

6. Розібратися, на яких фізичних принципах працює прилад, і яка взаємодія лежить в основі вимірювального процесу (щоб якомога ретельніше врахувати систематичні похибки).

7. Провести вимірювання фізичної величини. Результат записати обов'язково із зазначенням абсолютної похибки.

8. Чи достатньо точний результат? Чи можна його надалі використовувати? Якщо щось не влаштовує, то треба повернутися до пункту 1 цього плану.

Отже, ми виділяємо чотири сторони вимірювальної операції: а) методологічну; б) фізичну; в) процедурну (саме на неї традиційно приділялась найбільша увага в методиці навчання фізики); г) творчу (пов'язану з виготовленням, підбором приладів і методів вимірювання, складанням плану вимірювань взагалі і в конкретній ситуації).

Результатом методології розгляду фізичних вимірювань повинна бути відповідна методика, в якій вивченню процедури обробки певних вимірювань надається важливе місце, однак це місце аж ніяк не є визначальним.

Використана література:

1. *Мултановский В. В.* Рассмотрение в школьном курсе роли физических взаимодействий при измерении / В. В. Мултановский, Ю. А. Сауров // Физика в школе. – 1980. – № 1. – С. 30-33.
2. *Атепалихин М. С.* Вопросы методологии физических измерений при обучении физике / М. С. Атепалихин, Ю. А. Сауров. – Киров : Изд-во Кировского ИПК и ПРО, 2005. – 106 с.
3. *Сауров Ю. А.* Программа формирования методологической культуры субъектов образования / Ю. А. Сауров // Образование и саморазвитие. – 2009. – № 1. – С. 3-11.

Сауров Ю. А. Вопросы методологии изучения физических измерений.

Показаны возможности формирования методологических знаний при изучении физических измерений.

Ключевые слова: методология познания, измерение.

Saurov Y. A. Voprosy methodologies of study of the physical measurings.

Possibilities of forming of methodological knowledges are rotined at the study of the physical measurings.

Keywords: methodology of cognition, measuring.

УДК: 378.147

Сичікова Я. О.
Бердянський державний педагогічний університет

ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ “КЛАС ЧИСТОТИ МАТЕРІАЛІВ” У СТУДЕНТІВ-ФІЗИКІВ ПЕДАГОГІЧНОГО ВНЗ

У статті комплексно представлено теоретичних методів дослідження класів чистоти матеріалів, засобів її вираження при введенні понять матеріалів електронної техніки та фізики реальних кристалів під час підготовки майбутніх учителів фізики.

Ключові слова: клас чистоти матеріалів, електронна техніка, електроніка, чисті речовини.

Сучасний економічний розвиток країн визначається не стільки природними ресурсами, скільки здатністю до генерування та впровадження нових ідей. Розвиток сучасної електроніки вимагає від суспільства підготовки висококваліфікованих кадрів.

Тому у сучасних умовах реформування системи освіти України актуальною є питання профпідготовки фахівців. Його рішення полягає у втіленні перспективних технологій розвитку, навчання, викладання у ВНЗ. У цьому процесі визначального значення набувають методи та технології викладання дисциплін у вищій школі (ВШ). Такий підхід вимагає вдосконалення змісту і структури подання навчального матеріалу у ВШ. Необхідністю сьогодення вважається набуття студентами знань про нові матеріали, їх властивості та методи одержання і дослідження. Важливим етапом в оволодінні цих знань є засвоєння поняття “чистоти матеріалів”.

В умовах науково-технічної революції вища школа повинна давати не тільки певну суму знань, але й навчити майбутнього фахівця творчо мислити, самостійно вдосконалювати, оновлювати та розвивати свої знання.

Знання політехнічних основ сучасного виробництва, що інтенсивно розвивається, не тільки допоможе молоді швидко опанувати ту чи іншу спеціальність, але й зробить її професійно затребуваною та мобільною. Політехнічна освіта розглядається тут як процес і результат засвоєння систематизованих знань із загальних наукових основ сучасного виробництва, формування вмінь і навичок, необхідних для поведження з типовими знаряддями праці, поширеними в різних галузях. Кінцева мета такої освіти – вироблення якостей особистості, що дозволяють вільно орієнтуватися у всій системі суспільного виробництва [6; 9]. Шляхами реформування змісту фахової підготовки фізика, вчителя фізики передбачено “приведення його у відповідність з рівнем розвитку духовної і матеріальної культури, науки, техніки, змінами, що відбуваються в суспільному житті, економічних відносинах, організації праці тощо” [3].

Питання підготовки майбутніх учителів фізики досліджували В. Сергієнко, О. Бугайов, С. Гончаренко, Є. Коршак, А. Касперський, О. Ляшенко, А. Павленко, О. Сергєєв, М. Шут, І. Богданов, В. Шарко, Л. Сосницька та ін.

Розробці теоретичних і практичних проблем політехнічного навчання присвячені праці вчених П. Атутова, М. Скаткіна, П. Ставського, С. Шабалова, С. Шаповаленко, Д. Епштейна та ін.

Мета статті полягає в комплексному представленні теоретичних методів дослідження класів чистоти матеріалів, засобів її вираження при введенні понять матеріалів електронної техніки та фізики реальних кристалів під час підготовки майбутніх учителів фізики.

На сьогодні при підготовці фізиків та учителів фізиків велику роль відіграють технологічні науки, зокрема, технологія електронної техніки, техніка і технологія фізичних досліджень, сучасні методи дослідження твердого тіла. У своїй основі електронна техніка безупинно розвивається, тобто вона відображає невпинний пошук людського розуму щодо впровадженнь досягнень науки і техніки у всі сфери людської діяльності.

Технологія у своєму розвитку спирається на досягнення інших наук (математики, фізики, хімії тощо). З іншого боку, вона ставить перед іншими науками нові задачі, стимулюючи їх подальший розвиток, забезпечує технологічне підґрунтя їхнього розвитку та озброює їх якісно новими матеріалами, приладами та методами досліджень [10].

Якщо враховувати бурхливий розвиток сучасних технологій, то зрозуміло, що використання традиційних підручників, високий рівень яких на момент їхнього написання відображає тогоденний розвиток науки, сьогодні натикається на зрозумілі труднощі [4; 5; 7].

У сучасній технології електронного приладобудування дуже актуальними є проблеми підвищення виходу придатної продукції і забезпечення їхньої надійності. В даний час можливості технології такі, що в ряді випадків вони відповідають або наближаються до меж, обумовлених природою фізичних процесів [11].

Для усвідомлення цього феномену викладачі мають наголосити на такому: у приладах із розмірами активних елементів у субмікронному діапазоні можливий прояв низки поки ще не цілком вивчених фізичних явищ, що накладають фундаментальні

обмеження на роботу електронних приладів.

Коротко перерахуємо основні особливості сучасної напівпровідникової електроніки [2; 10; 11].

1. Мікромініатюризація призвела до появи нового класу приладів – ВІС та НВІС. Розробка ВІС і НВІС (велика інтегральна схема та надвелика інтегральна схема відповідно) у свою чергу формує нові, більш високі вимоги до матеріалів, технології, організації виробництва і культури праці, породжує нові принципи і фізичні моделі приладів і їхніх елементів. У цьому і полягає діалектика науки і зокрема технології електронної техніки.

2. Одним із найважливіших аспектів розвитку напівпровідникової електроніки є матеріалознавство напівпровідників. Тут підвищуються вимоги до: ступеня чистоти матеріалів, зменшення концентрації домішок, зниження вмісту мікродефектів тощо.

3. Широке використання нових технологічних процесів стимулює подальше удосконалення виробів електронної техніки.

4. Винятково високу роль набувають умови виробництва – підвищення чистоти виробництва.

5. Найважливішими проблемами, що постають перед сучасною напівпровідниковою електронікою, є: а) широка і повна автоматизація технологічних процесів і усього виробництва в цілому, б) спеціалізація й інтеграція виробництва на міжнародному рівні; економічні, соціальні та інші проблеми.

6. Прогрес у технології досягається за рахунок розробки нових і підвищення якості існуючих матеріалів.

Отже, враховуючи глобальний характер розвитку електроніки та електронної техніки, майбутні фізики та вчителі-фізики повинні ознайомитися з основами фізичної технології якомога раніше, починаючи з курсів загальної та теоретичної фізики (розділи електрика та магнетизм, оптика, електродинаміка, статистична фізика тощо) і продовжуючи при вивченні таких дисциплін як фізика твердого тіла, фізика напівпровідників і діелектриків, основи мікросхемотехніки, основи сучасної електроніки, сучасні методи дослідження твердого тіла, робота в лабораторіях наукового напрямку, фізика поверхні, фізика реальних кристалів тощо.

У класичній фізиці досліджується ідеальний кристал, що по суті є математичним об'єктом, який має повну, властиву йому симетрію, ідеалізовано рівні гладкі грані, такий кристал вільний від домішок, він по суті є надчистим. Тому дуже важливо своєчасно зорієнтувати студентів на те, що у реальному світі ідеальних кристалів та матеріалів не існує. Тут виникає доцільність введення поняття реального кристалу.

Основоположником фізики реальних кристалів є І. Лівшиць. Уже на початку своєї наукової діяльності у 40-х роках минулого століття Ілля Михайлович надрукував серію наукових праць з теорії неупорядкованих систем, або фізики неідеальних кристалів, які фактично визначили шляхи розвитку цього напрямку [8]. *Реальні кристали завжди мають знижену симетрію у наслідок внутрішніх дефектів та домішок.* Тому методи їх дослідження та класифікації суттєво відрізняються від класичних.

Проблема отримання речовин особливої чистоти, по своїм властивостям близьких до реальних кристалів, виникла давно, але особливо різке зростання вимог до чистоти ряду матеріалів пов'язано з розвитком сучасної електронної техніки, яка висуває особливо високі вимоги до чистоти матеріалів, що використовуються у виробництві, тому що саме від чистоти вихідних речовин багато в чому залежить якість і надійність роботи електронних елементів, що працюють на принципі використання *p-n*-переходів.

Для реалізації принципу зв'язку з життям доречно навести наступний приклад з демонстрацією. Діод, виготовлений із легованого германію з питомим електричним опором 0,5 Ом·см, витримує зворотну напругу (10-12) В. При підвищенні чистоти матеріалу на два порядки зворотна напруга діода зростає до 500 В.

Також необхідно відзначити, що не завжди потрібна висока чистота матеріалу. Так,

наприклад, при виробництві термісторів, термоелектрогенераторів, термоелементів така висока чистота не потрібна.

Теоретично, хімічно чиста речовина повинна містити частинки лише одного виду. Практично чистими вважають речовини найбільш високого можливого ступеня очистки приданому рівні науки і техніки.

Проблему чистоти напівпровідникових матеріалів доцільно проілюструвати на прикладі ідеалізованого чистого напівпровідника з шириною забороненої зони $E_g = 1$ eV, який при кімнатній температурі має в зоні провідності приблизно 10^{11} власних електронів на приблизно 10^{23} атомів, що знаходяться в 1 см^3 речовини. Якщо кожний атом домішки, концентрація якої складає 10^{-10} ат.%, віддасть в зону провідності 1 електрон, то всього буде віддано $N = 10^{23} \cdot 10^{-12} = 10^{11}$ атомами домішки 10^{11} електронів, що співрозмірно з вихідною концентрацією електронів у зоні провідності матеріалу ідеально бездомішкового напівпровідника. Очевидно, що це та межа чутливості до домішок напівпровідників ($E_g = 1-3$ eV), що реально використовуються в електронній техніці.

Поняття хімічної чистоти матеріалів, а також засоби її вираження різноманітні і залежать від області застосування матеріалів.

Чиста речовина (ідеально чиста речовина) – проста або складна речовина, що володіє тільки одній їй властивим комплексом постійних властивостей, які обумовлені певним набором атомів і молекул. До числа таких властивостей відноситься вимога хімічної (відсутність сторонніх атомів) чистоти і фізичної (відсутність структурних дефектів) досконалості. В окремих випадках воно може бути доповнене вимогою ізотопічної чистоти, що передбачає відсутність в чистій речовині домішок його ізотопів, продукти розпаду яких можуть міняти бажані властивості. Вимоги фізичної досконалості можуть бути доповнені вимогами кристаллохімічної чистоти, що виражаються у відсутності в чистій речовині поліморфних фаз.

Речовина вважається достатньо чистою, якщо вміст домішок в ній менший тієї кількості, яка заважає використовувати цю речовину для заданої мети.

Можна запропонувати наступну класифікацію чистоти матеріалів:

1. Матеріали хімічної або металургійної чистоти.

2. Матеріали електронної чистоти або надчисті матеріали чи матеріали високої чистоти.

Крім того, для чистих речовин, що використовуються в хімічній і металургійній промисловості, встановлені в порядку підвищення чистоти специфічні класифікації (рис. 1).

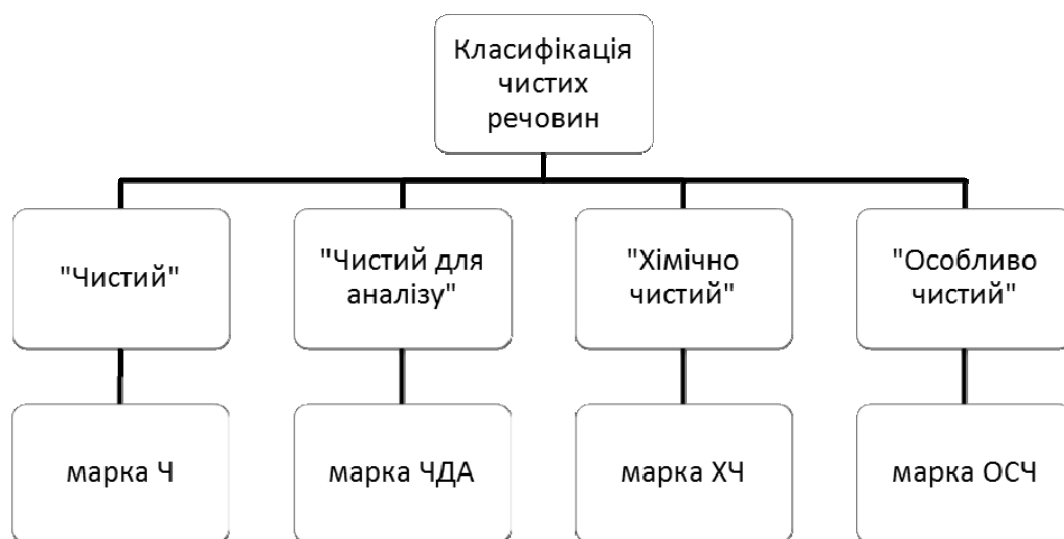


Рис. 1. Класифікація чистих речовин, що використовуються в промисловості

Так, найчистіший матеріал марки ОСЧ містить не більше 0,01% домішок. До надчистих речовин і матеріалів електронної техніки відносяться метали і напівпровідники, якщо вміст кожної із контрольованих домішок у них не перевищує $1 \cdot 10^{-4}$ % (по масі), а також газів, якщо вміст кожної із контрольованих домішок у них не перевищує $1 \cdot 10^{-6}$ об'ємних.

Допустимий вміст домішок в речовинах електронної чистоти може змінюватися у широких межах. Надчистим речовинам у залежності від кількості та сумарної концентрації контрольованих домішок теж привласнюють марки (рис. 2).

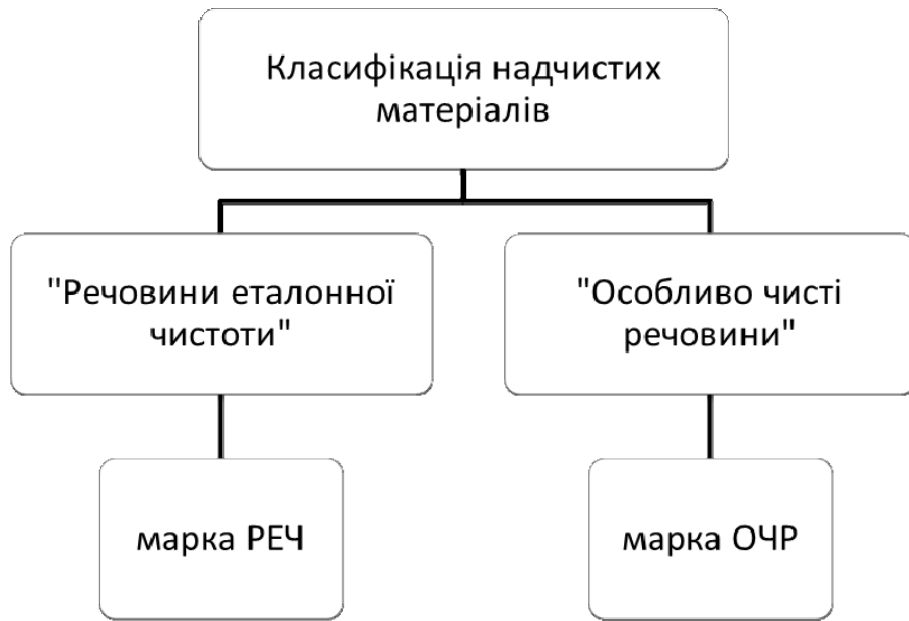


Рис. 2. Класифікація надчистих речовин, що використовуються в промисловості

У речовинах марки РЕЧ лімітується як загальна кількість домішок, так і, на більш низькому рівні, вміст деяких небажаних домішок. У речовинах марки ОЧР на дуже низькому рівні лімітується вміст великої кількості небажаних домішок.

Для більш детального оволодіння цими поняттями можна запропонувати розподіл особливо чистих речовин (рис. 3).



Рис. 3. Розподіл особливо чистих речовин на класи

Матеріали високої чистоти (особливо чисті речовини для напівпровідникового виробництва) розділити на три класи: А, В і С. Клас А (А1 та А2) – це речовини звичайної

промислової чистоти. Вміст домішок у них не нижче 0,01%. При цьому речовини підкласу А1 містять 99,9% основної речовини, а підкласу А2 – 99,99% (цифра після букви означає число дев'яток після коми). До класу В (підкласи В3 – В6) відносяться речовини із сумарним вмістом відомих домішок, що контролюються, $(10^{-3} - 10^{-6})\%$ відповідно. До класу С (підкласи С7 – С10) відносяться речовини ультрависокої чистоти з вмістом відомих домішок, що контролюються, $(10^{-7} - 10^{-10})\%$ відповідно. Наприклад, для підкласу С7 умовний вміст основної речовини в матеріалі складає 99,9999999% (інше позначення 99,99%) [10].

На цьому етапі оволодіння матеріалом студентам можна запропонувати задачі на визначення вмісту домішок у матеріалі за відомим класом чистоти.

Тут потрібно зазначити, що визначити концентрації всіх елементів. Періодичної системи в речовині, практично нереально. Тому для практичних цілей обмежуються характеристикою вмісту домішок, які визначаються та регламентуються в технічних умовах, як домішки, що є небажаними для заданого використання матеріалу. Кількість таких небажаних домішок, що контролюються, зазвичай лежить у межах 10-20.

Доцільно звернути увагу слухачів на економічну складову технологічного процесу очистки матеріалів. З підвищенням класу чистоти на одиницю вартість виготовлення 1 кг матеріалу зростає на (1-2) порядки, що пов'язано з економічними затратами на розробку нових технологічних та аналітичних методик. Процес очищення речовин до ультрависокої чистоти є дуже трудомістким, що потребує застосування надчистих побічних матеріалів і реактивів.

Враховуючи глобалізацію та інтернаціоналізацію науки, а також інтеграцію української науки у світову, необхідно запропонувати маркування речовин міжнародного зразка. В іноземній літературі для позначення речовин високого ступеня очистки використовують символ N і розрізняють речовини по якості цифровими індексами. Цифра, що стоїть перед N , означає загальну кількість “дев'яток” (включаючи і цілі числа) у цифровому індексі, що виражає концентрацію основної компоненти у відсотках (звичайно по масі), а цифра, що стоїть після N , є останньою цифрою в даному позначенні. Наприклад, позначення $5N8$ відповідає загальній кількості основної речовини 99,9998%.

Слід зазначити, що існують й інші методи класифікації чистоти матеріалів, з якими студентам можна запропонувати ознайомитися самостійно.

Після засвоєння запропонованого матеріалу вводиться поняття “мікродомішки” та “лімітуючі домішки”

Дослідження структури речовини показали, що істинно власні властивості матеріал проявляє при сумарному вмісті домішок в ньому не більше, ніж $(10^{-6}-10^{-4})\%$ [11]. Починаючи з цього рівня і нижче домішки називаються мікродомішками. У такий спосіб речовина називається високочистою, якщо сумарний вміст домішок у ній не перевищує $10^{-4}\%$, а вміст домішок, що лімітуються (тобто таких, що мають більший ніж інші вплив на фізико-хімічні властивості матеріалу) знаходиться на рівні нижче $10^{-6}\%$. *Лімітуючими називаються домішки, наявність яких робить неможливим або обмежує цільове застосування речовини, що очищається.* Для особливо чистих речовин вміст лімітуючих домішок не перевищує $10^{-7}\%$.

Існує система класифікації особливо чистих речовин, по якій кожній особливо чистій речовині присвоюється визначена марка в залежності від числа домішок, що контролюються, та їх сумарного вмісту.

Для речовин, у яких контролюються тільки домішки неорганічних речовин, марка позначається “о.ч.р.” і наступними за цим позначенням двома цифрами. Перша із них показує число лімітуючих домішок неорганічних речовин, а друга представляє собою від'ємний десятинний логарифм сумарного процентного вмісту цих домішок (цифри пишуться через тире). Наприклад, марка “о.ч.р. 10^{-6} ” характеризує речовину, в якій кількісно визначено 10 лімітуючих домішок з сумарним вмістом $(1-4) \cdot 10^{-6}$ мас. % [1; 10].

Практичне засвоєння теми “Чистота матеріалів. Класи чистоти” передбачає розв’язання задач, тестів та визначення класу чистоти запропонованих демонстраційних зразків різних речовин.

Отже, запропонована методика сприяє не лише формуванню фундаментальних фізичних понять (ідеальний кристал, реальний кристал), але й створює передумови для якісного вивчення, розуміння та засвоєння студентами змісту поняття чистоти матеріалів та формує навички використання студентами методів маркування речовин та ідентифікації їх за відомим класом чистоти.

Завдяки запропонованій методиці виникають перспективи подальших досліджень та розробки для фізичних спеціальностей ВНЗ методики вивчення фізики реальних кристалів та фізики мікросвіту на основі фундаментальних та прикладних фізичних понять. Розуміння природи реального світу та складу промислових речовин є базовим у системі політехнічної та фахової освіти.

Використана література:

1. *Анисимов М. В.* Елементи електронної апаратури та їх застосування / М. В. Анисимов. – К. : Вища шк., 1997. – 223 с.
2. *Гусев А. И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – М. : Физматлит, 2005. – 414 с.
3. Державна національна програма “Освіта”. Україна ХХІ століття. – К. : Райдуга, 1994. – 62 с.
4. *Ефимов И. Е.* Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. – М. : Радио и связь, 1986. – 346 с.
5. *Зи С. М.* Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ. / под ред. А. Ф. Трутко. – М. : Энергия, 1973. – 655 с.
6. *Ивашев Г.* Теорія і практика політехнічної освіти в процесі навчання фізики в середніх загальноосвітніх школах Казахстану : автореф. дис. ... д. пед. наук : спец 13.00.02 “Теорія і методика навчання фізики” / Г. Івашев. – К., 2007. – 54 с.
7. *Крапухин В. В.* Технология материалов электронной техники / В. В. Крапухин, И. А. Соколов, Г. Д. Кузнецов. – М. : МИСИС, 1995. – 263 с.
8. *Локтев В.* Ілля Ліфшиць – основоположник фізики реальних кристалів / В. Локтев // Вісн. НАН України. – 2007. – № 11. – С 55-58.
9. *Сосницька Н. Л.* Теоретико-методичні засади фахової підготовки вчителів фізики та математики в умовах освітнього інформаційного середовища / Н. Л. Сосницька, О. В. Школа, В. В. Ачкан та ін. // Монографія. – Лондон ХХІ: Юго-Восток, 2012. – 241 с.
10. *Сукач Г. О.* Технологічні основи електроніки : навчальний посібник / Г. О. Сукач, В. В. Кідалов. – К. : ЛОГОС, 2011. – 297 с.
11. *Черняев В. Н.* Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров / В. Н. Черняев. – М. : Радио и связь, 2007. – 464 с.

Сычикова Я. А. *Формирование понятия “класс чистоты материалов” у студентов-физиков педагогического вуза.*

В статье комплексно представлено теоретические методы исследования классов чистоты материалов, средств их выражения, при введении понятий материалов электронной техники и физики реальных кристаллов во время подготовки будущих учителей физики.

Ключевые слова: *класс чистоты материалов, электронная техника, электроника, чистые вещества.*

Sychikova Ya. A. *Forming of concept “class of cleanness of materials” for the students-physicists of pedagogical institute of higher.*

In the article it is complex presented theoretical methods of research of classes of cleanness of materials, facilities of its expression, at introduction of concepts of materials of electronic technique and physics of the real crystals during preparation of future teachers of physics.

Keywords: *class of cleanness of materials, electronic technique, electronics, clean matters.*