

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)
ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
Видається з 2013.

<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>



Легка Л.В., Шокалюк С.В., Богуненко Є.Ю. Пропедевтика вивчення квантової інформатики у профільній (старшій) школі. Фізико-математична освіта. 2021. Випуск 2(28). С. 51-56.

Lehka L., Shokaliuk S., Bohunenko E. Propaedeutics of studying quantum computer science in a specialized (high) school. Physical and Mathematical Education. 2021. Issue 2(28). P. 51-56.

DOI 10.31110/2413-1571-2021-028-2-009
УДК 373.5.016:004.4

Л.В. Легка
Криворізький державний педагогічний університет, Україна
asp-18-lehka@kdpu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5768-5475

С.В. Шокалюк
Криворізький державний педагогічний університет, Україна
shokalyuk@kdpu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3774-1729

Є.Ю. Богуненко
Криворізький державний педагогічний університет, Україна
liza.bogunencko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6636-3512

ПРОПЕДЕВТИКА ВИВЧЕННЯ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ У ПРОФІЛЬНІЙ (СТАРШІЙ) ШКОЛІ

АНОТАЦІЯ

У статті запропоновано експериментальні моделі вивчення основ квантової інформатики у профільній (старшій) школі із ключовими методичними рекомендаціями щодо їх запровадження в освітній процес.

Формулювання проблеми. Наявний зміст шкільної інформатики ґрунтується на вивченні інформаційно-цифрових технологій, що орієнтовані на роботу з комп'ютерами виключно класичної архітектури, тоді як все більшої практичної значущості у різних сферах набувають нові технології – квантові. Не зважаючи на складну природу квантових технологій, а беручи до уваги їх перспективність, виникає потреба розпочати опанування основ нової квантової інформатики вже на уроках профільної (старшої) школи за змістом навчального матеріалу, адаптованого під вікові особливості дітей старшого шкільного віку.

Матеріали і методи. Для отримання результатів використано теоретичні методи наукового пошуку – аналіз наукових джерел з питань квантової інформатики та методики навчання інформатики у закладах загальної середньої освіти та синтез компонентів методики навчання основ квантової інформатики.

Результати. На даному етапі дослідження пропонується три експериментальні моделі пропедевтичного вивчення квантової інформатики для запровадження в освітній процес профільної (старшої) школи: 1) модель «Вибірковий модуль «Основи квантової інформатики»; 2) модель «Наскрізне вивчення основ квантової інформатики у курсах фізики, математики та інформатики»; 3) модель «Інтегрований курс «Основи квантової інформатики».

Висновки. Включення питань квантової інформатики, адаптованих для сприйняття та засвоєння учнями старшого шкільного віку, у зміст навчальних предметів природничо-математичної та технологічної освітніх галузей вже сьогодні підвищить мотивацію до навчання через практичну значущість їх оновленого змісту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: квантова інформатика, квантовий комп'ютер, квантовий алгоритм, освітній процес, заклад загальної середньої освіти, профільна (старша) школа.

ВСТУП

Постановка проблеми. Наявний зміст шкільної інформатики ґрунтується на вивченні інформаційно-цифрових технологій, що орієнтовані на роботу з комп'ютерами виключно класичної архітектури. Тоді як у різних сферах цифрового суспільства, де необхідністю є швидке опрацювання даних величезного обсягу (при молекулярному моделюванні, логістиці та фінансовому прогнозуванні, метеорології, криптографії тощо, і до чого не завжди можуть бути застосовані класичні комп'ютери), все більшої практичної значущості набувають нові технології – квантові.

Перспективність квантових технологій зумовлює розпочати вивчення їх основ вже на уроках профільної (старшої) школи, а складність навчального матеріалу (основ квантової фізики, основ квантової теорії інформації, основ квантового програмування та криптографії) може бути вирішена за рахунок:

а) виваженого адаптування змісту навчання під вікові особливості та рівень пізнавальних інтересів здобувачів освіти;

б) розроблення повного комплекта освітніх ресурсів (перш за все підручника або навчального посібника, презентацій та/або відео, електронних робочих зошитів) або загальнодоступного навчального курсу;

в) забезпечення учителів якісною і докладною методичною підтримкою.

Аналіз актуальних досліджень. Дослідження і досвід з методики навчання інформатики відображаються у роботах В. Ю. Бикова, А. Ф. Верляна, О. М. Довгялло, М. І. Жалдака, В. М. Касаткіна, Ю. І. Машбиця, Н. В. Морзе, Г. Г. Науменка, С. А. Ракова, Ю. С. Рамського, В. Д. Руденка та інших науковців.

Особливостям методики навчання інформатики учнів старшої школи присвячені роботи Н. В. Дегтярьової, С. О. Лещук, Л. М. Меджитової, І. О. Теплицького, Т. І. Чепрасової та інших.

Швидкість розвитку інформатичної галузі невинно набирає обертів, постійно у повсякдення входять все нові і нові технології. Освіта не може залишити їх поза увагою, тому постійного оновлення потребують зміст, засоби і методи інформатики у загальній середній освіті. У зв'язку з цим удосконалення змісту шкільної програми з інформатики шляхом вивчення основ квантової інформатики, зокрема елементів квантового програмування, забезпечить шкільному предмету відповідний рівень актуальності та значущості.

Мета статті: описати експериментальні моделі пропедевтичного вивчення квантової інформатики учнями старшого шкільного віку та сформулювати ключові методичні рекомендації щодо їх упровадження в освітній процес профільної (старшої) школи.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для отримання результатів використано теоретичні методи наукового пошуку – аналіз наукових джерел з питань квантової інформатики та методики навчання інформатики у закладах загальної середньої освіти та синтез компонентів методики навчання основ квантової інформатики.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Беручи до уваги інтегрованість змісту квантової інформатики – квантова механіка (фізика), квантова теорія інформації, квантова теорія алгоритмів, на даному етапі дослідження пропонується три моделі її пропедевтичного вивчення у профільній (старшій) школі:

1) модель «Вибірковий модуль «Основи квантової інформатики»;

2) модель «Наскрізне вивчення основ квантової інформатики у курсах фізики, математики та інформатики»;

3) модель «Інтегрований курс «Основи квантової інформатики».

За першою моделлю – «Вибірковий модуль «Основи квантової інформатики» – пропедевтичне вивчення пропонується запровадити в межах програми рівня стандарту обов'язково-вибіркового курсу «Інформатика» для 10(11)-х класів в обсязі 17 навчальних годин. Таким чином, з'являється ще одна альтернатива для досить поширеного варіанту вивчення інформатики у профільній (старшій) школі за програмою рівня стандарту – по 1,5 навчальні години інформатики у 10-у та 11-у класах (обсяг навчальних годин на два роки – 70), що обмежувався обов'язковим вивченням базового модуля (35 навчальних годин), двох 17-годинних (однозначно «Основи електронного документообігу» та «Інформаційна безпека») вибіркових модулів й одного 35-годинного вибіркового модуля («Веб-технології», «Бази даних» тощо).

«Наскрізне вивчення основ квантової інформатики у курсах фізики, математики та інформатики» (за другою моделлю упровадження) пропонується за рахунок включення до програм, перш за все профільного рівня, перелічених предметів наскрізного (загального, спільного) навчального розділу (обсягом по 5-6 навчальних годин) із проектною назвою «Фізико-математичні основи програмування на квантових комп'ютерах».

За третьою моделлю – «Інтегрований курс «Основи квантової інформатики» – інваріанте (обов'язкове) пропедевтичне вивчення, більш ґрунтовне (у порівнянні із першими двома моделями) пропонується в обсязі 35 навчальних годин для класів інформаційно-технологічного профілю. Для класів же математичного, фізичного або фізико-математичного профілів (чи інших профілів природничо-математичного напрямку) даний інтегрований курс може бути рекомендований як курс за вибором.

Незалежно від вибору експериментальної моделі пропедевтичного вивчення квантової інформатики, головною метою її упровадження має стати розвиток складових комп'ютерної грамотності та інформаційної культури через набуття базових теоретичних знань та практичних умінь здійснювати управління квантовими комп'ютерами як комп'ютерами нового покоління.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішити такі завдання:

– сформулювати поняття «квантовий комп'ютер», «кубіт», «квантова суперпозиція», «квантовий вентиль», «квантовий алгоритм», «квантова схема», «квантова сплутаність (зв'язність)», «квантове програмування»;

– ознайомити з історією становлення, поточним станом та перспективами розвитку квантової інформатики;

– ознайомити з фізико-математичними засадами квантових обчислень;

– вивчити потенціал та визначити переваги квантових комп'ютерів для розв'язання окремих прикладних задач, задач моделювання складних систем різної природи тощо;

– навчити реалізовувати базові квантові алгоритми у спеціальному та універсальному середовищах із віддаленим та локальним доступом.

Для ґрунтовного розуміння основних теоретичних засад квантових обчислень та набуття первинних практичних умінь управління квантовим комп'ютером через побудову та реалізацію квантових алгоритмів на схемах та універсальною

мовою програмування Python, учням профільної (старшої) школи пропонується локальна та/або віддалена робота з інструментарієм SDK Qiskit від IBM (quantum-computing.ibm.com; qiskit.org).

ОБГОВОРЕННЯ

Пропедевтичне вивчення квантової інформатики за будь-якою експериментальною моделлю, зазначеною вище, передбачає опанування чотирьох тематичних розділів (Нильсен&Чанг, 2006; Силва, 2020; Бернхард, 2020):

- «Сучасні цифрові технології. Вступ до квантової інформатики»;
- «Математичні основи квантових обчислень»;
- «Основи реалізації квантових алгоритмів на схемах»;
- «Базові квантові алгоритми та їх реалізація на схемах і мовою програмування».

Вже на першому уроці («Цифрові технології: історія становлення, поточний стан, перспективи розвитку») учні мають дізнатися про квантові комп'ютери, їх основне призначення, переваги та недоліки у порівнянні з класичними суперкомп'ютерами, особливості будови та функціонування, перспективи розвитку та загальні правила організації роботи з наявними експериментальними моделями (на прикладі IBM Q Experience (quantum-computing.ibm.com)).

При цьому квантовий комп'ютер може розглядатися як інноваційний обчислювальний пристрій, процесор (та носії даних) якого використовує квантові об'єкти, об'єднані для проведення певних обчислень у квантову систему (Яковлев, 2008; Чивилихин, 2009; Сигов&Андрианова&Жуков&Зыков&Тарасов, 2019).

У свою чергу, квантовий об'єкт може тлумачитися як об'єкт квантового мікросвіту, основними властивостями якого є такі:

- наявність певного стану із двома граничними значеннями;
- перебуває в суперпозиції своїх станів до моменту вимірювання;
- заплутується (зв'язується) з іншими об'єктами для створення квантових систем;
- не підлягає клонуванню.

В наслідок чого, квантова система, як система заплутаних (зв'язних) квантових об'єктів, має такі основні властивості:

- перебуває в суперпозиції всіх можливих станів об'єктів, з яких вона складається;
- до моменту вимірювання стан системи дізнатися не можна;
- під час вимірювання система реалізує один з можливих варіантів своїх граничних станів.

Докладне пояснення основних властивостей квантових об'єктів і систем, за ідеєю від habr.com, здійснюється на прикладі об'єкта з реального світу – монети.

Стан монети – «сторона» монети («бик» монети) – може набувати два граничні значення – «орел» та «решка».

Суперпозиція станів пояснюється на прикладі підкинутої монети, що летить та обертається: доки монета обертається, неможливо сказати в якому з граничних значень знаходиться її стан "сторона"; але варто схопити монету і подивитися на результат (виміряти стан квантового об'єкта), як суперпозиція станів миттєво переходить в одне з двох граничних – "орел" або "решка". В залежності від початкової швидкості, кута підкидання, стану навколишнього середовища, в якій летить монетка, в кожен момент часу ймовірність отримати "орел" чи "решка" різна.

Заплутування (зв'язність, впливовість) одного квантового об'єкта з іншими для створення квантових систем пояснюється на прикладі підкидання трьох монет таким чином, що вони обертаючись «чіплялися» одна одну. У кожен момент часу не тільки кожна з монет знаходиться в суперпозиції станів, але ці стани взаємно впливають один на другий.

Про неможливість копіювання стану квантового об'єкта учитель переконує на тому, що: поки монетки летять і обертаються, ми ніяким чином не можемо створити окрему від системи копію обертового стану будь-якої з монеток. Система живе сама в собі і дуже ревниво ставиться до того, щоб видати назовні будь-яку інформацію.

Наступні два уроки пропонується (за потреби) присвятити питанням арифметико-логічних основ роботи класичного комп'ютера. Після такого узагальнюючого повторення (актуалізації або вивчення), опанування фізико-математичних основ роботи квантових комп'ютерів взагалі, та квантових обчислень зокрема, відбуватиметься на більш свідомому рівні.

До наступної, обов'язкової, серії уроків з математичних основ квантових обчислень (другий тематичний розділ, орієнтовно уроки №№4-6) включено уроки на теми:

- «Робота з об'єктами лінійної алгебри: вектори»;
- «Комплексні числа та дії з ними»;
- «Робота з об'єктами лінійної алгебри: матриці».

Після узагальнюючого повторення відомих теоретико-практичних засад роботи з векторами (із зверненням до нотації Дірака), на учнів чекає порція нового навчального матеріалу щодо роботи з векторами у різних базисах, знайомства з: а) розширенням множини дійсних чисел – множини комплексних чисел, поданням комплексних чисел в алгебраїчній та тригонометричній формах, основними операціями над комплексними числами в алгебраїчній формі; б) матрицями як таблицями дійсних або комплексних чисел, різновидами матриць – квадратними матрицями, одиничними, ортогональними та унітарними та основними операціями над ними (транспонування, множення на число або матрицю, інвертування).

Зважаючи на значний обсяг навчального матеріалу як частково оновленого змісту, так і змісту, первинного для засвоєння, пропонується організована комп'ютерно орієнтована підтримка роботи із переліченими об'єктами на різних етапах (на прикладі інструментарію веб-орієнтованої системи комп'ютерної математики SageMath на аркушах Jupyter Notebook у середовищі CoCalc (cocalc.com)).

Починаючи орієнтовно з уроку №7 (за першою моделлю упровадження) учні переходять до ознайомлення з основами реалізації квантових алгоритмів на схемах (знов-таки на прикладі IBM Q Experience (quantum-computing.ibm.com)). Фрагмент поурочно-тематичного планування розділу «Основи реалізації квантових алгоритмів на схемах» із зазначенням очікуваних результатів їх опанування подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Тематика базових уроків квантової алгоритмізації

Номер уроку (орієнтовно)	Тема уроку	Очікувані результати
7	Ключові поняття квантових обчислень	учень/учениця: – <i>пояснює</i> поняття кубіт, спін, стан кубіту, квантова суперпозиція, вимірювання кубіту, сплутаність кубітів, квантовий алгоритм, квантова схема («схема квантового алгоритму», формулювання терміну уточнюється), квантовий вентиль, призначення та зміст квантових вентилів заперечення, Адамара, контрольного заперечення, Тоффолі, Фредкіна; – <i>розрізняє</i> зворотні і незворотні операції; – <i>встановлює відповідність між</i> матричним оператором та позначенням квантового вентиля у квантових схемах; – <i>уміє будувати</i> основні квантові схеми у спеціальному середовищі, <i>використовувати</i> необхідні квантові вентиля, <i>інтерпретувати</i> отримані результати
8	Квантові схеми та середовища їх проєктування	
9	Квантовий вентиль заперечення	
10	Квантовий вентиль Адамара	
11	Квантовий вентиль контрольного заперечення	
12	Квантові вентиля Тоффолі та Фредкіна	

Ключовим моментом методики навчання учнів основам квантової інформатики взагалі, та зокрема квантової алгоритмізації на схемах, є реалізація діяльнісного підходу, з метою максимальної візуалізації квантово-математичних абстракцій.

Так, для переконання учнів у тому, що квантовий комп'ютер функціонує за ймовірнісним принципом, після кожного вимірювання станів квантових об'єктів одно- чи багатокубітної квантової системи, необхідно порівняти отримані результати всіх учнів і зробити висновки, що вони не є однозначно детермінованими.

При ознайомленні учнів із вентилями не буде достатнім лише формулювань про їх призначення та вигляд унітарної матриці, що реалізує відповідну квантову логічну операцію.

Наприклад, повідомляючи, що вентиль Адамара переводить кубіт у суперпозицію рівноймовірнісних станів, доречно показати стан кубіта до дії вентиля Адамара (див. рис. 1) та після його застосування (див. рис. 2).

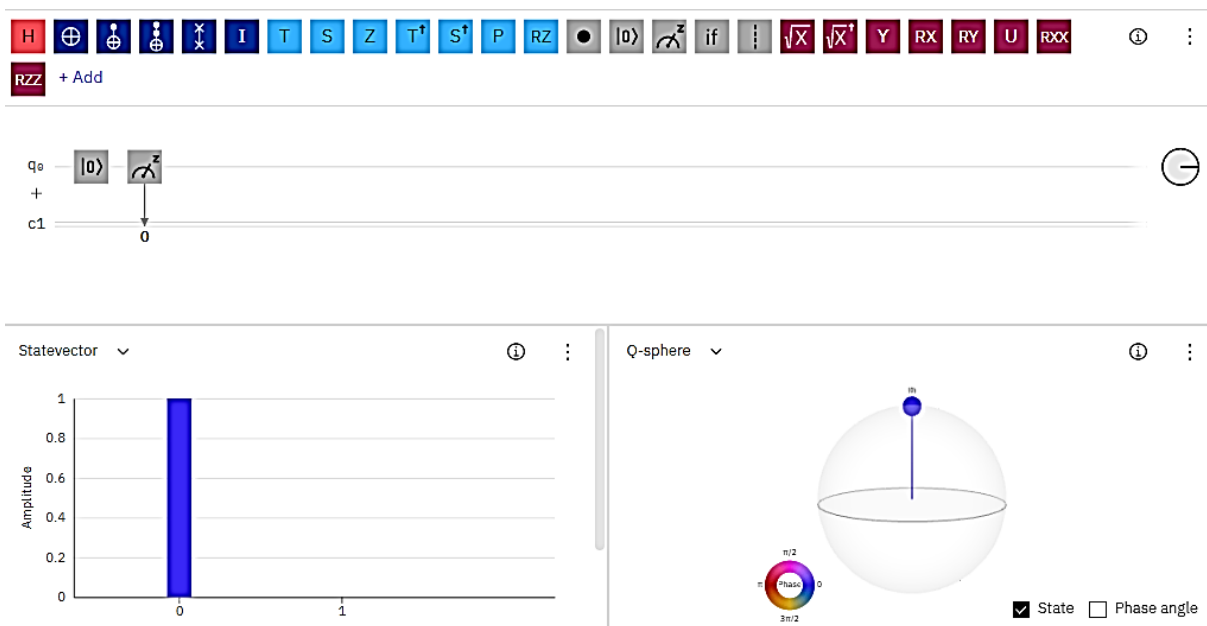


Рис. 1. Ілюстрація стану кубіта до застосування вентиля Адамара

Аналогічно пропонується ознайомлювати учнів з особливостями роботи будь-якого квантового вентиля та окремих етапів вже відомих квантових алгоритмів, що вивчатимуться у наступному розділі – «Базові квантові алгоритми та їх реалізація на схемах і мовою програмування». Очікуваними результатами опанування даного розділу є те, що учень/учениця:

- знає особливості реалізації квантових алгоритмів у середовищі з віддаленим доступом та у локальному середовищі; основи синтаксису реалізації квантового алгоритму універсальною мовою програмування;
- розуміє зміст основних квантових алгоритмів;
- пояснює покрокову структуру основних квантових алгоритмів;
- використовує можливості середовищ із віддаленим та/або локальним доступом для реалізації квантових алгоритмів у вигляді схем та програм;

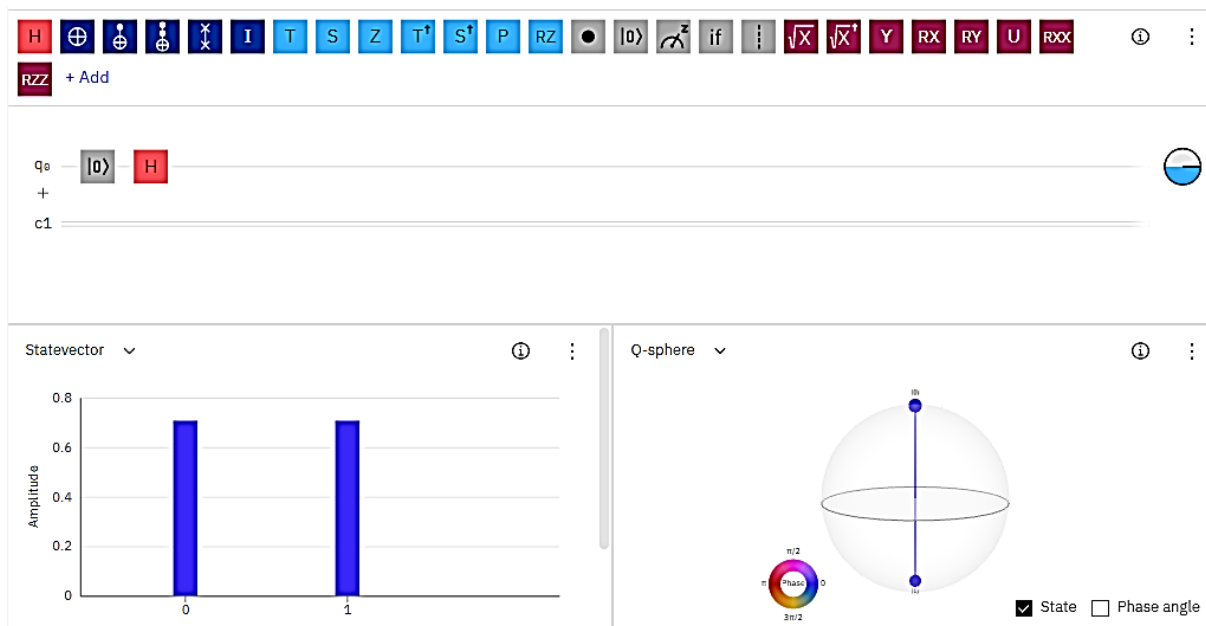


Рис. 2. Ілюстрація стану кубіта після застосування вентиля Адамара

- реалізує та виконує основні квантові алгоритми у спеціальному середовищі побудови квантових схем та універсальною мовою програмування;
- усвідомлює ефективність квантових обчислень у порівнянні з класичними
- оцінює відповідність результатів виконання програми поставленій задачі;
- дотримується правил написання читабельного коду та коментарів до нього, пояснює код іншим.

За експериментальним варіантом змісту розділу учні навчаються реалізовувати вже відомі квантові алгоритми – алгоритм Шора, алгоритм Гровера, алгоритм Дойча-Йожи, а також алгоритм квантової телепортації – у вигляді схем та мовою програмування Python (за наведеним зразком, із звернення до інструментарію Qiskit).

В межах розглянутої моделі пропедевтичне навчання квантової інформатики здійснюється лише вчителем інформатики, що потребує відповідної підготовки з основ квантової механіки та певних розділів вищої математики. Зважаючи на даний факт, є потреба переглянути, та у разі необхідності оновити, зміст фундаментальних курсів фізики та математики для майбутніх учителів інформатики.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Оновлення шкільної програми з інформатики включенням питань квантової інформатики, зокрема елементів квантового програмування, адаптованого для сприйняття та засвоєння учнями, забезпечить шкільному предмету відповідний рівень актуальності та значущості.
2. Пропедевтичне вивчення квантової інформатики у профільній (старшій) школі пропонується організувати за однією із трьох моделей. Перша модель, на якій акцентовано увагу, передбачає задіяність лише вчителя інформатики. Інші дві моделі (змістовно-методичні рекомендації до них уточнюються) можуть бути реалізовані із залученням вчителя фізики (та у разі потреби вчителя математики).

Список використаних джерел

1. Azure Quantum | Microsoft Azure. URL : <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/quantum/>. (дата звернення 28.02.2021).
2. CoCalc - Collaborative Calculation and Data Science. URL : <https://cocalc.com/app>. (дата звернення 28.02.2021).
3. IBM Quantum. URL : <https://quantum-computing.ibm.com>. (дата звернення 28.02.2021).
4. Qiskit. URL : <https://qiskit.org/> (дата звернення 28.02.2021).
5. Бернхард К. Квантовые вычисления для настоящих аййтишников. СПб : Питер, 2020. 240 с.
6. Как работают квантовые компьютеры. Собираем пазл. 19.12.2019. URL : <https://habr.com/ru/post/480480/#R6> (дата звернення 28.02.2021).
7. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. Пер. с англ. М. : Мир, 2006. 824 с.
8. Сигов А. С., Андрианова Е. Г., Жуков Д. О., Зыков С. В., Тарасов И. Е. Квантовая информатика: обзор основных достижений. *Российский технологический журнал*. 2019. 7(1). С. 5-37. DOI : 10.32362/2500-316X-2019-7-1-5-37.
9. Силва В. Разработка с использованием квантовых компьютеров. СПб : Питер, 2020. 352 с.
10. Чивилихин С. А. Квантовая информатика. Учебное пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2009. 80 с.
11. Яковлев В. П. Доклад на фестивале науки. Москва : МИФИ, 2008. URL : <https://cutt.ly/7zh7XyI>. (дата звернення 28.02.2021).

References

1. Azure Quantum | Microsoft Azure. Retrieved 28 February 2021, from <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/quantum/>. [in Russian]

2. CoCalc - Collaborative Calculation and Data Science. Retrieved 28 February 2021, from <https://cocalc.com/app>. [in English]
3. IBM Quantum. Retrieved 28 February 2021, from <https://quantum-computing.ibm.com>. [in English]
4. Qiskit. Retrieved 28 February 2021, from <https://qiskit.org/>. [in English]
5. Bernkhard, K. (2020) Kvantovy`e vy`chisleniya dlya nastoyashhikh ajtishnikov. SPb : Piter. [in Russian]
6. Kak rabotayut kvantovy`e komp`yutery`. Sobiraem pazzl. (2019). Retrieved 28 February 2021, from <https://habr.com/ru/post/480480/#R6>. [in Russian]
7. Nil`sen, M. & Chang, I. (2006). Kvantovy`e vy`chisleniya i kvantovaya informacziya. Per. s angl. M. : Mir. [in Russian]
8. Sigov, A. S. & Andrianova, E. G. & Zhukov, D. O. & Zy`kov, S. V. & Tarasov, I. E. (2019). Kvantovaya informatika: obzor osnovny`kh dostizhenij. Rossijskij tekhnologicheskij zhurnal, 7(1), 5-37, DOI : 10.32362/2500-316X-2019-7-1-5-37 [in Russian].
9. Silva, V. (2020). Razrabotka s ispol`zovaniem kvantovy`kh komp`yutero. SPb : Piter. [in Russian].
10. Chivilikhin, S. A. (2009). Kvantovaya informatika. Uchebnoe posobie. SPb: SPbGUITMO [in Russian].
11. Yakovlev, V. P. (2008). Doklad na festivale nauki. Moskva: MIFI. Retrieved 28 February 2021, from <https://cutt.ly/7zh7Xyl> [in Russian].

PROPAEDEUTICS OF STUDYING QUANTUM COMPUTER SCIENCE IN A SPECIALIZED (HIGH) SCHOOL

Liudmyla Lehka, Svitlana Shokaliuk, Elyzaveta Bohunenکو

Kryvy Rih State Pedagogical University, Ukraine

Abstract. *The article offers experimental models for studying the basics of quantum computer science in specialized (high) schools with key methodological recommendations for their implementation in the educational process.*

Formulation of the problem. *The current role of school informatics is based on the study of digital technologies, which are focused on working with computers of exclusively classical architecture, while are gaining more and more practical importance in various spheres new technologies - quantum technologies. Notwithstanding the complex nature of quantum technologies, but taking into account their perspectives, there is a need to start learning the basics of new quantum informatics in the lessons of specialized (high) schools in the form of educational material, adapted to the age specifics of high school children.*

Materials and methods. *To obtain the results, we used theoretical methods of scientific search – analysis of scientific sources on quantum computer science and methods of teaching computer science at institutions of general secondary education and synthesis of components of the methodology for teaching the basics of quantum computer science.*

Results. *At this stage of research, three experimental models of propaedeutic study of quantum computer science are proposed for implementation in the educational process of specialized (high) schools: 1) the model Selective module “The fundamentals of quantum computer science”; 2) the model Through study of the basics of quantum computer science in Physics, Mathematics and Computer science courses; 3) the model Integrated course “ The fundamentals of quantum computer science”.*

Conclusions. *The inclusion of quantum computer science issues adapted for perception and assimilation by high school students in the content of academic subjects in the natural-mathematical and technological educational fields today will increase a motivation to learn through the practical significance of their updated content.*

Key words: *quantum computer science, quantum computer, quantum algorithm, educational process, institution of general secondary education, specialized (high) school.*

