

## Karta przedmiotu

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-------|
| Nazwa i kod przedmiotu                   | Basics of Quantum Resources, PG_00183327                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Kierunek studiów                         | Quantum Information Technology (O)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Data rozpoczęcia studiów                 | październik 2026 r.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Rok akademicki realizacji przedmiotu                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2026/2027              |                                        |                       |       |
| Poziom kształcenia                       | II stopnia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Grupa zajęć                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Forma studiów                            | stacjonarne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sposób realizacji                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | na uczelni             |                                        |                       |       |
| Rok studiów                              | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Język wykładowy                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | angielski              |                                        |                       |       |
| Semestr studiów                          | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Liczba punktów ECTS                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 6.0                    |                                        |                       |       |
| Profil kształcenia                       | ogólnoakademicki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Forma zaliczenia                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | egzamin                |                                        |                       |       |
| Jednostka prowadząca                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Imię i nazwisko wykładowcy (wykładowców) | Odpowiedzialny za przedmiot                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                           | dr hab. Karol Horodecki, prof. UG                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                                        |                       |       |
|                                          | Prowadzący zajęcia z przedmiotu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Formy zajęć                              | Forma zajęć                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Wykład                                                    | Ćwiczenia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Laboratorium           | Projekt                                | Seminarium            | RAZEM |
|                                          | Liczba godzin zajęć                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 30.0                                                      | 0.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 30.0                   | 0.0                                    | 0.0                   | 60    |
|                                          | W tym liczba godzin zajęć na odległość: 0.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Aktywność studenta i liczba godzin pracy | Aktywność studenta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Udział w zajęciach dydaktycznych, objętych planem studiów |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Udział w konsultacjach |                                        | Praca własna studenta | RAZEM |
|                                          | Liczba godzin pracy studenta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 60                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.0                    |                                        | 0.0                   | 60    |
| Cel przedmiotu                           | Celem tego wykładu jest przedstawienie studentom szerokiej perspektywy w zakresie przetwarzania informacji kwantowej poprzez szczegółowe wprowadzenie ram kilku teorii zasobów, wskazując ich podobieństwa i różnice. Celem wykładu jest również zapoznanie ich z zasobami kwantowymi jako zjawiskami mającymi zastosowanie w kontekście kwantowego i klasycznego przetwarzania informacji.    |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |                                        |                       |       |
| Efekty uczenia się przedmiotu            | Efekt kierunkowy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                           | Efekt z przedmiotu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                        | Sposób weryfikacji i oceny efektu      |                       |       |
|                                          | [QITL3_W02] zna i rozumie w pogłębionym stopniu kluczowe oraz wybrane zaawansowane zagadnienia szczegółowe z zakresu technologii informacji kwantowej, w tym metody ich badania i rozwijania, oraz ich zastosowania w kontekście dynamicznych przemian technologicznych, w szczególności w obszarze przetwarzania informacji, kryptografii oraz rozwoju zaawansowanych systemów obliczeniowych |                                                           | The student has an advanced understanding of quantum resource theories and their applications, including methods for identifying free operations, constructing resource witnesses, quantifying resources, and analyzing formal relations between different resources relevant to quantum information technologies.                                                                            |                        | [SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny |                       |       |
|                                          | [QITL3_K02] jest gotowy do odpowiedzialnego pełnienia roli eksperta kwantowych technologii, z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych, w tym rozwijania dorobku zawodu, podtrzymywania etosu zawodu, a także przestrzegania i rozwijania zasad etyki zawodowej oraz działania na rzecz przestrzegania tych zasad                                                                  |                                                           | The student is prepared to critically and responsibly assess applications of quantum resources, such as contextuality, coherence, magic, private randomness, quantum thermodynamics, and multipartite entanglement, in the context of their impact on the development of quantum technologies, information security, privacy, and the ethical aspects of professional practice in this field. |                        | [SK4] test/egzamin - ustny lub pisemny |                       |       |

|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                         |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Treści przedmiotu                                             | <p>Podczas wykładu omówimy szereg istotnych zasobów kwantowych (które nie zostały uwzględnione lub zostały jedynie pobieżnie omówione w ramach kursu „Podstawy Informatyki Kwantowej”), w tym: kontekstualność kwantową i poza-quantową (jako uogólnienie nielokalności kwantowej), koherencję kwantową, brak własności stabilizatorowej (ang. *non-stabilizerness*), czystość kwantową (brak jednorodności), elementy termodynamiki kwantowej, prywatną losowość zależną od urządzenia oraz splątanie wielocząstkowe. Planujemy omówić przykładowe zastosowania tych zasobów, takie jak: obliczenia kwantowe odporne na błędy, klasyczna złożoność komunikacyjna, kwestie prywatności, silniki kwantowe itp.</p> <p>Zajęcia laboratoryjne będą obejmować między innymi weryfikację konstrukcji świadków zasobów, obliczanie miar dla danego zasobu, rozpoznawanie operacji swobodnych oraz ukazywanie formalnych zależności między poszczególnymi zasobami. W szczególności uwzględniona zostanie numeryczna i teoretyczna weryfikacja zagadnień przedstawionych na wykładzie; w tym celu podczas zajęć laboratoryjnych wykorzystywany będzie język programowania Mathematica.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                         |
| Wymagania wstępne i dodatkowe                                 | <p>Zaleca się, ale nie jest to obowiązkowe, aby student ukończył kurs Podstawy Informatyki Kwantowej (lub jego odpowiednik) lub uczestniczył w tym drugim kursie (lub jego odpowiedniku) równolegle. Chociaż te dwa kursy są niezależne, student będzie miał głębsze zrozumienie podstaw zasobów kwantowych, jeśli zna szerszy kontekst.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                         |
| Sposoby i kryteria oceniania osiągniętych efektów uczenia się | Sposób oceniania (składowe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Próg zaliczeniowy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Składowa oceny końcowej |
|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 51.0%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 20.0%                   |
|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 51.0%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 20.0%                   |
|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 51.0%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 50.0%                   |
|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 51.0%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 10.0%                   |
| Zalecana lista lektur                                         | Podstawowa lista lektur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>- "The resource theory of stabilizer quantum computation" Victor Veitch <i>et al</i> 2014 <i>New J. Phys.</i> <b>16</b> 013009</p> <p>- "Resources of the Quantum World" arxiv.org/abs/2402.05474 Gilad Gour</p> <p>- "Kochen Specker Contextuality" Rev. Mod. Phys. <b>94</b>, 045007 Costantino Budroni, Adán Cabello, Otfried Gühne, Matthias Kleinmann, and Jan-Åke Larsson</p> <p>- Quantum computation and Quantum information M. A. Nielsen and I. L. Chuang Cambridge University Press, Cambridge (2000)</p> <p>- Quantum entanglement R. Horodecki, M. Horodecki, P. Horodecki, K. Horodecki Rev. Mod. Phys. (2009)</p> <p>- "Bell nonlocality" N. Brunner, D. Cavalcanti, S. Pironio, V. Scarani, S. Wehner. Rev. Mod. Phys., 86:839, (2014).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |
|                                                               | Uzupełniająca lista lektur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>- Karol Horodecki et al. "The rank of contextuality" New J. Phys. 25 073003 (2023)</p> <p>- C. Sparaciari et al. "The first law of general quantum resources" Quantum 4, 259 2022</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |
|                                                               | Adresy eZasobów                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Podstawowe</p> <p><a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/16/1/013009">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/16/1/013009</a> - Praca przedstawiająca teorię zasobu niestabilizowalności</p> <p><a href="https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.05474">https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.05474</a> - Książka o zasobach kwantowych</p> <p><a href="http://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.86.419">http://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.86.419</a> - Praca przeglądowa o nielokalności typu Bella</p> <p><a href="https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.81.865">https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.81.865</a> - Praca przeglądowa o kwantowym splątaniu</p> <p><a href="https://doi.org/10.1103/RevModPhys.94.045007">https://doi.org/10.1103/RevModPhys.94.045007</a> - Praca przeglądowa o kontekstualności Kochena-Speckera</p> <p>Uzupełniające</p> <p><a href="https://doi.org/10.22331/q-2020-04-30-259">https://doi.org/10.22331/q-2020-04-30-259</a> - Praca opisująca teorie łączące kilka zasoby na raz</p> <p><a href="https://doi.org/10.1088/1367-2630/acdf78">https://doi.org/10.1088/1367-2630/acdf78</a> - Praca wprowadzająca prostą miarę kontekstualności</p> |                         |

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Przykładowe zagadnienia/<br/>przykładowe pytania/<br/>realizowane zadania</p> | <p>Opisz formalną definicję teorii zasobów niestabilności.</p> <p>Jaka jest różnica między kontekstualnością kwantową zależną od stanu a niezależną od stanu (podaj przykłady obu)?</p> <p>Podaj przykłady i wskaż różnice między znanymi klasami operacji swobodnych w teoriach koherencji kwantowej.</p> <p>Oblicz w programie Mathematica stopień lokalnej czystości, jaki można uzyskać z czystego stanu 2-kubitowego.</p> <p>Ile parametrów jest potrzebnych do opisu czystego stanu 3-kubitowego (z dokładnością do lokalnych przekształceń unitarnych)?</p> <p>Opisz zasadę Landauera.</p> <p>Czym jest termomajoryzacja i jaka jest jej rola w termodynamice kwantowej?</p> |
| <p>Praktyki zawodowe<br/>w ramach przedmiotu</p>                                 | <p>Nie dotyczy</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Dokument wygenerowany elektronicznie. Nie wymaga pieczęci ani podpisu.