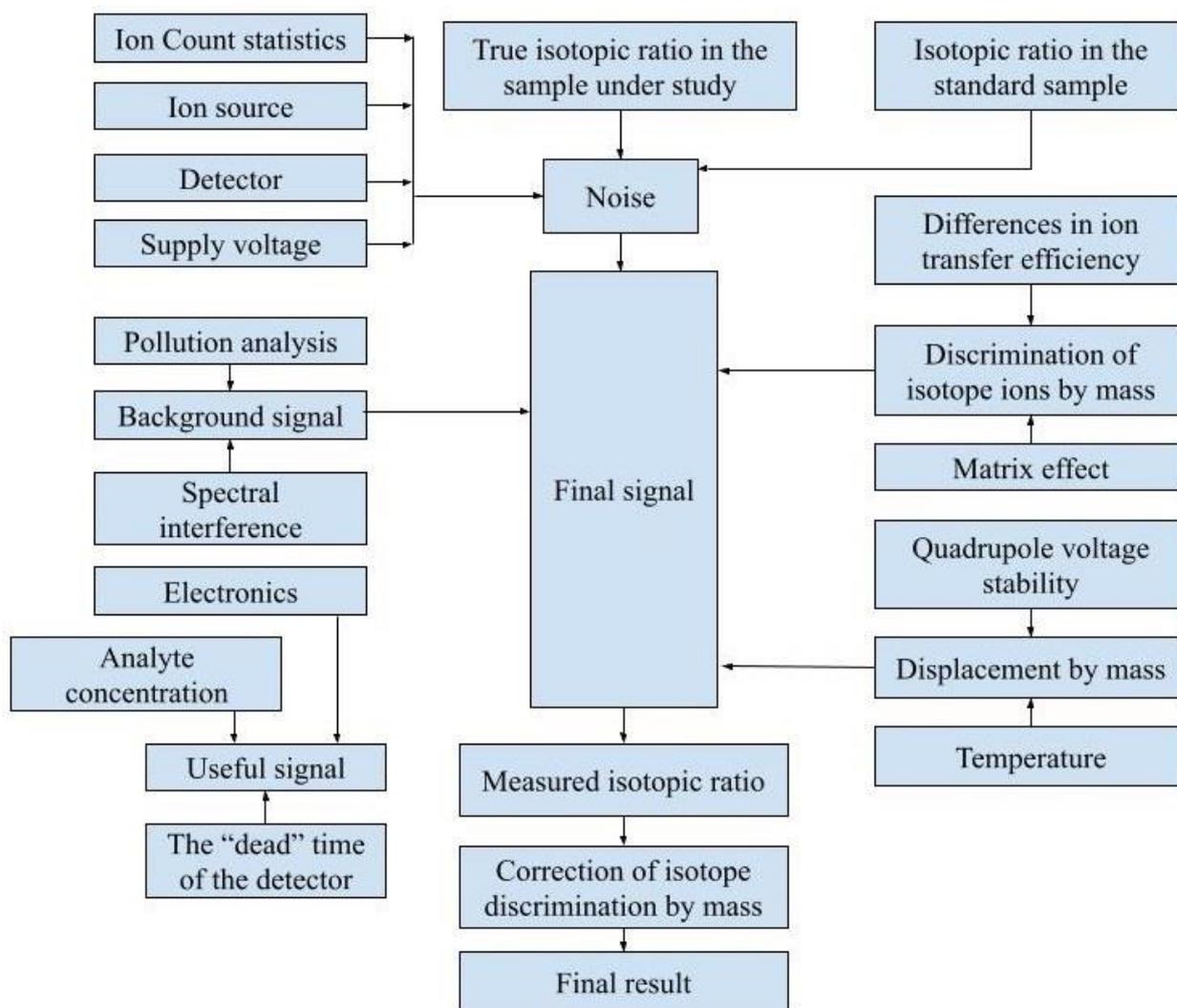


Figure 2 – Sources of errors manifested in the measurement of isotopic ratios by mass spectrometry with inductively coupled plasma

One of the analytical ways to compensate for the suppression or amplification of the analyte signal due to matrix effects is the use of internal standards. It is desirable that internal standards are not present in the samples, or at least present in very low concentrations.

The effects of the matrix due to plasma overload can be reduced by diluting the gas when an argon stream is injected into the neck of the spray chamber to dilute and dry the flow. This reduces the amount of matrix entering the plasma, reduces the level of oxides and provides more efficient ionization by increasing the stability of the plasma [20].

1.5.2 Spectral interference

Spectral interference, both isobaric and polyatomic, is caused by ionic particles having the same or very similar mass as the ions under study. Isobaric interferences occur when isotopes of more than one element with the same mass occur in the sample under study, or when a two-charged ion occurs at the same mass as the analyte. Polyatomic interferences occur when the elements present in the matrix combine with each other or with plasma gases to form molecular ions of the same mass as the analyte. However, the high accuracy and resolution of modern mass spectrometers make it possible to separate even very close masses.

The use of plasma-forming gas argon in the process of analysis on an inductively coupled plasma mass spectrometer imposes restrictions on the measurement of isotopes with masses close to argon and molecules formed when using argon [21].

1.5.3 Mass discrimination in mass spectrometry

Mass discrimination is expressed in the systematic deviation of the measured intensities of ionic currents of isotopes from their "true" values, depending on the ratio of mass to charge of ions m/z . Accordingly, when this effect is manifested, the measured isotopic concentrations of elements and the ratios of isotope concentrations (isotopic ratios) of individual elements deviate from their "true" values. In the case of positive single-charged ions, the discrimination of isotope ions depending on the ratio of the mass of ions to their charge implies a certain dependence of this indicator on the atomic mass of isotopes, i.e. discrimination by mass. The effect of mass discrimination arises from a number of physical phenomena occurring in mass spectrometry instruments of all types.

In the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma, mass discrimination, usually manifested in the preferential transfer of heavy ions, is a fundamental effect that limits the convergence, repeatability and correctness of measurements of isotopic ratios. Mass discrimination in ICP-MS instruments is

mainly an instrumental factor and can reach, for example, for isotopes of light elements, very large values - several percent of the isotopic ratio.

The magnitude of the effect of mass discrimination in isotopic analysis is usually determined using the mass discrimination factor (mass discrimination factor, "reduced isotopic ratio"),

$$B = R_{\text{measured}} / R_{\text{true}}, \quad (1)$$

i.e. the ratio of the experimentally measured isotopic ratio in the analyzed sample to its "true" (reference, standard, tabular, exact, known, support, fiducial) value.

According to modern concepts, the effect of mass discrimination in inductively coupled plasma mass spectrometers is due to a combination of various physical processes occurring in almost all the main units of ICP-MS instruments operating with a real sample or its components: in sample injection devices, inductively coupled plasma, interface, ion optics, mass analyzer and ion detector. In general, this process is manifested in the different efficiencies of the sample components entering the ion source and transporting ions of different masses at all successive stages of the transformation of the real sample - from the moment it enters the device to the ion detector. And also, to some extent, in the differing amplification of the current of ions of different masses of frequently used secondary electron multipliers.

Pneumatic spraying of the sample solution produces a fine aerosol, with the aerosol particles carrying a very significant positive or negative electric charge. This is most typical for polar liquids and significantly less for non-polar liquids. The charge of the particle depends on the number of positive and negative ions in the droplet at the time of its separation from the flow of liquid in the capillary of the atomizer, i.e. determined by random fluctuations in the concentration of ions in the liquid. Since aerosol particles have a large ratio of surface area to volume, even when they move through a sufficiently long spray chamber, rapid evaporation of liquid vapor (solvent) from the surface of the particles begins, which leads to a decrease in their size and an increase in the density of the electric charge. At a certain point, the mutual repulsion between the same charges (the mutual attraction

between opposite charges) becomes so great that it exceeds the surface tension forces of the liquid. In this case, the ions of the elements contained in the liquid solution begin to leave the aerosol particles simultaneously with the neutral molecules of the solvent. This process is called "ion evaporation". Ions of elements can evaporate both individually and in the form of clusters with solvent molecules. As a result of these processes, a redistribution of the number of ions of various elements in aerosol particles of different sizes, obtained by pneumatic spraying from solutions containing mixtures of ions, is observed.

The degree of redistribution of the number of ions in the aerosol critically depends on the size of the particles and varies from the ratio of the content of basic and impurity cations, as well as from the concentration and type of matrix ion. Since the spray chamber is designed to select only fine aerosol, this leads to a slight change in the elemental composition of the aerosol introduced into the discharge plasma compared to the composition of the initial solution (before spraying).

The initial isotopic composition of the sample components in the plasma sampling area (analytical zone) can be changed due to the preferential evaporation of lighter isotopes from dry aerosol particles (this is typical evaporation fractionation) or different isotope diffusion rates (transport kinetics) depending on their mass m . The critical selection radius of ions from the plasma by the interface, i.e. the distance from the sampler cone at which an ion having a certain mass is equally likely to diffuse back into the plasma or enter the interface, increases with decreasing mass of the ion. Thus, both of these phenomena can lead to better efficiency of selection from the plasma to the interface of heavier ions, which contributes to an increase in the effect of mass discrimination. Consequently, any changes in the operating mode of the device (power consumption, argon sample flow rate, sample feed rate) affect the isotopic composition of the elements in the analytical zone and the ion selection process at the interface, i.e. affect the magnitude of the mass discrimination effect.

Different plasma conditions, influencing the dynamic behavior of atoms and ions of the analyte in the plasma (including the kinetic energy and the distribution of the space charge of ions), uncontrollably change the total ion current entering the mass analyzer. In fact, this leads to a change in the magnitude of the effect of mass discrimination, thus making a certain contribution to the instrumental uncertainty of the results of measuring isotopic ratios by the ICP-MS method and reducing the accuracy of isotopic ratio measurements. The existence of closely spaced individual positive charges in the ion beam leads to their significant electrostatic repulsion among themselves, often called the "effect of space or volume charge", as well as Coulomb repulsion. Coulomb repulsion leads to the expansion of the ion beam, and on the periphery of the axis of the beam are predominantly the lightest ions, since they deviate from the axis of the beam to a greater extent than more heavy ions. The formation of a significant volume of positively charged particles occurs in all designs of ICP-MS instruments. It is because of the space charge effect that ions with a lower mass are scattered to a greater extent than heavier ions, which leads to a major contribution to the discrimination of ions of lighter isotopes by mass. Therefore, the magnitude of the effect of mass discrimination in the measurement of isotopic ratios depends on the type and concentration of matrix elements in the sample and the first ionization potentials of their atoms, which determines the concentration of ions produced in the plasma and, consequently, the total ionic current created by the ionized atoms of the sample components.

The physical processes occurring during the passage of an ion beam through the electrostatic focusing lenses of the input ion optics are also among the main factors determining the mass discrimination of isotope ions in ICP-MS instruments. When an ion beam carrying a large positive volume charge enters ion optics, the mutual repulsion of charged particles, as well as in the spatial region directly behind the skimmer, limits the total number of ions passing through a sufficiently extended ion-optical system, and leads to a decrease in the efficiency of the transfer of ions of light isotopes compared to heavier ones.

It is the influence of space charge, manifested at the interface, behind the interface, and in the input ion optics, that is the dominant reason for the increased transport efficiency of heavier ions in inductively coupled plasma mass spectrometers. However, the source of mass discrimination is also the different efficiency of ion transport with different energies in ion-optical mass spectrometer systems, tuned to the optimal transfer of ions with a certain energy. The initial kinetic energy of the ions and all other plasma particles is obtained in an ion source.

All plasma particles, including ions, are formed in an inductively coupled plasma with a certain spread in kinetic energy (distribution of particles in kinetic energy). However, due to the numerous collisions of these particles with each other, the movement of particles in dense plasma at atmospheric pressure occurs chaotically [22].

In ICP-MS instruments, the magnitude of mass discrimination can remain constant within 0.1 ‰ for the period of time required for a series of measurements to determine sufficiently small differences in isotopic composition between samples and standards. But, in general, the instrumental effect of mass discrimination in the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma is not constant and can drift in time. The temporary instability of this effect can be caused, first of all, by the drift of the plasma state, which changes the distribution of the density of ions in it, the conditions for the selection of the plasma flux into the interface, the energy of ions and the density of the bulk charge in the ion beam. Based on the foregoing, the main reasons for the temporary drift of mass discrimination include:

- inevitable changes: the composition of the matrix and the concentration of the analyte in the solutions under study;
- rate of supply of the solution;
- efficiency of spraying the solution;
- flow rate of carrier gas;
- consumed high-frequency power;

- vacuum level in various vacuum zones of the mass spectrometer;
- supply voltages of various components of ion optics;
- Mass analyzer settings [23].

However, it is necessary to take into account that changes in this effect over time for mass spectrometers with inductively coupled plasma occur in the general case rather slowly at the levels of stabilization of instrumental parameters achieved in modern ICP-MS instruments. Therefore, the magnitude of the effect of mass discrimination can be pre-measured and then used to adjust the measurement results. To take into account the time drift of isotope ion discrimination by mass, effective methods for measuring isotopic ratios have been proposed and used [24].

2 Experimental studies on the magnetic activation of the isotopic effect during the growth of NaCl crystals from an aqueous solution

2.1 Isotopic effect of crystallization in a magnetic field

Experimental studies are associated with two stages. At the first stage, NaCl crystals were grown from an aqueous solution. At the second stage, isotopic analysis was carried out using a mass spectrometer.

Crystallization begins when the degree of supersaturation of the solution of a certain critical value is exceeded. At first, the coarseness of the core is formed, and the condensations from which crystals grow. However, the growth of crystals leads to a decrease in the degree of supersaturation. Therefore, at first, the appearance of new condensation nuclei stops, and after a while the growth of crystals becomes impossible. Therefore, it is necessary to maintain the degree of supersaturation at a level sufficient for the growth of crystals, but insufficient for the appearance of condensation nuclei.

Have changed the conditions for the growth of single crystals with different isotopes of chlorine due to exposure to a weak constant magnetic field of different intensity. Under some (optimal) conditions, the isotopic effect should increase. The transition of NaCl molecules from solution to crystal is accompanied by the formation of covalent bonds. However, the formation of a covalent chemical bond, due to the preservation of the law of total spin, is possible only from the singlet state of the spins of unpaired electrons of interacting atoms. In a random collision, the state of the spin pair of colliding atoms is random. At the same time, singlet It corresponds to 25% of cases, and 75% to triplet.

When it collides with the surface of the crystal, the NaCl molecule loses kinetic energy and passes into a sorbed state. If, before the time of the appearance of a strong fluctuation of thermal energy at the point of contact, the conversion of the three-year state into a single state occurs, then NaCl forms a chemical bond and passes into a crystal. Under the opposite conditions, NaCl returns into the solution.

The above processes are described by the time equation for the triplet-singlet transition and the residence time in the sorbed state (Frenkel equation).

$$\Delta\nu = 1/t_{con} = \frac{\mu}{h} [g_1(H + a_1) - g_2(H + a_2)], \quad (2)$$

where μ is Bohr magneton; h is Planck's constant; g is g-factor; a is constant of ultrafine interaction; t_{con} is the time of triplet-singlet conversion.

$$t_{ad} = \tau_0 \exp(\Delta E_{ad}/kT) \quad (3)$$

where τ_0 is the period of oscillation of the atom; ΔE_{ad} is the adsorption energy; k is the Boltzmann constant; T is the temperature.

Schematically, the process of crystal growth, in accordance with the developed model, is shown in Fig. 3. The "A" atom immediately after adsorption is combined with the solid phase. The "B" atom cannot immediately, at the first contact, form a covalent bond. Therefore, the molecule can be cut off from the surface of the crystal by water molecules.

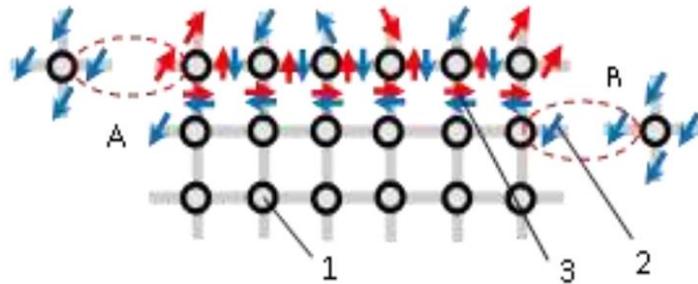


Figure 3 – Model of the crystal growth process

The condition for the manifestation of the magnetic isotopic effect during crystallization is the following condition. The triplet-singlet conversion time of the spin pair for one of the isotopes should be longer, and for the second - less than the contact time of the isotopes with the surface of the growing crystal. The first value depends on magnetic induction, and the second on the temperature that determines the viscosity of the solution. Therefore, the magnitude of the isotopic effect depends on the combination of temperature ranges and magnetic induction.

2.2 Obtaining samples of single crystals of NaCl

To study the isotopic effects of NaCl crystallization from an aqueous solution in a magnetic field, samples of crystals were obtained at the facility, the

diagram of which is shown in Fig. 4. A saturated aqueous solution of NaCl was poured into a large tank 1 mounted on the heater 3. The temperature of the heater 3 was set so that the temperature of the saturated solution stabilized at a value in the range of 17 °C-27 °C.

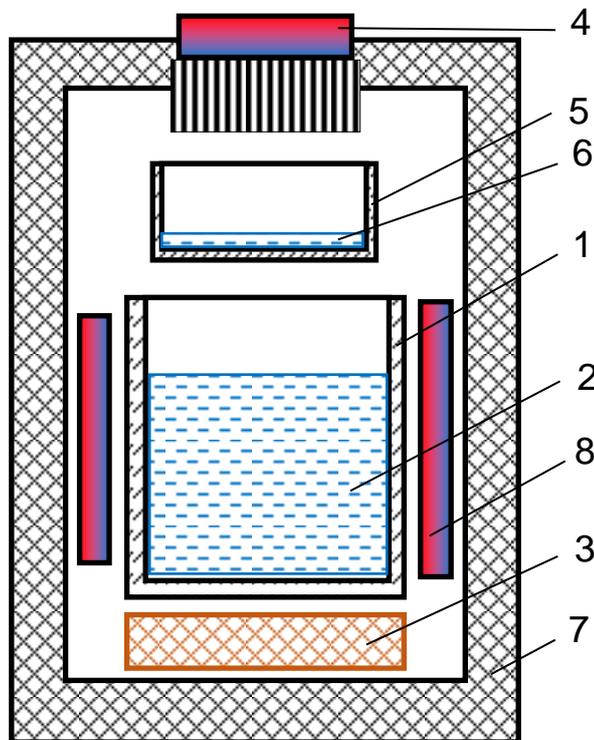


Figure 4 – 1NaCl crystals under the influence of a magnetic field. 1 - large tank, 2 - saturated solution, 3 - heater, 4 - Peltier element with radiator, 5 - small tank, 6 - distillate, 7 - thermally insulated box, 8 - permanent magnet.

A Peltier 4 element with a radiator was used to collect and condense water vapor evaporating from a large tank. As a result, condensation in the form of ice accumulated on the radiator. Every 10 minutes, the power to the Peltier element was turned off for 10 minutes, which led to the melting of condensate and the drainage of water into a small tank 5. As a result, the water from the large tank passed into the small tank. At the same time, a high degree of supersaturation of the solution is maintained in a large tank.

To form repeatable conditions, the listed nodes were placed in a thermally insulated box 7. This eliminated the influence of seasonal and diurnal changes in temperature. In this case, the radiator installed on the cold side of the Peltier

element was inside the thermally insulated box, and the cold side was outside the box.

Temperature control was carried out using thermocouples. Depending on the temperature, the relay turned on or off the supply voltage of the heater or Peltier element. This made it possible to stabilize the conditions.

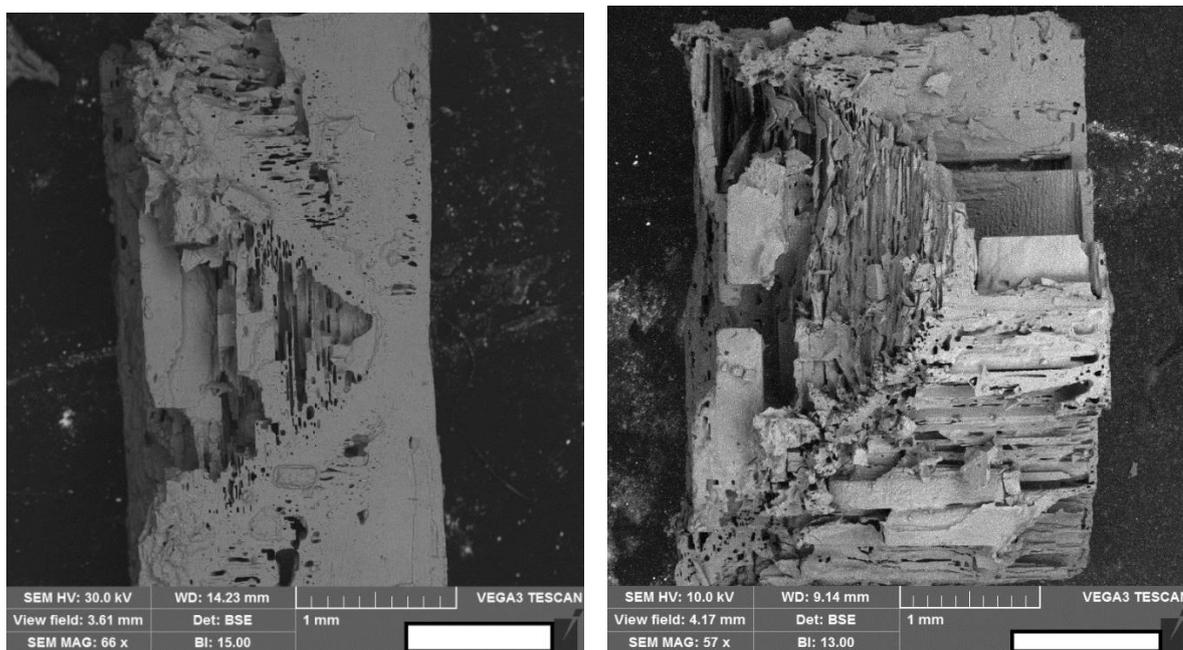
With a saturated solution volume of 0.5 liters, up to 40 ml of water evaporated in 48 hours. This led to the formation of cubic NaCl crystals up to 6 mm in size at the bottom of a large tank.

The NaCl crystals thus obtained were investigated to determine the isotopic composition of chlorine. As a rule, when crystallizing from aqueous solutions, the crystals are enriched with a heavy isotope.

2.3 Investigation of the structure of NaCl crystals using scanning electron microscopy

NaCl single crystals were studied on the TESCAN VEGA 3 electron scanning microscope. To do this, the studied samples were split approximately in the middle of the crystal along the vertical plane. The prepared samples were placed on the stage of the device in such a way that the breakdown of the crystal was examined. After the vacuum set, the necessary device settings were made and pictures of the samples under study were taken. The pictures are shown in Fig.5.

The obtained images show that single crystals are spatially inhomogeneous. The presence of cavities or internal cavities is clearly visible. Perhaps this is due to the fact that a high crystallization rate was observed, leading to the appearance of additional condensation nuclei on the surface of the growing crystal. Subsequently, additional crystals closed, forming pores with the saturated NaCl solution contained in them.



a

b

Figure 5 – Enlarged ($\times 66$) images of the surface of two single crystals of NaCl.

a - $\times 66$, b - $\times 57$

2.4 Measurement of the isotopic composition of chlorine using the Element inductively coupled plasma mass spectrometer

The determination of the isotopic composition of chlorine was carried out on an inductively coupled plasma mass spectrometer Element. The general scheme of the mass spectrometer is shown in Fig. 6. The device is equipped with a combined analyzer, inductively coupled plasma is used to inject the sample.

Initially, mass spectra of sodium chloride of the natural composition of the isotopic composition of chlorine were obtained once. Subsequently, seven samples of single crystals of sodium chloride (№ 6-1; 6-2; 6-3; 7-1; 7-2; 7-3; 7-5) grown from a solution in a permanent magnetic field with induction varying in the volume of the sample in the range of 10-25 mT.

Sample 7-3 was obtained by layer-by-layer dissolution and corresponded to the external part of the crystal. To do this, the single crystal was placed in a plastic funnel, washed with deionized water until about half of the crystal was dissolved. Evaluation of the dissolution of the required area of the sample was carried out

visually. After dissolving about half of the crystal, the resulting solution poured into another tube, designate mine as sample 7-3. The remainder of the crystal (inner layer) was completely dissolved and was designated as sample 7-4. The remaining crystals were completely dissolved in deionized bath water. The resulting solutions were diluted to a concentration of 1400 ppb.

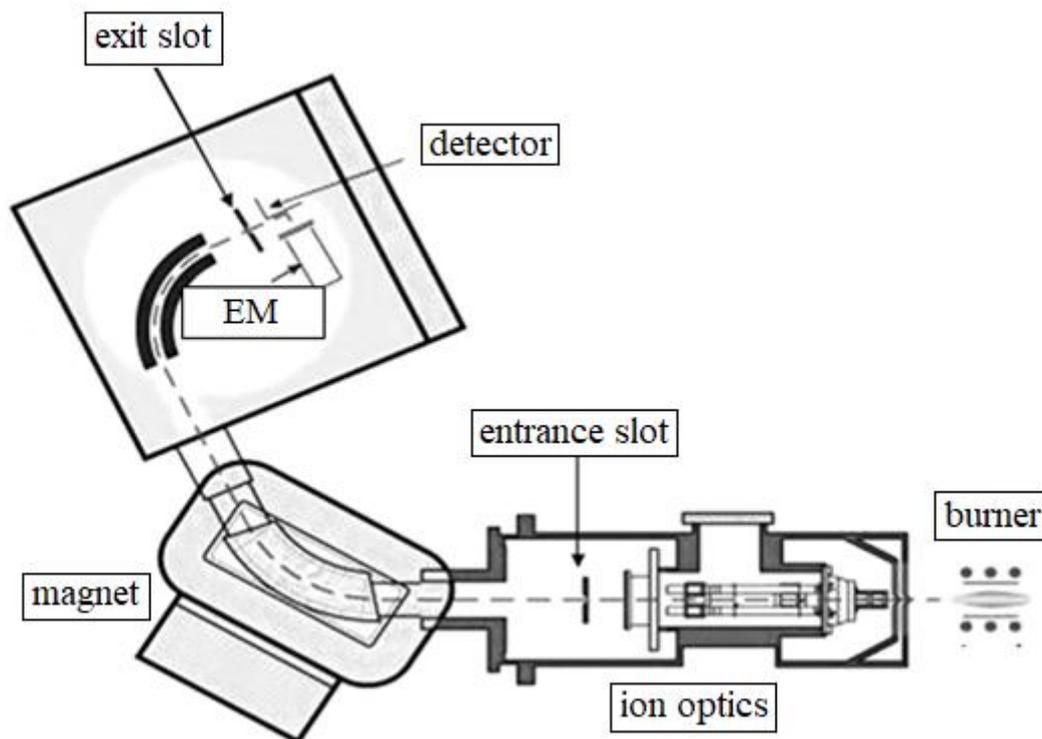


Figure 6 – Generalized diagram of the Element mass spectrometer

Mass spectra were recorded at a resolution of $R = 10000$. On all samples studied, the resolution of the mass spectrometer was the same. To take into account the "memory effect" of the mass spectrometer, the mass spectrum of deionized water, which was used in the preparation of solutions for the study, was recorded. Subsequently, the intensities at 37 and 35 masses of the idle experiment were subtracted from the intensities 35 and 37 of the masses of the studied samples. This made it possible to take into account both the effect of chlorine introduced into the sample along with deionized water and contamination of the mass spectrometer.

The mass spectrum of the salt of the natural isotopic composition of chlorine was also used to estimate the effect of mass discrimination.

In the mass spectrometer, argon was used as a plasma-forming gas that converts the sample into the gas phase. At the same time, it is possible to form various excimers in the ion source of the mass spectrometer, for example, ArH. The section of the mass spectrum in the region of 37 Da shows, shown in Figure 7, that the lines ^{37}Cl and $^{36}\text{Ar}^1\text{H}$ are well resolved. Therefore, even against the background of a line that exceeds the intensity by several orders of magnitude, the registration of the intensity of the line ^{37}Cl is not a problem. In the region of the peak of the light isotope of chlorine, shown in Figure 8, no interfering lines are observed.

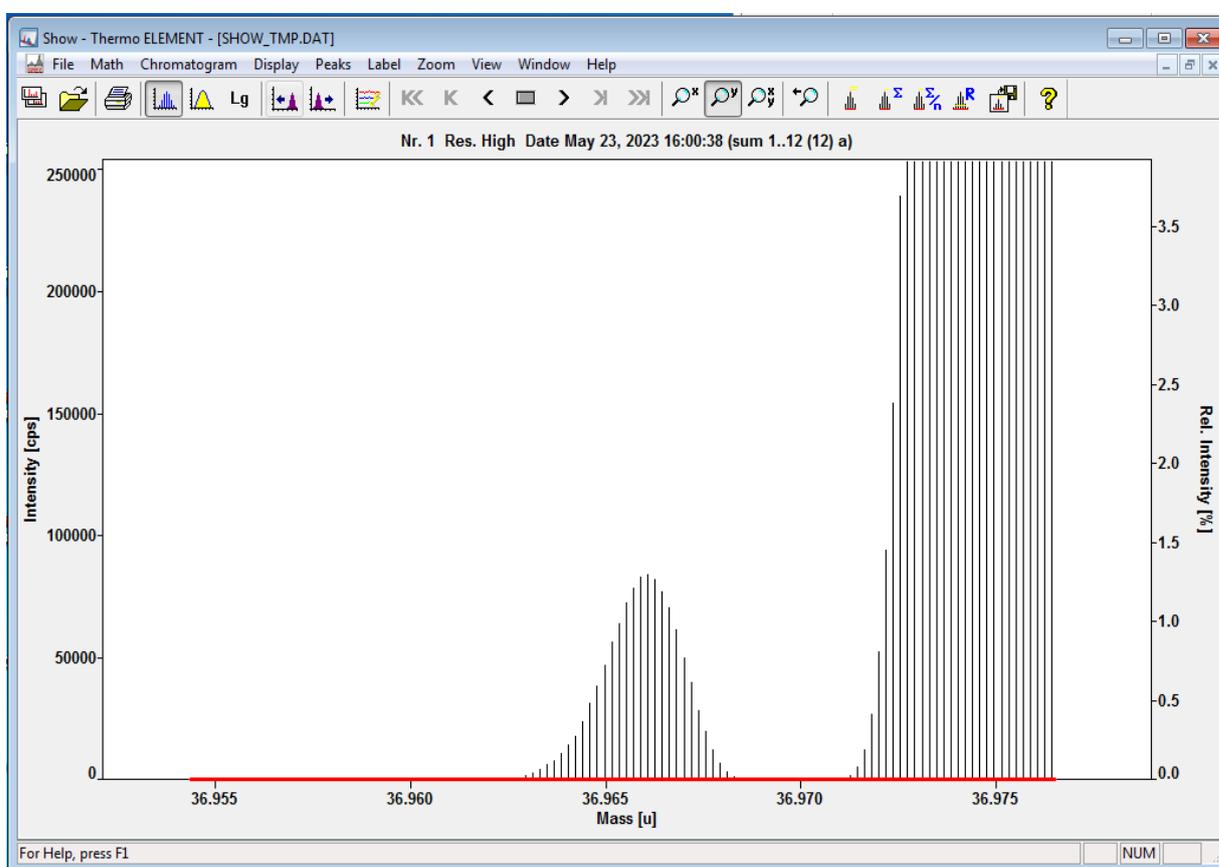


Figure 7 – Position of peaks ^{37}Cl (left) and $^{37}\text{Ar}^1\text{H}$ (right) in the NaCl mass spectrum

In fig. 8 shows the shape of the line recorded in the region of the mass spectrum 35 Da. This peak corresponds to a light isotope of chlorine. And the images of the plots of the recorded mass-spectra are presented in Fig. 8 and Fig. 9, confirm the absence of spectral overlays on the studied isotopes ^{35}Cl and ^{37}Cl .

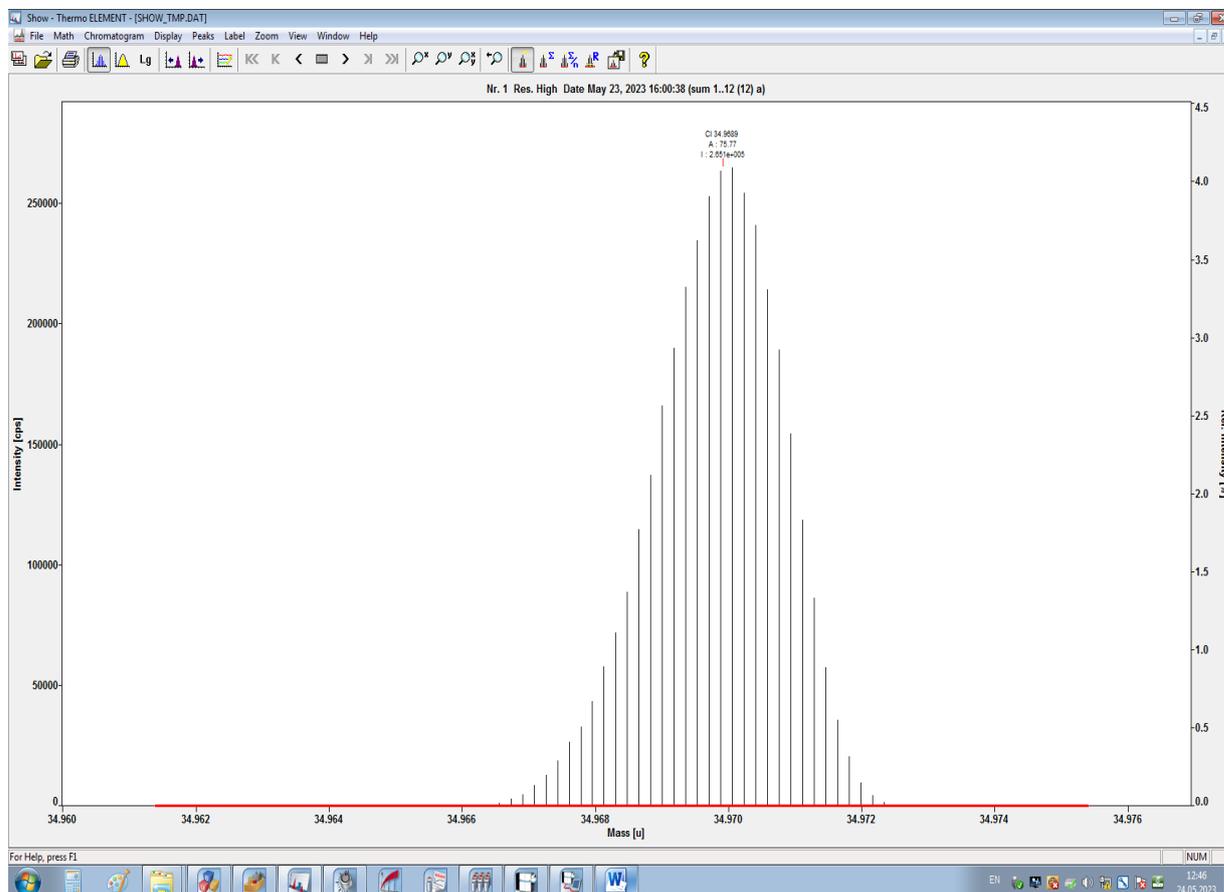


Figure 8 – View of the peak of the isotope ^{35}Cl in the mass spectrum of NaCl

The parameters of the mass spectrum provided by the device in the analysis of NaCl with the natural content of chlorine isotopes are presented in fig.9.

Isotope	Intensity AVG [cps]	Intensity RSD [%]	Blank Int. AVG [cps]	Blank Int. RSD [%]	Intensity B cor AVG [cps]	Intensity B cor RSD [%]	Atom% AVG	Atom% RSD	Ratio AVG
³⁵ Cl(HR)	206491.3	1.80	33712.7	3.87	172778.7	2.15	74.8613	0.42	
³⁷ Cl(HR)	68993.1	0.75	10983.6	1.37	58009.5	0.90	25.1387	1.24	
³⁷ Cl/ ³⁵ Cl(HR)			0.0	not def.					0.3358

Figure 9 - Results of measuring the isotopic composition of a sample with a natural isotopic composition of chlorine.

- 1 – signal intensity in the study of the sample, CPS; 2 - deviation of the received signal, in %; 3 - the intensity of the idle experiment (the solvent used in the preparation of the solution of the desired concentration) is subtracted from claim 1; 4 - deviation of the received signal claim 3, in%; 5 - the intensity of claim 1 minus the intensity of claim 3 (elimination of the effect of the solvent); 6 – deviation of the received signal in claim 5, in %; 7 – atomic fractions of isotopes, %; 8 - deviation of clause 7.

The natural composition of chlorine isotopes, according to reference data, is 24.22% for ³⁷Cl (At37) and 74.78% for ³⁵Cl (At35). To recalculate the results obtained, taking into account the influence of mass discrimination, the ratio $R = At37/At35$ was calculated at the beginning 35 for the natural composition of chlorine isotopes, according to reference data, and for the natural composition of chlorine isotopes according to the results obtained in the analysis of the sample. Next, the coefficient of discrimination was calculated:

$$B = R_{Estimated} / R_{Measured} \quad (4)$$

The calculated coefficient of discrimination was used to recalculate the measured atomic fractions of chlorine isotopes according to the following system of equations:

$$\begin{cases} \frac{{}^{37}At}{{}^{35}At} = R \cdot B \\ {}^{35}At + {}^{37}At = 100 \end{cases} \quad (5)$$

Having solved the system of equations, we get:

$$^{35}\text{At}=100/(\text{B}\cdot\text{R}+1), \quad (6)$$

where ^{37}At and ^{35}At are the atomic fractions of ^{37}Cl and ^{35}Cl , respectively, taking into account mass discrimination; R is the ratio of the measured atomic fractions $^{37}\text{At}/^{35}\text{At}$ of the corresponding samples, B is the coefficient of discrimination. The results of the calculations are presented in Table 1.

Table 1 – Calculation of the coefficient of mass discrimination (natural mixture)

	Atomic fractions of isotopes		Ratio $^{37}\text{At}/^{35}\text{At}$	Coeff. Discrimination $\text{B}=\text{R}_{\text{table}}/\text{R}_{\text{meas}}$	Atomic fractions of isotopes, taking into account mass discrimination	
	^{35}At	^{37}At	R	B	At35	At37
table	75,78	24,22	0,3196			
measured	74,8613	25,1387	0,3358	0,9518	75,78	24,22

The isotopic composition of the studied samples was recalculated taking into account the effect of mass discrimination and is presented in Table 2.

Table 2 – Isotopic composition of chlorine in the studied samples, taking into account the mass discrimination coefficient

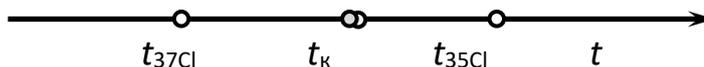
№ sample	Atomic fractions Isotopes		ratio $^{37}\text{At}/^{35}\text{At}$	Coeff. Discrimination $\text{B}=\text{R}_{\text{table}}/\text{R}_{\text{meas}}$	Atomic fractions of isotopes, taking into account mass discrimination	
	At*35	At*37	R	B	At35	At37
6-1	74,7544	25,2456	0,3377	0,9518	75,68	24,32
6-2	74,5345	25,4655	0,3417	0,9518	75,46	24,54
6-3	74,7123	25,2877	0,3385	0,9518	75,63	24,37
7-1	75,0847	24,9153	0,3318	0,9518	76,00	24,00
7-2	74,2413	25,7587	0,3470	0,9518	75,18	24,82
7-3	74,9849	25,0151	0,3336	0,9518	75,90	24,10
7-4	74,933	25,067	0,3345	0,9518	75,85	24,15
7-5	74,6763	25,3237	0,3391	0,9518	75,60	24,40

Consideration of the data given in Table 2 does not show the presence of large isotopic effects characteristic of magnetic phenomena. In this case, the

isotopic composition differs from the natural one. For example, the content of ^{37}Cl isotopes of chlorine can be either greater or less than the natural value by arbitrary values. Therefore, undoubtedly, this is the result of the action of a constant weak magnetic field on the process of formation of covalent bonds at crystal growth.

The first possible reason for the smallness of isotopic effects is non-optimal conditions for growing crystals. This leads to the formation of large cavities in the crystal. In this case, the residual solution contained in them leads to the equalization of the concentration of isotopes on the surface of the cavern. It should also be noted that a non-optimal magnitude of the magnetic field was used, leading to a minimum magnitude of the magnetic isotopic effect.

The nuclear spin of both stable isotopes of chlorine has a value of $3/2$. Therefore, the magnetic isotope effect is completely determined by the difference in the g -factors of the isotopes. It is known that g -factors are: ^{35}Cl - 168 mT; ^{37}Cl - 140 mT. Therefore, the magnetic field acts on the isotopes of chlorine in the opposite direction relative to the mass isotopic effect. Therefore, in some cases, there is a depletion of the heavy isotope of chlorine. Let us compare the times of sedentary existence and triplet-singlet conversion of chlorine isotopes in the diagram. The ratio of times for an ideal combination of conditions is given in the diagram, where t_k is the time of contact of the isotope with the surface of the crystal, $t_{^{35}\text{Cl}}$ and $t_{^{37}\text{Cl}}$ are the times of triplet-singlet conversion taking into account g -factors. It can be seen that the greatest isotopic effect can be achieved by enrichment in the isotope ^{35}Cl . Only in this case it is possible to use the magnetic isotopic effect.



In the future, it is necessary to search for optimal values of the crystal growth rate and the magnitude of the magnetic field.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Арыштаеву Алексею Михайловичу

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение ядерно-топливного цикла
Уровень образования	Магистратура	Направление / специальность	14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта – не более 150000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 100000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,0 баллов.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Согласно налоговому законодательству РФ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика). Если значение $B_{\text{сум}}$ (суммарное количество баллов по каждому направлению) получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	График строится в виде таблицы за период времени выполнения научного проекта. При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета планируемые затраты группируются по статьям. Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. Показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения. Ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.</i>
--	--

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Оценка степени готовности проекта к коммерциализации 3. График проведения и бюджет НИИ 4. Диаграмма Ганта 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Арыштаев Алексей Михайлович		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ. Предпроектный анализ

Данная работа направлена на изучение изотопных эффектов кристаллизации NaCl из водного раствора в магнитном поле. Исследования направлены на разработку метода формирования изотопно-модифицированных материалов. Перераспределение стабильных изотопов приведет к изменению некоторых физико-химических свойств кристалла NaCl, например теплопроводности. Данный эффект может быть применен в полупроводниковой технике. Также, работа направлена на изучение возможности перераспределения изотопов при помощи магнитного поля.

В природной смеси существуют 2 стабильных изотопов хлора: с массовым числом 35 и 37, концентрации которых соответственно равны 75,78 % и 24,22 %.

3.2 Анализ потенциальных потребителей и конкурентных технических решений

На данный момент данных о получении модифицированных по изотопам кристаллов NaCl нет. Есть данные о разделении изотопов хлора термодиффузией в жидкой фазе. Данный метод не является конкурентным, т.к. в этом методе изотопы хлора получают в виде CCl₄.

Потенциальным потребителем изотопно-модифицированных кристаллов NaCl могут являться производители полупроводников. Потребность и рыночную цену продукта сложно определить без детального изучения физико-химических свойств изотопно-модифицированных кристаллов NaCl. Большую ценность работы представляет разработка методики разделения изотопов с помощью магнитного поля, которая может быть применена для разделения изотопов других элементов.

Анализ конкурентных технических решений приведен в табл. 3. Значение B_{ϕ} – эффективность разрабатываемой технологии (в баллах) по сравнению с $B_{к1}$ - эффективностью аналогов (используемых в настоящее время материалов для производства полупроводниковой техники).

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Улучшение технических характеристик	0,2	5	4	1	0,8
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	3	0,25	0,15
3. Доступность исходного сырья	0,1	5	3	0,5	0,3
4. Энергоэкономичность	0,05	4	4	0,2	0,2
5. Надежность	0,2	3	3	0,6	0,6
6. Безопасность	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Потенциал для дальнейшего развития	0,1	4	4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,05	5	4	0,25	0,2
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	3	0,3	0,3
3. Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	0,25	0,25
4. Заинтересованность иностранных потребителей	0,05	5	3	0,25	0,15
Итого	1	49	41	4,25	3,6

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot B_i \quad (7)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки (K_{ϕ}) или конкурента ($K_{к1}$); B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать доступность исходного сырья (хлорид натрия), его уникальные характеристики, цена, безопасность.

3.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле [25, 26]:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (8)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i - балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направления ее дальнейшего улучшения, об уровне компетенций недостающих разработчику и возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

Таблица 4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научнотехнического задела для представления на рынок	5	5
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	62	63

Значение $B_{\text{сум}}$ получилось больше 60, такая разработка считается перспективной.

3.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. *Инжиниринг*, как самостоятельный вид коммерческих операций, предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. *Организация собственного предприятия*.

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Из перечисленных методов коммерциализации более подходит метод № 3– инжиниринг. Этот метод будет более удобен, т.к. получаемый продукт нуждается в дальнейшем изучении и доработке. Также объемы производства, по крайней мере на первое время, будут не большими. Поэтому не целесообразно организовывать отдельное производство. Предоставление правом использования исследования другим лицам нежелательно, т.к. разработанная методика может быть применена и в других областях производства и имеет хорошие перспективы дальнейшего развития.

3.5 Разработка устава научно-технического проекта и инициация проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 5 и табл.6).

Таблица 5 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Мышкин В.Ф., ТПУ, профессор ОЯТЦ	руководитель	руководство
2	Арыштаев А.М., магистр	дипломник	исследования

Таблица 6 – Перечень категорий, этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Контрольные события	Должность исполнителя
Разработка ТЗ на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и подбор литературы о влиянии магнитного поля на перераспределение изотопов хлора.	дипломник
	3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка экспериментальной установки и методики для исследования изменения изотопного эффекта при кристаллизации в из водного раствора магнитном поле	руководитель, дипломник
	6	Экспериментальные исследования влияния магнитного поля на изотопный состав.	руководитель, дипломник
	7	Анализ и обработка результатов масспектрометрического анализа	дипломник
	8	Оценка оптимальных условий для формирования кристаллов с разным изотопным составом в магнитном поле	руководитель, дипломник
Обобщение и оценка результатов	9	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность	дипломник
	10	Подготовка к защите диссертации	дипломник

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	100000
Источник финансирования	Инвестиции
Сроки проекта:	2023 год
Дата утверждения плана управления проектом	март 2023г.
Дата завершения проекта	июнь 2023г.

3.6 Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что дипломник выступает в качестве основного исполнителя. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [27]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (9)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [27]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (10)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округлены до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365-52-14} = 1,22$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 8. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 8 – Временные показатели

Этап	t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	Исполнители	$T_{\text{р, раб.дн.}}$	$T_{\text{к, кал.дн}}$
1	2	3	2,4	руководитель	2,4	4
2	6	9	7,2	дипломник	7,2	11
3	7	10	8,2	дипломник	8,2	12
4	3	5	3,8	дипломник	3,8	6
5	12	15	13,2	руководитель, дипломник	6,6	10
6	14	18	15,6	руководитель, дипломник	7,8	12
7	6	9	7,2	дипломник	7,2	11
8	7	10	8,2	руководитель, дипломник	4,1	6
9	11	14	12,2	дипломник	12,2	18
10	8	11	9,2	дипломник	9,2	14
Итого			87,2		68,7	104

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Работы на графике выделены различным цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Диаграмма Ганта (черный цвет – руководитель, синий цвет – дипломник)

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение задания	НР	4				■										
2	Изучение проблемы и подбор литературы о влиянии магнитного поля на рост кристаллов из водных растворов	НР, Д	11					■									
3	Изучение литературы, выбор методов решения проблем	Д	12					■	■								
4	Календарное планирование работ по теме	Д	6							■							
5	Разработка экспериментальной установки и методики для исследования изменения изотопного эффекта при кристаллизации водного раствора в магнитном поле	НР, Д	10								■	■					
6	Экспериментальные исследования влияния магнитного поля на структуру кристаллов	НР, Д	12								■	■					
7	Анализ и обработка результатов масс-спектрометрического анализа	Д	11										■				
8	Оценка оптимальных условий для формирования кристаллов с разным изотопным составом в магнитном поле	НР, Д	6										■	■			
9	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность	Д	18												■	■	
10	Подготовка к защите диссертации	Д	14													■	■

3.7 Бюджет научно-технического исследования

Исследования проводятся по месту работы, а именно на ФГУП ГХК, расположенном на территории ЗАТО. Некоторые данные, касающиеся деятельности комбината, относятся к государственной тайне. По этой причине расчет стоимости материальных затрат на проведение исследования производится по средним ценам действующих прейскурантов компаний, оказывающих аналогичные услуги. Результаты по данной статье заносятся в табл. 10.

Таблица 10 – Стоимость анализов

Наименование	Кол-во	Цена за анализ, руб.	Сумма, руб.
Сканирующая микроскопия	2	8500	17000
Изотопный анализ	8	2000	16000
Итого			33000

3.7.1 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает в себя затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в выполнении НИР (включая премии, доплаты), и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (11)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основную заработную плату можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (12)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.; $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (13)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; $F_{\text{д}}$ – расчетный годовой фонд рабочего времени персонала (в рабочих днях), представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
- отпуск	56	48
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Месячный должностной оклад руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot \kappa_{\text{р}} = 36800 \cdot 1,3 = 47840 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата по квалификационной группе, руб. (для профессора $Z_{\text{мс}}$ составляет 36800 руб); $\kappa_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

На примере расчета основной заработной платы руководителя, проводим расчеты для дипломника, затем сводим все результаты в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} ,руб.	К _р	З _м ,руб	З _{дн} ,руб.	Т _{раб} раб.дн.	З _{осн} ,руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	2278	8	18224
Дипломник	8153	1,3	10598	505	60,7	30653
Итого З _{осн} , руб.						48877

3.7.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (14)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,13$); $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

$$Z_{\text{доп}} = 0,13 \cdot 48877 = 6354,$$

3.7.3 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным нормам от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1%. $Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (48877 + 6354) = 14968 \text{ руб}$

3.7.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей 1-6}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 103199 \cdot 0,16 = 16512 \text{ руб.}$$

3.7.5 Формирование бюджета затрат научно- исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Стоимость анализов	33000	Пункт 3.2.
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	48877	Пункт 3.3.
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6354	Пункт 3.4.
Затраты на отчисления вовнебюджетные фонды	14968	Пункт 3.5
Накладные расходы	16512	Пункт 3.6.
Бюджет затрат НТИ	119711	Сумма

3.8 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

3.8.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^P = \Phi_{pi} / \Phi_{max}, \quad (17)$$

где I^P - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^P = 0,8.$$

В качестве аналога была выбрана усредненная характеристика материалов, которые на данный момент используются при изготовлении полупроводниковой техники.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum a \cdot b, \quad (18)$$

где a –весовой коэффициент, b –бальная оценка параметра.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

категории	весовой коэффициент	проект	аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	2
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3
4. Энергосбережение	0,20	4	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	3
ИТОГО	1	4,3	3,4

$$I_{\text{ТП}}=4\cdot 0,1+4\cdot 0,15+5\cdot 0,15+4\cdot 0,2+4\cdot 0,25+5\cdot 0,15=4,3$$

$$\text{Аналог} =4\cdot 0,1+2\cdot 0,15+3\cdot 0,15+4\cdot 0,2+4\cdot 0,25+3\cdot 0,15=3,4$$

3.8.2 Интегральный показатель эффективности разработки

$$I_{\text{фин}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; \quad (19)$$

$$I_{\text{фин}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}. \quad (20)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. В качестве аналога была выбрана усредненная характеристика материалов, которые на данный момент используются при изготовлении полупроводниковой техники. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_{\phi}^a}. \quad (21)$$

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,4	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	3,4	5,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,63	1,6

Из таблицы №15 можно сделать вывод, что с позиции финансовой и ресурсной эффективности разработанный вариант исполнения технической задачи эффективнее аналогового.

Работа была направлена на экспериментальное определение изменения изотопного эффекта в магнитном поле при кристаллизации NaCl из водных растворов. В ходе данной работы были изучены и определены наиболее эффективные способы выращивания кристаллов из водных растворов во внешнем периодическом магнитном поле, которые способствуют формированию микрокристаллов NaCl обогащенных по разным изотопам, а это, в свою очередь, позволит уменьшить себестоимость материалов с заданным изотопным составом. Сам процесс формирования достаточно прост и доступен, что делает его наименее затратным с экономической точки зрения.

В ходе выполнения данной дипломной работы был составлен календарный план по НИР, рассчитана смета затрат на НИР, общая сумма затрат на НИР. Произведена оценка научно-технического эффекта НИР.

3.9 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Анализ конкурентных технических решений показал, что на данный момент данных о получении модифицированных по изотопам кристаллов NaCl нет. В следствии чего конкурентов в производстве обогащенного хлора способом кристаллизации NaCl нет. Приведены потенциальные потребители.

2. Проведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. Реализация проекта в первом исполнении более эффективна.

3. Бюджет исследования составил 119711 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Арыштаеву Алексею Михайловичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление / специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой. Область применения: атомная промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия по допуску к работе с газовыми баллонами.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020); – Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 г. № 536
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – баллоны под давлением; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; – опасность поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание типичной ЧС - пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Арыштаев А.М.		

4 Социальная ответственность

В рамках выполнения выпускной квалифицированной работы проводились исследования снимков сделанных с помощью масс-спектрометра «Thermo Scientific Element» на персональном компьютере в аудитории № 316 учебного корпуса № 10 на ПК личного пользования.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, каждый работник имеет право на:

- 1) рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- 2) обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- 3) получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- 4) отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- 5) обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- 6) обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

7) личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

8) внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

9) гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником [28].

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как изображено на рисунке 10 [29].

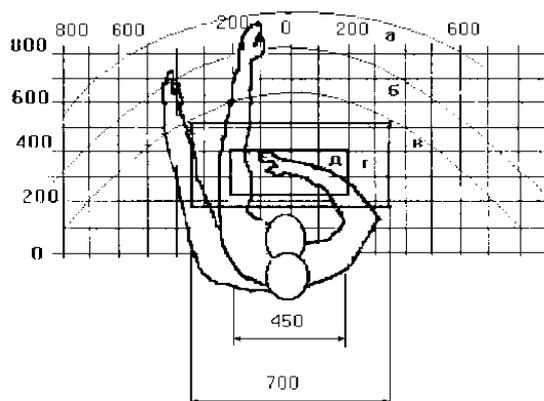


Рисунок 10 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

- а - зона максимальной досягаемости рук;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;
- г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- 1) дисплей размещается в зоне «а» (в центре);
- 2) клавиатура - в зоне «г» и «д»;
- 3) системный блок размещается в зоне «б» (слева);
- 4) принтер находится в зоне «а» (справа);
- 5) литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони – «в» (слева);
- б) в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

Требования к оснащению рабочего места приведены в таблице 16 [29].

Таблица 16 – Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

Монитор должен располагаться на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [29].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора [29]:

- 1) по высоте +3 см;
- 2) наклон относительно вертикали 10-20 градусов;
- 3) в левом и правом направлениях.

Клавиатуру должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Конструкция клавиши должна обеспечивать

оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки, которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [29].

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Группы производственных условий, характеризующиеся наличием опасных и вредных факторов:

- 1) физические;
- 2) химические;
- 3) психофизиологические;
- 4) биологические.

Опасные и вредные факторы, воздействующие на персонал при работе с ПЭВМ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [30]
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [31]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [32]
4. Превышение уровня шума	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [33]
5. Психофизиологические факторы	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [34]
6. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [35]
7. Пожаровзрывоопасность	ГОСТ 12.1.044-2018 ССБТ Пожаровзрывоопасность веществ и материалов [36]

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, относятся [34]:

- 1) нервно - эмоциональные перегрузки;
- 2) умственное напряжение;
- 3) физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы отсутствуют.

4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м² [29].

4.2.3 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	22-24	40	0,1

Отклонение показателей микроклимата от нормы может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен

вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования [37].

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [38]. В используемой аудитории установлена система вытяжной вентиляции, обладающая реверсной функцией (забор атмосферного воздуха или выброс воздуха из помещения), марки САТА F-2050 производительностью $Q = 380 \text{ м}^3/\text{час}$. САТА F-2050 обеспечивает циркуляцию воздуха в аудитории. Для аудитории с длиной 7 м, шириной 4,8 м и высотой 3,5 м рассчитаем объем помещения по формуле:

$$V = a \cdot b \cdot h, \quad (22)$$

где a – ширина аудитории;

b – длина аудитории;

h – высота аудитории.

$$V = 7 \cdot 4,8 \cdot 3,5 = 117,6 \text{ м}^3.$$

Данная система вытяжной вентиляции обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в аудитории:

$$BO = \frac{Q}{V}, \quad (23)$$

$$BO = \frac{380}{117,6} = 3,2.$$

Помимо системы вытяжной вентиляции в аудитории находится система локальной вытяжки, предназначенная для удаления вредных газообразных веществ из химического бокса.

Таким образом установлено, что микроклимат в используемой аудитории № 316 учебного корпуса № 10 ТПУ соответствует нормативным условиям [38] для длительной работы персонала.

4.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 19.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека: приводить к нервным расстройствам; нарушению сна; значительному ухудшению зрительной активности; ослаблению иммунной системы; расстройствам сердечно-сосудистой системы [31].

Таблица 19 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Для защиты от ЭМП увеличивают расстояние от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя).

Таким образом, установлено, что в аудитории № 316 уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [31].

4.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью либо с неправильным направлением света.

По нормативам [32] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:

- 1) комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
- 2) местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [32].

Площадь помещения:

$$S = a \cdot b, \quad (24)$$

где А – длина, м; В – ширина, м.

$$S = 7 \cdot 4,8 = 33,6 \text{ м}^2,$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50 \%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70 \%$. Коэффициент запаса,

учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для светодиодных лент $Z = 1,1$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (25)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_p - h_c = 3,5 - 0,73 = 2,77 \text{ м.}$$

Количество светильников определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{i \cdot \varphi \cdot \eta}. \quad (26)$$

где $E_k = 300$ лк – минимальная нормированная освещенность; $K_3 = 1,5$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли; $i = 0,49$ – коэффициент использования светового потока; $n = 4$ – количество ламп в светильнике; $\varphi = 1080$ Лм – световой поток одной лампы.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{i \cdot \varphi \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 33,6 \cdot 1,5}{0,49 \cdot 1080 \cdot 4} = 7,2 \text{ шт.}$$

Во избежание недостаточного освещения рабочего пространства расчетное количество светильников округляется до целого в большую сторону. Таким образом, необходимое количество светильников в аудитории № 316 равняется восьми.

На рисунке 11 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами в аудитории № 316 учебного корпуса № 10 ТПУ.

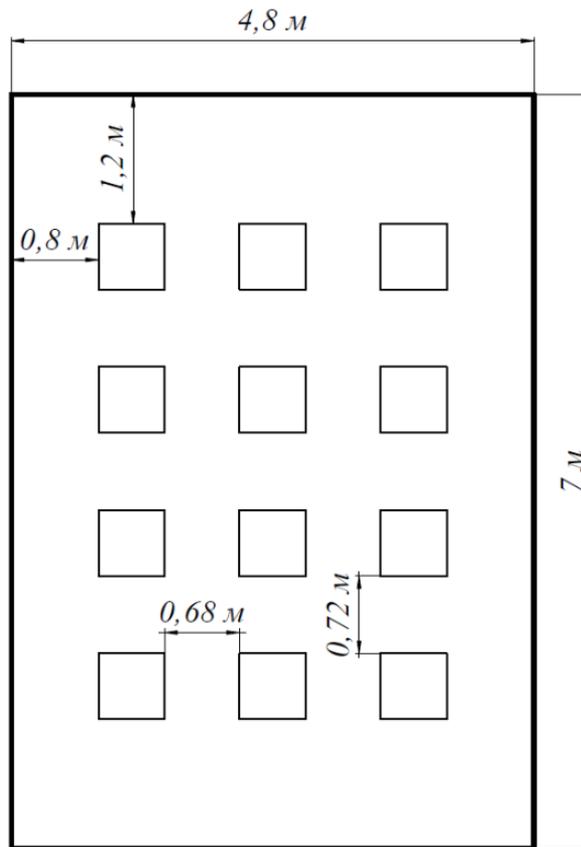


Рисунок 11 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Расчетное количество светильников в аудитории № 316 учебного корпуса № 10 ТПУ – 8 штук, а фактически установлены 12 штук. Таким образом, освещенность помещения соответствует нормам.

4.2.6 Превышение уровня шума

Шум является общебиологическим раздражителем. Шум оказывает влияние на слуховой анализатор, действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.

Выделяют следующие неблагоприятные воздействия шума на организм человека: снижение разборчивости речи; неприятные ощущения; развитие

утомления; снижение производительности труда; появление шумовой патологии.

В таблице 20 приведены нормы уровня шума при различных видах работ [33].

Таблица 20 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБА), в полосах следующих октав (Гц)									
	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
Научная работа, расчеты, конструирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

Уровень шума в аудитории № 316 корпуса № 10 ТПУ не превышает 50 дБа.

4.2.7 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональных на активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [34].

В связи с соблюдением санитарных правил утомление в процессе работы в аудитории № 316 корпуса № 10 сведено к минимуму [34].

4.2.8 Поражение электрическим током

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 1 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой [35].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- 1) при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- 2) при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- 3) при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- 4) при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- 1) рода и величины напряжения и тока;
- 2) частоты электрического тока;
- 3) пути прохождения тока через тело человека;
- 4) продолжительности воздействия на организм человека;

5) условий внешней среды.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;

применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;

использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения [35];

использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж

проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год [35].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

Аудитория № 316 корпуса № 10 ТПУ относится к первому классу «помещения без повышенной опасности» [35].

4.2.9 Пожарная и взрывная безопасность

Основными причинами возгораний в аудитории может служить неисправность электрооборудования, например, короткое замыкание, несоблюдение правил пожарной безопасности, наличие горючих компонентов.

Профилактические мероприятия позволят избежать возникновение пожароопасных ситуаций. К ним относят осуществление визуального осмотра электрооборудования, устранение дефектов и замену старых компьютерных проводов новыми, проверку срабатывания двух датчиков пожарной сигнализации, правильную эксплуатацию оборудования.

Возможные причины возгорания [36]:

- 1) работа с открытой электроаппаратурой;
- 2) короткие замыкания в блоке питания;
- 3) несоблюдение правил пожарной безопасности;
- 4) наличие горючих компонентов.

Наиболее опасным с точки зрения пожарной безопасности веществом, применяемым в работе, является этанол.

Все работы с этанолом должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искрообразования.

При отборе проб, проведении анализа и обращении в процессе транспортных и производственных операций с этанолом применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего этанола применяют порошковые огнетушители, средства объемного тушения (минимальная огнетушащая концентрация: углекислого газа – 29% (по объему), азота – 43% (по объему), дибромтетрафторэтана – 2,1% (по объему), песок, асбестовое одеяло и пену [36].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [36].

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [36].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [36].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [36]:

1) исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

2) правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

3) правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

4) обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

5) издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

6) соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

7) правильное размещение оборудования;

8) своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо [36]:

1) сообщить руководству (дежурному);

2) позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;

3) принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии с инструкцией.

На основании [39] аудитория № 316 относится к категории «ВЗ (П-Па)» по пожарной и взрывопожарной опасности, так как в помещении содержатся твердые и горючие вещества в холодном состоянии.

4.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

Аварийные и чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 21 рассмотрены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, методы по их предотвращению и ликвидация их последствий.

Таблица 21 – Аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий

№	АСиЧС	Меры предотвращения АСиЧС	Меры по ликвидации последствий АСиЧС
1	Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации персонала	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112); Вызов скорой медицинской помощи
2	Травмирование в результате падения с высоты	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Создание систем предупреждения падений; Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на высоте	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи
3	Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи

4.4 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В разделе рассмотрены следующие вредные и опасные факторы помещения:

- 1) микроклимат [30];
- 2) шум [33];
- 3) электромагнитное излучение [31];
- 4) освещенность [32];
- 5) психофизиологические факторы [34];
- 6) электробезопасность [35];
- 7) пожаро-взрывобезопасности [36, 39].

Помещение № 316 10 корпуса ТПУ отнесено:

- 1) по электробезопасности – к 1 классу [35];
- 2) по пожаро-взрывобезопасности – к категории «ВЗ (П-Па)» [36, 39].

Также рассмотрены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Conclusions

1. The method of magnetic activation of the isotopic effect of the crystallization of NaCl from an aqueous solution in a weak constant magnetic field was studied. NaCl crystals were obtained from an aqueous solution in a constant weak magnetic field. Enlarged images of the outer surface or on the chip show the presence of cavities inside the crystals.

2. The isotopic composition of chlorine in crystals obtained under different conditions using a mass spectrometer was determined. Depending on the conditions of crystallization of natural raw materials, the measured concentration of ^{37}Cl takes values in the range of 24.00...24.82 with its natural content of 24.24%. Both enrichment and depletion of ^{37}Cl are observed due to non-optimal combinations of temperature and magnetic field magnitude.

3. It is shown that the greatest isotopic effect during the crystallization of NaCl in a weak magnetic field can be achieved only with enrichment of ^{35}Cl .

References

1. Petrov T.G. Vyrashchivanie kristallov iz rastvorov / T.G. Petrov, E.B. Trejvus, YU.O. Punin [et al.]. – 2-e izd. , pererab. i dop. – L. : Nedra, 1983.
2. Pupyshev A.A. Termodinamicheskoe modelirovanie termohimicheskikh processov v induktivno svyazannoj plazme / A.A. Pupyshev, A.K. Lucak, V.N. Muzgin // ZH. analiticheskoy himii. 1998. – Vol. 53, № 7. – P. 713-724.
3. Rost iz nizkotemperaturnyh i gidrotermal'nyh rastvorov. Real'naya struktura. Rost v tverdoj faze // Tezisy 6 mezhdunar. konf. po rostu kristallov. M., 1980.
4. Nauchnaya stat'ya 23 yanvarya 2023 goda v Journal of the American Chemical Society (doi: 30.3023/jacs.0c32300).
5. Askhabov A.M. Kolichestvennaya ocenka kineticheskikh parametrov i mekhanizmov rosta kristallov / A.M. Askhabov // Syktyvkar: Geoprint. 1996. – P. 28.
6. Petrov T.G. K vyrashchivaniyu kristallov metodom temperaturnogo perepada v usloviyah svobodnoj konvekcii rastvora. / T.G. Petrov, E.B. Trejvus. – Kristallografiya, 1960.
7. Manujlov A.V. Osnovy himii / A.V. Manujlov, V.I. Rodionov // Internet-uchebnik. – [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.hemi.nsu.ru/index.htm>. – 2010.
8. Bochkarev A.V. Vliyanie rastvoritelya na izotopnye svojstva kompleksov SiF₄ i BF₃ v processah razdeleniya izotopov kremniya i bora metodom himobmennoj rektifikacii / A.V. Bochkarev, S.L. Belopuhov, A.V. Zhevnerov. // Butlerovskie soobshcheniya. – 2012. – Vol. 29, № 3. – P. 35-43.
9. Belopuhov S.L. Izotopnye efekty sery v sistemah SO₂- kompleksnoe soedinenie. / S.L. Belopuhov, L.L. Dmitrevskij, D.A. Knyazev. // ZHurnal fizicheskoy himii. 1987. – Vol.61, № 5. – P. 1413-1414.
10. Fakul'tet estestvennyh nauk NGU. – 2003–2023. – URL: <http://fen.nsu.ru/posob/organic/physmethods/ms.html> (data obrashcheniya: 10.05.2023). – Text : electronic.
11. Osobennosti rosta malodislোকacionnyh kristallov / Belyustin A. V., Stepanova N. S.

12. Troshev S.A. Struktura i dinamika pograničnogo sloja v processe rosta kristallov. / Troshev S.A. – 1994. – [Elektronnyj dostup]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30231967>
13. Yamada T. Piezoelectric and elastic properties of lithium niobate single crystals / T. Yamada, N. Niizeki, H. Toyoda // Japanese journal of applied physics. – 1967. – Vol. 6, №. 2. – P. 151.
14. Furukawa Y. Optical damage resistance and crystal quality of LiNbO₃ single crystals with various [Li]/[Nb] ratios / Y. Furukawa, M. Sato, K. Kitamura [et al.]. // Journal of applied physics. – Vol.72, № 8. – P. 3250-3254.
15. Bochkarev A.V. Raschet otnoshenij privedennyh statističeskikh summ po sostoyanijam izotopnyh form (β -faktorov) dlya ionnyh kristallov / A.V. Bochkarev, A.N. Trefilova, M.F. Bobrov. // Zhurnal fizicheskoj himii. 2003. – Vol.77, №8. – P. 1351-1351.
16. Nash F.R. Effect of optical inhomogeneities on phase matching in nonlinear crystals / F.R. Nash, G.D. Boyd, M. Sargent III [et al.]. // Journal of Applied Physics. – Vol.41, № 6. – P. 2564-2576.
17. Pupyshev A.A. Mass-spektrometriya s induktivno svyazannoj plazmoj. / A.A. Pupyshev. – [IHTT UrO RAN], 2006. – [Elektronnyj dostup]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19450754>.
18. Galimov E.M. Priroda biologičeskogo frakcionirovaniya izotopov / E.M. Galimov – M.: Nauka. 1981.
19. Diskriminacija ionov po masse pri izotopnom analize metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoj plazmoj / A.A. Pupyshev, B.A. Sermyagin.
20. Bochkarev A.V. Raschet β -faktorov akva- i amminokompleksov litiya // Zhurnal fizicheskoj himii. – 2001. – Vol. 75, № 9. – P. 1713-1716.
21. Diskriminacija po masse v kvadrupol'nom mass-spektrometre s ionizaciej elektronnyh udarom / V.B. Almazov, A.D. Andreeva, L.N. Gall' [et al.]. // Nauchnoe priborostroenie. – Vol.22, № 1. – P. 107-112.
22. Kuz'minov, YU.S. Niobat i tantalat litiya. Materialy dlya nelinejnoj optiki / YU.S. Kuz'minov ; red. V.V. Osiko . – M. : Nauka, 1975.

23. Barnard D. Sovremennaya mass-spektrometriya / Barnard D. : Pod red V.N. Kondrat'eva : perevod V.N. Vasil'eva, A.V. Dubrovina, V.L. Tal'roze. – M.: IL. – 1957.
24. Pupyshev A.A. Diskriminaciya ionov po masse pri izotopnom analize metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoj plazmoj / A.A. Pupyshev, B.A. Sermyagin // Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI. – 2006. – Vol. 132.
25. Finansovyy menedzhment, resursoeffektivnost' i resursosberezhenie : uchebno-metodicheskoe posobie / N.A. Gavrikova, L.R. Tuhvatulina, I.G. Vidyaev [et al.] : Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk : NI TPU, 2014. – 73 p.
26. Knysheva, E. N. Ekonomika organizacii : uchebnik / E.N. Knysheva, E.E. Panfilova. – M. : FORUM : INFRA-M, 2023. – 335 p. – (Srednee professional'noe obrazovanie). – ISBN 978-5-8199-0696-5. – Text : electronic. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1911502> (data obrashcheniya: 22.05.2023). – Rezhim dostupa: po podpiske.
27. SHul'min V.A. Ekonomicheskoe obosnovanie v diplomnyh proektah: uchebnoe posobie dlya vuzov / V.A. SHul'min, T.S. Usynina. – Staryj Oskol : TNT, 2012. – 192 p.
28. Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 30.12.2001 №197-FZ (red. ot 19.12.2022, s izm. ot 11.04.2023) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.03.2023) // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (data obrashcheniya: 10.05.2023).
29. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy «Gigienicheskie trebovaniya k PEVM i organizaciya raboty».
30. SanPiN 2.2.4.548-96. Fizicheskie faktory proizvodstvennoj sredy. Gigienicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennyh pomeshchenij : utverzhdeny i vvedeny v dejstvie postanovleniem Goskomsanepidnadzora Rossii ot 1 oktyabrya 1996 g., № 21 // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (data obrashcheniya: 10.05.2023).
31. GOST 12.1.006-84 SSBT. Elektromagnitnye polya radiochastot. Dopustimye urovni na rabochih mestah i trebovaniya k provedeniyu kontrolya. //

Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200272> (data obrashcheniya: 10.05.2023).

32. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy «Gigienicheskie trebovaniya k estestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshchyonnomu osveshcheniyu zhilyh i obshchestvennyh zdaniy».

33. SN 2.2.4/2.1.8.562-96. SHum na rabochih mestah, v pomeshcheniyah zhilyh, obshchestvennyh zdaniy i na territorii zhiloy zastrojki // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (data obrashcheniya: 10.05.2023).

34. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya (ot 28 yanvarya 2021 g. № 2) // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (data obrashcheniya: 10.05.2023).

35. GOST 12.1.038-82 SSBT. Elektrobezopasnost'. Predel'no dopustimye znacheniya napryazhenij prikosnoveniya i tokov // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (data obrashcheniya: 10.05.2023).

36. GOST 12.1.044-2018 SSBT. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (data obrashcheniya: 10.05.2023).

37. GOST 30494-2011 Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyah. – M.: Standartinform, 2019. – 11 p.

38. SNiP 41-01-2003 Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie. – Moskva, 2004. – 60 p.

39. NPB 105-95. Opredelenie kategorij pomeshchenij i zdaniy po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti // Tekhekspert : [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051557> (data obrashcheniya: 10.05.2023).